

UNIVERZITA KARLOVA

Farmaceutická fakulta v Hradci Králové

Katedra biofyziky a fyzikální chemie



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kationické povrchově aktivní látky a hodnocení jejich vlastností

Cationic surface active compounds and evaluation of its properties

Vedoucí diplomové práce: doc. PharmDr. Veronika Nováková, Ph.D.

Konzultant: PharmDr. Jan Marek, Ph.D.

Hradec Králové, 2018

Kateřina Pekařová

„Prohlašuji, že tato práce je mým původním autorským dílem. Veškerá literatura a další zdroje, z nichž jsem při zpracování čerpala, jsou uvedeny v seznamu použité literatury a v práci řádně citovány. Dále prohlašuji, že tato práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.“

Hradec Králové, 2018

Kateřina Pekařová

Ráda bych touto cestou poděkovala panu PharmDr. Janu Markovi, Ph.D. za úvod do problematiky, pomoc při experimentální části, při zpracování výsledků a při zhotovování samotné práce a paní doc. PharmDr. Veronice Novákové, Ph.D. za její trpělivost, cenné rady a vedení diplomové práce.

Dále bych chtěla poděkovat Katedře toxikologie Fakulty vojenského zdravotnictví Univerzity obrany za poskytnutí prostor a vybavení pro vypracování mé diplomové práce.

Na závěr bych chtěla poděkovat rodičům a přátelům za podporu během celého studia.

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	6
1. ABSTRAKT	7
2. ABSTRACT.....	8
3. ÚVOD.....	9
4. CÍL PRÁCE	10
5. TEORETICKÁ ČÁST	11
5.1. Kontaminace	11
5.1.1. Vnější a vnitřní kontaminace.....	11
5.1.2. Nebezpečné chemické látky (NCHL).....	12
5.1.3. Radioaktivní látky (RaL).....	14
5.1.4. Biologická agens a toxiny	16
5.2. Dekontaminace.....	20
5.2.1. Principy a metody dekontaminace	21
5.2.2. Dekontaminace v ochraně vojsk.....	22
5.2.3. Dekontaminace osob	23
5.2.4. Detoxikace.....	24
5.2.5. Dezaktivace	28
5.2.6. Dezinfekce.....	31
6. Experimentální část.....	33
6.1. Měření kritické micelární koncentrace (CMC).....	33
6.1.1. Princip stanovení CMC	33
6.1.2. Přístrojové vybavení.....	33
6.1.3. Použité chemikálie	34
6.1.4. Postup měření CMC	34
6.1.5. Výpočet CMC.....	35
6.2. Měření kinetiky micelárně katalyzovaných hydrolyz	36
6.2.1. Použité chemikálie	36

6.2.2.	Podmínky měření	36
6.2.3.	Postup měření	36
6.2.4.	Rychlostní konstanty	37
6.3.	Výsledky	38
6.3.1.	Hodnoty CMC	38
6.3.2.	Kinetika micelárně katalyzovaných hydrolyz	38
7.	Diskuse a komentář	42
7.1.1.	Zpracování dat	42
7.1.2.	Zhodnocení kritické micelární koncentrace	42
7.1.3.	Zhodnocení hydrolytické účinnosti	42
8.	Závěr	46
9.	Literatura	47

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

- AČR – armáda České republiky
- B-agens – biologická agens
- BOL – bojové otravné látky
- CBRNE – chemické, biologické, radiologické, nukleární a explozivní látky
- CDC – centrum pro kontrolu a prevenci nemocí
- CMC – kritická micelární koncentrace
- GHS – globální harmonizovaný systém klasifikace a označování chemických látek
- IPB – 80 – individuální protichemický balíček 80
- NCHL – nebezpečné chemické látky
- PAL – povrchově aktivní látky
- RaL – radioaktivní látky
- SDO – souprava pro dekontaminaci osob
- SEZ – stará environmentální zátěž
- WHO – světová zdravotnická organizace

1. ABSTRAKT

Univerzita Karlova

Farmaceutická fakulta v Hradci Králové

Katedra biofyziky a fyzikální chemie

Konzultant: PharmDr. Jan Marek, Ph.D.

Vedoucí: doc. PharmDr. Veronika Nováková, Ph.D.

Student: Kateřina Pekařová

Název diplomové práce: Kationické povrchově aktivní látky a hodnocení jejich vlastností

Kvartérní amoniové soli se jako povrchově aktivní látky používají v mnoha odvětvích potravinářského, farmaceutického či chemického průmyslu. V rámci diplomové práce byly studovány základní vlastnosti těchto látek. Byla měřena kritická micelární koncentrace homologické řady pěti látek pomocí konduktometrické metody. Byla ověřena teorie klesající kritické micelární koncentrace s rostoucí délkou postranního alkylového řetězce.

Dále byla studována hydrolytická účinnost dvou běžně používaných kationických tenzidů benzalkonium chloridu a benzoxonium chloridu pro rozklad organofosforového pesticidu fenitrothionu. Pro tyto dvě látky byl zhodnocen vliv pH prostředí a změny teploty. Dále byl sledován i vliv koncentrace tenzidu. Jako nejúčinnější hydrolytický katalyzátor pro rozklad (dekontaminaci) organofosforového pesticidu fenitrothionu se jevil benzoxonium chlorid při teplotě 50 °C a pH 11.

2. ABSTRACT

Charles University

Faculty of Pharmacy in Hradec Králové

Department of Biophysics and Physical Chemistry

Consultant: PharmDr. Jan Marek, Ph.D.

Supervisor: doc. PharmDr. Veronika Nováková, Ph.D.

Student: Kateřina Pekařová

Title of Thesis: Cationic surface active compounds and evaluation of its properties

Quaternary ammonium salts are used as surfactants in many branches of the food, pharmaceutical and chemical industries. The basic properties of these substances were studied in the thesis. The critical micellar concentration of the homologous series of five substances was determined using the conductometric method. The theory of declining critical micellar concentration with the increasing length of the side alkyl chain has been verified.

The hydrolytic activity of two commonly used cationic surfactants benzalconium chloride and benzoxonium chloride for the decomposition of the organophosphorus pesticide fenitrothion was tested. For these two substances, the effect of pH and temperature changes was evaluated. The influence of tenside concentration was also monitored. Benzoxonium chloride at 50 °C and pH 11 was found as the most effective hydrolytic catalyst for the decomposition of the organophosphorus pesticide fenitrothione.

3. ÚVOD

Povrchově aktivní látky (PAL), neboli surfaktanty (z anglického surface active agents) či tenzidy, jsou látky snižující mezifázové napětí. Být povrchově aktivní molekulou vyžaduje mít dvě vzájemně nerozpustné části. Jsou to tedy amfifilní molekuly, které mají hydrofilní polární část kombinovanou s hydrofobním alkylovým řetězcem.¹

Obecně jsou PAL klasifikovány podle jejich polární části molekuly – neionické (neutrální), kationické (kladně nabitě), anionické (záporně nabitě) nebo amfoterní.² Jako amfoterní jsou klasifikovány pouze, pokud se jejich náboj mění v závislosti na koncentraci H^+/OH^- iontů. Tedy pozitivní v kyselém prostředí, negativní v bazickém prostředí, či tzv. Zwitteriony (isoelektrické) při střední hodnotě pH.³

Specifická struktura PAL jim dává neobvyklé fyzikálně – chemické vlastnosti. Mají tendenci adsorbovat se na rozhraní fází, s hydrofilní skupinou orientovanou na jednu stranu a hydrofobní na druhou stranu.⁴

První důležitou rozlišující schopností u PAL je schopnost snížit povrchové napětí na rozhraní kapalina – vzduch, nebo mezifázové napětí mezi dvěma nemísitelnými kapalinami, což je vlastnost umožňující PAL fungovat jako emulgátory. Amfifilní povaha mnoha emulgátorů PAL může být vyjádřena jako empirické měřítko HLB (hydrofilně – lipofilní rovnováha).⁵

Další důležitou vlastností PAL je to, že nad určitou specifickou nízkou koncentrací, která závisí na molekulové hmotnosti a tvaru hydrofobní části, molekuly spontánně samovolně agregují a tvoří tzv. micely. Koncentrace, při které jsou tyto micely formovány je nazývána jako kritická micelární koncentrace (CMC).⁶ Vyšší koncentrace PAL může také způsobit spojení a vytvoření mezomorfní fáze, jako je stav mezi kapalinou a krystaly, nazývaný lyotropní tekuté krystaly.⁷

4. CÍL PRÁCE

V teoretické části diplomové práce bylo cílem shrnout základní informace o hrozbách kontaminace jak v civilním, tak vojenském sektoru. Byla snaha sumarizovat a přehledně rozdělit základní kontaminanty a následně možnosti jejich dekontaminace.

Hlavním cílem experimentální části bylo u povrchově aktivních látek na bázi kvarterních amoniových solí změřit jejich základní charakteristiku – kritickou micelární koncentraci. Dále u několika známějších látek otestovat schopnost micelární katalýzy, tedy tvorby mikroprostředí, v němž může docházet k urychlení rozkladných reakcí (princip dekontaminace). Cílem bylo rovněž optimalizovat podmínky těchto rozkladných reakcí jako je pH či teplota.

5. TEORETICKÁ ČÁST

Starým environmentálním zátěžím (SEZ) se věnuje velká pozornost nejen v České republice, ale i po celém světě. Jedná se především o znečištění, která vznikala v době, kdy se příliš nesledovaly negativní vlivy výstupů provozů, a která v průběhu let nepodlehla přeměně na neškodné látky.⁸ Potřeba odstraňování SEZ vedla k výzkumu a rozvoji sanačních technologií, což je soubor konkrétních zásahů, opatření, popřípadě zařízení k odstraňování kontaminantů. Jedná se o stále se rozvíjející obor, jelikož tato problematika je mnohdy ekonomicky náročná a přístupy k odstraňování některých složek kontaminantů stále nejsou efektivně dopracované.⁹

5.1. Kontaminace

Kontaminace je znečištění životního prostředí jednou nebo více látkami závadnými pro životní prostředí. Kontaminant neboli polutant, je látka nebo užší skupina chemicky příbuzných látek závadných pro životní prostředí.⁹

Za nebezpečné látky z hlediska kontaminace lze považovat nebezpečné látky chemické, radioaktivní či biologické (toxiny a biologická agens). Často se můžeme setkat s označením CBRNE látky, což je zkratka označující látky chemické, biologické, radiologické, nukleární a explozivní.¹⁰

5.1.1. Vnější a vnitřní kontaminace

Vnitřní kontaminace je stav, kdy dochází k proniknutí kontaminantu do lidského těla, nebo do vnitřních vrstev materiálu. Stupeň proniknutí závisí na povrchu materiálu, rozpustnosti kontaminantu a na vlastnostech mikroorganismů nebo toxinů v případě biologických látek. Stupeň proniknutí dále závisí na poréznosti materiálu. Sklo, kovy a další neporézní materiály bývají kontaminovány pouze na povrchu, zatímco do porézních, jako je dřevo, pokožka apod., pronikají rychle. O něco pomaleji pronikají do ochranných nátěrů a pryží.¹¹

Opačnou situací je kontaminace vnější, tedy kontaminace povrchu těla a předmětů, jež za určitých okolností může přejít na kontaminaci vnitřní. V případě kontaminace nechráněného povrchu těla a materiálů, které mohou být v kontaktu s lidmi je nutná velmi rychlá a důkladná dekontaminace.¹² I u ostatních materiálů je důležité vykonat dekontaminaci co nejrychleji, aby se zabránilo vzniku druhotné kontaminace, ale není to tak naléhavé.¹¹

5.1.2. Nebezpečné chemické látky (NCHL)

Mezi nejvýznamnější kontaminanty patří nebezpečné chemické látky, které mohou být přítomny v plynném, kapalném i pevném skupenství. Tyto látky mohou být zdraví škodlivé až smrtelné již ve velmi nízkých koncentracích a svou toxicitu si často uchovávají po velmi dlouhou dobu.¹³

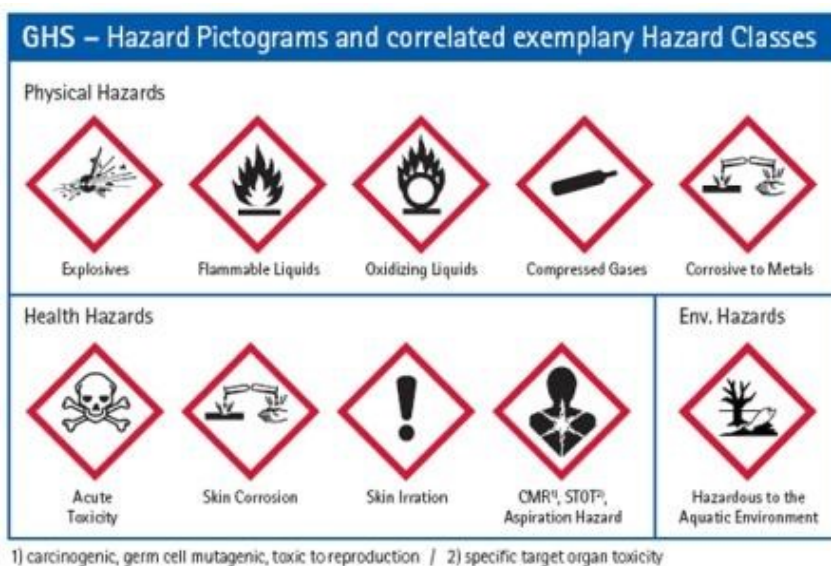
Vstupují do lidského těla inhalací, požitím nebo dermální absorpcí a mohou mít účinek lokální na specifické orgány (např. plíce, žaludeční systém nebo kůži) nebo mají systémový účinek v důsledku absorpce, cirkulace v krvi a distribuce do těla. Systémové účinky mohou zahrnovat poškození jater, ledvin, nervového systému, krve, kardiovaskulárního systému, imunitního systému nebo reprodukčního systému. Některé látky mohou také způsobit karcinogenní (způsobit rakovinu), teratogenní (způsobují porodní fyzické vady) nebo mutagenní účinky (ovlivňují DNA).¹⁴

Chemické nouzové situace mohou vzniknout v důsledku chemických havárií, lidských chyb, přírodních katastrof, sabotážních činů nebo ve formě chemických látek, které se záměrně uvolňují do ovzduší.¹⁵ Látky mohou unikát ve formě par, aerosolových částic, mlhy, dýmu, kapek, nebo v případě velkého množství ve formě kapaliny či pevné látky. Největší nebezpečí se pak týká obyvatel žijících v blízkosti havárie a všech jednotek, které se podílejí na likvidaci havárie a provádějí sanační práce.¹⁶

