



Bezpieczeństwo w laboratorium chemicznym Praktyczny poradnik dla nauczyciela

Redakcja:

Piotr Gorczyca, Iwona Maciejowska i Jarosław Wilamowski



Bezpieczeństwo w laboratorium chemicznym
Praktyczny poradnik dla nauczyciela

Redakcja:
Piotr Gorczyca, Iwona Maciejowska i Jarosław Wilamowski

Bezpieczeństwo w laboratorium chemicznym - praktyczny poradnik dla nauczyciela

Redakcja:

Piotr Gorczyca, Iwona Maciejowska i Jarosław Wilamowski

Autorzy:

Ingo Eilks, Uniwersytet w Bremie, Niemcy

Carmen Gonzales, Uniwersytet w Barcelonie, Hiszpania

Piotr Gorczyca, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Polska

Anna Katafias, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Polska

Iwona Maciejowska, Uniwersytet Jagielloński, Polska

Maria Elisa Maia, Uniwersytet w Lizbonie, Portugalia

Antje Siol, Uniwersytet w Bremie, Niemcy

Doris Sövegjarto-Wigbers, Uniwersytet w Bremie, Niemcy

Piotr Stepnowski, Uniwersytet Gdański, Polska

Grzegorz Stopa, Uniwersytet Jagielloński, Polska

Jarosław Wilamowski, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Tarnowie, Polska

Nicos Valanides, Uniwersytet Cypryjski, Cypr



Education and Culture

Leonardo da Vinci

Publikacja została sfinansowana z funduszu
Programu działań Wspólnot Europejskich na rzecz kształcenia i szkolenia zawodowego
Leonardo da Vinci

© CHLASTS, Wszelkie prawa zastrzeżone

Spis treści

Przedmowa do wydania polskiego	4
1. Wstęp	7
2. Identyfikacja potencjalnych zagrożeń chemicznych dla zdrowia	10
2.1. Drogi wnikania związków chemicznych do organizmu	10
2.2. Niebezpieczne substancje chemiczne	11
2.3. Skutki toksykologiczne narażenia na substancje chemiczne	14
2.4. Substancje niezgodne	14
2.5. Sposoby informowania o zagrożeniach chemicznych	15
3. Zapobieganie wypadkom	16
3.1. Wzorcową szkolną pracownia chemiczna	16
3.2. Utylizacja odpadów chemicznych	19
3.3. Podstawowe wyposażenie na wypadek zagrożenia	21
3.4. Bezpieczne wykonywanie podstawowych operacji chemicznych	24
4. Wykonywanie doświadczeń	33
4.1. Planowanie doświadczenia	33
4.2. Przed przystąpieniem do wykonywania doświadczenia	34
4.3. Podczas wykonywania doświadczenia	37
4.4. Po wykonaniu doświadczenia	37
4.5. Doświadczenia w zmniejszonej (zredukowanej) skali	38
5. Zasady postępowania w przypadku zagrożenia	41
5.1. Plan działania na wypadek zagrożenia	41
5.2. Zasady postępowania w przypadku pożaru	42
5.3. Zasady postępowania w przypadku rozlania/rozsypania substancji chemicznych	43
5.4. Zasady postępowania w przypadku udzielania pierwszej pomocy	45
6. Wprowadzanie w klasie zasad bezpieczeństwa	46
6.1. Przepisy BHP	46
6.2. Portfolio i inne techniki	46
6.3. Wprowadzanie zagadnień bezpieczeństwa i higieny pracy jako działanie społeczno-wychowawcze	47
6.4. Spotkania z ciekawą chemią	49

Przedmowa do wydania polskiego

Jedna z uczennic pierwszej klasy szkoły podstawowej w Nowej Hucie już w październiku przestała chodzić do szkoły i pojawiła się w niej ponownie dopiero we wrześniu następnego roku. Zaniepokojeni koleżanki i koledzy z klasy dowiedzieli się, że większość tego czasu spędziła w szpitalu, po tym jak wypila ze szklanej butelki po oranżadzie, przechowywany tam przez jej ojca, kwas solny.

Naszym zadaniem, jako nauczycieli chemii, jest takie przygotowanie uczniów, by nawet, gdy zapomną już wzoru kwasu solnego pamiętali, że należy odpowiednio podpisać butelkę, do której go wlać. Opisany powyżej przypadek, który kiedyś przytrafił się mojej koleżance ze szkolnej ławki, nie ma prawa się powtórzyć, a przecież codziennie na oddział toksykologii przyjmowane są dzieci, które zjadły np. środek do udrażniania rur zawierający prawie czysty wodorotlenek sodu, gdyż ich rodziców nie zaniepokoiły wystarczająco piktogramy ani opisy, jakie widniały na etykietce.

Do Państwa rąk oddajemy dziś poradnik omawiający problemy bezpieczeństwa w pracowni chemicznej, który jest efektem trzyletniej współpracy wielu uniwersytetów europejskich realizowanej w ramach programu Leonardo da Vinci CHLASTS. Zawiera on wskazówki i porady praktyczne zebrane wśród nauczycieli Polski, Portugalii, Niemiec, Wielkiej Brytanii, Hiszpanii, Cypru i innych zrzeszonych w organizacji ICASE. Poradnik

zawiera także opis wymagań wynikających z aktów prawnych obowiązujących w Polsce i Unii Europejskiej.

Być może zapytacie: „Po co mi taki poradnik? – i tak nie robię doświadczeń”, bo „[...] boję się o uczniów” (klasa jest przeludniona, niezdyscyplinowana, doświadczenia są niebezpieczne), albo „[...] nie mam czasu”, albo „[...] nie mam czym” (brakuje mi sprzętu, odczynników, gazu itd.), albo „[...] nieżyłowe przepisy Sanepidu uniemożliwiają pracę laboratoryjną w szkole <<musiałbym pół roku spędzić na dopasowaniu pracowni do ich wymagań>>”.

Przygotowując ten poradnik, autorzy opierali się na dwóch przesłankach:

doświadczenia wymienione w wybranym przez nauczyciela programie nauczania muszą być (zgodnie z prawem oświatowym) realizowane na lekcjach;
prawo (w tym przepisy dotyczące bezpieczeństwa) jest po to, aby go przestrzegać, a nie po to, by je omijać;

Autorzy mają nadzieję, że lektura tej publikacji pozwoli usunąć przynajmniej kilka z powodów, dla których niektórzy nauczyciele tak rzadko korzystają z tej bezsprzecznie najlepszej metody nauczania/uczenia się chemii, jaką jest eksperyment uczniowski. Na następnych stronach pokazano zarówno jak uczynić doświadczenia chemiczne maksymalnie bezpiecznymi, jak również w jaki sposób zredukować skalę doświadczeń, co pozwoli obniżyć ich koszty. Mam też nadzieję, że po tej lektu-

rze z większym zrozumieniem, ale też z bardziej racjonalną ewentualną krytyką, podejdziecie Państwo do kolejnych wizyt inspektorów Sanepidu.

Wszyscy wiemy, że w niejednej szkolnej pracowni chemicznej można znaleźć nieopisane kolbki i słoiczki z nieznanymi substancjami, że uczniowie i nauczyciele wylewają do kanalizacji wszelkie mieszaniny poreakcyjne, a niejedna woźna skaleczyła się rozbitym szkłem laboratoryjnym, sprząając popołudniami stoły czy podłogę w pracowni chemicznej. Każdy z nas był świadkiem wypadku, w którym uczeń lub student rozlał kwas, wysypał sobie coś do oka, oparzył się. Także nawet najbardziej doświadczonym nauczycielom zdarzają się wypadki, których przyczyny mogą być prozaiczne, np. zmiana stopnia rozdrobnienia substratów, zanieczyszczenie reagentów itd. A co dopiero mówić o młodych nauczycielach, którzy są dopiero na stażu albo o tych, którzy ukończyli tzw. kierunek pokrewny, na którym zajęcia laboratoryjne z chemii stanowiły tylko kilkadziesiąt godzin w programie studiów?

Być może część z zawartych w tej książce informacji wyda się Państwu zbyt wyrafowana, niedostosowana do warunków, jakie panują w Państwa szkole. Proszę wziąć pod uwagę, że choć głównym odbiorcą są nauczyciele gimnazjów i liceów, skierowana jest ona także do nauczycieli kształcących na poziomie szkoły średniej w zawodach: technik chemik i laborant chemiczny oraz nauczycieli liceów profilowanych. Jednak zanim pomyślą sobie Państwo: „To mnie nie doty-

czy” proszę się zastanowić, czy aby na pewno.

Autorzy są przekonani, że celem wszystkich pracowników systemu oświaty jest podnoszenie jakości kształcenia, brak zgody na bylejałość, na prowizorkę, czyli tzw. równanie w górę, do najlepszych, także w dziedzinie BHP. Jest też rzeczą powszechnie wiadomą, że zapobieganie jest znacznie mniej kosztowne niż usuwanie skutków wypadków. Czasem wystarczy naprawdę niewielki nakład czasu i wysiłku, parę zmian organizacyjnych. Mamy w Polsce wiele przykładów tzw. dobrej praktyki:

istnieją gminy, które rozwiązały problem utylizacji odpadów ze szkolnych pracowni chemicznych,

szkoły z wzorowo zorganizowanymi pracownikami chemicznymi,

klasy, kółka chemiczne, gdzie uczniowie wykonują doświadczenia ubrani w fartuchy, w okularach ochronnych,

nauczyciele, których uczniowie wykonują doświadczenia prawie na każdej lekcji,

trzeba tylko wprowadzić je także u siebie.

Życzę owocnej lektury.

Iwona Maciejowska

nauczyciel chemii

V LO im. A. Witkowskiego w Krakowie

1. Wstęp

Dobrze wyposażone laboratorium chemiczne nie gwarantuje sukcesów dydaktycznych w procesie nauczania chemii. Tak w Polsce, jak i w innych krajach europejskich uczniowie szkół średnich, jak i studenci przyznają, że wykonywali bardzo mało ćwiczeń laboratoryjnych; niektórzy z nich twierdzą nawet, że „nigdy nie mieli w rękę probówki”.

W tej sytuacji brak obycia z techniką pracy laboratoryjnej i właściwościami substancji chemicznych każe zwrócić szczególną uwagę na problem bezpieczeństwa w laboratorium chemicznym.

Ważną sprawą wydaje się być także rozszerzenie i zacieśnienie współpracy między instytucjami europejskimi oraz organizacjami zrzeszającymi nauczycieli we wszystkich krajach Europy, polegającej na wymianie informacji na temat właściwej pracy w laboratorium i przestrzegania ujednoliconych zasad bezpieczeństwa.

Współpraca taka może ułatwić przygotowanie odpowiednich programów ćwiczeń mających na celu podniesienie poziomu kultury pracy laboratoryjnej oraz sformułowanie przydatnych wskazówek i ustalenie zasad bezpieczeństwa, a tym samym unikanie potencjalnych zagrożeń podczas nauczania chemii. Można oczekiwać, że dzięki odpowiedzialnej pracy w laboratorium chemicznym, jako dorośli ludzie będą bardziej zwracać uwagę na bezpieczeństwo w życiu codziennym. Jednym z głównych powodów zainteresowania pro-

blematyką bezpieczeństwa i higieny pracy jest zapobieganie wypadkom podczas wykonywania doświadczeń w trakcie lekcji chemii. Jednakże istnieje jeszcze bardziej ogólny aspekt uświadamiania potencjalnych zagrożeń wynikających ze stosowania substancji chemicznych i przeprowadzania z nimi eksperymentów. Jest nim podnoszenie świadomości dotyczącej kwestii bezpieczeństwa we wszystkich dziedzinach życia osobistego i społecznego.

Stosowanie substancji chemicznych, także w życiu codziennym, powoduje, że zagrożenia z nimi związane stają się powszechne. Tak więc, problematyka bezpieczeństwa nie wiąże się jedynie z laboratorium, lecz jest ważnym elementem każdej podejmowanej przez nas aktywności. Już od początku edukacji szkolnej powinniśmy uczyć uczniów na to, by wypracowywali w sobie nawyki ułatwiające im bezpieczne wykonywanie wszelkich czynności. Troska o bezpieczeństwo wynika nie tylko z potrzeby nie szkodzenia sobie, ale także z konieczności unikania działań, które mogłyby narazić na niebezpieczeństwo utraty zdrowia innych ludzi. Edukacja w dziedzinie bezpieczeństwa i higieny pracy może sprawić, że uczniowie/studenci będą wykazywać większy rozsądek w każdym działaniu, przykładając większą wagę do swojego bezpieczeństwa i zdrowia, a także będą wykazywać większą odpowiedzialność za innych ludzi.

Praca bardzo wielu osób związana jest z problemami BHP. Obejmuje ona takie grupy zawodowe jak: strażacy, personel odpowiedzialny za bezpieczeństwo i higienę pracy,

inżynierowie środowiska. Ludzie niezwiązani zawodowo z nauką i techniką, tacy jak kadra kierownicza, prawnicy czy pracownicy administracji publicznej, także powinni być uwrażliwieni na problematykę bezpieczeństwa i oceny ryzyka. Z tego punktu widzenia, każdy, czy to indywidualnie, czy też jako członek grupy reprezentującej wspólne interesy, powinien zdawać sobie sprawę z kwestii bezpieczeństwa i podjąć niezbędne środki ostrożności i/lub działania odnośnie oceny ryzyka i zasad bezpieczeństwa.

Edukacja uczniów/studentów w dziedzinie BHP i pogłębianie ich wiedzy w tym zakresie (tak, by umieli podejmować odpowiednie decyzje oraz działania mające na celu zmniejszanie ryzyka i potencjalnych zagrożeń w pracy oraz w domu) jest istotnym elementem kształtowania świadomych i odpowiedzialnych obywateli w każdym demokratycznym społeczeństwie. Kwestie bezpieczeństwa są regulowane przepisami i decyzjami administracyjnymi dotyczącymi zastosowania i używania rozmaitych produktów chemicznych, zasad bezpieczeństwa w ruchu drogowym, utylizacji odpadów etc., chociaż niektóre z nich nie znajdują zastosowania w procesie nauczania przedmiotów przyrodniczych, jednak są ważne z punktu widzenia wykształcenia ogólnego. Tak więc, podnoszenie zagadnień bezpieczeństwa w czasie nauczania chemii powinno być uważane za ważny cel sam w sobie. Wdrażanie zasad bezpieczeństwa, podczas nauczania chemii, nie może być wyłącznie przekazywaniem ich treści. Na przykład, prezentacja plakatów dotyczących bezpieczeństwa czy przedstawienie re-

gulaminu bezpiecznego postępowania nie spowoduje trwałych zmian w zachowaniu uczniów/studentów.

Najlepszy efekt, zwłaszcza jeśli chodzi o młodszych uczniów/studentów, osiągnie się, stosując różnorodne, aktywizujące formy prezentacji problemów i przekazu wiedzy. Z tego punktu widzenia zalecane jest najpierw odwołanie się do posiadanej przez uczniów/studentów wiedzy na temat bezpieczeństwa, a następnie powiązanie jej z praktyką. W ten sposób zwiększa się szansa ukształtowania odpowiedniej postawy ucznia/studenta, a co za tym idzie zmian w jego postępowaniu.

