



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ

FACULTY OF CHEMISTRY

ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF ENVIRONMENTAL PROTECTION

ENVIRONMENTÁLNÍ A ZDRAVOTNÍ RIZIKA VÁLEČNÝCH KONFLIKTŮ

ENVIRONMENTAL AND HEALTH RISKS OF WAR CONFLICTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Kryštof Bruno Niesner

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Vladimír Adamec, CSc.

BRNO 2024

Zadání bakalářské práce

Číslo práce: FCH-BAK1952/2023 Akademický rok: 2023/24
Ústav: Ústav chemie a technologie ochrany
životního prostředí
Student: **Kryštof Bruno Niesner**
Studijní program: Aplikovaná analytická,
environmentální a forenzní chemie
Studijní obor: bez specializace
Vedoucí práce: **prof. Ing. Vladimír Adamec, CSc.**

Název bakalářské práce:

Environmentální a zdravotní rizika válečných konfliktů

Zadání bakalářské práce:

1. Vypracujte literární rešerši s důrazem na vybraný problém(y) mající přímou souvislost s válečným konfliktem.
2. Analyzujte možné způsoby ochrany před negativními účinky např. munice s ochuzeným uranem.
3. Navrňte další směry výzkumu zaměřené na snižování zdravotních a environmentálních rizik.

Termín odevzdání bakalářské práce: 20.5.2024:

Bakalářská práce se odevzdává v děkanem stanoveném počtu exemplářů na sekretariát ústavu. Toto zadání je součástí bakalářské práce.

Kryštof Bruno Niesner
student

prof. Ing. Vladimír Adamec, CSc.
vedoucí práce

prof. Ing. Jozef Krajčovič, Ph.D.
vedoucí ústavu

V Brně dne 1.2.2024

prof. Ing. Michal Veselý, CSc.
děkan

ABSTRAKT

Vedle ztrát na životech a majetku představují válečné konflikty značné environmentální a zdravotní rizika, které často přetrvávají dlouho po jejich ukončení. Práce je rozdělena do dvou částí. První část je věnována teoretickému rámci poznatků o vlivech vojenských činností na životní prostředí a zdraví. Navázáním na teoretický přehled se druhá část zaměřuje na aplikaci sady indexů znečištění k vyhodnocení kontaminace půdy těžkými kovy, jež byly uvolněny v důsledku dělostřelecké činnosti. Jedná se o práci poskytující úvodní náhled do problematiky s cílem rozšířit budoucí výzkum v oblastech ekotoxikologie, organických polutantů, modelování pohybu kontaminantů v životním prostředí, tvorby kontaminačních map a kvality ovzduší.

ABSTRACT

In addition to the loss of life and property, wars pose significant environmental and health risks that often persist long after the conflict has ended. The thesis is divided into two parts. The first part is devoted to the theoretical framework of knowledge on the environmental and health impacts of military activities. Building on the theoretical overview, the second part focuses on the application of a set of pollution indices to assess soil contamination by heavy metals that have been dispersed as a result of artillery activities. This is a thesis providing an introductory insight into the subject with the aim of extending future research in the areas of ecotoxicology, organic pollutants, modelling contaminant movement in the environment, contamination mapping and air quality.

KLÍČOVÁ SLOVA

Válečné konflikty, environmentální rizika, zdravotní rizika, indexy znečištění

KEYWORDS

War conflicts, environmental risks, health risks, pollution indices

NIESNER, Kryštof Bruno. *Environmentální a zdravotní rizika válečných konfliktů*. Brno, 2024. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/157007>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí. Vedoucí práce prof. Ing. Vladimír Adamec, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citoval. Bakalářská práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího bakalářské práce a děkana FCH VUT.

.....
Niesner Kryštof Bruno

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce prof. Ing. Vladimírovi Adamcovi, CSc. za jeho cenné rady a věcné připomínky při zpracovávání bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat plk. gšt. Doc. Ing. Mgr. Martinu Blahovi, Ph.D. a Univerzitě obrany za ochotu, vstřícné jednání a poskytnuté materiály, které byly nezbytné pro dokončení této práce.