Nebezpečnost chemických látek lze klasifikovat pomocí kritérií, která jsou založena na fyzikálních, chemických a ekotoxikologických vlastnostech.¹⁷ Pro jednotnost byl vyvinut globálně harmonizovaný systém klasifikace a označování chemických látek (GHS), jež zahrnuje materiálové bezpečnostní listy, srozumitelné symboly (Obrázek 1. Výstražné symboly nebezpečnosti dle GHS), jež by mohly být využity pro výrobu, přepravu, použití a likvidaci chemických látek. Chemické látky se dle tohoto systému dělí na látky:¹⁸

- Výbušné – látky, jež mohou exotermně reagovat i bez přístupu vzdušného kyslíku za rychlého uvolnění plynů, a které mohou v částečně uzavřeném prostoru za definovaných podmínek shořet, detonovat či při zahřátí vybuchnout,
- Oxidující – látky vyvolávající exotermní reakci při kontaktu s jinými, zejména hořlavými látkami,
- Extrémně hořlavé – plynné látky, jež jsou hořlavé při kontaktu se vzduchem při pokojové teplotě a tlaku

- Kapaln e látky s extrémně nízkým bodem vzplanutí a nízkým bodem varu
- Vysoce hořlavé – látky, jeř m aj ı schopnost se samovoln e zahřát, a nakonec se vzn ıt ıt v kontaktu se vzduchem pí pokojové teplotě bez dod anı energie
 - Pevn e látky, jeř se mohou snadno vzn ıt ıt po krátkém kontaktu se zdrojem zapálení a pokračují v hoření nebo vyhoří po odstranění zdroje
 - Kapaln e látky, jeř m aj ı velmi nízký bod vzplanutí
 - Látky a p ıpravky, jeř v kontaktu s vodou nebo vlhkým vzduchem uvoln uj ı vysoce hořlavé plyny v nebezpečných mnořstv ıch
- Hořlavé – kapaln e látky s nízkým bodem vzplanutí
- Vysoce toxické – látky, jeř pí pořit ı, vdechnutí nebo pí p ırniku k uř ı zp ısobuj ı smrt nebo akutní í chronické pořkozen ı zdraví jí ve velmi malých mnořstv ıch
- Toxické – látky, jeř pí pořit ı, vdechnutí nebo pí p ırniku k uř ı v malých mnořstv ıch zp ısobuj ı smrt nebo akutní í chronické pořkozen ı zdraví
- Zdraví řkodliv e – látky, jeř pí pořit ı, vdechnutí nebo pí p ırniku k uř ı mohou zp ısobit smrt nebo akutní í chronické pořkozen ı zdraví
- řırav e – látky, jeř mohou zničit řiv e tkáně pí vzájemném kontaktu
- Dr ařdiv e – látky, jeř mohou pí okamřit em, dlouhodobém nebo opakovaném styku s k uř ı nebo sliznicí zp ısobit zánět a nem aj ı řırav e  ıinky
- Senzibilizující – látky schopné pí kontaktu s k uř ı, pí vdechnutí nebo pořit ı vyvolat p ıecitliv elost, která se projeví pí dalř ı expozici dan e látce jako charakteristické nep ıřzniv e  ıinky
- Karcinogenní – látky, jeř pí vdechnutí, pořit ı í p ırniku k uř ı mohou vyvolat rakovinu nebo zvyř ıt jeř výskyt
- Mutagenní – látky, jeř pí vdechnutí, pořit ı í p ırniku k uř ı mohou vyvolat d ed ıcn e genetické pořkozen ı nebo zvyř ıt jeho výskyt
- Toxické pro reprodukci – látky, jeř pí vdechnutí, pořit ı í p ırniku k uř ı mohou vyvolat nebo zvyř ıt výskyt ned ed ıcn ych nep ıřzniv ych  ıink u pro potomky nebo zhorřen ı řensk ych í muřsk ych reprodukčních schopností a funkcí
- Nebezpečné pro řivotní p ıstřed ı – látky, jeř v řivotn ım p ıstřed ı p ıedstavuj ı nebo mohou p ıedstavovat okamřit e í pozd ejř ı nebezpe  ı.¹⁹



Obrázek 1. Výstražné symboly nebezpečnosti dle GHS ²⁰

Do této skupiny látek patří i bojové otravné látky (BOL), což jsou látky, které v krátkém čase a při dané koncentraci způsobují smrt nebo těžké poškození organismu. Mezi významné BOL se řadí zpuchýřující látky (BOL typu yperit) a nervově paralytické látky, zejména *N*, *N*-dialkylaminoalkyl, alkylthiofosfonáty (BOL typu V) a *O*-alkylfluorofosfonáty (BOL typu sarin).²¹

5.1.3. Radioaktivní látky (RaL)

Dalším typem kontaminantů bývají radioaktivní látky, které obsahují radionuklidy samovolně se přeměňující, případně rozpadající za uvolnění tepla či záření.²²

Hlavními zdroji radioaktivní kontaminace bývají výbuchy jaderných zbraní, uranové a thoriové doly, sklady radioaktivních obalů, jaderná energetická zařízení, především jaderné reaktory, závody na výrobu jaderných paliv a zpracování využitého jaderného paliva. Tyto zdroje produkují následující skupiny kontaminantů: štěpné produkty, jaderná paliva, cis uranové prvky, indukovanou radioaktivitu, a další kontaminanty.²³

Radioaktivní materiály jsou široce používány v lékařství, průmyslu, zemědělství a výzkumu. Neuzavřené zdroje radionuklidů mohou být snadno rozptýleny a mohou být nesprávně přijaty do těla. Radioaktivní kontaminace se skládá téměř vždy z radionuklidů, které emitují vysokofrekvenční záření alfa, beta a/nebo fotonové gama záření. Mají širokou škálu schopností penetrace přes tkáň.²⁴

Alfa částice jsou kladně nabitě částice emitované z jádra atomu. Sestávají ze dvou protonů a dvou neutronů. Kvůli jejich silnému pozitivnímu náboji a velké hmotnosti nemohou proniknout hluboko do materiálu. Vdechování radioaktivního prachu je vážným rizikem, jelikož částice mohou zůstat v plicích po dlouhou dobu a jsou v úzkém kontaktu se živými buňkami. Požití může způsobit vážné ohrožení, ale doba pobytu v těle je obvykle kratší.²⁵

Beta záření je tvořené elektrony, jež jsou emitovány z jádra při samovolné přeměně jaderného neutronu na proton, elektron a antineutrino. Ve většině případů má nižší energii než záření alfa.²⁶ Beta částice jsou schopny proniknout několik centimetrů do tkáně.²⁴

Vysokofrekvenční paprsky gama záření jsou nečásticové formy záření, které mají vysokou penetrační sílu. Mohou proniknout do kůže, papíru a tenkých kovů a mohou být stíněny pouze značnou tloušťkou olova, betonem nebo ocelí. Gama záření bývá doprovázeno alfa nebo beta částicemi.²⁷ Pokud je tedy pracovník, osoba nebo jakékoliv místo kontaminováno jakýmkoliv izotopem, metoda dekontaminace, která se má použít, závisí na poloze, druhu izotopu, poločase, způsobu záření a formě kontaminace.²⁴

5.1.3.1. *Veličiny charakterizující zdroje záření*

Poločas radioaktivní přeměny T vyjadřuje dobu, za kterou se počet atomů sníží na polovinu původní hodnoty. Udává se v sekundách (s) nebo jiné časové jednotce. Čím je poločas přeměny delší, tím pomaleji se radionuklid rozpadá.²⁸

Aktivita vyjadřuje počet radioaktivních přeměn za jednotku času. Značí se písmenem *a*, jednotkou je becquerel (Bq). Aktivita radionuklidu klesá s časem.²⁹ Stupeň kontaminace povrchů se pak udává v plošné aktivitě, což je aktivita vztažená na jednotku povrchu ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$). V případě kapalin či plynů se vyjadřuje jako objemová aktivita ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$).³⁰

Jednoznačnou charakteristikou radionuklidu je **energie kvant či částic**, jež jsou daným radionuklidem emitovány. Vlastnosti emitovaného záření, jako je dolet částic, působení záření na člověka či počet vytvářených iontů v dané látce, jsou výrazně ovlivněny energií. Jednotkou je joule (J), v případě jaderné nebo atomové fyziky elektronvolt (eV), přičemž platí, že $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.²⁹

5.1.4. Biologická agens a toxiny

Méně častým druhem kontaminace je kontaminace biologickými látkami. Pod pojmem toxiny si můžeme představit jedovaté látky produkované živými organismy či buňkami. Biologická agens (B-agens) se vyskytují ve formě mikroorganismů, spor, což jsou jejich klidová stádia, dále ve formě geneticky modifikovaných mikroorganismů, buněčných kultur a endoparazitů.³¹

Biologické látky mohou u lidí a zvířat vyvolat infekční onemocnění, která se projeví až po uplynutí latentní doby. Během této doby se mohou mikroorganismy dále přenášet.³² Nákazy se mohou šířit prostřednictvím aerosolu, jako například kapénková infekce, nebo pomocí kontaminovaných přenašečů jako jsou hlodavci a hmyz. Některé druhy biologických látek jsou stále i několik let.³³

5.1.4.1. Vojensky významná B-agens

Biologické zbraně obsahující B-agens jsou významným druhem zbraní hromadného ničení. Tento význam se ještě zvýšil s přítomností modifikovaných agens. Jedná se o velmi heterogenní skupinu, což má za následek jejich obtížnou detekci a řadí se tak mezi velmi problémovou skupinu zbraní hromadného ničení.³⁴

5.1.4.1.1. Mikrobiální B-agens

Jednou z hlavních charakteristik, jež rozhoduje o nebezpečnosti patogenu, a tím i možnosti využití jako B-agens je **infekční dávka**. Tato infekční dávka je definována jako množství patogenu, které je schopné způsobit onemocnění. Další vlastností, jež má zásadní vliv je **patogenita**, vyjadřující infekčnost daného patogenu. Čím nižší je hodnota infekční dávky, tím vyšší je patogenita. Poslední charakteristikou je **inkubační interval**, což je doba od kontaktu cílového objektu do projevení prvních klinických příznaků.³⁵

Mikrobiální agens lze podle jejich charakteru rozdělit na rickettsie, bakterie, viry a houby, z nichž nejvýznamnějšími biologickými zbraněmi jsou některé druhy bakterií.³⁶

Bakterie

Bakterie jsou malé mikroskopické jednobuněčné organismy, jež mohou přežít i v extrémních podmínkách. Jejich struktura je jednodušší než u jiných organismů, jelikož nemají jádro ani membránou vázané organely. Některé bakterie mohou vlastnit drobnou molekulu DNA kruhovitého tvaru, označovanou jako plazmid, která může bakterii

poskytnout určitou výhodu oproti jiným bakteriím. Například může obsahovat gen, který jí zajišťuje rezistenci na určité látky.³⁷ Některé bakterie mohou tvořit endospory, což jsou spící struktury, které jsou extrémně odolné vůči nepřátelským fyzikálním a chemickým podmínkám, jako je teplo, UV záření a dezinfekční prostředky. Jejich zničení je proto velmi obtížné. Mnoho z bakterií, které produkují endospory jsou závažnými patogeny.³⁸

Mezi nejvýznamnější bakterie využívané jako biologické zbraně se řadí *Yersinia pestis*, *Francisella tularensis*, *Bacillus anthracis* a *Coxiella burnetii*.³⁹ Bakterie *Yersinia pestis* způsobuje morovou nemoc, jež se vyskytuje ve třech klinických variantách onemocnění: septický, pneumonický a bubonický mor (Obrázek 2).⁴⁰ Mor se obvykle přenáší z hlodavců na člověka prostřednictvím kousnutí krysí blechy, nicméně plicní forma se přenáší i z člověka na člověka. Šíří se celosvětově, avšak častěji je hlášen v rozvojových zemích. Mor je považován za nejstarší biologickou zbraň, jehož použití je datováno do doby před naším letopočtem.⁴¹



Obrázek 2. Mor⁴²

Francisella tularensis je gramnegativní bakterie způsobující tularémii (Obrázek 3). Infekce se může do těla dostat různými vstupními místy, včetně inhalace, přímým kontaktem s nepoškozenou pokožkou nebo sliznicemi, požitím nebo skusem klíštěte nebo mouchy. Existují čtyři rozpoznávané poddruhy, přičemž *F. tularensis* typu A způsobuje nejtěžší onemocnění. Kromě rozdílů v závažnosti onemocnění spojených s každým podtypem mohou existovat také rozdíly v citlivosti na antibiotika.⁴³



Obrázek 3. Tularémie⁴⁴

Antrax, jež je způsoben bakterií *Bacillus anthracis* se vyskytuje ve 3 klinických formách a to gastrointestinální, inhalační a kožní. Nejvíce smrtící formou je inhalační antrax. Kmeny antraxu užívané ve zbraních mohou být odolné vůči penicilinu.⁴⁵

Coxiella burnetii je intracelulární bakterie zodpovědná za celosvětovou zoonózu známou jako Q horečka. Po primární infekci zůstává přibližně 60 % nakažených bez symptomů, zatímco 40 % se projevuje klinickými příznaky, které se skládají z izolované horečky, hepatitidy a pneumonie. Hlavním klinickým projevem Q horečky je endokarditida s letální prognózou bez léčby.⁴⁶ *C. burnetii* primárně infikuje domácí přežvýkavce a domácí zvířata. *C. burnetii* byla zařazena mezi biologické zbraně kvůli vysoké infekčnosti, možnosti produkce velkého množství bakterií, stabilitě v životním prostředí pomocí mechanismu podobného sporulaci a kvůli disperzi pomocí aerosolu. *C. burnetii* se během druhé světové války pravděpodobně používala jako biologická zbraň, neboť během tohoto období byla mezi armádními vojáky pozorována ohniska Q horečky.⁴⁷

Rickettsie

Všechny druhy rickettsií jsou gramnegativními intracelulárními parazity široké škály eukaryotických hostitelů. Rod *Rickettsia* zahrnuje virulentní druhy, které jsou zajímavé jak z hlediska vznikajícího infekčního onemocnění, tak pro jejich potenciální nasazení jako bioteroristické agens.⁴⁸

Rod *Rickettsia* má řadu vlastností, jež jsou charakteristické pro potenciální biologické zbraně, a to vysoká infekčnost při nízkých dávkách aerosolového přenosu, stabilní infekčnost, virulence způsobující závažné onemocnění, obtížné stanovení včasné diagnózy, neúčinnost obvyklé empirické léčby, možnost vytvoření úplné odolnosti vůči antimikrobiální léčbě, nízká úroveň imunity v populaci apod.⁴⁹

