

COHABITAT  
BIBLIOTEKA DESIGN / BUILD



GERNOT MINKE

Podręcznik budowania  
**Z GLINY**

MATERIAŁOZNAWSTWO • TECHNOLOGIA • ARCHITEKTURA

GERNOT MINKE

# Podręcznik budowania z gliny

MATERIAŁOZNAWSTWO • TECHNOLOGIA • ARCHITEKTURA

**Gernot Minke, Podręcznik Budowania z Gliny, Łódź, 2015**

**Tytuł oryginału:** Handbuch Lehmbau

**Tłumaczenie:** Zygmunt Bieliński

**Korekta:** Agnieszka Kochanek, Rafał Ney, Bartosz Sptawski, Marek Lewandowski, Agata Żyźniewska, Konrad Dybek

**Współpraca w tłumaczeniu oraz konsultacje merytoryczne:** dr Marcin M. Kołakowski

**Obróbka grafik, ilustracji i fotografii, współpraca DTP do polskiego wydania:** Marek Śmiech

**Projekt okładki, skład DTP, przygotowanie do druku drugiego wydania:** Monika Flakowska - [www.mfka.co.uk](http://www.mfka.co.uk)

**Koordinacja projektu drugiego wydania:** Paweł Sroczyński, Monika Flakowska - [www.mfka.co.uk](http://www.mfka.co.uk)

**Druk:** Drukarnia Offsetowa "Alternativa"; zakład Fundacji Źródła Życia - [www.fzz.pl](http://www.fzz.pl)

ISBN: 978-83-941225-1-5

**Wydanie drugie poprawione**

**Copyright** © Prof. dr inż. Gernot Minke 1994, 2004

This translation of Handbuch Lehmbau is published by arrangement with Gernot Minke and Cohabitat Foundation in Poland.

Wszelkie prawa zastrzeżone. Nieautoryzowane rozpowszechnianie całości lub fragmentu niniejszej publikacji w jakiegokolwiek postaci jest zabronione. Wykonywanie kopii metodą kserograficzną, fotograficzną, a także kopiowanie książki na nośniku filmowym, magnetycznym lub innym powoduje naruszenie praw autorskich niniejszej publikacji.

Wszystkie znaki występujące w tekście są zastrzeżonymi znakami firmowymi bądź towarowymi ich właścicieli.

Autor oraz Fundacja Cohabitat dołożyli wszelkich starań, by zawarte w tej książce informacje były kompletne i rzetelne. Nie biorą jednak żadnej odpowiedzialności ani za ich wykorzystanie, ani za związane z tym ewentualne naruszenie praw patentowych lub autorskich.

Autor oraz Fundacja Cohabita nie ponoszą również żadnej odpowiedzialności za ewentualne szkody wynikłe z wykorzystania informacji zawartych w książce.

**Autorzy zdjęć na okładce i obwolucie:** The Centre for Alternative Technology - [www.cat.org.uk](http://www.cat.org.uk), Gernot Minke

Ewentualne erraty do niniejszego wydania będą dostępne na stronie [www.cohabitat.net](http://www.cohabitat.net)

Wydawca:

Fundacja Cohabitat

ul.Strzemińskiego 11/91

93-218 Łódź

KRS 0000428459

e-mail: [biuro@cohabitat.net](mailto:biuro@cohabitat.net)

[www.cohabitat.net](http://www.cohabitat.net)

Wydrukowano w Polsce/Printed in Poland.

Złożono krojem Source Sans Pro

## LISTA HONOROWYCH WYDAWCÓW PIERWSZEJ EDYCJI KSIĄŻKI

Niniejsza książka powstała dzięki wsparciu wymienionych poniżej osób, które dokonując zakupu książki w przedsprzedaży umożliwiły uruchomienie procesu produkcji pierwszego nakładu. Akcja przedsprzedaży, którą zorganizowaliśmy była prawdopodobnie jednym z pierwszych w Polsce projektów wydawniczych opartych o ideę crowdfundingu, czyli finansowania społecznościowego.

Agata Banach, Arkadiusz Baron, Anna Baturo, Grzegorz Berezowski, Artur Bętkowski, Karolina Bielak, Magda Błaszczuk, Agata Boduch, Sławomir Bolek, Piotr Borkowski, Piotr Borowy, Arletta Broniowska, Natalia Buczkowska, Arkadiusz Chrapusta, Marek Chudzik, Piotr Chybowski, Janusz Curyło, Daniel Cwalina, Łukasz Ćmiel, Wojciech Dałętko, Anna Damzyn, Adam Dąbrowski, Kasia Dobrowolska, Dariusz Dolecki, Janek Dowgiałło, Grzegorz Drapała, Łukasz Dubiel, Marcin Durski, Monika Dyndo, Olga Dyżakowska, Joanna Dzieciotowska, Paulina Gasiun, Zuza Gorzeńska, Ewa Gościńska, Monika Górka, Dariusz Grabowski, Mateusz Grabski, Bartosz Gromulski, Anna Grusza, Marcin Jan Grzegorzek, Zofia Grzybowska, Elżbieta Hibner, Krzysztof Jakimowicz, Marcin Janicki, Maciej Janowiak, Wojciech Januszczak, Łukasz Jasiński, Monika Jezierska, Paweł Jędruszczak, Jakub Junga, Justyna Junga, Anna Joanna Kamonciak, Ewa Karczmarczyk, Tomasz Karczmarczyk, Jagoda Karłowska, Justyna Kasjaniuk, Łukasz Kończak, Marta Kossakowska, Marta Kownacka, Dagmara Krawiec, Adam Kruszyński, Jerzy Krysiuk, Bartosz Krzewiński, Mateusz Krzewiński, Dominik Kucia, Aleksandra Kurzawska, Bartłomiej Kuśmierski, Sławek Kuśmierz, Krzysztof Leszczyński, Natalia Leśniak, Jakub Linowski, Krzysztof Lis, Waldemar Litwiński, Ada Lubelska, Grzegorz Łużecki, Agnieszka Łypacewicz, Cezary Maćkiewicz, Dawid Magiera, Teresa Majewska-Ćwiertnia, Grzegorz Majewski, Elżbieta Marciniak, Michał Marczyk, Katarzyna Markiewicz, Jakub Marszałek, Miron Matelonek, Agnieszka Matyszewska, Jacek Merc, Ewa Merda, Oskar Michna, Tomasz Mielczyński, Krzysztof Mikee, Mariusz Mikołajczyk, Michał Misiak, Sebastian Misiński, Paweł Molis, Joanna Muniowska, Emilia Musiał, Aleksandra Niewada-Wysocka, Klarysa Nikiel, Leszek Nojman, Waldemar Nowak, Małgorzata Nowicka, Jacek Nowodworski, Paweł Nykiel, Joanna Oleksy, Tomasz Opara, Rafał Orlikowski, Sylwia Pająk, Robert Paliga, Iwona Pielecka-Mackiewicz, Paweł Pluta, Izabela Pochopień, Paweł Pohorecki, Piotr Poleski, Rafał Pompa, Beata Postulska, Przemek Prekurat, Magdalena Probola, Iga Prochowska, Mateusz Radwan, Inga Radziejewska, Anna Rakoczy, Maria Rauch, Anna Rogulska, Monika Różańska, Monika Sachajko-Siudak, Michał Sady, Grzegorz Sagański, Aleksander Sałagacki, Szymon Sarnicki, Agnieszka Seliga, Grzegorz Serwatka, Hanna Sienkiewicz, Paweł Siwiec, Karolina Skalska, Kalina Słomkowska-Górka, mgr inż. Daniel Sokół, Oktawiusz Stępień, Wioleta Sumorek, Antoni Surowiak, Krystian Swojak, Marika Sypniewska, Sebastian Szarszewski, Tomasz Szczepaniak, Monika Szepczyńska, Amadeusz Szymura, Jakub Ślipiec, Ewa Tarasewicz, Paweł Tarasiewicz, Katarzyna Trojanowska, Leszek Tur, Janusz Tyrlik, Małgorzata Waligóra-Jasek, Anna Waligóra-Jędrzejewska, Bartłomiej Waluś, Katarzyna Wcisło, Markus Wiertarkus, Gabriela Wisniewska-Korre, Małgorzata Witek, Tomasz Włoszczowski, Mikołaj Wower, Karolina Wójcik, Joanna Wrońska, Maciej Wroński, Katarzyna Zabięto, Ewa Zientara, Tomasz Zmyślony, Tomasz Żemojcin.

## LISTA HONOROWYCH WYDAWCÓW DRUGIEJ EDYCJI KSIĄŻKI

Adam Drabent, Adam Grycko, Adam Jaworski, Adam Kielak, Adam Kszczot, Adam Mizera, Adam Mroziński, Adam Rafalał, Adam Soltysiak, Adam Wrzosek, Adrian Jarzyński, Adriana Czerwińska, Agata Hilt, Agata Mętlak, Agata Tkaczyk, Agnieszka Adamiak, Agnieszka Cajgner-Oleędzka, Agnieszka Gabara, Agnieszka Marszewska-Dzidek, Agnieszka Mielczarek, Agnieszka Rokitowska, Agnieszka Szulc, Agnieszka Wieliczko, Alan Zajac, Albert Zdancewicz, Aleksana Kunstler, Aleksander Hońca, Aleksandra Gieroń, Aleksandra Niewada-Wysocka, Aleksandra Osiecka, Aleksandra Piech, Aleksandra Płaczek, Aleksandra Płudowska, Aleksandra Pyrek, Alicja Chajewska, Alicja Stankiewicz, Alina Sarniak, Anastazja Jaworska, Andreas Schwarz, Andrzej Bednarczyk, Andrzej Bednorz, Andrzej Biały, Andrzej Brodowski, Andrzej Czechowski, Andrzej Domanski, Andrzej Jałosiński, Andrzej Kozłowski, Andrzej Kulpa, Andrzej Michałek, Andrzej Nietubicz, Andrzej Sichma, Andrzej Winnicki, Andrzej Wodziński, Andrzej Wróblewski, Andrzej Zmuda Trzebiatowski, Aneta Korzonek, Aneta Nowak, Aneta Staciwa, Aneta Subocz, Aneta Zapart, Anna Adamowicz, Anna Cygan, Anna Czarnik, Anna Jędrysko, Anna Kowalczyk, Anna Kozaryna, Anna Król, Anna Madej, Anna Pawłowska, Anna Podsiadło, Anna Przybylska, Anna Rutkowska, Anna Siwiec, Anna Skrzypkowska, Anna Sołtysik, Anna Suchodół-Majewska, Anna Szarek, Anna Witkowska, Artur Gronek, Artur Bałaban, Artur Baranowski, Artur Filip, Artur Hasiński, Artur Jończyk, Artur



Krużolek, Artur Miłkowski, Artur Paruzel, Artur Piotrowski, Artur Skarżyński, Artur Wojdat, Artur Żejmo, Barbara Chronowska-Cholewa, Barbara Ciach, Barbara Jarosiewicz, Barbara Piotrowska, Barbara Sado, Barbara Tasevski, Bartłomiej Jagielski, Bartłomiej Pitura, Bartłomiej Schauer, Bartosz Bisaga, Bartosz Górnicki, Bartosz Jachym, Bartosz Jankowski, Bartosz Kozłowski, Bartosz Królczyk, Bartosz Kruchlik, Bartosz Kuruc, Bartosz Pachnik, Bartosz Przybyś, Bartosz Słomka, Beata Oleksyk, Beata Stopinska, Beata Turek, Berenika Orłowska, Blanka Mach, Bogdan Merchelski, Bogusław Balicki, Bogusława Grabowska, Cecylia Ciecchanska, Ceslav Janik, Cezary Grzesiuk, Czesław Schulz, Damian Czapek, Damian Jaworanski, Damian Piwowarski, Damian Rożynek, Damian Środoń, Damian Wojtowicz, Damian Woltyński, Daniel Baron, Daniel Bukowski, Daniel Dec, Daniel Liszka, Daniel Wiszowaty, Daria Guzik, Daria Hermann, Dariusz Kusz, Dariusz Lech, Dariusz Skowron, Dariusz Śmiechowski, Dariusz Tracz, Dariusz Tymczyszyn, Dariusz Wujtewicz, Dariusz Żurek, Dawid Dobrucki, Dawid Łukasik, Dawid Przybylak, Diana Galińska, Diana Reczkowska, Dominik Banach, Dominika Bagnucka, Dorota Ciarkowska, Dorota Darmosz, Dorota Klepacka, Dorota Korsak, Dorota Majzer, Dorota Piskorska, Dorota Soja, Dorota Stolarek, Dylan Borowski, Edyta Oruba, Edyta Rosiak, Edyta Szymanska, Eliza Wielgosz, Elżbieta Fojut-Gajewska, Elżbieta Goldergierz, Elżbieta Kaczmarczyk, Elżbieta Polanowska, Elżbieta Śliwińska, Elżbieta Ziomek, Emil Kwaśniak, Emil Swat, Emila Kurzyńska, Emilia Rutkowska, Emilian Sadowski, Ewa Badowska, Ewa Czap, Ewa Dłubakowska - Puzio, Ewa Janicka, Ewa Karasińska-Gajo, Ewa Mokanek-Łękawa, Ewa Pokorska, Ewa Puchalska, Ewa Werwińska-Grychowska, Ewelina Półgrabska, Filip Leszczyński, Filip Osiński, Filip Polit, Filip Rodzik, Gosia Augustyniak, Gracjan Heba, Grzegorz Biziel, Grzegorz Curyło, Grzegorz Dominiak, Grzegorz Graczyk, Grzegorz Kaczor, Grzegorz Kamyk, Grzegorz Krawczyk, Grzegorz Krawiec, Grzegorz Mazur, Grzegorz Mróz, Grzegorz Ośródk, Grzegorz Pałka, Grzegorz Rosochacki, Grzegorz Stęszewski, Grzegorz Szałański, Grzegorz Szoser, Grzegorz Więctawski, Grzegorz Zieliński, Hanna Hałka-Wojtasiewicz, Hanna Mijas, Hubert Gawryś, Hubert Trammer, Irena Pietrasiak, Ireneusz Zmysło, Iwo Mokwa, Iwona i Wojciech Niemiec, Izabela Giczewska, Izabela Stasiuk, Jacek Bartkowiak, Jacek Bijak, Jacek Cyboroń, Jacek Czekata, Jacek Dymek, Jacek Frymark, Jacek Guzek, Jacek Hreczański, Jacek Jasinski, Jacek Kalinowski, Jacek Kolanowski, Jacek Leśniewski, Jacek Piotr Jarosz, Jacek Stróżyńska, Jacek Susło, Jacek Szymkowiak, Jacek Zdybel, Jakub, Jakub Adamczyk, Jakub Flejmer, Jakub Handke, Jakub Junga, Jakub Kardynał, Jakub Nobis, Jakub Pisarczyk, Jakub Sokulski, Jakub Szafałowicz, Jan Bienias, Jan Heidrych, Jan Kałuża, Jan Mondzelewski, Jan Szczepanik, Janina Koss, Janka Gonzalez, Janusz Borycki, Janusz Czarnecki, Janusz Dzień, Janusz Lepionko, Janusz Wajgert, Jarek Olechno, Jarek Tafelski, Jarosław, Jarosław Figaszewski, Jarosław Glapski, Jerzy Pietrzak, Jędrzej Bulas, Jędrzej Łagodziński, Jędrzej Prysak, Jędrzej Siłakowski, Joanna Długosz, Joanna Leszczyńska, Joanna Leś, Joanna Pecura, Joanna Posoch, Joanna Serwińska, Joanna Stanlik, Joanna Stangrecka, Jola Kowalska, Józef Maciński, Julia Chalimoniuk, Julia Komuda, Juliusz Sidor, Justyna Jaroszewicz, Justyna Król, Justyna Krzak, Justyna Kudelska, Justyna Poślada, Justyna Skrzelowska, Jutyna Dybała, Kamil Cybułka, Kamil Farynowski, Kamil Głowinkowski, Kamil Kotsut, Kamil Rybicki, Kamil Wilczak, Kamila, Kamila Dziemiańczuk, Kamila Rutkowska, Karina Przewłoka, Karol Konieczny, Karol Kowalski, Karol Pysz, Karol Romb, Karol Żurkowski, Karolina Dejneko, Karolina Gerke, Karolina Ilczuk, Karolina Kowarska, Karolina Kwaśniewska, Kasia Borys, Kasia Dziubanii, Kasia Szalewska, Katarzyna Bańka, Katarzyna Będzińska, Katarzyna Frasunkiewicz, Katarzyna Grzesik, Katarzyna Konior, Katarzyna Kukieła, Katarzyna Latos, Katarzyna Matuszewska, Katarzyna Pająk, Katarzyna Pielaszkiwicz, Katarzyna Płoska, Katarzyna Rostowska, Katarzyna Skalska, Katarzyna Smołucha, Katarzyna Sokołowska, Katarzyna Stolarczyk, Katarzyna Szczęsna, Katarzyna Śmiałowska, Katarzyna Świderczuk, Katarzyna Woźniak, Katarzyna Zarnowiec, Katarzyna Żęgota, Kazimierz Leśniak, Kinga Kamińska-Skuza, Archiplaneo, Kinga Walczak, Klaudia Agier, Klaudia Bondarenko, Klaudiusz Kozubek, Konrad Krasucki, Konrad Łogwiński, Konrad Stasiuk, Konrad Wawrowski, Konrad Zareba, Kordian Wilk, Kosma Stępiński, Krystian Kulesz, Krystian Miklasz, Krystian Palichleb, Krystian Zwoliński, Krystyn Różycki, Krystyna Stańczak, Krzysztof Bogdanowicz, Krzysztof Burzmiński, Krzysztof Francuz, Krzysztof Jabłonowski, Krzysztof Koziorowski, Krzysztof Krocak, Krzysztof Krzyszcak, Krzysztof Lewandowski, Krzysztof Łukasik, Krzysztof Matejak, Krzysztof Mik, Krzysztof Nasternak, Krzysztof Nowak, Krzysztof S. Matejak, Krzysztof Wojtala, Krzysztof Zarębski, Krzysztof Zdebik, Lena Cholewińska, Lesław Modelski, Leszek Bendlewski, Leszek Oprządek, Ludmiła Rypina, Luiza Więckowska, Lukasz Karbownik, Lukasz Rakowicz, Lukasz Sady, Łukasz Buczek, Łukasz Buczyński, Łukasz Bujak, Łukasz Bujnowski, Łukasz Capała, Łukasz Chłystowski, Łukasz Długosz, Łukasz Glos, Łukasz Janiszek, Łukasz Jasiński, Łukasz Karwowski, Łukasz Kończak, Łukasz Kubista, Łukasz Kukulski, Łukasz Pala, Łukasz Pruchnicki, Łukasz Przeszło, Łukasz Przygoda, Łukasz Silewicz, Łukasz Sobieszek, Łukasz Speruda, Łukasz Stępnik, Łukasz Strzałka, Łukasz Wiking Podlewski, Maciej Drożdżik, Maciej Hołda, Maciej Janecki, Maciej Kraszewski, Maciej Marks, Maciej Morawski, Maciej Sobczak, Maciej Stachurski, Maciej Wróbel, Maciek Dobras, Magdalena Czerwonka, Magdalena Fedak, Magdalena Hrehorowicz, Magdalena Jakubowska, Magdalena Kołacz, Magdalena Tkaczyk, Maja Czuderna, Maksymilian Fojtuch, Małgorzata Sus,

Małgorzata Harańczyk, Małgorzata Kuszaj, Małgorzata Łoś, Małgorzata Łukasińska, Małgorzata M. Chmielecka, Małgorzata Sałacińska, Małgorzata Wawrzyniak, Marcelline Pałka, Marcin Bogacz, Marcin Buła, Marcin Charłampowicz, Marcin Damps, Marcin Domino-Jacek, Marcin Hoppe, Marcin Kornacki, Marcin Kozłowski, Marcin Lisewski, Marcin Łukaszczyk, Marcin Malinowski, Marcin Marek, Marcin Pakuła, Marcin Prajsnar, Marcin Rosner, Marcin Sękowski, Marcin Sikorski, Marcin Stepkowski, Marcin Szyszlak, Marcin Świstak, Marcin Telega, Marcin Wichniarek, Marcin Zalewski, Marcin Żebrowski, Marek Arcimowicz, Marek Hilgendorf, Marek Kamiński, Marek Lorenc, Marek Łopacki, Marek Mirenski, Marek Nowicki, Marek Ogonowski, Marek Peda, Marek Sękowski, Marek Świątek, Marek Wojciechowski, Marek Wojtczak, Marek Zaleski, Maria Humięcka, Maria Pomianek, Maria Przybylska, Maria Rózga, Maria Terlecka, Marian Sowiński, Mariola Kliniewska, Mariola Mruk, Mariusz, Mariusz Drozdowski, Mariusz Jaworski, Mariusz Karaś, Mariusz Kustra, Mariusz Motak, Mariusz Nogalski, Mariusz Piotrowski, Mariusz Sokół, Mariusz Węcławiak, Marlena Typiak, Marta Andruszkiewicz, Marta Czachorowska, Marta Damasiewicz, Marta Kempczyńska, Marta Kosińska, Marta Lagner, Marta Marszałek, Marta Naglik, Marta Patlewicz, Marta Pulter, Marta Rynkiewicz, Marta Sot, Martyna Laskowska, Marzena Mazur, Mateusz Białek, Mateusz Demidziuk, Mateusz Drogowski, Mateusz Jabłoński, Mateusz Krajewski, Mateusz Madej, Mateusz Piątkiewicz, Mateusz Stawecki, Mateusz Witkowski, Mateusz Wójcik, Michał Chwała, Michał Chwała, Michał Dąbrowski, Michał Dębski, Michał Haraburda, Michał Jaworowski, Michał Kapelski, Michał Komorowski, Michał Lankosz, Michał Machelski, Michał Pierchalski, Michał Szczepanik, Michał Sobczak, Michał Spandel, Michał Świerczyna, Michał Tranda, Michał Walz, Michał Wlazłowski, Mieczysława Szczerecka, Mikołaj Rek, Milena Danielak, Miłosz Lawrynowicz, Miłosz Idzikowski, Miłosz Zagórski, Mirosław Hałasowski, Mirosław Malinowski, Mirosław Małeck, Mirosław Nurzyński, Mirosław Widz, Mirosława Przybylska, Monika Bilska, Monika Jurczak, Monika Lenart-Kozieł, Monika Lewicka, Monika Nędzyńska-Stygar, Monika Nowakowska, Monika Petryczenko, Monika Raj, Monika Trojanowska, Natalia Beznar, Natalia Brejska, Natalia Maj, Natalia Rzońca, Norbert Seliga, NowoNET Michał Matuszewski, Olga Jakobielska, Olga Orlińska Szczyżowska, Oliwia Grafka, Patrycja Baranowska, Patrycja Szynter, Paulina, Paulina Borowska-Bas, Paulina Tokarz, Paulina Wilczyńska, Paweł Florczak, Paweł Godlewski, Paweł Boratyński, Paweł Brzuszek, Paweł Burdynowski, Paweł Chlebek, Paweł Chyła, Paweł Dubert, Paweł Fiedor, Paweł Gajdowski, Paweł Janiak, Paweł Juros, Paweł Kędziak, Paweł Koński, Paweł Krzyszkowski, Paweł Mackiewicz, Paweł Naja, Paweł Obrębowski, Paweł Spisak, Paweł Szymura, Paweł Świerczak, Paweł Wiergowski, Paweł Ziężio, Piotr Chazan, Piotr Cisek, Piotr Fedyczkowski, Piotr Grzegorzczak, Piotr Hejne, Piotr Iwaniuk, Piotr Jordan, Piotr Karbownik, Piotr Kasper, Piotr Kąkol, Piotr Konopacki, Piotr Marcinkowski, Piotr Mazurkiewicz, Piotr Micygiewicz, Piotr Morawski, Piotr Nalepa, Piotr Nieznanski, Piotr Porzycki, Piotr Pydynowski, Piotr Ratajczyk, Piotr Sabok, Piotr Sagan, Piotr Senenko, Piotr Sibiński, Piotr Soboń, Piotr Stemplewski, Piotr Stolarczyk, Piotr Strzelewicz, Piotr Szykowny, Piotr Szymański, Piotr Ślusarczyk, Piotr Wierchowicz, Piotr Wojtasiak, Piotr Zalewa, Piotr.Deko@Gmail.Com, Pola Guźlińska, Przemysław Kruczynski, Przemysław Bogustawski, Przemysław Gast, Przemysław Kieźel, Przemysław Mrozowski, Przemysław Olenderek, Przemysław Ryś, Przemysław Tyczyno, Radek I Agata Korcz, Radek Witczak, Radosław Antonowicz, Radosław Filipczak, Radosław Kud, Radosław Lewandowski, Radosław Słupek, Radosław Sobczyk, Radosław Świrko, Rafał Boguszewski, Rafał Charubin, Rafał Denkiewicz, Rafał Dobrowolski, Rafał Kazimir, Rafał Michałowski, Rafał Sałapata, Rafał Skowronek, Remigiusz Niesyto, Renata Basińska, Renata Ekielska, Robert Gancarz, Robert Grzeszczyk, Robert Judycki, Robert Lesiuk, Robert Łochocki, Robert Pytkowski, Robert Radzikowski, Roman Kolasa, Romana Elmer, Ryszard Łęcki, Ryszard Rajda, Ryszard Wyczółkowski, Ryszard Zawistowski, Sebastian Bartkowski, Sebastian Bownik, Sebastian Gomułka, Sebastian Rybski, Sławomir Bączkowski, Sławomir Rajchel, Sławomir Renski, Sławomir Zaręba, Stanisław Gacek, Stanisław Szybiak, Stanisław Wojacek, Sylwester Kaczmarek, Sylwester Michałak, Szczepan Rubczyński, Szymon Gacka, Szymon Kądziaława, Szymon Kiepel, Szymon Kłopotcki, Szymon Knitter, Szymon Kowalczyk, Szymon Łoziński, Szymon Posadzy, Szymon Rolecki, Szymon Zwoniarkiewicz, Tadeusz Grzywacz, Tadeusz Lenart, Tomasz Bernasiński, Tomasz Bobuła, Tomasz Chojnacki, Tomasz Czumut, Tomasz Eremus, Tomasz Gad, Tomasz Guzialek, Tomasz Janko, Tomasz Kawczyński, Tomasz Klewski, Tomasz Kotulski, Tomasz Król, Tomasz Kucharczyk, Tomasz Madziarski, Tomasz Ostrowski, Tomasz Pawlik, Tomasz Puchalski, Tomasz Trepka, Tomasz Tyszko, Tomasz Urbański, Tomasz Zarzecki, Tomasz Zyzdorf, Tyśka Lewandowska, Urszula Nowacka, Urszula Raczyńska, Waldemar Rudziecki, Weronika Marciniak, Weronika Olek, Wiesław Bujnowski, Wiśniewska Edyta Kasia, Witold Lejewski, Witold Piórkowski, Witold Thiel, Wojciech Bakun, Wojciech Gałosz, Wojciech Łapka, Wojciech Nowak, Wojciech Pandel, Wojciech Pawlicki, Wojciech Szarek, Wojciech Talaga, Wojtek Nieśpiał, Xenia Pietrzyk, Zbigniew Becker, Zbigniew Kołodziej, Zbigniew Madiewicz, Zdzisław Szydłowski, Zofia Kolbe-Wojdyr, Zuzanna Lulińska, Zuzanna Madaj, Zuzanna Oleksińska, Zuzanna Wieczorek.

# SPIS TREŚCI

<b>1. WPROWADZENIE</b> .....	<b>15</b>	2.5.1 Uwagi ogólne .....	41
1.1 Gлина, materiał budowlany przeszłości i przyszłości .....	15	2.5.2 Przewodzenie ciepła .....	41
1.2 O historii budownictwa z gliny .....	16	2.5.3 Ciepło właściwe .....	41
1.3 Istotne wiadomości o glinie jako materiale budowlanym .....	19	2.5.4 Akumulacja ciepła .....	41
1.4 Poprawa klimatu wewnątrz przez glinę .....	21	2.5.5 Pobieranie i oddawanie ciepła w zależności od czasu .....	42
1.4.1 Wprowadzenie .....	21	2.5.6 Tłumienie ciepła .....	42
1.4.2 Wpływ wilgotności powietrza na zdrowie człowieka .....	21	2.5.7 Promieniowanie ciepłe/ stopień emisji $\epsilon$ .....	42
1.4.3 Wpływ wietrzenia na wilgotność w pomieszczeniu .....	22	2.5.8 Wydłużenie termiczne .....	42
1.4.4 Regulacja wilgotności przez glinę. Pozytywny wpływ tego zjawiska na nasze zdrowie .....	22	2.5.9 Odporność ogniowa .....	43
1.5 Uprzedzenia dotyczące gliny .....	24	2.6 Wytrzymałość .....	43
<b>2. GLINA JAKO MATERIAŁ BUDOWLANY I JEJ WŁAŚCIWOŚCI</b> .....	<b>25</b>	2.6.1 Siła wiązania .....	43
2.1 Skład .....	25	2.6.2 Wytrzymałość na ściskanie .....	44
2.1.1 Wiadomości ogólne .....	25	2.6.3 Wytrzymałość na rozciąganie w stanie wyschniętym .....	45
2.1.2 Ił .....	26	2.6.4 Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu .....	45
2.1.3 Pył piaskowy, piasek, żwir .....	26	2.6.5 Wytrzymałość na rozciąganie przy sklejanii .....	46
2.1.4 Rozkład rozmiarów ziarna .....	27	2.6.6 Wytrzymałość na ścieranie .....	46
2.1.5 Składniki organiczne .....	27	2.6.7 Moduł elastyczności .....	47
2.1.7 Porowatość .....	27	2.6.8 Wytrzymałość krawędzi .....	47
2.1.8 Powierzchnia właściwa .....	28	2.7 Wartość pH .....	48
2.1.9 Gęstość .....	28	2.8 Radioaktywność .....	48
2.1.10 Zagęszczenie/ zwartość .....	28	2.9 Ostrona przeciw promieniowaniu elektromagnetycznemu o wysokiej częstotliwości .....	49
2.2 Test ustalający skład .....	28	2.10 Zawartość energii pierwotnej (PEI), redukcja CO <sub>2</sub> .....	50
2.2.1 Uwagi wstępne .....	28	<b>3. POPRAWA WŁAŚCIWOŚCI MATERIAŁU POPRZEZ SPECJALNĄ OBRÓBKĘ I DODATKI</b> .....	<b>51</b>
2.2.2 Analiza sitowa i analiza mechaniczna (szlamowa) .....	28	3.1 Wiadomości ogólne .....	51
2.2.3 Ustalenie zawartości wody .....	28	3.2 Zmniejszenie tworzenia się rys podczas schnięcia .....	51
2.2.4 Testy proste („kontrolne odręczne”) .....	29	3.2.1 Wiadomości ogólne .....	51
2.3 Reakcja gliny na wodę .....	31	3.2.2 Schudzenie .....	52
2.3.1 Uwagi ogólne .....	31	3.2.3 Środki rozrzedzające .....	52
2.3.2 Pęcznienie i kurczenie .....	31	3.2.4 Dodatki włókniste .....	52
2.3.3 Wyznaczanie skurczu schnięcia .....	32	3.2.5 Środki zaradcze .....	53
2.3.4 Plastyczność .....	33	3.3 Zwiększanie wodoodporności .....	53
2.3.5 Włoskowate wchłanianie wody .....	35	3.3.1 Wiadomości ogólne .....	53
2.3.6 Test na szlam gliniany .....	36	3.3.2 Spoiwa mineralne .....	54
2.3.7 Odporność na wypłukiwanie .....	37	3.3.3 Produkty zwierzęce .....	55
2.3.8 Erozja powodowana deszczem i mrozem .....	37	3.3.4 Produkty mineralne i zwierzęce .....	55
2.3.9 Czas schnięcia .....	38	3.3.5 Produkty roślinne .....	55
2.4 Wpływ pary wodnej na glinę .....	39	3.3.6 Emulsja bitumiczna .....	55
2.4.1 Uwagi ogólne .....	39	3.3.7 Produkty syntetyczne .....	55
2.4.2 Dyfuzja pary wodnej .....	39	3.4 Zwiększanie siły wiązania .....	56
2.4.3 Wilgotność równowagi .....	39	3.4.1 Wiadomości ogólne .....	56
2.4.4 Tworzenie się wody kondensacyjnej .....	41	3.4.2 Mieszanie i dołowanie .....	56
2.5 Zachowanie się gliny podczas działania ciepła .....	41	3.4.3 Zwiększenie ilości iłu .....	56
		3.4.4 Dodatki .....	56

3.5	Zwiększanie wytrzymałości na ściskanie	56	6.2	Historia	82
3.5.1	Wiadomości ogólne	56	6.3	Przepisy	84
3.5.2	Optymalizacja rozkładu uziarnienia	57	6.4	Produkcja cegieł glinianych	84
3.5.3	Obróbka wstępna	57	6.5	Optymalizacja składu materiału	87
3.5.4	Zagęszczanie	58	6.6	Murowanie z cegieł glinianych	88
3.5.5	Dodatki mineralne	59	6.7	Obróbka cegieł glinianych	88
3.5.6	Dodatki organiczne	62	6.8	Obróbka powierzchni	88
3.5.7	Dodatek z włókien i włosów	62	6.9	Mocowanie obrazów, regałów i szafek wiszących	89
3.6	Zwiększanie wytrzymałości na ścieranie	62	6.10	Cegły z gliny lekkiej	89
3.7	Zwiększanie izolacji cieplnej	62	6.11	Akustyczne cegły gliniane	90
3.7.1	Wiadomości ogólne	62			
3.7.2	Glina lekka ze słomą	63	<b>7.</b>	<b>ELEMENTY WIELKOWYMIAROWE I PŁYTY Z GLINY</b>	<b>91</b>
3.7.3	Glina lekka z dodatkami mineralnymi	65	7.1	Wiadomości ogólne	91
3.7.4	Glina lekka z korkiem	67	7.2	Kostki gliniane	91
3.7.5	Glina lekka z drewnem	67	7.3	Elementy stropowe	93
			7.4	Płyty gliniane, wewnętrzne do montażu na sucho	94
<b>4.</b>	<b>OBRÓBKA WSTĘPNA</b>	<b>68</b>	7.5	Płyty podłogowe z gliny	94
4.1	Wiadomości ogólne	68	<b>8.</b>	<b>FORMY TWORZONE BEZPOŚREDNIO Z WILGOTNEJ GLINY</b>	<b>95</b>
4.2	Dołowanie	68	8.1	Wiadomości ogólne	95
4.3	Rozdrabnianie i mieszanie	68	8.2	Tradycyjne techniki na mokro	95
4.4	Przesiewanie	70	8.3	Sposób budowania zwany „chleby gliniane z Dünne”	98
4.5	Dojrzewanie	70	8.4	Metoda pasm z gliny	99
4.6	Szlamowanie	70	8.4.1	Wiadomości ogólne	99
4.7	Schudzenie	71	8.4.2	Produkcja pasm z gliny	99
			8.4.3	Optymalizacja mieszanki	100
<b>5.</b>	<b>GLINOBITKA</b>	<b>72</b>	8.4.4	Układanie i wygładzanie pasm	100
5.1	Wiadomości ogólne	72	8.4.5	Naprawa pęknięć i poprawianie spoin	102
5.2	Deskowania	72	8.4.6	Czasochłonność	102
5.3	Przyrządy do ubijania	74	<b>9.</b>	<b>WYPEŁNIANIE MOKRĄ GLINĄ KONSTRUKCJI SZKIELETOWYCH</b>	<b>103</b>
5.4	Proces wytwarzania	76	9.1	Wiadomości ogólne	103
5.5	Obróbka wilgotnej glinobitki	77	9.2	Obrzucanie gliną	103
5.6	Nowe sposoby budowania ścian	77	9.3	Technika natryskowa	104
5.6.1	Sposób elementowy	77	9.4	Technika napętniania gliną	104
5.6.2	Metody zmechanizowane	78	9.5	Nawinięte tyczki i „butelki gliniane”	105
5.6.3	Budownictwo o konstrukcji ramowej z wypełnieniem z gliny bitej	79	9.6	Konstrukcje ścian wypełniane gliną lekką	106
5.6.4	Konstrukcje ścian z deskowaniem traconym	80	9.7	Konstrukcje ścian wypełniane pasmami lub rękawami z gliną	106
5.7	Budowa kopuł z ubijanej gliny	80	<b>10.</b>	<b>UBIJANIE, WSYPYWANIE I POMPOWANIE GLINY LEKKIEJ</b>	<b>107</b>
5.8	Proces schnięcia	81	10.1	Wiadomości ogólne	107
5.9	Wskaźnik skurczu schnięcia	81	10.2	Systemy deskowań do budowy ścian z gliny lekkiej	107
5.10	Nakład czasu pracy	81			
5.11	Izolacja termiczna	81			
5.12	Obróbka powierzchni	81			
<b>6.</b>	<b>BUDOWANIE Z CEGIEŁ GLINIANYCH</b>	<b>82</b>			
6.1	Wiadomości ogólne	82			



10.3	Ściany ubijane z gliny lekkiej ze słomą .....	108	12.7.1	Ochrona przed deszczem .....	137
10.4	Ściany z ubijanej lub wsypywanej gliny lekkiej z drewnem .....	109	12.7.2	Ochrona przed nasiąkaniem .....	137
10.5	Ściany z gliny lekkiej z dodatkami mineralnymi wykonane przez ubijanie, wsypywanie i pompowanie .....	110	12.7.3	Ochrona przed wodą w pomieszczeniach .....	137
10.6	Gлина lekka z dodatkami mineralnymi, pompowana, do budowy posadzek i stropów .....	113			
10.7	Wypełnianie pustaków gliną .....	114			
10.8	Rękawy napętnione gliną .....	114			
<b>11.</b>	<b>TYNKI GLINIANE .....</b>	<b>118</b>	<b>13.</b>	<b>NAPRAWA ELEMENTÓW GLINIANYCH – REMONTY ZABYTKOWYCH BUDOWLI PRZY POMOCY GLINY. ....</b>	<b>138</b>
11.1	Wiadomości ogólne .....	118	13.1	Uwagi wstępne .....	138
11.2	Wstępne przygotowanie powierzchni .....	119	13.2	O powstawaniu uszkodzeń elementów glinianych .....	138
11.3	Skład zaprawy tynkarskiej .....	119	13.3	Naprawy spoin gliną .....	138
11.4	Reguły dotyczące tynkowania ścian z gliny .....	121	13.3.1	Wiadomości ogólne .....	138
11.5	Skurcze schnięcia .....	121	13.3.2	Materiał do spoinowania .....	138
11.6	Tynk natryskiwany z gliny lekkiej .....	121	13.3.3	Przygotowywanie spoin .....	139
11.7	Tynk z gliny lekkiej z keramzytem .....	122	13.3.4	Wypełnianie spoin .....	139
11.8	Tynk narzucany .....	122	13.4	Naprawa spoin bez użycia gliny .....	139
11.9	Tynkowanie ściany z beli słomianych .....	122	13.4.1	Wiadomości ogólne .....	139
11.10	Tynk gliniany jako warstwa ochronna przed pożarem ..	123	13.4.2	Materiały do spoinowania .....	139
11.11	Plastyczne kształtowanie przy pomocy tynku glinianego .....	123	13.5	Naprawy większych powierzchni .....	139
11.12	Ochrona krawędzi .....	123	13.5.1	Wiadomości ogólne .....	139
11.13	Stabilizowane gliniane tynki zewnętrzne .....	124	13.5.2	Naprawy przy pomocy gliny .....	139
11.14	Rozważania porównawcze o tynkach glinianych .....	126	13.5.3	Środki zwiększające przyczepność powłok malarskich ..	139
			13.6	Poprawa izolacyjności cieplnej przez stosowanie gliny lekkiej .....	140
<b>12.</b>	<b>OCHRONA POWIERZCHNI GLINIANYCH PRZED WPŁYWAMI ATMOSFERYCZNYMI .....</b>	<b>129</b>	13.6.1	Uwagi wstępne .....	140
12.1	Uwagi wstępne .....	129	13.6.2	Powody zwiększonego występowania wody kondensacyjnej .....	140
12.2	Zagęszczanie powierzchni .....	129	13.6.3	Sposoby izolacji cieplnej .....	140
12.3	Powłoki malarskie .....	129	13.6.4	Dodatkowa warstwa z gliny lekkiej .....	141
12.3.2	Gruntowanie .....	129			
12.3.3	Powłoki malarskie .....	129	<b>14.</b>	<b>ROZWIĄZANIA SZCZEGÓLNE .....</b>	<b>142</b>
12.3.4	Wpływ na dyfuzję pary wodnej .....	131	14.1	Przyłączenia .....	142
12.3.5	Wpływ na wskaźnik przenikania wody .....	132	14.2	Szczegółne konstrukcje ściennie .....	143
12.4	Hydrofobizacja .....	132	14.2.1	Ściany gliniane o dużej izolacyjności termicznej .....	143
12.4.1	Środki do hydrofobizacji .....	132	14.2.2	Ściany z wypełnionych gliną starych opon samochodowych .....	144
12.4.2	Nanoszenie środków hydrofobizujących .....	132	14.2.3	Rękawy z tkaniny wypełnione gliną .....	144
12.5	Tynki wapienne .....	133	14.3	Konstrukcje stropowe z gliną .....	145
12.5.1	Wiadomości ogólne .....	133	14.3.1	Tradycyjne konstrukcje stropowe .....	145
12.5.2	Przygotowanie powierzchni glinianych .....	133	14.3.2	Nowsze konstrukcje stropowe .....	146
12.5.3	Zbrojenie tynku .....	134	14.4	Posadzka z ubijanej gliny .....	147
12.5.4	Skład .....	134	14.4.1	Wiadomości ogólne .....	147
12.5.5	Nakładanie tynku .....	135	14.4.2	Tradycyjne posadzki gliniane .....	147
12.5.6	Wpływ na dyfuzję pary wodnej .....	135	14.4.3	Współczesne posadzki gliniane .....	148
12.6	Ostony/okładziny/warstwy zewnętrzne .....	136	14.5	Przezroczysta izolacja termiczna ściany glinianej kumulującej ciepło .....	151
12.7	Konstrukcyjne środki zaradcze .....	137	14.6	Dachy z gliny .....	151
			14.6.1	Wiadomości ogólne .....	151
			14.6.2	Tradycyjne konstrukcje dachowe .....	152
			14.6.3	Nowe rozwiązania pochytych dachów .....	152
			14.7	Sklepienia z cegieł glinianych .....	153

14.7.1	Wiadomości ogólne .....	153	15.15	Panafrkański instytut w Ouagadougou, Burkina Faso (Górna Wolta) .....	206
14.7.2	Geometria sklepień .....	154	15.16	Szkoła w Rudrapur, Bangladesz .....	208
14.7.3	Statyka konstrukcji kopuł .....	155	15.17	Biurowiec w Honowerze, Niemcy .....	210
14.7.4	Nubijskie konstrukcje kolebkowe .....	160	15.18	Biurowiec IIT w New Delhi .....	212
14.7.5	Afgańskie i perskie konstrukcje kopuł .....	162	15.19	Drukarnia w Pielach, Austria .....	214
14.7.6	Nubijskie konstrukcje kopuł .....	163	15.20	Hala wielofunkcyjna w Picada Cafe, Brazylia .....	216
14.7.7	Kopuły o kształcie zgodnym z liniami ciśnienia .....	165	15.21	Kaplica Pojednania w Berlinie .....	218
14.7.8	Konstrukcje kopuł z użyciem deskowania .....	166	15.22	Kaplica przy Centralnej Klinice w Suhl, Austria .....	220
14.7.9	Wzmacnianie kopuł glinianych przez wypalanie od wewnątrz .....	168	15.23	Meczet w Wabern, Niemcy .....	222
14.7.10	Przykłady nowoczesnych budowli z kopułami .....	168			
14.8	Gliniana ściana kumulująca ciepło w ogrodzie zimowym .....	169	<b>16.</b>	<b>WSKAZÓWKI DOTYCZĄCE PLANOWANIA I REALIZACJI BUDOWLI Z GLINY .....</b>	<b>223</b>
14.9	Łazienka z gliny .....	170	16.1	Uwagi wstępne .....	223
14.10	Meble wbudowane wykonane z gliny .....	172	16.2	Przepisy, zezwolenia .....	223
14.11	Umywarka z gliny .....	173	16.3	Izolacja termiczna .....	224
14.12	Piece i trzony kuchenne z gliny .....	174	16.4	Tworzenie się wody kondensacyjnej .....	224
14.12.1	Wiadomości ogólne .....	174	16.5	Ochrona przeciwpożarowa .....	225
14.12.2	Oszczędny, gliniany trzon kuchenny dla krajów Trzeciego Świata .....	174	16.6	Izolacja dźwiękowa .....	225
14.12.3	Piec z elementem trzonu kuchennego oraz zabudowaną ławką i miejscem do spania .....	176	16.7	Organizacja i przebieg budowy .....	225
14.12.4	Piec do wypieku chleba i pizzy .....	177	<b>17.</b>	<b>PERSPEKTYWY .....</b>	<b>226</b>
14.12.5	Piec z paleniskiem bezrusztowym obłożony gliną .....	177	17.1	Trend w kierunku gliny – brak fachowców .....	226
14.13	Ogrzewanie w ścianach z gliny .....	178	17.2	Budownictwo z gliny – zapotrzebowanie rynkowe .....	226
14.14	Uszczelnianie stawów gliną .....	178	17.3	Jakie techniki budowania z gliny mają przyszłość? .....	226
14.14.1	Wiadomości ogólne .....	178	<b>18.</b>	<b>WSKAZÓWKI DOTYCZĄCE LITERATURY .....</b>	<b>228</b>
14.14.2	Uszczelnienie z ubitej gliny .....	179	18.1	Cytowana i stosowana literatura .....	228
14.14.3	Układanie wilgotnych prefabrykatów glinianych .....	179	18.1.1	Polskojęzyczne źródła proponowane przez redakcję polskiego wydania .....	230
14.14.4	Uszczelnienia przy użyciu włókniny nasączonej gliną .....	179	18.2	Zalecane albumy o budownictwie z gliny .....	230
<b>15.</b>	<b>NOWE BUDOWLE Z GLINY .....</b>	<b>180</b>	<b>19.</b>	<b>ADRESY FIRM .....</b>	<b>230</b>
	Uwagi wstępne .....	180	19.1	Producenci artykułów glinianych .....	230
15.1	Budynek mieszkalny w La Paz, Boliwia .....	181	19.2	Producenci maszyn i urządzeń .....	231
15.2	Budynek mieszkalny w Turku, Finlandia .....	182	19.3	Piece z gliny .....	231
15.3	Budynek mieszkalny w Des Montes, Nowy Meksyk, USA .....	184	19.4	Organizatorzy kursów budowania z gliny .....	231
15.4	Dom mieszkalny w Taos, USA .....	186	<b>20.</b>	<b>AUTORZY FOTOGRAFII .....</b>	<b>231</b>
15.5	Budynek mieszkalny w Tucson, Arizona, USA .....	187	<b>O AUTORZE .....</b>	<b>232</b>	
15.6	Dom farmerski w Wazipur, Haryana, Indie .....	188			
15.7	Budynek mieszkalny w Rosdorf, Niemcy .....	190			
15.8	Budynek mieszkalno-biurowy w Kassel .....	192			
15.9	Budynek mieszkalny w Bad Schussenried, Niemcy .....	195			
15.10	Dom trzyrodzinny w Stein am Rhein, Szwajcaria .....	196			
15.11	Grupa budynków ekologicznych „Soliterra” w Mühlacker-Enzberg, Niemcy .....	198			
15.12	Centrum młodzieżowe, Berlin-Spandau, Niemcy .....	200			
15.13	Przedszkole w Wennigsen- Sorsum, Niemcy .....	202			
15.14	Szkoła w Järna-Solvig, Szwecja .....	205			

## SŁOWO OD WYDAWCY

Z budowaniem z gliny jako ideą spotkałem się pierwszy raz na studiach w kierunku architektura i urbanistyka na Politechnice Łódzkiej. Nie odnajdując w programie humanistycznych wartości, których podświadomie poszukiwałem już na trzecim semestrze, przeżywałem kryzys poważnie rozważając rzucenie studiów. Matka przekonała mnie bym dał sobie czas i wziął urlop dziekański, co też uczyniłem. To wtedy wyszperałem w sieci informacje o tym, że budowanie z gliny jest możliwe i ma sens. Wspominam to dzisiaj jako moment odzyskania nadziei, powrotu motywacji do kontynuacji życia studenta. Od tamtej chwili jednak wszystko było inne. Zobaczyłem ogromną wartość w tworzeniu architektury, która może być dla człowieka prawdziwym gniazdem, a poprzez prostotę i dostępność dawać mu oprócz schronienia również wolność.

Większość moich nauczycieli nie traktowała poważnie materiałów w których się zakochałem - gliny, słomy, kamienia, drewna. Krążyła wtedy nawet taka anegdota, że budowanie z gliny to "budowanie z mchu i paproci". W takich okolicznościach zrodził się mój bunt i ogromna siła woli by je zmienić poprzez działania edukacyjne i projektowe.

Kilka lat później miałem przyjemność zbudować swój pierwszy obiekt, tynkować, doświadczać elastyczności i przyjaznej natury tych materiałów. Podręcznik, który trzymasz w rękach to most łączący ogień entuzjazmu z rzetelną naukową wiedzą, brakujące ogniwo, które pomoże dziedzinie budownictwa naturalnego stać się obszarem o potencjale profesjonalnym. Dzieło prof. Minke to kluczowa publikacja o której mówi się, że w każdym kraju w którym się pojawia rozpoczyna lawinowe zainteresowanie budowaniem naturalnym.

Korzystając z okazji chcę podziękować osobom, które wierzyły w sens moich studenckich zainteresowań wspierając je oraz stwarzając możliwości rozwoju, kłaniam się nisko moim mentorom dr. inż. hab. Dariuszowi Heimowi oraz inż. Ryszardowi Bugno.

Paweł Sroczyński,  
Wydawnictwo Fundacji Cohabitat

## O SERII "BIBLIOTEKA DESIGN/BUILD"

Biblioteka Design/Build to seria w której publikowane są kluczowe dzieła światowej literatury technicznej dotyczące zagadnień architektury naturalnej. Dedykowana wszystkim, którzy chcą rozumieć materiały z których projektują i budują. Seria ta to ewolucyjny krok w rozwoju tradycji, gdzie nowoczesne metody badawcze pomagają przyjąć najbardziej optymalne adaptacje technik znanych od tysięcy lat.

# PRZEDMOWA DO WYDANIA POLSKIEGO

## O glinie, niezwykłych zwrotach w twórczości Gernota Minke i o nowym duchu architektury naturalnej

Niewypalana glina — jeden z najbardziej powszechnych materiałów budowlanych — jest też o dziwo jednym z najmniej znanych wśród współczesnych architektów czy budowniczych. Ta zwykła glina, po której często chodzimy, którą wykopujemy spod stóp, której pokłady znajdują się na znacznej części Polski — ta „zwykła” glina — może być doskonałym materiałem przewyższającym jakością kupne produkty. Może służyć jako materiał nośny, wypełnieniowy, tynk zewnętrzny i wewnętrzny, posadzka, sufit, a nawet dachówka. Można z niej budować ściany nośne i działowe, kopuły, stropy. To materiał, który, jeśli dobrze zastosowany, sam umie regulować wilgotność i dbać o klimat wewnątrz lepiej niż wyrefinowana mechaniczna klimatyzacja. By tak się stało i by budowa z gliny stała się sukcesem, potrzebna jest jednak wiedza i zrozumienie tego materiału. Glina ma swoje tajemnice i wcale nie jest takim prostym materiałem, jak by się wielu zdawało. Stąd prace jak ta są szczególnie dziś potrzebne, by odkryć coś, co wydawało się tak powszechne. A warto. Glina ma walory zdrowotne, estetyczne, pozwala na niezależność, na budowanie samemu, a w skali globalnej w zasadniczy sposób zmniejsza uzależnienie budownictwa od energochłonnych procesów i paliw nieodnawialnych. Rewolucja technologiczna, która ma przynieść powszechne zmiany, niekoniecznie musi pochodzić z nowych modnych gadżetów. O ileż bardziej przełomowym stałby się moment, w którym zdamy sobie sprawę, że już jesteśmy w posiadaniu skarbów — wystarczy tylko wyciągnąć rękę...

Od wielu lat książka ta była przygotowywana i oczekiwana na polskim rynku. To bodaj najważniejsza i najbardziej solidna praca o stosowaniu niewypalanej gliny w budownictwie: historii, właściwościach, technikach i przykładach. Oryginalny tytuł tej książki brzmi „*Lehmbau Handbuch: Baustoffkunde, Techniken, Lehmarchitektur*”, czyli „*Podręcznik budowania z gliny: materiały, techniki, architektura gliniana*”. Jest to praca dla budowniczych, architektów, miłośników budowania z materiałów naturalnych, dla laików i naukowców. Jest ona podsumowaniem kilkudziesięciu lat badań i doświadczeń jednego z wyjątkowych niemieckich badaczy i architektów — profesora Gernota Minke.

Spotkałem go kilkakrotnie i za każdym robił niezwykle wrażenie kogoś z wielką wiedzą i wielkim sercem. Mimo swej specjalizacji i ogromnej technicznej wiedzy udało mu się uniknąć pułapki wielu naukowców — nie stracił z pola widzenia

humanistycznego i ekologicznego kontekstu i celu techniki. Jest osobą, która lubi być wśród ludzi, lubi tańczyć i żartować, ale lubi też solidnie pracować, odkrywać i dzielić się swą wiedzą. Jest architektem, który lubi być na placu budowy. Jest eksperymentatorem i naukowcem, który zawsze łączył swoją teoretyczną pracę z praktyką. Wartość tej książki zbudowana jest na tym połączeniu.

Życie i kariera Gernota Minke może być symbolem fascynujących zmian, jakie nastąpiły i następują w kulturze i architekturze w przeciągu ostatniego półwiecza. Studiował on na przełomie lat 50. i 60., gdy świat otrząsał się z upiornej wojennej przeszłości i zaczynał wierzyć, że przyszłość może być pokojowa, lekka, komfortowa i sensowna. Jeszcze w czasie studiów nawiązał kontakt i zaczął pracować w biurze słynnego wówczas Freia Otto, który na europejskim gruncie rozwijał architekturę — jak się wówczas wydawało — najbardziej przyszłościową i futurystyczną. W biurze Otto opracowywano konstrukcje lekkie, cięgnowe, pneumatyczne, membranowe i oczywiście krzyk ówczesnej architektonicznej mody — tensegrity, czyli struktury stabilizujące elementy rozciągane i ściskane, które popularyzował ówczesny amerykański architektoniczny celebryta — Buckminster Fuller. Nikt nie miał wątpliwości, że to do tych lekkich konstrukcji należy przyszłość. Minke po studiach przez cztery lata pracował u boku Freia Otto w czasie tworzenia wizjonerskich budowli dla EXPO w Monterealu w 1967 r. Jako młody architekt Minke miał okazję być świadkiem spotkania Fullera i Otto, którzy omawiali projekty i modele opracowane właśnie przez Minke. Wspomina on, jak nie mogli się zgodzić. Otto preferował krzywoliniowe konstrukcje membranowe, Fuller sztywne konstrukcje z przestrzennych kratownic. Obydwaj zgadzali się jednak, że przyszłość architektury będzie polegać na lekkości. Fuller zastąpił nawet ze sloganu: „powiedz mi ile waży twój budynek, a powiem ci ile jest wart”. Było to motto, które zakwestionować miała przyszła twórczość Minke. Po odejściu z pracowni Freia Otto jeszcze przez parę lat projektował pneumatyczne pompowane baseny i dachy, krzywoliniowe membrany. Zaczął wtedy też karierę akademicką. Coraz częściej jednak wątpił w fullerowską doktrynę mierzenia architektury wagą. „Oczywiście, że oszczędność materiału i związany z tym ciężar może być jednym z aspektów, który trzeba brać pod uwagę” — mówił mi w czasie jednej z rozmów — „Architektura to jednak znacznie bardziej złożony



proces i nie można jej aż tak spłaszczać. Realny świat bywa znacznie bardziej skomplikowany, w czasie tworzenia projektów i budynków powstają inne istotne pytania dotyczące kosztów, wykonania, energooszczędności i eksploatacji, wykonalności, montażu czy społecznego kontekstu architektury. Wszystkie te czynniki muszą być zbalansowane. Waga to tylko jeden wymiar w wielowymiarowym świecie architektury. Może się okazać, że ciężki budynek jest dużo wartościowy”.

Przełomowy moment przyszedł dla Minke w połowie lat 70. Będąc już wtedy profesorem i szefem Instytutu Badań Eksperymentalnych na Uniwersytecie w Kassel zdobył fundusz na projekt badawczy nad zastosowaniem tanich i recyklingowanych materiałów. Zaangażował się też jednocześnie w kilka projektów w środkowej Ameryce. „Czy był taki moment, w którym zapadła decyzja, że warto odejść od badań nad lekkimi konstrukcjami, które wyglądały tak przyszłościowo, i zwrócić się ku badaniom gliny, która kojarzy się z archaicznością?” — pytałem go, chcąc zrozumieć niezwykłą transformację jego twórczości. Usłyszałem wtedy historię, która sięgała jego pracy w Ekwadorze: „Miałem okazję widzieć i badać tamtejsze budownictwo. Proste, które przy tym było powszechne. Było rzeczywistością tysięcy ludzi w Centralnej Ameryce, a jednocześnie miało sporo ewidentnych budowlanych błędów. Defekty te można by łatwo poprawić znając zasady konstrukcji, mechaniki i fizyki budowli. Stało się dla mnie wówczas jasne, że jako architekt, mając wiedzę konstrukcyjną i budowlaną, mogę zaproponować kilka prostych rozwiązań, które mogą zostać łatwo i powszechnie zastosowane oraz bardzo wpłynąć na życie wielu ludzi. Nagle doszło do mnie, że prosta architektura, jeśli ją uszlachetnić i ulepszyć, będzie miała większe znaczenie dla ludzi niż dalsze rozwijanie eksperymentów z lekkimi konstrukcjami. Im więcej badałem to budownictwo z gliny i materiałów naturalnych, tym bardziej zdawałem sobie sprawę, jak wiele jest do zrobienia dla architektów i jak wielu ludzi mogłoby z tego skorzystać.” Potem zaczęło się okazywać, że niewypalana glina to materiał wyśmienity nie tylko dla Ekwadoru, ale i przemysłowo rozwiniętych krajów, jak Niemcy. Od tego czasu Uniwersytet w Kassel dzięki profesorowi Minke stał się światowym centrum badań nad zastosowaniem niewypalanej gliny w budownictwie. Idea ponownego odkrycia glinianych technik spadła tu na podatny grunt. Niemiecka tradycja budowlana już od XIX wieku mogła się pochwalić stosunkowo bogatą historią i bibliografią, badaniami i nawet normami budowlanymi, które w latach 70. XX wieku nie były co prawda stosowane, ale tylko czekały na ponowne odkrycie, uaktualnienie i dostosowanie do nowych realiów.

Trzeba zdać sobie sprawę, że przez ostatnie stulecie, w którym w budownictwie niepodzielnie panował wychwalany beton, wiedza o niewypalanej glinie została w dużej mierze zapomniana. Mało kto inwestował czas i intelekt, by ją rozwijać. Pozornie wydawać by się mogło, że ponieważ historycznie glinę stosowano wcześniej, a beton później, zatem ten drugi jest wyższym poziomem rozwoju budownictwa. Z dzisiejszej perspektywy wiemy już, że prawda okazała się znacznie ciekawsza. Nie da się tak prosto przetłumaczyć darwinowskiej logiki na historię architektury, która miała też drugą stronę medalu. Przez miniony wiek inwestowano w rozwój badań nad materiałami energochłonnymi i syntetycznymi, ponieważ zapewniały one dochód firmom i koncernom, w przeciwieństwie do rozwoju tanich technik i materiałów naturalnych. Chociaż taki rozwój może być korzystny dla użytkowników, ciężko go jednak przekuć na dochód. Stąd stuletnie zaniedbania w badaniach i stosowaniu tego materiału. Ta wiedza w latach 70. nie była jednak tak oczywista, jak dziś — gdy popularyzuje się coraz więcej materiałów glinianych. Już pierwsze badania Minke pokazały, jak wiele jest w tej dziedzinie do zrobienia. Głównymi problemami tego materiału nie są właściwości gliny, lecz raczej mity, zabobony, a przede wszystkim brak solidnej wiedzy. Minke musiał zmagać się z uprzedzeniami. Naukowe, obiektywne podejście uznał za najrozsądniejszą postawę, a wiedza zawarta w niniejszej książce jest jej pokłosiem.

Osobowość profesora Minke, jego determinacja i nowa pozycja na Uniwersytecie w Kassel otwierały nowe drzwi. Rozpoczęcie badań budownictwa z gliny umożliwiło wsparcie ze strony Niemieckiego Stowarzyszenia Badawczego przy takich projektach, jak „Rozwój prostych technologii przy wznoszeniu obiektów Low-Cost z odpadów, materiałów odpadowych i tanich” (1975–83), „Rozwój prostych technologii przy wznoszeniu obiektów z gliny” (1981–83). Nowe, dotychczas niewyznaczone parametry fizyczno-budowlane i statyczne dotyczące materiałów glinianych uzyskano przede wszystkim dzięki wsparciu Ministerstwa Badań i Technologii z Bonn i projektowi „Glina w budownictwie szkieletowym drewnianym” (1990–93), finansowanemu przez Unię Europejską projektowi „Produkty z niewypalanej gliny” (1999–2001) oraz szeregowi innych eksperymentów i badań, które Minke przeprowadzał z niemalejącym zapałem.

Minke zawsze był badaczem, który czuł, że naukowiec powinien czasem ubrudzić sobie ręce i wierzył, że modele, praktyczne doświadczenia są najważniejszym elementem badań architekta-naukowca. Przysnaję, że czuł się szczęśliwym dzięki temu, że przy Uniwersytecie w Kassel udało mu się założyć jedyne bodaj na świecie tego rodzaju „Laboratorium Budowli Eksperymentalnych”. Tam też organizował

warsztaty, a co ważniejsze, miał możliwość bez nadmiernej biurokracji i zezwoleń budować eksperymentalne konstrukcje gliniane — kopuły, dachy, piece, posadzki i różne typy ścian. Minke jako architekt stał się jednocześnie autorem wielu budynków jednorodzinnych i publicznych w Niemczech, Indiach, Rosji, Boliwii i wielu innych miejscach na świecie. Przyznaje, że lubi, gdy każdy z obiektów jest trochę eksperymentem i choć trochę rozszerza horyzont wiedzy o budownictwie. Kilka z nich opisanych jest w ostatnim rozdziale tej książki.

Minke stał się jedną z głównych postaci renesansu architektury glinianej w latach 80. i 90. Wtedy to w różnych ośrodkach na świecie zaczyna się ponownie odkrywać zdrowotne, termiczne, estetyczne i praktyczne walory niewypalanej gliny. W 1979 powstaje prężny francuski ośrodek Craterre. W 1989 założono w USA Cob Cottage Company, gdzie także wprowadzono poprawki do prawa budowlanego, zezwalając na budowę z niewypalanej gliny. Z nowym zastosowaniem gliny w budownictwie zaczęto eksperymentować w Północnej Ameryce, w Australii i innych krajach. Powstały od tego czasu różne opracowania, które nie były jednak często wolne od nieścisłości lub też bywały dość powierzchowne. W tej pracy Gernot Minke postawił sobie za zadanie stworzenie solidnego i kompleksowego podręcznika, który byłby wiarygodny, bo oparty na rygorystycznych badaniach. Jeśli to konieczne, praca ta odnosi się do innych popularnych pozycji na ten temat i koryguje ich nieścisłości. W trosce o rzetelność informacji praca ta była wielokrotnie uaktualniana.

Za swoje walory została wyróżniona nagrodą „Lesen für Umwelt” za wkład w rozwój wiedzy o eko-budownictwie. Została przetłumaczona na 10 języków i doczekała się 8 wydań. Niniejsze polskie wydanie jest tłumaczeniem najnowszego ósmego wydania niemieckiego, pomniejszonego jedynie o krótki rozdział dotyczący budowania na terenach sejsmicznych, które, jak doszliśmy do wniosku, nie dotyczą budownictwa w kraju nad Wisłą.

W Polsce tego typu książki stają się dziś szczególnie ważne. Wzrostowi zainteresowania architekturą przyjazną środowisku towarzyszy niezwykła posucha dotycząca wiedzy. Niestety zbyt często zdarza się, że publiczne dyskusje na temat ekologicznego budownictwa osiągają żenująco niski poziom właśnie z powodu braku wiedzy i nieznamośności faktów, co wynika bezpośrednio z braku literatury, na której można się oprzeć.

Istnieje jaskrawa dysproporcja pomiędzy publikacjami prezentującymi celebrycką architekturę high-tech, a literaturą dotyczącą materiałów naturalnych oraz solidnej i inspirującej, przyjaznej środowisku architektury low-tech. Ten stan nie odzwierciedla wyzwań, które stawia nam współczesny świat.

W przeciwieństwie do literatury niemiecko-, hiszpańsko- czy anglojęzycznej, a nawet publikacji w języku czeskim czy portugalskim, w naszym kraju wiedza o budownictwie low-tech z materiałów nieprzetworzonych i naturalnych opiera się często na rozproszonych, incydentalnych i niezwerifikowanych informacjach.

Niemniej zmiany we współczesnej Polsce mogą napawać optymizmem i można wierzyć, że niniejsza książka wpisze się w tego nowego ducha, który jest coraz bardziej odczuwalny. Z jednej strony główny nurt budownictwa i sami producenci coraz bardziej doceniają wartości naturalnych materiałów. Z drugiej, coraz bardziej widoczna jest nowa energia obecna w powstających grupach i organizacjach zajmujących się budownictwem proekologicznym, w przyjaznym środowisku i nowej wizji społeczeństwa, w której samodzielne budowanie z materiałów naturalnych może odegrać istotną rolę. Skorzystają z tej pracy również ci, których sercu bliska jest wartość dziedzictwa narodowego tkwiącego w historycznym budownictwie na Pomorzu, Wielkopolsce i Dolnym Śląsku czy w północno-wschodniej Polsce.

Jesteśmy świadkami ważnych i pozytywnych zmian. Optymizmu dodają prężne oddolne ruchy. W dużej mierze to właśnie dzięki staraniom i przedsiębiorczości ludzi skupionych wokół Grupy Cohabitat praca ta może się ukazać. Wdzięczność za wydanie tej książki należy się przede wszystkim ludziom z tego środowiska: Pawłowi Sroczyńskiemu, Bartkowi Splawskiemu i Piotrowi Kochankowi. Podziękowania szczególne należą się też tłumaczowi Zygmuntovi Bielińskiemu za to, jak szczerze poświęcił się tej pracy. Jego wiedza techniczna i językowa oraz rzetelność stały się cennym atutem tego wydania. Wspomnieć należy tu o Andrzeju Żwawie, który jeszcze we wczesnym etapie powstawania tego tłumaczenia bardzo życzliwie wspierał ten projekt.

Można wierzyć, że praca ta umocni współczesny okres oświecenia w architekturze mądrej i przyjaznej środowisku, że pozwoli na inteligentną debatę na temat architektury naturalnej, że — co ważne — przyczyni się do stworzenia mostów pomiędzy środowiskiem naukowym, przemysłowcami a miłośnikami, którzy w ostatnich latach dosłownie własnymi rękoma zdołali już stworzyć pierwszą falę polskiej architektury naturalnej.

Marcin Mateusz Kołakowski

# UWAGI WSTĘPNE

## Zadanie i cel książki

Zadaniem książki jest przedstawienie możliwości technologicznego wykorzystania gliny jako materiału budowlanego. Jest ona adresowana do wszystkich tych, którzy chcą zdobyć, jak również pogłębić posiadaną już wiedzę na temat tej technologii, a także do inwestorów zainteresowanych budownictwem z gliny.

Celem niniejszego opracowania jest przybliżenie, wartych poznania, specyficznych właściwości fizycznych gliny oraz pokazanie, na podstawie przykładów, różnorodności form budowy z tego materiału.

Nawet jeżeli książka jest próbą spisania zaleceń i zademonstrowania metod budowania z gliny, zdają sobie sprawę, że żaden podręcznik nie zastąpi własnych doświadczeń zastosowania tego materiału w praktyce. Gлина występuje jako związek tysiąca różnych składników i dlatego zawsze wymaga przed użyciem innego przygotowania. Wszystkie zebrane tu dane, wiadomości i doświadczenia mogą posłużyć uczestnikom procesu budowania za punkt wyjścia i być wskazówką podczas przeprowadzania własnego testu oraz służyć pomocą przy uwzględnieniu warunków zastanych w miejscu budowy.

W tej książce zawarto wszystkie dotychczas opublikowane dane i doświadczenia dotyczące budownictwa z gliny. Zostały one uzupełnione wynikami badań zebranymi od 1978 roku w Laboratorium Budownictwa Eksperymentalnego Uniwersytetu w Kassel a dotyczącymi tej dziedziny architektury. Ta książka to też efekt 30 projektów przeprowadzonych w ramach badań, 30 letniego doświadczenia autora przy projektowaniu i realizacji ponad 60 budowli z gliny w kraju i za granicą.

## Zawartość książki

Zawartość książki opiera się na jej pierwszym wydaniu z 1994 roku oraz szóstym, rozszerzonym z 2004 roku. Ponieważ w międzyczasie pojawiły się kolejne wyniki badań w dziedzinie budownictwa z gliny, nowe materiały na rynku oraz nowe, interesujące obiekty, uznano za konieczne aby zamiast kolejnego wydania opracować książkę na nowo i w nowej formie wydać. Rozdział dotyczący budowania obiektów z gliny na terenach zagrożonych trzęsieniem ziemi został pominięty. Temat ten jest omówiony na stronie internetowej [www.gernotminke.de](http://www.gernotminke.de), w części pt. „Publikationen”.

## Podziękowania

Moje podziękowanie należy się wszystkim, którzy współdziałali przy planowaniu, realizacji i analizie projektów badawczych w kraju i za granicą i w ten sposób, choć nie bezpośrednio, przyczynili się do powstania tej książki. Spośród tych wielu osób tylko niektórych mogę tu wymienić:

Moje podziękowanie należy się przede wszystkim moim współpracownikom i współpracownikom z Uniwersytetu w Kassel. Są to m.in.: H.G. Merz, Ilrich Merz, Klaus Eckart, Ulla Lustig-Rössler, Karin Mukerji, Ulrich Boemans, Uwe Jaensch, Dittmar Hecken, Alexander Fischer, Arno Reich-Siggemann oraz Friedemann Mahlke, którzy to poprzez współpracę, krytykę i inspirację stale wspierali moje działania. Dziękuję także Frankowi Milliesowi, który poprzez twórcze i energiczne podejście do dzieła, pomagał przy tworzeniu lub sam stworzył wiele obiektów doświadczalnych, aparatów kontrolnych, wzorców, deskowań i urządzeń budowlanych. Chciałbym także podziękować wielu studentom, którzy pomagali albo jako adepci sztuki budowania, albo też praktykanci w laboratorium i w moim biurze projektów. Dziękuję też koleżankom i kolegom, którzy pomagali mi przy realizacji obiektów w Gwatemali, Ekwadorze, Boliwii, Chile, na Węgrzech i w Indiach.

Przy pracy pomagały także Hiltrud Lünders i Petra Zink, piszące teksty; Pawan Kumar i Anke Lubenow pomocni przy większości rysunków; Ulrich Boemans, Uwe Jaensch, Sigrid Köster i Friedmann Mahlke przygotowujący grafiki komputerowe oraz Heinz Ladener z wydawnictwa „Ökobuch Verlag” odpowiedzialny za layout i wydanie tej książki (dot. wersji niemieckiej – przyp. red.).

Kassel, styczeń 2009

Gernot Minke

# 1. WPROWADZENIE

## 1.1 Gлина, materiał budowlany przeszłości i przyszłości

Prawie we wszystkich gorąco-suchych i umiarkowanych strefach klimatycznych glina była wiodącym materiałem budowlanym. Jeszcze dzisiaj prawie jedna trzecia ludzi mieszka w domach z gliny, a w krajach rozwijających się nawet więcej niż połowa. Zaspokojenie ogromnego głodu mieszkaniowego w krajach rozwijających się nie będzie jednak możliwe ani przy pomocy przemysłowych materiałów takich jak np.: cegła, beton, stal, ani też dzięki przemysłowym metodom budowania. Zresztą do tego brakuje na świecie mocy produkcyjnych i kapitałowych. Głód mieszkaniowy w tych krajach można zaspokoić jedynie przy zastosowaniu lokalnych materiałów i poprzez aktywizowanie własnej inicjatywy mieszkańców.

Glina, najważniejszy naturalny materiał budowlany, znajduje się w większości miejsc na Ziemi, a przy tym często wydobywana jest bezpośrednio na budowach, przy wykopach pod fundamenty czy piwnice.

Także w krajach uprzemysłowionych, tak beztrąsko obchodzących się z zasobami naturalnymi i trwoniących energię poprzez scentralizowaną, kapitał- i energochłonną gospodarkę, zaśmiecającą środowisko i niszczącą miejsca pracy, glina będzie tym materiałem, który przeżyje swoje odrodzenie. Coraz więcej ludzi budujących własne cztery ściany zwraca uwagę na energooszczędne i tanie budownictwo. Dla nich ważnym jest także zrównoważony klimat wewnątrz. Pojmują więc, że tak

naturalny materiał, jakim jest glina, ma znaczącą przewagę nad produktami przemysłu typu beton, cegła ceramiczna albo wapienno-piaskowa, a także beton komórkowy. Nowe wyniki badań naukowych potwierdziły subiektywne spostrzeżenie: glina może w znacznie większej mierze poprawić klimat wnętrza mieszkania niż inne materiały.

Doświadczenia z nowymi i starymi, poprawionymi technikami budowania z gliny pokazują, że jest ono opłacalne nie tylko dla budujących indywidualnie i samodzielnie, ale także dla firm stawiających domy oraz dla rzemieślników. O tych możliwościach, o podstawach teoretycznych i wiadomościach praktycznych, które są niezbędne do realizacji obiektów z gliny, będzie tutaj mowa.

1.2-2 WIELKI MECZET, MOPTI, MALI, ZBUDOWANY W R.1935



1.2-1 SPICHLERZE GROBOWCA RAMZESA II, GOURNA, EGIPCI, OK. 1200 P.N.E.







**1.2-3** MECZET, KASHAN, IRAN



**1.2-4** BAZAR, SEDJAN, IRAN

**1.2-5** BUDYNKI PLEMENIA HAKKA Z UBIJANEJ GLINY, PROWINCJA YONDING, CHINY PD.



## 1.2 O historii budownictwa z gliny

Różne techniki wznoszenia budowli z gliny są znane na świecie już od ponad 9000 lat:

W Turkiestanie odnaleziono prostokątne domy z gliny z okresu 8000-6000 p.n.e. (Pumpelly 1908), w Asyrii z kolei odkryto fundamenty ubijane z gliny, pochodzące z ok. 5000 roku przed Chrystusem. Gлина była używana we wszystkich starych kulturach nie tylko jako materiał do budowy domów, ale także do wznoszenia obiektów kultu i umocnień. Przykładowo Chiński Mur, zbudowany przed ok. 4000 laty, był pierwotnie tylko budowlą z ubijanej gliny i dopiero później oblicowano go kamieniami oraz cegłą, by stał się dzisiejszym „kamiennym murem”.

Rdzeń Piramidy Słońca zbudowanej w latach 300-900 n.e. w Teotihuacan w Meksyku stanowi około 2 milionów ton ubitej gliny. Zdjęcie 1.2-1 pokazuje wykonane z niewypalonych cegieł sklepienie grobowca Ramzesa II, który został wzniesiony koło Gourna w Egipcie przed ok. 3200 laty. Zdjęcia 1.2-2 i 1.2-3 przedstawiają meczety z Mali i z Iranu.

W suchym klimacie, gdzie drewna jako budulec praktycznie nie ma, powstały na przestrzeni wieków techniki pozwalające przykrywać budowle konstrukcją sklepiń z surowej gliny, bez użycia drewnianych belek. Interesujący przy tym jest fakt, że w większości stosowanych tu metod sklepienia powstawać mogą bez użycia deskowań.

Zdjęcie 1.2-4 przedstawia bazar w Sedjanie, którego kopuły zbudowano przy wykorzystaniu jednej z tych metod (patrz rozdział 14.7).

W Chinach mieszka ok. 20 milionów ludzi w podziemnych domach z gliny, a ściślej: w jaskiniach wygrzebanych w glinie lessowej. Także w Hiszpanii, w północnej Afryce i w Turcji istnieją podobne

jaskinie, tyle że powstałe w miękkich, wulkanicznych skałach jak tuf albo w piaskowych skałach osadowych.

W południowochińskiej prowincji Yonding istnieją do dzisiaj domy (już ponad 300-letnie) z ubijanej gliny. Stoją na obrzeżu kolistego lub kwadratowego podwórza, mają 3-4 kondygnacje i stanowią schronienie dla ok. 600 mieszkańców niewielkiego plemienia Hakka (por. 1.2-5).

To, że w Niemczech już przed tysiącami lat glina była materiałem wypełniającym dla ścian o konstrukcji palisadowej i plecionej, zostało wielokrotnie potwierdzone znaleziskami z epoki brązu. Udowodniono również, że w murach obronnych Heunenburga, w okręgu Sigmaringen (IV wiek p.n.e.) wbudowano cegły gliniane, przypuszczalnie za sprawą greckich budowniczych (Dehn 1964). Zdjęcie 1.2-6 pokazuje rekonstrukcję części tego muru z niewypalanej cegły.

Z opisów Pliniusza Starszego wiemy z kolei, że ubijaną glinę jako materiał do budowy umocnień obronnych stosowano w Hiszpanii już co najmniej pod koniec I wieku p.n.e. Tacyt opisuje domy Saksończyków, które „nie z kamieni ani z cegieł powstają, ale z ziemi” (Raw 1597).

Prawdopodobnie z IX lub X wieku pochodzi mały dom w Weimarze o kamiennych fundamentach i ścianach z ubitej gliny (Donat 1980, str. 184). Nie jest jednak pewne, czy jest to rzeczywiście budowla z ubijanej gliny, czy też chodzi tu raczej o „lepiankę”. (Lepianka jest budowlą podobnie wzniesioną jak budynek z gliny łączonej ze słomą, z tą różnicą, że mury są stawiane bez deskowania, por. rozdz. 8.2). Z tego samego czasu pochodzi mur z ubitej gliny w Altenburgu koło Merseburga, Niemcy (Behm-Blanke 1954, str. 115 i kolejne).

W średniowieczu gliny używano w Niemczech przede wszystkim do wypełniania szkieletu i tynkowania ścian

szachulcowych, a także jako warstwy chroniącej przed pożarem dachy budynków krytych słomą. Na zdjęciu 1.2-7 widać spichlerz z pocz. XVI wieku, który stoi do dziś w skansenie Cloppenburg. Interesujące w tym budynku jest to, że pod słomianym dachem znajduje się drugi gliniany, służący jako ochrona przeciwpożarowa spichlerza. Strzecha jest więc warstwą chroniącą dach gliniany przed wpływami atmosferycznymi. Na Śląsku, w Turynii i Czechach już od średniowiecza budowa lepianek była szeroko rozpowszechniona. W Saksonii z uwagi na brak drewna zwrócono już dość wcześnie uwagę na możliwości, jakie dawało budowanie z gliny, np. w rozporządzeniu o lasach i drewnie z 8 września 1560 i w „Generalnym mianowaniu urzędników leśnych z 20 maja 1575”. W roku 1736 ukazała się odezwa, przypuszczalnie pierwsza prywatna, nawołująca do budowania z litej gliny. Anonimowy autor proponuje dom całkowicie ognioodporny, zwieńczony sklepieniem. Zaleca też przykrycie dachu ziemią po to, aby tę powierzchnię wykorzystać jak ogród (Güntzel 1986, str. 44 i kolejne).

Z roku 1592 pochodził zbudowany w formie lepianki wiejski dom gospodarstwa rodu Metze w Dothen w Turynii, który zburzono w roku 1959, po ponad 350 latach istnienia (Güntzel 1986, str. 50). W Saksonii istnieją do dzisiaj zamieszkałe domy z gliny, których ściany zbudowano jako lepianki. Jeden z najstarszych stoi w Großgrimma w Saksonii-Anhalt przy Dofstr. 12. Dendrochronologicznie datuje się jego powstanie na rok 1658 (Ziegert 2000). Zdjęcie 1.2-8 pokazuje jedną z najstarszych, zamieszkałych, dwukondygnacyjnych lepianek, która zbudowana została w 1768 roku w Gottscheina (na północnym wschodzie od Lipska).

Najważniejszy bodziec inspirujący budownictwo z gliny w Niemczech przyszedł w końcu XVIII wieku, kiedy to



1.2-6 REKONSTRUKCJA ŚCIANY Z CEGIEŁ GLINIANYCH, VI WIEK P.N.E., HEUNEBURG, NIEMCY



1.2-7 SPICHLERZ, SKANSEN CLOPPENBURG, OK. 1525

1.2-8 DOM MIESZKALNY W GOTTSCHINA, 1768, LEPIANKA Z GLINY







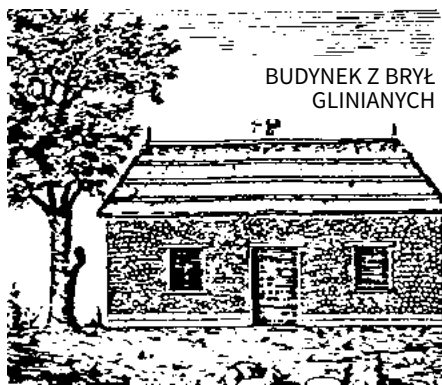
BUDYNEK Z UBIJANEJ GLINY



BUDYNEK SZKIELETOWY DREWNIANY Z GLINĄ



BUDYNEK Z CEGŁY GLINIANEJ



BUDYNEK Z BRYŁ GLINIANYCH

1.2-9 WĘGIERSKIE TECHNIKI WZNOSZENIA BUDYNKÓW GLINIANYCH Z XVIII WIEKU, (GRISELINI 1780)

dzięki pismom Cointeraux znane stało się francuskie budownictwo z ubijanej gliny. Francois Cointeraux napisał w latach 1790 i 1791 cztery zeszyty pod tytułem „L'ecole d'Architecture rurale, oublecons, par lesquelles on apprenda soi-meme a batir solidement les mo-

1.2-10 BUDYNEK Z UBITEJ GLINY NORDEST. 1, MELDORF, 1975



isons de plusieurs etages avec la terre seule”, które to już w 1793 roku zostały opublikowane po niemiecku (Cointeraux, 1793). Cointeraux opisał przede wszystkim powszechnie stosowane w okolicach Lyonu metody budowania z ubijanej gliny („terre pise”). Znał on budynki, które powstały jeszcze przed 1600 rokiem (Lasius 1797, str. 169).

Budownictwo z ubijanej gliny było we Francji bardzo rozpowszechnione (Raulin 1984). Jeszcze dzisiaj istnieją zamieszkane od ponad 300 lat budynki, jak np. zamek hrabiów Montbiant w dolinie Saone koło Lyonu (Schneider 1985, str. 17 i następna). W Dolomieux koło Lyonu ponad 90% stojących dzisiaj domów zostało zbudowanych tradycyjną metodą ubijania gliny.

David Gilly, który w 1787 roku jeszcze propagował lepianki (Gilly 1787), opisał w swoim dziele z 1787 r. pt. „Podręcznik sztuki budownictwa wiejskiego” metodę ubijania gliny jako najkorzystniejszą

spośród wszystkich technik budowania z gliny i przyczynił się w ten sposób znacząco do jej rozpowszechnienia, zwłaszcza, że jego książka między latami 1797 i 1836 doczekała się sześciu wydań, także w innych krajach Europy.

Cointereaux i Gilly jednak przypuszczalnie nie wiedzieli, że ta technika znana była już od dawna na Węgrzech, a prawdopodobnie stosowano ją wcześniej także w Saksonii i Turyngii (Grise lini 1780, Schimscha 1939, Günzel 1986, str. 377 i kolejne). Jeśli mówimy o obiektach w Saksonii i Turyngii, to należy zaznaczyć, że nie udowodniono jednoznacznie, czy budowano tam metodą ubijania, czy też lepienia, ponieważ niektórzy badacze nie rozróżniali obydwu technik. Rysunek 1.2-9 przedstawia cztery udokumentowane przez Griseliniego węgierskie metody budownictwa: z ubijanej gliny, o drewnianej konstrukcji szkieletowej wypełnionej gliną, z cegły glinianej oraz z brył glinianych. Najstarszy, jeszcze do dziś zamieszany niemiecki dom z ubijanej gliny powstał w 1795 roku i stoi w Meldorf przy Nordderstr. 1 w Szlezwiku-Holsztynie (zdjęcie 1.2-10). Inwestor, dyrektor straży pożarnej Boeckmann, mógł w ten sposób udowodnić, że glina jako materiał budowlany jest bezpieczniejsza i bardziej ekonomiczna niż stosowana wówczas najczęściej drewniana konstrukcja szkieletowa wypełniana gliną.

Najwyższy w Europie środkowej budynek z litej gliny stoi przy Hainalalle 1 w miejscowości Weilburg an der Lahn. Jego budowę rozpoczęto w roku 1825 i zakończono 3 lata później (zdjęcie 1.2-11). Pięciokondygnacyjną ścianą frontową z ubitej gliny postawiono na murze piwnicznym z łamanego kamienia. Ma ona u dołu ok. 75 cm grubości i co kondygnację jest od 5 do 10 cm cieńsza, a na najwyższym piętrze ma już tylko 40 cm. W Weilburgu skutek intensywnych prac badawczych odkryto

w ostatnich latach jeszcze 42 zamieszkałe domy o ścianach z ubitej gliny (Strieder 1982, Minke 1985, Schick 1987). Wielu mieszkańców nie miało nawet pojęcia, że mieszkają w glinianych domach. Najstarszy z budynków powstał w 1796 r., najnowsze ok. 1830. Zdjęcie 1.2-12 przedstawia fasady domów z ubitej gliny, pochodzących z tamtych czasów i stojących do dzisiaj przy Bahnhofstr. w Weilburgu.

Zarówno po pierwszej, jak i po drugiej wojnie światowej, kiedy to brakowało materiałów i pieniędzy, przypomniano sobie znowu o glinie jako budulcu, a ogólnie dostępne kopalnie gliny, które istniały w ubiegłym stuleciu prawie we wszystkich gminach, zaczęto ponownie eksploatować. W latach 1919 do 1922 powstały w Niemczech nie tylko tysiące budynków (Güntzel 1986, str. 156), ale również cały szereg osiedli z gliny. Przykładem niech będzie choćby to istniejące do dnia dzisiejszego w Badenermoor koło Achim (zdjęcie 1.2-13) oraz inne w Moisling, dzielnicy Lubecki. Te powojenne budowle o „ubogim” charakterze nie były jednak szczególnie dobrą reklamą dla gliny jako materiału budowlanego.

W 1950 roku istniało jeszcze w RFN siedemnaście urzędowych ośrodków kontroli gliny (por. DIN 18951, str. 2). Po roku 1950, przez kolejnych 30 lat nie zbudowano tą metodą prawie żadnego nowego domu. Norma DIN 18951 ze stycznia 1951, która jako „Przepisy dot. budownictwa z gliny” praktycznie obowiązywała już od roku 1944, została w 1971 r. wycofana bez zastąpienia jej inną, podobnie zresztą jak pozostałe normy i przepisy, które zajmowały się gliną i jej przetwarzaniem (por. rozdz. 15.2). (Pozostałe dane dotyczące historii budownictwa z gliny patrz Güntzel 1986).

Podczas gdy w XVIII i XIX wieku budowanie z gliny propagowano w Niem-

zech głównie po to, by zapobiec rabunkowej gospodarce leśnej, tak po pierwszej wojnie światowej czyniono to, aby zmniejszyć zużycie węgla potrzebnego do produkcji energii. Po drugiej wojnie światowej widziało w tym rodzaju budownictwa przede wszystkim oszczędność materiału i pieniędzy. Natomiast od mniej więcej 1980 roku dzięki wzbudzonej świadomości ekologicznej istnieje w Niemczech nowa siła napędowa dla budownictwa z gliny: możliwość zmniejszenia zanieczyszczenia środowiska przy budowaniu oraz uzyskanie zdrowego klimatu we wnętrzach obiektów wzniesionych z gliny.

### 1.3 Istotne wiadomości o glinie jako materiale budowlanym

W porównaniu do powszechnie stosowanych i produkowanych przemysłowo materiałów, glina ma trzy wady:

#### Glina nie jest materiałem normowanym

Glina jest mieszaniną ilitu, mułku (pyłu piaszczystego) oraz piasku, który zawiera także pospółkę, żwir i kamienie. Glina wydobywana w różnych miejscach ma różne właściwości i dlatego, zależnie od obróbki, powinna mieć niejednolite proporcje składników. Aby ocenić jej właściwości, jest więc konieczne poznanie jej komponentów po to, by móc zmienić jej skład, gdy zachodzi taka potrzeba.

#### Glina kurczy się podczas schnięcia

Przez odparowanie wody zarobowej, która jest konieczna do wymieszania i zaktywizowania lepkości gliny, zmniejsza się jej objętość. Powstają pęknięcia na skutek wysychania oraz rysy skurczowe. Wyznaczony liniowo skurcz jednostkowy – tj. miara oddająca zmniejszenie się pryzmatycznej



1.2-11 BUDYNEK Z UBITEJ GLINY HAINALLEE 1, WELBURG, 1828



1.2-12 FASADY BUDYNKÓW Z UBIJANEJ GLINY BAHNHOFSTR., WELBURG, OK. 1830

1.2-13 „OSIEDLE DOMÓW GLINIANYCH” („LEHMHAUS-SIEDLUNG”), LUBEKA-SCHLUTUP





próbki podczas schnięcia – wynosi przy metodzie „mokrej” 3-12%, a przy ubijaniu 0,4-2%. Skurcz można znacznie zredukować przez zmniejszenie ilości dodawanej wody albo też iltu oraz poprzez optymalizację uziarnienia.

### **Glina nie jest wodoodporna**

Dlatego też należy glinę chronić przed deszczem i mrozem, szczególnie gdy jest wilgotna. Trwałą ochronę ścian przed działaniem wilgoci mogą zapewnić jedynie środki konstrukcyjne (okap, cokół chroniący przed bryzgami, izolacja pozioma odcinająca nasiąkanie), jak również zabezpieczenie powierzchni – powłoki malarskie, impregnacja wodoodporna, tynki (por. rozdz. 4.3 i 12).

Tym trzem wadom gliny jako budulca można przeciwstawić jej znaczące zalety.

### **Glina reguluje wilgotność powietrza**

Glina potrafi dość szybko wchłaniać wilgoć i ją w razie potrzeby oddawać. Reguluje więc wilgotność powietrza w pomieszczeniu, wpływając na zdrowy klimat wnętrza. Badania przeprowadzone przez Laboratorium Budownictwa Eksperymentalnego Uniwersytetu w Kassel (FEB) wskazują, że suszone cegły potrafią wchłonać w ciągu dwóch dni ok. 30 razy więcej wody niż cegły wypalane (podczas wzrostu względnej wilgotności powietrza z 50 do 80%). Cegły gliniane osiągają maksymalną wilgotność 5 do 7% przy 95% wilgotności powietrza w pomieszczeniu po 30-60 dniach („stopień równowagi”). Także sześciomiesięczne składowanie w komorze klimatyzacyjnej przy 95% względnej wilgotności powietrza nie powoduje ich zmiękczenia (tak staje się dopiero, gdy nasycenie wodą osiąga poziom 11-15%). Pomiar dokonany w czasie 5 lat w pewnym budynku w Kassel (ściany z cegieł glinianych, z wałków i z lekkiej gliny) wykazały, że względna wilgotność

w pomieszczeniach pozostawała niemal stała przez cały rok. Wynosiła średnio 50%, przy (jedyń!) 5% wahaaniach. Taka stała wilgotność wytwarza szczególnie przyjemny, zdrowy klimat wnętrza. Nie pozwala np. na wysychanie błon śluzowych, redukuje powstawanie kurzu i w ten sposób działa zapobiegawczo przeciw przeziębieniom (więcej na ten temat w rozdz. 1.4).

### **Glina magazynuje ciepło**

Glina, podobnie jak inne ciężkie materiały budowlane, magazynuje ciepło i przyczynia się w ten sposób do poprawy klimatu mieszkania, a przy pasywnym wykorzystaniu słońca jako źródła energii, do znaczącego jej oszczędzania.

### **Glina oszczędza energię i zmniejsza zanieczyszczenie środowiska**

Glina, w przeciwieństwie do innych materiałów budowlanych, potrzebuje podczas przygotowania i przerabiania bardzo mało energii, powodując tym samym znikome zanieczyszczenie środowiska. Potrzebuje tylko ok. 1% energii niezbędnej do produkcji tej samej ilości cegły wypalanej albo betonu (por. rozdz. 2.10).

### **Gliny można zawsze ponownie użyć**

Niewypaloną, surową glinę można zawsze i wszędzie ponownie zastosować. Wystarczy ją jedynie rozdrobnić i zmoczyć wodą, a znowu uzyskamy budulec. W odróżnieniu od innych materiałów, glina nigdy nie zaśmieca środowiska jako gruz.

### **Glina jest oszczędna jako materiał budowlany i obniża koszty transportu**

W trakcie realizacji większości inwestycji budowlanych w Europie środkowej w trakcie wykopów pod fundamenty i piwnice natrafia się na glinę. Kiedy nie zawiera ona za wiele iltu i kamieni, można jej w takim naturalnym stanie

użyć jako budulca przy zastosowaniu większości znanych technik. Jeżeli zawiera za dużo iltu, wystarczy ją „odchudzić”, mieszając z piaskiem. Ponieważ przy wykonywaniu wykopów odpada transport urobku, można tu mówić o oszczędzaniu zarówno kapitału, jak i środowiska. Gdy z kolei na budowie brakuje gliny, to można ją najczęściej tanio nabyć w pobliskiej cegielni. W piaskowniach i żwirowniach glina jest produktem odpadowym przy płukaniu tych surowców. Należy jednak pamiętać, że taka glina zawiera zazwyczaj ekstremalnie dużo pyłu piaszczystego.

### **Glina nadaje się do budowania przez każdego**

Budować domy z gliny mogą zazwyczaj nawet laicy, jeżeli pokieruje nimi fachowiec. Ponieważ tradycyjne techniki z jednej strony wymagają minimalnej ilości narzędzi, a z drugiej są dość pracochłonne, nadają się idealnie do stosowania przez osoby, które same chcą zbudować dom.

### **Glina konserwuje drewno**

Drewno i inne materiały organiczne otoczone przez glinę dzięki równowadze jej wilgotności wynoszącej wagowo 0,4-6% (zależnie od zawartości iltu, jego rodzaju oraz wilgotności powietrza) zostają albo osuszone, albo też pozostają suche, co uodparnia je na zagrzybienia i ataki insektów. (Drewno posiada wilgotność właściwą do 8-12%. Szkodniki potrzebują w zasadzie co najmniej 14 do 18%, a grzyby więcej niż 20% wilgotności (Mähler 1978, str. 18). W ten sposób można mówić o konserwujących właściwościach gliny. Ponieważ słoma wykazuje szczególnie duże siły kapilarne, może się zdarzyć przy stosowaniu mieszanki lekkiej o gęstości mniejszej niż 500 kg/m<sup>3</sup>, że wchodząca w jej skład słoma przy powolnym schnięciu zbutwieje, por. rozdz. 10.3.

### Glina wiąże substancje szkodliwe

Często spotyka się opinię, że glina w pomieszczeniach absorbuje szkodliwe substancje. Zjawisko to jest jednak bardzo słabo zbadane. Według Ziegerta podczas analizy historycznego tynku z gliny w pomieszczeniu opalanym piecami w pewnym budynku z XVII wieku odkryto o wiele większą zawartość siarki niż w pozostałych pomieszczeniach. Tam siarki w tynku prawie nie było (Ziegert 2000). Zdolność absorpcji obcych substancji (np. tych szkodliwych) przez minerały ilitu wykorzystuje także przemysł w centrum badań jądrowych w Karlsruhe stosuje się metodę odzyskiwania fosforanów ze ścieków przy pomocy gliny o dużej zawartości ilitu. Fosforany osadzają się na minerałach ilitu i zostają w ten sposób pozyskiwane z wody. Zaletą tego systemu jest to, że nie trzeba dodawać do wody żadnych pozostałości w niej obcych substancji. Odzyskany fosfor w postaci suchego fosforanu wapnia wykorzystywany jest potem do produkcji nawozów. W dzielnicy Berlina, Ruhleben wybudowano pokazową oczyszczalnię ścieków, gdzie tą metodą oczyszcza się codzienne 600 m<sup>3</sup> wody.

### Glina zatrzymuje promieniowanie o wysokiej częstotliwości

Glina stanowi o wiele lepsze zabezpieczenie przed promieniowaniem o wysokiej częstotliwości (występujące np. przy telefonii komórkowej, UMTS i GPS) niż inne, lite materiały ściennie. Podczas gdy typowe dachówki ceramiczne albo cementowe minimalnie izolują promieniowanie, sklepienia gliniane grubości 24 cm zatrzymują go od 99,9 do 99,9999% (por. rozdz.2.9).

## 1.4 Poprawa klimatu wewnątrz przez glinę

### 1.4.1 Wprowadzenie

Przeciętnie 90% czasu spędzamy w pomieszczeniach. Dlatego klimat, jaki w nich panuje, decydująco wpływa na nasze zdrowie i usposobienie. Dobre samopoczucie w pomieszczeniach zależne jest od następujących właściwości fizycznych:

- temperatura powietrza,
- temperatura powierzchni ograniczających wewnątrz,
- ruchy powietrza,
- zawartość wilgoci w powietrzu,
- zanieczyszczenie kurzem i gazami.

Każdy mieszkaniec natychmiast czuje, kiedy temperatura w pomieszczeniu jest za wysoka czy za niska albo gdy powietrze porusza się za prędko. Będzie też starał się to zmienić tak, by czuć się lepiej. Negatywne skutki za małej lub za dużej wilgotności są jednak tak samo mało znane, jak zwyczajne sposoby, które ją regulują.

Ponieważ wilgotność powietrza w tak znacznym stopniu wpływa na zdrowie mieszkańców, a glina jak żaden inny materiał ma zdolności jej regulowania, obydwa te aspekty będą omówione szerzej.

### 1.4.2 Wpływ wilgotności powietrza na zdrowie człowieka

Jest sprawą powszechnie znaną, że względna wilgotność powietrza poniżej 40% może prowadzić do wyschnięcia błony śluzowej, a tym samym do zwiększonego ryzyka zachorowań w wyniku przeziębienia. Suche powietrze wpływa na funkcję czyszczącą ścian tchawicy: tam komórki nabłonka rzęskowego poprzez ruchy faliste powodują, że wydalany przez gruczoły zawieszony śluz, na którym znajdują się i cząsteczki

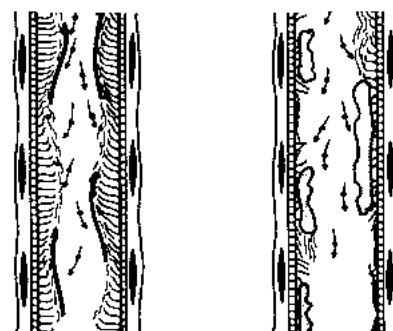
kurzu, i zarodki chorób, dostaje się do jamy ustnej. Kiedy tchawica jest wyschnięta, to śluz przestaje być lepki i skorupieje. Ponadto poprzerywana powierzchnia śluzu powoduje, że nabłonek rzęskowy przestaje odtransportowywać cząsteczki szkodliwe, por. rys. 1.4-1 (Grandjean 1972, Beckert 1986).

Duża względna wilgotność powietrza wpływa dodatkowo na przyjemny klimat pomieszczenia: zmniejsza zawartość drobnych cząsteczek kurzu, uaktywnia zdolności obronne skóry przed mikroorganizmami, zmniejsza żywotność wielu bakterii i wirusów, redukuje przykre zapachy oraz zapobiega naładowaniu elektrostatycznemu niektórych przedmiotów w pokoju.

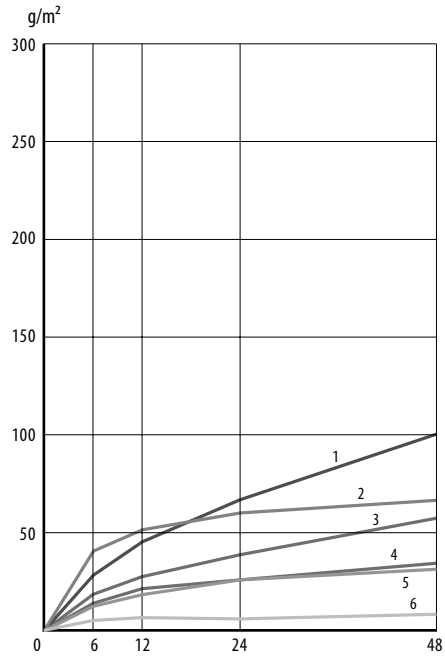
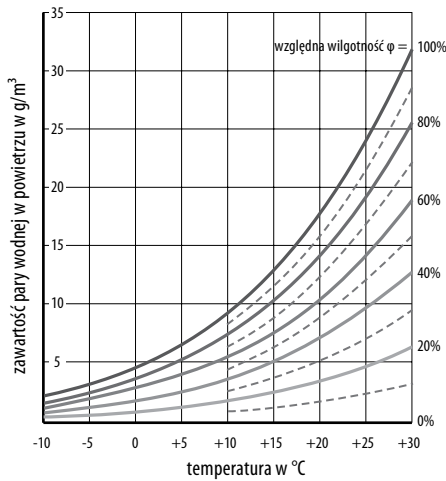
Wilgotność powietrza większa niż 70% jest jednak nieprzyjemna. Wynika to przypuszczalnie z mniejszej ilości tlenu absorbowanego wtedy przez krew. Powietrze wilgotne i zimne powoduje zwiększone dolegliwości reumatyczne. Niebezpieczne jest także to, że wilgotność przekraczająca 70% może powodować w pomieszczeniach zamkniętych tworzenie się bakterii pleśniowych, które wdychane w dużych ilościach mogą prowadzić do schorzeń i alergii.

Z tych powodów wilgotność w pomieszczeniach powinna wynosić ok. 50% (co najmniej 40 i nie więcej niż 70%).

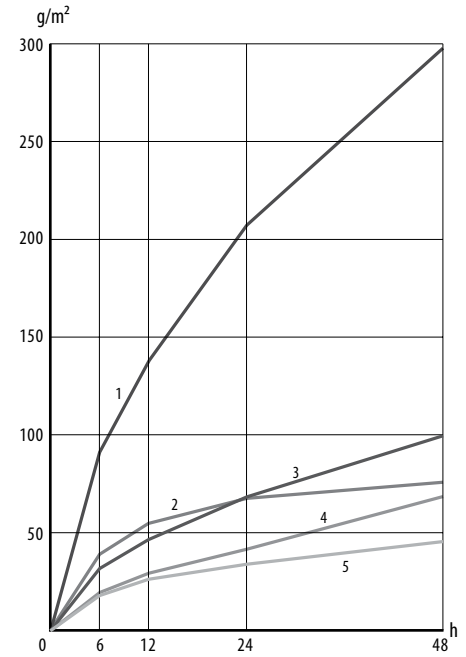
1.4-1 PRZEKRÓJ PRZEZ TCHAWICĘ ZDROWĄ ORAZ WYSCHNIĘTĄ Z ZESKORUPIAŁĄ WARSTWĄ ŚLUZU (BECKERT 1986)



**1.4-2 WYKRES CARRIERA: ZAWARTOŚĆ PARY WODNEJ W POWIETRZU W ZALEŻNOŚCI OD TEMPERATURY (LUTZ 1985)**

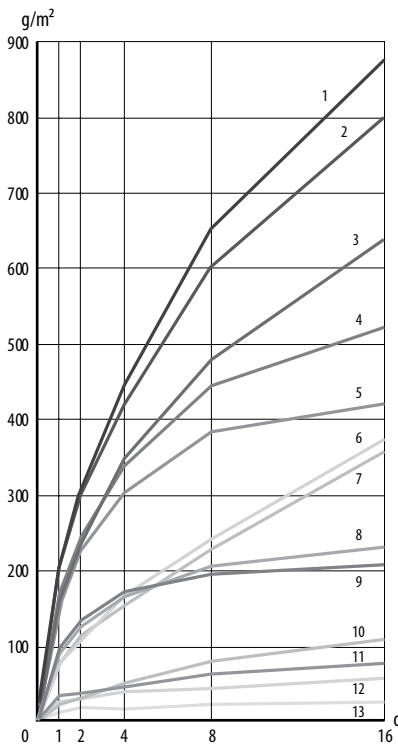


- |                           |                   |
|---------------------------|-------------------|
| 1 cegła wapienno-piaskowa | 4 cegła pełna     |
| 2 beton komórkowy         | 5 cegła lekka     |
| 3 beton B25               | 6 cegła wmurowana |



- |                         |                           |
|-------------------------|---------------------------|
| 1 glina ilasta          | 4 tynk wapienno-cementowy |
| 2 tynk gliniany, ilasty | 5 tynk gipsowy            |
| 3 świewk, heblowany     |                           |

**1.4-3 KRZYWE SORPCJI PRÓBEK GR. 15 CM, PRZY TEMP. 21°C I WZROŚCIE WILGOTNOŚCI W POMIESZCZENIU OD 50 DO 80%, W ZALEŻNOŚCI OD CZASU)**



- |                                  |                                  |
|----------------------------------|----------------------------------|
| 1 glina z pyłem piaskowym, p1800 | 8 beton komórkowy, p400          |
| 2 glina ilasta, p1900            | 9 glina lekka z keramzytem, p750 |
| 3 glina ze słomą, p1400          | 10 cegła kratówka, p1500         |
| 4 lekka glina ze słomą, p700     | 11 beton B15, p2200              |
| 5 lekka glina ze słomą, p550     | 12 cegła lekka, p800             |
| 6 sosna, p450                    | 13 cegła pełna, p1800            |
| 7 cegła wapienno-piaskowa, p2200 |                                  |

**1.4-4 KRZYWE SORPCJI ŚCIAN WEWNĘTRZNYCH GRUBOŚCI 11,5 CM PRZY TEMP. ZEWNĘTRZNEJ 21°C I DWUSTRONNYM WCHŁANIANIU WILGOCI Z 50 DO 80%**

### 1.4.3 Wpływ wietrzenia na wilgotność w pomieszczeniu

Zimą powietrze w pomieszczeniach wydaje się za suche. Niestudnie uznawane jest to za winę ogrzewania, ponieważ spowodowane jest niewłaściwym wietrzeniem. Dlatego warto tej sprawie poświęcić parę uwag.

Szczególnie w czasie wyżu atmosferycznego, kiedy temperatura zewnętrzna jest niska i powietrze suche, istnieje niebezpieczeństwo, że w zbyt długo wietrzonym pomieszczeniu będzie za sucho. Przeciętna względna wilgotność powietrza w Niemczech przy temp. +10°C wynosi na zewnątrz ok. 80%, przy temp. +20°C – ok. 75%. Najmniejsza wilgotność zimą przy -10°C wynosi ok. 60%.

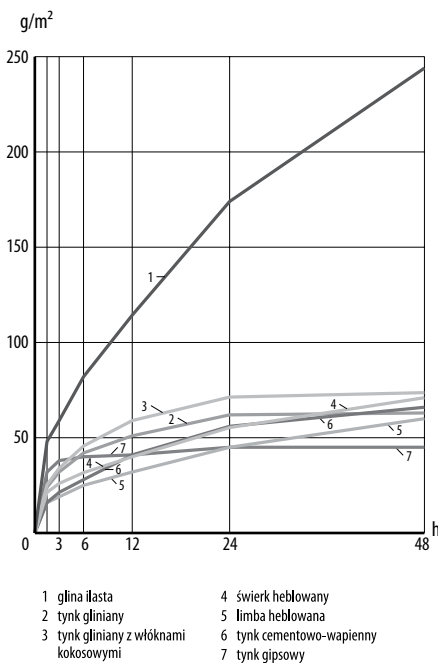
Ponieważ względna wilgotność powietrza spada przy jego podgrzewaniu, a zimą podczas wietrzenia do pokoju dostaje się powietrze zimne, to przy jego ociepleniu mocno obniża się wilgotność. Wykres 1.4-2 przedstawia zależność temperatury i wilgotności:

jeśli np. powietrze o temp. zewnętrznej 0°C i względnej wilgotności 60% albo odpowiednio -5°C i 80% podgrzeje się do +20°C, to wilgotność spada do wartości mniejszej niż 20%. W takim przypadku dla zachowania zdrowego klimatu powinna koniecznie i możliwie szybko zwiększyć się zawartość pary wodnej w powietrzu. Może to nastąpić np. poprzez oddanie wilgoci z wszelkich powierzchni pomieszczenia, mebli i innych przedmiotów oraz przebywających tam osób.

### 1.4.4 Regulacja wilgotności przez glinę. Pozytywny wpływ tego zjawiska na nasze zdrowie

Materiały porowate mają zdolność wchłaniania wilgoci z powietrza albo też jej oddawania i wpływają w ten sposób na równowagę klimatu w pomieszczeniu. Maksymalną ilość wody przyjmowaną z powietrza nazywamy „wilgotnością równowagi”. Zależy ona od wilgotności względnej i temperatury

otoczenia (wilgotność równowagi różnych materiałów przy różnej wilgotności powietrza i stałej temperaturze 21°C przedstawia wykres 2.4-3). To tak ważne działanie regulujące wilgotność zależy jednak nie tylko od maksymalnej zdolności wchłaniania, ale przede wszystkim od prędkości, z jaką materiał może ją absorbować lub wydalić. Przeprowadzone badanie w Laboratorium Eksperymentalnego Budownictwa (FEB) Uniwersytetu w Kassel pokazują np., że podczas nagłego wzrostu wilgotności w pomieszczeniu z 50 do 80% pierwsza (1,5 cm grubości) warstwa ściany glinianej wchłania 300 g wody/m<sup>2</sup>, podczas gdy (w tym samym przedziale czasowym) cegła wapienno-piaskowa i szalunek z drewna świerkowego tej samej grubości tylko 100 g/m<sup>2</sup>, tynki 26-76 g/m<sup>2</sup>, a cegła ceramiczna jedynie 10 do 30 g/m<sup>2</sup> (por. wykresy 1.4-3). Absorpcję wilgoci dwóch stron, nietynkowanych ścian grubości 11.5 cm wykonanych z różnych materiałów, mierzona w czasie 16 dni przedstawia wykres 1.4-4. Wyniki tych badań pokazują m. in., że



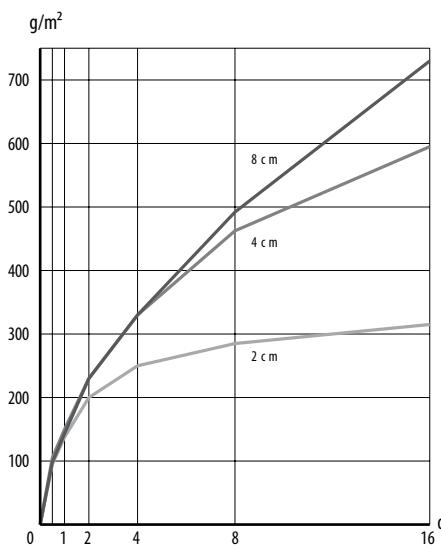
**1.4-5** KRZYWE SORPCJI PRÓBEK O GR. 15 MM PRZY TEMP. 21°C I PRZY WZROŚCIE WILGOTNOŚCI Z 30 DO 70%

cegły z gliny przy wzroście wilgotności z 50 do 80% po 16 dniach wchłonęły 8,3 razy więcej wody niż cegła kratówka i 30 razy więcej niż cegła ceramiczna pełna.

Dane dotyczące absorpcji przy zmianie względnej wilgotności powietrza z 30 do 70% przedstawia wykres 1.4-5, natomiast kolejny (1.4-6) pokazuje, że przy wzroście wilgotności z 50 do 80%, w czasie 24 godzin warstwa gliny gr. 2 cm wchłania tyle samo wody, co warstwa grubości 4 albo 8 cm. Oznacza to, że w czasie pierwszej doby tylko górne 2 cm absorbują wilgoć, a w czasie 4 dni – tylko warstwa pierwszych 4 cm.

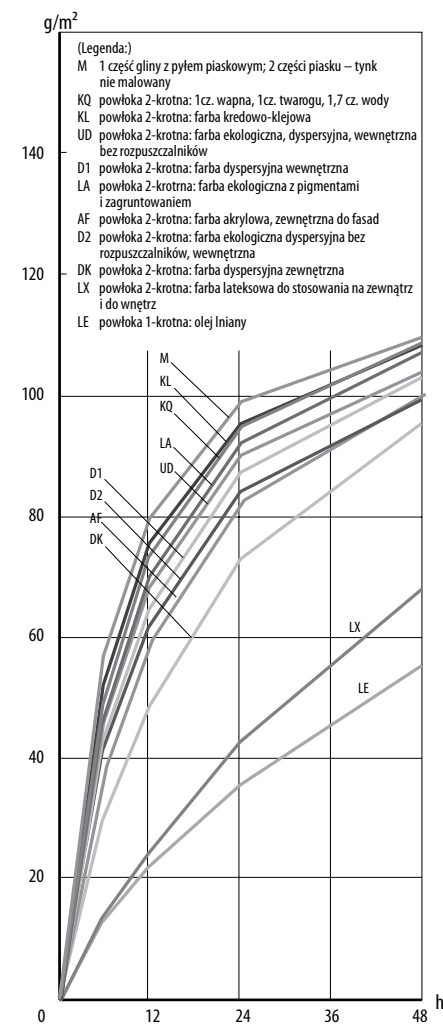
Jak dokładnie pokazuje wykres 1.4-7, powłoki z farb kredowych, klejowych i kazeinowych tylko nieznacznie wpływają na zmniejszenie absorpcji wody przez chudy tynk gliniany. Dyspersyjna farba z żywic sztucznych zmniejsza wchłanianie wilgoci po 2 dniach o 13%, a dwukrotne pokrycie farbą lateksową nawet o 50%.

Nietynkowane ściany z gliny w pomieszczeniu o wymiarach 3 \* 4 m, wysokości 2,5m i powierzchni ścian



**1.4-6** WPŁYW GRUBOŚCI TYNKU Z GLINY NA ABSORPCJĘ PARY WODNEJ PODCZAS WZROSTU WILGOTNOŚCI W POMIESZCZENIU Z 50 DO 80%

30 m<sup>2</sup> (licząc bez okien i drzwi) przy nagłym wzroście wilgotności z 50 do 80% w ciągu 48 godzin przyjęłyby więc bez znaczącego nawilgocenia ok. 9 litrów wody i oddałyby odpowiednio tę samą ilość, gdyby wilgotność wróciła znowu do wartości 50%. Te same ściany wykonane z cegły ceramicznej, czy to pełnej czy kratówki, mogłyby wchłonąć albo oddać w tym samym czasie tylko ok. 0,9 litra wody. Jeżeli nawet w warunkach naturalnych taki przyrost wilgotności nie jest typowy, to rachunek ten



**1.4-7** WPŁYW POWŁOK MALARSKICH NA WCHŁANIANIE WILGOCI NA PRZYKŁADZIE PRÓBEK TYNKU GLINIANEGO GR. 1,5 CM POKRYTYCH Z 5 STRON FARBAMI, PRZY WZROŚCIE WILGOTNOŚCI Z 50 DO 80%; POWŁOKI WYKONANO WG DIN 53778, GRUBOŚĆ WARSTW 100+-10 µm

uzmystawia, jak ogromne możliwości regulowania wilgotności posiada glina.

To, że przy pomocy ścian z gliny możliwa jest w całym mieszkaniu taka regulacja wilgotności, iż przez okrągły rok pozostaje ona na stałej, idealnej dla zdrowego samopoczucia wysokości 50%, pokazują wyniki badań w pewnym budynku w Kassel, wzniesionym z gliny w 1985 roku. Dokonywane w przeciągu 5 lat pomiary pokazują, że przeciętna wilgotność utrzymywała się na poziomie 50%, a wahania były w granicach 5%. W zimniej sypialni, gdzie panowała temperatura od +18 do +12°C, wilgotność wynosiła od 55 do 65%. W porównaniu z pokojami dziennymi ta relatywnie wysoka wilgotność była subiektywnie odczuwana jako optymalna dla sypialni i działała profilaktycznie przeciwprzeziębieniowo.

Kiedy wilgotność spadała poniżej 60%, otwierano po kąpeli drzwi do łazienki, aby ściany „naładowały się” parą wodną, którą potem oddawały pomieszczeniu.

Według Howiesona (2005) istnieje jednoznaczna zależność między astmą a zbyt suchym powietrzem w pomieszczeniach.

W jednym z przedszkoli, gdzie sklepienia wykonano z gliny, u dziecka chorego na astmę po trzech miesiącach zaobserwowano ustąpienie dolegliwości.

## 1.5 Uprzedzenia dotyczące gliny

Przesady odnoszące się do gliny jako materiału budowlanego są ciągle jeszcze nagminne i z reguły powszechne. Dla wielu ludzi jest niewyobrażalne, że natura dostarcza materiału, którego nie trzeba „uszlachetniać” i że np. urobek z wykopu pod fundamenty i piwnice nie musi być odtransportowany, tylko może służyć jako budulec.

Znacząca jest wypowiedź pewnego murarza, który miał za zadanie wymurować ścianę budynku z surowej, niewypalanej cegły: „Toż to jest jak w średniowieczu, teraz musimy jeszcze tylko ręce w takim g... umazać”. Ten sam murarz pokazuje po tygodniu z uśmiechem swoje ręce i mówi: „Proszę spojrzeć na te dłonie, widział pan już kiedyś tak gładkie u jakiegoś murarza? Taka robota sprawia naprawdę radość, tu nie ma ostrych kantów”.

Opinia mówiąca, że glina jest niehigienicznym materiałem budowlanym, bo myszy i robactwo się tam gnieźdzą, jest niesłuszna, jeżeli dotyczy litych, masywnych budowli. Rozszerzająca się w Ameryce Południowej choroba Chagasa, prowadząca niekiedy nawet do ślepoty, roznoszona jest przez insekty, które mieszkają w szczelinach glinianych murów tzw. „bahareque”. Gdyby jednak te

ściany wykonane były nie z obrzuconych gliną plecionek, ale z gliny ubijanej lub z surowych cegieł zamkniętych spoinami, insekty nie miałyby żadnej możliwości zagnieżdżenia się tam.

Podczas budowy lekkich ścian glinianych z dużą zawartością słomy tworzą się na ich powierzchni grzyby pleśniowe, które znikają dopiero gdy materiał wyschnie i pozostanie suchy. Przy gęstości mniejszej niż 700 kg/m<sup>3</sup> mogą w tych ścianach zagnieżdżyć się insekty, które odżywiają się słomą.

W ścianach o konstrukcji z litej gliny (cegła surowa, glina ubijana, wałki gliniane) albo z gliny lekkiej z dodatkami mineralnymi (keramzyt, szkło porowate, pumeks, lawa) te niebezpieczeństwa nie istnieją.

Powierzchnie ścian glinianych dla zwiększenia odporności na ścieranie pokrywane są farbami kazeinowymi, kazeinowo-wapiennymi albo innymi, dzięki czemu możliwe jest wycieranie ich na mokro – tak praktyczne w kuchniach i łazienkach.

W porównaniu z wykafelkowanymi ścianami łazienek, te z gliny są wręcz bardziej higieniczne, ponieważ same szybko redukują nadmierną wilgoć po kąpeli i zapobiegają w ten sposób tworzeniu się grzybów pleśniowych (por. rozdz. 14.9).



# 2. GLINA JAKO MATERIAŁ BUDOWLANY I JEJ WŁAŚCIWOŚCI

## 2.1 Skład

### 2.1.1 Wiadomości ogólne

Glina jest produktem wietrzenia skał. Wietrzenie nastąpiło przede wszystkim w wyniku mechanicznego niszczenia skał poprzez ruchy lodowców, działanie wody i wiatru, poprzez rozszerzanie i kurczenie termiczne, albo też w wyniku rozsadzającego działania marznącej wody. Także reakcje chemiczne, wywołane organicznymi kwasami (w obecności wody i tlenu), mogą powodować wietrzenie. Glina, w zależności od miejsca pochodzenia, ma różny skład i właściwości.

Glina górską albo glina zboczowa powstaje na zboczach gór w wyniku wietrzenia skał. Glina górską zawiera tym samym sporo małych i dużych odtamków skalnych i przy wystarczającej zawartości iltu nadaje się do konstrukcji ubijanych. Posiada wysoką wytrzymałość na ściskanie, a kiedy nie jest bardzo ilasta, nie kurczy się zbyt podczas wysychania.

Gliny, które powstały w części kontynentalnej Europy w czasie ruchu lodowców, nazywane są glinami zwałowymi. Zawierają zazwyczaj sporo wapnia; jeżeli jest go bardzo wiele, mówimy o marglu albo glinie marglistej, która z uwagi na niewielką siłę wiązania raczej nie nadaje się na materiał budowlany.

Gliny sptylowe to rodzaj zwałowych glin polodowcowych, które zostały przez wodę przemieszczone, spławione w inne miejsce.

Less, glina nawiana, to drobnoziarnista glina zawierająca wiele pyłku piaskowego, z małą zawartością iltu i niedużą

siłą wiązania. Powstała podczas burz piaskowych ostatniego okresu lodowcowego. Jest koloru żółtawego aż do brązowego i nie zawiera wapnia.

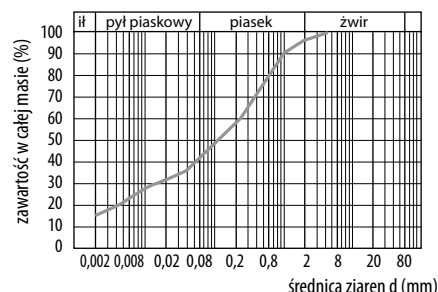
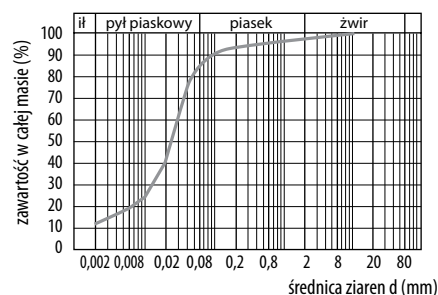
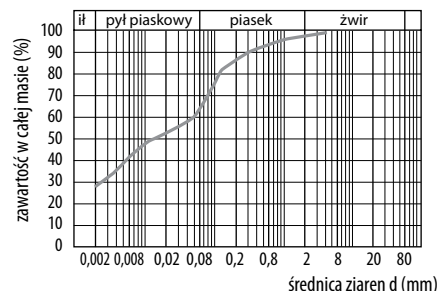
Glina łąkowa, zwana też namutem, tworzy się w dolinach rzek poprzez działanie osadów wody. Glina ta jest często zmieszana ze składnikami organicznymi.

Glina jest mieszaniną iltu, pyłu piaskowego i piasku, który z kolei może zawierać kamienie, kawałki skał i cząstki organiczne.

W budownictwie dzielimy składniki gliny w zależności od średnicy ich ziarna. Iltm określamy składniki o średnicy mniejszej od 0,002 mm, pyłem piaskowym od 0,002 do 0,06 mm, piaskiem od 0,06 do 2 mm, a żwir to części od 2 do 60 mm. Zawartość ziaren w glinie ilastej, w glinie o dużej zawartości pyłu piaskowego i w glinie mocno piaszczystej pokazano na wykresach 2.1-1.

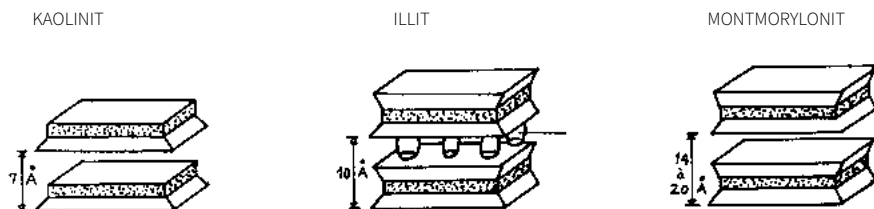
Środkiem wiążącym drobne cząsteczki w glinie jest ilt. Pył piaskowy, piasek i żwir są więc materiałem wypełniającym. W zależności od tego, który z tych komponentów przeważa, mówimy o glinie ilastej, pylastej albo piaszczystej. W geologii przy zawartości wagiowej komponentu mniejszej niż 15% używa się dodatkowego określenia „słaby”, przy większej niż 30% „mocny”. Przy zawartości komponentu mniejszej niż 5% nie używa się specjalnych oznaczeń.