OBSAH

1	ÚVOD	7
2	TEORETICKÁ ČÁST	8
2.1	Historický kontext	8
2.2	Současný stav	8
2.3	Rizika znečištění vybraných složek životního prostředí	9
2.3.1	Ovzduší	9
2.3.2	Půda	11
2.3.3	Voda	13
2.3.4	Biota	14
3	CÍL PRÁCE	17
4	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	18
4.1	Odběr a úprava vzorků	18
4.2	Indexy znečištění	18
4.2.1	Geoakumulační index (I_{geo})	19
4.2.2	Faktor obohacení (EF)	19
4.2.3	Faktor kontaminace (CF)	20
4.2.4	Index znečištění (PI)	21
4.2.5	Indexy vycházející z PI	21
4.2.6	Zátěžový index znečištění (PLI)	23
4.2.7	Stupeň kontaminace (C_{deg})	23
4.2.8	Index ekologického rizika (RI)	24
4.3	Charakteristika použité munice	25
4.4	Vybrané těžké kovy	26
4.4.1	Kadmium	26
4.4.2	Chrom	27
4.4.3	Nikl	27
4.4.4	Olovo	28
5	VÝSLEDKY A DISKUSE	29
5.1	Sledovaná koncentrace vybraných prvků	29
5.1.1	Kadmium	29
5.1.2	Chrom	29
5.1.3	Nikl	30

5.1.4	Olovo.....	31
5.2	Indexy znečištění.....	31
5.2.1	Geoakumulační index (I_{geo}).....	31
5.2.2	Faktor obohacení (EF).....	32
5.2.3	Faktor kontaminace (CF)	33
5.2.4	Index znečištění (PI).....	33
5.2.5	Integrovaný index znečištění (IPI), Index znečištění Nemerow ($PI_{Nemerow}$) a Zátěžový index znečištění (PLI)	34
5.2.6	Stupeň kontaminace (C_{deg}) a modifikovaný stupeň kontaminace (mC_{deg})...	34
5.2.7	Index ekologického rizika (RI)	35
5.2.8	Aplikace výsledků	36
6	ZÁVĚR.....	37
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	38
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	46

1 ÚVOD

Válečné konflikty jsou součástí lidské historie a přinášejí s sebou nejen bezprostřední ztráty na životech a majetku, ale také dlouhodobé environmentální a zdravotní rizika [1]. Od starověkých bitev po moderní války, použití stále sofistikovanějších zbraní a technologií způsobuje rozsáhlé škody na životním prostředí. Destrukce infrastruktury, rozptýlení toxických látek a fyzické narušení přírodních stanovišť jsou jen některé z faktorů, které přispívají k trvalému zhoršení kvality ovzduší, vody a půdy. Tato znečištění přetrvávají dlouho po skončení bojů a mají potenciál ovlivnit ekosystémy a zdraví lidských populací po mnoho let či desetiletí [2].

Každá složka životního prostředí je prozkoumána s cílem poukázat na environmentální a zdravotní rizika, které vznikají důsledkem válečných činností. Je zásadní si uvědomit, že i když jsou kontaminanty diskutovány v kontextu specifických složek životního prostředí, všechny tyto složky jsou vzájemně propojené a interakce mezi nimi mohou vést k sekundárním a dlouhodobým efektům, které přesahují jejich původní zdroje. Například kontaminanty uvolněné do vzduchu mohou mít dopady na kvalitu půdy, vody a naopak [3].