Viry

Viry jsou nejmenší ze všech mikrobů. Jsou schopné množit se uvnitř buněk jiných živých bytostí. Buňka, ve které se množí, se nazývá hostitelská buňka. Virus je tvořen jádrem genetického materiálu, buď DNA nebo RNA, a ochrannou vrstvou nazývanou kapsida, jež je tvořena bílkovinami.⁵⁰

Vir variola (VARV) je dvouvláknový DNA virus rodu orthopoxvirus, jež způsobuje pravé neštovice (Obrázek 4). Infekce neštovic se typicky šíří prostřednictvím inhalace kapiček obsahujících infekční viry nebo méně často přímým kontaktem. Virus

může také proniknout skrz kůži, ačkoli tento způsob šíření je neobvyklý mimo záměrné očkování.⁵¹

Neštovice jsou velmi nakažlivé, což z nich dělá velmi nebezpečnou zbraň. Míra úmrtnosti je 20 % až 40 %. Dle WHO byly pravé neštovice eradikovány v roce 1980, a proto se ustoupilo od vakcinace. Vzhledem k tomu, že vakcinace neprobíhá, tak v případě výskytu ohniska nebude většina populace ochráněna.⁵²



Obrázek 4. Pravé neštovice⁵³

Mezi potenciálními biologickými látkami vhodnými jako zbraň má velký význam virus Ebola.⁵⁴ Ebola virus je vysoce patogenní člen rodiny Filoviridae, který způsobuje těžké hemoragické onemocnění. Tento virus je klasifikován jako patogen skupiny BSL4, tedy nejpřísnější úroveň biologické bezpečnosti, a biologické agens kategorie A, pro které vláda Spojených států vyžaduje připravenost v případě bioterorismu.⁵⁵ Prozatím není proti viru Ebola dostupná žádná vakcína nebo schválená léčba. Kvůli vysoké míře úmrtnosti je tento patogen spojován s reálnou a hmatatelnou hrozbou. Proto by jeho použití jako biologického agens mohlo mít vážné dopady.⁵⁴

5.1.4.1.2. Vojensky významné toxiny

Toxiny jsou toxické látky živočišného nebo rostlinného původu, jež se od mikrobiálních biologických agens liší tím, že se v organismu nemnoží, ale způsobují smrt nebo dočasné či trvalé poškození svými chemickými účinky.⁵⁶

Mezi základní vlastnosti toxinů z hlediska jejich použití jako biologické zbraně patří nízký práh účinku, vysoká rychlost účinku, takticky využitelný mechanismus účinku k vyřazení živé síly, nízká koncentrace potřebná k vyřazení živé síly, případně způsobující smrt, vysoká chemická a tepelná stálost, vhodné fyzikálně-chemické vlastnosti, dostupnost produkujících organismů pro izolaci, snadnost hromadné výroby a příznivé ekonomické ukazatele.⁵⁷

Toxiny významné pro bioterorismus zahrnují ricin, botulin, toxin *Clostridium perfringens* epsilon a stafylokokový enterotoxin B. Botulinový neurotoxin je neúčinnější toxin v přírodě a jediný je zařazen do kategorie A dle centra pro kontrolu a prevenci nemocí (CDC). Ostatní z uvedených jsou zařazeny dle CDC do kategorie B.⁵⁸

Botulotoxin, produkovaný bakteriemi rodu *Clostridium*, je nejjedovatější známou látkou. Vdechnutím 1 µg této látky dochází ke smrti člověka, čehož negativně využívají vojenské režimy pro výrobu smrtících zbraní.⁵⁹ Botulotoxin působí paralýzu svalů inervovaných somatickým nebo autonomním nervovým systémem. Lékaři nacházejí využití tohoto toxinu k léčbě některých patologických stavů způsobených neurogení nadměrnou aktivitou a spasticitou svalů, tedy nedobrovolnou, kontinuální svalovou kontrakcí a hyperaktivitou.⁶⁰

Stafylokokový **enterotoxin B** je jediný známý stafylokokový enterotoxin, jež byl zkoumán jako biologická zbraň. Velký zájem o něj nastal díky jeho stabilitě vůči zahřátí, proteolytickému trávení, širokému pH a potenciální jednoduchosti ve výrobě a šíření.⁶¹ Již velmi malé množství je účinné pro vyvolání příznaků a dávka 0,02 µg / kg může být smrtelná. Skutečnost, že nízká dávka je dostačující k tomu, aby lidem znemožnila práci, je dalším faktorem, který z něj dělá potenciální zbraň. Vdechování toxinu vede k dušnosti a bolesti na hrudníku několik hodin po expozici. Při těžké expozici mohou nastat závažnější příznaky, jako je vysoká horečka, plicní edém, možný syndrom akutní respirační tísně nebo septický šok.⁶²

Ricin je toxický protein získaný ze semen rostlin *Ricinus communis*, který je komerčně pěstován pro výrobu ricinového oleje. Ačkoli je přibližně tisíckrát méně toxický než botulotoxiny, považuje se ricin za potenciální biologickou válečnou látku kvůli snadnosti a rychlosti, s jakou lze vyrábět velké množství tohoto toxinu.⁶³ Ricin lze vyrábět v kapalných nebo pevných formách. Může být injektován nebo rozptýlen prostřednictvím jídla, vody nebo vzduchu. Klinická prezentace otravy ricinem závisí na dávce a způsobu expozice.⁶⁴

5.2. Dekontaminace

Jedná se o soubor metod, postupů a prostředků k odstranění, rozložení či zneškodnění látek chemických, zejména bojových chemických, látek radioaktivních, biologických agens a toxinů nebo nebezpečných škodlivin z příslušného povrchu a prostředí,⁶⁵ nebo metody vedoucí ke snížení jejich nebezpečných účinků na bezpečnou,

předem danou úroveň. Jde o významné opatření aktivní ochrany proti následkům úniku škodlivých látek. Cílem dekontaminace je snížení zdravotnických a nenávratných ztrát, zkrácení doby nezbytného používání prostředků individuální ochrany, jež znesnadňují činnost v zamořených prostorech, při záchranných pracích a při asanaci území, a především snaha o vytvoření podmínek pro obnovení normálního života v zasažených oblastech.⁶⁶

5.2.1. Principy a metody dekontaminace

Dekontaminaci lze dělit dle různých měřítek:

i) Dle typu odstraňované látky:

- (1) odmořování (detoxikace) jedná-li se o látky chemické
- (2) dezinfekce v případě látek biologických
- (3) dezaktivace v případě radioaktivních materiálů
- (4) dezinfekce a deratizace

ii) Dle technologie

(1) Mechanické

Do této skupiny lze zařadit například otření povrchu, ometení či jiné odstranění částic kontaminantu, překrytí kontaminovaného povrchu inertním materiálem (například písek). Další metodou spadající do mechanické dekontaminace je odstranění kontaminovaného povrchu ručně nebo mechanizačními prostředky. Tato metoda se často využívá pro odstranění kontaminované zeminy.

(2) Fyzikální, případně fyzikálně – chemické metody, které jsou založené na odpařování, rozpouštění nebo na adsorpci a absorpci.⁶⁷

(3) Chemické metody jsou založeny na změně molekulární struktury toxické látky na netoxickou vlivem dekontaminačních činidel.⁶⁸

(4) Další možností je dekontaminace přírodními způsoby, což jsou samovolné procesy probíhající bez zásahu člověka. Jsou ovlivněny podmínkami v místě kontaminace (teplota, vítr), fyzikálně-chemickými vlastnostmi kontaminantu (tenze par, bod varu) nebo reaktivitou látky (se vzdušnou vlhkostí, oxidace apod.). Důležitým faktorem je zde doba, za kterou dojde k dekontaminaci, a hlavně zajištění ochrany zdraví obyvatel a životního prostředí. Tento způsob lze s výhodou využít jako doplňující k ostatním typům dekontaminace.²¹

Nejčastěji se využívá kombinací postupů fyzikálních (fyzikálně-chemických) a chemických, jelikož pouze chemickými metodami lze dosáhnout zneškodnění kontaminantu. Ostatními metodami lze dosáhnout pouze odstranění kontaminantů ze zamořené oblasti či povrchu anebo zabránění kontaktu s nimi.

iii) Další možnosti dělení dekontaminace: dle úplnosti, dle dekontaminovaného povrchu apod.⁶⁹

5.2.2. Dekontaminace v ochraně vojsk

Nejdůležitějším prostředkem pro okamžitou dekontaminaci osob zasažených chemickými zbraněmi je protichemický balíček IPB-80 (Obrázek 5). V tomto balíčku se nachází lahvička opatřená šroubovacím uzávěrem obsahující dekontaminační práškový prostředek DESPRACH.⁷⁰ Dále tento balíček obsahuje speciální mýdlo s komplexotvornými vlastnostmi pro zvýšení účinnosti dekontaminace.⁶⁹ Pro doplňkovou dezaktivaci se využívá prostředků pro hromadnou dekontaminaci, což jsou například různá sprchovací zařízení, jež se nachází na daných dekontaminačních místech. Dalším druhem je souprava pro dekontaminaci osob (SDO) na základě převozných nafukovacích stanů, kde dekontaminační roztoky, vodu apod. poskytuje chemický rozstříkovací automobil ACHR-90.⁷¹



Obrázek 5. Individuální protichemický balíček IPB – 80 ⁷²

Dekontaminace zbraní a bojové techniky se řídí třístupňovým systémem metod a prostředků:

- Jednotlivec – osobní zbraně, materiálu
- Osádka – bojového, transportního vozidla, střední zbraně
- Hromadná dekontaminace speciálními prostředky chemického vojska⁷³

Dekontaminace osobní zbraně se provádí univerzální odmořovací soupravou, jež obsahuje univerzální odmořovací roztok (sáček s chlornanem vápenatým) a ohřívací činidlo. Před použitím se sáček naplní vodou, čímž se vytvoří suspenze, jež se působením ohřívacího činidla samovolně zahřeje. Toto činidlo má díky přidanému detergentu také dezaktivující účinky.

Dekontaminace vozidla osádkou se provádí odmořovací soupravou, jež obsahuje dekontaminační roztok na bázi aminoalkoholátové směsi.⁷⁴

U hromadné dekontaminace speciálními prostředky chemického vojska je k dispozici velké množství speciálních prostředků. Mohou být použity v místě, kde je soustředěna kontaminovaná technika, včetně nepojízdné, nebo mohou být použity průjezdné rámy, pod nimiž pojízdná mobilní technika projíždí. Pro tyto prostředky se využívá univerzální roztok, soubor dalších pěti roztoků včetně speciálních směsí pro účinnou dezaktivaci.⁷⁵

5.2.3. Dekontaminace osob

Lidé, kteří jsou zevně kontaminováni, se mohou stát vnitřně kontaminovanými, jestliže se do těla dostanou radioaktivní látky. Přítomnost radioaktivních látek uvnitř lidského těla vytváří riziko ukládání v orgánových tkáních a buňkách. Osoba kontaminovaná radioaktivním materiálem je ozařována, dokud není odstraněn radioaktivní materiál. Správně provedená rychlá dekontaminace může omezit šíření kontaminace a snížit morbiditu a mortalitu.⁷⁶

V případě, že pacient trpí jiným akutním zraněním je nejdůležitější prioritou stabilizovat zdraví pacienta, neboť kontaminace zpravidla nezpůsobuje akutní zdravotní problémy ani v případech vyšší expozice. Známky radiačního zranění nebo onemocnění se mohou objevit až po uplynutí hodin, dnů a někdy až týdnů.⁷⁷

Před zahájením dekontaminačních procesů je vhodné provést rychlý sken pacienta pro zjištění hrubé radioaktivní kontaminace. Nejčastějším detekčním zařízením je Geiger-Mullerův počítač. Přítomnost záření indikuje zvýšení počtu čítačů nad pozadí. Obecně

platí, že oblasti, které registrují více než dvojnásobek předem stanovené úrovně pozadí, jsou považovány za kontaminované. Pokud je odečet menší než dvojnásobek úrovně záření pozadí, předpokládá se, že osoba není kontaminována na lékařsky významný stupeň.⁷⁸

Zařízení pro detekci záření mohou snadno lokalizovat kontaminanty, díky čemuž je možné provádět dekontaminaci. Obecně by měly být zohledněny čtyři základní zásady pro snížení expozice. Tyto zásady zahrnují minimalizaci doby expozice, maximalizaci vzdálenosti od zdroje, pokud je to možné, použití vhodných stínění a odstranění nebo omezení kontaminace. Ochranné zařízení by mělo být po použití odstraněno a umístěno v dobře uzavřené plastové nádobě.⁷⁹

Cílem dekontaminačního procesu je odstranění radioaktivního materiálu bez jeho šíření. Tyto materiály obvykle nelze neutralizovat v přímém slova smyslu. Nejlepší formou jejich odstranění je přesunutí z jednoho místa na jiné nebo jejich přemístění k vyřazeným materiálům, čímž se zabrání dlouhodobému kontaktu s pacientem. Prvním cílem je zabránit šíření radioaktivních materiálů, protože lidé, kteří jsou z vnější strany znečištěni radioaktivním materiálem, mohou kontaminovat další osoby nebo povrchy.⁸⁰

Pro provádění dekontaminačních prací je vhodné mít speciální prostor, jež může být zajištěn pro dekontaminaci, čímž se může předejít šíření radioaktivních materiálů do jiných oblastí, zařízení a lidí. Pohyb kontaminovaného pacienta by měl být omezen jen na to, co je nezbytně nutné. Personál zabývající se manipulací s kontaminovanými pacienty by měl být vybaven osobním dozimetrem a nosit vhodný ochranný oděv, jako jsou chirurgické pláště, respirační maska, dvojité latexové rukavice a kryty na obuv.⁸¹

Vnější ochranné rukavice by měly být často měněny, aby se zabránilo křížové kontaminaci. Je třeba používat ochranu očí, aby se během dekontaminačního postupu zabránilo oční kontaminaci.⁸²

Obecné postupy čištění pro externí dekontaminaci obvykle zahrnují mytí mýdlem a vlažnou vodou, i když může být zapotřebí pomoci jiných technik, v závislosti na poloze, typu izotopu a formě znečištění; celý proces často vyžaduje významný příspěvek zdrojů a může trvat značnou dobu.⁸³

5.2.4. Detoxikace

Detoxikace neboli dekontaminace nebezpečných chemických látek (NCHL) je soubor metod, postupů a prostředků vedoucích k odstranění kontaminantů ze zamořených

povrchů, ke snížení škodlivého účinku těchto látek na bezpečnou úroveň a k omezení jejich šíření a vzniku sekundární kontaminace. Cílem je NCHL odstranit z povrchů, rozložit anebo je přeměnit na látky, které nejsou nebezpečné ani škodlivé.⁸⁴

5.2.4.1. Dělení odmořování:

- a) Dle urgentnosti: prvotní a druhotné
- b) Dle rozsahu odmořování objektu: částečné a úplné
- c) Dle druhu odmořovaného objektu: osoby, zvířata, materiálu, dopravní techniky, proviantu, vody a terénu.⁸⁵

5.2.4.2. Požadavky na detoxikační proces:

- Účinnost detoxikačního procesu
- Rychlost detoxikace
- Minimální poškození detoxikovaného povrchu
- Dostupnost odmořovacích činidel a ekonomika procesu
- Univerzálnost detoxikačního procesu⁸⁶

5.2.4.3. Částečná a úplná detoxikace

Částečná detoxikace je proces vedoucí k odmoření jednotlivých částí kontaminovaných povrchů s cílem dosáhnout bezpečnosti z hlediska působení na kůži. Máme-li podezření na kontaminaci osob NCHL je nutné provést částečné odmoření nechráněných částí těla, přiléhajících vrstev oblečení a prostředků individuální ochrany, a to s použitím individuálních improvizovaných prostředků ihned po zasažení NCHL.