Według tego podziału mocno pylasta, piaszczysta i słabo ilasta glina miałyby ponad 30% pyłu piaskowego, 15-30% piasku, mniej niż 15% iltu oraz mniej niż 5% żwiru. Takie określenia nie są jednak typowe dla budownictwa z gliny, bo np. glina z 14% zawartością iltu,



**2.1-1** KRZYWA ZAWARTOŚCI ZIARNA W GLINIE ILASTEJ (U GÓRY), W GLINIE O DUŻEJ ZAWARTOŚCI PYŁU PIAKOWEGO (WYKRES ŚRODKOWY) ORAZ W BARDZO PIAKOWATEJ GLINIE (NA DOLE)

**2.1.2 STRUKTURY TRZECH NAJPOSPOLITSZYCH MINERAŁÓW IŁU I ODSTĘPY MIĘDZY PŁYTKAMI (LAMELAMI), WEDŁUG HOUBENA, GUILLAUD 1984**



co w geologii byłoby nazwane „stąbą” mieszaną ilastą, już przy stosowaniu niejednej techniki budowania oznacza się jako za „tłustą”, czyli zbyt ilastą.

**2.1.2 Ił**

Ił jest produktem wietrzenia skalenia i innych minerałów z prastarych pokładów kamiennych. Skalenie składają się z tlenku glinu, z tlenku innego metalu oraz z kwasu krzemowego. Szeroko rozpowszechniony skałen potasowy, czyli krzemian aluminium-potasowy ma wzór chemiczny  $Al_2O_3 \cdot K_2O \cdot 6SiO_2$ . Gdy poprzez wietrzenie odłączają się związki potasu, powstaje „krzemowo-kwaśna ziemia ilasta”, rodzaj tlenku aluminium (tlenku glinu) połączony chemicznie z wodą ( $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ), który mineralogia określa mianem kaolinitu. Równie często występującym minerałem ilastym jest montmorylonit ( $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 2H_2O$ ). Kolejnym, choć rzadko spotykanym minerałem ilastym jest illit, por. rys. 2.1-2.

Obok wyżej wymienionych trzech najbardziej znanych minerałów istnieje jeszcze cały szereg iłów, które często nazywane są tak, jak ich miejsce pochodzenia. Wszystkie te minerały występują rzadko w postaci czystej. Mieszają

się one często z innymi związkami chemicznymi, szczególnie z hydratami tlenku żelazowego ( $Fe_2O_3 \cdot H_2O$ ) oraz z innymi związkami żelaza, które to nadają iłom odcień od żółtego do czerwonego. Związki manganu dają odcień brązowy, a związki wapnia i magnezu barwią iły na biało. Z kolei dodatek związków organicznych daje zabarwienie od brązowego do czarnego.

Woda chemicznie połączona z minerałami ilastymi, tzw. „woda krystalizacyjna”, uwalnia się przy temperaturze 400-900°C.

Minerały ilaste mają z reguły budowę sześciokątnych płytek krystalicznych. Płytki te składają się z kilku lameli. Lameli z kolei składają się z warstw, które z reguły powstają z jąder krzemu lub aluminium i w pierwszym przypadku otoczone są atomami tlenu, w drugim przez wodorotlenki (grupy OH). Warstwy z tlenku krzemu są naładowane ujemnie i dlatego mają zdolność wiązania jonowego (rys. 2.1-3).

Wiązanie jonowe w dwuwarstwowym mineralu kaolinitu jest stosunkowo niewielkie, ponieważ za każdym razem łączy się warstwa wodorotlenku aluminium z warstwą tlenku krzemu. Trójwarstwowy minerał montmorylonitu

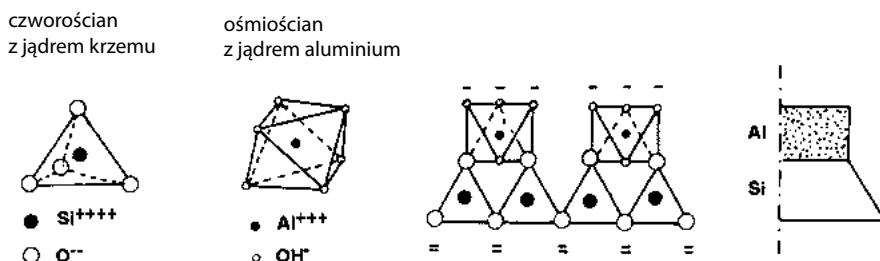
tworzy mocne wiązanie jonowe dzięki temu, że każda warstwa wodorotlenku aluminium ograniczona jest dwoma warstwami tlenku krzemu (por. rys. 2.1-2).

Illit jest także minerałem trójwarstwowym, z tym, że jony aluminium mogą być w nim zastąpione przez jony magnezu lub żelaza, a z kolei jony krzemu przez jony aluminium. Ładunki ujemne wyrównują często jony potasu, powodujące wiązanie między lamelami (por. rys. 2.1-2).

Najczęściej minerały ilaste posiadają wymienne kationy. Ich rodzaj i ilość ma decydujący wpływ na siłę wiązania, a poprzez nią także na wytrzymałość na zginanie i ściskanie na sucho (por. rozdział 2.6). Ogólnie można powiedzieć, że im cieńsze płytki kryształu, a tym samym im większa jest ich powierzchnia, tym większa jest zdolność wymiany kationów i wytrzymałość na zginanie na sucho.

**2.1.3 Pył piaskowy, piasek, żwir**

Pył piaskowy, piasek i żwir różnią się zasadniczo od iłu, nie wiążą żadnych innych cząsteczek i stanowią dodatki do środka wiążącego, jakim jest ił. Powstają one z pokruszonych skał,



**2.1.3 BUDOWA LAMELI KRYSZTAŁÓW IŁU Z CZĄSTECZEK TLENKU KRZEMU (WEDŁUG HOUBENA, GUILLAUD 1984)**

mają ostre krawędzie, szlifują się o siebie nawzajem w bieżącej wodzie, mają zaokrąglony kształt. Definiowane są na podstawie wielkości ziarna (DIN 4022) z podziałem na frakcje: grubą, średnią i drobną, por. rys. 2.1-4.

#### 2.1.4 Rozkład rozmiarów ziarna

Glinę można scharakteryzować na podstawie jej składników (ił, pyłki piaskowe, piasek i żwir) oraz ich zawartości. Pospolite rozróżnienie tych komponentów według DIN 18123 wyznacza tzw. krzywa zawartości ziarna, patrz rys. 2.1-1. Tutaj ilość składników gliny podana jest w procentach, a średnicę ziaren przedstawiono w skali logarytmicznej. Wykres górny dotyczy tłustej mieszanki gliny z relatywnie dużą ilością iłu (28%). Jest ona używana do produkcji cegły ceramicznej. Wykres środkowy charakteryzuje ił o dużej zawartości pyłu piaskowego (ok. 70%), typowy less występujący w dolinach rzek i kotlinach północnych i środkowych Niemiec. Dolny wykres dotyczy gliny piaszczystej, z zawartością piasku do 60%. Stosuje się ją do tynkowania.

Do klasyfikowania gliny używa się często tzw. siatki trójkątnej, w której zawartość iłu, pyłu i piasku stanowią odpowiednio boki trójkąta, por. 2.1-4. Przykładowo przedstawiona glina S III zawiera 22% iłu, 48% pyłu i 30% piasku.

Ustalenie zawartości ziarna zostanie omówione w rozdziale 2.2.2.

#### 2.1.5 Składniki organiczne

Ziemia gliniasta zawiera przeważnie do głębokości 40 cm komponenty roślinne oraz humus, będący produktem rozkładu cząstek roślin. Ma on głównie składniki koloidalne, jest bardzo kwaśny (pH < 6). Gлина budowlana nie powinna zawierać ani humusu, ani części roślinnych.

#### 2.1.6 Woda

Gлина łączy się z wodą. Rodzaj i ilość wody w glinie stanowi o jej właściwościach. Rozróżniamy następujące rodzaje wody: krystalizacyjna (woda strukturalna), absorpcyjna (wchłonięta) oraz porowata (kapilarna). Woda krystalizacyjna jest związkiem chemicznym i uwalnia się dopiero podczas procesu wypalania przy 400-900°C. Woda absorpcyjna wiąże się z minerałami gliny przez elektrycznie uwarunkowaną sorpcję. Jako porowatą określamy wodę, która poprzez siły kapilarne dostaje się do wypełnionych powietrzem porów w glinie.

Podczas zetknięcia się iłu z wodą wnika ona do blaszkowej mikrostruktury, co powoduje wzrost objętości, pęcznienie. Płytki kryształu zostają otoczone cienką powłoką wody i podczas ugniatania ślizgają się po sobie, przez co glina jest plastycznie urabialna.

Całkowite molekularne rozpuszczenie iłu w wodzie jest jednak niemożliwe. Minerale ilaste pozostają w wodzie w formie dużych zwałów molekuł (koloidów). Jest to widoczne jako jej zmętnienie. Podczas schnięcia gliny wyparowuje woda zarobowa, a płytki kryształowe iłu ciasno przylegają do siebie. Powstają siły spójności, które powodują wytrzymałość gliny na rozciąganie w stanie

plastycznym (siła wiązania) oraz wytrzymałość na ściskanie i zginanie w stanie suchym.

O zawartości wody w glinie decyduje woda porowata i absorpcyjna, która wydostaje się podczas podgrzewania do odpowiednio 105 lub 110°C.

#### 2.1.7 Porowatość

Porowatość gliny definiuje się przez objętość porów. Jako porowatość, względnie ilość porów  $n$  oznacza się objętość porów między stałymi cząstkami gliny ( $V_p$ ) w stosunku do objętości całkowitej ( $V$ ):

$$n = \frac{V_p}{V}$$

Pory w masie całkowicie suchej są wypełnione powietrzem. Natomiast kiedy są one w pełni wypełnione wodą, mówimy o stanie nasyconym.

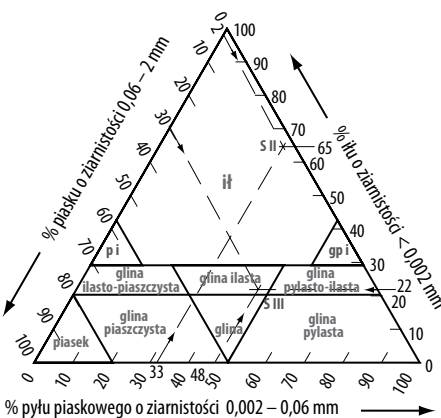
Liczbę porów  $e$  określa stosunek objętości porów do objętości materiałów stałych:

$$e = \frac{n}{1 - n}$$

Według Votha w glinie bardzo tłustej objętość porów waha się od 20 do 90%, przy czym pojedyncze pory są bardzo małe.

Ilość porów w różnych glinach jest bardzo trudna do określenia, ale dla oceny tego materiału budowlanego nie ma to zbyt wielkiego znaczenia. Istotne są za to wielkości i formy poszczególnych porów.

Skoro struktura porów w glinie ma decydujące znaczenie dla odporności na przenikanie pary wodnej, na sorpcję pary wodnej, na wchłanianie wody, a tym samym na mrozoodporność, staje się niemożliwe zamknięcie odpowiednimi parametrami analizy struktury porów. Z tego powodu nie będzie porowatość dalej omawiana.



2.1-4 SIATKA TRÓJKĄTNA PRZEDSTAWIAJĄCA ZAWARTOŚĆ IŁU, PYŁU PIASKOWEGO I PIASKU W GLINIE (VOTH 1978)

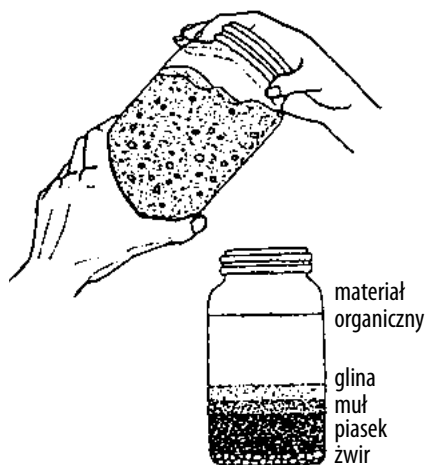
### 2.1.8 Powierzchnia właściwa

Jako powierzchnię właściwą oznacza się sumę powierzchni wszystkich części składowych i oznacza w  $\text{cm}^2/\text{g}$  lub w  $\text{m}^2/\text{g}$ . Piasek gruboziarnisty ma powierzchnię właściwą ok.  $23 \text{ cm}^2/\text{g}$ , pył piaskowy ok.  $450 \text{ cm}^2/\text{g}$ , it od  $10 \text{ m}^2/\text{g}$  (kaolinit) do  $1000 \text{ m}^2/\text{g}$  (montmorylonit).

Im większa powierzchnia właściwa ilitu, tym wyższa jest jego chemiczna aktywność podczas wymiany jonów oraz siła przyciągania wewnętrznego, która z kolei jest miarodajna dla siły wiązania oraz dla wytrzymałości na ściskanie, rozciąganie i zginanie w stanie suchym.

### 2.1.9 Gęstość

Przy określaniu gęstości c jakiegoś ciała bierze się pod uwagę jego masę w stosunku do objętości i pomija ewentualne puste przestrzenie. Gęstość podaje się w  $\text{kg}/\text{m}^3$ . Określenia „ciężar objętościowy” zamiast „gęstość” już się nie używa. Gruzelkowata glina o wilgotności gruntu ma gęstość od  $1000$  do  $1500 \text{ kg}/\text{m}^3$ , glina zagęszczona, sprasowana albo ubita od  $1700$  do  $2200 \text{ kg}/\text{m}^3$  (wartości te są odpowiednio wyższe, kiedy w jej skład wchodzi więcej piasku, żwiru



2.2-1 TEST SEDYMENTACYJNY WEDŁUG CRATERRE

i kamieni, po dodaniu lekkich materiałów jak pumeks, spieki ceramiczne albo sieczka gęstość jest odpowiednio mniejsza).

### 2.1.10 Zagęszczenie/ zwartość

Zwartością nazywamy zdolność gruntu budowlanego do redukcji porów poprzez zagęszczenie mechaniczne.

Warunkiem uzyskania gliny maksymalnie zwartej jest jej odpowiednia wilgotność. Wtedy pojedyncze jej cząsteczki układają się możliwie ściśle, bez znaczącego oporu tarcia.

Optymalną wilgotność, przy której uzyskujemy największą zwartość gliny, ustala się testem Proctora (rozdział 4.5.4).

## 2.2 Test ustalający skład

### 2.2.1 Uwagi wstępne

Aby ustalić przydatność gliny do pewnych elementów lub technik budowlanych, ważne jest poznanie jej składu i określenie właściwości.

Najpierw opiszemy znormalizowane testy stwierdzające skład glin, a potem kilka prostych badań, które nie wymagają stosowania specjalnych urządzeń.



2.2-2 TEST SEDYMENTACJI

### 2.2.2 Analiza sitowa i analiza mechaniczna (szlamowa)

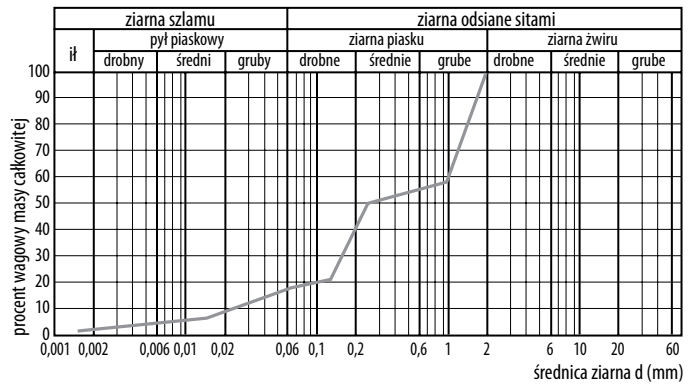
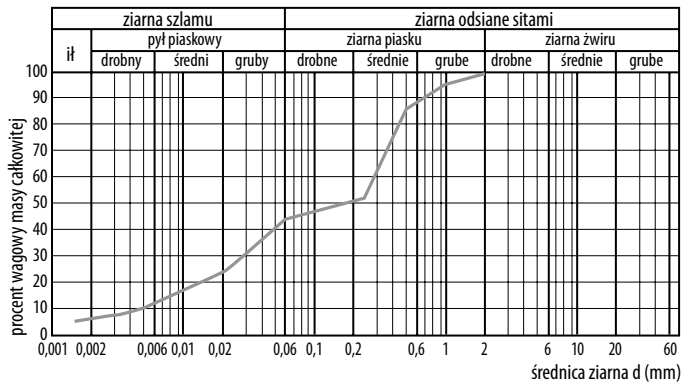
Określenie ilości dużych składników gliny (piasku, żwiru, kamieni) jest stosunkowo łatwe przy zastosowaniu analizy sitowej. Zawartość drobnych komponentów określa się poprzez sedymentację (analizę szlamową).

Norma DIN 18123 (1983) nakazuje następujące postępowanie: materiał musi być najpierw osuszony w temp.  $105^\circ\text{C}$ , zważony i potem poprzez odsiewanie metodą suchą lub mokrą, rozdzielony na różne wielkości ziaren. Analiza następuje poprzez przeliczenie masy pozostałej na sicie w procentach w stosunku do całej masy suchego materiału. Znormalizowane wymiary otworów sita wynoszą  $16; 8; 4; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,125$  i  $0,063 \text{ mm}$ .

Określenie ilości frakcji ziaren mniejszych niż  $0,125 \text{ mm}$  następuje (według DIN 18123) poprzez sedymentację w wyniku analizy mechanicznej (szlamowej). Metoda zakłada, że drobne cząsteczki w zawieszynie wodnej opadają z różną prędkością w zależności od ich wielkości. Tym samym zmniejsza się systematycznie gęstość zawieszyny. Te zmiany ustala aerometr w określonych przedziałach czasu. Z odczytów gęstościomierza można ustalić krzywą uziarnienia szlamu (ziaren o średnicy  $< 0,06 \text{ mm}$ ).

### 2.2.3 Ustalenie zawartości wody

Zawartość wody, która nie jest chemicznie związana z gliną, ustala się w następujący sposób: próbkę gliny waży się w stanie wilgotnym, następnie podgrzewa się w piecu w temperaturze  $105$  do  $110^\circ\text{C}$  tak długo, aż przestanie zmniejszać się jej waga, a potem następuje ponowne ważenie próbki. Różnica między dwoma wynikami określa zawartość wody. Ilość ta jest zazwyczaj podawana w procentach masy w stosunku do wagi próbki suchej.



2.2-3 KRZYWE ROZKŁADU ZIAREN BADANYCH RODZAJÓW GLINY

Do szybkiego ustalenia zawartości wody w materiale na budowie najbardziej nadaje się metoda CM. Polega ona na zamknięciu w stalowym pojemniku próbki gliny razem z ampułką karbidu i żelazną kulką. Poprzez intensywne potrząsanie powoduje się rozbicie szklanej ampułki. Karbid reagując z wodą zawartą w glinie produkuje acetylen. Odczytując na manometrze powstałe ciśnienie gazu i porównując ilość gliny można wyliczyć zawartość wody w próbce. Przy stosowaniu metody CM należy liczyć się jednak z niedokładnością rzędu nawet 15%.

### 2.2.4 Testy proste („kontrolę odręczną”)

Następujące testy można przeprowadzać na budowie, bez przyrządów. Pozwalają one na przybliżone określenie struktury gliny:

#### Test zapachowy

Czysta glina jest zapachowo neutralna. Kiedy ma zapach stęchły, to zawiera elementy organiczne.

#### Test zgryzu

Kiedy podczas ugryzienia względnie zgniatania gliny powstaje nieprzyjemny zgrzyt, oznacza to, że zawiera ona piasek. Gdy zgniatanie jest miękkie i glina lepi się do języka, wskazuje to na dużą zawartość iltu.

#### Test na roztrzanie i zmycie

Wilgotną próbkę rozciera się między palcami dłoni. Gdy czuje się ziarna, oznacza to dużą zawartość piasku. Gdy klei się na dłoni i po wyschnięciu daje się łatwo zetrzeć, a resztki bezproblemowo zmyć wodą, to zawiera wiele pyłu piaskowego. Kiedy jednak glina przylega mocno, jej resztki nie dają się zetrzeć, a zmyć je można dopiero po długim czasie, oznacza to, że zawiera dużo iltu.

#### Test cięcia

Wilgotną glinę formujemy w kulę, którą rozcinamy nożem. Gdy powierzchnia przecięcia jest matowa, mamy do czynienia z gliną pylastą, gdy się świeci, to z ilastą. Kiedy rozcięcie jest szorstkie, oznacza to dużą zawartość piasku.

#### Sedymentacja

Jeżeli wymieszamy glinę z dużą ilością wody, to żwir i piasek na dnie próbówki osadzą się o wiele prędzej niż cząstki pyłu i iltu.

Z ułożenia się warstw można wnioskować, ile jest w glinie składników drobnych, a ile dużych. Najczęściej warstwy widoczne są gołym okiem.

Dolna warstwa nie odpowiada przy tym zawartości piasku, środkowa – pyłu, a górna nie oddaje ilości iltu. O tym, że takie założenie w fachowej literaturze (np. CRATerre 1979, str. 180; International Labour Office 1987, str. 30; Houben, Guillaud 1984, str. 49; Stulz,

Mukerij 1988, str. 20; United Nations Centre for Human Settlement, 1992, str. 7) jest błędne, świadczą wyniki wielu testów przeprowadzonych w Laboratorium Eksperymentalnego Budownictwa na Uniwersytecie w Kassel (por. wykresy 2.2-3 pokazujące krzywe uziarnienia na przykładzie dwóch dokonanych testów sedymentacji).

Jak pokazano w tabeli 2.1, ani optyczne odczyty wysokości warstw, ani widziane gołym okiem podziały nie odpowiadają rzeczywistemu rozkładowi rozmiarów ziarna. (Aby określić procenty wagowe, zamrożono składniki osadzające się, rozdzielono je, a po odparowaniu i odparowaniu resztek wody określono grawimetrycznie ich wagę).

Pomiędzy „optycznym” podziałem objętościowym a rzeczywistym rozkładem ziaren były różnice dochodzące

Próbka gliny	Fracje	Odczyty optyczne		Rzeczywiste rozkłady ziaren
		obj. %	masa %	masa %
K1	ilt	45	14	6
	pył piaskowy	18	26	38
	piasek	37	60	56
K2	ilt	36	17	2
	pył piaskowy	24	19	16
	piasek	40	64	82

TABELA 2.1: ROZKŁAD ZIAREN 2 RODZAJÓW GLINY ODPOWIEDNIO DO WYNIKÓW TESTU SEDYMENTACJI





#### 2.2.4 KULKI GLINY PO PRÓBIE UPADKU

do 1800% (próbka K2). „Korekta” waga odczytów wzrokowych frakcji dawała błąd rzędu 850%.

Rozgraniczenia warstw widoczne podczas testu sedymentacyjnego powstają wówczas, gdy krzywa uziarnienia przebiega płasko. Byłoby wyjątkiem, gdyby spłaszczenie krzywej przypadło właśnie na styku iltu z pyłem albo pyłu i piaskiem.

#### Test na upadek kuli

Gлина przeznaczona do badania powinna być na tyle sucha, aby można było uformować z niej kulę o przekroju ok. 4 cm. Jeżeli kulka rzucona z wysokości 1,5 m przy zetknięciu z ziemią rozsypie się całkowicie, jak na zdjęciu 2.2-4 z prawej strony, to mamy do czynienia z ekstremalnie piaszczystą (chudą) gliną. Taką glinę można używać do zapraw.

Kiedy z kuli po upadku powstaną placki z małymi rysami (albo wręcz żadnymi), to mamy do czynienia z gliną tłustą

(o dużej zawartości iltu). Ma ona dużą siłę wiązania, ale jako materiał budowlany może służyć po „odchudzeniu”. Gлина z trzeciej próbki od lewej ma stosunkowo niewielką siłę wiązania, nadaje się jednak do glinobitek lub do produkcji cegieł formowanych ręcznie.

#### Test na konsystencję

Z bryły wilgotnej gliny formuje się kulę o średnicy ok. 2-3 cm. Kulę należy nasycić wodą na tyle, aby powstała plastyczna masa, z której robimy najpierw walek, a potem rolujemy z niego „sznurek” grubości ok. 3 mm. Jeżeli przy rolowaniu glina łamie się lub zrywa, oznacza to, że jest za sucha i należy

dodać kilka kropli wody. Gdy „sznurek” złamie się po osiągnięciu przekroju 3 mm, tworzymy z niego ponownie kulę i zgniatamy ją między kciukiem i palcem wskazującym. Jeżeli glina nie daje się uformować w kulę, oznacza to, że zawiera dużo piasku i niewiele iltu. Taka glina ze względu na niedużą siłę wiązania w zasadzie nie nadaje się na materiał budowlany.

Jeżeli jednak kulka daje się zgnieść jedynie z trudem, nie pękając przy tym, oznacza to, że glina zawiera dużo iltu. Taki materiał jest z kolei za tłusty i do celów budowlanych musi zostać „odchudzony”. Kiedy grudka lekko się połamie lub pokruszy, oznacza to małą zawartość iltu.

#### Prosty test na spójność („tasiemkowy”)

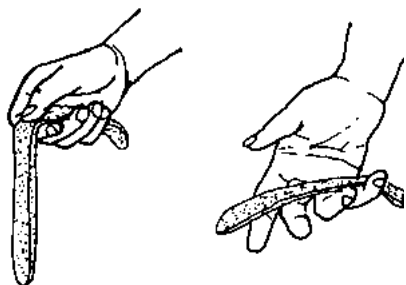
Do tego testu potrzebna jest na tyle wilgotna glina, aby dała się zrolować w gruby na 3 mm walek. Z niego formuje się taśmę grubości ok. 6 mm i szerokości ok. 20 mm, który należy trzymać na płaskiej dłoni, w ten sposób, aby swobodnie zwisła jego możliwie duża część (por. rys. 2.2-5). Jeżeli te zwisający pasek osiągnie długość powyżej 30 cm, zanim się zerwie, oznacza to, że glina ma dużą siłę wiązania i powinna być w zasadzie „odchudzona”. Jeżeli pasek urywa się po wysunięciu na kilka cm, znaczy to, że glina zawiera zbyt dużo iltu.

Metoda ta jest jednak bardzo niedokładna. Jeżeli glina jest niedostatecznie wygnieciona, a pasek ma różne grubości, test ten prowadzi do różnych wyników, odbiegających od siebie o ponad 200%.

#### Test na spójność według FEB

Z powyższego powodu opracowany został przez Laboratorium Eksperymentalnego Budownictwa Uniwersytetu w Kassel trochę dokładniejszy test. Równomiernie ukształtowany pasek

#### 2.2-5 TEST NA SPÓJNOŚĆ PRZEPROWADZONY ODRĘCZNIE

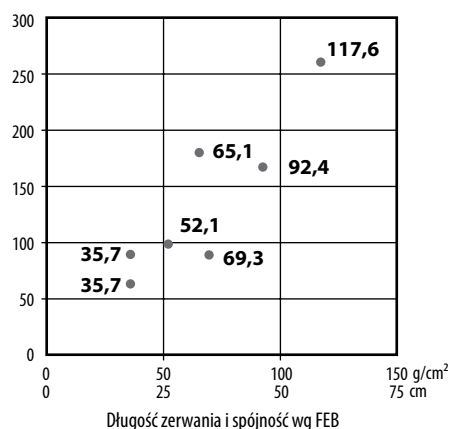


#### 2.2-6 TEST NA SPÓJNOŚĆ WEDŁUG FEB



(20 mm szeroki i 6 mm grubo) uzyskuje się przez wgniatanie gliny palcami między dwie listwy drewniane i poprzez gładzenie go rolką albo butelką, (rys. 2.2-6). W celu łatwego odspajania się próbki od podłoża kładzie się pod nią cienki, naoliwiony pasek folii.

Długość zerwanego paska określa się podczas powolnego przesuwania go poza obły brzeg (promień zaokrąglenia 1cm) – por. 2.2-6. Ponieważ pole przekroju paska wynosi 1,2 cm<sup>2</sup>, a ciężar gliny ok. 2 g/cm<sup>3</sup>, otrzymujemy siłę spójności 2 g/cm<sup>2</sup> na każdy centymetr długości zerwanej próbki. W celu zapewnienia porównywalności wyników testów na spójność wybrano konsystencję gliny, która w teście na spadek 200 gramowej kuli z wysokości 2 m tworzy spłaszczenie o średnicy 70 mm. Wykres 2.2-7 pokazuje wartości maksymalne długości zerwania przy kolejnych 5 testach tej samej gliny, której siłę spójności określano wg DIN 18952, str. 2. Przy oznaczaniu siły spójności brano także pod uwagę tylko górne wartości 5 prób, ponieważ można założyć, że niższe wartości biorą się z niedostatecznego wymieszania materiału lub są wynikiem błędów produkcji. Rezultat pokazuje, że spowodowane różną konsystencją gliny wyniki uzyskane wg Niemeyera są



2.2-7 KORELACJA MIĘDZY TESTEM NIEMEYERA I TESTEM FEB

dwukrotnie większe niż wyniki FEB. Podczas określania siły spójności wg Niemeyera (rozd. 2.6.1) wymagane spłaszczenie o średnicy 50 mm jest niemożliwe, ponieważ kulki rozsypują się.

### Test kwasu solnego

Glina zawierająca wapno jest bielsza, mniej spójna i dlatego nie nadaje się do budowania. W celu sprawdzenia ilości wapna w próbce gliny kapie się na nią (używając sztabki szklanej lub drewnianej) jedną kroplę 20%-owego kwasu solnego. Jeśli glina zawiera wapno, tworzy się CO<sub>2</sub> wg wzoru CaCO<sub>3</sub> + 2HCl = CaCl<sub>2</sub> + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O, co staje się widoczne poprzez „spienienie się” albo „kipienie”. Jeżeli powierzchnia próbki nie kipi, świadczy to o zawartości wapna poniżej 1%, przy pienieniu się słabym i nie trwającym długo ilość wapna wynosi 1-2%, przy pienieniu silniejszym ale też krótkim ok. 3-4%, przy mocnym i długim – ponad 5% (Voth 1978, str. 57). Godnym odnotowania jest fakt, że także glina ciemna, bezwapienna a zawierająca humus, może wydzielać CO<sub>2</sub>.

## 2.3 Reakcja gliny na wodę

### 2.3.1 Uwagi ogólne

Glina przy zetknięciu z wodą staje się plastycznie formowalna. Dzieje się tak, ponieważ woda dociera do warstwowej struktury minerałów gliny i otacza cienką powłoką płytki kryształów. W wyniku działania sił kapilarnych woda wnika także do wypełnionych powietrzem porów znajdujących się między stałymi cząsteczkami gliny (pyłem, piaskiem, item).

### 2.3.2 Pęcznienie i kurczenie

Jako materiał budowlany glina posiada pewną pejoratywną właściwość. Podczas wchłaniania wody pęcznieje, a więc zwiększa swoją objętość, a w trakcie schnięcia kurczy się, tzn. jej

kubatura maleje. Zjawisko pęcznienia zachodzi jednak wtedy, gdy woda działa bezpośrednio na glinę, a ta z kolei wchłania tyle wody, że traci stałą konsystencję. Natomiast absorpcja pary wodnej nie powoduje pęcznienia.

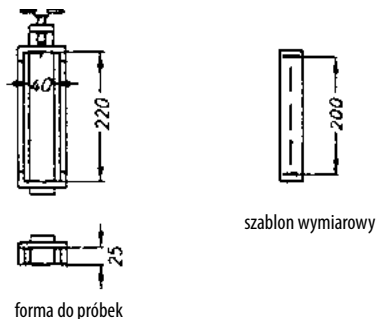
Wielkość pęcznienia i kurczenia się zależy od rodzaju i ilości itu. Montmorillonit w porównaniu z kaolinitem i ilitem ulega tym zjawiskom bardzo mocno. W glinie budowlanej zawartość itu wynosi tylko 5-15%. Ta ilość itu oraz skład pozostałych cząsteczek ma mniejszy wpływ na pęcznienie i kurczenie się niż rodzaj itu.

W FEB nasączono wodą próbkę (10 x 10 x 7cm) wyciętą z cegieł glinianych i suszono je w gorącym powietrzu w temp. ok. 50°C. Zdjęcie 2.3-1 pokazuje rezultat eksperymentu.

Cegła surówka, formowana przemysłowo (u góry, po lewej), z frakcją ziarna wg górnej krzywej z wykresu 2.1-1, pęczniała bardzo mocno, a po wyschnięciu powstawały w niej znaczne spękania. W przypadku cegły o takiej samej zawartości itu, ale z optymalną ilością pyłu, piasku i żwiru, nastąpiło tylko znikome spękanie próbki (u góry, po prawej). Cegła uformowana ręcznie z pylastej gliny lessowej, w której skład ziarna odpowiadał środkowej krzywej wykresu 2.1-1, miała jedynie drobne rysy skurczowe (na dole, po prawej, zdjęcie 2.3-1). Próbka z ręcznie formowanej cegły z mocno piaszczystej gliny



2.3-1 TEST NA PĘCZNIE NIE I KURCZENIE



### 2.3-2 FORMA I SZABLON DO OZNACZANIA SKURCZÓW SCHNIECIA (DIN 18952)

(wg dolnej krzywej wykresu 2.1-1), nie miała pęknięć skurczowych (zdjęcie 2.3-1 na dole, po lewej).

Poprzez optymalny dobór składników można więc zmniejszyć powstawanie rys skurczowych, a nawet ich uniknąć, co zostanie bliżej omówione w rozdziale 4.2.

### 2.3.3 Wyznaczanie skurczu schnięcia

W celu porównania skurczów schnięcia różnych mieszanek gliny próbki powinny mieć tę samą wilgotność albo ten sam stopień plastyczności.

Ponieważ ilość wody potrzebna do wymieszania gliny zależy jest głównie od zawartości w glinie ilu i w niewielkim stopniu od jego rodzaju, wydaje się słusznym, aby porównywać materiał o podobnej konsystencji.

Według DIN 18952 trzeba najpierw uzyskać „sztywność znormalizowaną”. W tym celu należy przestrzegać następujących zasad:

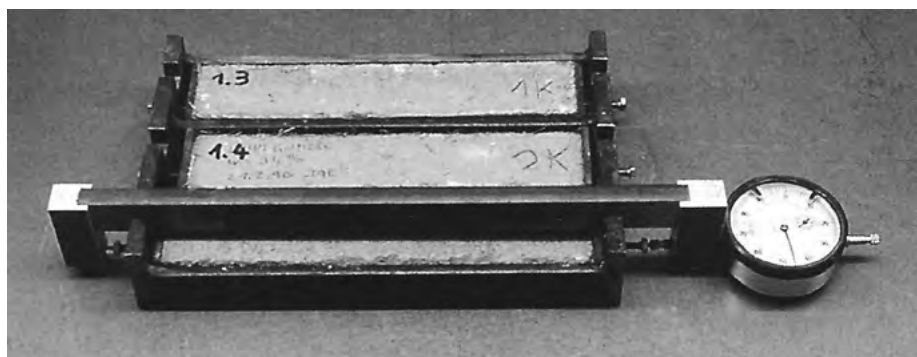
1. Glina potrzebna do próby jest rozbijana i odsiana w stanie suchym, aby odrzucić wszystkie składniki większe od 2 mm.
2. Do ok. 1200 cm<sup>3</sup> odsianej gliny dodaje się ostrożnie trochę wody. W powstałą masę uderza się płasko młotkiem tak długo, aż połączy się w jeden placek.
3. Przy pomocy noża zdejmuje się placek z podłoża i tnie go na paski szerokości ok. 2 cm.
4. Paski kładzie się obok siebie na ich bokach i ubija z nich ponownie placek. Zabieg ten należy powtarzać tak długo, aż na spodzie powstanie równomierna struktura.
5. Celem zachowania równomiernej wilgotności należy próbkę z chudej gliny zostawić pod przykryciem na 6 godzin, a z gliny tłustej – 12 godzin.
6. Z przygotowanej masy należy wziąć ok. 200 g, zagęścić poprzez wielokrotne uderzenie o płytę podłoża i uformować kulkę.
7. Kulkę należy spuścić z wysokości 2 m na płytę.
8. Sztywność normową osiąga się, kiedy spłaszczenie ma średnicę 50 mm. Różnica między mniejszą i większą średnicą (gdy spłaszczenie nie jest idealnie koliste) nie powinna przekraczać 2 mm.
9. Jeśli okrągłe spłaszczenie ma średnicę większą niż 50 mm (51 mm gdy jest owalne) należy

próbę powtórzyć, dodając mniej wody. Gdy spłaszczenie jest mniejsze niż 49 mm, trzeba dodać trochę więcej wody. Można przy tym zauważyć, że dodanie już kilku kropli znacząco zmienia sztywność mieszanki.

Glina o tak uzyskanej „sztywności znormalizowanej” poddana zostanie próbie wyznaczenia skurczu schnięcia:

1. Glina o sztywności normowej jest ubijana do formy, jak na rys. 2.3-2, przy pomocy drewnianego ubijaka o przekroju kwadratu 2 x 2 cm.
2. Należy wykonać (jedną po drugiej) 3 próbki i natychmiast je rozszalować.
3. Na płaskiej stronie próbki należy wyryć nożem, przy pomocy szablonu z rys. 2.3-2, dwa odległe od siebie o 200 mm znaki wymiarowe oraz łączącą je linię.
4. Teraz próbki należy zostawić do wyschnięcia, układając je na lekko naoliwionej płycie szklanej przy temperaturze otoczenia 20°C. (Według doświadczeń FEB, jeżeli glina jest wystarczająco spójna, korzystniej jest zostawić próbkę do wyschnięcia na płycie z miękkich włókien. Proces schnięcia następuje wtedy równomierniej.)
5. Po trzech dniach następuje suszenie próbek w piecu, w temp. 60°C tak długo, aż przestaną się kurczyć.
6. Średnia wartość skurczenia się próbek oznacza miarę skurczu schnięcia w mm albo, w stosunku do długości początkowej, miarę w %. Jeżeli skurcz schnięcia jakiejś próbki odbiega o więcej niż 2 mm od wyniku dwóch pozostałych, trzeba test powtórzyć.

### 2.3-3 WYZNACZENIE SKURCZU SCHNIECIA WG FEB



Należy tutaj zaznaczyć, że ta metoda pomiarowa jest dość niedokładna, ponieważ mierzenie wykonuje się przy pomocy zwykłego przymiaru oraz dlatego, że próbki kurczą się zazwyczaj mocniej u góry niż od spodu. Dlatego też proponuje się metodę dokładniejszą: na środku powierzchni czołowych należy zaznaczyć punkty, których odległość odczytujemy przy pomocy czujnika zegarowego, z dokładnością do 0,01 mm (por. 2.3-3).

Opisana sztywność normowa wydaje się także mało przydatna jako podstawa do wyznaczania wartości skurczu schnięcia zapraw glinianych. Tutaj należy brać pod uwagę sztywność w stanie przerabiania materiału. Gdy mamy do czynienia z zaprawą wapienną lub cementowo-wapienną, to wg DIN 1060, cz. 3, istotny jest rozptyw (miara płynności) rzędu 180 mm (por. rozdz. 2.3.4). Ponieważ zaprawa gliniana ma większą siłę wiązania i przez to większą sztywność, można tutaj mówić o rozptywie wielkości 160 mm. Wyznaczone wielkości skurczu schnięcia różnych zapraw podano w rozdziale 11.1.

### 2.3.4 Plastyczność

Gлина może mieć różne konsystencje: płynną, plastycznie mniej lub bardziej formowalną albo sztywną. Szwedzki badacz Atterberg zdefiniował dla spoiстых gruntów, a więc i dla gliny, granice różnych konsystencji, por. tab. 2.3. Te granice, nazywane często granicami Atterberga, podają zawartość wody w glinie w momencie przejścia z jednego stanu do drugiego. Ważne dla oceny gliny granice jej stanu plastyczności i ich wyznaczenie, wg DIN 18122, cz.1, zostaną bliżej omówione. Te same granice służą też do podziału spoiстых gruntów, wg DIN 4022, str. 1.

Zawartość wody w różnych rodzajach gliny mimo takiej samej konsystencji może być bardzo różna. I tak, aby

uzyskać taką samą konsystencję, glina tłusta potrzebuje ponad 2 razy tyle wilgoci, co glina chuda.

### Granica płynności

Granica płynności  $W_L$  (określana w literaturze anglojęzycznej jako Liquid Limit lub LL) jest zawartością wody w momencie przejścia z płynnej do plastycznej formy stanu spójności. Podaje się ją w %, a wyznaczana jest przy pomocy aparatu Casagrande (zdjęcie 2.3-3) w następujący sposób:

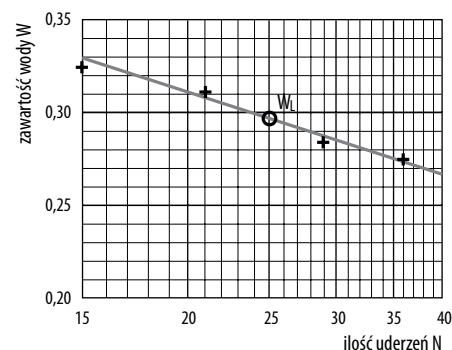
1. Mieszanka gliniana dołowana przez dłuższy czas (tłusta do 4 dni), przepuszczona przez sito o wielkości oczka 0,4 mm zostaje wymieszana szpachlą na jednolitą masę.
2. Brejowatą mieszankę (50 do 70 g) wkłada się do miski aparatu, a powierzchnię wygładza. Grubość warstwy nie powinna przekraczać 1 cm.
3. Normowym znacznikiem (radłem) robi się bruzdę prostopadłą do wału krzywkowego aparatu i głęboką aż do dna miski. Znacznik należy prowadzić zawsze prostopadle do powierzchni wewnętrznej miski.
4. Poprzez obrót korbą z prędkością 2 obrotów na min. miska podnosi się i opada tak długo, aż bruzda zamknie się na długości 10 mm.
5. Ilość uderzeń należy liczyć. Ze środka miski pobiera się próbkę (ok. 5 cm<sup>3</sup>) w celu określenia ilości zawartej w niej wody. Ilość wody w próbce, w której bruzda zamknęła się po 25 uderzeniach, określa się mianem: granica płynności  $W_L$ .

Ponieważ jest to metoda dosyć żmudna (należy tak długo zmieniać ilość wody, aby dokładnie przy 25 uderzeniach zamknęła się bruzda), można stosować metodę wielopunktową opisaną

w normie DIN 18122. Przeprowadza się tu tylko cztery próby z materiałem o różnej zawartości wody. Ilość uderzeń potrzebnych do zwarcia się bruzdy musi zawierać się w przedziale od 15 do 40. Te ilości uderzeń nanosi się na wykres (por. 2.3-5), gdzie odcięta (ilość uderzeń) ma podziałkę logarytmiczną,



2.3-4 APARAT DO WYZNACZANIA GRANICY PŁYNNOCI WG CASAGRANDE

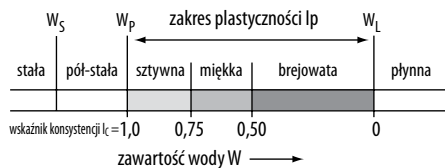


2.3-5 WYZNACZANIE GRANICY PŁYNNOCI METODĄ WIELOPUNKTOWĄ WG DIN 18122

Formy stanu spójności	Granice stanu spójności
płynna (brejowata)	granica płynności $W_L$
plastyczna	
półstała	granica plastyczności $W_p$
stała	granica kurczenia się $W_s$

TABELA 2.2 FORMY I GRANICE STANU SPÓJNOŚCI WG ATTERBERGA





**2.3-6 GRANICE STANU SPÓJNOŚCI I LICZBY KONSYSTENCJI WG VOTHA.**

Rodzaj gliny	$W_L$ (%)	$W_p$ (%)	$J_p(\%) = \frac{W_L - W_p}{J_p}$
mocno piaszczysta	10-23	5-20	< 5
mocno pylista	15-35	10-25	5-15
mocno ilasta	28-150	20-50	15-95
bentonit	40	8	32

**TABELA 2.3 WSKAŹNIKI PLASTYCZNOŚCI GLINY (VOTH 1978)**

a rzędna (zawartość wody) linearną. Jeżeli doświadczenie przeprowadzane jest starannie, to naniesione punkty leżą blisko prostej, na której można odczytać wartość  $W_L$  dla 25 uderzenia. Z przedstawionych na tym wykresie pojedynczych prób wynika granica płynności = 0,297, tzn. ilość zawartej w próbce wody wynosi 29,7%.

### Granica plastyczności

Granica plastyczności  $W_p$  (w literaturze anglojęzycznej nazywana Plastic Limit albo PL) to zawartość wody (podawana w %) w momencie przejścia od stanu plastycznego do półstałego.

Wyznacza się ją w następujący sposób: Część przygotowanej do sprawdzenia mieszanki glinianej rozwałkowuje się na grubość 3 mm. Czynność wykonuje się ręcznie na podłożu wchłaniającym wodę, ale również takim, które nie gubi włókien (może to więc być np. karton albo płyta drewniana). Po rozwałkowaniu zgniatamy próbkę i rozwałkowujemy

ponownie. Czynności te powtarzamy tak długo, aż wałek zacznie się rozsypywać. Z pobranych do badania grudek bierzemy 5 g i wyznaczamy ilość zawartej w nich wody. (Należy przy tym pilnować, aby grudki nie wysychały, zanim nie zostaną zważone.)

Próbe należy powtórzyć co najmniej trzykrotnie. Średnia ilość wody co najmniej trzech prób, których wyniki nie odbiegają od siebie o więcej niż 2%, odpowiada granicy plastyczności  $W_p$ .

### Ocena wyników

Ponieważ zarówno granicę płynności, jak i plastyczności przeprowadza się na próbkach składających się z cząstek mniejszych od 0,4 mm, wyniki tych testów można tylko wtedy odnosić do całej próbki, jeżeli po jej przesianiu przez sito nie pozostaną na nim ziarna większe od 0,4 mm. Kiedy pozostałości na sicie (nadziarno) są mniejsze lub równe 25% masy suchej próbki, możemy rachunkowo wyznaczyć ilość wody w ziarnach mniejszych od 0,4 mm wg wzoru:

$$W_n = \frac{W}{1 - n}$$

$W_n$  oznacza rachunkowo, biorąc pod uwagę nadziarno, wyznaczoną ilość wody, „W” jest wcześniej wyznaczoną ilością wody  $W_L$  albo  $W_p$  dla przesianej gliny, a „n” to masa nadziarna w % masy suchej próbki.

### Wskaźnik plastyczności

Forma stanu spójności gliny określana jako plastyczna (między granicą płynności i plastyczności) dzieli się na trzy stany: brejowaty, miękki i sztywny. Różnica między wartością granicy płynności i granicy plastyczności zwana jest wskaźnikiem plastyczności  $J_p$ .

Wskaźniki plastyczności różnych rodzajów gliny pokazuje Tabela 2.3.

### Wskaźnik konsystencji

Wskaźnik konsystencji  $I_c$  wyznaczamy z dowolnej ilości wilgoci zawartej w materiale o plastycznym stanie spójności, biorąc pod uwagę zawartość wody „W”, zawartość wody  $W_L$  granicy płynności oraz zawartość wody  $W_p$  granicy plastyczności. Liczbę tę obliczamy wg wzoru:

$$I_c = \frac{W_L - W}{W_L - W_p} = \frac{W_L - W}{J_p}$$

Wskaźnik konsystencji w granicy płynności wynosi 0, a w granicy plastyczności 1. Granice stanu spójności z odpowiednimi wskaźnikami konsystencji przedstawia wykres 2.3-6.

### Ocena plastyczności

Plastyczność gliny zależna jest od ilości i rodzaju iltu oraz od granicy płynności i granicy plastyczności. Niska granica płynności i wysoka plastyczności powodują wysoki wskaźnik plastyczności; kiedy obie te granice są blisko siebie, wartość otrzymanego wskaźnika jest niska.

### Współczynnik aktywności

Ponieważ wskaźnik plastyczności gliny w zasadzie zależy od ilości zawartego w niej iltu (im jest go więcej, tym większy wskaźnik), nie mówi on nic o samej plastyczności gliny. Można ją wyznaczyć, kiedy uzależnimy wskaźnik plastyczności od zawartości iltu. Ta wartość, określona jako współczynnik aktywności  $C_a$  (Houben, Guillaud, 1984, str. 59) wyznacza wzór:

$$C_a = \frac{W_L - W_p [\text{masa \%}]}{\text{zawartość iltu} [\text{masa \%}]}$$

Wartości poniżej 0,75 wskazują na niską aktywność, wartości między 0,75 i 1,25 na normalną, a te powyżej 1,25 na aktywność wysoką.



## Sztywność znormalizowana wg Niemeyera

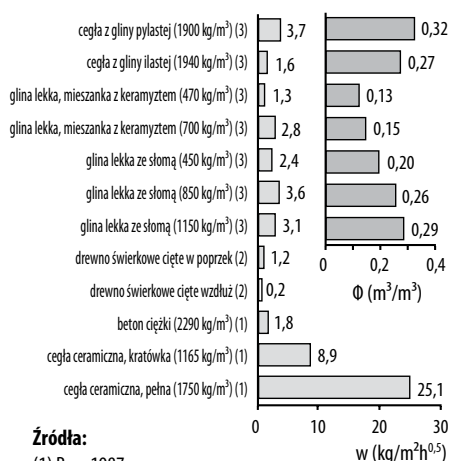
Ponieważ wyznaczanie granicy plastyczności wg Atterberga jest bardzo niedokładne, tak samo nieprecyzyjnie będzie określenie tą drogą siły wiązania gliny. Dlatego też Niemeyer jako podstawę takiej samej konsystencji wprowadził wartość porównawczą – sztywność znormalizowaną. Sposób jej wyznaczania omawia rozdział 2.3.3.

## Miara płynności

Miara płynności (rozptyw) gliny o konsystencji brejowatej, używanej np. do tynkowania, określają normy DIN 1060 cz. 3 oraz DIN 1048 cz. 1. Rozptyw wyznacza się poprzez przepuszczanie zaprawy przez zdefiniowany, normowany lejek na płytę, stosując określoną ilość wstrząsów. Średnica powstałego placka jest miarą płynności gliny.

## Granica skurczu

Granica skurczu  $W_s$  określa się zawartość wody w drobnoziarnistym gruncie w momencie przechodzenia ze stanu pół-stałego do stałego (DIN 17122, cz. 2).



### Źródła:

- (1) Buss 1987;
- (2) Breitenberger 1985;
- (3) Laboratorium Budownictwa Eksperymentalnego Uniwersytetu w Kassel.

## 2.3-8 PORÓWNANIE WSPÓŁCZYNNIKÓW ABSORPCJI WODY

Przy tym przyjmuje się, że ta ilość wody, którą zawiera próbka gruntu na granicy skurczu, wypełniłaby całą przestrzeń porów próbki całkowicie wyschniętej. Kurczenia ostatecznego, aż do całkowitego wyschnięcia (np. w piecu) nie uwzględnia się. Wyznaczenie granicy skurczu opiera się na obserwacji drobnoziarnistych gruntów, które w momencie jej osiągnięcia zmieniają kolor na jaśniejszy, dlatego też takie optyczne ustalenie podlega dużym wahaniom.

## 2.3.5 Włóskowate wchłanianie wody

### O transportcie wilgoci

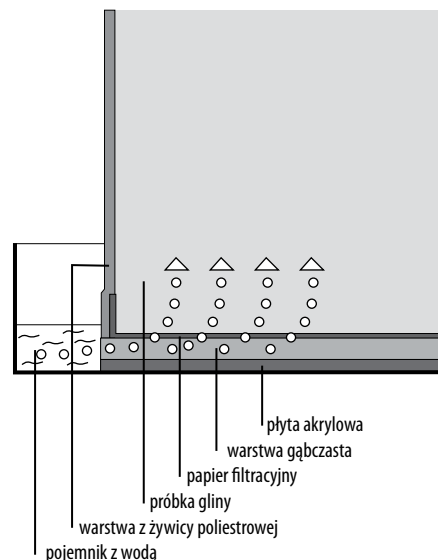
Materiały budowlane o strukturze porowatej, jak np. glina, są w stanie wchłaniać wodę i transportować ją dalej. Woda wędruje wtedy z obszarów wilgotniejszych do bardziej suchych. Wsiąkliwość materiału budowlanego nazywamy kapilarnością, a przenoszenie wilgoci kapilarnym transportem wody. Kapilarna zdolność przesyłania wody wyznaczana jest przez współczynnik absorpcji wody „w” [kg/m<sup>2</sup>h<sup>0,5</sup>]. Określa on ile wody na m<sup>2</sup> może wchłonąć materiał budowlany w zależności od czasu. Zależne od czasu włóskowate wnikanie ilości wody „W” wyznacza wzór:

$$W = w \cdot \sqrt{t} \quad [\text{kg/m}^2]$$

### Wyznaczanie współczynnika wchłaniania wody

Wyznaczanie współczynnika wchłaniania wody przez materiały budowlane wg DIN 52617 polega na zanurzeniu próbki o płaskiej powierzchni w wodzie. Po pewnym czasie na podstawie wzrostu wagi określa się ilość zaabsorbowanej wody. Współczynnik absorpcji wyliczamy następująco.

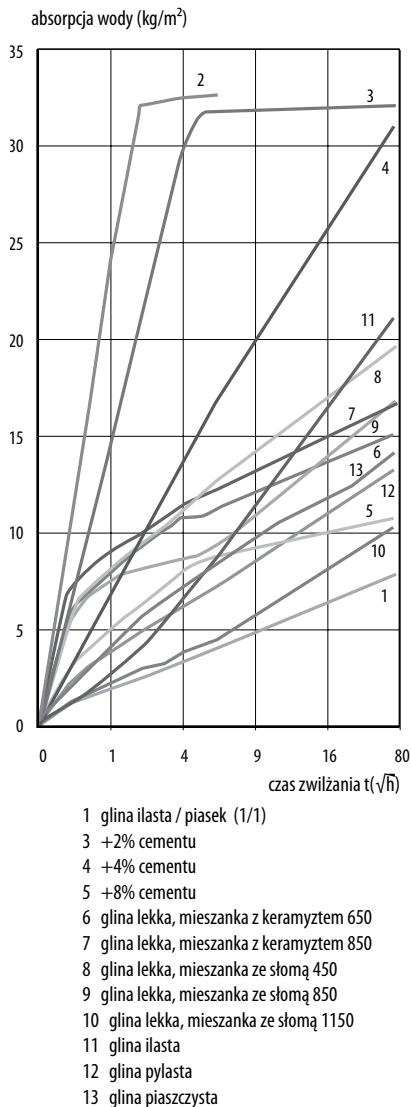
$$w = \frac{W}{\sqrt{t}} \quad [\text{kg/m}^2\text{h}^{0,5}]$$



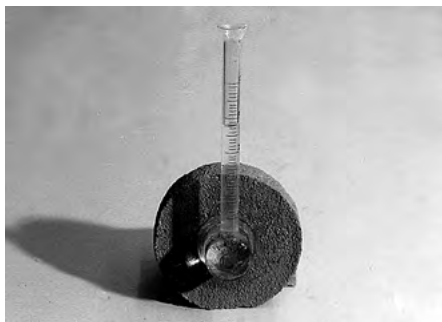
2.3-7 METODA PRÓBY WYZNACZENIA WSPÓŁCZYNNIKA ABSORPCJI „W” PRÓBEK GLINY (BOEMANS, 1990)

Przy tym teście należy pamiętać, że próbkę zanurza się na głębokość ok. 3 mm, a jej powierzchnie boczne muszą być pokryte warstwą wodoodporną.

Głina po zanurzeniu w wodzie pęcznieje, traci spójność i odpadają jej cząsteczki. Aby temu zapobiec, zastosowano w FEB metodę zmodyfikowaną (Boemans 1990, str. 20 i kolejne). Boki próbek gliny pokryto żywicą poliestrową wzmocnioną włóknami szklanymi. Warstwa ta nie tylko uszczelniała powierzchnię, ale także spełniała funkcję niedopuszczenia do deformacji zawilgoceniem bocznych ścian próbki. Aby zapobiec odpadaniu kawałków gliny od zanurzanej powierzchni, zakładano z tej strony papierowy filtr, który po bokach przyklejano do powłoki poliestrowej. W celu uniknięcia wypadania zmiękczonej gliny podczas ważenia próbki, kładziono ją na używanej w gospodarstwie domowym gąbczastej ścierece o grubości ok. 4 mm, która z kolei leżała na płycie akrylowej (rys. 2.3-7). Próba porównawcza wykonana z cegłą ceramiczną wykazała przy tej zmodyfikowanej metodzie, że wchłanianie wody było mniejsze jedynie o 2%.



**2.3-9** WCHŁANIANIE WODY PRZEZ RÓŻNE RODZAJE GLINY W ZALEŻNOŚCI OD CZASU



**2.3-10** BADANIE PRZENIKANIA WODY WG KARSTENA

Podczas badań uzyskano podane w tabeli 2.3-8 wartości, które porównano z wynikami innych materiałów.

Interesujące jest przy tym, że próbki z mocno pylastej gliny lessowej wykazują znacznie wyższe wartości współczynnika „w” niż próbki z tłustej, ilastej gliny. Ta właściwość zależy głównie od różnej struktury porów oraz od mocniejszego pęcznienia gliny ilastej, powodującego znaczne zmniejszenie objętości porów.

Porównanie z cegłą ceramiczną pokazuje, że wartości współczynnika absorpcji „w” są dla gliny 10-krotnie niższe. Fakt ten był dotychczas w literaturze fachowej nieznan. Np. Volhard uważa, że glina posiada mniej więcej takie same zdolności kapilarne, jak wypalona cegła ceramiczna. (Volhard 1983, str. 82).

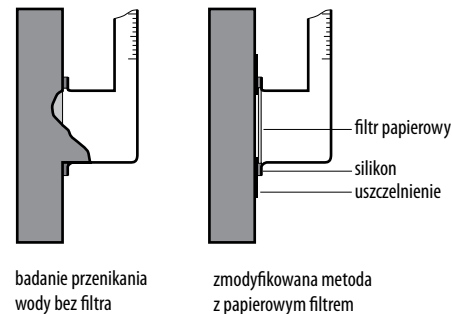
Zależne od czasu wchłanianie wody przez glinę z różnymi dodatkami, szczególnie ze słomą, może być bardzo różne. Wartości uzyskane przez FEB pokazuje wykres 2.3-9. Z uwagi na tak niejednorodną absorpcję, aby w praktyce ocenić kapilarne problemy transportu wilgoci w elementach budowlanych, nie wystarczy sama znajomość współczynnika „w”.

### Pojemność kapilarna

Maksymalną ilość wchłoniętej wody, w zależności od objętości próbki, określamy mianem pojemności kapilarnej  $\Phi$  [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>] lub [kg/m<sup>3</sup>]. Nie jest ona bez znaczenia dla oceny problemów wilgotności materiałów budowlanych, a bywa nieuwzględniana jako wskaźnik i takie rozumowanie jest błędem. Na wykresie 2.3-8 zaznaczono wartości pojemności kapilarnej  $\Phi$  obok współczynników absorpcji „w”.

Badanie przenikania wody wg Karstena:

Do badania przenikania wody wg Karstena używa się szklanego kulistego dzwonu (o średnicy w świetle 30 mm) z rurką pomiarową i podziałką objętości.



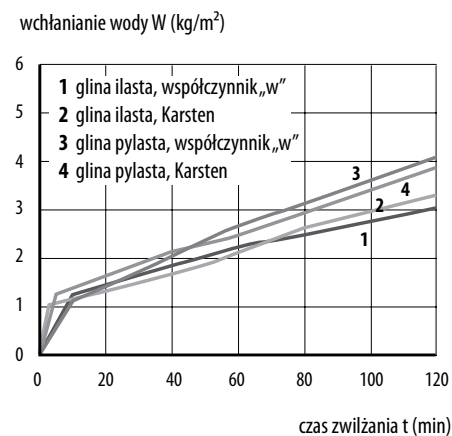
**2.3-11** NORMALNE I ZMODYFIKOWANE PRZEZ FEB POSTĘPOWANIE METODĄ KARSTENA

Przyrząd przylepia się silikonem do próbki; badana powierzchnia ma wielkość 3 cm<sup>2</sup> (Karsten 1983), por. zdjęcie 2.3-10. Typowe badanie stwarza w przypadku gliny problem odlepiania się przyrządu w czasie testu. Dlatego FEB zmodyfikowało tę metodę, stosując filtr z papieru do zamknięcia otworu w przyrządzie, por. rys. 2.3-11. Przeliczenie wartości wchłaniania wody wg metody Karstena pokazuje w porównaniu z wynikami uzyskanymi wg DIN 52617 ich wysoki stopień podobieństwa, por. wykres 2.3-12.

### 2.3.6 Test na szlam gliniany

Zachowanie się gliny w wodzie można określać wg jej rozmiękczenia do postaci szlamu (DIN 18952, str. 2).

Podczas tej próby umieszcza się w wodzie na głębokość 5 cm próbkę o kształcie graniastostupa i mierzy się czas, po jakim część zanurzona zmięknie i rozsypie się.



**2.3-12** KAPILARNE WCHŁANIANIE WODY WG KARSTENA I WG DIN 52617

Wg tej samej normy glina, która w czasie 45 min. rozdrobni się aż do postaci szlamu, nie nadaje się do budownictwa. W praktyce okazuje się jednak, że test ten jest nieistotny, ponieważ elementy z gliny nie są przewidziane do stania w wodzie. Przy błędnej organizacji placu budowy może się zdarzyć, że woda deszczowa lub woda z pękniętej rury wodociągowej popłynie po ścianie z gliny. Z tego też powodu ważniejsze jest poznanie odporności na wyplukiwanie stosowanej gliny.

### 2.3.7 Odporność na wyplukiwanie

Jeżeli w trakcie trwania budowy elementy z gliny będą źle przykryte, może się zdarzyć, że woda deszczowa spłynie bezpośrednio po powierzchni glinianej i wypłucze z niej cząsteczki. Podobnie może się stać, jeżeli pęknie rura wodociągowa. Aby zbadać wrażliwość powierzchni glinianych na spływanie po nich wody, został opracowany przez FEB test na porównanie odporności na wyplukiwanie cząsteczek gliny. Metodę przeprowadzanego doświadczenia, gdzie równocześnie testowano 6 próbek, pokazuje zdjęcie 2.3-13.

Gwałtowny deszcz symuluje tutaj strumień wody o gr. 4 mm spadający na próbki gliniane z prędkością 3,24 m/s pod kątem 45°. Wypłukane cząsteczki zbierają się w specjalnym pojemniku.

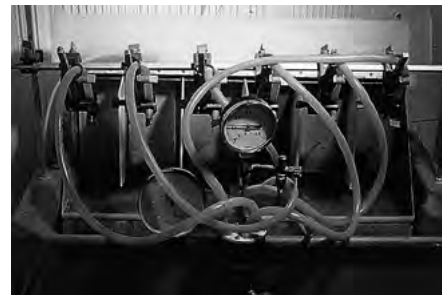
Przy sprawdzeniu wyników testu próbki gliny na odporność na wyplukiwanie wystarcza w zasadzie optyczne porównanie szerokości i głębokości wyłobionych bruzd. Dokładniejsze badania są możliwe, jeżeli odsączymy przy pomocy torebek filtrujących wypłukane cząsteczki gliny i po wysuszeniu zważymy je.

### 2.3.8 Erozja powodowana deszczem i mrozem

Zdjęcie 2.3-14 pokazuje dwie różne, surowe próbki tynku glinianego przed i po trzyletnim wystawieniu ich na działanie warunków atmosferycznych. Próbki miały ok. 5 cm grubości i były z tyłu chronione przed przemoczeniem. Głina w prawym polu jest ekstremalnie tłusta, zawiera ok. 40% iltu. Głina w lewym polu została „odchudzona” piaskiem, tak że zawiera ok. 16% iltu. Widać wyraźnie, że glina tłusta podczas schnięcia mocno pęka. Jej liniowa miara skurczowa wynosi ok. 11%, podczas gdy ta sama wartość dla chudej gliny wynosi jedynie 3%.

Po trzech latach działania warunków atmosferycznych można też zauważyć, że próbka z tłustej gliny łuszczy się w kilku miejscach, ale równocześnie w innych fragmentach jej powierzchnia jest nieuszkodzona.

Łuszczenie się gliny jest typowym znakiem erozji spowodowanej mrozem,



2.3-13 URZĄDZENIE DO WIELOKROTNEGO TESTU SPRAWDZAJĄCEGO ODPORNOŚĆ NA WYPLUKIWANIE, FEB

co wyjaśnić można następująco: wysychanie tłustej gliny powoduje oprócz sporych rys skurczowych także drobne, włoskowate pęknięcia, do których wnika woda. Pod wpływem mrozu rozszerzają się i powodują odpryskiwanie cząstek gliny. W tych miejscach, gdzie nie było pęknięć włoskowatych, nie nastąpiła też erozja.

Lewa strona próby po trzech latach wpływów atmosferycznych wskazuje na erozję spowodowaną deszczem. Powierzchnia gliny jest wypłukana, dawna rysa po skurczu schnięcia jest już częściowo zamulona. Interesujące jest to, że nie widać tu skutków erozji mrozowej, co jest konsekwencją braku pęknięć włoskowatych.

Z tego testu można wysunąć następujące wnioski:

- glina chudsza jest mniej odporna na erozję deszczową; jeżeli nie ma



2.3-14 PRÓBKİ TYNKU GLINIANEGO PRZED (Z LEWEJ) I PO (Z PRAWEJ) TRZYLETNIM WPŁYWIE WARUNKÓW ATMOSFERYCZNYCH

pęknięć włoskowatych, jest także odporna na mróz.

- glina tłusta łatwo ulega drobnym spękanom i staje się przez to nieodporna na mróz. Jeżeli glina nie pęka, jest niemal wodoszczelna.

Mrozoodporność gliny ocenia się na podstawie jej porowatości. W zasadzie można stwierdzić, że im więcej ma porów, tym jest bardziej odporna na przenikanie mrozu. Jeżeli woda znajdująca się w glinie zamarznie, a glina ma dosyć porów, w których woda zmieści się po zamrożeniu, to nie nastąpi erozja.

Zielonki, niewypalone jeszcze w cegielni cegły, nie są odporne na mróz z uwagi na sporą zawartość drobnych ziaren i niską porowatość. Dlatego nie należy ich używać do murowania zewnętrznych warstw ścian, które są narażone na zamrażanie. Ta niewielka porowatość mieszanki glinianej spowodowana jest dużą zawartością itu i powszechnie stosowanym zagęszczaniem w komorze próżniowej prasy ceglarskiej.

W porównaniu z tymi produkowanymi w cegielniach, cegły gliniane formowane ręcznie, zawierające niewielką ilość itu i sporo gruboziarnistego piasku, posiadają wystarczająco duże pory, co powoduje ich mrozoodporność.

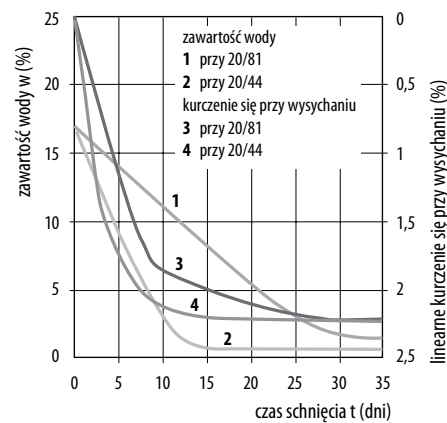
### 2.3.9 Czas schnięcia

Okres schnięcia to czas niezbędny do tego, aby mokry lub przesiąknięty wodą materiał budowlany osiągnął stan równowagi wilgotnościowej.

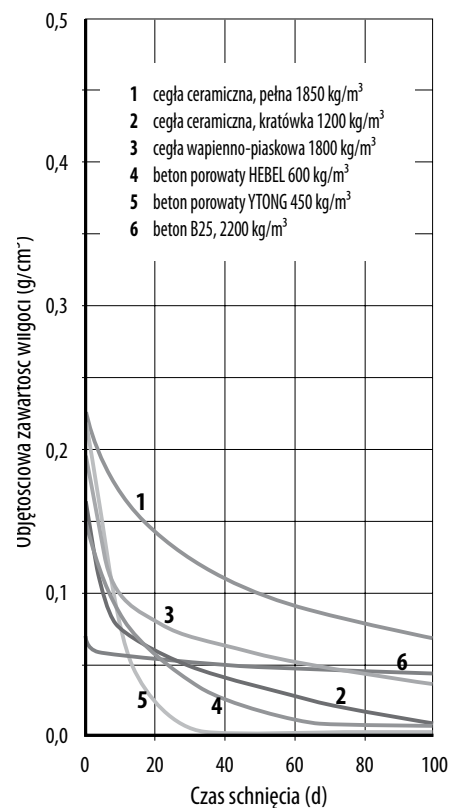
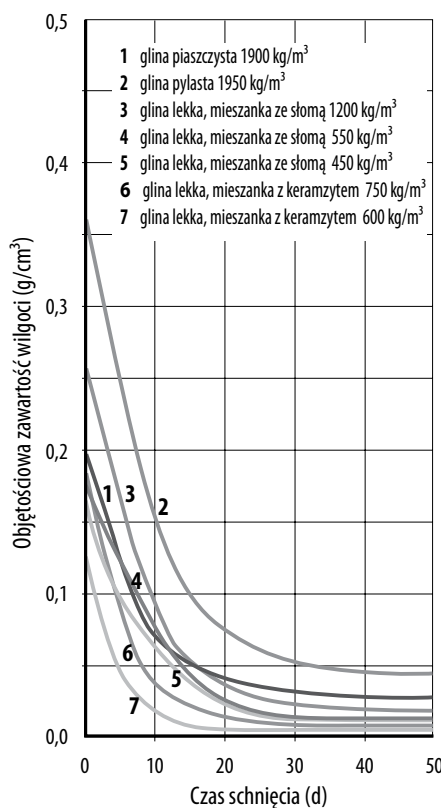
Wykresy 2.3-15 i 2.3-16 pokazują wyniki badań przeprowadzonych w FEB. Z tych doświadczeń wynika, że chuda glina o konsystencji brejowatej, w pomieszczeniu zamkniętym bez ruchu powietrza, w temperaturze 20°C przy względnej wilgotności 44% po ok. 14 dniach (a przy tej samej temp. ale wilgotności

81% – po 30 dniach) osiąga niemal pełen stan równowagi wilgotności.

Wykres 2.3-16 przedstawia zachowanie się różnych rodzajów gliny i innych materiałów podczas wysychania. W celu sprawdzenia tych właściwości składowano przez 24 godziny w komorze klimatyzacyjnej próbki o wymiarach 7,1 x 11,3 x 24 cm. Najpierw zostały one wysuszone w komorze klimatyzacyjnej przy temp. 60°C, a następnie kładziono je na 24 godziny na największym boku w wodzie na głębokość 3 mm. Potem przenoszono do innego pomieszczenia klimatyzacyjnego i składowano przy 23°C i względnej wilgotności 50%, bez ruchu powietrza. Doświadczenie wykazało jednoznacznie, że praktycznie po 20 do 30 dniach próbki gliniane już nie traciły na wadze, podczas gdy cegła ceramiczna pełna, cegła kratówka, cegła wapienno-piaskowa i beton nawet po 100 dniach zmniejszały ciągle swoją wilgotność, tzn. nie były



2.3-15 KURCZENIE SIĘ PRZY WYSYCHANIU I CZAS WYSYCHANIA CHUDEJ GLINY (T=4%, U=25%, S=71%) PRZY MIERZE PŁYNNOCI 42 CM (WG DIN 18555, CZ.2)



2.3-16 ZACHOWANIE SIĘ GLINY PODCZAS WYSYCHANIA W PORÓWNANIU Z INNYMI MATERIAŁAMI



jeszcze całkowicie suche. Należy tu także zaznaczyć, że beton po 24 godzinach moczenia w wodzie nie był jeszcze nasycony, tak jak np. próbki z gliny.

## 2.4 Wpływ pary wodnej na glinę

### 2.4.1 Uwagi ogólne

Podczas gdy woda oddziaływując na glinę pokazuje jej słabe strony i ją zmiękcza, to z kolei para wodna uwidacznia jej zalety: glina wchłania wilgoć bez mięknięcia i bez pęcznienia, oddaje ją, kiedy otaczające powietrze staje się suche. Gлина przyczynia się do regulacji zawartości wody w powietrzu, jest więc w stanie wpływać na zdrową atmosferę z unormowaną, harmonijną wilgotnością w pomieszczeniach (por. rozdz. 1.4).

### 2.4.2 Dyfuzja pary wodnej

Spadek ciśnienia pary wodnej między wnętrzem budynku i jego otoczeniem, co w naszym klimacie i przy pomieszczeniach ogrzewanych przebiega w kierunku od środka domu na zewnątrz, powoduje, że zawarta w powietrzu para wodna sama szuka sobie możliwości przeniknięcia przez odgradzające je ściany i stropy. Ten proces odbywa się zresztą w myśl praw fizyki o wyrównaniu ciśnienia, a określane jest jako dyfuzja.

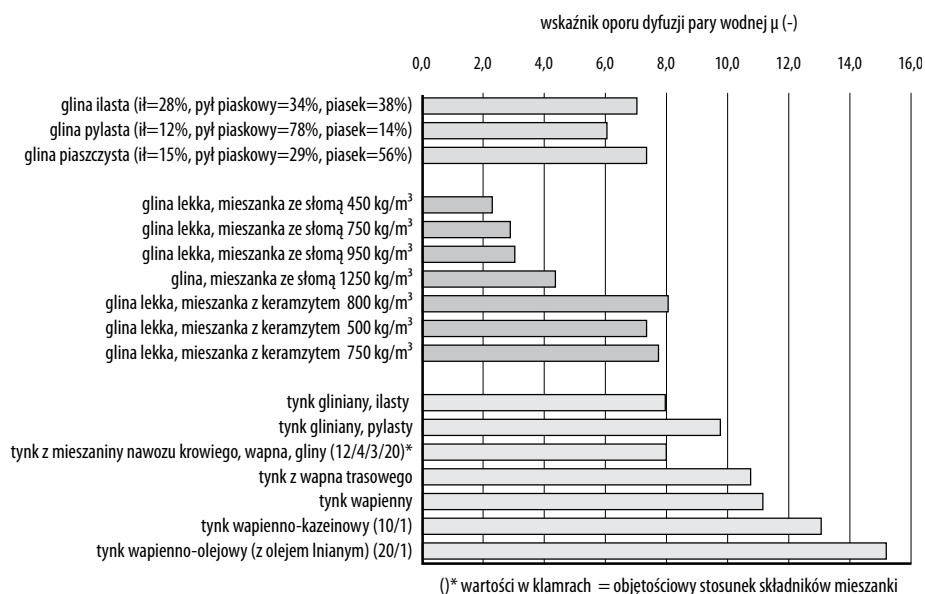
Opór, jaki stawia materiał przy przenikaniu przez niego pary wodnej zawartej w powietrzu, określa wskaźnik  $\mu$ . Wartość ta zależy od gęstości i struktury porów danego materiału. Sposób określenia przenikania pary wodnej przez materiały budowlane i izolacyjne definiuje DIN 52615. Iloczyn wskaźnika oporu przenikania  $\mu$  materiału budowlanego i grubości warstwy elementu  $s$  wyznacza istniejący opór dyfuzji pary wodnej, który z kolei określa się mianem równoważnika przenikania warstwy powietrza  $s_d$  [m]. Powietrze ma wskaźnik oporu dyfuzji  $\mu=1$  i tym samym

materiał budowlany o równoważniku przenikania  $s_d=10$  m odpowiada oporowi przenikania pary wodnej przez warstwę powietrza o grubości 10m.

Na wykresie 2.4-1 przedstawiono niektóre wskaźniki  $\mu$  różnych rodzajów gliny, uzyskane przez Laboratorium Budownictwa Eksperymentalnego. Badania przeprowadzone z litą gliną wykazały, że wskaźniki  $\mu$  dla gliny pylastych były o ok. 20 niższe od wskaźników  $\mu$  dla glin mocno piaszczystych lub mocno ilastych. Interesujący i nowy jest także wniosek, że glina lekka, mieszanka z keramzytem o gęstości  $750 \text{ kg/m}^3$  posiada ok. 2,5 razy większy wskaźnik  $\mu$  od gliny lekkiej będącej mieszanką ze słomą (relatywnie niskie wartości wyznaczone dla gliny lekkiej ze słomą odpowiadają danym wyliczonym przez Varnosa w r. 1981). Tym samym wyniki FEB nie odpowiadają danym normy DIN 4108 cz. 4 z 1998 r. dla wszystkich typów gliny o gęstości od 2000 do  $800 \text{ kg/m}^3$ . Przepuszczalność pary wodnej można znacznie zmienić poprzez obróbkę powierzchni ścian (patrz rozdz. 12.3.4).

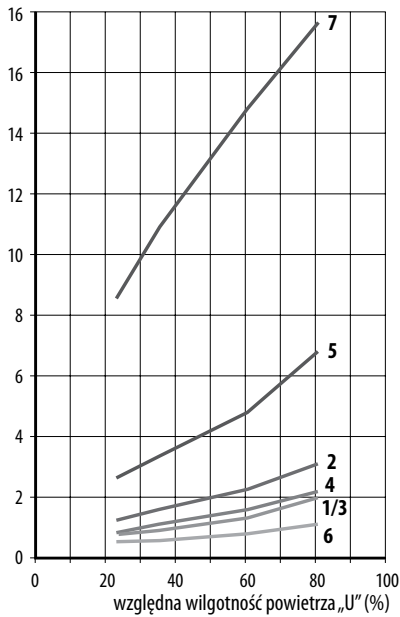
### 2.4.3 Wilgotność równowagi

Wilgotny element budowlany, który jest otoczony nienasyconym powietrzem o stałej temperaturze, powinien według prawidłowości dyfuzji stopniowo całkowicie wyschnąć. Tak się jednak nie dzieje. Każdy materiał, który można określić mianem „wyschniętego”, zawiera właściwą sobie wilgotność końcową, zwaną wilgotnością równowagi. Zależy ona od temperatury i wilgotności otoczenia. Im większa wilgotność powietrza, tym większa wilgotność równowagi i tym więcej wilgoci wchłania materiał z otaczającego go powietrza. Ten proces nazywamy sorpcją lub absorpcją. Oddawanie wilgotności otoczeniu określamy mianem desorpcji. Określenie sorpcja jest używane jako miano dla obydwu procesów. Sorpcja dotyczy zdolności cząsteczek wody do odkładania się na ścianach porów wnikańcych w materiał. Ten fenomen, nazywany także kondensacją kapilarną, można wyjaśnić tym, że prężność pary nasyconej w rurkach włoskowatych jest mniejsza niż w powietrzu otoczenia.



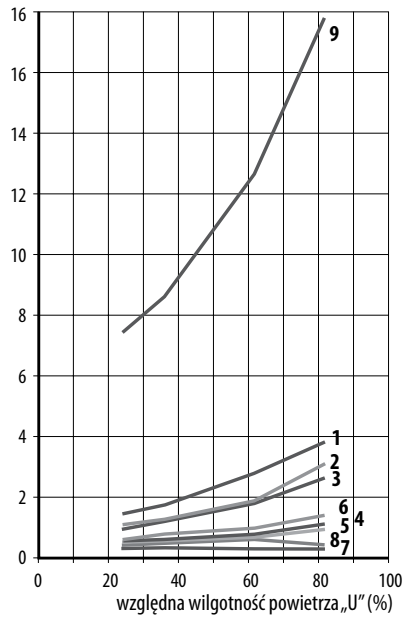
2.4-1 WSKAŹNIKI OPORU DYFUZJI PARY WODNEJ RÓŻNYCH MATERIAŁÓW GLINIANYCH WG DIN 52615, METODA MOKRA

zawartość wody „w” (m.%)



- 1 glina ilasta
- 2 glina pylasta
- 3 glina piaszczysta
- 4 glina ilasta, granulata
- 5 cegła gliniana Meldorf
- 6 kaolinit, proszek
- 7 bentonit, proszek

zawartość wody „w” (m.%)



- 1 glina lekka, mieszanka ze słomą 450
- 2 glina lekka, mieszanka ze słomą 850
- 3 glina lekka, mieszanka ze słomą 1150
- 4 glina lekka, mieszanka z keramzytem 450
- 5 glina lekka, mieszanka z keramzytem 550
- 6 glina lekka, mieszanka z keramzytem 700
- 7 keramzyt luzem
- 8 szkło porowate, luzem
- 9 słoma żytnia, luzem

2.4-2 ZAWARTOŚĆ WODY W GLINIE, ILE I RÓŻNYCH DODATKACH W ZALEŻNOŚCI OD WILGOTNOŚCI POWIETRZA

Im mniejszy jest promień naczyń włosowatych, tym bardziej zmniejsza się ciśnienie nasycenia i tym większa staje się kondensacja kapilarna.

Wilgotnością równowagi określamy zatem wilgotność maksymalną, którą może wchłonąć jakiś materiał budowlany przy stałej temperaturze i stałej wilgotności powietrza; oznaczana jest także jako higroskopijna zawartość wilgoci. Ilość zawartej w materiale wody oznaczana jest z reguły w procentach jako masowa zawartość wody  $U_m$ . Wyliczana jest z równania:

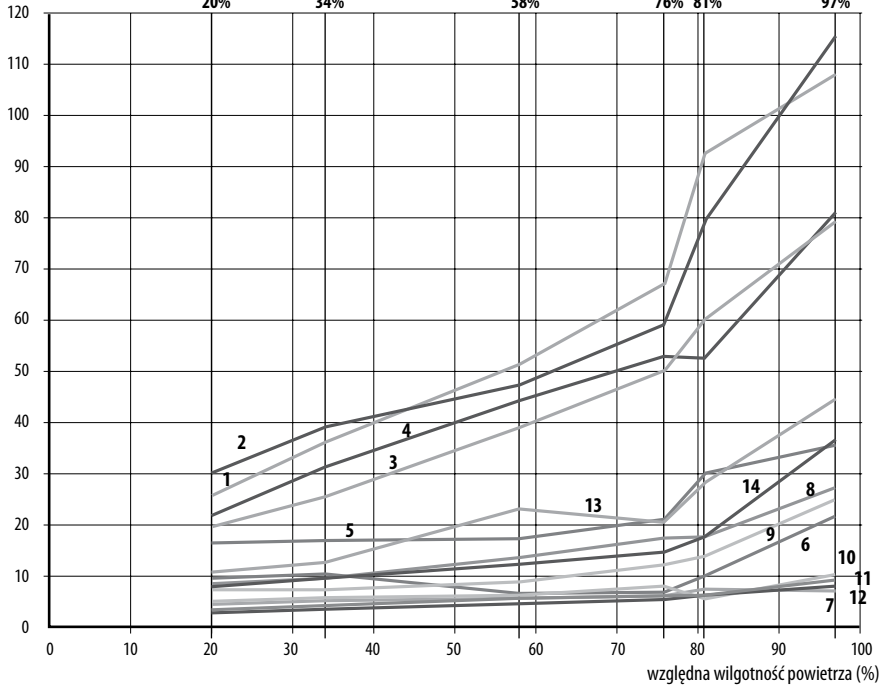
$$U_m = \frac{\text{masa wody}}{\text{masa suchego materiału}}$$

Sorpcja materiałów budowlanych, zależna od względnej wilgotności powietrza, przedstawiana jest za pomocą krzywej sorpcji (izotermy sorpcji – pojęcie bierze się z tego, że wchłonięta ilość wody zależna od wilgotności powietrza wyznaczana jest każdorazowo przy tej samej temperaturze.)

Wykres 2.4-2 przedstawia wyznaczone przez FEB krzywe sorpcji dla gliny litej i gliny lekkiej. Określone wilgotności równowagi dla różnych rodzajów gliny wahają się od 0,4 do 6%. Najniższa wartość wyznaczona została dla bardzo chudego tynku glinianego przy 20% względnej wilgotności powietrza, najwyższa zaś dla bardzo tłustej gliny i 97% wilgotności powietrza. Interesujący jest fakt, że słoma żytnia przy wilgotności powietrza = 80% posiada wilgotność równowagi = 18%, natomiast keramzyt tylko 0,3%.

Wykres 2.4-3 pokazuje wyznaczone przez FEB wilgotności równowagi czterech różnych rodzajów gliny w porównaniu z innymi materiałami. Widać tu jednoznacznie, że glina tym więcej wchłania wilgoci, im więcej zawiera ilitu, przede wszystkim zaś montmorylonitu (proszek bentonitowy zawierający ponad 70% montmorylonitu posiada

zawartość wody (g/dm<sup>3</sup>)



- 1 świerk heblowany
- 2 limba heblowana
- 3 glina ilasta
- 4 cegła z gliny lessowej
- 5 tynk cementowy
- 6 tynk cementowo-wapienny
- 7 tynk wapienno-kazeinowy
- 8 tynk z gliny lessowej
- 9 tynk z gliny ilastej
- 10 cegła ceramiczna
- 11 cegła licówka
- 12 cegła lekka
- 13 cegła wapienno-piaskowa
- 14 beton komórkowy

2.4-3 WILGOTNOŚCI RÓWNOWAGI GLINY W PORÓWNANIU Z INNYMI MATERIAŁAMI BUDOWLANYMI

przy względnej wilgotności powietrza 50% wilgotność równowagi = 13%, kaolinit tylko 0,7%). Badany chudy tynk gliniany (nr 9 na wykresie 2.4-3) wchłania przy 58% wilgotności powietrza tylko jedną piątą tej ilości wody, która wsiąka w niewypalaną cegłę z gliny lesowej przy tej samej wilgotności.

Ważna dla działania regulującego wchłanianie wilgoci przez glinę jest jednak nie tyle wielkość wilgotności równowagi, co przede wszystkim prędkość, z jaką woda jest wchłaniana, względnie wydalana. To, że glina o wiele szybciej niż inne materiały budowlane wchłania i wydalą wilgoć, zostało szczegółowo omówione w rozdziale 1.4.

#### 2.4.4 Tworzenie się wody kondensacyjnej

W klimacie umiarkowanym i zimnym para wodna zawarta w powietrzu przenika dzięki różnicy ciśnień najczęściej ze środka na zewnątrz budynku. Kiedy jednak powietrze osiąga stan nasycenia parą wodną schładzając się wewnątrz ściany, para ta kondensuje się i mamy do czynienia z wodą kondensacyjną.

Zjawisko to powoduje zmniejszenie izolacji cieplnej ścian zewnętrznych i może być przyczyną tworzenia się grzybów pleśniowych. Dlatego też należy możliwie szybko odprowadzać wilgoć na zewnątrz, co umożliwiają materiały budowlane o wysokim stopniu przewodzenia kapilarnego, takie jak np. glina.

Aby zapobiec przemoczeniu wodą kondensacyjną zewnętrznych elementów budynku, należy zwrócić uwagę na to, że:

- Opór przenikania pary wodnej  $\mu$  (por. rozdz. 2.4.2) powinien zmniejszać się od środka budynku na zewnątrz.
- Opór przenikania ciepła  $1/\Lambda = s/\lambda$  [ $m^2K/W$ ] (por. rozdz. 2.5.2) powinien przybierać na wartości od środka na zewnątrz.

Tworzeniu się wody kondensacyjnej można skutecznie przeszkodzić poprzez zabudowanie paroizolacji, ale zabieg ten ma dwie zasadnicze wady:

- Jak pokazuje doświadczenie, paroizolację trudno jest położyć absolutnie szczelnie. Zawsze przy oknach, drzwiach, połączeniach ścian ze stropem i posadzką powstają przepuszczające wilgoć szpary i w tych miejscach kondensuje się jednak woda.
- W budynkach monolitycznych następuje często przemoczenie ścian od zewnątrz. Ponieważ wilgoć wędruje zawsze od miejsc mokrych do suchych, a więc w tym wypadku do środka budowli, nie może ona przeniknąć i wyparować z wewnętrznej powierzchni ściany, bo przeszkadza jej tam położona paroizolacja. Ściana pozostaje więc dość długo mokra.

Obliczenia techniczne dotyczące izolacji cieplnej i zapobiegania tworzenia się wody kondensacyjnej omawia norma DIN 4108, cz. 5.

### 2.5 Zachowanie się gliny podczas działania ciepła

#### 2.5.1 Uwagi ogólne

Powszechnie przyjęta opinia, że glina stanowi szczególnie dobrą izolację cieplną, jest błędna. Ściana z ubitej, litej gliny albo też murowana z cegły glinianej bez dodatków porowatych, posiada właściwości izolacyjne podobne do muru tej samej grubości z cegły ceramicznej.

Decydującym czynnikiem izolacji termicznej materiału budowlanego jest jego porowatość i tym samym gęstość oraz zawartość wilgoci. Im więcej posiada on porów, tym jest lżejszy i tym większe są jego właściwości izolacji termicznej.

Im z kolei jest wilgotniejszy, tym jego izolacyjność zmniejsza się.

Przepływ ciepła przez element budowlany określa współczynnik przenikania ciepła  $U$  [ $W/m^2K$ ]. Obliczanie wartości współczynnika  $U$  zostanie dokładniej omówione w rozdziale 16.3.

#### 2.5.2 Przewodzenie ciepła

Przewodzenie ciepła przez materiał określa współczynnik przewodzenia ciepła  $\lambda$  [ $W/mK$ ].

Wyznacza on ilość ciepła mierzonego w  $W/m^2$ , przechodzącą przez ścianę grubości 1 m przy różnicy temperatur  $1^\circ$ . Norma DIN 4108 cz. 4 z 2007 r. podaje wartości  $\lambda$  dla gliny (patrz tab. 2.4).

#### 2.5.3 Ciepło właściwe

Ciepło potrzebne do ogrzania materiału o  $1^\circ C$  nazywamy ciepłem właściwym  $c$ . Norma DIN 18953 str. 1 określa ciepło właściwe gliny  $c=0,24$  kcal/kg $^\circ C=1,0$  kJ/kgK.

#### 2.5.4 Akumulacja ciepła

Zdolność gromadzenia ciepła przez materiał budowlany wyznacza wskaźnik akumulacji ciepła  $S$ , który jest proporcjonalny do ciepła właściwego  $c$  i gęstości  $\rho$ :

$$S = c \cdot \rho \text{ [kJ/m}^3\text{K]} \text{ lub [Wh/m}^3\text{K]}$$

Gęstość $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda$ W/mK
2000	1,10
1800	0,91
1600	0,79
1400	0,59
1200	0,47
1000	0,35
900	0,30
800	0,25
700	0,21
600	0,17
500	0,14

TABELA 2.4 WSKAŹNIKI PRZEWODZENIA CIEPŁA DLA MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH Z GLINY WG DIN 4108 CZ.4 Z R. 2007

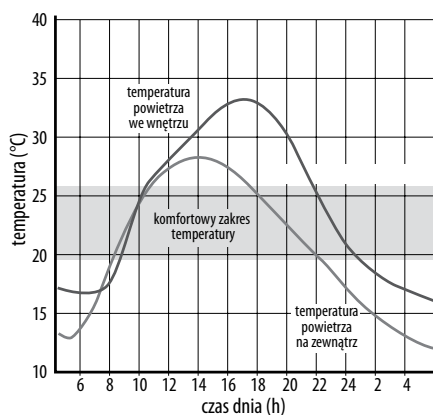
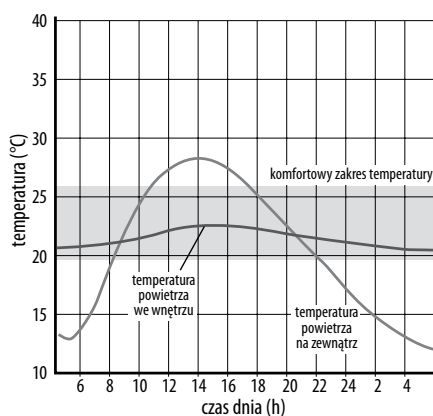
Liczba  $S$  określa potrzebną ilość ciepła do podgrzania  $1 \text{ m}^3$  materiału o  $1^\circ\text{C}$ . Zdolność gromadzenia ciepła przez element budowlany  $Q_s$  wyznaczana jest przez wskaźnik  $S$  oraz przez grubość tego elementu  $s$ :

$$Q_s = c \cdot \rho \cdot s [\text{kJ}/\text{m}^2\text{K}] \text{ lub } [\text{Wh}/\text{m}^2\text{K}]$$

### 2.5.5 Pobieranie i oddawanie ciepła w zależności od czasu

Prędkość, z jaką jakiś materiał pobiera albo oddaje ciepło, wyznacza współczynnik wnikania ciepła  $b$  zależny od ciepła właściwego, gęstości i wskaźnika przewodzenia ciepła:

$$b = \sqrt{c \cdot \rho \cdot \lambda} [\text{kJ}/\text{K} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}]$$



**2.5-1** PORÓWNANIE WAHAN TEMPERATURY NA ZEWNĄTRZ I WEWNĄTRZ TESTOWANEGO BUDYNKU ZE SKLEPIENIEM GLINIANYM (WYKRES GÓRNY) ORAZ BUDYNKU Z PREFABRYKATÓW BETONOWYCH (WYKRES DOLNY), (FATHY 1986)

Im większy jest wskaźnik  $b$  jakiegoś materiału, tym szybciej wnika ciepło do jego wnętrza i tym zdaje się on zimniejszy przy dotknięciu, ponieważ ciepło ręki zostaje szybciej odprowadzone.

### 2.5.6 Tłumienie ciepła

Tłumienie ciepła to właściwość ściany zewnętrznej polegająca na zwolnieniu i zmniejszeniu przekazywania na wewnętrzną powierzchnię muru wahań temperatury zewnętrznej.

Ściana o dużej zdolności magazynowania ciepła powoduje większe opóźnienie przepływu ciepła (przesunięcie fazowe), dobrze izolowana ściana tłumi wahania temperatury (tłumienie amplitudy).

W strefach klimatycznych, gdzie jest duża różnica temperatur między dniem i nocą, przeciętnie jednak leży w granicach współczynnika komfortu (między  $17$  i  $25^\circ\text{C}$ ), dla zachowania przytulności sensowne staje się uzyskanie tłumienia ciepła poprzez budowanie ścian ciężkich i magazynujących ciepło. Tłumienie ciepła w ścianie zewnętrznej ma istotne znaczenie, kiedy średnia temperatura zewnętrzna leży dużo poniżej granicy komfortu, jak to ma miejsce np. w Europie.

Na wykresach 2.5-1 przedstawiono wpływ formy i materiału na klimat wnętrza dwóch eksperymentalnych obiektów o takiej samej kubaturze, wzniesionych w Kairze w 1964 r.: budynek z cegły glinianej o ścianach grubości  $50 \text{ cm}$  i sklepieniach także glinianych oraz budynek z płaskim dachem zbudowany z prefabrykatów żelbetowych. Podczas gdy temperatura na zewnątrz zmieniała się w ciągu 24 godzin o  $13^\circ\text{C}$ , temperatura wewnątrz budowli z gliny zmieniała się jedynie o  $4^\circ\text{C}$ , a w budynku betonowym o  $16^\circ\text{C}$ . Ok. godz. 16 temperatura w domu żelbetowym była o  $5^\circ\text{C}$  wyższa od tej na dworze, w budynku z gliny natomiast o  $5^\circ\text{C}$  niższa (Fathy 1986).

### 2.5.7 Promieniowanie ciepłe/ stopień emisji $\epsilon$

Promieniowaniem cieplnym określamy promieniowanie elektromagnetyczne powierzchni w obszarze promieniowania podczerwonego. Emisja jakiegokolwiek powierzchni w porównaniu z emisją płytki pokrytej np. sadzą z palącej się świeczki, która to absorbuje każdą padającą na nią energię, określa się stopniem emisji  $\epsilon$ . Metale mają niski stopień emisji (mniejszy od  $0,2$ ) a materiały niemetaliczne wyższy – między  $0,8$  i  $1$ . Twierdzenie, że glina nie nadaje się ani na pokrywanie powierzchni pieców, ani też do budowania ogrzewających ścian wewnętrznych, ponieważ stopień emisji gliny wynosi tylko  $0,39$  (Keppler i Lemke, 1986 oraz Schneider, 1996) obalone zostało przez Dirka Reincke w jego pracy dyplomowej z roku 2000. Wartość  $0,39$  opierała się na fałszywych założeniach i nigdy nie była sprawdzana. Doświadczenia przeprowadzone przez Reincke wykazały, że za całkowity stopień emisji  $\epsilon$  powierzchni glinianych dla wyliczenia wymiany promieniowania cieplnego należy przyjąć wartość  $\epsilon > 0,93$ .

### 2.5.8 Wydłużenie termiczne

Zmiany długości zależne od temperatury spełniają szczególnie ważną rolę przy stosowaniu tynków wapiennych i glinianych. Współczynniki rozszerzalności dla tynku i podłoża powinny być możliwie podobne. Dla elementów z gliny wyznaczone zostały przez FEB następujące wartości: glina ciężka:  $0,0043$  do  $0,0052 \text{ mm}/\text{m}\cdot\text{K}$ , mur z cegły glinianej:  $0,0062 \text{ mm}/\text{m}\cdot\text{K}$ , chuda zaprawa gliniana:  $0,007 \text{ mm}/\text{m}\cdot\text{K}$ . Tynki mineralne posiadają współczynniki wydłużania termicznego od  $0,005$  („miękką” zaprawa wapienna) aż do  $0,010 \text{ mm}/\text{m}\cdot\text{K}$  (zaprawa cementowa). Beton i gazobeton:  $0,01$ , cegła wapienno-piaskowa:  $0,007 \text{ mm}/\text{m}\cdot\text{K}$  (wartości te podają



Knöfel, 1979 oraz Künzel, 1990). Tynki na bazie żywic syntetycznych osiągają wartości od 0,013 do 0,030, a wytłaczana pianka polistyrenowa 0,07 mm/m·K.

### 2.5.9 Odporność ogniowa

Według normy DIN 4102 cz. 4 glina należy do materiałów budowlanych klasy A1 (niepalnych). DIN 18951 z 1951 roku klasyfikuje glinę jako materiał niepalny także kiedy zmieszana jest z włóknami roślinnymi, pod warunkiem, że ciężar objętościowy mieszaniny nie jest mniejszy od 1700 kg/m<sup>3</sup>. Według tych kryteriów glina lekka, czyli mieszanka ze słomą, nie została zakwalifikowana jako niepalna.

Przy elementach budynku z gliny należy brać pod uwagę możliwe szkody spowodowane gaszeniem pożaru wodą.

Na Uniwersytecie Technicznym w Brunshwiku podczas testu pożarowego udowodniono, że dach trzcinowy pokryty od wewnątrz trzywarstwowym tynkiem glinianym osiąga odporność ogniową F30.

## 2.6 Wytrzymałość

### 2.6.1 Siła wiązania

Opór, jaki wykazuje glina plastyczna przy próbie rozerwania, określa się mianem siły wiązania. Jest to więc miara wytrzymałości na rozciąganie w stanie plastycznym.

Siła wiązania zależy przede wszystkim od ilości itu w glinie. Znaczący wpływ ma na nią także rodzaj zawartych w glinie minerałów. Gлина, w której skład wchodzi sporo sodu albo potasu ma dużą, a glina zawierająca wapń małą siłę wiązania.

Ponieważ właściwość ta zależy też od ilości wody, można porównywać różne rodzaje gliny tylko wówczas, gdy zawierają tę samą ilość wody oraz gdy posiadają ten sam stopień plastyczności. Aby określić siłę wiązania gliny

wg DIN 18952, str. 2, musi ona uzyskać tzw. sztywność normową, co zostało omówione w rozdziale 2.3.3 przy wyznaczaniu skurczu jednostkowego podczas schnięcia.

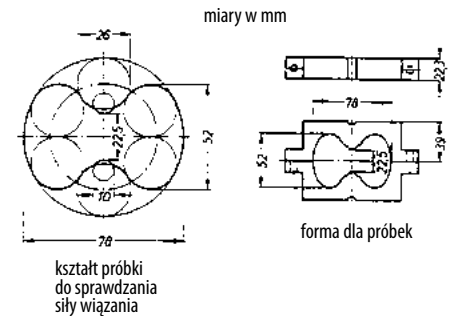
Próbki z gliny o sztywności normowej ubijane są w trzech warstwach o kształcie formy z rys. 2.6-1.

Z każdego rodzaju gliny należy wykonać w przedstawiony sposób trzy próbki, które potem przy pomocy przyrządu kontrolnego będą obciążane aż do zerwania. Rys. 2.6-2 przedstawia wykonany w FEB aparat, który zatrzymuje automatycznie dozowanie piasku przy pomocy zaworu magnetycznego w momencie opadnięcia zbiornika po zerwaniu próbki. Ciężar zbiornika i zawartość w nim piasku podzielony przez pole przekroju próbki (= 5 cm<sup>2</sup>) daje wartość siły wiązania.

Wykonanie próbek i wyznaczenie siły wiązania następuje według następujących zasad:

1. Gлина o sztywności normowej ubija się w formie w trzech warstwach. Ubijanie powinno przebiegać tak długo, aż dalsze zagęszczenie nie będzie już możliwe.
2. Próbki wygładza się z obydwu stron nożem, wyjmuje z formy i natychmiast wiesza na przyrządzie kontrolnym.
3. Próbki są w sposób ciągły obciążane poprzez dosypywanie suchego piasku o ziarnistości ok. 1 mm. Przepływ piasku nie powinien być większy od 750 g/min.
4. Natychmiast po zerwaniu się próbki zatrzymuje się dosypywanie piasku.
5. Ciężar zbiornika wraz z zawieszonym i dosypanym piaskiem określa obciążenie niszczące, liczone na powierzchni przekroju = 5 cm<sup>2</sup>.

Siłę wiązania określa średnia wartość trzech próbek w g/cm<sup>2</sup>. Różnice uzyska-



2.6-1 URZĄDZENIA DO FORMOWANIA PRÓBEK POTRZEBNYCH DO BADANIA SIŁY WIĄZANIA (DIN 18952 STR. 2)



2.6-2 PRZYRZĄD KONTROLNY DO WYZNACZANIA SIŁY WIĄZANIA, FEB

nych wyników nie powinny wynosić więcej niż 10%, w innym wypadku należy doświadczenie powtórzyć.

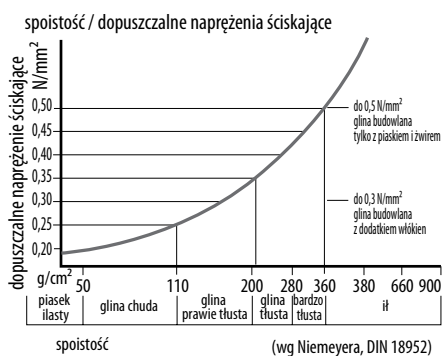
W tabeli 2.5 określono nazwy rodzajów gliny na podstawie ich siły wiązania, odpowiednio do normy DIN 18952, str. 2 (nazw tych nie używa się jednak w budownictwie z gliny i nie będą

Siła wiązania w g/cm <sup>2</sup>	50 do 110	111 do 200	201 do 280	281 do 360
Nazwa	głina chuda	głina prawie tłusta	głina tłusta	głina bardzo tłusta

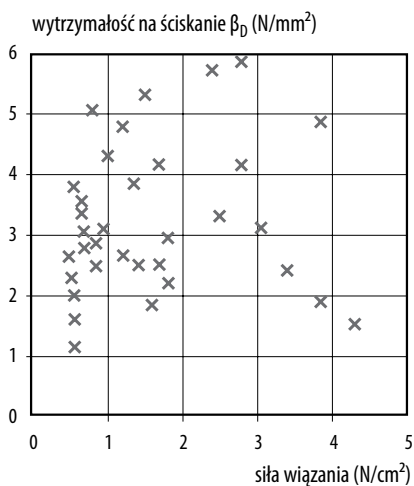
TABELA 2.5 OKREŚLENIE NAZW DLA RODZAJÓW GLINY ODPOWIEDNIO DO JEJ SIŁY WIĄZANIA WG DIN 18952 STR. 2



one tu także przyjęte). Według tej normy glina o sile wiązania mniejszej od 50 g/cm<sup>2</sup> nie nadaje się do budownictwa. To ograniczenie nie jest jednak właściwe. Gлина ubijana i ręcznie formowane cegły powinny wykazywać wystarczającą wytrzymałość oraz nieduży skurcz schnięcia i dlatego muszą zawierać gruboziarniste dodatki (> 2 mm), mając tym samym niewielką siłę wiązania. Pomiary przeprowadzone przez Instytut Badań Materiałów (Materialpüfanstalt Eckernförde) na próbkach pobranych z budynków powstałych z ubitej gliny w roku 1795 w Meldorf wykazały, że dwie spośród trzech bada-



**2.6-3** PRZYJĘTA PRZEZ NIEMEYERA ZALEŻNOŚĆ MIĘDZY SIŁĄ WIĄZANIA I DOPUSZCZALNĄ WYTRZYMAŁOŚCIĄ NA ŚCISKANIE, KTÓREJ TO ZALEŻNOŚCI NIE MOŻNA JEDNAK PRZYJMOWAĆ JAKO OBOWIĄZUJĄCEJ POWSZECHNIE (OZNACZENIA/ JEDNOSTKI WG DIN, ZUR NIEDEN 1984)



**2.6-4** ZWIĄZEK MIĘDZY SIŁĄ WIĄZANIA A WYTRZYMAŁOŚCIĄ NA ŚCISKANIE BADANYCH RODZAJÓW GLINY (WG GOTTHARDTA I BADAŃ FEB)

Ciężar suchego i zagęszczonego materiału bud. z gliny	Wytrzymałość na ściskanie kg/cm <sup>2</sup>	Dopuszczalne naprężenia ściskające kg/cm <sup>2</sup>					
		ściany	stupy o smukłości h/d				
			11	12	13	14	15
1600 do 2200	20	3	3	2	1		
	30	4	4	3	2	1	
	40	5	5	4	3	2	1

**TABELA 2.6** DOPUSZCZALNE NAPRĘŻENIA ŚCISKAJĄCE DLA GLINY WG DIN 18954

nych próbek miały siłę wiązania jedynie 25, względnie 26 g/cm<sup>2</sup>.

Tutaj należy zaznaczyć, że sztywność normowa wg DIN 18952, str. 2, dla gliny bardzo chudej, stosowanej do zaprawy tynkarskiej i ścian z gliny ubijanej, nie jest możliwa do wyznaczenia, ponieważ podczas wykonywania testu na upadek kulka rozsypuje się. Dla takiej gliny należy przeprowadzić badanie siły spójności wg FEB (patrz rozdz. 2.3.3), którego wynik jest miarą siły wiązania.

### 2.6.2 Wytrzymałość na ściskanie

Wytrzymałość na ściskanie suchych elementów glinianych, w przeciwieństwie do wytrzymałości na ściskanie mierzonej „na mokro”, nazywana jest „wytrzymałością na ściskanie na sucho” i wynosi 3 do 6 N/mm<sup>2</sup> (30 do 60 kg/cm<sup>2</sup>). Wartość ta dla gliny ekstremalnie chudej może wynieść 1 N/mm<sup>2</sup>. Jest ona zależna przede wszystkim od ilości i rodzaju ilitu, ale także od wielkości ziarna i ilości zawartego w glinie pyłu, piasku i żwiru. Ponadto istotny jest rodzaj przygotowania mieszanki i jej zagęszczenie. Rozdział 4.5 opisuje, jakimi sposobami i przy pomocy jakich dodatków można podnieść wytrzymałość gliny na ściskanie.

Opublikowana przez Niemeyera teza, że wytrzymałość na ściskanie jest proporcjonalna do siły wiązania i tym samym założenie, że każdej glinie o tej samej sile wiązania można przypisać dopuszczalne naprężenia ściskające, jest nie do przyjęcia. Wg Niemeyera należałoby glinie o sile wiązania 60 g/cm<sup>2</sup>

przyporządkować dopuszczalne naprężenia ściskające 2 kg/cm<sup>2</sup> (0,2 N/mm<sup>2</sup>), a glinie o sile wiązania 360 g/cm<sup>2</sup> odpowiednio dopuszczalne naprężenia ściskające 5 kg/cm<sup>2</sup> (0,5 N/mm<sup>2</sup>). Badania przeprowadzone przez FEB wykazały, że np. piaszczysta glina lessowa o sile wiązania 80 g/cm<sup>2</sup> wykazuje wytrzymałość na ściskanie na sucho 6,6 N/mm<sup>2</sup>, podczas gdy pylasty ilit o sile wiązania 390 g/cm<sup>2</sup> osiąga tylko 2,5 N/mm<sup>2</sup> wytrzymałości na ściskanie. Podobnie zresztą tezy Niemeyera obalił Gotthardt w 1949 r. przeprowadzając cały szereg doświadczeń. Wykres 2.6-4 pokazuje odpowiednie wyniki.

Dopuszczalne naprężenia ściskające, które stosują się do elementów z gliny, wynoszą wg DIN 18954 od 0,3 do 0,5 N/mm<sup>2</sup> (3-5 kg/cm<sup>2</sup>), zależnie od gęstości i wyznaczonej laboratoryjnie wytrzymałości na ściskania „na sucho”, por. tab. 2.7.

Dla elementów glinianych przyjmuje się współczynnik bezpieczeństwa 7, tzn., że rzeczywista wytrzymałość na ściskanie jest przeciętnie siedmiokrotnie wyższa od dopuszczalnej. W przedstawionym na zdjęciu 1.2-11 domu w miejscowości Weilburg an der Lahn, który zbudowano w roku 1828 i jest do dziś zamieszkały, wg Niemeyera (1946) ściany nośne z bitej gliny o wysokości pięciu kondygnacji wytrzymują w swojej najniższej partii obciążenie = 7,5 kg/cm<sup>2</sup>, czego norma DIN nie dopuszcza.

W Jemenie spotkać można domy gliniane, których ściany są nawet dwa

razy wyższe od domu w Weilburgu. Jakkolwiek jest to oczywiście możliwe, aby z gliny budować domy 10-ciokondygnacyjne, niemieckie normy nie pozwalają wznosić ścian glinianych, statycznie obciążonych, większych niż dwupiętrowej wysokości (DIN 18951 str. 1).

Materiał	pow. właściwa (m <sup>2</sup> /g)	wytrż. na rozciąganie przy zginaniu (N/mm <sup>2</sup> )
kaolin I Spezial	6	17
kaolin Salzmünder	15,5	48
it fajansowy (C)	17,2	174
tlusty it – Großalmeroder	54	483
czarny it – Klingenberg	90,7	918

**TABELA 2.7 WYTRZYMAŁOŚĆ NA ROZCIĄGANIE PRZY ZGINANIU RÓŻNYCH, WOLNYCH OD MONTMORYLONITÓW IŁÓW POCHODZĄCYCH Z CEGIELN (HOFMANN, SCHEMBRA, 1967)**

	Wytrzymałość w N/mm <sup>2</sup>		
	Ściskanie (1)	Rozciąganie przy zginaniu	Rozciąganie
głina ceglana G (2)	3,5	1,1	0,4
głina ceglana D (2)	4,4	1,3	0,5
głina ceglana G (3)	6,1	1,6	0,6
zaprawa gliniana G (3)	2,02	0,69	0,21
zaprawa gliniana C (3)	2,63	0,85	0,35
wytrzymałość słupowa (4 x 4 x 4 cm) wg Boenkendorfa (1995) i wg FEB (2001)			

**TABELA 2.8 WYTRZYMAŁOŚCI CEGIEŁ I ZAPRAWY Z GLINY**

Według DIN 18952, str. 2, określa się wytrzymałość na ściskanie suchego, zagęszczonego materiału budowlanego z gliny na podstawie badań co najmniej 5 próbek sześciennych o boku długości 300 mm. Kierunek wykonania (ubijania) próbek zaznacza się wyraźnie wyrytą strzałką na boku sześcienu. Próbkę muszą być zupełnie suche. Proces schnięcia można od szóstego dnia przyspieszyć w piecu w temperaturze 60°C. Materiał uznaje się za wyschnięty, gdy przestanie zmniejszać się jego ciężar. Górna i dolna powierzchnia próbki zostaje wyrównana zaprawą cementową (proporcja objętościowa 1 cz. cementu na 3 cz. płuکانego piasku); warstwy te nie mogą być grubsze od 3 mm. Kostkę obciąża się w tym samym kierunku, w jakim została wykonana aż do zniszczenia. Średnia wartość obciążenia niszczącego z trzech testów w odniesieniu do powierzchni 900 cm<sup>2</sup> daje wytrzymałość na ściskanie gliny. Wartości uzyskane przy badaniu próbek nie mogą odbiegać od wartości średniej o więcej niż 20%.

Aby przyspieszyć badania, można warstwę wyrównawczą wykonać z szybko wiążącej zaprawy gipsowo-piaskowej, pod warunkiem jednak, że chodzi o glinę, której wytrzymałość na ściskanie jest znacznie mniejsza od tej, jaką ma zaprawa. W praktyce testuje się często próbki o formie cylindrycznej albo kostki o wymiarach 20 x 20 x 20cm lub 15 x 15 x 15 cm.

Wytrzymałość na ściskanie zapraw glinianych mierzy się podobnie do wytrzymałości innych zapraw, używając próbek takich samych, jak dla sprawdzania wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu (tj. 16 x 4 x 4 cm).

Badanie wytrzymałości na ściskanie cegieł glinianych odbywa się wg DIN 18953, str. 2, a więc przy pomocy próbek, które składają się z dwóch elementów zespolonych zaprawą. Powierzchnie górna i dolna powinny być, jak to już

poprzednio opisano, wyrównane zaprawą cementową.

Według norm indyjskich dla stabilnych, wyciskanych cegieł („stabilized soil blocks”), powinno się, obok badania wytrzymałości na ściskanie na sucho, wyznaczać ją także metodą „na mokro”. W tym celu wyschnięte cegły gliniane moczy się przez 24 godziny w wodzie o głębokości 3 mm i potem bada ich wytrzymałość.

### 2.6.3 Wytrzymałość na rozciąganie w stanie wyschniętym

W przeciwieństwie do siły wiązania (rozdz. 2.6.1), która odpowiada wytrzymałości gliny na rozciąganie w stanie plastycznym, wytrzymałość na rozciąganie w stanie suchym dotyczy gliny całkowicie wyschniętej. Próbki mieszanek gliny o formie ósemek badane przez FEB w urzędowym punkcie badania materiałów budowlanych Uniwersytetu w Kassel miały przekrój 24 cm<sup>2</sup>. Wyniki tych testów wykazują, że wytrzymałość na rozciąganie cegieł wynosi ok. 10 do 11% ich wytrzymałości na ściskanie, a zaprawy tynkarskiej odpowiednio 11 do 13% (por. tab. 2.8).

### 2.6.4 Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu

Wytrzymałość suchej gliny na rozciąganie przy zginaniu, którą nazywa się także wytrzymałością na zginanie na sucho, nie ma dla gliny budowlanej wielkiego znaczenia, ponieważ nie należy elementów glinianych obciążać na zginanie. Właściwość ta ma jednak znaczenie przy ocenie tynków glinianych i „wytrzymałości krawędziowej” cegieł z gliny. Im większa wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu, tym mniejsze jest niebezpieczeństwo odpadania, względnie pęknięcia tynku poddanego działaniom mechanicznym i tym mniej będą odpryskiwały krawędzie cegieł podczas transportu i montażu.

Podobnie jak i siła spójności, wytrzymałość gliny budowlanej na rozciąganie przy zginaniu zależy w pierwszym rzędzie, od ilości i rodzaju zawartego w niej یت. Badania przeprowadzone w 1967 r. w 33 cegielniach (Hofmann, Schembra) na یتach wolnych od montmorylonitu wykazały, że یتy o małej powierzchni właściwej, a więc takie, które składają się ze stosunkowo dużych i grubych płytek i tym samym posiadających małą zdolność wymiany kationów, wykazują niewielką wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu. Tabela 2.7 przedstawia



**2.6-5** SPRAWDZANIE WYTRZYMAŁOŚCI GLINY NA ROZCIĄGANIE W STANIE WYSCHNIĘTYM



**2.6-6** BADANIE WYTRZYMAŁOŚCI NA ROZCIĄGANIE PRZY ZGINANIU

niektóre dane badanych rodzajów یت. Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu ostatniej próbki jest 54-krotnie większa niż pierwszej.

To, że rodzaj kationów ma znaczny wpływ na wytrzymałość, czyli na rozciąganie przy zginaniu, zostało jednoznacznie udowodnione: kaolinit posiada ją największą, kiedy ma wymienialne jony sodu, a najmniejszą przy wymienialnych jonach wapnia. Różnica może wynosić ponad 100%.

Montmorylonit ma większą wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu niż kaolinit. Badania (Hofmann, Schombrera) wykazały, że najlepszy z testowanych یتów montmorylonitowych zawierający 80% montmorylonitu miał wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu  $2230 \text{ N/cm}^2$ , tj. 2,4 razy więcej niż najlepszy z 53 badanych یتów wolnych od montmorylonitu.

Bentonit, który w handlu występuje jako towar workowany, jest dzięki dużej zawartości montmorylonitu szczególnie nadającym się dodatkiem zwiększającym wytrzymałość gliny na rozciąganie przy zginaniu.

Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu gliny z różnych cegielni (mierzona wg DIN 1164 cz. 7 (zdjęcie 2.6-6) na próbkach  $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$ , odległość między podporami =  $100 \text{ mm}$ ) wykazuje wartości od 1,1 do  $1,6 \text{ N/mm}^2$ . Wyniki te odpowiadały 25-31% wytrzymałości tych próbek na ściskanie, a wyniki badanych zapraw glinianych odpowiednio 32-34%, por tab. 2.9.

Należy także zaznaczyć, że dodatek 2% do 4% wiórków kokosowych albo rozwłóknionej siewki słomianej zwiększa wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu o 5-10%. Kiedy jednak włókna rozdzielne są nierównomiernie, mogą wystąpić pojedyncze wartości nawet mniejsze niż dla mieszanki bez dodatków.

### 2.6.5 Wytrzymałość na rozciąganie przy sklejeniu

Wytrzymałość na rozciąganie przy sklejeniu istotna jest dla tynków glinianych. Zależy ona od szorstkości podłoża i wytrzymałości tynku na rozciąganie przy zginaniu. Wg DIN 18555 cz. 6 wyznacza się ją w sposób następujący: wywierca się najpierw powierzchnię próbną o średnicy  $50 \text{ mm}$  i zakleja płytą próbną. Płyta ta zostaje potem przy pomocy sznura obciążeniowa pod kątem prostym do podłoża. Obciążenie niszczące podzielone przez powierzchnię ( $1966 \text{ mm}^2$ ) daje wytrzymałość na rozciąganie przy sklejeniu w  $\text{N/mm}^2$ .

### 2.6.6 Wytrzymałość na ścieranie

Powierzchnie gliniane, jak tynk albo posadzka, podczas działania mechanicznego ulegają ścieraniu. Powstaje ono poprzez kontakt z ośrodkiem poruszającym się, stałym lub gazowym. Powierzchnie zewnętrzne ulegają ścieraniu podczas burz piaskowych, a posadzki poprzez ruch szorstkich podeszew.

Wytrzymałość na ścieranie elementów glinianych jest tym większa, im gładzsza i ściślejjsza jest ich powierzchnia oraz im większa jest siła wiązania gliny.

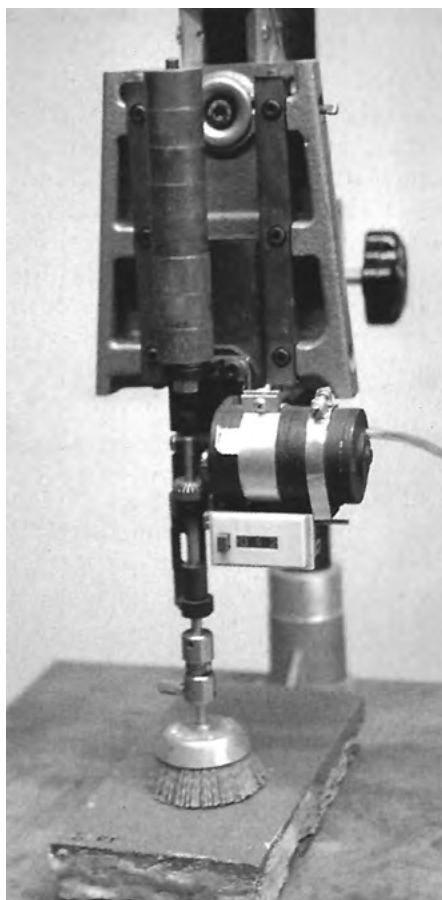
Ponieważ dla powierzchni glinianych nie ma normowanych metod badania wytrzymałości na ścieranie, a testów stosowanych dla powłok malarskich nie można powielać, zbudowano w FEB na Uniwersytecie w Kassel aparat, przy pomocy którego możliwe jest ustalenie tej wartości.

Urządzenie posiada obracającą się szczotkę o przekroju  $7 \text{ cm}$ , która jest dociskana siłą  $2 \text{ kg}$  do badanej powierzchni. Po 20 obrotach pył jest zbierany i ważony.

Zdjęcie 2.6-7 pokazuje aparat do mierzenia w laboratorium oraz odpowiadające mu urządzenie ręczne, gdzie

siłę nacisku 2 kg osiąga się przy pomocy sprężyny. Urządzenie to stosowane na budowie pozwala na szybkie, optyczne sprawdzenie wytrzymałości na ścieranie.

Wytrzymałość na ścieranie koreluje częściowo, a nawet w dużej mierze, z wytrzymałością gliny na rozciąganie



**2.6-7** ZBUDOWANE W FEB URZĄDZENIA DO MIERZENIA WYTRZYMAŁOŚCI NA ŚCIERANIE POWIERZCHNI GLINIANYCH

przy zginaniu. Decydujące na wytrzymałość na ścieranie są: skład ziaren oraz zawartość ility. Iły kaolinitowe wykazują mniejszą wytrzymałość niż ility montmorylonitowe.

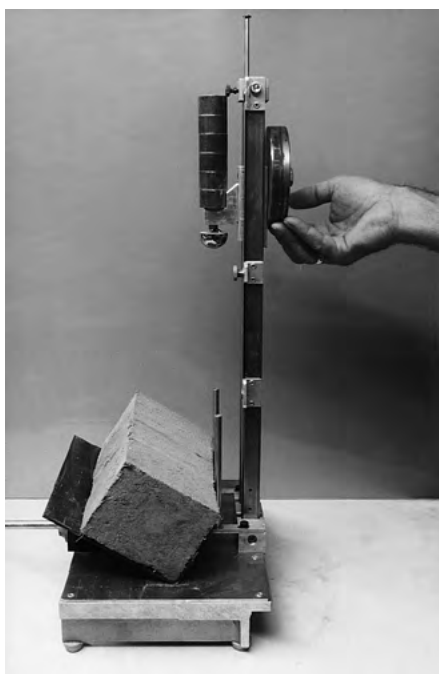
### 2.6.7 Moduł elastyczności

Dynamiczny moduł elastyczności Edyn ilastych glin zawiera się, według badań Instytutu Chemii Budowlanej i Materiałowej Uniwersytetu w Siegen, między 8000 i 8500 N/mm<sup>2</sup>.

Glina chuda, którą stosuje się jako zaprawę i materiał do murów ubijanych, wykazuje wartości odpowiednio mniejsze.

### 2.6.8 Wytrzymałość krawędzi.

Podczas stosowania w budownictwie cegieł glinianych niemałym problemem jest niewielka wytrzymałość ich krawędzi. Już podczas rozładunku i transportu na budowie może nastąpić uszkodzenie. Także krawędzie murów z gliny odpryskują i pękają przy uderzeniach twardych przedmiotów i dlatego zabezpiecza się je odpowiednio lub też



**2.6-8** APARAT DO BADANIA WYTRZYMAŁOŚCI KRAWĘDZI

zaokrągla czy ścina (por. rozdz. 11.12). W celu zbadania wytrzymałości krawędzi cegieł i płyt glinianych opracowano odpowiednią metodę testowania tych materiałów w Laboratorium Budownictwa Eksperymentalnego Uniwersytetu w Kassel (FEB) (zdjęcie 2.6-8). Podczas badania następuje uderzenie obciążnika opadowego, który spada pionowo z wysokości 250 mm na krawędź poziomo zamocowanej próbki. Obciążnik opadowy, którego dolną końcówkę stanowi stalowa półkula o średnicy 30 mm, uderza próbkę pod kątem 60° w odległości 10 mm od jej krawędzi.

Ponieważ obciążnik opadowy spada punktowo i ukośnie do krawędzi próbki, a uderzenie pochodzi od nieelastycznego ciała, warunki przeprowadzanego doświadczenia odpowiadają ekstremalnemu obciążeniu.

Ciężar obciążnika opadowego wynosi min. 0,3 g i może być stopniowo (co 100 g) zwiększany aż do 3,5 kg. Przeprowadzone przez FEB testy wykazały, że nawet ceramiczne cegły kratówki i lite cegły wapienno-piaskowe nie osiągają wyższej wytrzymałości krawędzi.

Podczas badań wytrzymałości krawędzi rozróżniono 4 rodzaje szkód. Przy miękkich próbkach następują one jedna po drugiej, natomiast podczas badania próbek kruchych mamy do czynienia tylko z pierwszą i ostatnią:

- W punkcie uderzenia kuli powstaje jedynie wgniecenie jako trwałe zniekształcenie.
- Powstaje delikatne pęknięcie włoskowate z obydwu stron punktu uderzenia. Rysa przebiega ukośnie, na zewnątrz krawędzi, ale na sąsiedniej powierzchni nie pojawia się.
- Powstaje rysa o takim samym przebiegu, jak w przypadku B. Pojawia się także na sąsiedniej powierzchni, lecz nie jest na tyle głęboka, aby







Zatem najmniejsze obciążenie radonem spośród wszystkich naturalnych, mineralnych materiałów budowlanych wykazuje czysta glina. Halder wysunął w 1993 roku następujący wniosek: „wyziewanie radonu przez różne materiały budowlane powoduje tylko niewielką koncentrację we wnętrzach pomieszczeń (...). Jedynym wyjątkiem jest gips chemiczny (fosforyt) (...). Zależność między radonem i materiałem budowlanym jest w praktyce bez znaczenia”. Do tego stwierdzenia należy dodać, że obciążenie radonem we wnętrzach pomieszczeń pochodzi przede wszystkim z gruntu. Więcej na ten temat w publikacjach: Keller i Muth (1986) oraz Strahlentelex (1990).

