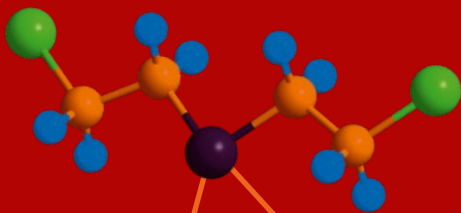


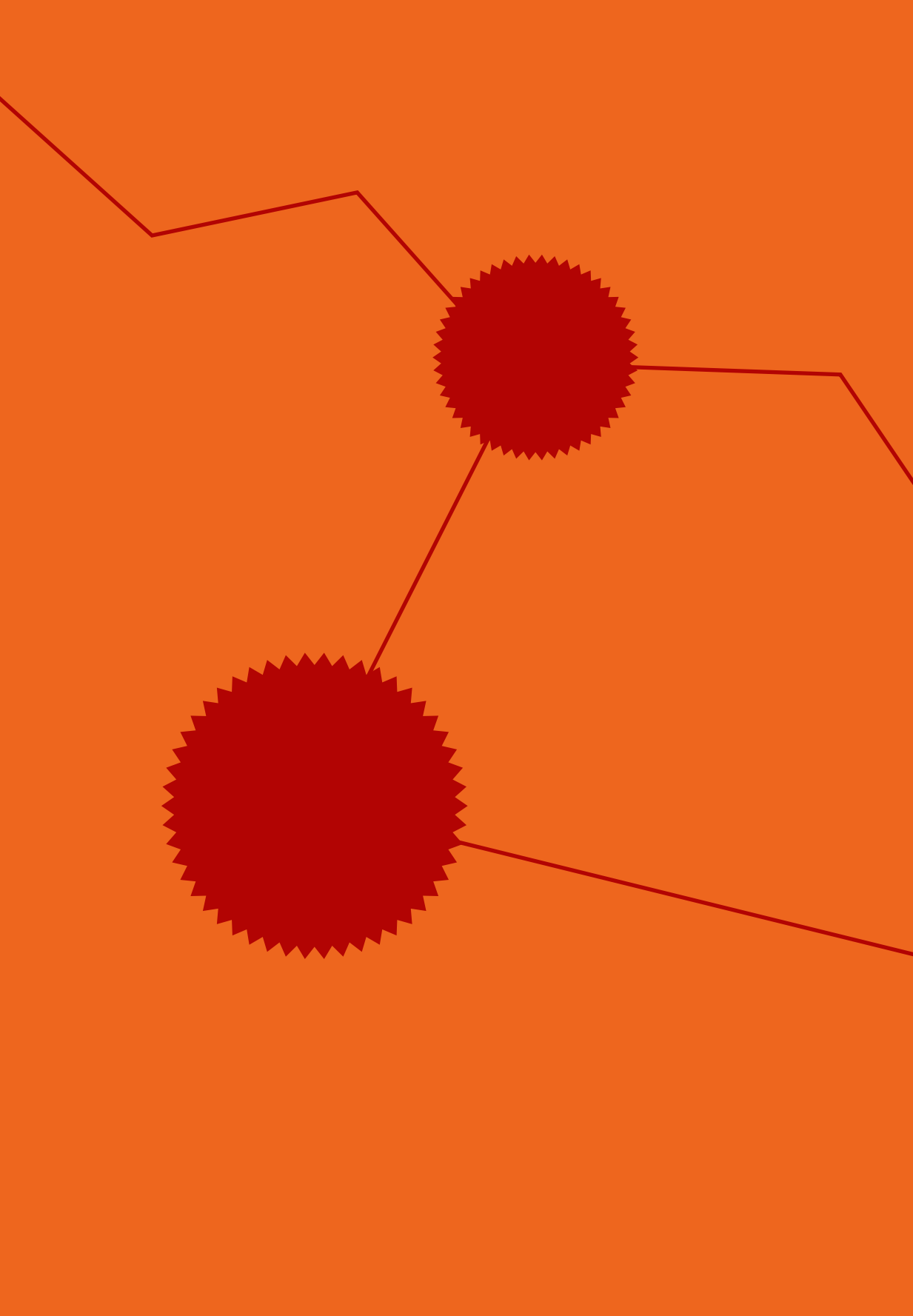
CHEMIE JDE DO VÁLKY

ONDŘEJ DVOŘÁK

VZESTUP A PÁD CHEMICKÝCH ZBRANÍ



GRADA®



ONDŘEJ DVOŘÁK

CHEMIE
JDE
DO VÁLKY

GRADA PUBLISHING

RNDr. Ondřej Dvořák, CSc.

CHEMIE JDE DO VÁLKY

Vydala Grada Publishing, a. s.
U Průhonu 22, Praha 7
obchod@grada.cz, www.grada.cz
tel.: +420 234 264 401
jako svou 10360. publikaci

Odpovědný redaktor Petr Somogyi
Grafická úprava a sazba Jakub Náprstek
Počet stran 200
První vydání, Praha 2025
Vytiskly Tiskárny Havlíčkův Brod, a. s.

© Grada Publishing, a. s., 2025
Cover Photo © Depositphotos/Raimund14

Upozornění pro čtenáře a uživatele této knihy

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této tištěné či elektronické knihy nesmí být reprodukována a šířena v papírové, elektronické či jiné podobě bez předchozího písemného souhlasu nakladatele. Neoprávněné užití této knihy bude trestně stíháno.

Automatizovaná analýza textů nebo dat ve smyslu čl. 4 směrnice 2019/790/EU a použití této knihy k trénování AI jsou bez souhlasu nositele práv zakázány.