Niezależnie od tego czy uczniowie/studenci posiadają rzeczywiste doświadczenia czy nie, nauczanie zasad bezpieczeństwa i odpowiedniego zachowania winno być bezpośrednio powiązane z praktyką laboratoryjną, a nie odbywać się jedynie teoretycznie. Zasady bezpieczeństwa powinny być zawsze omawiane wtedy, gdy znajdują zastosowanie do konkretnego zadania laboratoryjnego.

Istotne jest także, aby wpajanie zasad bezpieczeństwa stanowiło trwały element nauczania na stałe wpisany w treści programowe. Powinno stać się procesem długotrwałym, podczas którego uczniowie stopniowo poszerzają swoją wiedzę i kształtują odpowiednią postawę oraz zachowanie, poprzez ciągłe przyswajanie nowych informacji, a także modyfikowanie już posiadanej wiedzy. Działając w ten sposób, zapewniamy, wraz z odpowiednimi kwalifikacjami, właściwą po-

stawą obywatelską – postępowania zgodnie z zasadami bezpieczeństwa.

Obowiązujące w Polsce przepisy zostały omówione między innymi w artykule prof. A. Burewicza i dr. P. Jagodzińskiego opublikowanym w „Chemii w Szkole”¹.

Autorzy

¹A. Burewicz, P. Jagodziński, *Szkolny eksperyment chemiczny w świetle przepisów*, „Chemia w Szkole” nr 3/2004, s. 174-181.

*Wszystko jest trucizną i nic nią nie
jest. Dawka decyduje tylko, czy coś
nie jest trucizną*

Paracelsus

2. Identyfikacja potencjal- nych zagrożeń chemicznych dla zdrowia

Chemia i praca ze związkami chemicznymi, jakkolwiek jest zajęciem fascynującym, może być niebezpiecznym zwłaszcza wówczas, gdy brak jest informacji o właściwościach stosowanych substancji lub substancje są używane nieprawidłowo. Dlatego przed przystąpieniem do pracy w laboratorium należy zapoznać uczniów ze sprzętem i przepisami bezpieczeństwa. Następnie, przed przystąpieniem do pracy praktycznej, uczniowie powinni zapoznać się z właściwościami substancji, które będą stosowane oraz zasadami posługiwania się sprzętem laboratoryjnym. Nie należy nigdy zapominać, że wszystkie substancje chemiczne są toksyczne przy określonej dawce i mogą stanowić zagrożenie. Warto przytoczyć tu słowa Emila Mraka, który powiedział: „Nie ma bezpiecznych substancji, istnieją tylko bezpieczne sposoby ich używania”.

2.1. Drogi wnikania związków do organizmu

Wnikanie przez **układ oddechowy (droga inhalacyjna)**

Układ oddechowy jest jedną z głównych dróg przedostawania się do organizmu wielu czyn-

ników toksycznych. Gazy i pary, takie jak: tlenek węgla(II), tlenek siarki(IV) i lotne węglowodory są wchłaniane przez płuca, a ciecze i aerozole, takie jak: mgła kwasu siarkowego(VI) lub pył krzemionkowy są wchłaniane przez płuca albo są w nich gromadzone. Gazy i pary są łatwo wdychane, natomiast wnikanie cząstek stałych zależy od ich wielkości i kształtu.

Główna rola płuc polega na wymianie gazów pomiędzy krwią, a powietrzem w nich zawartym. Wymiana gazowa zachodzi w pęcherzykach płucnych, które stanowią jednokomórkową warstwę oddzielającą krew od powietrza. Tak cienka i delikatna struktura tkanki sprawia, że substancje toksyczne łatwo przenikają przez płuca i powodują ich uszkodzenie. Tą drogą substancje toksyczne dostają się bezpośrednio do krwi i są szybko transportowane do receptorów, praktycznie z pominięciem mechanizmów obronnych organizmu.

Absorpcja gazów i par w płucach zależy od ich rozpuszczalności we krwi przepływającej przez płuca. Dobrze rozpuszczalne związki przechodzą do krwi w czasie jednego oddechu. Gazy, takie jak: amoniak i chlorowódz, które są bardzo dobrze rozpuszczalne w wodzie wchłaniane są głównie przez górne drogi oddechowe, działając na nie silnie drażniąco.

Wnikanie przez **skórę (droga dermalna)**

Przepuszczalność substancji toksycznej przez skórę zależy zarówno od właściwości skóry jak i substancji. Związki toksyczne mogą

przenikać do organizmu przez naskórek, gruczoły łojowe i mieszki włosowe. Często wchłanianie substancji toksycznej, która może działać szkodliwie na organy odległe od miejsca przenikania, nie powoduje żadnych zmian na skórze lub zmiany te są niewielkie.

Główną barierę na drodze przenikania związków toksycznych do organizmu stanowi zrogowaciała warstwa naskórka. Przepuszczalność skóry jest odwrotnie proporcjonalna do grubości naskórka, która jest różna w różnych miejscach ciała, a grubość ta zmienia się następująco: stopy i dłonie > brzuch, plecy, nogi, ręce > genitalia. Aby związek mógł być wchłaniany przez skórę, musi być substancją ciekłą lub gazową oraz dobrze rozpuszczalną w wodzie albo rozpuszczalnikami organicznymi. Zazwyczaj substancje niepolarne, rozpuszczalne w tłuszczach łatwiej przenikają przez skórę niż substancje o budowie jonowej. Do związków chemicznych łatwo przenikających przez skórę należą: anilina, cyjanowodór, związki organiczne rtęci, nitrobenzen, związki fosforoorganiczne i fenol. Skutki wchłaniania niektórych z nich, np.: fenolu, nawet na niewielkiej powierzchni skóry (kilka cm²) w określonym czasie mogą okazać się śmiertelne. Uszkodzenia skóry (otarcia, rany, podrażnienia), stany zapalne oraz nawodnienie naskórka zwiększają jej przepuszczalność.

Wchłanianie z przewodu pokarmowego

Przewód pokarmowy jest trzecią, ważną drogą wchłaniania substancji toksycznych. Ze względu na to, że łatwiej przenikają przez tkankę związki niejonizowane (nieobdarzone

ładunkiem), absorpcja w przewodzie pokarmowym jest uzależniona od kwasowości miejsca wchłaniania: żołądek – pH 1-3, jelito cienkie – pH 5-8. Tak więc, kwasy organiczne są stosunkowo łatwo wchłaniane przy niskim pH (żołądek), podczas gdy zasady organiczne dobrze zjonizowane w żołądku, głównie są wchłaniane w jelicie cienkim.

2.2. Niebezpieczne substancje chemiczne

Substancją niebezpieczną jest każda substancja powodująca zatrucie ostre, bądź wywołująca skutki odległe lub posiadająca niebezpieczne właściwości fizykochemiczne i/lub właściwości niszczące środowisko. Jest kilka rodzajów substancji zaliczanych do niebezpiecznych, sklasyfikowanych w grupach w zależności od skutków toksycznych, jakie wywołują.

Substancje toksyczne, np.: cyjanek potasu lub strychnina, wdychane, połknięte albo absorbowane przez skórę w niewielkich ilościach, powodują ciężkie uszkodzenie organizmów żywych lub śmierć na skutek oddziaływań (interakcji) fizykochemicznych. Substancje toksyczne mogą również powodować uszkodzenia poprzez niszczenie struktur biologicznych i/lub zakłócenie funkcji organizmu.

Do porównywania toksyczności różnych substancji stosowana jest medialna dawka śmiertelna (LD_{50}). Jest to statystycznie wyznaczona pojedyncza dawka substancji, która powoduje śmierć połowy populacji organizmów użytych

do badań w określonych warunkach.

Substancje szkodliwe – to takie, które zaabsorbowane w organizmie mogą wywołać złe samopoczucie (np.: kwas szczawiowy, pirydyna), natomiast substancje żrące – działają niszcząco na tkankę żywą oraz sprzęt laboratoryjny. Najbardziej znane substancje żrące to: stężone kwasy ($\text{pH} < 2$, kwas azotowy(V), siarkowy(VI)) oraz zasady ($\text{pH} > 11.5$, stężony NaOH), brom.

Następną klasę stanowią **substancje drażniące**, które w wyniku działania natychmiastowego, ciągłego lub wielokrotnego na skórę albo błonę śluzową wywołują podrażnienia i stany zapalne skóry, oczu, układu oddechowego, np.: amoniak, słabe kwasy i zasady, tlenek siarki(IV), chlorek benzylu.

Substancjami uczulającymi określa się substancje antygenowe zdolne do wywołania nadwrażliwości (uczulenia). Intensywność i czas, po którym pojawiają się objawy uczulenia zależą od właściwości osobniczych. Do grona substancji uczulających należą np.: nikiel, kobalt, olejki eteryczne.

Substancje rakotwórcze (kancerogenne) - mogą być przyczyną powstawania nowotworów złośliwych.

Ustawodawstwo klasyfikuje substancje kancerogenne następująco: A – związki o udowodnionym działaniu rakotwórczym, w tym: A1 – u ludzi (benzen, chlorek winylu); A2 – u zwierząt doświadczalnych; B – związki, co do których istnieje podejrzenie, że mogą okazać się rakotwórcze dla ludzi.

Substancje teratogenne powodują uszkodzenie płodu we wszystkich stadiach jego rozwoju.

Substancje mutagenne powodują dziedziczne uszkodzenia w materiale genetycznym. Charakterystyczną cechą substancji mutagennych jest długi okres latencji – czyli czasu od momentu narażenia do pojawienia się uszkodzeń w materiale genetycznym. Wiele substancji mutagennych wykazuje działanie teratogenne lub kancerogenne.

Substancje wybuchowe łatwo ulegają wybuchowi. Podczas pracy z takimi substancjami należy stosować wyłącznie małe ilości i unikać przegrzewania, kontaktu z ogniem, uderzeń, wstrząsów, iskrzenia. Do takich substancji należą: nitrozwiązki, nadtlutki, estry kwasu azotowego(V) oraz mieszaniny substancji utleniających: azotany(V), chromiany(VI), dymiący kwas azotowy, mieszanina nitrująca, stężony kwas chlorowy(VII) i nadtlenek wodoru ($> 30\%$).

Substancje utleniające (przyśpieszające proces spalania) mogą spowodować zapłon substancji palnej lub przyśpieszyć proces spalania poprzez wydzielanie tlenu albo innych gazów. Czynniki utleniające podczas reakcji chemicznej wydzielają wolny tlen utrudniając tym samym gaszenie pożaru, np.: manganian(VII) potasu, nadtlenek sodu.

Substancje łatwopalne dzielą się na: substancje wysoce łatwopalne - ciecze, których temperatura zapłonu leży poniżej 0°C ,

a temperatura wrzenia wynosi maksymalnie 35°C i mieszaniny gazów (w tym gazy skroplone) oraz substancje łatwopalne samorzutnie zapalające się, np.: gazy, skroplone gazy zapalające się na powietrzu, substancje wrażliwe na wilgoć, które w reakcji z wodą wydzielają palne gazy – należy je chronić przed dostępem wody i wilgoci. Łatwopalne rozpuszczalniki są najczęstszym źródłem pożaru.

Substancje szkodliwe dla środowiska - skutkiem ich działania może być: pożar, wybuch i możliwe skażenie otaczającego środowiska (wody, gleby, powietrza).

2.3. Skutki toksykologiczne narażenia na substancje chemiczne

Związki chemiczne stanowią zagrożenie dla organizmu ludzkiego, gdy przedostaną się do wrażliwych tkanek lub narządów w odpowiednim stężeniu i czasie, czyli w odpowiedniej dawce.

Dawka – ilość substancji niebezpiecznej, zwykle liczona na kg masy ciała (mg/kg), na którą jest narażony organizm.

Narażenie (ekspozycja) – proces, podczas którego substancja jest zdolna do przedostania się do organizmu, organu, tkanki lub komórki jedną z możliwych dróg absorpcji: przez skórę, drogi oddechowe lub drogą pokarmową. Innymi słowy, jest to ilość lub (stężenie) związku chemicznego oddziałującego w określonym czasie na ludzi albo organizmy żywe stanowiąca zagrożenie. (Więcej informacji na ten temat znajduje się w słowniku na

stronie projektu CHLASTS:
<http://www.chlasts.org.>)

Znane są następujące efekty toksykologiczne:

Toksyczność ostra – efekt działania substancji (odpowieź organizmu) pojawia się zaraz po krótkotrwałym narażeniu na czynnik chemiczny lub po narażeniu na określone stężenie czynnika.

Toksyczność chroniczna (przewlekła) – efekt działania substancji (odpowieź organizmu) pojawia się po upływie długiego czasu od narażenia na małe, powtarzające się dawki czynnika toksycznego – może to trwać tygodnie, miesiące a nawet lata. Dawka jest mała i nie powoduje widocznego skutku natychmiastowego. Skutki działania odległego mogą być ciągłe lub nieodwracalne mające wpływ na rozrodczość lub odporność organizmu.

Karcynogeneza – niekontrolowany podział i rozwój komórek jako rezultat działania czynnika chemicznego (karcynogenu), proces rozwoju nowotworu.

Toksyczność rozrodu (wpływająca na rozrodczość i potomstwo) – jakkolwiek skutek szkodliwego działania na funkcje rozrodcze dorosłych osobników, bądź rozwój embrionu lub płodu.

2.4. Substancje niezgodne

Termin substancje niezgodne (niekompatybilne) (ang. incompatibil, niezgodny, incompatibility - niezgodność) oznacza substancje, których kontakt ze sobą stwarza zagrożenie w pracy laboratoryjnej.

Jeżeli substancje takie znajdują się obok siebie i dojdzie do ich kontaktu, wówczas może zajść reakcja chemiczna o gwałtownym przebiegu. Reakcja może mieć miejsce w warunkach otoczenia, gdy temperatura i/lub ciśnienie ulegnie zmianie lub, gdy prężność par substancji ulegnie zmianie. Efektem może być: samozapłon (np. w wyniku kontaktu substancji chemicznej z powietrzem), wytworzenie ciepła (np. w wyniku kontaktu z wilgocią), wytworzenie toksycznych gazów, rozkład związku, utworzenie nowych związków bardziej niebezpiecznych, zapłon innych materiałów lub wybuch.

Podstawą do zakwalifikowania substancji jako niezgodnych są informacje dotyczące reakcji: pomiędzy nimi, z powietrzem i wilgocią, z popularnymi materiałami, takimi jak szkło, metale, cement lub materiały ochronne (takie jak: guma, plastik czy powłoki ochronne).

Bezpieczna praca oznacza konieczność znajomości substancji niezgodnych, których używamy. Bardzo dobrym źródłem wiedzy o substancjach niezgodnych jest przewodnik *The Wiley Guide to Chemical Incompatibilities*¹.