Cílem této bakalářské práce je přispět k prohloubení poznání rizik spojených s válečnými konflikty a zmapovat možné zdroje znečištění, které jsou uvolňovány do životního prostředí během těchto konfliktů. Práce poskytuje teoretický přehled aktuálních poznatků o problematice a zaměřuje se na experimentální hodnocení kontaminace půdy způsobené dopady dělostřelecké munice pomocí sady indexů znečištění. Práce poskytuje úvodní vhled do problematiky a stanovuje základy pro další rozsáhlejší studie. Výsledky práce mohou přispět k formulaci strategií pro zmírnění dopadů válečných konfliktů na životní prostředí, veřejné zdraví a podpořit budoucí výzkum v oblastech ekotoxikologie, organických polutantů, vlivů na biotu, modelování pohybu kontaminantů v životním prostředí, tvorby kontaminačních map a kvality ovzduší.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Historický kontext

Od nejstarších zaznamenaných dějin jsou války neoddělitelnou součástí lidské civilizace a zanechávají nesmazatelné stopy nejen na společnostech, ale také na přírodním prostředí a veřejném zdraví [4]. Vývoj vojenských technologií a strategií v průběhu staletí odrážel měnící se rozsah a složitost výsledné degradace životního prostředí a mimořádných zdravotních rizik spojených s válčením. Historicky byly války charakteristické svou lokalizovanou povahou, přičemž dopady na životní prostředí se často omezovaly na bezprostřední okolí bojišť. Průmyslová revoluce však znamenala zlom a zavedla technologie, které rozšířily rozsah a dosah poškozování životního prostředí. Vývoj a masová výroba vyspělých zbraní během světových válek přinesly nebývalou destrukci přírody i lidských společenství. Toto období ukázalo, jak industrializované válčení může vést k ekologické devastaci napříč kontinenty a ovlivnit kvalitu půdy, vody a ovzduší ještě dlouho po ukončení bojů [5].

Období studené války přineslo nové dimenze dopadu války na životní prostředí, zejména v důsledku testování a nasazení jaderných zbraní. Tyto činnosti způsobily rozsáhlou radioaktivní kontaminaci, která představuje dlouhodobé zdravotní riziko pro lidskou populaci a trvale ovlivňuje ekosystémy. Rozsáhlé používání chemických látek v konfliktech v tomto období bylo dalším příkladem vyvíjejících se hrozeb pro životní prostředí a veřejné zdraví. Ve druhé polovině dvacátého století byly dopady války na životní prostředí více rozpoznány a zdokumentovány, což podnítilo diskuse mezi světovými vůdci a vědci o potřebě tyto dopady zmírnit. Navzdory rostoucímu povědomí však dědictví minulých konfliktů nadále ztěžovalo úsilí o obnovu životního prostředí a zásahy v oblasti veřejného zdraví [4, 5].

Historický kontext vlivu války odhaluje složitou souhru mezi vojenskými inovacemi a jejich ekologickými a zdravotními důsledky. Tato historická perspektiva podtrhuje význam začlenění environmentálních a zdravotních aspektů do současných vojenských a politických strategií, jejichž cílem je nejen pochopit dlouhodobé důsledky válečných konfliktů, ale také jim předcházet [4–6].

2.2 Současný stav

V současné době jsou stále zřetelnější katastrofální dopady válečných konfliktů na životní prostředí i zdraví. Globální krajina konfliktů nese významné stopy, které se odrážejí nejen na bezprostřední devastaci lidských životů, ale také na vleklém utrpení, které války vyvolávají dlouho po ukončení aktivních bojů. Současné válečné konflikty se již neomezují pouze na bojiště, pronikají do struktur společností, kultur a ekosystémů, kde za sebou zanechávají dědictví mnohostranných problémů [7–9].

Válečné dopady přesahují bitevní pole a také zasévají zárodky dlouhodobých zdravotních problémů. Mezi přímé důsledky patří nejen smrtelné úrazy a zranění, ale také psychické trauma spojené s válkou, které se projevuje nesčetnými duševními poruchami. Nepřímo válka ničí infrastrukturu podporující zdraví, což vede k podvýživě, šíření nemocí a celkovému poklesu úrovně veřejného zdraví. Vlnový efekt těchto zdravotních problémů lze pozorovat v podobě

zvýšené nemocnosti a úmrtnosti, zejména v zemích s nízkými příjmy, kde jsou systémy zdravotní péče již nyní pod tlakem [7–13].