ISBN 978–80–271–8381–4 (ePub)
ISBN 978–80–271–8380–7 (pdf)
ISBN 978–80–271–5922–2 (print)

OBSAH

7

ÚVOD

CHEMIE, ETIKA A EMOCE 8
CO JSOU CHEMICKÉ ZBRANĚ? 9
TROCHA TERMINOLOGIE 11

13

NEVIDITELNÁ HROZBA

CHEMICKÉ ZBRANĚ MYTICKÉ 14
JIŽ STAŘÍ ŘÍMANÉ 16
OXID SIŘIČITÝ 18
UTREJCH 21
RTUŤ 27
NEHAŠENÉ VÁPNO 27
VEZMI ZMIJI ZAMŘELOU A TRUSU PŘIDEJ 28
KURARE ANEB JIŽ STAŘÍ INDIÁNI 34
OTRÁVENÁ KIRRHA 41
PŘES VÝKALY K DIVU SVĚTA 47
KONEC STARÝCH ČASŮ A JEDOVATÝCH HROTŮ 49

53

NA ZÁPADNÍ FRONTĚ PLYN

CHLOR 55
CHEMICKÁ SLUŽBA A OCHRANA 64
BYLO, NEBYLO 76
KANÓNY, TLAKOVÉ LAHVE
A PLYNOMETY 87
CHEMICKÉ ZBRANĚ DUSIVÉ 92
KONEČNĚ KRÁL PLYNŮ! 97
KOLIK TOHO BYLO CELKEM? 110

111

OD VELKÉ VÁLKY K SOUČASNÝM HROZBÁM

CHEMICKÁ VÁLKA
V MEZIVÁLEČNÉM OBDOBÍ 112
VŠEOBECNĚ JEDOVATÉ SLOUČENINY 115
SLOUČENINY NERVOVĚ PARALYTICKÉ 127
JAK NA CÍL? 146

153

OD VIETNAMU K EMOCÍM

PŘES ROSTLINY PROTI LIDEM 155
LÁTKY ZNESCHOPŇUJÍCÍ 161
ZBRANĚ, KTERÉ NEEXISTUJÍ 163
SVĚTLONOŠ KOSTÍK 166
PŘÍSTROJOVÁ ANALÝZA 171
TRIUMF HUMANITY,
NEBO ERUPCE EMOCÍ? 173

ODPOVĚDI NA OTÁZKY 183 | LITERATURA 186 | REJSTŘÍK 194 | ZDROJE VYOBRAZENÍ 199

ÚVOD

CHEMIE, ETIKA A EMOCE

Nasazení chemických zbraní v nás vzbuzuje silnější emoce než boj pomocí pušek, děl a tanků. Existuje pro to nějaký důvod? Cílem následujícího pojednání je alespoň částečně demystifikovat principy, které stojí za chemickými hrozbami. Ponořením do chemických interakcí a biologických dopadů získáme komplexní perspektivu o velikosti a významu potenciálního nebezpečí. Podíváme se na působení chemických zbraní, ochranu proti nim, na možnosti stanovení jejich přítomnosti. Chemické zbraně byly v průběhu dějin použity tolikrát, že není možné zmínit každý jednotlivý případ. Soustředíme se na tedy na typické prvky i sloučeniny a na významné či zajímavé momenty jejich bojového nasazení v historickém kontextu.



Chemické zbraně v umění, obraz Plynový útok (Gas Attack), Alexander Young Jackson (1882– 1974)

O smysluplnosti tohoto pohledu mě utvrzují i slova brigádního generála ing. Františka Kolaříka v předmluvě ke knize plk. Viktora Ettela o chemických zbraních [Ettel, 1932, s. 1]:

Při tom mohl jsem na druhé straně pozorovati názorové zmatky, jimiž je hustě obklopen celý problém chemické války, a to jak v široké veřejnosti, pochopitelně vzrušené perspektivou letecko-chemických útoků, tak i v armádách, jež se s pochopitelnými potížemi konformují zkušenostem poslední války. Ve změti citových zaujetí a zájmových pohnutek, s nimiž se agituje pro i proti chemické válce, při lehkověrném přijímání poplašných zpráv na jedné straně i při přezíravé netečnosti ke skutečným nebezpečím na straně druhé, zdá se nesmírně těžkým určit správné stanovisko, jež má zaujmout voják i občan ve věci chemické války. (...) A přece soudím, že je místo, odkud možno alespoň přehlédnout tuto novou oblast válečnictví nezkrlesně a v pravém měřítku, a že je prostředek, jak se dopracovávat objektivní pravdy o ní. Tím místem je vědecká laboratoř a prostředkem jsou metody, které jsou vlastní exaktní vědě chemické i technickému pokusnictví.

Přestože od vydání citované knihy uplynulo více než devadesát let, nemyslím, že situace od té doby naznala změny (a jestli, tak jen k horšímu...).

CO JSOU CHEMICKÉ ZBRANĚ?

Hájemství chemických zbraní leží v nejasném průniku vědy a etiky. Zatímco diskutím na toto téma zpravidla dominuje pohled historický anebo politický, tato kniha se soustředí na chemii ukrytou za jejich fungováním a účinkem. Pochopení molekulární struktury, mechanismu působení, analýzy a syntézy látek používaných v chemických zbraních je důležité nejen pro ochranu proti nim. Jde o významné znalosti v nekončící diskusi o chemických zbraních ve světě, kde takové technologie existují.

Prvním krokem k poznání chemických zbraní musí být jejich definice. Co chemické zbraně jsou, o čem budeme v této knize číst? Chemické zbraně jsou v první řadě jedovaté či toxické sloučeniny, které škodí či zabíjejí prostřednictvím svých toxických vlastností [OPCW, 2025]. Znamená to, že nás zahubí prostřednictvím nějaké chemické reakce.

Vystřelení střely z pušky je rovněž výsledkem chemické reakce. Rychlost a energii jí dodá rozpínání plynů vzniklých hořením střelného prachu, tedy chemickou reakcí. I pro výrobu chladných zbraní (jako mečů, dýk či moderních bajonetů) potřebujeme chemickou reakci, s jejíž pomocí získáme železo z rudy. Samo působení palných a chladných zbraní na cíl je čistě mechanické. Chemické zbraně oproti tomu působí na povrchu či uvnitř našich organismů pouze chemickou reakcí, není na nich tedy nic mechanického.

Biologické zbraně

Pokud do akce zapojíme libovolný organismus, zejména bakterie, získáme zbraň biologickou. Chemické a biologické zbraně jsou úzce propojené a vytvářejí vzájemný průnik. Škodlivost patogenních

bakterií spočívá v tom, že produkují bakteriální toxiny, které ničí naše buňky. Pro jedovaté produkty bakterií používáme výraz toxiny. Například původce smrtelné choroby anthrax je bakterie zvaná *Bacillus anthracis*.