Załącznik 4 zawiera wykaz niezgodnych substancji chemicznych, których wzajemny kon-

takt stanowi zagrożenie.

2.5. Sposoby informowania o zagrożeniach chemicznych

Informacja o zagrożeniach chemicznych jest umieszczona na standardowych etykietach związków chemicznych w formie symboli oraz zwrotów zagrożenia R i zwrotów bezpieczeństwa S.

Symbole (piktogramy) stanowią wizualne przedstawienie zagrożeń związanych z danym związkiem, np.: substancję palną symbolizuje czarny znak płomienia na żółtopomarańczowym tle, substancję toksyczną – czarny znak trupiej czaszki na żółtopomarańczowym tle, substancję szkodliwą – czarny znak krzyża na żółtym tle (patrz załącznik 6. Wykaz odczynników używanych w szkołach).

Zwroty zagrożenia (ang. **R-risk**) – stanowią poszerzoną, w stosunku do symboli, informację o zagrożeniach związanych z różnymi substancjami chemicznymi. Są prawnie regulowane i stanowią znormalizowany standard międzynarodowy.

O ile zwroty R opisują zagrożenia wynikające z właściwości związków chemicznych, **zwroty bezpieczeństwa S** (ang. **S-safety**) informują, w jaki sposób uniknąć niebezpieczeństwa. Dokładne przestrzeganie zasad postępowania z potencjalnie niebezpiecznymi substancjami chemicznymi zmniejsza ryzyko zagrożenia zdrowia. Zwroty R i S przedstawiane są na etykiecie opakowania związku chemicznego w postaci jednej lub dwu cyfr, a ich obja-

¹ R.P. Pohanish, S. A. Greene, *Wiley Guide to Chemical Incompatibilities*, 2nd Edition, John Wiley and Sons, New York 2003.

śnienia znajdują się na ulotce dołączonej przez producenta do opakowania. (Patrz załącznik 5.)

Karta charakterystyki (ang. MSDS - Material Safety Data Sheet) zawiera wszelkie informacje dotyczące określonej substancji chemicznej, które są niezbędne do właściwego określenia zagrożenia i podjęcia odpowiednich środków zaradczych podczas jej stosowania. W karcie obok właściwości fizycznych i chemicznych substancji zawarte są informacje na temat jej wpływu na zdrowie oraz życia człowieka, a także wpływu na stan środowiska naturalnego, najwyższego dopuszczalnego stężenia, środków bezpieczeństwa i pierwszej pomocy. Karta zawiera informacje o przechowywaniu i o przyjaznym sposobie utylizacji (nieszkodliwym) dla środowiska. Producenci są zobowiązani do dołączania karty charakterystyki do każdej wyprodukowanej substancji niebezpiecznej i dostarczenia jej odbiorcy - użytkownikowi. W każdym laboratorium pracownicy (w szkole nauczyciele i uczniowie) powinni mieć łatwy dostęp do kompletu kart charakterystyki.

Uwaga! W ramach programu CHLASTS przygotowano zestaw 41 uproszczonych kart charakterystyki dla ucznia, opisujących związki używane w praktyce szkolnej. Karty stanowią pomoc dydaktyczną, nie zastępują kart charakterystyki (karty charakterystyki dla ucznia dostępne są na stronie: <http://www.chlasts.org>).

3. Zapobieganie wypadkom

3.1. Wzorcowa szkolna pracownia chemiczna

Szkolna pracownia chemiczna musi zapewnić, zarówno nauczycielowi jak i uczniom, maksymalny poziom bezpieczeństwa, który można osiągnąć, stosując zasady funkcjonalności, ergonomii i komfortu pracy.

Dobra szkolna pracownia chemiczna łączy w sobie dwie cechy: umożliwia wykonywanie doświadczeń chemicznych, gwarantując bezpieczeństwo i zapewnia nauczycielowi warunki skutecznego przeprowadzania procesu nauczania.



Wzorcowo zorganizowana szkolna pracownia chemiczna znajduje się w Zespole Szkół Ogólnokształcących „Gimnazjum i Liceum Akademickiego” w Toruniu.



Szkolna pracownia chemiczna składa się z dwóch pomieszczeń – gabinetu lekcyjnego i zaplecza.

Gabinet lekcyjny jest zorganizowany w sposób umożliwiający uczniom wykonywanie doświadczeń, a także uczestnictwo w lekcjach niewymagających przeprowadzania eksperymentów chemicznych.

Konsekwencją tego założenia jest następujące wyposażenie pomieszczenia:



Stanowiska pracy dla uczniów (ok.10), tzn. stoły spełniające standardy (czyli mają podłączone palniki gazowe, zlewozmywak z ciepłą i zimną wodą, blat jest pokryty płytkami chemoodpornymi).



Stół demonstracyjny spełniający standardy i będący zarazem biurkiem nauczyciela, umieszczony na podeście (dla poprawienia widoczności), osłonięty szybą z bezbarwnego tworzywa sztucznego.

Ławki przymocowane na stałe do podłogi, znajdujące się w odległości 1,5 m od stołu demonstracyjnego.



Wyciąg dający możliwość wykonywania doświadczeń z substancjami lotnymi, umieszczony w pobliżu stołów demonstracyjnych. Przez salę lekcyjną: od uczniowskich stanowisk pracy, w stronę drzwi przebiega droga ewakuacyjna o szerokości 1,5 m.

Zaplecze pełni funkcję podręcznego magazynu sprzętu laboratoryjnego i odczynników. Pracownia oraz zaplecze powinno przynajmniej raz w roku przechodzić kontrolę prze-

strzegania zasad bezpieczeństwa, np. według protokołu opisanego w załączniku 7.

Rozpuszczalniki muszą być przechowywane w metalowych szafach, odpowiednich do tego celu. Nigdy nie należy ich przechowywać w szafach wyciągowych, chociaż niektóre z nich wyposażone są w specjalnie wbudowane półki do przechowywania rozpuszczalników. Złą praktyką jest przechowywanie substancji chemicznych wystawionych na bezpośrednie działanie światła słonecznego.

Substancje chemiczne bardzo toksyczne należy przechowywać w specjalnych szafach pancernych. W miarę możliwości należy realizować nauczanie chemii bez stosowania substancji bardzo toksycznych. Do przechowywania niektórych grup związków (np. narkotyki, substancje bardzo toksyczne) potrzebne jest specjalne zezwolenie.

Wszystkie substancje chemiczne stosowane w laboratorium, powinny być wyraźnie i zrozumiale opisane. Odczynniki zakupione w handlu należy przechowywać w butelkach lub pojemnikach, w których zostały zakupione u producenta, z oryginalną etykietą i nazwiskiem osoby, która dokonała zakupu (lub w imieniu której dokonano zakupu) oraz datę, kiedy dokonano zakupu. Podobne **etykiety** należy nakleić na stare odczynniki, ciągle będące w użyciu w laboratorium. Jeżeli to tylko możliwe, należy podać przybliżoną datę zakupu. Jeżeli data zakupu jest nieznana, wówczas należy napisać: „data zakupu nieznana”. Każda substancja otrzymana w laboratorium powinna mieć etykietę zawierającą:

nazwę związku, wzór strukturalny i sumaryczny, datę syntezy, nazwisko osoby, która związek otrzymała oraz informację o zagrożeniach. Substancje chemiczne w szklanych lub miękkich, plastikowych butelkach muszą być opisane przynajmniej niezmywalnym pisakiem.

Szczegółowe zasady urządzania wzorcowej pracowni chemicznej zostały bardzo dobrze opisane przez dr Krystynę Łopatę w pracy zbiorowej pt. *Dydaktyka chemii*¹.

3.2. Utylizacja odpadów chemicznych

Sposób postępowania z odpadami chemicznymi, wytwarzanymi w laboratorium szkolnym, powinien być zgodny z przepisami dotyczącymi przechowywania odczynników chemicznych, które obowiązują w danym kraju. W nowoczesnej europejskiej szkole zbieranie, przechowywanie i utylizacja odpadów musi odbywać się w sposób bezpieczny dla środowiska. Zasady utylizacji muszą pozostawać również w zgodzie z podstawowymi, lokalnymi aktami prawnymi dotyczącymi ochrony zdrowia i środowiska.

Praktycznie wszystko, czego używa się w laboratorium, a więc próbki związków chemicznych, produkty reakcji, przesącze, osady, rozpuszczalniki, szkło laboratoryjne, puste opakowania lub potłuczone termometry ostatecznie stanowią odpad laboratoryjny.

Zabrania się odprowadzania niebezpiecznych

¹ K. Łopata, *Wyposażenie szkolnej pracowni chemicznej*, [w:] *Dydaktyka chemii*, pod red. A. Burewicz, H. Gulińska, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań 1993, s. 351-387.

odpadów laboratoryjnych bezpośrednio do zlewu lub wysypywania ich do śmietników.

Wszelkie odpady chemiczne należy zbierać w pojemnikach stojących w specjalnie do tego celu przeznaczonych i wyraźnie oznaczonych miejscach w laboratorium.

Pojemniki muszą być prawidłowo oznakowane, a zbierane odpady muszą być segregowane według ich rodzajów. I tak, łatwopalne odpady powinny być gromadzone w osobnych szafach, z dala od kwasów, zasad i substancji o charakterze utleniającym. Ponadto, kwasy powinny być przechowywane z dala od zasad oraz substancji utleniających i redukujących. Nie należy mieszać odpadów, które nie stwarzają szczególnego zagrożenia z odpadami niebezpiecznymi.

W szkołach zwykle używa się niewielkich ilości substancji, które zazwyczaj występują w formie rozcieńczonych roztworów. Można więc pominąć niektóre z zasad utylizacji odpadów, jednak działania nauczyciela powinny być dobrze przemyślane i zgodne z obowiązującymi przepisami. Na przykład, klasyfikację odpadów ciekłych można ograniczyć do trzech kategorii: rozpuszczalniki organiczne, zubożnione kwasy i zasady (pH 6-8) oraz odpady zawierające metale ciężkie. Wykaz proponowanych rodzajów odpadów chemicznych i sposób ich oznakowania podano poniżej (rozdz. 3.3.1). Organizując gromadzenie i utylizację odpadów chemicznych w szkolnym laboratorium należy pamiętać, że:

- ❑ Pojemniki stosowane do zbierania odpadów chemicznych muszą być odporne na działanie substancji, które są

w nich przechowywane. Należy używać butelek, słoików polietylenowych lub szklanych, które są odpowiednie dla większości odpadów.

- ❑ Jeśli odpady chemiczne są niebezpieczne, na pojemnikach obowiązkowo umieszcza się napis: „Niebezpieczne odpady” oraz datę ich zebrania, nazwisko osoby odpowiedzialnej i rodzaj zagrożenia.
- ❑ Magazynowanie powinno odbywać się w sposób ograniczający do minimum możliwość uszkodzenia pojemników i ewentualnego wycieku do środowiska przechowywanych w nich odpadów chemicznych (szczególnie odnosi się to do pojemników szklanych).
- ❑ Przed umieszczeniem w pojemnikach odpady muszą być chemicznie dezaktywowane, aby uniknąć ewentualnych niespodziewanych reakcji. Obowiązek dezaktywacji spoczywa na osobie wytwarzającej odpady. Sposób neutralizacji jest podany w kartach charakterystyki.
- ❑ Odbiór i dalsza utylizacja odpadów chemicznych może być przeprowadzana tylko przez odpowiednie, upoważnione do tego firmy.

Pracując z bardzo małymi ilościami substancji chemicznych, można niektóre z odpadów chemicznych odprowadzać bezpośrednio do odpadów komunalnych (śmieci, ścieki). Liczba tych substancji jest jednak niewielka - są to: agaroz, żel silikonowy, tlenek żelaza(III), węglany, oksoborany, chlorki - sodu, wapnia, magnezu i potasu, glukoza i ditlenek tyta-

nu(IV). Analogicznie postępuje się z substancjami chemicznymi stosowanymi w gospodarstwie domowym. Metody postępowania z innymi chemikaliami należy znaleźć w odpowiednich kartach charakterystyki. Trzeba podkreślić, że odprowadzanie bezpośrednio do ścieków komunalnych jest traktowane wyłącznie jako wyjątek od ogólnie przyjętej zasady postępowania z odpadami chemicznymi.

Ogólnie, pod pojęciem postępowania z odpadami chemicznymi rozumie się takie ich przygotowanie, aby nie stanowiły zagrożenia (lub to zagrożenie zostało zminimalizowane) przed ostateczną ich utylizacją.

3.2.1. Rodzaje odpadów chemicznych i sposób oznakowania pojemników do ich przechowywania

W przypadku ograniczonej liczby pojemników należy pamiętać, że odpady chemiczne przypisuje się do danej klasy, biorąc pod uwagę ich najbardziej toksyczny lub najbardziej szkodliwy składnik.

O	ciekle, organiczne, bez fluorowców
F	ciekle, organiczne, zawierające fluorowce
S	Stałe
Hg	rtęć, nieorganiczne sole rtęci, szkło zanieczyszczone rtęcią
inne	inne niebezpieczne odpady, niezakwalifikowane do powyższych grup

Substancje szczególnie niebezpieczne, (które powinno się wyeliminować z praktyki szkolnej i nie wykorzystywać do wykonywania doświadczeń) nie mogą być zbierane bezpośrednio w pojemnikach na odpady. Są to trucizny (o wysokiej klasie toksyczności); sub-

stancje rakotwórcze; substancje wybuchowe lub piroforyczne; substancje drażniące albo cuchnące; substancje gwałtownie reagujące z innymi, zbieranymi odpadami (patrz załącznik 4).

3.3. Podstawowe wyposażenie na wypadek zagrożenia

3.3.1. Sprzęt gaśniczy

Szybkie i skuteczne gaszenie pożaru wymaga znajomości rodzaju gaśnicy, której wolno i należy używać.

Rodzaj (typ) gaśnicy zależy od właściwości palącej się substancji. Przenośne gaśnice i koce gaśnicze muszą być dostępne w każdym laboratorium. Jeżeli na wyposażeniu są koce gaśnicze, to ich przydatność musi być potwierdzona atestem.

Gaśnica śniegowa, wypełniona tlenkiem węgla(IV), jest skuteczna w przypadku większości pożarów, które mogą mieć miejsce w laboratorium. Podczas działania nie pozostawia osadów, nie zanieczyszcza laboratorium, nie uszkadza aparatury i sprzętu, może być używana na urządzenia znajdujące się pod napięciem elektrycznym, a tlenek węgla(IV) jest praktycznie w tych warunkach niereaktywny chemicznie. Po ugaszeniu pożaru laboratorium powinno być starannie wywietrzone, aby zapobiec uduszeniom. Gaśnica na ditlenek węgla jest stosowana w przypadku gaszenia palących się:

- urządzeń i aparatury znajdujących się

pod napięciem,

- ❑ cieczy łatwopalnych (np.: benzyna, oleje),
- ❑ łatwopalnych ciał stałych (np. parafina),
- ❑ łatwopalnych gazów (np.: metan, acetylen, propan, butan), a także innych substancji, na które nie wolno działać wodą.