Úplná detoxikace je proces označující detoxikaci celého objektu, jejímž cílem je dosáhnout bezpečnosti z hlediska inhalačního a kontaktního působení. Rozsah detoxikačních prací je závislý na koncentraci nebezpečných látek (hustota zamoření) a na stálosti (perzistenci) škodlivin na zamořených površích.⁸⁷

Rozhodnutí o potřebě dekontaminace je nutné posoudit pro každý jednotlivý případ individuálně, a to z několika hledisek:

- Fyzikální a chemické – je třeba posoudit, zda se může látka sama odpařit či rozložit, jestli není riziko prudké reakce při omývání povrchu vodnými směsmi, nebo zda se látka nerozloží na látku ještě nebezpečnější.

○ Ekologické - detoxikace se provádí u látek, jež mohou závažně poškodit nebo narušit životní prostředí. Proto je nutné zvážit ekologické hledisko při organizování detoxikace a zajišťování odtoku kontaminovaných odpadů ze zamořených oblastí, což je významné především u rozkladu nebezpečných látek na netoxické produkty.

○ Ekonomické – je třeba posoudit jednak síly a prostředky nezbytné k realizaci detoxikace, ale i případnou dobu samovolného odmoření a skutečné nebezpečí intoxikace látkou působící ze zamořeného povrchu, případně nebezpečí znečištění životního prostředí.

○ Toxikologické – k odmořování dochází zejména u látek s vysokou percutánní, inhalační a perorální toxicitou, jež mohou být pro člověka nebezpečné při manipulaci s kontaminovaným předmětem či zdrojem sekundární inhalační intoxikace.⁸⁸

Metody využívané při odmořování NCHL jsou založené na působení vhodných činidel a odmořovacích postupů. Využívá se kombinací postupů chemických, mechanických a fyzikálních.⁸⁹

5.2.4.4. Chemické metody odmořování

Základem většiny postupů používaných pro odmořování je chemická reakce mezi NCHL a odmořovacím činidlem. Jako odmořovací činidlo se označuje sloučenina, jež je schopná chemickou reakcí převést NCHL na málo toxický či netoxický produkt. Důležitou roli zde hraje především struktura NCHL a odmořovadla.⁹⁰

Činidla, jež reagují s NCHL dělíme na elektrofilní E^+ a nukleofilní Z^- . Elektrofilní činidla reagují především tam, kde se nachází zhuštěný elektronový mrak, naopak nukleofilní tam, kde je hustota elektronů nižší.⁹¹

Mezi nejvíce využívaná odmořovací činidla patří látky nukleofilní (bazického charakteru) a látky elektrofilní (okysličovadla a látky s chloračním účinkem).

Nukleofilní činidla:

- Kyslíkaté zásady – voda, hydroxidy, uhličitany, alkoholáty, fenoláty apod.
- Dusíkaté zásady – čpavek, alifatické a aromatické aminy, etanolaminy
- Sírné zásady – sulfidy a thioalkoholáty

Elektrofilní činidla

- Chlorovadla – elementární chlor, organické a anorganické chlornany, chlorované amidy arylsulfonových kyselin
- Okysličovadla – kyslík, peroxidy, manganistany, chlornany, chlorečnany.⁹²

Prostorové uspořádání molekul je dalším faktorem majícím vliv na reaktivitu molekul. Teorie sférického bránění vysvětluje účinek různých substituentů molekuly. Tato teorie je založena na předpokladu, že činidlo reagující s NCHL má přístup k místu, kde reakce probíhá. Je-li toto místo stíněno jinou částí molekuly, reakce probíhá pomalu nebo neprobíhá vůbec.⁹³

Dalším důležitým faktorem jsou vlastnosti prostředí, ve kterém reakce probíhá. Zásadní vliv zde má především teplota. Při vzrůstu teploty o 10 °C dochází ke zrychlení reakce dvakrát až čtyřikrát. Na rychlost reakce má vliv i kinetika reakce, fyzikální vlastnosti prostředí, pH, polarita rozpouštědla a viskozita prostředí.⁹⁴

Hlavní snahou je odmořovat v homogenní fázi, tedy takovým činidlem, ve kterém je NCHL dobře rozpustná. Např. u látek typu sarinu, kde je hlavní metodou odmořování alkalická hydrolyza, je největším problémem soman, jelikož je málo rozpustný ve vodě. Přídavkem vhodných organických rozpouštědel docílíme zvýšení jeho rozpustnosti a tím i bezpečného odmoření. U látek typu V se pro neomezenou mísitelnost s výhodou využívá roztok dichloraminu v dichlorethanu. Při odmořování těchto látek s využitím chlornanu vápenatého se látka pro zvýšení rozpustnosti s odmořovadlem nejprve rozpustí v acetonu či ethanolu a následně se odmořovací činidlo smíchá s tímto roztokem.⁹¹

Soubor odmořovacích činidel užívaných v armádě České republiky (AČR) je omezen jen na několik z mnoha desítek, a to z důvodu důležitých faktorů, jako jsou účinnost, univerzálnost, výrobní a ekonomická dosažitelnost a minimální nežádoucí účinky na kontaminované povrchy. Přehled látek užívaných v AČR je v Tabulka 1.⁹⁵

Tabulka 1. Odmořovací směsi zavedené v AČR

Název	Složení	Hustota postřiku (l.m ²)	Účinnost
Chlornanová směs	2,0 % chlornanu vápenatého 0,5 % detergentu 1,0 % nafty, vše rozpuštěno ve vodě	1,5 – 3,0	Nervově paralytická látka (NPL) Yperit
Směs č. 1	10 % dichloraminu v dichlorethanu	0,5 – 0,6	Látka VX, Yperit
Směs č. 2	10 % NaOH 25 % monoethanolaminu vše rozpuštěno ve vodě	0,5 – 0,6	NPL mimo VX
Směs č. 3	2 % sodíku 30 % ethanolu 28 % cyklohexylaminu 40 % monoethanolaminu	0,1 – 0,25	NPL Yperit
Směs č. 4	3 % detergentů 2 % NaOH	1,5	NPL Yperit

5.2.4.5. Fyzikální metody odmořování

Mezi tyto metody se řadí procesy založené na odpařování, smývání vodou nebo roztoky tenzidů a detergentů, absorpce a adsorpce. Mezi fyzikálně-chemickou metodu odmořování patří chemisorpce.⁹⁶

5.2.4.6. Mechanické metody odmořování

U těchto metod se využívá především možnosti překrytí zamořeného povrchu nekontaminovaným materiálem, jako je fólie, písek, zemina apod., nebo odstranění zamořené vrstvy.⁹⁷

5.2.5. Dezaktivace

Ke kontaminaci RaL dochází zejména při mimořádných situacích, kam řadíme radiační nehody a radiační havárie. Radiační nehoda je událost, při které dochází k nepřipustnému uvolnění RaL nebo ionizujícího záření nebo k nepřipustnému ozáření osob. Důsledky radiační nehody se zpravidla týkají prostorů pracoviště se zdroji ionizujícího záření. Radiační havárií rozumíme takovou radiační nehodu, která vyžaduje

opatření na ochranu obyvatelstva a životního prostředí. Důsledky radiační havárie navíc ovlivňují i okolí zejména únikem radioaktivních látek do životního prostředí.⁹⁸

Dekontaminace radioaktivních látek (RaL) neboli dezaktivace je soubor metod, postupů a prostředků vedoucí ke snížení rizika ozáření osob z povrchové kontaminace, zabránění sekundární povrchové a vnitřní kontaminace a také k zamezení šíření RaL přenosem, především přímým kontaktem kontaminovaných a nekontaminovaných ploch. Kontaminace je způsobena ulpěním RaL na povrchu, nikoliv ozářením.⁹⁹

Obecně platí, že dezaktivace se provádí přibližně stejnými procesy jako ostatní dekontaminace, avšak dezaktivace má svá určitá specifika, jež je nutné znát a dodržovat. Mezi tato specifika patří především vědomí, že RaL nemůžeme zničit, ale můžeme je pouze odstranit z povrchů. Podléhají samovolnému rozpadu, jež je specifický pro každý radionuklid a je charakterizován poločasem rozpadu. Po dezaktivaci je nutné zlikvidovat kontaminovaný odpad.¹⁰⁰

5.2.5.1. Částečná a úplná dezaktivace

Částečná dezaktivace je proces snižující radioaktivní kontaminaci na stanovenou hranici pro daný povrch všemi dostupnými prostředky. Provádí se po opuštění zamořeného prostoru nebo i v něm v případě dlouhodobého pobytu.¹⁰¹

Úplná dezaktivace se provádí mimo zamořený prostor na určeném místě, jestliže částečná dezaktivace nebyla účinná. Cílem úplné dezaktivace je snížení radioaktivní kontaminace na hodnotu nižší, než je stanovená hranice pro daný povrch. Vykonává se speciálními technickými prostředky, které jsou v daném místě pro tento účel připraveny.¹⁰²

5.2.5.2. Dezaktiváční postupy

Výběr dezaktiváčního postupu závisí na:

- Rozsahu a druhu kontaminace
- Vlastnostech kontaminovaného povrchu
- Cíli dezaktivace
- Technických prostředcích a na čase
- Stavů výcviku a zkušenostech provádějícího personálu¹⁰³

5.2.5.3. *Suché a mokré způsoby dezaktivace*

Suché způsoby dezaktivace spočívají na fyzikálních, pneumatických, mechanických, popřípadě i dalších dějích, při kterých dochází k odstranění radioaktivní kontaminace z povrchů. Suchých způsobů se využívá především při radioaktivní kontaminaci za sucha, tedy ze suchých povrchů. Jedná se tedy o odstranění kontaminace, která je na dané místo vázána adhezivními silami.¹⁰⁴

Výhodou těchto metod je to, že radionuklidy prakticky nepronikají do povrchové vrstvy během dezaktivního procesu, neboť nedochází ke vzniku radionuklidových roztoků. Další výhodou je jejich snadná proveditelnost.

Nevýhodou však může být jejich nedostatečná účinnost na vlhké, případně zamaštěné povrchy.¹⁰⁵

Mezi tyto způsoby patří:

- Ometání a otírání zamořených objektů
- Vysávání či ofukování proudem vzduchu
- Vytřepávání, kartáčování, vyklepávání zamořeného oblečení, výstroje a textilu
- Odstranění zamořené povrchové vrstvy (sníh, zemina apod.) či jeho překrytí nekontaminovaným materiálem¹⁰⁴

Mokré způsoby dezaktivace jsou založeny na fyzikálně – chemických či fyzikálních dějích, při nichž dochází k odstraňování radioaktivní kontaminace z povrchů v kapalném prostředí. K zamezení poutání radionuklidů povrchovými jevy je třeba přidat komplexotvorná činidla. Dochází zde k odstranění nerozpustné složky radioaktivní kontaminace, jež je poutána adhezivními silami.¹⁰⁶

U těchto způsobů dezaktivace dochází k mnoha pochodům a reakcím, mezi které patří ředění, srážení, tvorba komplexů, extrakce apod.

Mezi mokré způsoby dezaktivace řadíme:

- Smývání vodou, případně parou
- Smývání dezaktivními směsmi a pěnamy
- Smývání kontaminace organickými rozpouštědly
- Odstraňování kontaminace plynokapalinovým proudem
- Praní výstrojních součástí a prostředků individuální ochrany speciálními postupy
- Odstraňování RaL z povrchů pomocí ultrazvuku ve vhodné kapalině.¹⁰⁷

Při použití dezaktivacních směsí může v závislosti na jejich složení dojít i k odstranění rozpustné složky kontaminace, jež je poutána povrchovými jevy, nebo i k odstranění částic hloubkové kontaminace.²¹

Většina mokrých způsobů vyžaduje jisté technické prostředky a bývají náročnější na provedení než způsoby suché. Účinnost však bývá zpravidla vyšší, což je dáno tím, že adhezivní síly pevných částic k povrchům jsou v prostředí vody výrazně nižší než na vzduchu. Nevýhodou mokrých způsobů je potřeba velkého množství kapalin, především vody. Dalším limitujícím faktorem použití vody a vodných směsí pro dezaktivaci je závislost na teplotě vzduchu. I přes uvedené nevýhody jsou mokré způsoby dominující v dezaktivacní praxi.¹⁰⁸

5.2.6. Dezinfekce

Dezinfekce je pojem označující zničení či zneškodnění patogenních mikroorganismů, jež se mohou vyskytovat v infekčním materiálu, ve vnějším prostředí či na neživých předmětech. Hlavním cílem je získat neinfekční předměty. Spolehlivé zničení všech choroboplodných zárodků a zamezení šíření přenosu nákazy se považuje za účinnou dezinfekci.¹⁰⁹ Mezi požadavky na dezinfekční prostředky patří rychlost a široké spektrum účinku, tepelná stálost, nízká toxicita. Neměly by být ovlivněny přítomností bílkovin a zanechávat toxická rezidua.¹¹⁰

Dezinfekční postupy lze projednat ze dvou přístupů. Povrchová dezinfekce a dezinfekce prostoru. Pro dezinfekci povrchu závisí účinnost na koncentraci dekontaminovaných látek, koncentraci a typu činidla, době styku a podmínkách prostředí. Druhým přístupem k dezinfekci je prostorová dezinfekce, tj. dezinfekce zařízení nebo materiálů v uzavřených prostorech. Toho lze dosáhnout použitím různých plynů.¹¹¹