Kresba molekuly toxinu, který produkuje Bacillus Anthracis. Strukturu molekuly znázorníme jako smotané stužky a provázky, což víceméně odpovídá skutečnosti. Průměr těchto provázků odpovídá několika atomům

Pozorovat molekulu takto přímo je nemožné. Použitím různých technik můžeme zrekonstruovat či odhadnout, jak vypadá. Tvar molekuly můžeme spočítat z interferencí rentgenového záření, jehož vlnová délka je velmi blízká vzdálenostem mezi atomy. Informace o obrovských molekulách bílkovinných systémů nám může přinést mikroskopie atomárních sil, kdy jemňounkým hrotem zakončeným jediným atomem molekulu jakoby ohmatáváme. Rovněž elektronová mikroskopie v poslední době pokročila natolik, že velké molekuly jí nejsou nedostupné.

Pokud izolujeme nebo vyrobíme bakteriální toxin v továrně a počastujeme jím nepřítele jen jako neživou chemickou sloučeninou, je to chemický útok. Pokud zaútočíme přímo rozprášením bakteriální kultury, která produkuje týž toxin, je to biologický útok. Přípravu toxinu za nás převezme jiný živý organismus, byť jde o stejnou sloučeninu, která nás poškozují chemickými reakcemi uvnitř buněk našich těl.

Nejen sloučeniny samotné

Pojem „chemické zbraně“ zahrnuje nejen vlastní sloučeniny, ale i prostředky k jejich dopravě na cíl. Dělostřelecké granáty či tlakové lahve plněné jedovatým plynem rovněž označujeme jako chemické zbraně, stejně jako plyn sám. Máme-li na mysli jenom sloučeniny, můžeme použít výrazy „bojové otravné látky“ anebo méně přesně „bojové či otravné plyny“. Většina chemických sloučenin používaných jako bojové otravné látky nejsou za normálních podmínek plynné, ale kapalné.

Mezi chemické zbraně řadíme rovněž sloučeniny, z nichž se chemikálie sloužící jako chemické zbraně vyrábějí. Není výjimkou, že sloučeniny použitelné k výrobě otravných plynů využíváme v chemickém průmyslu pro přípravu zcela mírumilovných látek. Jde o tzv. látky dvojího užití (anglicky *dual-use*). Zda jde, či nejde o chemickou zbraň, rozhodne zamýšlené užití. Například isopropanol neboli isopropylalkohol potřebujeme k výrobě vysoce toxické chemické zbraně sarinu, nebo ho využijeme jako čisticí, dezinfekční či konzervační prostředek, anebo v polygrafii. V prvním případě jde o chemickou zbraň, v dalších nikoliv, přestože sloučenina je stejná.



Smrtící plyn, grafika Josefa Váchala (1884–1969) z roku 1934

Mezi chemické zbraně kromě jmenovaného řadíme rovněž veškerá zařízení přímo spojená s nasazením chemických zbraní [OPCW, 2025].

TROCHA TERMINOLOGIE

Když hovoříme o chemických zbraních, nelze opomenout termín otrava neboli intoxikace. I když si zpravidla představíme otravu smrtelnou, může jít o otravu či intoxikaci docela slabou. Jsme-li například po požití několika piv v náladičce, máme lehkou intoxikaci. Ovšem velké množství alkoholu způsobí otravu smrtelnou.

Účinky každé sloučeniny závisejí na velikosti její dávky. Byť toxikologie, nauka o jedech, umí charakterizovat jedovatost sloučeniny přesným číslem, nebudeme v této knize tak exaktní a použijeme obecnější údaje. Velice záleží na způsobu a rychlosti podání sloučeniny. Je zásadní rozdíl, zda

jed polkneme, vdechneme, vdechujeme, vbodneme do svalu anebo přímo do krve. Vstřebávání plynů a par skrze oko je rychlejší než kůží. Proto pokud pracujeme s nějakou přesnou číselnou hodnotou, neobejdeme se bez znalosti postupu, jak byla určena. V odborné literatuře tedy můžeme narazit na navzájem si odporující údaje.

Prvky, atomy, sloučeniny, molekuly aneb krátké opáčko ze školy

Budeme-li hovořit o chemické válce a chemických zbraních, každou chvíli použijeme pojem „prvek“ nebo „sloučenina“. Chemický prvek je látka, kterou tvoří atomy jediného druhu, tedy se stejným počtem kladně nabitých protonů v jádře. Jádro nejjednoduššího prvku vodíku tvoří jediný proton. Nejtěžší známý prvek je uměle připravený oganesson se 118 protony v jádře. Přidáním jediného kladně nabitého protonu do jádra vznikne prvek jiný s velmi odlišnými vlastnostmi. Každý prvek označujeme jediným neopakovatelným symbolem z jednoho nebo většinou dvou písmen. Vodík je H, uhlík C, kyslík O, helium He, lithium Li, síra S, arsen As, chlor Cl a oganesson Og.

Atomy prvků se mohou spojovat nejrůznějšími způsoby. Vznikají tak molekuly. Molekulu vytvářejí minimálně dva atomy. Jsou-li všechny atomy vytvářející molekulu stejné, hovoříme stále o prvku. Většinu plyných prvků tvoří molekuly dvouatomové. Kyslík se vyskytuje jako O_2 , chlor jako Cl_2 . Číslice v dolním indexu udává počet atomů označených předcházejícím symbolem v molekule. Čistou síru často nalézáme v podobě molekul s osmi atomy S_8 .

Zkombinujeme-li různé atomy, získáme sloučeninu. Z vodíku a kyslíku vzniká voda H_2O , ze síry a kyslíku oxid siřičitý SO_2 , z kyslíku a arsenu oxid arsenitý As_2O_3 . Vidíme, že oxid siřičitý a oxid arsenitý mají odlišné složení, přestože v obou případech jde o oxidy, sloučeniny s kyslíkem. Složení molekul je dáno chemickými vlastnostmi jednotlivých prvků, které ji tvoří.

Ale už dost o atomech, sloučeninách a molekulách, víme toho už dost, abychom mohli pokročit k vlastním chemickým zbraním.

1

NEVIDITELNÁ HROZBA

Chemické zbraně spojujeme pouze s moderní dobou a s rozvojem věd a technologií během průmyslové revoluce a po ní. Leč v podobě nejrůznějších jedovatých hrotů či ostří, ať už šípů, šipek, oštěpů či kopí, existují chemické zbraně od nepaměti. Užití jedovatých substancí, často v kombinaci s hořlavými látkami, nepředstavovalo od prehistorických dob nic zvláštního. V očích současníků nešlo o žádnou specializovanou činnost.