Náklady ozbrojených konfliktů na životní prostředí jsou vysoké. Poškození ekosystémů, znečištění vodních zdrojů a zničení orné půdy je jen několik příkladů trvalého environmentálního dědictví válek. Přesměrování zdrojů na vojenské účely navíc vede k tomu, že kritická odvětví, jako je zdravotní péče a vzdělávání, strádají, což udržuje koloběh chudoby a zaostalosti. To pak podporuje další nestabilitu a vytváří podmínky pro pokračování konfliktu. Společenské důsledky válečných konfliktů jsou složité a rozmanité. Přispívají k rozsáhlým přesunům obyvatelstva, což vede k uprchlickým krizím a vnitřně vysídlenému obyvatelstvu, které často čelí hroživým zdravotním rizikům. Globální povaha dodavatelských řetězců navíc znamená, že konflikty v jednom regionu mohou mít dopady na potravinovou bezpečnost a hospodářství po celém světě, čímž se dosah dopadů války rozšiřuje daleko za bezprostřední oblast konfliktu [8, 9, 12, 14, 15].

Veřejné zdraví hraje při řešení důsledků války zásadní roli. Prostřednictvím dohledu, vzdělávání a prosazování správných politik mohou zdravotníci pracovat na zmírnění nepříznivých dopadů konfliktu. Neméně důležité je zavádění preventivních strategií, které řeší základní příčiny válečných konfliktů, podporují mír a stabilitu jako konečný zásah v oblasti veřejného zdraví [9, 10, 12, 15].

2.3 Rizika znečištění vybraných složek životního prostředí

2.3.1 Ovzduší

Environmentální rizika

Způsob, jakým se válečné akce podepisují na kvalitě ovzduší je názornou ukázkou toho, jak moderní konflikty rozšiřují svůj vliv na životní prostředí daleko za hranice bezprostředních oblastí bojů [16]. Rozsáhlé používání vojenské techniky a ničení infrastruktury během válečných operací patří mezi primární zdroje znečištění ovzduší. Operace zahrnující tanky, obrněná vozidla, letadla a námořní lodě jsou do značné míry závislé na fosilních palivech, při jejichž spalování se uvolňuje značné množství oxidů uhlíku, dusíku a síry. Kromě toho se vojenské strategie často zaměřují na infrastrukturu, jako jsou silnice, průmyslové závody, skladovací zařízení a obytné budovy. Při ničení těchto staveb se do ovzduší uvolňují nejen pevné částice, ale také široká škála dalších znečišťujících látek z poškozených objektů, které vstupují do životního prostředí [8, 17].

Uvolňování skleníkových plynů a pevných částic přispívá ke změnám klimatu, které mohou měnit globální a regionální meteorologické podmínky. Přízemní ozon, který vzniká reakcí těkavých organických látek a oxidů dusíku za slunečního svitu, brzdí fotosyntézu, čímž zpomaluje růst rostlin, a tím snižuje produktivitu zemědělství. Kyselé deště, které vznikají z oxidů síry a dusíku, poškozují lesy, půdu a vodní ekosystémy, což vede ke snížení biologické rozmanitosti a narušení ekologické rovnováhy [18, 19].

Zdravotní rizika

Vliv válečných operací na kvalitu ovzduší se výrazně projevuje značným uvolňováním prachových částic (PM), těkavých organických látek (VOC) a polycyklických aromatických uhlovodíků (PAH), třech vysoce rizikových typů znečišťujících látek pro zdraví populace [16, 20, 21].

