



Ústav pro životní prostředí
Přírodovědecká fakulta UK



Chemické znečištění související s válkou

„Válka je špinavá a jedovatá“

Tomáš Cajthaml

Ústav pro životní prostředí, Přírodovědecká fakulta UK



Ústav pro životní prostředí
Přírodovědecká fakulta UK



Hlavní chemická rizika války

Bojové aktivity

Střelivo a exploziva - kontaminace organickými látkami a toxickými kovy
(vyhozená munice, nevybuchlá munice, rezidua munice)

Další vojenské aktivity

provoz a ošetřování techniky

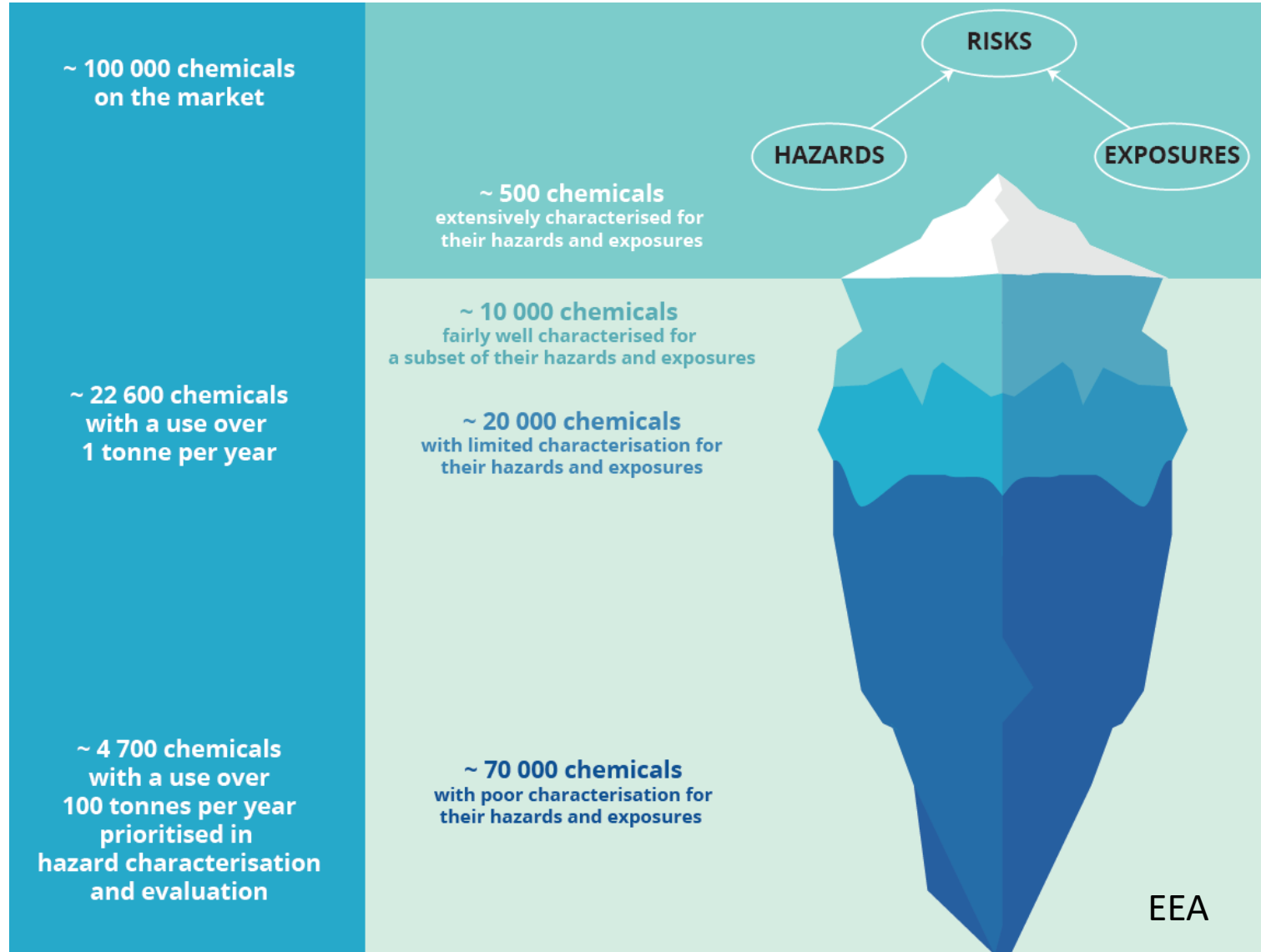
(úkapy pohonných hmot, havárie, servis techniky)

Poškozená infrastruktura

poškozený chemický průmysl, ropovody apod.