CHEMICKÉ ZBRANĚ MYTICKÉ

V této kapitole zmíníme jenom to nejdůležitější o pradávnych chemických zbraních a typické nebo zajímavé příklady, ať už se týkají použití nebo receptur. Nikdo se tímto uměním příliš nechlubil jako velkou statečností, ale všichni ho využívali, mohlo-li jim to přinést nějaký prospěch. V zásadě všichni ctíli starořímskou vojenskou poučku: „Armis bellum non venenis geritur“ (Války jsou vedeny zbraněmi, nikoliv jedy). Ale účinnost těch zbraní mohly jedy trochu zvýšit...

Řecký rek Hérakles namočil hroty svých šípů do jedovaté krve čerstvě zabitě mytické lernské hydry. Rány způsobené těmito šípy se nikdy nezhojily. Zůstává otázkou, zda svými šípy vedl boj chemický, nebo biologický. A možná to nebyla krev, ale žluč.



Hérakles za pomoci nevlastního synovce Iolóa bojuje s hydrou v bažinách u města Lerna

Jedovaté hroty znali i účastníci trojské války. Znamená to, že počátky využití jedů pro válečné účely jsou velmi starého data a spadají do prehistorie. V dobách mytických šlo zjevně už o zavedené technologie. Současná slova „toxický“ a „toxin“ pocházejí z řeckého *toxikon* (τοxicον), což označuje právě jed pro užití na hrotech šípů [Harper, 2025].

Autoři mýtů nebo snad sami bohové měli smysl pro ironii, protože jedem mytické lemské hydry zahynul sám Hérakles. Když zlotřilý kentaur, napůl člověk, napůl kůň, unášel jeho ženu Deianeiru, střelil ho hrdina otráveným šípem do zad. Střílet kohokoliv do zad není pěkné, i když jde o zlého kentaura. Na druhou stranu, co měl dělat, když ho nemohl dohnat? Prostě typický přístup našich dávných předků. Nic obdivuhodného, ale když to jinak nejde...



Hérakles otráveným šípem zabíjí kentaura Nessa

Umírající kentaur obalamutil naivní Héraklovu ženu, aby si malé množství jeho nyní již též jedovaté krve prýstící z rány uchovala v nádobce jako elixír lásky. Po létech, když získala dojem, že Héraklova láska ochabuje, mu skutečně napustila jedovatou kentauroví krví slavnostní šat. Nedopadlo to dobře, jak popsal římský básník Ovidius [Naso, 1969]:

*Ihned snaží se pak to smrtící roztrhnout roucho;
ale kde tahá, tam šat mu stahuje kůži a k údům
lne (jest hrozné to říci!), jsa nadarmo strháván s těla,
nebo mu zdrásané údy a velké odkrývá kosti.
Krev pak příšerně syčí jak ocele řěavé pláty
ztopené v kád' a do varu jed ji uvádí vroucí.
Míry pak není v tom zlu: již srdce ty plameny lačné
vstřebává, siný pot mu splývá po celém těle,
prašti ožehlé šlachy, a morek se rozplynul v kostech
skrytým účinkem jedu...*

Otázkou je, zda jedovaté šípy pronikly do mýtů proto, že byly naprosto běžnou součástí života, anebo proto, že byly zcela výjimečné a tudíž hodné zaznamenání. Zdrojem informací našich předků o jedech je nepochybně pozorování přírody, ve které žije řada jedovatých živočichů a roste mnoho toxických rostlin. Proto bych se přiklonil k variantě první, že jedem vylepšené zbraně byly běžnou součástí života. Sám bůh Apollón trestal porušování odvěkých pořádků neviditelnými šípky, které způsobovaly mor. Používal-li biologické zbraně bůh, jistě nebylo nic špatného na tom, když po toxických chemikáliích sáhli i obyčejní smrtelníci.

JIŽ STAŘÍ ŘÍMANÉ

Válka trvala už několik let. Potící se vojáci v horkém podkopy vyplněném pachem nemytých mužských těl a hořících olejových kahanů těžce lapali po dechu. Přesto kopali stále dál a hlouběji. Najednou se část stěny zhroutila a vyřítily se na ně řvoucí římské vojáci, kteří se k nim prokopali protipodkopem z obléhané pevnosti. Peršané byli připraveni. Rychle se obrátili na útěk. Poslední z nich zapálil předem připravenou nádobu, jejíž obsah hořením produkoval jedovatý dým.

Zhruba tak proběhlo nejstarší archeologicky zdokumentované užití chemických zbraní, k němuž došlo v roce 256 n. l. Vojsko novoperské říše obléhalo opevněné římské město Dura Europos. Zbytky tohoto stovky let významného hraničního sídla dodnes najdeme nad řekou Eufrat nedaleko místa, kde opouští Sýrii a vtéká do Iráku.

Jak už to bývá, obléhatelé chtěli pomocí podzemních tunelů hradby podkopat. Jaké ale bylo jejich překvapení, když se z ničeho nic kus stěny tunelu propadl a vyhrnuli se z něj římské vojáci. Obléhání bedlivě naslouchali kutání Peršanů a kopali proti nim svůj vlastní tunel. V pravý okamžik by do podkopy vtrhli, překvapené obléhatele pobili a podkop zasykali.

Peršané s takovou možností ale počítali a připravili Římanům jedovaté překvapení. Nastražili na ně past. Když se nepřítel nečekaně objevili, nebojovali, utekli a podpálili předem připravenou směs síry (anglicky *sulfur*, *sulphur*) s asfaltem. Před toxickou směsí hořením vznikajícího oxidu siřičitého SO_2 (*sulfur dioxide*) a oxidu uhelnatého (*carbon monoxide*) nebylo

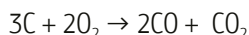


Hlavní vstupní brána do pevnosti Dura zvaná Palmyrská

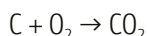
v úzkém a nízkém podkopu úniku. Ve třicátých letech minulého století našli archeologové při vykopávkách ve zbytcích tunelu kolem dvaceti mrtvých římských vojáků a o kousek dál jednoho perského. Zřejmě šlo o pozůstatky odvážlivce nebo nešťastníka, který směr zapálil a před jedovatým dýmem nestačil utéct [Patel, 2010; Afshari, 2018].