Prachové částice neboli pevné částice (PM) jsou ve válečných zónách rozšířené a vznikají z mnoha zdrojů, jako je pohyb těžkých vozidel, demolice staveb a detonace výbušnin. Tyto částice mají různorodou velikost, přičemž největší zdravotní riziko představují jemné prachové částice (PM_{2,5} a menší). Jemné částice mohou proniknout hluboko do dýchacího systému, a dokonce se dostat do krevního oběhu, což vede k závažným zdravotním problémům včetně infekcí dýchacích cest, chronické bronchitidy a kardiovaskulárních onemocnění. Pevné částice navíc mohou nést povrchově vázané znečišťující látky, jako jsou kovy a uhlovodíky, které dále zhoršují jejich dopad na lidské zdraví a životní prostředí [16, 22]. Problematický může být také azbest, který byl dříve používán ve stavebnictví pro svou odolnost vůči ohni a izolační vlastnosti. Inhalace azbestových vláken může vést k vážným onemocněním, jako je azbestóza, mezoteliom a další formy rakoviny [20].

Během konfliktů se uvolňují ve velkém množství těkavé organické látky, především při spalování paliv a ničení skladů chemikálií. Tyto sloučeniny představují širokou škálu rizik. Způsobují podráždění očí, nosu a krku až po závažnější dopady, jako je poškození jater, ledvin a centrálního nervového systému. Svou roli také nachází v atmosférických reakcích. Těkavé organické látky jsou zásadními prekurzory přízemního ozonu a sekundárních organických aerosolů, které přispívají k tvorbě smogu a mohou zhoršovat funkci plic a snižovat jejich kapacitu. V městském prostředí, kde mohou válečné konflikty zhoršit stávající problémy se znečištěním, mohou být účinky VOC obzvláště závažné a vést k výraznému zhoršení kvality ovzduší a zvýšení úmrtnosti [20, 23].

Polycyklické aromatické uhlovodíky se uvolňují do ovzduší především při neúplném spalování organických látek. Za války k tomu může docházet při lesních požárech, hoření ropných vrtů, vojenské techniky nebo spalování městských a průmyslových materiálů. Jsou zvláště znepokojivé kvůli svému karcinogennímu potenciálu, přičemž mohou ulpívat na prachových částicích a pronikat do dýchacích systémů lidí nebo se usazovat v půdě a vodních tocích [21, 23, 24].

Jeden z nejnázornějších příkladů úniku škodlivých látek do ovzduší pochází z války v Perském zálivu v roce 1991. Během války bylo jednou z nejvýznamnějších ekologických katastrof zničení ropných vrtů v Kuvajtu. Irácké síly při ústupu z Kuvajtu zapálily přibližně 700 ropných vrtů, což vedlo k mohutným oblakům černého kouře, které ovládly oblohu, a k obrovským ropným jezerům, která kontaminovala půdu a podzemní vody. Oblaka kouře zamezovaly přístup slunečního záření, a to místy způsobilo pokles teploty až o 10 stupňů [25]. Při požárech se do ovzduší uvolňovalo množství znečišťujících látek, včetně oxidu uhlíku, síry a celé řady pevných částic. Výsledné znečištění ovzduší mělo vážné bezprostřední zdravotní dopady na obyvatele regionu a přispělo k širšímu zhoršení stavu životního prostředí. Úniky ropy v důsledku poškozených vrtů a potrubí kontaminovaly rozsáhlé oblasti pevniny a mořského prostředí, což

vedlo k vážným ztrátám biologické rozmanitosti a dlouhodobým důsledkům pro mořské a suchozemské ekosystémy [26, 27].



Obrázek 1: Požár ropných vrtů nedaleko od města Kuvajt způsobený Iráckým vojskem [66]

2.3.2 Půda

Environmentální rizika

Vojenské konflikty zásadně ovlivňují půdu a mění její fyzikální, chemické a biologické vlastnosti. Mechanismy, jimiž k tomuto narušení dochází, jsou rozmanité a z velké části vyplývají z povahy vojenské taktiky a používaného vybavení [8, 28]. Zřizování vojenských základen a častý pohyb těžkých vozidel se projevuje značným zhutňováním půdy v konfliktních zónách. Těžké tanky, obrněná vozidla a další vojenské prostředky vyvíjejí na půdu obrovský tlak, který výrazně snižuje její pórovitost a propustnost. Zhutnění půdy omezuje její schopnost absorbovat a zadržovat vodu, což vede ke snížené výměně vzduchu a nepříznivě ovlivňuje růst kořenů a mikrobiální aktivitu. To může časem vést k vážnému zhoršení stavu půdy, snížení její zemědělské životaschopnosti a zvýšení náchylnosti k erozi [28, 29].