Etylenoxid je hořlavý a výbušný plyn, který je klasifikován jako mutagenní i karcinogenní. Reakce etylenoxidu s nukleovými kyselinami je primárním mechanismem jeho baktericidní a sporicidní aktivity.¹¹²

Propylenoxid hydrolyzuje v přítomnosti vlhkosti za vzniku propylenglykolu, který je netoxický. Propylenglykolová pára je bez zápachu, chuti a nedráždí sliznici dýchacích cest. Mikrobicidním způsobem působení propylenoxidu je alkylace DNA guaninů.¹¹³

Nejčastěji doporučovaným dekontaminačním plynem je **formaldehyd**, jehož mikrobicidní účinnost je důsledkem denaturace proteinů. Používá se k dekontaminaci

laboratorních místností, laboratoří a zařízení ve vzduchových uzávěrech. Přestože je formaldehyd široce používán a doporučován jako sterilizační prostředek, představuje bezpečnostní riziko, protože je potenciálním karcinogenem. ¹¹⁴

5.2.6.1. Chemické prostředky

Hlavními faktory ovlivňujícími výběr dezinfekčního prostředku jsou jejich vlastnosti, účinnost, dostupnost a cena. Mezi nejpoužívanější látky patří **kyselina dusičná, sírová, chlorovodíková, peroctová** neboli persteril, **jod** a jeho sloučeniny, chlornany, peroxid vodíku, fenol aj. ¹¹⁵

Dále výběr dekontaminačního prostředku závisí na původci nákazy. V případě bakteriálních původců se využívají přípravky baktericidní s účinností „A“. Tyto látky mají expozici v rozmezí minut až hodin. U virových původců se aplikují virucidní přípravky účinnosti „B“. U předmětů, pokožky, oděvů a nástrojů, jež jsou kontaminovány sporami bakterií se využívá sporicidních přípravků s účinností „C“. ¹¹⁶

5.2.6.2. Fyzikální, resp. fyzikálně – chemické prostředky

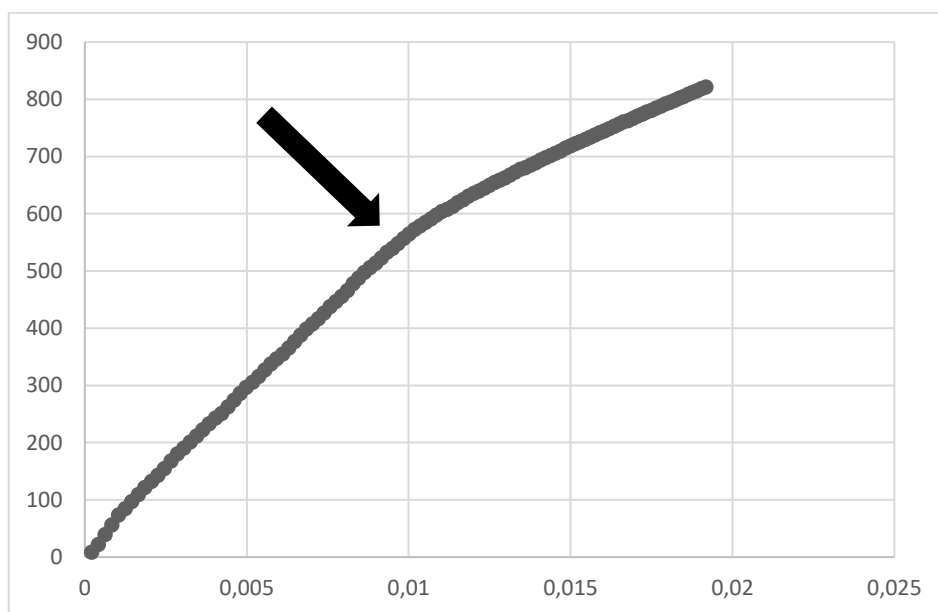
K fyzikálním a fyzikálně-chemickým prostředkům řadíme procesy, u nichž se nemění chemická struktura B-agens. Patří sem rozpouštění, filtrace a fyzikální adsorpce. Za další prostředky této skupiny lze považovat účinek ultrafialového či ionizujícího záření a účinek suchého či vlhkého tepla. ¹¹⁷

6. Experimentální část

6.1. Měření kritické micelární koncentrace (CMC)

6.1.1. Princip stanovení CMC

Kritická micelární koncentrace byla stanovena pomocí konduktometrické metody, což je metoda sledující závislost vodivosti na vzrůstající koncentraci tenzidu. Při dosažení CMC dochází ke zpomalení nárůstu vodivosti, což se projeví v grafu jako zlom (Graf 1).



Graf 1. Závislost vodivosti [μS] na koncentraci tenzidu [mol. l⁻¹]

6.1.2. Přístrojové vybavení

CMC byla měřena konduktometricky pomocí konduktometru Tristar Orion, Thermo Scientific, USA; dále byla využita lineární pumpa Lineomat, VEB MLW Labortechnik Ilmenau, Německo; magnetická míchačka AREX, VELP Scientifica Srl, Itálie a termostat U1, VEB MLW Prüfgeräte-Werk Medingen, Německo.

Aparatura byla sestavena následujícím způsobem (Obrázek 6): Do lineární pumpy byla vložena injekční stříkačka o objemu 10 ml. Na injekční stříkačku s jehlou byla napojena polyetylenová kanyla. Druhý konec kanyly byl umístěn do speciální nádoby, která obsahovala 12 ml destilované vody. Do této nádoby byla současně umístěna konduktometrická cela, míchadlo a celá nádoba byla vložena do termostatovacího pláště regulovaného termostatem. Tento plášť byl postaven na pracovní desku míchačky, čímž

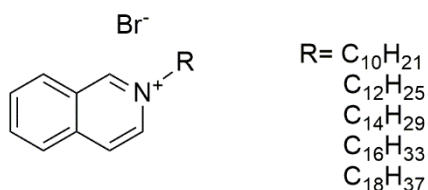
docházelo k okamžitému promíchání roztoku tenzidu v destilované vodě. Konduktometr připojený na konduktometrickou celu odesílal data do PC, kde byl spuštěn program Start Plus Navigator, který zajišťoval kontinuální sběr dat.



Obrázek 6. Aparatura

6.1.3. Použité chemikálie

K měření CMC byly použity nově nasyntetizované látky se strukturou: Alkylisochinolinium-bromidy



6.1.4. Postup měření CMC

Injekční stříkačka byla naplněna roztokem tenzidu, jehož koncentrace byla o řád vyšší, než byla předpokládána z CMC strukturně podobných, již dříve zkoumaných látek. Injekční stříkačka byla vložena do lineární pumpy, kanylka umístěna na dno nádoby s destilovanou vodou a míchadlem. Na počítači byl spuštěn program Start Plus Navigator. U programu Continuous Measurement byl nastaven celkový čas měření (15 minut),

frekvence odečítání hodnot (3 s) a rozsah měřených vodivostí. Poté bylo měření zahájeno a spustila se lineární pumpa. Pumpa vstříkala roztok tenzidu rychlostí 0,42 ml/min, tedy 0,007 ml/s. K ukončení došlo v případě vyčerpání roztoku tenzidu, nebo pokud byl jasně viditelný zlom na titrační křivce a obě ramena byla přibližně stejně dlouhá.

6.1.5. Výpočet CMC

Data naměřená v programu Start Plus Navigator byla převedena do MS Excel, kde byla provedena transformace časové osy (t) na koncentrační osu (c_t). Byl použit vzorec využívající znalost koncentrace tenzidu ve stříkačce (c_{ten}), objemu tekutiny v nádobě ($V_{nádo\text{ba}}$) a rychlosti dávkování tenzidu z injekce (v_{inj}), (vzorec 1).

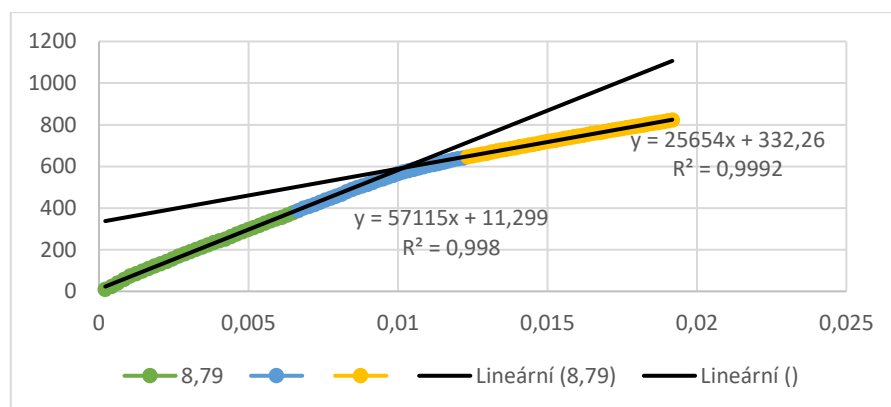
$$c_t = \frac{c_{ten}}{\left(1 + \frac{V_{nádo\text{ba}}}{v_{inj}} \times t\right)}$$

Vzorec 1. Přepočet koncentrační osy

V dalším kroku byl sloupec vodivosti rozdělen na tři části. V první části byl úsek před zlomem, druhá část odpovídala zlomové části a třetí část úseku za zlomem. První a třetí částí byla proložena spojnice, přidána rovnice přímky a zobrazen koeficient determinace. Průsečík spojníc na ose x odpovídá hodnotě CMC, která byla vypočítána pomocí rovnic přímek. Abs_h odpovídá hodnotě absolutního členu úseku za zlomem, Abs_d absolutnímu členu úseku před zlomem, Sm_d odpovídá směrnici dolního úseku a Sm_h směrnici horního úseku. (vzorec 2)

$$CMC = \frac{Abs_h - Abs_d}{Sm_d - Sm_h}$$

Vzorec 2. Výpočet kritické micelární koncentrace



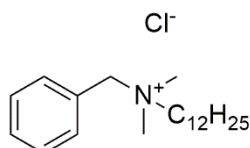
Graf 2. Průsečík spojníc udávající hodnotu CMC

6.2. Měření kinetiky micelárně katalyzovaných hydrolyz

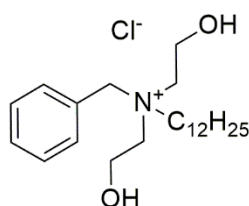
6.2.1. Použité chemikálie

K měření kinetiky hydrolyz byly použity látky, u nichž byla díky předchozím měřením předpokládána dostatečná hydrolytická aktivita:

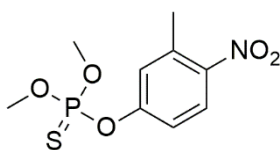
Benzyl-dimethyldodecylamonium-chlorid (Benzalkonium – chlorid)



Benzyl-bis(hydroxyethyl)-dodecylamonium-chlorid (Benzoxonium – chlorid)



Vzhledem ke strukturální podobnosti s nervově paralytickými látkami byl jako substrát zvolen fenitrothion:



6.2.2. Podmínky měření

Měření kinetiky hydrolyz probíhalo pomocí fotometrického stanovení, tedy sledování změny absorbance připraveného roztoku v čase.

Tato měření byla prováděna při teplotách 35 °C a 50 °C. K udržení těchto teplot byl použit Julabo HE (Seelbach, Německo). Tato měření byla sledována v závislosti na měnícím se pH. Bylo použito hodnot pH v rozmezí 9–11.

6.2.3. Postup měření

Pro měření byl připraven roztok fenitrothionu v methanolu, jehož koncentrace byla 10⁻² mol. l⁻¹.

Poté byly připraveny roztoky tenzidů, které vznikly rozpuštěním tenzidu v destilované vodě, a to o koncentraci 10⁻¹ mol. l⁻¹, jež odpovídá hodnotám vyšším, než

je jejich CMC. Z těchto roztoků byla dále připravena koncentrační řada po půl řádech až do koncentrace 10^{-3} mol. l^{-1} .

Rozpuštěním 2,65 g uhličitanu sodného v 0,5 l destilované vody byly připraveny karbonátové pufrы, jež byly pomocí zředěné kyseliny chlorovodíkové nebo zředěného roztoku NaOH upraveny na příslušná pH 9, 10 a 11. K přesnému určení pH bylo využito titrátoru.

Do kyvety bylo napipetováno 250 μ l roztoku pufru, 250 μ l tenzidu a na závěr 10 μ l roztoku fenitrothionu v methanolu. Všechny roztoky, kromě roztoku fenitrothionu, byly předem vytemperovány na stejnou teplotu, jako byla teplota pro dané měření. Kyveta byla následně opatřena silikonovým uzávěrem a její obsah zhomogenizován. Kyveta byla vložena do tepelně stálého spektrofotometru.

Měření bylo prováděno při vlnové délce 400nm, v kyvetách o tloušťce 1 cm spektrofotometrem Helios alpha (Thermoelectroncorporation, Anglie). Naměřená data byla zpracována programem Vision pro UV – visible spectrophotometr software (Thermo Fischer Scientific, USA).

Měření bylo ukončeno v okamžiku, kdy se rozdíl sousedních hodnot absorpance s přibývajícím časem příliš nelišil.