Oxid uhelnatý a uhličitý – velmi odlišní bratři

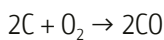
Při hoření látek s obsahem uhlíku (*carbon*), ať už jde o uhlí, ropu, asphalt, dřevo, smůlu nebo jiné organické látky, reaguje uhlík s kyslíkem z ovzduší za vzniku oxidu uhličitého CO₂ (*carbon dioxide*) a uhelnatého CO.



Je-li k dispozici dostatek kyslíku ve správnou dobu na správném místě, může dojít k úplnému shoření uhlíku na oxid uhličitý.



Dosáhnout toho není snadné a musíme se hodně snažit. Ve skutečnosti nejčastěji vzniká směs obou oxidů. Na rozdíl od svého nedokysličeného bratříčka ale oxid uhličitý CO₂ jedovatý není. V těle ho máme plno, je produktem našeho metabolismu a vydechujeme ho každým výdechem. Čím více oheň přidusíme a čím méně kyslíku mu dopraváme, tím více vzniká oxidu uhelnatého.



Oxid uhelnatý je toxický, a to hodně. Nepáchne, nevoní, nedráždí. Váže se na krevní barvivo hemoglobin pevněji než kyslík, čímž zastavuje okysličování tkání. Smrt nastává udušením. Přesný mechanismus jeho působení popíšeme později v kapitole *Hemoglobin v ohrožení*.

Pokoušíme-li se vypudit osoby v nějakém stísněném prostoru kouřem, jde o působení několika souběžných jevů. Hoření spotřebovává kyslík. Zároveň produkuje jedovatý oxid uhelnatý a nejedovatý oxid uhličitý, který vytlačuje zbytky vzduchu. Svou roli hrají samozřejmě i další zplodiny hoření, které tvoří kouř. Když si pořádně loknete dýmu z obyčejného ohničku, začnete hodně kašlat. A teď si představte situaci, kdy nemáte kam ukročit na čerstvý vzduch.

V antice zbývalo do objevu oxidu uhelnatého ještě hodně přes tisíc let. Nicméně dávní ohněstrůjci věděli, že plameny neprodukují jen žár, ale zabíjejí i bez bezprostředního kontaktu. A zejména v uzavřených prostorách, jako jsou budovy či tunely, dokázali tento jev využít.

Řecký generál ze 4. století př. n. l. Aineias Taktikos (latinsky se uvádí jako Aeneas Tacticus) uvádí ve své příručce o boji proti podkopům následující [Aeneas, 2019, XXXVII, 3–4]:

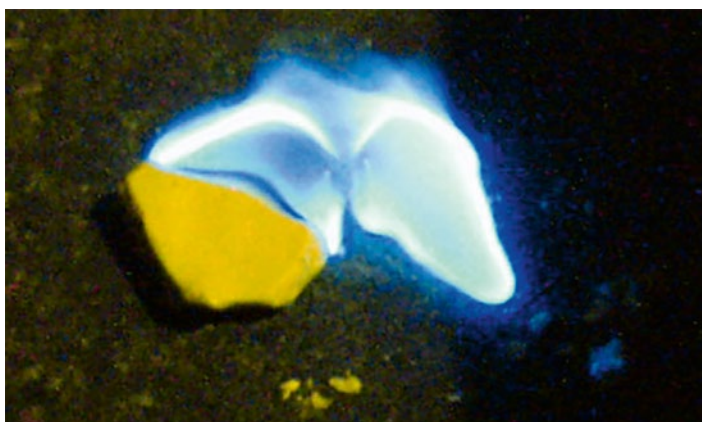
... a když podkop vyústí někde v příkopu, vyklop na to místo dříví a zapal a všechno zakryj, aby kouř pronikal do otvoru a uškodil těm, kteří jsou v podkopu. Kouř může dokonce mnohé z nich i usmrtit.

Nepřipomíná vám tato rada boj o pevnost Dura, který proběhl zhruba o šest set let později?

Ve zmíněné příručce najdeme řadu dalších rad ohledně chemických zbraní. Obráncům měst doporučuje naplnit pytle smolou, sírou, koudelí, jemně drceným kadidlem, borovými hoblinami a pilinami a zapálené vrhat z hradeb na nepřítele [Aeneas, Perseus Digital Library, XXXV.1; Aeneas, 2019, XXXV.1].

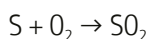
OXID SIŘIČITÝ

Pozorný čtenář jistě zaregistroval, že kromě organického asfaltu byla součástí zápalné směsi v pevnosti Dura rovněž síra. Tento prvek pěkně hoří a není obtížné ho zapálit, tak původně síru prostě přidávali do zápalné směsi. Publius Flavius Vegetius Renatus, pozdně antický autor vojenské příručky *Epitoma rei militares* (Shrnutí věcí vojenských) výslovně uvádí [Vegetius Renatus, IV.8]: „Bitumen,¹ síru, smůlu, kapalný olej, který nazývají zápalným, měj připravené ke spálení nepřátelských strojů...“ Těmito stroji myslí dřevěné oblévací stroje. Zjevně pro něj tedy síra představuje zápalný prostředek, nikoliv chemickou zbraň.



Modrý plamen je pro hořící síru typický

Nebylo obtížné zjistit, že hořením síry vzniká velmi dráždivý plyn oxid siřičitý SO_2 . Jako zdroj kyslíku postačí okolní vzduch.



Pouhá složka zápalné směsi vyrostla v samostatnou chemickou zbraň, či spíše v kombinovanou zápalně-chemickou zbraň. Oxid siřičitý je extrémně dráždivý, štiplavě páchnoucí, bezbarvý plyn vyvolávající silný kašel, při silné otravě dokonce otok plic. Vyšší koncentrace vedou k udušení, což se stalo osud-

¹ Bitumenem nazýváme přírodní uhlovodíky. Kromě jiných k nim patří ropa, zemní plyn a asfalt.

ným nebohým římským vojákům sevřeným v úzkém tunelu pod pevností Dura. Oxid siřičitý není tak jedovatý jako oxid uhelnatý, ale stačí to. Navíc je velmi nepříjemné v něm pobývat a dýchat ho bez ochrany.