Nie wolno używać tego typu gaśnicy do palących się metali alkalicznych (także magnezu i wapnia), wodoru, siarki, wodorotlenków metali, gorących części maszyn oraz do ratowania ludzi i innych organizmów żywych.

Gaśnica proszkowa przeznaczona jest do tłumienia ognia palących się metali alkalicznych (także magnezu i wapnia), wodorków metali, silanów (krzemowodorów) i innych substancji, na które nie wolno działać wodą, bądź nie wolno stosować gaśnic innego typu, łatwopalnych cieczy i gazów, cylindrów z gazem pod ciśnieniem lub cieczami oraz urządzeń pod napięciem elektrycznym o napięciu mniejszym od 1000V.

Nie wolno stosować gaśnicy proszkowej na pracujące maszyny i urządzenia, komputery i inny sprzęt elektroniczny, gdyż mogą one ulec zniszczeniu.

Na płonące cylindry z acetylenem działamy wodą z bezpiecznej odległości. Jeśli cylinder jest tak gorący, że woda zmienia się gwałtownie w parę, należy niezwłocznie ewakuować ludzi z laboratorium ze względu na groźbę wybuchu.

Woda jest najbardziej powszechnym medium gaśniczym, jednak nie wolno jej stosować na urządzenia pod napięciem i na substancje reagujące chemicznie z wodą, takie jak np.: metale alkaliczne, karbid, wapno palone, łatwopalne ciecze.

Koc gaśniczy, wykonany z włókien szklanych, ma powierzchnię około 2 m² i jest całkowicie niepalny. Powinien być przechowywany w kopercie zawieszanej na ścianie. Koc należy rozłożyć i narzucić na płonący obiekt. Zaleca się szczególnie użycie koca gaśniczego do ratowania płonących osób, tłumienia ognia łatwopalnych cieczy, substancji reagujących z wodą oraz urządzeń pod prądem elektrycznym.

3.3.2. Wymiana zużytych gaśnic

Fakt użycia gaśnicy należy zgłosić zgodnie z obowiązującymi przepisami na wypadek zagrożenia. Osoba odpowiedzialna za stan gaśnic powinna zostać natychmiast poinformowana o zdarzeniu i konieczności wymiany zużytej gaśnicy na nową.

3.3.3. Natryski bezpieczeństwa- prysznic, natrysk do przemywania oczu

Do najważniejszych elementów wyposażenia laboratorium, w razie wypadku, należy prysznic i natrysk do przemywania oczu.

Prysznic jest przeznaczony do spłukiwania całej powierzchni ciała, gdy zapali się ubranie lub nastąpi rozległe skażenie chemiczne.

Poszkodowanego, w przypadku rozległego skażenia ciała (lub części ciała, której nie można przemyć, korzystając ze zlewu), należy niezwłocznie doprowadzić pod prysznic, zdjąć skażone ubranie i pozostawić pod strumieniem wody przez okres 15 do 30 minut.

W razie dostania się chemikaliów do oczu należy je przemywać wodą, posługując się natryskiem do przemywania oczu, tak długo, jak to możliwe – ogólna zasada mówi: od 15 do 30 minut.

3.3.4. Zestaw do usuwania rozlanych/rozsypanych substancji chemicznych

Pracownia chemiczna powinna być wyposażona w zestaw do usuwania rozlanych/rozsypanych substancji chemicznych.

Zaleca się, aby w skład jego wyposażenia wchodziły:

- ❑ środki ochrony osobistej – okulary ochronne, rękawice ochronne, fartuch laboratoryjny;
- ❑ substancja do zobojętniania kwasów: węglan sodu, soda bezwodna;
- ❑ substancja do zobojętniania zasad: chlorek amonu;
- ❑ pył cynkowy, wielosiarczek wapnia z nadmiarem siarki, siarka i rozcieńczony kwas siarkowy;
- ❑ absorbanty – wermikulit, suchy piasek, sucha ziemia, węgiel aktywowany;
- ❑ 1 pudełko tamponów absorbujących;
- ❑ szczotka do zmiatania i szufelka;
- ❑ plastikowy pojemnik z przykryciem.

3.4. Bezpieczne wykonywanie podstawowych operacji chemicznych

Najczęstszymi wypadkami w laboratoriach chemicznych są:

- ❑ zranienia skóry (skaleczenia uszkodzonym szkłem),
- ❑ oparzenia termiczne (skutek dotknięcia gorącego szkła lub urządzeń),
- ❑ małe pożary (np. zapłon rozpuszczalników organicznych),
- ❑ oparzenia chemiczne (w wyniku kontaktu substancji żrących ze skórą),
- ❑ rozsypanie lub rozlanie substancji chemicznych,
- ❑ lekkie zatrucia (np. w wyniku inhalacji par lub gazów),
- ❑ zranienia oka (chemiczne lub mechaniczne).

Aby zminimalizować prawdopodobieństwo nieszczęśliwych wypadków, należy ściśle i konsekwentnie przestrzegać podanych poniżej zasad bezpiecznego wykonywania podstawowych operacji laboratoryjnych. Nauczyciel musi pamiętać, że to on jest osobą odpowiedzialną za dopilnowanie, aby wszyscy uczniowie wykonujący doświadczenia przestrzegali obowiązujących zasad i procedur. Należy pamiętać, że podczas pracy w laboratorium noszenie okularów ochronnych i odpowiednich środków ochrony osobistej (np. fartuchów laboratoryjnych) jest obowiązkowe! W szkołach średnich stosowanie środków ochrony osobistej powinno być codzienną praktyką.

3.4.1. Posługiwanie się szkłem laboratoryjnym

Nigdy nie wolno używać elementów aparatury szklanej, które posiadają widoczne rysy, wyszczerbienia lub pęknięcia. Takie szkło może łatwo rozkruszyć się podczas montażu aparatury, lekkiego uderzenia lub ogrzewania, jak również może być przyczyną skaleczeń, np. podczas mycia aparatury.

Stłuczone lub uszkodzone elementy aparatury szklanej, wolne od zanieczyszczeń chemicznych, należy zbierać w sztywnym, odpornym na przebicie pojemniku, takim jak plastikowe wiadro lub metalowy pojemnik z dopasowaną pokrywką. Pojemnik musi być czytelnie podpisany: „Stłuczka szklana”. Rozbitego szkła nie należy wyrzucać do kosza na śmieci. Stłuczonego szkła nie wolno zbierać gołą ręką - w tym celu należy założyć grube rękawice lub zmieść szkło miotłą. Pozostałe drobne kawałki zebrać przy pomocy zwilżonego, papierowego ręcznika.

Najwyższą ostrożność należy zachować przy wkładaniu i wyjmowaniu termometrów lub szklanych rurek z otworów w gumowych korkach oraz przy zakładaniu węży na szklane tubusy. Końcówka rurki musi być gładko obtopiona, a jej średnica dopasowana do otworu w korku lub średnicy węża. Przed założeniem, zarówno część szklaną (termometr, rurkę, tubus), jak i gumową należy zwilżyć wodą, gliceryną lub płynem do zmywania naczyń. Szklany element należy zawsze trzymać tuż przy korku i wsuwać lub wyjmować delikatnymi, półobrotowymi ruchami. Zabezpieczenie dłoni skórzanymi rękawicami lub grubą

warstwą materiału zapobiegnie zranieniu w przypadku, gdyby doszło do złamania rurki lub termometru.

Przechowywanie przez dłuższy czas szklanej aparatury połączonej z elementami gumowymi doprowadza do trwałego ich zespolenia. Jeżeli nie jest możliwe oddzielenie elementów gumowych od szkła w delikatny sposób, część gumową można rozciąć i dopiero wówczas próbować ją zdjąć. Jeżeli jednak w dalszym ciągu jest to utrudnione, a szklany element nie jest szczególnie cenny, bezpieczniej jest całość wyrzucić.

Przy większości standardowych operacji laboratoryjnych, górne części wszystkich połączeń szlifowych, szklanych korków i kranów powinny zostać pokryte cienką warstwą smaru silikonowego lub parafinowego, aby zapobiec trwałemu połączeniu się szlifowanych elementów („zapiekaniu” szlifów). Należy unikać stosowania nadmiaru smaru i nie dopuszczać do zanieczyszczenia nim wewnętrznych części aparatury. Korki i krany wykonane z tworzyw sztucznych (np. z teflonu) nie wymagają smarowania.

Po zakończeniu doświadczenia, aparatura powinna być rozmontowana i umyta tak szybko, jak to możliwe. Połączenia szlifowe stosunkowo szybko zespala się pod wpływem wielu odczynników (np. zasad).

Nieużywaną przez dłuższy czas aparaturę szklaną należy rozłożyć na części: wyjąć korki oraz kraniki, rozłączyć szlify i usunąć z nich resztki smaru. Również teflonowe krany i kor-

ki powinny zostać poluźnione. Wygodną metodą zapobiegania „zapiekaniu się” szlifów podczas przechowywania jest włożenie pomiędzy szlifowane powierzchnie cienkiej wstążki papieru.

Zespolone połączenia szlifowe powinno rozdzielać się z dużą ostrożnością. Jedną z metod jest równomierne ogrzewanie zewnętrznej części zabezpieczonego szlifiu przez 15 do 20 sekund nad żółtym, kopczącym płomieniem palnika Bunsena, a następnie delikatne ostukanie złączki kawałkiem drewna. Zamiast palnika można użyć gorącej wody, suszarki do włosów itp. Powyższa procedura nie może być jednak zastosowana, jeżeli naczynie zawiera substancję łatwopalną, lotną, reagującą z wodą (np. sól metaliczny) lub nieznany preparat. Alternatywnym sposobem jest wpuszczenie kilku kropli oleju parafinowego na górną część zespolonego szlifiu.

Podczas ręcznego mycia szkła należy używać wyłącznie miękkich szczotek, gąbek i myjek. Nie wolno stosować twardych przedmiotów, takich jak metalowe szpatułki, pręciki szklane, szczotki z wystającymi metalowymi końcówkami, ani używać proszków do szorowania. Spowodowałoby to zarysowanie szkła, co w konsekwencji mogłoby później prowadzić do pęknięcia aparatu i zranienia użytkownika.

Podczas mycia szkła można wykorzystywać rozpuszczalniki organiczne (np. aceton), jedynie gdy warunki w laboratorium pozwalają na bezpieczne ich użycie. Kwas chromowy, czyli tzw. chromianka, nie powinien być stosowany do mycia szkła ze względu

na stwarzanie poważnego zagrożenia przy pracy (substancja silnie żrąca, ponadto sole chromu(VI) są toksyczne i rakotwórcze) oraz problemy z właściwą neutralizacją i utylizacją powstających niebezpiecznych odpadów.

Zamiast szklanych akcesoriów należy możliwie często stosować ich zamienniki wykonane z tworzyw sztucznych. Przykładowo, twarde i przezroczyste poliwęglanowe naczynia laboratoryjne z powodzeniem można stosować do wykonywania większości doświadczeń przeprowadzanych w roztworach wodnych w temperaturze pokojowej. Niestety, nie nadają się one do ogrzewania i nie są odporne na większość odczynników organicznych.

Aparatura i akcesoria szklane przeznaczone do prac laboratoryjnych (np. zlewki) nie mogą być wykorzystywane jako naczynia do napojów lub żywności. Do przechowywania odczynników nie wolno używać opakowań po produktach spożywczych i innych produktach domowego użytku.

3.4.2. Pomiar temperatury

Zdecydowanie zaleca się, aby jak najszybciej zastąpić termometry zawierające rtęć szklanymi termometrami bezrtęciowymi (np. alkoholowymi) lub termometrami cyfrowymi opartymi na termoparach. Dzięki temu będzie można uniknąć zagrożeń związanych z rozbiciem termometru i rozlaniem rtęci oraz kosztów usuwania odpadów zawierających rtęć.

Podstawowe zasady użycia termometrów

szklanych:

- ❑ Należy upewnić się, że temperatura, która ma być zmierzona mieści się w zakresie pracy termometru - przegrzanie może spowodować pęknięcie zbiorniczka termometru.
- ❑ Nie wolno ogrzewać zbiorniczka termometru otwartym płomieniem ani go gwałtownie oziębiać.
- ❑ Termometru nie należy stosować jako bagietki do mieszania.
- ❑ Szczególną ostrożność trzeba zachować przy nakładaniu i zdejmowaniu gumowych korków z termometru (patrz rozdz. 3.5.1).
- ❑ Termometr musi być odkładany w takie miejsce, z którego nie może stoczyć się ani zostać przypadkowo strącony. Na termometr należy założyć nakładkę utrudniającą toczenie się (np. nacięty pierścień gumowy).

3.4.3. Techniki ogrzewania

Przystępując do ogrzewania jakiegokolwiek substancji, należy bezwzględnie założyć okulary ochronne. W bezpośrednim pobliżu musi być przygotowany odpowiedni sprzęt gaśniczy, gotowy do natychmiastowego użycia. Na stanowisku roboczym mogą znajdować się jedynie odczynniki chemiczne i sprzęt w ilości niezbędnej do przeprowadzenia doświadczenia.

Zamiast palników gazowych należy zawsze, gdy tylko jest to możliwe, używać łaźni wodnych, elektrycznych płytek lub płaszczy grzejnych. Palniki spirytusowe nie powinny być

używane jako źródło grzejne - stanowią one najczęstszą przyczynę pożarów podczas zajęć laboratoryjnych w pracowniach szkolnych. Alternatywę mogą stanowić niskie, walcowate świece (wkłady do podgrzewaczy), ustawione na metalowych tackach z piaskiem. Względnie bezpiecznym źródłem ciepła może być też gorąca woda (z kranu lub z czajnika) lub np. suszarka do włosów.

Pirolizie lub spalaniu należy poddawać możliwie niewielką porcję preparatu, nawet gdy w pracowni jest sprawna wentylacja, ponieważ większość substancji podczas spalania wytwarza szkodliwe pary i gazy.

Ogrzewanie substancji wymaga zastosowania naczyń odpornych termicznie, np. wykonanych ze szkła borokrzemowego. Zwykłe szkło sodowe jest wrażliwe na szybką zmianę temperatury i może łatwo pęknąć podczas ogrzewania. Istotny jest również dobór właściwego naczynia - używa się m.in. kolb okrągłodennych, probówek, zlewek i parownic. Nie wolno natomiast prowadzić ogrzewania w naczyniach grubościennych, ani wlewać do nich gorących roztworów.

Naczyń z substancjami łatwopalnymi nie wolno nigdy ogrzewać otwartym płomieniem - można zastosować elektryczne płytki, płaszcze lub łaźnię wodną. Zestaw musi być tak zmontowany, aby jego konstrukcja pozwalała na szybkie usunięcie źródła ciepła.