6.2.4. Rychlostní konstanty

Data získaná měřením změny absorpance v čase byla převedena do programu MS Excel a následně byla dle Guggenheimova postupu vypočtena rychlostní konstanta (k) dle platné rovnice: (vzorec 3) ¹¹⁸

$$A_{t+\Delta t} = A_t \times \ln^{(-k \times \Delta t)} + A_{t\infty} \times (1 - \ln^{(-k \times \Delta t)})$$

Vzorec 3. Výpočet rychlostní konstanty

$A_{t+\Delta t}$ = absorpance v čase $t+\Delta t$

A_t = absorpance v čase t

\ln = základ přirozeného logaritmu

k = rychlostní konstanta

Δt = časový interval mezi dvěma po sobě jdoucími měřeními

$A_{t\infty}$ = absorpance v čase nekonečno

Tento vztah je lineární rovnicí, kde $\ln(-k \cdot \Delta t)$ je směrnici a $A t_{\infty} \cdot (1 - \ln(-k \cdot \Delta t))$ je absolutním členem. Data, jež byla převedena do programu MS Excel, byla upravena do dvou sloupců tak, aby druhý sloupec začínal o řádek výš. Tento posun znázorňuje hodnotu Δt . Z těchto dvou sloupců byl vytvořen bodový graf s vyhlazenými spojnicemi a značkami. Body byla proložena spojnice trendu s rovnicí přímky, ze které byla použita hodnota směrnice pro výpočet rychlostní konstanty dle vztahu: $\ln(-k \cdot \Delta t)$. Rychlostní konstanta byla následně přepočtena na poločas reakce ($t_{1/2}$) (vzorec 4).¹¹⁹

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$$

Vzorec 4. Výpočet poločasu reakce

6.3. Výsledky

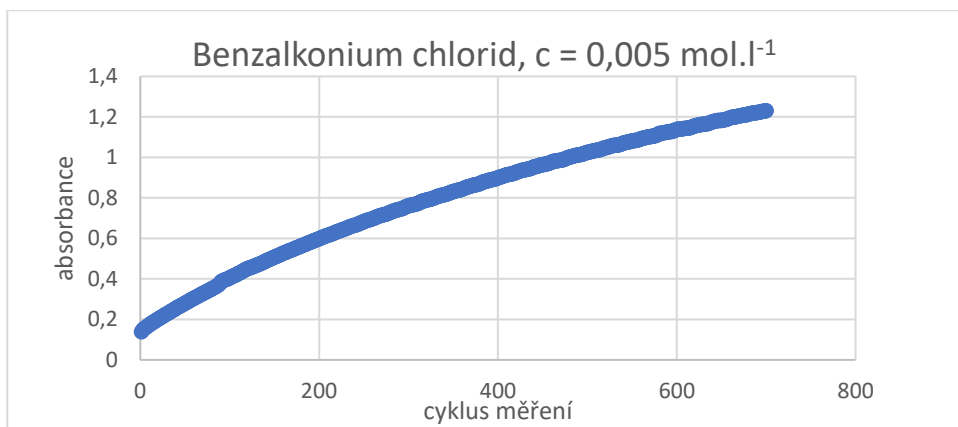
6.3.1. Hodnoty CMC

Tenzid	Kritická micelární koncentrace [mol. l ⁻¹]
Decylisochinolinium bromid	0,044308191
Dodecylisochinolinium bromid	0,0107950715
Tetradecylisochinolinium bromid	0,00170681333
Hexadecylisochinolinium bromid	0,000554874
Oktadecylisochinolinium bromid	0,000308959
Benzalkonium chlorid	0,00875
Benzoxonium chlorid	0,00583

Naměřené hodnoty kritické micelární koncentrace nám potvrdily předpoklad klesající CMC s délkou řetězce. Hodnoty CMC u bezalkonium chloridu a benzoxonium chloridu byly získané z dříve publikovaných materiálů, jelikož se jedná o známé a často používané látky. Hodnotu CMC bylo nutné zjistit pro měření v následující části.

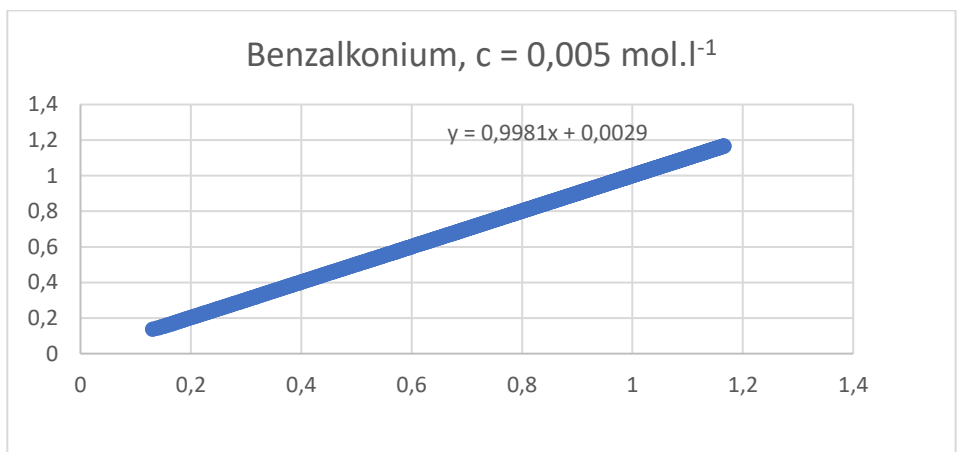
6.3.2. Kinetika micelárně katalyzovaných hydrolýz

Pomocí spektrofotometrické metody byly naměřeny hodnoty změny absorbance v čase t u připravených roztoků tenzidu různých koncentrací (Graf 3). Měření bylo ukončeno v okamžiku, kdy se hodnota absorbance přestala významně měnit. Jeden cyklus měření odpovídá 42 s.



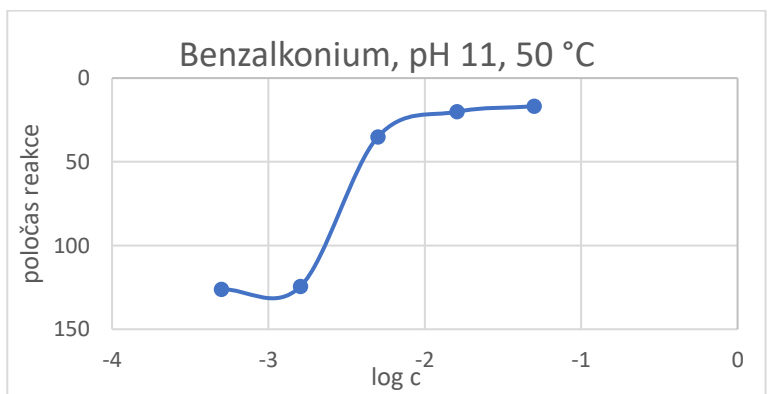
Graf 3. Závislost absorpance na čase

Následně byla s použitím Guggenheimovy metody získána směrnice přímky pro výpočet rychlostních konstant (Graf 4).



Graf 4. Směrnice přímky

Stejným principem bylo postupováno u všech naměřených hodnot. Tedy u všech koncentrací roztoků tenzidů, teplot a hodnot pH. Pomocí vzorce 4 byly rychlostní konstanty převedeny na poločas reakce a zaneseny do grafu (Graf 5).



Graf 5. Závislost poločasu reakce [min⁻¹] na logaritmu koncentrace

Výsledné rychlostní konstanty (k) a poločasy reakce ($T_{1/2}$) pro benzalkonium chlorid a benzoxonium chlorid:

6.3.2.1. Benzalkonium chlorid, pH 11, teplota 35 a 50 °C

Koncentrace tenzidu [mol. l ⁻¹]	k 35 °C [min ⁻¹]	T _{1/2} 35 °C [min]	k 50 °C [min ⁻¹]	T _{1/2} 50 °C [min]
0,05	0,01954851	35,457814	0,04112783	16,853483
0,016	0,01974925	35,097389	0,03444216	20,12496
0,005	0,01311931	52,834081	0,01969747	35,18964
0,0016	0,00437614	158,392066	0,00556960	124,45168
0,0005	0,00423062	163,840293	0,00549572	126,12489
Spontánní hydrolýza	0,00446226	155,335463	0,00546371	126,863651

6.3.2.2. Benzalkonium chlorid, pH 10, teplota 35 a 50 °C

Koncentrace tenzidu [mol. l ⁻¹]	k 35 °C [min ⁻¹]	T _{1/2} 35 °C [min]	k 50 °C [min ⁻¹]	T _{1/2} 50 °C [min]
0,05	0,013357109	51,893504	0,022990071	30,14985
0,016	0,00876974	79,038535	0,02379916	29,12486
0,005	0,005753073	120,482941	0,014394127	48,15486
0,0016	0,003213741	215,682342	0,00629421	110,12458
0,0005	0,003186404	217,532753	0,005129678	135,12489
Spontánní hydrolýza	0,003095975	223,886573	0,005003385	138,535654

6.3.2.3. Benzalkonium chlorid, pH 9, teplota 35 a 50 °C

Koncentrace tenzidu [mol. l ⁻¹]	k 35 °C [min ⁻¹]	T _{1/2} 35 °C [min]	k 50 °C [min ⁻¹]	T _{1/2} 50 °C [min]
0,05	0,005983038	115,852039	0,017746906	39,057354
0,016	0,00592318	117,022837	0,01723568	40,215834
0,005	0,004545736	152,482948	0,008084985	85,732645
0,0016	0,002913136	237,938521	0,006218951	111,457245
0,0005	0,002912047	238,027498	0,005036403	137,627439
Spontánní hydrolýza	0,002886739	240,114237	0,003836444	180,674398

6.3.2.4. Benzoxonium chlorid, pH 11, teplota 35 a 50 °C

Koncentrace tenzidu [mol. l ⁻¹]	k 35 °C [min ⁻¹]	T _{1/2} 35 °C [min]	k 50 °C [min ⁻¹]	T _{1/2} 50 °C [min]
0,05	0,051028794	13,583452	0,15236405	4,549283
0,016	0,07497384	9,245187	0,19534677	3,548291
0,005	0,07354641	9,424623	0,14417837	4,807567
0,0016	0,030621676	22,635834	0,010686015	64,86489
0,0005	0,008814789	78,634572	0,008062131	85,975674
Spontánní hydrolýza	0,005611514	123,522316	0,007082624	97,865876

6.3.2.5. Benzoxonium chlorid, pH 10, teplota 35 a 50 °C

Koncentrace tenzidu [mol. l ⁻¹]	k 35 °C [min ⁻¹]	T _{1/2} 35 °C [min]	k 50 °C [min ⁻¹]	T _{1/2} 50 °C [min]
0,05	0,009828449	70,524572	0,02524398	27,45792
0,016	0,01465937	47,283563	0,03421788	20,25687
0,005	0,00956629	72,457245	0,0245437	28,24135
0,0016	0,00688093	100,734521	0,01966549	35,24688
0,0005	0,006757635	102,5724572	0,007055283	98,24513
Spontánní hydrolýza	0,003715164	186,572452	0,006984191	99,24517

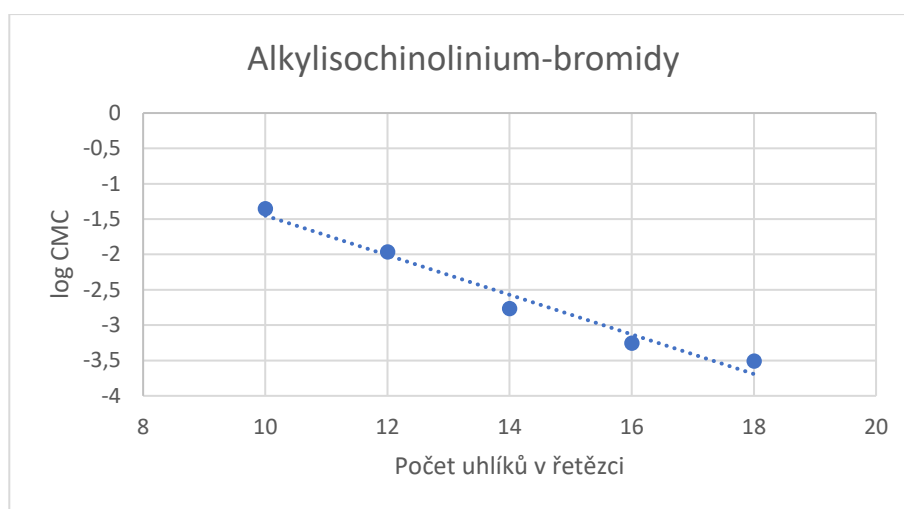
7. Diskuse a komentář

7.1.1. Zpracování dat

Data byla zpracována pomocí Guggenheimovy metody¹¹⁸, kterou je vhodné použít při zpracovávání dat u reakcí prvního a pseudoprvního řádu. Výhodou je, že lze tuto metodu využít i ke zpracování dat, u nichž není zaznamenán začátek ani konec reakce a je vhodná i k získávání dat pomocí lineární regrese. Může být tedy použita i v programu MS Excel a není potřeba žádné speciální programové vybavení.

7.1.2. Zhodnocení kritické micelární koncentrace

Jako jedna ze základních charakteristik povrchově aktivních látek byly u jedné řady látek naměřeny hodnoty kritické micelární koncentrace pomocí popsané konduktometrické metody. Na základě výsledků bylo potvrzeno tzv. Traubeho pravidlo, že s narůstající délkou alkylového řetězce klesá hodnota kritické micelární koncentrace v příslušné homologické řadě. Grafické znázornění je na obrázku (Graf 6).

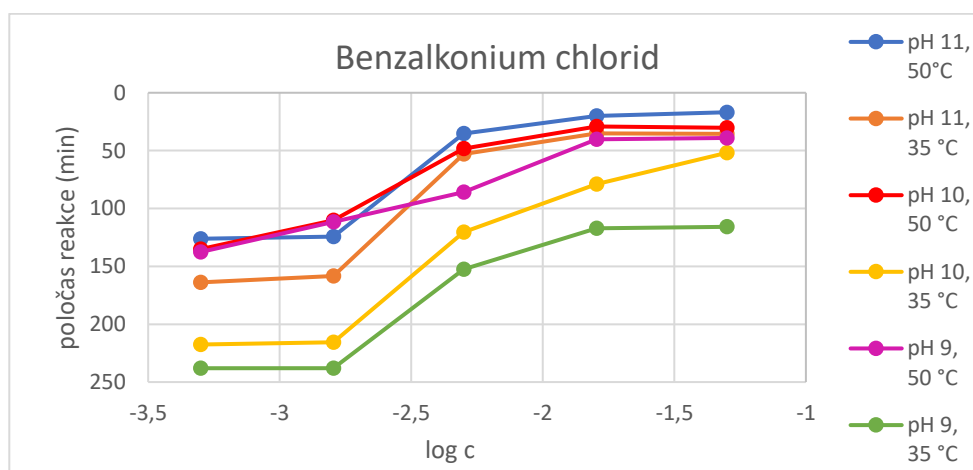


Graf 6. Závislost CMC na délce řetězce

7.1.3. Zhodnocení hydrolytické účinnosti

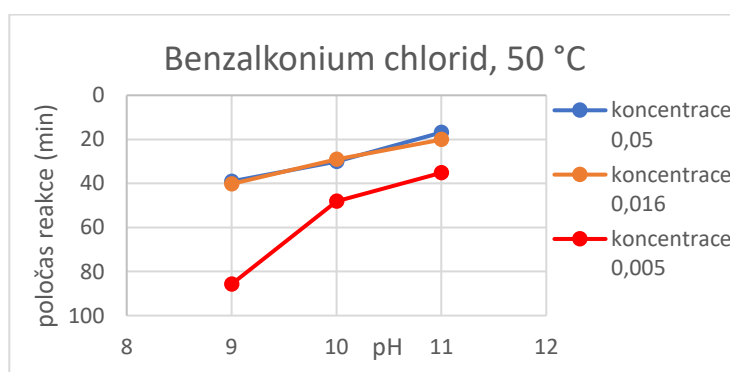
Kinetika hydrolyz byla měřena u roztoků tenzidů o koncentraci 10^{-1} mol. l^{-1} , na základě jejich hodnoty CMC, které byly následně nařaděny po půl řádech až do koncentrace 10^{-3} mol. l^{-1} . Dvě koncentrace byly v oblasti pod CMC, jedna koncentrace odpovídala přibližné hodnotě CMC a poslední dvě koncentrace byly nad CMC. V květu byl následně k roztoku tenzidu přidán roztok karbonátového pufru v poměru 1:1, čímž vznikla poloviční koncentrace tenzidu.