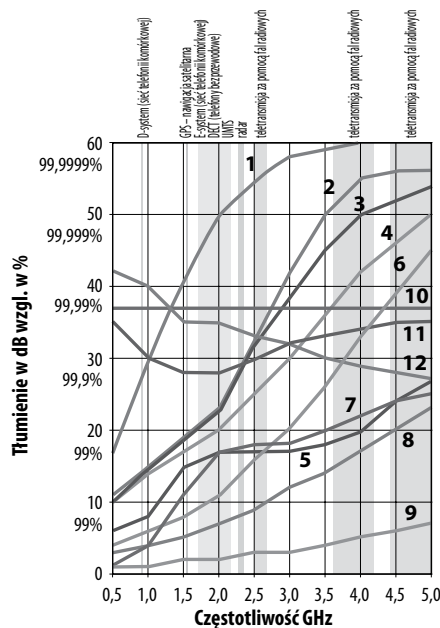
## 2.9 Osłona przeciw promieniowaniu elektromagnetycznemu o wysokiej częstotliwości

Przeprowadzone przez prof. Petera Pauli i dr inż. Dietricha Maldana z Instytutu Wysokich Częstotliwości, Mikrofal i Techniki Radarowej Uniwersytetu Bundeswehry w Monachium badania na temat osłaniania przed promieniowaniem o wysokiej częstotliwości przez materiały budowlane wykazały, że ściana z cegły glinianej o grubości 24 cm i gęstości 1600 kg/m<sup>3</sup> oraz 15-procentowej zawartości porów dla częstotliwości od 1,8 do 1,9 GHz telefonii komórkowej (sieci E) i telefonów bezprzewodowych (DECT) wykazują tłumienie promieniowania ok. 20 dB, co odpowiada redukcji o 99,4%. Tłumienie promieniowania przez 24 cm ścianę z cegły sitówki o gęstości 1200 kg/cm<sup>3</sup> wynosi tylko 17 dB, a ściany z cegły wapienno-piaskowej tej samej grubości o gęstości 1800 kg/cm<sup>3</sup> jedynie 7 dB. Dla częstotliwości UMTS, której wartości leżą między 1,92 i 2,17 GHz, wykazano niewiele większe zależności, por. wykres 2.9-1. Dla wyższych częstotliwości, np. radiofonii krótkofalowej 11 cm

(2,32 – 2,45 GHz) i teletransmisji za pomocą linii radiowych (4,4 – 5,0 GHz) wartości tłumienia transmisji wynoszą o wiele więcej, niż wynikałoby to z wykresu. Przy 4 GHz tłumienie ściany glinianej wynosi 50 dB (= 99,999%), natomiast ściany z cegły wapienno-piaskowej tylko 17 dB.

Ściana lekka, zbudowana w sposób konwencjonalny, która często występuje w budynkach z prefabrykatów, nie wykazuje praktycznie żadnego tłumienia. Jak pokazują pomiary przeprowadzone przez FEB, nieomal całkowite osłonięcie (49 dB = 99,999%) daje już przy 2 GHz dach pokryty trawą połączony ze sklepieniem z cegły glinianej o gr. 24 cm.

Tłumienie transmisji wysokich częstotliwości wg. MIL-Standard 285 pionowa fala spolaryzowana



- 1 dach zielony 16 cm / izolacja cieplna 20 cm / cegła gliniana 24 cm / tynk gliniany 2 cm
- 2 dach zielony 16 cm (wilgotna ziemia z 1/3 tępka wypalonego porowatego) / izolacja cieplna 20 cm
- 3 cegła gliniana 24 cm 1600 kg/m<sup>3</sup> / tynk gliniany 2 cm
- 4 tynk wapienny 2 cm / glina lekka, mieszanka z keramzytem 800 kg/m<sup>3</sup> 25 cm / tynk gliniany 1,5 cm
- 5 cegła z gliny lekkiej, mieszanka z drewnem 1400 kg/m<sup>3</sup> 10 cm
- 6 beton komórkowy 500 kg/m<sup>3</sup> 17,5 cm
- 7 cegła sitówka 1200 kg/m<sup>3</sup> 24 cm
- 8 cegła wapienno-piaskowa 1800 kg/m<sup>3</sup> 24 cm
- 9 dachówka ceramiczna 1,3 cm
- 10 roleta przeciwsłoneczna, reflektująca
- 11 siatka metalowa przeciw owadom 1\*1 mm
- 12 szkło pochłaniające promieniowanie ciepłe, dwie szyby

Źródła: 1-4 FEB 2001, 5-12 Pauli, Moldan 2000

2.9-1 OSŁANIAJĄCE PRZED PROMIENIOWANIEM DZIAŁANIE ELEMENTÓW BUDOWLANYCH

Materiał bud.	gęstość t/m <sup>3</sup>	PEI		Źr.
		kWh/t	kWh/m <sup>3</sup>	
adobe (ręcznie wyrabiane cegły gliniane)	1,7	3-6	5-10	6
wypełnienie szkieletu ściany gliną lekką	0,8	14	11	1
glinobitka	2,2	20	44	2
tynk gliniany, produkcja przemysłowa	1,7	139	236	1
cegły zielonki suszone sztucznie	1,2	290	349	2
cegła kratówka, porowata	0,75	722	541	1
cegła pełna	1,8	750	1350	1
prefabrykaty betonowe			800	3
stal zbrojeniowa	7,8	3,611	28.166	1
płyty aluminiowe		72,500	195,000	3
cegła wapienno-piaskowa	1,8	313	564	2
wetna mineralna			169	4
keramzyt	0,35	857	300	7
krawędzieziaki (suszone sztucznie)		1,306	588	1
sklejka drewniana, trójwarstwowa	0,43	1,691	727	2
płyta OSB	0,62	2,058	1,276	2
sklejka	0,49	2,681	1,314	2
bele słomiane	0,11	64	7	5

Źródła: 1:Waltjen 1999; 2:Hegger et al. 2005; 3: Baier 1982; 4: Eyerer; Reinhardt 2000; 5: Krick 2008; 6: Minke 1986; 7: Marmé, Seeberger 1982

TABELA 2.9 ZAWARTOŚĆ ENERGII PIERWOTNEJ W MATERIAŁACH I ELEMENTACH BUDOWLANYCH

Dach z dachówki ceramicznej daje minimalną osłonę, podczas gdy dach zielony na lekkim podłożu o gr. 16 cm przy 2 GHz 22 dB, a więc osiąga tłumienie ponad 99,4%.

Także okna mogą wykazywać działanie osłaniające, jeżeli posiadają szyby pochłaniające promieniowanie ciepłe albo też metalową siatkę przeciwko owadom, jak pokazuje to wykres 2.9-1.

## 2.10 Zawartość energii pierwotnej (PEI), redukcja CO<sub>2</sub>

Stosuje się wskaźnik zawartości energii pierwotnej (z ang. primary energy intensity - PEI) w przeliczeniu na jednostkę masy lub objętości. Są w nim zawarte wszystkie procesy transportowe i produkcyjne potrzebne do uzyskania gotowego produktu. Artykuły naturalne mają bardzo niskie wartości PEI, natomiast produkty otrzymane przemysłowo, wyższe.

Wartość ta mierzona jest w kilowatogodzinach (kWh) albo w megadżulach (MJ) na tonę lub m<sup>3</sup>. 1 MJ odpowiada 0,278 kWh. W tabeli 2.9 podano wartości PEI dla niektórych produktów z gliny

i dla porównania innych materiałów budowlanych.

Trzeba zwrócić uwagę, że podane w tabeli wartości dla tynków glinianych oraz dla cegieł zielonek są relatywnie wysokie dlatego, że mowa jest o produktach przemysłowych, gdzie zastosowano sztuczne suszenie. Zielonki wysychające na powietrzu potrzebują przypuszczalnie ok. 10% tej wartości, a wykonywane ręcznie i suszone w sposób naturalny cegły gliniane, tzw. adobes, jeszcze mniej. Podczas normalnego procesu transportu i mieszania wartości PEI dla tych cegieł wynoszą od 5 do 10 kWh/m<sup>3</sup>. Dla glinobitki, gdzie uwzględniono nakład energii potrzebnej do wykonania deskowania i pneumatycznego ubijania, wartość PEI wynosi mniej niż 5% tej wartości dla ściany murowanej z cegły pełnej.

Oszczędność energii pierwotnej oznacza zawsze także redukcję wytwarzania CO<sub>2</sub>.

Według Mortona (2008) zastąpienie w Anglii jedynie 5% elementów betonowych w budynkach przez gliniane cegły zielonki oznaczałoby zmniejszenie produkcji 100 000 ton CO<sub>2</sub>.

# 3. POPRAWA WŁAŚCIWOŚCI MATERIAŁU POPRZEC SPECJALNĄ OBRÓBKĘ I DODATKI

## 3.1 Wiadomości ogólne

Poprawa właściwości gliny jest niezbędna tylko w szczególnych przypadkach. Możliwości dokonania tej poprawy zostaną dalej opisane. Będzie też mowa o polepszeniu cech gliny bez specjalnych dodatków, np. poprzez optymalizację składników albo też przez dołowanie i dojrzewanie.

Prawie wcale nie zbadano jeszcze wpływu koloidacji. Inżynier i fizyk Wilfried Hachenej opracował metodę pozwalającą na zwiększenie wytrzymałości materiałów budowlanych poprzez powiązanie procesów koloidacji, implozji wirowej i koagulacji. Zastosował przy tym wodę aktywowaną przez drobne, koloidalne cząsteczki  $\text{SiO}_2$  oraz poprzez, odkryte przez Viktora Schaubergera, zawirowania implozyczne (tzw. „woda lewitowana”). Ta metoda stosowana

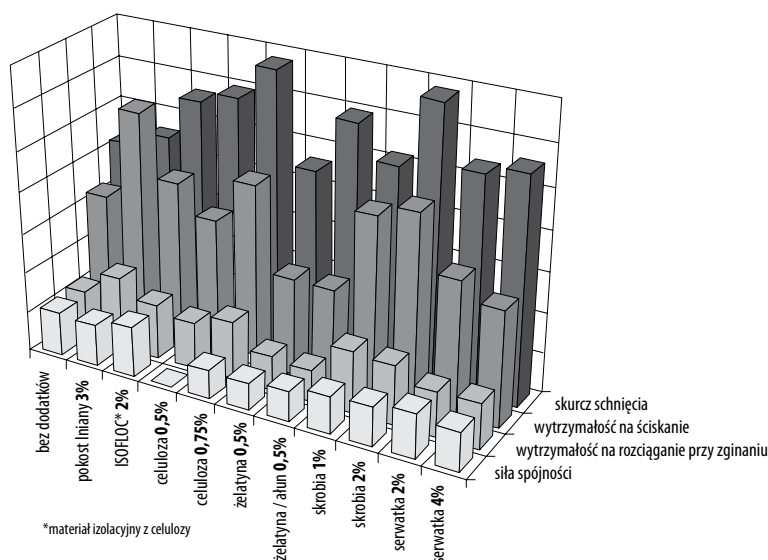
jest przede wszystkim do poprawy jakości wody pitnej oraz polepszenia klejów cementowych i betonów. Poprzez koloidację powiększono znacznie powierzchnię cząsteczek cementu w klejach cementowych, co dało ich zwiększoną wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu (Hachenej 1992). Czy ta właściwość dotyczy także gliny, nie zostało na razie sprawdzone. Z powodu dużego zapotrzebowanie na energię wydaje się to też nieopłacalne. Testy przeprowadzone przez FEB Uniwersytetu w Kassel z mocno ilastą i mocno piaszczystą gliną wykazały, że dodawanie do nich wody lewitowanej, jako wody zarobowej, nie powodowało zwiększenia wytrzymałości na ściskanie, jedynie przy mocno pylastej glinie zauważono jej lekki wzrost.

Dodatki poprawiające jedne właściwości gliny mogą negatywnie wpłynąć na inne, jak przedstawiono na wykresie 3.1-1 pokazującym wpływ różnych komponentów na trzy najważniejsze rodzaje wytrzymałości oraz na skurcze schnięcia. Przykładowo, skrobia i celuloza podnoszą wytrzymałość na ściskanie, co niewątpliwie jest zaletą, ale redukują równocześnie siłę spójności i zwiększają kurczenie się przy wysychaniu, co jest z kolei wadą dodatków. Ważne jest także spostrzeżenie FEB, że dodawanie żelatyny, skrobi i serwatki prowadzi do tworzenia się grzybów pleśniowych.

## 3.2 Zmniejszenie tworzenia się rys podczas schnięcia

### 3.2.1 Wiadomości ogólne

Tworzenie się rys podczas wysychania tynków glinianych, przy poprawianiu spoin gliną oraz przy produkcji cegieł glinianych należy maksymalnie zredukować, względnie zniwelować. Zależność kurczenia się przy schnięciu od ilości wody, rozmieszczenia ziaren, ilości i rodzaju iltu, została omówiona w rozdziale 2.3.3. Dla praktycznego budowania z gliny wynika stąd następująca reguła: niebezpieczeństwo powstawania rys podczas wysychania można zmniejszyć przede wszystkim poprzez redukcję ilości wody. Ponieważ jednak woda jest niezbędna do aktywizacji siły spójności gliny, a poza tym każda z technik wymaga pewnej konsystencji materiału, dowolna redukcja ilości wody nie jest

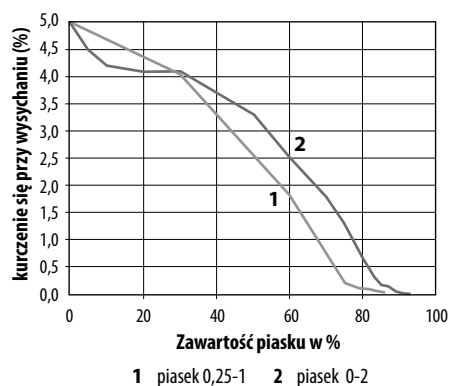


3.1-1 WPŁYW RÓŻNYCH DODATKÓW NA LINEARNE KURCZENIE SIĘ PIASZCZYSTEJ GLINY PRZY WYSYCHANIU, NA SIŁĘ SPÓJNOŚCI, NA WYTRZYMAŁOŚĆ NA ROZCIĄGANIE PRZY ZGINANIU ORAZ NA WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCISKANIE

możliwa. Dlatego też opisane zostaną inne możliwości zmniejszenia powstawania pęknięć podczas wysychania.

### 3.2.2 Schudzenie

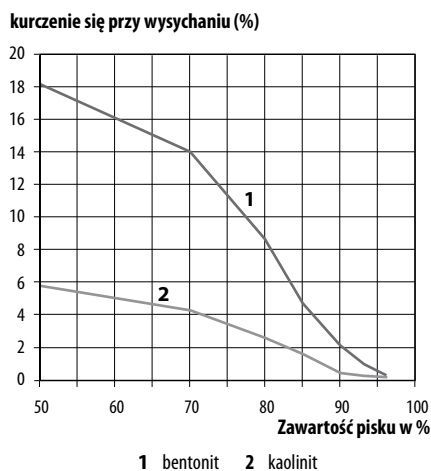
Jako schudzenie określa się mieszanie z innymi składnikami, takimi jak piasek, żwir i tłuczeń. Powoduje to zmniejszenie zawartości iltu w glinie, co z kolei zmniejsza powstawanie rys w wyniku kurczenia się podczas schnięcia. Krzywe na wykresach 3.2-1 i 3.2-2 pokazują wyniki badań przeprowadzonych przez FEB. Podczas testu, gdzie użyto typowej, występującej w handlu gliny do wyrobu kamionki o zawartości



**3.2-1** REDUKCJA SKURCZU SCHNIĘCIA GLINY KAMIONKOWEJ O SZTYWNOŚCI ZNORMALIZOWANEJ POPRZEC DODAWANIE PIASKU



**3.2-2** REDUKCJA SKURCZU SCHNIĘCIA GLINY PYLASTEJ POPRZEC DODAWANIE PIASKU



**3.2-3** WPŁYW SCHUDZENIA NA KAOLINIT I BENTONIT

50% iltu i 50% pyłu glinianego, tak długo dodawano piasek jastrychowy (o uziarnieniu 0 do 2 mm, wzgl. 0,25 do 1 mm), aż skurcz powodowany schnięciem był bliski zeru.

Celem porównania wartości uzyskanych w poszczególnych testach przygotowano mieszanki według normy DIN 18952 str.2 (uzyskując ich sztywność znormalizowaną) i zagęszczono je maksymalnie przy pomocy urządzenia Proctora wg DIN 18127. Podczas schudzenia piaskiem o uziarnieniu 0 do 2 mm okazało się, że osiągnięto linearny skurcz schnięcia 0,1% przy ok. 90% zawartości piasku. W doświadczeniu z piaskiem jastrychowym (ziarno 0,25 do 1 mm) osiągnięto ten sam wynik już przy 80% zawartości piasku. Wynika z tego wniosek, że przy schudzaniu dużą rolę odgrywa rozkład rozmiarów ziaren, a dodanie materiału jednorodnie ziarnistego ma z reguły większy wpływ na zmniejszenie skurczów schnięcia, co jednoznacznie potwierdza doświadczenie pokazane na wykresie 3.2-2.

Podczas testowania próbek o konsystencji brejowatej wykazano, że chociaż mieszanki gliniane z niewielką zawartością piasku mają znacznie większe skurcze schnięcia, to wartość 0,1% uzyskują jednak przy takiej samej ilości piasku.

Wykres 3.2-3 przedstawia wyniki schudzania kaolinitu (o zawartości 90-95% kaolinitu) oraz bentonitu (71% montmorylonitu, 16% illitu) piaskiem jastrychowym o uziarnieniu 0-2 mm. Przy 4% zawartości iltu bentonit osiąga 0,3%, a kaolinit 0,1% kurczenia się podczas schnięcia.

### 3.2.3 Środki rozrzedzające

W przemyśle ceramicznym, szczególnie przy odlewach, stosuje się środki rozrzedzające celem upłynnienia iltu bez dodawania wody i tym samym bez zwiększania niebezpieczeństwa tworzenia się rys. Środkami takimi są np. sodowe szkło wodne ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{-4SiO}_2$ ), soda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), kwas humusowy albo kwas garbnikowy (tarnina).

Środki te zmieniają wewnętrzne siły oporu między minerałami iltu na tyle, że mogą one się po sobie ślizgać. Ponadto istnieją środki powodujące tiksotropowość gliny, tzn. że pod wpływem wstrząsów staje się ona płynna.

Badania FEB wykazały, że dobrym dodatkiem powiększającym plastyczność gliny jest serwatka, która np. używana przy produkcji pasm (wałków) glinianych może służyć też jako środek redukujący ilość potrzebnej wody.

Ponieważ działanie środków rozrzedzających zależy każdorazowo od rodzaju i ilości iltu zawartego w glinie, należy przed ich dodaniem przeprowadzić odpowiednie testy.

### 3.2.4 Dodatki włókniste

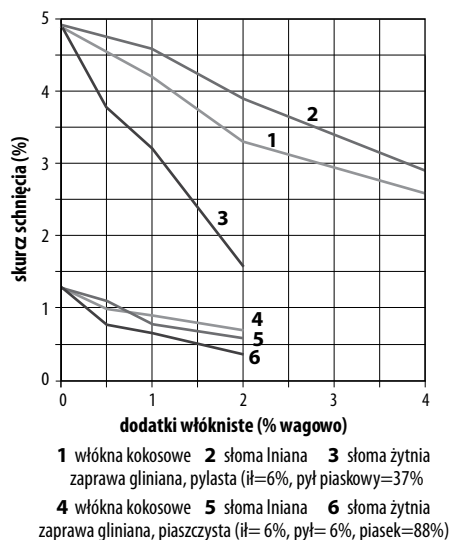
Poprzez dodawanie materiałów włóknistych zmniejsza się liniowy skurcz jednostkowy gliny. Spowodowane jest to względnym zmniejszeniem się zawartości iltu oraz związaniem pewnej ilości wody zarobowej przez włókna, co z kolei redukuje tworzenie się rys podczas procesu schnięcia. Wykres 3.2.4 pokazuje niektóre wyniki badań przeprowadzonych przez FEB.



Jak wykazuje praktyka, odpowiednia ilość dodanych włókien redukuje wprawdzie powstawanie dużych pęknięć, lecz powoduje też powstawanie większej ilości małych, drobnych rys. Nie stwarzają one jednak problemów, bo można je łatwo zatrzeć podczas tynkowania. Poprzez dodanie włókien do cegieł i tynków z gliny zwiększa się ich stabilność i nie powstają pęknięcia ciągłe.

Włókniste materiały organiczne, które nadają się jako dodatki do gliny, to przede wszystkim: włosy zwierzęce i ludzkie, włókna kokosowe, sizalowe, konopi, lniane i bambusowe, igliwie sosnowe i modrzewiowe, słoma ze zboża i lnu oraz siano.

Plewy ryżu i zbóż, a także strzępy makułatury i trociny nie podnoszą wytrzymałości na rozciąganie prawie wcale, powodują jednak, podobnie jak inne dodatki, schudzenie gliny. Poprzez względne zmniejszenie ilości iltu redukują skurcz jednostkowy i tym samym tworzenie się rys.



3.2-4 SKURCZ JEDNOSTKOWY SCHNIĘCIA ZAPRAWY GLINIANEJ Z DODATKIEM WŁÓKNIEN

### 3.2.5 Środki zaradcze

Najprostszymi środkami zaradczymi na tworzenie się rys podczas schnięcia elementów glinianych jest wybór takich długości i takiego sposobu składowania, aby wysychanie następowało powoli i równomiernie. Istotne przy tym jest to, aby objętość mogła zmniejszać się na tyle miarowo, że nie powstaną napęcia wewnętrzne, które powodują pęknięcia. Dlatego też nie należy produkować cegieł glinianych na wolnym powietrzu z narażeniem na bezpośrednie działanie promieni słonecznych. Cegły trzeba też możliwie szybko postawić na węższym boku aby umożliwić im równomierne wysychanie. Przy wytwarzaniu elementów większych ważne jest umożliwienie kurczenia się także powierzchni, na której zostaną one położone. Nie należy dopuszczać do ich przyklejania się do podłoża, poprzez np. kładzenie wyrobów na piasku.

Kolejną możliwością jest planowanie w odpowiednich odległościach, tzw. „szczelin wymuszonych”, co powoduje, że elementy pękają tylko w tych kontrolowanych miejscach, por. rozdz. 5.6.1, 8.4 i 14.4.3.

## 3.3 Zwiększanie wodoodporności

### 3.3.1 Wiadomości ogólne

Zwiększanie wodoodporności gliny poprzez mieszanie jej z dodatkami jest w praktyce rzadko konieczne. Kiedy ściana gliniana chroniona jest przed zawilgoceniem od podłoża izolacją poziomą, co zresztą przewidują przepisy dla każdej konstrukcji ściennej, a poza tym chroniona jest przed deszczem poprzez okap dachu, okładzinę albo tynk, to nie wymaga ona żadnych dodatków stabilizujących.

Mamy inną sytuację, kiedy tynki albo elementy konstrukcyjne z gliny narażone są bezpośrednio na działanie warunków atmosferycznych. Tu czysto teoretycznie

wystarczy odporna na wpływy atmosferyczne powłoka malarska, ale przy uszkodzeniach mechanicznych albo kiedy powstają rysy, istnieje niebezpieczeństwo przeniknięcia do środka wody, powodującej pęcznienie, a przy działaniu mrozu dalsze uszkodzenie materiału. W takich wypadkach zaleca się wykonanie tych elementów jako „wodoszczelnych” poprzez dodanie odpowiednich składników. Podobna sytuacja powstaje np. przy budowaniu kopuły z cegieł glinianych podczas pory deszczowej, kiedy wykonanie w tym samym czasie wodoszczelnego zadania jest zbyt trudne i skomplikowane. Podczas produkcji cegieł glinianych dodaje się z reguły cement, wapno albo bitumy, jednak nie dla zwiększenia obciążalności, ale dla zmniejszenia powodowanej deszczem erozji i pęcznienia. Jako przybliżoną regułę można przyjąć, że do glin piaszczystych, ubogich w ilt, dodajemy cement i bitumy, a do glin iltowych wapno. Nie jest tu jednak uwzględniona zasada, że glina o dużej zawartości kaolinitu inaczej reaguje niż glina z dużą ilością montmorylonitu, co zostanie omówione w rozdz. 3.5.5.

Środki „stabilizujące” otaczają elementy iltu, zapobiegając w ten sposób wnikaniu wody i pęcznienie oraz zmiękczenie gliny.

W kolejnych rozdziałach opisane zostaną metody dawne i dzisiejsze, przy pomocy których można osiągnąć lepszą wodoodporność gliny. Inne dodatki, które w pierwszym rzędzie podnoszą wytrzymałość na ściskanie, ale równocześnie stabilizują glinę przeciw działaniu wody, omówione będą w rozdziałach 3.5.5 i 3.5.6.

Badania przeprowadzone przez autora pokazują, że odporność na rozmywanie można zwiększyć już poprzez zmianę rozkładu ziaren w glinie. Podczas testów polewano trzy różne cegły gliniane cienkim strumieniem przez 2 minuty,



**3.3-1** TEST NA ROZMYWANIE CEGIEŁ ZIELONEK

zużywając 10 litrów wody, por. 3.3-1. Cegła środkowa z gliny lessowej ma duże ubytki, cegła z prawej strony, będąca niewypaloną cegłą z cegielni, jest również znacznie wyflukana, natomiast cegła po lewej, która miała poprawiony skład ziaren przy tym samym materiale wyjściowym, nie uległa rozmyciu.

### 3.3.2 Spoiwa mineralne

#### Cement

Cement nadaje się przede wszystkim do stabilizacji gliny z małą zawartością ilitu. Im więcej w glinie ilitu, tym więcej potrzeba cementu, aby osiągnąć wystarczający efekt stabilizujący. Dzieje się tak dlatego, że cząsteczki cementu, które są większe od cząsteczek ilitu, muszą je otoczyć, żeby wystarczająco ograniczyć pęcznienie i kurczenie się gliny. Cement niszczy sieć macierzystą ilitu i likwiduje jego siłę spójności. Dlatego czasami wytrzymałość na ściskanie na sucho gliny stabilizowanej cementem jest mniejsza od wytrzymałości tej nie-stabilizowanej, por. rozdz. 3.5.5.

Decydujące dla wyniku stabilizacji jest dokładne wymieszanie cementu z gliną, co powinno następować w stanie suchym obu materiałów. Odpowiednią ilość wody dodaje się po wymieszaniu składników.

Wytrzymałość stabilizowanej gliny zwiększa się z czasem. Podobnie jak w przypadku betonu ostateczną wytrzymałość uzyskuje ona po upływie

ok. 28 dni. Stabilizowane cementem cegły powinny się leżakować co najmniej przez 7 dni. Należy przy tym zapobiegać nadmiernemu wysychaniu poprzez bezpośrednie działanie słońca lub wiatru, bo może to prowadzić do pęknięcia i zmniejszenia wytrzymałości. Najprościej jest składować cegły w stosy przykrywane folią, pod którą tworzy się klimat o dużej wilgotności względnej. Jeżeli nie jest to możliwe, należy liczyć się z koniecznością spryskiwania cegieł wodą.

Celem przyspieszenia i zwiększenia efektywności stabilizacji cementem należy do wody zarobowej dodać wodorotlenek sodowy (NaOH) w ilości 20 do 40 gramów na litr. Podobne działanie wykazują  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  i  $\text{Na}_2\text{SiO}_2$ , dodane jednak po 10 g na litr wody.

Aby zwiększyć odporność wyciskanych cegieł glinianych na wpływy atmosferyczne dodaje się często ok. 3 do 8% cementu. Przedstawione na wykresie 3.5-8 wyniki testów FEB pokazują, że już przy względnie niewielkim dodatku cementu znacznie wzrasta wytrzymałość na ściskanie na mokro.

#### Wapno

Przy dodaniu wapna następuje wymiana jonowa, pod warunkiem jednak, że istnieje wystarczająca wilgotność: jony wapnia zostają zastąpione przez metaliczne kationy zawarte w glinie. W ten sposób zachodzi aglomeracja drobnych składników i zmniejsza się zdolność wiązania wody. Ponadto poprzez wchłanianie dwutlenku węgla z powietrza następuje utwardzenie się przez karbonizację. Im wyższa wartość pH, tym lepszy wynik stabilizacji.

Optymalny dodatek wapna jest różny dla różnych rodzajów gliny i najlepiej ustalić go laboratoryjnie. Zmniejszenie wytrzymałości na ściskanie na sucho przy dodaniu do gliny wapna omówione zostanie w rozdziale 3.5.

Istotną przy stabilizacji wapnem jest informacja, że dodatkowo do względnie szybko przebiegającego procesu twardnienia następuje twardnienie długotrwałe. Polega to na przeciągającym się w czasie procesie krystalizacji pierwotnie amorficznych składników.

#### Bitumy

Zwiększenie odporności cegieł glinianych na działanie wody poprzez dodawanie bitumów znane było już w Babilonie w V wieku p.n.e. Jest ono korzystne dla glin o dużej zawartości piasku i małej ilitu. Stabilizacja jest efektywniejsza przy jednoczesnym zagęszczaniu mieszanki. Dlatego też bitumy są dodatkiem przy produkcji cegieł wyciskanych. Bitumy dodaje się albo rozcieńczone rozpuszczalnikiem, albo też wodą z emulgatorem. Jako rozpuszczalnik stosuje się olej parafinowy, naftę lub benzynę surową. Wypróbowaną mieszanką jest substancja, w której skład wchodzi 4 do 5 części bitumu, 1 część oleju parafinowego i 1% parafiny podgrzanej do temperatury 100°C. Do stabilizacji cegieł i tynków glinianych w zasadzie wystarcza 3-6% emulsji bitumicznej. Po wyparowaniu rozpuszczalnika lub wody powstaje powłoka, która skleja składniki gliny i nie pozwala na wnikanie wody deszczowej.

#### Szkło wodne

Jak wykazały badania FEB, przy pomocy sodowego szkła wodnego ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3-4\text{SiO}_2$ ) można znacznie zwiększyć wodoodporność chudej gliny. Bardzo ważne jest jednak, aby szkło wodne rozcieńczyć wodą przed zmieszaniem z gliną, bo inaczej powstanie na jej powierzchni wiele drobnych rys, które powodują zwiększone wchłanianie wilgoci.

### 3.3.3 Produkty zwierzęce

Produkty zwierzęce, takie jak krew, uryna, kał, kazeina i klej kostny, były stosowane od stuleci jako środki stabilizujące glinę, przede wszystkim dla zwiększenia odporności jej powierzchni na wpływy atmosferyczne. Krew wołowa była znana już za czasów rzymskich jako substancja wiążąca i uodporniająca. Klepiska gospodarstw wiejskich w północnych Niemczech były często nasączone krwią wołową w celu wzmocnienia ich powierzchni na ścieranie i aby umożliwić ich mycie. Serwatka i uryna jest także środkiem stosowanym od wieków dla wzmocnienia powierzchni glinianych. Przy dodawaniu obornika należy wilgotną mieszankę, zależnie od temperatury, leżakować 1 do 4 dni, aż do rozpoczęcia procesu fermentacji. Dopiero wtedy tynk gliniany staje się wodoodporny. Takie zjawisko tłumaczy się zachodzącą tu zwiększoną wymianą jonową. W Indiach tynkowanie budynków mieszanką gliny z obornikiem ma kilkusetletnią tradycję i stosowane jest do dziś. Obowiązuje tam zasada, że wyschnięty nawóz krwi należy jeden dzień moczyć w wodzie, a po wymieszaniu z gliną leżakować jeszcze przez pół dnia albo nawet cały dzień. Testy przeprowadzone przez FEB z tynkami glinianymi z różnych rodzajów gliny i z różną ilością dodawanego nawozu krowiego wykazały np., że testowana powierzchnia tynku glinianego o 10% zawartości iltu poddana próbie stałego strumienia wody została sptukana już po 4 minutach, podczas gdy ta sama glina z dodatkiem nawozu krowiego ulegała wyplukaniu dopiero po 4 godzinach. Zawartość nawozu wynosiła jedynie 3,5% wagowo; w konsystencji brejowatej odpowiadało to 25% zawartości objętościowej. Strumień wody miał średnicę 4 mm, ciśnienie 10 mbar, przepływ wynosił 0,9 l/min, a prędkość wypływu wody wynosiła 1,2 m/s.

Stabilizujące działanie nawozu krowiego powodowane jest zawartą w nim kazeiną oraz związkami amoniaku. Przypuszczalnie zawarta tam celuloza działa również uodporniająco. Jeżeli nie posiadamy nawozu lub nie chcemy go użyć ze względów estetycznych, może on być zastąpiony poprzez dodanie niewielkiej ilości kazeiny i amoniaku. Dla ustalenia stosunków mieszanki powinny zostać przeprowadzone odpowiednie i wystarczające testy.

### 3.3.4 Produkty mineralne i zwierzęce

Typowym sposobem uzyskania wodoodporności gliny było w wielu krajach dodawanie dwóch składników naraz: wapna i gnojówki, wapna i nawozu krowiego albo wapna i chudego twarogu. Tradycyjna receptura mówi np. o 1 części proszku wapna i 8 częściach piaszczystej gliny, które przez 24 godziny należało moczyć w gnojówce końskiej, a dopiero potem, po wymieszaniu, używać jako zaprawy tynkarskiej. Między wapnem i cząsteczkami gnojówki zachodzi związek chemiczny: na powierzchni widoczne są małe kryształki. Kazeina zawarta w gnojówce, względnie w nawozie krowim, tworzy z wapnem wodoodporny albuminat. Wchodząca w skład mieszanki celuloza zwiększa siłę spójności, a jej włókna służą za zbrojenie. Zawarty w mieszance amoniak działa dezynfekująco na drobnoustroje.

W FEB były testowane następujące mieszanki, będące także substancjami częściowo wodoodpornymi:

1 objętościowa część wodorotlenku wapnia na 4 części brejowatego, moczzonego przez 4 dni nawozu krowiego i 8 części piaszczystej gliny

4 objętościowe części wapna, 1 część chudego twarogu, 10 części piaszczystej gliny.

### 3.3.5 Produkty roślinne

Soki roślinne zawierające olej i lateks pochodzące np. z agaw sisalowych, bananów i z wilczomleczowatej euforbii herea, często w połączeniu z wapnem, sprawdziły się w niektórych krajach jako środki uodporniające powierzchnie przed wpływami atmosferycznymi.

Badania przeprowadzone przez FEB wykazały, że bardzo dobrym, działającym przez wiele lat środkiem chroniącym przed wpływami atmosferycznymi jest pokost lniany. Stwierdzono jednak równocześnie, że poprzez stosowanie pokostu zmniejsza się znacznie dyfuzja pary wodnej, por. 2.4.4.

Różne inne relacje wskazują na zmniejszające erozję działania gotowanego krochmalu i melasy (produktu ubocznego przy wyrobie cukru). Skuteczność melasy można zwiększyć poprzez dodanie wapna.

### 3.3.6 Emulsja bitumiczna

Emulsja bitumiczna to rozpuszczalna w wodzie pasta wyprodukowana na bazie bitumów.

Nadaje się doskonale do uodpornienia tynków glinianych na działanie wody. Jest ona często stosowana w Peru i w Kalifornii. Jak wykazały badania przeprowadzone przez FEB, dodanie 4-8% emulsji (w zależności od zawartości w niej wody) powoduje bardzo wysoką wodoodporność tynku.

### 3.3.7 Produkty syntetyczne

Syntetyczne żywice, woski, lateksy i parafina posiadają podobne właściwości stabilizujące, jak opisane dodatki mineralne. Ponieważ jednak są one często drogie, a poza tym ulegają szybciej rozpadowi przy działaniu promieniowania ultrafioletowego i najczęściej są także znaczną przeszkodą dla dyfuzji pary wodnej, nie będziemy zajmować się nimi dokładniej w ramach tej książki. W każdym jednak wypadku

stosowania produktów syntetycznych należy przed ich użyciem przeprowadzić odpowiednie testy.

Krzemowodory, sylikony, siloksany, estry kwasu krzemowego i akrylowego są środkami hydrofobowymi i dodane w ilości od 1 do 4% mogą znacznie zwiększyć wodoodporność gliny. Opisać będą bliżej w rozdziale 12.4.

### 3.4 Zwiększanie siły wiązania

#### 3.4.1 Wiadomości ogólne

Im większa jest siła wiązania jakiej gliny, tym zazwyczaj większa jest jej wytrzymałość na ściskanie i ścieranie w stanie suchym. Sposób wyznaczenia siły wiązania opisano w rozdz. 2.6.1. Z reguły nie stawia się glinie budowlanej specjalnych wymagań dotyczących tej właściwości. Gdy siła ta jest niewystarczająca, można zwiększyć ją poprzez dodanie یتu albo przez lepszą obróbkę wstępną (ugniatanie i dołowanie). Także produkty mineralne, zwierzęce i roślinne, dodawane w zasadzie celem zwiększenia odporności na wpływy atmosferyczne, zmieniają, najczęściej pozytywnie, siłę wiązania. Niektóre proste metody zwiększania tej siły zostaną przedstawione w kolejnych rozdziałach.

#### 3.4.2 Mieszanie i dołowanie

Glina będąca jedną i tą samą mieszanką wykazuje różne siły wiązania, zależne wyłącznie od tego, jak dobrze została przygotowana. To bardzo interesujący



3.4-1 PRÓBY UPADKU DLA DEMONSTRACJI RÓŻNYCH SIŁ WIĄZANIA WYNIKAJĄCYCH Z CZASU MIESZANIA

fenomen. Warunkiem wstępnym jest zawartość w glinie wystarczającej ilości wody zarobowej. Kolejnym będzie wymieszanie cząsteczek w procesie wygniatania i mieszania, a potem pozostawienie gliny w spokoju (dołowanie). Wszystko to ma pozytywny wpływ na siłę wiązania.

Badania FEB wykazały, że siła wiązania gliny lessowej o dużej zawartości pyłu piaszczystego po dziesięciominutowym mieszanii w mieszalniku laboratoryjnym była o 57% większa niż po mieszanii w ciągu 1 minuty. Podczas ugniatania w laboratorium, przy przedłużeniu czasu procesu z jednej do 10 minut, nastąpił przyrost siły wiązania o 58%. Poszczególne wartości były o ok. 8% wyższe dla gliny przygotowywanej przy pomocy urządzenia gniotącego niż dla gliny mieszanej mechanicznie. Oznacza to, że nie tylko czas, ale również rodzaj mieszania jest istotny dla zwiększenia siły wiązania. Interesujący jest także wynik testu wykazującego, że w wyniku dłuższego procesu mieszania zmniejszała się siła wiązania: po 20 minutach była ona mniejsza o 11% niż po mieszanii 10-cio minutowym.

Zwiększenie siły wiązania poprzez lepsze przygotowanie można zademonstrować przy pomocy prostego przykładu: Zdjęcie 3.4-1 pokazuje dwie kule z gliny o takim samym składzie, o średnicy ok. 5cm, które spadły z wysokości 2 m. Miały one konsystencję sztywną, odpowiadającą granicy plastyczności. Próbka lewa była mieszana w mieszarce ręcznej przez 2 minuty, a prawa przez 10 minut. Porównanie wykazuje, że próbka dłużej przygotowywana jest mniej rozbita, a więc posiada większą siłę wiązania.

#### 3.4.3 Zwiększenie ilości یتu

Siłę wiązania gliny chudej, a więc o niewielkiej zawartości یتu, zwiększyć można najprościej poprzez dodanie gliny bardzo tłustej, albo też czystego

یتu. Najwłaściwszym sposobem jest dodanie tych składników w formie proszku do brejowatej gliny i wymieszanie całości. Proszek یتu, dostępny w handlu jako „Bentonit”, składa się w 80 do 90% z یتu i zawiera 70% montmorylonitu. Jego gęstość nasypowa wynosi ok. 800 kg/m<sup>3</sup>. Należy pamiętać, że montmorylonit wykazuje wprawdzie dużą siłę wiązania, ale także ulega łatwo pęcznieniu i skurczom. Dodatkiem może być także proszek یتu, stosowany w przemyśle ceramicznym, albo odpowiednio przygotowana, tłusta glina z cegielni.

Tłusta glina w formie brył i grud powinna przez dłuższy czas mięknąć w wodzie, aby potem przy pomocy mieszarki mechanicznej uzyskać szlam, albo też być rozdrobniona w stanie suchym.

#### 3.4.4 Dodatki

Siłę wiązania chudej gliny można podwyższyć poprzez dodatek serwatki, twardog, uryny, nawozu krowiego, pokostu lnianego albo kleju kazeinowo-wapniowego. Czy takie składniki są konieczne i uzasadnione, należy sprawdzać w każdym przypadku. Niektóre dane (FEB) na ten temat zawarte są w rozdz. 3.1-1.

### 3.5 Zwiększanie wytrzymałości na ściskanie

#### 3.5.1 Wiadomości ogólne

Glina budowlana najczęściej wykazuje wytrzymałość na ściskanie ok. 2-5 N/cm<sup>2</sup>. Dopuszczalne naprężenie ściskające dla ścian określa norma DIN 18954 i wynosi 0,3 do 0,5 N/mm<sup>2</sup> (3 do 5 kg/cm<sup>2</sup>).

Problem zwiększenia wytrzymałości na ściskanie występuje w przypadkach wyjątkowych, kiedy mamy do czynienia z gliną ekstremalnie chudą, o niewielkiej sile wiązania, albo też wtedy, gdy elementy gliniane muszą przenosić wielkie obciążenia. Ostatni przypadek został przez normy DIN wykluczony, ponieważ dopuszczają one tylko dwukondygnacyjne



budowie z glinianymi elementami nośnymi, a przy obciążeniach punktowych, np. przy belkach stropowych, należy stosować elementy rozdzielające naprężenia.

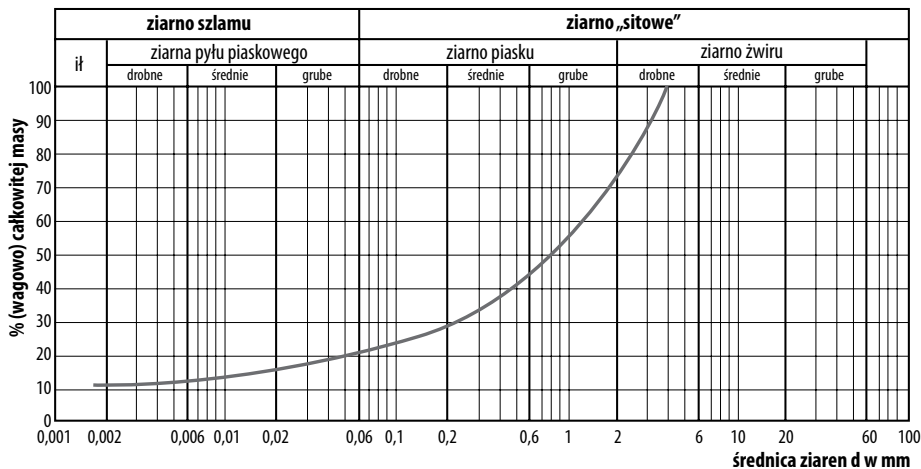
Ważna dla detali glinianych jest ich tzw. „wytrzymałość krawędziowa”, tj. odporność krawędzi na zniszczenie mechaniczne. Zależy ona bezpośrednio od wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu albo od wytrzymałości na ściskanie materiału. Praktycznie oznacza to, że duża wytrzymałość cegły glinianej jest potrzebna nie z uwagi na konieczność przenoszenia obciążeń, lecz aby osiągnąć wystarczającą wytrzymałość krawędzi, która zapobiega łatwemu uszkodzeniu podczas transportu, składowania i samego murowania.

Wytrzymałość gliny na ściskanie jest zależna przede wszystkim od rozkładu i rozmiaru ziaren, od zawartości wody i od statycznego, względnie dynamicznego zagęszczenia przy produkcji elementów, a także od rodzaju یتu. Jeżeli cząsteczki piasku są tak rozłożone, że umożliwiają dużą ścisłość przy minimalnej porowatości, a glina zawiera tylko tyle cząsteczek یتu i pyłu piaskowego, że przestrzenie między cząsteczkami piaszczystymi są akurat wypełnione, to elementy z takiego surowca osiągają największą gęstość, co z kolei najczęściej oznacza także większą wytrzymałość na ściskanie.

### 3.5.2 Optymalizacja rozkładu uziarnienia

Mało znane jest zjawisko zwiększania wytrzymałości gliny na ściskanie poprzez zmianę, wskutek ściśle określonych warunków, rozkładu ziaren یتu, piasku i pyłu, bez zmiany ich proporcji ilościowych.

Najściślej rozmieszczenie żwiru i piasku osiąga się poprzez minimalizację porów. W technologii betonu ten „idealny rozkład uziarnienia” definiuje



3.5-1 ZMODYFIKOWANA PARABOLA FULLERA WG. BOEMANSA, 1989

parabola przesiewu Fullera. Krzywą Fullera wyznacza wzór:

$$a = 90 \cdot \sqrt{\frac{d}{D}}$$

„a” oznacza udział wagowy wszystkich ziaren, których średnica jest mniejsza od „d” w porównaniu do masy całkowitej ziaren o największej średnicy „D”.

Boemans (1989) zwrócił uwagę, że krzywej Fullera nie można bezpośrednio stosować do technologii budownictwa glinianego, ponieważ zawartość یتu zależnie od największych ziaren wyniosłaby jedynie 2 do 3%. Proponuje on, aby ten zakres cząsteczek, których średnica jest większa od 0,002 mm, policzyć według krzywej Fullera, a za minimalną ilość یتu przyjąć jako wartość podstawową przykładowo 10% całej masy. Przy takich założeniach otrzymamy równanie:

$$a_{10} = 90 \cdot \sqrt{\frac{d}{D} + 10}$$

Odpowiednio zmienioną parabolę Fullera, dla ziaren o maksymalnej średnicy 4 mm, przedstawia wykres 3.5-1.

### 3.5.3 Obróbka wstępna

Wytrzymałość gliny na ściskanie zależy także od jej rodzaju i czasu obróbki wstępnej oraz od ilości dodanej wody zarobowej. Są to fakty jeszcze dość mało znane i niewystarczająco zbadane.

W Instytucie Budownictwa Lądowego ETH w Zurychu oraz w FEB stwierdzono, że gruzełkowata, wilgotna glina wciśnięta prasą do formy wykazuje często mniejszą wytrzymałość na ściskanie niż ta sama glina, która przedtem została wygnieciona z niewielką ilością wody, a potem bez ponownego ubijania albo wciskania wrzucona do drewnianej formy. Odpowiednie badania przeprowadzone przez FEB wykazały, że formowane ręcznie cegły osiągają przeciętnie o 19% większą wytrzymałość na ściskanie niż produkowane przy pomocy prasy dźwigniowej (przy ciśnieniu 2 N/mm<sup>2</sup>, tj. 20 kg/cm<sup>2</sup>).

Założenie przyjmowane przez wielu badaczy, że wytrzymałość na ściskanie cegieł glinianych najprościej zwiększyć poprzez możliwie duży nacisk prasy produkcyjnej, może wprawdzie w pojedynczych przypadkach prowadzić do sukcesu, nie jest jednak tezą zasadniczo słuszną. „Tajemnica gliny” polega na blaszkowej strukturze minerałów یتu i występującej między nimi

sile przyciągania, która to aktywuje się dzięki wodzie i ruchowi. Poprzez wygniatanie wilgotnej gliny „porządkują się” minerały ilu, rozmieszczając się blisko siebie i nawzajem równolegle. W ten sposób glina osiąga dużą siłę spójności i tym samym większą wytrzymałość na rozciąganie i ściskanie.

Zdjęcie 3.5-2 przedstawia urządzenie zagęszczające wykonane przez FEB celem umożliwienia badania próbek gliny o takim samym stopniu zagęszczenia. Próbki mające kształt cylindryczny (średnica 76 mm, wys. 100 mm) produkowano z pylastej gliny lessowej.

Zagęszczanie następowało poprzez 10 uderzeń 4,5 kg ciężaru spadającego z wys. 0,45 m.



**3.5-2** URZĄDZENIE DO ZAGĘSZCZANIA PRÓBEK GLINY, LABORATORIUM BUDOWNICTWA EKSPERYMENTALNEGO (FEB)

Tę samą glinę mieszano przy pomocy mieszarki mechanicznej przez 2 minuty, względnie 15 minut, dodając trochę wody i potem wkładano bez zagęszczania do tych samych cylindrycznych form. Po wyschnięciu próbki wykazywały od 28 do 38% większą wytrzymałość na ściskanie niż te ubijane, mocno zagęszczone (3,7 wzgl. 4,0 N/mm<sup>2</sup> w porównaniu do 2,9 N/mm<sup>2</sup>). Ten test dowodzi, że obróbka wstępna ma o wiele większe znaczenie dla wytrzymałości niż zagęszczanie. Należy jednak podkreślić, że różnica wytrzymałości na ściskanie między bardzo ilastą i bardzo piaszczystą gliną była znacznie mniejsza.

#### 3.5.4 Zagęszczanie

Zagęszczanie gliny poprzez ciśnienie statyczne prasy w celu osiągnięcia większej wytrzymałości na ściskanie jest przeważnie mniej skuteczne od ubijania lub wibrowania, gdzie siły dynamiczne są efektywniejsze. Kiedy ciężki przedmiot upada na podłogę, powstają fale uderzeniowe, które wprawiają w ruch cząsteczki wewnątrz posadzki, co w połączeniu z ciśnieniem wytworzonym przez upadający ciężar powoduje zagęszczenie materiału. Wywołane przez uderzenia lub wibrację fale uderzeniowe rozprzestrzeniają się w wilgotnej glinie, poruszając poszczególne cząsteczki i powodując ich ściślejse ułożenie. Do tego dochodzi jeszcze zjawisko zagęszczania się minerałów w wyniku działania elektrycznych sił przyciągających, pod warunkiem, że glina zawiera wystarczającą ilość wody. W ten sposób powstaje większa siła wiązania i tym samym większa wytrzymałość na ściskanie w stanie suchym.

Jak skuteczne jest zagęszczanie uderzeniowe i wibracyjne w porównaniu ze statycznym, pokazuje tabela 3.1 przedstawiająca wyniki badań FEB. Stąd można odczytać, że np. glina

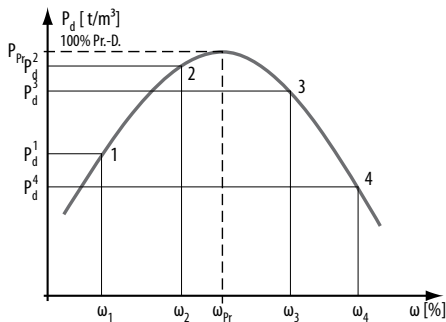
piaszczysta podczas działania stałego nacisku i 10 sekund wibrowania o częstotliwości 3000/min. osiąga 14% wzrost wytrzymałości na ściskanie.

Każda technika produkcji wymaga optymalnej ilości dodawanej wody, co należy wyznaczać metodą testów. Przy glinie ubijanej oraz przy cegłach wytłaczanych uznaje się za optymalną taką ilość wody, która przy maksymalnym zagęszczeniu daje największą spistość. Zagęszczenia należy dokonywać wg DIN 18127, przy pomocy młotka Proctora. Formę do wytwarzania próbek wypełnia się w trzech położeniach. W każdym położeniu następuje zagęszczanie poprzez np. 25 uderzeń urządzenia opadającego o ciężarze 2,5 kg z wysokości 300 mm i o powierzchni ubijaka = 50 mm, albo też poprzez 25 uderzeń 4,5 kg ciężaru z wys. 450 mm i tej samej średnicy ubijaka.

Po odjęciu ciężaru suchej próbki od ciężaru wilgotnej otrzymamy zawartość wody, którą podajemy w % masy w stosunku do ciężaru w stanie suchym. Ciężar w stanie suchym podzielony przez objętość da nam gęstość. W celu wyznaczenia optymalnej ilości wody należy przy kolejnych testach zmieniać ilość dodawanej wody i wyznaczać ciężar w stanie suchym oraz gęstość po ubiciu. Uzyskane gęstości w zależności od ilości zawartej wody

Rodzaj gliny	Gęstość (kg/m <sup>3</sup> )	Drgania wibratora 1/min	Wytrzymałość na ściskanie (N/mm <sup>2</sup> )
pylasta	2003	0	3,77
	1977	1500	4,11
	2005	3000	4,17
piaszczysta	2023	0	2,63
	2009	1500	2,91
	2024	3000	3,00

**TABELA 3.1** PORÓWNANIE RÓŻNYCH WYTRZYMAŁOŚCI NA ŚCISKANIE GLINY PIASZCZYSTEJ (IŁ=15%, PYŁ=29%, PIASEK=56%) ORAZ GLINY PYLASTEJ (IŁ=12%, PYŁ=74%, PIASEK=14%) PRZY ZAGĘSZCZANIU STATYCZNYM I DYNAMICZNYM.

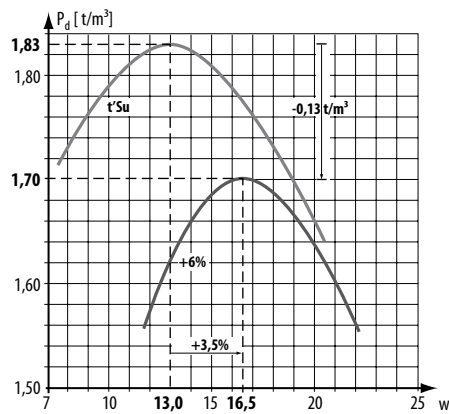


**3.5-3 WYZNACZANIE KRZYWEJ PROCTORA PRZY POMOCY POJEDYNCZYCH PRÓB (VOTH 1978)**

będą przedstawione na diagramie. Zawartość wody, która odpowiada największej gęstości, oznacza jej wartość optymalną. Krzywa definiowana poprzez poszczególne próby jest tzw. krzywą Proctora, por. 3.5-3.

Dla budownictwa glinianego z reguły istotne jest nie tyle maksymalne zagęszczenie i optymalna ilość wody, co możliwość obróbki gliny i jej siła wiązania. Dlatego też nie należy stosować normy DIN 18127 mówiącej o „optymalnej zawartości wody”, lecz raczej używać tej wody więcej. Przy wytwarzaniu prasą cegieł glinianych za optymalną ilość wody należy przyjąć jej wartość powiększoną o 10%.

Badania Boemansa potwierdzają, że dotycząca gęstości w stanie suchym „optymalna zawartość wody” w odniesieniu do wytrzymałości na ściskanie w stanie suchym, faktycznie nie



**3.5-4 KRZYWE PROCTORA DLA GLINY PYLASTEJ Z DODATKIEM WAPNA I BEZ DODATKU (VOTH 1978)**

jest wartością idealną, co najwyżej minimalną. Doświadczenia te pokazują dalej, że przy niewielkim zagęszczaniu i odpowiednio dużej zawartości wody, osiąga się taką samą wytrzymałość na ściskanie, jak przy dużym zagęszczeniu i małej wilgotności (Boemans 1989, str. 60 i następane).

To, że także rodzaj یتu ma wpływ na stabilizację gliny poprzez zagęszczanie, ustalono również we francuskim laboratorium Gèomatèriaux, Ecole Nationale des Travaux Publics de L'etat, Vaulx en Velin Cedex (ENTPE). Zwiększenie ciśnienia statycznego przy produkcji wyciskanych cegieł z 2 do 8 Mpa podniosło ich wytrzymałość na ściskanie: dla kaolinitu o 50%, a dla montmorylonitu o ok. 100% (Oliver, Mesbah 1985).

### 3.5.5 Dodatki mineralne

Wytrzymałość gliny mało ilastej można zwiększyć poprzez dodanie montmorylonitu. W FEB dodawano do piasku jastrychowego (o śladowej zawartości یتu) po 17% kaolinitu, względnie bentonitu. W pierwszym przypadku uzyskano wytrzymałość na ściskanie 0,5 N/mm<sup>2</sup>, a w drugim 1,2 N/mm<sup>2</sup>.

Domieszka cementu lub wapna, najczęściej w celu zwiększenia odporności na wpływy atmosferyczne, powoduje często także zwiększenie wytrzymałości na ściskanie. Jednak dodawanie tych spoiw w ilościach mniejszych niż 5% może działać ujemnie na wytrzymałość, co zostanie dalej opisane. Dzieje się tak dlatego, że cement i wapno niszczą siłę wiązania gliny. Im większa zawartość یتu w glinie, tym więcej należy dodać cementu lub wapna. Przeprowadzone doświadczenia wskazują, że dla glin tłustych wapno posiada lepsze właściwości stabilizujące (dla chudych cement) oraz że cement jest lepszym dodatkiem dla kaolinitu, a z kolei dla montmorylonitu wapno. Jednak w każdym przypadku niezbędne jest przeprowadzenie

testów dowodzących wpływu tych dodatków na wytrzymałość gliny na ściskanie. Przy tym należy pamiętać o następujących uwagach:

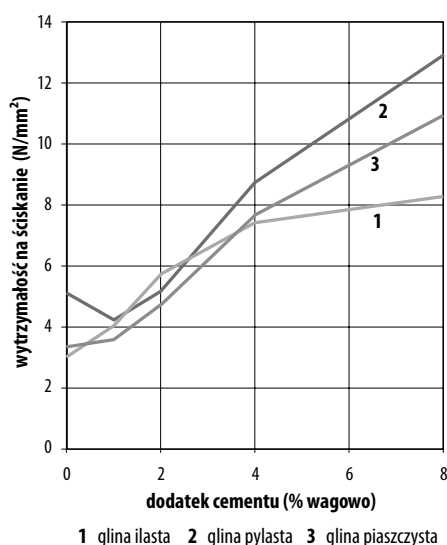
1. Przy stabilizowaniu gliny niewielką ilością cementu czy wapna pozostaje zawsze część struktury porów. Najczęściej skleją się tylko punkty styku pojedynczych cząsteczek. Puste przestrzenie nie wypełniają się tak, jak to ma miejsce w betonie. Im mniejsza jest objętość porów, tym mniej trzeba dodawać wapna albo cementu.
2. Podczas hydratacji cementu wolne cząsteczki wapna reagują z kwasem krzemowym zawartym w minerałach یتu i w ten sposób dodatkowo do względnie szybkiej stabilizacji powodowanej cementem dochodzi twardnienie długotrwałe. Dlatego też wytrzymałość gliny z dodatkiem cementu minimalnie zwiększa się nawet po upływie czterech tygodni.
3. Podczas dodawania lasowanego wapna powstaje wymiana jonowa pomiędzy jonami cząsteczek یتu i jonami wapnia. Prowadzi ona do natychmiastowej reakcji i trwa ok. 4 do 8 godzin. Natomiast dodatkowe twardnienie wodorotlenku wapniowego poprzez wchłanianie CO<sub>2</sub> z powietrza następuje bardzo powoli. Jeszcze po kilku miesiącach można stwierdzić niewielki wzrost wytrzymałości elementów. Dla tego procesu twardnienia niezbędna jest odpowiednia wilgotność materiału i ochrona przed szybkim wysychaniem na słońcu i wietrze.
4. Poprzez dodawanie wapna podnosi się optymalna zawartość wody i obniża optymalna gęstość na sucho, co pokazuje też wykres 3.5-4.

Przedstawione na wykresie 3.5-5 wyniki badań FEB pokazują, że wytrzymałość na ściskanie na sucho gliny o dużej zawartości pyłu piaskowego (12% iltu, 74% pyłu i 14% piasku) bez dodatku cementu wynosi ok. 5 N/mm<sup>2</sup>, a przy dodawaniu cementu początkowo się zmniejsza. Dopiero przy ok. 2% cementu glina osiąga swoją pierwotną wytrzymałość.

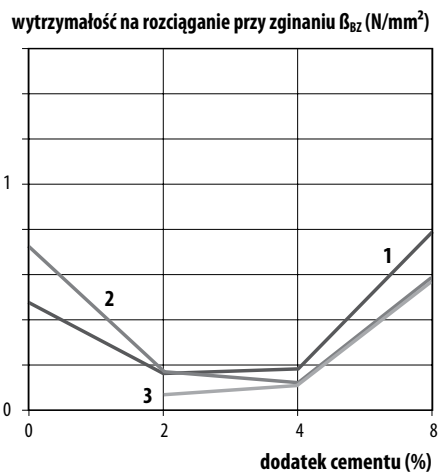
Podczas podawania wapna do gliny pylastej osiąga ona ponownie swoją wytrzymałość przy 4% dodatku. Interesujące jest, że wartość ta znowu spada przy dodaniu 6% wapna, por. 3.5-6.

Jeszcze bardziej znamieny jest spadek wytrzymałości chudego tynku glinianego stabilizowanego dodaniem cementu, co pokazuje wykres 3.5-7, przedstawiający także wpływ dodatku na wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu.

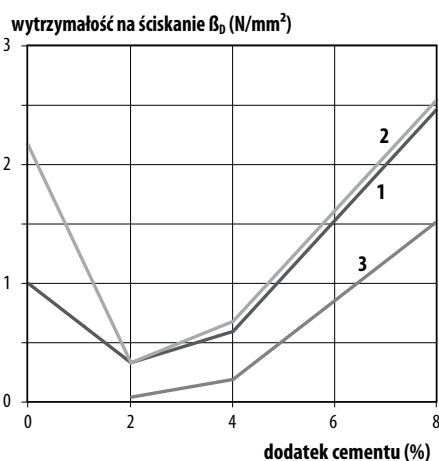
Poprzez dodawanie cementu i wapna wzrastają jednak wartości wytrzymałości na ściskanie na mokro. Wykres 3.5-8 przedstawia uzyskane w FEB wyniki wytrzymałości na ściskanie na sucho i na mokro dla formowanych ręcznie cegieł glinianych z dodatkiem cementu.



**3.5-5** ZMIANA WYTRZYMAŁOŚCI NA ŚCISKANIE GLINY POPRZEZ DODANIE CEMENTU

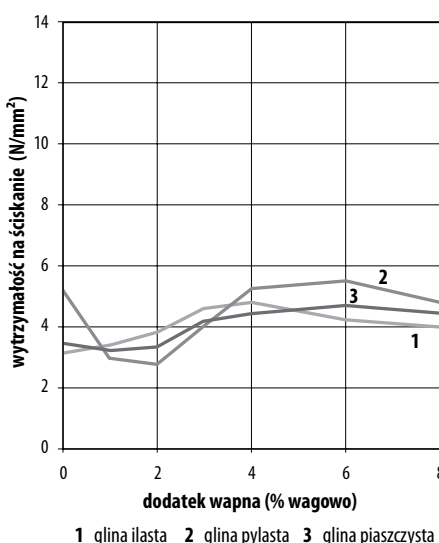


**1** tynk gliniany ilasty **2** tynk gliniany pylasty **3** piasek

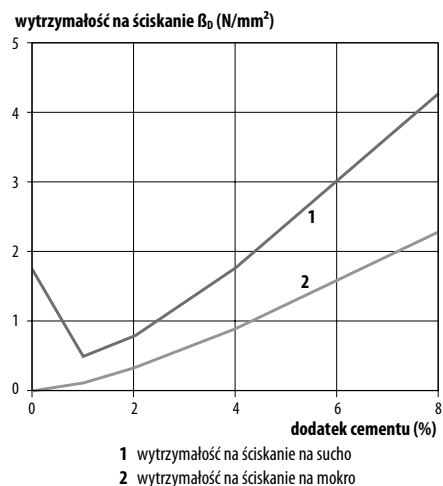


**1** tynk gliniany ilasty **2** tynk gliniany pylasty **3** piasek

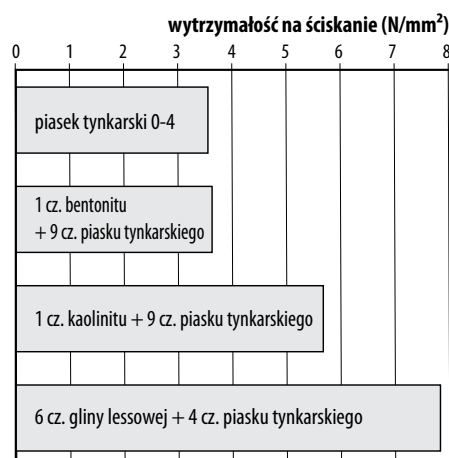
**3.5-7** ZMIANA WYTRZYMAŁOŚCI NA ROZCIĄGANIE PRZY ZGINANIU I NA ŚCISKANIE ZAPRAWY GLINIANEJ I PIASKU POPRZEZ DODANIE CEMENTU



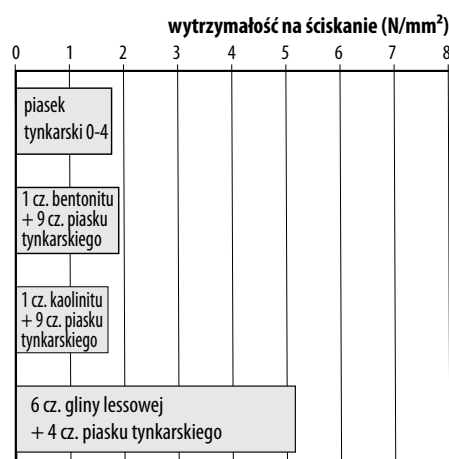
**3.5-6** ZMIANA WYTRZYMAŁOŚCI NA ŚCISKANIE GLINY POPRZEZ DODANIE WAPNA



**3.5-8** WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCISKANIE CEGIEŁ Z GLINY MOCNO PIASZCZYSTEJ, STABILIZOWANEJ CEMENTEM (ilt=11%, PYŁ=14%, PIASEK=75%)



**3.5-9** WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCISKANIE GLINY PRZY DODATKU 6% CEMENTU



**3.5-10** WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCISKANIE GLINY PRZY DODATKU 6% WAPNA



Jak wykazują badania przeprowadzone w laboratorium Gèomatériaux, dodanie 4% cementu powoduje przy czystym kaolinicie wzrost, a przy czystym montmorylonicie spadek wytrzymałości na ściskanie. Poprzez dodanie 6% wapna do kaolinitu wytrzymałość nie wzrasta, a do montmorylonitu – wzrasta, lecz nieznacznie. Dodanie 4% wapna i 2% cementu powoduje jednak wzrost o ok. 100% wytrzymałości obydwu rodzajów iltu, przy czym dla montmorylonitu zależna jest ona od stopnia jego zagęszczenia (Oliver, Mesbah, 1985).

Nie wolno pominąć faktu, że te doświadczenia przeprowadzono przy optymalnej zawartości wody powodującej maksymalną obciążalność oraz przy użyciu czystego iltu. Dla gliny budowlanej, zawierającej 10 do 20% iltu i nie posiadającej optymalnej wilgotności, różnice te są o wiele mniejsze.

Wyniki badanych przez FEB elementów przedstawiają wykresy 3.5-9 i 3.5-10. Tutaj dodano każdorazowo do mieszanki piaskowo-ilastej 6% cementu lub 6% wapna. Dodanie cementu do czystego piasku tynkarskiego, który zawiera ok. 10% drobnoziarnistych cząsteczek pyłu i iltu, oraz do mieszanki bentonitowo-piaskowej dało takie same wyniki. Interesujące jest zarówno to, jak i fakt, że glina zawierająca kaolinit osiągnęła wartości wyższe od zawierającej montmorylonit.

Dodanie wapna (wykres 3.5-10) powoduje, że glina zawierająca kaolinit osiąga wytrzymałość nawet mniejszą niż taka mieszanka z czystym piaskiem tynkarskim. Porównanie z wykresem 3.5-9 pokazuje, że efekty stabilizacji są lepsze dla większej zawartości pyłów i mniejszej iltów.

Na podstawie tych badań można wysunąć następujące wnioski:

Glinę o dużej zawartości kaolinitu należy mieszać nie z wapnem, lecz

z cementem, a glinę o większej ilości montmorylonitu nie z samym cementem, tylko z wapnem i cementem w stosunku 2:1. Wytrzymałość na ściskanie gliny montmorylonitowej wzrasta znacznie w efekcie jej zagęszczenia, natomiast gliny kaolinitowej tylko w niewielkim stopniu.

CRATERre przy wyborze właściwego środka stabilizującego zwraca uwagę, że na efektywność ma wpływ nie ilość tego dodatku ani też rodzaj iltu, ale granica płynności (liquid limit), granica plastyczności (plastic limit) i wskaźnik plastyczności (plasticity index), por. wykres 3.5-11 (CRATERre 1979).

Kiedy dla stabilizacji gliny domieszkujemy do niej cement, należy ten materiał przerobić tak szybko, jak to tylko możliwe, ponieważ proces wiązania cementu następuje natychmiast. Jeżeli np. mieszanka pozostanie na kilka godzin i potem zostanie użyta do wyciskania prasą cegieł, to będą one miały wytrzymałość na ściskanie o ok. 50% niższą. Kiedy zamiast cementu użyjemy wapna, to taki okres czasu nie ma negatywnego wpływu na wytrzymałość.

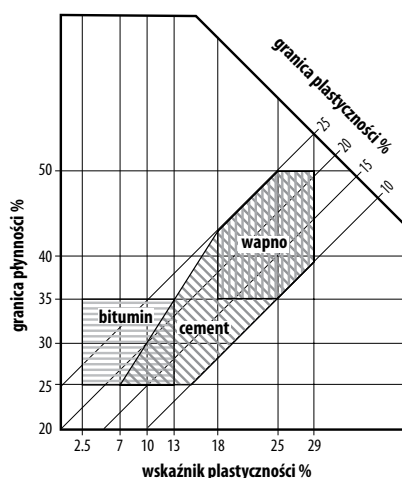
Przy niewielkim dodatku cementu (ok. 5%) decydujący wpływ na wytrzymałość ma proces schnięcia. Kiedy cegły wystawione są na bezpośredni wpływ

słońca i wiatru, osiągają one o 20% mniejszą wytrzymałość niż np. przykrywane wilgotnymi workami lub szmatami. Jeżeli taka ochrona nie jest możliwa, należy cegły przynajmniej chronić przed promieniowaniem słonecznym i przez kilka pierwszych dni często opryskiwać wodą. Przy dodatku 10% cementu ochrona przed szybkim wyschnięciem nie ma znaczącego wpływu na wytrzymałość końcową (Houben, Guillaud 1983).

Pucolany w połączeniu z wapnem dają dodatkowy efekt stabilizujący i mogą tym samym zastąpić część dodatku wapna. Nazwa „pucolana” wywodzi się od pochodzącej spod Neapolu ziemi wulkanicznej, częściowo twardniejącej hydraulicznie, a przez starożytnych Rzymian używanej jako zaprawa. Pucolany występują w przyrodzie jako popiół albo lawa wulkaniczna. Do pucolanów zaliczyć można również trass, drobno mielony tuf trachitowy pochodzący albo z gór Eifel, albo z okolic Nördlingen. Produkty odpadowe spalania, np. pyły lotne albo popioły z łusek ryżowych mają podobne cechy jak pucolany. Mąka ceglana z cegieł wypalanych w niskiej temperaturze wykazuje również porównywalne, choć mniejsze działanie niż wyżej wymienione produkty.

Stosunek materiałów pucolanowych do wapna zależy od tego, ile zawierają krzemu i od potrzebnego czasu twardnienia. Powszechnie stosowana jest proporcja 2 do 4 części materiałów pucolanowych do jednej części wapna (Norton 1986).

W Australii na Uniwersytecie of New South Wales Owen G. Ingles wraz z współpracownikami opracował metodę wzmocnienia gliny poprzez proces sztucznego skamieniania. Podobnie jak w naturze, poprzez dodanie w określonym środowisku alkalicznego tlenku żelaza ( $Fe_2O_3$ ) glina tworzy nierozpuszczalny krzemian żelaza. ilt kaolinitowy



**3.5-11** ZALECANE ŚRODKI STABILIZUJĄCE W ZALEŻNOŚCI OD PLASTYCZNOŚCI (CRATERre, 1979)

Zawartość sieczeni (% masy)	Gęstość materiału wysuszonego R (kg/m <sup>3</sup> )	Wytrzymałość na ściskanie $\beta$ D (N/mm <sup>2</sup> )
0	1882	2,2
1	1701	1,4
2	1571	1,3
4	1247	1,1
8	872	0,3

**TABELA 3.2** REDUKCJA WYTRZYMAŁOŚCI NA ŚCISKANIE GLINY LITEJ PRZEZ DODANIE SIECZENI (5CM)

po dodaniu 10% alkalicznego Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> osiąga po siedmiu dniach pięciokrotnie większą wytrzymałość na ściskanie na sucho niż materiał czysty. Wytrzymałość ta była nawet wyższa niż dla mieszanki z 10% cementu. Wyniki uzyskane przy wyznaczaniu wytrzymałości na ściskanie na mokro były jeszcze bardziej imponujące. Najlepsze efekty osiągnięto, kiedy do uzyskania środowiska alkalicznego użyto krzemianu sodu w postaci suchego proszku. Poprzez dodatkowe działanie termiczne do 500°C można twarde znacznie przyspieszyć i wzmocnić (Ingles, Lim 1982; Ingles 1983).

Podobnie dobre wyniki można osiągnąć poprzez wiązanie mączki glinianej (z dodatkiem kwarcu i mączki kredowej) ze szkłem wodnym. Produkt ten, nazywany geopolimerem, uzyskiwany jest w wyniku reakcji chemicznej, przy której powstaje polimeryzacja kondensacyjna – trójwymiarowe sieciowanie w środowisku alkalicznym przy wytrąceniu się wody. Firma „Hüls Troisdorf AG” produkuje go pod nazwą Trolit. Produkt nadaje się do przerobu w formie płynnej, można go wytłaczać i wyciskać, a po dodaniu H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> pieni się (por. rozdz. 4.7.6). Niespiony materiał ma wyższą wytrzymałość na ściskanie niż beton (40 do 65 N/mm<sup>2</sup>). Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu wynosi między 8 i 14 N/mm<sup>2</sup>.

### 3.5.6 Dodatki organiczne

Według Weissa (1963) wytrzymałość kaolinitu na zginanie na sucho, a tym samym wytrzymałość na ściskanie na sucho, można znacznie podnieść przez dodanie mocznika (H<sub>2</sub>N-CO-NH<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O) i octanu amonu (NH<sub>4</sub>C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>O<sub>2</sub>). Przypuszcza on, że niezwykłą wytrzymałość porcelany chińskiej osiągnięto dzięki dołowaniu gliny kaolinitowej w urynie (która zawiera mocznik i octan amonu) oraz jej drobnemu ucieraniu. Patrząc z punktu widzenia chemika można powiedzieć, że wiązania wodorowe między warstwami krzemianu zostają przy tym zerwane. Wytrzymałość na zginanie może przez to wzrosnąć 10 do 20-krotnie. Przy illitach jednak zjawiska tego nie zaobserwowano. W jaki sposób ustala się odporność na ścieranie powierzchni glinianych, opisano w rozdziale 2.6.6.

### 3.5.7 Dodatek z włókien i włosów

Włókna dodaje się z reguły do gliny w celu ograniczenia tworzenia się rys podczas schnięcia. Wielokrotnie powtarzana opinia, że włókna podnoszą także wytrzymałość gliny na ściskanie, nie jest prawdą. Podczas dodawania drobnych włókien albo włosów dla zwiększenia wytrzymałości na rozciąganie, zwiększa się także wytrzymałość gliny na ściskanie, ponieważ jest ona zależna od wytrzymałości na rozciąganie poprzeczne. Kiedy dodamy sieczeni, będziemy mieli do czynienia z efektem przeciwnym, jak pokazują to wyniki badań FEB przedstawione w tabeli 3.2.

## 3.6 Zwiększanie wytrzymałości na ścieranie

Przeprowadzone przez FEB badania porównawcze dotyczą zwiększenia wytrzymałości na ścieranie ubitej gliny (o zawartości 14% itu, 41% pyłu i 45% piasku). Pokazują, że poprzez dodanie sodowego szkła wodnego, kleju

kostnego, twarogu i wapna, parafiny, roztworu naftowo-parafinowego, zaprawy woskowej i pokostu lnianego, najbardziej odporną na ścieranie powierzchnię uzyskano przez dodanie 10% szkła wodnego. Powierzchnia ta była jednak pokryta wieloma pęknięciami włoskowatymi i przy moczeniu wchłaniała dużą ilość wody. Drugą co do ścieralności powierzchnię uzyskano przez dodanie 5% pokostu lnianego, przy tym jednak powierzchnia zatarta została podczas schnięcia przy pomocy kielni i przy użyciu dużego nacisku tak, że powstała błyszcząca i wolna od rys płaszczyzna. Trzecim z najlepszych rozwiązań było dodanie 5% chudego twarogu i 5% wapna.

Najprościej zwiększyć wytrzymałość na ścieranie powierzchni glinianej przez jej pomalowanie. Przy tym należy pamiętać, aby środek wnikał wystarczająco głęboko, a w razie potrzeby oraz od czasu do czasu trzeba czynność powtórzyć. Podczas doświadczeń stwierdzono, że ponowne wcieranie wosku znacznie podniosło wytrzymałość na ścieranie wszystkich próbek.

Według tradycyjnych receptur można uzyskać bardzo odporną na ścieranie powierzchnię posadzki glinianej, jeżeli pomaluje się ją krwią wołową, posypie zgorzeliną kuźniczą (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) i tę warstwę potem ubije. Do malowania można używać jeszcze krwi zwierzęcej, moczu i smoły.

Inne dane dotyczące wytrzymałości na ścieranie patrz rozdz. 14.4.3

## 3.7 Zwiększanie izolacji cieplnej

### 3.7.1 Wiadomości ogólne

Izolację cieplną gliny można zwiększyć poprzez dodatki porowate. Może to być słoma, trzciny, trawa morska, kora korkowa i podobne lekkie części roślinne, albo też naturalne lub sztucznie spienione cząsteczki mineralne, takie jak

pumeks, lawa, keramzyt, szkło porowate, tupek wypalony, perlit lub produkty roślinne, np. korek. Odpady, jak np. trociny, wióry i plewy można także mieszać z gliną. Z uwagi na ich dużą gęstość powodują jednak niewielką poprawę izolacyjności cieplnej. Im więcej jest w materiale porów z powietrzem, tym jest on lżejszy i tym lepsze ma właściwości izolacyjne.

Glina z dodatkami lekkimi nazywana jest według DIN 18951 „gliną lekką”, jeżeli w stanie suchym jej ciężar objętościowy nie przekracza  $1200 \text{ kg/m}^3$ . Glina lekka może służyć do produkcji cegieł albo budowy ścian w deskowaniu.

Glina lekka nie jest jeszcze w Niemczech oficjalnie uznana za materiał nośny. Stosowana jest w zasadzie jako materiał wypełniający konstrukcje szkieletowe ścian lub stropy i dachy oraz do budowania posadzek.

Do produkcji gliny lekkiej używa się szlamu glinianego o stosunkowo dużej zawartości یتu. Szlam powinien mieć konsystencję pozwalającą na jego wylanie i pompowanie. Ponieważ produkcja szlamu wymaga o wiele więcej czasu niż produkcja gotowej mieszanki lekkiej, należy proces ten zoptymalizować. Jest to jednak zależne od posiadanego materiału wyjściowego i może być przeprowadzone ręcznie lub mechanicznie, por. rozdz. 3.6.

Teoretycznie możliwe jest także wytwarzanie pianki z gliny poprzez dodanie środków spieniających. Powoduje to tworzenie się wypełnionych powietrzem porów, a to z kolei poprawia wartości izolacyjne materiału. Przeprowadzone z typowymi rodzajami gliny doświadczenia nie dały jednak zadowalających rezultatów.

### 3.7.2 Glina lekka ze słomą

#### Wiadomości ogólne

Jako glinę lekką ze słomą określa się mieszaninę gliny i słomy o gęstości mniejszej niż  $1200 \text{ kg/m}^3$ . Kiedy ta gęstość jest większa, mówimy o glinie ze słomą. To, jaki rodzaj słomy należy używać, jest problemem spornym. Niektórzy autorzy proponują słomę żytnią (Gilly 1813), inni natomiast pszeniczną lub owsianą (Miller, Grigutsch, Schulze, 1947). Do tynków najbardziej nadaje się słoma jęczmienna, bo jest miękka. Ważniejsza jednak od rodzaju słomy jest struktura jej źdźbła. Dla zwiększenia izolacyjności cieplnej lepsze jest stosowanie słomy o cienkiej i stabilnej łodydze, która nie jest pognieciona i nie została sprasowana w bele. Słoma powinna być sucha i nie spleśniała.

#### Cięcie słomy

Długość słomy nie powinna być większa od grubości elementu glinianego. Dla wykonania ścian z gliny bitej o grubości 30-50 cm nadaje się słoma ze sprasowanych bel, ponieważ nie trzeba jej już ciąć. Należy jedynie przed mieszaniem dokładnie ją wzruszyć rękoma, aby potem nie powstały kłęby, w których słoma nie zostanie szczelnie otoczona gliną. Do produkcji cegieł i płyt należy pociąć słomę na długość 6 do 18 cm. Bardzo prosto, choć wymaga to czasu, można pociąć słomę siekierą na klocku do rąbania drewna. Krótkie kawałki potrzebne np. do tynków można najprościej naciąć sieczkarnią.

#### Produkcja mieszanki

Glinę ze słomą miesza się w ten sposób, że albo polewa się szlamem słomę, albo też zanurza się ją w szlamie.

Przy metodzie polewania należy słomę rozkładać w warstwy o wysokości 10-15 cm i zalewać szlamem, najlepiej używając do tego konewki. Po

wykonaniu 6-12 warstw trzeba całą masę przenieść w inne miejsce i dokładnie wymieszać. Jeżeli wszystkie źdźbła otoczone są dokładnie gliną, co można łatwo skontrolować optycznie, mieszanka jest gotowa. Urządzeniem oszczędzającym nakład pracy jest agregat tynkarski, którym można wytwarzać szlam i potem polewać nim słomę.

Przy metodzie zanurzania należy luźną słomę zatapiać w wypełnionej szlamem wannie. Pomocne przy zanurzaniu mogą być widły albo ubijak. Można też udeptywać mieszaninę nogami. Potem wyjmuje się słomę widłami. Historyczna literatura mówiąca o glinie zaleca dołowanie słomy przez 6 do 24 godzin aby woda zarobowa częściowo dostała się do słomy, a częściowo odparowała. Dzięki temu słoma staje się giętka, a glina lepka. Ponieważ dzisiaj łodygi słomy są cieńsze niż kiedyś i gdy są mokre łatwo je zgnieść, aby uzyskać lekką i izolacyjną masę, konieczne jest niezwłoczne przerabianie mieszanki.

Dokładne dane dotyczące proporcji mieszaniny nie są możliwe, ponieważ nie zależą one jedynie od oczekiwanej gęstości suchych, gotowych elementów, ale także od rodzaju słomy, jej składowania i długości, jak również od sposobu przygotowania materiału.

Sposób przerobu gliny lekkiej ze słomą opisano w rozdziale 10.3.

#### O działaniu izolacji cieplnej

Ocena mieszanki gliny ze słomą jako dobrego materiału izolacyjnego stosowanego od setek lat w budownictwie szachulcowym jest od dawna błędna. 10 części luźnej siczki słomianej i gęsta breja (2 cz. tłustej gliny i 1 cz. wody) dają mieszankę o gęstości ok.  $1300 \text{ kg/m}^3$  i współczynnika przewodności cieplnej ok.  $0,53 \text{ W/mK}$ . Oznacza to, że typowa dla muru pruskiego ściana z takiego materiału o grubości 14 cm z dwustronnym tynkiem o grubości 2 cm osiąga

wartość  $U = 2,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Aby przestrzeń między drewnianymi elementami konstrukcji szkieletowej osiągała wartość  $U = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ , musiałaby mieć grubość ok. 95 cm. Przykład ten pokazuje, że przy użyciu takiego materiału mury pruskie o typowej grubości nie mogą stanowić wystarczającej izolacji, nawet jeżeli podwoimy lub też potroimy ilość dodanej słomy, która w podanym wyżej przypadku wynosiła 4% wagowe.

W ostatnich latach zbudowano sporo domów z lekkiej gliny ze słomą o 30 cm grubości ścian.

Kontrole wykazały, że oczekiwana niska gęstość ścian z gliny wynosząca ok. 300 do 400  $\text{kg/m}^3$  praktycznie nie została osiągnięta. Powodem są trzy czynniki:

1. Słoma w sprasowanych belach zawiera za mało pustych przestrzeni.
2. Słoma poprzez zatopienie w szlamie staje się miękka i zgnieciona, co powoduje, że cała masa już w fazie przygotowania i składowania zastaje stosunkowo mocno zagęszczona.
3. Poprzez wkładanie i wciskanie mieszanki do deskowania następuje kolejne zagęszczanie.

Często popełnia się przy sprawdzaniu gęstości gliny lekkiej ze słomą znaczące pomyłki. Błędem jest np. wypełnianie małego pojemnika masą przeznaczoną do kontroli, potem ważenie próbki suchej i porównywanie wyniku z objętością pojemnika. Badania wykazały, że wyznaczona w ten sposób gęstość dla próbek wielkości cegły była o 50% niższa od rzeczywistej dla całej ściany. Także dla próbek  $20 \times 20 \times 20 \text{ cm}$ , typowych dla badania betonu, otrzymano wyniki z błędem sięgającym 10 – 30%. Powodowane to jest przez żdźbła słomy w rogach i krawędziach, gdzie gęstość próbki jest o wiele mniejsza niż w jej

środku. Z tego też powodu, aby ustalić rzeczywisty ciężar właściwy ściany, należy badać bardzo duże próbki, a ich krawędzie obcinać, albo też do testu użyć fragmentu wyciętego z muru. Należy przy tej metodzie wziąć także pod uwagę, że poprzez wycięcie próbki na krawędziach mogą powstać odpryski i przez to ciężar badanej próbki będzie niższy niż ciężar budowanej ściany.

W ten sposób może się zdarzyć, że planowana gęstość ściany zamiast 300  $\text{kg/m}^3$  w rzeczywistości wyniesie 600 do 700  $\text{kg/m}^3$ . Ściana z gliny lekkiej ze słomą o gr. 30 cm, obustronnie otynkowana, o gęstości 700  $\text{kg/m}^3$  i wartości  $\lambda = 0,21 \text{ W/mK}$  osiągnie jedynie wartość współczynnika  $U = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Oznacza to, że straty ciepła dla takiej ściany są o 100% wyższe niż dla ściany z gliny lekkiej ze słomą o gęstości 300  $\text{kg/m}^3$ . Jest więc absurdem ignorowanie dążenia do osiągnięcia możliwie dużej wartości izolacyjnej. Przecież nie można z jednej strony mówić o budowaniu ekologicznym, gdzie stosuje się glinę i słomę, oraz podkreślać, że te materiały do ich otrzymania i zabudowanie nie wymagają prawie żadnego nakładu energii i tym samym nie zanieczyszczają środowiska, a z drugiej strony ignorować konieczność zapotrzebowania na energię grzewczą. Niezbędna ilość energii potrzebna do ogrzania budynku posiadającego źle izolowane ściany zewnętrzne powoduje zanieczyszczenie środowiska poprzez szkodliwe odpady spalania. To zanieczyszczenie już po pierwszym roku ogrzewania może spowodować większe szkody niż oszczędności, które dało zastosowanie naturalnych materiałów (głina i słoma) zamiast cegły czy betonu i płyt izolacyjnych z tworzywa sztucznego.

Aby uzyskać wartość współczynnika  $U = 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ , należy gęstość gliny lekkiej ze słomą przy grubości ściany 30 cm zmniejszyć do wartości 300  $\text{kg/m}^3$ .

Według badań FEB najłżejsza mieszanka wykonana z prasowanej siewki o długości 10 do 15 cm, której każde pojedyncze żdźbło otoczone jest gliną, waży ok. 500 kg. Zawiera ona 12% (wagowo) słomy. Taka mieszanka sprężynuje już w czasie wkładania do formy, a po wyschnięciu nie wykazuje wystarczającej wytrzymałości, aby np. zamocować w ścianie kołek albo utrzymać warstwę tynku. Dopiero przy gęstości 700  $\text{kg/m}^3$  ściana osiąga możliwą do przyjęcia wytrzymałość. Grubość takiej ściany, aby zapewnić wartość  $U = 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ , wynosi ok. 70 cm. Taka ekstremalna grubość jest jednak nie do przyjęcia, a to z uwagi na za długi okres schnięcia i tym samym niebezpieczeństwo zbutwienia wilgotnej słomy w deskowaniu.

Na co należy przy glinie lekkiej ze słomą zwrócić szczególną uwagę?

Głina lekka ze słomą ma w porównaniu z czystą gliną wiele wad:

1. Stanowi środowisko podatne na tworzenie się w nim już po kilku dniach grzybów pleśniowych, które w trakcie budowy stanowią duże zagrożenie dla zdrowia i w przypadkach skrajnych mogą wywoływać nawet alergię. Dlatego też należy pilnować, aby wszystkie elementy były dobrze wietrzone oraz aby możliwie szybko wysychały.



**3.7-1** SZCZELINA SPOWODOWANA OSIADANIEM LEKKIEJ GLINY ZE SŁOMĄ W KONSTRUKCJI DREWNIANEJ



Po wyschnięciu, które trwa wiele miesięcy, a przy grubych ścianach nawet dłużej niż rok, nie wytwarza się już zarodniki grzybów. Będą one jednak znowu aktywne, jeżeli ściana zawilgoci się od zewnątrz, albo kiedy poprzez złą konstrukcję zacznie tworzyć się na powierzchni woda kondensacyjna, np. w rogach zewnętrznych lub w rejonie ościeży okiennych. Tworzeniu się grzybów pleśniowych można wprawdzie zapobiegać wapnem lub boraksem; dodatki te jednak utrudniają obróbkę materiału (niebezpieczeństwo kauteryzacji), zmniejszają znacznie siłę wiązania i nieznacznie obniżają wytrzymałość na ściskanie.

2. Ściany o niskiej gęstości i grubości ponad 25 cm wyglądają często jakby już były suche, podczas gdy w środku jeszcze miesiącami pozostają wilgotne, co powoduje ich butwienie, por. rozdz. 10.3.
3. Wytrzymałość ścian o ciężarze właściwym mniejszym niż 600 kg/m<sup>3</sup> jest tak mała, że tynkowanie wymaga stosowania dodatkowych środków (grubsza warstwa, wzmocnienie z siatki), a gwoździe czy kołki osadzone są zbyt słabo, by unieść jakiegokolwiek obciążenia.
4. Podczas schnięcia glina lekka ze słomą tak się kurczy, że na górnym styku przestrzeni międzybelkowej z konstrukcją powstają szpary. Jeżeli się ich potem nie wypełni, to powstają w ścianach zewnętrznych mostki termiczne, powodujące niebezpieczne zawilgocenie wodą kondensacyjną. Na zdjęciu 3.7-1 przedstawiono powstanie szpary w testowym elemencie konstrukcji drewnianej. Osiadanie wynosiło tu ok. 9%.
5. Sama metoda wymaga dużego nakładu pracy. Bez pomocy

specjalnych mieszalników i urządzeń transportowych należy liczyć się z pracochłonnością ok. 20 godz./m<sup>3</sup> wzgl. 6 godz./m<sup>2</sup>. Jest to mniej więcej czterokrotnie więcej niż przy murowaniu ściany z cegieł.

Zaletą gliny lekkiej ze słomą jest jej niski koszt i proste metody pracy bez maszyn, co jest szczególnie ważne dla budowania indywidualnego, środkami własnymi.

Wymienione wady można ominąć, jeżeli zamiast słomy użyje się dodatków mineralnych.

### 3.7.3 Glina lekka z dodatkami mineralnymi

#### Wiadomości ogólne

Alternatywą dla gliny lekkiej ze słomą jest glina z dodatkiem porowatych środków mineralnych, takich jak np. keramzyt, szkło porowate, porowata lawa, perlit albo pumeks.

Taki lekki materiał budowlany wykazuje, z odpowiednimi dodatkami różnej wielkości ziaren, skurcze schnięcia = 0% i tym samym jest jedynym materiałem z gliny, który się nie kurczy. Ponadto posiada on, w odróżnieniu od mieszanki ze słomą, wystarczającą wytrzymałość, aby na wbitych gwoździach zawiesić obrazy, a używając kołków powiesić nawet szafki. Co jest także bardzo ważne, podczas wyrabiania masy nie istnieje niebezpieczeństwo tworzenia się pleśni i butwienia.

Glina lekka z minerałami jako materiał na ściany zewnętrzne posiada, w porównaniu do materiału poprzednio omawianego, dużą przewagę. Polega ona na tym, że jego odporność na przenikanie pary wodnej jest 2 lub 3-krotnie większa i tym samym powstawanie wody kondensacyjnej jest znacznie trudniejsze, por. rozdz. 2.4.2

Ponadto mieszankę można tak wykonać, że podobnie jak beton daje się transportować pompą prosto w deskowanie, co skraca znacznie czas pracy.

Ponieważ nakład urządzeń stosowanych przy tej technologii jest stosunkowo wysoki, opłaca się to tylko przy większych elementach lub na większych budowach. Firmy wykonujące roboty powinny posiadać w tej dziedzinie doświadczenie, ponieważ rozkład wielkości ziaren stosowanych dodatków powinien być dostosowany do warunków lokalnych. Skład mieszaniny zależy od oczekiwanej wytrzymałości elementów, od wymaganej izolacyjności, jak również od czasu rozdeskowania zależnego od pory roku i metody wykonania. Dla gliny lekkiej z keramzytem typowa gęstość wynosi od 500 do 1200 kg/m<sup>3</sup>.

#### Dodatki

Najtańszym porowatym dodatkiem mineralnym o dobrej właściwości izolacyjnej jest keramzyt, który w swojej najlżejszej postaci ma gęstość nasypową ok. 300 kg/m<sup>3</sup>. W Niemczech produkuje się dwa rodzaje tego materiału: „Leca” i „Liapor”. Cząsteczki tego drugiego mają formę kulek, natomiast pierwszego są nieregularne. Oba powstają w piecach obrotowych w temp. ok. 1200°C z czystego ilitu, bez dodatków i chemicznych uzupełnień powodujących tworzenie się porów. Porowatość powstaje dzięki szybkiemu działaniu wysokiej temperatury, przy której wyparowuje woda krystalizacyjna. Powierzchnia stapia się lekko i tworzy spieczoną powłokę. Przez to powstają zamknięte pory i duża wytrzymałość na ściskanie. Keramzyt jest wg DIN 4102 materiałem niepalnym klasy A1. Keramzyt posiadający strukturę niekapilarną jest odporny na wilgoć i mróz. Wilgotność równowagi wynosi dla Liaporu 0,03% (obj.), wchłanianie wody podczas długotrwałego składowania pod wodą wynosi 11 do 12%.

Gęstość nasypowa dla ziarna 4 do 8 mm oraz 8 do 16 mm wynosi ok. 325 kg/m<sup>3</sup>. Keramzyt jest bezzapachowy i odporny na działanie organicznych i nieorganicznych kwasów i ługów.

Szkoło porowate posiada podobne cechy, ma jednak mniejszą gęstość nasypową (ok. 19 kg/m<sup>3</sup>) i dlatego lepsze działanie izolacyjne.

Ściana z gliny lekkiej z keramzytem o gęstości 800 kg/m<sup>3</sup> odpowiada, przy takiej samej wytrzymałości powierzchni, ściana z dodatkiem szkła porowatego o gęstości ok. 500 kg/m<sup>3</sup>. Ponieważ wykazuje ona o ok. 40% większą izolację cieplną, wyrównują się w ten sposób koszty jej budowy. Ściana z gliny lekkiej z dodatkiem szkła porowatego posiada zawsze tę zaletę, że jest cieńsza przy takiej samej izolacyjności. Szkoło porowate jest produktem odpadowym recykulacji, wymaga jednak stosowania dodatkowego środka spieniającego.

Perlit porowaty powstaje ze skały wulkanicznej. Wydobywany jest przede wszystkim na greckiej wyspie Milos oraz na Węgrzech. Zawiera ok. 3 do 6% chemicznie związanej wody. W urządzeniu do produkcji perlitu porowatego skała jest podgrzewana do 1000°C, zawarta w niej woda wyparowuje, a rozdrobniony, surowy perlit spienia się zwiększając swoją objętość 15-, 20-krotnie. Gęstość nasypowa najlżejszego perlitu porowatego wynosi ok. 60 kg/m<sup>3</sup>, wartość przewodności cieplnej  $\lambda_R = 0,045$  W/mK, wskaźnik oporu dyfuzji pary wodnej  $\mu$  wynosi ok. 2,7, a ciepła właściwe  $c$  ok. 1000 J/kgK. Chemiczna analiza określa następujące części składowe: SiO<sub>2</sub>: 60-75%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 12-16%, Na<sub>2</sub>O: 10%.

Lawa porowata otrzymywana jest ze skały wulkanicznej w podobny sposób, jak perlit porowaty. Jest jednak substancją cięższą.

Pumeks jest naturalnym, porowatym kamieniem. Jest produktem wulkanicznym, wydobywanym w Niemczech

w górach Eifel. Gęstość nasypowa wynosi, zależnie od występowania i wielkości ziarna, ok. 500-750 kg/m<sup>3</sup>.

### Produkcja mieszanki

Podczas gdy do mieszania gliny w zasadzie należy używać urządzenia o mieszananiu wymuszonym (por. rozdz. 3.3), tak do produkcji gliny lekkiej z dodatkami mineralnymi wystarcza zwykła betoniarka wolnospadowa.

Mieszanka powstaje z tłustej gliny o dużej sile wiązania oraz porowatego, gruboziarnistego, lekkiego dodatku. Jeżeli do betoniarki z keramzytem, piaskiem pumeksowym albo podobnym dodatkiem wlejemy breję glinianą, to po 3 do 5 min. otrzymamy gotową mieszankę. (Sposób otrzymywania szlamu opisano w rozdziale 3.6).

### Rozłożenie ziaren w mieszance

Czynnikiem decydującym o właściwościach gliny lekkiej z dodatkami mineralnymi jest rozłożenie ziaren w mieszance: niewielką gęstość (ok. 500 kg/m<sup>3</sup>) otrzymamy przez dodanie jednorodnego keramzytu o frakcji 8 do 16 mm. Ilość tłustej gliny musi być tak dobrana, aby kawałki keramzytu były pozlepiane, ale przestrzenie między nimi nie były całkowicie wypełnione. Taką mieszankę można uzyskać np. z 2,5 części (obj.) gliny i 12 części keramzytu (8/16). Cegły wykonane z tego surowca mają jednak niewielką wytrzymałość krawędziową. Stabilniejsza mieszanka powstanie z 24 części (obj.) keramzytu frakcji 8-16 mm i ok. 5 części frakcji 1-2 mm oraz 5 do 7 części gliny. Gęstość tego materiału wynosi ok. 640 do 700 kg/m<sup>3</sup>. Mieszanka z 12 cz. keramzytu 8/16 i 5 cz. gliny da materiał o gęstości ok. 780 kg/m<sup>3</sup>. Jeżeli potrzebny jest surowiec o jeszcze większej gęstości, należy wziąć dodatek o frakcji 4/8 i tak dużo gliny, że wszystkie przestrzenie między kawałkami keramzytu wypełnią się. Korzystne jest

wtedy domieszanie do gliny gruboziarnistego piasku.

### Przeróbka

W porównaniu z gliną lekką ze słomą, mieszanka z dodatkami mineralnymi posiada tę zaletę, że można ją nie tylko ubijać w szalunku, ale używając większych zbiorników, wsypywać lub też pompować, pod warunkiem odpowiedniego przygotowania. Oznacza to, że proporcje gliny i wody oraz wielkość i ilość dodatków muszą być ściśle określone. Bliższe informacje na temat przeróbki i możliwości zastosowania omawia rozdział 10.

### Izolacja termiczna

Izolacja termiczna gliny lekkiej z dodatkami mineralnymi zależy przede wszystkim od gęstości materiału i jest ona porównywalna, w przedziale ponad 600 kg/m<sup>3</sup>, z izolacyjnością gliny lekkiej ze słomą. Mieszanka lżejsza od 600 kg/m<sup>3</sup> ma lepsze właściwości izolacyjne, ponieważ glina ze słomą z powodu wyższej wilgotności równowagi słomy jest zawsze bardziej wilgotna. Wilgotność równowagi słomy żytniej przy wilgotności powietrza = 50% i temperaturze 21°C wynosi 13% masy, dla keramzytu natomiast tylko 0,1%.

### Nakład energii

Często przy porównywaniu różnych dodatków do gliny lekkiej przedstawia się nakład potrzebnej energii do produkcji keramzytu jako szczególną wadę. Jest on jednak o wiele niższy niż dla drewna budowlanego albo lekkiej cegły ceramicznej. Energia potrzebna do wyprodukowania drewna budowlanego jest, licząc na m<sup>3</sup>, 6-krotnie wyższa niż do wytworzenia wełny mineralnej i dwukrotnie wyższa niż niezbędna do produkcji keramzytu.

Kilka liczb dla porównania: zasadniczy nakład energii dla keramzytu o gęstości

300 kg/m<sup>3</sup> wynosi ok. 300 kWh/m<sup>3</sup>, dla ściany z cegły wapienno-piaskowej ok. 430 kWh/m<sup>3</sup>, dla drewna budowlanego ok. 600 kWh/m<sup>3</sup> (Turowski 1977, Wel-ler i Rehberg 1979, Elias 1980, Marmè i Seeberger 1982).

#### 3.7.4 Gлина lekka z korkiem

Zamiast lekkich, porowatych dodatków mineralnych można użyć także spęczniałego (spienionego) korka. Zaletą takiej mieszanki jest to, że spęczniały korek posiada nieduży ciężar nasypowy (ok. 90 kg/m<sup>3</sup>) i tym samym nadaje się do wytwarzania lekkich mieszanek glinianych (o gęstości ok. 300 kg/m<sup>3</sup>). Wadą tego materiału jest jego wysoka cena oraz to, że glina lekka z korkiem w porównaniu z gliną z dodatkami mineralnymi cechuje się niewielką wytrzymałością. I tak np. cegły wykonane z gliny z korkiem z uwagi na niewielką wytrzymałość krawędziową łatwo się kruszą, a bezpośrednie mocowanie na ścianach z tego materiału regałów i szafek wiszących jest problematyczne.

Wyprodukowana przez firmę HAACKE mieszanka ze spęczniałego korka i gliny z dodatkiem ziemi okrzemkowej i słomy nadaje się doskonale jako materiał do poprawy izolacji cieplnej starych murów o drewnianej konstrukcji szkieletowej. Materiał przygotowany w mieszance o obiegu wymuszonym ubija się w szalunkach lub tam go pompuje. Można go zastosować w podobny sposób jak tynk, natryskując go na chropowatą powierzchnię ściany. Swą brejowatość tynk ten zawdzięcza dodaniu do niego celulozy. Dzięki jego dużej lepkości można go nanosić w kilku warstwach na grubość wielu centymetrów. Jest to materiał oficjalnie dopuszczony przez urzędowy nadzór budowlany.

Gęstość tej mieszanki wynosi ok. 300 do 450 kg/m<sup>3</sup>, a zmierzona wartość przewodności cieplnej  $\lambda$  od 0,07 do 0,08 W/mK. Wyznaczone wskaźniki oporu

dyfuzji pary wodnej  $\mu$  wynoszą od 4 do 19, wartość wilgotności wyrównawczej  $u_{80}$  (wilgotność równowagi przy 80% względnej wilgotności powietrza i temp. 23°C) wynosi 3,3%. Kurczenie się przy wysychaniu jest równe ok. 1-2%. Materiał nadaje się szczególnie do robót remontowych budynków o drewnianej konstrukcji szkieletowej, jest jednak o wiele droższy od pozostałych opisanych rodzajów gliny lekkiej. Interesującym faktem jest nadanie firmie HAACKE już w 1899 r. patentu z następującym opisem: „Metoda otrzymywania materiału budowlanego i izolacyjnego z drobnego korka, paku i gorącej brei glinianej”.

W warsztatach centrum epileptycznego w Kehl-Kork w Niemczech produkuje się cegły z rozdrobnionych, starych korków i gliny. Posiadają one gęstość ok. 1000 kg/m<sup>3</sup> i wymiary albo normalne, albo też nietypowe (np. 24 x 11,5 x 30 cm, 24 x 10 x 14 cm, 20 x 20 x 6 cm). Cegły lekkie o gęstości 600 kg/m<sup>3</sup> proponuje się o wymiarach 24 x 12 x 24 i 26 x 15 x 24 cm. Ponadto nabyć tam można pakowaną w worki lekką zaprawę glinianą z korkiem do murowania i tynkowania o gęstości ok. 600 kg/m<sup>3</sup>.

#### 3.7.5 Gлина lekka z drewnem

Dodawanie odpadów drewnianych jako dodatku do wytwarzania gliny lekkiej było przedmiotem wielu eksperymentów. Ponieważ drewno posiada o wiele większą gęstość od słomy, korka i dodatków mineralnych, osiągnąć wartości izolacyjne są mniejsze niż w omówionych przypadkach gliny lekkiej. Co prawda z dodatkiem trocin albo wiórów można, przy zachowaniu ekstremalnej porowatości, uzyskać glinę lekką o gęstości 500 kg/m<sup>3</sup>, ale taka mieszanka nie posiada wystarczającej wytrzymałości. Ponadto istnieje tu także, podobnie jak dla słomy jako dodatku do gliny lekkiej, niebezpieczeństwo pleśnienia i butwienia (por. 10.4).

Rozdrobnione drewno podnosi znacznie izolacyjność gliny tylko wtedy, gdy mieszanka ma wystarczającą ilość porów, ale należy przy tym pamiętać, że traci ona na wytrzymałości. Wióry z miękkiego drewna albo odpadów leśnych zawierające dużą ilość kory ulegają szybkiemu butwieniu. Należy więc do mieszanek glinianych stosować wyłącznie takie, które kory nie zawierają. Jak pokazuje doświadczenie, nie należy budować konstrukcji ściennych o gęstości poniżej 700 kg/m<sup>3</sup> bez deskowania traconego. Łatwe do obróbki mieszanki wykazują gęstość od 1000 do 1200 kg/m<sup>3</sup>. Dla tego materiału uznana wartością  $\lambda$  jest 0,50 W/mK (zur Nieden 1992). Oznacza to, że np. ściana z tej mieszanki o gr. 30 cm, chroniona od środka tynkiem glinianym, a z zewnątrz tynkiem gr. 2,5 cm z matą trzcinową, osiąga wartość U jedynie ok. 0,9 W/m<sup>2</sup>K, co jest wskaźnikiem nie do przyjęcia zarówno z punktu widzenia ekonomii, jak i ekologii.

Aby osiągnąć gęstość mieszanki = 800 kg/m<sup>3</sup>, powinna ona zawierać np. 1 cz. (objętościowo) trocin, 1 cz. drobnych i 2 cz. grubych, siekanych wiórów oraz 1,6 części gruzelkowej gliny. W Niemczech północnych występują w handlu siekane wióry, uzyskane w Skandynawii z odkorowanych drzew. Materiał ten jest potem transportowany do Niemiec, a to oznacza podobny nakład energii, jak ten potrzebny do uzyskania keramzytu.

Zaletą gliny lekkiej z drewnem w porównaniu z gliną łączoną ze słomą jest jej łatwiejsza przeróbka, podobnie zresztą jak dla mieszanki gliny z dodatkami mineralnymi.

# 4. OBRÓBKA WSTĘPNA

## 4.1 Wiadomości ogólne

„Przerobienie” ziemi z wykopu na materiał budowlany pod nazwą glina jest zadaniem najważniejszym i często najtrudniejszym w budownictwie glinianym. Rozpoznanie, czy grunt nadaje się na przeróbkę w trwały i dobry budulec, a także wybór urządzeń i technik zastosowania, wymagają dużego doświadczenia i decydują o opłacalności budowania z gliny.

Obróbka wstępna jest zależna od rodzaju i zastosowania gliny. Chuda, gruzelkowata, wilgotna glina nie potrzebuje w zasadzie przygotowania. Można ją użyć do budowy systemem ubijania, albo po wymieszaniu z wodą do ręcznej produkcji cegieł, czy też jako zaprawy tynkarskiej. Glina tłusta, zbrylona albo pochodząca z warstw o różnej tłustości musi być przed przygotowaniem

rozdrobiona i wymieszana, a poza tym przy najczęściej stosowanych technikach „odchudzona” piaskiem.

## 4.2 Dołowanie

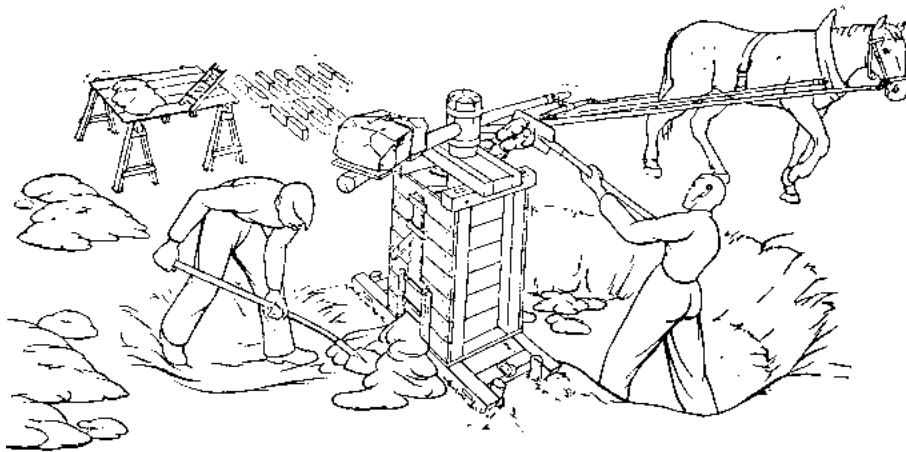
Kiedy glina jest sucha i zbrylona, a jej rozdrobnienie wymaga dużego, mechanicznego nakładu, najprostszą metodą jest jej dołowanie. Wymaga to jednak wystarczającej ilości zbiorników i dużo miejsca. Bryły gliny wsypuje się do płaskich pojemników na grubość 15-25 cm i zalewa wodą. Po 2-4 dniach powstaje miękka masa, którą już daje się ugnieść i może być ona wymieszana z piaskiem, żwirem lub włóknami.

## 4.3 Rozdrabnianie i mieszanie

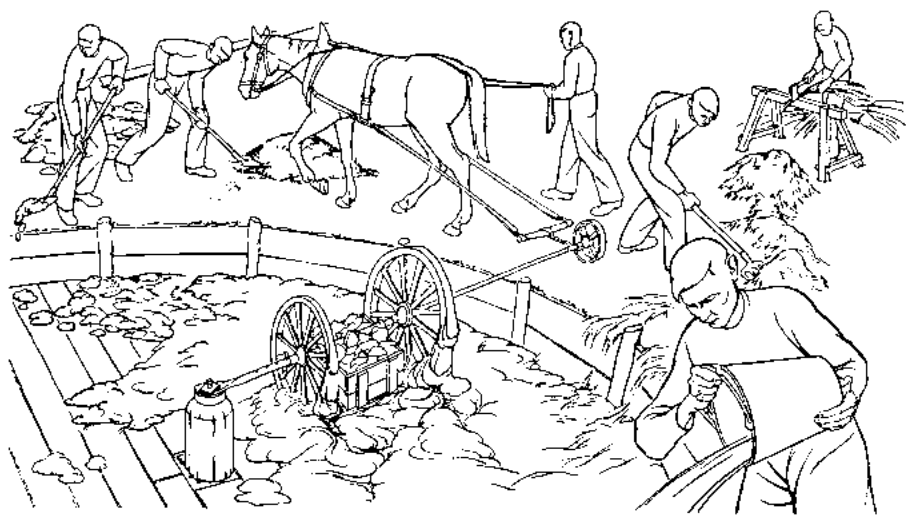
Najprostszą, stosowaną już od dawna metodą rozdrabniania tłustej, zbrylonej gliny, jest jej „zimowanie”. Glinę składa się na wolnym powietrzu w warstwie wysokości 20-40 cm i pozostawia tak przez zimę. Warstwa ta przemarza, co powoduje rozszczepienie się gliny na małe, łuskowate cząsteczki.

Jeszcze do dzisiaj w krajach rozwijających się najczęściej stosowanymi sposobami przygotowania zadotowanej gliny jest jej mieszanie szeroką motyką lub deptanie zarówno przez ludzi, jak i zwierzęta. Przy tym równocześnie dodaje się materiały włókniste, np. sieczkę.

W Niemczech aż do początku XX wieku przygotowywano glinę w specjalnym młynie (rys. 4.3-1) albo na zbudowanej do tego celu platformie przy pomocy maszyny kołowej (rys. 4.3-2).



4.3-1 OBRÓBKA WSTĘPNA PRZY POMOCY MŁYNA DO GLINY (MILLER 1947)



4.3-2 OBRÓBKA GLINY PRZY POMOCY MASZYNY KOŁOWEJ NA PLATFORMIE (MILLER 1947)



Jeżeli mamy dosyć miejsca, to najprostszym sposobem obróbki wstępnej jest zmiękczenie gliny poprzez rozgniatawanie jej kołami traktora. Jeżeli ciągnik dysponuje z przodu mechanizmem załadowniczym, to można w ten sposób glinę od razu transportować. Przy mniejszych ilościach zaleca się przeróbkę przy pomocy glebogryzarki, por. rys. 4.3-3.

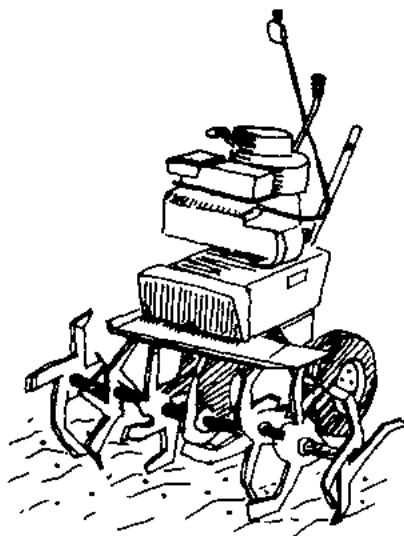
Przy pomocy tej maszyny możliwa staje się także obróbka zbrylonej, nieodłowanej gliny, pod warunkiem, że jest lekko wilgotna.

Najlepiej jednak przygotowywać glinę w tzw. „mieszarce o wymuszonym mieszaniu zarobu”. Mieszanie następuje w bębnie z obracającymi się ramionami. Zazwyczaj takie maszyny spotyka się w handlu jako betoniarki do mieszania zapraw. Posiadają albo pionową oś mieszającą (mieszarka talerzowa), por. rys. 4.3-4, albo poziomą oś mieszającą (mieszarka korytowa). Wygodne w obsłudze są maszyny z urządzeniem załadowniczym, jak na rys. 4.3-6, przedstawiającym mieszarkę talerzową z samozaładowniczym koszem.

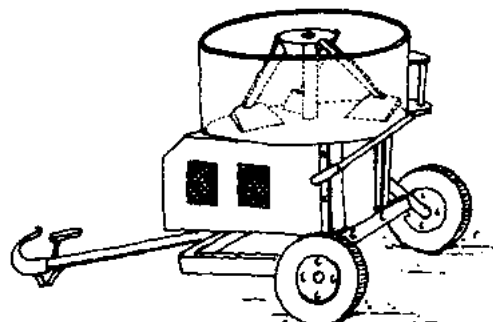
Jeżeli jako mieszarkę stosuje się betoniarkę, należy wybrać maszynę z jak najmocniejszym silnikiem, ponieważ jej obciążenie przy mieszaniu gliny będzie o wiele większe niż podczas mieszania zaprawy.

Starsze mieszarki do zapraw, jak przedstawiony na rys. 4.3-5 młyn krążnikowy, nadają się szczególnie do rozdrabniania twardych brył gliny, ponieważ poruszające się w bębnie walce rozgniatają bez trudności każdą grudę.

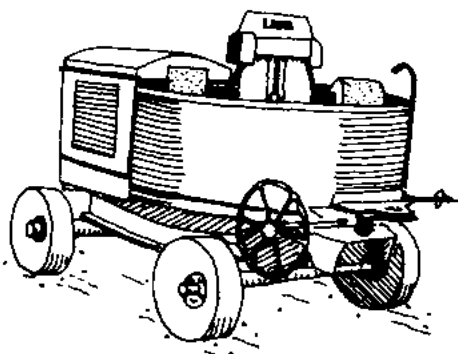
Zdjęcie 4.3-8 przedstawia specjalną mieszarkę do gliny o pojemności 400 litrów, która nadaje się do mieszania zarówno ekstremalnie suchej, jak i brylowatej gliny. Urządzenie charakteryzuje się poziomą, obracającą się osią z łopatomymi ostrzami. Cylindryczny



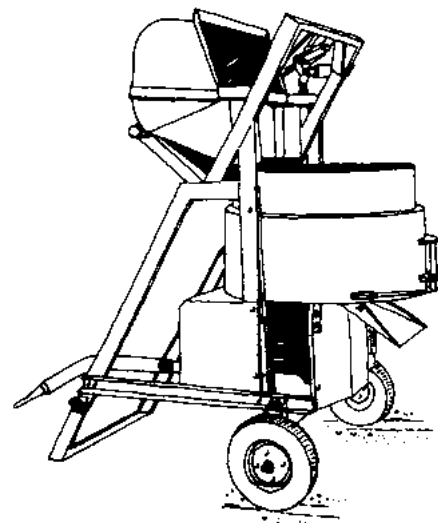
4.3-3 GLEBOGRYZARKA



4.3-4 MIESZARKA TALERZOWA



4.3-5 MŁYN KRĄŻNIKOWY, PRZEJEZDNY



4.3-6 MIESZARKA TALERZOWA Z SAMOZAŁADOWNICZYM KOSZEM

zbiornik można obrócić do wysypania gotowej mieszanki do zbiornika transportowego.

Mieszarka wolnospadowa (betoniarka – przyp. red.), stosowana do produkcji betonu, nie nadaje się w zasadzie do przygotowywania gliny, ponieważ nie obracają się tam ostrza czy ramiona, a jedynie cały bęben razem z materiałem. Podczas takiego mieszania grudki zamiast ulegać rozdrobnieniu tworzą nowe, często nawet większe bryły.

Mieszanie przy pomocy wirnika ręcznego, jak pokazano na zdjęciu 4.3-9, jest bardzo czasochłonne. Można go stosować tylko przy niewielkich ilościach zaprawy albo szlamu.

Maszyna do rozdrabniania ziemi, por. 4.3-7, nadaje się do suchego lub wilgotnego materiału wyjściowego. W tym urządzeniu pozioma tarcza z przyśrubowanymi kątownikami kręci się z prędkością 1440 obrotów na minutę. Stalowe kątowniki rozbijają

także materiał stały, jak łupek ilasty czy kawałki cegły. Do przygotowywania gliny zalecany jest silnik o mocy co najmniej 4 kW. Tłustych i wilgotnych brył nie da się jednak rozdrobnić przy pomocy tej maszyny. Przyklejają się one do wirującego talerza, powodują zatkanie urządzenia, a nawet jego wyłączenie z powodu przesilenia. Podczas urabiania suchego materiału powstaje duże zapylenie i dlatego zaleca się przykrycie maszyny szczelnym płaszczem.

Ponieważ urządzenie to wyrzuca przerobiony materiał na jedną stertę, dobrze go przy tym mieszając, można go używać jako mieszarki. Przy naprzemiennym napełnianiu leja wsiypowego piaskiem i gliną powstaje dość dobra mieszanka, tym bardziej, że kilkukrotne, kolejne wymieszania nastąpią jeszcze przy transporcie materiału (przy wrzucaniu do taczki i do deskowania).

Do rozdrabniania suchej, bryłowanej gliny nadaje się także przedstawiona na rys. 4.3-10 maszyna firmy Carattec z Belgii. Posiada ona silnik o mocy 3 KM, produkuje ok. 3 m<sup>3</sup>/8 godzin i waży 150 kg. W tym urządzeniu kręcą się w przeciwnych kierunkach dwa walce i rozgniatają przy tym grudy.

Jeszcze większą wydajność, bo 30 m<sup>3</sup>/8 godzin, posiada przedstawiony

na rys. 4.3-11 rozdrabniacz francuskiej firmy Royer, z silnikiem benzynowym o mocy 3 KM i ważącym tylko 100 kg.

#### 4.4 Przesiewanie

Przy niektórych technikach budowania z gliny niezbędne jest odsiewanie większych kawałków albo oddzielenie dodatków o określonej wielkości ziarna. Najprostszą techniką w tym przypadku jest wrzucanie materiału na ukośnie stojące sito.

Bardzo sprawne urządzenie odsiewające z ukośnymi, cylindrycznymi sitami, które można poruszać maszynowo lub ręcznie, przedstawia rys. 4.4-1.

#### 4.5 Dojrzwanie

Gotowa, wymieszana glina powinna być składowana w stanie wilgotnym przez 12 do 48 godzin przed jej zabudowaniem. Jak wykazuje doświadczenie, poprzez jej „dojrzwanie” zwiększa się siła wiązania, co można wytłumaczyć tym, że minerały gliny podczas tej fazy przemieszczają się dzięki elektrochemicznym siłom przyciągania i w ten sposób masa zagęszcza się. Glina tłusta powinna leżakować przez dłuższy czas, chuda przez krótszy.

#### 4.6 Szlamowanie

W celu zwiększenia tłustości chudej gliny albo uzyskania gliny lekkiej, trzeba najczęściej doprowadzić ją do postaci szlamu. Najłatwiej można uzyskać taki rezultat z suchego proszku lub gruzłkowej, wilgotnej gliny. Materiał taki wsypuje się do wypełnionego wodą zbiornika i miesza. Przy użyciu pojemników o formie beczki najlepiej do mieszania stosować silną wiertarkę z mieszadłem albo mieszac elektryczny, por. rys. 4.3-5.

Betoniarka wolnospadowa nie nadaje się do wytwarzania szlamu, chyba, że użyjemy proszku glinianego lub skrajnie chudej, gruzłkowej gliny. Natomiast nadają się do tego celu mieszarki o wymuszonym mieszanu zarobu z kręcącymi się ramionami i nieruchomym bębnem, por. rozdz. 4.3. Korzystne też jest stosowanie maszyn tynkarskich z wbudowanym mieszalnikiem wymuszonym, ponieważ gotowy szlam można tym samym urządzeniem pompować do zbiorników, gdzie będzie wytwarzana gotowa mieszanka gliniana.

Glina w postaci grubych, suchych brył powinna przed szlamowaniem być rozdrobniona, por. rozdz. 4.3.



4.3-7 URZĄDZENIE DO ROZDRABNIANIA ZIEMI (ERDWOLF)



4.3-8 MIESZARKA DO GLINY FIRMY HEUSER



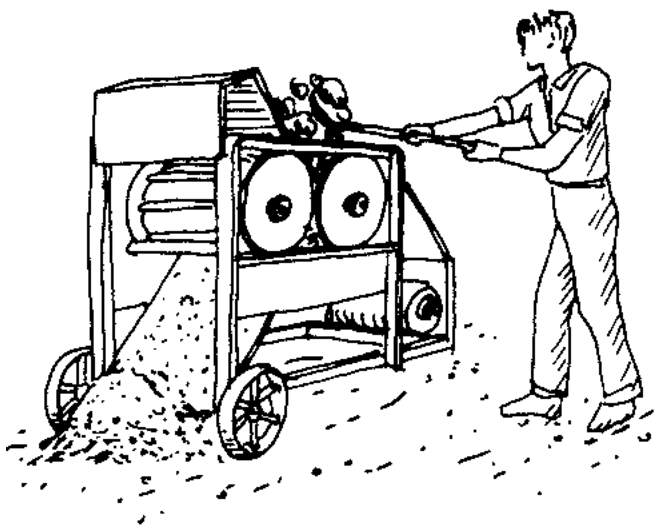
4.3-9 ELEKTRYCZNA MIESZARKA RĘCZNA

Wilgotne, duże bryły można albo zmrozić, albo zadołować, jak opisano w rozdz. 4.2.

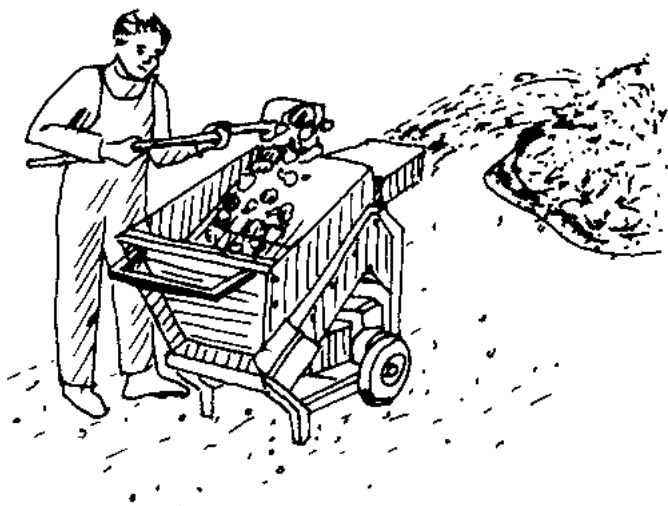
#### 4.7 Schudzenie

Glina musi zostać „odchudzona”, gdy jest „za tłusta”, tzn. kiedy zawiera za dużo ilitu. Odchudzanie oznacza dodawanie drobnoziarnistych cząsteczek piasku lub żwiru. Dla zwiększenia wytrzymałości na ściskanie jest jednak lepiej, gdy dodamy materiał łamany o ostrych krawędziach. Przy schudzaniu powinno się przed zmieszaniem zanurzyć gruboziarniste dodatki w tłustym szlamie glinianym.