Peloponéská válka

Užití oxidu siřičitého jako bojového prostředku je mnohem staršího data než boj o pevnost Dura. Během peloponéské války obléhali Sparťané roku 429 př. n. l. město Plataje, spojence Athén. Obránci se tvrdě bránili a odolávali všem útokům a úskokům nepřátel. Obléhatelé proto sáhli po zápalných a chemických zbraních [Thukidydes, 1906, díl 1, s. 162]:

Dříve však rozhodli se zkusiti věc ohněm, zda-li by mohli za nastalého větru zapáliti město (...) Přinášejíce tudíž otepi roští, házeli je z náspu řadou doprostřed mezi zdi a protějším náspem, a když mezera ta brzy se vyplnila, ježto zde mnoho rukou pracovalo, naházeli ještě roští podél zdi a kam jen právě v ostatní části města mohli svrchu zasáhnouti nejdále. Potom naházevše oheň se sírou a smolou, zapálili roští. A povstal tam plamen mohutný, jakého nikdo dosud nespátřil, pokud aspoň až po onu dobu byl rozdělán rukama lidskýma; (...) Oheň ten byl veliký a jen pramálo scházelo, i byl by Platajské, jižto unikli všech ostatních pohrom, zahubil. Neboť uvnitř v městě nebylo lze na hodný kus cesty k ohni se přiblížiti, a kdyby byl vítr k plameni se přidružil a jej k městu poháněl, což také nepřátelé očekávali, nebyli by vyvázli. Tu však prý i to se událo, že velký přívál s hromobitím se přihnal, plamen uhasil, a tak nebezpečnost minulo.

Bohové zřejmě stáli na straně Platajských.

Žádné archeologické nálezy, které by doložily popsanou akci, neznáme. Nicméně historik Thukydides a jeho *Dějiny peloponéské války* představují zdroj dostatečně důvěryhodný. Rovněž v nich popisuje zvláštní zbraň, kombinaci velkého plamenometu a plynometu. Nasadili ji oblehatele Athéňany drženého města Delion roku 424 př. n. l. [Thukidydes, 1906, díl 2, s. 150]:

Mohutný trám rozříznuvše uprostřed ve dvě, vydlabali jej po celé délce a spojili opět, aby přesně přiléhal, právě jako rouru, a na konec břevna zavěsili kotel na řetězích, do kterého byla zapuštěna s trámu trubka měchová, železná směrem dolů a ostatní kus dřeva byl hodně daleko okován železem. Přivázeli pak kus ten z veliké dálky na vozích k náspu tam zvláště, kde byla stavba zatarasená révovím a dřívím; a kdykoliv byl již stroj blízko u náspu, vložili mohutné měchy na konec trámu k nim obrácený a uváděli měchy v činnost. Proud vzduchu jda rourou neprodyšně uzavřenou do kotlu naplněného rozžhaveným uhlím, sírou a smolou, rozněcoval mohutný plamen a zapálil ohrazení na různých místech, takže tam již nikdo nemohl vydržeti, nýbrž opustivše je, dali se na útěk, a opevnění bylo tím způsobem ztečeno.

Užití zapálené síry jako chemické zbraně zřejmě nebylo v antice ani ve středověku zvláštností. Zpráv o tom máme vícero. S pomocí síry se bránili obyvatelé fénického Tyru při obléhání vojsky Alexandra Velikého roku 332 př. n. l. Naplnili zápalnou loď klestím, smolou a sírou a zahájili úspěšný pro-

tiútok. Zničili při něm hráz, kterou řečtí zákopníci ohrožovali jejich ostrovní město, a podpálili Alexandrovy obléhací stroje. Přes tento dočasný velký úspěch nakonec soustředěnému tlaku Řeků podlehl [Arrianos, 1989, s. 74].

Obránci římského města Aquileia během jedné z četných občanských válek sáhli po tradiční směsi síry s asfaltem, kterou doplnili olivovým olejem a smůlou. Hořící směs rozlivali po útočnicích pomocí nádob s dlouhou rukojetí [Herodian, 2020, s. 216].

Síra ve středověku

Zajímavou, nejspíš improvizovanou zbraň využívající síru popisuje byzantská princezna a historička Anna Komnena (1083 – cca. 1154). Obránci byzantského Dyrrachia (též Dyrrhachia, dnešní Dürres v Albánii) vystřelovali proti obláhatelům pomocí rákosu hořící směs síry a kalafuny. Doslova uvádí [Komnena, 2025, XIII, 3]:

Takový oheň používali muži z Dyrrachia přímo, když byli tváří v tvář nepříteli, a spálili jim vousy a obličej. A nepřítel bylo vidět, jak jako roj vykuřovaných včel chaoticky prchají z místa, do kterého pořádaně vstoupili.

K těmto událostem došlo někdy v letech 1107–1108 n. l. během válek s Normany.

Kouřové sudy produkující oxid siřičitý a uhelnatý pouštěli proti Turkům obránci Konstantinopole v roce 1453. Nicméně proti turecké artilerii – tedy zbraním využívajícím střelný prach – zhotovené uherským mistrem Urbanem se neprosadili, takže dobyté město dnes nese jméno Istanbul. Mimochodem, velmi důležitou přísadu střelného prachu představuje rovněž síra.

Po starém dobrém oxidu siřičitém sáhla i turecká armáda ve vedlejší epizodě stejné války. V boji o Princovy ostrovy v Marmarském moři nedaleko od Konstantinopole turecký admirál vykouřil obránce tradiční hořlavou směsí s obsahem síry [Runciman, 1970, s. 93; Fuller, 1956, s. 512].

Kronika polského letopisce, diplomata, vojáka a Lvovského arcibiskupa Jana Długosze (1415–1480) zvaná *Annales seu cronicae incliti Regni Poloniae* (Letopisy proslulého Polského království) zachycuje použití bojového plynu Mongoly v bitvě u Legnice ve Slezsku roku 1241. Dovedně manévrující Mongolové předstírali ústup a navedli rychle postupující křesťanské rytíře do ukrutně páchnoucího oblaku, který vznikl výbuchem strašidelné hlavy s vousisky. Puch byl tak hrozný, že vojáci, pokud neomdleli, zcela ztratili schopnost bojovat. Stejně působil plyn na jejich koně. Nesnesitelný zápach železnou jízdu paralyzoval a Mongolové ji snadno pobili. Vzhledem k tomu, že Jan Długosz kroniku psal zhruba 200 let po těchto událostech, musíme všechny údaje brát s rezervou. Můžeme se jen dohadovat, že nejspíš šlo o oxid siřičitý.

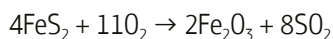
Kde ji brali?