U koncentrací pod CMC docházelo k rozkladu jen díky vlivu spontánní hydrolýzy, kterou způsobila teplota prostředí, hodnota pH a působení nezreagovaných molekul tenzidu. Ke zkrácení poločasu reakce docházelo ve většině případů kolem koncentrace 10^{-2} mol. l⁻¹, tedy po překročení CMC.

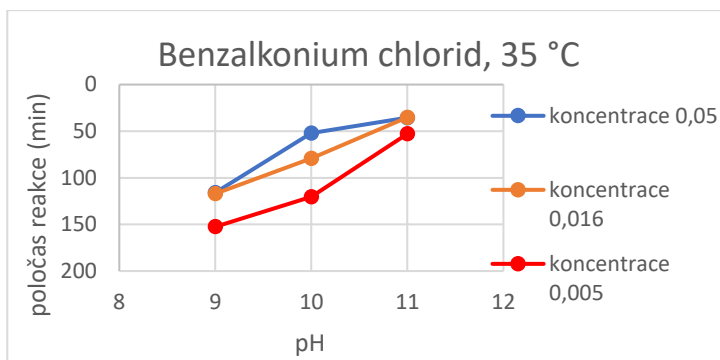


Graf 7. Závislost poločasu reakce na log c

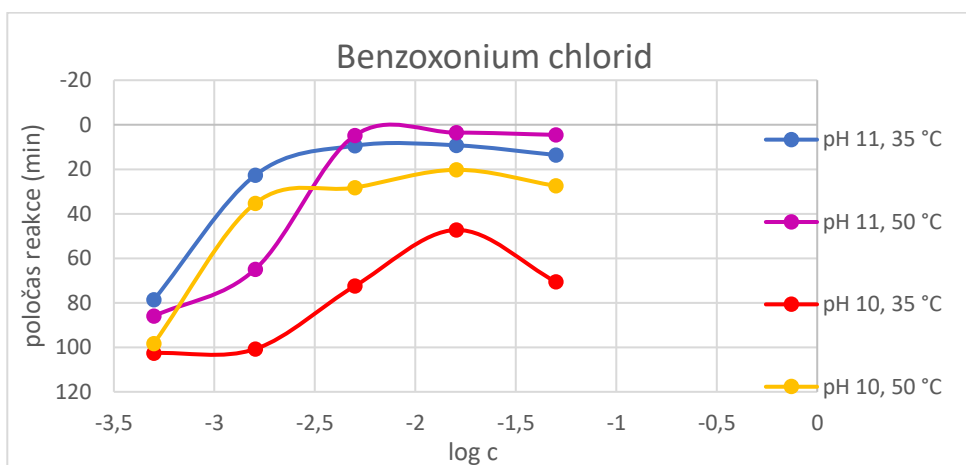
Z grafu (Graf 7) lze soudit, že u benzalkonium chloridu dochází k hydrolýze rychleji při 50 °C než při 35 °C, tudíž můžeme předpokládat, že čím vyšší teplota bude, tím rychleji se pesticid rozloží. S přihlédnutím k použitelnosti v praxi však nelze teplotu již příliš zvyšovat. Do grafů níže (Graf 8, Graf 9) jsou zasazeny hodnoty pro tři nejvyšší měřené koncentrace, tedy pro koncentrace nad hranicí CMC, pro benzalkonium chlorid při 35 °C a při 50 °C, jež znázorňují závislost poločasu reakce na pH. Při porovnání těchto grafů lze vyčíst již zmíněný předpoklad pro rychlejší hydrolýzu při vyšší teplotě reakce. Z grafu (Graf 7) lze dále předpokládat, že vzhledem k závislosti na pH bude reakce probíhat rychleji s rostoucí hodnotou pH.



Graf 8. Závislost poločasu reakce na pH



Graf 9. Závislost poločasu reakce na pH



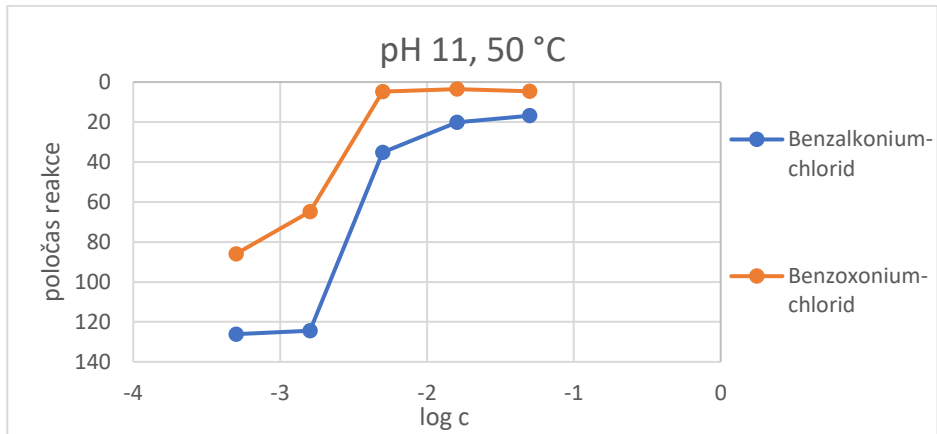
Graf 10. Závislost poločasu reakce na log c

Z grafu pro benzoxonium chlorid (Graf 10) taktéž vyplývá, že s vyšší teplotou se zkracuje poločas reakce. I v případě pH lze předpokládat, že čím vyšší hodnota pH, tím rychleji hydrolyza proběhne. Z grafu je patrné, že větší vliv na rychlost reakce má pH prostředí, než změna teploty o 15 °C. Pro pH 9 nebyla hydrolytická účinnost hodnocena z důvodu pomalého průběhu reakce při nejvyšší koncentraci. Nemělo tedy smysl dále provádět měření.

U benzoxonium chloridu došlo k jevu zvanému efekt prázdných micel, jež byl popsán C.A. Buntonem. Podstatou tohoto jevu je to, že při vysokých koncentracích kationického tenzidu vznikají micely, které z důvodu svého nadbytku neobsahují substrát, ale díky přítomnosti jejich kladného náboje poutají rovněž anionty z roztoku. Tyto anionty se pak nezapojují do hydrolyzy a rostoucí koncentrace tenzidu pak ztrácí svůj efekt.¹²⁰

Z grafu (Graf 11) je patrné, že pokud porovnáme hydrolytické účinnosti dvou testovaných látek za stejných podmínek tedy pH 11 a teplotě 50 °C je patrné, že benzoxonium chlorid je lepším hydrolytických katalyzátorem (lepší látka pro případnou

dekontaminaci). Důvodem jeho lepší účinnosti může být přítomnost dvou hydroxyetylových skupin, které pravděpodobně zvyšují jeho efekt. U obou látek je patrné, že hydrolytická účinnost stoupá významně až po překročení hodnoty kritické micelární koncentrace.



Graf 11. Závislost poločasu reakce na log c

8. Závěr

V rámci diplomové práce jsem si osvojila metodiku měření kritické micelární koncentrace konduktometrickou metodou a potvrdila předpoklad klesající kritické micelární koncentrace s rostoucí délkou alkylového řetězce u jedné homologické řady povrchově aktivních látek.

Pro dvě zvolené a běžně používané látky (benzalkonium chlorid a benzoxonium chlorid) byly optimalizovány podmínky pro rozklad organofosforového pesticidu fenitrothionu jako modelové látky pro dekontaminaci. Byl potvrzen významný vliv pH, teploty a koncentrace tenzidu na průběh hydrolytické reakce v micelárním prostředí. Z výsledků měření bylo patrné, že nejefektivnější hydrolytický katalyzátor je benzoxonium chlorid při teplotě 50 °C a pH 11.

9. Literatura

1. Block, S. S. *Disinfection, Sterilization, and Preservation*. (Lippincott Williams & Wilkins, 2001).
2. Tadros, T. F. *Applied Surfactants: Principles and Applications*. (John Wiley & Sons, 2006).
3. Lomax, E. G. *Amphoteric Surfactants, Second Edition*. (CRC Press, 1996).
4. Shinoda, K., Nakagawa, T. & Tamamushi, B.-I. *Colloidal Surfactants: Some Physicochemical Properties*. (Elsevier, 2016).
5. Esumi, K. & Ueno, M. *Structure-Performance Relationships in Surfactants*. (CRC Press, 2003).
6. Wennerström, H. & Lindman, B. Micelles. Physical chemistry of surfactant association. *Phys. Rep.* **52**, 1–86 (1979).
7. Surfactants: Micellization, Liquid Crystal Structures. Available at: <https://www.particlesciences.com/news/technical-briefs/2010/surfactants.html>. (Accessed: 18th July 2018)
8. ČR, M. Staré ekologické zátěže, resp. kontaminovaná místa. *http://* (2008). Available at: https://www.mzp.cz/cz/stare_ekologicke_zateze. (Accessed: 23rd August 2018)
9. Slouka, J. & Beneš, P. *Základy remediace kontaminovaného půdního prostředí*. (2016).
10. Bhardwaj, J. R. Chemical, Biological, Radiological, and Nuclear disaster management. *J. Pharm. Bioallied Sci.* **2**, 157–158 (2010).
11. Henry, T. V. *Decontamination for hazardous materials emergencies*. (Delmar Publishers, 1999).
12. Holmstock, L. [Medical interventions: external and internal decontamination of people]. *Verh. - K. Acad. Voor Geneesk. Van Belg.* **67**, 352–370 (2005).

13. Alloway, B. & Ayres, D. C. *Chemical Principles of Environmental Pollution, Second Edition*. (CRC Press, 1997).
14. Rodrigues, S. M. & Römken, P. F. A. M. Chapter 9 - Human Health Risks and Soil Pollution. in *Soil Pollution* (eds. Duarte, A. C., Cachada, A. & Rocha-Santos, T.) 217–250 (Academic Press, 2018). doi:10.1016/B978-0-12-849873-6.00009-1
15. Kumar, V., Goel, R., Chawla, R., Silambarasan, M. & Sharma, R. K. Chemical, biological, radiological, and nuclear decontamination: Recent trends and future perspective. *J. Pharm. Bioallied Sci.* **2**, 220–238 (2010).
16. Perrow, C. *Normal Accidents: Living with High Risk Technologies - Updated Edition*. (Princeton University Press, 2011).
17. Global harmonisation of classification and labelling of hazardous chemicals. *Toxicol. Lett.* **128**, 5–15 (2002).
18. Winder, C., Azzi, R. & Wagner, D. The development of the globally harmonized system (GHS) of classification and labelling of hazardous chemicals. *J. Hazard. Mater.* **125**, 29–44 (2005).
19. Bartlová, I. *Vývoj v oblasti nebezpečných látek a přípravků*. (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2012).
20. GHS pictograms web – Hart Crowser.
21. Kratochvílová, D., Kratochvílová, D. ml. & Folwarczny, L. *Ochrana obyvatelstva*. (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2013).
22. Harrison, R. M. *Pollution: Causes, Effects and Control*. (Royal Society of Chemistry, 2015).
23. Stern, A. C. *Air Pollution and Its Effects: Air Pollution*. (Elsevier, 2013).
24. Domínguez-Gadea, L. & Cerezo, L. Decontamination of radioisotopes. *Rep. Pract. Oncol. Radiother.* **16**, 147–152 (2011).

25. Bevelacqua, A. & Stilp, R. *Terrorism Handbook for Operational Responders*. (Cengage Learning, 2009).
26. Tureček, J. *Policejní technika*. (Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2008).
27. Fatah, A. A. *et al.* Guide for the Selection of Chemical, Biological, Radiological, and Nuclear Decontamination Equipment for First Responders. *DHS Guide 103-06* (2007).
28. L'Annunziata, M. F. Chapter 18 - Radionuclide Decay, Radioactivity Units, and Radionuclide Mass. in *Radioactivity (Second Edition)* (ed. L'Annunziata, M. F.) 621–638 (Elsevier, 2016). doi:10.1016/B978-0-444-63489-4.00018-6
29. Prouza, Z. & Švec, J. *Zásahy při radiační mimořádné události*. (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2008).
30. L'Annunziata, M. F. 8 - Radionuclide Decay, Mass, and Radioactivity Units. in *Radioactivity* (ed. L'Annunziata, M. F.) 529–552 (Elsevier Science B.V., 2007). doi:10.1016/B978-044452715-8.50011-6
31. Szinicz, L. History of chemical and biological warfare agents. *Toxicology* **214**, 167–181 (2005).
32. Artenstein, A. W. 75 - Bioterrorism and Biodefense. in *Infectious Diseases (Fourth Edition)* (eds. Cohen, J., Powderly, W. G. & Opal, S. M.) 670-679.e1 (Elsevier, 2017). doi:10.1016/B978-0-7020-6285-8.00075-7
33. Clark, D. P. & Pazdernik, N. J. Chapter 22 - Biological Warfare: Infectious Disease and Bioterrorism. in *Biotechnology (Second Edition)* (eds. Clark, D. P. & Pazdernik, N. J.) 687–719 (Academic Cell, 2016). doi:10.1016/B978-0-12-385015-7.00022-3

34. Rotz, L. D., Khan, A. S., Lillibridge, S. R., Ostroff, S. M. & Hughes, J. M. Public Health Assessment of Potential Biological Terrorism Agents. *Emerg. Infect. Dis.* **8**, 225–230 (2002).
35. Jansen, H. J., Breeveld, F. J., Stijnis, C. & Grobusch, M. P. Biological warfare, bioterrorism, and biocrime. *Clin. Microbiol. Infect.* **20**, 488–496 (2014).
36. Kortepeter, M. G. & Parker, G. W. Potential biological weapons threats. *Emerg. Infect. Dis.* **5**, 523–527 (1999).
37. About Microbiology – Bacteria. Available at: <http://microbiologyonline.org/about-microbiology/introducing-microbes/bacteria>. (Accessed: 3rd August 2018)
38. Wohlgemuth, S. & Kämpfer, P. BACTERIA | Bacterial Endospores. in *Encyclopedia of Food Microbiology (Second Edition)* (eds. Batt, C. A. & Tortorello, M. L.) 160–168 (Academic Press, 2014). doi:10.1016/B978-0-12-384730-0.00026-4
39. Alibek, K. & Handelman, S. *Biohazard: the chilling true story of the largest covert biological weapons program in the world, told from the inside by the man who ran it*. (Random House, 1999).
40. Brubaker, R. R. Chapter 103 - *Yersinia pestis*. in *Molecular Medical Microbiology (Second Edition)* (eds. Tang, Y.-W., Sussman, M., Liu, D., Poxton, I. & Schwartzman, J.) 1845–1865 (Academic Press, 2015). doi:10.1016/B978-0-12-397169-2.00103-7
41. Williams, M. & Sizemore, D. C. *Biologic, Chemical, and Radiation Terrorism Review*. (StatPearls Publishing, 2018).
42. 15 cases of human plague this year, CDC says - CNN. Available at: <https://edition.cnn.com/2015/10/22/health/plague-cases-2015-cdc/index.html>. (Accessed: 1st September 2018)
43. Snowden, J. & Simonsen, K. A. *Tularemia*. (StatPearls Publishing, 2017).