Nigdy nie wolno ogrzewać szczelnie zamkniętych naczyń lub aparatury - wzrost ciśnienia doprowadzi do eksplozji szklanych

naczyń i rozrzuca odłamków szkła. Zbyt mały otwór odpowietrzający również może nie być efektywny. Lotne ciecze muszą być ogrzewane w kolbie zaopatrzonej w chłodnicę zwrotną. Przed rozpoczęciem ogrzewania należy do roztworu wrzucić tzw. kamyczki wrzenne (np. kawałki niepowlekanej porcelany). Nie wolno jednak dodawać kamyczków wrzennych do gorącego roztworu! Nigdy nie należy pozostawiać ogrzewanej aparatury bez dozoru.

Szczególną ostrożność należy zachować podczas pracy z gorącymi elementami aparatury - rozgrzane szkło wygląda dokładnie tak samo jak szkło o temperaturze pokojowej! Aby uchwycić gorącą część aparatury, należy posłużyć się odpowiednimi szczypcami lub założyć grube rękawice. Gorącego szkła nie wolno odkładać na zimne, ceramiczne powierzchnie - należy umieszczać je na drewnianych lub korkowych podkładkach i pozostawiać tam, pod nadzorem, do ostygnięcia. Temperaturę naczyń sprawdza się, zbliżając do nich dłoń, bez dotykania (potencjalnie gorącej) powierzchni.

Podstawowe zasady używania palnika Bunsena:

Przed zapaleniem palnika należy upewnić się, że w pobliżu nie znajdują się żadne łatwopalne substancje.

Należy sprawdzić, czy węże doprowadzające gaz są nieuszkodzone i szczelnie podłączone do zaworu instalacji gazowej oraz palnika.

Węże doprowadzające gaz powinny być wykonane z elastycznej gumy - zmniejszy to

niebezpieczeństwo przewrócenia palnika.

Nie wolno dopuścić, aby węże znajdowały się w pobliżu płomienia.

Zapalając palnik, należy upewnić się, że dopływ powietrza jest zamknięty, inne typy palników mogą jednak wymagać częściowego otworzenia zaworu powietrza. Palnik Bunsena należy zapalić natychmiast po otwarciu zaworu gazowego.

Jeśli płomień jest wciągany do dyszy lub pojawia się u podstawy palnika, należy niezwłocznie zamknąć zawór gazowy.

Nie wolno pochylać się nad palnikiem, zbliżać do niego rąk, włosów, odzieży (szczególnie luźnej odzieży) ani innych palnych materiałów, nawet gdy palnik wygląda na wyłączony. Nie wolno pozostawiać włączonego palnika bez dozoru. W nieużywanym chwilowo palniku należy zamknąć dopływ powietrza, a gdy planowana jest dłuższa przerwa, palnik należy wyłączyć.

Ogrzewając nad palnikiem szklane naczynia, takie jak zlewki czy kolby, stosuje się siatki z wkładką ceramiczną (nie azbestową!).

Ponieważ dysza palnika pozostaje gorąca przez długi czas po wyłączeniu, palnik należy chwycić zawsze za jego podstawę.

Ogrzewanie substancji w probówkach:

Probówkę chwyci się odpowiednimi szczypcami (nigdy gołą dłonią!) i trzyma pod kątem od 45° do 60°, jeżeli ogrzewa się ciecz lub prawie poziomo, unosząc nieco w górę wylot probówki, gdy ogrzewa się substancję stałą.

W żadnym wypadku nie należy ogrzewać probówki napętnionej więcej niż do 1/5 objętości. Wylot probówki należy ustawić w kierunku przeciwnym do wykonującego doświadczenie i pozostałych osób. Niedopuszczalne jest zaglądnienie do ogrzewanego naczynia.

Zawartość probówki należy ogrzewać równomiernie, konieczne jest zatem stopniowe wprowadzanie i wyjmowanie probówki z płomienia, przy jednoczesnym wstrząsaniu. Szczególną ostrożność należy przedsięwziąć, ogrzewając lotne ciecze i reaktywne mieszaniny (np. roztwory organiczne), gdyż może zajść gwałtowna reakcja, nastąpić zapłon, a nawet eksplozja.

Zasady bezpiecznego używania elektrycznych płytek i płaszczy grzejnych:

Przed podłączeniem urządzenia do sieci należy sprawdzić, czy przewód elektryczny jest nieuszkodzony, a urządzenie jest czyste i suche. Upewnij się, czy twoje dłonie są suche i miejsce pracy jest suche. Należy używać tylko czystych i suchych płytek oraz płaszczy grzejnych. Przewód elektryczny należy trzymać z dala od gorącego grzejnika i od wody. Ponieważ płytki i płaszcze grzejne wyglądają dokładnie tak samo, niezależnie od swojej temperatury, należy zawsze postępować z nimi tak, jakby były gorące. Rozgrzanych urządzeń nie powinno się zostawiać bez dozoru.

W przypadku pożaru urządzeń elektrycznych pod napięciem, do gaszenia nie wolno używać wody, gdyż może to spowodować poważne porażenie prądem. Stosuje się wów-

czas gaśnice śniegowe lub proszkowe.

3.4.4. Przelewanie odczynników

Podczas przelewania cieczy z większych pojemników do naczyń o wąskich szyjkach, należy stosować lejki odpowiednich rozmiarów, pamiętając o pozostawieniu szczeliny między nóżką lejka a krawędzią naczynia. Naczynia powinny znajdować się w możliwie dużej odległości od twarzy. Aby zapobiec spływaniu kropli cieczy po zewnętrznej ściance naczynia, kończąc przelewanie, ostatnie krople zbiera się z krawędzi naczynia przy pomocy szklanej bagietki. Jeżeli mimo to substancja zanieczyści ścianki naczynia, należy je dokładnie wytrzeć przed odstawieniem na miejsce. Rozlane ciecze ściera się natychmiast lub w odpowiedni sposób neutralizuje.

Korków do butelek z odczynnikami nie wolno odkładać w przypadkowe miejsce. Może to doprowadzić, np. do przypadkowej zamiany korków lub ich zanieczyszczenia, a w konsekwencji do nieprzewidzianych i niebezpiecznych wypadków. Przelewając odczynnik z butelki do probówki lub innego małego naczynia, osoby praworęczne powinny trzymać probówkę w lewej dłoni, między kciukiem a palcami wskazującym i środkowym. Butelkę chwytą się wówczas prawą ręką tak, aby etykieta skierowana była w stronę wnętrza dłoni oraz wyjmuje z niej korek, przytrzymując go między małymi palcami i wnętrzem lewej dłoni. Po nalaniu odczynnika, probówkę odstawia się do statywu i zamyka butelkę korkiem.

Przy przenoszeniu niewielkich ilości cieczy

najwygodniej jest posłużyć się szklaną lub plastikową pipetką Pasteura. **Nie wolno pipetować ustami!** Do naciągania cieczy do pipety służą specjalne gruszki lub nasadki. Zakładając nasadkę (gruszkę), należy trzymać pipetę 1 do 2 cm od końca, gdzie nasadka zostanie nałożona. Nie wolno wlewać niewykorzystanego odczynnika z powrotem do butelki.

3.4.5. Postępowanie z substancjami niebezpiecznymi

Substancje szczególnie niebezpieczne - wysoce łatwopalne (np. eter dietylowy), wybuchowe (np. kwas pikrynowy), silnie toksyczne (np. cyjanki) lub rakotwórcze klasy I (np. benzen, naftyloaminy) - nie powinny być używane w szkolnym laboratorium. Należy je zastępować związkami mniej toksycznymi, aby zmniejszyć zagrożenie podczas pracy oraz koszty zagospodarowania odpadów, np.: toluen zamiast benzenu, kwasy aminobenzo- esowe zamiast niepodstawionej aniliny itp.

Przed podjęciem pracy doświadczalnej należy zaznajomić się z aktualnymi informacjami na temat właściwości i zagrożeń stwarzanych przez każdą stosowaną lub otrzymywaną substancję oraz zagrożeń związanych z przeprowadzanymi czynnościami. Należy założyć środki ochrony osobistej (okulary ochronne, rękawice, fartuch laboratoryjny) odpowiednie dla istniejących zagrożeń oraz wybrać właściwe miejsce pracy i sprzęt laboratoryjny.

Czynności, podczas których stosuje się lub otrzymuje **palne, toksyczne albo żrące**

gazy, bądź lotne ciecze, powinny być wykonywane pod wyciągiem, zwłaszcza, gdy pracuje się z większą ilością substancji lub poziom ryzyka wynikający z natury związku jest szczególnie wysoki.

Czynności **z użyciem palnych rozpuszczalników** muszą być wykonywane z dala od źródeł otwartego ognia. Przed rozpoczęciem pracy z takimi substancjami, jak również na bieżąco podczas pracy, należy kontrolować, czy w pobliżu nie znajdują się włączone palniki, świece w piecykach gazowych, względnie mogące zaiskrzyć włączniki lub urządzenia elektryczne. Łatwopalne ciecze powinny być ogrzewane w kolbach okrągłodennych lub w kolbach Erlenmeyera (stożkowych) zaopatrzonych w chłodnicę zwrotną, najlepiej pod wyciągiem. Niedozwolone jest używanie do tego celu zlewek! Należy stosować elektryczne źródła ciepła, takie jak łaźnie wodne, płytki lub płaszcze grzejne.

Niebezpieczne substancje, a zwłaszcza naczynia i opakowania zawierające większe ich ilości, powinny być przenoszone w odpowiednich pojemnikach z uchwytem, takich jak metalowe wiaderka z dopasowaną pokrywką.

Substancje chemiczne nie wolno pozostawiać w otwartych naczyniach w lodówce lub w niewentylowanym pomieszczeniu.

3.4.6. Operacje rozpuszczania, rozcieńczenia oraz przeprowadzania reakcji chemicznych

Przed wykonaniem jakiegokolwiek reakcji (bądź sporządzeniem roztworu lub innej miesza-

ny), należy szczegółowo przeanalizować cały tok postępowania, zwracając uwagę na szczególnie niebezpieczne momenty i skalę procesu. Następnie należy dobrać odpowiednią aparaturę (szkło, wymienniki ciepła, urządzenia mieszające), środki ochrony osobistej oraz właściwe miejsce pracy.

Podczas dodawania odczynników, **nie wolno nigdy zbliżać twarzy do naczyń**, w których przeprowadza się reakcje lub sporządza roztwory. Należy używać ekranu zabezpieczającego lub pracować pod wyciągiem. Rozcieńczanie stężonych roztworów kwasów i ługów oraz sporządzanie takich roztworów z czystych substancji jest procesem bardzo egzotermicznym. Roztwór powinien być mieszany i chłodzony w zewnętrznej łaźni wodnej, w każdym z wymienionych przypadków. Kwas należy zawsze dodawać do wody małymi porcjami, ciągle mieszając i zachowując szczególną ostrożność przy rozcieńczaniu stężonych kwasów o dużej gęstości, takich jak kwas siarkowy. Szczególna uwaga powinna być zachowana podczas przeprowadzania reakcji, które mogą przebiegać wybuchowo. Należą do nich reakcje utleniania (szczególnie z udziałem nadtlenu, manganianów(VII), kwasów chlorowych(V) i(VII) oraz ich soli), nitrowania, redukcji (szczególnie z użyciem metali i wodorotlenków metali) oraz niektóre procesy kondensacji i polimeryzacji. Szybkość niektórych reakcji może zostać gwałtownie zwiększona w obecności rozpuszczalnika lub katalizatora. Przykładowo, czysty aceton praktycznie nie reaguje z chloroformem, natomiast dodanie do takiej mieszaniny wodorotlenku sodu może spowodować burz-

liwą przemianę. W praktyce nie da się całkowicie uniknąć procesów, które są potencjalnie niebezpieczne, jednak np. ryzyko eksplozji można zminimalizować, po przedsięwzięciu racjonalnych środków ostrożności. Wskazane jest, aby:

- po określeniu rodzaju i stopnia zagrożenia w oparciu o wiarygodne źródła literaturowe, przetestować każdą nową reakcję w możliwie małej skali;
- związki potencjalnie wybuchowe otrzymywać i stosować wyłącznie w postaci rozcieńczonych roztworów (energia ewentualnego rozkładu zostanie pochłonięta w dużym stopniu przez roztwór);
- stosować środki pozwalające kontrolować szybkość procesu (np. termometr w mieszaniu reakcyjnej) i w razie potrzeby zmniejszać szybkość (łaźnie oziębiające), bądź całkowicie przerwać reakcję;
- substraty dodawać małymi porcjami, czekając z wprowadzeniem kolejnej, do czasu aż poprzednia porcja całkowicie przereaguje.

Nie należy dodawać łatwo utleniających się substancji (np. związków organicznych) do silnych utleniaczy. Bezpieczniej jest, jeśli utleniacz jest wprowadzany małymi porcjami do mieszaniny reakcyjnej.

Należy być wyczulonym na wszelkie sygnały świadczące o tym, że proces wymyka się spod kontroli: nagły wzrost temperatury lub ciśnienia, nieoczekiwane albo zbyt gwałtowne wrzenie, niespodziewane zmiany bar-

wy lub wydzielanie się gazów, bądź oparów. Każde z takich zdarzeń jest wystarczającym powodem do przerwania reakcji.

3.4.7. Badania organoleptyczne

W laboratorium nie wolno próbować żadnych substancji lub preparatów, ani dotykać ich gołymi rękoma. Nie wolno też wąchać żadnych substancji chemicznych oraz naczyń, w których przebiegają reakcje, chyba że jest to celem doświadczenia. Aby zbadać zapach substancji, wciągnij powietrze do płuc, trzymając pojemnik w odległości nie mniejszej niż 20 cm od nosa i poruszając ręką ruchem wachlującym, kieruj opary w stronę nosa, wąchając delikatnie. Nie bierz głębokiego wdechu!

Więcej informacji na temat sposobów unikania wypadków i zabezpieczania się przed ich skutkami (również w formie materiałów video) można znaleźć na stronie: <http://www.chlasts.org> oraz w załączniku 7, zawierającym protokół kontroli laboratorium.

4. Wykonywanie doświadczeń

4.1. Planowanie doświadczenia

Nauczyciel, planując wykonanie doświadczenia, musi wziąć pod uwagę różnorodne czynniki, takie jak:

- projekt architektoniczny oraz wyposażenie klasy/laboratorium (powierzchnię, meble, instalację wodną, gazową i elektryczną, system wentylacji, szafy wyciągowe, pokój przygotowaw-

czy/zaplecze);

- dostępność środków ochrony osobistej, sprzętu gaśniczego, prysznica bezpieczeństwa, prysznica do przemywania oczu, zestawu pierwszej pomocy, zestawu do usuwania rozlanych/rozsypanych substancji chemicznych itd.;
- dostępność i koszty substancji chemicznych, szkła laboratoryjnego i sprzętu;
- zagrożenia dla zdrowia wiążące się z właściwościami związków, które będą używane, warunkami reakcji oraz usuwaniem odpadów;
- ilość, wiek i dotychczasowe doświadczenie uczniów, nabyte podczas zajęć praktycznych;
- skutki przeprowadzonego doświadczenia z punktu widzenia dydaktycznego i wiedzy nabywanej przez uczniów.