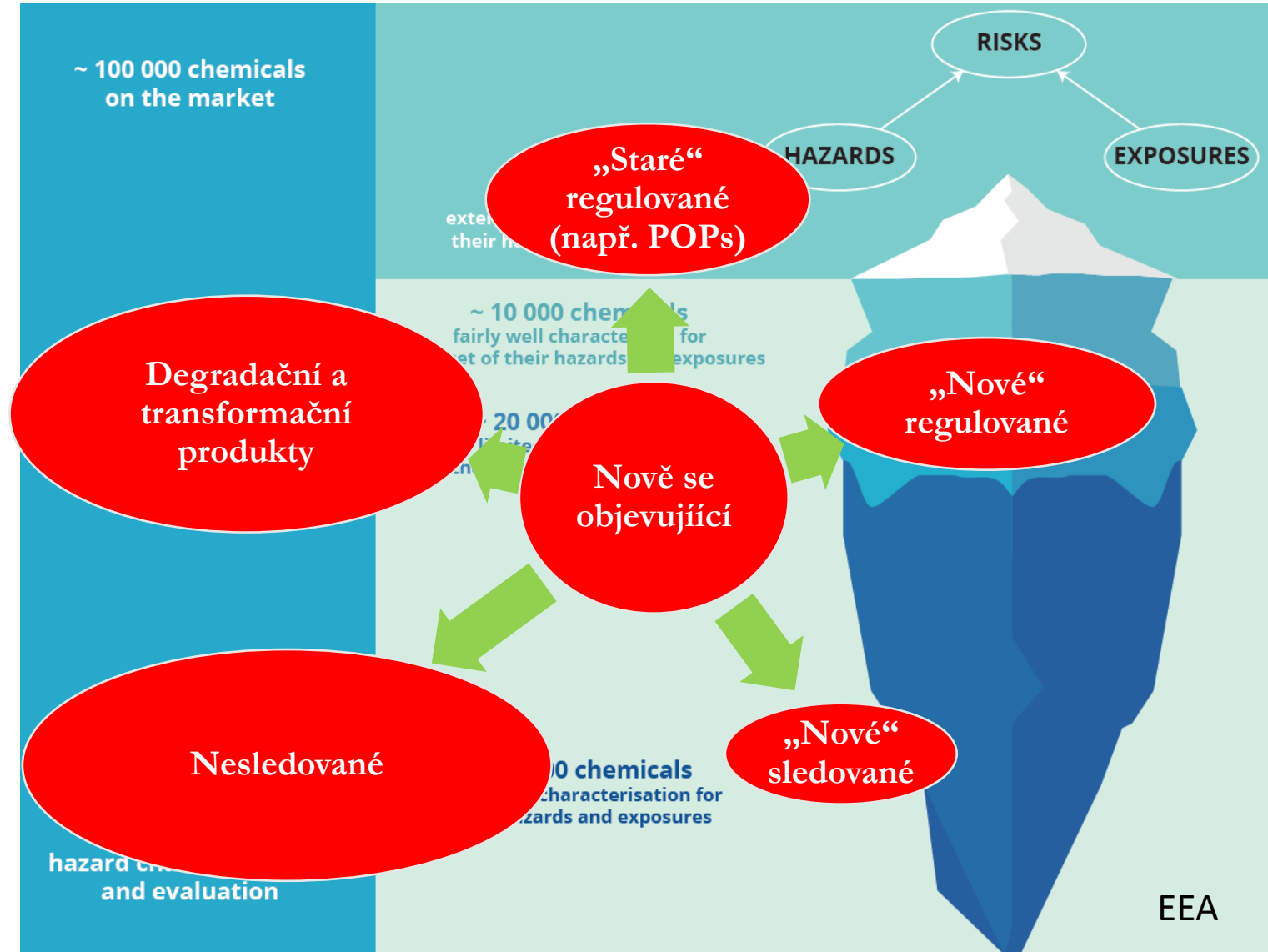


ENVIRONMENTÁLNÍ ORGANICKÉ POLUTANTY





ENVIRONMENTÁLNÍ ORGANICKÉ POLUTANTY





ENVIRONMENTÁLNÍ ORGANICKÉ POLUTANTY





Historické ukázky dalších „nečekaných“ problémů....

Beryllium:

- velmi toxické, má mutagenní a karcinogenní účinek s latentní periodou až několik let.
- chronická otrava plic při inhalaci prachu kovu a sloučenin (popílek z uhlí) – berylliosa (aktivace chirurgickým zákrokem, nebo graviditou)
- Be vytěsňuje biogenní kovy v enzymech a narušuje funkci – vliv na DNA
- akutní otrava již při $0,1 \text{ mg/m}^3$
- berylnaté soli – rozpustné a velmi toxické
- elementární Be netoxické



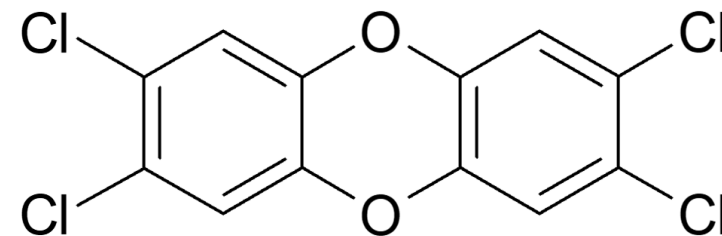
Beryllium tools were the norm in munitions industry. These were typically 2% copper Beryllium alloys, used for avoiding spark.



Historické ukázky dalších „nečekaných“ problémů....