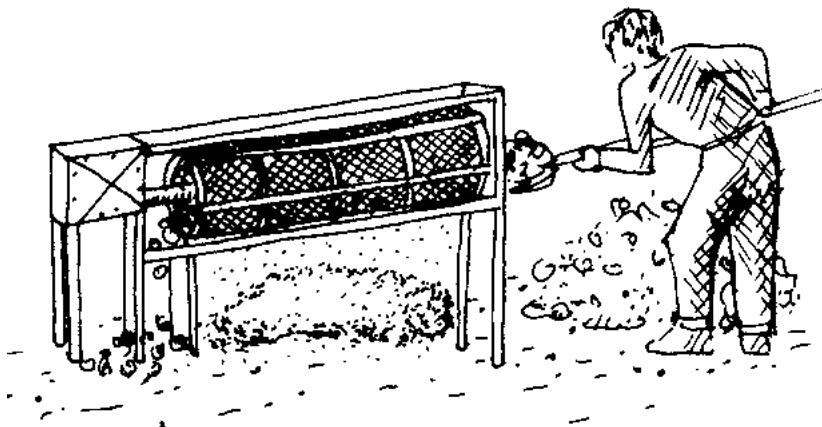
Poza piaskiem i żwirem można stosować też włosy zwierzęce, nawóz krowi, wrzos, słomę, plewy, igliwie modrzewia, trociny i podobne dodatki. Służą one w pierwszym rzędzie zapobieganiu pęknięć powodowanych skurczami schnięcia, jak też podniesieniu izolacyjności cieplnej. Powodują także schudzenie, ponieważ dzięki tym dodatkom zmniejsza się zawartość drobnych ziaren gliny w mieszance.



4.3-10 URZĄDZENIE DO ROZDRABNIANIA ZIEMI (CERATEC)



4.3-11 URZĄDZENIE DO ROZDRABNIANIA ZIEMI (ROYER)



4.4-1 PRZESIEWARKA

# 5. GLINOBITKA

## 5.1 Wiadomości ogólne

Glina ubijana, nazywana też glinobitką, jest tradycyjną metodą budowania ścian znaną we wszystkich zakątkach Ziemi. W Asyrii znaleziono fundamenty z ubitej gliny pochodzące z ok. 5000 r. przed Chrystusem. W zachodnich Niemczech ten pochodzący z Francji sposób budowania rozszerzył się w końcu XVIII wieku.

Przy wznoszeniu ścian tym sposobem wysypuje się 10 do 15 cm warstwy do deskowań i zagęszcza przez ubijanie. Szalunek stanowią zazwyczaj dwie równoległe deski połączone ze sobą poprzeczkami (rys. 5.2-1).

We Francji technikę tę określa się mianem „pisè de terre” albo „terre pisè”, w Anglii „rammed earth”, a w Ameryce Łacińskiej „barro apisonado” lub „tapial”.

Ta tradycyjna metoda ubijania gliny jest do dzisiaj stosowana w wielu krajach rozwijających się. W krajach przemysłowych stosuje się ją tylko sporadycznie, z uwagi przede wszystkim na duży nakład czasu i sił fizycznych potrzebnych do manualnego zagęszczania budulca.

Ulepszone techniki deskowań i ubijanie przy pomocy elektrycznych albo pneumatycznych zagęszczarek znacznie redukują czas i powodują, że glinobitka jest interesującą metodą budowania także w krajach uprzemysłowionych. Ta „mechaniczna glinobitka” nie tylko ze względów ekologicznych, ale również ekonomicznych jest interesującą alternatywą dla konwencjonalnego budownictwa z cegły przede wszystkim

tam, gdzie ze względów klimatycznych nie stawia się budynkom zwiększonych wymagań izolacyjnych. W USA i Australii istnieje wiele firm budujących tą metodą od wielu lat i w znacznym zakresie.

W porównaniu z metodą „na mokro” (patrz rozdz. 9) przy glinobitce mamy do czynienia z mniejszym kurczeniem się przy schnięciu i stosunkowo dużą wytrzymałością. Z kolei w zestawieniu z murowaniem z cegieł glinianych (rozdz. 7) zaletą glinobitki jest monolityczność ścian i tym samym ich długowieczność.

Poniżej omówione zostaną techniki budowy ścian i konstrukcje kopuł. Sposoby układania posadzek z ubijanej gliny opisuje rozdział 14.4, a ubijane, wielkoformatowe elementy gliniane omawia rozdział 7.

## 5.2 Deskowania

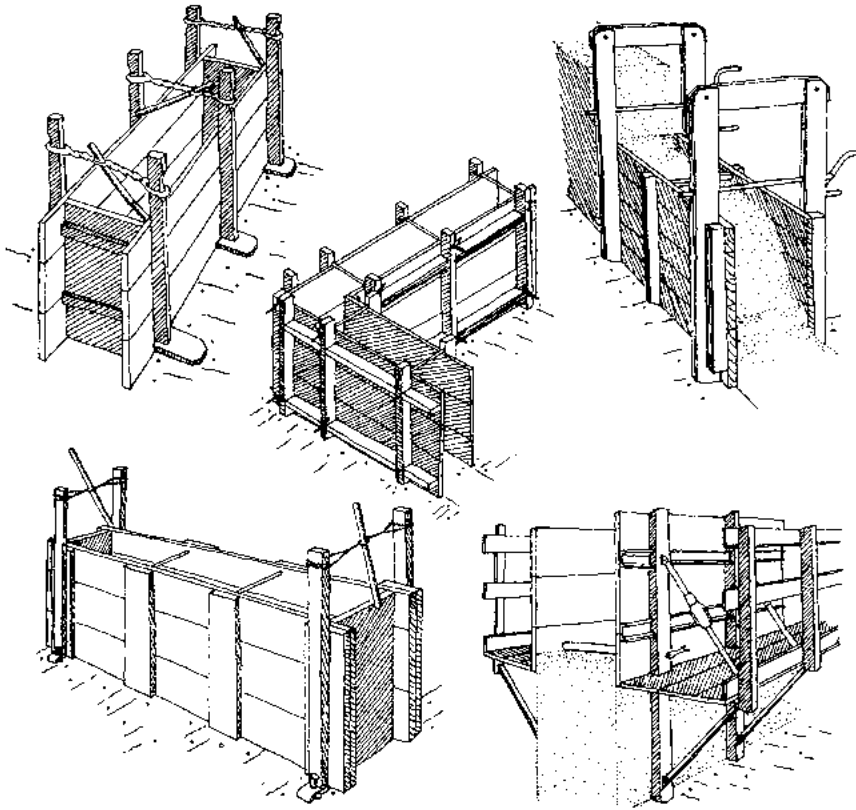
Przy budowie tradycyjnych deskowań do mocowania bocznych tarcz szalunkowych używa się poprzeczek i rozpór (rys. 5.2-1). Rozpory przechodzą przez ścianę i pozostawiają po rozdeskowaniu większe lub mniejsze otwory, które trzeba z reguły wypełnić.

Aby tę niedogodność wyeliminować, wykonano szalunek bez poprzeczek (rys. 5.2-3 i rozdz. 5.6.1). Jednak jak pokazuje rysunek 5.2-4, taki rodzaj dekowania potrzebuje wiele miejsca i przeszkadza na budowie, gdyż wymaga podparcia z zewnątrz. Przy pomocy specjalnych szalunków można wykonać także zaokrąglone rogi budynków i wygięte ściany z gliny bitej (rys. 5.2-5). Zdjęcie 5.1-1 przedstawia okrągłą stodołę

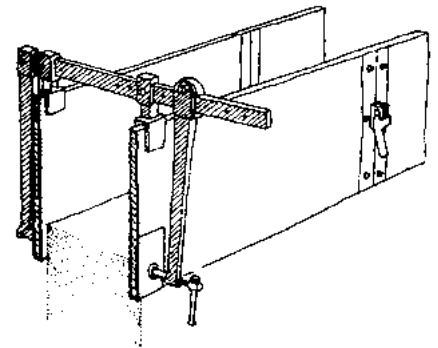


5.1-1 OKRĄGŁA STODOŁA W BOLLBRÜGGE W SZLEZWIKU-HOLSZTYNIE, 1831

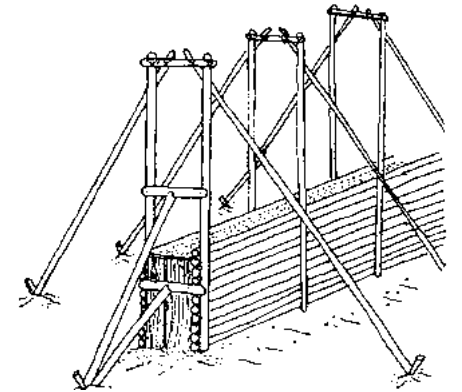




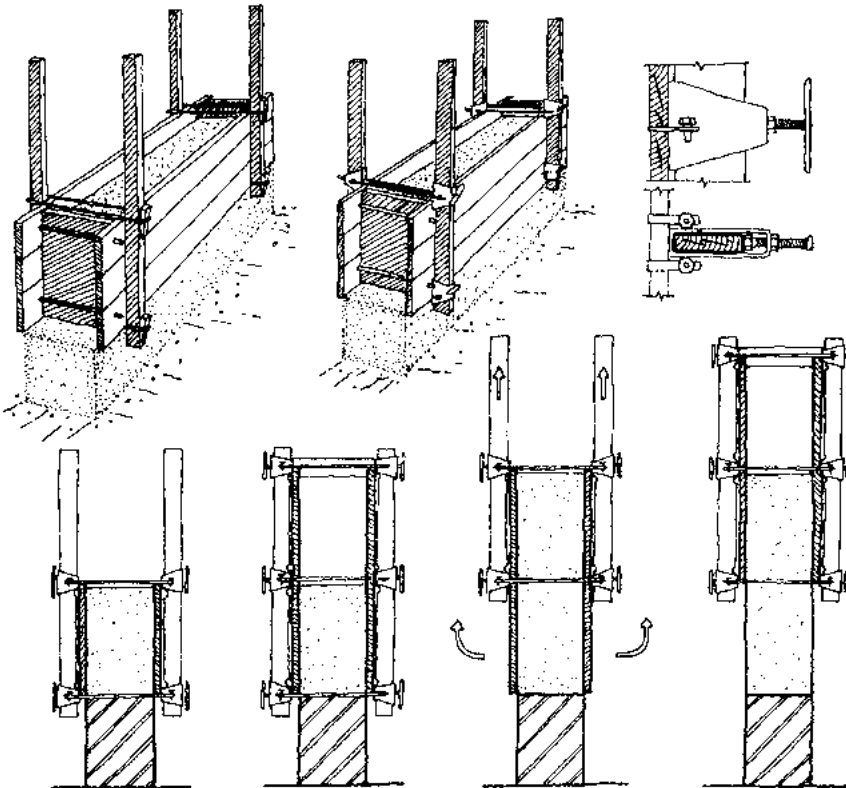
5.2-1 SZALUNKI DO GLINOBITKI Z POPRZECZKAMI ROZPOROWYMI



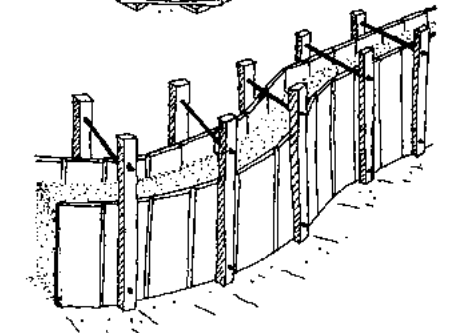
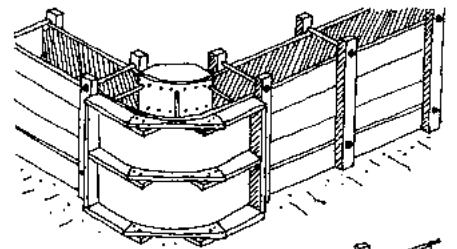
5.2-3 DESKOWANIE DO GLINOBITKI BEZ POPRZECZEK ROZPOROWYCH



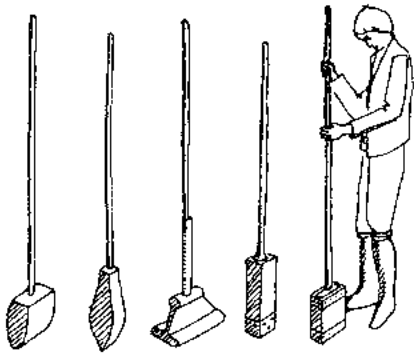
5.2-4 DESKOWANIE DO GLINOBITKI Z PODPORAMI BOCZNYMI, CHINY



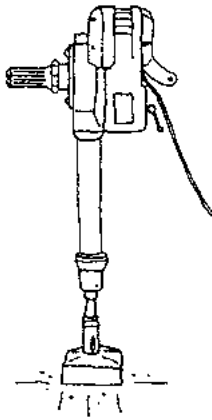
5.2-2 DESKOWANIE ŚLIZGOWE DO GLINOBITKI FEB (WEDŁUG MINKE 1984)



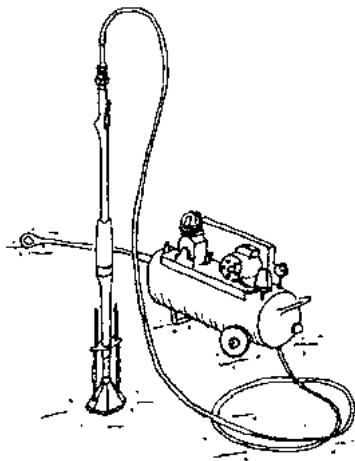
5.2-5 DESKOWANIE DO ZAOKRĄGLONYCH I WYGIĘTYCH ŚCIAN



5.3-1 PRZYRZĄDY DO RĘCZNEGO UBIJANIA



5.3-2 UBIJAK MECHANICZNY ES 18 FIRMY WACKER



5.3-3 UBIJAK PNEUMATYCZNY, AUSTRALIA

ze ścianami z glinobitki grubości 90 cm, powstałą w 1931 r. w Bollbrügge, w Szlezwiku-Holsztynie.

Dostępne w handlu typowe deskowania do betonu można stosować również do glinobitki, są one jednak z reguły bardzo ciężkie i drogie. Zwyczajne płyty szalunkowe drewniane o grubości 19 mm i wymiarach 50 x 150 cm należy usztywnić w odstępach co najmniej co 75 cm, ponieważ przy ubijaniu gliny wybrzuszłyby się. Dlatego też rozsądniejsze jest użycie desek lub tarcz o grubości 30 do 45 mm, które wymagają usztywnienia w odstępach 100 do 150 cm.

Jak wykazały przeprowadzone testy, zarówno szalunki zabezpieczone warstwą wodoodporną, jak i wykonane z surowych desek nie nadają się do ubijania w nich gliny, ponieważ w obydwu przypadkach podczas rozdeskowania powierzchnie konstrukcji ulegają zniszczeniu spowodowanym oblepianiem. Najlepsze wyniki osiągnano przy użyciu heblowanych i jednokrotnie lakierowanych desek z drewna iglastego. Materiał na deskowanie nie powinien być szlifowany, gdyż dzięki chropowatości swej powierzchni odchodzi on łatwiej od ubitej, glinianej ściany. Dzięki temu, że przez jednokrotne malowanie szalunku nie uzyskuje się wodoodpornej powierzchni, deskowanie wchłania trochę wilgoci z gliny i przez to rozbiórka deskowania z gotowej konstrukcji jest łatwiejsza. Dlatego też nie należy przedłużać niepotrzebnie kontaktu desek i płyt szalunkowych z wilgotną gliną, lecz rozebrać deskowanie tak szybko, jak to jest możliwe, a przy ponownym zabudowaniu płyt obrócić je w ten sposób, żeby wilgotne powierzchnie pozostały na zewnątrz.

Rodzaj deskowania i łatwość jego użycia są decydujące dla pracochłonności przy budowaniu ścian z gliny litej, ponieważ jego zmontowanie i ustawienia wymaga

często 25 do 30% czasu potrzebnego do ubijania. Dlatego też przy wyborze systemu szalunkowego należy pamiętać o następujących uwarunkowaniach:

- Deski szalunkowe muszą być na tyle stabilne, aby nie wyginały się podczas ubijania,
- pojedyncze części deskowania powinny być wystarczająco lekkie, żeby dwie osoby poradziły sobie z ich transportem,
- system deskowania powinien umożliwiać jego regulację w pionie i w poziomie,
- szalunek powinien umożliwiać wyrównywanie dopuszczalnych odchyłek grubości ścian,
- dużą zaletę posiadają takie systemy, które nie wymagają specjalnych elementów do szalowania rogów ścian.

### 5.3 Przyrządy do ubijania

Dawniej glinę zagęszczano przy użyciu ręcznych przyrządów (rys. 5.3-1), które od spodu miały powierzchnię płaską lub stożkową. Obie formy mają swoje zalety i wady: przy pomocy ubijaka stożkowego uzyskuje się lepsze wymieszanie poszczególnych warstw, przy wystarczającej wilgotności glina wykazuje też większą siłę spójności i tym samym większą wytrzymałość na ściskanie. Wymaga to jednak dłuższego czasu pracy niż ubijanie narzędziem o płaskim spodzie. Wprawdzie powstaje tu od razu gładka powierzchnia, ale nie tworzy ona dobrego połączenia z kolejną warstwą. Nie jest to jednak istotne przy grubych ścianach obciążanych tylko pionowo i nie wpływa na ich stateczność.

Ubijaki nie powinny mieć od spodu ostrych krawędzi, aby nie uszkodzić deskowania, a ubijana powierzchnia powinna być nie mniejsza niż 60 cm<sup>2</sup> i nie większa niż 200 cm<sup>2</sup> (norma DIN 18951



5.3-4 UBIJAK PNEUMATYCZNY, ATLAS-COPCO



5.3-5 UBIJAK WIBRACYJNY FIRMY HEUSER

wskazuje jako powierzchnię maksymalną 120 cm<sup>2</sup>). Ciężar ubijaka powinien wynosić od 5 do 9 kg (wg DIN 18951 – 5 do 6 kg). Najlepsze są ubijaki stosowane jeszcze do dzisiaj w Ekwadorze, por. 5.3-6, których jedna strona ma przekrój owalny, a druga większy, kwadratowy i można używać obydwu jego końców.

Już w latach trzydziestych 20-tego stulecia stosowano w Niemczech, we Francji i w Australii ubijaki elektryczne albo pneumatyczne. Sprawdzą się one jako urządzenia zagęszczające piasek i masę formierską w odlewnictwie, ale nie były przeznaczone do glinobitek. Przedstawiony na rys. 5.3-2 ubijak firmy Wacker używany był kiedyś przy realizacji niejednego projektu z gliny i często wymienia się go w literaturze fachowej. Charakteryzował się on skokiem = 33 mm i częstotliwością 540 uderzeń na minutę, a jego sprawność można określić jako dobrą.

Urządzenie waży jednak 24 kg i dlatego jest dość trudne w użyciu tym bardziej, że najlepiej ubija po podniesieniu go do góry. Z powodu małego zapotrzebowania zaprzestano jego produkcji.

W Australii w latach 50-tych stosowano ubijak pneumatyczny (rys. 5.3-3), który pracował podobnie jak młot pneumatyczny, miał częstotliwość 160 uderzeń na minutę i ważył ok. 11 kg. Przy końcówce ubijającej umocowano dwie prowadnice, aby nie następowało jej skręcanie.

Dostępne w handlu urządzenia do zagęszczania gruntu przy budowie dróg nie nadają się do ubijania wilgotnej gliny, ponieważ albo skok, albo ich częstotliwość (większa niż 2000 uderzeń/min.) są za duże. Urządzenia, które tylko wibrują lub trzęsą, nadają się wprawdzie do zagęszczania piaszczystych posadzek, ale nie do zagęszczania materiałów spoiowych takich jak glina. Lekkie młotki elektryczne, jakie stosuje się w wiertarkach udarowych, mają za wysoką częstotliwość i za duży skok.

Bardzo dobre do zagęszczania gliny są natomiast napędzane pneumatycznie ubijaki ręczne (5.3-4). W urządzeniu 11G tłok porusza się w prowadnicy i tym samym niemożliwe jest jego skręcenie. W celu ubicia gliny w rogach szalunku wymienia się końcówkę ubijaka z okrągłej na kanciastą. Ubijak 30G jest izolowany akustycznie, ale z kolei mało poręczny, ponieważ razem ze stopą waży ok. 25 kg. Urządzenia te wymagają podłączenia do kompresora o wydajności od 600 do 900 l/min, wytwarzającego ciśnienie 6 atmosfer. Z powodu wysokich kosztów zakupu (1500 do 2500 €) i dużego zużycia energii (kompresor) nadają się one do stosowania przez rzemieślników i firmy budowlane.

W FEB skonstruowano specjalny, elektryczny ubijak wibrujący (5.3-5 i 5.3-7), wykorzystując silnik, tzw. wibrator zewnętrzny stosowany w przemyśle materiałów sypkich. Typowe wibratory



5.3-6 UBIJAK PODWÓJNY, EKWADOR



5.3-7 UBIJAK WIBRACYJNY FIRMY HEUSER

o częstotliwości ok. 3000 obrotów/min nie nadają się do ubijania gliny. Powinny one posiadać silniki o niskich częstotliwościach – od 1000 do 1200 obrotów/min. Najważniejszą częścią tego urządzenia jest płyta wibrująca i jednocześnie przesuwająca się. Umożliwia ona samoczynne przesuwanie się wibratora w deskowaniu przy równoczesnym zgęszczaniu gliny (zdjęcie. 3.5-7). Geometrię płyty wibratora określono na podstawie testów praktycznych, które doprowadziły do następujących wniosków:

1. Punkt ciężkości kompletnego urządzenia powinien znajdować się jak najniżej, ponieważ w innym przypadku samoczynne przesuwanie się przerywane jest częstym zakleszczaniem się wibratora w szalunku.
2. Wydajność zagęszczania jest niewielka zarówno przy zbyt niskim, jak i przy zbyt wysokim ciężarze. Należy go bardzo dokładnie ustalać: płyta powinna unosić się ponad powierzchnią gliny, aby następowo ubijanie. Samo wibrowanie względnie wstrząsanie bez unoszenia i spadania nie wystarcza.
3. Wielkość płyty powinna być tak dobrana, aby podrzucający ją motor nie powodował przewrócenia się. Należy przy tym pamiętać, że za duża płyta zmniejsza efektywność ubijania.
4. Płyta ubijająca musi być tak zaokrąglona, aby równocześnie działała jako płyta zacierająca i umożliwiła samoczynne przesuwanie się urządzenia w deskowaniu. Zbyt ostre odgięcie brzegu przeszkadza przy przesuwie, a zbyt słabe powoduje łatwe przewracanie się, co z kolei także niweczy samodzielne przemieszczanie się wibrującego ubijaka.

Aby ubijanie przebiegało szybko i sprawnie, mieszanka nie może być za wilgotna; wkładany do deskowania materiał powinien tworzyć równą warstwę, która w stanie niezagęszczonym nie powinna być grubsza niż 7 cm. Jeśli glina jest zbyt wilgotna albo za tłusta, kawałki jej przylepiają się do ubijaka i przeszkadzają w skutecznym zagęszczaniu. Kiedy warstwy są za grube, urządzenie nie przesuwają się samodzielnie, a zagęszczanie nie jest dostatecznie głębokie.

Jeżeli zachowane są opisane wyżej warunki, wibrujący ubijak przemieszcza się w szalunku od jednej ściany do drugiej. Po zmianie kierunku przepływu prądu trójfazowego (przez przestawienie łącznika przechylnego) urządzenie przesuwają się z powrotem. Miejsca na brzegach, w końcu deskowania, z uwagi na zagiętą płytę ubijającą należy zagęszczać albo ręcznie np. przy pomocy łaty drewnianej o dł. 60-80 cm i grubości 6 x 6 cm, albo też ubijakiem pneumatycznym.

Ubijaki wibracyjne nie osiągają wprawdzie wydajności opisanych wcześniej urządzeń pneumatycznych, znajdują jednak zastosowanie w budownictwie indywidualnym, przede wszystkim z uwagi na niskie koszty nabycia (ok. 500 €) oraz dlatego, że nie wymagają podłączenia do kompresora.

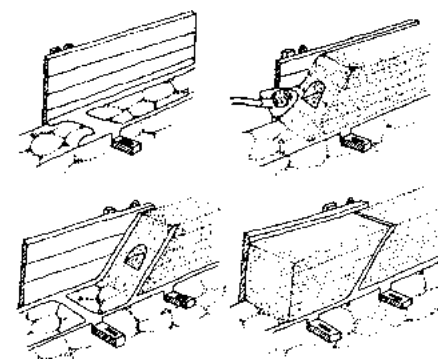


5.4-1 PĘKNIĘCIA SKURCZOWE GLINOBITKI, EKWADOR

## 5.4 Proces wytwarzania

Ściany z glinobitki należy budować w sposób ciągły. Prawie wszystkie metody tradycyjne preferują „sposoby poziome”, tzn. ubija się glinę pojedynczymi warstwami gr. od 50 do 80 cm i potem deskowanie przesuwają się poziomo dalej. Kiedy cała warstwa jest gotowa, układa się na niej następną. Oznacza to, że kurczenie się w wyniku schnięcia następuje mocniej w warstwach dopiero co położonych, niż w tych będących pod spodem już częściowo wyschniętych, przez co powstają między nimi poziome szczeliny (zdjęcie 5.4-1). Jeżeli dostanie się tam woda kapilarna, prowadzi to do zmiękczenia materiału, a w konsekwencji do wyłukiwania przez deszcz albo do erozji w wyniku działania mrozu. Jak pokazuje zdjęcie 5.4-1, w wyniku schnięcia mogą powstać także szczeliny pionowe.

We francuskiej technice „pisè” powstawaniu poziomych pęknięć skurczowych zapobiega się poprzez położenie na warstwie ubitej gliny cienkiej warstwy zaprawy wapiennej i potem dopiero kolejnej, znowu glinianej. Ponieważ zaprawa wapienna potrzebuje kilku tygodni na związanie, pozostaje plastyczna tak długo, aż glina przestanie się kurczyć. Niekiedy kończy się warstwę glinianą ukośnie i dla zapobieżenia



5.4-2 SPOINY Z ZAPRAWY PRZY STOSOWANIU TECHNIKI PIÈ, FRANCJA



tworzenia się szczeliny skurczowej pokrywa się to pochyłe zakończenie także warstwą zaprawy wapiennej. Powstają w ten sposób typowe dla techniki piśe wzory spoin (rys. 5.4-2).

Łatwiejsze sposoby zapobiegania poziomym pęknięciom skurczowym przy pionowym procesie produkcji zostaną omówione w rozdz. 5.6.

## 5.5 Obróbka wilgotnej glinobitki

Glinobitka ma już po rozdeskowaniu dużą wytrzymałość i można w taką ścianę np. wbijać gwoździe. Można ją też stosunkowo łatwo obrabiać poprzez ścinanie.

Na zdjęciu 5.5-1 pokazano wykonanie przy pomocy maczety ukośnego wycięcia ościeża okiennego. Okazuje się, że wycinanie w ubitej, wilgotnej jeszcze glinie wymaga o wiele mniej czasu niż wykonanie otworu w trakcie powstawania ściany przy pomocy specjalnego deskowania. Ponadto deskowanie takie znacznie przeszkadzałoby podczas powstawania ubijanej ściany. Otwory okienne w świeżo ubitej glinie można również wypiłować przy pomocy drutu kolczastego.

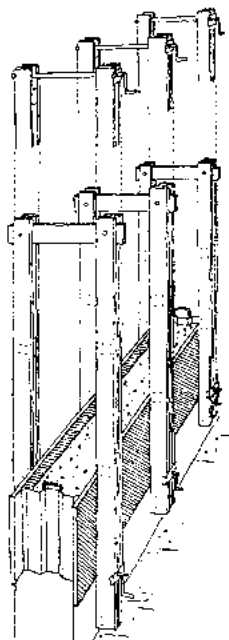


5.5-1 OBRÓBKA WILGOTNEJ GLINOBITKI PO ROZDESKOWANIUTECHNIKI PIŚE, FRANCJA

## 5.6 Nowe sposoby budowania ścian

### 5.6.1 Sposób elementowy

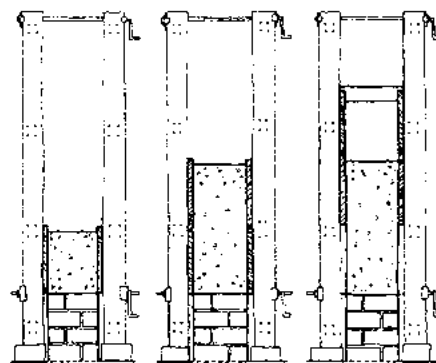
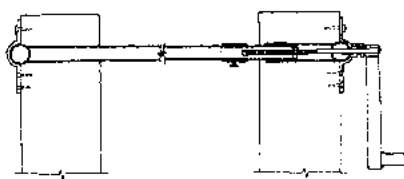
Aby zapobiec powstawaniu rys, jak to ma miejsce przy tradycyjnej glinobitce, opracowano w FEB tzw. „metodę elementową ubijania gliny”. Ściana z gliny powstaje w sposób ciągły podczas pionowego procesu wytwarzania z elementów o wysokości kondygnacji i szerokości do 2,40 m.



5.6-1

W ten sposób nie tworzą się poziome pęknięcia skurczowe, a jedynie pojedyncza rysa skurczowa pionowa, którą łatwo potem zamknąć. Dla zapewnienia stabilizacji poprzecznej elementy zębiają się i styk ten jest równocześnie przewidziany jako pęknięcie skurczowe (rys. 5.6-1 i zdjęcia 5.6-2, 5.6-3).

W celu uniknięcia ustawiania rusztowania na wysokość kondygnacji opracowano deskowanie ślizgowe, składające się z czterech desek. Wykonane z bali



5.6-2

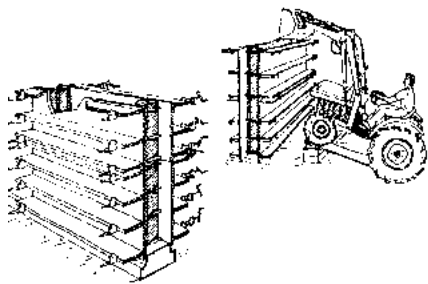


5.6-3

5.6-1 DO 5.6-3 SYSTEMY DESKOWANIA ŚLIZGOWEGO STOSOWANEGO PRZY METODZIE ELEMENTOWEJ



**5.6-4** BUDYNEK DOŚWIADCZALNY UNIWERSYTET W KASSEL, 1982



**5.6-5** GLINOBITKA MECHANICZNA, USA

**5.6-6** | **5.6-7** MECHANICZNA GLINOBITKA, TERRASTONE, AUSTRALIA



**5.6-6**



**5.6-7**

wzmocnienia pionowe deskowania są u góry połączone przy pomocy prostych elementów drewnianych albo też metalowych, przestawnych poprzeczek (rys. 5.6-1). Ostatnie mają tę przewagę, że mogą być używane do ścian o różnej grubości oraz wyrównywać, w granicach tolerancji, nierówności ściany. Dolny rozstaw płyt deskowania regulują ściąg śrubowe. Po odkręceniu śruby ściągu można dolne deski szalunku przesunąć na stronę lub wyciągnąć.

Zaletą tego systemu jest to, że poprzeczki podczas ubijania nie przeszkadzają: dolna leży na cokole, a górna znajduje się poza obrębem przyszłej ściany. Kolejną zaletą jest możliwość wykonania przy pomocy tego deskowania także naroży bez pomocy dodatkowych, specjalnych elementów.

Przy użyciu metody elementowej powstał w 1982 w Kassel pierwszy budynek doświadczalny (zdjęcie 5.6-4). Ściany pomieszczenia głównego wykonano w sposób ciągły z elementów glinobitki szerokości 1,80 m i wysokości kondygnacji. Do szalunku wkładano gruzłkowatą, wilgotną (ok. 12% wody) mieszkę chudej gliny o zawartości ok. 10% itu, 30 do 50% pyłu i 40 do 50% piasku. Zagęszczenie następowało przy pomocy ubijaka wibracyjnego w sposób opisany w rozdz. 5.3.

Dzięki optymalizacji składników i poprzez technikę zagęszczania uzyskano redukcję zawartości wody i zmniejszenie wskaźnika skurczu schnięcia do 0,4% (według DIN 18953 należy liczyć się z wartością do 2%! ). Oznacza to, że przy stosowaniu elementów o szerokości 1,80 m jedynie w przewidzianych miejscach wystąpiły pionowe rysy szerokości 7 mm, które po wyschnięciu ściany wypełniono zaprawą gliniano-wapienną, względnie mieszkę gliny z olejem lnianym. Na powierzchni ściany nie zauważono widocznych pęknięć skurczowych. Kurczenie się w wyniku

schnięcia zakończyło się po tygodniu, potem skurczów nie stwierdzono.

Wystający na 60 cm okap chroni ścianę zewnętrzną przed zacinaniem deszczu. Dla zabezpieczenia przed bryzgami wody mury z glinobitki posadowiono na 50 cm cokole z cegły kratówki. Okap i cokół wystarczyły jako konstrukcyjna ochrona ściany glinianej przed wpływami atmosferycznymi. Ściany zewnętrzne po wyschnięciu nie wykazywały żadnych znamion erozji, również po krótkotrwałym zmoczeniu w wyniku deszczu. Powierzchnię ściany od strony występowania częstych opadów pomalowano farbą wapienno-kazeinową. Pozostałych ścian nie malowano.

### 5.6.2 Metody zmechanizowane

Firma Rammed Earth architekta Davida Eastona zbudowała w Kalifornii wiele domów z ubijanej, litej gliny stosując specjalne deskowania ze sklejk drewnianej, a do zagęszczania używając ciężkich, pneumatycznych ubijaków (rys. 5.6-5). Znaczne przyspieszenie procesu produkcji uzyskano przez zastosowanie małej ładowarki mechanicznej do napędzania deskowania (na wykonanie 1 m<sup>3</sup> ścian zużywano ok. 2 godzin). Easton dodaje do gliny ok. 7% cementu, można więc nazwać ten materiał betonem ziemnym, „soil cement”, (Berglund 1982).

W Australii istnieje wiele firm, które zbudowały w ostatnich dwudziestu latach ok. 100 obiektów, wykorzystując technologię ubijanej gliny. Z reguły prowadzone tam roboty były wysoce zmechanizowane (Oliver 1986).

Przy wznoszeniu przedstawionych na zdjęciach 5.6-6 i 5.6-7 ścian Firma Terrastone korzystała z typowych dla budownictwa żelbetowego szalunków stalowych o dużych powierzchniach. Przedstawiony na zdjęciu 5.6-8 kościół zaprojektowany został przez architektów Hodge & Wilson. Zbudowała go firma





5.6-8



5.6-9

5.6-8 | 5.6-9 KOŚCIÓŁ W MARGARET RIVER, AUSTRALIA



5.6-10 HOTEL W KOORALBYN, AUSTRALIA



5.6-12 BUDOWNICTWO O KONSTRUKCJI RAMOWEJ ZE ŚCIANAMI WYPEŁNIAJĄCYMI Z GLINOBITKI, CEPED; BRAZYLIA

Ramtec, wznosząc z ubijanej gliny nie tylko ściany, ale również słupy, na których oparto konstrukcję dachu (5.6-9). W roku 1992 powstał w Kooralbyn w Australii hotel Valley Resort z nieotynkowanej gliny (projekt: I. Hannaford, F. Raadschelders, D. Oliver), patrz zdjęcia 5.6-10 i 5.6-11.

### 5.6.3 Budownictwo o konstrukcji ramowej z wypełnieniem z gliny bitej

W Centro de Pesquisas e Desenvolvimento w Salvador w Brazylii zastosowano prosty sposób na wypełnienie



5.6-11 HOTEL W KOORALBYN, AUSTRALIA

konstrukcji ramowej budynków cienkimi ścianami z glinobitki. Przy różnych projektach Low-cost-housing w Brazylii wykorzystano prefabrykowane słupy żelbetowe, które na dole osadzano w fundamencie, a u góry łączono z żelbetowymi belkami. Deski szalunku mocowano bezpośrednio do słupów i w ten sposób ich szerokość stanowiła grubość ścian glinianych (zdjęcie 5.6-12). W celu zwiększenia wytrzymałości tych stosunkowo cienkich ścian dodawano do gliny 6-8% cementu.

#### 5.6.4 Konstrukcje ścian z deskowaniem traconym

Ponieważ przy glinobitce koszty deskowania są dość wysokie, czasami uzasadniona jest konstrukcja ściany o jednej warstwie murowanej z cegły glinianej lub sztywnych płyt izolacyjnych, która to warstwa stanowi tracone deskowanie. W ten sposób konieczny jest ewentualnie tylko jednostronny szalunek. Tracone deskowanie musi być jednak na tyle stabilne, że wytrzyma nacisk boczny podczas zagęszczania gliny.

Zewnętrzna ściana nośna zbudowana została w sposób elementowy, opisany w rozdz. 5.6.1.

Aby przenieść siły ścinania kopuły, ściana (o wysokości 1,70 m i grubości od 30 do 50 cm) usztywniona została słupami podporowymi. Przekrój ściany jest tak uformowany, że powstające w wyniku obciążenia kopułą siły nacisku przenoszone są wewnątrz konstrukcji i w ten sposób nie powstaje tam naprężenie zginające.

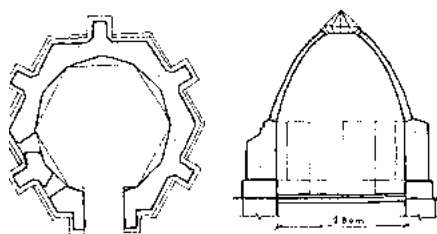
Górną część słupów podporowych formowano zaraz po rozdeskowaniu, używając maczety, względnie noża kuchennego.

Obróbka wilgotnej gliny, która nie zawiera większych elementów, jak żwir czy kamienie, przy pomocy noża zajmuje o wiele mniej czasu niż ubijanie w dokładnie wymodelowanej formie. Podobnie jest przy wykonywaniu otworów okiennych, które również wycięto po zdemontowaniu szalunku.

Do wykonania kopuły użyto deskowania rotacyjno-ślizgowego, skonstruowanego w FEB (zdjęcia 5.7-2 i 5.7-3).

Urządzenie składa się z pionowego masztu, do którego przymocowana jest stalowa konstrukcja prowadnicy ze skrzynką szalunkową (z możliwością

5.7-1 RZUT POZIOMY I PRZEKRÓJ BUDYNKU DOŚWIADCZALNEGO Z GLINOBITKI, KASSEL



5.7-2 | 5.7-3 WYKONYWANIE KOPUŁY Z UBIJANEJ GLINY PRZY POMOCY ROTACYJNEGO DESKOWANIA ŚLIZGOWEGO



5.7-2

#### 5.7 Budowa kopuły z ubijanej gliny

Pierwsza kopuła z ubijanej gliny powstała w 1983 roku w Kassel. Specjalną technologią przy użyciu rotacyjnego deskowania ślizgowego, przy pomocy której możliwe jest budowanie kopuł o różnych formach i grubościach, opracowano w FEB. Było to możliwe w ramach finansowanego przez niemieckie stowarzyszenie badawcze (Deutsche Forschungsgemeinschaft) projektu pn. „Tanie Budownictwo Gliniane”.

Kopuła (na budynku doświadczalnym) o wysokości ok. 2 m ma średnicę wewnętrzną 2,80 m, grubość na dole 18 cm, u góry 12 cm i stanowi przykrycie sześciokątnego pomieszczenia ze ścianami z ubijanej gliny (5.7-1 do 5.7-3).



5.7-3



obracania). Skrzynka wykonana jest z dwóch równoległych płyt szalunkowych, między którymi ubija się wilgotną glinę. Płyty szalunkowe zrobiono z kilku elementów o kształcie ceownika, elastycznie ułożonych i umożliwiających ustawienie zarówno zewnętrznego, jak i wewnętrznego deskowania w okrągłej formie o dowolnym promieniu.

Deskowanie to umożliwia niezależne ustawienie odstępu między płytami szalunkowymi, co daje odpowiednią grubość ściany, jak też ich kąta pochyleń i promienia krzywizny.

Przy pomocy tego deskowania ślizgowego i metody skoku poziomego ubijano warstwę po warstwie kopuły. Wilgotna, gruzełkowata glina podawana we wiadrach, układana była dziesięciocentymetrowymi warstwami i zagęszczana manualnie drewnianymi ubijakami aż do redukcji objętości o ok. 40%. Gdyby zastosowano ubijak pneumatyczny Atlas-Copro RAM 11 G (opisany w rozdziale 5.3), zaoszczędzono by czas zagęszczania o ponad 50%.

Po wykonaniu owalnej warstwy otwierano skrzynię szalunkową i razem z konstrukcją prowadzącą przesuwano ją o jeden stopień do góry. Potem przesuwno w poziomie konstrukcję nośną urządzenia i ustawiano na nową pozycję o mniejszym promieniu. Ponieważ promień górnej prowadnicy był mniejszy niż dolnej, uzyskiwano nowe położenie płyt szalunkowych. Na końcu przy pomocy śrub regulacyjnych zmniejszano promień krzywizny samych płyt szalunkowych, aby dopasować je do nowego promienia kopuły.

## 5.8 Proces schnięcia

Podanie dokładnego czasu, określającego kiedy ściana gliniana staje się już sucha, jest prawie niemożliwe. Proces schnięcia gliny przebiega jednak szybciej niż muru z cegły i znacznie szybciej

niż ściany betonowej (por. rozdz. 2.3.9). W czasie suchego lata i przy wystarczającym ruchu powietrza ściana z glinobitki przestaje się kurczyć już po kilku dniach, po 3 tygodniach wydaje się być już zupełnie sucha, choć posiada jeszcze większą zawartość wody niż powinna przy wilgotności równowagi.

## 5.9 Wskaźnik skurczu schnięcia

Przy glinobitce można zminimalizować wskaźnik skurczu schnięcia, stosując mieszanekę schudzoną przez dodanie dużych cząstek żwiru czy tłucznia. Podczas budowy Kaplicy Pojednania w Berlinie (rozdz. 16.21) dzięki temu osiągnięto wskaźnik 0,15%.

## 5.10 Nakład czasu pracy

Czas potrzebny do wykonania 1 m<sup>3</sup> glinobitki bez pomocy maszyn zależy od przygotowania materiału, transportu oraz robót szalunkowych i wynosi od 20 do 30 godzin. Poprzez poprawę systemu deskowania i dzięki zastosowaniu elektrycznych maszyn zagęszczających można przy metodach opisanych w rozdz. 5.6.1 zmniejszyć ten czas do 8-10 godzin/m<sup>3</sup>.

W opisanym w rozdz. 5.6.2 systemie o wysokim stopniu mechanizacji, gdzie transport i napełnianie odbywa się przy pomocy ładowarki, a zagęszczanie przy pomocy ciężkiego, pneumatycznego ubijaka, można osiągnąć redukcję czasu do 2 godzin/m<sup>3</sup>. Jest to mniej niż 10% nakładu czasu pracy przy metodzie tradycyjnej.

## 5.11 Izolacja termiczna

O tym, że izolacyjność cieplna litej ściany z glinobitki, wykonanej z ciężkiej gliny, nie wystarcza dla europejskiego klimatu, najłatwiej można się przekonać, wyznaczając wartość współczynnika U.

Dla ściany z ubitej gliny o grubości 30 cm wynosi on jedynie 1,9 do 2,0 W/m<sup>2</sup>K. Aby osiągnąć wartość U = 0,5 W/m<sup>2</sup>K, należałoby zbudować ścianę o grubości 1,60 do 1,80 m. Niezbędnym warunkiem uzyskania lepszej izolacyjności ścian zewnętrznych jest albo dodatkowe warstwa izolacyjna, albo też użycie do budowy gliny lekkiej o właściwościach termoizolacyjnych.

Możliwości wykonania ścian glinianych o zwiększonej izolacyjności omawia rozdz. 14.2.1.

## 5.12 Obróbka powierzchni

Powierzchnia ściany z glinobitki wymaga mniej nakładów robocizny i materiałowych niż inne ściany gliniane. Pokrywanie jej tynkiem nie jest w zasadzie ani celowe, ani konieczne. Powierzchnię gotową do tapetowania albo malowania uzyskuje się wtedy, kiedy zaraz po rozszalowaniu przetrze się ją pacą obłożoną filcem. Jeżeli ściana jest już trochę wyschnięta, należy ją przed przetarciem lekko namoczyć. Jeżeli zewnętrzna ściana z glinobitki chroniona jest przed deszczem okapem, a dla zabezpieczenia przed bryzgami wody posadowiono ją na cokole, to dla zabezpieczenia przed innymi wpływami atmosferycznymi wystarczy ją tylko pomalować. Należy przy tym zwrócić uwagę, aby ta ochronna powłoka malarska nie miała pęknięć i odprysków.

# 6. BUDOWANIE Z CEGIEŁ GLINIANYCH

## 6.1 Wiadomości ogólne

Kiedy mówimy o murowaniu albo budowaniu z cegieł glinianych, mamy na myśli niewypalone cegły, które łączą się w murze zaprawą glinianą lub wapienną. Wycofana w 1971 roku norma DIN 18951 określała pod wspólnym mianem cegły glinianej: cegły o bryle prostopadłościanu, cegły formowane ręcznie, „wrzucane” i zielonki.

Cegły prostopadłościenne to wielkowsymiarowe elementy, najczęściej o wymiarach 12 x 25 x 38 cm, produkowane z wilgotnej, chudej gliny przez ubijanie w formach. Ważą one najczęściej ok. 20 kg i dlatego są dość trudne w użyciu.

Cegły „wrzucane” wytwarzane są ze średnio-tłustej mieszanki, zawierającej często dodatki włókniste. Powstają poprzez wrzucanie obiema rękami brył wilgotnej gliny do drewnianej formy. Większych formatów niż ok. 12 x 12 x 25 cm lub 24 x 24 x 7 cm

przy pomocy tej techniki nie można uzyskać.

Zielonki produkuje się z tłustej, pozabawionej kamieni gliny w sposób ręczny lub przemysłowy przy pomocy prasy. Najczęściej spotykane wymiary zielonek:

- 6,5 x 12 x 25 cm (wg DIN 105, tzw. Reichsformat)
- 5,1 x 11,5 x 24 cm (format cienki = DF)
- 7,1 x 11,5 x 24 cm (format typowy = NF)
- 7,1 x 11,5 x 30 cm (format klasztorny)
- 11,3 x 11,5 x 24 cm (format podwójny cienki = 2DF)

Większych litych zielonek nie produkuje się z uwagi na ich zbyt duży ciężar. Także większych zielonek z pustymi przestrzeniami (sitówek i kratówek) nie wytwarza się z racji ich niewielkiej wytrzymałości

przy wbijaniu gwoździ i kołków. Zielonki nie są mrozoodporne i dlatego nie należy ich stosować do murowania ścian zewnętrznych. Zdjęcie 6.1-1 przedstawia typowe cegły gliniane produkowane w różnych cegielniach, por. rozdz. 20.

W strefie hiszpańskojęzycznej cegły gliniane określa się mianem „adobes”, w języku angielskim znane są jako „sun dried earth blocks”, „mud bricks” albo również „adobes”.

Cegły gliniane przeznaczone do specjalnych zadań omówiono w rozdziale 6.10 „Cegły z gliny lekkiej” oraz 6.11 „Cegły akustyczne”.

Stosowanie cegieł do specyficznych konstrukcji ścian, stropów i sklepień omówione zostanie w rozdz. 14.2, 14.3 i 14.7.

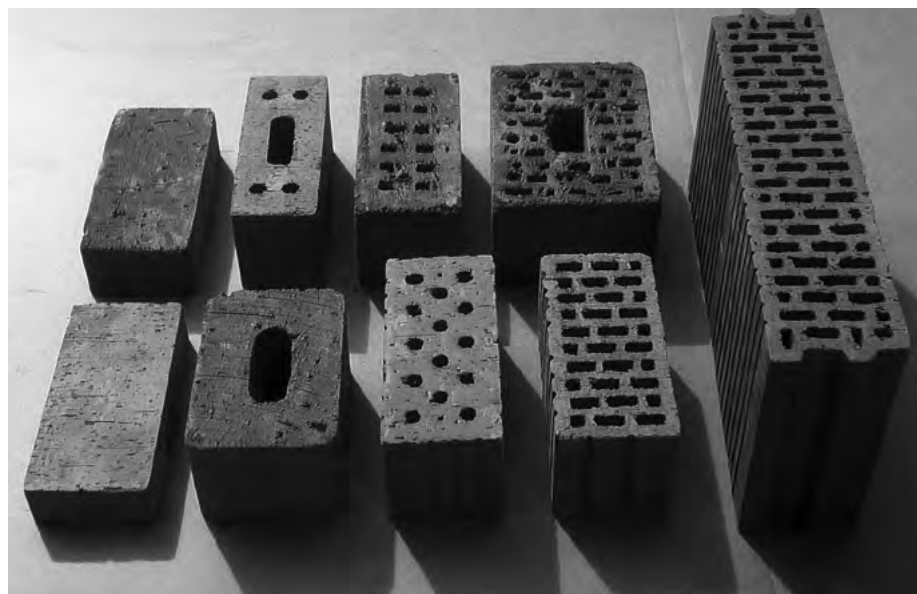
## 6.2 Historia

Budownictwo z cegły glinianej było rozpowszechnione we wszystkich strefach klimatycznych Ziemi – suchych i gorących, subtropikalnych i umiarkowanych. W Turkiestanie znane są obiekty z okresu 8000 do 6000 r. p.n.e. (Pumpelly, 1908), w Asyrii natomiast z roku ok. 4000 przed Chrystusem. W Górnym Egipcie stoją do dzisiaj resztki monumentalnych budowli glinianych, które mają ponad 3200 lat, np. mury w Medinet Habu albo sklepienie grobowca Ramzesa II koło Gaurny (zdjęcie 1.2-1).

Sztuka budowania sklepień z cegieł glinianych bez użycia pomocniczego rusztowania była rozpowszechniona w wielu kulturach (por. rozdz. 14.7).

Indianie Pueblo w Nowym Meksyku (USA) budowali w Taos swoje domy

6.1-1 RÓŻNE, WYPRODUKOWANE PRZEMYSŁOWO, CEGŁY GLINIANE



od setek lat tą samą techniką i w takiej samej formie. Materiał mieli dostownie pod stopami, mieszało go tylko z wodą z rzeki i dodawali słomę z własnych pól uprawnych (Zdjęcie 6.2-1).

Historyczne centrum miasta Shibam w Jemenie o powierzchni ok. 20 000 m<sup>2</sup>, od którego wchodzi się przez jedną, jedyną bramę, uznawane jest za „najstarsze miasto wieżowców” w świecie (zdjęcie 6.2-2). Budynki, najczęściej ośmiopiętrowe, pochodzą częściowo z XV wieku.

Ze Skandynawii i Anglii znany jest pochodzący z XVII i XVIII stulecia sposób budowania z darni. Wycinano wtedy gliniastą, przerośniętą korzeniami ziemię i z tej darni, odwracając ją stroną trawiastą do dołu, budowano ściany. Europejscy emigranci przywieźli tę technologię do Ameryki, gdzie w XVIII i XIX wieku powstało wiele domów, tzw. „sod houses”. Niektórzy osadnicy przejęli ten sposób budowania od północno-amerykańskich plemion indiańskich, np. od Omaha i Pawnee, którzy obtykali darnią swoje owalne chaty. (Houben, Guillard, 1984).

W Nowym Meksyku rozpowszechniło się budowanie z „cegieł” wycinanych z wyschniętych brzegów i koryt rzek, gdzie leżała drobnoziarnista glina lessowa, przeplatana korzeniami. Takie cegły, nazywane „terronis” albo „terrones”, stosowano czasem też w innych południowo-zachodnich stanach USA, w Meksyku i w Ameryce Środkowej. Stawianie budynków z terrones jest w Nowym Meksyku do dzisiaj oficjalnie uznawane i znormalizowane normami stanowymi („standards”).

W Niemczech zastosowano cegły gliniane już w szóstym wieku przed Chrystusem, przy budowie murów obronnych miejscowości Heuneburg, w okręgu Sigmaringen (Dehn, 1964). Kwadratowe elementy o długości 40 cm i grubości od 6 do 8 cm wykonano



6.2-1 TRADYCYJNE BUDYNKI MIESZKALNE INDIAN PUEBLO W TAOS, NOWY MEKSYK, USA

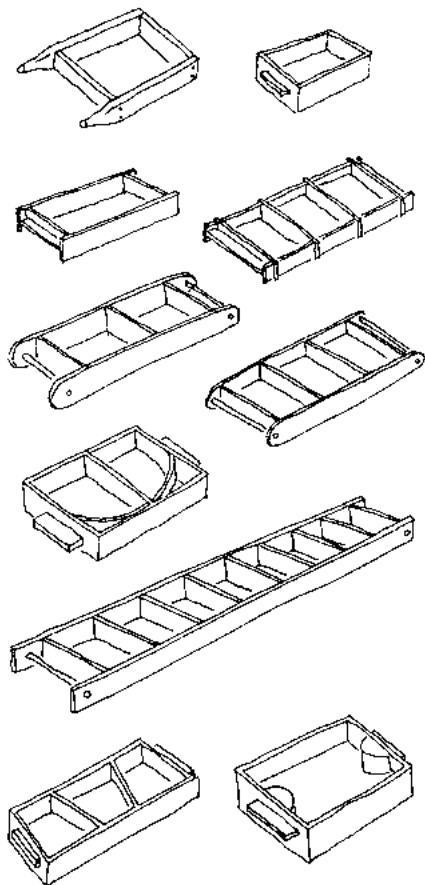
z piaszczystej gliny zmieszanej z siecawką. Prawdopodobnie mury te wzniesiono przy współpracy z greckimi budowniczymi, ponieważ ten sposób znany był w Grecji już od dawna. Do budowy 3-metrowej wysokości murów zużyto ok. 140 000 cegieł i 400 m<sup>3</sup> zaprawy glinianej (Güntzel, 1986, str. 23). Kolejne, jednoznaczne przykłady budownictwa z cegły glinianej pochodzą dopiero z pierwszej połowy XVIII wieku. W roku 1764 ogłoszono we Wrocławiu

„Cirkular” – okólnik, mówiący o wprowadzeniu technologii murowania z cegieł powstałych przez wrzucanie gliny do formy (Güntzel, 1986). W roku 1790 David Gilly opublikował pismo chwalejące zalety budownictwa z gliny (Gilly, 1790).

6.2-2 WIDOK CENTRUM MIASTA SHIBAM, JEMEN POŁUDNIOWY







6.4-1 FORMY DO PRODUKCJI CEGIEŁ POWSTAŁYCH POPRZEC WRZUCANIE DO NICH GLINY

6.4-2



6.4-3



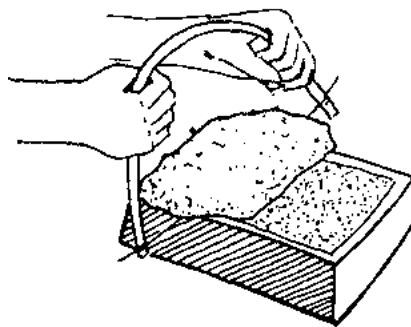
### 6.3 Przepisy

Niemieckie normy DIN zawierają niewiele przepisów dotyczących budownictwa z cegły glinianej. W jedynej odnoszącej się do budownictwa glinianego normie nr 18951, w cz. 1 § 8 znajdują się tylko trzy ustępy. Ustęp pierwszy brzmi:

„Ściany z cegły glinianej wznosi się, stosując wiązania według zasad murarskich, używając ciekłej zaprawy glinianej lub wapiennej, albo też z wapna hydraulicznego.”

W ustępie drugim jest mowa o formatach cegły i jej nazwach, a w trzecim wspomniano, że ściany nośne wewnętrzne powinny mieć co najmniej 25 cm grubości. Konstrukcje z cegły glinianej, które nie są obciążone statycznie, nie wymagają specjalnego pozwolenia nadzoru budowlanego, pod warunkiem, że zapewniona jest ich stateczność. Jest tak dlatego, ponieważ budowanie z cegieł

6.4-5 ŚCIĄGANIE NADMIARU MATERIAŁU PRZY POMOCY DRUTU



6.4-4



glinianych w rozumieniu przepisów budowlanych nie stanowi nowego rodzaju budownictwa, którego przydatność musiałaby zostać uzasadniona. Jeżeli ściany gliniane mają być statycznie obciążone, ich budowa wymaga jednak zgody władz.

### 6.4 Produkcja cegieł glinianych

Ręczne wytwarzanie cegieł glinianych polega na wypełnianiu form brejowatą gliną, albo na wrzucaniu gliny o konsystencji plastycznej do form, albo też na ubijaniu jej w stanie wilgotnym w otwartych formach (ramach), wykonanych zazwyczaj z drewna, rzadziej z metalu, por. rys. 6.4-1.

Wytwarzanie cegieł „wrzucanych” do formy jest metodą produkcji, którą stosuje się do dzisiaj, szczególnie w krajach rozwijających się (6.4-2 do 6.4-4). W tym celu używa się piaszczystej gliny zmieszanej z wodą i sieczką do konsystencji brejowatej. Mieszankę wrzuca się rękami z rozmachem do leżącej na ziemi formy. Im mocniej to ciasto gliniane wrzucane jest do formy, tym lepsze jest zagęszczenie materiału, a tym samym wytrzymałość gotowej już cegły. Powierzchnię górną wyrównuje się ręką, kawałkiem drewna, drutem (rys. 6.4-6) lub kielnią. Cegły rozformowuje się przez gwałtowne szarpnięcie drewnianej formy do góry. Potem, kiedy trochę obeschną, obraca się je na bok do ostatecznego wyschnięcia (gdyby pozostawić je płasko, nie wyschłyby równomiernie i uległyby deformacji).

Zdumiewające jest to, że cegły wykonane tym sposobem posiadają z reguły większą wytrzymałość na ścislenie od tych wytwarzanych przy pomocy prasy, por. rozdz. 3.5.3. Wydajność jednej osoby przygotowującej materiał, transportującej mieszankę i sztaplującej

6.4-2 – 6.4-4 PRODUKCJA FORMOWANYCH RĘCZNIE CEGIEŁ Z GLINY W EKWADORZE



gotowe wyroby wynosi ok. 300 cegieł na dzień pracy. W XVIII i XIX wieku ceglarze pracujący przede wszystkim w północnych Niemczech, jako robotnicy sezonowi produkujący cegły w piecach polowych, pracowali podobnie, korzystając jednak dla ułatwienia zestawu. Grupa ceglarzy licząca pięć osób produkowała dziennie 2400 cegieł (Instytut Filmu Naukowego, Göttingen 1965). Zdjęcie 6.4-6 pokazuje wykonywanie cegieł metodą wrzucania mieszanki do formy na stole, tak jak zalecał to Niemeyer (Niemeyer.1946). Proces

ten można uprościć i przyspieszyć, jeśli cegły będą wytwarzane na balach albo płytach szalunkowych ułożonych na koźlach. Cegły można potem razem z płytami wynieść na miejsce ich suszenia. Przy tej metodzie ważne jest, aby możliwie dużo gliny wziąć w ręce i z możliwie dużą siłą wrzucić masę do formy. Forma powinna napętnić się od jednego rzutu. Nadmiar materiału przy rzadszej konsystencji ściąga się kawałkiem drewna, a kiedy masa jest gęstsza, przy pomocy drutu rozpiętego na pałku (6.4-5)

Aby nie trzeba było się schylać, można zastosować przy produkcji cegieł formę z długimi na ok. 80 cm uchwytami, jak widać na zdjęciu 6.4-7. Zebranie nadmiaru materiału, względnie wygładzenie, wykonuje się wtedy po prostu butami.

Rysunek 6.4-1 pokazuje typowe formy drewniane do produkcji cegieł glinianych. Przy wytwarzaniu kostek większego formatu, z uwagi na duży ich ciężar należy używać form pojedynczych, przy mniejszych, z uwagi na większą wydajność – 2 albo 3 form jednocześnie. Przy użyciu odpowiednich form można produkować także cegły z zaokrąglonymi rogami lub ukośne do budowy sklepień.

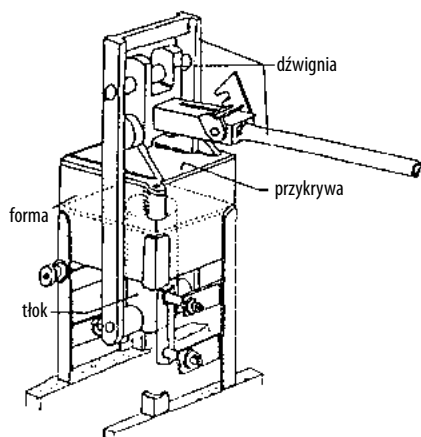
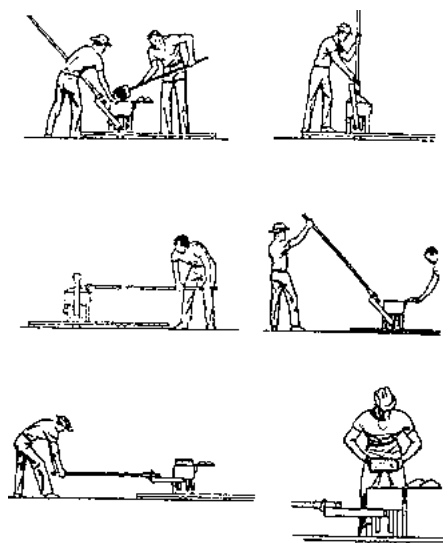
Produkcja cegieł glinianych przy pomocy ręcznych pras dźwigniowych była już znana w XVIII wieku. Pierwszą taką maszynę wykonał w 1789 roku francuski architekt Francois Cointeraux. Od tego czasu skonstruowano także wiele innych. Największym powodzeniem, dzięki prostej mechanice i niskim kosztom wytworzenia, cieszy się prasa CINVA-Ram, skonstruowana w roku 1952 przez chilijskiego inżyniera Ramireza w Kolumbii (rys. 6.4-8). Maszyna ta w zmienionych nieco formach budowana była w międzyczasie przez wiele instytucji. Jako przykład niech służy przedstawiona na zdjęciu 6.4-9 prasa CETA-Ram, którą opracowano w Paragwaju i przy pomocy której możliwa jest produkcja trzech cegieł jednocześnie.



6.4-6 PRODUKCJA „WRZUCANYCH” CEGIEŁ GLINIANYCH NA STOLE



6.4-7 FORMA METALOWA Z UCHWYTAMI DO PRODUKCJI CEGIEŁ GLINIANYCH



6.4-8 PRASA DŹWIGNIOWA RĘCZNA CINVA-RAM, KOLUMBIA)



6.4-9 PRASA DŹWIGNIOWA RĘCZNA CETA-RAM, PARAGWAJ

Taka ręczna prasa wytwarza ciśnienie od 0,5 do 2,5 N/mm<sup>2</sup> i dla optymalnego przebiegu produkcji wymaga obsługi przez trzy do pięciu osób.

Ręcznie obsługiwana prasa hydrauliczna, jak np. produkowana w Anglii BREPACK, osiągająca ciśnienie do 10 N/mm<sup>2</sup>, kosztuje jednak trzykrotnie więcej (ok. 2000 USD). Pomimo mechanizacji przy pomocy tego urządzenia osiąga się wydajność ok. 150 do 200 cegieł na dzień i osobę, a więc znacznie mniej niż przy prostej metodzie wrzucania mieszanki do formy.

Zaletą prasy mechanicznej jest możliwość użycia wilgotnej gliny i natychmiastowe sztaplowanie wyrobów. Konieczne jest tutaj stabilizowanie gliny dodatkiem 4 do 8% cementu aby osiągnąć wystarczającą wytrzymałość, ponieważ siła spójności iltu, ze względu na niewielką ilość zawartej wody oraz brak procesu mieszania i zgniatania, nie jest zaktywizowana. Ponadto wyroby te posiadają z reguły mniejszą wytrzymałość na ściskanie od cegieł formowanych ręcznie. Kolejnymi wadami przy mechanicznym wyciskaniu jest to, że materiał musi być drobnoziarnisty i dobrze wymieszany, powinien posiadać też stałą gęstość i wilgotność. Przy zmienionych

mieszkach zmienia się też ciśnienie i ilość potrzebnego surowca, co powoduje różnice wytrzymałości i grubości produkowanych cegieł.

Automatyczne prasy do gliny (6.4-10 i 6.4-11) osiągają wydajność 1500 do 4000 sztuk na 8 godzin pracy, wymagają jednak dużych nakładów inwestycyjnych i częstych remontów. Aby przygotowany materiał do napełniania prasy miał zawsze jednakową, gruzełkową konsystencję, urządzenia takie potrzebują dodatkowych mieszarek i często rozdrabniaczy.

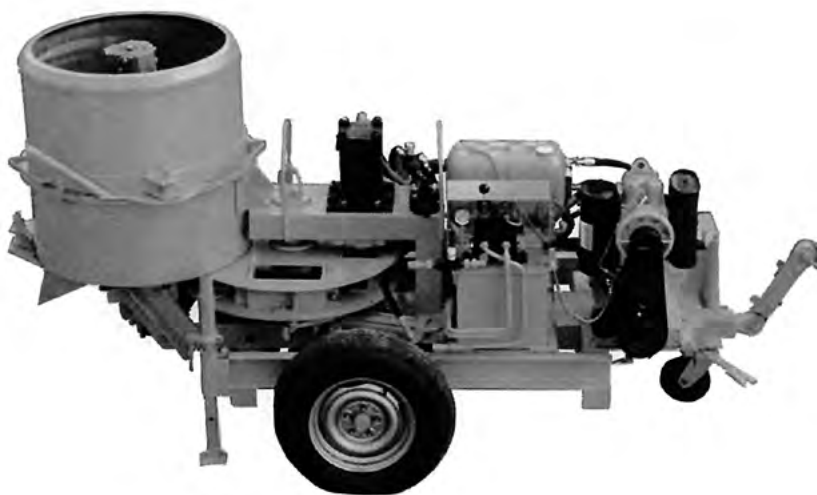
Prasy automatyczne są opłacalne tylko wtedy, gdy ich potencjał jest w pełni wykorzystywany i gdy przerabiana przez nie glina ma zawsze taki sam skład. Koszty amortyzacji, napraw i konserwacji redukują bardzo szybko rzekome zalety ekonomiczne tych urządzeń. W krajach o niskich kosztach zatrudnienia tańsze jest wytwarzanie cegieł glinianych ręcznie, a w krajach uprzemysłowionych bardziej opłacalna jest produkcja cegieł zielonek w cegielniach. Tam jednak, gdzie znaczące są koszty transportu, produkcja przy pomocy pras automatycznych może być rentowna. (Dalsze wiadomości o wytwarzaniu wyciskanych prasami cegieł

glinianych: Mukerji 1986, Smith i Webb 1987, Mukerji 1988, CRATerre 1991).

Prostsze i wydajniejsze wydaje się urządzenie do formowania cegieł wykonane i opatentowane w 1946 roku przez Hansa Sumpfa (6.4-12 i 6.4-13). Tutaj najpierw doprowadza się glinę do konsystencji brejowatej w mieszarce o wymuszonym obiegu, potem przy pomocy przejezdnej lejki napełnia się drewniany ruszt formy. Rozformowanie następuje przez podniesienie formy dyszlem. Cegły po krótkim podeschnięciu stawia się na boku. Jeszcze wygodniej jest, kiedy użyjemy do transportu gliny ładowarki, wysypiemy mieszankę do formy i rozprowadzimy ją do poszczególnych skrzynek. Brejowata glina powinna na tyle wyschnąć, aby przy podnoszeniu rusztu forma cegieł pozostała stabilna. Dlatego też przy tej metodzie dodaje się do gliny trochę cementu.

W cegielniach do rozdrabniania, mieszania i ugniatania gliny używa się walcarek albo gniotowników krążkowych. Potem mieszanka transportowana jest podajnikiem walcowym do prasy wyciskającej z niej pasma. Format cegły uzyskuje się dzięki prostokątnej końcówce prasy i właściwej frekwencji obcinarki. Wyprodukowane w ten sposób zielonki wędrują potem do suszarni wstępnej i dalej do pieca. Ponieważ w prawie wszystkich cegielniach proces ten przebiega dzisiaj w pełni automatycznie, wyjęcie niewypalonych cegieł oznacza

6.4-10 PRASA DO GLINY AUTOMATYCZNA CLU 3000, SZWAJCARIA



6.4-11 PRASA AUTOMATYCZNA DO PRODUKCJI CEGIEŁ GLINIANYCH, PACIFIC ADOBE, USA



przerwanie procesu produkcji. Dlatego też produkcja surowej cegły jest dla wytwórców mało interesująca i nawet przy zamówieniach dużej ilości nie można liczyć na rabat. Jedynie w cegielniach o niezautomatyzowanej produkcji można uzyskać ceny niższe nawet o 40%.



**6.4-12 | 6.4-13** PRODUKCJA CEGIEŁ GLINIANYCH HANS SUMPFF, USA

**6.4-14** SUSZENIE NA POWIETRZU CEGIEŁ ZIELONEK, CEGIELNIA GUMBEL, GILSERBERG, NIEMCY



Zdjęcie 6.4-14 pokazuje, w jaki sposób kiedyś składowano zielonki do wyschnięcia na wolnym powietrzu, na specjalnym stelażu. Ta metoda stosowana jest w Niemczech już tylko w jednej cegielni. Cegły suszone w ten sposób nie wymagają dużego nakładu energii, potrzebnego do ogrzania specjalnych suszarni. W tej cegielni, która zresztą produkuje tylko niewypalane cegły, nie zagęszcza się dodatkowo zielonek w typowy dla innych producentów sposób, czyli używając do tego końcówki próżniowej. Ma to tę zaletę, że ich produkty zawierają więcej porów (im większa porowatość, tym większa odporność na mróz i izolacyjność).

Po dwu- do ośmiodniowym składowaniu cegły są już na tyle suche, że nadają się do transportu. Do budowy można ich użyć jednak dopiero, gdy skurcz schnięcia już nie występuje, kiedy nie zawierają więcej niż 8 do 10% wody.

## 6.5 Optymalizacja składu materiału

Zielonki z cegielni zawierają dużo یت, który gwarantuje dużą wytrzymałość po wypaleniu. Wykres 6.5-1 pokazuje typowy rozkład ziaren takiej tłustej gliny (zawierającej ok. 24% یت, 50% pyłu,

23% piasku i 3% żwiru), jaką stosuje się do produkcji cegły ceramicznej.

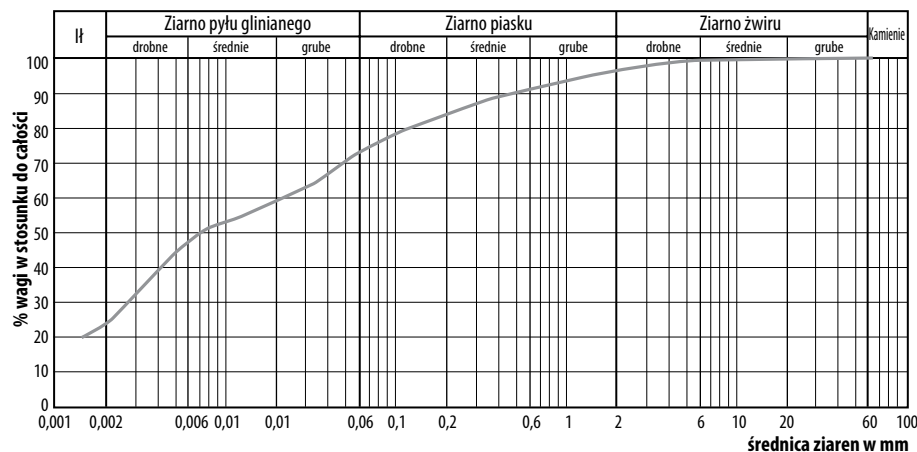
Materiał taki nie nadaje się do produkcji cegieł glinianych, z uwagi na jego zbyt duże pęcznienie przy namoczeniu i na znaczne kurczenie się przy schnięciu. Jeżeli na budowaną z takich cegieł ścianę pada podczas jej murowania przez dłuższy czas deszcz, ulega ona spęcznieniu, a po wyschnięciu widać drobne pęknięcia skurczowe. Zdjęcie 6.5-3 pokazuje to zjawisko na pomalowanym murze.

Cegła gliniana wykonana ręcznie z chudej, mocno piaszczystej gliny, odpowiadającej wykresowi 6.5-2, zawierającej ok. 14% یت, 22% pyłu, 62% piasku i 2% żwiru, nie wykazuje po wyschnięciu żadnych pęknięć.

Jako ogólną zasadę można przyjąć, że cegły gliniane powinny zawierać wystarczającą ilość dużych ziaren piasku oraz dostateczną یت, tak aby przy



**6.5-3** TWORZENIE SIĘ RYS NA POMALOWANEJ ŚCIANIE PO WYSCHNIĘCIU PRZEMOCZONYCH ZIELONEK



**6.5-1** KRZYWA ROZDZIAŁU ZIARNA W GLINIE DO PRODUKCJI CEGŁY CERAMICZNEJ



minimalnym pęcznieniu i kurczeniu wykazać dużą porowatość i przez to mrozoodporność, jak również wystarczającą odporność na spltukiwanie i dużą wytrzymałość na ściskanie.

## 6.6 Murowanie z cegieł glinianych

Przy organizacji placu budowy i podczas samego murowania należy pamiętać o ochronie cegieł glinianych przed wilgocią. Jeżeli otrzymamy je z cegielni, to zazwyczaj są dostarczane na paletach i opakowane folią.

Cegły gliniane układa się na zaprawie z gliny, z wapna hydraulicznego albo z wapna hydraulicznego o dużej wytrzymałości. Niewielkie dodatki cementu, jakie występują w gotowych zaprawach grupy I, nie mają większego znaczenia. Czystej zaprawy cementowej albo cementowo-wapiennej nie należy jednak stosować, ponieważ są one zbyt kruche i łatwo pękają. Według DIN 18953 cz. 2 dla murów o wysokości do 3 m wystarcza zaprawa grupy I, dla budynków dwukondygnacyjnych należy użyć zaprawy grupy II.

Zaprawa powinna być zawsze trochę bardziej wodnista niż typowa dla murów z cegły ceramicznej, ponieważ cegła gliniana bardzo szybko wchłania wodę. Aby podczas schnięcia nie powstały za duże rysy skurczowe, zaprawę

glinianą powinno się schudzić gruboziarnistym piaskiem. Zawartość iltu w ilości 10% jest wystarczająca. Można murować nawet zaprawą zawierającą tylko 4% iltu, jeżeli w mieszance jest wystarczająco dużo grubego piasku oraz kiedy spoiny po wyschnięciu będą stabilizowane malowaniem, co da im większą odporność na ścieranie. (Przy tak chudej glinie piasek wypada ze spoiny już po potarciu jej palcem).

Pękaniu zaprawy można ponadto zapobiec, jeżeli wykona się cieńsze spoiny poziome niż przy murowaniu z cegieł ceramicznych.

Zaprawa gliniana jest przyjemna w obróbce, nie niszczy rąk, podczas gdy zaprawa wapienna atakuje skórę i może powodować schorzenia alergiczne.

Z zielonek można wykonać także ścianę bez zaprawy, jeżeli przed ich użyciem zostaną na krótko zamoczone w wodzie tak, aby ich powierzchnia stała się miękka. Zmiękczone cegły układa się w typowe wiązania murarskie i mocno dociska do siebie, tak aby po wyschnięciu były ze sobą połączone.

Ta metoda wymaga jednak przy większych powierzchniach sporego doświadczenia i zręczności, ponieważ układanie cegieł bardzo dokładnie i ich przewiązanie nie jest łatwe. Inaczej niż przy typowym murowaniu, gdzie grube spoiny pozwalają na korekturę celem zachowania

tolerancji, tutaj mamy tylko bardzo wąskie spoiny, powstałe przez rozmiękczenie powierzchni i możliwe są tylko minimalne przesunięcia. Dlatego też nie należy stosować tej techniki przy użyciu cegieł formowanych ręcznie, bo ich formaty są różne, a powierzchnie nierówne.

## 6.7 Obróbka cegieł glinianych

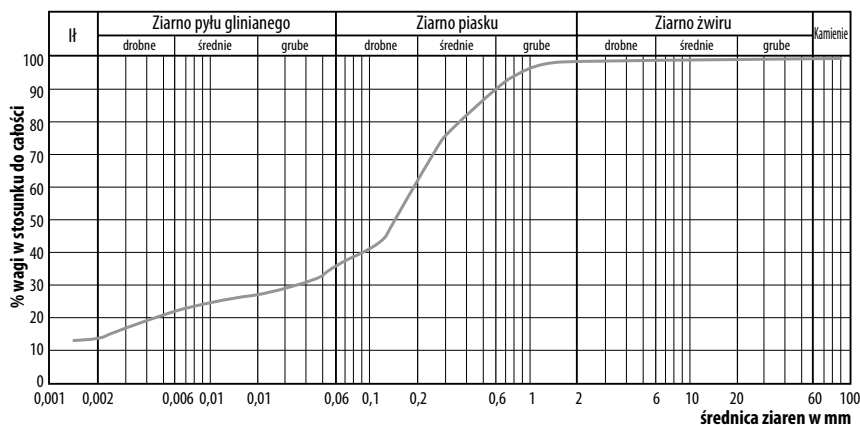
Surowe cegły gliniane są o wiele ławiejsze w obróbce niż cegły ceramiczne. Można je przykładowo obcinać piłą do drewna z wymienialnym ostrzem, ponieważ tępi się szybko i często trzeba je odnawiać (zdjęcie 6.7-1). Najczęściej wystarcza tylko samo nacięcie, aby reszty dokonać młotkiem murarskim.

Można też bruzdę zaznaczyć kielnią albo nożem, czy choćby śrubokrętem i potem odłupać w tym miejscu cegłę młotkiem.

## 6.8 Obróbka powierzchni

Kiedy do murowania użyto zaprawy glinianej, spoiny można potem łatwo wygładzić albo pogłębić, jeśli przedtem namoczy się je pędzlem. Nierównomierne i chropowate powierzchnie można wygładzić pacą obciążoną filcem.

Nierównomiernie wymurowane ściany pokrywa się przy pomocy szerojki pędzla cienką warstwą zaprawy



6.5-2 WŁAŚCIWY ROZKŁAD ZIAREN W GLINIE DO RĘCZNEJ PRODUKCJI CEGEŁ GLINIANEJ



6.7-1 PIŁOWANIE CEGIEŁ GLINIANYCH



(1 do 4 mm). Można też pokryć je szlamem farby łączącej z gliną; taką ścianę przedstawia zdjęcie 6.8-1.

Ściany z cegły glinianej powinny pozostać nieotynkowane, ewentualnie można je pokryć bardzo cienką warstwą gliny. Często na życzenie właściciela budynku, albo za radą rzemieślnika, wykonuje się ze względów estetycznych gładki tynk kładziony maszynowo, co znacznie zmniejsza pozytywne zjawisko regulacji wilgoci i przykrywa prawdziwą, żywą strukturę powierzchni glinianej ściany.



**6.8-1** ŚCIANA Z CEGŁY GLINIANEJ POKRYTA SZLAMEM, DOM MIESZKALNY W BENDIGO, AUSTRALIA



**6.9-1** REGAŁ Z KSIĄŻKAMI PRZYMOCOWANY DO ŚCIANY Z CEGŁY GLINIANEJ PRZY POMOCY KOŁKÓW I ŚRUB

Glina z uwagi na swoje zdolności wchłaniania stanowi dobre podłoże malarskie. Sprawdzą się przede wszystkim powłoki wapienno-kazeinowe, ponieważ przepuszczają one parę wodną, a po dodaniu wystarczającej ilości kazeiny tworzą powierzchnię trudno ścieralną. Przed laty dodawano do wapna serwatkę, maślanek albo mleko. Doświadczenie pokazuje jednak, że najlepszym i najtańszym dodatkiem jest chudy twaróg.

Jeżeli użyjemy farby kazeinowej, składającej się z 2 litrów wody i jednego litra chudego twarogu oraz 1 czubatej łyżki stołowej wapna, nie dość, że pozostanie naturalne zabarwienie cegły glinianej, to otrzymamy jeszcze powierzchnię odporną na ścieranie (opis w rozdziale 12.3).

### 6.9 Mocowanie obrazów, regałów i szafek wiszących

Gwoździe w cegły gliniane można wbijać o wiele łatwiej niż w cegły ceramiczne. Jest to tym łatwiejsze, im wilgotniejsze i bardziej porowate są cegły. Przy wbijaniu gwoździ częściej rozpadają się zielonki niż cegły formowane ręcznie. Przed wbiciem grubego gwoźdźca zaleca się wywiercenie dziury.

Do ścian glinianych można z powodzeniem przyczepiać przy pomocy śrub i kołków szafki wiszące lub inne ciężkie przedmioty, jeżeli mur nie jest wykonany z niewypalonych, lekkich cegieł typu siłówka lub kratówka. Dziura na kołek powinna być wystarczająco duża, a śruba nie za gruba, aby cegła przy wkręcaniu nie rozpadła się pod wpływem jej rozpychającego działania. Nie jest więc problemem powieszenie regałów z książkami ważących kilkaset kilogramów, jak na zdjęciu 6.9-1.

### 6.10 Cegły z gliny lekkiej

W ostatnich latach pokazał się na niemieckim rynku cały szereg lekkich cegieł glinianych, wyprodukowanych w sposób przemysłowy. Wykorzystuje się je przede wszystkim do wypełniania przestrzeni międzybelkowej w historycznych budynkach z tzw. muru pruskiego oraz do budowy ścian wewnętrznych, por. 6.10-1. Posiadają one przeważnie gęstość od 1200 do 800 kg/m<sup>3</sup> i wartości  $\lambda = 0,25$  do 0,5 W/mK. Dodatki lekkie to przede wszystkim produkty roślinne jak sieczka, włókna celulozowe, trociny, paździerz konopi, włókna roślinne, śrut korkowy albo też materiały mineralne: perlit, pumeks, szkło porowate,



**6.10-1** CEGŁY Z GLINY LEKKIEJ WYPRODUKOWANE PRZEMYSŁOWO

keramzyt, lawa porowata. Sieczka i włókna celulozowe wchłaniają ekstremalnie dużo wody, trociny i wióry drewniane też absorbują dużo wilgoci. Cegły z tymi dodatkami wymagają podczas schnięcia albo sporego nakładu energii, albo też dużo czasu, by wyschnąć w sposób naturalny. Tym samym potrzebują one dużej powierzchni magazynowej.

Najbardziej opłacalnym sposobem ich produkcji jest wytłaczanie prasą używaną w cegielniach. Z racji dużej porowatości są one odporne na mróz i mogą być zastosowane do budowy fasad. Ponieważ izolacyjność takich cegieł w porównaniu z typowymi materiałami do izolacji cieplnej wynosi tylko 1/5 do 1/10, można je stosować do wznoszenia nowych budynków tylko w połączeniu z dodatkową, zewnętrzną izolacją. Przy wytwarzaniu lekkich cegieł glinianych przy pomocy prasy, możliwe jest uzyskanie ich gęstości od 400 do 600 kg/m<sup>3</sup>. Takie cegły są jednak znacznie droższe z uwagi na ręczną produkcję, a przy tym mniej przydatne do konstrukcji z powodu słabej wytrzymałości krawędziowej i małej wytrzymałości na ściskanie. Mają jednak inną zaletę: są łatwiejsze w obróbce, ponieważ nie duzo ważą i zawierają niewiele gliny.

Zdjęcie 7.2-6 pokazuje produkcję cegły przy pomocy wibratora i prasy, por. rozdz. 7.2.

### 6.11 Akustyczne cegły gliniane

Dzięki współpracy autora z cegielnią Gumbel powstały w 1995 pierwsze specjalne, rozsiewające dźwięki cegły z gliny, które w roku 1996 z powodzeniem użyto do budowy hali wielofunkcyjnej w przedszkolu w Sorsum (Walldorf-Kindergarten) w Niemczech, (zdjęcia 6.11-1, 6.11-2), por. rozdz. 15.13. Hala ma rozpiętość w świetle 10 m i wysokość 7 m. Dzięki zaokrąglonym

narożnikom powstał mocny efekt rozsiewania dźwięku. Przez to, że przednia krawędź wystaje każdorazowo o ok. 4 cm w stosunku do spodu elementu i pierwszy otwór w pustaku pozostaje od spodu otwarty, mamy do czynienia z pochłanianiem dźwięku. W ten sposób można było przeszkodzić zarówno powstającym przy typowych konstrukcjach sklepień (i przeszkadzającym) skupionym refleksjom dźwięku, jak i nieprzyjemnemu dla ucha pogłosowi.

W powstałym w roku 2001 budynku Centrum Budownictwa Ekologicznego („Zentrum für umweltbewusstes Bauen”) w Kassel zbudowano ok. 675 m<sup>2</sup> powierzchni ścian z małych (11,2x14x20 cm) „akustycznych” cegieł, które nie tylko regulują klimat wnętrza i chronią przed elektromagnetycznym promieniowaniem o wysokiej częstotliwości, ale również znacznie poprawiają akustyczność pomieszczeń. W celu pochłaniania dźwięku, w sali wykładowej pozostawiono w jednym miejscu otwarte spoiny piętrowe. Kolejną zaletą użycia tych cegieł było to, że dzięki ich zaokrągleniom nie były potrzebne specjalne środki chroniące krawędzie ścian (por. 6.11-3).



6.11-1 WIDOK DETALU: SKLEPIENIE Z AKUSTYCZNYCH CEGIEŁ GLINIANYCH



6.11-2 AKUSTYCZNE CEGŁY GLINIANE CHARAKTERYZUJĄCE SIĘ EFEKTEM ROZPROSZENIA DŹWIĘKU



6.11-3 ŚCIANA O WYSOKOŚCI 6 M Z AKUSTYCZNYCH CEGIEŁ GLINIANYCH, CENTRUM BUDOWNICTWA EKOLOGICZNEGO, KASSEL, NIEMCY

# 7. ELEMENTY WIELKOWYMIAROWE I PŁYTY Z GLINY

## 7.1 Wiadomości ogólne

Ponieważ wykonanie ścian z glinobitki jest pracochłonne, zaś z gliny lekkiej z dodatkiem słomy wymaga długiego schnięcia, a poza tym istnieje niebezpieczeństwo butwienia, rozwinięto szereg pomysłów pozwalających na stawianie ścian z wcześniej przygotowanych, wielkowymiarowych elementów glinianych, wymagających jedynie wyschnięcia łączącej je spoiny.

Z racji ciężaru nadaje się do tego tylko glina lekka, jednak wykonane z niej elementy posiadają małą wytrzymałość krawędziową. Podczas transportu i montażu następuje często uszkodzenie kantów prefabrykatów czy to przez uderzenie, czy też przez nieodpowiednie składowanie.

## 7.2 Kostki gliniane

Łatwiej jest murować z wielkowymiarowych cegieł z gliny niż z cegieł o typowych wymiarach. Warunkiem koniecznym jest jednak ich nieduży ciężar, taki, aby można je było układać jedną,

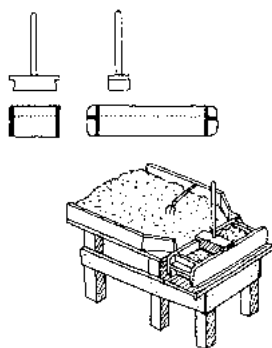
ewentualnie dwoma rękami. Przydatne są do tego specjalnie wykonane otwory uchwytowe. Kiedy chcemy użyć dużych bloków, należy wybrać te z dodatkiem słomy, śrutu z korka, pumeksu, keramzytu, szkła porowatego itp. Ponieważ takie elementy z reguły mają wytrzymałość krawędziową tym mniejszą, im więcej zawierają dodatków lekkich, ich gęstość poniżej  $700 \text{ kg/m}^3$  ma tylko wtedy sens, jeżeli przez dodatkowe środki wiążące (lub też w inny sposób) zwiększymy wytrzymałość ich krawędzi.

Dla elementów o gęstości  $1200 \text{ kg/m}^3$  norma DIN 18953 cz. 2 podaje najmniejszą dopuszczalną wytrzymałość na ściskanie równą  $1 \text{ kg/cm}^2$  ( $0,1 \text{ N/mm}^2$ ).

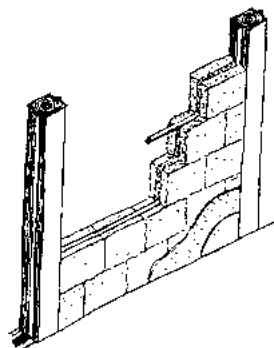
Zarówno po pierwszej, jak i po drugiej wojnie światowej różne instytucje państwowe propagowały wytwarzanie ubijanych w skrzyniach bloków glinianych o wymiarach  $15 \times 25 \times 40 \text{ cm}$ ,  $25 \times 25 \times 39 \text{ cm}$  lub  $17 \times 38 \times 50 \text{ cm}$ . Zachęcały do tego np. Kuratorium Rzeszy d.s. Gospodarności w Berlinie, Kuratorium

Techniki w Gospodarstwie Wiejskim w Berlinie oraz Zakład Badań Budownictwa Naturalnego w Cottbus. Rysunek 7.2-3 pokazuje rozkładany szalunek do wytwarzania bloczków ubijanych z gliny, rys. 7.2-4 podobny, ale bez stalowych wzmocnień.

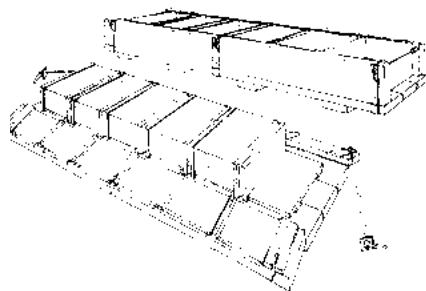
Przedstawiony na rysunku 7.2-1 stół do ubijania przyczynia się do korzystnej technologii produkcji wielkowymiarowych elementów z gliny mieszanej ze słomą. Aby uzyskać tę samą wysokość bloczków, ubijak miał po bokach ograniczniki.



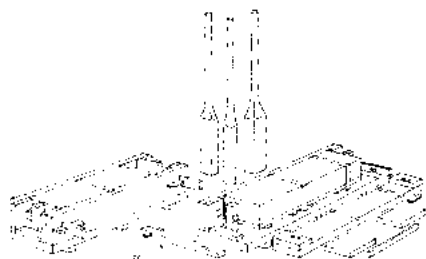
7.2-1 STÓŁ DO UBIJANIA ELEMENTÓW GLINIANYCH (WEDŁUG POLLACKA, RICHTERA, 1952; VOLHARD, 1983)



7.2-2 ŚCIANA Z BLOCzków Z GLINY LEKKIEJ ZE SŁOMĄ (WG EKOLOGII W REGIO)



7.2-3 ROZKŁADANE DESKOWANIE DO UBIJANIA BLOCzków Z GLINY, FAUTH, 1933)



7.2-4 ROZKŁADANE DESKOWANIE DO UBIJANIA GLINY, BEZ WZMOCNIEŃ STALOWYCH, MILLER ET AL, 1947





**7.2-5** PRODUKCJA I ZABUDOWA WIELKOWYMIAROWYCH BLOKÓW Z GLINY ZE SŁOMĄ



**7.2-6** PRODUKCJA BLOZKÓW Z GLINY LEKKIEJ, TATA, WĘGRY



**7.2-7** MUROWANIE Z BLOZKÓW Z GLINY LEKKIEJ WARSTWY IZOLACYJNEJ, ZEWNĘTRZNEJ ŚCIANY Z GLINOBITKI, TATA, WĘGRY

Rys. 7.2-2 przedstawia budowę ściany z maszynowo wyprodukowanych bloczków z gliny lekkiej ze słomą. Miały one wymiary 15 x 24 x 30 cm i ważyły ok. 9 kg. W co drugiej spoinie poziomej dla zwiększenia stabilizacji ściany umieszczano czterokątną listwę drewnianą. W porównaniu ze wznoszeniem ściany z lekkich zielonek o formacie 2DF, czas murowania jest jednak dłuższy, z uwagi na duży ciężar bloczków, brak uchwytów i umieszczanie listwy. Ponadto chropowata powierzchnia muru wymaga podwójnego otynkowania, co prowadzi do dalszego zwiększenia kosztów i zmniejszenia naturalnej cechy gliny, tj. regulacji wilgotności. Izolacyjność takiej ściany zewnętrznej nie jest zbyt duża, bo nawet przy grubości 50 cm nie osiąga ona wartość współczynnika  $U = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

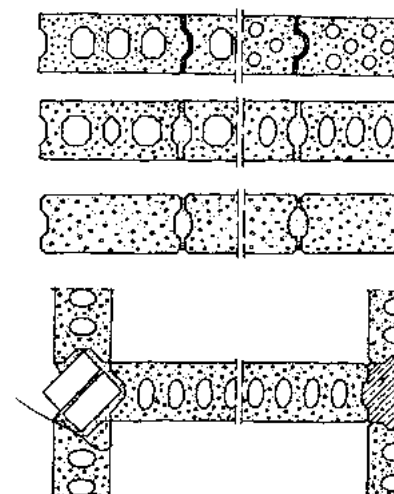
O wiele ekonomiczniejsze i rozsądniejsze jest wytwarzanie na budowie wielkoformatowych elementów o niewielkiej gęstości i składowanie ich aż do wyschnięcia. Oszczędza się w ten sposób nie tylko koszty transportu, załadunku i rozładunku, ale także chroni środowisko.

Dzięki niewielkiej gęstości można przy grubości ściany 50 cm osiągnąć wartość  $U = 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Wypróbowany z dobrym skutkiem przez Sylwestra Duftera system polega na wznoszeniu budynków mieszkalnych z prefabrykowanych bloczków o wymiarach 50x60x30 cm i ważących ok. 26 kg. Elementy te powstają przez ubijanie ich w leżącym szalunku; murowane są natomiast na sztorc (zdjęcie 7.2-5). W ten sposób zapewnione jest dokładne zachowanie szerokości muru (50 cm) i wysokości warstwy (60 cm). Prefabrykaty produkowane są prywatnie przez rodziny (jedna rodzina jest w stanie wykonać w ciągu pięciu tygodni ok. 1500 szt.). Jedynym problemem przy tej technologii może być nie zawsze wystarczająca

ilość zadaszzonego miejsca, potrzebnego do wysuszenia bloczków.

Na Węgrzech wytwarza się bloczki z gliny lekkiej z keramzytem o wymiarach 15 x 15 x 30 cm przy pomocy maszyny (tzw. „egg layer”) służącej zazwyczaj do produkcji elementów betonowych (zdjęcie 7.2-6). W miejscowości Tata na Węgrzech bloczki zastosowano zarówno jako warstwę izolacyjną dla ścian z glinobitki (zdjęcie 7.2-7), jak i do murowania ścian nośnych zewnętrznych pierwszego piętra budynku.

Rysunek 7.2-8 pokazuje przekroje proponowanych przez autora bloczków z gliny lekkiej z dodatkami mineralnymi. Są one przewidziane do ścian wewnętrznych



**7.2-8** ELEMENTY Z GLINY LEKKIEJ DO KONSTRUKCJI ŚCIENNYCH



**7.2-9** PŁYTA GLINIANA FIRMY „KARPHOSIT”

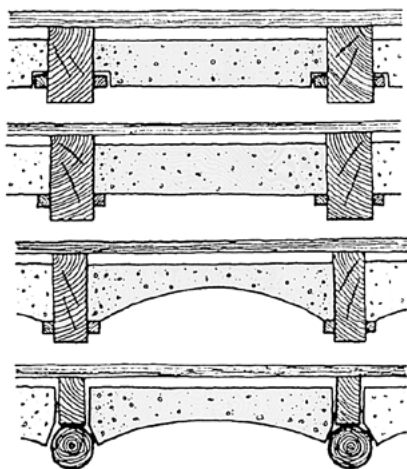


lub jako warstwa zewnętrzna, izolacyjna ścian zewnętrznych. Puste miejsca w tych elementach mają na celu zmniejszenie ich ciężaru i zwiększenie izolacyjności. Najkorzystniej jest wtedy, kiedy otwory te mogą służyć także jako uchwyty przy murowaniu.

Do budowy ścian działowych nadają się lekkie płyty gliniane grubości 6 do 12 cm. Mają one np. format od 30 x 60 cm do 62,5 x 100 cm. Najlepsze są z gliny lekkiej o gęstości 800-1000 kg/m<sup>3</sup>. Płyty lżejsze o gęstości poniżej 800 kg/m<sup>3</sup>, należy stabilizować poprzeczkami drewnianymi, a nawet ramą chroniącą ich krawędzie, która może służyć równocześnie jako „pióro” przy zazębianiu się tych elementów ze słupami i między sobą.

Firma Karphasit AG produkuje idealnie równe płyty z gliny lekkiej z dodatkiem siewki słomianej. Płyty posiadają na obwodzie profile „na wpust i pióro”, wykazują gęstość ok. 950 kg/m<sup>3</sup> i mają wymiary 62,5 x 25 x 10 cm. Ściany z tych elementów murowane są ciekłą zaprawą glinianą, nakładaną pędzlem na grubość 2-3 mm (zdjęcie 7.2-9).

Podobne płyty, grube na 4,8 lub 10 cm i szerokie na 50 cm, produkuje firma Fischer pod nazwą „Casadobe” (zdjęcie 7.4-1) i firma Teraform Naturbaustoffe pod nazwą „Leton”.



7.3-1 ELEMENTY ŚLEPEGO PUŁAPU Z GLINY



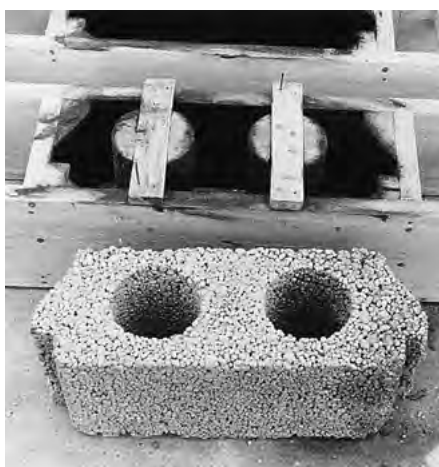
7.2-10 ELEMENTY ŚCIENNE WYSOKOŚCI KONDYGNACJI Z RAM DREWNIANYCH WYPEŁNIONYCH GLINĄ, PODAWANE DŹWIGIEM

Posiadają one gęstość od 900 do 1600 kg/m<sup>3</sup> i wytłaczane są jako pustaki. Płyty lekkie z gliny i śrutu korkowego wytwarza Epilepsiezentrum w Kehl-Kork (por. rozdz. 3.7-4).

Szczególnie interesująca jest propozycja firmy HDB Weisinger, która z odpadów drewnianych produkuje ramy wysokości kondygnacji, wypełnione już w fabryce gliną lekką z drewnem. Element z dodatkową warstwą izolacyjną

ustawia się na budowie przy pomocy dźwigu jako kompletny, zazębiający się, szczelny prefabrykat ścienny (zdjęcie 7.2-10). Ramy drewniane można także wypełniać płytami, cegłami albo wałkami glinianymi.

Przedstawiony w rozdziale 15.11 szereg budynków mieszkalnych oraz w rozdziale 15.17 biurowiec wykonano z elementów ramowych drewnianych, wypełnionych na budowie gliną.



7.3-2 NOŚNE ELEMENTY STROPOWE Z GLINY LEKKIEJ, WĘGRY

### 7.3 Elementy stropowe

Z gliny można produkować również elementy stropowe będące fragmentem ślepego pułapu. Kładzie się je między belkami nośnymi jako izolację dźwiękową oraz w celu zwiększenia izolacyjności cieplnej, por. rys. 7.3-1.

Elementy nośne ślepych pułapów ze stabilizowaną cementem gliną lekką z keramzytem autor wykonał w 1987 roku na Węgrzech. Zdjęcie 7.3-2 pokazuje prototyp pustaka stropowego oraz drewnianą formę do jego produkcji. Inne możliwe wzory elementów stropowych,

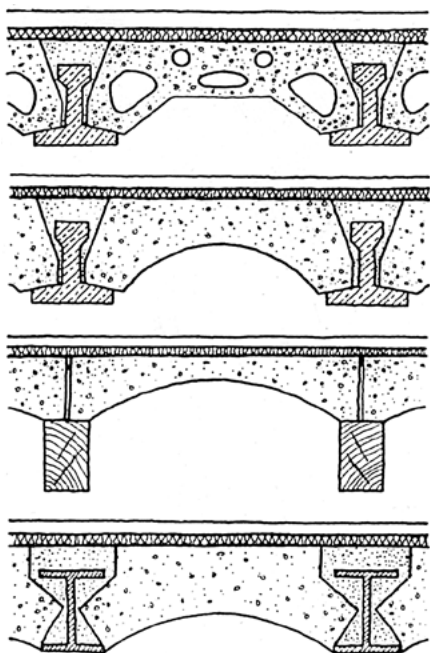
układanych na prefabrykowanych belkach żelbetowych, na belkach drewnianych lub stalowych przedstawia rys. 7.3-3.

#### 7.4 Płyty gliniane, wewnętrzne do montażu na sucho

W ostatnich latach niektóre firmy dostarczają na rynek lekkie płyty gliniane do montażu na sucho. Można je stosować, podobnie jak płyty gipsowo-kartonowe, do wykończenia wnętrza budynków, krycia skosów poddasza i do budowy lekkich ścian działowych.

Najlżejsze płyty o wadze ok.  $750 \text{ kg/m}^3$  produkuje firma Breidenbach. Ich grubość wynosi 1,6 do 2,5 cm, ale zawartość gliny jest w nich niewielka. Składają się z obłożonej gliną maty trzciniowej z zewnętrznym zbrojeniem z tkaniny jutowej.

Wyciskane prasą płyty gliniane (gr. 3,5 – 10 cm, dł. do 100 cm) z dodatkiem trocin i podłużnymi szczelinami produkuje firma Casadobe, por. zdjęcie 7.4-1.



7.3-3 ELEMENTY NOŚNE STROPU Z GLINY CIĘŻKIEJ ALBO STABILIZOWANEJ, LEKKIEJ

Płyty z pustymi przestrzeniami z litej gliny o wymiarach 50 x 50 cm i grubości od 4 do 8 cm wprowadziła na rynek firma Teraform. Elementy można przyklejać do konstrukcji zaprawą lub mocować śrubami. Styki mają zazwyczaj formę wpustu i pióra; można je sklejać klejem glinianym lub wodnistą zaprawą glinianą.

#### 7.5 Płyty podłogowe z gliny

Do wykonania podłóg produkuje się prefabrykowane płyty, które układa się na zaprawie wapiennej lub glinianej. W porównaniu z posadzką z gliny ubijanej, podłoga z płyt nie ma pęknięć skurczowych. Inną jej zaletą jest szybkie schnięcie. Miller, Grigutsch i Schultze (1947, str. 55) zalecają wzmocnienie gliny przeciw ścieraniu przez dodanie do niej zgorzeliny kuźniczej ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), krwi wołowej i smoły.

Badania przeprowadzone w FEB na Uniwersytecie w Kassel wykazały, że przez dodanie ok. 6% pokostu lnianego

w połączeniu z zagęszczeniem powierzchni oraz przez nasączenie woskiem osiąga się bardzo dużą odporność posadzki na ścieranie.

Jedna z fińskich manufaktur, produkująca płyty podłogowe z gliny, dodaje pokost lniany w celu uzyskania powierzchni odpornej na wodę i ścieranie.



7.4-1 PŁYTY Z LEKKIEJ GLINY „CASADOBE”



# 8. FORMY TWORZONE BEZPOŚREDNIO Z WILGOTNEJ GLINY

## 8.1 Wiadomości ogólne

Glina, jak żaden inny materiał budowlany, posiada tę właściwość, że po zmieszaniu z wodą powstaje z niej plastyczna, dowolnie formowalna materia, stanowiąca wyzwanie dla kreatywnych twórców.

Ręczne formowanie ścian z brył lub z gęstej brei glinianej jest jeszcze dzisiaj w Afryce i w Azji najbardziej rozpowszechnioną i tradycyjną techniką, znaną kiedyś także w Europie i Ameryce. Jest to najprostsza technologia,

nie wymagająca specjalnych urządzeń i narzędzi. Glinę można mieszać nogami, a rękami formować z niej bryły.

Zaletą tej bezpośredniej techniki formowania, zaliczanej do tzw. techniki na mokro jest to, że wymieszana glina zostaje natychmiast zabudowana (przy produkcji np. cegły jej sztaplowanie i składowanie w stanie wilgotnym jest dość długim, wymagającym odpowiednich pomieszczeń procesem).

Wadą jest stosunkowo duży linearny skurcz schnięcia, który dla gliny chudej (o zawartości 10 do 15% itu) wynosi od 3 do 6%. Im więcej itu i wody dodamy do gliny, tym większe są pęknięcia (przy użyciu brejowatej, tłustej gliny mogą one stanowić więcej niż 10%).

Zdjęcia 8.1-1 i 8.1-2 pokazują ławkę, przy budowie której nie wzięto pod uwagę działania skurczów schnięcia. W kolejnych rozdziałach omówione zostaną metody pozwalające uniknąć niespodziewanych pęknięć. Jest to możliwe, jeżeli z góry założymy, gdzie rysy mogą powstać. Inną metodą jest zmniejszenie wymiarów oraz zwiększenie krzywizn elementów.



8.1-1 UKŁADANIE ŁAWKI Z PLASTYCZNEJ GLINY W FORMIE PASM

8.1-2 PĘKNIĘCIA SKURCZOWE PO WYSCHNIĘCIU GLINY



## 8.2 Tradycyjne techniki na mokro

Podczas gdy do łączenia cegieł glinianych używa się zaprawy, to przy bezpośrednich metodach na mokro plastyczną glinę łączy się ze sobą przez ubijanie, uderzanie, ściskanie albo rzucanie. Najprostsza z technik na mokro stosowana jest do dziś w niektórych rejonach południowych Indii. Glinę miesza się z wodą

i grabiami doprowadza do konsystencji brejowatej. W płaskich naczyniach transportuje się ją na miejsce i wylewa na budowaną ścianę, a rękami formuje warstwę grubości 2 do 4 cm. Dzięki bezpośredniemu działaniu słońca glina schnie dość szybko i można nieprzerwanie układać warstwę za warstwą.

W północno-wschodniej Ghanie miesza się glinę z wodą nogami, a rękami zagniata z niej bryły, z których wznosi się okrągłe ściany (8.2-1 i 8.2-2). Po wyschnięciu tynkuje się je gliną z zewnątrz i od wewnątrz, a wilgotną jeszcze zaprawę wygładza się płaskim, baryłkowym kamieniem. Powierzchnia wygląda jak polerowana i jest odporna na działanie deszczu.

Rysunek 8.2-3 przedstawia wzniesiony tą samą techniką spichlerz na zboże, którego ściany zbudowano z gliny zmieszanej z krowim nawozem i sieczką.

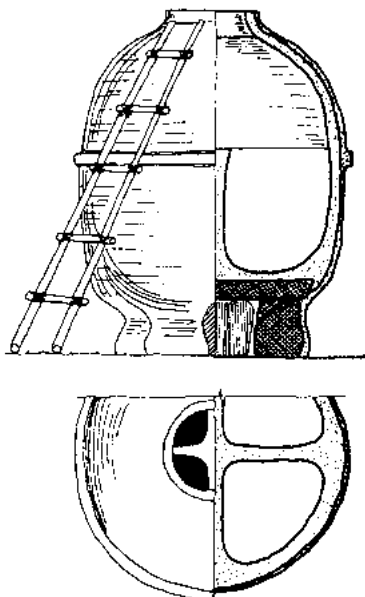
Tradycyjna technologia budowania z mokrej gliny w północno-zachodniej Ghanie polega na układaniu warstw z wilgotnych brył szerokości ok. 40 cm.

Warstwy są mocno zaznaczone, ponieważ zachodzą na siebie (rys. 8.2-4).

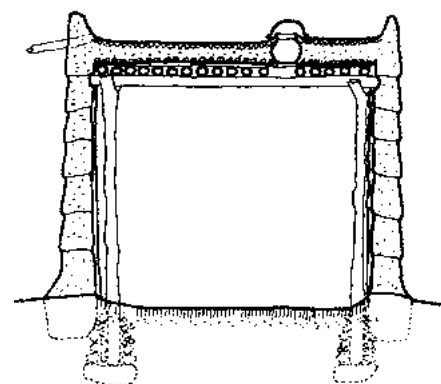
Na rzutach poziomych budynków widać bardziej lub mniej prostokątne pomieszczenia z zaokrąglonymi narożnikami. Uszczelnione gliną dachy opierają

się na belkach i słupach, a więc ściany te nie są ścianami nośnymi, por. rys. 8.2-5. Podobna technika, ale bez zachodzących na siebie warstw, rozpowszechniona jest w Sudanie (El-Hakim 1992).

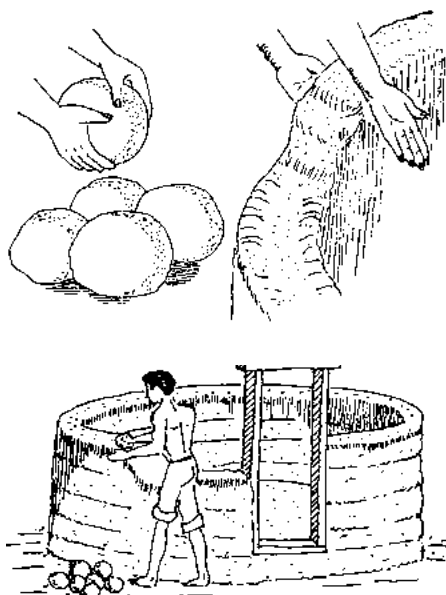
W północnym Jemenie buduje się od setek lat wielopiętrowe budynki z litymi ścianami z gliny na mokro, techniką zwaną „zabur”, która jest bardzo podobna do tej z Ghany, por. zdjęcie 8.2-2. Ręcznie formowane bryły gliny z sieczką z rozmachem rzuca się na ścianę z góry,



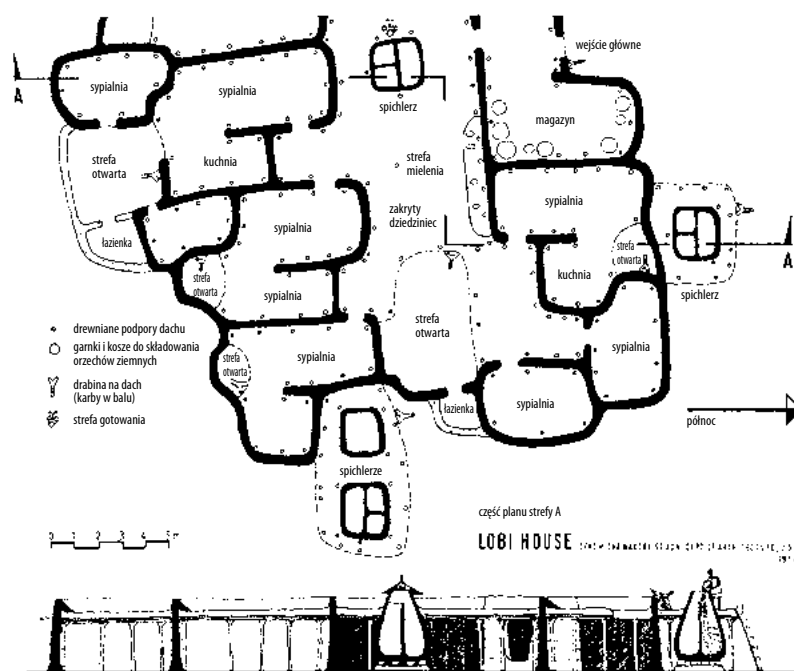
8.2-3 SPICHLERZ ZBOŻOWY, GHANA (WG SCHRECKENBACHA)



8.2-4 TRADYCYJNY SPOSÓB BUDOWANIA Z GLINY NA MOKRO, PÓŁNOCNO-WSCHODNIA GHANA, PRZEKRÓJ PRZEZ BUDYNEK (WG SCHRECKENBACHA)

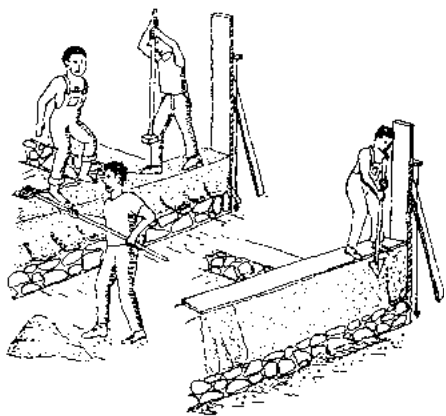


8.2-1 | 8.2-2 FORMOWANIE ŚCIANY Z BRYŁ GLINY, PÓŁNOCNO-WSCHODNIA GHANA (WG SCHRECKENBACHA)



8.2.5 TYPOWY KOMPLEKS BUDYNKÓW Z PÓŁNOCNO-ZACHODNIEJ GHANY (SCHRECKENBACH)





8.2-6 BUDOWANIE LEPIANKI)

przez co następuje zagęszczenie i tworzy się jednolita, połączona ze sobą masa. Powierzchnia ściany jest dodatkowo jeszcze wzmocniana przez uderzenia deską i zagładzana (zdjęcia 8.2-7 i 8.2-8).

Na Słowacji, Morawach i na Węgrzech znana jest już co najmniej od średniowiecza technika „na mokro”, polegająca na układaniu ścian z walcowatych albo stożkowatych, lekko podeschniętych, ale jeszcze wilgotnych brył (por. 1.2-7). Warstwy kładziono przeważnie poziomo, ale też często po skosie, przekładając raz na lewo, raz na prawo w ten sposób, że powstawał wzór „w rybi szkielet”, (Mjarton, 1970 1972; Langer-Vareka; Mencl, 1980; Balassa-Ortutay, 1982).



8.2-7 | 8.2-8 BUDOWANIE ŚCIAN GLINIANYCH TECHNIKĄ „ZABUR”



8.2-9 DOMY W JEMENIE PÓŁNOCNYM ZBUDOWANE TECHNIKĄ „ZABUR”)



8.2-10 JEDEN Z NAJSTARSZYCH BUDYNKÓW TYPU „COB”, COCKINGTON, DEVON, ANGLIA, 1410



8.2-11 TYPOWY BUDYNEK POWSTAŁY PRZY ZASTOSOWANIU TECHNIKI „COB”, DEVON, ANGLIA, XVIII WIEK

W południowo-zachodniej Anglii, przeważnie w Devonshire, od XV do XIX wieku rozpowszechnione było stawianie murów z brył glinianych, por. 8.2-10 i 8.2-11. Tę technikę zwaną „cob” opisał następująco w roku 1843 Hill: „Jeden człowiek stoi z trójzębnymi widłami na murze, drugi lepi gliniane bryły wielkości dwu pięści i rzuca pierwszemu, który z kolei tępie je widłami i układa

na murze, przesuując się do tyłu. Jeżeli to jest konieczne, przydeptuje bryły. W ten sposób powstaje ściana o szychtach wysokości 50 do 60 cm. W celu otrzymania równej powierzchni zewnętrznej obcina się bryły po ułożeniu każdej warstwy. Drugą szychtę zaczyna się, gdy pierwsza wyschnie do tego stopnia, że nie deformuje się przy chodzeniu po niej. Grubość muru wynosi ok. 45 cm, trafiają się jednak ściany grubości do 60 cm” (McCann, 1983).

Podobna, rozpowszechniona w Saksonii i Turynii już od średniowiecza i stosowana jeszcze po drugiej wojnie światowej w NRD, jest technika „lepianki”, polegająca na układaniu gliny bez deskowania. Tutaj, inaczej niż przy budowaniu systemem „cob”, nie rzuca się formowanych ręcznie brył, ale układa je luźno widłami i zagęszcza nogami

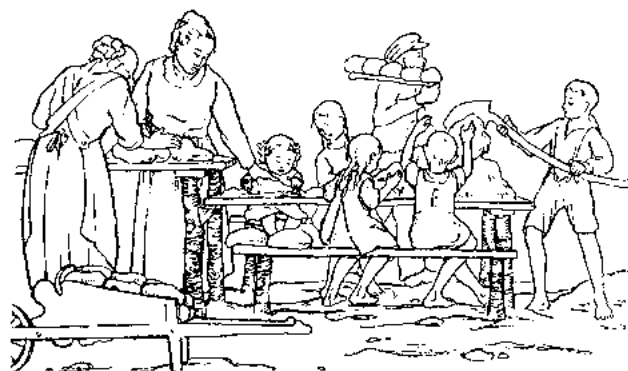
lub drewnianymi ubijakami (rys. 8.2-6). Najpierw układa się jedną warstwę grubości ok. 80 do 90 cm, którą po kilku dniach schnięcia przycina się pionowo trójkątnym, szpiczastym szpadłem i potem układa kolejną szychtę gliny.

### 8.3 Sposób budowania zwany „chlebami glinianymi z Dünne”

W Afryce znane są metody budowania z gliny na mokro, które odpowiadają technikom stosowanym na Słowacji i w Jemenie. Gustav von Bodelschwingh, zainspirowany obserwacjami z północnej Afryki z czasów, gdy przebywał tam jako misjonarz, rozwinął metodę dostosowaną do warunków niemieckich, zwaną „chlebami glinianymi z Dünne”, ponieważ po raz pierwszy zastosowano ją w miejscowości Dünne koło Herford. System



8.3-2 PRODUKCJA CHLEBÓW GLINIANYCH PRZY POMOCY PRASY



8.3-1 SPOSÓB BUDOWANIA ZWANY „CHLEBY GLINIANE Z DÜNNE”, DOMOSTWO W DÜNNE



8.3-3 NIEOTYNKOWANA OBORA DLA OWIEC, DÜNNE



8.3-4 BUDYNEK MIESZKALNY WEERTZ, W MIEJSCOWOŚCI DÜNNE



polega na tym, że z przygotowanej gliny formuje się „chleby gliniane” i w stanie wilgotnym, bez użycia zaprawy układa się, stosując typowe wiązania murarskie (8.3-1 do 8.3-3). Podczas kładzenia „chlebów” przyciska się je do siebie, aby się mocno połączyły. Dziury wywiercone palcami służą do lepszego wiązania z tynkiem. W ciągu jednego dnia można położyć 3 do 5 warstw. Mur po wyschnięciu tynkuje się kilkuwarstwową zaprawą wapienną, stanowiącą ochronę przed wpływami atmosferycznymi.

Pierwszy budynek zbudowany w ten sposób powstał w roku 1925 (zdjęcie 8.3-4), a do roku 1930 postawiono ich już ponad 300. Najczęściej budowali je bezrobotni, zorganizowani w tzw. „domostwach robotniczych” (Arbeiterheimstätten). Przy wytwarzaniu „chlebów glinianych” pomagały również dzieci. Podczas późniejszych produkcji używano już napędzanej traktorem prasy i „chleby” formowano z wyciśniętych pasm (zdjęcie 8.3-1). Obcinane kawałki kształtowano dalej ręcznie.

Istotną wadą technik „na mokro”, która dotyczy także metody z Dünne, jest ich zagrożenie deszczem. Dlatego też najpierw budowano dach oparty na słupach, które potem, tworząc ściany, zabudowywano. Przy pierwszych budynkach dach podnoszono wyżej przy pomocy klinów i po wyschnięciu ścian opuszczano, aby jego ciężar przenosiły mury. W normie DIN 18951 wspomniana jest jednak ta metoda jako gliniano-stojakowa, a więc ze ścianami będącymi wypełnieniem konstrukcji nośnej.



8.4-1 STOJĄCE URZĄDZENIE DO WYCISKANIA PASM GLINIANYCH, PROTOTYP FIRMY HEUSER



8.4-2 LEŻĄCE URZĄDZENIE DO WYCISKANIA PASM GLINIANYCH FIRMY HEUSER

## 8.4 Metoda pasm z gliny

### 8.4.1 Wiadomości ogólne

Podczas stosowania opracowanej przez FEB metody pasm z gliny używa się wyciskanych prasą wałków do układania warstwami w stanie wilgotnym, bez zaprawy.

W ten sposób można budować nie tylko ściany i sklepienia, ale również, jak to opisano w rozdz. 14.10, meble i sanitariaty.

### 8.4.2 Produkcja pasm z gliny

W roku 1982 w FEB, przy współpracy z pewną firmą produkującą maszyny budowlane, opracowano, używając typowego urządzenia do cięcia gliny, prasę wyciskającą gliniane pasma. Osiąga ona wydajność 2 metrów pasma 8 x 16 cm na minutę (zdjęcie 8.4-1), co odpowiada ilości ok. 1,4 m<sup>3</sup>/h. Warunkiem wstępnym jest tu mieszanka o wystarczającej sile wiązania i optymalnej wilgotności. Zaletą tej maszyny jest wykonany u góry wlot z wciągających glinę wałków oraz przenośnik rolkowy, po którym wyciskane pasma mogą przesuwać się bez większego oporu (więcej wiadomości Minke, 1984).

W międzyczasie urządzenie zostało już ulepszone i stosując optymalną mieszankę glinianą, można przy jego pomocy produkować pasma długości



8.4-3 ZASTOSOWANIE METODY PASM Z GLINY PRZY BUDYNKU EKSPERYMENTALNYM, UNIWERSYTET KASSEL, 1982

3 m w ciągu minuty, co oznacza wydajność ok. 2 m<sup>3</sup>/h (zdjęcie 8.4-2). Prasa posiada poniżej wałków wciągających przenośnik ślimakowy, w części środkowej mieszalnik nożowy, a przed wyłotem kolejny przenośnik ślimakowy, tym razem w celu osiągnięcia wystarczającego ciśnienia. Na wylocie można montować różne końcówki. Najlepsze rezultaty osiąga końcówka płytkowa z przewodnicą wodną, jak jest to stosowane w typowych prasach cegielniarnych. Urządzenie bez końcówki kosztuje ok. 5000 €.

#### 8.4.3 Optymalizacja mieszanki

Próby przeprowadzone z 30 mieszankami glinianymi, spośród których kilka zawierało słomę, trociny i igliwie sosnowe, wykazały, że dodatki z materiałów włóknistych zmniejszają tylko minimalnie skurcz schnięcia oraz że tempo produkowania zwiększa się także niewiele, a więc biorąc pod uwagę duży nakład pracy potrzebny do wytworzenia mieszanki, jest to nieopłacalne. Niewielki wzrost produkcji osiąga się przez dodanie serwatki. Ponieważ serwatka powoduje ponadto uodpornienie gliny na działanie wody i zwiększenie wytrzymałości na ścieranie, można nią zastąpić część wody zarobowej. Zamiast serwatki można użyć również rozcieńczonego twarogu chudego.

Mieszanka powinna zawierać więcej یتu, niż to jest typowe dla glinobitki albo cegieł formowanych ręcznie. Taka, która zawiera ok. 15% یتu, uznawana jest za najlepszą. Przy mniejszej zawartości یتu siła wiązania jest zbyt mała i krawędzie pasm gliny kruszą się. Przy większej ilości یتu następują większe skurcze schnięcia i tym samym tworzą się rysy. Zawartość wody należy ściśle ustalać: jeżeli dodamy jej za wiele, to pasmo nie jest wystarczająco spójne i nie można z niego budować ściany, a kiedy jest jej za mało, to kruszą się krawędzie.

#### 8.4.4 Układanie i wygładzanie pasm

Technika pasm została po raz pierwszy zastosowana w roku 1982 w Kassel podczas wznoszenia przez FEB budynku doświadczalnego. Użyto tu pasm długości ok. 2 m, które wyciskano prasą na deskę i tak zanoszono na miejsce zabudowy. Tutaj, przez odwrócenie deski, układano pasmo na poprzedniej warstwie, a spoiny gładzono kawałkiem drewna. Można było układać na sobie cztery do pięciu kolejnych pasm świeżej gliny bez obawy, że zdeformuje się spodnia warstwa. W celu umożliwienia kurczenia się i równoczesnego uniknięcia pęknięć podczas schnięcia, końcówki elementów zaokrąglono (zdjęcie 8.4-3). Pomimo tego nie udało się uniknąć rys stanowiących ok. 3% długości elementu.

Podczas kolejnego stosowania tej techniki przy budowie domu mieszkalnego, który powstał w 1984 roku w Kassel, używano pasm o długości tylko 70 cm. Przeprowadzone testy wykazały, że elementy o takiej długości kurczą się wprawdzie o 3 do 5%, lecz nie pękają.

Zdjęcia 8.4-5 do 8.4-8 pokazują produkcję, transport i układanie pasm. Mieszarka i prasa stały podczas budowy domu w centralnie położonej hali, co skróciło do minimum drogi transportu. Pasma odcinano od podłoża przy pomocy drutu, kielni albo noża i przenoszono na desce w stronę wznoszonej ściany. Tam odwracając deskę kładziono elementy na cokole lub na kolejnej warstwie glinianej.