Dokładna analiza wszystkich wymienionych wyżej aspektów pozwoli określić, czy określone doświadczenie może zostać wykonane, a jeśli tak, to w jakiej formie - jako pokaz, czy jako doświadczenie wykonywane indywidualnie przez poszczególnych uczniów. Współczesna metodyka laboratoryjna uważa proces właściwego planowania doświadczenia za niezwykle ważny z punktu widzenia bezpieczeństwa osób w nim uczestniczących, jak również ze względu na konieczność zapewnienia zgodności z przepisami prawnymi dotyczącymi postępowania z odczynnikami wykorzystywanymi w proponowanym doświadczeniu i usuwania odpadów otrzymanych w

jego trakcie.

Wskazówki zawarte w kolejnych podrozdziałach mają na celu pomóc we właściwym przygotowaniu i bezpiecznym przeprowadzeniu doświadczeń zgodnie z podstawowymi zasadami dobrej praktyki laboratoryjnej.

4.2. Przed przystąpieniem do wykonania doświadczenia

Instalacja wodna, gazowa i elektryczna oraz system wentylacji w laboratorium/klasie muszą być sprawdzane regularnie. Pomieszczenie powinno być wyposażone w odpowiedni sprzęt gaśniczy (umieszczony w widocznym miejscu i gotowy do natychmiastowego użycia), środki ochrony osobistej (dla nauczyciela i uczniów) dostępne w razie potrzeby, zestaw do usuwania rozlanych/rozsypanych substancji chemicznych oraz sprawny prysznic bezpieczeństwa i prysznic do przemywania oczu. Zgodnie z wymogami zasad BHP, każda szkoła powinna być wyposażona w zestaw kart charakterystyki substancji niebezpiecznych, ułożonych w porządku alfabetycznym.

Uczniowie muszą być zapoznani z regulaminem pracowni chemicznej i powodami, dla których znajomość i przestrzeganie regulaminu jest tak ważne. Należy również poinformować uczniów o zasadach postępowania w przypadku zagrożenia i w razie nieszczęśliwych wypadków.

Każdy z uczniów powinien otrzymać kopię regulaminu, jedna kopia powinna być wywie-

szona na tablicy, na ścianie klasy/laboratorium. Oświadczenie o zapoznaniu się z regulaminem i jego przestrzeganiu powinno być podpisane przez uczniów i rodziców/opiekunów. Władze szkoły powinny pisemnie zatwierdzić obowiązujący regulamin i omówione powyżej oświadczenie. Nauczyciel powinien przechowywać wszystkie oświadczenia. Chociaż dokumenty te nie mają znaczenia prawnego, pomagają w utrzymaniu poczucia odpowiedzialności uczniów za bezpieczeństwo i uświadamiają wagę problemu. Administracja szkoły powinna prowadzić system pisemnych oświadczeń znajomości regulaminu pracowni chemicznej oraz sankcji, zgodnych z regulaminem szkoły, będących konsekwencją jego nieprzestrzegania.

Substancje chemiczne powinny być przechowywane w bezpiecznych warunkach, w pojemnikach z właściwymi etykietami. Te, które uznane są za niebezpieczne muszą być przechowywane w szafie zamykanej na klucz (szczególnie niebezpieczne należy przechowywać w szafie pancерnej), w pokoju przygotowawczym lub innym pomieszczeniu, zabezpieczonym przed dostępem osób nieupoważnionych.

Przed przystąpieniem do wykonania doświadczenia nauczyciel musi zapoznać się z dokładnym opisem doświadczenia, zagrożeniami związanymi ze stosowanymi związkami wyjściowymi i otrzymanymi produktami, czynnościami, jakie będą wykonywane, oceną ryzyka przeprowadzoną przez pracodawcę (szkołę) oraz związanymi z tym zasadami postępowania. Przystępując do opracowania

nowego doświadczenia, nauczyciel powinien ocenić zagrożenia i poznać zasady bezpieczeństwa, posługując się literaturą, kartami charakterystyki substancji niebezpiecznych oraz/lub uzyskując informacje od osoby posiadającej wiedzę na dany temat oraz doświadczenie w pracy laboratoryjnej. Korzystając ze starszych publikacji, książek, poradników pracy laboratoryjnej jako źródła wiedzy, nauczyciel musi pamiętać, że praktyka laboratoryjna w ostatnich latach uległa zmianie. Nauczyciele powinni korzystać z czasopism naukowych i publikacji, aby być na bieżąco z aktualnymi zasadami bezpieczeństwa.

Przed przystąpieniem do wykonywania doświadczenia należy przygotować, w formie pisemnej, ocenę ryzyka, na którą składają się: rozpoznanie zagrożeń związanych z właściwościami użytych substancji i otrzymanych produktów, wykonywanymi czynnościami, zarządzaniem odpadami (pożar, wybuch, ocena związana z toksycznymi gazami, itd.); ocena ryzyka dla ludzi i środowiska (należy odpowiedzieć na pytanie: jakie są najgorsze możliwe scenariusze przebiegu doświadczenia i jak zaradzić negatywnym skutkom ewentualnych wypadków?); możliwe sposoby zmniejszenia ryzyka.

Zagrożenie można zmniejszyć przez: wyeliminowanie niebezpiecznych substancji lub zastąpienie ich mniej niebezpiecznymi; użycie rozcieńczonych roztworów zamiast stężonych; wykonywanie doświadczeń w mikroskali; przeprowadzenie niebezpiecznych doświadczeń w formie pokazu zamiast doświadczenia uczniowskiego; używanie sprzę-

tu mniej podatnego na uszkodzenia (np. akcesoriów z tworzyw sztucznych zamiast ze szkła, termometrów elektronicznych zamiast rtęciowych, łaźni wodnych zamiast palników); stosowanie sprzętu monitorującego przebieg reakcji (np. termometrów) lub ułatwiającego jej wykonanie (mieszadła magnetyczne, wkraplacze); stosowanie odpowiednich warunków oraz sprzętu zabezpieczającego, w skład którego wchodzi środki ochrony osobistej; utrzymanie sprawnej wentylacji; ocenę pozostałych zagrożeń oraz przygotowanie się do podjęcia akcji ratunkowej na wypadek zagrożenia.

Nauczyciel zawsze powinien przetestować przed lekcją doświadczenie w tej samej skali i warunkach, w jakich będzie wykonywane w trakcie zajęć.

To pozwoli podzielić wykonywane czynności na etapy, określić zagrożenia występujące na każdym etapie oraz ustalić zasady postępowania w celu ich uniknięcia. Pozwoli na znalezienie najtrudniejszych punktów doświadczenia i wprowadzenie właściwych zasad postępowania z wszystkimi substancjami użytymi i wyprodukowanymi w trakcie doświadczenia oraz określi optymalny sposób bezpiecznego usunięcia powstałych odpadów. Szczególne warunki ostrożności należy zachować w przypadku niektórych doświadczeń, np.: podczas spalania wodoru w powietrzu, reakcji termicznych, dodawania sodu/potasu do wody, otrzymywania toksycznych lub łatwopalnych gazów, itd. Takie doświadczenia muszą być wielokrotnie sprawdzone zanim zostaną wykonane w klasie.

Przed każdą lekcją nauczyciel powinien przygotować i sprawdzić wszystkie potrzebne substancje chemiczne, które są przechowywane w pojemnikach z czytelnymi etykietami, a także szkło, sprzęt i środki bezpieczeństwa, aby nie opuszczać pracowni chemicznej podczas zajęć lekcyjnych i tym samym nie pozostawiać uczniów bez nadzoru w klasie/laboratorium.

Przed przystąpieniem do wykonywania doświadczenia należy zapoznać uczniów ze szczegółowym przebiegiem doświadczenia, zagrożeniami związanymi z właściwościami użytych substancji i otrzymanych produktów, usuwaniem odpadów oraz związanymi z tym zasadami bezpieczeństwa (np. użyciem okularów ochronnych lub innych odpowiednich środków ochrony osobistej).

4.3. Podczas wykonywania doświadczenia

Nauczyciel musi stanowić dobry przykład w zakresie stosowania zasad bezpieczeństwa, używania środków ochrony osobistej i być entuzjastą zasad bezpieczeństwa. Jego/jej postawa, ubiór i zachowanie powinno być wzorem dla uczniów! Podczas pokazu w klasie, uczniowie muszą stać lub siedzieć w bezpiecznej odległości od stołu demonstracyjnego. Jeżeli pokaz jest niebezpieczny, zarówno nauczyciel, jak i obserwujący uczniowie powinni być oddzieleni przezroczystym ekranem bezpieczeństwa.

Podczas wykonywania doświadczenia nauczyciel powinien być skoncentrowany na nim i nie pozostawiać go bez nadzoru. Powinien

obserwować przebieg reakcji, a zwłaszcza orientować się, czy reakcja nie przebiega w sposób nietypowy. Dodając reagenty lub ogrzewając je, nauczyciel powinien upewnić się, że proces przebiega właściwie. Niezależnie, czy uczniowie sami wykonują doświadczenia, czy uczestniczą w pokazie, powinni nosić okulary ochronne i odpowiednie środki ochrony osobistej, w ten sposób uczą się zasad dobrej praktyki laboratoryjnej. Wszystkie praktyczne zasady muszą być najpierw zademonstrowane przez nauczyciela. Uczniowie nie powinni chodzić po klasie w trakcie wykonywania doświadczenia. Wentylacja powinna być sprawna, jednak uczniowie, pracując przy stołach laboratoryjnych w pobliżu otwartych okien, muszą zachować ostrożność, ponieważ przeciąg może zakłócić przebieg doświadczenia, np. spowodować, że pary i dymy znajdą się w strefie oddychania. Uczniowie nie powinni nigdy zostawać bez nadzoru nauczyciela. Wszystkie odpady powinny być zebrane zgodnie z instrukcją tak szybko, jak jest to tylko możliwe; substancje chemiczne, które rozlały/rozsypany się powinny być natychmiast uprzątnięte.

4.4. Po wykonaniu doświadczenia

Po przeprowadzeniu doświadczenia nauczyciel musi **sprawdzić**, czy sprzęt użyty do doświadczenia został wyłączony (urządzenia elektryczne, palniki etc.), krany i butle z gazem zamknięte, szkło laboratoryjne umyte, chemikalia w zamkniętych pojemnikach bezpiecznie przechowywane, chemiczne odpady odpowiednio zebrane, stoły laboratoryjne posprzątane i przetarte, a każdy z uczniów umył

ręce.

Przed wyjściem z laboratorium należy zamknąć główny zawór gazu. Szczegóły jakiegokolwiek wypadku, nawet drobnego, jak również uszkodzenia sprzętu powinny być, tak szybko jak to tylko możliwe, zgłoszone na piśmie dyrektorowi szkoły.

4.5. Doświadczenia w zmniejszonej (zredukowanej) skali

Powszechnie wiadomo, że stosowanie eksperymentów chemicznych w toku efektywnego nauczania chemii na różnych poziomach kształcenia jest rzeczą konieczną i uzasadnioną dydaktycznie. Nie powinno się nauczać chemii bez przeprowadzania doświadczeń i eksponowania praktycznej strony tego przedmiotu. Przeprowadzanie szkolnych eksperymentów chemicznych nieodłącznie wiąże się jednak z realnymi zagrożeniami oraz z problemem utylizacji mieszanin poroakcyjnych. Podczas nauczania chemii podejmuje się różnego rodzaju działania w celu podwyższenia bezpieczeństwa wykonywania eksperymentów. Jedną z możliwości jest **redukowanie skali doświadczeń i praca z małymi ilościami substancji chemicznych** (ang. - *small-scale chemistry, small-scale experiments* lub *microchemistry*).

Szkolne doświadczenia chemiczne są specyficzną odmianą eksperymentów naukowych. Mogą być one wykonywane przez nauczyciela w formie pokazu lub bezpośrednio przez uczniów, jako tzw. doświadczenia uczniowskie. Każda z wymienionych form może być przeprowadzona w zredukowanej skali.

4.5.1. Pokazy

W przypadku doświadczeń wykonywanych przez nauczyciela w formie pokazów zastosowanie techniki tzw. *małej skali* można realizować z wykorzystaniem grafoskopu.¹

Posłużenie się w wybranych przypadkach tym urządzeniem pozwala na znaczną miniaturyzację doświadczeń i minimalizację ilości zużytych odczynników. Jednocześnie zapewnia wszystkim uczniom dobrą widoczność, nawet przy minimalnym przyciemnieniu sali.

Nie wszystkie szkolne doświadczenia chemiczne można eksponować z zastosowaniem grafoskopu. Powinny one spełniać następujące wymogi:

- być przezroczyste, tzn. możliwe do obserwacji w świetle przechodzącym;
- zachodzić najlepiej w roztworach przy zastosowaniu określonych, stężeń gwarantujących przezroczystość całego układu.

Przykładowymi grupami doświadczeń, które można eksponować z zastosowaniem grafoskopu są doświadczenia związane z: dyfuzją; rozpuszczaniem substancji; roztworami (roztwory właściwe i koloidalne); wywiązywaniem gazów (kwasy + węglany, działanie sodu na wodę, reakcje metali z kwasami itp.); badaniem odczynu środowiska (wskaźniki kwasowo-zasadowe, reakcje zobojętniania i miareczkowanie, hydroliza soli); reakcjami utleniania-redukcji (utlenianie manganianem(VII) potasu, dichromianem(VI) potasu czy roztwo-

¹ Z. Kluz, M. Poźniczek, A. Patriak, M. Knap, *Doświadczenia chemiczne prezentowane za pomocą grafoskopu*, WSiP, Warszawa 1996.

rem jodu w jodku potasu); tworzeniem związków kompleksowych (kompleksy jonów miedzi(II) czy żelaza(III)); ropą naftową; reakcjami addycji; właściwościami alkoholi (odczyn rozтворów wodnych, reakcja sodu z alkoholami); wykrywaniem alkoholi wielowodorotlenowych i kwasów organicznych; właściwościami zasadowymi amin; wykrywaniem aminokwasów.

Najczęściej stosowanym wyposażeniem w prezentacjach grafoskopowych obok samego aparatu i odpowiednich odczynników są: przezroczysta folia ochronna, małe naczynia szklane z płaskim dnem, np.: szalki Petriego, małe zlewki, wkraplacze (pipetki), małe strzykawki, igły lekarskie, wężyki od kroplówek, małe bagietki szklane lub patyczki drewniane (wykałaczkki), wskaźnik laserowy.

4.5.2. Doświadczenia uczniowskie w mikroskali

W przypadku szkolnych doświadczeń wykonywanych samodzielnie przez uczniów (doświadczenia uczniowskie) przeprowadzenie ich na małą skalę wymaga zastosowania odpowiednich naczyń czy zestawów laboratoryjnych.