Chlorované dibenzodioxiny – válka ve Vietnamu

- dioxiny se nikdy přímo nevyráběly
- vedlejší produkty při produkci chlorovaných látek
- např. Agent Orange
- jedny z nejtoxičtějších organických polutantů
- kontaminace půd, vod a sedimentů; patří mezi Perzistentní organické polutanty (Stockholmská úmluva)
- karcinogenní (kategorie 1), poškození imunitního a nervového systému, dále ke změnám endokrinního systému



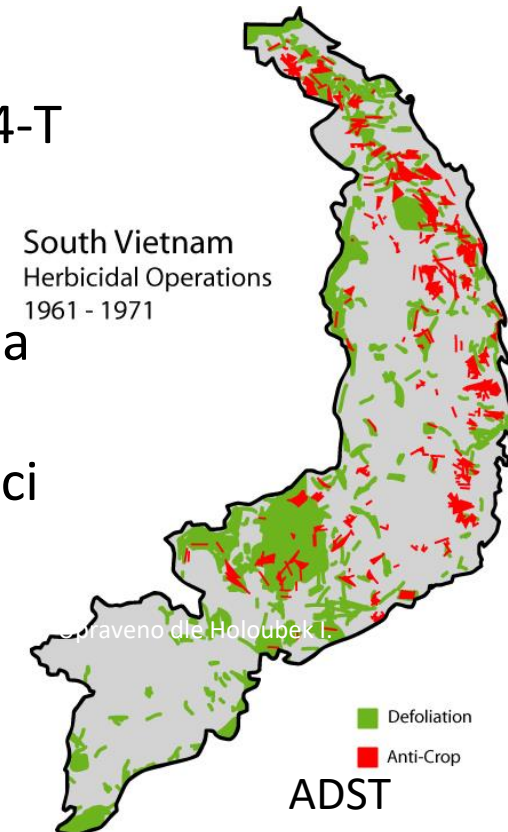
3,4,3',4'-tetrachlorodibenzodioxin



Historické ukázky dalších „nečekaných“ problémů....

Chlorované dibenzodioxiny – válka ve Vietnamu

- US Army používala herbicid (defoliant) 2,4-D a 2,3,4-T
- obsahoval malé množství dioxinů, které stále perzistují
- 2,3,4-T se vyráběl i v ČSSR ve Spolaně Neratovicích a prodával přes prostředníka americké armádě
- následky jsou patrné dodnes ve zvyšující se incidenci malformací narozených dětí v kontaminovaných oblastech



Wikipedia



Ústav pro životní prostředí
Přírodovědecká fakulta UK



Historické ukázky dalších „nečekaných“ problémů....

Syndromu války v Zálivu

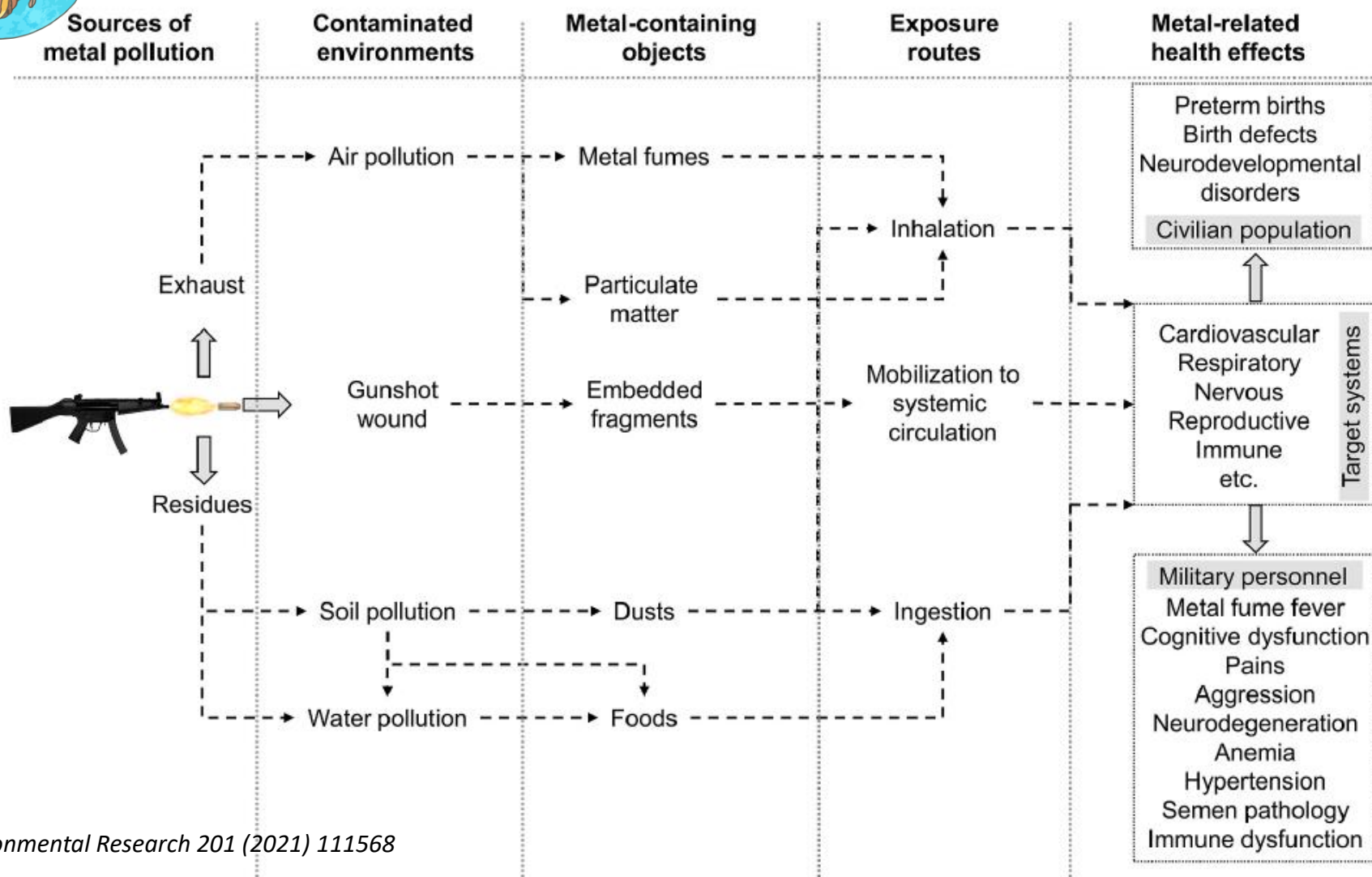
- chronická a multi-symptomatická porucha s
- vytrvalé bolesti hlavy a celého těla, poruchy vnímání, nevysvětlitelná únava, vyrážky, průjmy, dýchací obtíže
- až 210 tisíc amerických vojáků a desítky tisíc jejich koaliční spolubojovníků
- dodnes neuspokojivě vysvětlená
- sarin, cyklosarin, ochuzený uran, hořící ropné vrty???
- pyridostigmin – prevence nervových plynů?