Výstavba příkopů, tunelů a dalších obranných zemních staveb dále přispívá k narušení půdy. Tyto postupy zahrnují intenzivní zemní práce a změnu uspořádání půdního profilu, čímž odstraňují svrchní vrstvu půdy a odhalují vrstvy spodní, které jsou méně úrodné a náchylnější k erozi. Narušení půdní struktury těmito stavbami má vliv nejen na bezprostřední okolí, ale může také změnit místní vodní režim, což vede ke zvýšenému odtoku a snížené infiltraci vody, čímž se zvyšuje riziko povodní a zatopení [28, 29].

Používání těžkého dělostřelectva, bomb a dalších výbušných zařízení ve válce drasticky mění fyzickou podobu krajiny. Exploze vytvářejí krátery, přemísťují velké objemy půdy a vedou k rozsáhlému rozptýlu dříve stabilizovaných vrstev půdy. Rázové vlny z výbuchů

zhuťňují půdu, což může mít dlouhodobé účinky na strukturální integritu půdy. Kromě toho krátery zanechané po bombardování narušují přirozený tvar terénu, takže oblasti jsou náchylnější k větrné a vodní erozi. S tím souvisí spousta problémů pro zemědělství, zejména komplikace při obdělávání půdy [28, 29].

Výbušniny, jako je trinitrotoluen (TNT) a další energetické materiály, často kontaminují půdu během vojenských operací. Tyto látky se mohou rozkládat na vedlejší produkty, které jsou často toxickejší než původní sloučeniny. Přítomnost těchto organických látek může inhibovat růst rostlin, degradovat mikrobiální společenstva, která jsou nezbytná pro koloběh živin, a v konečném důsledku vést ke snížení úrodnosti půdy [29, 30]. Paliva a maziva, která často unikají z poškozených vozidel nebo skladů, vnášejí do půdy řadu uhlovodíků. Tyto látky mohou na povrchu půdy vytvořit hydrofobní vrstvu, která brání pronikání vody a může přispět k erozi [29].

Je nutno zmínit, že využívání radiologických materiálů, jako je ochuzený uran, včetně jeho toxických účinků, přináší specifické výzvy související s dlouhodobým znečištěním radiací. Ochuzený uran je používán pro svou vysokou hustotu. V munici nachází uplatnění pro zvýšení průraznosti, a naopak u obrněných vozidel je využíván pro vyšší odolnost pancíře. Do životního prostředí se může rozptýlit ve formě prachových částic a tím kontaminovat ovzduší, následně půdu a vodní zdroje, čímž představují riziko pro lidské zdraví a ekosystémy. Přítomnost radiologických materiálů v půdě komplikuje obnovu postižených oblastí a vyžaduje specializované dekontaminační postupy [34].

Zdravotní rizika

Půdní prostředí ve válečných zónách je značně kontaminováno řadou znečišťujících látek včetně těžkých kovů a organických látek, které pocházejí z různých vojenských činností. Tyto kontaminanty drasticky mění složení půdy a představují vážné environmentální a riziko pro [30].

Těžké kovy, jako je olovo, rtuť a kadmium, se do půdy dostávají v důsledku výbuchů munice a opuštění vojenské techniky. Tyto kovy jsou známé svou stálostí v životním prostředí, kde mohou zůstat po desetiletí, aniž by se rozložily. Představují vážné zdravotní riziko pro lidskou populaci a volně žijící živočichy, protože mohou vstupovat do potravního řetězce a hromadit se v tělech živých organismů. Dlouhodobé vystavení těžkým kovům může vést k neurologickým poruchám, reprodukčním problémům, a dokonce k rakovině [31–34].