Ściany o długości 2,10 m składają się z trzech części (zdjęcie 8.4-10). Na złączach pionowych dwóch pasm wkładano dla ich zazębienia łaty drewniane o przekroju 4 x 6 cm. Obok łat wykonano nacięcia kielnią, które „prowokowały” powstawanie w tych miejscach pęknięć skurczowych szerokości 3-4 cm. Po wyschnięciu ściany bruzdy



8.4-5



8.4-6



8.4-7



8.4-8

8.4-5 DO 8.4-8 PRODUKCJA I UKŁADANIE PASM LINIANYCH



te łatwo można było zalepić gliną zmieszaną z wapnem lub gipsem (por. rozdz. 8.4-5). Jeżeli ściana powinna zachować swoją naturalną barwę, należy te spoiny zalepiać kilkakrotnie w czasie schnięcia ściany wilgotną gliną o takiej samej konsystencji.

Ściany wznoszone z pasm można przed wyschnięciem zagładzić lub nadać ich powierzchni inne formy.

Powierzchnię ze świeżo położonych, plastycznych pasm najdogodniej można obrabiać przez oklepywanie kłociem drewnianym, przez zagładzanie ręką lub kielnią albo przez modelowanie kawałkiem drewna.

Pasma na wpół wyschnięte można obrabiać ostrzem młotka murarskiego albo podobnym narzędziem a potem wygładzać gąbką lub szczotką (zdjęcie 8.4-9). Gлина już prawie wyschnięta daje się jeszcze formować przez ubijanie jej młotkiem. Obróbka powierzchni suchej jest trudna, ponieważ jest to możliwe jedynie przy pomocy raszpli, gruboziarnistego papieru ściernego, wełny stalowej albo ostrego, metalowego narzędzia.

Łatwiej jest ostrożnie nasączyć powierzchnię wodą, aby podczas ponownego wysychania nie powstały pęknięcia, i tak zmiękczoną gładzić gąbką lub szczotką. Zdjęcie 8.4-12 przedstawia tak obrobione ściany z pionową, planowaną na pęknięcia skurczowe bruzdą.

Ściany wykonane z pasm glinianych można w stanie plastycznym łatwo formować rękami, a kiedy są jeszcze wilgotne, można w nich wycinać. Można też dolepiać fragmenty. Zdjęcie 8.4-9 przedstawia ścianę sypialni budynku w Kassel, a zdjęcia 8.4-11 plastycznie uformowaną przez uczestników kursu ścianę zewnętrzną domu powstałego na terenie eksperymentalnym FEB.

Jeżeli powierzchni ściany nie stawia się wysokich wymagań estetycznych, to metoda ta znacznie oszczędza czas budowy.



8.4-9 PLASTYCZNE UKSZTAŁTOWANIE ŚCIAN Z PASM GLINIANYCH POPRZEC WYCINANIE I DEFORMACJĘ



8.4-10 ŚCIANY Z PASM GLINIANYCH



8.4-11 ŚCIANY Z PASM GLINIANYCH UFORMOWANE PLASTYCZNIE PRZEC WYCINANIE I RZEźBIENIE

Z ekonomicznego punktu widzenia technika budowania ścian z pasm glinianych i takie proste zabezpieczenie ich powierzchni ma przewagę nad techniką murowania z cegieł glinianych i nad glinobitką. Jeżeli ściany wymagają otynkowania, to drobne rysy na powierzchni ścian wewnętrznych nie stanowią przeszkody, wręcz przeciwnie – powodują one większą przyczepność tynku.

#### 8.4.5 Naprawa pęknięć i poprawianie spoin

Jeżeli ściana ma zostać otynkowana, nie trzeba naprawiać pęknięć spowodowanych schnięciem. Jeśli jednak ma ona być malowana, to należy po prostu poczekać do jej wyschnięcia i potem wypełnić spoiny i rysy szybko schnącą masą z gliny, 10% gipsu i (albo) wapna, a także z dodatkiem piasku, trocin lub płatków celulozy. Na podstawie doświadczenia można powiedzieć, że dobre wyniki daje następująca mieszanka: 2-3 części grubopiaszczystej gliny, 1 część gipsu i 0,5 do 1 części wapna. Przed użyciem masy spoinę należy spryskać wodą. Dodawanie wapna nie jest konieczne przy spoinach wewnętrznych. Powinno się go jednak dodawać do masy przewidzianej do robót zewnętrznych z uwagi na możliwe zawilgocenie, spowodowane deszczem lub

wodą kondensacyjną. Wapno przeszkadza tworzeniu się mikroorganizmów.

Jeżeli powierzchnia nie będzie w przyszłości malowana farbami kolorowymi, to spoiny najlepiej, jak to opisano wyżej, wypełnić masą o takiej samej konsystencji jeszcze w stanie plastycznym ściany. Przy większych spoinach ten proces należy jednak powtarzać kilkakrotnie. Jak pokazano na zdjęciu 8.4-13, można również po wyschnięciu ściany wypełniać fugi, zagęszczając glinę uderzeniami drewnianego klocka lub młotka.

#### 8.4.6 Czasochłonność

Jak wykazało doświadczenie, czasochłonność wykonania ściany z pasm jest porównywalna ze wznoszeniem ściany elewacyjnej z cegły. Potrzebny czas wynosi tu ok. 0,6 do 0,7 roboczo-godzin na 1 m<sup>2</sup> ściany (4 do 5 godz./m<sup>3</sup>). Warunkiem wstępnym jest optymalna mieszanka i krótkie drogi transportu. Wypełnianie spoin i wygładzanie powierzchni wymaga, w zależności od potrzeb estetycznych, dodatkowo 50 do 100% tego czasu. Zbędne jest potem tynkowanie i tapetowanie. Jeżeli powierzchnia może posiadać nierównomierną strukturę, czasochłonność zmniejsza się o połowę (wszystkie podane czasy zakładają wykonywanie robót przez osoby doświadczone).



8.4-12 WYGŁADZANIE ŚCIANY Z PASM GLINIANYCH



8.4-13 USZCZELNIANIE SPOINY KLOCKIEM DREWNIANYM

# 9. WYPEŁNIANIE MOKRĄ GLINĄ KONSTRUKCJI SZKIELETOWYCH

## 9.1 Wiadomości ogólne

Już od tysięcy lat używa się plastycznie rozrobionej gliny do wykonywania spoin konstrukcji palisadowych i blokowych oraz do uszczelniania ścian z plecionek (rys. 9.1-1). W konstrukcjach szachulcowych stosuje się od setek lat plastyczną glinę do wypełniania przestrzeni między belkami – albo w formie masy rzucaanej na plecionki, albo do produkcji zwojów słomiano-glinianych. Dzisiaj technik tych używa się w Europie jedynie przy pracach restauracyjnych, do wznoszenia budynków nowych raczej nie, bo są one zbyt pracochłonne.

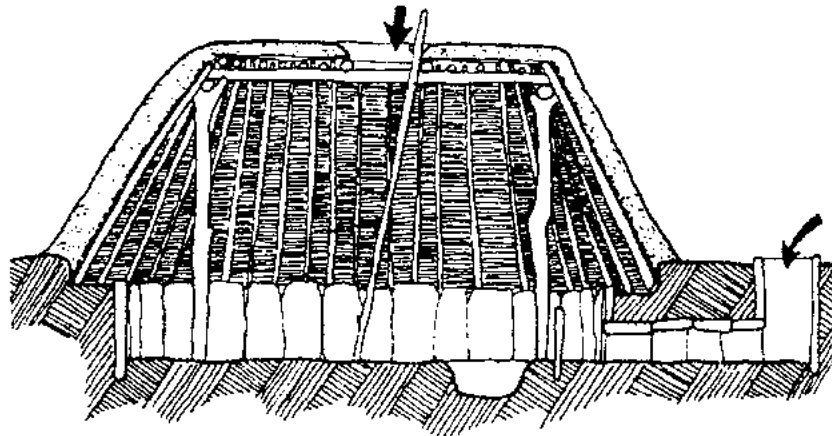
Nowoczesne metody wypełniania konstrukcji szkieletowych, gdzie stosuje się specjalne urządzenia redukujące czas pracy, omówione są w rozdziałach 9.6 i 9.7.

## 9.2 Obrzucanie gliną

Wypełnione gliną konstrukcje ścienne, z poziomo i pionowo krzyżujących się lub zaplecionych kijów i gałęzi, znane są we wszystkich kulturach strefy tropikalnej, podzwrotnikowej i umiarkowanej. Technika ta jest prawdopodobnie starsza od glinobitki i murowania z cegieł.

Na obszarze angielskojęzycznym nazywa się ją „wattle and daub”, hiszpańskim „bahareque”, „bajareque” albo „bareque”, a na terenach niemieckojęzycznych „Lehmbewurf”, co oznacza obrzucanie gliną.

W tradycyjnej technice obrzucania gliną nośnymi elementami są albo wszystkie profile pionowe, albo (co występuje częściej) grubsze słupy



9.1-1 PRZEKRÓJ PRZEZ TZW. „PITHOUSE”, FORMĘ MIESZKALNĄ INDIAN PUEBLO W AMERYCE PÓŁNOCNEJ, III WIEK N.E. (BARDOU, ARZOUMANIAN, 1978)

rozstawione w odległości od siebie od 1 do 3,5 m. Na słupach spoczywają belki, podtrzymujące konstrukcję stropu i dachu. Przestrzeń międzysłupowa tworzą kraty z ciasno splecionych ze sobą cienkich profili drewnianych, rur bambusowych lub trzciny (wielkość krat: mniej niż 10 x 10 cm). Plecionka obrzucana jest z obu stron brytami gliny, a powstała powierzchnia zagładzana.

Jeżeli tynk gliniany nie przykryje profili drewnianych na grubość co najmniej 2 cm albo jest spękany, to prowadzi to do szybkiego wyłupkania i odpryskiwania gliny, co z kolei wpływa na

nietrwałość konstrukcji (zdjęcie 9.2-1). Powstałe w ten sposób elementy budowlane wymagają stałej konserwacji. Trwałość konstrukcji glinianych wykonanych innymi technikami jest większa.

W Niemczech już od czasów średniowiecza przestrzenie międzysłupowe budynków o konstrukcji szachulcowej wypełniane były w ten sposób, że w górnych i dolnych belkach wycinano w odstępach 15 do 25 cm karby na głębokość ok. 2 cm i wkładano tam tyczki dębowe grubości ok. 5 cm. Między tyczki wplatały różgi wierzbowe grubości 1 do 2 cm, całą przestrzeń obrzucano z obydwu



9.2-1 TRADYCYJNA KONSTRUKCJA ŚCIANY OBRZUCONEJ GLINĄ, WENEZUELA



9.2-2 WYPEŁNIANIE PRZESTRZENI MIĘDZYBELKOWYCH GLINĄ ZMIESZANĄ ZE SŁOMĄ W HISTORYCZNEJ KONSTRUKCJI, SKANSEN KOMMERN



stron gliną zmieszaną ze słomą i potem tynkowano (zdjęcie 9.2-2).

Mieszanek słomiano-glinianą można wyprodukować przykładowo z 1 części gliny i 6 do 9 części przestrzennych sieczki ciętej z luźnej słomy na długość 6 cm. Masa powinna przed jej użyciem leżakować przez 12 do 24 godzin. Jeżeli uformujemy z tej mieszanki kulę o średnicy 10 cm i po jej upadku spłaszczona powierzchnia będzie miała średnicę 13 do 14 cm, to uzyskaliśmy właściwą konsystencję. Rysy i powstałe po wyschnięciu na krawędziach pęknięcia należy nawilżyć i wypełnić zaprawą nie zawierającą sieczki. W celu zmniejszenia rys skurczowych można dodać do zaprawy włosy zwierzęce długości 1 do 2 cm albo włókna kokosowe (por. rozdz. 13.3 i 13.4). Aby uzyskać równomierną płaszczyznę, można też użyć tej mieszanki z masy gliniano-słomianej do wykonania cienkiego tynku na całej powierzchni.

Czas schnięcia dla ścian grubości 14 do 18 cm wynosi 2 do 6 miesięcy. Im więcej w mieszaninie jest włókien, itu i pyłu, tym dłużej trwa jej schnięcie.



9.3-1 WYPEŁNIANIE PRZESTRZENI MIĘDZYKONSTRUKCYJNEJ TYNKIEM GLINIANYM LEKKIM

### 9.3 Technika natryskowa

Ponieważ metoda obrzucania gliną jest bardzo pracochłonna, podejmowane są różne próby natryskiwania plecionek agregatami tynkarskimi. Problematyczna jest tu zbyt płynna konsystencja, co podczas schnięcia powoduje większe spękania.

Powstawaniu rys zapobiec można przez dodanie wystarczającej ilości gruboziarnistych lub włóknistych materiałów. Np. mieszanek gliny z włóknami kolanopi można w jednym procesie nanieść maszynowo na grubość 5 cm (Meingast 1998). Firma HAACKE stosuje w produkcji o nazwie CELLCO mieszanek z gliny, śrutu korkowego, sieczki i celulozy. Podobny, nadający się do maszynowego natrysku gliniany tynk lekki, składający się przede wszystkim z trocin, opracował Hans-Bernd Kraus z Aachen. Tynk ten można nakładać warstwami 4 do 6 cm i służy przede wszystkim do wypełniania przestrzeni międzykonstrukcyjnej budynków szachulcowych. Natrykuje się go od środka budynku na płyty cementowo-wiórówce, które stanowią tracone deskowanie (zdjęcie 9.3-1). Kolejny rodzaj lekkiego tynku natryskowego zostanie omówiony w rozdziale 11.5.

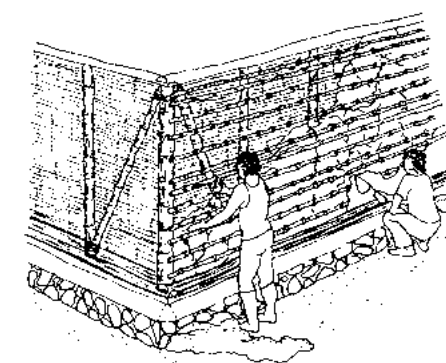
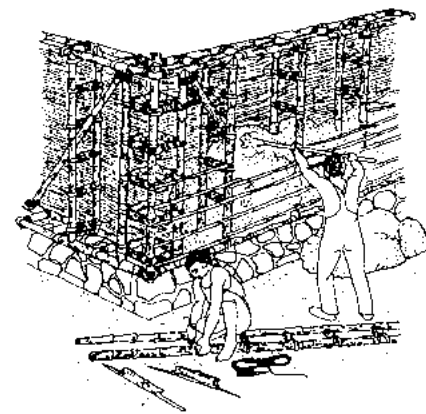
### 9.4 Technika napętniania gliną

Metoda napętniania gliną jest współczesnym wariantem tradycyjnej techniki obrzucania i stosowana jest często w wielu krajach rozwijających się z uwagi na niewielkie zapotrzebowanie na urządzenia i małą pracochłonność. Pionowe elementy z bambusa lub profile drewniane mocuje się z obydwu stron w odstępach 12 do 20 cm, a powstałą pustą przestrzeń wypełnia się gliną albo poprzez narzucanie łopata, albo przez wciskanie brył ręką, a następnie gliną zagęszcza się drewnianym ubijakiem (rys. 9.4-1).

Zdjęcie 9.4-2 przedstawia podobny system z prefabrykowanymi elementami drewnianymi, zastosowanych przy realizacji projektu Low-cost-housing w Bahia w Brazylii.



9.4-2 PREFABRYKOWANE ELEMENTY SZKIELETU DREWNIANEGO WYPEŁNIONEGO GLINĄ, BRAZYLIA



9.4-1 TECHNIKA NAPEŁNIANIA GLINĄ KONSTRUKCJI DREWNIANEGO SZKIELETU (WG VORHAUERA, 1979)



## 9.5 Nawinięte tyczki i „butelki gliniane”

W Niemczech i we Francji można spotkać historyczne budowle szachulcowe, których pola między elementami nośnymi wypełnione są nawiniętą na tyczki gliną, połączoną ze słomą (rys. 9.5-1). Kiedy przestrzeń między słupami mają wysokość kondygnacji, a elementy pionowe konstrukcji są odpowiednio uformowane, to technika ta jest znacznie mniej czasochłonna niż wypełnianie poprzeczkami, plecionkami i obrzucaną gliną.

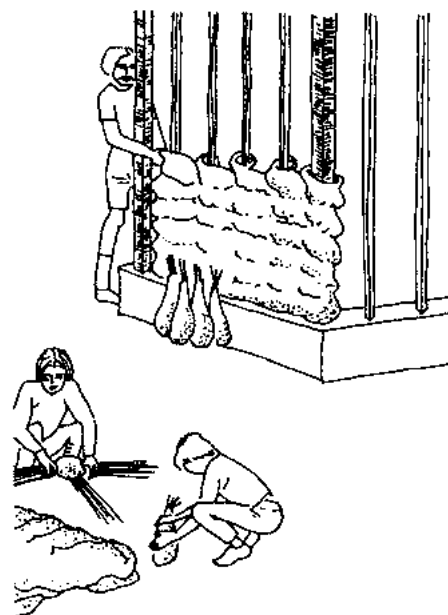
Przy najczęściej stosowanej w Niemczech technice moczy się wiązkę długiej słomy w szlamie glinianym i wyciąga się ją, równocześnie zwijając. Tak nasycyony powróz słomiany kładzie się diagonalnie na stole roboczym, powleczonym 2 cm zaprawą (z piaszczystej gliny i siecзки) i zwija na zanurzoną wcześniej w szlamie tyczkę (rys. 9.5-2). Zwoje o grubości 10 do 15 cm wkłada się poziomo w przestrzeń między słupami, a nierówności wyrównuje tynkarską zaprawą glinianą z sieczką.

Rozpowszechnioną przede wszystkim we Francji inną metodą, która wydać się prostsza, ale wymaga większych zdolności manualnych, przedstawia rys. 9.5-2 oraz rys. 9.5-3. Tutaj można używać nawet słomy z prasowanych bali, jeżeli nie mamy do dyspozycji słomy naturalnej o długich łodygach.

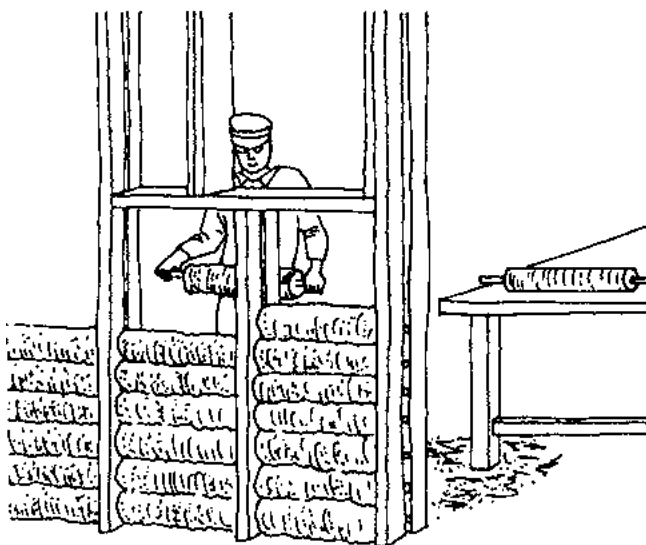
W FEB, podczas próbowania jednego z wariantów tej metody, powlekano na grubość 2 cm drucianą lub plastikową siatkę tynkarską zaprawą glinianą, zawierającą gruboziarnisty piasek. Wszystko to zawijano na kij lub bambus o średnicy ok. 3 cm (zdjęcie 9.5-4 i 9.5-5) i wkładano między pionową konstrukcję ściany, która posiadała przygotowane do tego celu wpusty (zdjęcie 9.5-6). Powstała interesująca powierzchnia, podobna jak przy budowie z pasm glinianych (rozdz. 8.4). W porównaniu jednak z tą ostatnią techniką, metoda owiniętych tyczek z zastosowaniem siatki ma dwie zalety. Nie powstają pęknięcia przy wysychaniu (pod warunkiem, że zaprawa jest właściwie przygotowana) oraz nie są potrzebne tu żadne maszyny. Czasochłonność produkcji takich

elementów jest jednak większa niż przy wyciskaniu prasą pasm, mniejsza jednak niż przy starej metodzie owijania kijów gliną ze słomą.

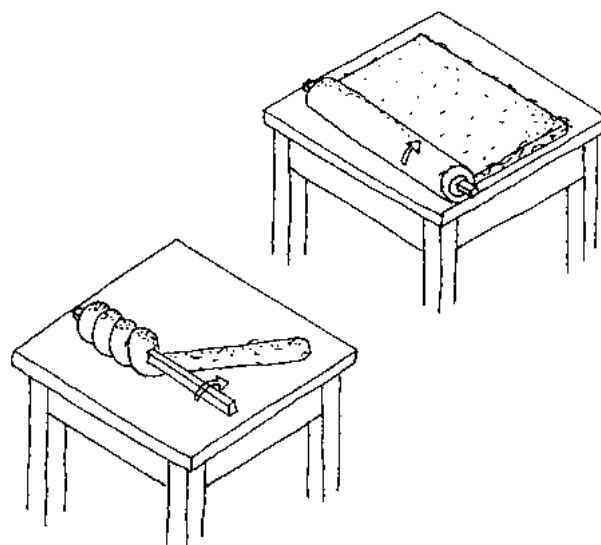
Rysunek 9.5-3 przedstawia tradycyjną technikę zwaną budowaniem z butelek



9.5-3 TRADYCYJNA METODA BUDOWANIA Z „BUTELEK GLINIANYCH”



9.5-1 KONSTRUKCJA ŚCIANY Z MIESZANKI GLINIANO-SŁOMIANEJ NAWINIĘTEJ NA TYCZKI (WG HOUBENA, GUILLARD 1984)



9.5-2 TRADYCYJNA METODA PRODUKCJI ELEMENTÓW Z TYCZEK OWINIĘTYCH GLINĄ ZE SŁOMĄ (WG VOLHARDA 1983)

glinianych. Tutaj wypełnianie konstrukcji ściany zaczyna się od przybijania gwoździ okrągłych lub kanciastych tyczek w odstępach 15 do 20 cm. Potem na skrzyżowaniu dwóch wiązek słomy układa się ok. 1,5 litrowe bryły gliny i cztery końce słomy podciąga się do góry. Powstały pęk oblepia się ze wszystkich stron gliną, nadając mu kształt butelki. Szyjkę owej butelki owijają się dookoła jednej z tyczek w konstrukcji ściany, a grubszą jej część wciska się między kije, przykrywając pętlę. Powierzchnię budowanej ściany wyrównuje się przez uciskanie. Po jej wyschnięciu wygładza się pacą lub tynkuje.

### 9.6 Konstrukcje ścian wypełniane gliną lekką

Wyżej opisane metody wypełniania przestrzeni międzykonstrukcyjnej mają tę wadę, że zbudowane tak elementy nie posiadają wystarczającej izolacyjności i dlatego w klimacie środkowej Europy niezbędna jest dodatkowa izolacja ścian zewnętrznych. Dlatego też współcześnie używa się do tego celu gliny lekkiej. Metody ubijania takiej

gliny w szalunkach, wsypywania jej lub pompowania do desek omówi rozdział 10. Nowsze, wypełnione lekką gliną drewniane konstrukcje słupowe o zwiększonej izolacyjności opisuje rozdział 14.2.1. Dodatki do dobrze izolującej gliny lekkiej omawiają rozdziały 4.7.2 do 4.7.5.

### 9.7 Konstrukcje ścian wypełniane pasmami lub rękawami z gliną

Przestrzenie między konstrukcją ściany szkieletowej można wypełniać również wyciskanymi prasą pasmami, por. rozdz. 8.4.

Podobnie wyglądają powierzchnie budowane rękawami wypełnianymi gliną przy pomocy pompy. Ta nowo rozwinięta technologia omówiona jest w rozdziale 10.7. Jej zaletą jest brak pęknięć skurczowych podczas schnięcia oraz stosunkowo niewielka czasochłonność produkcji.

Firma Haacke z Celle, Niemcy, jest wytwórcą płyty grubości 15 cm z gliny lekkiej. Jeszcze wilgotny materiał umieszcza się w opakowaniu próżniowym. Płyta ta daje się plastycznie przekształcać

i dzięki temu łatwo ją zbudować w przestrzeni międzykonstrukcyjnej.

Współczynnik oporu dyfuzyjnego pary wodnej  $\mu$  można ustalić w zależności od potrzeb między 10 a 50. Wartość  $\lambda R$  wynosi 0,08 albo 0,09 W/mK.



9.5-6



9.5-4



9.5-5

9.5-4 DO 9.5-6 WSPÓŁCZESNY SPOSÓB BUDOWANIA PRZY UŻYCIU TYCZEK OWINIĘTYCH GLINĄ

# 10. UBIJANIE, WSYPYWANIE I POMPOWANIE GLINY LEKKIEJ

## 10.1 Wiadomości ogólne

Kolejne rozdziały opisują różne techniki ubijania, wsypywania i pompowania gliny lekkiej przy budowie ścian, posadzek i konstrukcji stropów.

Rozdziały 4.7.2 do 4.7.5 opisują różne rodzaje gliny lekkiej. Rozdział 9.6 objaśnia, w jaki sposób można stosować glinę lekką do wypełniania ściennej konstrukcji szkieletowej; rozdział 14.5 - w jaki do przestrzeni między krokwiami, a zastosowanie jej jako tynku natryskowego omawia rozdz. 11.5. Konstrukcja drewniana słupowa o zwiększonej izolacyjności cieplnej omówiona jest w rozdziale 14.2.1, a możliwość późniejszego wykonania dodatkowej izolacji ścian gliną lekką opisuje rozdz. 13.6

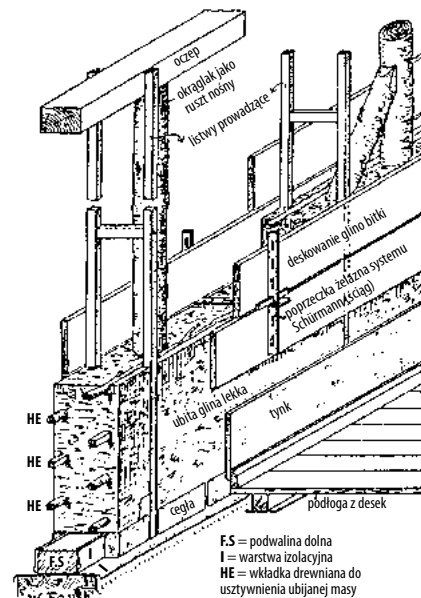
## 10.2 Systemy deskowań do budowy ścian z gliny lekkiej

Ściany z ubijanej gliny lekkiej można wykonywać w dowolnym deskowaniu. Rys. 10.2-1 przedstawia proponowany przez Fautha system z listwami prowadzącymi, które służą równocześnie jako elementy dystansowe. Przy stosowaniu takiego deskowania, nazywanego drabinowym, można zrezygnować ze stalowych poprzeczek, jeżeli deski albo płyty szalunkowe będą bezpośrednio mocowane do prowadnic przy pomocy śrub lub zwornic.

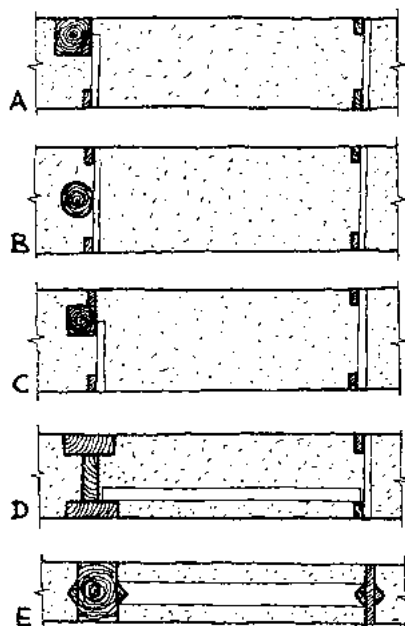
Zamocowanie desek lub płyt zależy od tego, czy słupy nośne wykonane są z okrągłaków, z krawędziaków, czy też z dwuteowych profili (rys. 10.2-2). Dodatkowo, oprócz słupów do mocowania deskowań potrzebne są ruszty

drabinowe lub bale. Przy stosowaniu typowych płyt szalunkowych grubości od 19 do 24 mm odległość między prowadnicami i ściągnięciami nie powinna być większa niż 1,0 do 1,5 m, ponieważ podczas ubijania gliny deskowanie mogłoby ulec wybruszeniu. Przy większym rozstawie należy stosować odpowiednio grubsze bale.

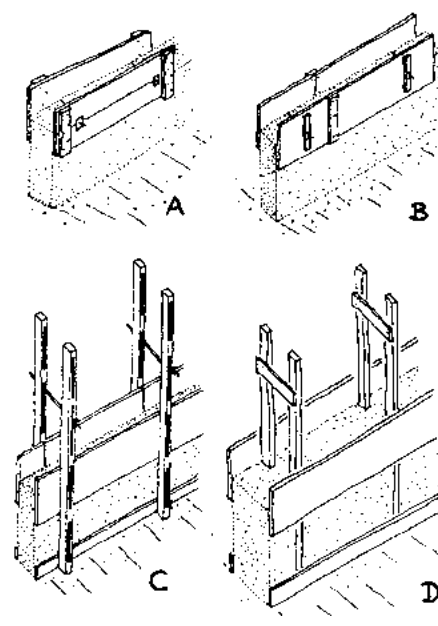
W celu zaoszczędzenia materiału można np. płyty szalunkowe deskowania ślizgowego o wysokości 50 cm montować tak, żeby przykrywały one w połowie ubitą już ścianę (rys. 10.2-3). Klamrowanie przeciwległych płyt wykonuje się typowymi ściągnięciami i zwornicami. W celu uniknięcia przylepania się kawałków gliny należy deskowanie



10.2-1 SYSTEM DESKOWANIA DO BUDOWY ŚCIANY Z GLINY LEKKIEJ ZE SŁOMĄ (FAUTH, 1948)



10.2-2 PRZEKROJE POZIOME POKAZUJĄCE RÓŻNE SPOSOBY MOCOWANIA DESKOWAŃ



10.2-3 SYSTEMY DESKOWAŃ ŚLIZGOWYCH (A I B WG VOLHARDA 1983)



przed montażem nawilżyć, a po napętnieniu i ubiciu ściągać do góry lub w bok.

Z uwagi na oszczędność czasu zaleca się stosowanie jarzm o wysokości kondygnacji (por. rys. 10.2-3 C oraz 10.2-3 D) i nie rozbieranie dolnych desek szalunku.

Wadą stosowanych często przy wznoszeniu ścian z gliny zmieszanej ze słomą jarzm drabinowych jest to, że pozostawiane w warstwie zewnętrznej drewniane prowadnice narażone są na nasiąknięcie wodą deszczową i kondensacyjną, a tym samym na zbutwienie.

W klimacie środkowej i północnej Europy warte polecenia są systemy deskowań z rozbieralnymi, zewnętrznymi jarzmami, takimi, jakie stosuje się przy glinobitce (por. rozdz. 5.2 i 5.6.1).

Przy wznoszeniu ścian z gliny lekkiej można stosować deskowania oszczędne, redukujące także czas pracy przy ich montażu i rozbiórce oraz przyspieszające schnięcie materiału. Zdjęcie 10.2-4 przedstawia ścianę grubości



10.2-4 BUDOWA ŚCIANY Z GLINY LEKKIEJ BEZ DESKOWANIA WEWNĘTRZNEGO

30 cm z dość sztywnej, mocno wiążącej mieszanki gliny z keramzytem. Materiał ten układano kielnią, bez użycia wewnętrznego szalunku, w warstwy wysokie na 50 cm. Aby uniknąć deformacji pod wpływem ciężaru własnego, przymocowywano (z zachowaniem odpowiedniego dystansu) do pionowych



10.3-1 ORGANIZACJA BUDOWY PRZY ZASTOSOWANIU GLINY LEKKIEJ ZE SŁOMĄ (FAUTH 1948) OPIS NA RYSUNKU: WYKONANIE ŚCIANY Z GLINY LEKKIEJ:

1. SŁOMA I INNE MATERIAŁY WŁÓKNISTE SĄ ROZDROBNIONE NA 10-15 CM
2. PŁYNNĄ GLINĄ JEST WYLEWANA NA KAŻDĄ WARSTWĘ MATERIAŁU WŁÓKNISTEGO...
3. I DOBRZE ROZMIESZANA WIDŁAMI,
4. WKŁADANIE GLINY LEKKIEJ DO DESKOWANIA ŚLIZGOWEGO,
5. UBIJANIE MASY ORAZ...
6. WKŁADANIE ŻERDZI POWODUJE USZTYWNIENIE ŚCIANY

okrągłaków co 50 cm bale szerokie na 20 cm. Tą techniką można było wznosić ściany narastająco, aż do wysokości połowy kondygnacji i to bez przerwy na schnięcie. Warstwę zewnętrzną stanowiły płyty z wełny mineralnej przytrzymywane łąkami.

Proces schnięcia znacznie przyspieszymy, jeżeli przy wznoszeniu ściany z pompowanej lub nasypywanej gliny lekkiej stosujemy tekstylne, tracone deskowanie, co przedstawia następujący rozdział.

### 10.3 Ściany ubijane z gliny lekkiej ze słomą

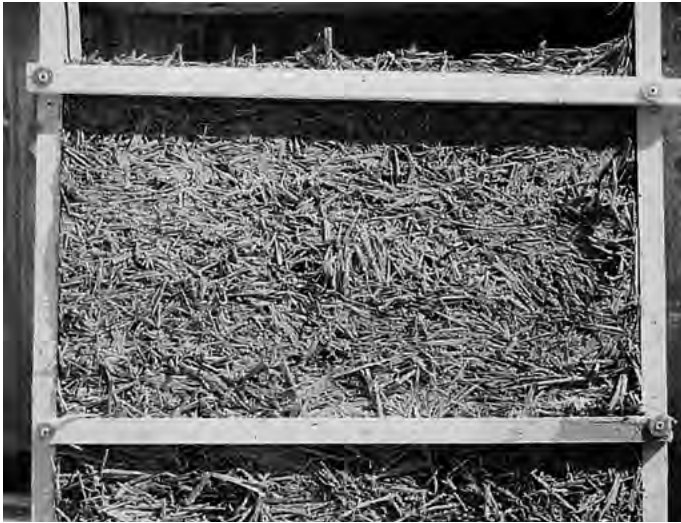
Rysunek 10.3-1 przedstawia organizację budowy ścian z gliny lekkiej. Tutaj rozrobioną do konsystencji szlamu glinę miesza się z siewką długości 10 do 15 cm. (Produkcja gliny lekkiej ze słomą omówiona została dokładniej w rozdziale 4.7.2).

Mieszanka wrzucana jest rękami lub widłami do szalunku, równomiernie rozkładana w warstwy 10 do 20 cm wysokości i zagęszczona ubijakiem. Dla usztywnienia ścian zarówno cienkich jak i grubych, ale o dużej zawartości słomy, należy co 40 do 80 cm zakleszczać między elementami pionowymi profile poziome. Można je też do siebie przybijać, (rys. 10.2-2, rozwiązanie D i E).

Ścianę wykonaną z mocno zagęszczonej mieszanki ze słomą, zawierającej stosunkowo dużo gliny, można natychmiast rozszalować. Lekkie, mniej zagęszczone mieszanki powinny przedtem trochę wyschnąć, ponieważ istnieje niebezpieczeństwo, że ściana ulegnie deformacji albo nawet się zawali. Aby umożliwić wyschnięcie, nie można stosować zamkniętych deskowań. Najlepsze są zatem szalunki wykonane z desek z pozostawieniem szczelin.

Osiadanie w wyniku schnięcia może wynosić, przy niewielkiej gęstości materiału, do 10% wysokości ściany,





**10.3-2** SZCZELINA POWSTAŁA W WYNIKU OSIADANIA PODCZAS SCHNIĘCIA ELEMENTU O WYS. 1 M Z GLINY LEKKIEJ ZE SŁOMĄ



**10.3-3** FRAGMENT ZBUTWIAŁEJ ŚCIANY Z GLINY LEKKIEJ ZE SŁOMĄ

tak jak to było przy próbnym elemencie wysokości 1 m (zdjęcie 10.3-2). Powstałe szczeliny należy starannie i tak długo wypełniać, aż przestaną pojawiać się kolejne. Jeżeli fugi nie zostaną zamknięte, naruszy to w znacznym stopniu jakość przyszłego mieszkania poprzez złą izolację dźwiękową, nie szczelność na działanie wiatru i wysokie koszty ogrzewania. Ponadto mogą w tych miejscach powstać mostki termiczne i pleśń, co szkodzi zarówno budowli, jak i zdrowiu człowieka.

Nie należy lekceważyć niebezpieczeństwa zbutwienia ścian zbudowanych ze szczególnie lekkich mieszanek gliny ze słomą. Zdjęcie 10.3-3 przedstawia fragment ściany zewnętrznej o grubości 30 cm, zbudowanej w 1989 roku w Friedberg-Heimathausen (Niemcy). Wydawało się, że jest ona sucha i została wzniesiona według wszelkich prawideł budowania, ale już po kilku miesiącach była zmurszała w środku. Wykonawcy zapewniali, że wszystkie zasady Volharda (1983) były dokładnie przestrzegane (Schmitt, 1993). Pokazany na pierwszym planie zdjęcia przekrój drewnianego słupa wykazuje także zbutwienie na głębokość ok. 2 cm.

Analiza próbki pobranej z niezniszczonej części ściany wykazała gęstość ok.  $350 \text{ kg/m}^3$ . W wyniku badań przeprowadzonych przez FEB ustalono, że słoma z uwagi na swą dużą siłę kapilarną zatrzymuje wodę ekstremalnie długo i pomimo glinianej otuliny środek ściany o grubości 30 cm pozostaje wilgotny przez wiele miesięcy i stanowi doskonałe środowisko dla grzybów pleśniowych. Konsekwencją w tym przypadku było usunięcie elementów z gliny lekkiej i zastąpienie ich materiałem konwencjonalnym. Nie był to pojedynczy przypadek, co potwierdzają inne relacje (m.in. Schmitt, 1993, str. 24).

Ryzyko stosowania gliny lekkiej ze słomą o gęstości poniżej  $600$  czy  $500 \text{ kg/m}^3$  potwierdza także wiele firm budujących domy z gliny.

Jak wykazują obserwacje, tuż pod powierzchnią ścian z gliny lekkiej o gęstości powyżej  $500 \text{ kg/m}^3$  często zagnieżdżają się owady zwane psotnikami (łac. *Liposcelis bostrychophilus*), odżywiające się słomą.

Poza tym materiał ten nie jest, jak to się często uważa, „wypróbowanym materiałem historycznym”. Przestrzenie międzybelkowe w zabytkowych,

szachulcowych domach wypełnione są mieszanką gliny i słomy o gęstości większej niż  $1200 \text{ kg/m}^3$  i nie można tego porównywać z mieszanką o gęstości  $500 \text{ kg/m}^3$  (albo mniejszej).

Stosowanie gliny lekkiej ze słomą do budowy cienkich ścian wewnętrznych i stropów nie nastręcza takich problemów, ponieważ schną one szybciej i nie występuje tu niebezpieczeństwo przemoczenia przez wodę kondensacyjną.

#### 10.4 Ściany z ubijanej lub wsypywanej gliny lekkiej z drewnem

Wióry i trociny jako dodatki do gliny są tanie i łatwe do nabycia. Technika budowania ścian z takiej mieszanki jest łatwiejsza niż z gliny ze słomą i dlatego stosowana jest częściej (por. rozdz. 4.7.5). W porównaniu z gliną lekką ze słomą, jej wadą jest to, że drewno posiada niewielką izolacyjność termiczną i ekstremalnie długo zatrzymuje wilgoć, co może prowadzić do zmurszenia i zniszczenia przez pleśń.

Właściwość ta była powodem szkód w wysokości ok. 1 miliona euro, powstałych już po zakończeniu restauracji

zabytkowej stodoły w Grebenstein. Elementy drewniane konstrukcji nośnej i plecionki zostały w znacznym stopniu zniszczone przez grzyby (zdjęcie 10.4-1). Powodem było wykonanie za grubych ścian (ok. 50 cm, z tego 17 cm obrzutki z gliny ze słomą i 30 cm mieszanki gliniano-drewnnej). Do mieszanki użyto skrawków drewna z korą, a ściany otynkowano przed całkowitym wyschnięciem.

### 10.5 Ściany z gliny lekkiej z dodatkami mineralnymi wykonane przez ubijanie, wsypywanie i pompowanie.

#### Wiadomości ogólne

Poszczególne dodatki mineralne do gliny omówiono w rozdziale 4.7.3. Podobnie, jak glinę lekką ze słomą i z rozdrobnionym drewnem, tę z dodatkami mineralnymi również można ubijać

w szalunkach. Poza tym nadaje się ona, przy odpowiedniej konsystencji, do wsypywania i pompowania. W porównaniu z poprzednimi mieszankami ma kilka zalet: szybciej schnie, ma większą wytrzymałość, wykazuje większą przenikalność pary wodnej oraz daje się łatwo tynkować.

#### Ściany ubijane

Zdjęcie 10.5-1 przedstawia budowę ściany ubijanej w Ekwadorze. Jako dodatku lekkiego do gliny użyto pumeksu. Ściana, którą po zakończeniu ubijania natychmiast rozdeskowano, wykazywała bardzo dużą wytrzymałość. Pomimo tego nadawała się jeszcze do dalszej obróbki. Jak pokazuje zdjęcie 10.5-2, zewnętrzne skosy podokienne wykonano po prostu maczetą.

#### Ściany wsypywane i wlewane

Glina lekka z dodatkami mineralnymi posiada kolejną zaletę. Można ją bez ubijania wsypać do szalunku. Musi wtedy posiadać konsystencję trochę stabilniejszą niż zaprawa. Mieszanka nie musi być wibrowana, jedynie w rogach deskowania może być potrzebne



10.4-1 ZNISZCZONA PRZEZ GRZYBY PLECIONKA W ŚCIANIE



10.5-1 BUDOWA UBIJANEJ ŚCIANY Z GLINY LEKKIEJ Z PUMEKSEM, PUJILI, EKWADOR



10.5-2 WYKONYWANIE NOŻEM SKOSÓW PARAPETU





10.5-3



10.5-4

10.5-3, 10.5-4 PRODUKCJA GLINY LEKKIEJ Z KERAMZYTEM W MIESZARCE O OBIEGU WYMUSZONYM I WSYPIWANIE DO SZALUNKU)

pogrzebanie łąką, aby breja lepiej się rozplęwała.

Zdjęcia 10.5-3 i 10.5-4 przedstawiają prostą metodę. Gлина lekka wytwarzana jest w mieszarce o obiegu wymuszonym. Najpierw wrzuca się glinę i dodaje wodę, a w razie potrzeby piasek, a potem keramzyt, pumeks itp. Następnie wysypuje się mieszankę do wiadra i wysypuje do deskowania. Materiał ten produkuje się jeszcze prościej i szybciej, jeżeli uzyskany przy pomocy ręcznej mieszarki szlam gliniany (zdjęcie 10.5-5) wlewa się do obracającej się betoniarki wolnospadowej napełnionej keramzytem. Po 4 minutach gotową mieszankę znosi się w większych pojemnikach do szalunku, por. 10.5-6 i 10.5-7.

Gлина lekka z dodatkami mineralnymi ma tak wysoką kleistość, że górna część dekowania zewnętrznego może pozostać otwarta na wysokość 20 do 30 cm. Mieszankę wrzuca się kielnią, a potem wciska i gładzi drewnianym ubijakiem (zdjęcie 10.5-8).

W miejscowości Tata na Węgrzech, przy budowie dwukondygnacyjnego budynku mieszkalnego o ścianach nośnych (statycznie obciążonych) grubości

50 cm, wlewano mieszankę gliny z keramzytem przy użyciu typowego pojemnika używanego do podawania betonu (zdjęcie 10.5-9).



10.5-9 PODAWANIE DO DESKOWANIA MIESZANKI GLINIANEJ Z DODATKAMI MINERALNYMI PRZY BUDOWIE DWUKONDYGNACYJNEJ ŚCIANY NOŚNEJ W TATA, WĘGRY



10.5-8 UCISKANIE OSTATNIEJ, NARZUCONEJ WARSTWY W NIEZADESKOWANYM MIEJSCU



10.5-5

10.5-5 PRZYGOTOWYWANIE SZLAMU GLINIANEGO MIESZARKĄ RĘCZNĄ



10.5-6

10.5-6, 10.5-7 MIESZANIE GLINY LEKKIEJ Z DODATKAMI MINERALNYMI W BETONIARCE WOLNOSPADOWEJ I WSYPIWANIE DO SZALUNKU



10.5-7

Bardzo ekonomiczna metoda, oszczędzająca deskowanie, polega na użyciu z obydwu albo z jednej strony ściany maty trzcinowej, która pozostaje w konstrukcji jako tracone deskowanie i równocześnie jest podkładem pod przyszły tynk wewnętrzny. W tym przypadku gliny nie należy ubijać, a jedynie wlać. Powinna ona mieć odpowiednią, brejowatą konsystencję. Trzcinową matę trzeba, w zależności od grubości i wysokości ściany, co 50 do 60 cm wzmocnić tętą, co zapobiegnie wybrzuszeniom (zdjęcie 10.5-10). Przy małych powierzchniach ścian szczególnie opłacalny jest jednostronny szalunek i obrzucanie gliną z drugiej strony (zdjęcie 10.5-11). Jest to możliwe przy użyciu gęstej gliny, która dokładnie wypełnia wszystkie przestrzenie między mineralnymi dodatkami (pumeksem, szkłem porowatym, keramzytem itp.).

Możliwości wykorzystania tekstylnego, traconego szalunku do budowy ścian z gliny lekkiej z dodatkami mineralnymi przedstawia projekt autora (zdjęcia 10.5-12 do 10.5-14). Tkaninę



10.5-15 POMPOWANIE GLINY LEKKIEJ Z DODATKAMI MINERALNYMI

jutową, grubo tkany materiał na firany albo tkaninę używaną do zbrojenia tynku przybijano lub mocowano śrubami poprzez listwy do konstrukcji drewnianej ściany i do belek stropowych. Dodatkowo wzmocniano wszystko linami. Wskutek naciągnięcia się tkaniny po wypełnieniu jej gliną powstały

elementy o formie poduszek. Technika ta otwiera różnorodność możliwości indywidualnego kształtowania powierzchni elementów glinianych.

#### Ściany powstałe przez pompowanie

Możliwość transportowania gliny lekkiej z dodatkami mineralnymi przy pomocy

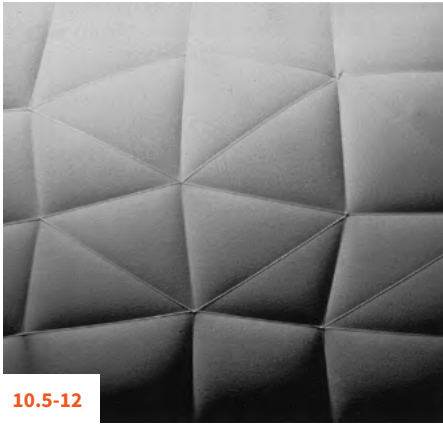


10.5-10 WYPEŁNIANIE GLINĄ LEKKĄ TRACONEGO DESKOWANIA, SŁUŻĄCEGO PÓŹNIEJ ZA PODKŁAD NOŚNY DLA TYNKU



10.5-11 WRZUCANIE GLINY LEKKIEJ Z DODATKAMI MINERALNYMI DO DESKOWANIA MAŁEGO ELEMENTU





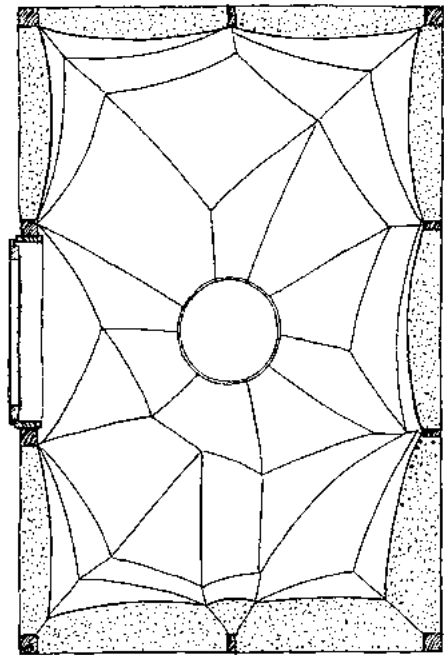
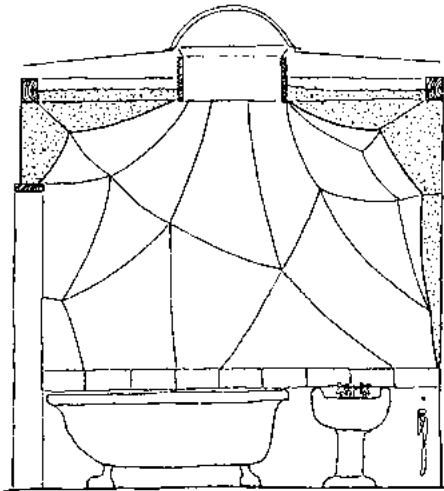
10.5-12



10.5-13

10.5-12 | 10.5-13 MODELE ŚCIAN POKOJU Z GLINY Z DODATKAMI MINERALNYMI WYKONANE W TEKSTYLNYM, TRACONYM SZALUNKU

pompy do zapraw i betonu jest szczególnie korzystna w budownictwie przemysłowym. W porównaniu z konsystencją gliny nadającej się do wsypywania, ta powinna być bardziej brejowata, ale można ją wtedy transportować wiele metrów do góry i wiele w poziomie. W pond 300-letnim budynku o konstrukcji szkieletowej, przedstawionym na zdjęciu 10.5-15, usunięto całkowicie stary materiał wypełniający przestrzeń między belkami i zastąpiono go gliną lekką z keramzytem. Aby zwiększyć izolację cieplną, odsunięto szalunek wewnętrzny o 10 do 15 cm od drewnianej konstrukcji i wypełniono tę lukę gliną lekką. Przy zastosowaniu tej technologii należy pamiętać, że jeżeli pompa nie pracuje systemem ciągłym, należy rurę albo przymocować, albo bardzo mocno trzymać z uwagi na „rzucanie” jej końcówką.



10.5-14 PRZEKRÓJ I WIDOK STROPU W ŁAZIENCIE Z GÓRNYM, CENTRALNYM OŚWIETLENIEM

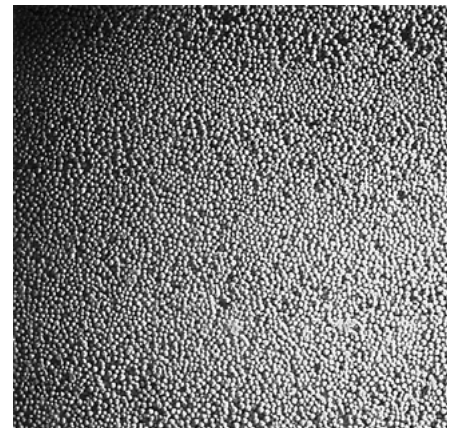
### Obróbka powierzchni

Powierzchnia ściany z ubijanej, wrzuconej albo pompowanej do szalunku gliny lekkiej o gęstości od 600 do 900 kg/m<sup>3</sup> jest po rozdeskowaniu chropowata (zdjęcie 10.5-16). Łatwo można ją wygładzić ciekłą warstwą tynku, można jednak także pokryć ją szlamem z gliny lub farby grubości 1-3 mm. Jeżeli cięższą gliną o gęstości 1000 kg/m<sup>3</sup> po rozszalowaniu zarysujemy grabiami, to powstanie powierzchnia, którą normalnie uzyskuje się przez położenie tynku o specjalnej strukturze (zdjęcie 10.5-17).

### 10.6 Glina lekka z dodatkami mineralnymi, pompowana, do budowy posadzek i stropów.

Glina lekka z dodatkami mineralnymi, transportowana pompami, nadaje się szczególnie do budowy posadzek i stropów. Rysunek 10.6-1 przedstawia przekrój przez dobrze izolowaną i bardzo ciepłą, przyjemną w dotyku posadzkę, która na dodatek jest bardzo tania.

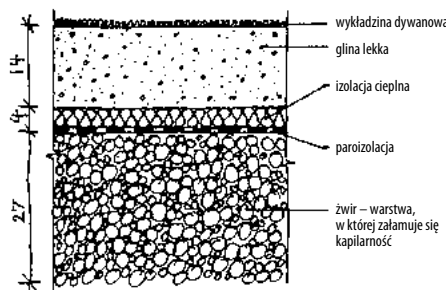
W przedstawionym przykładzie, według obowiązującego w Niemczech od 2002 roku zarządzenia dotyczącego oszczędzania energii (EnEV), izolacja termiczna jest tylko wtedy wystarczająca, jeżeli w pozostałych elementach budynku także poprawiono ocieplenie,



10.5-16 POWIERZCHNIA Z GLINY LEKKIEJ Z DODATKIEM KERAMZYTU PO ROZDESKOWANIU (UZIARNIENIE 8-16MM)



10.5-17 RYSOWANIE GRABIAMI POWIERZCHNI ŚCIANY Z GLINY LEKKIEJ Z KERAMZYTEM



**10.6-1** PRZEKRÓJ PRZEZ POSADZKĘ Z GLINY LEKKIEJ Z DODATKAMI MINERALNYMI



**10.6-2** GLINA LEKKA Z DODATKAMI MINERALNYMI JAKO WYPEŁNIENIE MIĘDZY DREWNIANYMI BELKAMI STROPU

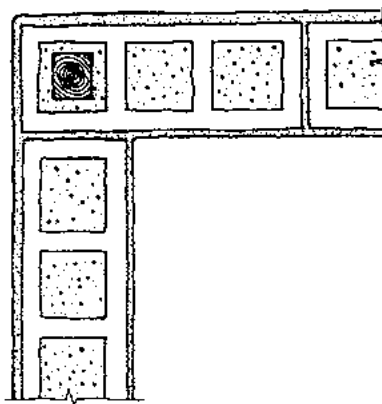
a system grzewczy zoptymalizowano. Ze względów ekonomicznych zalecane jest więc wykonanie warstwy izolacyjnej o wiele grubszej.

Jeżeli zastosujemy glinę lekką o gęstości 1000 do 1200 kg/m<sup>3</sup> jako wypełnienie stropu belkowego (rys. 10.6-2), to znacznie zwiększy się jego dźwiękochłonność i akumulacja ciepła, a poza tym wpłynie to na równowagę wilgotności.

## 10.7 Wypełnianie pustaków gliną

Na rynku spotyka się różne, wielkomiarowe pustaki, które z reguły układają się bez zaprawy i potem zalewa betonem. Wykonane są przykładowo z pumeksu albo keramzytu (mówimy wtedy o betonie lekkim) lub z piasku związanego wapnem (pustaki piaskowo-wapienne) albo są to związane zaprawą cementową wióry drewniane. Pustaki produkuje się także z wypalanej gliny i z pianki polistyrenowej.

Do wypełniania pustaków zamiast betonu można także użyć gliny, pod warunkiem, że nie chodzi tu o ścianę nośną. Przy konstrukcjach szkieletowych słupy mogą znajdować się zarówno



**10.7-1** MOŻLIWOŚCI ROZMIESZCZENIA SŁUPÓW PRZY BUDOWIE ŚCIANY Z PUSTAKÓW WYPEŁNIONYCH GLINĄ LEKKĄ

wewnątrz pustaków, jak i stać po stronie wewnętrznej ściany (Rys. 10.7-1). Można tu równie dobrze stosować słupy o przekroju okrągłym, jak i czworokątnym, z drewna, stali albo żelbetu.

Szczególnie ciężka ściana o dużej izolacyjności akustycznej i o zdolności kumulowania ciepła powstaje, kiedy pustaki wypełnia się brejowatą masą składającą się z tłustej gliny, piasku tynkarskiego oraz żwiru.

W przypadku, gdy należy postawić lekką ścianę o dobrej izolacji termicznej, mieszanka powinna zawierać tłustą glinę i lekkie dodatki mineralne, jak pumeks, szkło porowate, keramzyt, porowata lawa itp.

Pustaki można napędzać ręcznie lub maszynowo, jak opisano wyżej.

## 10.8 Rękawy napędzone gliną

Opracowana przez autora w 1992 roku nowa technologia, której efekty z wyglądu są podobne do opisanego w rozdziale 8.4 budowania z pasm glinianych, ale która nie wykazuje tych samych wad, zastosowana została w międzyczasie przy realizacji wielu obiektów w kraju i za granicą.

Polega ona na pompowaniu agregatem tynkarskim (albo do robót posadzkarskich) gliny lekkiej z dodatkami mineralnymi do elastycznych rękawów bawełnianych, wykonanych z tkaniny o dużych oczkach (zdjęcie 10.8-1).

Zastosowano tu elastyczne bandaże o formie rękawa TG 7 firmy Lohmann, które rozciągają się do średnicy 14 cm. Wypełnione rękawy obcina się na odpowiednią długość, końce zawiązuje, a powierzchnię wygładza ręką, aby breja gliniana wypłynęła na powierzchnię tkaniny i przykryta ją warstwą ok. 1 mm. Po napędzeniu możliwa jest jeszcze pewna zmiana długości czy też średnicy powstałego wałka. Zaletą tej metody jest wytwarzanie elementów przez jedną tylko osobę.

Napędzanie możliwe jest także bez pompy, jedynie przy pomocy leja (zdjęcia 10.8-2 i 10.8-3). Jeżeli mieszanka gliniana ma bardziej stałą konsystencję, to potrzebna jest jednak druga osoba do upychania i przesuwania gliny w leju.

Napędzone bawełniane rękawy można łatwo transportować i układać jeden na drugim w różnych formach. Dzięki wygładzaniu wyływa trochę szlamu glinianego na zewnątrz tkaniny i w ten sposób poszczególne kawałki dobrze sklejają się ze sobą (zdjęcia 10.8-4 i 10.8-5).

Ponieważ dają się łatwo ukształtować, to można z nich tworzyć przeróżne, interesujące formy (por. zdjęcia 10.8-6 do 10.8-9). Po ułożeniu wystarczy powierzchnię wygładzić szerokim pędzlem. Do postawienia ściany





**10.8-1** NAPEŁNIANIE BAWĘLIANYCH RĘKAWÓW GLINĄ LEKKĄ PRZY POMOCY POMPY ŚLIMAKOWEJ



**10.8-2** RĘCZNE NAPEŁNIANIE BAWĘLIANYCH RĘKAWÓW GLINĄ LEKKĄ



**10.8-3** NAPEŁNIANIE BAWĘLIANEGO RĘKAWA GLINĄ LEKKĄ PRZY POMOCY LEJA



**10.8-5**



**10.8-6**



**10.8-4** BUDOWA ŚCIANY ŁAZIENKI Z NAPEŁNIONYCH GLINĄ RĘKAWÓW

**10.8-5 | 10.8-6** BUDOWA ŚCIANY ŁAZIENKI Z NAPEŁNIONYCH GLINĄ RĘKAWÓW



10.8-8 ŚCIANA WEWNĘTRZNA Z RĘKAWÓW NAPEŁNIONYCH GLINĄ

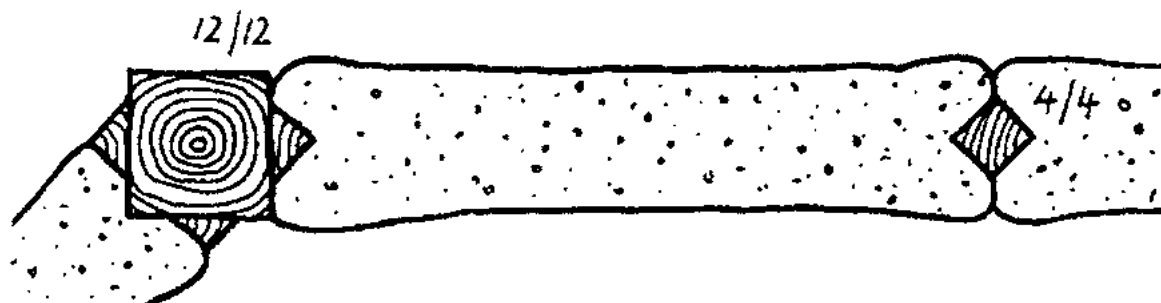
przedstawionej na zdjęciu 10.8-8 użyto rękawów o długości 70 cm, których końcówki zazębiały się o pionowe listwy drewniane o przekroju 4 x 4 cm, albo też o przymocowane do konstrukcji ściany listwy trójkątne, por. rys. 10.8-7. Przy użyciu odpowiednio suchej mieszanki można było układać dziennie 5 do 6 warstw. Jeśli przyspieszano proces schnięcia poprzez dodawanie mączki mineralnej, jak np. cementu trasowego, to już po upływie połowy dnia można było układać kolejne warki. Przy wystarczającej ilości dodatków możliwe jest zredukowanie skurczu schnięcia do zera, co stanowi w porównaniu z innymi technikami „na mokro” znaczącą zaletę tej metody.



10.8-7 ŚCIANA Z GLINIANYCH RĘKAWÓW KUMULUJĄCA CIEPŁO W OGRODZIE ZIMOWYM

Do pompowania dobrze nadaje się mieszanka składająca się z 9 części tłustej gliny, 6 części piasku jaskrowego, 18 części keramzytu o uziarnieniu od 1 do 4 mm. Materiał taki nie kurczy się podczas schnięcia i stanowi, przy gęstości ok. 900 kg/m<sup>3</sup>, dobrą izolację dźwiękową oraz ma dobre właściwości kumulacji ciepła. Jeżeli konieczne jest zwiększenie tych dwóch ostatnich właściwości, należy zamiast keramzytu dodać żwir o takim samym uziarnieniu.

Zamiast keramzytu dodawać można także pumeks, łupek porowaty, szkło



10.8-7 PRZEKRÓJ POZIOMY PRZEZ ŚCIANĘ WEWNĘTRZNĄ WYKONANĄ Z RĘKAWÓW NAPEŁNIONYCH GLINĄ LEKKĄ



porowate, jak również wióry stolarskie i śrut korkowy. Zdjęcie 10.8-7 przedstawia zastosowanie tej technologii w Brazylii, gdzie oprócz wiórów stolarskich dodano trochę trocin. W zasadzie nie da się w ciągu jednego dnia położyć więcej niż 3 do 6 warstw. Powinny one być łączone gwoździami bambusowymi (lub podobnymi) aby zapewnić ścianie wystarczającą stabilność poprzeczną (zdjęcie 10.8-9).

Jak prosto można stosować rękawy napętnione gliną lekką do izolacji termicznej starych budynków, opisano w rozdz. 13.6.5.



10.8-9 ZBIJANIE GLINIANYCH RĘKAWÓW GWOŹDZMI, ŁAZIENKA, BRAZYLIA



10.8-10 ŁAWKA, THESSALONIKI, GRECJA



10.8-11 FASADA DOMU MIESZKALNEGO Z BELI SŁOMIANYCH, PORTUGALIA

# 11. TYNKI GLINIANE

## 11.1 Wiadomości ogólne

Zaprawa do tynków glinianych składa się przede wszystkim z piasku i pyłu, a یتu powinna zawierać tylko tyle, aby jej przyczepność i siła wiązania były wystarczające. Dzieje się tak już przy zawartości 5% یتu. Kiedy tynk ma go ponad 10%, pojawiają się już pęknięcia w wyniku skurczów schnięcia.

Receptura idealnej zaprawy jest trudna do określenia, ponieważ nie tylko stosunek ilości یتu, pyłu i piasku ma decydujący wpływ na właściwości tynku. Istotne są przede wszystkim takie czynniki, jak: rozkład i wielkość ziaren piasku, ilość zawartej wody, rodzaj یتu, przygotowanie mieszanki oraz dodatki, jak np. włókna. W celu otrzymania najlepszego tynku

zaleca się więc wykonanie próbek z różnorodnych mieszanek.

Tynki gliniane można nanosić zarówno na powierzchnie gliniane, jak i na odpowiednio szorstkie mury z cegły ceramicznej i wapienno-piaskowej, z kamienia naturalnego i betonu. Stosuje się je na takich powierzchniach przede wszystkim z uwagi na poprawę warunków klimatycznych (regulacja wilgotności, por. rozdz. 1.4). Ponadto tynki gliniane, podobnie jak inne, wykonuje się ze względów estetycznych. W warunkach klimatu niemieckiego gliniana zaprawa tynkarska powinna charakteryzować się niewielkim wchłanianiem wody i możliwie dużą przepuszczalnością pary



11.1-1

11.1-1 DO 11.1-2 ZAGRODA W NANKANSI, PŁN. GHANA



11.1-2

wodnej. Współczynnik wchłaniania wody (patrz rozdz. 2.3.5) powinien wynosić maksimum  $2,0 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0,5}$ , a wskaźnik oporu przepuszczania pary wodnej (por. rozdz. 2.4.2) maks. 10.

Zaprawa gliniana murarska powinna być bardziej gruboziarnista niż tynkarska, aby zmniejszyć osiadanie muru.

## 11.2 Wstępne przygotowanie powierzchni

Powierzchnie przeznaczone do tynkowania powinny być wystarczająco chropowate, ponieważ glina nie wywołuje żadnych chemicznych powiązań z podłożem. Jeśli do tynkowania przeznaczony jest mur z cegły, to spoiny należy wydrapać na głębokość co najmniej 1 cm. Najprościej jest użyć do tego kielni nachylonej pod kątem  $45^\circ$ , którą łatwo wyciąć zaprawę ze spoiny, gdy jest ona jeszcze wilgotna, por. rys. 11.2-1. Mur z gładkich cegieł glinianych formatu 2 DF (tzw. podwójny cienki) lub większych należy dodatkowo zwilżyć i potem porysować żelaznym drapaczem albo deską z nabitymi gwoźdźmi, por. zdjęcia 11.2-2 i 11.2-3.

Przeznaczone do tynkowania ściany z ubitej gliny należy zarysować, jak zostało wspomniane wyżej, lub podziurawić, aby powstała chropowata powierzchnia.

Na podłożu pod tynk nie może być pyłu. Jeśli to konieczne, należy je wyszczotkować. Powierzchnie z gliny i innych mocno nasiąkających materiałów należy namoczyć, aby po otynkowaniu wilgoć nie była pobierana tylko ze świeżego tynku. Schnięcie powinno bowiem następować równomierne.

Jeżeli wykonanie podłoża chropowatego jest niemożliwe lub bardzo trudne, np. na ścianach betonowych, ceglanych i z kamienia naturalnego, chropowatość można uzyskać przez obrzucenie tłustą zaprawą cementową o 50% kryciu. Używa się do tego rzadkiej, cementowej

zaprawy tynkarskiej, w której skład wchodzi 1 część cementu i 4 do 5 części piasku jastrychowego lub gruboziarnistego, tynkarskiego. Tynk nanosi się przez opryskiwanie szerokim pędzlem.

Przy podłożach glinianych można czasami także wykonać tynk natryskiwany z tłustego szlamu glinianego, schudzonego ostrym piaskiem.

W celu zapewnienia wystarczającej przyczepności podłoża mocuje się ponadto podkłady z siatek z drutu ocynkowanego, z tworzywa sztucznego, z siatki ceramicznej lub maty trzciny. Tych ostatnich nie należy stosować do tynków zewnętrznych z uwagi na niebezpieczeństwo butwienia i zagnieżdżenia się insektów.

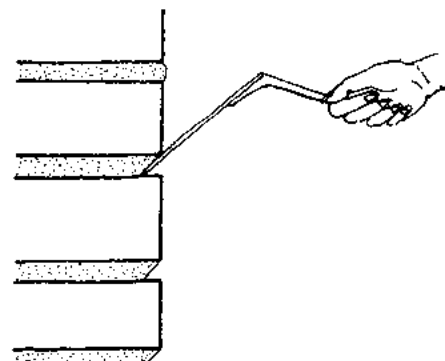
Aby otynkować słupy i belki z drewna, stali lub betonu w budowlach szkieletowych, niezbędny jest podkład z siatki. Należy też pamiętać, że tynkowanie przestrzeni międzybelkowych w systemie szachulcowym może prowadzić do powstania szkód. Podczas ruchów konstrukcji drewnianej powstaje zwiększone niebezpieczeństwo odłączenia się warstwy tynku od podłoża.

## 11.3 Skład zaprawy tynkarskiej

Aby otrzymać niespękany skurczami tynk z gliny, należy pamiętać o następujących zasadach:

- glina powinna zawierać dużo gruboziarnistego piasku;
- do zaprawy trzeba dodać włosy zwierzęce, włókna kokosowe lub sizalowe, sieczkę ze słomy lub z siana;
- do schudzenia tynku wewnętrznego można także dodać plewy, wióry, trociny albo włókna celulozowe;
- w celu uzyskania zadowalającej siły wiązania zaprawa powinna zawierać wystarczającą ilość dobrze wymieszanego ze wszystkimi składnikami ilitu;

- kiedy skład i konsystencja zaprawy są właściwe, pozostanie ona przyklejona do pionowo postawionej kielni. Przy narzucaniu jej na mur lekko ześlizguje się z kielni i dobrze przyczepia do ściany (duża ilość włosów lub włókien w zaprawie znacznie redukuje jej przyczepność).



11.2-1 WYCINANIE SPOIN PRZED TYNKOWANIEM PRZY POMOCY KIELNI



11.2-2 RYSOWANIE NAWILGOCONEJ POWIERZCHNI GLINIANEJ PRZY POMOCY STALOWEGO DRAPACZA



11.2-3 NARZĘDZIA DO UZYSKIWANIA CHROPOWATYCH POWIERZCHNI GLINIANYCH



W celu sprawdzenia właściwości tynku glinianego można przeprowadzić bardzo prosty test. Nakłada się tynk o grubości 2 cm na suchą, wypaloną i dość gładką cegłę. Tynk powinien pozostać przyczepiony do postawionej na sztorc cegły przez cały okres schnięcia (48 do 72 godzin). Jeżeli odzepi się od podłoża na całej powierzchni, to znaczy, że zaprawa zawiera za dużo ilitu i należy ją mocno schudzić gruboziarnistym piaskiem. Jeżeli tynk odpada małymi kawałkami, kiedy cegła zostanie mocno uderzona, to oznacza, że

Skład	warstwa podkładowa	warstwa górna	tynk wewnętrzny
tlusta glina	4 wiadra	2 wiadra	1 wiadro
piasek	2 wiadra	4 wiadra	1 wiadro
nawóz koński	2 wiadra	-	-
włosa	0,4 kg	0,1 kg	-
wapno	-	1 wiadro	-
mąka żytnia	-	-	0,6 kg

TABELA 11.1 STARA RECEPTURA TYNKÓW GLINIANYCH

składniki	mieszanka <sup>1</sup>				
	A	B	C	D	E
Breja gliniana <sup>2</sup>	10	10	10	10	10
Piasek (0-2)	25	25	25	25	25
Isofloc (boraks)	-	5	5	-	5
Klej kazeinowy <sup>3</sup>	1	-	-	-	1
Chudy twaróg	-	-	-	1	-
Mocznik	-	-	0,2	-	-
Glukonian sodu	-	0,2	-	-	-

<sup>1</sup> - WSZYSTKIE ILOŚCI OBJĘTOŚCIOWE

<sup>2</sup> - Z 1 CZĘŚCI TŁUSTEJ GLINY I 2 PIASKU JASTRYCHOWEGO

<sup>3</sup> - Z 4 CZĘŚCI CHUDEGO TWAROGU I 1 WAPNA, WYMIESZAĆ (1-2 MIN.)

TABELA 11.2 SPRAWDZONE MIESZANKI GLINIANYCH ZAPRAW TYNKARSKICH

ma za małą siłę wiązania i trzeba dodać ilitu. Jeśli pozostaje przyklejony, ale pokazują się drobne pęknięcia, to jest on za tłusty i może być ewentualnie użyty do wykonania obrutki, ale aby użyć go do wykonania wierzchniej warstwy, musi być także schudzony piaskiem. Kiedy zaprawa pozostanie przyczepiona do cegły i nie widać rys skurczu schnięcia, to w zasadzie oznacza, że można nią tynkować. Zaleca się jednak otynkowanie najpierw próbnej powierzchni (ok. 1 m szerokiej i 2 m wysokiej). Jeśli powstaną drobne pęknięcia, trzeba mieszanekę dalej schudzać lub dodać do niej włókien.

Tynki wewnętrzne gliniane są znacznie mniej problematyczne od zewnętrznych. Kładzie się je na grubość do 1,5 cm, a ponieważ nie muszą być odporne na działania warunków atmosferycznych, można drobne rysy przykryć powłoką malarską. Powierzchnię tynku po podeschnięciu wygładza się zamoczonym w wodzie szerokim pędzlem.

Jeżeli tynk ma być grubszy niż 1,5 cm, np. aby wyrównać niedokładnie wykonaną ścianę, zaleca się wykonanie najpierw warstwy podkładowej z tłustej gliny i gruboziarnistego piasku. Może ona ulec nawet spękaniu, bo rysy zapewnią lepszą przyczepność drugiej warstwy.

Podczas wznoszenia ok. roku 1940 budynku Niemieckich Kolei (Deutsche Reichsbahn) ustalono recepturę dla tynków glinianych, którą prezentuje tabela 11.1 (wg Schuh, 1944).

Dodanie mąki żytniej do tynku wewnętrznego poprawia urabialność zaprawy i zwiększa odporność powierzchni gliny na ścieranie i zmywanie. Według doświadczeń autora można zwiększyć ilość proponowanego przez Schuha piasku. W celu redukcji pęknięć powodowanych skurczem schnięcia powinno się dodawać przede wszystkim

piasek gruboziarnisty oraz niewielką ilość drobnego żwiru (ziarno 2-4 mm), por. rozdz. 4.2.4.

Jak wykazały przeprowadzone przez autora badania, można znacznie poprawić urabialność zaprawy glinianej oraz zwiększyć odporność powierzchni na ścieranie i zmywanie przez dodanie kleju kazeinowego (1 część wapna i 4 do 6 części chudego twarogu), boraksu, mocznika, glukonianu sodu i włókien celulozowych. Mieszanki przedstawione w tabeli 11.2. wypróbowano i sprawdzono.

Wapno reaguje z zawartą w twarogu kazeiną i tworzy wodoodporne ciało białkowo-wapniowe. Podobna reakcja chemiczna powstaje między zawartym w „Isofloc-u” boraksem i kazeiną. Glukonian sodu działa jak środek upłynniający, tzn., że można zmniejszyć ilość dodawanej do zaprawy wody i tym samym zredukować niebezpieczeństwo tworzenia się rys podczas schnięcia. Dodanie mocznika powoduje, szczególnie w glinie o dużej zawartości pyłu, znaczne zwiększenie wytrzymałości na ściskanie oraz wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu, por. rozdz. 4.5.

Włókna celulozowe w formie skrawków makulatury powodują przede wszystkim lepszą urabialność zaprawy, ale także minimalne zmniejszanie powstawania rys podczas schnięcia. Optymalne w użyciu są mieszanki B, C i E.

Przy sporządzaniu zapraw A i E najlepiej jest, kiedy klej kazeinowy wymieszamy ze skrawkami makulatury i wodą, a następnie pozostawimy. Po 1 godzinie należy dodać glinę i piasek. Przy wszystkich rodzajach zapraw korzystniejsze jest, jeśli roboty poprawkowe, przecieranie i gładzenie powierzchni wykonywane są po kilku godzinach albo nawet następnego dnia.

Zaprawy stabilizowane do wykonywania tynków zewnętrznych omawia rozdz. 11.13.



## 11.4 Reguły dotyczące tynkowania ścian z gliny

Ponieważ tynk gliniany nie wywołuje reakcji chemicznych przy zetknięciu z podłożem, konieczne staje się takie przygotowanie ściany, aby glina się jej trzymała. Dlatego należy przestrzegać następujących reguł:

1. Ściana gliniana przeznaczona do tynkowania powinna być na tyle wyschnięta, żeby nie występowało już osiadanie i nie następowały skurcze.
2. Luźny materiał należy usunąć przez szczotkowanie, obmiecenie itp.
3. Podłoże pod tynk musi być wystarczająco chropowate. Jeśli jest to konieczne, należy je nawilżyć i zarysować. W murach z cegieł glinianych trzeba powycinać spoiny (por. rozdz. 11.2).
4. Bezpośrednio przed tynkowaniem podłoże należy odpowiednio zmoczyć, żeby powierzchnia ściany spęczniała, a narzucany tynk mógł w nią trochę wnikać. Ponadto w ten sposób tylko niewielka ilość wody z tynku zostanie wchłonięta przez podłoże.
5. Tynk musi być narzucany z dużą siłą, by jego cząsteczki wymieszały się z namoczonymi cząsteczkami powierzchni ściany, a dzięki spistości gliny powstanie wystarczająca przyczepność do podłoża.
6. Tynk z czystej gliny, jeśli ma być grubszy od 1 cm, należy kłaść w 2 lub nawet 3 warstwach, aby uniknąć tworzenia się rys podczas wysychania.
7. W celu redukcji spękań spowodowanych skurczami schnięcia należy do tynku glinianego dodać odpowiednią ilość gruboziarnistego piasku, względnie drobnego żwiru

oraz inne materiały zawierające włókna lub włosy (patrz rozdz. 4.2.4).

8. Aby zwiększyć wytrzymałość na uszkodzenia mechaniczne, ścieranie i przenikanie wody, należy do warstwy zewnętrznej tynku dodać nawozu krowiego, wapna, kazeiny albo innych środków (patrz rozdz. 4.3 i 4.6).
9. Powierzchnie wykonane z czystego tynku glinianego należy w każdym przypadku dodatkowo wzmocnić warstwą farby (patrz rozdz. 12.3).
10. Przy stosowaniu wszelkich dodatków i kryciu farbą należy pamiętać o związanych z tym zmianach fizycznych właściwości gliny, szczególnie o redukcji dyfuzji pary wodnej (patrz rozdz. 12.3.4).

## 11.5 Skurcze schnięcia

Należy w tym miejscu zaznaczyć, że zaprawa gliniana podczas wysychania kurczy się o wiele bardziej niż zaprawy gipsowe, wapienne czy cementowo-wapienne i trzeba to zjawisko uwzględnić przy jej stosowaniu. Zaleca się sprawdzanie zachowania zaprawy przy skurczach schnięcia przed jej użyciem (por. rozdz. 2.3). Duży stopień skurczu może prowadzić do osiadania glinianego muru, co z kolei prowadzi do powstawania pęknięć. Przy tynkach glinianych powstają często rysy skurczu, wymagające pracochłonnych napraw.

Badania przeprowadzone przez FEB pokazały, że dostępna w handlu gliniana zaprawa murarska przy przetestowanej konsystencji roboczej wykazywała skurcze schnięcia od 1 do 3,6%, podczas gdy badane zaprawy cementowo-wapienne i gotowe gipsowe zaprawy tynkarskie charakteryzowały się skurczem mniejszym niż 0,1%, patrz tabela 11.14-1.



11.6-1 NAKŁADANIE TYNKU LEKKIEGO PRZY POMOCY AGREGATU TYNKARSKIEGO

Tynki gliniane charakteryzujące się miarą płynności = 140 mm powinny wykazywać maksymalne skurcze schnięcia, wynoszące 20 mm/m (= 2%). Jeśli wartość ta jest wyższa, to producent powinien o tym informować, aby zabezpieczyć się przed ewentualnymi regresowaniami. Możliwości redukcji skurczów omówiono w rozdziale 11.14-3.

## 11.6 Tynk natryskiwany z gliny lekkiej

Autor przetestował z dobrym skutkiem tynk z gliny lekkiej, nadający się do natryskiwania i posiadający zdolności izolacyjne. Składa się on przede wszystkim ze skrawków makulatury i może być наносzony ma ścianę przy pomocy agregatu tynkarskiego na grubość do 3 cm, por. zdjęcie 11.6-1. W celu szybszego wiązania dodawano do niego trochę wapna trasowego i gipsu (Minke 1987 (c)).

Inne rodzaje tynków natryskowych z gliny lekkiej, które stosuje się przede wszystkim do wypełniania przestrzeni



**11.7-1** DELIKATNY TYNKG Z MIESZANKI GLINY Z KERAMYZEM

międzybelkowej budynków o konstrukcji szkieletowej, opisano w rozdz. 9.3.

### 11.7 Tynk z gliny lekkiej z keramzytem

Do otrzymania równomiernej, drobnoziarnistej struktury powierzchni ściany nadaje się tynk z gliny zmieszanej z drobnoziarnistym keramzytem albo szkłem porowatym, por. zdjęcie 11.7-1. Tynk ten wykonuje się np. z mieszanki keramzytu (1-4 mm), piasku keramzytowego i gliny z dodatkiem 5% wapna trasowego. Zaprawę nakłada się ręcznie na grubość 8 mm. Dodanie wapna

trasowego wpływa korzystnie na skrócenie czasu wiązania i zmniejszenie dyfuzji pary wodnej.

Tynkiem o jeszcze lepszych właściwościach izolacyjnych, choć mniej spójnym, jest tynk lekki o następującym składzie: 25 części keramzytu o ziarnie 1-4, 10 części tłustego, gęstego szlamu glinianego, 10 do 15 części skrawków makulatury z dodatkiem boraksu i 2 części kleju kazeinowego (z 1 cz. wapna i 5 cz. chudego twarogu mieszanych przez 2 minuty).

Wyglądanie powierzchni tynku glinianego z keramzytem wymaga pewnej wprawy, ponieważ kuleczki keramzytu pozostawiają ślady ciągnięcia pacą, mogą też nawet wypadać. W takim przypadku należy trochę zwiększyć ilość ścinów makulatury i kleju kazeinowego.

### 11.8 Tynk narzucany

Technika szczelnego obrzucania bryłami gliny powierzchni przeznaczonej do tynkowania pochodzi z Afryki. Warunkiem wstępnym jej stosowania jest wykonanie mieszanki o wystarczającej sile wiązania oraz rzucanie brył z dużą siłą na odpowiednio chropowate podłoże. Zdjęcia 11.8-1 i 11.8-2 przedstawiają opisaną w rozdziale 14.8 ścianę mającą za zadanie regulację wilgotności i ciepła w ogrodzie zimowym. Podłożem są tu lekkie płyty z wełny drzewnej. Dla zwiększenia przyczepności przymocowano do nich bambusowe patyki.

### 11.9 Tynkowanie ściany z bali słomianych

Domy wykonane z bali słomianych znane są w stanie Nebraska w USA już od końca XIX wieku, a w latach 80-tych XX wieku doczekały się swoistego renesansu. W międzyczasie we Francji i Skandynawii znalazło się wielu wykonawców własnych budynków, którzy



**11.8-1**



**11.8-2**

**11.8-1 | 11.8-2** TYNKG GLINIANY, NARZUCANY WYKONANY W CELU ZWIĘKSZENIA REGULACJI WILGOTNOŚCI I CIEPŁA W OGRODZIE ZIMOWYM



budowali ściany z bali słomianych. Zabytkowe budynki wykonane tą techniką w USA mają ściany nośne (statycznie obciążone) ze słomy. W budynkach powstałych w ostatnich latach wykorzystywano bale słomy do wypełniania konstrukcji albo do tworzenia z nich wierzchniej warstwy ścian (więcej patrz: Steen et al.).

Najbardziej ekonomiczne jest pokrywanie powierzchni słomianych dwu- albo trzywarstwowym tynkiem glinianym, a tam, gdzie ściany narażone są na częste opady deszczu, tynkiem wapiennym lub cementowo-wapiennym. Najprościej nanosić tynk z gliny przez

rzucanie zaprawy rękami lub opryskiwanie pompą (zdjęcie 11.9-1). W obydwu przypadkach powstaje stosunkowo nierówna powierzchnia, co powodowane jest kształtem i ułożeniem bali słomianych (zdjęcie 11.9-2). Jeśli chcemy uzyskać gładką powierzchnię, to należy spoiny i inne nierówności wypełnić mieszanką gliny ze słomą. Najczęściej takie ściany pokrywa się siatką drucianą albo plastikowym podkładem, na który tynk nanosi się ręcznie lub maszynowo. Przy tynkowaniu należy uważać, aby zaprawa była wystarczająco płynna i aby obrzucanie następowało z odpowiednią siłą, co powoduje przeniknięcie

przez siatkę i połączenie ze słomianym podłożem.

### 11.10 Tynk gliniany jako warstwa ochronna przed pożarem

W dzielnicy Hamburga Othmarschen pokryto dach z trzciny na zabytkowym budynku (na tzw. „Röperhof”) trzema warstwami gliny grubości od 2,5 do 3 cm. W ten sposób nie tylko osiągnięto większą szczelność na przenikanie wiatru i tym samym wartość współczynnika  $U = 0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$ , ale także wypełniono normę odporności ogniowej F30, co udo- wodnił test przeprowadzony przez Uni- wersytet Techniczny w Brunshwiku. Instytut Doświadczalny Pożarnictwa (Brandversuchsanstalt MA 39) z Wied- nia potwierdził, że „słoma jako element budowlany pokryta z obydwu stron tyn- kiem uzyskuje odporność ogniową F90”.

Więcej o tym Minke/Mahlke: „Der Stro- hballenbau”, 2004.

### 11.11 Plastyczne kształtowanie przy pomocy tynku glinianego

Ponieważ tynk gliniany stosunkowo długo daje się kształtować plastycznie i nie działa agresywnie na skórę rąk, jak np. zaprawa cementowa czy wapienna, można z niego tworzyć indywidualne formy nawet gołymi rękami. Zdjęcia 11.11-1 i 11.11-2 przedstawiają kilka takich możliwości.

### 11.12 Ochrona krawędzi

Z uwagi na łatwość uszkodzenia me- chanicznego tynków glinianych nale- ży krawędzie zewnętrzne chronić przy pomocy profili drewnianych, ceglanych itp. (rys. 11.12-1). Wbudowywanie typowych listew tynkarskich, jak to ma miej- sce przy tynkach gipsowych lub wa- piennych, jest rzadziej zalecane z uwagi na ich niewystarczającą skuteczność.



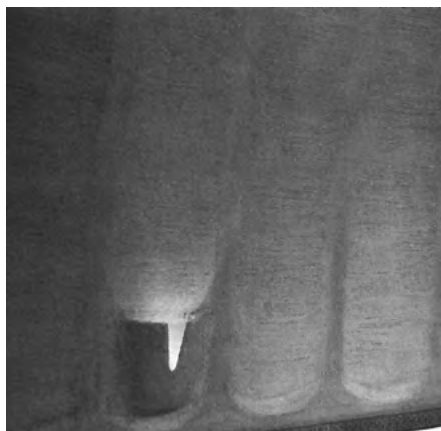
11.9-1 NANOSZENIE PIERWSZEJ WARSTWY TYNKU



11.11-1 ŚCIANA DEMONSTRACYJNA, FEB UNIWERSYTET W KASSEL



11.9-2 WYGŁADZONA POWIERZCHNIA TYNKU PO PIERWSZYM NATRYSKU



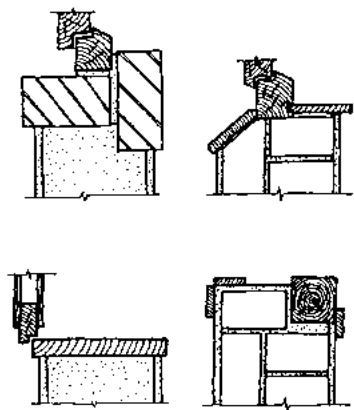
11.11-2 TYNK GLINIANY Z WBUDOWANYMI LAMPAMI. KOPUŁA Z BALI SŁOMIANYCH W FORSTMEHREN, NIEMCY

## 11.13 Stabilizowane gliniane tynki zewnętrzne

### 11.13.1 Wiadomości ogólne o tynkach zewnętrznych

Tynki zewnętrzne stanowią ochronę konstrukcji ścian przed wpływami atmosferycznymi. Powinny więc albo być odporne dzięki własnemu składowi, albo też otrzymać wytrzymałą powłokę zewnętrzną. Ważne jest, aby tynk i owa powłoka w wystarczającym stopniu przepuszczały parę wodną, co zapewni odprowadzenie na zewnątrz występującej w warstwie zewnętrznej ściany wody kondensacyjnej. Ponadto tynk zewnętrzny powinien być bardziej elastyczny od tej warstwy, na której został położony. Będzie wtedy mógł wykonywać ruchy wywołane wpływami termicznymi czy wilgotnościowymi i nie spowoduje to tworzenia się rys na jego powierzchni.

Do ochrony ściany od zewnątrz nadają się tylko tynki gliniane, które nie pękają. Nie należy ich kłaść od strony największych wpływów atmosferycznych, chyba, że okap dachu jest wystarczająco duży, a glina chroniona jest przez dodatkową powłokę malarską. Tam, gdzie ściana narażona jest na działanie wody rozpryskowej, tzn. poniżej wysokości od 30 do 50 cm nad poziomem terenu, wykonywanie tynków



11.12-1 OCHRONA KRAWĘDZI ŚCIAN GLINIANYCH

glinianych nie ma sensu. Naroża, z uwagi na łatwość ich uszkodzenia mechanicznego, należy zaokrąglić albo zabezpieczać specjalnymi wkładkami ochronnymi. Przy tynkowaniu bardzo dużych, zewnętrznych powierzchni zaleca się pozostawianie w regularnych odstępach szczelin, które po wyschnięciu wypełnia się elastyczną masą uszczelniającą. Szczeliny te służą jako dylatacje i zapobiegają pęknięciom spowodowanym rozciąganiem się i kurczeniem tynku pod wpływem temperatury i wilgotności.

Sposoby redukcji powstawania pęknięć w wyniku skurczów schnięcia, zwiększania odporności na działania warunków atmosferycznych, na ścieranie i zmywanie poprzez odpowiednie dodatki, opisano w rozdziałach 4.2, 4.3 i 4.6.

Elementy gliniane, jak przestrzenie międzybelkowe w budynkach żelazobetonowych o drewnianej konstrukcji szkieletowej, są zazwyczaj pokrywane tynkiem wapiennym lub kazeinowo-wapiennym (patrz rozdz. 12.5).

### 11.13.2 Stabilizowane gliniane tynki zewnętrzne

Stabilizowane tynki gliniane to takie tynki, które oprócz ilitu zawierają także inne mineralne albo organiczne środki wiążące, jak np. wapno, cement, gips, modyfikowaną skrobię, celulozę metylową, krowi nawóz, oleje, żywice, emulsje bitumiczne albo też syntetyczne dodatki wiążące. Środki te po stwardnieniu nie rozpuszczają się już w wodzie.

Stabilizowane tynki gliniane mogą być nakładane na elewacje budynków przy niewielkim zagrożeniu zmoczenia deszczem. Przy tynkach glinianych stabilizowanych pokostem lnianym albo emulsją bitumiczną należy pamiętać, że działają one bardzo hamująco na przenikanie pary i dlatego

w zasadzie nie nadają się do stosowania w budynkach w tych strefach klimatycznych, które charakteryzują się dużymi, zależnymi od pory roku wahaniami temperatury. Idealna ilość dodatków zależy przede wszystkim od składu zastosowanej gliny i powinna być za każdym razem przed użyciem testowana.

Korzystne mieszanki, które autor sprawdził i uznał za nadające się do użycia w łagodnym klimacie Kolumbii, pokazuje tabela 11.3.

Okazało się, że wymieszanie i stosowanie gliny z pokostem oraz z wapnem i cementem było trudniejsze niż przy innych zaprawach. Dodanie 6% emulsji bitumicznej (pasty) dało największą wytrzymałość. Klej z mąki pszennej wykonano wg receptury: 1 cz. mąki wymieszać dokładnie, by nie było grudek, z 1 cz. zimnej wody i rozcieńczyć 2 cz. gotującej się wody. Breję należy gotować na małym ogniu tak długo, aż się prawie zeszkli.

Przy mieszance gliny z kałem krowim należy pamiętać, aby breję pozostawić w stanie wilgotnym na kilka dni, aż sfermentuje. Zwiększy to wytrzymałość tynku na ścieranie oraz stanie się on odporniejszy na działanie deszczu, co wystarczająco udowodniono w FEB.

Tabela 11-2 przedstawia wyniki testów na działanie gwałtownego deszczu



11.13-1 TYNK GLINIANY, STABILIZOWANY EMULSJĄ BITUMICZNĄ, NA BUDYNKU MIESZKALNYM W SANTA FE, USA



(por. rozdz. 2.6-7) oraz na ścieranie (por. rozdz. 2.3-6), jakie przeprowadzono w FEB na tynkach stabilizowanych. Przy symulacji ulewy tynk niestabilizowany już po 3 sekundach ulegał erozji, podczas

gdy niektóre tynki stabilizowane nawet po 6 dniach działania strumieni wody nie wykazywały śladu erozji.

Znaczące są różnice w wytrzymałości powierzchni na mechaniczne ścieranie.

W prawej części tabeli 11-2 podano odpowiednio ilości (w gramach) startego tynku, patrz test opisany w rozdziale 2.3-6.

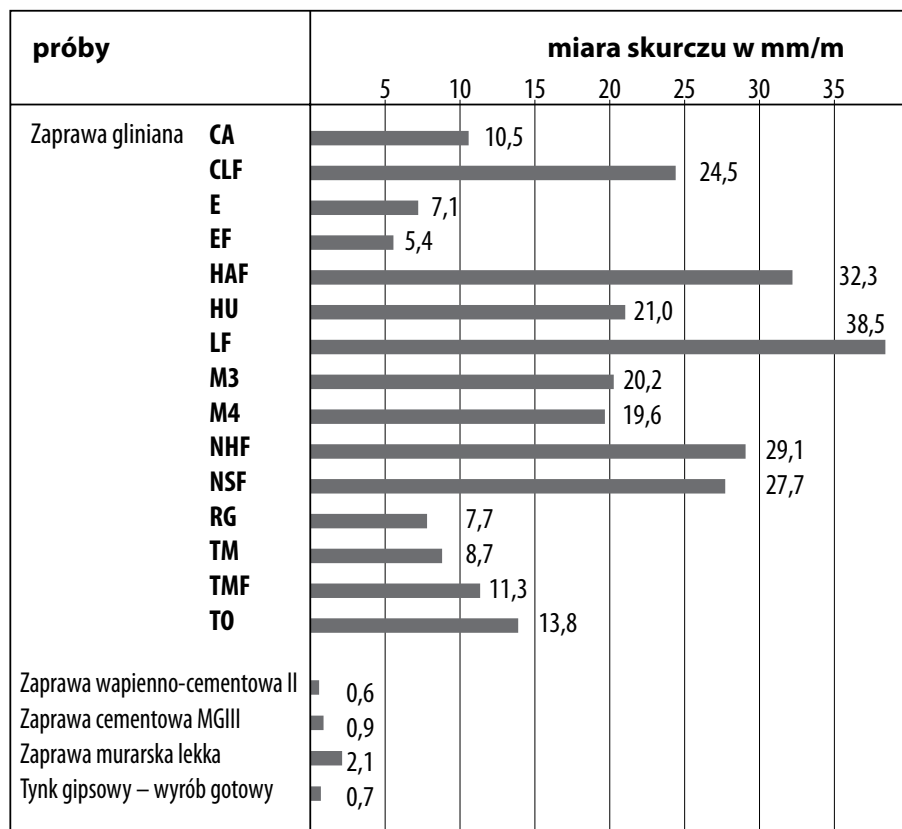
Skład	Tynk A		Tynk B		Tynk C		Tynk D		Tynk E		Tynk F	
	1 warstwa	2 warstwa <sup>1)</sup>	1 warstwa	2 warstwa	1 warstwa	2 warstwa	1 warstwa	2 warstwa	1 warstwa	2 warstwa	1 warstwa	2 warstwa
Gлина ilasta, dołowana	-	-	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
Piasek gruboziarnisty (0-4 mm)	1,5	1	3	3	1	0,5	1,5	1,5	1,5	1	1,5	1,5
Piasek drobnoziarnisty (0-1 mm)	1	1	1	1	1	1,5	1	1,5	1	1,5	1	1
Kał krowi, wilgotny, wymieszany 1:1 z breją glinianą, sfermentowany	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	0,5	1
Wapno	-	-	-	-	-	-	-	-	5%	5%	-	-
Cement	-	-	-	-	-	-	-	-	5%	5%	-	-
Emulsja bitumiczna	-	-	-	-	-	-	5%	6%	-	-	-	-
Gotowany klej z mąki pszenicznej	-	-	-	-	3%	4%	-	-	-	-	-	-
Breja kazeinowa z wapnem wymieszana 1:1,	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3%	3%
Pokost lniany	-	-	4%	4%	-	-	-	-	-	-	-	-

<sup>1)</sup> szlam wtarty pacą z gąbką

TABELA 11.3 SKŁAD STABILIZOWANYCH TYNKÓW GLINIANYCH ZEWNĘTRZNYCH (OBJĘTOŚCI – PROPORCJE)

tynk gliniany	wystąpienie erozji w wyniku działania deszczu po...								ilość startego tynku w g (test na ścieranie)		
	3 s	20 min	20 h	50 min	23 h	70 h	35 min	90 min	> 6 dni	> 6 dni	
1 bez dodatków											3,1
2 z 4% emulsji bitumicznej											1,7
3 z 6% emulsji bitumicznej											0,3
4 z 8% emulsji bitumicznej											0,2
5 z 8% breji wapienno-kazeinowej (1 cz. obj. wapna / 4 cz. obj. chudego twarogu)											0,4
6 z 6% breji wapienno-kazeinowej (1 cz. obj. wapna / 4 cz. obj. chudego twarogu) + 0,4% pokostu lnianego											1,2
7 z 8% breji wapienno-kazeinowej (1 cz. obj. wapna / 4 cz. obj. chudego twarogu) + 0,4% pokostu lnianego											0,6
8 z 6% breji wapienno-kazeinowej (1 cz. obj. wapna / 8 cz. obj. chudego twarogu)											0,5
9 z 8% breji wapienno-kazeinowej (1 cz. obj. wapna / 8 cz. obj. chudego twarogu)											0,5
10 z 6% wapna											0,1
11 z 6% cementu											0,2
12 z 4% wapna + 2% cementu											2,9
13 z 1,5% kleju z mąki pszennej											1,7
14 z 3% kleju z mąki pszennej											0,1
15 z 4% kleju z mąki pszennej											0,1
16 z 4% pokostu lnianego											0,02
17 z 6% pokostu lnianego											0,03
18 z 10% sodowego szkła wodnego (1 : 8 rozcieńczonego wodą)											4,4
19 z 6% kleju boraksowo- kazeinowego (700 g twarogu + 17,5 boraksu w 0,1 l wody)											0,6
20 z 8% kleju boraksowo- kazeinowego (700 g twarogu + 17,5 boraksu w 0,1 l wody)											0,7
21 z 4% glutenu z wapnem (1:1)											0,1
22 z 8% glutenu z wapnem (1:1)											0,1
23 z 4% glutenu z wapnem (2:1)											0,8

TABELA 11-4 ŚCIERANIE I EROZJA W WYNIKU DZIAŁANIA DESZCZU NA STABILIZOWANE TYNKI GLINIANE



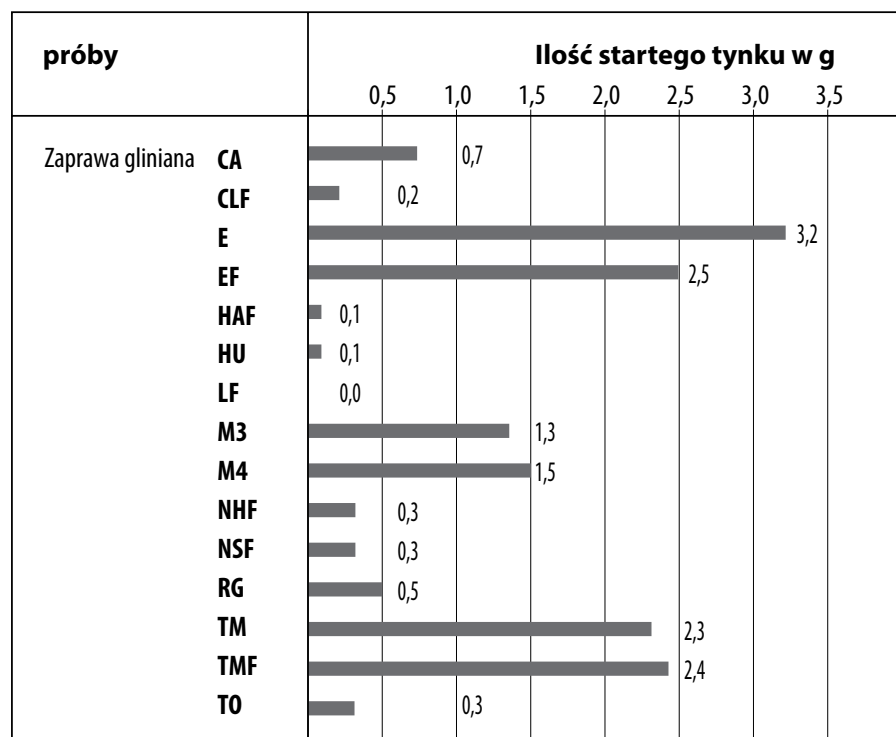
## 11.14 Rozważania porównawcze o tynkach glinianych

### 11.14.1 Uwagi wstępne

W związku z wadami tynków glinianych i budowli z cegieł glinianych dochodziło w ostatnich latach do procesów sądowych. W murach kwestionowano przede wszystkim pęknięcia w wyniku osiadania oraz osypywanie się powierzchni zaprawy glinianej. W tynkach z kolei podkreślano takie wady, jak: tworzenie się rys, grzybów pleśniowych i osypywanie się. Część tych usterek można zdefiniować jako błędy wykonawstwa, a część jest spowodowana złą jakością stosowanych produktów. Różne składy elementów oraz nie deklarowane wskaźniki produktów z gliny mogą zaprowadzić wykonawców w ślepą uliczkę. Z analizy wielu przypadków szkód wynikają podane w następnym podrozdziale wymagania.

### 11.14.2 Deklaracja zawartości

1. Składy produktów muszą być podane w procentach w stosunku wagowym do ciężaru całkowitego artykułu.
2. Jeżeli oprócz iltu, będącego naturalnym składnikiem wiążącym, dodano inne organiczne lub mineralne składniki wiążące, np. celulozę, kazeinę, odchody zwierzęce, cement, wapno albo gips, to powinno to być jednoznacznie zaznaczone. Ta wskazówka jest konieczna, ponieważ takie zaprawy nie są czystymi zaprawami glinianymi. Po związaniu dodatkowych środków wiążących nie mogą być one ani obrabiane, ani przerabiane.
3. Rodzaj i ilość organicznych dodatków, jak siewczka słomiana, otręby zbożowe, włókna roślinne, trociny, wióry stolarskie, musi być podana, ponieważ mogą one powodować tworzenie się grzybów pleśniowych.



11.14-1 WIELKOŚĆ SKURCZÓW ZAPRAW GLINIANYCH (ROZPŁYW 140 MM) W PORÓWNIANIU Z INNYMI ZAPRAWAMI MINERALNYMI (O ROZPŁYWIE 180 MM)

### 11.14.3 Miara skurczu schnięcia

Miara skurczu przy wysychaniu jest jednym z najważniejszych kryteriów oceny glinianej zaprawy murarskiej i glinianej zaprawy tynkarskiej wierzchniej warstwy. Wysoki wskaźnik skurczu schnięcia prowadzi do odpowiednio mocnego spękania. Dodanie słomy albo siewki zmniejsza powstawanie rys, choć nie bezpośrednio, ponieważ w tym przypadku następuje schudzenie zaprawy, tzn. względne zmniejszenie ilości یت. Drobne włókna wpływają na rodzaj powstających pęknięć: zamiast większych rys powstają mniejsze, ale w większej ilości.

W przypadku zaprawy murarskiej z gliny wysoki stopień skurczu schnięcia oznacza dla wykonawcy, że albo położy tylko kilka warstw dziennie, albo musi jeszcze więcej schudzić mieszankę, co z kolei prowadzi do zwiększonego osypywania się powierzchni spoin.

Dla zaprawy glinianej do wykonania wierzchniej warstwy tynku wysoki skurcz schnięcia oznacza, że można ją kłaść tylko cienką warstwą, a powstające rysy należy zatrzeć pacą jeszcze w stanie wilgotnym. Podczas gdy liniowa miara skurczu schnięcia dla zapraw wapiennych, wapienno-cementowych i gipsowych w zasadzie wynosi mniej niż 0,1%, to wskaźnik ten dla zapraw glinianych do tynkowania, które są dostępne na rynku, przekracza nawet wartość 3%, patrz 11.14-1.

Wartość 2% dla zaprawy glinianej, mierzona przy rozptywie = 140 mm, wg DIN 1060 cz. 3, nie powinna być przekraczana. Jeżeli tak jednak jest, producent powinien umieścić wskazówkę, że zaprawę należy schudzić przed użyciem.

### 11.14.4 Wytrzymałość na ścieranie

Obok skurczów gliny podczas procesu schnięcia i związanego z tym powstawania pęknięć najważniejszym kryterium oceny jakości powierzchni cegieł,

płat, tynków i glinobitki jest wytrzymałość na ścieranie płaszczyzny glinianej. Mieszaniny gliniane do tynków i glinobitek są z reguły bardzo schudzone w celu zminimalizowania powstawania rys podczas schnięcia. To oznacza, że zawierają one niewielką (2-3%) ilość یت i dużą ilość gruboziarnistych dodatków. Powoduje to, że ich wytrzymałość na ścieranie i odporność na zdrapywanie są stosunkowo niewielkie. Powierzchnie takie łatwo się osypują i ulegają mechanicznym uszkodzeniom. Aby przeciwdziałać temu zjawisku, należy albo stosować dodatki specjalne, albo te powierzchnie pokryć farbą. Działanie mające na celu wyznaczenie wytrzymałości krawędzi powierzchni glinianych omówiono w rozdz. 2.6.6.

Wykres 11.14-1 przedstawia stwierdzoną ilość startej powierzchni przy użyciu szczotki i nacisku 2 kg oraz 20 obrotach.

Przy zużyciu ściernym większym niż 1 g producent powinien zalecić, aby suchą powierzchnię glinianą wyszczotkować miękką szczotką i potem wzmocnić ją, pokrywając organicznym albo mineralnym środkiem wiążącym.

### 11.14.5 Wytrzymałość na ściskanie

Mierzenie wytrzymałości na ściskanie zapraw glinianych do tynkowania odbywa się z reguły na próbkach wielkości 16 x 4 x 4 cm, na takich samych, jak w przypadku testowania wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu. Z tabeli 11.5 można wywnioskować, że wytrzymałość na ściskanie jest tylko warunkowo powiązana z wytrzymałością na rozciąganie i z wytrzymałością na rozciąganie przy zginaniu. Wytrzymałość na ściskanie ściany z elementów glinianych bada się na próbce będącej dwiema cegłami położonymi na sobie na zaprawie, tak jak podczas murowania, (norma DIN 18953 str. 2). Podobnie można zbadać wytrzymałość zaprawy

glinianej murarskiej, jeżeli będzie testowana między cegłami pełnymi.

### 11.14.6 Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu

Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu w przypadku suchych elementów z gliny ma niewielkie znaczenie, ponieważ nie powinny one być narażane na takie naprężenia. Przy ocenie tynków glinianych oraz odporności krawędzi cegieł glinianych wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu ma jednak pewien sens. Im jest ona większa, tym mniejsze jest niebezpieczeństwo, że części tynku narażone na uszkodzenia mechaniczne rozpadną się lub zarysują. Tym samym krawędzie cegieł rzadziej ulegną uszkodzeniu podczas transportu czy montażu.

It montmorylonitowy posiada wyższą wytrzymałość na zginanie przy rozciąganiu niż it kaolinitowy. Dostępny w handlu Bentonit nadaje się znakomicie jako dodatek do gliny, bo zawiera dużo montmorylonitu. Należy jednak pamiętać, że po jego dodaniu zwiększy się linearny skurcz schnięcia. Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu testowanych zapraw wahała się między 12% a 34% ich wytrzymałości na ściskanie, por. tab. 11.5.

### 11.14.7 Sorpcja wilgoci w powietrzu

Cegły gliniane niewypalone posiadają o wiele wyższą zdolność sorpcji, tzn. umiejętność pochłaniania wilgoci z powietrza przy jego wysokiej wilgotności względnej oraz oddawania jej, gdy powietrze jest „suche”, niż cegły ceramiczne. Jest ona nieomal 50-krotnie wyższa niż dla klinkieru i ok. 10-krotnie wyższa niż dla cegły dziurawki, por. rozdz. 1.4.4.

Zdolność sorpcji zapraw glinianych do murowania i tynkowania jest z reguły o wiele mniejsza, ponieważ zawierają one mniej یت. Stwierdzone wartości testowanych zapraw wahały się między 56,9 a 133,5 g/m<sup>2</sup>. Dla niewypalanej



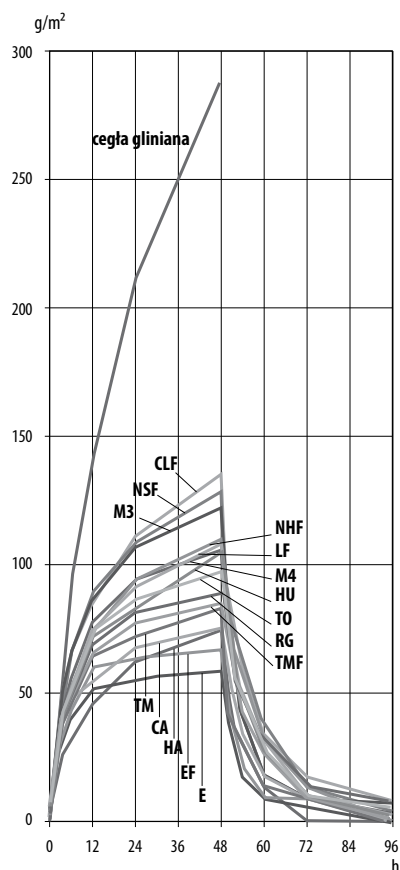
cegły glinianej wartość ta wyniosła 297 g/m<sup>2</sup>. Działanie zjawiska sorpcji w przypadku tynków jest tylko relatywne, gdy mamy do czynienia z grubymi warstwami i krótkotrwałymi zmianami wilgotności.

Wykres 11.4-2 przedstawia wartości pochłaniania i oddawania wilgoci przez zaprawy gliniane w porównaniu z sorpcją cegły glinianej. Test przeprowadzono przy zwiększeniu wilgotności powietrza w pomieszczeniu z 50% do 80% i zaraz potem przy jej obniżeniu do 50%.

Badane zaprawy osiągnęły tylko 19 do 68% wartości, jakie uzyskała cegła. Należy tu zaznaczyć, że zaprawa o najwyższej wartości sorpcji zawdzięcza ten wynik dodatkom z drobnych włókien. Podczas gdy 15 mm grubości materiał z cegły glinianej może jeszcze wchłonąć wiele wilgoci nawet po 48 godzinach, tak zaprawy bez dodatków włóknistych były

już po 2 dniach prawie nasycone (ich krzywa sorpcji po 48 godzinach przebiega niemal poziomo).

Decydującym czynnikiem dla zaistnienia sorpcji nie jest jedynie zawartość ilitu, ale także jego rodzaj. Montmorylonit absorbuje znacznie więcej wilgoci niż kaolinit. Zdolność sorpcji można zwiększyć przez dodatki organiczne, takie jak celuloza, mielona słoma i włókna kokosowe. Na wykresie 11.14-2 litera F wskazuje, że ta zaprawa zawiera włókna (niem. „Fasern”).



**11.14-2** WARTOŚCI POCHŁANIANIA I ODDAWANIA WILGOCI PRZEZ ZAPRAWY GLINIANE W PORÓWNANIU Z SORPCJĄ CEGŁY GLINIANEJ

	Wytrzymałość w N/mm <sup>2</sup>		
	Ściskanie (1)	Rozciąganie przy zginaniu	Rozciąganie
Cegła gliniana D (2)	4,4	1,3	0,5
Cegła gliniana G	6,1	1,6	0,6
CA	1,69	0,23	-
CM	2,63	0,85	0,35
CLF	3,04	0,36	-
E	1,05	0,19	-
EF	1,47	0,18	-
G	2,02	0,69	0,21
HU	2,99	0,29	-
LF	1,00	0,28	-
M3	2,06	0,47	-
M4	1,65	0,18	-
NHF	1,87	0,42	-
NSF	2,61	0,40	-
RG	1,51	0,20	-
TM	1,61	0,25	-
TMF	1,21	0,21	-

(1) Wytrzymałość słupowa na ściskanie (4\*4\*4cm)  
(2) Wg Boenkendorfa (1955), wszystkie inne FEB

**TABELA 11.5** WYTRZYMAŁOŚĆ CEGIEŁ GLINIANYCH I ZAPRAW GLINIANYCH

# 12. OCHRONA POWIERZCHNI GLINIANYCH PRZED WPŁYWAMI ATMOSFERYCZNYMI

## 12.1 Uwagi wstępne

Aby uzyskać odporność elementów glinianych na wpływy atmosferyczne i zwiększyć ich wytrzymałość na ścieranie, jak to opisano w rozdz. 11.13, nie zawsze konieczne jest dodawanie domieszek. Często wystarczają malarskie powłoki ochronne lub warstwa tynku. Kolejne rozdziały opisują, w jaki sposób można zwiększyć odporność wewnętrznych i zewnętrznych powierzchni glinianych. Możliwość wykonania umywalek z hydrofobowanej gliny omawia rozdział 14.11.

## 12.2 Zagęszczanie powierzchni

Najprostszą możliwością zwiększenia odporności elementów glinianych na wpływ erozji spowodowanej deszczem i wiatrem jest jej zagęszczenie i wygładzenie. Jeśli glina jest jeszcze wilgotna, wystarczy wyrównać powierzchnię, zagładzając ją mocno przyciśniętą kielnią. W budynkach wzniesionych metodą tradycyjną w Indiach i Afryce wykonuje się to przy pomocy zaokrąglonego kamienia, którym naciska się na glinę i zacierają ją kolistymi ruchami. Tak wyrównana powierzchnia powinna się świecić i mieć widocznych otwartych porów czy rys. Dzięki tej metodzie znacznie redukuje się niebezpieczeństwo wypłukiwania powierzchni gliny przez deszcze.

## 12.3 Powłoki malarskie

### 12.3.1 Wiadomości ogólne

Malowanie powierzchni glinianych, które ma za zadanie ich ochronę przed

wpływami atmosferycznymi, należy w regularnych odstępach czasu powtarzać. Cienka powłoka niszczona jest mechanicznie przez wiatr i mróz, a chemicznie przez ultrafioletowe promieniowanie światła lub też przez działanie kwaśnych deszczów.

Powłoki malarskie zewnętrzne powinny być równocześnie hydrofobowe i pozostawiać otwarte pory, aby dyfuzja pary wodnej następowała bez większych przeszkód. Jest to konieczne w celu odprowadzenia na zewnątrz wilgoci, która przenika do środka podczas gwałtownych deszczów lub zbiera się tam w wyniku kondensacji pary wodnej.

Farby dyspersyjne, lateksowe lub emulsje syntetyczne nie nadają się więc do malowania zewnętrznych powierzchni glinianych.

Do wykonywania wewnętrznych powłok można używać dowolnych farb. Ponieważ powierzchnie gliniane wchłaniają bardzo dużo wilgoci, do ich malowania nadają się szczególnie farby rozpuszczalne w wodzie.

Na kolejnych stronach opisano bliżej kilka sprawdzonych powłok malarskich. Więcej informacji znaleźć można w publikacji K. Wehlte z 1985 roku.

### 12.3.2 Gruntowanie

Jeżeli tynk przeznaczony do malowania ma wiele elementów drobnoziarnistych (np. tynk z gliny lessowej), zaleca się, by przed pokryciem go farbą wapienną wykonać wapienny podkład zwiększający przyczepność. Podkład powstaje przez naniesienie pędzlem lub zatarcie

pacą cienkiej warstwy mleczka kazeinowo-wapiennego. Składa się ono z 2 części gaszonego dołowanego wapna, 1 części chudego twarogu i ok. 15 części wody.

Gruntowanie przed malowaniem farbą klejową jest istotne z uwagi na potrzebę zmniejszenia zdolności nasiąkania podłoża. Nadaje się do tego np. rzadki płyn sporządzony z 1 części kazeiny i 5 części wody albo mieszanka 1 cz. proszku kleju celulozowego rozpuszczonego w 60-80 częściach wody.

### 12.3.3 Powłoki malarskie

#### Powłoka wapienna

Przy malowaniu wapnem należy pamiętać, że szlam wapienny powinien być bardzo rzadki, aby nie powstała z niego kryjąca powłoka, która po wyschnięciu łatwo odpryskuje. Zaleca się więc 3 lub 4-krotne malowanie mleczkiem wapiennym, powstałym z wymieszania 1 worka (50 kg) wodorotlenku wapniowego w 50 do 60 litrach wody. Można dodać też 1 do 2 kg soli kuchennej, aby powłoka była długo wilgotna, co przyspiesza proces karbonizacji. Przy odnawianiu budowli zabytkowych dodaje się często do farby wody ze śledzi. Duża zawartość soli powoduje podobną reakcję (dodatkowo, dzięki zawartości elementów białkowych, powstaje odporny na działania atmosferyczne związek albuminowo-wapienny, podobnie jak przy kryciu farbą kazeinowo-wapienną).

Mieszanka do wykonania pierwszej warstwy powinna być bardziej rozcieńczona, aby mleczko wapienne dostało

się możliwie głęboko. Wapno daje bardzo jasny, biały kolor. Aby go przyciemnić, można dodać proszku glinianego, delikatnej gliny lessowej lub innych pigmentów mineralnych. Malowanie wapnem powierzchni zewnętrznych wystarcza w klimacie środkowej Europy na ok. 2 do 4 lat. Powłoki z czystego wapna nie są odporne na wycieranie.

#### **Powłoka kazeinowo-wapienna**

Znacznie dłużej wytrzymuje i jest bardziej odporna na wycieranie powłoka malarska z mleczka wapiennego zmieszanego z serwatką, chudym twarogiem lub proszkiem kazeinowym. Chudy twaróg, powstały w wyniku działania podpuszczki (enzymu trawiennej) na chude mleko, zawiera ok. 11% kazeiny. Wapno tworzy z nią chemiczny związek albuminowo-wapienny. Renowację zabytkowych budynków często wykonuje się, używając farby z gaszonego dołowanego wapna, zmieszanego z chudym mlekiem lub serwatką.

Sprawdzoną mieszanką jest farba z 1 części chudego twarogu, 1 do 3 części wapna i 1,5 do 2,5 części wody. Niewielki dodatek pokostu lnianego (maksimum 10% w stosunku do twarogu) zwiększa odporność na wycieranie, ale utrudnia samo malowanie. Pokost należy dobrze wymieszać z innymi składnikami, najlepiej mieszanką śrubową, aż do uzyskania delikatnej, kremowej emulsji. Ponieważ pokost lniany szybko oddziela się od reszty mieszanki, farbę należy często ponownie mieszać. Dzięki temu dodatkowi konsystencja mieszanki zmienia się i należy ją zużyć w ciągu 2 do 4 godzin. Białą barwę można stonować proszkiem glinianym lub innym mineralnym pigmentem. (Uwaga: pokost lniany redukuje dyfuzję pary wodnej).

Do malowania ścian z gliny lekkiej z keramzytem nadają się szlamy, w których skład wchodzi 1 część wapna, 5 części chudego twarogu i 5 części gliny. Przy

wykonywaniu powłok kazeinowo-wapiennych należy pamiętać, aby podłoże było suche, ponieważ w przeciwnym wypadku mogą tworzyć się grzyby pleśniowe.

Dla pomieszczeń wilgotnych zaleca się następującą mieszankę kazeinowo-wapienną: 1 część wapna gaszonego dołowanego wymieszać mechanicznie przez 1 do 2 minut, bez dodawania wody, z 5 częściami chudego twarogu. Potem dodać 20 części wapna i 2 do 4% pokostu lnianego, dobrze wymieszać i w końcu rozcieńczyć wodą. Dwukrotne malowanie daje odporną na wycieranie i działanie wody powłokę. Jedną część wapna można zastąpić pigmentami odpornymi na działanie soli wapniowych.

Jeżeli chce się uzyskać powłokę bezbarwną, należy wymieszać 1 część twarogu z 8 do 10 częściami chudego twarogu. Po wyschnięciu uzyskamy efekt lekkiego, jedwabistego połysku.

#### **Powłoka kazeinowo-boraksowa**

Zamiast wapna można do farby kazeinowej dodawać boraks, który podobnie jak wapno tworzy z kazeiną odporny na wodę związek. Jeśli boraksu jest za wiele, zachodzi jego krystalizacja, co widać gołym okiem. Kiedy do tej mieszanki dodamy kolorowe pigmenty, to (w przeciwieństwie do wapna) pomalowana powierzchnia daje wrażenie rozjaśniające. W celu zagęszczenia i rozjaśnienia farby można dodać kredę. Niewielki dodatek proszku glinianego ułatwia malowanie i uniemożliwia osadzenie się kredy.

Jeśli chcemy zamiast twarogu użyć proszku kazeinowego, to należy go zamoczyć na 3 godziny w wodzie (320 g kazeiny na 1 litr wody). Potem należy 65 g boraksu rozmieszać w 1 litrze gorącej wody, dodać to do kazeinowej brei i taką mieszankę na koniec rozcieńczyć w 12 litrach wody.

#### **Bezbarwna powłoka kazeinowa**

W celu zachowania naturalnej barwy gliny i otrzymania powierzchni odpornej na wycieranie należy pomalować ścianę mieszanką z 1 części chudego twarogu, z 1,8 do 2 części wody, do której dodaje się 1/8 do 1/9 części proszku wapna. Powstanie w ten sposób bezbarwna (względnie lekko mleczna), gładka jak jedwab powierzchnia. Efekt ten wywołany jest przez wytworzenie się drobnej struktury krystalicznej. Mieszanka wystarcza na pomalowanie ok. 20 m<sup>2</sup>.

#### **Powłoka łojowo-wapienna**

Z Nepalu pochodzi następująca recepta na gęstą, brejową farbę zewnętrzną. Do pojemnika z 15 kg nielasowanego proszku wapna dodaje się 6 kg rozpuszczonego łaju wołowego i 36 litrów wody. Składniki należy ostrożnie mieszać (uwaga! wapno może gwałtownie reagować, a bryzgi są mocno żrące!). Po dodaniu 6 kg soli kuchennej i ponownym wymieszaniu należy zbiornik odstawić na 24 godziny w niezbyt chłodne miejsce. Potem odlewa się zebraną u góry wodę, a kremową resztę miesza z 3 kg piasku kwarcowego i przy pomocy miotły lub dużego pędzla nanosi jedną warstwę grubości 3 do 5 mm na glinianą powierzchnię ściany (Manandhar, 1983). Taki tynk nakładany pędzlem potrzebuje kilku tygodni, aby stwardnieć. Jak powiadają świadkowie z Nepalu, powłoki te wytrzymują 4 do 6 lat. Podobne receptury stosuje się w Australii (Department of Housing, 1981).

Testy przeprowadzone przez FEB wykazały, że taka powłoka dobrze przylega do chropowatego podłoża z chudej gliny. Zastosowana do pokrycia kopuły z ubitej, stosunkowo tłustej gliny, zaczęła jednak odpryskiwać po kilku miesiącach działania deszczu, wiatru i mrozu. Odpryski były spowodowane tym, że do tłustej gliny nie mogła głębiej wnikać

woda zawierająca farbę, a stosunkowo gładka powierzchnia nie umożliwiła mechanicznego połączenia ubitej gliny z powłoką malarską.