Twitter



Bojové aktivity - střelivo



| Site | Activity | Cd | Cu | Pb |
|---|----------|------------|--------------|---------------|
| Bosnia Herzegovina | MBA | 0.8–6.1 | 23.6–443 | 27.7–40.9 |
| Switzerland | MBA | - | 63–66 | 500–620 |
| Korea | MBA | 7.45–8.11 | 318–562 | 3918–18,609 |
| Norway | MBA | - | 41–88 | 356–1112 |
| Spain | MBA | - | 19–98 | 55–6309 |
| Korea | MBA | - | 1168 | 17,468 |
| Czech Republic | MBA | 0.235 | 6.91 | 15.5 |
| Canada | MBA | - | 245 | 3368 |
| U.S. | MBA | - | 65.67–118.77 | 17.85–19.30 |
| Canada | MBA | - | 1760 | 43,300 |
| Australia | MBA | - | 0.43–1250 | 1.18–10,403 |
| U.S. | MBA | - | - | 10,068–70,350 |
| Canada | MBA | - | 1830–7720 | 14,400–27,100 |
| U.S. | MBA | - | 223–2936 | 4549–24,484 |
| Canada | MBA | 0.1–15.2 | 2.5–154 | 5–53.8 |
| Korea | MBA | 0.0735–0.2 | 3.12–83 | 3.48–16.9 |
| Switzerland | MBA | - | 32–552.3 | 429–80,935 |
| Iran (Iran-Iraq War, 1980–1988) | WIA | - | 40 | 36 |
| Spain (WWII, 1939–1945) | WIA | 15–23 | 1403–11,860 | 1555–2000 |
| Poland (WWI, 1914–1918; WWII, 1939–1945) | WIA | - | - | - |
| Croatia, (War of Independence, 1991–1995) | WIA | 0.13 | 13 | 17 |
| France (WWI, 1914–1918) | WIA | - | 1451–9113 | 968–5777 |
| Belgium, (WWI, 1914–1918) | WIA | - | 23.3 | 47.6 |
| Belgium (WWI, 1914–1918) | WIA | - | 26.9 | - |
| France (WWI, 1914–1918) | WIA | - | 20–15,755 | 766–26,398 |



Bojové aktivity - střelivo

Ochuzený uran (99,8% ^{238}U , 0,2 % ^{235}U a 0,001 ^{234}U)

- málo radioaktivní (α zářič) problém při vstupu do organismu
- velmi toxický prach, zejména oxidy
- nefrotoxický a potenciálně karcinogenní, ukládá se v ledvinách a kostech
- válka v zálivu: 300 tun ochuzeného uranu
- válka v Kosovu: 11 tun munice (Srbsko: 200% incidence rakoviny)
- využívají armády: USA, Velké Británie, Francie, **Ruska**, Ukrajiny, Turecka, Izraele, Pákistánu, Číny, Saúdské Arábie a Řecka (dle BBC)



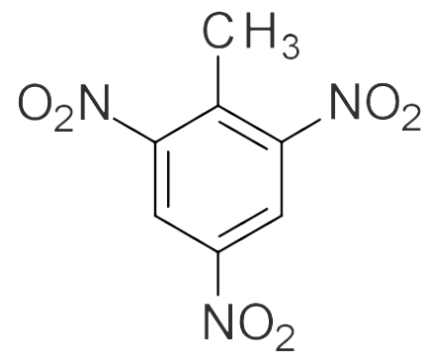


Bojové aktivity - střelivo

Olovo

- střelivo obsahuje významné množství Pb
- možné náhrady, ale v armádách málo používané
- málo rozpustné sloučeniny, ale všechny rozpustné sloučeniny jsou jedovaté
- kumulativní jed hromadí se v kostech
- Pb působí na červené krvinky, poškozuje ledviny, játra, nervový systém, cévy a svalstvo
- ECHA navrhuje zákaz olova v brocích
- kontaminace Pb ovlivňuje i půdní faunu
- kontaminace střelnic je 2. nejzávažnější po akumulátorovém průmyslu