Síra je pevný chemický prvek žluté barvy, který je na Zemi hojný jako samostatný minerál. Vyskytuje se v nejrůznějších sloučeninách, ale i čistý, takže nebyl problémem si ji opatřit ani ve starověku. Nalézáme ji ve vulkanicky aktivních oblastech, kde se usazuje ze sopečných plynů poblíž kráterů nebo kolem horčích pramenů.



Současná těžba síry z kráteru sopky Kawah Ijen na východě ostrova Jáva, rok 2009

Oxid siřičitý vzniká rovněž při pražení některých nerostů s obsahem síry. Pražení pyritu, disulfidu železnatého FeS_2 , je takřka základem naší civilizace. Získáváme tak oxid železitý, surovinu pro výrobu železa.



Oxid siřičitý vznikající pražením pyritu se v současnosti využívá k výrobě kyseliny sírové, extrémně důležité průmyslové chemikálie.

UTREJCH

Významné místo mezi chemickými zbraněmi starověku a středověku náleží rovněž prvku arsenu (anglicky *arsenic*). Ryzí arsen je v přírodě vzácností, nacházíme ho v těžitelných minerálech. Nejčtenější jsou ložiska arsenopyritu o složení FeAsS . Nehoří, ale pražením se z něj uvolňuje plynný oxid siřičitý SO_2 a vzniká velmi toxický oxid arsenitý As_2O_3 . Starověcí hutníci určitě znali arsenové rudy a uměli je zpracovávat. Kromě klasického bronzu, slitiny mědi a cínu, používali tehdejší lidé pro výrobu zejména nástrojů arsenovou bronz. Šlo o slitinu mědi a arsenu [Odlar, Kmošek, Fikrle, Erban Kochergina, 2021].



Minerál arsenopyrit z Číny



Těžba stříbra v Kutné Hoře, obraz z konce 15. století

Oxid arsenitý je tuhá látka, která bez problémů vytváří při pražení bílý dým, jemné pevné částice rozptýlené ve vzduchu. Pozorovali ho již dávní hutníci při pražení rud s obsahem arsenu [Remy, 1972, s. 692–696]. Odtud byl již jen krůček k vojenství.

Oxidem arsenitým rozpuštěným ve vodách říčky Vrchlice, zvané též Malešovský potok, otrávil obránci Kutné Hory roku 1304 vojsko císaře Albrechta I. Habsburského, které je obléhalo. Do říčky protékající těsně pod městem naházeli strusku a všechny zbytky po dolování a přípravě stříbra. Oxidu arsenitého v ní bylo zřejmě dost, protože ho pod jménem „kutnohorská jedová hlinka“ kutnohorští měšťané prodávali ještě o stovky let později i do zahraničí jako přípravek na hubení hlodavců a švábů [Bílek, 2001, s. 64]. Kromě oxidu arsenitého se ve vodách Vrchlice ze strusky jistě rozpustilo také mnoho různých těžkých kovů, které Albrechtovým vojákům ani jejich koním nebyly ku prospěchu.

Oxid arsenitý známe pod triviálním jménem arsenik, z čehož vznikly i české výrazy otrušik nebo utrejch (utrych). Jde o oblíbený prostředek travičů a traviček. Například Maryša ze stejnojmenné divadelní hry Aloise a Viléma Mrštíků ho použila k otrávení svého manžela [Mrštík, Mrštík, 1925].

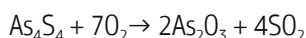
Handgranát z utrejchu

Číňané údajně již před třemi tisíci lety vyráběli granáty, které po zapálení uvolňovaly toxický kouř obsahující oxid arsenitý [Radkeab, Jewell, Piketh, Namiešnik, 2014]. Šlo nejspíš o oblíbenou zbraň, protože i v čínské vojenské příručce z 11. století *Wu-ting cung-jao* najdeme recept na toxické dýmové koule, které kromě hořlaviny a jedovatých rostlin obsahují As_2O_3 [Partington, 1998, s. 263].

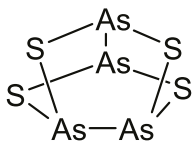
Ani ve středověku rozhodně nešlo o neznámou zbraň. Zajímavý recept nabízí receptář asi třiceti bojových směsí z 15. století s názvem *Streydt-Buch-von Pixen, Kriegsgrüstung, Sturmzeuch und Feuerwerckh*,² který je dílem anonymního autora. Koule vytvářející hořením otravný dým, vlastně chemický ruční granát, můžeme připravit smísením ledku, uhlí z lipového dřeva, realgaru, auripigmentu, oxidu arsenitého, jantaru a kafru. Směsí nasytíme konopí a vytvarujeme do koule, kterou potřeme smůlou a ještě doplníme střelným prachem. Zapálené vrháme na nepřátelská postavení [Meyer, 1926, s. 26].

Jako „ledky“ označujeme dusičnany, soli kyseliny dusičné HNO_3 , protože na jazyku chladí. Při rozpouštění totiž silně pohlcují teplo. Autor nejspíše myslel dusičnan draselný KNO_3 . Ledek dodával kyslík pro rychlé hoření.

V receptu najdeme hned tři sloučeniny arsenu. Hořením nerostu realgaru As_4S_4 vzniká oxid siřičitý a podstatně více toxický oxid arsenitý. O obou jsme již hovořili.



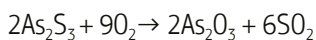
2 Titul můžeme přeložit jako „Příručka pro boj píkou, o válečném a útočném vybavení a ohněstrůjství“.



Vlevo chemická struktura minerálu realgaru As_4S_4 , vpravo minerál sám v celé své kráse. Jde o vzorek z lokality Royal Reward Mine, Green River Gorge, King County, Washington, USA, o rozměrech $2,2 \times 1,1 \times 0,8$ cm

Nerost auripigment z čínské provincie Chun-nan (Hunan)

Podobně se chová nerost auripigment, chemicky sulfid arsenitý As_2S_3 .



Proč je arsen jedovatý?

Nejen, že je jedovatý, je i karcinogenní. Možnosti jeho působení jsou velmi široké. Známe dvě stovky enzymů, kterým zabrání řádně fungovat. Enzymy jsou velké molekuly nebo jejich soubory, které v buňkách živých organismů zodpovídají za řádný průběh téměř veškerých chemických reakcí. Arsen inhibuje některé enzymy, jež se podílejí na získávání energie buňkou nebo na opravách a syntéze deoxyribonukleové kyseliny. Tu označujeme rovněž zkratkou DNA a jde o gigantickou molekulu, ve které je zapsána dědičná informace o stavbě našich organismů. Najdeme i enzymy, které arsen stimuluje k vyšší aktivitě, což vede k produkci některých škodlivých reaktivních sloučenin kyslíku [Singh, Goel, & Kaur, 2011].