### Inne stabilizowane powłoki wapienne

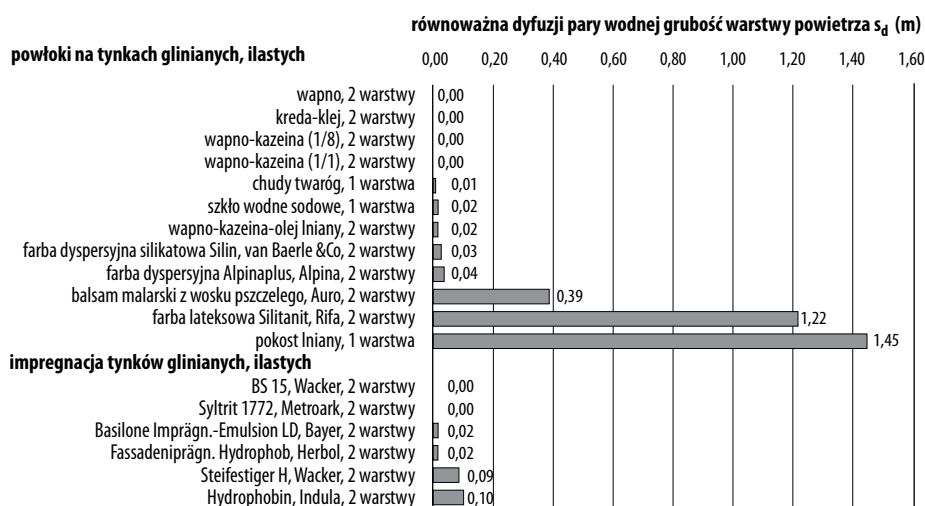
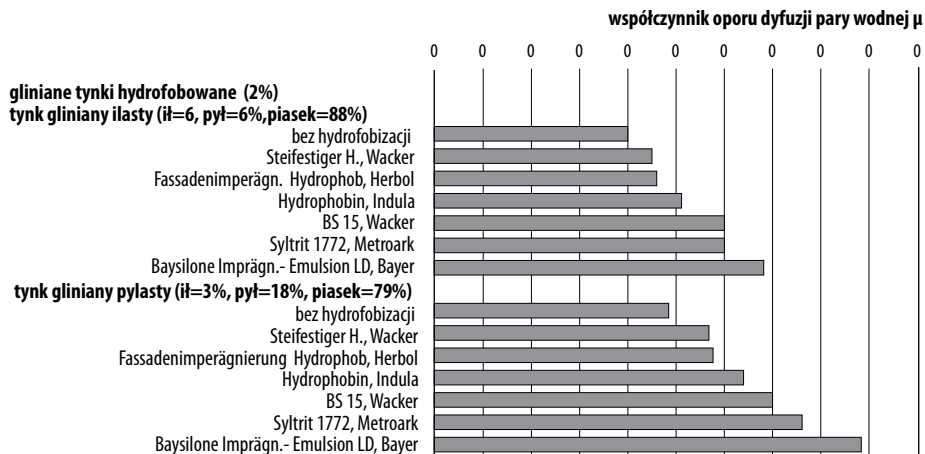
Jeżeli zamiast serwatki do wapna dodamy gnojówki, to według źródeł historycznych otrzymamy dobre wzmocnienie powierzchni glinianej. Według badań przeprowadzonych przez Weissa w 1963 roku, dodany do gliny kaolinitowej mocznik lub octan amonowy znacznie zwiększa jej wytrzymałość. Ta wiedza została zastosowana w Chinach już przed tysiącami lat przy produkcji ekstremalnie cienkiej porcelany, kiedy to do gliny dodawano urynę.

Sprawdzonym (Jain, 1978) dodatkiem jest także klej zwierzęcy w proporcji 70 g na 1 litr gotującej się wody i 1 kg wapna.

Następujące dodatki pochodzenia roślinnego zwiększają również odporność powłok wapiennych na ścieranie i działanie warunków atmosferycznych:

- kłajster z 15 l mąki żytniej zagotowanej w 220 l wody i dodanym w niewielkiej ilości siarczanem cynku,
- sok z agawy,
- sok z gotowanych liści bananowych,
- sok z kaktusa figowego (opuncja),
- sok z wilczomlecza (euphorbia lactea),
- sok z drzew kapokowych,
- olej lniany,
- pokost lniany.

W miejscowości Auroville w Indiach do malowania kopuł glinianych stosuje się następującą mieszankę: białko z 60 jajek miesza się z 2 litrami maślanek, 5 litrami likieru palmowego (melasa palmowa; jako alternatywa: olej terpentynowy albo wywar z kory dębu). Do tej mieszanki dodaje się 40 litrów wapienia muszlowego i 4 litry cementu (Pingel 1993).



**12.3-1** WARTOŚCI RÓWNOWAŻNIKA  $s_d$  DLA POWŁOK MALARSKICH I WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA  $\mu$  DLA HYDROFOBOWANYCH TYNKÓW GLINIANYCH

### Farby klejowe i z kredy szlamowej

Typowe farby klejowe i z kredy malarzkiej nadają się tylko do wykonania powłok wewnętrznych. Nie są one odporne na wycieranie. Przed malowaniem farbą klejową powierzchnię należy zagruntować.

### Powłoka bitumiczna

Emulsje bitumiczne są ciemnobrązowe albo czarne i stanowią dobrą ochronę przed deszczem. W Central Building Research Institute Roorkee w Indiach testowano krycie powierzchni glinianych następującą powłoką bitumiczną: 1 część bitumu 80/100 podgrzewano i mieszano

z 2 częściami nafty. Roztwór nakładano szczotką na suchą powierzchnię glinianą. Po wyschnięciu wykonywano kolejną warstwę. W celu ochrony czarnej powierzchni przed działaniem słońca zaleca się wierzchnie malowanie z wapna, do którego dodano (w proporcji 70 g na 1 kg) klej zwierzęcy rozpuszczony w 0,5 l gotującej się wody (Jain, 1978).

### 12.3.4 Wpływ na dyfuzję pary wodnej

Powłoki malarskie mogą znacznie obniżyć przenikanie pary wodnej przez ściany. Dlatego też należy zwrócić uwagę, aby współczynnik oporu dyfuzji był



mniejszy dla powłok zewnętrznych niż dla wewnętrznych, por. rozdz. 2.4.2.

Niestety produkty dostępne w handlu nie są oznaczone tą wartością i dlatego można liczyć jedynie na doświadczenie lub własne badania.

Na wykresie 12.3-1 przedstawiono wyznaczone przez FEB współczynniki oporu dyfuzji pary wodnej  $\mu$  oraz równoważniki  $s_d$ , odpowiadające oporowi przenikania pary wodnej przez warstwę powietrza. Wartości te dotyczą powłok malarskich i hydrofobowanych tynków glinianych. (Wartości  $s_d$  dla tynku glinianego nie brano pod uwagę).

### 12.3.5 Wpływ na wskaźnik przenikania wody

Kapilarne wchłanianie wody przez powierzchnię glinianą można znacznie zmienić poprzez jej pomalowanie. W tabeli 12.1 podano wyznaczone przez FEB wartości wchłaniania wody (współczynniki  $w$ ) dla tynków surowych i pokrytych powłokami.

Jakie specjalne środki należy zastosować, aby określić wartości współczynnika wchłaniania wody dla próbki gliny, opisano w rozdziale 2.3.5.

## 12.4 Hydrofobizacja

### 12.4.1 Środki do hydrofobizacji

Impregnacja powierzchni materiału bezbarwnym płynem określa się mianem hydrofobizacji.

Właściwość odtrącania wody zachodzi wtedy, gdy kąt nawilżania kroplami wody w stosunku do zaimpregnowanej powierzchni materiału jest większy niż  $90^\circ$ , por. rys. 12.4.1. Środek impregnujący wnika do porów materiału, nie zatykając ich. Kapilarna zdolność wchłaniania ulega dużej redukcji, podczas gdy przepuszczalność pary wodnej zmniejsza się tylko nieznacznie. Środki impregnujące rozpuszczają się

w alkoholach organicznych, w związkach wodorotlenowych albo w wodzie.

Rozróżniamy następujące środki do hydrofobizacji:

- silany (krzemowodory) albo siloksany
- polisiloksany (żywice silikonowe)
- silikony
- żywice akrylowe
- estry kwasu krzemowego z dodatkami do hydrofobizacji
- krzemiany z dodatkami do hydrofobizacji

Krzemowodory, siloksany i żywice silikonowe reagują chemicznie z mineralnymi materiałami budowlanymi i są bardzo odporne na działanie warunków atmosferycznych. Redukują wchłanianie wody o ponad 90%, ale przepuszczalność pary wodnej tylko o 5-8%.

Estry kwasu krzemowego i żywice akrylowe wykazują podobnie dobre właściwości hydrofobizacji, redukują jednak przepuszczalność pary wodnej o 15 do 30%.

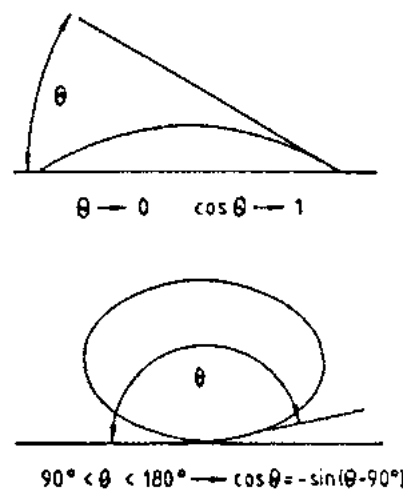
Ponieważ dostępne w handlu środki do hydrofobizacji mają różne składy, a poza tym – w zależności od składu gliny – wykazują różny stopień skuteczności,

należy przed ich zastosowaniem wykonać testy na powierzchniach próbnych.

Wartości współczynnika w testowanych przez FEB tynkach, pokrywanych dwukrotnie środkami impregnującymi, wynoszą od 0,0 do 0,2  $\text{kg/m}^2\text{h}^{0,5}$ , por. tab. 12.1.

### 12.4.2 Nanoszenie środków hydrofobizujących

Środków do hydrofobizacji używa się co najmniej dwukrotnie w tzw. „metodzie zalewania”. Element gliniany oble-



**12.4-1** KROPLE WODY NA POWIERZCHNI NIEIMPREGNOWANEJ (KĄT NAWILŻANIA  $< 90^\circ$ ) I POWIERZCHNI IMPREGNOWANEJ (KĄT NAWILŻANIA  $> 90^\circ$ )

Powłoka	ilość ( $\text{g/m}^2$ )	wartość ( $\text{kg/m}^2\text{h}^{0,5}$ )	uwagi
bez powłoki	0	9,5	-
pokost lniany	400	0,0	-
wapno-kazeina 1:1	420/350	0,6/1,5	0-6 h/6-24 h
wapno-kazeina 1:8	300/300	0,7	-
farba Silin (van Baerle)	700/250/310	0,3	+ werniks
Hydrophob (Herbol)	390/390	0,0	-
Baysoline LD (Bayer)	400/290	0,2	-
Syltrit (Metroark)	350/320	0,2	-
BS 15 (Wacker)	450/430	0,1	-
Steifestiger H (Wacker)	290/290	0,0	-

**TABELA 12.1** WARTOŚCI  $w$  DLA TYNKÓW GLINIANYCH POKRYTYCH POWŁOKAMI

wa się przy pomocy wałka, który jest tak bardzo nasiąknięty, że spływający z niego płyn wyprzedza go, zanim znajdzie się tam przesuwany w dół wałek. Należy pamiętać, aby powierzchnia przeznaczona do impregnacji była sucha, nie chłodniejsza niż ok. 8°C i nie cieplejsza niż ok. 25°C. Przy stosowaniu silanu i siloksanu powierzchnia powinna być wilgotna, lecz nie mokra. Zawsze jednak należy przestrzegać zaleceń producenta. Kiedy impregnacja po kilku latach straci swoje właściwości, można ten sam środek zastosować ponownie.

## 12.5 Tynki wapienne

### 12.5.1 Wiadomości ogólne

Jeżeli ściany gliniane mają być chronione tynkiem przed wpływami atmosferycznymi, to tynki gliniane, jak opisano to w rozdziale 11, nadają się do tego tylko wtedy, gdy wykonane są bez rys, a ich powierzchnia jest uodporniona na działanie pogody. Na ścianie, która nie jest zabezpieczona przed wpływami atmosferycznymi, nie należy kłaść tynków z gliny. Tu zaleca się tynki wapienne. Nie nadają się natomiast tynki cementowe, które są zbyt kruche, a zmienne warunki termiczne i mechaniczne powodują powstawanie w nich pęknięć włoskowatych. Przez te rysy przedostaje się do warstw glinianych woda, powoduje ich pęcznienie i tworzenie się kolejnych, większych pęknięć tynku, co prowadzi do jego odpryskiwania.

Przy okazji przeprowadzonego w 1992 roku remontu najstarszej niemieckiej budowli z ubijanej gliny, budynku z 1795 roku (zdjęcie 1.2-9), okazało się, że ogromne uszkodzenia spowodowane przez mróz (ściany zniszczone na głębokość 20 cm) wywołały pęknięcia w cementowym tynku. Położono go podczas fałszywie pojętej naprawy fasady, dokonanej przed

kilkudziesięciu laty. O podobnym przypadku donosi Bourgeois (1991) z Nowego Meksyku, USA, gdzie gliniany kościół, zbudowany w roku 1815 w Ranchos de Taos (zdjęcie 12.5-1), pokryto w roku 1967 tynkiem cementowym. Jedenaście lat później usunięto tynk, ponieważ znajdujące się pod nim gliniane ściany były w znacznym stopniu uszkodzone działaniem wilgoci.

Aby możliwe było szybkie schnięcie po namoczeniu deszczem albo przez wodę kondensacyjną, opór przenikania pary wodnej przez tynk zewnętrzny (łącznie z powłoką malarską) powinien być mniejszy od tego samego wskaźnika dla tynku wewnętrznego (także łącznie z wewnętrzną powłoką malarską).

Nie wchłaniające wody tynki powinny, według DIN 18550 część 3, spełniać następujące wymagania:

Współczynnik wchłaniania wody:

dla starych tynków:  $w \leq 0,5 \text{ kg/m}^2 \text{h}^{0,5}$

dla świeżych tynków po 28 dniach:

$w \leq 1,0 \text{ kg/m}^2 \text{h}^{0,5}$

Równoważna dla dyfuzji grubość przegrody powietrza  $s_d$  powinna być  $\leq 2,0 \text{ m}$ , a iloczyn  $w \cdot s_d \leq 0,2 \text{ kg/mh}^{0,5}$ .

Boenkendorf i Knöfel (1993) określili przedstawione w tabeli 12.2 wymagania dla zapraw tynkarskich.

Na kolejnych stronach zostaną omówione tynki, które nie zawierają gliny oraz przedstawione wskazówki, których



12.5-1 KOŚCIÓŁ SAN FRANCISCO DE ASIS, RANCHOS DE TAOS, USA

należy przestrzegać podczas przygotowywania powierzchni glinianych i przy samym tynkowaniu.

### 12.5.2 Przygotowanie powierzchni glinianych

Elementy gliniane przeznaczone do tynkowania powinny być całkowicie suche i mieć wystarczająco chropowatą powierzchnię, aby tynk mógł się dobrze połączyć z podłożem. Gładkie powierzchnie należy spryskać wodą i potem porysować deską z nabitymi gwoźdźmi lub specjalnym rylcem. Rysy powinny się krzyżować, mieć głębokość ok. 2 do 3 mm i być prowadzone w odstępach 1 do 3 cm, por. zdjęcie 11.2-2 i 11.2-3.

Kiedy podłoże podeschnie, ale jest jeszcze wilgotne, należy je pomalować rozcieńczonym mleczkiem wapiennym, aby wapno przeniknęło do gliny na głębokość kilku milimetrów. Powłoka ta stanowi podkład zwiększający przyczepność dla tynków wapiennych.

Próba	Wymagania
Konsystencja/rozptyw	$17 \pm 0,5 \text{ cm}$
Zdolność zatrzymywania wody WRV	$> 90\%$
Wytrzymałość na odrywanie $\beta_{\text{Hiz}}$	$\geq 0,05 \text{ N/mm}^2$
Wskaźnik oporu dyfuzji pary wodnej $\mu$	$\leq 12$
Współczynnik wchłaniania wody $w$	$\leq 0,5 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$
Wytrzymałość na ścislenie $\beta_D$	$3-5 \text{ N/mm}^2$
Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu $\beta_{\text{Bz}}$	$1-1,5 \text{ N/mm}^2$
Wytrzymałość na rozciąganie $\beta_z$	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$
Moduł sprężystości podłużnej $E_{\text{dyn}}$	$\leq 8000 \text{ N/mm}^2$
Skurcz $\epsilon_s$	$\leq 0,3 \text{ mm/m}$
Gęstość	$\leq 2,0 \text{ g/cm}^3$

TABELA 12.2 WYMAGANIA STAWIANE ZAPRAWOM TYNKARSKIM NA PODOŻU GLINIANYM

Do tego samego celu nadaje się również farba wykonana z 0,5 do 1 litra twarogu, 2 litrów proszku wapna i 30 litrów wody.

Jeśli tynk ma być narażony na duże różnice temperatur albo jego powierzchnia jest bardzo duża, lub też przyczepność podłoża słaba, to należy stosować specjalne podkłady, np. siatkę druciano-ceglaną lub siatkę metalową, wzmocnioną płaskimi żebrami. W przypadku użycia tej drugiej należy położyć ją odwrotnie niż przy innych tynkach, po to, aby zaprawa mogła dostać się między otwarte żebra. Tynk nie powinien zawierać ziaren o średnicy większej niż 2 mm.

Na zewnątrz, za wyjątkiem tej strony, która będzie najbardziej narażona na działanie różnych warunków atmosferycznych, można stosować jako podkład również maty z trzciny. Należy je jednak przedtem namoczyć w mleczku wapiennym w celu ochrony przed zaatakowaniem jej przez mikroorganizmy. Matę należy stosować tylko jako podkład jednowarstwowy.

### 12.5.3 Zbrojenie tynku

Przy większych powierzchniach tynku, które narażone są na duże różnice temperatur, zaleca się stosowanie zbrojenia. Nadaje się do tego celu siatka Rabitza albo tkanina z drutu ocynkowanego o sześciokątnych oczkach. Często tynkarze wolą stosować zbrojenie plastikowe, które ma tę zaletę, że

nie ulega korozji. Nie jest ono jednak zalecane przez fachowców.

### 12.5.4 Skład

Tynk wapienny składa się (wg DIN 18550) z 1 części objętościowej wapna i 3 części piasku. Można tu użyć dostępnego w handlu, drobno mielonego, lasowanego wapna (wodorotlenek wapniowy).

Wielu rzemieślników poleca wapno dołowane, powstałe z nielasowanych brył wapna palonego, które przeleżało w dole kilka miesięcy, a nawet lat. Podczas dołowania, tj. składowania po gaszeniu w formie brei, większe części wapna osiadają na dnie zbiornika. Górna warstwa dołowanego wapna nadaje się szczególnie do produkcji sprężystej, rozciągliwej zaprawy, która po związaniu nadaje tynkowi dużą elastyczność. Także dostępne w handlu mielone wapno lasowane należy dołować przez kilka dni, zanim zostanie użyte do zaprawy. Dolna warstwa w zbiorniku, gdzie osadziły się większe elementy i zanieczyszczenia, nie powinna być stosowana do zapraw tynkarskich. Można tego wapna użyć do zapraw murarskich.

W publikacjach zajmujących się remontami domów o szkieletowej konstrukcji drewnianej zaleca się często stosowanie tynku z wapna trasowego, zamiast czystego tynku wapiennego (np. Bühring i Gerner, 1983). Do wykonania obrutki zaprawę należy wykonać

z 1 część wapna trasowego i 6 części piasku. Do warstwy wierzchniej trzeba użyć 1 część wapna trasowego i 2,5 części piasku.

Wapno trasowe jest wapnem wysoko hydraulicznym o dużej wytrzymałości, powstałym z wodorotlenku wapniowego i pyłu trasowego (tuf trachitowy). Wapno to, obok typowego twardnienia przez wchłanianie CO<sub>2</sub>, twardnieje także przy łączeniu się z wodą. Zaletą takiego wiążącego hydraulicznie tynku jest jego stosunkowo szybko osiągnięta wytrzymałość początkowa. Wadą jest jego kruchość. Nie może on, tak jak tynk wykonany z czystego wapna, przystosować się do osiadania konstrukcji, które trwa często przez wiele miesięcy. Z tego też powodu niektórzy rzemieślnicy nie używają go do tynkowania nowych budynków. Inni z kolei zalecają mieszankę z 1 części wapna trasowego i 2 części wapna typowego.

Przeprowadzone analizy tynków na zabytkowych, kilkusetletnich budynkach, które wytrzymały najróżniejsze warunki atmosferyczne, często bez koniecznych napraw, wykazały, że w ich skład nie wchodzi wyłącznie wapno dołowane, ale także zanieczyszczenia i glina, powodujące wzrost wytrzymałości tynków. Zjawisko to można wytłumaczyć tym, że kwaśne składniki gliny, takie jak kwas krzemowy, tlenek glinowy, tlenek żelaza i inne, wiążą hydraulicznie i podnoszą wytrzymałość tynku oraz jego odporność na zmienną pogodę (Wisser i Knöfel 1988). W tynkach zabytkowych budynków znajdują się poza tym dodatki takich materiałów, jak ziemia pucolanowa i trass, popiół i mączka ceglana. Tworzą one w połączeniu z wapnem także wiązania hydrauliczne, por. rozdz. 4.3.2.

Mączka ceglana z wypalanych dzisiaj produktów nie wiąże hydraulicznie, ponieważ zbyt wysoka temperatura wypalania nie pozwala na zachowanie

Proszek wapna	wapno trasowe	piasek jastrychowy 0-4	twaróg chudy	pokost lniany	tlusta glina ilasta	nawóz krwi	uzyskane wartości $\mu$
1	-	3	-	-	-	-	11,2
-	1	3	-	-	-	-	10,8
1	-	6	0,5	-	-	-	6,2
1	-	15	0,5	-	3	-	9,7
1	-	3	-	0,05	-	-	15,2
1	-	3	0,25	0,05	-	-	28,5
1,5	-	10	-	-	2	6	8,0

TABELA 12.3 WARTOŚCI  $\mu$  DLA TYNKÓW WAPIENNYCH (SKŁAD W CZĘŚCIACH PRZESTRZENNYCH)

zdolnych do tego związków krzemu, żelaza i aluminium. Inaczej jest w przypadku produkcji cegieł w niskich temperaturach. W Indiach, gdzie cegłę wypala się przede wszystkim na wolnym powietrzu, rozpowszechniony jest tynk, w którego skład wchodzi 1 część wapna i 2 do 4 części mączki ceglanej albo ceglano-piasku.

Historyczne receptury zakładają przede wszystkim o wiele większy udział piasku i żwiru w składzie tynku, niż przewiduje to norma DIN 18550. W spodniej warstwie były ziarna żwiru do 8 mm średnicy, a w warstwie wierzchniej do 4 mm. Nie należy zapominać, że tynki te miały także inne domieszki, jak włosy zwierzęce, szczecinę i kazeinę. Ten ostatni składnik, który kiedyś dodawano w formie serwatki albo maślanki, tworzy z wapnem odporny na działanie wody związek albuminowo-wapienny.

Dzisiaj zaleca się stosowanie chudego twarogu albo świeżego sera o maksymalnej zawartości tłuszczu = 1,5%. Chudy twaróg zawiera ok. 11% kazeiny. Dzięki temu składnikowi redukuje się zdolność wchłaniania wody przez tynk wapienny, co jest szczególnie istotne dla tynków narażonych na wpływy atmosferyczne. Wadą jest tu równoczesne zmniejszenie możliwości dyfuzji pary wodnej.

Leszner i Stein (1987) zalecają do wykonania tynku kazeinowo-wapiennego następującą mieszankę:

- 3 wiadra piasku (0-2 mm)
- 3 wiadra żwiru jastrychowego (0-7 mm dla obrzutki, 0-4 mm dla warstwy wierzchniej)
- 1 wiadro wapna dołowanego
- 250 g chudego twarogu
- 0,25 wiadra włosów zwierzęcych lub szczeciny

Najpierw należy w mieszarce o obiegu wymuszonym wymieszać wapno z twarogiem i niewielką ilością wody, potem

dodać piasek i żwir, a na koniec włosy lub szczecinę.

Łatwiejsze do obróbki od włosów i szczeciny są włókna kokosowe. Do tynków wewnętrznych można, podobnie jak przy tynkach glinianych, dodać trociny, plewy, włókna lniane, igliwie modrzewiowe i inne włókna organiczne.

Niektórzy rzemieślnicy zalecają oprócz kazeiny dodawanie niewielkiej ilości pokostu lnianego. W tym jednak przypadku zmniejszy się zdolność przepuszczania pary wodnej, por. 12.5.6. W FEB przetestowano z powodzeniem zewnętrzny tynk kazeinowo-wapienny o znacznie większej zawartości kazeiny: chudy twaróg, wapno i piasek (0-2) w proporcji objętościowej: 1:10:40. Przy produkcji tej zaprawy należy w pierwszej kolejności przy pomocy mieszacza mechanicznego wymieszać wapno z twarogiem na jednolitą, kremową pastę.

Stosując ten rodzaj tynku należy pamiętać o zredukowanej zdolności dyfuzji pary wodnej, por. rozdz. 12.5.6.

Do naprawy pęknięć oraz jako cienki tynk nanoszony szerokim pędzlem, nadaje się jeszcze tłustsza mieszanka o następującym składzie objętościowym: 1 cz. chudego twarogu, 6 cz. wapna i 25 cz. piasku (0-1 mm).

W krajach o ciepłym klimacie dodaje się do tynku wapiennego trochę soli kuchennej. Powoduje to, że tynk pozostaje dłużej wilgotny. W ten sposób wapno wiąże szybciej i lepiej.

W Niemczech dodawano kiedyś wodę ze śledzi, która z uwagi na dużą zawartość soli powodowała podobną reakcję. Ponadto zawarte w tym płynie proteiny posiadają lekko stabilizujące działanie.

### 12.5.5 Nakładanie tynku

Przed wykonaniem tynków wapiennych powierzchnię glinianą należy nawilżyć, aby glina wchłaniała możliwie niewiele wody z tynku. Tynk zewnętrzny

kładzie się w 2 warstwach o łącznej grubości 20 mm. Pierwsza warstwa, obrzutka, może zawierać trochę cementu, aby szybciej związała. Drugą warstwę kładzie się na jeszcze wilgotnej, ale już trochę sztywniejącej obrzutce. W celu powstania uszczelniającej powłoki wapiennej nie zaciera się tynku pacą, lecz wygładza kielnią, ciągnąc ją z dołu do góry. Jeśli po kilku godzinach pojawią się rysy schnięcia, należy zmoczyć je mleczkiem wapiennym, używając szerokiego pędzla, a potem zatrzeć lekko naciskając pacę lub kielnię. Całą powierzchnię należy ponownie wygładzić kielnią w ten sam sposób, ciągnąc ją od dołu do góry. Tynki wapienne wiążą zawarty w powietrzu dwutlenek węgla (CO<sub>2</sub>). Proces ten następuje jednak tylko wtedy, kiedy zaprawa jest wilgotna. Kiedy jest sucha, to „spali się” i nie stwardnieje. Oznacza to, że należy świeżo położony tynk chronić przed bezpośrednim działaniem słońca i wiatru. Można ewentualnie zawiesić mokre szmaty albo zraszać go przez dłuższy czas wodą. Kiedy do zaprawy doda się niewielką ilość soli kuchennej, tynk pozostanie dłużej wilgotny i szybciej zwiąże.

Tynki wewnętrzne wykonuje się podobnie. Mogą one być jednowarstwowe. Ponadto można na ściany wewnętrzne kłaść tynki gipsowe albo wapienno-gipsowe, z dodatkiem kazeiny lub bez. Tynków cementowych należy jednak unikać.

### 12.5.6 Wpływ na dyfuzję pary wodnej

W FEB testowano negatywny wpływ pokostu i kazeiny na przenikanie pary wodnej przez tynki wapienne. Uzyskane wartości  $\mu$  pokazuje tabela 12.3

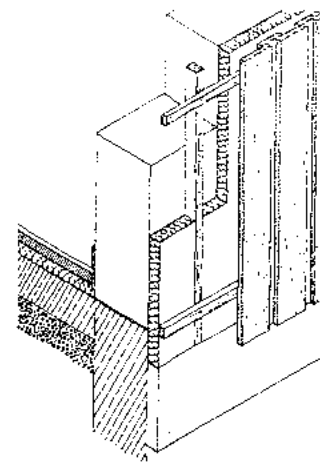




12.6-2



12.6-3



12.6-1 ŚCIANA GLINIANA Z WARSTWĄ IZOLACYJNĄ ZEWNĘTRZNĄ I WENTYLOWANĄ OSŁONĄ DREWNIANĄ



12.6-5

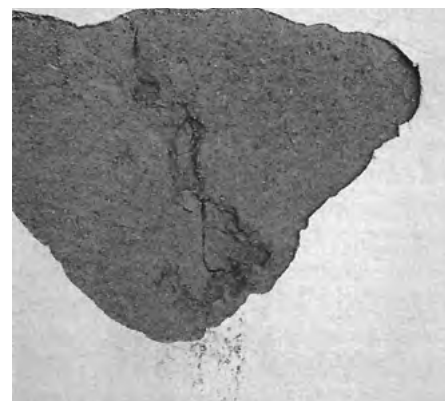
12.6-2 | 12.6-3 GONTY ZE STARYCH OPON SAMOCHODOWYCH

12.6-4 URZĄDZENIE DO ROZCINANIA STARYCH OPON SAMOCHODOWYCH, FEB

12.6-5 SKLEPIENIE GLINIANE POKRYTE GONTEM ZE ZUŻYTYCH PŁYTEK OFFSETOWYCH, FEB



12.6-4



12.5-2 TYPOWE SZKODY BUDOWLANE. JEŻELI TYNK WAPIENNY JEST SPĘKANY, TO DOSTANIE SIĘ DO SZCZELIN WODA DESZCZOWA. W KONSEKWENCJI SPODNIĄ WARSTWĄ TYNKU GLINIANEGO WCHŁONIE WODĘ I SPĘCNIJE. PRZEZ TO NASTĘPUJĄ KOLEJNE PĘKNIĘCIA ALBO WIĘKSZE ODPRYSKI TYNKU WAPIENNEGO.

## 12.6 Osłony/okładziny/warstwy zewnętrzne

W celu ochrony przed wpływami atmosferycznymi konstrukcji ściennych z gliny można stosować, oprócz powłok malarskich i tynków, także osłony z desek albo gontów, okładziny z wielkowymiarowych płyt lub też warstwy zewnętrzne z wypalanych cegieł.

Takie rozwiązania są szczególnie korzystne, kiedy ściana z gliny jest dodatkowo izolowana z zewnątrz.

Przedstawiona na rysunku 12.6-1 osłona jest typowym rozwiązaniem dla takich konstrukcji. Łaty pionowe, do których przymocowane są wkrętami łaty poprzeczne, można przybijać bezpośrednio do gliny gwoździami lub mocować używając kołków i wkrętów.

Zdjęcia 12.6-2 i 12.6-3 przedstawiają dwie spośród testowanych przez FEB możliwości stosowania gontów ze starych opon samochodowych. Gonty te mocuje się przy pomocy klamer wstrzeliwanych bezpośrednio do glinianej ściany specjalnym pistoletem.

Także sklepienia można pokrywać rozciętymi fragmentami bieżników starych opon (zdjęcie 12.6-2). Zdjęcie 12.6-4 przedstawia urządzenie wprawiające oponę w ruch rotacyjny, co umożliwi odcinanie nożem bieżnika od powierzchni bocznych. Stare opony są materiałem prawie niezniszczalnym i dlatego są w Niemczech składowane na specjalnych wysypiskach. Dlatego też można je za darmo pozyskać w zakładach rzemieślniczych wymienających opony lub na stacjach benzynowych. W celu pokrycia sklepień

glinianych o kształcie kopuł opracowano w FEB specjalną technikę: zużyte płyty aluminiowe z drukarni offsetowych wygięto na obydwu krawędziach w podwójny rąbek, aby powstał wodoszczelny profil, który także uniemożliwia podniesienie pojedynczych blach. Płyty te mocuje się przy pomocy jednego, ukrytego gwoźdźca – gwoździec ten nie jest narażony na działanie warunków atmosferycznych. Elementy mogą się na tyle przesunąć na wygięciach, że można nimi kryć zarówno powierzchnie o jednostronnej krzywiznie (forma walca), jak i o dwustronnej, kopulastej (zdjęcie 12.6-5). W Mezopotamii zewnętrzną, odporną na działania atmosferyczne powierzchnię uzyskuje się często poprzez obmurowanie ścian glinianych wypaloną, glazurowaną cegłą. Podobny efekt uzyskuje się przez zbudowanie okładziny z kamienia łamanego. W obydwu przypadkach można ścianę wykonać z ubijanej gliny, a warstwę zewnętrzną potraktować jako trawcone deskowanie. W regionach o dużych opadach atmosferycznych zaleca się oddzielać warstwę nośną od ostonowej szczeliną powietrzną o szerokości ok. 5 cm, aby wilgoć, która ewentualnie może dostać się do środka przez spoiny, pozostawała oddalona od glinianej ściany.

## 12.7 Konstrukcyjne środki zaradcze

### 12.7.1 Ochrona przed deszczem

Zabiegi uniemożliwiające dostawanie się wody deszczowej na zewnętrzną powierzchnię ściany glinianej określa się mianem konstrukcyjnych środków zaradczych. Do nich zalicza się okap dachowy oraz przede wszystkim ochrona cokołu przed wodą rozpryskową, uniemożliwiająca dostawanie się wody do gliny z pryskających kropel deszczu. Sam cokół powinien mieć co najmniej 30 cm wysokości, a jeszcze lepiej 50 cm.

Przy budowaniu cokołów należy pamiętać, aby woda mogła bez przeszkód spływać po fasadzie, a nie, jak w przykładzie A (rys. 12.7-1), zatrzymywać się na krawędzi cokołu i dostawać się w ten sposób do środka glinianej ściany. Konstrukcje B i C są wprawdzie lepsze, ale także niewarte polecenia. Rozwiązania D do F są właściwe, przy czym najlepszą ochronę stanowi konstrukcja F. Pozioma, przerywana linia przedstawia izolację przeciw podnoszącej się wilgoci w murze, a pionowa linia przerywana przedstawia powłokę izolacji pionowej, względnie tynk na cokole. (Celem rysunków jest jedynie przedstawienie spodu glinianej ściany, a nie możliwości łączenia ściany z posadzką).

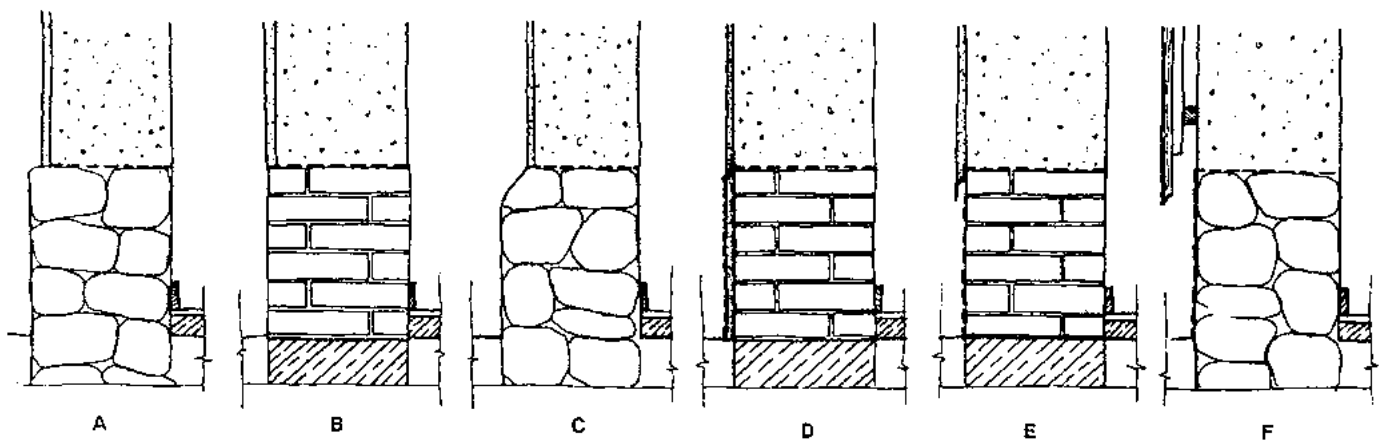
### 12.7.2 Ochrona przed nasiąkaniem

Podobnie, jak ściany z kamienia i cegły, również ściany zewnętrzne z gliny należy chronić przed wznoszącą się z fundamentu lub cokołu wilgocią poprzez poziomą izolację (por. 12.7-1).

Jako materiał izolacyjny stosuje się tu typowe środki bitumiczne, w wyjątkowych przypadkach także folie z tworzywa sztucznego lub metalu. W wielu krajach trzeciego świata izolację tą wykonuje się z 3 do 4 cm warstwy jastrychu cementowego pokrytego bitumem lub starym olejem.

### 12.7.3 Ochrona przed wodą w pomieszczeniach

W łazienkach i kuchniach należy do wysokości cokołu wykonać warstwę wodoszczelną z cegieł, glazury, jastrychu cementowego albo bitumu, aby w przypadku zalania pomieszczenia podczas awarii wodociągu czy np. pralki, nie dopuścić do nasiąknięcia glinianej ściany.



12.7-1 BŁĘDNE I WŁAŚCIWE KSZTAŁTY COKOŁÓW

# 13. NAPRAWA ELEMENTÓW GLINIANYCH – REMONTY ZABYTKOWYCH BUDOWLI PRZY POMOCY GLINY

## 13.1 Uwagi wstępne

Naprawy uszkodzonych elementów glinianych, szczególnie zamykanie rys i większych szczelin, wymaga specjalnych zabiegów, które nie są porównywalne z typowym reperowaniem np. ścian z cegły ceramicznej albo tynków wapiennych. Kolejne rozdziały opisują typowe dla gliny problemy występujące przy robotach remontowych oraz specjalne wymagania dotyczące napraw starych budowli, np. przy wykonywaniu dodatkowego ocieplenia murów konstrukcji szkieletowej przy użyciu gliny lekkiej. Wskazówki na temat odnowy przestrzeni międzybelkowych w budynkach zabytkowych techniką „na mokro” omówione są w rozdziale 9.

## 13.2 O powstawaniu uszkodzeń elementów glinianych

Szkody powstałe w elementach glinianych mogą być spowodowane przez zróżnicowane skurcze podczas schnięcia, poprzez różnice temperatur, przez działanie wilgoci oraz przez uszkodzenia mechaniczne.

Kiedy tynk podczas schnięcia kurczy się, kiedy jego przyczepność jest zbyt mała albo jest po prostu zbyt kruchy, jak w przypadku tynku cementowego, to może nastąpić jego całkowite odzieszczenie się od podłoża. Takie miejsca są akustycznie łatwo rozpoznawalne poprzez stukanie, a ton wydawany przez nieprzylegający do podłoża tynk jest wyraźnie niższy.

Rysy w tynku spowodowane są zarówno przez skurcze schnięcia, jak i przez duże różnice temperatur, co z kolei spowodowane jest różnymi współczynnikami rozszerzalności cieplnej tynku i jego podłoża.

Jeżeli w zewnętrznej części ściany glinianej skondensuje się większa ilość wilgoci i nie może się ona wystarczająco szybko wydostać na zewnątrz (co spowodowane jest przez szczelniejszy od gliny tynk albo powłokę malarską), to glina zaczyna pęcznieć, a tynk lub farba odpryskują.

Podobne uszkodzenia następują, kiedy woda dostaje się z zewnątrz przez pęknięcia lub uszkodzenia mechaniczne.

Jeśli mur gliniany jest przemoczony, to działanie mrozu powoduje także jego rozszerzanie się, a tym samym odpryski tynku i powłoki malarskiej.

Przy tym warto wiedzieć, że zamrażająca woda, przy niewielkim zawilgoceciu i dużej porowatości gliny, rozszerza się tylko w szczelinach, nie powodując odprysków. Jest to typowe dla ręcznie formowanych cegieł z piaszczystej gliny. „Zielonki”, tzn. niewypalone cegły gliniane z cegielni wykazują mniejszą porowatość, są przez to nieodporne na mróz i nie należy ich stosować do wznoszenia zewnętrznych warstw ścian ostonowych.

## 13.3 Naprawy spoin gliną

### 13.3.1 Wiadomości ogólne

Spoin albo rys w wyschniętych elementach glinianych nie można naprawiać plastyczną gliną, ponieważ nie łączy się ona z gliną suchą. Podczas wysychania powstawałyby kolejne pęknięcia, a wysychająca glina wypadłaby ze szczelin. Dlatego ważne jest odpowiednie przygotowanie zarówno podłoża, jak i materiału do napraw, aby podczas wysychania kurczyły się w niewielkim stopniu.

### 13.3.2 Materiał do spoinowania

W celu uzyskania właściwego materiału do wypełniania spoin i pęknięć należy pamiętać o następujących zasadach:

1. Masa powinna posiadać wystarczającą siłę wiązania, aby łączyć się z cząsteczkami namoczonej powierzchni spoiny.
2. Zawartość w niej gruboziarnistego piasku powinna być bardzo duża, a mieszanka możliwie sucha. W ten sposób minimalizujemy skurcz schnięcia, co zapobiegnie powstawaniu rys podczas wysychania. Zamiast gruboziarnistego piasku (lub też dodatkowo, oprócz piasku) można dodać plew, trocin, płatków celulozy itp.
3. Przy wypełnianiu szerokich szczelin można do wypełniającego je materiału dodać krótkie, drobne włókna. Mogą to być także włosy zwierzęce

oraz włókna kokosowe i sizalowe. Dodatki te redukują powstawanie pęknięć.

4. W celu szybszego wiązania można dodać gipsu, kredy, wapna lub cementu. Dodatki te powodują także „schudzenie” masy, co redukuje powstawanie rys skurczu. Wadą takiej mieszanki jest jednak jej mniejsza siła wiązania i często mniejsza wytrzymałość.

Dla wypełniania spoin wewnętrznych w budynkach stosuje się mieszankę z 1 części gliny, 0,5 do 1 części wapna oraz 0,5 do 1 części gipsu. W przypadku spoin, które narażone są na bezpośrednie działanie atmosferyczne, można do gliny dodać cementu, wapna trasowego, wapna zwykłego albo też mieszanki ze wszystkich tych materiałów w ilości 8 do 20%. Dobrym dodatkiem jest także pokost lniany w ilości 5 do 7%; masa taka posiada przez wiele tygodni, a nawet miesięcy konsystencję plastyczną.

### 13.3.3 Przygotowywanie spoin

Aby uzyskać dobre połączenie między starą, wyschniętą i nową, plastyczną gliną, należy pęknięcia rozszerzyć do wielkości ok. 1 cm (kiedy są one głębsze, to odpowiednio więcej), luźne kawałki usunąć, a krawędzie tak długo moczyć, aż spęcznieją i staną się plastyczne. Kiedy napraw dokonujemy przy użyciu mieszanki gliny z pokostem, to brzegi pęknięć należy nasączyć pokostem.

### 13.3.4 Wypełnianie spoin

Plastyczną masę glinianą należy najpierw nożem albo podobnym narzędziem nanieść na krawędzie spoin i wciśnąć w spęczniałą, miękką powierzchnię, albo też wgnieść ją w pęknięcie, mieszając ze starą gliną. Resztę spoiny należy wypełnić trochę bardziej suchym materiałem, wgniatając go lub ubijając młotkiem.

Zaleca się wypełnianie spoin większą ilością materiału, niż to jest konieczne. Tak długo, jak masa jest jeszcze plastycznie formowalna, można ubijać ją za pomocą młotka lub drewnianego stempla i w ten sposób wypełniać drobne rysy powstające podczas schnięcia.

## 13.4 Naprawa spoin bez użycia gliny

### 13.4.1 Wiadomości ogólne

Ponieważ naprawa spoin w elementach glinianych przy pomocy czystej gliny jest bardzo pracochłonna, przedstawione zostaną inne materiały, które podczas wysychania nie kurczą się i lepiej przylegają do suchej powierzchni.

### 13.4.2 Materiały do spoinowania

Zamiast wypełniać spoiny gliną, można uczynić to przede wszystkim przy pomocy materiałów, które stosuje się do tynkowania. Jako spoiwa służą przykładowo wapno, wapno trasowe, cement, gips, kazeina i pokost lniany. Dodatkami będą tu pyły, piasek albo czasem drobny żwir. Stosuje się także dodatki organiczne, jak korek, trociny, plewy zboża i ryżu oraz płatki celulozy.

Materiał do wypełniania spoin zewnętrznych nie powinien zawierać dodatków organicznych albo powinien mieć wysoką wartość pH, nie pozwalającą na zniszczenie ich przez mikroorganizmy.

Do spoinowania elementów glinianych nadają się także masy, które są trwale elastyczne, jak silikon albo akryl. Ten pierwszy przylega bardzo dobrze do powierzchni glinianych pod warunkiem, że są one suche i spoiste.

## 13.5 Naprawy większych powierzchni

### 13.5.1 Wiadomości ogólne

Uszkodzenia krawędzi albo większych powierzchni, powstałe wskutek wypłukania, erozji lub działania mechanicznego, można naprawiać tak samo, jak spoiny. Dodatkowo należy zwrócić uwagę na opisane niżej aspekty.

### 13.5.2 Naprawy przy pomocy gliny

Uszkodzenia na większych powierzchniach (do głębokości 5 cm) najlepiej naprawiać używając zaprawy glinianej. Roboty przygotowawcze i sama naprawa powinny odbywać się według zasad opisanych w rozdziale 11. Ważne jest, aby przed tym usunąć wszystkie luźne cząsteczki i dobrze namoczyć reperowaną powierzchnię.

W zasadzie pojedyncza warstwa glinianego tynku nie powinna być grubsza niż 1 do 1,5 cm. Jeśli uszkodzenia są głębsze niż 4 do 6 cm, to należy te miejsca jeszcze bardziej pogłębić, aby można je było wypełnić cegłami glinianymi i zaprawą. Oszczędzi to kilku procesów naprawy oraz zmniejszy niebezpieczeństwo powstawania pęknięć podczas schnięcia, jak również zredukuje czas remontu.

Przy wyborze cegieł należy pamiętać, że tylko te formowane ręcznie z chudej gliny i z wystarczającą ilością porów nadają się do prac remontowych („zielonki” nie są odporne na mróz i dlatego nie należy ich stosować do ścian zewnętrznych).

### 13.5.3 Środki zwiększające przyczepność powłok malarskich

Powierzchnie zewnętrzne pokrywane są najczęściej powłoką wapienną (rozd. 12.3). Kiedy tynk gliniany chcemy na nowo pomalować, to należy najpierw całkowicie usunąć resztki starej farby, a jako środka zwiększającego



przyczepność można użyć mieszanki mleka z kazeiną i wapnem. Jeśli powierzchnia jest bardzo piaszczysta lub miękka, można ją zagruntować klejem kazeinowo-wapiennym. Do jego produkcji używamy 1 części dołowanego wapna i 5 części chudego twarogu. Składniki należy dokładnie wymieszać bez dodatku wody przez ok. 1 min., używając mieszarki mechanicznej i potem rozcieńczyć w stosunku 1:5. Mieszankę należy nanosić bardzo cienko, ponieważ za gruba jej warstwa przeszkadzałaby dyfuzji pary wodnej. Klej należy zużyć w ciągu 1 godziny (Leszner i Stein 1987, str. 145).

## 13.6 Poprawa izolacyjności cieplnej przez stosowanie gliny lekkiej

### 13.6.1 Uwagi wstępne

Na kolejnych stronach omówione zostaną niektóre ogólne aspekty fizyczno-budowlane i konstrukcyjne poprawy izolacyjności cieplnej przy użyciu gliny lekkiej.

Bliższe informacje o dodatkach do gliny lekkiej opisano w rozdz. 4.7. Zastosowanie gliny lekkiej do wypełniania przestrzeni międzybelkowych w konstrukcjach szkieletowych omawia rozdz. 4.10. Budowę nowoczesnych ścian zewnętrznych z gliny lekkiej o wysokim stopniu izolacyjności opisuje rozdz. 14.2.1

### 13.6.2 Powody zwiększonego występowania wody kondensacyjnej

Występujące coraz częściej w ostatnich dziesięcioleciach zniszczenia konstrukcji ściennych w zabytkowych budynkach szachulcowych są przede wszystkim spowodowane zwiększonym występowaniem wody kondensacyjnej, co z kolei jest wynikiem zmienionych warunków użytkowania i intensywniejszego ogrzewania tych obiektów.

Także wytwarzanie wilgoci w kuchniach i łazienkach jest dzisiaj wielokrotnie większe niż kiedyś: do mycia używamy prysznicą, a zamiast cotygodniowego prania, które najczęściej odbywało się w przeznaczonym do tego pomieszczeniu, dzisiaj codziennie uruchamiamy pralkę. W nowoczesnym gospodarstwie stosuje się suszarki do wypranej bielizny, które także wytwarzają dodatkową wilgoć.

Przy zwiększaniu izolacyjności cieplnej, aby zapobiec uszkodzeniu ścian o konstrukcji szkieletowej, należy koniecznie pamiętać o wielkim znaczeniu przepuszczalności pary wodnej przez zewnętrzne warstwy murów oraz o kapilarnych zdolnościach zastosowanych materiałów budowlanych. Ogromne znaczenie w zabytkowych budynkach ma właściwy wybór rodzaju ogrzewania oraz jego rozmieszczenie. Tak samo istotne jest wymuszone, mechaniczne odprowadzanie wilgotnego powietrza z łazienki i kuchni.

### 13.6.3 Sposoby izolacji cieplnej

Ściany zewnętrzne o drewnianej konstrukcji szkieletowej i przestrzeniach międzybelkowych wypełnionych cegłą ceramiczną, cegłą glinianą albo plecionką i mieszanką gliniano-słomianą posiadają z reguły grubość od 14 do 20 cm. Współczynnik przewodności cieplnej  $k$  dla tych przestrzeni wynosi od 2,0 do 2,7 W/m<sup>2</sup>K, co z kolei daje (w zależności od ilości użytego drewna) wartość  $U$  dla całej ściany od 1,2 do 2,2 W/m<sup>2</sup>K. Straty ciepła są tu 3 do 6 razy większe niż dzisiaj dopuszczalne. Ponadto duże straty ciepła powstają dzięki niewystarczającej szczelności spoin (niekontrolowane wietrzenie). Najprostszym i najlepszym rozwiązaniem jest zwiększenie izolacyjności termicznej poprzez otulenie budynku dodatkową warstwą zewnętrzną.

Jeśli taka dodatkowa izolacja z racji estetycznych czy też z uwagi na przepisy

o ochronie zabytków jest wykluczona, pozostaje tylko możliwość izolowania od środka. Rozwiązanie to jest problematyczne, bo jak wykazuje praktyka, uniknięcie mostków termicznych i przenikania pary wodnej przez mur pruski czy szachulec nie jest we wszystkich miejscach ściany możliwe. Prowadzi to w wielu przypadkach do częściowego przemoczenia ściany lub jej części drewnianych, co z kolei staje się powodem daleko idących szkód budowlanych. Stałe przemoczenia mają także ujemny wpływ na zdrowie mieszkańców budynku (powstawanie grzybów pleśniowych) oraz powodują dodatkowe koszty, związane z koniecznością zwiększonego ogrzewania pomieszczeń.

Izolacja zewnętrzna jest z punktu widzenia fizyki i konstrukcji budowlanej najlepszym rozwiązaniem, ponieważ po jej zastosowaniu elementy nośne pozostają w strefie ciepłej i suchej. Wykonać ją można w formie tynku izolacyjnego albo też w postaci osobnej, wentylowanej warstwy fasady.

Poprzez zamurowanie przestrzeni międzybelkowych materiałami porowatymi (gazobetonem, pumeksem, cegłą lekką) można wprowadzić znacznie zwiększyć izolacyjność ściany, ale uzyskane w ten sposób wartości  $U$  (0,9 do 1,5 W/m<sup>2</sup>K) nie spełniają dzisiejszych oczekiwań. Dlatego też takie rozwiązanie nie może obyć się bez dodatkowej warstwy izolacyjnej.

Stosując izolację wewnętrzną należy pamiętać, że na stykach ścian wewnętrznych i stropu prawie nie do uniknięcia jest powstawanie mostków termicznych (przede wszystkim w miejscach przenikania przez ściany belek stropowych). Dlatego też w tych miejscach termoizolacyjność nie powinna być za duża. Ponadto – jak wymaga teoria oraz normy DIN – należy umieścić tam dodatkowo paroizolację. W praktyce jest to jednak tylko częściowo uzasadnione, ponieważ w miejscach

mostków termicznych przenika również para i występuje zwiększone powstawanie wody kondensacyjnej, co może prowadzić do uszkodzeń drewnianych konstrukcji nośnych.

#### 13.6.4 Dodatkowa warstwa z gliny lekkiej

Innym wariantem izolacji wewnętrznej, przy zastosowaniu której można zrezygnować z osobnej warstwy paroszczelnej, jest wykonanie dodatkowej warstwy z gliny lekkiej po wewnętrznej stronie ściany. Warstwa ta powinna przylegać bezpośrednio do muru, żeby gлина lekka, posiadająca znakomite zdolności transportu kapilarnego wody oraz duże możliwości wchłaniania wilgoci, mogła przyjąć ewentualną wodę kondensacyjną i przyspieszyć jej wysychanie.

Warstwa powietrzna lub inne uszczelnienie w środku ściany przerwałoby transport kapilarny na zewnątrz. Aby opór dyfuzji pary wodnej w tynku zewnętrznym i powłoce malarskiej nie był wyższy od występującego w warstwie wewnętrznej, należy ścianę od środka otynkować lub pomalować materiałem, którego opór dyfuzji jest odpowiednio duży.

Przed wykonaniem nowej warstwy z gliny lekkiej należy usunąć ze ściany tapety, powłoki malarskie oraz tynk i tak oczyszczoną powierzchnię pokryć cienką warstwą szlamu glinianego. Przed ścianą montuje się (odpowiednio do grubości przyszłej, dodatkowej warstwy) pionowe bale, krawędziaki lub łaty, do których przymocowuje się deskowanie (rys. 13.6-2). Warstwa gliny lekkiej powinna mieć, zależnie od warunków fizyczno-budowlanych, grubość od 15 do 25 cm, a jej gęstość nie powinna przekraczać  $800 \text{ g/m}^3$ . Korzystnym może okazać się zastosowanie dodatków zmniejszających zdolności gliny lekkiej do przenikania pary

wodnej. Podobną właściwość posiadają hamujące dyfuzję powłoki malarskie.

Jako dodatki do gliny lekkiej można zastosować wszystkie materiały opisane w rozdziale 4.7. Najbardziej praktyczne jest wykonanie tej warstwy z gliny lekkiej ze słomą. O wiele mniej czasu zabiera zastosowanie mineralnej gliny lekkiej transportowanej do szalunku pompą, por. rozdz. 10.

Przy pokazanych na zdjęciu (13.6-1) pracach remontowych budynku o konstrukcji szkieletowej w ciągu 8 godzin 5 osób wypełniło gliną lekką z keramzytem deskowanie o wielkości ok.  $60 \text{ m}^2$ . Gdyby zastosowano glinę lekką ze słomą, prace trwałyby czterokrotnie dłużej. Zdjęcie 13.6-3 przedstawia powierzchnię nowej ściany po rozdeskowaniu. Do jej wykonania wybrano glinę lekką o gęstości  $1000 \text{ kg/m}^3$ , co dało wystarczającą izolację dźwiękową, dobre właściwości magazynowania ciepła i wilgoci oraz wystarczająco duży opór dyfuzji pary wodnej.

Jeśli przepisy mówiące o ochronie zabytków nie stwarzają przeszkód w wykonaniu osłony zewnętrznej, to w każdym przypadku należy jednak wykonać izolację z zewnątrz budynku. Do tego celu nadaje się także dodatkowa warstwa wylana z mineralnej gliny lekkiej. Należy wykonać ją podobnie jak opisaną, wewnętrzną, tzn. bezpośrednio połączoną z powierzchnią istniejącego muru.

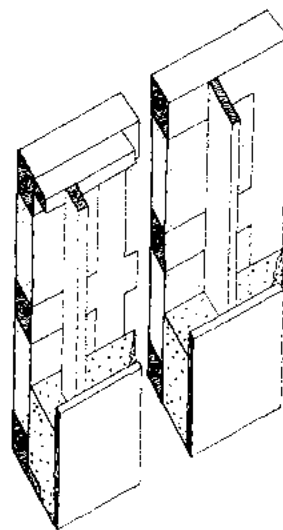
Prostsza metodą jest wymurowanie dodatkowej warstwy ze stabilizowanych cegieł z gliny lekkiej, por. rozdz. 7.2. Zewnętrzną powłokę może stanowić odporny na działania atmosferyczne tynk lub wentylowane deskowanie.

Gлина lekka ze słomą nie jest polecana jako izolacja zewnętrzna, ponieważ materiał ten stwarza zagrożenie powstawania grzyba albo zbutwienia po przemoczeniu deszczem lub wodą kondensacyjną. Niebezpieczeństwo to

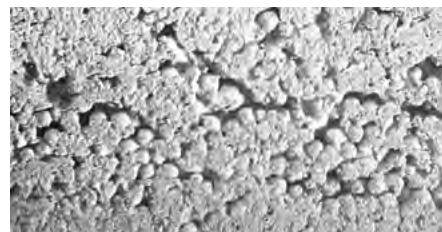
powiększa się, kiedy konserwujące, alkaliczne działanie gliny zostanie z biegiem czasu zneutralizowane kwaśnymi deszczami.



13.6-1 TRANSPORT MINERALNEJ GLINY LEKKIEJ PRZY POMOCY POMPY DO ZAPRAW



13.6-2 IZOLACJA WEWNĘTRZNA Z GLINY LEKKIEJ WYKONANA PRZY ŚCIANIE O KONSTRUKCJI SZKIELETOWEJ, DREWNIANEJ



13.6-3 POWIERZCHNIA ŚCIANY Z GLINY LEKKIEJ Z KERAMZYTEM O GĘSTOŚCI  $1000 \text{ kg/m}^3$

# 13. NAPRAWA ELEMENTÓW GLINIANYCH – REMONTY ZABYTKOWYCH BUDOWLI PRZY POMOCY GLINY

## 13.1 Uwagi wstępne

Naprawy uszkodzonych elementów glinianych, szczególnie zamykanie rys i większych szczelin, wymaga specjalnych zabiegów, które nie są porównywalne z typowym reperowaniem np. ścian z cegły ceramicznej albo tynków wapiennych. Kolejne rozdziały opisują typowe dla gliny problemy występujące przy robotach remontowych oraz specjalne wymagania dotyczące napraw starych budowli, np. przy wykonywaniu dodatkowego ocieplenia murów konstrukcji szkieletowej przy użyciu gliny lekkiej. Wskazówki na temat odnowy przestrzeni międzybelkowych w budynkach zabytkowych techniką „na mokro” omówione są w rozdziale 9.

## 13.2 O powstawaniu uszkodzeń elementów glinianych

Szkody powstałe w elementach glinianych mogą być spowodowane przez zróżnicowane skurcze podczas schnięcia, poprzez różnice temperatur, przez działanie wilgoci oraz przez uszkodzenia mechaniczne.

Kiedy tynk podczas schnięcia kurczy się, kiedy jego przyczepność jest zbyt mała albo jest po prostu zbyt kruchy, jak w przypadku tynku cementowego, to może nastąpić jego całkowite odcięcie się od podłoża. Takie miejsca są akustycznie łatwo rozpoznawalne poprzez stukanie, a ton wydawany przez nieprzylegający do podłoża tynk jest wyraźnie niższy.

Rysy w tynku spowodowane są zarówno przez skurcze schnięcia, jak i przez duże różnice temperatur, co z kolei spowodowane jest różnymi współczynnikami rozszerzalności cieplnej tynku i jego podłoża.

Jeżeli w zewnętrznej części ściany glinianej skondensuje się większa ilość wilgoci i nie może się ona wystarczająco szybko wydostać na zewnątrz (co spowodowane jest przez szczelniejszy od gliny tynk albo powłokę malarską), to glina zaczyna pęcznieć, a tynk lub farba odpryskują.

Podobne uszkodzenia następują, kiedy woda dostaje się z zewnątrz przez pęknięcia lub uszkodzenia mechaniczne.

Jeśli mur gliniany jest przemoczony, to działanie mrozu powoduje także jego rozszerzanie się, a tym samym odpryski tynku i powłoki malarskiej.

Przy tym warto wiedzieć, że zamarzająca woda, przy niewielkim zawilgoceciu i dużej porowatości gliny, rozszerza się tylko w szczelinach, nie powodując odprysków. Jest to typowe dla ręcznie formowanych cegieł z piaszczystej gliny. „Zielonki”, tzn. niewypalone cegły gliniane z cegielni wykazują mniejszą porowatość, są przez to nieodporne na mróz i nie należy ich stosować do wznoszenia zewnętrznych warstw ścian ostonowych.

## 13.3 Naprawy spoin gliną

### 13.3.1 Wiadomości ogólne

Spoin albo rys w wyschniętych elementach glinianych nie można naprawiać plastyczną gliną, ponieważ nie łączy się ona z gliną suchą. Podczas wysychania powstawałyby kolejne pęknięcia, a wysychająca glina wypadłaby ze szczelin. Dlatego ważne jest odpowiednie przygotowanie zarówno podłoża, jak i materiału do napraw, aby podczas wysychania kurczyły się w niewielkim stopniu.

### 13.3.2 Materiał do spoinowania

W celu uzyskania właściwego materiału do wypełniania spoin i pęknięć należy pamiętać o następujących zasadach:

1. Masa powinna posiadać wystarczającą siłę wiązania, aby łączyć się z cząsteczkami namoczonej powierzchni spoiny.
2. Zawartość w niej gruboziarnistego piasku powinna być bardzo duża, a mieszanka możliwie sucha. W ten sposób minimalizujemy skurcz schnięcia, co zapobiegnie powstawaniu rys podczas wysychania. Zamiast gruboziarnistego piasku (lub też dodatkowo, oprócz piasku) można dodać plew, trocin, płatków celulozy itp.
3. Przy wypełnianiu szerokich szczelin można do wypełniającego je materiału dodać krótkie, drobne włókna. Mogą to być także włosy zwierzęce

oraz włókna kokosowe i sizalowe. Dodatki te redukują powstawanie pęknięć.

4. W celu szybszego wiązania można dodać gipsu, kredy, wapna lub cementu. Dodatki te powodują także „schudzenie” masy, co redukuje powstawanie rys skurczu. Wadą takiej mieszanki jest jednak jej mniejsza siła wiązania i często mniejsza wytrzymałość.

Dla wypełniania spoin wewnętrznych w budynkach stosuje się mieszankę z 1 części gliny, 0,5 do 1 części wapna oraz 0,5 do 1 części gipsu. W przypadku spoin, które narażone są na bezpośrednie działanie atmosferyczne, można do gliny dodać cementu, wapna trasowego, wapna zwykłego albo też mieszanki ze wszystkich tych materiałów w ilości 8 do 20%. Dobrym dodatkiem jest także pokost lniany w ilości 5 do 7%; masa taka posiada przez wiele tygodni, a nawet miesięcy konsystencję plastyczną.

### 13.3.3 Przygotowywanie spoin

Aby uzyskać dobre połączenie między starą, wyschniętą i nową, plastyczną gliną, należy pęknięcia rozszerzyć do wielkości ok. 1 cm (kiedy są one głębsze, to odpowiednio więcej), luźne kawałki usunąć, a krawędzie tak długo moczyć, aż spęcznieją i staną się plastyczne. Kiedy napraw dokonujemy przy użyciu mieszanki gliny z pokostem, to brzegi pęknięć należy nasączyć pokostem.

### 13.3.4 Wypełnianie spoin

Plastyczną masę glinianą należy najpierw nożem albo podobnym narzędziem nanieść na krawędzie spoin i wcisnąć w spęczniałą, miękką powierzchnię, albo też wgnieść ją w pęknięcie, mieszając ze starą gliną. Resztę spoiny należy wypełnić trochę bardziej suchym materiałem, wgniatając go lub ubijając młotkiem.

Zaleca się wypełnianie spoin większą ilością materiału, niż to jest konieczne. Tak długo, jak masa jest jeszcze plastycznie formowalna, można ubijać ją za pomocą młotka lub drewnianego stempla i w ten sposób wypełniać drobne rysy powstające podczas schnięcia.

## 13.4 Naprawa spoin bez użycia gliny

### 13.4.1 Wiadomości ogólne

Ponieważ naprawa spoin w elementach glinianych przy pomocy czystej gliny jest bardzo pracochłonna, przedstawione zostaną inne materiały, które podczas wysychania nie kurczą się i lepiej przylegają do suchej powierzchni.

### 13.4.2 Materiały do spoinowania

Zamiast wypełniać spoiny gliną, można uczynić to przede wszystkim przy pomocy materiałów, które stosuje się do tynkowania. Jako spoiwa służą przykładowo wapno, wapno trasowe, cement, gips, kazeina i pokost lniany. Dodatkami będą tu pyły, piasek albo czasem drobny żwir. Stosuje się także dodatki organiczne, jak korek, trociny, plewy zboża i ryżu oraz płatki celulozy.

Materiał do wypełniania spoin zewnętrznych nie powinien zawierać dodatków organicznych albo powinien mieć wysoką wartość pH, nie pozwalającą na zniszczenie ich przez mikroorganizmy.

Do spoinowania elementów glinianych nadają się także masy, które są trwale elastyczne, jak silikon albo akryl. Ten pierwszy przylega bardzo dobrze do powierzchni glinianych pod warunkiem, że są one suche i spoiste.

## 13.5 Naprawy większych powierzchni

### 13.5.1 Wiadomości ogólne

Uszkodzenia krawędzi albo większych powierzchni, powstałe wskutek wypłukania, erozji lub działania mechanicznego, można naprawiać tak samo, jak spoiny. Dodatkowo należy zwrócić uwagę na opisane niżej aspekty.

### 13.5.2 Naprawy przy pomocy gliny

Uszkodzenia na większych powierzchniach (do głębokości 5 cm) najlepiej naprawiać używając zaprawy glinianej. Roboty przygotowawcze i sama naprawa powinny odbywać się według zasad opisanych w rozdziale 11. Ważne jest, aby przed tym usunąć wszystkie luźne cząsteczki i dobrze namoczyć reperowaną powierzchnię.

W zasadzie pojedyncza warstwa glinianego tynku nie powinna być grubsza niż 1 do 1,5 cm. Jeśli uszkodzenia są głębsze niż 4 do 6 cm, to należy te miejsca jeszcze bardziej pogłębić, aby można je było wypełnić cegłami glinianymi i zaprawą. Oszczędzi to kilku procesów naprawy oraz zmniejszy niebezpieczeństwo powstawania pęknięć podczas schnięcia, jak również zredukuje czas remontu.

Przy wyborze cegieł należy pamiętać, że tylko te formowane ręcznie z chudej gliny i z wystarczającą ilością porów nadają się do prac remontowych („zielonki” nie są odporne na mróz i dlatego nie należy ich stosować do ścian zewnętrznych).

### 13.5.3 Środki zwiększające przyczepność powłok malarskich

Powierzchnie zewnętrzne pokrywane są najczęściej powłoką wapienną (rozd. 12.3). Kiedy tynk gliniany chcemy na nowo pomalować, to należy najpierw całkowicie usunąć resztki starej farby, a jako środka zwiększającego



przyczepność można użyć mieszanki mleka z kazeiną i wapnem. Jeśli powierzchnia jest bardzo piaszczysta lub miękka, można ją zagruntować klejem kazeinowo-wapiennym. Do jego produkcji używamy 1 części dołowanego wapna i 5 części chudego twarogu. Składniki należy dokładnie wymieszać bez dodatku wody przez ok. 1 min., używając mieszarki mechanicznej i potem rozcieńczyć w stosunku 1:5. Mieszankę należy nanosić bardzo cienko, ponieważ za gruba jej warstwa przeszkadzałaby dyfuzji pary wodnej. Klej należy zużyć w ciągu 1 godziny (Leszner i Stein 1987, str. 145).

## 13.6 Poprawa izolacyjności cieplnej przez stosowanie gliny lekkiej

### 13.6.1 Uwagi wstępne

Na kolejnych stronach omówione zostaną niektóre ogólne aspekty fizyczno-budowlane i konstrukcyjne poprawy izolacyjności cieplnej przy użyciu gliny lekkiej.

Bliższe informacje o dodatkach do gliny lekkiej opisano w rozdz. 4.7. Zastosowanie gliny lekkiej do wypełniania przestrzeni międzybelkowych w konstrukcjach szkieletowych omawia rozdz. 4.10. Budowę nowoczesnych ścian zewnętrznych z gliny lekkiej o wysokim stopniu izolacyjności opisuje rozdz. 14.2.1

### 13.6.2 Powody zwiększonego występowania wody kondensacyjnej

Występujące coraz częściej w ostatnich dziesięcioleciach zniszczenia konstrukcji ściennych w zabytkowych budynkach szachulcowych są przede wszystkim spowodowane zwiększonym występowaniem wody kondensacyjnej, co z kolei jest wynikiem zmienionych warunków użytkowania i intensywniejszego ogrzewania tych obiektów.

Także wytwarzanie wilgoci w kuchniach i łazienkach jest dzisiaj wielokrotnie większe niż kiedyś: do mycia używamy prysznicą, a zamiast cotygodniowego prania, które najczęściej odbywało się w przeznaczonym do tego pomieszczeniu, dzisiaj codziennie uruchamiamy pralkę. W nowoczesnym gospodarstwie stosuje się suszarki do wypranej bielizny, które także wytwarzają dodatkową wilgoć.

Przy zwiększaniu izolacyjności cieplnej, aby zapobiec uszkodzeniu ścian o konstrukcji szkieletowej, należy koniecznie pamiętać o wielkim znaczeniu przepuszczalności pary wodnej przez zewnętrzne warstwy murów oraz o kapilarnych zdolnościach zastosowanych materiałów budowlanych. Ogromne znaczenie w zabytkowych budynkach ma właściwy wybór rodzaju ogrzewania oraz jego rozmieszczenie. Tak samo istotne jest wymuszone, mechaniczne odprowadzanie wilgotnego powietrza z łazienki i kuchni.

### 13.6.3 Sposoby izolacji cieplnej

Ściany zewnętrzne o drewnianej konstrukcji szkieletowej i przestrzeniach międzybelkowych wypełnionych cegłą ceramiczną, cegłą glinianą albo plecionką i mieszanką gliniano-słomianą posiadają z reguły grubość od 14 do 20 cm. Współczynnik przewodności cieplnej  $k$  dla tych przestrzeni wynosi od 2,0 do 2,7 W/m<sup>2</sup>K, co z kolei daje (w zależności od ilości użytego drewna) wartość  $U$  dla całej ściany od 1,2 do 2,2 W/m<sup>2</sup>K. Straty ciepła są tu 3 do 6 razy większe niż dzisiaj dopuszczalne. Ponadto duże straty ciepła powstają dzięki niewystarczającej szczelności spoin (niekontrolowane wietrzenie). Najprostszym i najlepszym rozwiązaniem jest zwiększenie izolacyjności termicznej poprzez otulenie budynku dodatkową warstwą zewnętrzną.

Jeśli taka dodatkowa izolacja z racji estetycznych czy też z uwagi na przepisy

o ochronie zabytków jest wykluczona, pozostaje tylko możliwość izolowania od środka. Rozwiązanie to jest problematyczne, bo jak wykazuje praktyka, uniknięcie mostków termicznych i przenikania pary wodnej przez mur pruski czy szachulec nie jest we wszystkich miejscach ściany możliwe. Prowadzi to w wielu przypadkach do częściowego przemoczenia ściany lub jej części drewnianych, co z kolei staje się powodem daleko idących szkód budowlanych. Stałe przemoczenia mają także ujemny wpływ na zdrowie mieszkańców budynku (powstawanie grzybów pleśniowych) oraz powodują dodatkowe koszty, związane z koniecznością zwiększonego ogrzewania pomieszczeń.

Izolacja zewnętrzna jest z punktu widzenia fizyki i konstrukcji budowlanej najlepszym rozwiązaniem, ponieważ po jej zastosowaniu elementy nośne pozostają w strefie ciepłej i suchej. Wykonać ją można w formie tynku izolacyjnego albo też w postaci osobnej, wentylowanej warstwy fasady.

Poprzez zamurowanie przestrzeni międzybelkowych materiałami porowatymi (gazobetonem, pumeksem, cegłą lekką) można wprowadzić znacznie zwiększyć izolacyjność ściany, ale uzyskane w ten sposób wartości  $U$  (0,9 do 1,5 W/m<sup>2</sup>K) nie spełniają dzisiejszych oczekiwań. Dlatego też takie rozwiązanie nie może obyć się bez dodatkowej warstwy izolacyjnej.

Stosując izolację wewnętrzną należy pamiętać, że na stykach ścian wewnętrznych i stropu prawie nie do uniknięcia jest powstawanie mostków termicznych (przede wszystkim w miejscach przenikania przez ściany belek stropowych). Dlatego też w tych miejscach termoizolacyjność nie powinna być za duża. Ponadto – jak wymaga teoria oraz normy DIN – należy umieścić tam dodatkowo paroizolację. W praktyce jest to jednak tylko częściowo uzasadnione, ponieważ w miejscach

mostków termicznych przenika również para i występuje zwiększone powstawanie wody kondensacyjnej, co może prowadzić do uszkodzeń drewnianych konstrukcji nośnych.

#### 13.6.4 Dodatkowa warstwa z gliny lekkiej

Innym wariantem izolacji wewnętrznej, przy zastosowaniu której można zrezygnować z osobnej warstwy paroszczelnej, jest wykonanie dodatkowej warstwy z gliny lekkiej po wewnętrznej stronie ściany. Warstwa ta powinna przylegać bezpośrednio do muru, żeby glina lekka, posiadająca znakomite zdolności transportu kapilarnego wody oraz duże możliwości wchłaniania wilgoci, mogła przyjąć ewentualną wodę kondensacyjną i przyspieszyć jej wysychanie.

Warstwa powietrzna lub inne uszczelnienie w środku ściany przerwałoby transport kapilarny na zewnątrz. Aby opór dyfuzji pary wodnej w tynku zewnętrznym i powłoce malarskiej nie był wyższy od występującego w warstwie wewnętrznej, należy ścianę od środka otynkować lub pomalować materiałem, którego opór dyfuzji jest odpowiednio duży.

Przed wykonaniem nowej warstwy z gliny lekkiej należy usunąć ze ściany tapety, powłoki malarskie oraz tynk i tak oczyszczoną powierzchnię pokryć cienką warstwą szlamu glinianego. Przed ścianą montuje się (odpowiednio do grubości przyszłej, dodatkowej warstwy) pionowe bale, krawędziaki lub łaty, do których przymocowuje się deskowanie (rys. 13.6-2). Warstwa gliny lekkiej powinna mieć, zależnie od warunków fizyczno-budowlanych, grubość od 15 do 25 cm, a jej gęstość nie powinna przekraczać  $800 \text{ g/m}^3$ . Korzystnym może okazać się zastosowanie dodatków zmniejszających zdolności gliny lekkiej do przenikania pary

wodnej. Podobną właściwość posiadają hamujące dyfuzję powłoki malarskie.

Jako dodatki do gliny lekkiej można zastosować wszystkie materiały opisane w rozdziale 4.7. Najbardziej praktyczne jest wykonanie tej warstwy z gliny lekkiej ze słomą. O wiele mniej czasu zabiera zastosowanie mineralnej gliny lekkiej transportowanej do szalunku pompą, por. rozdz. 10.

Przy pokazanych na zdjęciu (13.6-1) pracach remontowych budynku o konstrukcji szkieletowej w ciągu 8 godzin 5 osób wypełniło gliną lekką z keramzytem deskowanie o wielkości ok.  $60 \text{ m}^2$ . Gdyby zastosowano glinę lekką ze słomą, prace trwałyby czterokrotnie dłużej. Zdjęcie 13.6-3 przedstawia powierzchnię nowej ściany po rozdeskowaniu. Do jej wykonania wybrano glinę lekką o gęstości  $1000 \text{ kg/m}^3$ , co dało wystarczającą izolację dźwiękową, dobre właściwości magazynowania ciepła i wilgoci oraz wystarczająco duży opór dyfuzji pary wodnej.

Jeśli przepisy mówiące o ochronie zabytków nie stwarzają przeszkód w wykonaniu osłony zewnętrznej, to w każdym przypadku należy jednak wykonać izolację z zewnątrz budynku. Do tego celu nadaje się także dodatkowa warstwa wylana z mineralnej gliny lekkiej. Należy wykonać ją podobnie jak opisaną, wewnętrzną, tzn. bezpośrednio połączoną z powierzchnią istniejącego muru.

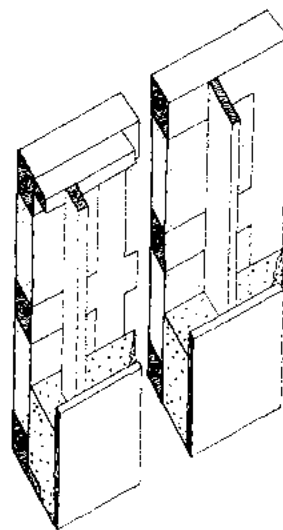
Prostsza metodą jest wymurowanie dodatkowej warstwy ze stabilizowanych cegieł z gliny lekkiej, por. rozdz. 7.2. Zewnętrzną powłokę może stanowić odporny na działania atmosferyczne tynk lub wentylowane deskowanie.

Glina lekka ze słomą nie jest polecana jako izolacja zewnętrzna, ponieważ materiał ten stwarza zagrożenie powstawania grzyba albo zbutwienia po przemoczeniu deszczem lub wodą kondensacyjną. Niebezpieczeństwo to

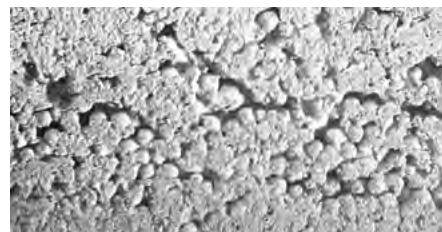
powiększa się, kiedy konserwujące, alkaliczne działanie gliny zostanie z biegiem czasu zneutralizowane kwaśnymi deszczami.



13.6-1 TRANSPORT MINERALNEJ GLINY LEKKIEJ PRZY POMOCY POMPY DO ZAPRAW



13.6-2 IZOLACJA WEWNĘTRZNA Z GLINY LEKKIEJ WYKONANA PRZY ŚCIANIE O KONSTRUKCJI SZKIELETOWEJ, DREWNIANEJ



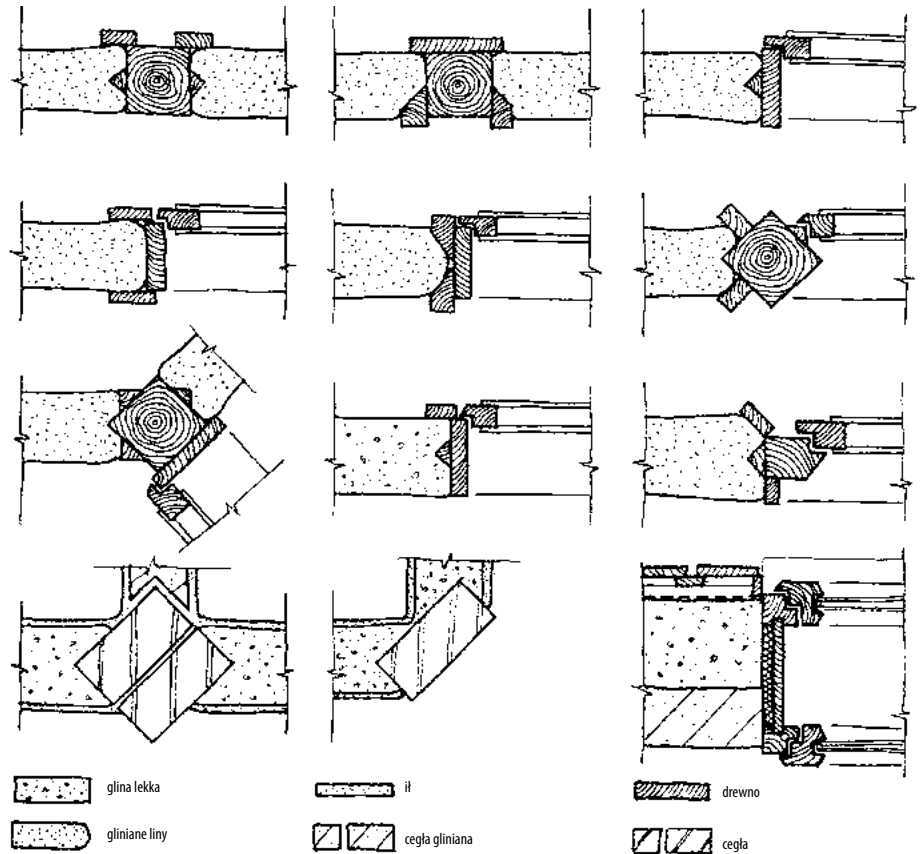
13.6-3 POWIERZCHNIA ŚCIANY Z GLINY LEKKIEJ Z KERAMZYTEM O GĘSTOŚCI  $1000 \text{ kg/m}^3$

# 14. ROZWIĄZANIA SZCZEGÓLNE

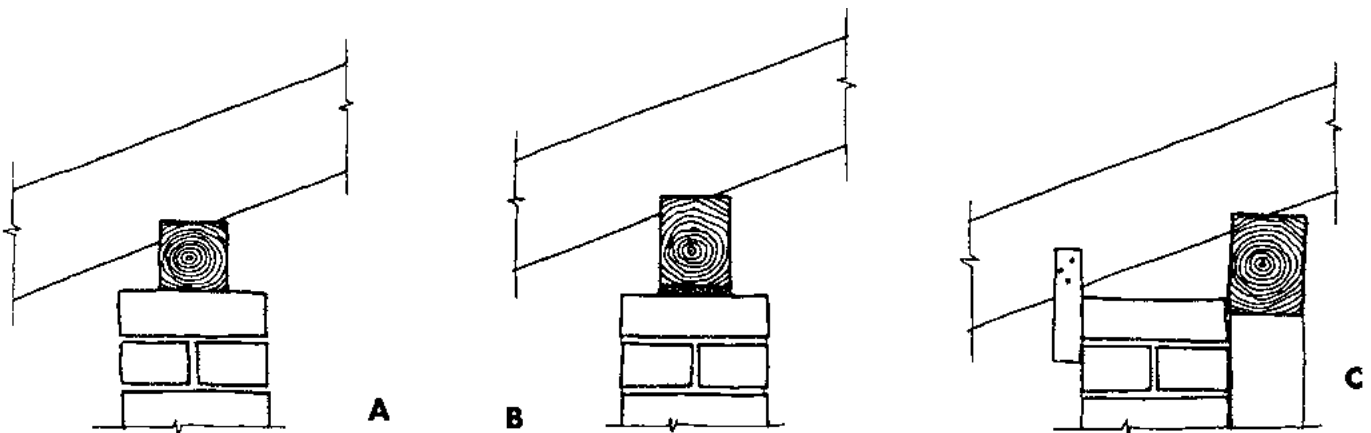
## 14.1 Przyłączenia

Specjalnej uwagi wymagają łączenia elementów glinianych ze słupami, belkami albo ramami okiennymi. Przy stosowaniu techniki „na mokro” tworzą się szczeliny spowodowane kurczeniem się gliny podczas schnięcia. Kiedy używamy surowego drewna, to powstają one także już po wyschnięciu gliny, co należy tłumaczyć o wiele dłuższym procesem kurczenia się drewna. Przy nowych budynkach o konstrukcji szkieletowej słupowej drewno dopiero po upływie dwóch lat jest na tyle wyschnięte, że przestaje się kurczyć, podczas gdy glina ten sam stan osiąga już po 2-12 tygodniach.

Rysunek 14.1-1 przedstawia możliwości tworzenia połączeń ścian glinianych wzniesionych różnymi metodami ze słupami, filarami, jak również z ramami okiennymi i drzwiowymi. Przy ścianach zewnętrznych należy pamiętać, że spoiny nie są szczelne. Szczelność spoin musi zapewnić ich zalanie albo położenie warstw tynku.



14.1-1 MOŻLIWOŚCI ŁĄCZENIA ŚCIAN WYKONANYCH Z PASM GLINIANYCH, RĘKAWÓW, CEGIEŁ GLINIANYCH ORAZ GLINY UBIJANEJ LUB WSYPYWANEJ DO SZALUNKU (PRZEKROJE POZIOME).



14.1-2 POŁĄCZENIA GÓRNE ZE ŚCIANAMI GLINIANYMI NOŚNYMI I DZIAŁOWYMI (PRZEKROJE PIONOWE)

Jeśli krokwie leżą na ścianie nośnej z gliny, to w celu równomiernego przenoszenia sił należy przewidzieć ułożenie na niej murłaty, por. rozwiązanie A rys. 14.1-2. Ponieważ przy konstrukcji szkieletowej słupowej należy liczyć się z kurczeniem się słupów, można między płatwią dachową a ścianą położyć elastyczną wkładkę np. z korka, filcu jutowego lub kokosowego albo podobnego materiału, por. rozwiązania B. Najprostszym rozwiązaniem tego problemu jest postawienie ściany poza konstrukcją drewnianą (rys. 14.1-2, C). W tym wypadku ścianę chroni przed przewróceniem się na zewnątrz przymocowana do krokwi knaga.

## 14.2 Szczególne konstrukcje ścienne

### 14.2.1 Ściany gliniane o dużej izolacyjności termicznej

Typowa ubijana glina bez okruszków skalnych oraz lite cegły gliniane posiadają gęstość od 1800 do 2000 kg/m<sup>3</sup> i przewodność cieplną  $\lambda = \text{ok. } 0,9 \text{ W/mK}$ .

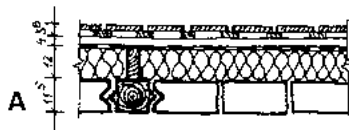
Współczynnik przenikania ciepła U dla nieotynkowanej ściany grubości ok. 0,3 m z ubitej gliny wyniesie więc:

$$U = \frac{1}{1/h_i + s/\lambda + 1/h_e} = \frac{1}{0,13 + 0,33 + 0,04} = 1,99 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

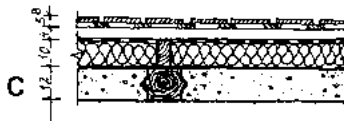
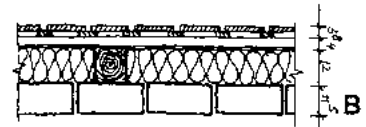
Lita ściana gliniana o grubości 50 cm, otynkowana z obydwu stron posiada wartość  $U = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ ; wartość  $U = 0,5$  osiągnęłaby ściana grubości 1,65 m.

Oznacza to, że użycie litej gliny w północnej i środkowej Europie do budowy ścian zewnętrznych ma tylko wtedy uzasadnienie, kiedy z zewnątrz zabezpiecza ją dodatkowa izolacja termiczna albo gdy konstrukcje te powstają z dobrze izolującej gliny lekkiej.

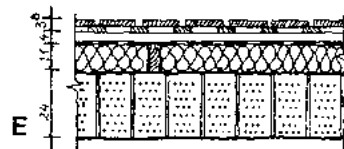
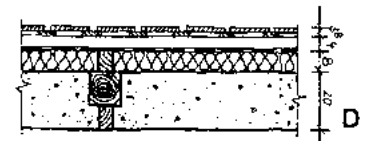
Rysunki 14.2-1 przedstawiają przykłady rozwiązań ścian, które osiągają wartość  $U = 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Konstrukcje te zawierają także wystarczająco dużo masy glinianej stanowiącej izolację dźwiękochłonną, kumulującą ciepło oraz regulującą wilgotność pomieszczeń.



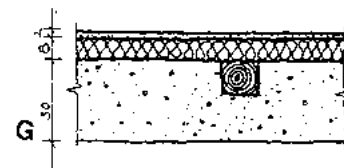
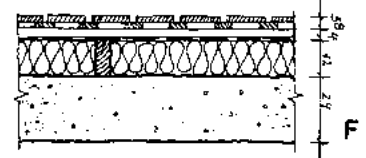
DESKOWANIE WENTYLOWANE  
PAPA  
IZOLACJA TERMICZNA ( $\lambda = 0,04$ )  
CEGLA GLINIANA MIĘDZY LUB  
PRZED KONSTRUKCJĄ SZKIELETOWĄ SŁUPOWĄ



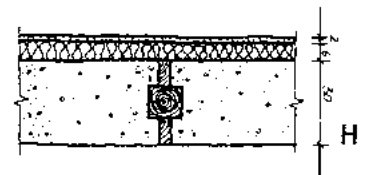
IZOLACJA TERMICZNA ( $\lambda = 0,04$ )  
GLINA LEKKA MINERALNA MIĘDZY DREWNIANYMI  
SŁUPAMI ( $\lambda = 0,21$ )



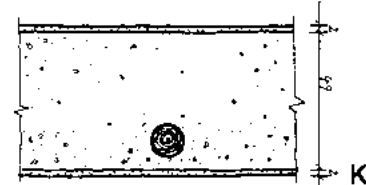
IZOLACJA TERMICZNA ( $\lambda = 0,04$ )  
ŚCIANA NOŚNA Z GLINY  
( $\lambda = 0,7$ ) ( $\lambda = 0,9$ )



TYNK WAPIENNY  
KOREK ( $\lambda = 0,05$ ) POWŁOKA TERMICZNA ( $\lambda = 0,04$ )  
MINERALNA GLINA LEKKA ( $\lambda = 0,21$ )



MINERALNY TYNK IZOLUJĄCY  
MINERALNA GLINA LEKKA ( $\lambda = 0,18$ )  
KONSTRUKCJA SZKIELETOWA SŁUPOWA  
TYNK Z GLINY LEKKIEJ



14.2-1 PRZEKROJE POZIOME RÓŻNYCH PRZYKŁADÓW ŚCIAN O WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA  $U = 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$



Rozwiązania E i F przedstawiają ściany nośne, pozostałe to ściany osłonowe, nienośne. Ściany zewnętrzne z warstwą gliny lekkiej od strony wewnętrznej wpływają dodatnio na przytulność pomieszczeń. Dzieje się tak, ponieważ mają one niewielką przewodność cieplną i temperatura powierzchni ścian jest nieznacznie tylko niższa od temperatury w pomieszczeniu. Wypromieniowanie ciepła ludzkiego w kierunku ścian następuje też tylko w niewielkim stopniu.

Rozwiązania G do K cechuje ponadto bardzo dobra izolacyjność dźwiękowa. Służąca za izolację termiczną, związana cementem płyta z wełny drzewnej (przykład G), może służyć równocześnie jako tracone deskowanie dla warstwy z mineralnej gliny lekkiej oraz jako podkład pod tynk. Rolę traconego deskowania przejąć mogą także lekkie bitumizowane płyty z włóknami drewnianymi, płyty korkowe albo sprasowane płyty z wełny mineralnej, pod warunkiem jednak, że znajdują się one za wentylowanym deskowaniem, stanowiącym bezpośrednią ochronę ściany przed warunkami atmosferycznymi.

Lepszą izolacyjność cieplną, a tym samym mniejszą grubość ściany z gliny lekkiej, uzyskamy stosując powłokę termiczną, jak w rozwiązaniu H.

Prostymi, a z punktu widzenia fizyki budowlanej bardzo dobrymi rozwiązaniami są konstrukcje ścienne J i K, będące jedynie otynkowaną gliną lekką. Od strony zewnętrznej należy jednak przewidzieć wystarczająco duży okap albo też zastosować zamiast tynku deskowanie wentylowane. Zamiast przedstawionego w przykładach A do F wentylowanego deskowania można zbudować inną wentylowaną konstrukcję, np. z gontów, z prasowanych płyt cementowo-wiórowych albo z warstwy cegły licówki.

Przy budowie ścian zewnętrznych należy pamiętać, że spoiny nie są szczelne



14.2-2

14.2-2 | 14.2-3 ŚCIANA Z WYPEŁNIONYCH GLINĄ STARYCH OPON SAMOCHODOWYCH, USA

na działanie wiatru i aby zapewnić ich nieprzepuszczalność, należy albo je zakleić, albo ścianę pokryć tynkiem.

Według obowiązującego w Niemczech od roku 2002 zarządzenia o oszczędzaniu energii, ściana zewnętrzna o wartości  $U = 0,3W/m^2K$  jest niedostatecznie izolowana. Oznacza to, że biorąc po uwagę aspekty gospodarcze, rozsądnym będzie w przedstawionych na rys 14.2-1 rozwiązaniach A do F znacznie zwiększyć izolację termiczną, a w przykładach I oraz K zastosować dodatkowo izolację cieplną zewnętrzną.

### 14.2.2 Ściany z wypełnionych gliną starych opon samochodowych

Na możliwość wypełniania elementów przestrzennych izolacyjną gliną lekką zwrócono uwagę w rozdziale 10.6. Jeśli wymagania dotyczące izolacji termicznej są niewielkie, to można elementy te napętnić gruzetkową, wilgotną, niezagęszczoną gliną albo też zasypać lub napompować breją glinianą z dodatkami.

Michael E. Reynolds w stanie Nowy Meksyk (USA) przy budowie ścian wielu budynków mieszkalnych zastosował napętniane ziemią, używane opony samochodowe. W przedstawionym



14.2-3

na zdjęciu 14.2-2 projekcie z roku 1978 poukładano zachodzące na siebie opony, wypełniając je gliną pochodzącą z wykopu pod budynek. W celu stabilizacji ścian górną warstwę opon napętniono chudym betonem, połączono wieńcem z bali drewnianych i położono na nim konstrukcję dachu. Powierzchnie wewnętrzne pokryto siatką jednolitą i tynkiem.

### 14.2.3 Rękawy z tkaniny wypełnione gliną

W FEB sprawdzano różne możliwości wykonywania ścian i kopu z rękawów napętnianych piaskiem lub gliną.

Zdjęcie 14.2-4 przedstawia wykonaną w 1977 roku kopułę z rękawów



14.2-4 KOPUŁA Z WORKÓW Z PIASKIEM



14.2-5 DOŚWIADCZALNA BUDOWLA FEB W KASSEL



14.2-6 NAPEŁNIANIE RĘKAWÓW ZIEMIĄ

poliestrowych wypełnionych piaskiem i częściowo ziemią. Zdjęcie 14.2-5 pokazuje ścianę zbudowaną w 1978 r. jako obiekt doświadczalny Uniwersytetu w Kassel. Użyto tu rękawów jutowych wypełnionych ziemią pumekową. Aby zapobiec zmurzeniu tkaniny nasączono ją najpierw rzadkim mlekiem wapiennym, a potem dwukrotnie pomalowano wapnem z drobnym piaskiem.

Architekt Nader Khalili rozwinął tę technologię w latach 80-tych. Użył rękawów poliestrowych, takich samych, jakie stosuje się do wytwarzania worków na cukier i ryż, napętniając je ziemią. Za każdym razem, zanim położono kolejną warstwę, tę gotową zagęścić

poprzez ubijanie (zdjęcia 14.2-6 i 14.2-7). Technologia ta rozpowszechniła się w krajach Południowej Ameryki pod nazwą „Superadobe” (zdjęcie 14.2-8).

### 14.3 Konstrukcje stropowe z gliną

#### 14.3.1 Tradycyjne konstrukcje stropowe

W zabytkowych budynkach szachulcowych wypełniano stropy gliną w celu poprawienia ich odporności ogniowej i izolacyjności termicznej oraz dźwiękowej. Ponieważ opisane niżej tradycyjne techniki są stosunkowo pracochłonne, stosuje się je dzisiaj tylko przy remontach zabytkowych budynków.



14.2-7 UBIJANIE



14.2-8 BUDYNEK Z SUPERADOBE, BRAZYLIA

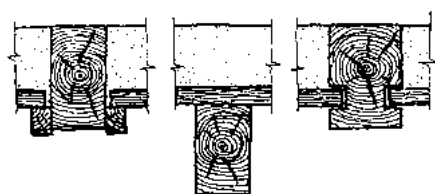
### Strop z ubitej gliny na drewnianych belkach nośnych

W zabytkowych stropach z ubitej gliny deski nośne albo leżą bezpośrednio na belkach drewnianych, albo mocowane są za pomocą listew lub też wsunięte we wpusty (rys. 14.3-1). Na te deski wsypywano wilgotną, gruzelkową glinę i lekko zagęszczano przez ubijanie. Aby glina przez szpary nie przedostawała się na zewnątrz, układano wcześniej na deskach cienką warstwę słomy albo ok. 2 cm tynku z tłustej gliny zmieszanej ze słomą. Dzisiaj w tym celu stosuje się nasączony olejem papier, maty z włókniny albo folię.

Glina lekka o niewielkiej gęstości nie może być obciążana bezpośrednio, a ponadto nie stanowi dobrej izolacji od dźwięków powietrznych. Jako ubijaną masę stosuje się ją tylko wtedy, gdy wymagania dotyczące izolacji termicznej są bardzo wysokie.

### Strop szpalerowy

W historycznym stropie szpalerowym obciążenia przenoszą położone albo wsunięte kije, krawędziaki lub specjalnie wytwarzane przez rozszczepianie listwy drewniane. Wkłada się je w odstępach 3 do 6 cm. Wsypywana z góry mieszanka gliny ze słomą jest potem uciskana przez szczeliny w listwach tak długo, aż u dołu zaczynają zwiisać gliniane języki na długość 8 do 10 cm, które potem zaciera się od spodu pacą (rys. 14.3-2)



14.3-1 STROP Z UBITEJ GLINY NA DREWNIANYCH BELKACH NOŚNYCH

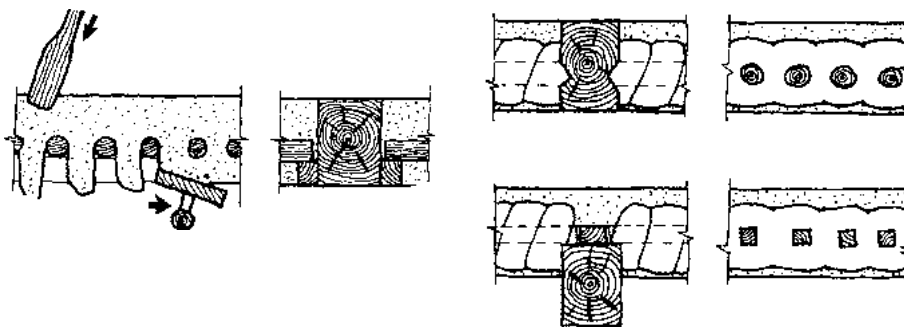
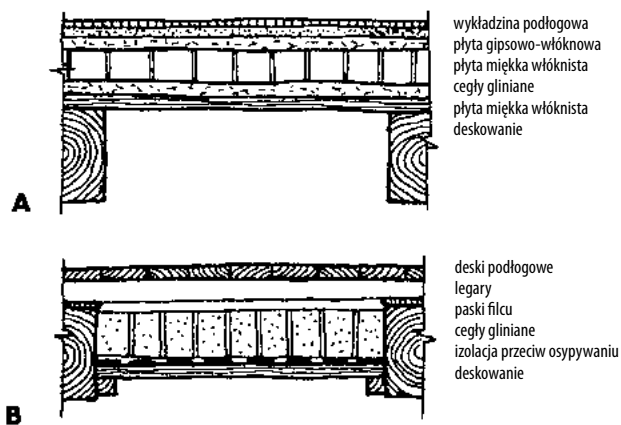
### Strop ubijany na listwach drewnianych

Przy tym rodzaju stropu glina jest ubijana wokół drewnianych listew na ruchomym, przesuwym poziomo szalunku. Przy tej metodzie deskowanie przesuwane jest albo pod, albo między belkami stropowymi. Szalunek jest od dołu zaklinowany i podparty stojakami tak, aby był przyciśnięty do belek lub też do łąt, na których leżą listwy.

### Strop wsuwkowy (szczapowy, kołkowy)

W historycznym stropie wsuwkowym na listwy z drewna okrągłego lub rozszczepianego nawija się mieszankę z gliny i słomy (patrz 9.5-3) i takie pęki albo wsuwa się do wpustów między belkami, albo kładzie bezpośrednio na belki stropowe. U góry na zwojach układa się warstwę gliny zmieszanej ze słomą (rys. 14.3-3).

14.3-4 STROP NA BELKACH DREWNIANYCH Z CEGŁAMI GLINIANYMI



14.3-2 STROP SZPALEROWY

### 14.3.2 Nowsze konstrukcje stropowe

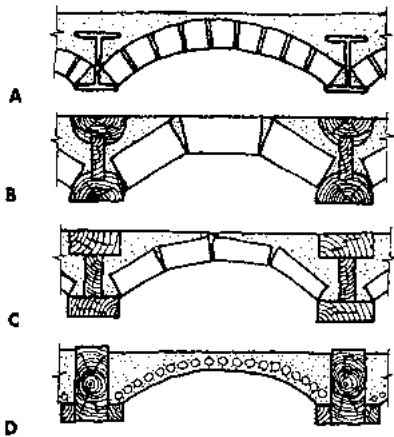
Glina między drewnianymi belkami stropowymi zwiększa izolacyjność od dźwięków powietrznych, termoizolację i magazynowanie wilgoci. Zamiast stosowanej kiedyś luźnej gliny albo owiniętych mieszanką gliniano-słomianą listew można stosować także cegły gliniane. Zaletą tej metody jest to, że jest ona wykonywana na sucho i nie wymaga użycia żadnych urządzeń do przygotowania i transportu materiału.

Rys. 14.3-4 A przedstawia prosty przykład stropu, który jest możliwy do zbudowania także przez laików. Zdjęcie 14.3-5 pokazuje wzór płasko ułożonych „zielonek”. Zaletą przedstawionej na rysunku 14.3-4 B alternatywy jest niewielka wysokość stropu, jednak rozwiązanie to jest dość pracochłonne.

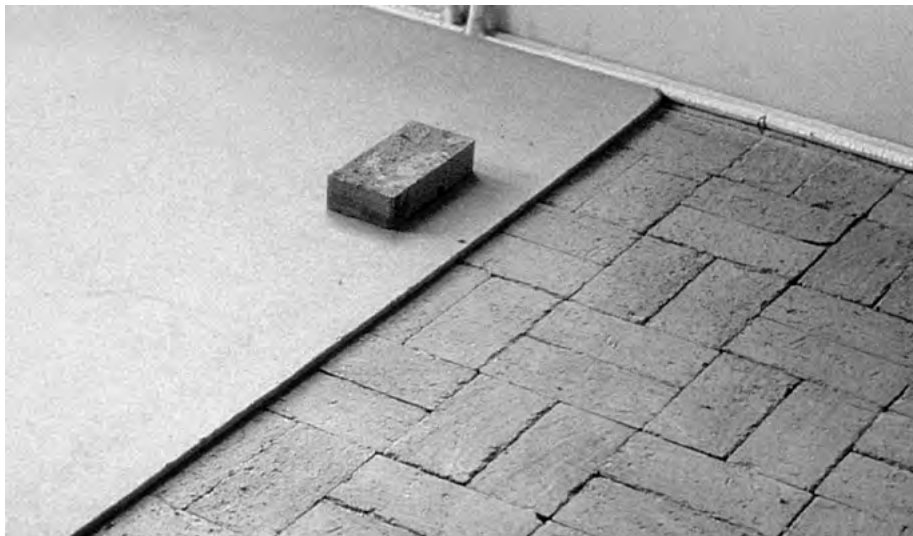
W przykładach 14.3-6 A, B i C pokazano stropy ze sklepieniami odcinkowymi, gdzie cegły gliniane przenoszą

14.3-3 STROP NAWIJANY (WG VOLKHARDA1983)

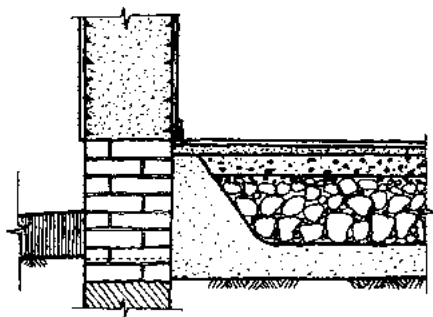




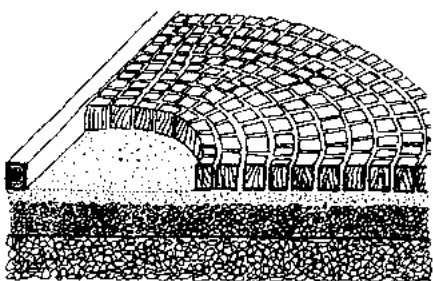
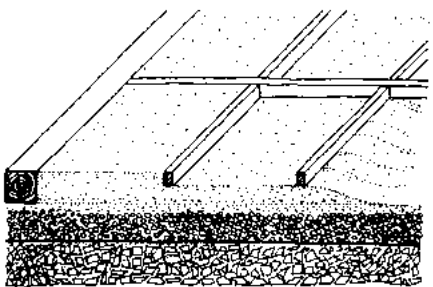
14.3-6 KLEPIENIA ODCINKOWE



14.3-5 WARSTWA CEGIEŁ GLINIANYCH NA STROPIE Z BELEK DREWNIANYCH



14.4-1 BUDOWA POSADZKI W POMIĘSZCZENIACH MIESZKALNYCH (WEDŁUG NIEMEYERA 1946)



14.4-2 POSADZKI Z GLINY (MINKE 1985 (B))

obciążenia na belki podobnie, jak w płaskim stropie ceramicznym. Rozwiązanie D to tzw. pozorne sklepienie odcinkowe, ponieważ glina stanowi jedynie wypełnienie przestrzeni między belkami i nie jest elementem nośnym. Glinę układa się na matach trzcinowych, będących traconym deskowaniem i równocześnie podkładem tynkarskim.

## 14.4 Posadzka z ubijanej gliny

### 14.4.1 Wiadomości ogólne

Powierzchni posadzki, po której chodzi się codziennie, stawia się bardzo wysokie wymagania. Powinna ona być wytrzymała na nacisk, wodoszczelna, odporna na ścieranie i pęknięcie. Budowa takiej powierzchni z gliny nie jest prosta, ale przy solidnym wykonaniu możliwa.

Przy posadzkach glinianych najtrudniejsze jest uzyskanie ich wysokiej odporności na ścieranie (por. rozdz. 2.6.6). Łatwiej jest uzyskać właściwą jakość przez ułożenie na glinie posadzki drewnianej czy ceramicznej, lub też położenie wykładziny np. dywanowej, korkowej, która chroniłaby powierzchnię podłogi.

### 14.4.2 Tradycyjne posadzki gliniane

Rysunek 14.4-1 przedstawia budowę tradycyjnej posadzki z gliny według Niemeyera (1946).

Izolację przeciw wodzie gruntowej stanowi podkład z tłustej gliny grubości co najmniej 15 cm. Układa się go w dwóch warstwach i podczas wysychania zagęszcza ubijakiem tak długo, aż nie widać żadnych rys. Warstwa żwiru o grubości ok. 20 cm przerywa kapilarność podłoża i w ten sposób zapobiega podnoszeniu się wilgoci. Ponad nią leży ok. 10 cm gliny lekkiej powstałej z mieszaniny tłustej gliny z siewką, plewami, lnem, trocinami lub wiórami drewnianymi.

Do przyjęcia większych obciążeń służy warstwa grubości ok. 4 cm wykonana z tego samego materiału, co poprzednia oraz warstwa dodatków w postaci cementu i piasku w stosunku 1: 6.

Jako wierzchnią warstwę Niemeyer poleca jastrych o grubości 2 cm składający się z piasku, trociny i cementu w stosunku 1:1:1. Powierzchnię tę, zanim jeszcze zupełnie nie zwiąże, można zahartować dwukrotnym naniesieniem szkła wodnego. Po co najmniej 2-miesięcznym okresie wysychania należy posadzkę pomalować woskiem i wyfroterować.



Historyczne posadzki w budynkach chłopskich były zbudowane podobnie, miały jednak zamiast jastrychu cementowego ostatnią warstwę wykonaną z tłustej gliny, gruboziarnistego piasku i drobnego żwiru. Mieszanę w stanie wilgotnym nakładano na grubość ok. 7 cm i ubijano. Powstające w czasie wysychania pęknięcia ubijano narzędziem z półokrągłego kawałka drewna i poprzecznie umocowanego uchwyty. Ubijanie trwało tak długo, aż powierzchnia była gładka i świeciła się. W celu uodpornienia posadzki na ścieranie ubijano w górną jej warstwę zgorzelinę kuźniczą ( $Fe_3O_4$ ), powstającą podczas kucia żelaza, a także krew lub żółć bydlęcą albo smołę.

#### 14.4.3 Współczesne posadzki gliniane

W FEB wykonano i sprawdzono w 1984 roku kilka rodzajów posadzek glinianych. Pokazana na rys. 14.4-2 posadzka posiada nadającą się od razu do chodzenia po niej powierzchnię, która podzielona jest łatami na mniejsze pola. Na ubijanej w drewnianym ruszcie (30 x 30 cm) posadzce nie występują po wyschnięciu żadne rysy. Na drugim rysunku (14.4-2) górną warstwę posadzki stanowią klocki drewniane wbijane czołowo w glinę. Ponadto testowano płyty cięte z okrągłaków oraz płaskie kamienie wybrane z grubego żwiru. Ostatnie rozwiązanie jest bardzo pracochłonne i raczej nie nadaje się

do wykorzystania w pomieszczeniach mieszkalnych.

Podłoża posadzek były zawsze takie same. Najpierw 15 cm warstwa żwiru przerywająca siłę kapilarną (zapobiega ona podnoszeniu się wody zawartej w gruncie). Następnie 3 cm warstwy wyrównawczej z grubego piasku, ubitego lub zagęszczonego wibratorem. Kolejną warstwą była (według przepisów budowlanych) izolacja przeciwwilgociowa z tworzywa sztucznego lub bitumu. Następnie układano 10 cm izolacji termicznej z keramzytu. Powierzchnię tę, po lekkim zagęszczeniu lub położeniu cienkiej warstwy brejowatej gliny i umocnieniu, pokrywano w trzech kolejnych warstwach ubijaną na grubość 12 cm gliną.

W celu maksymalnego zmniejszenia skurczów schnięcia mieszanę wykonywano z ok. 10% یتu, 50% gruboziarnistego piasku, a 1 część niezbędnej do wymieszania wody zastępowano pokostem lnianym. Pokost nie tylko zmniejsza skurcz schnięcia, ale powoduje wymaganą wodoszczelność powierzchni i dość dużą wytrzymałość na ścieranie. Zaleca się stopniowe zwiększanie ilości dodawanego pokostu do kolejnych warstw. Jak wykazały testy, do górnej należy dodać go w ilości od 6 do 8% całej zagęszczonej masy. Oznacza to, że na 100 litrów luźnej, suchej masy glinianej dodaje się 4 litry pokostu i (w zależności od zawartości

یتu) 3 do 4 litry wody. Na pierwszą ubijaną warstwę położono ruszt o rozstawie 2 x 4 m z krawędziaków 10 x 10 cm, a na drugą ruszt z listew 2 x 4 cm z twardego drewna. Trzecią warstwę stanowiły ubite pola o wielkości 30 x 30 cm, por. zdjęcie 14.4-4.

Do ubijania poszczególnych warstw używano opisanego w rozdz. 5.3 elektrycznego ubijaka wibracyjnego (14.4-3). Typowe wibratory używane w budownictwie przy robotach ziemnych są zbyt ciężkie, a przy ich użyciu warstwy gliny ulegają raczej rozbiciu niż wzmocnieniu.



14.4.6 WYKONYWANIE POSADZKI GLINIANEJ Z CZOŁOWYMI KLOCKAMI DREWNIANYMI

14.4-3, 14.4-4 | 14.4-5 WYKONYWANIE POSADZKI Z UBIJANEJ GLINY ORAZ PÓŹNIEJSZE UTWARDZANIE JEJ POWIERZCHNI



14.4-3



14.4-4



14.4-5



14.4-7



14.4-8

14.4-7 DO 14.4-8 KŁADZENIE I WYKOŃCZANIE POSADZKI Z NASYPYWANEJ, NADAJĄCEJ SIĘ DO CHODZENIA I ODPORNEJ NA ŚCIERANIE ZAPRAWY Z GLINY LEKKIEJ

W rogach i na krawędziach posadzkę ubija się ręcznie (por. 14.4-5). Górną warstwę należy na końcu wygładzić, używając dużej siły nacisku na kielnię w celu utworzenia „tłustej” powierzchni (14.4-5).

Żeby zwiększyć odporność na ścieranie mieszanki gliniano-pokostowej, zaleca się po kilku miesiącach, kiedy pokost ulegnie już zżyczeniu, pokrycie jej cienką warstwą twardego wosku.

Czas potrzebny do wykonania 1 m<sup>2</sup> posadzki z ubitej gliny w opisany sposób i z przedstawionym podkładem wynosi ok. 16 godzin. Do wykonania posadzki z czołowo ubijanych kłoców drewnianych (zdjęcie 14.4-6) potrzeba

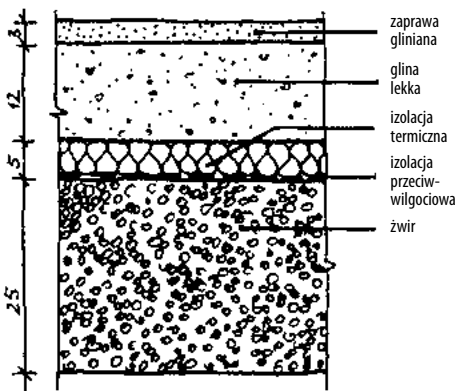
ok. 10 godzin/m<sup>2</sup>. Jeśli nawet potrzebny czas budowy można znacznie zredukować dzięki dużemu doświadczeniu wykonawcy, to i tak w końcu należy stwierdzić, że posadzkę z ubijanej gliny – z uwagi na dużą pracochłonność – polecić można jedynie do wykonywania we własnym zakresie.

Według testów autora znacznie szybciej można wykonać posadzkę składającą się z 3-4 cm warstwy z zaprawy glinianej na podkładzie z mineralnej gliny lekkiej (rys 14.4-10). Czas potrzebny do wykonania 1 m<sup>2</sup> wyniósł jedynie 1 godz. i 45 min. Mieszanekę z zaprawy glinianej, piasku jastrychowego oraz keramzytu o uziarnieniu 1-4 mm można zrobić przy pomocy betoniarki, położyć na 5 cm izolacji termicznej i wygładzić.

Uwaga: według obowiązującego w Niemczech od 2002 roku zarządzenia o oszczędzaniu energii, należy pod warstwą gliny lekkiej wykonywać izolację termiczną o wiele grubszą.

Aby przyspieszyć schnięcie, dodano 4% cementu. Mieszanekę należy wykonywać bardzo starannie, po pierwsze, aby nie powstawały rysy podczas jej schnięcia i po drugie, aby zapewnić jej dużą wytrzymałość na ścieranie,

co w zasadzie nawzajem się wyklucza. Zaprawę układa się w dwóch warstwach. Spodnia o grubości 2 do 3 cm składa się ze żwiru jastrychowego (ziarno 0-4 mm) oraz mocno schudzonej gliny, zawierającej jedynie 7% itu i 10% pyłu. Mieszanekę układa się w stanie stosunkowo suchym i albo ubija się ubijakiem ręcznym, albo też układa się w dwóch warstwach, mocno przyciskając materiał kielnią i wykonując przy tym wibracyjne ruchy ubijające (zdjęcie 14.4-8). Powstałe po wyschnięciu drobne rysy nie są w tym wypadku wadą, bo zwiększają przyczepność kolejnej warstwy. Korzystne jest wykonanie zadrapań na powierzchni 1 warstwy, zanim jeszcze wyschnie. Do wykonania wierzchniej warstwy grubości ok. 1 cm przygotowuje się prawie taką samą mieszanekę. Zamiast jednak żwiru używa się tu piasku (ziarno 0-2 mm). W celu otrzymania wystarczającej wytrzymałości na ścieranie i ściskanie przetestowano 5 różnych dodatków, w ilości każdorazowo 6% masy: emulsję butadienowo-styrenową (rozcieńczony klej stolarski), sodowe szkło wodne (rozcieńczone 1:1 z wodą), pokost lniany, klej kazeinowo-wapienny (1 cz. wapna, 5 cz. chudego twarogu) oraz mieszanekę kazeinowo-wapienną z dodatkiem 10% kredy w proszku. Testy ścierania nie



14.4-10 WARSTWY POSADZKI

wykazały dużych różnic. Szkło wodne stabilizowało najłabiej, a kreda z każeiną i wapnem najlepiej. Pokost lnia-ny dawał mocny i długotrwały zapach oraz powodował dłuższe schnięcie. Przy zastosowaniu emulsji kleju stolar-skiego nieprzyjemny zapach był stosun-kowo słaby i trwał tylko 2-4 tygodnie. Wierzchnia warstwa po całkowitym wyschnięciu została pomalowana twar- dym woskiem.

Według doświadczeń autora sprawd-ziła się także stabilizacja górnej war- stwy gliny 6-8% emulsją bitumiczną, a także krowim nawozem.

Przy stosowaniu krowiego nawozu na- leży pamiętać o następującej kolejności:

- tłustą breję glinianą i brejowaty nawóz należy wymieszać w stosunku 1:1 i pozostawić w spokoju, w za- leżności od temperatury otoczenia, na kilka dni, aby umożliwić ferment- tację mieszanki. Ma to spowodować wymianę jonową między jonami metali zawartymi w ile i jonami azotu z nawozu.
- powstałą breję mieszamy: jedną część z jedną częścią

gruboziarnistego piasku, a drugą część z piaskiem drobnoziarnistym, też w stosunku 1:1

- masę tę należy w możliwie suchym stanie użyć jako zaprawy
- tworzące się podczas schnięcia rysy trzeba zamykać poprzez uciskanie kielnią w czasie, kiedy posadzka jest jeszcze lekko wilgotna.
- jeżeli po wyschnięciu wciąż widoczne są drobne pęknięcia, to zamykamy je pacą z gąbką, zacierając powierzch- nię ruchami kolistymi.
- można jeszcze dodatkowo wygładzić posadzkę pacą z gąbką nasączoną rzadkim szlamem ze sfermentowanej mieszanki nawozu z gliną.

Kolejne testy pokazały, że stabilizacja dodatkami powierzchni glinianych nie zawsze jest konieczna, a nawet, że po- sadzka bez dodatków ma wystarczającą odporność na ścieranie, jeżeli glina jest optymalnie wymieszana z dużym udzia- łem gruboziarnistego piasku oraz kiedy powierzchnia w stanie prawie że suchym zagęszczona zostanie przy użyciu duże- go nacisku na kielnię, a po całkowitym wyschnięciu zostanie w nią wtarta cien- ka warstwa płynnego wosku twardego

(w handlu są dwa rodzaje płynnego wo- sku do impregnacji np. podłóg: zwykły, do nasączania i twardy do wykonania mocnej, wierzchniej powłoki – *przyp. tłum.*).

Kolejną możliwością wykonania po- wierzchni odpornej na ścieranie jest użycie wykonanych przez wytłaczanie, prefabrykowanych płyt z tłustej gliny, które kładziemy na zaprawie glinianej. Można też zastosować prefabrykowane płyty gliniane, stabilizowane pokostem lnianym.

W 2010 roku, podczas prowadzonych przez autora warsztatów zrealizowa- no projekt dobrze izolującej posadzki z ubitej gliny. Rozwiązanie było bardzo ekonomiczne i odpowiadało normom oszczędzania energii. Zamiast płyty podłogowej zastosowano tu 50 cm war- stwę lekko zagęszczonego granulatu szkła piankowego. Warstwa ta stano- wi jednocześnie zaporę dla sił kapilar- nych, jest fundamentem przenoszącym obciążenia ze sklepienia wykonanego z bali słomianych oraz tworzy izolację termiczną ( $\lambda = \text{ok. } 0,08\text{W/mK}$ ). Na niej położono geowłókninę, a potem za- gęszczono dwie warstwy grubości 7-8 cm gliny kopanej o wilgotności zie- mi i dużej zawartości piasku (o ziarni- stości 0-22 mm). W ten sposób powsta- ła posadzka gliniana o grubości 10 cm. Do zagęszczania użyto lekkiego wibra- tora o relatywnie niskiej częstotliwości drgań (patrz zdjęcie 14.4-11). Na tak przygotowane podłoże kładziono cien- ką warstwę zaprawy glinianej oraz płyty gliniane grubości 2 cm, stabilizowane olejem lnianym (zdjęcie 14.4-12). Wy- twórcą płyt jest Piet Karlstedt.

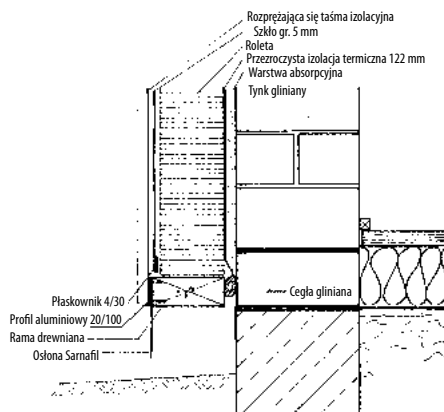


**14.4-11** ZAGĘSZCZANIE POSADZKI GLINIANEJ PRZY POMOCY LEKKIEGO WIBRATORA



**14.4-12** UKŁADANIE NA WARSTWIE ZAPRAWY GLINIANEJ PŁYT GLINIANYCH STABILIZOWANYCH OLEJEM LNIANYM





**14.5-1** ŚCIANA Z CEGŁY GLINIANEJ I Z PRZEZROCZYSTĄ IZOLACJĄ TERMICZNĄ

### 14.5 Przezroczysta izolacja termiczna ściany glinianej kumulującej ciepło

W jednym z domów akademickich w Kassel zbudowano we własnym zakresie przeszkloną południową fasadę jako przezroczystą izolację termiczną. Promienie słoneczne przechodzą przez 10 cm grubości izolację termiczną z rurk poliwęglanowych i zatrzymują się na 24 cm grubości ścianie glinianej pokrytej tynkiem, również glinianym,

oraz czarną farbą absorpcyjną. Z zewnątrz cały ten system przykryty jest szybą szklaną (patrz 14.5-1). Kiedy promieniowania słonecznego jest za wiele, można zastąpić szybę ściągając refleksyjną roletę. Dla każdego pomieszczenia wielkości ok. 20 m<sup>2</sup> powierzchnia akumulacyjna wynosi ok. 5 m<sup>2</sup>. Zaskiwające dla mieszkańców było to, że nawet przy ekstremalnie niskich temperaturach (-10°C zimą), można było wyłączyć centralne ogrzewanie, ponieważ wystarczało samo ogrzewanie słoneczne.

W budynku mieszkalnym o powierzchni 223 m<sup>3</sup> w miejscowości Hochdorf, kanton Lucerna, Szwajcaria, zastosowano w 1993 roku podobne rozwiązanie. Tutaj, przy o wiele mniejszej powierzchni przezroczystej izolacji termicznej, osiągnięto podczas sezonu grzewczego od października do kwietnia zysk energii cieplnej 8640 MJ. Daje to 46 MJ/(m<sup>2</sup>·a) i odpowiada 29% zapotrzebowania na energię cieplną (dot. obliczenia za rok 1999). Jakkolwiek powierzchnia absorpcyjna osiągnęła maksymalną temperaturę o wysokości

78°C, to na otynkowanej ścianie nie stwierdzono żadnych pęknięć z tego powodu.

## 14.6 DACHY Z GLINY

### 14.6.1 Wiadomości ogólne

Płaskie dachy z gliny już od setek lat w większości krajów o klimacie suchym i gorącym należą do tradycyjnych, ludowych elementów architektonicznych.

Dachy z gliny, które nadawałyby się do stosowania w regionach deszczowych, to jedno z ważniejszych zadań budownictwa w regionach wiejskich krajów rozwijających się. Tutaj koszty budowy typowych konstrukcji dachowych z betonu, płyt azbestowo-cementowych lub dachówek sięgają 25 do 30% kosztów całkowitych inwestycji. Wykazały to badania przeprowadzone przez autora w Gwatemali, Ekwadorze, Brazylii i środkowych Indiach. W Niemczech na początku tego stulecia propagowano dachy pokryte gontami glinianymi i w tym celu opracowano nawet obowiązujące przepisy DIN (norma 18957, por. rozdz. 7.6).



**14.6-1** DACHY PŁASKIE PLEMENIA DOGON, WE WSI SHANGA, MALI



Na kolejnych stronach opisano tradycyjne dachy gliniane oraz nowsze eksperymenty dotyczące odpornych na warunki atmosferyczne przykryć dachowych z gliny.

### 14.6.2 Tradycyjne konstrukcje dachowe

W wielu podzwrotnikowych, umiarkowanych i zimnych strefach klimatycznych buduje się jeszcze dzisiaj płaskie dachy gliniane, w niektórych rejonach także nachylone, zgodnie z tradycją sięgającą kilku wieków. Tak wyglądają dachy Indian Pueblo z Nowego Meksyku (USA) – zdjęcie 6.2-1 – oraz płaskie dachy plemienia Dogon z Mali w Afryce – zdjęcie 14.6-1.

Budowa takiego dachu wygląda zawsze podobnie: głównymi elementami nośnymi są okrągłe pnie drzew albo bambus, na tym kładzie się gałęzie i ubija mieszkankę gliny ze słomą. Warstwę wierzchnią stanowi kilka warstw tłustego, starannie wygładzonego tynku glinianego, który z reguły zawiera dużo gruboziarnistego piasku (niekiedy także sierść zwierzęcą), dodanego w celu minimalizacji tworzenia się rys.

W regionach, w których mniej pada, drobne rysy na powierzchni dachu nie grają żadnej roli. Jeżeli dostanie się tam woda, to glina pęcznieje i zamyka pęknięcia. Najczęściej też nie pokrywa się ich farbą, tylko w wyjątkowych

przypadkach nakłada się powłokę wapienną lub kazeinowo-wapienną.

W Anatolii, w Turcji, do uszczelniania płaskich dachów używa się szlamu glinianego, pochodzącego z brzegów stonych jezior. Zawiera on szczególnie dużo ilitu i soli. Gлина ta, z uwagi na higroskopijność soli kuchennej, pozostaje bardzo długo wilgotna i tworzy potem wodoszczelną powierzchnię. Gdy wyschnie i powstaną rysy w wyniku skurczów schnięcia, to zamykają się one podczas kolejnego deszczu w wyniku pęcznienia gliny. Jeżeli z biegiem lat deszcze wytluczą sól, to mieszkańcy uzupełniają jej brak przez posypywanie lub polewanie stoną wodą (Dalokay 1969).