Bojové aktivity - explosiva

TNT - 2,4,6-trinitrotoluen

- výbušnina, používaná v dělostřeleckých granátech (po 1900)
- toxické, ovlivnění jater a imunity
- možný karcinogen
- lépe rozpustný ve vodě než ostatní výbušniny (HMX, RDX)
- rozkládá se různými mechanismy, ale přesto perzistuje
- biorozložitelnost je dobře prozkoumaná

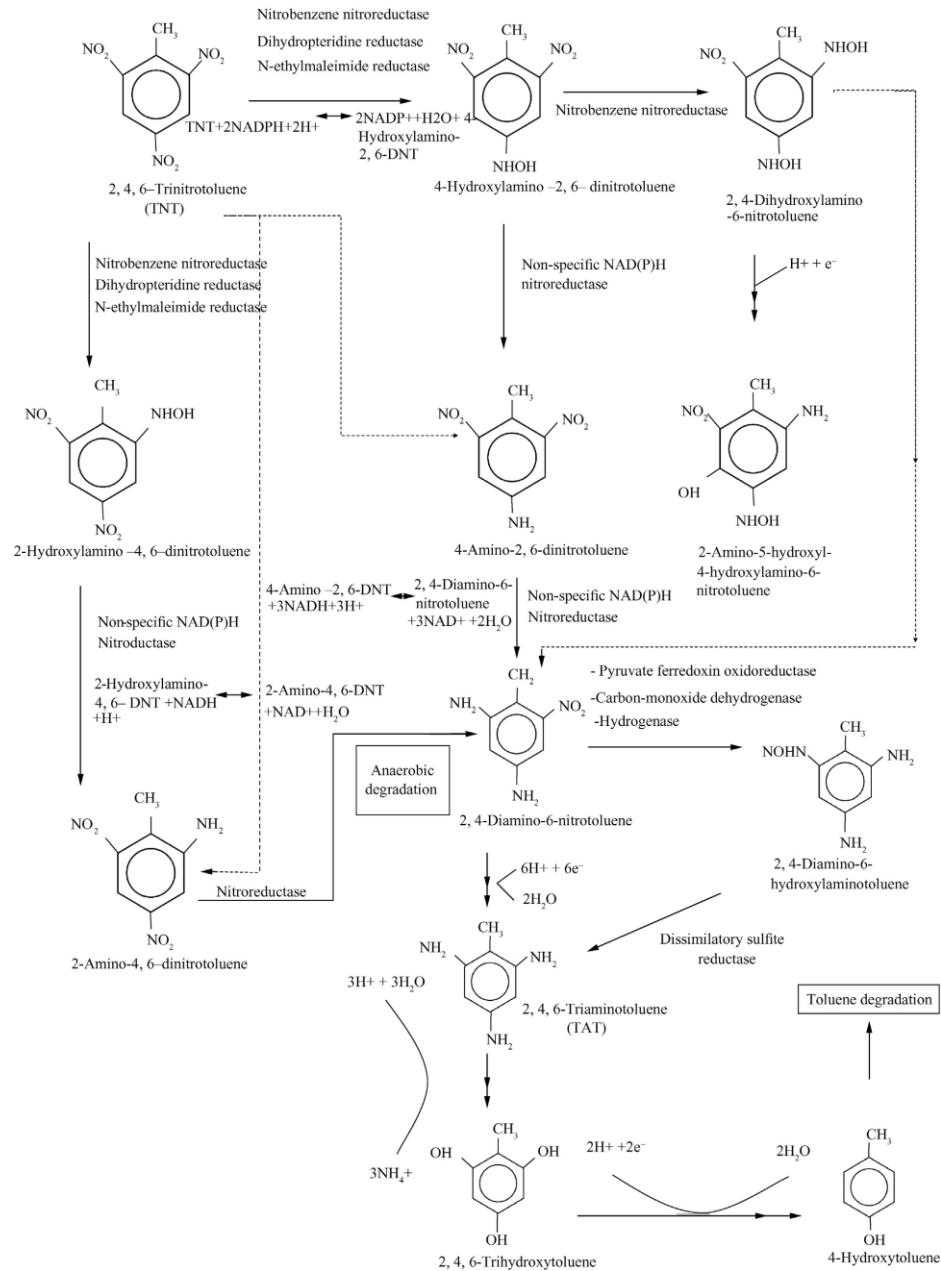
Koncentrace v půdě (mg/kg)