Jantar a kafr

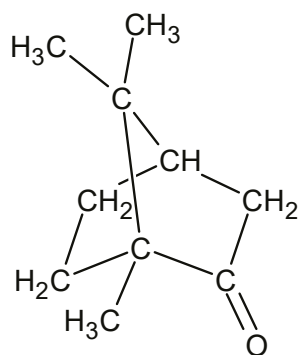
Podívejme se na další přísady utrejchového handgranátu. Zajímavý je přídavek jantaru (anglicky *amber*). Jeho odpařováním nejspíš vznikala vůně, která překrývala štiplavý puch sloučenin arsenu. Jantar je fosilizovaná pryskyřice pravěkých stromů. Podle její schopnosti při nepatrném zahřátí uvolňovat vonné látky můžeme rozeznat pravý jantar od jeho napodobeniny z plastu. Ale pozor, zahřívejte velmi, velmi opatrně, ať ho nepodpálíte či neočadíte!

Proč byl přidán kafr (anglicky *camphor*), můžeme jen spekulovat. Jeho intenzivní odér nemusí být příjemný. Možná ale lepší než utrejš. V množství několika gramů je kafr jedovatý, v lékařství se užívá pro zklidňující a protizánětlivé účinky, přidává se i do potravin [National Center for Biotechnology Information, 2025]. Tak si vyberte.

U jednoduchých molekul jako SO_2 nebo As_2O_3 vystačíme se vzorci sumárními. Všechny atomy stejného prvku v molekule sečteme a zapíšeme s počty uvedenými v dolním indexu. Oxid siřičitý tvoří jeden atom síry a dva atomy kyslíku, proto jeho sumární vzorec je SO_2 . Napišeme-li stejným způsobem vzorec kafru z následujícího obrázku, obdržíme sumární vzorec $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$. S tím si nevystačíme, protože atomy lze propojit různým způsobem. Sumární vzorec přináší naprosto přesnou informaci o počtu atomů v molekule, avšak o jejich uspořádání už neřekne nic. Sloučenin se stejným sumárním vzorcem může být více. Proto používáme vzorce nazvané strukturní, které ukážou rozmístění atomů v molekule a jejich spojení chemickými vazbami. To jsou ty čárky mezi jednotlivými atomy ve strukturním vzorci kafru.



Surový jantar z pobřeží jižního Švédska



Strukturní vzorec kafru, systematickým názvem 1,7,7-trimethylbicyklo[2.2.1]heptan-2-on



Kafrové kostky trochu připomínají kostkový cukr



Získáváme-li skořici ze skořicovníku, z jakého stromu získáváme kafr?

Odpověď najdete na straně 183.

Organická chemie

Zatímco doposud jsme hovořili o sloučeninách anorganických, kafrem pronikáme do říše organické chemie, tedy chemie sloučenin uhlíku. Na rozdíl od všech ostatních prvků může uhlík vytvářet velmi dlouhé řetězce navzájem propojených atomů. Mohou být i rozvětvené anebo cyklické se spojenými konci molekuly. Díky této jedinečné vlastnosti může uhlík vytvářet nepředstavitelné množství nej-různějších molekul. Ve velkých organických molekulách dosáhne počet atomů tohoto prvku milionů. Počet možných struktur z uhlíkových atomů převyšuje počet atomů ve známém vesmíru. Proto chemii sloučenin uhlíku vyčleňujeme do speciálního oboru, který nazýváme, jak již bylo řečeno, chemií organickou. Nejjednodušší organickou sloučeninou je plyn methan CH_4 . Všemi ostatními sloučeninami všech ostatních prvků se zabývá chemie anorganická. Jak oxid siřičitý a arsenitý, tak hašené vápno náleží chemii anorganické, kafr ale patří do chemie organické.

Některé jednoduché sloučeniny uhlíku, jako jsou zmíněné oxidy uhelnatý CO a uhličitý CO_2 , uhličitany, kyanovodík HCN nebo sirouhlík CS_2 a ještě pár dalších velmi jednoduchých, ponecháváme anorganické chemii.

Hrůzné organické struktury

Co znamená, když dva atomy uhlíku nespojuje čárka jedna, ale dvě, jak vidíme na strukturálním vzorci kafru na předchozí stránce? Chemickou vazbu obecně mezi všemi atomy tvoří záporně nabitě elektrony mezi dvěma kladně nabitými atomovými jádry. Záporný náboj odstíní kladné náboje jader, takže se neodpuzují. Zároveň přitahuje kladně nabitá jádra. Jde o stabilnější uspořádání, než kdyby byl každý atom osamocen. V našem známém okolním makrosvětě model něčeho takového nevytvoříme, jde o uspořádání možné pouze v mikrosvětě na úrovni rozměrů atomů a molekul.

Vazby mezi atomy mohou být jednoduché, dvojné nebo trojné. Liší se počtem elektronů, které je vytvářejí. Jednoduchou vazbu vytvářejí dva elektrony, dvojnou čtyři. Jednoduchou vazbu označujeme čárkou $-$, dvojnou dvěma rovnoběžnými $=$ a trojnou třemi rovnoběžnými čárkami \equiv . Proto mezi některými atomy na předchozím obrázku musíme nakreslit čárky dvě.

Podíváme-li se znovu na obrázek kafru, nemůžeme přehlédnout, že má prostorovou strukturu. Nelze ji jednoduše zakreslit do plochy. Vyjde nám, že některé vazby se pohledově kříží, jedna je více vpředu a druhá za ní. Znázorníme to tak, že vazbu vpředu zakreslíme celou. V místě překřížení vynecháme malý úsek vazby zadní, jako by ji vazba vpředu zakrývala.



Pokud jednoduchou vazbu tvoří 1×2 elektrony a dvojnou vazbu 2×2 čili 4 elektrony, kolik elektronů celkem vytváří vazbu trojnou?

Odpověď najdete na straně 183.

Vážení čtenáři, právě jste dočetli ukázkou z knihy ***Chemie jde do války***.
Pokud se Vám ukáзка líbila, na našem webu si můžete zakoupit celou knihu.