Doświadczenia uczniowskie wykonywane w tzw. *małej skali* mogą znacznie zwiększyć bezpieczeństwo uczniów poprzez zmniejszenie ich narażenia na chemikalia oraz produkty przemian chemicznych. Stosowanie niewielkich ilości odczynników zapewnia minimalizację odpadów oraz umożliwia utylizację tych odpadów na terenie szkoły, przyczyniając się tym samym do ochrony środowiska. Z racji

stosowania małych ilości odczynników, prostego, najczęściej plastikowego wyposażenia oraz odpowiednich przepisów większość wykonywanych w małej skali doświadczeń jest całkiem bezpieczna.

Doświadczenia chemiczne wykonywane w małej skali, obok zwiększenia bezpieczeństwa i zmniejszania zanieczyszczenia środowiska, posiadają cały szereg innych zalet istotnych z punktu widzenia edukacji szkolnej. Należą do nich m.in.: indywidualizacja doświadczeń i podwyższenie motywacji uczniów, natychmiastowość wyników, oszczędność czasu, łatwość przygotowania doświadczeń, możliwość wykonywania doświadczeń w bardzo słabo wyposażonej pracowni, a nawet w zwykłej klasie, możliwość wykonywania tych doświadczeń, które ze względu na koszt nie mogą być wykonywane w warunkach szkolnych w większej skali, wykonywanie doświadczeń niemożliwych do wykonania metodami tradycyjnymi, przełamanie konserwatyizmu w nauczaniu między innymi poprzez uzmysłowienie nauczycielom, że istotne w nauczaniu chemii na niższych poziomach kształcenia jest przeprowadzanie i obserwacja doświadczeń, a nie stosowanie „poprawnej” aparatury i „poprawnego” wyposażenia laboratoryjnego typowego przy nauczaniu chemii na poziomie uniwersyteckim, korzyści ekonomiczne - niski koszt odczynników, brak konieczności zakupu specjalistycznego szkła, użycie niedrogiego i łatwo osiągalnego sprzętu, np.: pipetek, strzykawek, wykałaczek itp., możliwość wykonania większej liczby doświadczeń podczas realizacji programu nauczania.

Niemniej jednak, nie wszystkie klasyczne szkolne doświadczenia chemiczne mogą być wykonywane w małej skali. Mini-doświadczenia muszą odpowiadać pewnym wymogom. Przede wszystkim powinny być:

- ❑ bezpieczne poprzez stosowanie odczynników obojętnych oraz takich, które w niewielkich dawkach nie są toksyczne;
- ❑ krótkotrwałe;
- ❑ powtarzalne;
- ❑ polegające na prostych operacjach jednostkowych typu rozpuszczanie, mieszanie, wkraplanie, dodawanie substancji stałej itp.;
- ❑ ograniczone do reakcji, które przebiegają bez konieczności ogrzewania płomieniem, a zachodzą w temp. do ok. 90°C (łaźnia wodna);
- ❑ zachodzące z bardzo wyraźnymi objawami, możliwe do wykonania bez stosowania rozpuszczalników organicznych rozpuszczających stosowane naczynia plastikowe.

W doświadczeniach *małej skali* najczęściej stosowanym wyposażeniem, obok odpowiednich odczynników, mogą być m.in.: odpowiednio przygotowane płytki plastikowe z małymi wgłębieniami; małe pojemniczki plastikowe, jak np. pojemniczki po śmietance do kawy oraz metalowe kapsle od butelek; małe próbówki, świeczki; pipetki z gumkami, „jednorazowe” pipetki plastikowe; małe strzykawki lub słomki do napojów (służące do pobierania małych porcji odczynników); folia aluminiowa do odparowywania roztworów; wykałaczki;

patyczki plastikowe z wacikami; łyżeczki plastikowe; małe szklane fiołki do leków z zatyczkami gumowymi; małe szczypce.

5. Zasady postępowania w przypadku zagrożenia

5.1. Plan działania na wypadek zagrożenia

Każda szkoła musi mieć plan działania w nagłych wypadkach, który powinien zawierać następujące dane:

- ❑ numery telefonów: policji, straży pożarnej, pogotowia ratunkowego, pogotowia energetycznego, gazowego i wodno-kanalizacyjnego, które powinny znajdować się na specjalnej, dobrze widocznej tablicy w sali lekcyjnej i pokoju przygotowawczym, tzw. zapleczu chemicznym;
- ❑ informację o miejscu, w którym znajduje się najbliższy, dobrze oznakowany telefon, aby móc wezwać natychmiastową pomoc;
- ❑ procedury podejmowania decyzji w nagłych wypadkach – ewakuacja, alarm pożarowy, zawiadomienie odpowiednich służb;
- ❑ informacja o sposobie kontaktowania się z osobą, dostępną w godzinach pracy, przygotowaną do udzielania pierwszej pomocy.

Dodatkowo, w formie drukowanej, zestaw zasad postępowania odnośnie:

- ❑ uruchomienia alarmu;
- ❑ użycia środków gaśniczych

lub środków neutralizujących (zależnie od sytuacji);

- ❑ ewakuacji klasy i pokoju przygotowawczego/zaplecza;
- ❑ zamykania drzwi pożarowych;
- ❑ urządzeń, które należy wyłączyć;
- ❑ miejsca, gdzie znajdują się główne urządzenia kontrolne i sposobu ich wyłączenia;
- ❑ dróg ewakuacji, których należy używać;
- ❑ miejsca, w których powinien się gromadzić personel przed budynkiem;
- ❑ osoby lub osób upoważnionych do wydawania decyzji o powrocie do budynku;
- ❑ wezwania pomocy medycznej w sytuacji zranień lub zachorowań;
- ❑ uprzątnięcia rozlanych lub rozsypanych chemikaliów;
- ❑ przekazania informacji o wypadku do Kuratorium;
- ❑ zbadania wszystkich wypadków;
- ❑ zasad postępowania na wypadek alarmu, które powinny być ćwiczone z uczniami przynajmniej raz w roku.

Choć instrukcje te mogą wydawać się przesadne, w sytuacji realnego zagrożenia mogą uratować uczniom zdrowie a nawet życie.

5.2. Zasady postępowania w przypadku powstania pożaru

W przypadku małych miejscowych pożarów, w klasie lub pokoju przygotowawczym/zapleczu, należy użyć sprzętu gaśniczego lub koców gaśniczych, które powinny być umieszczone w strategicznych punktach.

Nauczyciel powinien natychmiast użyć właściwego rodzaju sprzętu gaśniczego, aby ugasić pożar. W tym samym czasie należy uczniów ewakuować z klasy. Jeżeli zauważony pożar nie może być natychmiast opanowany, prawidłowym postępowaniem jest włączenie alarmu przez zbitcie szyby najbliższego przycisku sygnalizacji pożarowej, które powinny być rozmieszczone w pewnej odległości od siebie, wzdłuż korytarza. Wszystkie osoby należy ewakuować najkrótszą drogą. Laboratoria powinny posiadać wyjścia awaryjne.

Postępowanie w przypadku stwierdzenia pożaru, który nie może być natychmiast opanowany:

- ❑ zamknąć drzwi do pomieszczenia, gdzie zauważono pożar;
- ❑ zbić szybę najbliższego przycisku sygnalizacji pożarowej (szyba powinna być stłuczona całkowicie);
- ❑ wychodząc, zamknąć za sobą drzwi;
- ❑ gdy jesteś bezpieczny, zawiadomić straż pożarną, podając dokładne miejsce pożaru;
- ❑ ewakuować budynek i postępować jak w przypadku usłyszenia alarmu pożarowego (opis poniżej);
- ❑ zawiadomić dyrektora szkoły i przekazać szczegóły pożaru straży pożarnej, gdy ta przyjedzie na miejsce.

Dodatkowo, słysząc alarm pożarowy:

- ❑ nakazać swoim uczniom opuszczenie

budynku;

- ❑ opuścić budynek;
- ❑ nie używać windy;
- ❑ zgłosić swoją obecność w punkcie zbiórki, naprzeciwko głównego wejścia do budynku tak, aby nie przeszkadzać strażakom w akcji gaszenia pożaru;
- ❑ nie wchodzić do budynku, dopóki osoba kierująca akcją gaśniczą lub odpowiedzialna za bezpieczeństwo nie stwierdzi, że nie ma zagrożenia i można bezpiecznie wchodzić do budynku.

5.3. Zasady postępowania w przypadku rozlania / rozsypania substancji chemicznych

W szkolnym laboratorium chemicznym nauczyciel może zarządzić większości sytuacji związanych z rozsypanymi/rozlanymi substancjami. Rozsypaną/rozlaną substancję możemy zdefiniować jako: „pozostającą poza naszą kontrolą”. Doświadczenie i rozsądek są bardzo pomocne w podejmowaniu decyzji, jaki sposób postępowania należy zastosować w danej sytuacji. Jeżeli: nastąpiło rozsypanie/rozlanie substancji łatwopalnej, żrącej lub bardzo toksycznej, nawet w przypadku bardzo małych ilości; jeżeli doszło do skażenia osób lub nastąpił niekontrolowany wyciek gazu – przypadek taki musi być zgłoszony.

Nauczyciel musi pamiętać, że w przypadku rozlania/rozsypania substancji najważniejszą sprawą jest bezpieczeństwo.

W tym celu, postępując zgodnie z właściwymi przepisami, należy rozlaną/rozsypaną substancję zebrać w sposób bezpieczny i sku-

teczny.

Sposób postępowania podczas zbierania rozlanej/rozsypanej substancji powinien przebiegać według następujących etapów:

- ❑ należy zadbać o własne bezpieczeństwo, wkładając fartuch laboratoryjny, okulary ochronne i rękawice ochronne;
- ❑ należy wywietrzyć miejsce rozlania/rozsypania lub wycieku;
- ❑ należy unikać wdychania par;
- ❑ gdy substancja jest łatwopalna, należy wyłączyć źródła ciepła i usunąć źródła zapłonu;
- ❑ użyć odpowiedniego zestawu lub odpowiedniego materiału do neutralizacji lub zaabsorbowania substancji;
- ❑ szczegółowe przepisy postępowania oraz zalecane materiały neutralizujące i absorbujące, stosowane do różnych substancji, przedstawiono poniżej (5.3.1);
- ❑ zmyć skażoną powierzchnię dużą ilością wody z mydłem;
- ❑ użyty absorbent, tampony absorbujące, rękawice należy zbierać do szczelnie zamkniętego, zaopatrzonego w etykietę pojemnika;
- ❑ nie wylewać zebranych substancji do kanalizacji.

5.3.1. Szczegółowe zasady postępowania w przypadku niektórych substancji chemicznych

Rozlany **stężony kwas siarkowy(VI)** należy zneutralizować węglanem sodu, natomiast stężoną zasadę neutralizować chlorkiem

amonu. Zneutralizowaną substancję zebrać i nałożyć świeży neutralizator. Pozostałości ostrożnie zebrać, a następnie całą powierzchnię przetrzeć wilgotnym tamponem absorbującym. Powtórzyć czynność, dopóki wszystkie pozostałości nie zostaną zneutralizowane i usunięte. Odpady należy zbierać do odpowiedniego pojemnika.

Ciecz łatwopalną należy zbierać, używając absorbenta – wermikulitu, piasku, suchej ziemi, węgla aktywowanego. Wymieszać absorbent z rozlaną cieczą i zebrać dokładnie, zmiatając szczotką na szufelkę i przenieść do odpowiedniego pojemnika. Rozsypane substancje, o niskiej toksyczności, należy delikatnie zmieść na szufelkę (nie powodując powstawania pyłu) i przenieść do odpowiedniego pojemnika.

W przypadku metalicznej rtęci należy najpierw połączyć małe kropelki w większe, przy pomocy szklanej bagietki, a następnie zebrać je przy pomocy pompy ssącej. W przypadku braku pompy ssącej należy użyć pipety zaopatrzonej w gruszkę gumową – **nie wolno pipetować ustami.** Pozostałość posypać pyłem cynkowym i zwilżyć rozcieńczonym kwasem siarkowym(VI) (utworzy się amalgamat) lub posypać wielosiarczkiem wapnia z nadmiarem siarki albo samą siarką. Pozostałości zebrać i przenieść do szczelnie zamkniętego pojemnika.

W przypadku rozlania małych ilości **bromu**, należy wywietrzyć pomieszczenie, zebrać rozlany brom, używając absorbenta – wermikulitu, piasku, suchej ziemi i przenieść

do szczelnie zamkniętego pojemnika. Pozostałości zneutralizować węglanem sodu. Nie wolno wylewać zebranych substancji do kanalizacji. Zarówno przypadek rozlanej rtęci, jak i bromu należy zgłosić.

5.4. Zasady postępowania w przypadku udzielania pierwszej pomocy

W laboratorium chemicznym mamy do czynienia z różnego rodzaju zagrożeniami, do których należą: zatrucia, zranienia oraz oparzenia chemiczne i termiczne. Kontakt chemikaliów ze skórą, szczególnie jeżeli są to związki żrące, może wywołać stany zapalne, oparzenia albo różnego rodzaju wysypki.

Jeżeli dojdzie do skażenia skóry substancją chemiczną, należy spłukać skórę dużą ilością wody. W przypadku skażenia ubrania, należy je zdjąć, skórę spłukać dużą ilością wody (używając prysznica). Gdy jest to konieczne, należy wezwać pomoc medyczną.

Kontakt substancji chemicznej z okiem może uszkodzić tkankę, powodując ślepotę. Jeżeli substancja chemiczna dostanie się do oka (oczu), należy je natychmiast przemyć dużą ilością wody, przez co najmniej 15 minut, stosując natrysk do przemywania oczu. Należy zapewnić pomoc medyczną.

W przypadku zatrucia poprzez drogi oddechowe (droga inhalacyjna), gdy substancja chemiczna była wdychana, poszkodowanego należy wyprowadzić natychmiast na świeże powietrze, rozpiąć, rozluźnić odzież i zdjąć ją, jeżeli jest skażona. Gdy jest to konieczne, należy wezwać pomoc medyczną.

W przypadku, gdy substancja chemiczna zo-

stała połknięta, należy wezwać pomoc medyczną. **UWAGA: Wywoływanie wymiotów może być niebezpieczne, gdy poszkodowany nie jest całkowicie przytomny albo gdy substancja połknięta ma właściwości żrące.**

W przypadku **oparzeń termicznych** oparzoną powierzchnię należy zanurzyć i przytrzymać przez dłuższy czas w zimnej wodzie, a następnie powinno przyłożyć się jałowy opatrunek. Jeżeli powierzchnia oparzenia jest duża, należy postępować podobnie, a następnie okryć oparzoną powierzchnię czystym prześcieradłem. Na oparzenia stosować zimną wodę lub okład z lodu, nie nakładać kremów ani tłuszczu. Gdy jest to konieczne, należy wezwać pomoc medyczną.

W przypadku **oparzeń chemicznych** (kwas lub zasada), spłukać skórę zimną wodą przez co najmniej 15 minut (gdy to możliwe użyć prysznica). **Nigdy nie neutralizować silnego kwasu silną zasadą i silnej zasady silnym kwasem.** Zdjąć ubranie z poparzonej części ciała i nałożyć jałowy opatrunek. Wezwać pomoc medyczną.