Sustainability 2020, 12, 9002

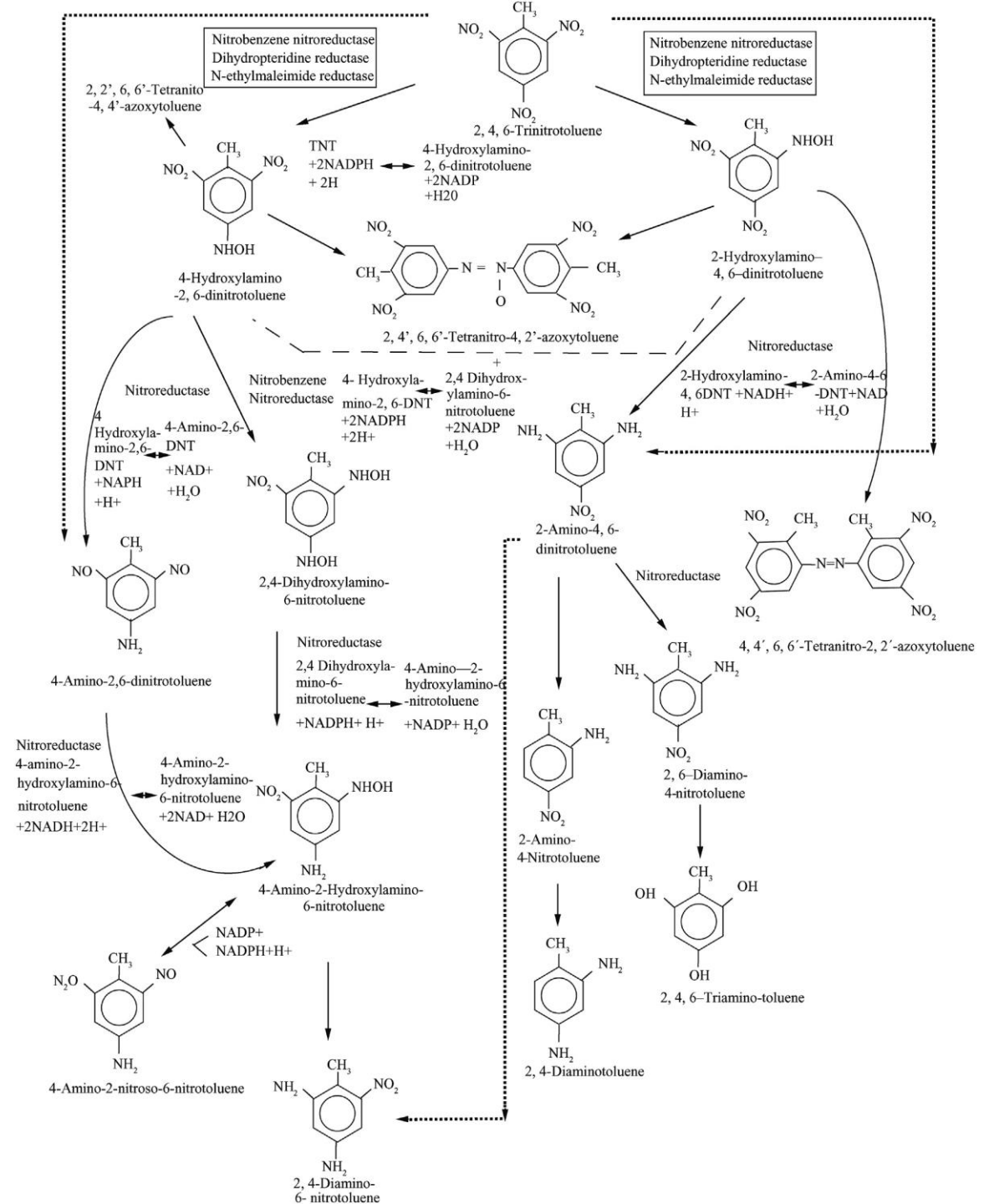
| Country | Activity | HMX | RDX | TNT |
|-----------------|------------------------------|--------------|--------------|---------------|
| Korea | MBA * | ND | 51.2 | 53.1 |
| Korea | MBA | 0.087 | 0.806 | 0.169 |
| U.S. | MBA * | ND | ND | ND |
| | 22.9–30.5 cm | ND | ND | ND |
| | 45.7–60.9 cm | ND | ND | ND |
| | 76.2–91.4 cm | ND | ND | ND |
| Canada | MBA * | 20–1470 | 1.4–6000 | 40–500,000 |
| | MBA * (crater soil) | ND | ND | 79,000 |
| U.S. | MBA * (demolition ranges) | 0.04–4.63 | 0.06–28.61 | 0.05–234.05 |
| U.S. | MBA * | 600–900 | 800–1900 | 4000–10,000 |
| Korea | MBA | 0.0165–0.470 | 0.00203–13.4 | 0.00306–0.058 |
| U.S., Canada | MBA * | <0.01–745 | <0.01–5.1 | <0.01–73 |