Przy płaskich dachach pokrytych gliną należy pamiętać, że brzegi mogą ulec mechanicznym uszkodzeniom, szczególnie w wyniku erozji eolicznej. Można temu zapobiec przez wykonanie krawędzi dachu z kamienia albo dachówek ceramicznych, por. 14.6-3. Jeżeli dach ma służyć jako taras, to zaleca się (z uwagi na ochronę przed ścieraniem) położyć na glinie płyty ceramiczne lub kamienne (14.6-3 konstrukcja D).

W północnej Wenezueli stosuje się glinę także do uszczelnienia dachów nachylonych (zdjęcie 14.6-2). Najpierw wciska się zaprawę glinianą w pierwszą warstwę chrustu, a potem układa się kolejne warstwy zaprawy, aż do

grubości całkowitej od 8 do 12 cm. Zaprawa zrobiona jest z tłustej, zawierającej gruboziarnisty piasek gliny i ze sporym dodatkiem włókien roślinnych. Dla poprawy wodoszczelności dodaje się także nawóz bydlęcy. Wytlukany w czasie deszczów tynk jest każdorazowo uzupełniany.

### 14.6.3 Nowe rozwiązania pochyłych dachów

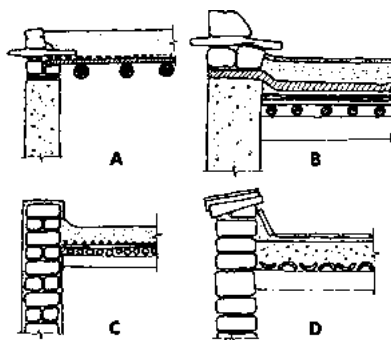
W regionach, w których często padają deszcze, najczęściej występują dachy pochyłe. Unika się pokrywania ich gliną, ponieważ byłyby wytlukiwane przez wodę. Najnowsze eksperymenty polegające na dodawaniu do gliny składników uodporniających na erozję wskazują na możliwości rozwiązania tego problemu.

Na podstawie opisanych w rozdziale 3.3 wyników badań przeprowadzonych przez FEB, autor razem z grupą „Funhabit” z Quito uzyskał pozytywne rezultaty testów zbudowanego w Pujili w Ekwadorze prototypu dachu. Była to bardzo ekonomiczna konstrukcja z okrągłaków i trzciny, pokryta 8 cm warstwą zaprawy glinianej, por. rys. 14.6-4.

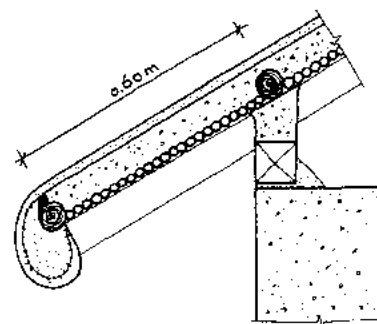
Spodnia warstwa pokrycia gliniane go składa się z tłustej gliny schudzonej pumeksem (ziarno 0 do 12 mm) i zmieszana jest z niewielką ilością starego oleju – 52 części gliny, 28 części pumeksu i 1 część oleju (użyto starego oleju



14.6-2 TRADYCYJNY DACH Z GLINY W PÓLNOECNEJ WENEZUELI



14.6-3 PRZYKŁADY TRADYCYJNYCH DACHÓW PŁASKICH Z GLINY



14.6-4 KONSTRUKCJA DACHU GLINIANEGO, LOW-COST-HOUSING, PROTOTYP W PUJILI, EKWADOR

ze względów oszczędnościowych; można użyć także pokostu lnianego). Warstwa ta, nałożona w stanie dość suchym i lekko zagęszczona przez ubijanie, służy przede wszystkim jako termoizolacja oraz jako strefa buforowa, mająca tłumić ruchy konstrukcji dachu. Aby uniemożliwić jej obsunięcie się (spadek połaci wynosi ok. 30°), przymocowano co 60 cm okrągłaki o średnicy 4 do 6 cm. Jako wodoszczelną warstwę wierzchnią położono zaprawę glinianą o grubości 2 do 3 cm. Miała ona następujący skład: 72 litry gliny, 36 litrów pumeksu o ziarnie 0 do 4 mm, 12 litrów nawozu krowiego, 12 litrów nawozu oślego, 8,5 litrów starego oleju, 6 litrów włókien sizalowych (luźnych, o długości 3 do 5 cm),

1 litr pokostu lnianego. Masę w stanie plastycznym rozprowadzano ręcznie oraz przy pomocy kielni. Po kilku dniach, kiedy powierzchnia podeschła, zagładzono ją, mocno przyciskając kielnią. W ten sposób likwidowano powstałe w niektórych miejscach drobne rysy skurczowe, a wygładzenie zapewniało szybkie spływanie wody deszczowej.

## 14.7 Sklepienia z cegieł glinianych

### 14.7.1 Wiadomości ogólne

Murowane sklepienia stanowiące zamknięcie dachu znane są w środkowej Europie niemal wyłącznie z przykładów budownictwa sakralnego. W południowych krajach europejskich oraz

w Azji i Afryce często można je spotkać również w budowlach mieszkalnych, handlowych i socjalnych, (por. zdjęcia 1.2-1, 1.2-2, 14.7-1 oraz 14.7-2). Zaletą tego systemu w regionach suchych i gorących, a szczególnie w strefach, gdzie występują duże różnice temperatur, jest dobra, naturalna klimatyzacja. Powstaje ona dzięki stosunkowo wysokim pomieszczeniom w środkowej ich partii, gdzie zbiera się lżejsze, gorące powietrze, które stamtąd jest odprowadzane otworami na zewnątrz. Należy jeszcze dodać, że sklepienie, w porównaniu do obejmowanej przez niego kubatury pomieszczenia, posiada mniejszą powierzchnię niż odpowiadająca mu budowla o kształcie sześciennym. Przez to słońce nie nagrzewa jej tak mocno, a do budowy nie potrzeba tak wiele materiału. W prawie wszystkich krajach rozwijających się murowane konstrukcje sklepienne są tańsze niż typowe rozwiązania murowane z płaskimi albo lekko pochylonymi dachami.

Także w klimacie środkowoeuropejskim sklepienia mają zalety. Przez to, że powierzchnia całkowita pomieszczeń ze sklepieniami jest mniejsza w porównaniu z wnętrzami sześciennymi, mniejsza jest także ilość potrzebnego do ich ogrzania ciepła. Do tej zalety energooszczędności sklepien można jeszcze dodać pozytywne, psychologiczne działanie tych konstrukcji: są one mniej „przytłaczające” i działają bardziej uspokajająco na ludzi niż typowe pomieszczenia sześciennie.

Sklepienia gliniane wykonywano dotychczas wyłącznie z cegieł. Wyjątek stanowiła budowa kopuły z ubijanej gliny, opisanej w rozdziale 5.7.

W wielu suchych regionach świata, gdzie brakuje drewna jako budulca, rozwinięto sposoby konstruowania sklepien z wysuszonych na wolnym powietrzu cegieł, z których budowano zadania nie tylko bez użycia belek, ale



14.7-1 SKLEPIENIA KOPULASTE W JEDNEJ Z WIOSEK KOŁO ALEPPO W SYRII



14.7-2 WIOSKA W SIESTAN, AFGANISTAN

także bez zastosowania deskowania. Te różne techniki omówione będą w kolejnych rozdziałach.

### 14.7.2 Geometria sklepień

Jako sklepienie rozumiemy element budowlany o powierzchni zakrzywionej, który służy do przykrycia jakiegoś pomieszczenia. W odróżnieniu od zdolnej do wyginania się konstrukcji skorupowej, sklepienie może przenosić jedynie naprężenia ściskające. Jeżeli jest ono zakrzywione jednostronnie (jednoosiowo), rys. 14.7-3 z lewej, to nazywamy go sklepieniem kolebkowym. Kiedy zakrzywienie jest dwustronne (dwuosiowe), rys. 14.7-3 z prawej, to mamy do czynienia ze sklepieniem kopulastym. Sklepienia mogą składać się także z różnych podstawowych form geometrycznych. Rys. 14.7-4 przedstawia sklepienie krzyżowe (A, B) i klasztorne (C, D). Powstały one z połączeń powierzchni sklepień kolebkowych.

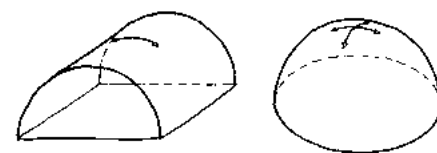
Sklepienie przedstawiające powierzchnie obrotowe, tzn. takie, których kształt wynika z obrotu krzywej (najczęściej z obrotu łuku koła) dookoła osi

pionowej i które przykrywa pomieszczenie o planie kwadratu, stwarza geometryczny problem przejścia z formy koła do formy prostokątnej. Istnieją cztery zasadnicze rozwiązania tej trudności. Przedstawia je rys. 14.7-5 na przykładzie kopuły o kształcie półkuli. Kopuła żaglowa jednopowierzchniowa wykonana jest w ten sposób, że przycina się półkulę pionowo z czterech stron tak daleko, aż cięcia spotykają się na kole postawy bryły. Powstają więc cztery półkoliste powierzchnie.

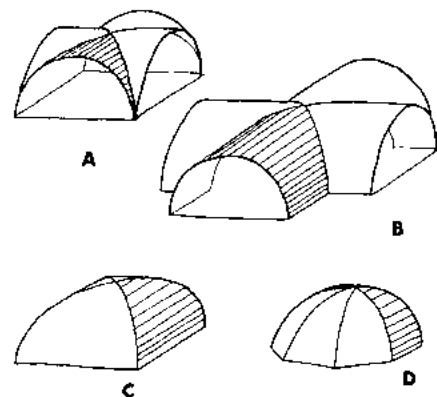
W konstrukcji z pendentywami kopuła o podstawie kolistej leży na spodniej części kopuły żaglowej jednopowierzchniowej. Powstają w ten sposób cztery sferyczne trójkąty, zwane pendentywami.

W innej konstrukcji z trompami okrągła podstawa kopuły nie dotyka kwadratowej podstawy w rogach, lecz w środku ścian. Powstaje więc ułożona po przekątnej kopuła żaglowa, która przejście z okręgu do kwadratu tworzy przez tzw. trompy, tj. wysklepki narożne o stożkowatym kształcie.

Tzw. kopuła dzwonowa tworzy płynne przejście z kształtu okrągłego w górnej

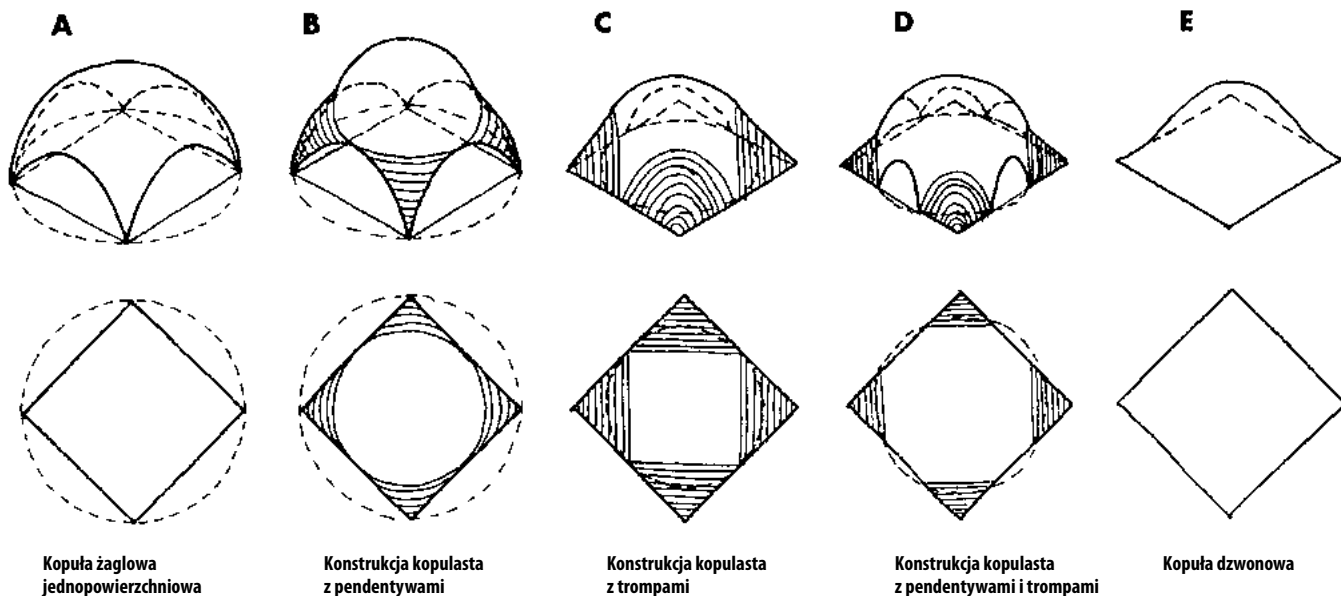


14.7-3 SKLEPIENIE KOLEBKOWE I KOPULASTE



14.7-4 SKLEPIENIA POWSTAŁE POŁĄCZEŃ POWIERZCHNI SKLEPIEŃ KOLEBKOWYCH

partii do kwadratowego przekroju u podstawy. Taka forma przedstawia w przekroju pionowym, prowadzonym od rogu do rogu, tzw. krzywą dzwonową, która zmienia swoją krzywiznę od wklęsłej do wypukłej i znowu do wklęsłej.



### 14.7.5 TYPY KOPUŁ NAD BUDOWLAMI O PODSTAWIE KWADRATOWEJ



### 14.7.3 Statyka konstrukcji kopuły

Patrząc z punktu widzenia statyki, sklepienia są elementami budowli o zakrzywionych powierzchniach i przenoszą jedynie naprężenia ściskające (zakrzywione konstrukcje, które przenoszą naprężenia zginające albo ściskające i rozciągające, określa się mianem skorup).

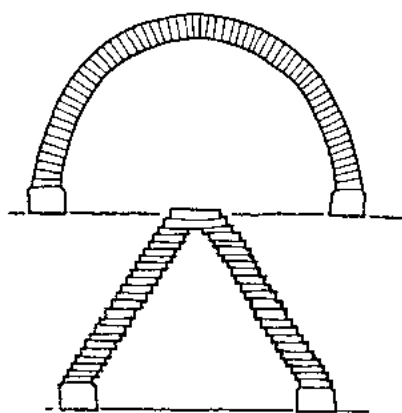
Sklepienia muruje się najczęściej z cegieł lub płaskich kamieni. Łączące je spoiny przebiegają pionowo w stosunku do powierzchni sklepienia. O pozornych sklepieniach mówimy w przypadku, gdy cegły lub kamienie ułożone są poziomo z występami do środka.

W tych konstrukcjach występują także naprężenia zginające (14.7-6 do 14.7-8).

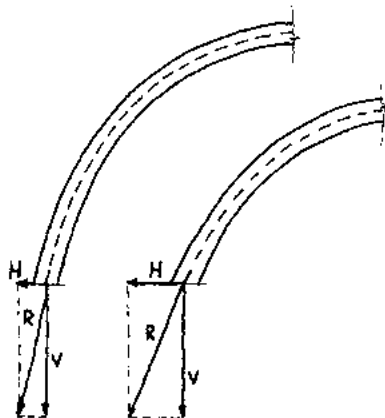
Głównym problemem przy budowie sklepień jest odprowadzenie działających tu sił do fundamentów. W każdym sklepieniu występują u jego podstawy siły ścinające, które można rozłożyć na pionowe i poziome siły składowe. Wielkość siły poziomej nie zależy jedynie od wielkości siły ścinania, ale także od kąta jej nachylenia, por. rys. 14.7-9. Im bardziej pionowo siła ta zostanie przekazana do fundamentu, tym mniejsza jest siła pozioma i tym prostsze jest rozwiązanie konstrukcyjne fundamentu.

Jako regułą bliską prawdy można przyjąć, że siła wypadkowa wynikająca z siły poprzecznej kopuły i siły obciążenia ścianą powinna przechodzić w wewnętrznej trzeciej części podstawy cokołu i podstawy fundamentu, tzn. że niewspółśrodkowość nie może być większa niż  $1/6$  szerokości podstawy fundamentu, por. rysunek 14.7-10.

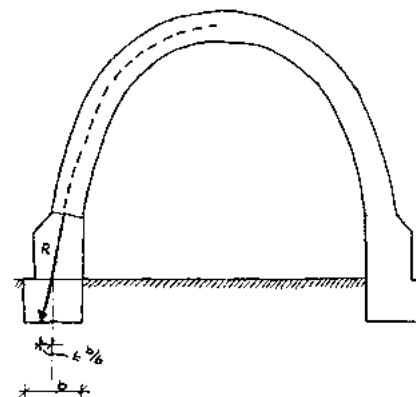
Ponieważ taka konieczność powodowałaby budowanie bardzo szerokich i drogich fundamentów, niezbędne staje się planowanie dodatkowych konstrukcji. Niektóre z nich przedstawiono na rys. 14.7-11.



14.7-6 SKLEPIENIE WŁAŚCIWE I SKLEPIENIE POZORNE



14.7-9 ROZKŁAD SIŁ NA PODPORZE

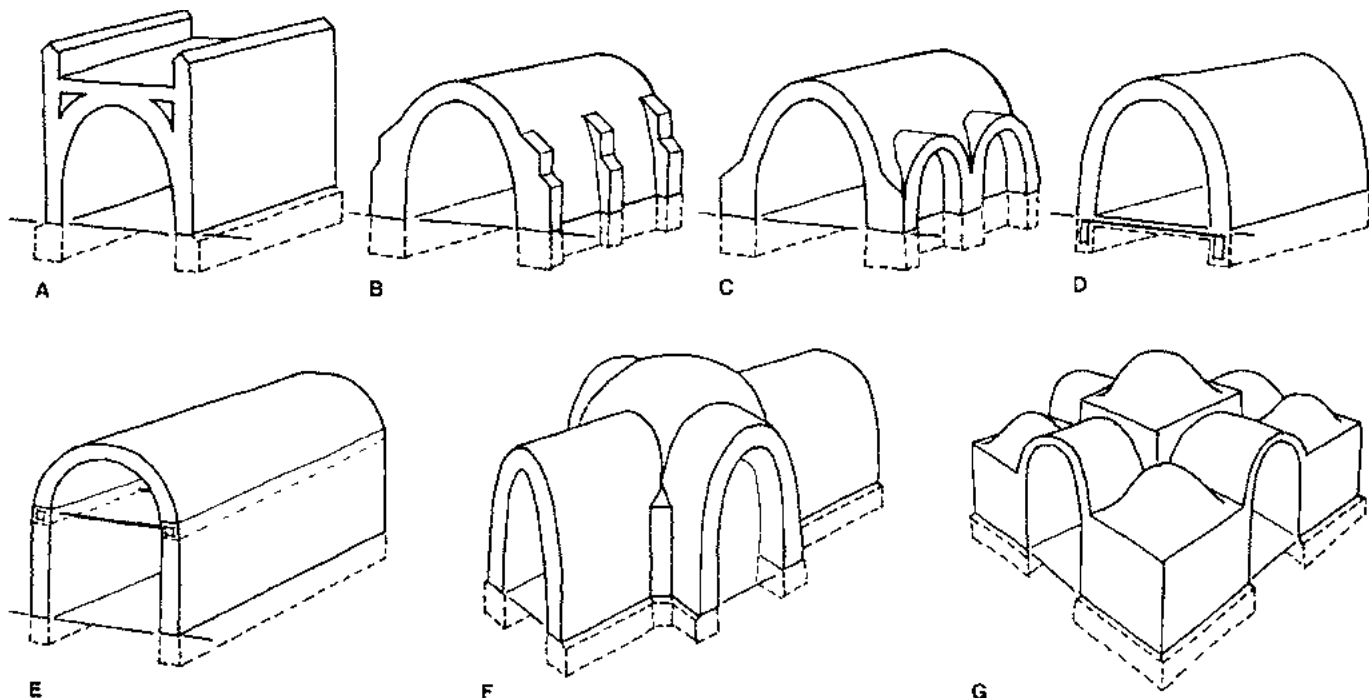


14.7-10 DZIAŁANIE SIŁY WYPADKOWEJ ŚCINAJĄCEJ NA FUNDAMENT



14.7-7 | 14.7-8 MODEL BUDOWLI ZE SKLEPIENIEM POZORNYM





**14.7-11** KONSTRUKCYJNE MOŻLIWOŚCI PRZEKAZYWANIA SIŁ ŚCINAJĄCYCH WYSTĘPUJĄCYCH W BUDOWLACH PRZYKRYTYCH SKLEPIENIAMI

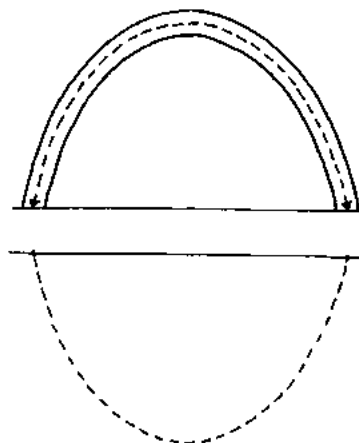
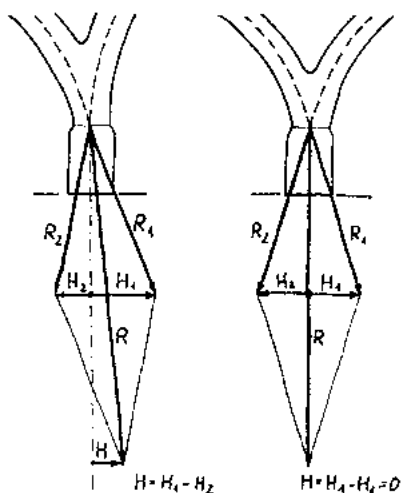
Nachylenie siły wypadkowej można np. zmniejszyć przez dodatkowe obciążenie (przykład A). Drugie, proste rozwiązanie przedstawia rys. B. Przypery przenoszą siły do częściowo poszerzonych fundamentów. W tym rozwiązaniu należy pamiętać, aby odstęp między przyporami nie przekroczył wymiaru, przy którym ściany znajdujące się między

przyporami nie zdołają przenieść naprężeń zginających. Dobrym sposobem na uniknięcie tych problemów jest pokazane w przykładzie C łukowate połączenie przypór. Konstrukcja D rozwiązuje przekazywanie sił poziomych przez elementy przenoszące naprężenia rozciągające w posadzce (np. przez płytę żelbetową). W przykładzie E pokazano

pojedyncze ściągi przebiegające przez sklepienie pomieszczenie. W tym przypadku między ściągami, powyżej ściany, powinien znajdować się odporny na naprężenia zginające element z drewna, stali lub żelbetu.

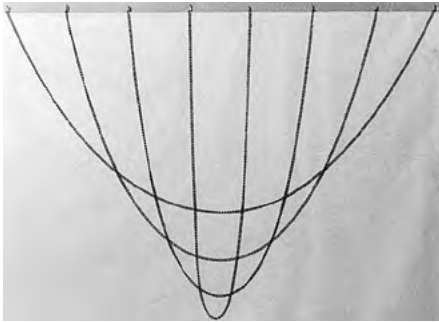
Konstrukcje F i G przedstawiają dwie możliwości przekazania sił ścinających z kopuły centralnej na niższe sklepienia boczne. Jeśli dwa jednakowe sklepienia kolebkowe spotkają się na jednej ławie fundamentowej, to pod wpływem własnego ciężaru niwelują wzajemnie poziome siły składowe sił ścinających. Powstaje siła wypadkowa przebiegająca pionowo (por. 14.7-12 z prawej). Przy sklepieniach kolebkowych o różnych wielkościach wypadkowe poziome wyrównują się tylko częściowo, jak pokazuje rys. 14.7-12 z lewej.

Ponieważ sklepienie gliniane może przenosić tylko niewielkie siły rozciągające, istotne jest, aby forma takiego sklepienia pozwalała na powstawanie w nim prawie wyłącznie sił ściskających. Tak dzieje się w sklepieniu kolebkowym,



**14.7-12** WYPADKOWE SIŁY ŚCINAJĄCYCH

**14.7-13** LINIA ZWISU I LINIA CIŚNIENIA DLA SKLEPIENIA KOLEBKOWEGO POD WŁASNYM OBCIĄŻENIEM



**14.7-14** KRZYWA ŁAŃCUCHOWA TEJ SAMEJ DŁUGOŚCI PRZY RÓŻNYCH ODLEGŁOŚCIACH PUNKTÓW ZACZEPIENIA

obciążonym jedynie własnym ciężarem, jeżeli jego forma w przekroju przedstawia odwrotność krzywej łańcuchowej. Łańcuch pod własnym obciążeniem tworzy idealną formę zwisu, w której powstają jedynie siły rozciągające. Jeśliby odwrócić tę linię tak, że powstanie „stojąca” krzywa, otrzymamy linię ciśnienia, idealną formę przekroju dla sklepienia kolebkowego, w którym pod wpływem ciężaru własnego wystąpią tylko siły ściskające, por. rys. 14.7-13.

Linie łańcuchową można wyznaczyć eksperymentalnie albo matematycznie według wzoru

$y = a \cdot \cosh(x/a)$ . Jest ona wyznaczana jedynie przez położenie dwóch punktów podparcia oraz punktu wierzchołkowego, por. 14.7-14.

W półkolistym sklepieniu kolebkowym pod wpływem jego własnego ciężaru powstają siły zginające. Jeżeli linia ciśnienia przebiega częściowo przy brzegu albo nawet poza murem, to w tym miejscu istnieje niebezpieczeństwo zdeformowania lub wręcz zawalenia się budowli, por. rys. 14.7-15 A. Niebezpieczeństwa nie ma, kiedy mur jest tak gruby, że linia przebiega w wewnętrznej trzeciej części sklepienia, por. rys. 14.7-15 B.

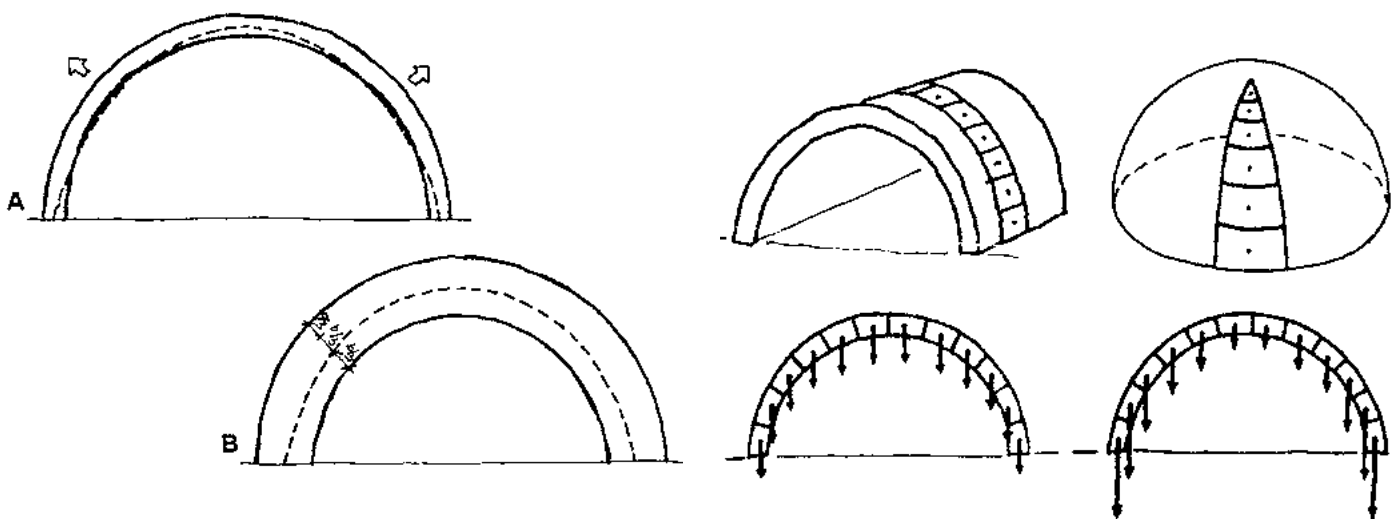
Idealnym kształtem przekroju dla sklepienia kolebkowego jest taka forma, w której pod wpływem własnego ciężaru powstają tylko skierowane w dół siły ściskające. Nie występują tu ani naprężenia obwodowe rozciągające ani obwodowe ściskające. Jeśli przekrój posiada kształt odwróconej linii łańcuchowej, to powstają naprężenia obwodowe ściskające, co jest przeszkodą przy konieczności wycięcia dużych otworów drzwiowych i okiennych.

Jeśli podzielimy łukowaty fragment sklepienia kolebkowego na równe odcinki, tak jak na rys. 14.7-16 z lewej, to można je zastąpić pojedynczymi siłami tej samej wielkości. Jeżeli kopułę podzielimy odpowiednio, to powstaną trójkąty sferyczne. Kiedy z kolei te trójkąty

podzielimy (mówimy tu o przekroju) na równe odcinki, to będą one zwiększały się w miarę zbliżania się do dołu. Oznacza to, że będą one cięższe, a siły coraz większe. Jeśli chce się wyznaczyć eksperymentalnie idealny przekrój kopuły, który odpowiadałby linii ciśnienia, to należy ogniwa cienkiego łańcucha obciążyć zwiększającymi się ciężarkami (odpowiadającymi zwiększającej się powierzchni części kopuły), por. 14.7-17 i utworzoną w ten sposób krzywą odwrócić. Ponieważ fragmenty powierzchni można obliczyć dokładnie tylko przy pomocy geometrii kuli, należy tę eksperymentalnie wyznaczoną krzywą traktować jedynie jako przybliżone rozwiązanie. Fragmenty powierzchni



**14.7-17** EKSPERYMENTALNE WYZNACZENIE IDEALNEJ FORMY PRZEKROJU DLA KOPUŁY OBCIĄŻONEJ JEDYNI WŁASNYM CIĘŻAREM



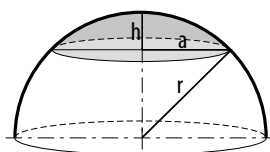
**14.7-15** NIEBEZPIECZEŃSTWO DEFORMACJI SKLEPIENIA KOLEBKOWEGO

**14.7-16** ROZŁOŻENIE CIĘŻARU WŁASNEGO NA POJEDYNCZE SIŁY W SKLEPIENIACH KOLEBKOWYCH I KOPUŁASTYCH

kopuły wyznaczyć można używając wzorów 14.7-18.

Jeśli chcemy osiągnąć jeszcze większe zbliżenie do optymalnej krzywej, co w praktyce jest potrzebne tylko przy budowaniu kopuły o większej rozpiętości,

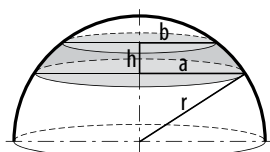
#### CZASZA KULI



**pole czaszy kuli**

$$S = 2\pi r h = \pi(a^2 + h^2)$$

#### PASA KULISTY



**pole pasa kulistego**

$$S = 2\pi r h$$

$$r = \sqrt{a^2 + \left(\frac{a^2 - b^2 - h^2}{2h}\right)^2}$$

14.7-18 WYLICZANIE POWIERZCHNI CZASZY KULI I PASA KULISTEGO, WENDEHORST, 1991

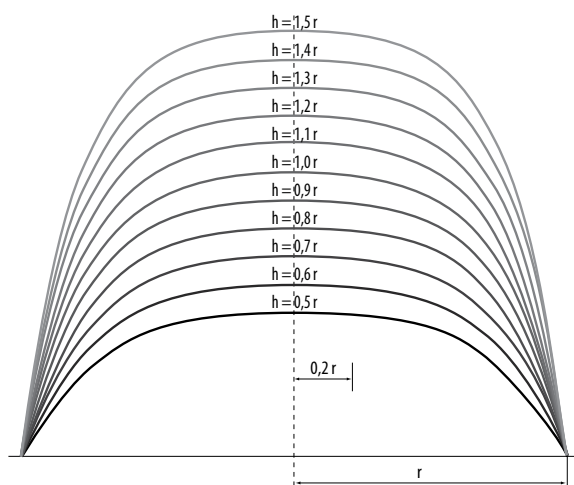
należy pamiętać, że krzywa, która powstała na podstawie modelu, odbiega od pierwotnie przyjętego półokręgu, a każdy wybrany wycinek posiada także minimalnie zmieniony promień. Przy pomocy promieni poszczególnych wycinków, które wyznacza się geometrycznie z dużą dozą dokładności, używając wzorów 14.7-18 można określić pojedyncze fragmenty powierzchni i tym samym zastępujące je pojedyncze obciążenia. Jeśli pojedyncze obciążenia modelu tańczuchowego będą odpowiednio zmieniane, to powstanie w drugim przybliżeniu poprawiony kształt krzywej. Kolejne przybliżenie, przy uwzględnieniu ponownie zmienionych promieni, nie jest w praktyce budowania kopuły konieczne.

Jeżeli wysokość kopuły jest różna od jej promienia, to używając wzorów nie można obliczyć fragmentów powierzchni w pierwszym przybliżeniu. W tym przypadku zaleca się wyjść od formy elipsy, przy czym punkt środkowy powinien leżeć poniżej linii podstawy, por. 14.7-19. W ten sposób optymalny kształt kopuły jest już prawie wyznaczony. Jeśli wyznacza się promienie fragmentów powierzchni geometrycznie

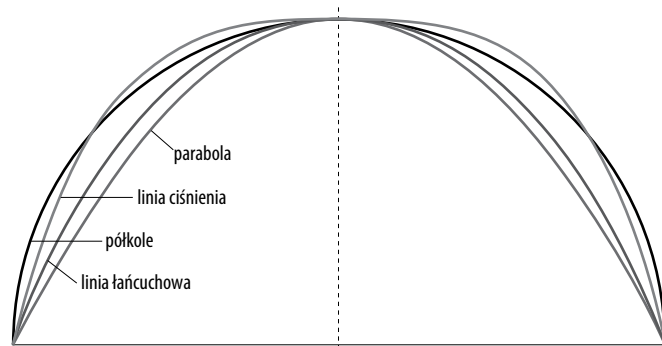
i uzyskane wartości podstawia się do wzorów na obliczanie powierzchni kuli, to uzyska się odpowiednie ciężary. W ten sposób można już przy pierwszym przybliżeniu technicznie wyznaczyć wystarczająco dokładnie optymalną formę kopuły.

Idealną linię ciśnienia, dla kopuły obciążonej tylko ciężarem własnym, można wyznaczyć dokładniej metodą statyki graficznej oraz przy pomocy odpowiedniego programu komputerowego. Rys. 14.7-20 przedstawia przebieg tej linii w porównaniu z półkołem, parabolą i z odwróconą linią tańczuchową, w przypadku gdyby wysokość wierzchołka kopuły odpowiadała wielkości promienia podstawy. Jak wynika to z rysunku, linia ciśnienia przebiega w dolnej części bardziej stromo, a w części górnej bardziej płasko niż linia tańczuchowa.

Jeśli linia przekroju kopuły przebiega poza linię ciśnienia, jak w dolnej części kopuły o kształcie półkuli, to działają tam naprężenia obwodowe rozciągające, które w przypadku kopuły glinianej mogą prowadzić do jej zawalenia się. Kiedy natomiast przekrój kopuły znajduje się w środku linii ciśnienia, jak odwrócona linia tańczuchowa, to powstają tam



14.7-19 LINIE CIŚNIENIA DLA OBCIĄŻONYCH WŁASNYM CIĘŻAREM KOPUŁ O RÓŻNYCH WYSOKOŚCIACH



14.7-20 PORÓWNIANIE PÓŁKOLA, PARABOLI, LINII ŁAŃCUCHOWEJ I LINII CIŚNIENIA DLA KOPUŁY

nr	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x
1	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
2	0,0452	0,9854	0,0454	0,9875	0,0479	0,9885	0,0470	0,9902	0,0422	0,9912	0,0494	0,9918	0,0469	0,9929
3	0,0973	0,9674	0,0982	0,9720	0,1013	0,9750	0,1007	0,9783	0,1016	0,9807	0,1036	0,9823	0,1013	0,9844
4	0,1489	0,9483	0,1508	0,9556	0,1544	0,9608	0,1543	0,9658	0,1555	0,9696	0,1578	0,9724	0,1556	0,9755
5	0,2001	0,9279	0,2030	0,9381	0,2073	0,9456	0,2077	0,9526	0,2093	0,9579	0,2118	0,9620	0,2098	0,9662
6	0,2506	0,9061	0,2548	0,9195	0,2600	0,9295	0,2610	0,9386	0,2629	0,9456	0,2657	0,9511	0,2640	0,9565
7	0,3005	0,8827	0,3061	0,8696	0,3123	0,9124	0,3139	0,9237	0,3164	0,9326	0,3195	0,9396	0,3180	0,9462
8	0,3495	0,8575	0,3569	0,8782	0,3642	0,8940	0,3667	0,9079	0,3697	0,9188	0,3732	0,9274	0,3720	0,9354
9	0,3974	0,8303	0,4069	0,8552	0,4156	0,8744	0,4191	0,8911	0,4227	0,9041	0,4267	0,9145	0,4258	0,9241
10	0,4441	0,8011	0,4562	0,8305	0,4665	0,8533	0,4711	0,8730	0,4755	0,8885	0,4800	0,9008	0,4795	0,9121
11	0,4893	0,7695	0,5043	0,8038	0,5167	0,8306	0,5226	0,8536	0,5280	0,8718	0,5331	0,8863	0,5331	0,8993
12	0,5327	0,7355	0,5513	0,7749	0,5660	0,8060	0,5736	0,8328	0,5800	0,8540	0,5859	0,8708	0,5864	0,8858
13	0,5738	0,6987	0,5967	0,7436	0,6143	0,7795	0,6239	0,8103	0,6316	0,8347	0,6384	0,8542	0,6396	0,8714
14	0,6124	0,6592	0,6402	0,7097	0,6613	0,7507	0,6733	0,7860	0,6827	0,8140	0,6905	0,8364	0,6924	0,8561
15	0,6479	0,6170	0,6815	0,6731	0,7067	0,7194	0,7217	0,7596	0,7330	0,7917	0,7422	0,8173	0,7450	0,8397
16	0,6799	0,5721	0,7200	0,6337	0,7502	0,6855	0,7688	0,7309	0,7825	0,7674	0,7932	0,7966	0,7971	0,8220
17	0,7081	0,5246	0,7554	0,5913	0,7913	0,6487	0,8143	0,6998	0,8309	0,7411	0,8436	0,7743	0,8488	0,8030
18	0,7322	0,4750	0,7872	0,5462	0,8296	0,6090	0,8578	0,6658	0,8780	0,7124	0,8930	0,7500	0,8999	0,7825
19	0,7522	0,4235	0,8149	0,4984	0,8646	0,5663	0,8988	0,6290	0,9234	0,6811	0,9414	0,7235	0,9503	0,7602
20	0,7680	0,3707	0,8384	0,4485	0,8957	0,5207	0,9369	0,5891	0,9667	0,6470	0,9883	0,6947	0,9998	0,7360
21	0,7801	0,3168	0,8576	0,3967	0,9227	0,4725	0,9716	0,5461	1,0076	0,6099	1,0336	0,6632	1,0482	0,7096
22	0,7887	0,2624	0,8725	0,3436	0,9452	0,4221	1,0023	0,5002	1,0453	0,5696	1,0767	0,6287	1,0951	0,6807
23	0,7944	0,2076	0,8836	0,2896	0,9633	0,3700	1,0286	0,4517	1,0795	0,5262	1,1172	0,5912	1,1403	0,6491
24	0,7978	0,1526	0,8912	0,2350	0,9771	0,3165	1,0504	0,4009	1,1095	0,4799	1,1544	0,5505	1,1830	0,6145
25	0,7994	0,0975	0,8961	0,1801	0,9870	0,2623	1,0675	0,3485	1,1350	0,4309	1,1879	0,5065	1,2236	0,5768
26	0,8000	0,0425	0,8987	0,1251	0,9936	0,2075	1,0804	0,2948	1,1557	0,3798	1,2170	0,4596	1,2606	0,6358
27	0,8000	0,0000	0,8998	0,0700	0,9974	0,1526	1,0894	0,2404	1,1719	0,3270	1,2415	0,4101	1,2933	0,4915
28			0,9000	0,0000	0,9993	0,0975	1,0951	0,1856	1,1836	0,2731	1,2611	0,3585	1,3222	0,4443
29					0,9999	0,0425	1,0983	0,1306	1,1916	0,2185	1,2761	0,3054	1,3459	0,3944
30					1,0000	0,0000	1,0997	0,0755	1,1965	0,1636	1,2867	0,2513	1,3648	0,3425
31							1,1000	0,0205	1,1990	0,1086	1,2936	0,1966	1,3789	0,2892
32							1,1000	0,0000	1,1999	0,0535	1,2976	0,1416	1,3887	0,2349
33									1,2000	0,0000	1,2995	0,0865	1,3949	0,1801
34											1,3000	0,0315	1,3983	0,1251
35											1,3000	0,0000	1,3997	0,0700
36													1,4000	0,0150
37													1,4000	0,0000

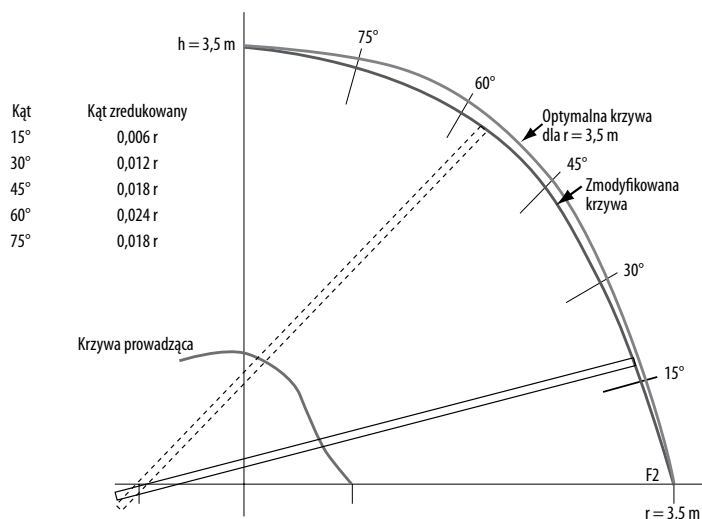
naprężenia obwodowe ściskające. Przepadek ten nie jest niebezpieczny dla kopuł glinianych pod warunkiem, że ich powierzchnia nie jest przzerwana dużym otworem okiennym czy drzwiowym.

Na rys. 14.7-19 przedstawiono wyznaczone przy pomocy programu komputerowego przekroje linii ciśnienia dla jedenastu różnych proporcji wysokości kopuły  $h$  do jej promienia  $r$  (od  $h = 1,5r$  do  $h = 0,5r$ ). W każdym z tych przypadków wzięto pod uwagę otwór na szczycie konstrukcji o promieniu  $1/5$  promienia kopuły.

W tabeli 14.7-1 zawarto współrzędne siedmiu kopuł (bez otworu górnego) o wysokości od  $0,8r$  (promienia podstawy) do  $1,4r$ .

Przy ustalaniu kształtu przekroju kopuły należy raczej umieszczać go minimalnie pod wyznaczoną dla jej ciężaru własnego linią ciśnienia. W ten sposób nie powstaną naprężenia obwodowe rozciągające podczas obciążenia wiatrem lub innym, pojedynczym balastem. Takie same właściwości uzyskamy, kiedy dla kopuły z górnym otworem przyjmiemy współrzędne linii ciśnienia takie same, jak dla kopuły bez otworu.

TABELA 14.7.1 WSPÓLZĘDNE RÓŻNYCH WYSOKOŚCI DLA KOPUŁ O PRZEKROJACH ODPOWIADAJĄCYCH LINIOM CIŚNIENIA

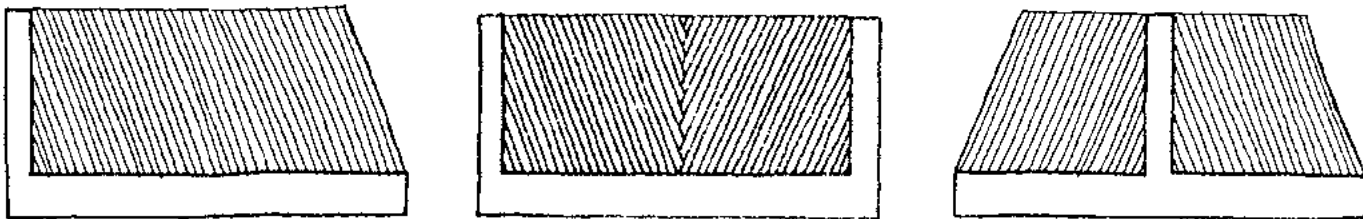


14.7.21 PROPOZYCJA REDUKCJI PROMIENIA W CELU WYZNACZENIA ZMODYFIKOWANEJ KRZYWEJ



14.7.22 SKLEPIENIE GLINIANE SPRZED 3200 LAT, EGIPT





14.7-23 NUBIJSKIE SKLEPIENIA KOLEBKOWE OPARTE NA ŚCIANACH I ŁUKACH, WIDOKI Z BOKU



14.7-24



14.7-25

14.7-24 | 14.7-25 BUDOWA SKLEPIENIA NUBIJSKIEGO ZE ŚRODKOWYM ŁUKIEM DO OPARCIA

W praktyce sprawdzita się minimalna zmiana teoretycznego wyznaczania linii ciśnienia. Powoduje to wywołane własnym ciężarem niewielkie naprężenia obwodowe ściskające i wyrównuje, w przypadku dachu zielonego, dodatkowe obciążenie kopuły przez nacisk ziemi w dolnej części. Należy zmniejszyć odległość między punktem oparcia szablonu a punktami na krzywej (odpowiednio dla nachylenia 15°, 30°, 45°, 60° oraz 75°) i utworzone w ten sposób nowe punkty połączyć w harmonijną krzywą, patrz przykład 14.7-21.

#### 14.7.4 Nubijskie konstrukcje kolebkowe

Znane w Górnym Egipcie od tysięcy już lat, tradycyjne nubijskie konstrukcje kolebkowe muruje się z płaskich cegieł glinianych, bez stosowania dodatkowych

rusztowań czy deskowań potrzebnych do zbudowania łuku. Zdjęcie 14.7-22 przedstawia sklepienie sprzed ok. 3200 lat w grobowcu Ramzesa II koło Lukso-ru. Składa się ono z czterech leżących na sobie warstw cegieł glinianych. Jak wykazały przeprowadzone przez autora badania wielu historycznych budowli, cegły te miały zawsze szerokość 15 cm, długość 25 cm i grubość 5 cm. Oznacza to, że przy stosunkowo małym ciężarze miały one dużą powierzchnię do układania na zaprawie, co przeszkadzało zsuwaniu się w położeniu skośnym. Znaczącym elementem tej techniki jest skośne położenie łuków. Stoją one we wszystkich badanych budow-lach zabytkowych pod kątem 65 do 70° w stosunku do poziomu. Testy wykazały, że gdyby murowano je bardziej płasko, to obsuwałyby się w dolnych

partiach do środka, a gdyby były stawiane bardziej pionowo, to zsuwałyby się lub przewracały w górze łuku.

Sklepienie nubijskie potrzebuje jednej lub dwóch ścian do oparcia na nich skośnie murowanych łuków. Inną możliwością jest przebiegający w środku łuk o kształcie przekroju sklepienia. Wspierają się na nim kolejne, już skośne łuki, por. rys. 14.7-23 i zdjęcie 14.7-24. Przekrój sklepienia nubijskiego, które obciąża tylko jego ciężar własny, powinien posiadać kształt odwróconej linii łańcuchowej, aby powstawały w nim jedynie naprężenia ściskające.

Na podstawie badań przeprowadzonych przez FEB poprawiono tradycyjną technikę nubijską w dwóch miejscach. Zamiast cegły prostokątnej, do murowania dolnych partii użyto cegły kwadratowej o wymiarach 20 x 20 x 6 cm,





14.7-26

14.7-26 DO 14.7-28 BUDOWA AFGAŃSKIEGO SKLEPIENIA ŻAGLOWEGO



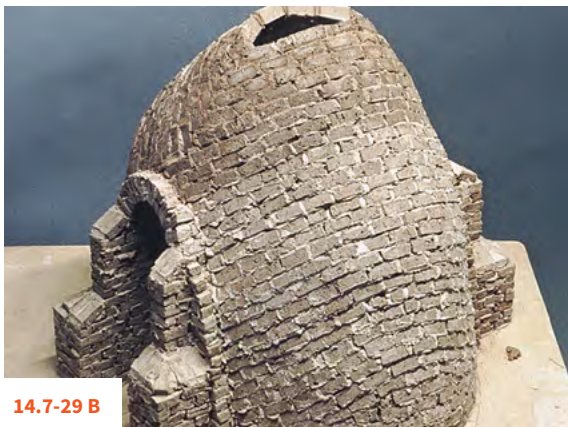
14.7-27



14.7-28



14.7-29 A



14.7-29 B



14.7-30



14.7-31 KOMBINACJA NUBIJSKIEJ METODY BUDOWANIA SKLEPIEŃ KOLEBKOWYCH Z AFGAŃSKĄ KONSTRUKCJĄ KOPUŁ



14.7-32 PERSKA KONSTRUKCJA KOPUŁY



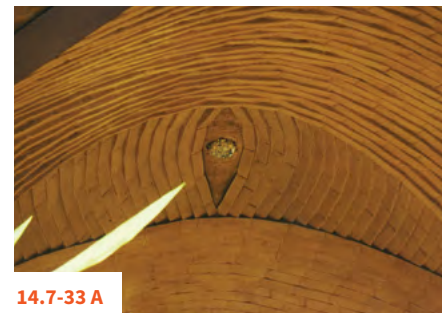
natomiast do wykonania pozostałych części łuków cegły skośnej, zmniejszonej na dole po jednej stronie o 1,5 cm. W ten sposób zredukowano pracochłonność oraz ilość zużywanej zaprawy (w spoinach pionowych oszczędność wynosiła ponad 50%). Przy stosowaniu zaprawy o optymalnej konsystencji możliwe jest murowanie sklepień z cegieł o grubości 8 cm, co daje kolejną oszczędność czasu pracy.

Druga poprawka starej techniki polegała na tym, że dla kontroli formy łuków przeciągnięto sznury od jednej ściany, na której opierała się konstrukcja, do drugiej (albo do odpowiedniego rusztowania). Tutaj ważne jest, aby sznur z jednej strony przebiegał przez oczko, a z drugiej przez zawieszony na końcu ciężarek (np. jedną z cegieł) i był stale naprężony. W ten sposób może się on wprawdzie przesunąć przez przypadkowy nacisk, ale dzięki ruchomemu obciążnikowi naciągnie się z powrotem do właściwego położenia. Jeżeli sznury są z obydwu stron przy mocowane, to przy nacisku obwisną lub ulegną zerwaniu, co znacząco przeszkadza przy murowaniu.

Zdjęcie 14.7-24 pokazuje budowę sklepienia nubijskiego opartego na środkowym, wymurowanym przy pomocy szablonu, pionowym łuku, który ma formę odwróconej linii łańcuchowej. Kolejne łuki stawiane bez szablonu i bez deskowania, oparte są pod kątem 65° o element centralny. Spoiny pionowe zawierają niewielką ilość zaprawy. Niezbędnym jest murowanie w ten sposób, aby cegły jedną stroną dotykały się. Tworzącą się z drugiej strony szparę należy wypełnić małym, kamiennym klinem, por. 14.7-25. Tylko w ten sposób łuk może natychmiast przenosić naprężenia ściskające, a cegły nie będą się obsuwały na wilgotnej zaprawie. Ostatnią cegłę, aby znalazła się na swoim miejscu, można pobić młotkiem murarskim.

#### 14.7.5 Afgańskie i perskie konstrukcje kopuły

Kolejną techniką budowania sklepień bez użycia szablonów i deskowań jest konstrukcja kopuły afgańskiej, przykrywająca pomieszczenia kwadratowe. Tutaj z płaskich cegieł muruje się elementy w formie łuków nachylonych do poziomu pod kątem 30°. Zdjęcia 14.7-26 do 14.7-28



14.7-33 A



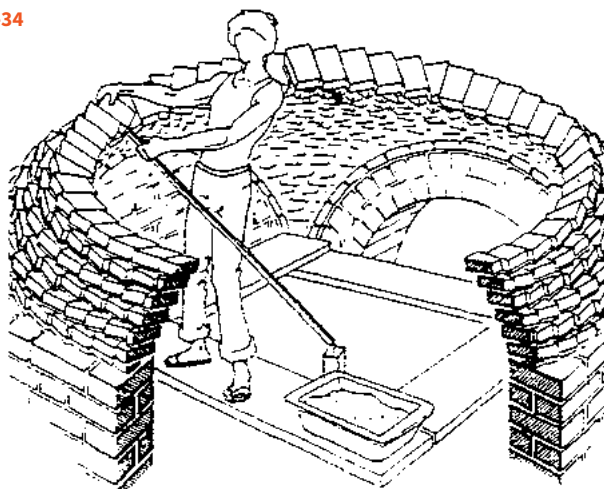
14.7-33 B



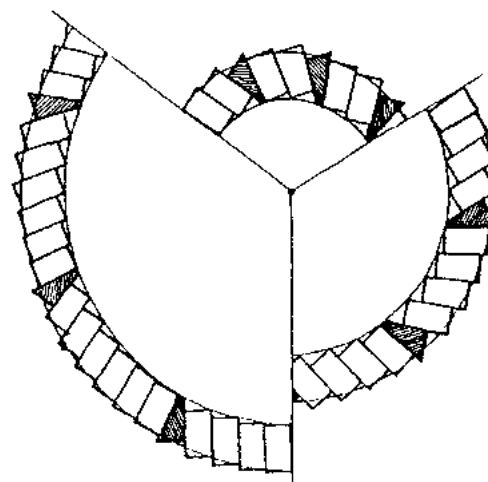
14.7-33 C

14.7-33 A DO C ZBUDOWANE BEZ POMOCY DESKOWANIA SKLEPIENIE OGRODU ZIMOWEGO

14.7-34



14.7-35



14.7-34 | 14.7-35 KONSTRUKCJA KOPUŁY NUBIJSKIEJ, CRATERRE, 1979

przedstawiają powstawanie kopuły na podstawie kwadratowej 4 x 4 m. 5 do 6 robotników do jej zbudowania potrzebuje ok. pół dnia.

W tej metodzie, podobnie jak przy budowaniu nubijskich sklepień kolebkowych, ważne jest, aby sąsiadujące cegły dotykały się w dolnych i górnych rogach.

Jeśli górne krawędzie nie spotykają się bezpośrednio, to należy użyć klinów kamiennych. Dzięki temu można obciążyć łuki jeszcze zanim zwiąże gliniana zaprawa. Przy konsekwentnym przestrzeganiu tej zasady nawet kilka osób może stanąć na świeżo wymurowanej konstrukcji, bez obawy o jej deformację, por. zdjęcie 14.7-27.

Możliwości budowania innych sklepień żaglowych afgańską techniką murowania, a także kombinacji z nubijskimi konstrukcjami kolebkowymi, pokazują zdjęcia 14.7-29 do 14.7-31. Są to wyniki studiów modelowych przeprowadzonych przez FEB.

Przedstawiona na zdjęciu 14.7-32 technika jest jednym z wariantów techniki afgańskiej. Była kiedyś często stosowana w Iranie i nazywana jest perską konstrukcją kopuły.

W tym przypadku na podstawie kwadratowej muruje się nie dwie, lecz cztery

pochylone pod kątem 30° łuki, rozpoczynające się każdorazowo w rogach pomieszczenia. Na pokazanym modelu widać na wierzchołku kopuły wbudowane cztery otwory służące do przechwytywania podmuchów wiatru (tzw. „wind catcher”).

Przedstawione na zdjęciach 14.7-33 sklepienie nad sześciokątnym pomieszczeniem łazienki i ogrodu zimowego, w zrealizowanym przez autora własnym domu (por. 15.8), jest zmienioną formą sklepienia afgańskiego. Łuki murowano bez deskowań pod kątem 45°, a położenie łuków w części środkowej obrócono o 90°, aby sklepienie zamknąć tą samą techniką.

#### 14.7.6 Nubijskie konstrukcje kopuły

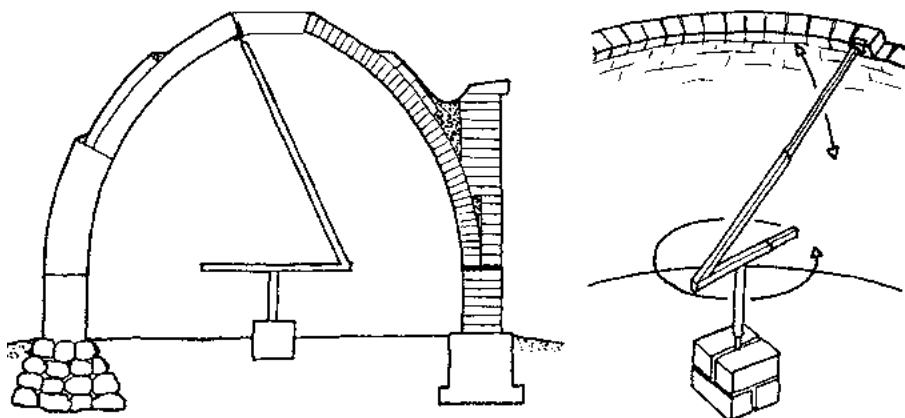
W nubijskiej technice wznoszenia kopuły, która także znana jest już od tysięcy lat w Górnym Egipcie, układa się poziome pierścienie z cegieł glinianych, używając do tego ruchomego szablonu, por. rys. 14.7-34. Cegły leżą zakleszczone i nie mogą obsunąć się podczas murowania, ponieważ każda z nich opiera się o cegłę sąsiednią, a ostatnia podtrzymywana jest szablonem. Przy stosowaniu tej metody należy ze względów geometrycznych co jakiś czas układać cegłę o kształcie klina. Produkcja takiej

cegły jest bardzo pracochłonna. Rysunek 14.7-35 przedstawia widok trzech pierścieniowych warstw na różnych wysokościach kopuły, z uwzględnieniem cegieł typowych oraz klinowych.

Z uwagi na zwiększoną podczas stosowania tej metody pracochłonność, większość powstających kopuły tego rodzaju wznoszona jest sposobem uproszczonym, gdzie cegły nie leżą skręcone, lecz są układane pod kątem prostym w stosunku do łuku koła.

Główną wadą nubijskich konstrukcji kopuły jest to, że tą metodą tworzyć można tylko sklepienia kuliste, tzn. kopuły o formie półkuli albo mniejszego (spłaszczonego) odcinka kuli. (Ten rodzaj kopuły nazwany jest odcinkiem kuli, bo jego płaska podstawa jest w kształcie koła. Wycinek to bryła będąca sumą wycinka i stożka, którego podstawą jest koło wyznaczone przez płaszczyznę określającą odcinek kuli, a wierzchołek znajduje się w środku kuli. – *przyp. tłum.*)

Ponieważ przy takiej formie, co wyjaśniono w rozdz. 14.7.3, w dolnej, skrajnej części występują naprężenia obwodowe rozciągające, należy w tych miejscach, przy większych rozpiętościach, stosować opaski stalowe, wieńce żelbetowe lub inne stabilizujące



14.7-36 SZABLON MIMOŚRODOWY DO BUDOWANIA KOPUŁY O KSZTAŁCIE ODBIEGAJĄCYM OD KOPUŁY NUBIJSKIEJ



kopułę elementy. Kiedy nie przestrzega się tej zasady, to kopuła może się zawalić, jak pokazały przykłady z praktyki. Zbudowana przy zastosowaniu tej techniki kopuła, w zaprojektowanym przez Hassana Fathy meczecie w New Guorna koło Luksoru w Egipcie, jest stabilna dzięki kilku czynnikom: ponieważ ma stosunkowo grube ściany; ponieważ posiada wygięte łukowato mury działające jak przypory, występujące na zewnątrz w pobliżu otworów okiennych oraz jest dodatkowo usztywniona przez schodkową, powiększoną podbudowę.

Grupa Development Workshops z Lauzerte (Francja) zastosowała w Nigerii, przy budowie budynków mieszkalnych, biurowych i socjalnych, najlepszy z wariantów tradycyjnej techniki nubijskiej konstrukcji kopuł. Tutaj zamiast centrycznie obracającego się szablony (rys. 14.7-34) użyto zamocowanej mimośrodowo obracającej się tyczki (rys. 14.7-36). Powstaje w ten sposób forma odbiegająca od formy odcinka kuli. Jest ona w dolnej partii mocniej nachylna i tworzy u góry, w środku szpic. Przy właściwym wyborze mimośrodów można uniknąć występujących w tradycyjnej konstrukcji naprężeń obwodowych



14.7-37



14.7-38



14.7-39



14.7-40

14.7-37 DO 14.7-40 POWSTAWANIE KOPUŁY O KSZTAŁCIE ZGODNYM Z LINIAMI CIŚNIENIA PRZY POMOCY OBROTOWEGO SZABLONU, BUDOWLA DOŚWIADCZALNA, UNIwersYTET W KASSEL



rozciągających. Dla bezpieczeństwa pogrubiono jeszcze ściany w dolnej partii. Forma w górnej części koputy, odbiegająca od kształtu odcinka kuli, powoduje występowanie tu naprężeń obwodowych ściskających, które w przypadku większych otworów i większych rozpiętości mogą być niebezpieczne.

#### 14.7.7 Koputy o kształcie zgodnym z liniami ciśnienia

W celu omięcia słabych stron koputy nubijskiej opracowano w FEB obrotowy szablon, przy pomocy którego można uzyskać statycznie optymalną, odbiegającą od geometrii kuli formę sklepienia. Kopułę taką wznosi się bez użycia deskowania.

Szablon można przesuwać równoległe do wewnętrznej powierzchni koputy. Dzięki zamocowaniu łożyskowemu możliwe jest obracanie go w poziomie. Szablon przesuwa się na wygiętym teowniku, którego krzywizna odpowiada założonemu przekrojowi poprzecznemu koputy. Prowadnica ta przymocowana jest elementem dystansowym do pionowej osi, a łożysko pozwala na jej obracanie się. Wykrzywioną prowadnicę można wymienić na inną, odpowiadającą projektowanemu przekrojowi koputy.



14.7-43 BUDOWA KOPUŁY Z CEGŁY GLINIANEJ NA FORMIE Z PIASKU

W ten sposób przy pomocy szablonu można uzyskać różne obrotowe formy geometryczne.

Zdjęcia 14.7-37 do 14.7-40 pokazują zastosowanie tej techniki podczas wznoszenia doświadczalnej budowli w Kassel w roku 1992. Powstała kopuła ma średnicę wewnętrzną 7 m, wysokość 6 m, a na samej górze świetlik w formie piramidy. Grubość ścian wynosi jedynie 20 cm. Kształt przekroju uzyskano komputerowo i jest to forma statycznie optymalna dla obciążenia ciężarem

własnym, zgodna z liniami ciśnienia. Oznacza to, że siły ścinające, wynikające z ciężaru własnego, przebiegają w środku sklepienia. Nie powstają tam ani siły zginające, ani też naprężenia obwodowe rozciągające. Aby przeszkodzić obsunięciu się cegieł glinianych w górnej części, nachylenie ich przebiega nie pod kątem prostym do krzywizny przekroju koputy, ale zmniejsza się w sposób ciągły tak, że górna warstwa jest o ok. 20° mniej nachylona niż w typowych konstrukcjach sklepień. Konsekwencją tego



14.7-41 | 14.7-42 BUDOWA SKLEPIENIA ODCINKOWEGO NA DESKOWANIU



rozwiązania jest wystawianie dolnych krawędzi cegieł w stosunku do poprzedniej warstwy. Ta „korekta położenia”, którą osiąga się przez zmienione ustawienie szablonu, ma ponadto jeszcze dwie zalety: po pierwsze – odbite dźwięki ulegają większemu rozproszeniu, a po drugie powstaje interesujące wrażenie estetyczne, por. rozdz. 16.

Skośne cegły gliniane mają wysokość 11,2 cm, szerokość 18 lub 20 cm i długość 20 cm. Wytlaczane są przy pomocy specjalnej końcówki prasy cegielnianej.

W celu przyspieszenia wykonywania spoiny poziomej skonstruowano urządzenie do układania zaprawy glinianej. Zbiornik może pomieścić do 20 litrów zaprawy, przesuwa się na rolkach po ułożonej poprzednio warstwie cegieł i rozkłada skośną warstwę o grubości 1 do 3 cm, por. zdjęcie 14.7-39.

Jeszcze łatwiejsze jest podawanie zaprawy rękawem i odpowiednią pompą do zapraw. W celu poprawiania akustyki w kopule, autor opracował specjalne „akustyczne cegły gliniane” o zaokrąglonych krawędziach, które układa się w murze pod odpowiednim kątem, patrz rozdz. 6.11.

#### 14.7.8 Konstrukcje kopuły z użyciem deskowania

Wykonanie deskowania dla zbudowania kopuły, tzn. wykonanie dwustronnego, jednakowo zakrzywionego sklepienia, jest bardzo pracochłonne i dlatego rzadko spotykane w historycznych konstrukcjach. Wyjątek stanowi tzw. sklepienie katalońskie (nazywane w Indiach „funecular shells”). Jest ono ekstremalnie płaskie i może być rozpięte nad polami kwadratowymi, prostokątnymi, jak również trójkątnymi.

Przy niewielkich rozpiętościach można kompletny szalunek wykonać np.



14.7-44 DESERT RESEARCH INSTITUTE, SADAT CITY, EGIPT



14.7-45 DESERT RESEARCH INSTITUTE, SADAT CITY, EGIPT

z płyt poliestrowych z włóknami szklanymi albo z blachy. Najprostsze jest jednak (przy małych rozpiętościach) ukształtowanie formy z piasku i wymurowanie na niej kopuły (zdjęcie 14.7-43).

Wykonywanie i zastosowanie deskowania przy sklepieniach kolebkowych jest o wiele łatwiejsze i praktyczniejsze, ponieważ mają one krzywizny jednostronne. Ponadto do wykonania takiego sklepienia potrzebny jest tylko jeden krótki odcinek deskowania, funkcjonującego jak szalunek ślizgowy. Technika tę stosuje się przede wszystkim przy

wykonywaniu tzw. „pruskich sklepień odcinkowych” (patrz rys. 14.3-6), wykorzystywanych do konstrukcji stropów.

Przy budowie sklepienia kolebkowego (zdjęcia 14.7-41 i 14.7-42) w budynku mieszkalnym wznoszonym w Kassel, Niemcy, wykonano tzw. „oszczędny szalunek” z cienkich łąt, układanych luźno na elementach łukowatych. Listwy te podtrzymywały na krawędziach ułożonych na nich bez zaprawy cegły gliniane. Po ułożeniu całego pola wypełniano spoiny zaprawą.



14.7-46 BUDYNKI WYSTAWOWE, NEW DELHI



14.7-47 WISSA WASSEF CENTRE, KAIR



14.7-48 WISSA WASSEF CENTRE, KAIR





#### 14.7.9 Wzmacnianie kopuł glinianych przez wypalanie od wewnątrz

Urodzony w Teheranie architekt Nader Khalili w wielu budynkach wzniesionych w Iranie i USA próbował wzmocnienia kopuł wymurowanych z cegieł glinianych przez wypalanie wzniesionym w ich wnętrzu ogniem. Zastosowanie czterech żywiołów (ziemi, wody, powietrza i ognia), na co zwraca on uwagę, daje jego budowlom wprawdzie pewien ładunek mistyczny, wywiera jednak niekorzystny wpływ na środowisko i klimat wnętrza tych pomieszczeń. Podczas spalania drewna następuje duże zanieczyszczenie środowiska naturalnego i znaczne zużycie tlenu. Przez wypalanie cegieł glinianych zamykają się w nich pory, a zdolność wchłaniania i oddawania pary wodnej, regulowania przez glinę wilgotności ulega drastycznej redukcji. W ten sposób dwie główne zalety gliny jako materiału budowlanego – tj. zmniejszenie zanieczyszczania środowiska i poprawa klimatu wnętrza – zostają przez wypalanie zaprzeczane. Ponadto, proces wypalania prowadzi do nierównomiernego rozgrzewania cegieł glinianych, co powoduje powstawanie pęknięć i przez to osłabienie statyczne struktury kopuły.

#### 14.7.10 Przykłady nowoczesnych budowli z kopułami

Na wcześniejszych oraz kolejnych stronach przedstawiono niektóre budowle gliniane, którym kształt nadały kombinacje różnych form kopulastych.

Przedstawione na zdjęciach 14.7-44 i 14.7-45 budynki Desert Research Institute amerykańskiego uniwersytetu w Sadat City w Egipcie zostały zaprojektowane w 1979 roku przez Hassana Fathy. Wszystkie pomieszczenia i podcienia przykryte są nubijskimi kopułami lub sklepieniami kolebkowymi. Ściany z murowanych cegieł glinianych są



14.8-1 ŚCIANA Z NIEWYPALONYCH CEGIEŁ KUMULUJĄCA CIEPŁO



14.8-2 UKŁADANIE ELEMENTÓW CHLEBOPODOBNYCH Z GLINY W STANIE PŁASTYCZNYM

pokryte tynkiem wapiennym, a kopuły powłoką bitumiczną oraz tynkiem cementowo-wapiennym dla ochrony przed wpływami atmosferycznymi.

W New Delhi powstał obiekt wystawowy Indira Gandhi National Centre for Arts (architekt: Sanjay Prakash), por. zdjęcie 14.7-46. Ta budowla, której ściany i sklepienia wykonano z ręcznie tłoczonych, niestabilizowanych cegieł

glinianych, została zbudowana jako budynek prowizoryczny w 1990 roku. Pierwotnym zamiarem inwestorów była jego rozbiórka po zakończeniu wystawy.

Zdjęcia 14.7-47 i 14.7-48 przedstawiają sklepienia kolebkowe i kopulaste budynku Wissa Wassef Centre w Kairze (architekt: Wissa Wassef).

Kolejne przykłady budowli z kopułami przedstawiono w rozdziale 15.





14.9-1 TAPETA GLINIANA NAD WANNĄ



14.9-2 ŁAZIENKA Z GLINIANYMI ŚCIANAMI I GLINIANYM SKLEPIENIEM

## 14.8 Gliniana ściana kumulująca ciepło w ogrodzie zimowym

W celu poprawienia kumulacji ciepła i regulacji wilgotności w ogrodzie zimowym wielkości 20 m<sup>2</sup> w pewnym domu mieszkalnym w Kassel, Niemcy, wykonano z gliny ściany gromadzące ciepło. Stanowią one wprawdzie tylko 10 m<sup>2</sup> powierzchni stojących za nimi murów, ale dzięki plastycznemu wyprofilowaniu oraz głębokim spoinom posiadają powierzchnię całkowitą większą niż 20 m<sup>2</sup>.

Do budowy użyto elementów podobnych do bochenków chleba długości ok. 20 cm i szerokości ok. 14 cm, które wyciskano prasą do produkcji pasm glinianych. Elementy te układano jedne na drugich w stanie plastycznym, bez zaprawy i nawet bez smarowania spoin. W celu zwiększenia stabilizacji ściany wciskano w co ósmą warstwę rury bambusowe, które przymocowywano kotwami z drutu do stojącego z tyłu muru (zdjęcie 14.8-2).

Powierzchnie nad przeszklonymi drzwiami (por. 14.8-1) obrzucono tynkiem z brył glinianych według zasad opisanych w rozdz. 11.7.

Nowa ściana bardzo poprawiła klimat wnętrza. Dzięki niej znacznie zmniejszyły się wahania temperatury i wilgotności w pomieszczeniu.

Obie zastosowane tu techniki nadają się przede wszystkim do wykonywania we własnym zakresie. Wymagają one wprawdzie wiele pracy, ale nie jest do nich potrzebne doświadczenie rzemieślnicze. Nie powodują one także kosztów związanych z materiałem czy urządzeniami mechanicznymi, jeżeli tego rodzaju glina występuje w miejscu budowy, a elementy wykonywane będą ręcznie.





**14.10-1** OTWARTA SZAFKA ZBUDOWANA Z PASM GLINIANYCH



**14.10-2** ŚCIANA Z PASM GLINIANYCH, KTÓREJ ZDOBIENIA WYKONANO W CZASIE JEJ WYSYCHANIA

## 14.9 Łazienka z gliny

Twierdzenie, że łazienka ze ścianami glinianymi jest bardziej higieniczna od łazienki pokrytej glazurą, wydaje się w pierwszej chwili zdumiewające. Potwierdzają to jednak długoletnie doświadczenia i badania laboratoryjne. Obserwacje pokazują, że w wykafelkowanej łazience, przy zamkniętych oknach, lustro po kąpieli pozostaje pokryte parą przez ok. 30 do 60 minut, podczas gdy w pomieszczeniu z glinianymi ścianami już po 3-6 minutach jest znowu czyste. Dzieje się tak dlatego, że ściany gliniane stosunkowo szybko wchłaniają nadmiar wilgoci. Oddają ją jednak równie prędko, jeżeli wilgotność powietrza zmniejsza się.

Przeprowadzone w FEB badania sorpcji wilgoci zawartej w powietrzu przez glinę (por. rozdz. 1.4.4) wykazały, że warstwa o grubości 1,5 cm jest w stanie wchłonać

na 1 m<sup>2</sup>, przy nagłym wzroście wilgotności w pomieszczeniu z 50 do 80%, w ciągu 48 godzin 300 g wody. Podczas tego doświadczenia ustalono ponadto, że cegła gliniana nawet przy 6-miesięcznym leżakowaniu w komorze klimatycznej o 95% wilgotności wchłania nie więcej niż 5 do 8% wody, co jest zależne od składu gliny. Cegła gliniana nie może więc w żadnym wypadku spęścić lub ulec rozmiękczeniu. Taki stan obserwujemy dopiero przy 10 do 12% zawartości wody.

W łazience z glinianymi ścianami tak szybko zmniejsza się wilgotność powietrza, że nie mogą tam wyrosnąć grzyby. Tworzą się one dość szybko w spoinach łazienek, których całe ściany pokryte są glazurą. Produkowane tam zarodniki grzybów pleśniowych stanowią zagrożenie dla zdrowia ludzi. Jeżeli spoiny wypełnione są masą z fungicydami, to tworzenie się grzybów pleśniowych

zostanie wprowadzone opóźnione, ale za to powstają najczęściej wyziewy zawierające formaldehyd. Formaldehyd jest związkami powodującym choroby nowotworowe.

Nawet ścianę z tyłu za prysznicem można zbudować z gliny, jeżeli kabina otoczona jest ze wszystkich stron specjalną zastoną łazienkową. Także tam, gdzie pryska woda, np. nad wanną, nie trzeba rezygnować z gliny. Wystarczy pokryć ścianę środkiem hydrofobowym i w ten sposób stworzyć powierzchnię wodoodporną.

Zdjęcie 14.9-2 przedstawia fragment wykonanej przez autora łazienki, w której ściany zbudowano z wypełnionych lekką gliną rękawów bawełnianych (patrz rozdz. 10.8), a strop stanowi sklepienie z cegieł glinianych. W tej łazience względna wilgotność powietrza nie wzrasta ponad 70%, nawet po długim używaniu prysznica, ponieważ ściany





**14.10-3** PLASTYCZNIE UFORMOWANA ŚCIANA Z PASM GLINIANYCH, STANOWIĄCA TYŁ ŁÓŻKA



**14.10-4; 14.10-5** – ŚRODKOWY RZĄD ZDJĘĆ – DETALE ŚCIENNE W ŁAZIENCE



**14.10-6** ELEMENTY SANITARNE OTULONE RĘKAWAMI Z GLINĄ LEKKĄ



**14.10-7** REGAŁY, LUSTRO I LAMPKA WBUDOWANE W ŚCIANĘ Z RĘKAWÓW GLINIANYCH



i strop szybko wchłaniają jej nadmiar. Możliwe było także pozostawienie otwartego (bez drzwi) i bez wywietrznika sąsiedniego pomieszczenia o powierzchni 4 m<sup>2</sup>, służącego jako garderoba. W połączeniu z typową łazienką bez ścian glinianych, powieszona w garderobie ubrania stęchłyby wkrótce i pojawiłyby się na nich plamy pleśni.

Zdjęcie 14.9-1 przedstawia „tapetę glinianą” nad wanną. Starą, wysłużoną zastanę zamocowano w tłustym szlamie glinianym i w stanie wilgotnym przyciśnięto do ściany. Przez przesunięcia tkaniny można uzyskać ciekawe efekty plastyczne. Do tego samego celu nadaje się także tkanina jutowa o dużych oczkach.

#### 14.10 Meble wbudowane wykonane z gliny

Przedstawiona na zdjęciu 14.10-1 ściana sypialni jest jednocześnie ścianą zewnętrzną i wbudowaną szafą. Powstała ona z elementów zwanych pasmami glinianymi (por. rozdz. 8.4). Poprzecznie ustawione ścianki służą jako boki szafy, a równocześnie usztywnienie muru zewnętrznego. Zabudowane podczas wznoszenia konstrukcji kije bambusowe są nie tylko elementami stabilizującymi ściany boczne, ale także służą do wieszania na nich ubrań. W prawej części ściany sypialni wykonano nożem w na wpół wyschniętej glinie półki

i wnęki do powieszenia obrazków, por. 14.10-2.

Wyżłobienia w ścianie za łóżkiem z pasm glinianych (zdjęcie F-17) wykonano przy pomocy noża także w czasie budowy, a podobne do uszu wykształcenie, stanowiące jakby klosz lampy nocnej, wykonano ręcznie i przy pomocy drewnianego klocka.

Regały między ścianami z pasm (por. rozdz. 8.4) lub z rękawów glinianych (por. rozdz. 10.7) można łatwo wykonać, jeżeli deski zostaną zabudowane podczas wznoszenia konstrukcji. Zdjęcie 14.10-4 przedstawia takie rozwiązanie w łazience. Przykładem na to, jak prosto jest zabudować lustro i lampę, jest



14.11.1 UMYWALKA DO MYCIA RĄK Z NIEWYPALONEJ GLINY



14.11-2 OBUDOWA UMYWALKI Z NIEWYPALONEJ GLINY

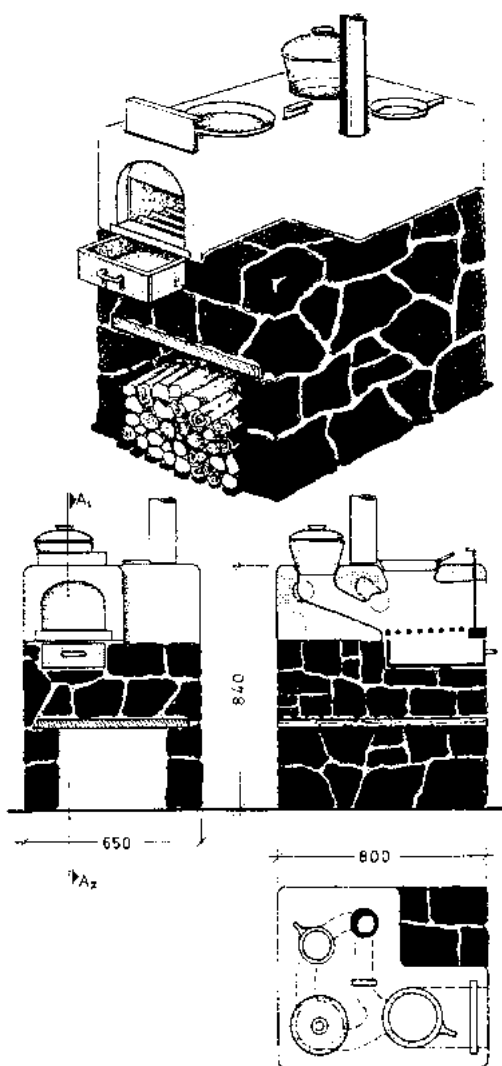


zdjęcie 14.10-5. Zdjęcie 14.10-6 pokazuje, jak obudowano prysznic rękawami wypełnionymi gliną lekką, a także stojącą obok donicę z rośliną oraz wannę.

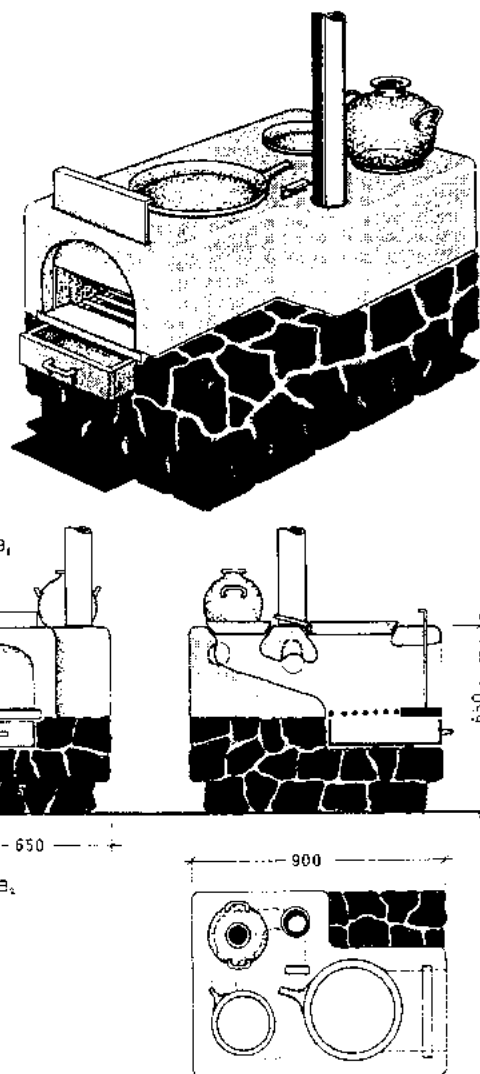
### 14.11 Umywalka z gliny

Również umywalkę można wykonać z niewypalanej gliny. Ta przedstawiona na zdjęciu 14.11-1 zrobiona jest z gliny o specjalnym składzie, z 1% dodatkiem środka hydrofobowego. Po wykonaniu miski pomalowano ją także tym samym środkiem, co pozwoliło glinie na zachowanie powierzchni z otwartymi porami

14.11-3 UMYWALKA Z NIEWYPALONEJ GLINY



14.12-1 OSZCZĘDNY W ZUŻYCIU DREWNA OPAŁOWEGO TRZON KUCHENNY Z GLINY



14.12-2 OSZCZĘDNY W ZUŻYCIU DREWNA OPAŁOWEGO TRZON KUCHENNY Z GLINY



i równocześnie uniemożliwiło kapilarne wchłanianie wody. Kolejne wykonane z gliny „dodatki”, np. na pastę do zębów, szczoteczkę, oświetlenie i ramę lustra, uformowano z tego samego materiału. Aby uniknąć normalnie występujących rys podczas schnięcia, przestrzegano następujących zasad:

Mieszanka gliniana posiadała specjalną tzw. „krzywą rozdziału ziarna” – o dużej zawartości pisku o średnicy 1 do 2 mm.

Mieszankę wyrabiano w stanie stosunkowo suchym.

W misce przewidziano 4 planowane rysy skurczu, które przy wysychaniu otwierano i wypełniano słabo elastyczną mieszanką gliny z silikonem. Dzięki temu „kontrolowanemu zachowaniu się przy skurczu” można było przy innych elementach łazienki całkowicie zapobiec pęknięciom. Specjalna mieszanka do wykonania miski umywalki sprawdziła się: po sześcioletnim użytkowaniu nie widać na niej żadnych śladów wytarcia ani wytlukania. Połączenie z rurą odprowadzającą wodę wykonano z przewierconej miski ceramicznej.

W przykładzie pokazanym na zdjęciu 14.11-1 obudowę umywalki wykonano ze specjalnie piaszczystej zaprawy glinianej o dużej spójności. Udało się tutaj prawie całkowicie uniknąć tworzenia się rys skurczowych podczas schnięcia. Planowanie spoin pęknięcia nie było w tym przypadku konieczne. Zaprawę wymieszano najpierw z minimalną ilością wody, a potem z 6% pokostu lnia-nego. Przedstawiona na zdjęciu 14.11-2 umywalka jest także wodoodporna dzięki dodatkowi pokostu, natomiast tę na zdjęciu 14.11-3 wykonano z mieszanki gliny z 6% dodatkiem kleju kazeinowo-wapiennego. Powierzchnię wygładzono łyżką i pomalowano jedną warstwą twardego wosku, aby umożliwić łatwiejsze jej mycie. Wszystkie przedstawione i wykonane przez autora umywalki nie

wykazują po czternastoletnim użytkowaniu żadnych oznak erozji.

## 14.12 Piec i trzony kuchenne z gliny

### 14.12.1 Wiadomości ogólne

Dwóch pojęć: piec i trzon kuchenny nie należy jednoznacznie rozdzielać. Przyjęło się jednak, że miejsce palenia ognia do gotowania nad nim określamy mianem trzonu, a do ogrzewania i pieczenia chleba nazywamy piecem.

W Europie tradycyjnie jeszcze w XIX wieku domowe urządzenia do ogrzewania, gotowania i pieczenia, czyli trzony i piece, budowano często z gliny. We wschodniej Europie piece służyły zarówno do ogrzewania, jak i do gotowania, a często również do pieczenia. Stanowiły one centralny punkt domostwa, ciepłe jądro mieszkania, przy którym stawiano często ławki, a nawet przygotowywano na nich miejsca do spania. W Europie zachodniej stosunkowo wcześniej dla różnych funkcji tj. ogrzewania, gotowania i pieczenia budowano osobne urządzenia.

W Niemczech w ostatnich latach ludzie sami zbudowali sporo pieców i trzonów kuchennych z gliny. W międzyczasie znalazły się również firmy specjalizujące się w tym gatunku.

### 14.12.2 Oszczędny, gliniany trzon kuchenny dla krajów Trzeciego Świata

Na podstawie analizy typowych trzonów glinianych w Indiach i Gwatemali, opracowano w FEB w 1978 roku poprawiony, gliniany trzon kuchenny, którego różne warianty doskonale sprawdziły się zarówno w Niemczech, jak i w Gwatemali oraz w Ekwadorze. Rys. 14.12-1 przedstawia trzon gliniany, którego górna część nadaje się do stosowania w Europie. Na rysunku 14.12-2 widać z kolei trzon, który jest typowy dla kuchni gwatemalskich, gdzie pali się dłuższymi

szczapami drewna, a do przygotowywania posiłków używa się dużej patelni zwanej tortilla lub comal. Na tym trzonie kuchennym można równocześnie podgrzewać trzy garnki lub patelnie. Pierwszy i największy otwór znajduje się bezpośrednio nad paleniskiem i nadaje się przede wszystkim do smażenia i gotowania w dużych garnkach. Oba mniejsze miejsca do gotowania, znajdujące się nad łukowato przebiegającym aż do komina kanałem gorącego powietrza, służą do stawiania mniejszych garnków oraz do podtrzymywania ciepła gotowych potraw lub wody.

Cokół powinien mieć około 60 cm wysokości i można go zbudować z łamanego kamienia, cegły ceramicznej lub wymurować z podobnego materiału. Możliwe jest również wykonanie dolnej części trzonu o kształcie stołu.

Ważną zaletą tej konstrukcji jest pusta przestrzeń w dolnej części pieca, służąca do układania tam drewna opałowego. Jest to również wygodne przy gotowaniu, bo znajduje się tam dość miejsca na czubki stóp. Jeśli taka pusta przestrzeń nie jest planowana, to należy zmniejszyć cokół w dolnej jego części. Podczas murowania cokołu należy



14.12-3 OSZCZĘDNY W ZUŻYCIU DREWNA OPALOWEGO TRZON KUCHENNY, KOLUMBIA

pamiętać o wykonaniu otworu na popielnik, który najłatwiej przykryć sztabami żelaznymi grubości od 6 do 10 mm, układanymi równolegle w odstępach od 3 do 4 cm.

Wielkość i położenie miejsc do gotowania zależy od używanych garnków i patelni. Należy jednak pamiętać o następujących zasadach:

- Trzon kuchenny powinien być jak najbardziej zwarty.
- Całkowita długość przewodów dymowych nie powinna być zbyt długa, a zmiany kierunku nie za ostre.
- Przepływ gorącego powietrza powinien odbywać się zawsze po przekątnej otworów na gotowanie.
- Grubość ścian między kanałami, otworami i powierzchnią zewnętrzną nie powinna być mniejsza niż 5 cm, ale także nie większa niż 10 cm.
- Aby umożliwić szybkie rozniecania ognia oraz dobre odprowadzanie dymu podczas rozpalania albo przy niekorzystnych warunkach atmosferycznych, należy przeprowadzić bezpośredni kanał od paleniska do komina. Jego otwarcie lub zamknięcie reguluje się zasuwą.

W celu zmniejszenia tworzenia się rys podczas schnięcia gliny powinna ona zawierać dużo gruboziarnistego piasku, mało pyłu i niewiele ilitu. Mieszanki należy użyć do budowy w stanie możliwie suchym (o konsystencji wilgotnej) i dobrze ją zagęścić. Siłę wiązania chudej gliny najlepiej zwiększa dodatek nawozu krowiego. Można także zamiast wody do rozmieszania użyć serwatki.

Mieszanka o najlepszych właściwościach do budowy trzonów kuchennych powinna mieć następujący skład:

- 10 wiader gliny zmieszanej z gruboziarnistym piaskiem i o dużej sile wiązania (zawartość ilitu 8 do 15%),
- 12 wiader luźnej, pociętej słomy (dł. 5 do 15 cm),
- 1 wiadro trocin,
- 2 wiadra nawozu krowiego o konsystencji brejowatej.

#### Budowa trzonu kuchennego

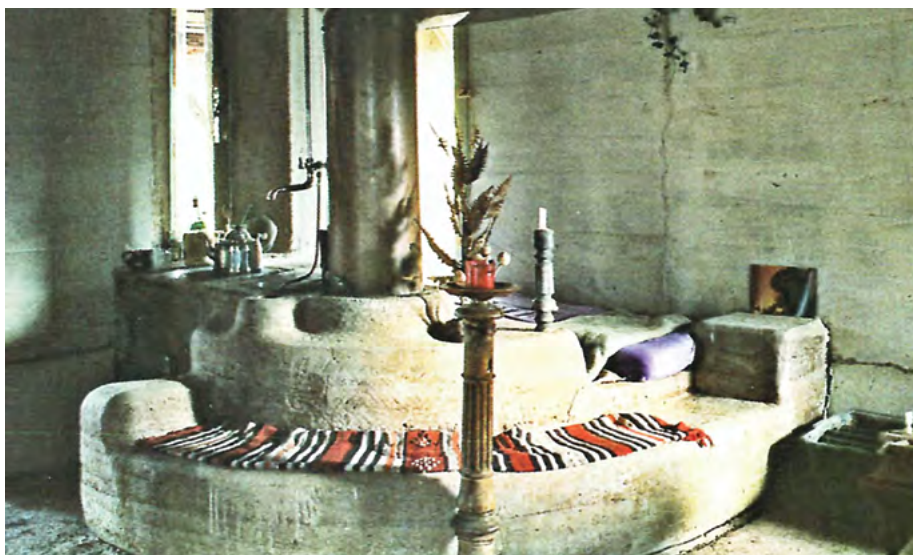
Na cokole należy zbudować szalunek z desek i ubić w nim dobrze wyrobioną mieszankę. Ponieważ mieszanka gliniana podczas zagęszczania zmniejsza swą objętość do ok. 60% wielkości początkowej, trzeba włożyć nieomal

podwójną jej ilość w stosunku do pojemności deskowania. Szalunek powinien być dość stabilny i solidnie podparty z zewnątrz, ponieważ podczas ubijania na jego powierzchnię będzie wywierany duży nacisk. Ruszt należy w tym czasie dobrze przykryć np. papą, deską itp., aby glina podczas ubijania nie wcisnęła się do popielnika. Teraz wrzuca się mieszankę warstwami grubości ok. 10 cm i zagęszcza drewnianym ubijakiem, np. krawędziakiem. Aby umożliwić szybkie wyschnięcie całego bloku oraz w celu zaoszczędzenia materiału, można w miejsca, gdzie będą otwory na palenisko i garnki, włożyć cegły lub butelki w ten sposób, aby łatwo było je potem wyjąć. Powierzchnię wygładza się dużym nożem lub kielnią.

Deskowanie należy zdjąć natychmiast po wykonaniu bloku pieca, aby glina mogła szybko wyschnąć. Po rozdeskowaniu zaznacza się na wygładzonej powierzchni trzonu gwoździem obrysy przyszłych miejsc gotowania czy smażenia. Korzystne jest wycinanie otworów na gotowanie zaraz po rozszalowaniu, ponieważ wilgotna glina jest łatwiejsza w obróbce oraz dlatego, że przyspiesza się w ten sposób proces



14.12-4 OSZCZĘDNY W ZUŻYCIU DREWNA OPAŁOWEGO TRZON KUCHENNY, KOLUMBIA



14.12-5 PIEC POŁĄCZONY Z TRZONEM KUCHENNYM ORAZ ŁAWKĄ I MIEJSCEM DO SPANIA



wysychania. Otwory należy jednak wykonać najpierw trochę mniejsze, z uwagi na zmieniającą się jeszcze w czasie schnięcia geometrię trzonu. Z tego samego powodu kanały spalinowe należy tylko „przewiercić”, nie powinny one od razu mieć formy ostatecznej. Wyżłobienia w glinie wykonuje się dużym kuchennym nożem. Szpary na zasuwę regulacyjną najlepiej wycinać szpachlą lub cienkim nożem, gdy glina jest już na wpół sucha.

Podczas wykonywania otworu na palenisko należy szczególnie uważać, ponieważ znajdujące się u góry łukowate wykończenie może w stanie wilgotnym łatwo się załamać lub zdeformować. Zaleca się więc wycięcie z przodu najpierw okrągłego otworu średnicy ok. 10 cm, który należy powiększać stopniowo w miarę wysychania gliny. Trzon przy suchej i ciepłej pogodzie jest już po tygodniu na tyle wysuszony, że otworom na garnki oraz kanały można nadać ostateczną formę. Powstające podczas schnięcia rysy należy natychmiast zamykać, przyciskając mocno kielnią lub paznokciem.

Podczas wykonywania systemu kanałów oraz otworów na garnki należy przestrzegać następujących zasad:

- Otwory na garnki należy dopasować dokładnie do ich wymiarów, aby dym nie mógł ułatwić się szparami.
- Garnki powinny sięgać wystarczająco głęboko, aż do strumienia gorącego powietrza.
- Otwór pod garnkiem należy tak zawęzić (poprzez wypukłe podwyższenie), aby pole przekroju miejsca pod garnkiem nie było dużo większe od pola przekroju kanału.
- Kanały powinny mieć średnicę od 8 do 10 cm. Mogą one mieć także odpowiednio duży przekrój owalny.

Do odprowadzania spalin nadaje się typowa rura piecowa o średnicy 10 cm. Należy ją dobrze wpasować w trzon i wyprowadzić ponad kalenicę domu. Wysokość komina jest bardzo ważna dla dobrego funkcjonowania trzonu. Zbyt niski komin nie posiada wystarczającego „ciągu”.

Korzystna jest też możliwość regulacji dopływu powietrza do paleniska wbudowaną klapą albo stawianą z przodu cegłą.

Przy większych potrzebach, jakie mają np. małe restauracje w Kolumbii, autor zastosował w 2008 roku trzon podłużny, por. 14.12-4. Tutaj garnki stoją w ogniu

lub w kanale z gorącym powietrzem na żelaznych sztabach. Palenisko przykrywają blachy z okrągłymi wycięciami, odpowiadającymi dokładnie wymiarom garnków. Blachy zachodzą na siebie i w ten sposób nie przeszkadzają we właściwym ciągu spalin. Przednia blacha nie ma wycięcia i tym samym służy do pieczenia na niej podpiłyków albo ciast na patelni.

### 14.12.3 Piec z elementem trzonu kuchennego oraz zabudowaną ławką i miejscem do spania

Przedstawiony na zdjęciu 14.12-4 piec jest tak skonstruowany, że ogrzewa pomieszczenie poprzez promieniowanie ciepła, a umieszczona nad paleniskiem żelazna płyta może służyć za trzon kuchenny. Gorące spaliny ogrzewają także ławkę, łóżko i zbiornik z wodą. Piec powstał w roku 1982 w jednym z budynków eksperymentalnych FEB. Lity korpus wykonano z gliny zagęszczonej ubijakiem wibracyjnym, opisanym w rozdz. 5.3. Palenisko wymurowano z cegły szamotowej i przykryto płytą stalową. Spaliny prowadzone są trzema kanałami, które można pojedynczo dołączać. Mogą one uchodzić bezpośrednio do komina i ogrzewać wbudowany tam zbiornik



14.12-6 | 14.12-7 PIEC DO WYPIEKU CHLEBA I PIZZY, KOLUMBIA



z wodą (stary bojler łazienkowy), albo też przechodzą innymi kanałami pod ławką lub pod miejscem do spania.

W miejscach przyszłych kanałów dymowych położono rękaw z folii wypełniony keramzytem, który można było bez problemu ubijać razem z całym korpusem pieca. Po wykonaniu całego bloku glinianego keramzyt odessano odkurzaczem przez boczne otwory re wizyjne, a folię wyciągnięto. Ostateczny kształt pieca, łącznie z ławką i miejscem do spania, uformowano nożem i kielnią w czasie, kiedy glina była jeszcze wilgotna.

Wykonany w piecu kanał prowadzący spaliny w dół okazał się niekorzystnym rozwiązaniem, ponieważ stosunkowo niski komin nie wytwarzał wystarczającego ciągu, aby powstający przy rozpalaniu dym odprowadzić do komina. Podczas niekorzystnych warunków atmosferycznych, nawet przy rozgrzanym piecu, siła ciągu była za mała i spaliny, zamiast przechodzić przewodem pod ławką i łóżkiem, trzeba było kierować najkrótszą drogą do komina. Piec powinien zatem posiadać o wiele wyższy komin. Ponadto należy zaznaczyć, że według zasad prawnych obowiązujących w Niemczech spaliny

należy odprowadzać bezpośrednio do komina, a nie kanałami wykonanymi w ubitej glinie (więcej na ten temat: Oestereich 1984).

#### 14.12.4 Piec do wypieku chleba i pizzy

Piece gliniane do wypieku chleba albo pizzy można wykonać bardzo łatwo. Do tego potrzebny jest najpierw cokół wymurowany z kamienia łamanego, polnego albo z cegły. Na cokole kładzie my równą i gładką płytę z kamienia albo betonu. Jej lekkie nachylenie pozwoli na wygodniejsze patrzenie na wypiek i ułatwi czyszczenie.

Nad płytą buduje się z cegły glinianej albo z brył gliniano-słomianych komorę pieca w kształcie sklepienia kopulastego lub kolebkowego. Jako deskowanie może posłużyć plecionka z witek wierzbowych lub leszczynowych albo też ze stali zbrojeniowej. Można również wykonać konstrukcję mieszaną z tych elementów. Kopuła powinna posiadać wystarczającą masę akumulacyjną oraz być pokryta z zewnątrz warstwą izolacyjną w celu ochrony przed zbyt szybkim oziębieniem.

Zdjęcia 14.12-6 i 14.12-7 przedstawiają opracowany przez autora piec piekarski,

który buduje się bez szalunku. Kopułę wykonuje się w formie półkuli z cegieł glinianych, przy pomocy listwy dystansowej, zamocowanej przegubowo w środku spodniej płyty. Na gotową kopułę kładzie się warstwę ok. 12 cm z gliny lekkiej (mieszanka ze słomą albo wiórami stolarskimi), która stanowi izolację termiczną. Górny otwór odprowadzania spalin zamyka się czopem ceramicznym, gdy w piecu jest już tylko sam żar. Do składowania drewna opatowego służy kolebkowy otwór w cokole.

#### 14.12.5 Piec z paleniskiem bezrusztowym obłożony gliną

Piec gliniany służący do ogrzewania pomieszczeń to zazwyczaj typowy piec bezrusztowy tzw. piec gruntowy (niem.: Grundofen), obudowany płaszczem z gliny (zdjęcia 14.12-8, 14.12-9).

W piecu gruntowym drewno nie leży na ruszcie, ale bezpośrednio na niekolebkowej płytce, tzn. na jego dnie, na gruncie. Drewno ulega zgazowaniu powyżej warstwy żaru i spala się dzięki wprowadzanemu tam powietrzu. Dzienna porcja drewna powinna spalić się w wysokiej temperaturze (800 do 1000°C) i możliwie szybko, aby powstało jak najmniej szkodliwych substancji. Promieniujące



14.12-8 | 14.12-9 PRZYKŁADY INDYWIDUALNYCH PIECÓW GRUNTOWYCH (FIRMY NEIDLINGER I FIRMY NIERMANN)

przez palenisko ciepło oraz gorące spalinę kumulują się w wymurowanych we wnętrzu pieca kanałach. Kiedy proces spalania kończy się i w palenisku nie widać już płomienia, należy zamknąć dopływ powietrza. Piec powinien mieć możliwie dużą powierzchnię, aby przez promieniowanie oddawać nią ciepło. Kanały wewnętrzne prowadzone są najczęściej nie tylko we wnętrzu pieca, ale zakręcają wielokrotnie także w środku „przybudówek”. Dlatego też komin powinien dysponować odpowiednio dużą siłą ciągu.

### 14.13 Ogrzewanie w ścianach z gliny

Umieszczenie ogrzewania w ścianach pomieszczeń posiada wiele zalet w porównaniu z systemem ogrzewania podłogowego: niższe koszty wykonania, łatwość przeprowadzania napraw, mniejsza inercja, zdrowszy klimat i niewielkie wznoszenie się kurzu. Cechy te spowodowały, że od pewnego czasu już wiele firm zajmuje się budową tego systemu grzewczego i jako budulca ściennego używa gliny.

Takie ogrzewanie najprościej wykonać układając w ścianie cienkie rurki wodociągowe w formie meandrów, spirali albo drabin i zalepiając bruzdy tynkiem glinianym. Przy tym należy jednak pamiętać, że ogrzewanie w trakcie zabudowywania musi być czynne. Cienkie rury nie potrzebują wprawdzie wiele miejsca, ale wymagają zastosowania pompy, która zużywa prąd, a jej żywotność nie przekracza często 6 lat. Grzejniki drabinowe są droższe w produkcji, ale nie potrzebują tak wysokiego ciśnienia.

Grubsze rury są wykonane najczęściej z aluminium otulonego z obu stron (od środka i na zewnątrz) warstwą tworzywa sztucznego.

W handlu dostępne są prefabrykowane płyty gliniane, które przymocowuje się

śrubami do istniejących ścian. Inną możliwością jest zabudowanie elementów ściennych o wysokości pomieszczenia, w ramach drewnianych z wbudowanym systemem rur grzewczych. Te prefabrykatory pokrywa się po instalacji specjalną mieszanką glinianą.

Jedyną wadą tych systemów jest możliwość uszkodzenia rur przy wierceniu otworów w ścianie.

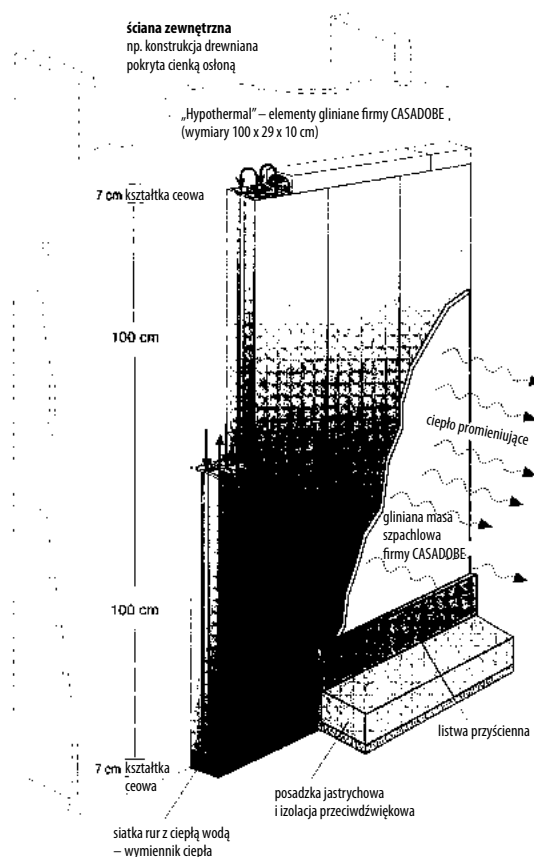
Tego niebezpieczeństwa nie ma przy zastosowaniu sposobu ogrzewania pomieszczeń przez wprowadzenie gorącego powietrza do ścian. Rys. 14.13-1 dokładniej opisuje ten system. Powietrze ogrzewane jest poprzez siatkę rur z gorącą wodą i podnosi się do góry w kanałach glinianego elementu ściennego. Tu ulega schłodzeniu i zostaje skierowane w dół, do kanałów po drugiej stronie płyty. Tam ogrzewa się ponownie

i znowu podnosi do góry. Gorące powietrze cyркуluje w ten sposób w zamkniętym obszarze bez sztucznego napędu wentylatorami.

### 14.14 Uszczelnianie stawów gliną

#### 14.14.1 Wiadomości ogólne

Tłusta glina o zawartości min. 30% ilitu nadaje się do uszczelniania stawów, dołów na wapno gaszone i składowisk śmieci, jako alternatywa wobec stosowanych do tego celu folii czy tkanin pokrytych tworzywem sztucznym. Nawet jeżeli uszczelnianie gliną jest bardziej pracochłonne, to metodzie tej należy się pierwszeństwo z powodów ekologicznych. Należy ją stosować przede wszystkim przy pracach indywidualnych.



14.13.1 OGRZEWANIE W ŚCIANIE GLINIANEJ (CASADOBE)

Wykonywana warstwa powinna mieć co najmniej 10 cm grubości. Należy też zwrócić uwagę na to, żeby w stanie wilgotnym nie wykazywała spoin i pęknięć. W celu jej zabezpieczenia przed uszkodzeniami mechanicznymi np. przez chodzenie albo uderzenie fali, wymycie prądem wodnym, a na brzegach – przed wyschnięciem na słońcu i wietrze, należy ułożyć na glinie warstwę ochronną ze żwiru grubości 10 do 15 cm. Stanowi ona jednocześnie podłoże, w którym zakorzenia się rośliny wodne.

Poniżej zostanie przedstawionych pięć różnych możliwości wykonania uszczelnienia stawów z gliny.

#### 14.14.2 Uszczelnienie z ubitej gliny

Jeżeli mamy do dyspozycji gruzelkową glinę o wilgotnej konsystencji, to można ją układać na dnie stawu na grubość 15 do 18 cm i mocno ubić. Zagęszczona warstwa powinna mieć grubość od 10 do 12 cm. Ubijanie najlepiej wykonać przy pomocy zagęszczarki do robót ziemnych, ale można także ubijać rękami. Tam, gdzie ubijanie jest bardzo trudne, np. na skarpie, należy glinę układać w dwóch lub trzech cienkich warstwach i zagęszczać drewnianym ubijakiem ręcznym. Możliwe jest także użycie do zagęszczania wąskiego walca.



**14.14-1** UKŁADANIE PREFABRYKATÓW GLINIANYCH JAKO ELEMENTÓW USZCZELNIAJĄCYCH STAW (FIRMA DIEKMANN, PEINE, NIEMCY)

Aby ubita warstwa miała równomierłą grubość (min.10 cm), należy dla kontroli co 1 do 2 m powbijać pionowo w dno stawu paliki z podziałką metryczną. Po zagęszczeniu całego dna paliki należy usunąć, a pozostałe po nich dziury wypełnić gliną.

Przy stosowaniu tej metody ważne jest ustalenie zawartości wody w glinie. Nie może ona być zbyt sucha i powinna dać się stosunkowo łatwo zagęścić do konsystencji plastycznej, ścistej masy. Jednocześnie glina nie może być tak wilgotna, że podczas chodzenia po niej, już po zagęszczeniu, buty wnikają w jej masę na głębokość większą niż 1 cm.

#### 14.14.3 Układanie wilgotnych prefabrykatów glinianych

Zdjęcie 14.15-1 przedstawia układanie elementów glinianych o grubości 10 cm, szerokości 27 cm i długości 30 cm. Z boków zachodzą one na siebie na szerokość 5 cm. Mają z przodu i z tyłu skośne krawędzie, co pozwala (w stanie wilgotnym) na robienie zakładów z każdej strony. Po ułożeniu zagęszcza się całą powierzchnię ubijakiem mechanicznym, takim samym, jaki stosuje się do robót ziemnych. Ubijanie trwa tak długo, aż wszystkie spoiny zostaną zamknięte, a poszczególne elementy połączą się w jedną całość. Podczas planowania należy pamiętać, aby nachylenie skarpy nie było większe niż 30°.

Na zdjęciu 14.15-2 przedstawiono układanie i ubijanie elementów większych (87 x 42 x 10 cm). Do układania użyto dźwigu, a do zagęszczenia specjalnego walca.

#### 14.14.4 Uszczelnienia przy użyciu włókniny nasączonej gliną

Do uszczelniania stawów, zbiorników wodnych i kanałów stosuje się specjalny materiał geotekstylny. Składa się on z dwóch warstw mechanicznie zagęszczonej włókniny, między którymi

znajduje się warstwa bentonitu. Bentonit składa się w ok. 70% z montmorylonitu, minerału szczególnie mocno pęczniącego. Mata w zależności od sposobu wykonania waży od 3,6 do 4,1 kg/m<sup>2</sup> i ma grubość od 8 do 10 mm. W stanie mokrym materiał ten pęcznieje o 50% i tworzy warstwę niemalże wodoszczelną. Dostarczana jest na budowę w belach, zawierających maty wielkości 2,25 x 25 m.

Zaletą tego „zapakowanego” i szczególnie mocno pęczniącego materiału jest mała czasochłonność przy jego rozkładaniu oraz to, że zawarty w nim il jest dobrze chroniony przed wyptukaniem płynącą wodą. Tym niemniej matę należy, podobnie jak przy stosowaniu innych systemów, przykryć warstwą ochronną z grubego piasku lub drobnego żwiru.

**14.14-2** UKŁADANIE PREFABRYKATÓW GLINIANYCH JAKO ELEMENTÓW USZCZELNIAJĄCYCH STAW (FIRMA DIEKMANN, PEINE, NIEMCY)





# 15. NOWE BUDOWLE Z GLINY

## Uwagi wstępne

Jak pokazują opisywane przykłady, domy z gliny, tzn. domy, których dominującym budulcem jest glina, nie mają szczególnej formy wizualnej. Wyglądają jak inne konwencjonalne budynki – są proste, modne, nowoczesne albo ekskluzywne.

W klimacie Europy zachodniej, wschodniej i północnej fasady budynków mieszkalnych muszą wykazywać dużą termoizolacyjność, co oznacza, że gliny jako materiału budowlanego najczęściej z zewnątrz nie widać. Tworzy ona warstwę wewnętrzną, jest też stosowana do budowy stropów i posadzek.

Opisane poniżej budynki z gliny przedstawiają wybór nowych budowli z wielu krajów, o różnych przeznaczeniach użytkowych i różnorodnych formach przestrzennych. Inne obiekty z gliny o sklepieniach kopułastych przedstawiono już w rozdz. 14.7-10.

*Architekt:* Graeme North



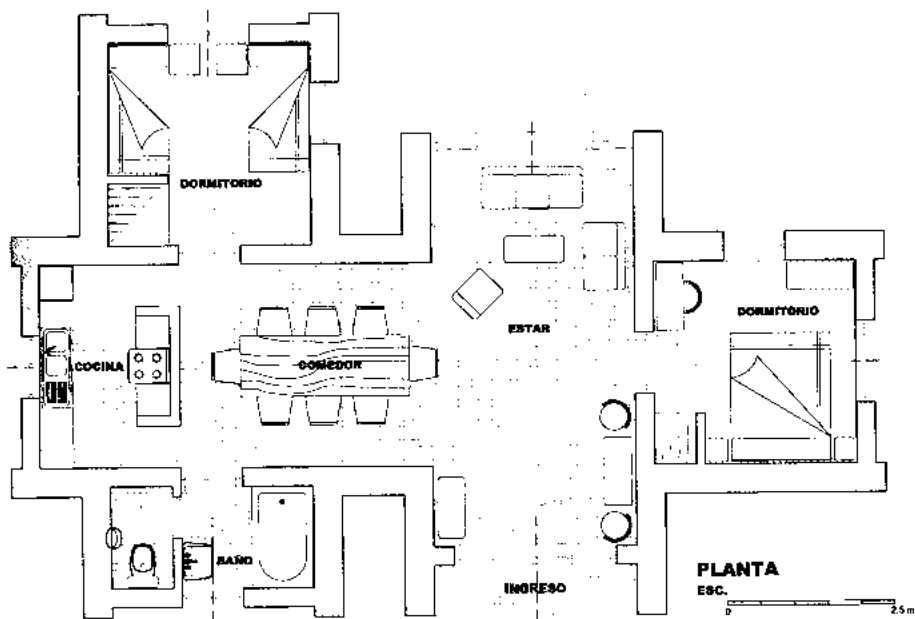
DOM MIESZKALNY W HELENSVILLE, NOWA ZELANDIA



## 15.1 Budynek mieszkalny w La Paz, Boliwia

Budynek stoi na skraju stolicy Boliwii, na wysokości ok. 3700 m. Ściany i sklepienia kolebkowe wykonane są z ręcznie formowanych cegieł glinianych i posiadają dobre właściwości kumulacji ciepła. Charakteryzują się też pozytywnym, przesuniętym w czasie przepuszczaniem ciepła, wynoszącym od 6 do 8 godzin. Oznacza to, że podczas mocnego promieniowania słonecznego ciepło przechodzi do wnętrza dopiero wieczorem lub w nocy i wtedy, kiedy na dworze jest już zimno, podgrzewa je. Sklepienie chronione jest przed erozją deszczową hydrofobowym tynkiem i elastyczną powłoką malarską.

*Projekt:* Raul Sandoval, La Paz  
*Zakończenie budowy:* 1999  
*Powierzchnia mieszkalna:* 84 m<sup>2</sup>







WIDOKI OD ZACHODU

## 15.2 Budynek mieszkalny w Turku, Finlandia

Ten częściowo dwukondygnacyjny dom mieszkalny stoi na przedmiejskim osiedlu i jest mieszkaniem dla pięcioosobowej rodziny. Budynek ma drewnianą konstrukcję szkieletową, z zewnątrz zabudowaną prostopadłościanami z gliny lekkiej ze słomą. Jako ochronę przed wpływami atmosferycznymi wykonano deskowanie lub położono na ścianach tynk wapienny. Elementy prostopadłościenne wykonywano na budowie, wykorzystując własnoręcznie skonstruowaną prasę. Mają one gęstość  $450 \text{ kg/m}^3$ ; wartość  $U$  dla ściany zewnętrznej wynosi  $0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

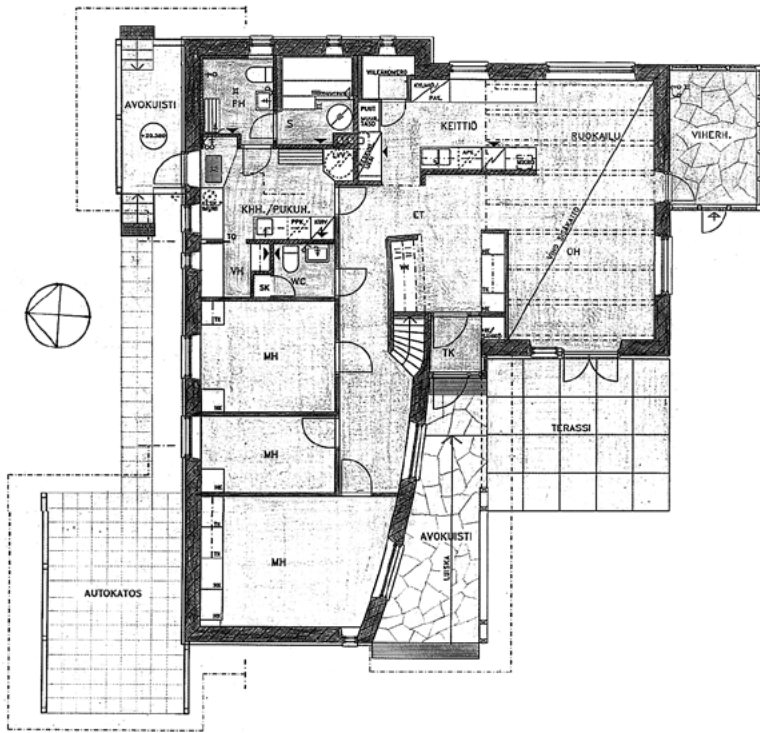
*Projekt:* Teuvo Ranki, Finlandia

*Zakończenie budowy:* 1999

*Powierzchnia mieszkalna:*  $127 \text{ m}^2$







MUROWANIE ŚCIANY Z ELEMENTÓW Z GLINY LEKKIEJ ZE SŁOMĄ

RZUT POZIOMY

WIDOK DOMU MIESZKALNEGO W TURKU, FINLANDIA







### 15.3 Budynek mieszkalny w Des Montes, Nowy Meksyk, USA

Ten wiejski dom mieszkalny stoi w pobliżu Taos, w okolicy, gdzie styl architektoniczny adobe ma już wieloletnią tradycję. Okrągły salon z centralnie postawionym piecem, przestrzeń kuchenna razem z mieszkalną oraz dwa duże, przykryte dachem tarasy to najbardziej charakterystyczne elementy rzutu poziomego tego domu. Do tego dochodzą dwie sypialnie, jak również pomieszczenie gościnne oraz taras widokowy na piętrze. Wszystkie ściany zbudowano z ręcznie formowanych cegieł glinianych (adobes) i pokryto tynkiem glinianym. Niezbędny zasób ciepła zapewnia pasywne wykorzystanie energii słonecznej, kolektory na ciepłą wodę oraz centralnie usytuowany piec, w którym pali się drewnem. Woda zbierana na dachu służy do podlewania ogrodu.

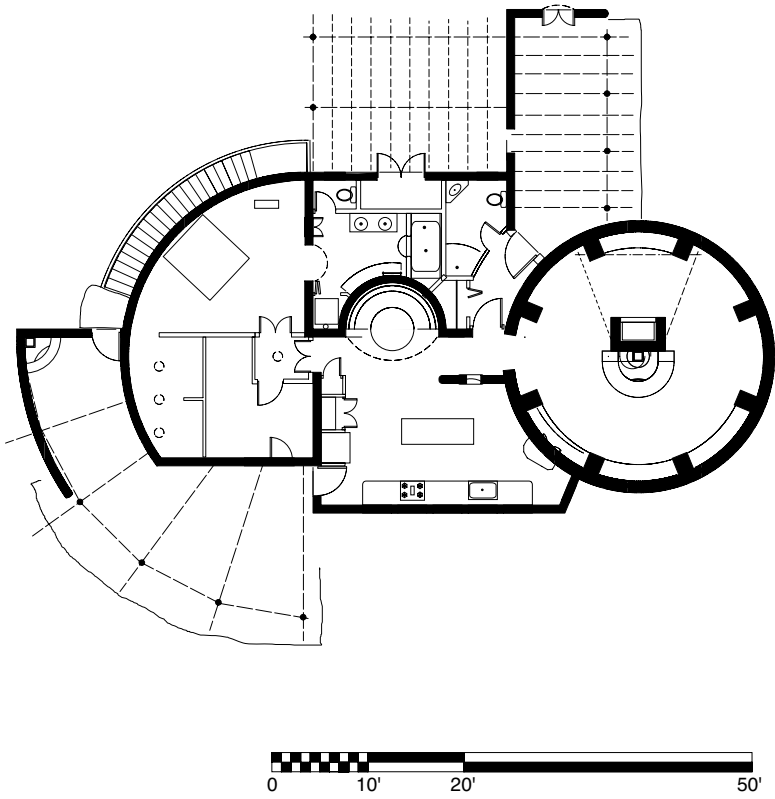
*Architekt:* Joaquin Karcher, Taos, USA

*Zakończenie budowy:* 2004

*Powierzchnia mieszkalna:* 204 m<sup>2</sup>









## 15.4 Dom mieszkalny w Taos, USA

Rzut poziomy tego budynku stanowią pomieszczenia położone wokół krętych schodów. Cylindryczna budowla klatki schodowej wyróżnia się z zewnątrz ciemniejszym kolorem.

Na piętrze znajduje się studio i taras z rozległym widokiem na pustynny krajobraz.

Dom jest energetycznie samowystarczalny i zaprojektowany z uwzględnieniem dużych wahań temperatury między dniem i nocą.

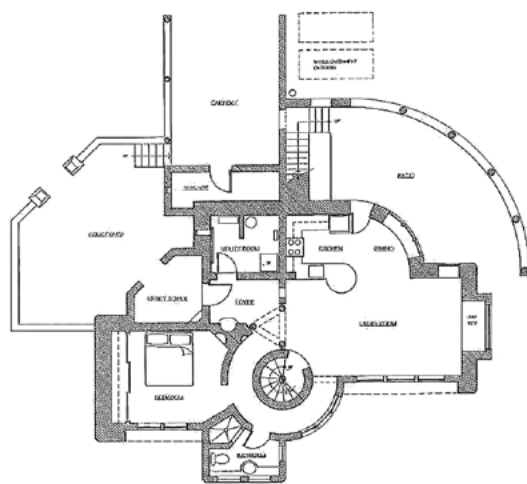
Fasada południowa to przede wszystkim okna, które służą do pasywnego wykorzystywania energii słonecznej. Mury międzyokienne oraz wewnętrzne wykonano z cegieł glinianych (adobes) doskonale magazynujących ciepło. Pozostałe ściany zewnętrzne zbudowano z bali słomianych pokrytych grubą warstwą tynku glinianego. Komin solarny nad klatką schodową wyciąga z budynku gorące powietrze.

W zimie kominek opalany drewnem służy jako dodatkowe źródło ogrzewania.

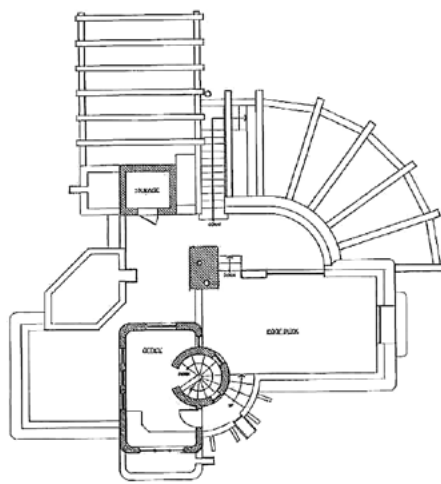
*Architekci:* EDGE Achitetects, Ken Anderson, Pamela Freund

*Zakończenie budowy:* 2004

*Powierzchnia mieszkalna:* 140 m<sup>2</sup>



FIRST FLOOR PLAN



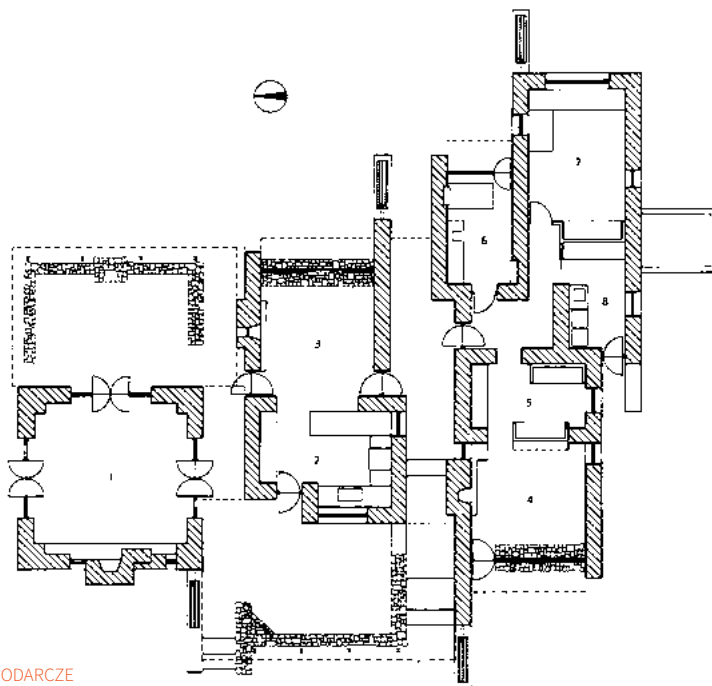
SECOND FLOOR PLAN

## 15.5 Budynek mieszkalny w Tucson, Arizona, USA

Dom składa się z trzech sześciennych części, których grube na 60 cm ściany z ubitej gliny wyprowadzone są tak wysoko, że nie widać nachylonych połaci dachowych. Także miejsca do wypoczynku na zewnątrz budynku ostionięte są przez przedłużone mury. Ściany gliniane zarówno z zewnątrz, jak i wewnątrz pozostały w formie naturalnej; glina była stabilizowana niewielką ilością cementu. Na brzegu attyki dodatk cementu jednak znacznie zwiększono. W związku z tym, że wsypywana do deskowania luźna glina zagęszczana została mocniej w górnej części każdej warstwy, powstała na powierzchni pozioma tekstura.