Zasada, której należy przestrzegać: po wypadku należy wezwać pomoc medyczną przynajmniej kontrolnie, szczególnie, jeżeli doszło do skażenia oczu lub gdy narażenie na substancję chemiczną nastąpiło drogą oddechową albo przez kontakt ze skórą.

6. Wprowadzanie w klasie zasad BHP

6.1. Przepisy bezpieczeństwa

Aby nauczanie przepisów bezpieczeństwa dało właściwe wyniki, musi być realizowane "w kontekście". Przykłady powinny być ściśle związane z warunkami dnia codziennego lub z innymi sytuacjami, które uczniowie postrzegają jako autentyczne i ważne. Takie podejście ułatwia dyskusje na temat bezpieczeństwa chemicznego, na przykład odnośnie potencjalnego ryzyka związanego z używaniem produktów chemicznych w życiu codziennym, z efektem dawki, oddziaływaniem chemikaliów na zdrowie lub środowisko naturalne.

Omawianie przepisów bezpieczeństwa należy łączyć z takimi doświadczeniami, które wydają się być atrakcyjne i interesujące oraz demonstracją eksperymentów chemicznych, które ukazują przykłady dobrych i złych, pożądanych oraz niepożądanych efektów reakcji chemicznych (np. takimi, jak te zaprezentowane w tabeli 1). Obszerne i dokładne dyskusowanie zagadnień BHP winno być realizowane w powiązaniu z eksperymentami, które są zawarte w programie szkolnym, omijać zaś należy przepisy, które nie odnoszą się do zadań laboratoryjnych jakie wykonują uczniowie w klasie ani do życia codziennego. Każda informacja i działanie powinno być zaplanowane oraz przeprowadzane wg długoterminowej strategii, której zadaniem jest poprowadzenie zainteresowanych uczniów do zdobycia „laboratoryjnego prawa

jazdy”.

6.2. Portfolio i inne techniki

Włączenie zagadnień BHP w różnorodne działania laboratoryjne tworzy potrzebę dostarczenia uczniom właściwych, podstawowych informacji. W takim przypadku wydaje się być bardzo użytecznym i konstruktywnym tworzenie *portfolio* (zbioru) obejmującego omówienie różnorodnych aspektów bezpieczeństwa odnoszących się do substancji chemicznych i technik laboratoryjnych. Portfolio jest zbiorem materiałów zebranych, np. w segregatorze czy teczce. Powinno ono zawierać odpowiednie informacje o każdym eksperymencie prezentowanym w klasie lub wykonywanym przez uczniów samodzielnie (w laboratorium). Może być zorganizowane jako klasyczne *portfolio*, w którym informacje i materiały są zebrane (wycięte, skopiowane, przepisane) z różnych źródeł albo może przyjmować inne formy, np. zawierać słownik, który będzie stale poszerzany, aby objąć nowe terminy pojawiające się wraz z nowymi doświadczeniami wprowadzanymi do programu szkolnego. *Portfolio* może mieć także formę broszury lub folderu zrobionego indywidualnie przez każdego ucznia. W klasie mogą być również wywieszone odpowiednie plakaty, które przekazują w sposób obrazowy jednocześnie całej grupie uczniów najważniejsze informacje związane z bezpieczeństwem (np. opisują znaczenie piktogramów umieszczanych na opakowaniach odczynników chemicznych itd.). Także gotowe szkice lub zdjęcia mogą być istotną częścią wspólnie opracowanej i wynegocjowanej z klasą strategii wprowadzania zasad BHP. W każdym przypadku uczniowie powinni być zmotywowani

do traktowania swoich notatek i zbiorów w sposób twórczy tak, aby zawierały aspekty wykraczające poza chemię i zagadnienia bezpieczeństwa.

Uczniowie mogą ponadto samodzielnie projektować plakaty związane z zagadnieniami bezpieczeństwa, a nawet wymyślać komiksy. Na rysunku 1 przedstawiono najlepsze plakaty przygotowane w ramach międzynarodowego konkursu, w którym wzięli udział uczniowie z krajów uczestniczących w projekcie CHLASTS. Obrazują one nie tylko uczniowskie zdolności twórcze i wyobraźnię, ale także zasadę mówiącą, że trwałe efekty działań można osiągnąć u uczniów, gdy są oni zaangażowani w interesujące i aktywizujące działania.

6.3. Wprowadzanie zagadnień bezpieczeństwa i higieny pracy jako działania społeczno- wychowawcze

Nie poleca się prezentowania uczniom gotowych zasad bezpieczeństwa jako obowiązujących przepisów narzuconych przez czynniki wyższe (np. do bezmyślnego przepisania do zeszytu). Należy opracować odpowiednią strategię informacyjną, która przyniosłaby oczekiwane skutki. Uczenie się jest zawsze bardziej efektywne (przynosi lepsze wyniki), jeśli odbywa się w przyjacielskiej i partnerskiej atmosferze. Obszerne przepisy, które nie były negocjowane z uczniami i przez nich zaaprobowane nie zapewniają pożądanych zmian w postawach i zachowaniach.

Z perspektywy konstruktywistycznej wydaje się być istotnym nie tylko wyjaśnianie „co” jest ważne, ale „dlaczego”. Konkretnie przepisy

obowiązują (są narzucane) jako niezbędne środki bezpieczeństwa. W tym zadaniu pomocne może okazać się zaproszenie ekspertów (np. ze straży pożarnej lub służby zdrowia, ewentualnie Sanepidu), aby podzielili się swoją wiedzą i doświadczeniem z uczniami. Inną ważną metodą postępowania, pomagającą przekazać troskę o zachowanie zasad bezpieczeństwa, jest zastosowanie metody ról lub innej metody symulacyjnej. Symulacje mogą być także stosowane, aby pomóc uczniom szybko i prawidłowo rozpoznać charakterystyczne dla danych substancji zasady zachowania, zwroty R i S. Przykładem jest symulacja, która przedstawia ratowanie osoby, grającej rolę poszkodowanego w wypadku w laboratorium chemicznym, w którym zostało zanieczyszczone miejsce pracy (np. rozlane, rozsypane odczynniki itd.).

6.3. Spotkania z ciekawą chemią

Doświadczenia chemiczne są tym elementem, który szczególnie przyciąga uwagę każdego - nie tylko uczniów, ale i dorosłych. Wspaniale więc nadają się do promocji tej dziedziny nauki w społeczeństwie. Trzeba jednak zauważyć, że w przypadku wykonywania eksperymentów chemicznych poza normalnym tokiem nauki: czy to w postaci zajęć koła zainteresowań, czy w trakcie różnego rodzaju pokazów, np. dla uczniów niższego szczebla edukacji, czy dla społeczności lokalnej w ramach tzw. Dni Otwartych Szkoły, występuje bardzo specyficzna sytuacja. W obu przypadkach nauczyciel stara się proponować doświadczenia efektowne, rzadko wykonywane, zaskakujące, przy uży-

ciu większych niż normalnie objętości reagujących substancji.



Rysunek 1. Przykłady najlepszych plakatów, które zwyciężyły w konkursie CHLASTS.

Wszystkie te czynniki w znaczący sposób zwiększają ryzyko wypadku. Także uśpiona czasami czujność nauczyciela na zajęciach kółka chemicznego, gdy ma do czynienia z mniejszą niż zwykle liczbą uczniów, przy jednocześnie wyższym poziomie wiedzy i umiejętności, przyczynić się może do zwiększenia zagrożenia. Nie jest wyjątkiem zwiększona niesubordynacja uczestników zajęć, związana ze swoście pojmowaną „ciekawością świata”. Szczególnie zainteresowana chemią młodzież samodzielnie próbuje modyfikować otrzymane od prowadzącego instrukcje do doświadczeń, znacznie częściej niż czyni to ogół klasy, co wymaga wytężonej i stale napiętej uwagi ze strony nauczyciela. Bywa, że wśród uczestników zajęć pozalekcyjnych wytwarza się swoista moda, która może pociągać za sobą niebezpieczne skutki. Można usłyszeć wypowiedzi typu: „A nam to wolno wchodzić samym na zaplecze”, „My pracujemy z substancjami niebezpiecznymi”, „Doświadczony chemik utrzyma w dłoni szkło o temperaturze 70°C” itd. Zadaniem prowadzącego zajęcia jest ograniczanie tego typu zachowań przy jednoczesnym tworzeniu właściwej kultury laboratoryjnej w trosce o zdrowie własne i innych tak, by uczniowie nie wstydzili się zakładać nietwarzowych okularów ochronnych, zapinali fartuchy, mimo że zasłaniają one strój, nad doborem którego spędzili w domu godzinę przed wyjściem do szkoły i by do głowy im nie przyszło wylanie do zlewu związków ołowiu, a czyszcząc w domu zatłuszczoną patelnię, nie poddali się sile reklamy i zamiast od razu polać ją dużą ilością detergentu, najpierw wytarli ją papierowym ręcznikiem.

„Journal of Chemical Education”¹ opublikował parę lat temu artykuł opisujący najbardziej niebezpieczne szkolne eksperymenty chemiczne, które jednocześnie należą do najczęściej wykonywanych w czasie tzw. spotkań z ciekawą chemią lub innych tego typu przedsięwzięć. Należą do nich:

- ❑ reakcja KMnO_4 ze stężonym H_2SO_4 (wulkan manganianowy, burza w kieliszku);
- ❑ reakcja H_2O_2 z acetonem;
- ❑ spalanie sproszkowanego glinu w ciekłym tlenie;
- ❑ zimne ognie przygotowywane w mieszaninie CCl_4 i CS_2 .

Autor cytowanego opracowania sugeruje zaniechanie ich stosowania.

Ponadto szczególną ostrożność należy zachować przy pokazie doświadczeń, takich jak:

- ❑ fontanna chemiczna (amoniakalna lub chlorowodorowa);
- ❑ reakcja metali alkalicznych z wodą, podpalanie wytwarzającego się wodoru;
- ❑ reakcja cynku z $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ lub AlCl_3 ;
- ❑ pokazy z gazami kriogenicznymi;
- ❑ reakcja Fe_2O_3 z Al (tworzenie termitu);
- ❑ rozkład NI_3 ;
- ❑ spalanie magnezu i innych metali;
- ❑ reakcje z udziałem chloranów(V);
- ❑ reakcja magnezu lub żelaza z kwiatem siarczanym;
- ❑ fosfor przechowywany w CS_2 .

Opisy kilku przykładów ciekawych doświadczeń, w których nacisk położony został na niezbędne zasady bezpieczeństwa, zawarte zostały w załączniku 8. Zadaniem każdego nauczyciela chemii jest dbanie o to, by wizerunek chemika w dziurawym, rozwianym (!?) fartuchu, z osmoloną wybuchem twarzą i zawsze poplamionymi dłońmi zaczął powoli zanikać w świadomości społecznej. Niech chemik będzie postrzegany (za przykładem nauczyciela i jego uczniów) jako osoba szczególnie dbająca o bezpieczeństwo, zdrowie swoje i innych oraz stan środowiska naturalnego.

¹ G. M. Bodner, *Lecture Demonstration Accidents from Which We Can Learn*, „J. Chem. Educ.”, vol. 62, no 12, 1985, s. 1105-1107.

Tabela 1. Przykłady doświadczeń oraz zagrożenia związane z ich wykonywaniem

Zagadnienie	Zagrożenie	Pokaz
Palący się metal	Palących się metali nie wolno gasić wodą	Nasyp garść magnezu na płytkę ceramiczną. Pokaz wykonuj na zewnątrz, z dala od budynku. Włóż iskrownik do magnezu i zapal go. Gdy magnez zapali się płomieniem, rozpyl/nalej na niego wodę za pomocą tryskawki z dużej odległości. Zobaczysz, że płomień, zamiast gasnąć stanie się bardziej intensywny.
Stężone kwasy i zasady	Stężone kwasy i zasady denaturują (niszczą) białko m.in. ludzkiej skóry	Umieść kilka kropli stężonego kwasu solnego lub stężonej zasady sodowej w probówce zawierającej mleko. Zobaczysz, że pod wpływem kwasu białko zawarte w mleko koaguluje, a pod wpływem zasady ulega hydrolizie. Zawartość obu próbek po reakcji wygląda raczej niesmacznie.
Kwas azotowy(V)	Kwas azotowy(V) wykazuje działanie żrące na skórę, wywołując na niej brązowe plamy	Dodaj kilka kropel kwasu azotowego(V) do próbki zawierającej mleko. Zobaczysz jak po pewnym czasie skoagulowane białko przyjmuje barwę pomarańczowo-brązową. Przyczyną tego jest nitrowanie aromatycznych aminokwasów występujących w mleku.
Woda i stężony kwas	Wlewanie wody do kwasu (zwłaszcza siarkowego(VI)) prowadzi do rozpryskiwania i kipienia	Wlej 20 cm ³ kwasu siarkowego(VI) do kolby okrągłodennej o pojemności 500 cm ³ . Kolbę zaopatrz w odprowadzenie wyrównujące ciśnienie. Dodaj szybko 20 cm ³ wody. Zobaczysz, jak mieszanina kipi i rozpryskuje.
	Wlewanie kwasu do wody (zwłaszcza siarkowego(VI)) powoduje znaczne ogrzanie się mieszaniny	Małą zlewkę z cienkiego polistyrenu zawierającą 20 cm ³ wody wstaw do szklanej zlewki o pojemności 1 dm ³ . Szybko dodaj 20 cm ³ stężonego kwasu siarkowego (VI). Roztwór stanie się tak gorący, że zlewka z polistyrenu stopi się i roztwór wyleje się do szklanej zlewki.
Kwas siarkowy(VI)	Stężony kwas siarkowy(VI) odciąga wodę	Dodaj parę kropel stężonego kwasu siarkowego(VI) do próbki zawierającej cukier. Kwas rozkłada sacharozę, pochłaniając wodę. Cukier staje się czarny w wyniku powstawania węgla pierwiastkowego.
	Kwas siarkowy(VI) niszczy ubrania	Nalej parę kropel stężonego kwasu siarkowego(VI) na kłębek waty albo na kawałek bawełnianej szmatki. Zobaczysz, jak kwas rozkłada bawełnę.

Załączniki (patrz folder „załączniki”)

Załącznik 1. Regulamin pracowni chemicznej.

Załącznik 2. Zasady dobrej praktyki laboratoryjnej podczas wykonywania podstawowych czynności w laboratorium chemicznym.

Załącznik 3. Wskazówki dla nauczycieli przygotowujących doświadczenia chemiczne.

Załącznik 4. Wykaz niekompatybilnych substancji chemicznych.

Załącznik 5. Zwroty zagrożenia „R” i zwroty bezpieczeństwa „S”. Symbole zagrożenia.

Załącznik 6. Wykaz odczynników używanych w szkołach wraz z symbolami zagrożenia i zwrotami R i S.

Załącznik 7. Protokół kontroli warunków bezpieczeństwa w laboratorium.

Załącznik 8. Magiczne doświadczenia.

Załącznik 9. Spis aktów prawnych mających zastosowanie przy prowadzeniu zajęć laboratoryjnych.