TNT - biotransformace

Anaerobní



Aerobní

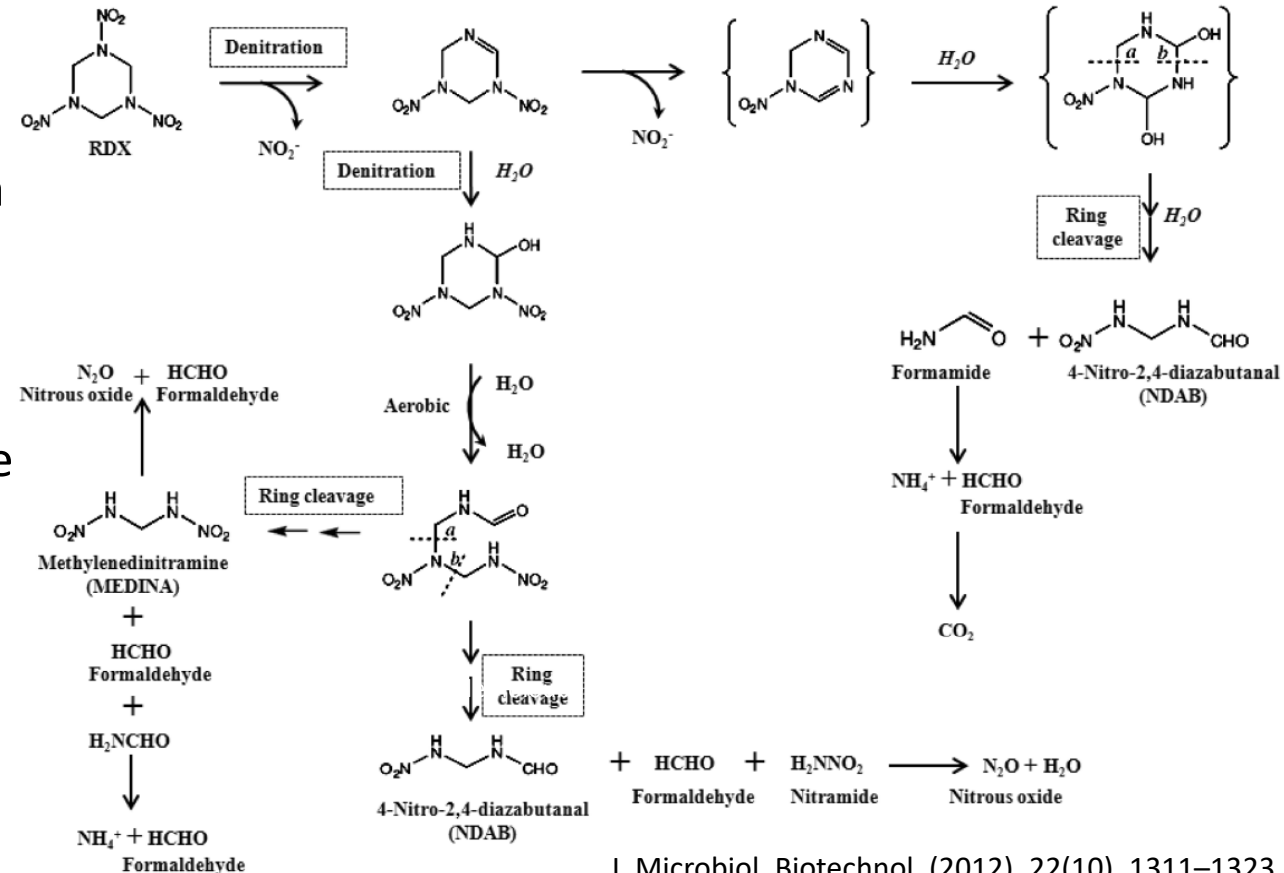
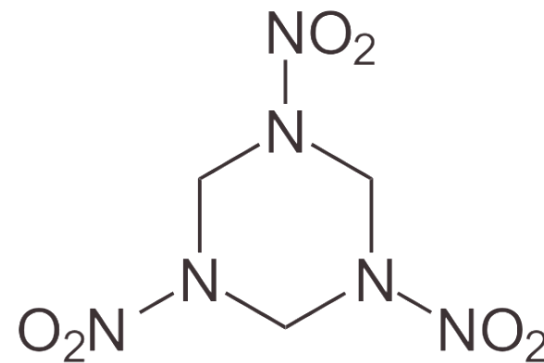




Bojové aktivity - explosiva

RDX - hexogen

- výbušnina, používaná v dělostřeleckých granátech (2. světová válka)
- po intoxikaci způsobuje nevolnost, křeče, zmatenost a výpadky paměti
- možný karcinogen
- ve vodě málo rozpustný
- rozkládá se různými mechanismy, ale přesto perzistuje
- biorozložitelnost je prozkoumaná rozkládá se rychleji než TNT
- sledováno v US EPA – pitná a podzemní voda
- 65 kontaminovaných míst v USA
- aerobní i anaerobní podmínky
- velmi málo je známo o osudu v organismu

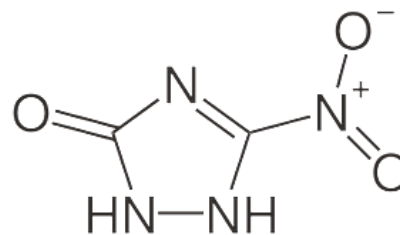




Bojové aktivity - explosiva

Nitrotriazolon

- výbušnina, používaná v dělostřeleckých granátech (1987)
- náhrada TNT a RDX
- velmi rozpustný ve vodě
- velmi snadno se biologicky rozkládá
- toxicita zřejmě nízká, ale studií je málo