*Architekt i przedsiębiorca budowlany:*  
Paul Weiner, Tucson

- LEGENDA
1. SALON
  2. KUCHNIA
  3. JADALNIA
  4. SYPIALNIA
  5. GARDEROBA
  6. ŁAZIENKA
  7. POKÓJ DO PRACY
  8. POMIESZCZENIE GOSPODARCZE

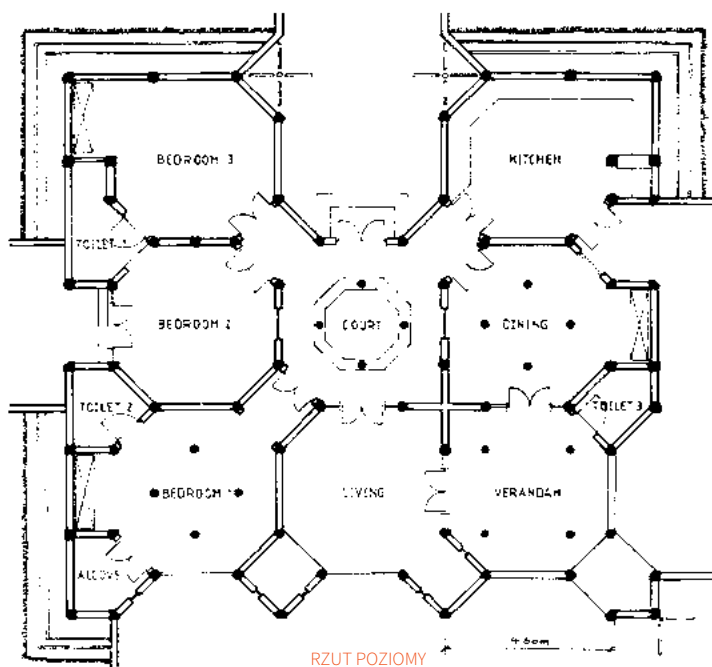
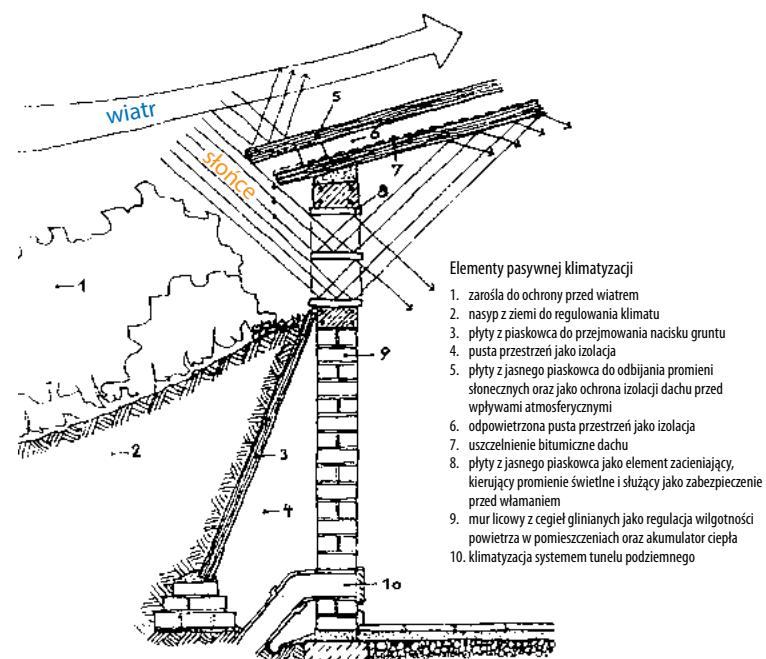






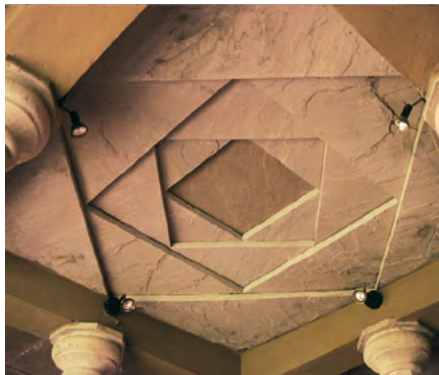
## 15.6 Dom farmerski w Wazipur, Haryana, Indie

Koncepcja budynku została dopasowana do gorącego klimatu. Dom zbudowano korzystając z lokalnych materiałów, a projekt przewidywał daleko idące wykorzystanie pasywnej klimatyzacji. Pomieszczenia zgrupowane są dookoła centralnego podwórza i w ten sposób zapewniono im dobre wietrzenie poprzeczne. Powietrze w podwórzu chłodzi się przez parowanie wody (fontanny, wegetacja). Ponieważ w okolicy brakuje





drewna, narożne słupy ośmiobocznych pomieszczeń wykonano z kamienia. Ściany między słupami wymurowano z ręcznie wykonanych cegieł glinianych. Słupy łączy u góry betonowy wieniec, na którym spoczywają płyty z piaskowca ułożone w lekko sklepioną konstrukcję stropu. Dach wykonano z dwóch warstw. Białe płyty piaskowca odbijają dość znacznie promieniowanie słoneczne. Reszta przepuszczonego ciepła odprowadzana jest przez przewietrzaną pustą przestrzeń między płytami. Nasypy ziemi i posadzone rośliny chronią przed gorącym wiatrem. Poziome białe płyty z piaskowca przed oknami służą do zacieniania, kierowania światła oraz jako ochrona przed włamaniem. Murowanym, podziemnym tunelem długości 60 m pompowane jest z zewnątrz do pomieszczeń powietrze, które w ciągu długiej drogi schładza się do temperatury



ziemi, tj. ok. 25°C. W ten sposób uzyskuje się latem przyjemny efekt ochłody, a z kolei w zimie – ogrzewania. Dzięki tym rozwiązaniom można było zrezygnować z typowych urządzeń klimatyzacyjnych i zaoszczędzić wiele energii elektrycznej.

*Projekt: Gernot Minke, Kassel, razem z DAAT, New Delhi*  
*Zakończenie budowy: 1994*  
*Powierzchnia mieszkalna: 206 m<sup>2</sup>*

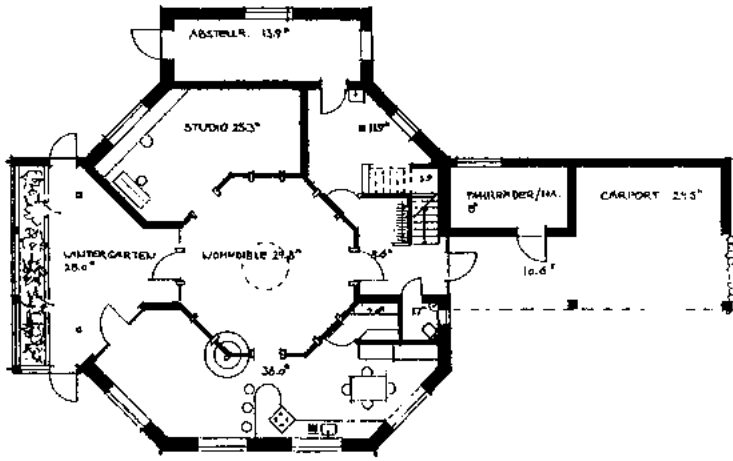


## 15.7 Budynek mieszkalny w Rosdorf, Niemcy

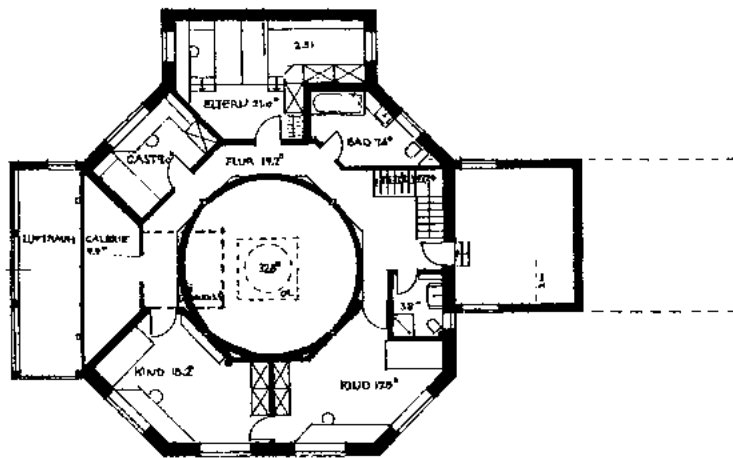
W środowisku wiejskim, gdzie wszystkie dwuspadowe dachy pokryte są dachówką, dom z lekko pochylonym, płaskim dachem zielonym, z bateriami słonecznymi pokrywającymi dach pulpitowy oraz z dwukondygnacyjnym ogrodem zimowym rzuca się od razu w oczy.

W środku zaskakuje centralnie położona sień mieszkalna, sklepiona kopułą glinianą, spoczywającą na ośmiokątnej, wieńczącej belce z drewna klejonego. Kopuła ta, o przekątnej w świetle 6 m, jest na piętrze widoczna od strony zewnętrznej. Rozdziela ona wpadające z góry światło na okalającą ją galerię, prowadzącą do sypialni i łazienek.

Drabina prowadzi na podest widokowy, z którego można oglądać rozprzestrzeniający się krajobraz ponad zielonym dachem ogrodu zimowego. Ściany zewnętrzne grubości 36,5 cm są murowane z elementów lekkich, dobrze izolujących (wartość  $\lambda = 0,11$ ), a od wewnątrz pokryte tynkiem glinianym. Ściany wewnętrzne wykonane są z cegieł glinianych, najczęściej w formie muru licowego, celem osiągnięcia



RZUT PARTERU



RZUT PIĘTRA





maksymalnego wyrównania wilgotności w pomieszczeniach.

Dach składa się z przegrody paroizolacyjnej, 30 cm warstwy izolacji termicznej, wolnej od PVC warstwy ochronnej, 15 cm warstwy lekkiego substratu mineralnego oraz roślinności – dzięki trawie i ziół.

Nad pomieszczeniem gospodarczym i wiatą samochodową znajduje się dach pokryty bateriami słonecznymi o mocy 6000 Wat. Na osobnej szopie ogrodowej zainstalowano kolektory słoneczne wielkości 16 m<sup>2</sup>. Centralną sień ogrzewa kominek, który w razie potrzeby pełni funkcję pomocniczą dla instalacji ogrzewania słonecznego.

Budynek spełnia warunki domu niskoenergetycznego o zużyciu ciepła równym 49 kWh/m<sup>2</sup>a.

Zapotrzebowanie energii cieplnej, potrzebnej do ogrzania powierzchni 327 m<sup>2</sup>, wyliczono na 16000 kWh.

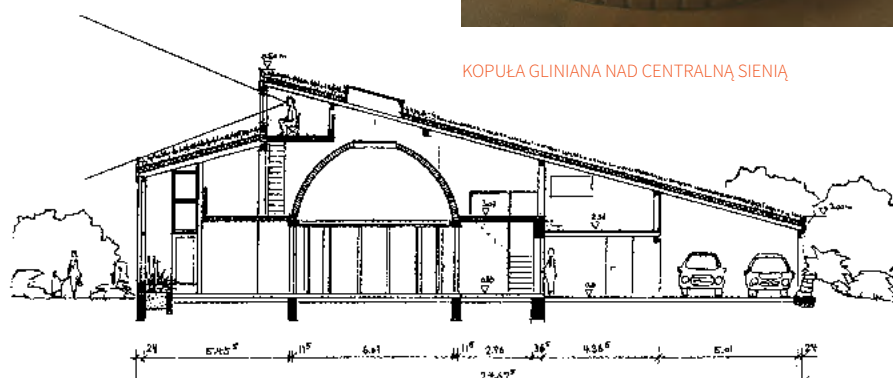
Ilość tę w ciągu pierwszego półrocza 2002 w 26% dostarczyła słoneczna instalacja termalna, a w 74% opalany drewnem piec kaflowy. Ściany zewnętrzne mają wartość  $U = 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$  a dach, bez uwzględnienia warstwy zielonej, wartość  $U = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Dach zielony daje dodatkowy i znaczący efekt ocieplający, który jednak przy obliczeniach nie był brany pod uwagę. Jeżeli uwzględniliby się piętnastocentymetrową grubość lekkiego substratu i gęstą warstwę trawy, to dałoby to dla całego dachu wartość  $U = 0,10$  do  $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Dzięki ogrodowi zimowemu, który znacząco kumuluje ciepło w posadzce z kamieni naturalnych oraz w ścianach z cegieł glinianych, pasywne korzystanie z energii słonecznej działa pozytywnie na bilans energetyczny. Nadmiar energii (ok. 4000 kWh rocznie) instalacja fotowoltaiczna przesyła do ogólnej sieci energetycznej. W ten sposób koszty jej zabudowy zamortyzują się w ciągu kilku lat.

Architekci: Gernot Minke, Kassel, Tobias Weyhe, Quedlinburg

Powierzchnia mieszkalna: 273 m<sup>2</sup>

Zakończenie budowy: 2001



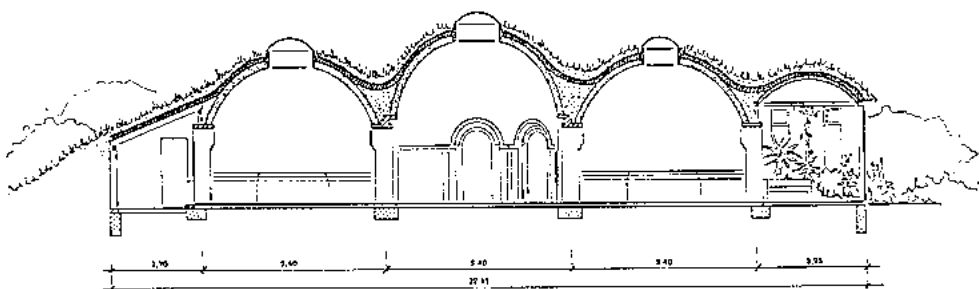
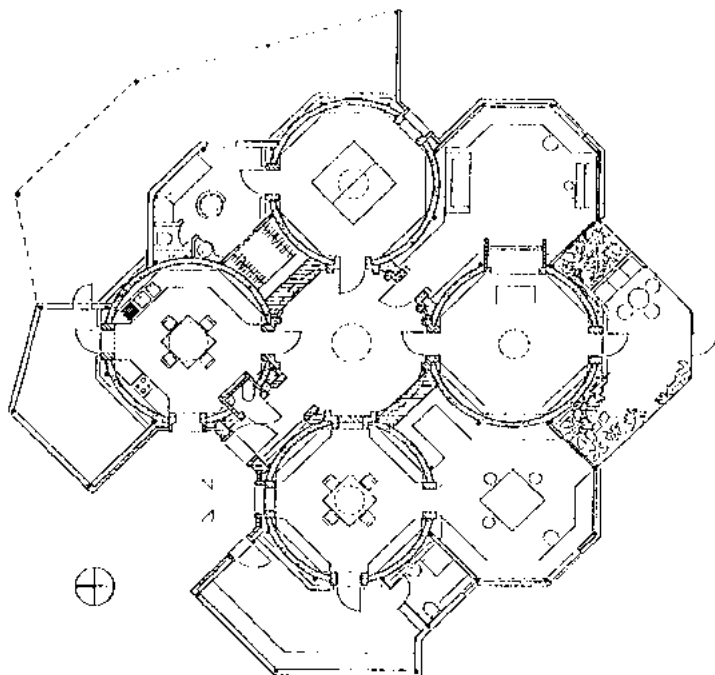
KOPUŁA GLINIANA NAD CENTRALNĄ SIENIĄ





## 15.8 Budynek mieszkalno-biurowy w Kassel

W zbudowanym w 1992 roku w Kassel budynku mieszkalno-biurowym pomieszczenia mieszkalne oraz przedsionek, łazienka i ogród zimowy przykryte są kopułami. Przez przedpokój, którego strop stanowi przedstawione na zdjęciu 14.7-41 sklepienie odcinkowe wykonane z zielonek, wchodzi się do centralnego holu. Pomieszczenie to pokrywa kopuła o kształcie zgodnym z liniami ciśnienia i wysokości 4,60 m. Hol oświetla górny otwór przykryty dwuwarstwową kopułą ze szkła akrylowego. Z tego centralnego punktu budynku można wejść do czterech kolejnych pomieszczeń zwieńczonych kopułami 4-metrowej wysokości. Wnętrza te oprócz centralnego, górnego oświetlenia wyposażone są również w boczne okna. Budowę i technologię powstawania owych pięciu kopuł opisano w rozdziale 14.7.7. Jakkolwiek kopuły w pomieszczeniach mieszkalnych rozpoczynają się od wysokości 0,75 m,





a w holu od wysokości 1,75 m, to udało się wszystkie siły występujące w konstrukcji skierować bezpośrednio do fundamentów, bez konieczności wykonania wieńca.

*Projekt:* Gernot Minke, Kassel

*Zakończenie budowy:* 1993

*Powierzchnia mieszkalna:* 213 m<sup>2</sup>

**Opis budowli**

*Fundamenty:* niezbrojone ławy betonowe

*Posadzka:* przerywająca siłę kapilarną warstwa żwiru, izolacja termiczna, deski podłogowe na legarach drewnianych albo glina lekka z keramzytem i warstwą gliny lub wykładziną sizalową (w pomieszczeniach narażonych na działanie wody – pływaką podłoga jastrychowa z wykładziną korkową).









## 15.9 Budynek mieszkalny w Bad Schussenried, Niemcy

Budowla składa się z 3 sklepień kolebkowych spoczywających wokół centralnej kopuły. Wszystkie sklepienia i ściany wewnętrzne wykonano z cegieł glinianych (zielonek).

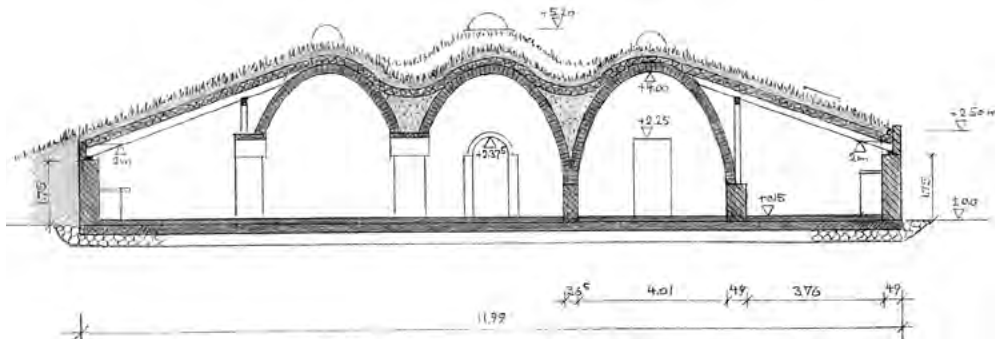
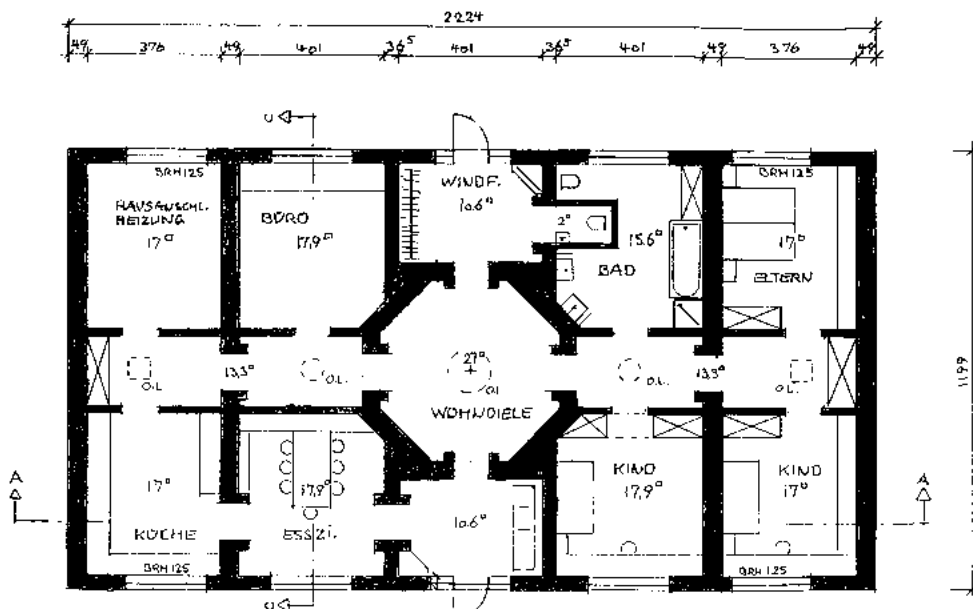
Roślinność porastająca nachylone połacie dachu z belek drewnianych tworzy z boku budynku jeden ciąg z trawnikiem w ogrodzie.

Dom zaprojektowano w ten sposób, że wszystkie powierzchnie zewnętrzne, również okna i drzwi, stanowią osłonę przed promieniowaniem elektromagnetycznym o wysokiej częstotliwości. Osłona ta przy częstotliwości 2 GHz jest skuteczna w 99,4 do 99,999%.

Architekci: Gernot Minke, Tobias Weyhe

Zakończenie budowy: 2007

Powierzchnia mieszkalna: 208 m<sup>2</sup>







### 15.10 Dom trzyrodzinny w Stein am Rhein, Szwajcaria

Budynek ma konstrukcję drewnianą szkieletową słupową z usztywniającym, skośnym deskowaniem. Ściany zewnętrzne pokryte są tynkiem wapiennym położonym na lekkich płytach z wełny drzewnej. Pod płytami znajduje się izolacja celulozowa grubości 12 cm. Wewnętrzną stronę ścian osłonowych stanowi ubita mieszanka gliny z rozdrobnionym drewnem, pokryta tynkiem glinianym. Szkieletowa konstrukcja ścian wewnętrznych wypełniona jest ceglami glinianymi. Pokryty dachówką ceramiczną dach oraz balkony od południa wystają poza lico budynku na tyle, że latem pomieszczenia pozostają zacienione, a zimą są dobrze doświetlone słońcem.





Projekt: Michael Nothhelfer, Überlingen

Projekt:

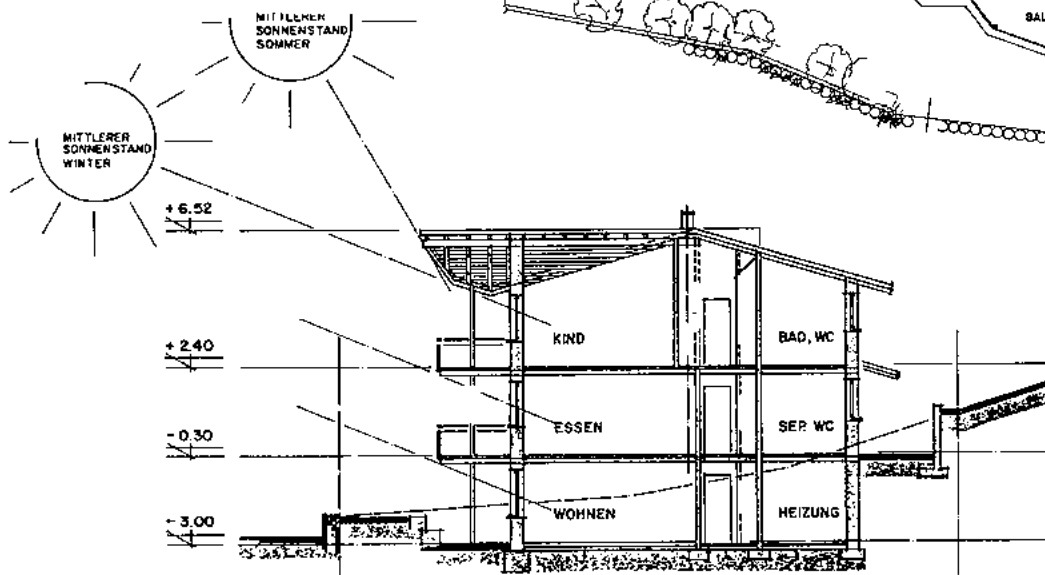
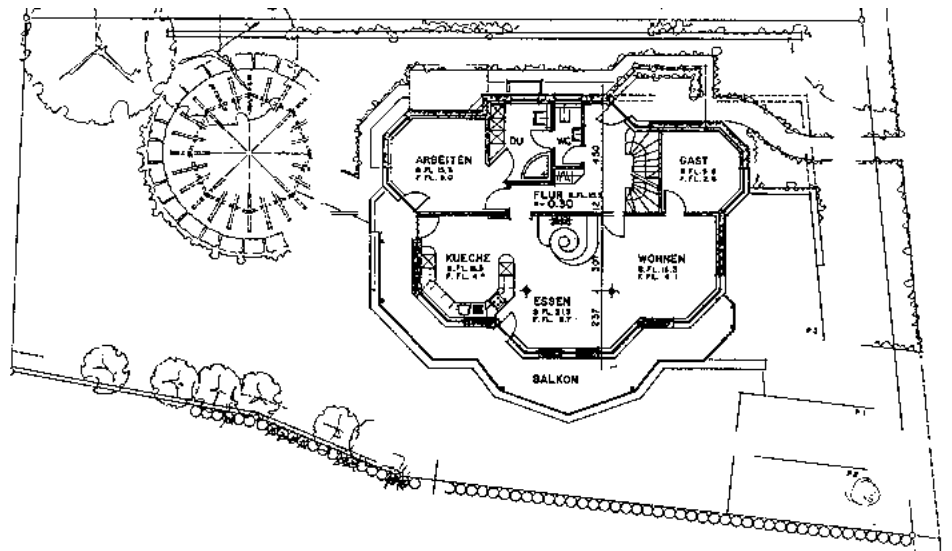
Michael Nothhelfer, Überlingen

Powierzchnia mieszkalna:

Sutereny: 82 m<sup>2</sup>

Parter: 118 m<sup>2</sup>

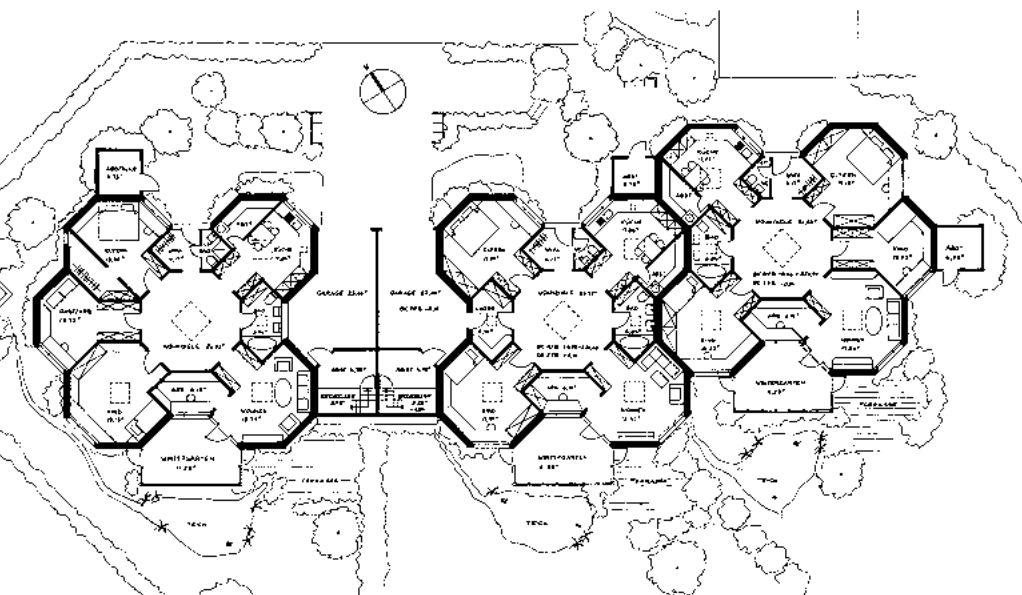
Poddasze: 108 m<sup>2</sup>







ELEMENT RAMY DREWNIANEJ WYPEŁNIONY GLINĄ UKŁADANY DO WYSUSZENIA



## 15.11 Grupa budynków ekologicznych „Soliterra” w Mühlacker-Enzberg, Niemcy

Grupę budynków stanowią trzy sąsiadujące ze sobą domy o powierzchni od 123 do 133 m<sup>2</sup>. Ściany wykonano z nośnych, prefabrykowanych ram drewnianych, wysokich na całą kondygnację i szerokich na metr. Elementy pokryto i usztywniono trzema warstwami desek. Wszystkie ściany wewnętrzne wypełnione są ceglami glinianymi, płytami glinianymi lub mieszanką gliny z rozdrobnionym drewnem. Wszystkie ściany zewnętrzne mają warstwę izolacyjną z zamoczonych w cementie wiórów drewnianych. Stropy nad ośmiobocznymi pomieszczeniami wykonano jako kopulaste drewniane typu „hogandach” – wg tradycyjnej konstrukcji Indian Navajo. Wszystkie powierzchnie drewniane są jedynie nasączone woskiem. Prefabrykowane moduły ścienne montowano przy pomocy dźwigu samochodowego, co pozwoliło na wykonanie stanu surowego w ciągu 3 dni.

Domy pokryte są „dachem zielonym” z 15 cm lekkiego substratu, na którym rośnie łąka z trawy i ziół.

Nad obydwooma garażami zainstalowano kolektor słoneczny o powierzchni 30 m<sup>2</sup>. Pokrywa on w 34% zapotrzebowanie energii na ogrzewanie budynku (43 kWh/m<sup>2</sup>) i ciepłą wodę (18 kWh/m<sup>2</sup>). 48% zapotrzebowania uzyskuje się dzięki pompie ciepła z pionową sondą ziemną. Pozostałe 18%, tj. 12 kWh/m<sup>2</sup>, potrzebne są do napędu pompy. Powstające latem nadwyżki ciepła przekazywane są przez sondę w głąb ziemi, która w ten sposób służy jako długoterminowy akumulator.

Projekt: Gernot Minke i Tobias Weyhe, Kassel

Zakończenie budowy: 2000

Powierzchnia mieszkalna: 133 m<sup>2</sup>, 123 m<sup>2</sup>, 133 m<sup>2</sup>





MONTAŻ ELEMENTU (TERRA LINES)







### 15.12 Centrum młodzieżowe, Berlin-Spandau, Niemcy

Będące pod opieką pedagogów centrum młodzieżowe zapewnia dzieciom tej dzielnicy najróżniejsze możliwości spędzania czasu wolnego.

Długa na 32 metry lita ściana z ubitej gliny o różnych barwach dzieli budynek oraz służy do magazynowania ciepła i wyrównywania wilgotności powietrza. Szklana fasada od południa zapewnia pasywne korzystanie z energii słonecznej. Dach zielony zbiera ok. 70% opadów, reszta jest odprowadzana i wsiąka w pobliski teren.

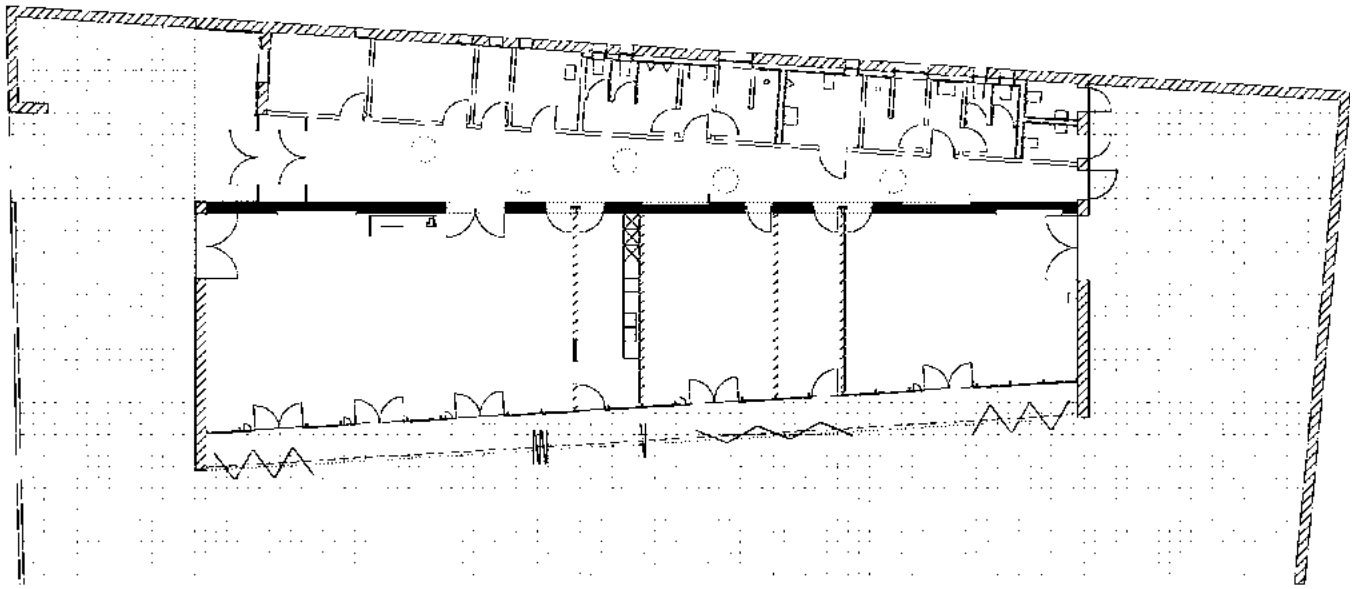
*Projekt:* Hermann Scheidt, Frank Kasprusch

*Zakończenie budowy:* 2005

*Powierzchnia użytkowa:* 385 m<sup>2</sup>







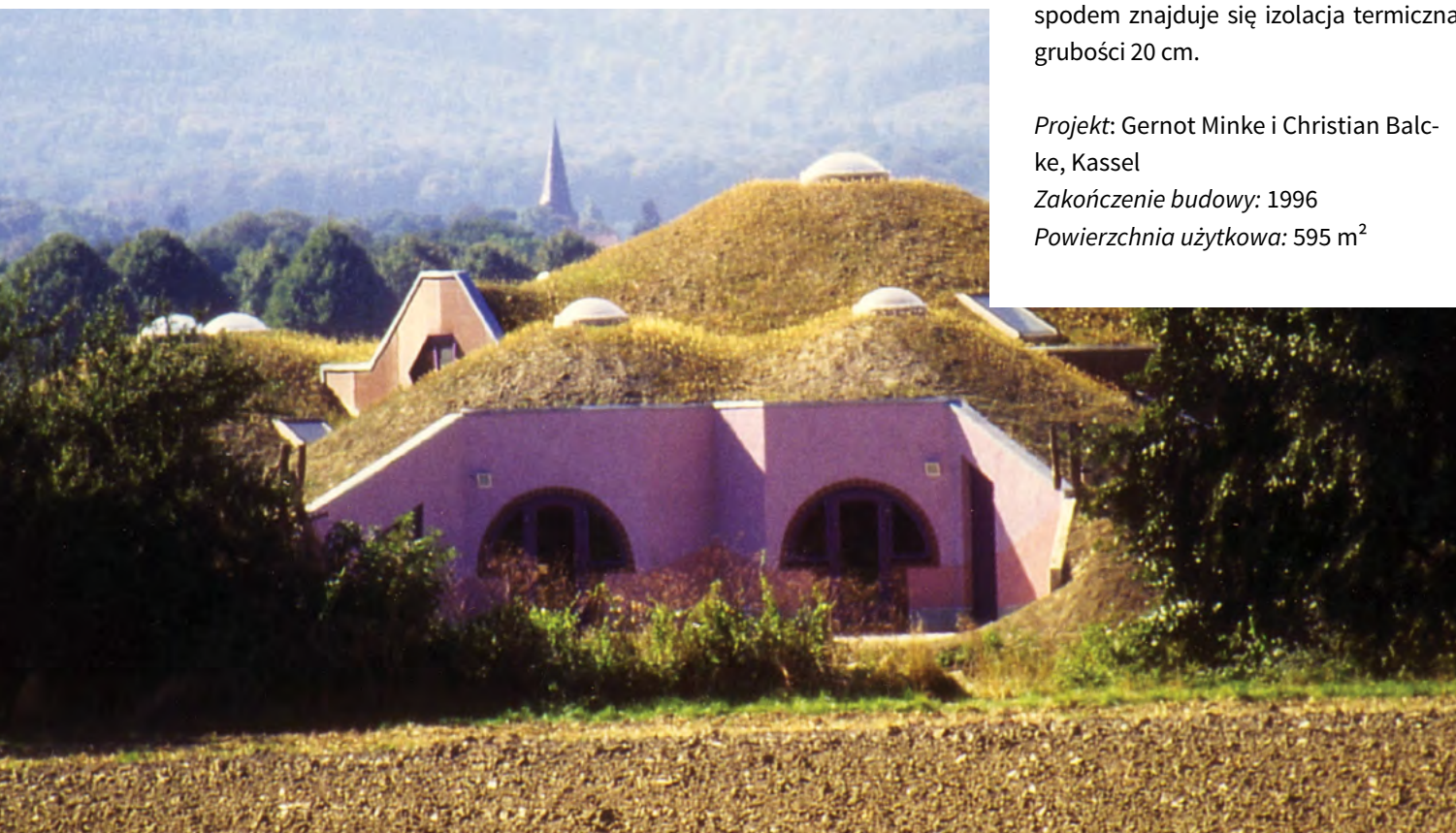
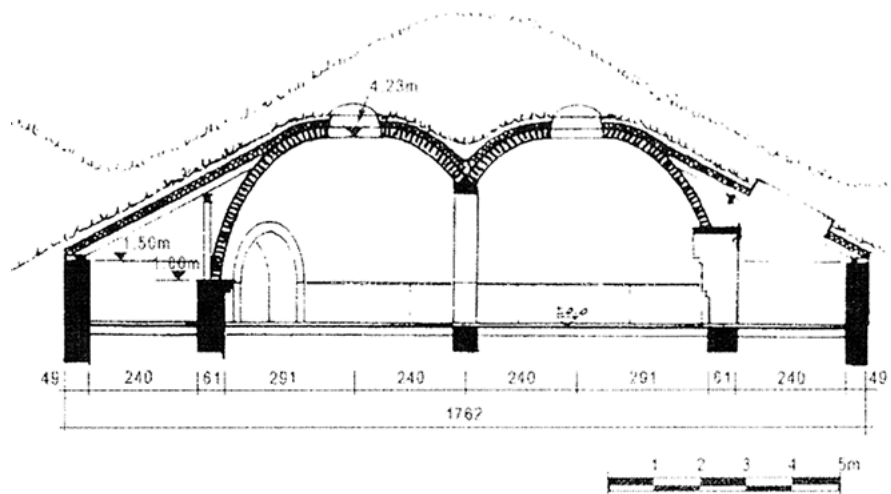
### 15.13 Przedszkole w Wennigsen-Sorsum, Niemcy

Trzy sale dla grup dzieci w przedszkolu waldorskim rozmieszczone są wokół wielofunkcyjnej hali, przykrytej wykonaną z cegieł glinianych kopułą wysokości 7 m i o średnicy 10m. Ganek dookoła hali, przykryty konstrukcją drewnianą, służy jako pomieszczenie przy większych imprezach. Każdą salę dla grup przykrywają dwie kopuły z cegieł glinianych, spotykające się na jednym tuku (patrz przekrój). Cegły mają zaokrąglone główki i wystają dołem na ok. 3 cm. Powstaje w ten sposób bardzo pozytywne rozproszenie dźwięku. Konstrukcja powoduje także, że dźwięk nie jest odbijany do środka pomieszczenia (patrz zdjęcie detalu). Cała budowla przykryta jest „zielonym dachem” składającym się z 15 cm lekkiego substratu, na którym rośnie trawa z ziołami, oraz szczelnej powłoki grubości 2 mm z włókna szklanego pokrytego warstwą poliolefinową. Pod spodem znajduje się izolacja termiczna grubości 20 cm.

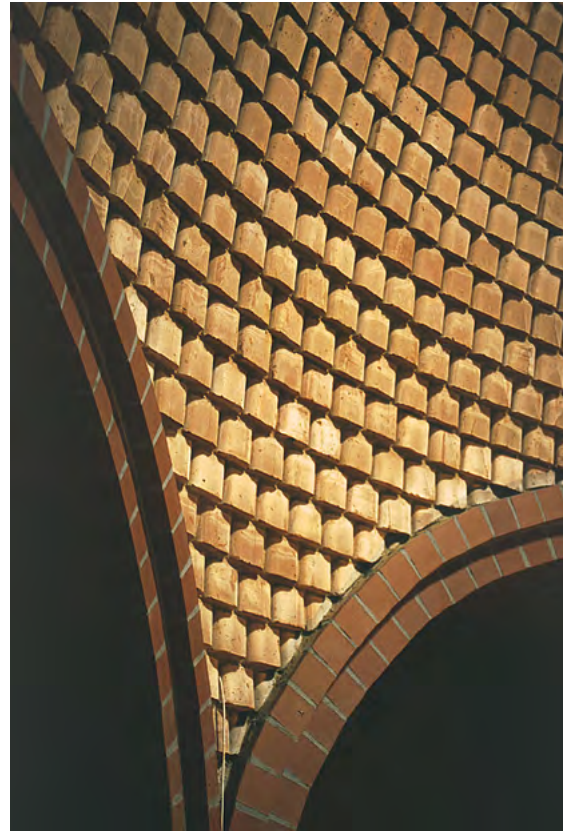
*Projekt:* Gernot Minke i Christian Balcke, Kassel

*Zakończenie budowy:* 1996

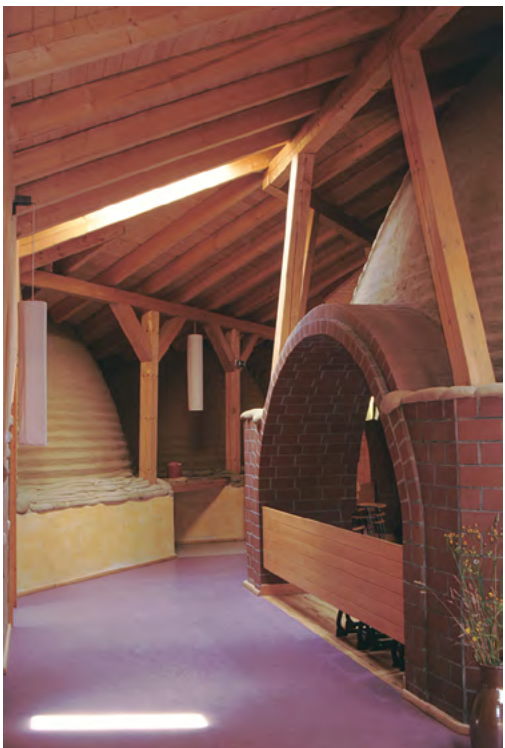
*Powierzchnia użytkowa:* 595 m<sup>2</sup>









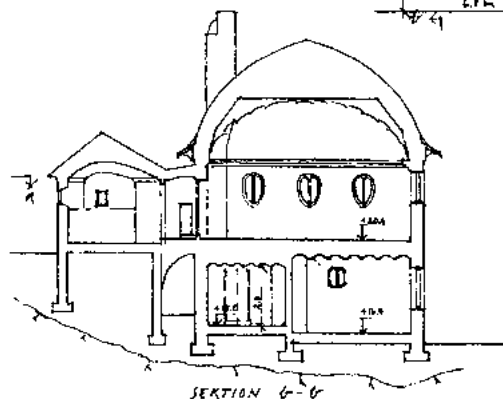
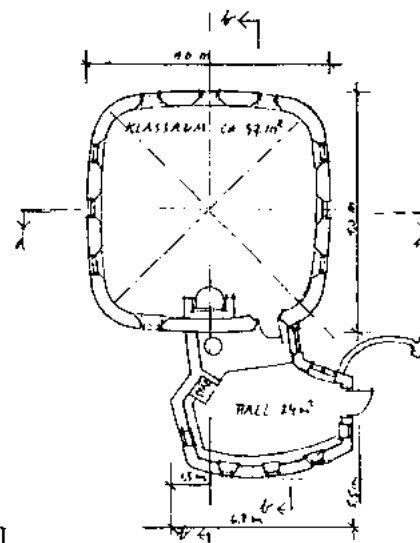




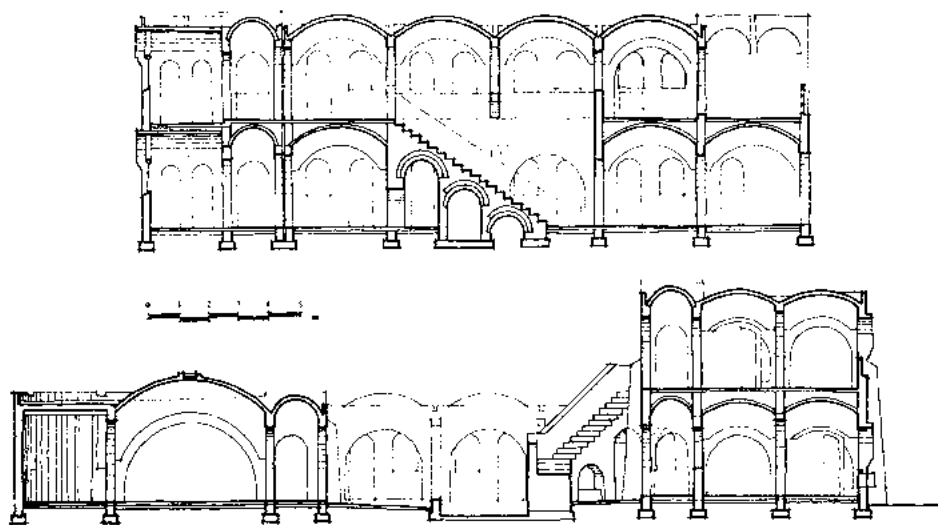
## 15.14 Szkoła w Järna-Solvig, Szwecja

Dwukondygnacyjny budynek należy do antropozoficznego kompleksu szkolnego. Ściany parteru wymurowano z 2 warstw cegieł z betonu lekkiego z zachowaniem pustej przestrzeni o szerokości 20 cm. Powstałą bruzdę wypełniono perlitem. Ściany nośne piętra grubości 50 cm wykonano z formowanych ręcznie elementów glinianych w kształcie bochenków chleba, układanych w stanie plastycznym bez użycia zaprawy (por. rozdz. 8.3). Konstrukcja drewniana dachu jest izolowana torfem i przykryta gontami z łupka.

Projekt: Mats Wedberg, Szwecja  
Zakończenie budowy: 1993  
Powierzchnia użytkowa: 140 m<sup>2</sup>



### 15.15 Panafrykański instytut w Ouagadougou, Burkina Faso (Górna Wolta)



Instytut wielkości ok. 5000 m<sup>2</sup> zawiera trzy grupy budynków: nauczanie i administracja z biblioteką oraz restauracją, grupę domów akademickich dla 72 studentów oraz budynki mieszkalne dla 9 profesorów.

Wszystkie ściany i sklepienia wykonano z wykopanej tam gliny, którą stabilizowano cementem. Z zewnątrz budynki pokrywa tynk cementowo-wapienno-gliniany. Ponadto wszystkie sklepienia pokryto wodoszczelną powłoką malarską.

Projekt dostał w roku 1992 nagrodę Aga Khan za architekturę.

*Projekt:* Philippe Gleuser, A.D.A.U.A.

*Czas budowy:* 1981 do 1984

*Finansowanie:* EZE, Bonn-Bad

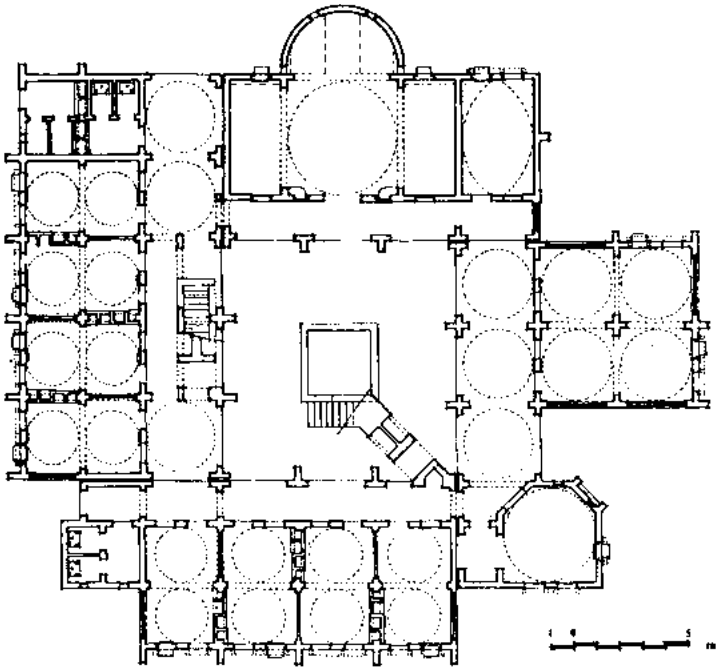
Godesberg;

DDA, Berno;

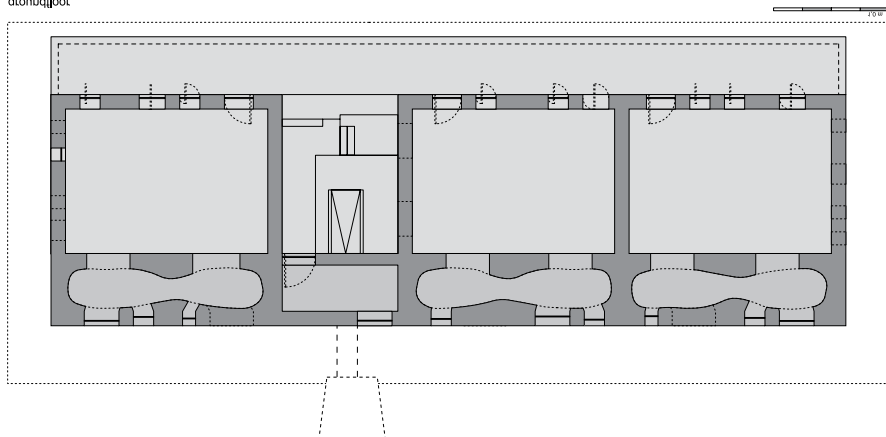
IPD, Ouagadougou



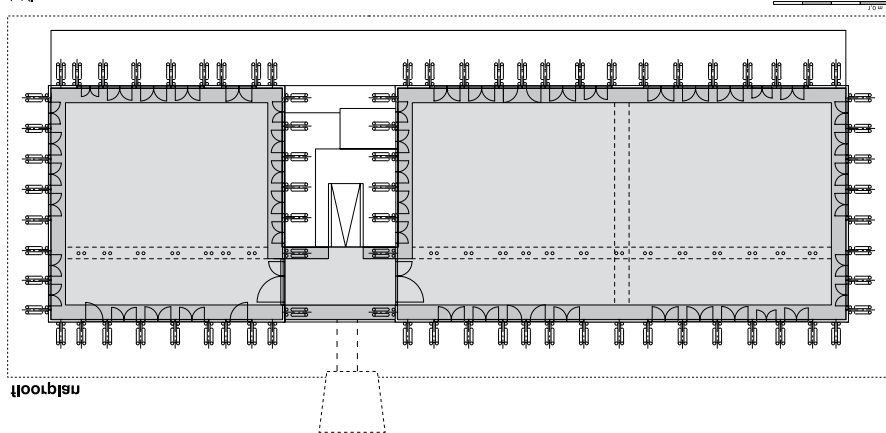




010000000



010000000



010000000

## 15.16 Szkoła w Rudrapur, Bangladesz

Szkoła jest wynikiem projektu samopomocy przy wykorzystaniu lokalnie dostępnych materiałów, jak glina i bambus. Na parterze znajdują się trzy sale lekcyjne, z których każda połączona jest okrągłymi przepustami z małą „jaskinią”. Na piętrze są dwa duże pomieszczenia dla zajęć pozalekcyjnych. Ściany parteru postawiono korzystając z wymieszania dwóch technik: lokalnej – budowania z mokrej gliny oraz tradycyjnej lepianki glinianej z dużym dodatkiem słomy ryżowej. Utworzoną na zewnątrz strukturę pozostawiono w stanie naturalnym. Od wewnątrz ściany otynkowano gliną i pomalowano wapnem. Strop między kondygnacjami wykonano z bambusa zlepionego gliną. Dach składa się z nośnej konstrukcji ramowej, opartej na wystających ze stropu dźwigarach. Fasadę piętra tworzą drewniane okna, których ramy przykryto listwami z bambusa.

Projekt otrzymał w 2007 roku nagrodę Aga Khan.

*Projekt:* Anna Heringer, Eike Roswag, Berlin

*Konsultacja:* Christof Ziegert, Berlin

*Zakończenie budowy:* 2006

*Powierzchnia użytkowa:* 325 m<sup>2</sup>

*Koszty budowy:* ok. 30.000 €









## 15.17 Biurowiec w Hanowerze, Niemcy

Na terenie Parku Nauki w Hanowerze powstał w roku 2003 biurowiec, który zmontowano w krótkim czasie z prefabrykatów drewnianych. Najbardziej charakterystyczne cechy wnętrza budynku to materiał (drewno i glina) oraz ośmioboczne pomieszczenia. Z zewnątrz budowla wyróżnia się fasadą z poziomych desek modrzewiowych oraz dachem zielonym.

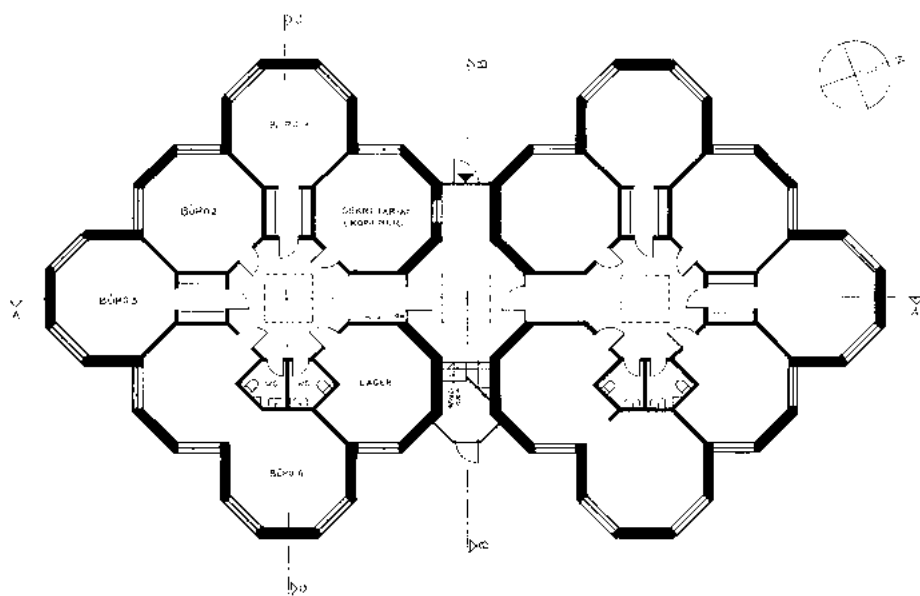
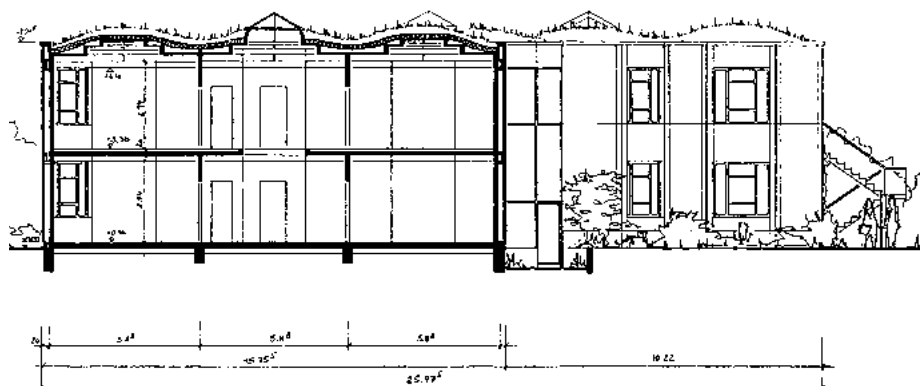
Z głównego wejścia wchodzi się do holu z sadzawkami i zielonymi roślinami, a następnie idzie się do klatki schodowej. Dotychczas zrealizowano pierwszy etap budowy, tj. część zachodnią.

Regularnie powtarzany ośmiokąt jako forma podstawowa pomieszczeń stwarza atmosferę bezpieczeństwa i spokoju oraz daje wiele możliwości różnego uporządkowania miejsc pracy.

Biura są dostępne z ośmiobocznego pomieszczenia, które służy nie tylko jako sieć, ale także obszar komunikacyjny.

Ściany z nośnych ram drewnianych, o wysokości kondygnacji i szerokich na metr, montowano dźwigiem, stawiając je na podwalinach z drewna modrzewiowego. Elementy zewnętrzne są z obu stron pokryte deskowaniem i wypełnione paździerzami lnianymi. Poziome deskowanie, w którym pozostawiono szczeliny cieniowe, służy także jako ochrona przed wpływami atmosferycznymi. Elementy ścian zewnętrznych od środka wyłożone są wytłaczanymi płytami glinianymi pokrytymi białym tynkiem glinianym.

Drewniane ramy ścian wewnętrznych wypełniono po montażu niewypalonymi cegłami glinianymi i również pokryto białym tynkiem glinianym. Stropy między kondygnacjami wykonano z prefabrykowanych elementów z desek układanych na sztorc.



Stropy nad pierwszym piętrzem są zbudowane systemem „Hogan”. Oznacza to, że układano ramy drewniane jedna na drugą, z przesunięciem o 45°, a powstałe trójkątne pola wypełniano płytami z desek na sztorc. Niektóre z tych stropów na środku przykryto świetlikami o kształcie piramidy, co daje w tych pomieszczeniach równomierne i harmonijne oświetlenie.

Ogrzewanie zapewnia kondensacyjny kocioł gazowy. Zabudowane w ściennych elementach glinianych ogrzewanie promieniuje ciepłem o niskiej temperaturze. Instalacja ta może w razie potrzeby funkcjonować latem jak chłodziwa i odprowadzać nadmiar ciepła na zewnątrz.

*Architekci:* Gernot Minke, Kassel,  
Tobias Weyhe, Quedlinburg  
*Zakończenie budowy:* 2003







### 15.18 Biurowiec IIT w New Delhi

Dla Centre of Energy Studies przy Indian Institute of Technology w New Delhi zbudowano w 1990 roku biurowiec, dzięki któremu można było udowodnić, że wybrane sklepienia i sposoby ich tworzenia nie tylko dały duże zmniejszenie kosztów i energii, ale również spowodowały znaczną poprawę klimatu w pomieszczeniach.

Trzy sklepienia kolebkowe wykonano z ręcznie formowanych cegieł glinianych tak samo, jak w opisanym przykładzie na budowanie sklepień nubijskich sposobem poprawionym.

Trzy kopuły wzniesiono używając opracowanego w FEB szablonu obrotowego. Kopułę środkową (o średnicy w świetle 5,40 m) posadowiono na tworzących ośmiokąt ścianach, które miały służyć jako powierzchnie do projekcji oraz wystaw. Ściany te trzeba było w górnej ich partii wzmocnić wieńcem. Przy mniejszych kopułach siły zostały sprowadzone bezpośrednio na ławy fundamentowe; zbrojenie wieńca nie było tu konieczne. Potrzebne do budowy ścian pionowych

i kopuły cegły gliniane wyprodukowano przy pomocy ręcznej prasy dźwigniowej.

Aby zabezpieczyć budowlę przed erozją spowodowaną deszczami, sięgnięto do używanego w Indiach od setek lat tynku glinianego z krowim nawozem. Zaprawa została naniesiona ręcznie w trzech cienkich warstwach. Na podstawie przeprowadzonych wcześniej testów zoptymalizowano mieszankę następująco: 1 cz. piasku z małą zawartością gliny (materiał z wykopu), 1 cz. krowiego nawozu, 1 cz. piasku gruboziarnistego. Ważne jest, aby gęsty, rozcieńczony wodą, brejowaty nawóz zostawić na jeden dzień do sfermentowania (w chłodniejszych strefach klimatycznych odpowiednio dłużej). Dopiero potem można go wymieszać z pozostałymi składnikami.

Wyschnięty tynk gliniany pokryto typowym, dostępnym na rynku środkiem hydrofobowym. Wytrzymałe on bez wykazywania szkód wszystkie deszcze monsunowe. (Więcej o tym projekcie: Minke, 1991, a) i b))

Szczególnie interesująca jest klimatyzacja pomieszczeń systemem tuneli

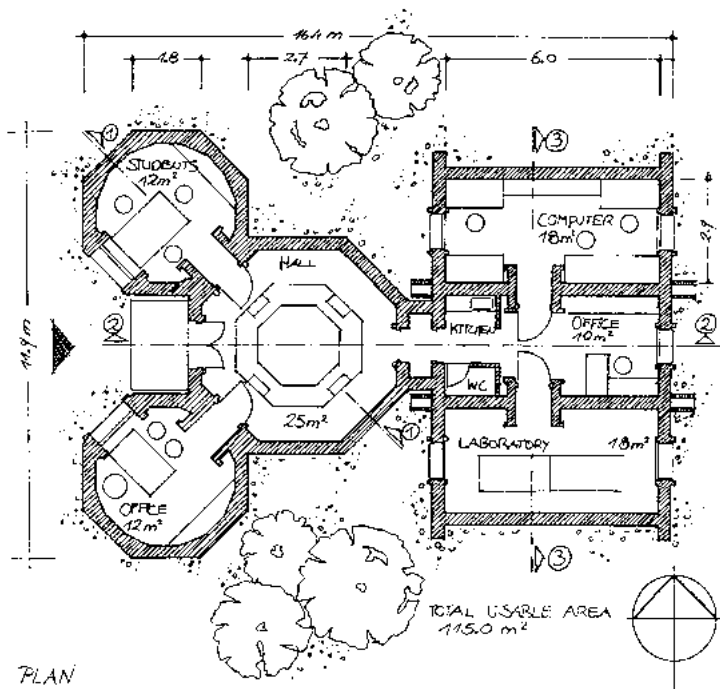




podziemnych. Powietrze z zewnątrz jest wdmuchiwane dwoma wentylatorami przez dwa kanały długości ok. 40 m, schodzącymi do głębokość 3,50 m. Na tej głębokości panuje przeciętna roczna temperatura 25°C. Dzięki temu zimą powietrze z zewnątrz o temperaturze 5°C zostaje ogrzane do ponad 20°C, a latem gorące (ok. 40°C) schłodzone do poniżej

30°C. W porównaniu z typową klimatyzacją system ten oszczędza ok. 2/3 energii elektrycznej.

*Projekt:* Gernot Minke, Kassel  
*Konsultacja dot. energii:* N.K. Bansal, New Delhi, Indie  
*Powierzchnia użytkowa:* 206 m<sup>2</sup>  
*Zakończenie budowy:* 1990







### 15.19 Drukarnia w Pielach, Austria

Budynek ten to z jednej strony hala dla maszyn, a z drugiej, od południa, to trzykondygnacyjna część biurowa. Obie strefy łączy przykryty szklanym dachem korytarz z pomieszczeniem dla gości. Ten segment budynku ograniczają z obu stron ściany wykonane z elementów z ubitej gliny. Do ich montażu użyto 160 prefabrykatów o wymiarach 1,70 x 1,30 x 0,40 m, ważących w sumie 208 ton.

W ścianach o grubości 40 cm przebiegają kanały, którymi zimą przepływa ciepłe powietrze, a latem chłodne. Świeże powietrze jest zasysane z kanałów podziemnych. Rekuperacja ciepła pokrywa w dużej części jego pełne zapotrzebowanie.

*Architekci:* Ablinger, Vedral & Partner, Wiedeń

*Część gliniana:* M. Rauch, Lehm-Ton-Erde, Schlins, Austria

*Zakończenie budowy:* 2000

*Powierzchnia użytkowa:* 2125 m<sup>2</sup>











## 15.20 Hala wielofunkcyjna w Picada Cafe, Brazylia

W seminarium „Integria” w Picada Cafe, małym miasteczku w stanie Rio Grande do Sul w Brazylii, powstała pierwsza w Ameryce kopuła gliniana z zielonym dachem. Z zewnątrz budowla wygląda jak góra, której szczyt pokrywa piramida ze szkła akrylowego, a w nocy, oświetlona od środka, jak świecący kryształ. Wewnątrz powstała sala o powierzchni 65m<sup>2</sup> służąca do sakralnych tańców, śpiewów, medytacji oraz spotkań. Kopuła gliniana o średnicy w świetle 9,07 m i wysokości 6,70 m jest posadowiona na cokole ceglanyj metrowej wysokości.

Wymurowano ją przy pomocy szablonu obrotowego, opracowanego w FEB. Specjalne „akustyczne” cegły zrobiono ręcznie z czystej gliny. Mają one zaokrąglone krawędzie w celu rozproszenia dźwięku i są układane trochę pochyło, aby zapobiec efektowi jego ogniskowania. Spoiny wydrapano, aby uzyskać częściowe pochłanianie dźwięku. Efekt jest znakomity: Kopuła ma fascynującą

akustykę. Cegły gliniane formowano ze skosami, aby zmniejszyć zużycie zaprawy w spoinach poziomych, i z trzema otworami, które służą do łatwiejszego chwytania ich przy murowaniu oraz jednocześnie redukują ciężar i zwiększają ich izolacyjność cieplną.

Przedsiönek, z miejscem do pozostawiania tam obuwia, tworzy gliniane sklepienie kolebkowe. Wejście do pomieszczenia pod kopułą jest koliste, z progiem.

Z zewnątrz otynkowano kopułę zaprawą glinianą, pokryto papą bitumiczną termozgrzewalną oraz położono folię polietylenową gr. 0,2 mm jako warstwę rozdzielczą. Aby nie dopuścić do obsunięcia się ziemi, czy też warstwy zielonej, obsypano kopułę lekką ziemią (tzw. „saibro” – o dużych cząsteczkach, pochodzenia wulkanicznego) na tyle, aż uzyskano kąt nachylenia 45°. Na tym podkładzie ułożono darni.

Posadzka z ubijanej gliny tworzy gwiaździste pola ograniczone listwami z twardego drewna. Górna warstwa wykonana jest z zaprawy glinianej, stabilizowanej krowim nawozem. Aby uzyskać różne barwy, dodano żółtego, względnie czerwonego tlenku żelaza. Dla uodpornienia powierzchni na ścieranie pokryto ją woskiem.

*Architekt: Gernot Minke, Kassel*  
*Powierzchnia użytkowa: 72 m<sup>2</sup>*  
*Zakończenie budowy: 2005*









## 15.21 Kaplica Pojednania w Berlinie

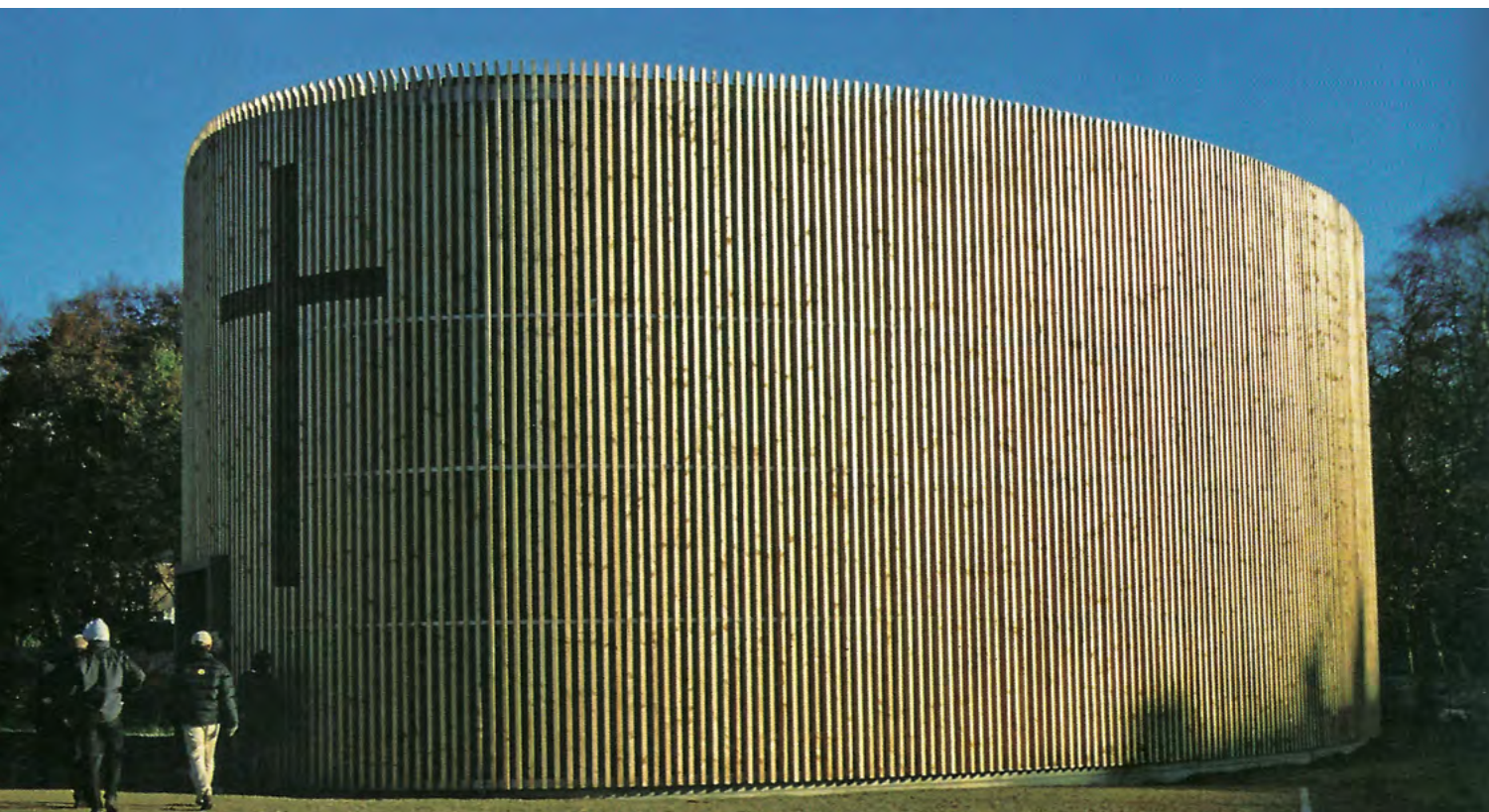
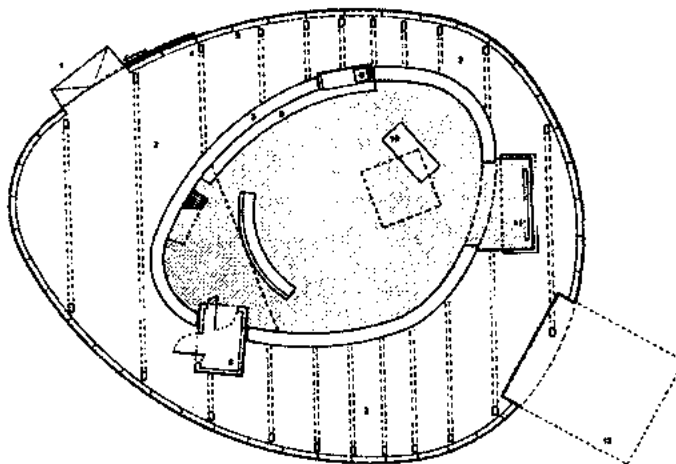
Kaplica znajduje się przy ulicy Bernauer na terenie byłego pasa granicznego między wschodnim i zachodnim Berlinem, dokładnie w tym miejscu, gdzie stał wysadzony w powietrze przez władze NRD neogotycki Kościół Pojednania (Versöhnungskirche).

Wnętrze obiektu ma formę owalną, ograniczoną wysokimi na 7,20 m i grubymi na 60 cm ścianami z ubitej gliny. Dach oraz osłona zewnętrzna z pionowych profili drewnianych tworzą drugi, mimośrodkowy owal.

Mieszanka gliniana zawiera gruboziarniste dodatki w postaci gruzu ceglanego z dawnego kościoła oraz żwiru. Składniki te stanowią 55% całego, ubitego

materiału. Zawartość ilitu wynosi jedynie 4%. Dzięki tej gruboziarnistej mieszance oraz niewielkiej, potrzebnej podczas budowy domieszce wody, wynoszącej 8,1%, uzyskano redukcję skurczu schnięcia do wartości 0,15%. Przy 50% wilgotności powietrza i temperaturze 20°C wilgotność równowagi gliny wynosi 0,7%. Dzięki dodaniu włókien lnianych oraz intensywnemu zagęszczeniu materiału przy pomocy specjalnego walca uzyskano wytrzymałość na ściskanie 3,2 N/mm<sup>2</sup> (wartość mierzona na próbkach 20 x 20 x 20 cm). Użyto tu specjalnego deskowania, które można było dopasowywać do ustawicznie zmieniającego się promienia krzywizny.

*Projekt:* Reitermann i Sassenroth, Berlin  
*Zakończenie budowy:* 2000  
*Wykonawstwo z gliny:* Martin Rauch, Schlins









## 15.22 Kaplica przy Centralnej Klinice w Suhl, Austria

Pomieszczenie do odprawiania nabożeństw jest osobną budowlą na parterze domu modlitw.

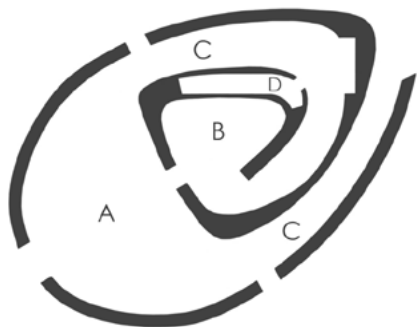
Poprzez zakrzywiony kuluar wchodzi się najpierw do „pomieszczenia spotkań” a potem idąc dalej spiralnym korytarzem dociera się do „pomieszczenia ciszy”. Ściany to 45 do 170 cm gruba glinobitka, w której ukryte są niektóre słupy i przewody instalacyjne. Otwory okienne o wysokości kondygnacji dają wystarczające oświetlenie. Lekko nachylona posadzka też jest z ubitej gliny. Ponieważ ścian nie można było ubijać do wysokości istniejącego stropu, ostatnie 70 cm wymurowano z cegieł glinianych. Tę przestrzeń oraz nadproża nad oknami zakrywa podwieszony sufit z płyt glinianych.



*Architekci:* Worschech Architekten,  
Erfurt, Niemcy  
*Zakończenie budowy:* 2005  
*Budowa z gliny:* Jörg Zimmer,  
Wernigshausen, Niemcy







A POMIESZCZENIE SPOTKAŃ  
 B POMIESZCZENIE CISZY  
 C KULUAR  
 D POMIESZCZENIE TECHNICZNE



## 15.23 Meczet w Wabern, Niemcy

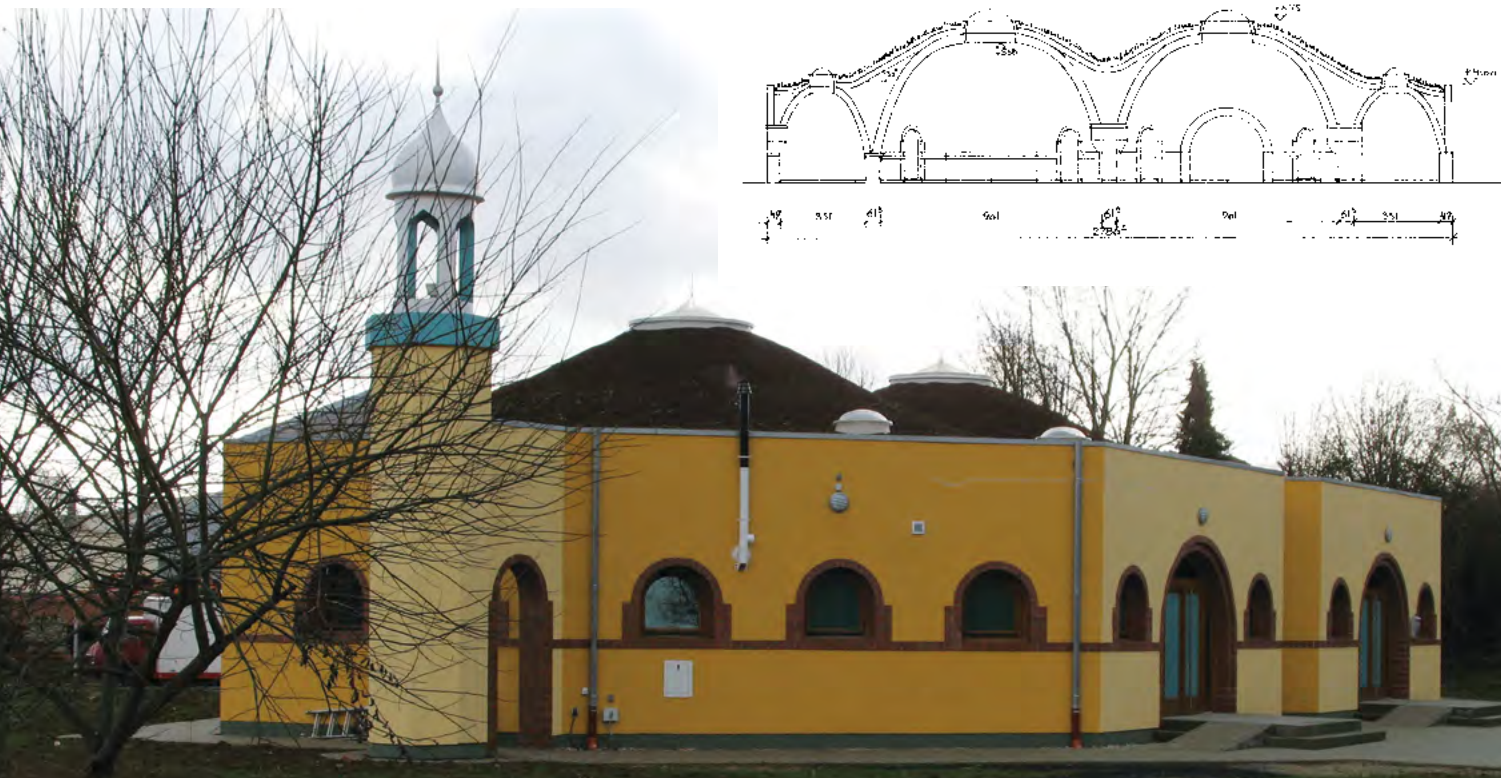
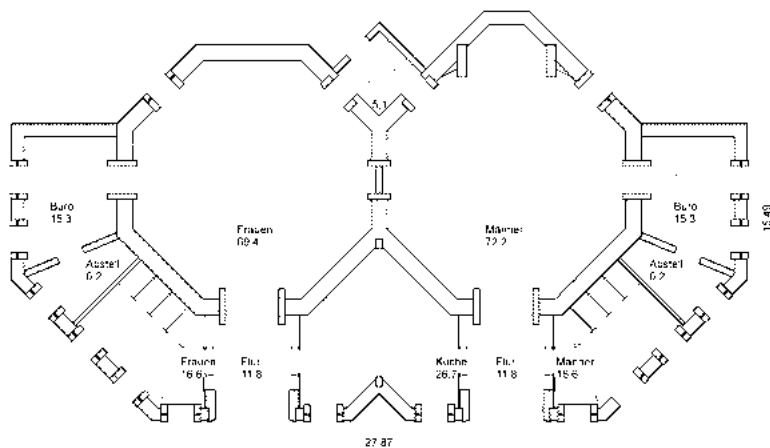
Meczet powstał w ciągu 2 lat, w dużej części zbudowany własnoręcznie przez członków gminy religijnej. Budowla posiada dwa duże pomieszczenia przykryte kopułami o średnicy 9 m i wysokości prawie 6 m. Wybudowano je z niewypalonych, „akustycznych” (patrz rozdz. 6.11) cegieł glinianych przy pomocy szablonu obrotowego (patrz rozdz. 14.7.7). Z trzech stron kopuły okalają gliniane sklepienia kolebkowe przykrywające biura, kuchnię i pomieszczenia sanitarne.

Meczet jest jedyną na świecie budowlą wykonaną z niestabilizowanych cegieł glinianych i przykrytą zielonym dachem.

*Architekt:* Gernot Minke

*Zakończenie budowy:* 2006

*Powierzchnia użytkowa:* 273 m<sup>2</sup>



# 16. WSKAZÓWKI DOTYCZĄCE PLANOWANIA I REALIZACJI BUDOWLI Z GLINY

## 16.1 Uwagi wstępne

W kolejnych ustępach będzie mowa o najważniejszych przepisach i wskazówkach budowlano-fizycznych oraz niektórych aspektach organizacji budowy, posiadających szczególnie znaczenie dla budownictwa z gliny.

## 16.2 Przepisy, zezwolenia

W Niemczech pierwsze przepisy dotyczące zezwolenia na budowanie z gliny, tzw. „rozporządzenia dotyczące budownictwa z gliny” (Lehmbauordnung) wydano 4 października 1944 roku oraz w roku 1951 jako DIN 18951. W roku 1956 wydano kolejne przepisy jako normy tymczasowe, które jednak nigdy nie zostały zamienione na obowiązujące normy.

Wymienione tu zostaną wszystkie niemieckie normy i normy tymczasowe oraz niektóre przepisy zagraniczne.

DIN 1169: Zaprawa gliniana do murów i tynków, czerwiec 1949;

DIN 18951 cz.1: Budowle z gliny, przepisy wykonawcze, styczeń 1951;

DIN 18951 cz.2: Wyjaśnienia; styczeń 1951;

DIN 18952 cz.1: Glina budowlana: pojęcia, rodzaje (norma tymczasowa), maj 1956;

DIN 18952 cz.2: Badanie gliny budowlanej (norma tymczasowa), październik 1956;

DIN 18953 cz.1: Glina budowlana/elementy budowlane z gliny, zastosowanie gliny budowlanej (norma tymczasowa), maj 1956;

DIN 18953 cz. 2: Murowane ściany gliniane (norma tymczasowa), maj 1956;

DIN 18953 cz. 3: Ściany z gliny ubijanej (norma tymczasowa), maj 1956;

DIN 18953 cz. 4: Ściany lepiące z gliny i słomy (norma tymczasowa), maj 1956;

DIN 18953 cz.5: Ściany lekkie z gliny w budownictwie szkieletowym (norma tymczasowa), maj 1956;

DIN 18953 cz.6: Posadzki z gliny (norma tymczasowa), maj 1956;

DIN 18954: Wykonawstwo budowli glinianych, przepisy (norma tymczasowa), maj 1956;

DIN 18955: Glina budowlana/elementy z gliny, ochrona przed wilgocią (norma tymczasowa), maj 1956;

DIN 18956: Tynk na elementach budowlanych z gliny (norma tymczasowa), sierpień 1956

DIN 18957: Dach z gontów glinianych (norma tymczasowa), sierpień 1956

Wszystkie normy tymczasowe oraz norma 18951 zostały w roku 1971 wycofane i niczym nie zastąpione. Jako uzasadnienie decyzji podano: „były one technicznie przestarzałe i nie posiadały

żadnego znaczenia gospodarczego”. Pomimo tego posiadają one jednak pewne znaczenie. Przez to, że normy były kiedyś obowiązujące, glina stała się znanym materiałem budowlanym, który nie potrzebuje nowego budowlano-prawnego pozwolenia do stosowania na budowach.

W ostatnich latach wydawano w jednym kraju związkowym Niemiec zezwolenia na konstrukcje nośne budynków z gliny, jeżeli odpowiadały one wymaganiom wycofanych norm. W Hesji w styczniu 1998 w biuletynie państwowym opublikowano rozporządzenie o możliwości stosowania gliny jako materiału budowlanego o następującej treści:

W związku z tym, że budowle gliniane nie mogą być oceniane według obowiązujących norm, należałoby je formalnie, tak jak przewidują to zasady prawa budowlanego w Hesji (HBO), traktować jako nieuregulowane przepisami rodzaje budynków, a możliwość ich stosowania należałoby udowodnić w myśl HBO §3.

Z drugiej strony glina jest sprawdzonym materiałem budowlanym, o ile stosuje się ją zgodnie z nieobowiązującymi już normami i w ten sposób według § 24 ustęp 1 cz. 3 HBO można zrezygnować z konieczności udowadniania możliwości jej stosowania, jeżeli spełnione są następujące warunki:

1. Planowanie i wykonawstwo budowli z gliny musi odbywać się pod kierownictwem fachowców. Po zakończeniu budowy osoba biorąca w niej udział, a będąca

rzeczoznawcą, przeprowadza odbiór kontrolny oraz sporządza protokół i wpina go do akt budowy.

2. Zakres stosowania produktów budowlanych i elementów z gliny musi odpowiadać wycofanym normom DIN 18951 do DIN 18956, normie DIN 1169 oraz tradycyjnym regułom rzemiosła. W innych wypadkach możliwość stosowania konstrukcji glinianych musi być udowodniona według § 24 ustęp 1 cz. 1 HBO („ogólne dopuszczenie przez nadzór budowlany” oraz „potwierdzenie w pojedynczym przypadku”, przypisek autora). Należy przestrzegać obowiązujących przepisów nadzoru budowlanego dotyczących ochrony przeciwpożarowej i akustycznej.
3. Izolacja cieplna musi odpowiadać wymaganiom przepisów dotyczących ochrony przed wysoką temperaturą. Do zastosowania jest następująca wartość wyliczona przewodności cieplnej:
  - glina ciężka 2000 kg/m<sup>3</sup>  
 $\lambda = 0,93 \text{ W/(mK)}$
  - glina ze słomą 1200-1700 kg/m<sup>3</sup>  
 $\lambda = 0,70 \text{ W/(mK)}$
  - glina lekka 1200 kg/m<sup>3</sup>  
 $\lambda = 0,47 \text{ W/(mK)}$

Inne wartości są dopuszczalne, jeżeli wyznaczone są przez uznaną placówkę kontrolną.

„Związek Organizacji Glina” (Dachverband Lehm) wydał w 1999 roku reguły budowania z gliny, które odnoszą się do norm DIN. Przepisy te zostały w roku 2008 znacznie przerobione.

W Australii władze państwowe wydały w 1952 r. przepisy „Bulletin 5, Earth wall Construction”, które w międzyczasie już kilkakrotnie zmieniono i które stanowią zbiór reguł dot. budownictwa z gliny.

W USA w „national constructions codes and standards” przewidziane są następujące przepisy dotyczące budowania z gliny:

- Uniform Building Code Standards – Section 24-15, 2403 Unburned Clay Masonry, Units and Standards.
- Uniform Building Section 2405 – Unburned Clay Masonry, 1973.

Ponadto w południowo-zachodnich stanach USA obowiązują podobne i uzupełniające przepisy, także dotyczące gliny ubijanej i stabilizowanych cegieł glinianych wyciskanych prasą.

We Francji wydano w 1945 roku trzy oficjalne normatywy dotyczące betonu ziemnego: REEF DTC 2001, 2101 i 2102.

W 1991 r. w Nowym Meksyku ukazał się kodeks omawiający cegły gliniane i glinobitkę: CID-GCB-NMBC-91-1.

Od „American Testing and Standards Association” (ASTM) pochodzą „ASTM Earthen Building Guidelines” (ASTM E2392-05).

W Australii obowiązują jako oficjalne przepisy wydane przez Standarg Australia reguły „Australian Earth Building Handbook”.

W Nowej Zelandii prawomocne są następujące standardy: NZS 4297:1998; NZS 4298: 1998; oraz NZS 4299: 1998.

W Indii Indian Standards Institute w New Delhi opublikował: IST 715 Specifications for soil-cement blocks.

W Peru istnieje cały szereg przepisów:

- Norma de diseno seismo resistente, construcciones de adobe y bloque estabilizado. Reglamento Nacional de Construcciones. Resolucion Ministerial no. 159-77/UC-110°, 1977.
- Itintec 331.201. Diciembre, 1978, 9 p. „Elementos de suelo sin cocer:

adobe estabilizado con asfalto para muros: Requisitos”.

- Itintac 331.202. Diciembre, 1978, 8 p. „Elementos de suelo sin cocer: adobe estabilizado con asfalto para muros: Metodos de ensayo”.
- Itintac 331.203. Diciembre, 1978, 4 p. „Elementos de suelo sin cocer: adobe estabilizado con asfalto para muros: muestra y recepcion”

### 16.3 Izolacja termiczna

Izolacyjność termiczna elementu budowlanego zależy od współczynnika przewodności cieplnej  $\lambda$  (W/mK), od grubości  $s$  (m) i od wilgotności materiału. Określa ją wartość oporu przenikania ciepła  $R = \Sigma s/\lambda$  (m<sup>2</sup>K/W).

Im większy opór przenikania ciepła, tym większa jest izolacyjność elementu. Dla wyznaczenia przenikania ciepła należy określić współczynnik przenikania ciepła  $U$ . Oblicza się go ze wzoru:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} + \frac{1}{h_e}} = (\text{W/m}^2\text{K})$$

gdzie  $h_i$  oznacza wewnętrzny, a  $h_e$  zewnętrzny opór przenikania ciepła. Wartość  $1/h_i$  wynosi dla ścian 0,13, a wartość  $1/h_e$  dla ścian otynkowanych = 0,04, dla deskowania wentylowanego 0,08 m<sup>2</sup>K/W.

Według przepisów dotyczących izolacyjności termicznej budynków zdolność przenikania ciepła materiałów budowlanych może osiągać wartości obliczeniowe takie, jak przewiduje to norma DIN 4108 albo jakie obwieszczone w monitorze rządowym (Bundesanzeiger). Norma DIN 4108 z roku 2007 podaje odpowiednio wartości dla materiałów budowlanych z gliny, por. rozdz. 2.5.2.



## 16.4 Tworzenie się wody kondensacyjnej

Obliczenia techniczne prowadzące do wyeliminowania wody kondensacyjnej omawia norma DIN 4108, cz. 4. Przepisy wychodzą z założenia, że ilość wody kondensacyjnej przypadającej na 1 m<sup>2</sup> dachu lub ściany nie może być większa niż 1 kg oraz że jej ilość powstająca podczas skraplania się oddana zostanie otoczeniu w czasie wyparowywania. Na powierzchniach stykających się z warstwami, które nie wchłaniają wody (beton, paroizolacja), nie może tworzyć się więcej wody kondensacyjnej niż 0,5 kg/m<sup>2</sup>.

## 16.5 Ochrona przeciwpożarowa

Gлина według DIN 4102 cz. 4 należy do materiałów budowlanych klasy A1 (niepalne materiały budowlane). W tekście normy DIN 18591 str.1, § 1, ustęp 3 zapisano: „Ściany z litej gliny o grubości co najmniej 25 cm uznaje się za ognioodporne w znaczeniu DIN 4102”. Tam, w wydaniu z 1981 roku, zapisano również, że stwierdzenie ma moc prawną także, jeżeli w glinie zawarte są materiały włókniste, pod warunkiem, że gęstość mieszanki jest nie mniejsza niż 1700 kg/m<sup>3</sup>.

W normie DIN 18951, str. 2 o ścianach ogniowych zapisano: „Ponieważ dopuszcza się budowanie ścian ogniowych z gliny, można również ściany dzielące dwa budynki [...] wykonywać jako lite ściany gliniane, ale powinny one, z uwagi na wymaganą odporność ogniową (wg §1 ust. 3) oraz wymaganą dźwiękochłonność, mieć grubość min. 25 cm”.

W normie 18954 (norma tymczasowa z maja 1956) skorygowano ten wymiar na 24 cm z uwagi na typowy już wtedy format cegły o długości 24 cm.

Szwajcarskie „SIA reguły o budowaniu z gliny” podają, że ściany z cegły glinianej o grubości 25 cm osiągają klasę odporności ogniowej F 180 a przy grubości

12,5 cm klasę F 90. Dla gliny lekkiej z dodatkami mineralnymi określają odporność ogniową następująco: dla grubości ścian 10 cm – F 90, dla 12,5 cm – F 120 a dla 25 cm – F 180.

Według DIN 4102 cz. 4, wydanie z sierpnia 1981, ściana o konstrukcji szkieletowej drewnianej i przestrzeniach między belkami wypełnionych gliną (także plecionkami obrzuconymi gliną) posiada klasę odporności ogniowej F 30-B, przy założeniu, że konstrukcja drewniana ma przekrój większy niż 100 x 100 mm i jest przynajmniej z jednej strony pokryta tynkiem grubości min. 15 mm. Dla elementów budynku, które nie są wymienione w DIN 4102 cz. 4, należy czas odporności ogniowej udokumentować wynikami przeprowadzonych badań.

Sklepienia stropowe odcinkowe z cegieł glinianych spełniają wymagania odporności ogniowej F90-A, odpowiadające DIN 4102, cz. 4, tabela 29, jeżeli dźwigary stalowe chronione są w sposób tam podany.

## 16.6 Izolacja dźwiękowa

Aby zmniejszyć dźwięk materiałowy, tj. przenoszenie dźwięku z jednego elementu budowlanego do drugiego, należy zastosować środki konstrukcyjne. Najważniejsze z nich to izolacja tłumiąca odgłos kroków. Polega ona na ograniczeniu przenoszenia drgań posadzki przez strop poprzez układanie „sprężynujących” warstw z płyt z miękkich włókien, pasków filcu albo mat z wełny mineralnej lub z włókien kokosowych.

Izolację od dźwięków przenoszonych przez powietrze osiąga się najprościej przez wbudowanie odpowiednio ciężkich elementów. Minimalne wymagania oraz wskazówki i obliczenia obydwu typów izolacji zapisane są w normie DIN 4109.

Na temat tłumienia dźwięków przez lite ściany gliniane napisano w normach

DIN jedynie jedno zdanie: „Izolacja dźwiękowa ścian z litej gliny jest większa niż ścian z cegły (ceramicznej)” (DIN 18953). Dokładniejszych wyników badań nie przedstawiono.

## 16.7 Organizacja i przebieg budowy

Organizacja placu budowy oraz przebieg wznoszenia obiektu, począwszy od składowania i przygotowania materiałów aż do ich zabudowania, jest decydującym aspektem ekonomicznym budowania z gliny. Na podstawie pojedynczych przykładów wznoszenia budynków przez nieprofesjonalistów stwierdzono, że źle zorganizowane budowy, ze złą koordynacją procesu, wymagają 10-krotnie (!) więcej czasu niż objekty powstające w sposób zorganizowany.

Przed rozpoczęciem przedsięwzięcia należy ustalić, ile materiału trzeba zmagazynować oraz jakie miejsce się do tego celu najlepiej nadaje. Przy tym należy wziąć pod uwagę ochronę przed wpływami atmosferycznymi oraz minimalizację transportu. Pomocne jest wykonanie diagramu zapotrzebowania materiałów oraz harmonogramu, w którym naniżona jest każda pojedyncza czynność, łącznie z planowaną liczbą zatrudnionych osób (ewentualnie z roboczogodzinami). Taki harmonogram, który w trakcie procesu budowlanego musi być stale korygowany z uwagi na rzeczywistą czasochłonność, jest ponadto źródłem danych dla prowadzenia dokumentacji budowy oraz kosztorysowania robót.

Jeżeli przy wznoszeniu obiektu pracuje dziesięć albo więcej osób, to wskazane jest, aby jedna z nich zajmowała się jedynie koordynacją przebiegu budowy oraz sprawdzała jakość wykonanych robót. Przy tym zdarza się często, że ta osoba potrzebna jest także do pomocy w wielu miejscach, co również wpływa dodatnio na płynność przebiegu procesu budowania.

# 17. PERSPEKTYWY

## 17.1 Trend w kierunku gliny – brak fachowców

Budowanie z gliny nie będzie miało w przyszłości takiej roli w społeczeństwach dobrobytu Europy środkowej, jak np. od kilku już lat w południowo-wschodnich stanach USA albo w południowej Australii. A to dlatego, że tam dzięki sprzyjającym warunkom atmosferycznym można stawiać mury zewnętrzne z litej gliny bez dodatkowej izolacji termicznej. Ściany te wytwarzają dobry klimat w pomieszczeniach, a poza tym są tańsze w budowie niż te z kamienia naturalnego, z cegły albo betonu. W Europie środkowej przeważa moda wznoszenia budynków z materiałów bliskich naturalnym nie tylko z uwagi na świadomość przynależności do środowiska naturalnego, ale także dzięki zrozumieniu, że przemysłowe wytwarzanie materiałów budowlanych prowadzi do dużego jego zanieczyszczenia. Częstym życzeniem przyszłych mieszkańców jest również zapewnienie zdrowego klimatu w pomieszczeniach z wyważoną wilgotnością, bez obciążenia toksycznymi gazami oraz bez niebezpieczeństwa wdychania pyłów pochodzących z materiałów włóknistych.

Dużym problemem w dzisiejszych czasach jest znalezienie fachowców potrafiących budować z gliny oraz odpowiednich specjalistów nadzoru budowlanego. Dotyczy to zarówno „rzemieślników parających się gliną” jak i „architektów projektujących w glinie”. Laboratorium Budownictwa Eksperymentalnego przy Uniwersytecie w Kasel prowadzi od 1982 r. wstępne kursy budownictwa z gliny, w których wzięło dotychczas udział ponad 2000 osób.

W międzyczasie Związek Organizacji Glina (Dachverband Lehm), w porozumieniu z niektórymi regionalnymi izbami rzemieślniczymi, organizuje 120-godzinne kursy kształcące fachowców budownictwa z gliny. Europejskie Centrum Nauczania Budownictwa z Gliny „FAL e.V.” w Ganzlin, Niemcy, oferuje szkolenie pn. „Twórca tynków glinianych”, które składa się z 80-godzinnego kursu podstawowego i 116-godzinnego kursu dla zaawansowanych.

## 17.2 Budownictwo z gliny – zapotrzebowanie rynkowe

Kolejnym problemem jest niechęć do posługiwania się nowymi technikami przez firmy budowlane, co prowadzi do zawyżania kalkulacji o tzw. „czynnik ryzyka” i tym samym podrożenie zamierzonej inwestycji. Budowanie z gliny wydaje się więc niektórym prywatnym inwestorom zbyt drogie, a mogłoby okazać się szlagierem na rynku przedsięwzięcia, szczególnie wtedy, gdyby można było mu już od początku zapewnić solidną bazę. Powinna ona polegać na przykład na współpracy z budownictwem konwencjonalnym oraz z wytwórczością i handlem produktami glinianymi.

Fakt, że w ostatnich 10 latach na rynku niemieckim pokazało się ponad 20 nowych produktów glinianych, wskazuje jednoznacznie na wzrost zainteresowania tym budulcem.

## 17.3 Jakie techniki budowania z gliny mają przyszłość?

Profesjonalne budowanie z gliny jest oszczędne wtedy, gdy zapewni się właściwe planowanie i organizację oraz zastosuje częściowo mechaniczne metody produkcji. Oznacza to, że odpowiednie maszyny do przygotowania i transportu gliny są niezbędne.

**Murowanie z cegieł glinianych** jest metodą w dalszym ciągu wiodącą, ponieważ nie stanowi ona żadnego problemu dla murarza. Mało tego, już po kilku dniach wie on, że praca ta jest o wiele przyjemniejsza niż murowanie z cegły ceramicznej, ponieważ nie niszczą się tak szybko ręce, a elementy gliniane są łatwiejsze w obróbce. Szczególnie spoinowanie albo wygładzanie spoiny zaprawą glinianą w murze licowanym jest o wiele prostsze do wykonania.

**Glina ubijana** jako materiał do wznoszenia ścian nośnych może być stosowana jedynie w cieplejszych strefach klimatycznych. Tam trzydziestocentymetrowej grubości ściana zewnętrzna pokryta tynkiem albo powłoką malarską stanowi ekonomiczne rozwiązanie konstrukcyjne, pod warunkiem jednak, że do transportu i zagęszczania zastosuje się odpowiednie urządzenia.

Jakkolwiek glinobitka z uwagi na duży nakład pracy jest droższa od ścian murowanych z cegły glinianej, to w ostatnich latach w Niemczech i w Austrii powstało wiele takich ścian, przede wszystkim z uwagi na ich estetykę.

**Mieszanki gliny lekkiej ze słomą, z konopiami i z drewnem** używa się przy indywidualnym budowaniu domów.

Rzemieślnicy i firmy budowlane preferują mineralne dodatki do gliny lekkiej, a materiał wysypuje się lub pompuje do deskowań, co jest metodą i tańszą, i mniej ryzykowną.

Opisana w rozdziale 10.8 **metoda budowania z napelnionych gliną lekką rękawów z tkaniny** nadaje się do rozpropagowania z uwagi na stosunkowo mały udział maszyn, niewielki czas potrzebny przy jej realizacji oraz z racji dużych możliwości twórczych. Można ją stosować zarówno przy indywidualnym wznoszeniu nowych budynków, jak i przy remontach starych, tam gdzie należy zwiększyć izolacyjność termiczną obiektów.

**Tynki gliniane** stosuje się coraz częściej, szczególnie odkąd jest znany ich pozytywny wpływ na atmosferę wnętrz mieszkalnych. Ważne jest jednak to, że przemysł dostarcza półfabrykatów, które nie wymagają indywidualnego mieszania składników oraz posiadają właściwości izolacyjne i regulujące klimat.

Najnowsze cegły i płyty z gliny lekkiej, które z uwagi na ich domieszki w postaci trocin, konopii, sieczki lub perlitu dają się łatwiej obrabiać oraz wykazują większą izolacyjność termiczną, mają także szerszy wachlarz zastosowania i są łatwiejsze w montażu. Kiedy będą produkowane w większych ilościach, a więc i taniej, otworzy się przed nimi bardzo interesujący rynek.

Najciekawsze perspektywy dla przyszłości budownictwa z gliny otwierają wielkoformatowe **płyty z gliny lekkiej (wzgl. prefabrykaty z tego materiału)**. Zmniejszają one znacznie pracochłonność oraz czas schnięcia i przez to zwiększa się zapotrzebowanie na te elementy, szczególnie pośród budujących indywidualnie i firm remontujących budynki. Także w zakresie budownictwa masowego, prowadzonego przez rzemieślników i firmy, wzrośnie zainteresowanie dużymi płytami i elementami z gliny lekkiej w ramach drewnianych o wysokości kondygnacji.

Najnowsze wyniki badań wykazują, że glina w odróżnieniu od cegły ceramicznej i wapienno-piaskowej oraz betonu odgradza niemal całkowicie pomieszczenia przed promieniowaniem elektromagnetycznym o wysokiej częstotliwości wytwarzanym np. przez telefony komórkowe i inne systemy komunikacji. Daje to z pewnością nowy impuls budownictwu z gliny. Lekarze już dzisiaj domagają się dla pacjentów dotkniętych elektrostresem budowania obiektów przykrytych sklepieniami z gliny i zielonymi dachami.



## 18. WSKAZÓWKI DOTYCZĄCE LITERATURE

### 18.1 Cytowana i stosowana literatura

**Aslam, M.; Satiya, R.C.:** A Technique of Waterproofing Mud Wall. Building Materials Note No. 14, Central Research Institute, Roorkee, India, o.J.

**Balassa, J.; Ortutay, G.:** Ungarische Volkskunde, in: Ethnographia, Budapest 1977, s. 329-364

**Bardou, P.; Arzoumanian, V.:** Archi de terre. Paris, France 1978

**Beckert, J.:** Wirkung von Verunreinigungen der Raumluft auf den Menschen, in: Beckert et al. (red.): Gesundes Wohnen, Düsseldorf 1986

**Berglund, M.:** Rammed Earth, in: Fine Homebuilding, No. 11, 1982, s. 21-25

**Behm-Blanke, G.:** Die altthüringische und frühmittelalterliche Siedlung. Weimar, Berlin 1954

**Boemans, U.:** Projekt Brüder-Grimm-47 – Tragende Wände aus Lehm (Projektarbeit Gesamthochschule Kassel, FB 12) 1989 (niepublikowany)

**Boemans, U.:** Sanierung und Umnutzung einer Fachwerkscheune. University of Kassel, Germany 1990

**Boenkendorf, U.:** Knöfel, D.: Les Mortiers d'Enduit dans la Construction en Pan de Bois, in: Proceedings of the International Congress on the Conservation of Stone and other Materials, Unesco/Rilem, Paris 29.06-1.07.1993

**Bourgeois, J.-L.:** Traditional adobe is illegal in New Mexico, in: Adobe Journal (Albuquerque, USA) No. 5, 1991, s. 47

**Cointeraux, F.:** Schule der Landbaukunst. Hildburghausen, Germany 1793

**CRATerre:** Construire en terre. Paris, France 1979

**CRATerre:** Compressed Earth Block: Production Guidelines. GTZ, Eschborn, Germany 1991

**Dachverband Lerh (red.):** Lehmbau Regeln. 3 Aufl., Braunschweig 2008

**Dalokay, Y.:** Lehmflachdachbauten in Anatolien. Praca naukowa Technische Universität Braunschweig 1969

**Dehn, W.:** Lehmziegel der Hallstattzeit (6. Jhd.v. Chr.) von der Heuneburg, in: Der Museumsfreund (Schorndorf) No. 4/5 1964, s. 54-61

**Department of Housing and Construction (ed.):** Earth-wall Construction. EBS Bulletin No. 5. Canberra, Australia 1981

**Dethier, J. ():** Lehmarhitektur. München 1982

**Dhonau, H.:** Menschel, Th. et al (red.): Die Felke-kur. Schriftenreihe

**Elias, P.:** „Le Bilan énergétique de quelques parois de bâtiment, ” in: Cahier du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment No. 213, Oct. 1980

**Easton, D.:** The Rammed Earth House, White River Junction, USA 1996

**Fathy, H.:** Natural Energy and Vernacular Architecture. Chicago/London, USA/Great Britain 1986

**Gilly, D.:** Praktische Abhandlung aus der Lehmbaukunst betreffend den Bau der sogenannten Lehm- oder Wellerwände, wie man dieselben dauerhaft mit wenigen Kosten und einer wahren Holzersparung aufführen könne. Berlin, Germany 1787

**Gilly, D.:** Beschreibung einer vorteilhaften Bauart mit getrockneten Lehmziegeln. Berlin, Germany 1790

**Gilly, D.:** Handbuch der Land-Bau-Kunst. Braunschweig and Halle, Germany 1800 and 1822

**Gotthard, H.:** „Über physikalische Eigenschaften des Baustoffes Lehm, ” in: Naturbauweisen 5/1949

**Grandjean, E.:** Wohnphysiologie. Zurich, Switzerland 1972

**Güntzel, J.G.:** Zur Geschichte des Lehmbaus in Deutschland. Dissertation, University of Kassel. Staufen, Germany 1988

**Hofmann, U.; Schembra, F.W. et al.:** “Die Trockenbiegefestigkeit von Kaolinen und Tonen, ” in: Berichte der Deutschen keramischen Gesellschaft, vol. 44 (1967), H.4, s. 131-140

**Houben, H.; Guillaud, H.:** Earth Construction Primer. Brussels, Belgium 1984

**Ingles, O.G.; Metcalf, J.B.:** Soil stabilisation. Sydney, Australia 1972

**International Labour Office (red.):** Small-scale manufacture of stabilised soil blocks. Geneva, Switzerland 1987

**Jain, J.P.; Kulshrestha, R.P.; Singh, I.:** A New Technique of Making Thatch Fire Retardant. Technical Note. Central Building Institute, Roorkee, India, 1978

**Karsten, R.:** Bauchemie für Studium und Praxis. Haslach, Germany (7th edition) 1983

**Keefe, L.:** Earth Building: Methods and Materials, Repair and Conservation. London, Great Britain 2005

**Knöfel, D.:** Bautenschutz mineralischer Baustoffe. Wiesbaden, Berlin, Germany 1979

**Künzel, H.:** “Die hygrothermische Beanspruchung von Außenputzen, ” in: Bauphysik (Berlin) vol. 4/1990, s. 104-109

- Letzner, T.; Stein, J.:** Lehm-Fachwerk. Cologne, Germany 1987
- Manandhar, R.:** „Mud brick dome and vault construction...,” in: Proceedings of the First International Earth Sheltered Buildings Conference. August 1-6, Sydney 1983, s. 371-375
- Marmé, W.; Seeberger, J.:** „Der Primärenergieinhalt von Baustoffen,” in: Bauphysik No. 5/1982, s. 155-169 and No. 6, s. 208-214
- McCann, J.:** Clay and cob buildings. Aylesbury, Great Britain 1983
- McHenry, P.G.:** Adobe and rammed earth buildings. New York, USA 1984
- McHenry, P.G.:** **The Adobe Story:** A Global Treasure. Albuquerque, USA 2000
- Middleton, C.F.:** Build your house of earth. Victoria, Australia (revised edition) 1979
- Miller, T.; Grigusch, E.; Schulze, K.W.:** Lehmbaufibel. Weimar, Germany 1947
- Minke, G.:** „Earthquake resistant low-cost houses utilising indigenous building materials and intermediate technology,” in: Proceedings, International Symposium on Earthquake Relief in Less Industrialized Areas. March 28-30, 1984. Zurich, Switzerland 1984
- Minke, G.:** „Design and Construction of Energy and Cost Saving Vault and Dome Structures,” in: Proceedings of the International Symposium of Hassan Fathy for Architecture for the Poor, April 20-22, 1993. Cairo, Egypt 1993
- Minke, G.:** „Humidity Control/Balancing humidity fluctuations,” in: Bansal, Hauser, Minke: Passive Building Design, A Handbook of Natural Climatic Control. Amsterdam, Netherlands 1994, s. 180-188
- Minke, G.; Mukerji, K.:** Structurally Optimized Domes – A Manual of Design and Construction. Braunschweig, Germany 1995
- Minke, G.:** Earth Construction Handbook. Southampton, Great Britain 2000
- Minke, G.:** Das neue Lehm-Bau-Handbuch. Staufien, Germany (6th edition) 2004
- Minke, G.:** Construction manual for earthquakeresistant houses built of earth. Eschborn, Germany 2002
- Minke, G.; Mahlke, F.:** Building with Straw. Basel, Berlin, Boston, Germany 2005
- Möhler, K.:** „Grundlagen der Holzhochbaukonstruktionen,” in Götz, K.-H.J.; Hoor, D et al.: Holzbauatlas. Munich, Germany 1978
- Mukerij, K.:** Soil Block Presses. GTZ, Eschborn, Germany 1986
- Mukerij, K.:** Soil Block Presses: Product Information. GTZ, Eschborn, Germany 1988
- Niemeyer, R.:** Der Lehm-Bau und seine praktische Anwendung. Hamburg, Germany 1946. OECD, Nuclear Energy Agency: „Exposure to Radiation from Natural Radioactivity in Building Material,” in: Report, May 1979. Paris, France 1979
- Oliver, M.; Mesbah, A.:** „The earth as a material,” in: Proceedings International Symposium on Modern Earth Construction. Peking, China 1985
- Pingel, M. and P.:** Bericht über den Anstrich der Lehmkuppeln ihres Hauses in Auroville, Indien. Niepublikowany dokument. 1993
- Popposwamy, G.:** Rural India. Village Houses in Rammed Earth. Stuttgart, Germany 1979
- Pumpelly, R. (ed.):** Explorations in Turkestan. Washington, USA 1908
- Rauch, M.; Kapfinger, O.:** Rammed Earth/Lehm und Architektur/Terra cruda. Basel, Berlin, Boston, Germany 2001
- Schmitt, C. Leichtlembau.** BPS-I Report, niepublikowany dokument. University of Kassel, Germany 1993
- Schreckenbach, H.:** Construction Technology for a tropical developing country. Eschborn, Germany, bez daty
- Smith, R.G.; Webb, D.T.J.:** Small Scale Manufacture of Stabilized Soil Bricks. Technical Memorandum No. 12. International Labour Office. Geneva, Switzerland, 1987
- Sibtain, S.N.:** To build a village – earthquakeresistant rural architecture. Parramatta, Australia 1982
- Stulz, R.; Mukerji, K.:** Appropriate Building Materials. St. Gallen, Switzerland 1988. 198 Appendices
- Turowski, R.:** Entlastung der Rohstoff- und Primärenergiebilanz ... Praca naukowa, University of Essen, Germany 1977
- United Nations Centre for Human Settlements (red.):** Earth Construction Technology. Nairobi, Kenia 1992
- Volhard, F.:** Leichtlembau. Karlsruhe, Germany 1983
- Vorhauer, K.:** Low Cost/Self Help Housing. Gate Modul 6/6. Eschborn, Germany 1979
- Voth, B.:** Boden, Baugrund und Baustoff. Wiesbaden/Berlin, Germany 1978
- Walker, P.; Keable, R.; Martin, J.; Maniatidis, V.:** Rammed earth: design and construction guidelines. BRE Press, Bracknell, Great Britain 2005
- Wehle, K.:** Werkstoffe und Techniken der Malerei. Ravensburg, Germany (5th edition) 1985
- Weiss, A.:** Angewandte Chemie 75 (1963), s. 755-762
- Weller, K.; Rehberg, S.:** Lösungsansätze für den energie- und rohstoffsparenden

Wohnungsbau. DFG projekt badawczy, Technical University of Berlin, Germany 1979

**Yazdani, H.:** Erhöhung der Lebensdauer von Lehmbauten in erdbebengefährdeten Gebieten Afghanistans. Praca naukowa, University of Kassel, Germany 1985

**Zogler, O.:** Wohnhäuser aus Lehm. Munich, Germany 2004

### 18.1.1 Polskojęzyczne źródła proponowane przez redakcję polskiego wydania

**Tymczasowe zasady** wykonywania budynków z gliny. Instytut Budownictwa Mieszkaniowego 1955

**Instrukcja tymczasowa** stosowania w budownictwie tworzyw cementowo-glinianych. Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Instytut Techniki Budowlanej 1951

**Choliński Stanisław, Bany Bogdan:** Budownictwo z gliny w świetle badań i doświadczeń Instytutu Techniki Budowlanej. Arkady 1962

**Chrzanowski Seweryn:** Płyty słomiane i trzcinowe w budownictwie wiejskim. Państwowe Wydawnictwa Techniczne 1952

**Grąbczewska Maria:** Jak samemu zbudować domek z gliny. Arkady 1957

**Kaczmarek Zygmunt:** Robimy sami z materiałów miejscowych. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne 1958

**Krassowski Kajetan:** Sposób stawiania budowli gospodarskich z wrzosu i gliny i pokrycia onych dachem niepalnym. B. Nauman 1839

**Kupiec-Hyła Danuta, Hyła Maciej:** Domy z lekkiej gliny. Zarząd Jurajskich Parków Krajobrazowych w Krakowie, bez daty

**Lipowski Leopold:** Budujemy sami. Biblioteka Przyjaciółki, bez daty

**Łukasiewicz Menandr:** Ogniotrwałe budownictwo na wsi. Wydawnictwo Ministerstwa Odbudowy 1946

**Łukasiewicz Menandr:** Budynki z masy wapienno-trzcinowej. Arkady 1958

**Pawlikowski M.:** Nowoczesne budownictwo z gliny. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne 1955

**Racięcki Zygmunt:** Budownictwo z gliny. Państwowe Wydawnictwa Techniczne 1950

**Racięcki Zygmunt:** Budynki z gliny. Arkady 1962

**Racięcki Zygmunt:** Budynki z tworzyw cementowo-glinianych. Arkady 1958

**Racięcki Zygmunt:** Jak samemu zbudować z gliny tani, zdrowy i trwały budynek mieszkalny lub gospodarczy. Powszechny Zakład Ubezpieczeń Wzajemnych 1946

**Remiszewski E.:** Instrukcja o stosowaniu materiałów miejscowych w budownictwie wiejskim. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne. Ministerstwo Rolnictwa. Departament Budownictwa Wiejskiego 1953

**Witebski Zdzisław:** Miejskowe materiały budowlane. Wyd. Budownictwo i Architektura 1957

**Norma BN-62/6738-01:** Masy cementowo-gliniane z wypełniaczami. Polski Komitet Normalizacyjny 196x

**Norma BN-62/6738-02:** Budownictwo z gliny. Masy gliniane. Polski Komitet Normalizacyjny 196x

**Norma BN-62/9012-01:** Cegła i bloki cementowo-gliniane z wypełniaczami. Polski Komitet Normalizacyjny 196x

**Norma BN-62/8841-04:** Budownictwo z gliny. Ściany z gliny ubijanej - Warunki techniczne wykonania i odbioru. Polski Komitet Normalizacyjny 196x

## 18.2 Zalecane albumy o budownictwie z gliny

**Courtney-Clarke, M.:** Die Farben Afrikas, München 1993

**Gardi, R.:** Auch im Lehmhaus läßt sich's leben. Graz 1973

**Dethier, J.:** Lehmarcitektur. München 1982

**Fiedermutz-Laun, A.; Gruner, D.; Haberland, E.; Striedter, K.-H.:** Aus Erde geformt, Lehmbauten in West und Nordafrika, Mainz 1990

**Gruner, D.:** Die Lehm-Moschee am Niger, Stuttgart 1990

**Lauber, W. (red.):** Architektur der Dogon, München 1998

**Schneider, J.:** Am Anfang die Erde – sanfter Baustoff Lehm. Köln 1985

**Wichmann, H. (red.):** Architektur der Vergänglichkeit. Basel/Boston/Stuttgart 1983

**Wienands, R.:** Die Lehmarcitektur der Pueblos. Köln 1983

## 19. ADRESY FIRM

### 19.1 Producenty artykułów glinianych

Casadobe (cegły, tynki i płyty z gliny): [www.casadobe.de](http://www.casadobe.de)

Claytec (zaprawy, płyty i cegły z gliny, glina): [www.claytec.de](http://www.claytec.de)

Colfimit Rajasil GmbH (tynki gliniane): [www.colfimit.de](http://www.colfimit.de)

Conluto (tynki gliniane, cegły gliniane, glina): [www.conluto.de](http://www.conluto.de)

DIA Diekmann (płyty gliniane do budowy zbiorników wodnych): [www.diekmann.de](http://www.diekmann.de)



Eiwa (cegły i zaprawy z gliny):  
www.eiwa-lehmbau.de

Epilepsiezentrum Kork (cegły z gliny lekkiej): .diakonie-kork.de/d/epilepsie\_kork

Haacke (głina lekka, tynk natryskowy):  
www.haacke-cellco.de

Hasit (zaprawy gliniane): www.hasit.de

Hypothermal (ogrzewanie ścienne):  
www.hypothermal.de

Karphosit (cegły, płyty i zaprawy gliniane):  
www.karphosit.de

KTS Kärlicher Ton (iły): www.kts-kg.de

Lehmbaustoffe Thilo Schneider (cegły i zaprawy gliniane): www.lehmbau-ts.de

Lesando (tynk gliniany): www.lesando.de

Maroton (tynk gliniany): www.maroton.de

Münsterische Transport Mörtel (zaprawy gliniane): www.mtm-baustoffe.de

Maxit (tynk gliniany) www.maxit.de

Natur lehm (tynk gliniany, płyty gliniane, glina): www.lehm.at

Tex-Bis (tynki gliniane): www.texbis.de

WEM Wandheizung (ogrzewanie ścienne):  
www.wandheizung.de

Ziegelei Gumbel (cegły gliniane, zaprawy gliniane, glina): ziegelei.gumbel@gmx.de

Ziegelwerk Grün (tynk gliniany, płyty gliniane, glina): www.gruen-ziegelwerk.de

Ziegelwerk Huber (cegły gliniane, zaprawy gliniane): www.ziegelhuber.de

## 19.2 Producenci maszyn i urządzeń

Atlas Copco (ubijaki pneumatyczne):  
www.atlascopco.de

Max Boll (maszyny do mieszania i rozdrabniania ziemi): www.boll-maschinenbau.de

Ceratec Belgium (prasy blokowe):  
www.eratec.eu

Forschungslabor für Experimentelles Bauen, Universität Kassel (szablony obrotowe):  
www.asl.uni-kassel.de/-feb

Hako-Werke (urządzenia rozdrabniające):  
www.hako.com

Lescha (mieszarki): www.lescha.de

Oskam (prasy do cegieł glinianych, mieszarki, rozdrabniarki): www.oskam-vf.com

Ülzener Maschinenfabrik (agregaty do tynków natryskowych): www.uezener-ums.de

## 19.3 Piec z gliny

Ingo Bartussek:  
www.ingo-bartussek.de

Peter Ehrenzeller:  
www.lehmoefen.com

Naturwerkstatt:  
www.naturwerkstatt-hennef.de

Josef Neidlinger:  
www.lehmoefenbau.de

Niermann GmbH:  
www.niermann-ofenbau.de

Ralph Schürmann:  
www.kachelofenbau-schuermann.de

## 19.4 Organizatorzy kursów budowania z gliny

Dachverband Lehm:  
www.dachverbandlehm.de

FAL e.V.: www.fal-ev.de

Planungsbüro für Ökologisches Bauen Kassel: www.gernotminke.de

## 20. AUTORZY FOTOGRAFII

1.2-2	Gruner, D.
1.2-3	Yazdani, S.
1.2-4	Gerster-Rapho
1.2-8	Körner, D.
5.3-4	Fa. Atlas-Copco
5.3-5	Fa. Heuser
5.6-6 do 9	Oliver, D.
5.6-10,11	Wolf, S.
5.6-12	CEPED
6.2-2	Bochow, K.-H.
6.4-10	Fa. Sonolid
6.4-11	Fa. Pacific Adobe
6.4-12,13	Weller, K.
7.2-5	Dufter, S.
7.2-10	Weissinger, K.-H.
8.2-5	Schreckenbach, H.
8.2-7,8	Lucas, G.
8.2-9	Dressler, F.
8.3-1	Heimstätte Dünne
9.3-1	Kraus, H.-B.
10.2-4	Schmid, E.
11.1-1	Schreckenbach, H.
14.2-2,3	Reynolds, M.
14.6-1	Schijns, W.
14.7-1	El Badwan, G.
14.7-2	Breshna
14.7-26 do 28	Yazdani, S.
14.7-46	Pilz, J.
14.12-8	Fa. Neidlinger
14.2-9	Fa. Niermann
14.14-1,2	Fa. Diekmann
s. 162	North, G.
s. 163	Fischer, A.
s. 166, 167	Karcher, J.
s. 168	EDGE Architects
s. 169	Weiner, P.
s. 181 góra lewa str.	Weissinger, K.-H.
s. 178, 179	Nothhelfer, M.
s. 188	Glauser, Ph.
s. 189	Schneider, J.
s. 190, 191	Hörbst, K.
s. 196, 197	Reinagl, Th.
s. 201 dół lewa str.	Ziegert, Chr.
s. 202	Worschech, C.

Wszystkie pozostałe zdjęcia wykonał autor.

## O AUTORZE



Profesor dr inż. Gernot Minke jest emerytowanym nauczycielem akademickim Uniwersytetu w Kassel. Kieruje tam Laboratorium Budownictwa Eksperymentalnego (FEB) na Wydziale Architektury. Ponadto pracuje jako architekt i doradca w sprawach ekologii budownictwa, a także jako rzeczoznawca i autor.

FEB powstało w roku 1974 i do roku 1977 zajmuje się głównie podstawowymi badaniami i rozwojem budownictwa z gliny. Jest to jedyna niemieckojęzyczna instytucja, która stale i już od ponad 30 lat zajmuje się tymi zagadnieniami. Przeprowadziła ponad 30 projektów badawczych i rozwojowych. Dotychczas nie wyznaczone, nowe parametry fizyczno-budowlane i statyczne, dotyczące materiałów glinianych, uzyskano przede wszystkim dzięki wspieraniu przez Ministerstwo Badań i Technologii w Bonn projektowi „Glina w budownictwie szkieletowym drewnianym” (1990-93) oraz finansowanemu przez Unię Europejską projektowi „Unburned Clay Building Products” (1999-2001).

Doświadczenia dotyczące budownictwa z gliny w krajach trzeciego świata autor zbierał podczas pracy jako zaproszony wykładowca na wyższych uczelniach w Gwatemali, Paragwaju, Wenezueli i w Meksyku oraz w czasie podróży naukowych po Egipcie, Ekwadorze, Peru, Boliwii, USA, Indiach i Nepalu.

W Gwatemali, Ekwadorze, Boliwii, Chile, Nigerii i Indiach autor miał możliwość realizacji inwestycji w ramach projektów badawczych i rozwojowych, stosując techniki opracowane, względnie udoskonalone przez FEB.

Począwszy od roku 1983 pod kierownictwem Gernota Minke prowadzone są wstępne kursy budowania z gliny dla architektów,

inżynierów, rzemieślników oraz laików. Celem szkolenia jest zapoznanie w teorii i praktyce (podczas intensywnego, tygodniowego kursu) z podstawowymi wiadomościami o budownictwie z gliny. W roku 2007 powitano dwutysięcznego uczestnika szkolenia.

W jego prywatnym biurze projektów budownictwa ekologicznego powstały plany prywatnych i państwowych obiektów. Projekty te tworzone zawsze z uwzględnieniem aspektu ekologii, a wiodącą rolę jako materiał budowlany pełniła w nich glina.

Ostatnie 30 lat badań, nauczania oraz praktyki autor poświęcał budownictwu z gliny. Na początku swojej drogi zawodowej, po ukończeniu studiów architektonicznych, był pracownikiem naukowym u prof. dr inż. Freia Otto w Instytucie Lekkich Dźwigarów Powierzchniowych (Institut für leichte Flächentragwerke) Uniwersytetu w Stuttgarcie. Zajmował się tam wyłącznie teorią i praktyką dotyczącą lekkich konstrukcji. Budował powłoki z kratownic drewnianych, obiekty namiotowe i hale pneumatyczne.

Jego książki fachowe dotyczące budowania z gliny, z bali słomianych oraz dachów zielonych zostały przetłumaczone już na wiele języków.

Droga prof. Gernota Minke od lekkich konstrukcji budowlanych do budownictwa z gliny jest drogą od obiektów materiałoozczędnych do budynków powstających z myślą o oszczędzaniu zasobów naturalnych, o ochronie środowiska oraz o zdrowiu ich mieszkańców, czyli po prostu o budownictwie ekologicznym. Przegląd jego dzieł daje książka z 2007 roku autorstwa A. Mahlke pt. „Schwerelos erdverbunden. Das Werk des Architekten Gernot Minke”.