44. Signs and Symptoms | Tularemia | CDC. Available at: <https://www.cdc.gov/tularemia/signssymptoms/index.html>. (Accessed: 1st September 2018)
45. Smith, M. E. & Hayoun, M. A. *Toxicity, Biological Warfare Agents*. (StatPearls Publishing, 2017).
46. Maurin, M. & Raoult, D. Q Fever. *Clin. Microbiol. Rev.* **12**, 518–553 (1999).
47. Abnave, P., Muracciole, X. & Ghigo, E. Coxiella burnetii Lipopolysaccharide: What Do We Know? *Int. J. Mol. Sci.* **18**, (2017).
48. Gillespie, J. J. *et al.* Secretome of obligate intracellular Rickettsia. *FEMS Microbiol. Rev.* **39**, 47–80 (2015).
49. Walker, D. H. The realities of biodefense vaccines against Rickettsia. *Vaccine* **27**, D52–D55 (2009).
50. About Microbiology – Viruses. Available at: <http://microbiologyonline.org/about-microbiology/introducing-microbes/viruses>. (Accessed: 4th August 2018)
51. Voigt, E. A., Kennedy, R. B. & Poland, G. A. Defending Against Smallpox: a Focus on Vaccines. *Expert Rev. Vaccines* **15**, 1197–1211 (2016).
52. Ciottone, G. R. *et al.* *Ciottone's Disaster Medicine*. (Elsevier Health Sciences, 2015).
53. Diagnosis & Evaluation | Smallpox | CDC. (2017). Available at: <https://www.cdc.gov/smallpox/clinicians/diagnosis-evaluation.html>. (Accessed: 1st September 2018)
54. Cenciarelli, O. *et al.* Viral bioterrorism: Learning the lesson of Ebola virus in West Africa 2013-2015. *Virus Res.* **210**, 318–326 (2015).

55. Claire, M. C. S., Ragland, D. R., Bollinger, L. & Jahrling, P. B. Animal Models of Ebolavirus Infection. *Comp. Med.* **67**, 253–262 (2017).
56. Dorner, B. G. *et al.* Biological toxins of potential bioterrorism risk: Current status of detection and identification technology. *TrAC Trends Anal. Chem.* **85**, 89–102 (2016).
57. *Terorismus a my: základy sebeobrany.* (Computer Press, 2001).
58. Anderson, P. D. Bioterrorism: Toxins as Weapons. *J. Pharm. Pract.* **25**, 121–129 (2012).
59. Nulens, E. & Voss, A. Laboratory diagnosis and biosafety issues of biological warfare agents. *Clin. Microbiol. Infect.* **8**, 455–466 (2002).
60. Koussoulakos, S. Botulinum Neurotoxin: The Ugly Duckling. *Eur. Neurol.* **61**, 331–342 (2009).
61. Henderson, D. A. The Looming Threat of Bioterrorism. *Science* **283**, 1279–1282 (1999).
62. Pinchuk, I. V., Beswick, E. J. & Reyes, V. E. Staphylococcal Enterotoxins. *Toxins* **2**, 2177–2197 (2010).
63. Whitfield, S. J. C. *et al.* Production, Characterisation and Testing of an Ovine Antitoxin against Ricin; Efficacy, Potency and Mechanisms of Action. *Toxins* **9**, (2017).
64. Berger, T. *et al.* Toxins as biological weapons for terror—characteristics, challenges and medical countermeasures: a mini-review. *Disaster Mil. Med.* **2**, (2016).
65. Martínek, B., Linhart, P. & kolektiv pracovníků Institutu ochrany obyvatelstva Lázně Bohdaneč. *Ochrana obyvatelstva: Modul E - učební pomůcka pro vzdělávání v oblasti krizového řízení.* (Ministerstvo vnitra-generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky, Kloknerova 26, 148 01, Praha 414, 2006).

66. *Medical aspects of chemical warfare.* (Office of the Surgeon General, U.S. Army ; Borden Institute, Walter Reed Army Medical Center : For sale by the Supt. of Docs., U.S. G.P.O, 2008).
67. Sidell, F. R., Takafuji, E. T. & Franz, D. R. *Medical aspects of chemical and biological warfare.* (U S Govt. Printing Office, 1997).
68. Jr, J. A. R., Romano, J. A., Salem, H., Lukey, B. J. & Lukey, B. J. *Chemical Warfare Agents: Chemistry, Pharmacology, Toxicology, and Therapeutics, Second Edition.* (CRC Press, 2007).
69. Matoušek, J., Urban, I. & Linhart, P. *CBRN: detekce a monitorování, fyzická ochrana, dekontaminace.* (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2008).
70. Pitschmann, V. *Chemické zbraně a ochrana proti nim.* (Manus, 2011).
71. CZE - ACHR-90M (dekontaminační vozidlo): Československo / ČR / SR (CZK/CZE/SVK). <https://forum.valka.cz> Available at: <https://forum.valka.cz/topic/view/15787/CZE-ACHR-90M-dekontaminacni-vozdlo>. (Accessed: 28th August 2018)
72. Prezentace - Katedra toxikologie a vojenské farmacie. Available at: <https://www.unob.cz/fvz/struktura/k304/Stranky/prednasky.aspx>. (Accessed: 1st September 2018)
73. Žuja, P. *Výzbroj chemického vojska. Díl II, Zařízení a technika dekontaminace výzbroje, techniky, materiálu a osob /.* (Univerzita obrany, 2007).
74. Šindelář, R., Hartmanová, M. & Chlábek, R. *Vojenská epidemiologie: dezinfekce, sterilizace a dekontaminace : sterilizace a dezinfekce v AČR, velká a malá přístrojová technika používaná v AČR, dekontaminace a dezinfekce při použití B-agens, dekontaminace za mimořádných situací: učební text pro vysokoškolskou výuku.* (2006).

75. Matoušek, J., Österreicher, J. & Linhart, P. *CBRN: jaderné zbraně a radiologické materiály*. (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2007).
76. Severa, J. & Bár, J. *Handbook of Radioactive Contamination and Decontamination*. (Elsevier, 1991).
77. Youngman, M. J. Review of methods to measure internal contamination in an emergency. *J. Radiol. Prot.* **35**, R1–R15 (2015).
78. Thompson, N. J. & Health Protection Agency (Great Britain). *Radiation monitoring units: planning and operational guidance*. (Health Protection Agency, 2011).
79. Stewart, C. E. & Surgeons, A. A. of O. *Weapons of Mass Casualties and Terrorism Response Handbook*. (Jones & Bartlett Learning, 2006).
80. Richardt, A. & Blum, M.-M. *Decontamination of Warfare Agents: Enzymatic Methods for the Removal of B/C Weapons*. (John Wiley & Sons, 2008).
81. Systems, N. R. C. (US) C. on E. and T., Wartell, M. A., Kleinman, M. T., Huey, B. M. & Duffy, L. M. *Decontamination*. (National Academies Press (US), 1999).
82. Shin, D. M. Prevention and Decontamination of Chemical, Biological, Radiological, and Nuclear Contaminants for the Emergency Medical Personnel during Ambulance Services. *Hanyang Med. Rev.* **35**, 146 (2015).
83. Brame, J. A., Medina, V. F., Smith, I. & Procell, L. Composition of CBRN Decontamination Effluent and Development of Surrogate Mixtures for Testing Effluent Treatment Technologies. 45 (2016).
84. Ministerstvo vnitra – generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky. *Bojový řád jednotek požární ochrany - taktické postupy zásahu*. **2017**, 5
85. Patočka, J. *Vojenská toxikologie*. (Grada, 2004).

86. Prymula, R. *Biologický a chemický terorismus: informace pro každého*. (Grada, 2002).
87. Kotinský, P. & Hejdová, J. *Dekontaminace v požární ochraně*. (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2003).
88. United states air force research laboratory & Battelle memorial institute. Wide Area Decontamination: CB Decontamination Technologies, Equipment and Projects - Literature search and market survey. 305 (1999).
89. Maurer, S. M. *WMD Terrorism: Science and Policy Choices*. (MIT Press, 2009).
90. Yang, Y. C., Baker, J. A. & Ward, J. R. Decontamination of chemical warfare agents. *Chem. Rev.* **92**, 1729–1743 (1992).
91. Kassa, J., Krs, O. & Cabal, J. *Základy vojenské toxikologie a ochrany proti BCHL pro posluhače VLA JEP farmaceutického směru*. (Vojenská lékařská akademie Jana Evangelisty Purkyně, 1992).
92. Wagner, G. W. & Yang, Y.-C. Rapid Nucleophilic/Oxidative Decontamination of Chemical Warfare Agents. *Ind. Eng. Chem. Res.* **41**, 1925–1928 (2002).
93. Amitai, G., Murata, H., Andersen, J. D., Koepsel, R. R. & Russell, A. J. Decontamination of chemical and biological warfare agents with a single multi-functional material. *Biomaterials* **31**, 4417–4425 (2010).
94. Lillie, S. H., Mattis, J. N., Kelly, J. M. & Rayburn, B. B. CBRN Decontamination: Multiservice Tactics, Techniques, and Procedures for Chemical, Biological, Radiological, and Nuclear Decontamination. 362 (2006).
95. Český obranný standard. DEKONTAMINAČNÍ LÁTKY A SMĚSI - PDF. Available at: <https://docplayer.cz/4966474-Dekontaminacni-latky-a-smesi.html>. (Accessed: 29th August 2018)

96. Charmley, L. L., Trenholm, H. L., Prelusky, D. B. & Rosenberg, A. Economic losses and decontamination. *Nat. Toxins* **3**, 199–203 (1995).
97. Lilie, M., Hein, S., Wilhelm, P. & Mueller, U. Decontamination of spices by combining mechanical and thermal effects – an alternative approach for quality retention. *Int. J. Food Sci. Technol.* **42**, 190–193 (2007).
98. Radiační havárie — Státní ústav radiační ochrany, v.v.i. Available at: <https://www.suro.cz/cz/radiacni-ochrana/radiacni-havarie>. (Accessed: 18th July 2018)
99. *Nuclear decommissioning: planning, execution and international experience*. (Woodhead Publishing, 2012).
100. Goans, R. E. & Waselenko, J. K. Medical management of radiological casualties. *Health Phys.* **89**, 505–512 (2005).
101. Molins, R. A. *Food Irradiation: Principles and Applications*. (John Wiley & Sons, 2001).
102. Rana, D., Matsuura, T., Kassim, M. A. & Ismail, A. F. Radioactive decontamination of water by membrane processes — A review. *Desalination* **321**, 77–92 (2013).
103. Štětina, J. & kolektiv. *Zdravotnictví a integrovaný zachranný systém při hromadných neštěstích a katastrofách*. (Grada Publishing, a.s., 2014).
104. Smetana, M., Kratochvílová, D. & Kratochvílová, D. ml. *Havarijní plánování: varování, evakuace, poplachové plány, povodňové plány*. (Computer Press, 2010).
105. Nuclear Decommissioning: Decommission nuclear facilities - World Nuclear Association. Available at: <http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-wastes/decommissioning-nuclear-facilities.aspx>. (Accessed: 29th August 2018)

106. Tunsu, C., Ekberg, C., Foreman, M. & Retegan, T. Investigations regarding the wet decontamination of fluorescent lamp waste using iodine in potassium iodide solutions. *Waste Manag.* **36**, 289–296 (2015).
107. Allen, M. *et al.* *MERCURY CONTAMINATED MATERIAL DECONTAMINATION METHODS: INVESTIGATION AND ASSESSMENT.* (2001).
108. Solon, J. G. & Killeen, S. Decontamination and sterilization. *Surg. Oxf.* **33**, 572–578 (2015).
109. Rutala, W. A. & Weber, D. J. Uses of inorganic hypochlorite (bleach) in health-care facilities. *Clin. Microbiol. Rev.* **10**, 597–610 (1997).
110. Rutala, W. A. Guideline for Disinfection and Sterilization in Healthcare Facilities. 161 (2008).
111. Hawley, R. J. & Eitzen Jr, E. M. Biological Weapons—a Primer for Microbiologists. *Annu. Rev. Microbiol.* **55**, 235–253 (2001).
112. Shintani, H. Ethylene Oxide Gas Sterilization of Medical Devices. *Biocontrol Sci.* **22**, 1–16 (2017).
113. Bruch, C. W. Gaseous Sterilization. *Annu. Rev. Microbiol.* **15**, 245–262 (1961).
114. Sandle, T. 11 - Other methods of sterilisation. in *Sterility, Sterilisation and Sterility Assurance for Pharmaceuticals* (ed. Sandle, T.) 157–170 (Woodhead Publishing, 2013). doi:10.1533/9781908818638.157
115. Alasri, A. *et al.* Sporocidal properties of peracetic acid and hydrogen peroxide, alone and in combination, in comparison with chlorine and formaldehyde for ultrafiltration membrane disinfection. *Can. J. Microbiol.* **39**, 52–60 (1993).
116. Fusek, J. *Biologický, chemický a jaderný terorismus.* (Vojenská lékařská akademie J.E. Purkyně, 2003).

117. Základy medicíny katastrof | 5.3.8 Dekontaminace biologických agens - Základy medicíny katastrof. Available at: <http://zsf.sirdik.org/kapitola5/5-3-8-dekontaminace-biologicky-agens>. (Accessed: 31st August 2018)
118. Cabal, J., Kuča, K. & Míčová, J. Kinetics of decomposition of organophosphate Fenitrothion by decontaminating foam-making blends. *J. Appl. Biomed. Gruyter Open* **5**, (2007).
119. Cabal, J., Míčová, J. & Kuča, K. Kinetics of hydrolysis of organophosphate soman by cationic surfactant Resamin AE. *J. Appl. Biomed.* **8**, 111–116 (2010).
120. Bunton, C. A. Micellar catalysis and inhibition. *Prog. Solid State Chem.* **8**, 239–281 (1973).