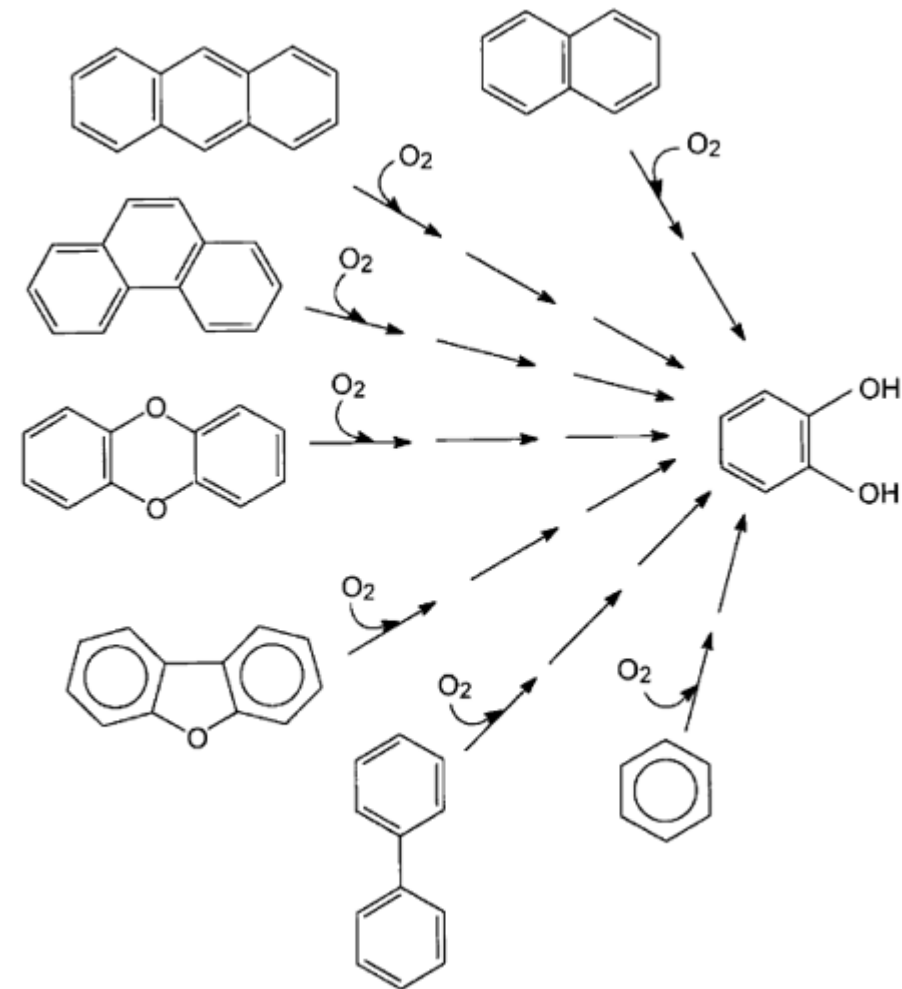
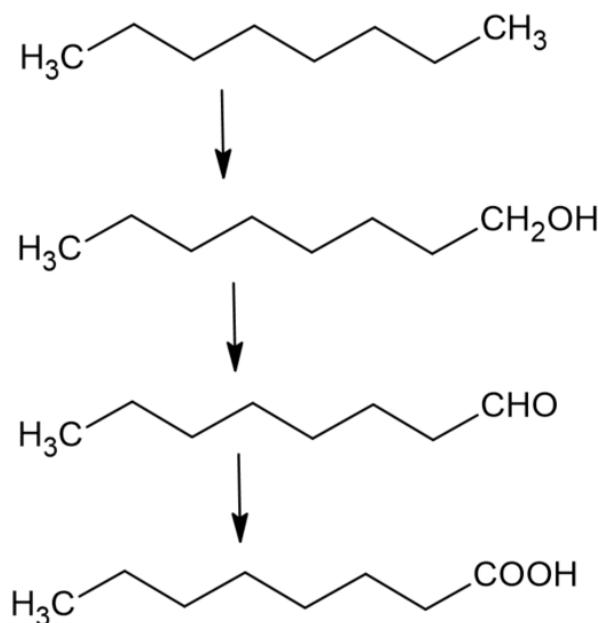




Další vojenské aktivity

Znečištění ropnými produkty

- ropné produkty: alifatické(řetězce) a aromatické
- alifatické látky se biologicky rozkládají
- aromatické perzistující řadu let
- aromatické látky často karcinogenní
- mnoho dekontaminačních metod, ale sanace nákladná





Ústav pro životní prostředí

Přírodovědecká fakulta UK



Závěr

- vojenské oblasti jsou obvykle kontaminovány:
 - toxickými kovy
 - zbytky výbušnin
 - ropnými produkty
- ze současného hlediska ochrany prostředí se jedná o kontaminovaná oblasti
- existuje mnoho přirozených „čisticích“ mechanismů, ale proces trvá řadu let až desetiletí
- existuje mnoho velmi účinných dekontaminačních metod, ale ani na současné kontaminace není dostatek prostředků



Ústav pro životní prostředí
Přírodovědecká fakulta UK



Děkuji za pozornost!