Během konfliktu v Jugoslávii v 90. letech 20. století využívaly síly NATO ve velké míře munice s ochuzeným uranem (DU), která byla schopna účinně pronikat obrněnými vozidly. Tato volba přinesla značné obavy o životní prostředí a zdraví, které přetrvávají dodnes, a to vzhledem k přirozeným vlastnostem DU jako toxického těžkého kovu i radioaktivní látky. Po ukončení konfliktu řada studií ukázala, že v oblastech zasažených municí DU došlo ke značné kontaminaci půdy. Přítomnost DU v půdě byla nejvíce koncentrována v místech dopadu a postupně se snižovala se vzdáleností od těchto míst [35–37].

Přítomnost DU v půdě narušuje ekologickou rovnováhu. Může potlačovat růst rostlin a měnit úrodnost půdy poškozením mikrobiálních společenstev důležitých pro koloběh živin. Toto

narušení má kaskádový účinek na místní biologickou rozmanitost a může snížit zemědělskou produktivitu, což má dopad na potravinovou bezpečnost a ekonomickou stabilitu v regionu. Dlouhodobé dopady kontaminace DU na životní prostředí zahrnují možnost, že se částice DU vyluhují do podzemních vod, což představuje riziko pro bezpečnost a zdraví vody v následujících letech [35, 37].

Zdravotní důsledky expozice DU jsou závažné. Jako radioaktivní látka představuje DU riziko poškození ledvin a zvýšené riziko rakoviny, zejména rakoviny plic z vdechování kontaminovaného prachu. Kromě toho přispívají vlastnosti DU jako těžkého kovu k jeho toxicitě s možnými dlouhodobými účinky na lidské zdraví, včetně reprodukčních problémů a neurologických poruch [35, 37].

2.3.3 Voda

Environmentální rizika

Znečištění vodních zdrojů má devastující účinky na místní ekosystémy. Kontaminace vodních toků a vodních těles toxickými chemikáliemi a těžkými kovy z vodních zdrojů a odpadních vod může vést ke snížení biologické rozmanitosti a narušení ekologických funkcí, které jsou klíčové pro udržení zdravého prostředí. Například znečištění může inhibovat samočisticí schopnost vodních ekosystémů, což znamená, že toxiny zůstávají v ekosystému a postupně se akumulují v potravním řetězci. Tento proces nejenže ohrožuje vodní floru a faunu, ale může mít dlouhodobé důsledky pro všechny druhy závislé na těchto vodních zdrojích, včetně lidí [38].

Pro zemědělství mohou být důsledky kontaminace vody závažné. Pěstování plodin je do značné míry závislé na kvalitě i dostupnosti vodních zdrojů. Kontaminované vodní zdroje mohou vést ke snížení úrodnosti půdy, a to má dopad na produktivitu zemědělství a následně na potravinovou bezpečnost. Toto narušení má kaskádový dopad na živobytí zemědělců, snižuje příjmy a prohlubuje chudobu v oblastech postižených konfliktem [38, 39].

Zdravotní rizika

Ozbrojené konflikty často vedou k vážnému poškození nebo úplnému zničení vodní infrastruktury, jako jsou čistírny odpadních vod, vodovody, přehrady a nádrže. Funkční infrastruktura je zásadní pro zajištění bezpečné pitné vody pro obyvatelstvo a pro správnou likvidaci odpadních vod i v oblastech mimo konfliktní zónu. Když jsou tyto systémy poškozeny, má to okamžité a dlouhodobé důsledky pro veřejné zdraví a hygienu. Nejenže je přístup k čisté vodě omezen, ale také dochází k úniku nečištěných nebo částečně čištěných odpadních vod do okolního prostředí, což zvyšuje riziko ekologické újmy [40, 41].

Nedostatek čisté pitné vody a kontaminace stávajících vodních zdrojů přináší vážná zdravotní rizika. Lidé mohou být nuceni využívat kontaminovanou vodu pro pití, vaření a osobní hygienu, což může vést k rozšíření vodou přenášených nemocí, jako je cholera, tyfus a různé gastrointestinální infekce. Tyto nemoci se mohou rychle šířit mezi populací, což vede k výskytu epidemií, které dodatečně zatěžují již tak oslabené zdravotnické systémy. Kromě toho dlouhodobá expozice kontaminované vodě může vést k chronickým zdravotním problémům, jako jsou problémy s ledvinami a snížená imunita, což zvyšuje vulnerabilitu obyvatelstva vůči dalším nemocem [38, 42].

Zničení přehrady Kachovka, ke kterému došlo v ranních hodinách 6. června 2023 během války mezi Ruskem a Ukrajinou, mělo značné následky na životní prostředí a lidské zdraví. Tento incident způsobil rozsáhlé záplavy ve čtyřech městech a několika desítkách vesnic v dolním toku řeky Dněpr, což vedlo ke ztrátám na životech, ničení infrastruktury a rozsáhlému znečištění vodních zdrojů. Následné záplavy nejenže způsobily okamžité lidské a materiální škody, ale také významně ovlivnily kvalitu vody v regionu. Do řeky Dněpr a do severozápadní části Černého moře se dostaly bakteriologické a chemické kontaminanty, což mělo za následek zvýšené riziko vodou přenášených nemocí a dalších zdravotních komplikací pro místní obyvatelstvo. Kromě toho byly přerušeny dodávky vody pro rozsáhlé zemědělské oblasti, několik velkých měst, včetně energetických stanic jako je jaderná elektrárna Zápороží [43].

Dlouhodobé ekologické důsledky jsou rovněž alarmující. Zničení přehrady způsobilo masivní uvolnění sedimentů, které byly nahromaděny v rezervoáru, a jejich splavení do dolního toku Dněpru a dále do Černého moře. Toto znečištění má značný dopad v podobě úbytku mnoha vodních a pobřežních druhů [43].



Obrázek 2: Satelitní snímek poškozené Kachovské přehrady [67]

2.3.4 Biota

Válečné konflikty způsobují viditelné ničení přírodních stanovišť, jako jsou lesy a louky, ale také neviditelně narušují jedinečnou rovnováhu mezi druhy a ekosystémy. Důsledky tohoto ničení sahají od ztráty biodiverzity po změny v ekologických funkcích, které mohou mít nečekané a rozsáhlé efekty na celkové zdraví ekosystémů [44].

Ozbrojené konflikty se často odehrávají v ekologicky citlivých oblastech, což vede k cílenému i náhodnému ničení kritických stanovišť volně žijících živočichů [27]. Toto ničení

někdy slouží jako strategický prvek války, jehož cílem je odeprít protivníkovi zdroje, ale častěji bývá nešťastným vedlejším produktem vojenských aktivit. Škody jsou obzvláště závažné u chráněných a klíčových druhů, jejichž ztráta se odráží v celém ekosystému, narušuje jeho rovnováhu a může vést k nekontrolovatelným výkyvům populací dalších druhů. Například úbytek druhů, jako jsou opylovači a vrcholoví predátoři, může zapříčinit nekontrolovaný nárůstu některých méně žádoucích populací, co poté mění strukturu a funkční dynamiku ekosystémů [29, 31, 32].

Jedním z méně viditelných, ale kritických dopadů válečných akcí je narušení migračních a reprodukčních funkcí. Hluk způsobený výbuchy a provozem vojenské techniky, může přivodit dočasné nebo trvalé poškození sluchu, ale také narušuje pářící chování různých druhů, včetně stěhovavých ptáků. Nepřirozené zvuky mohou zmást ptáky během hnízdění nebo migračních období, což může vést k narušení jejich rozmnožovacích cyklů a snížení populačních čísel. S tím dále souvisí nepřetržité vibrace země, které jsou důsledkem výbuchů nebo těžkého strojního provozu. Vibrace mohou značně ovlivnit navigační schopnosti, například vodních živočichů, jako jsou ryby a mořští savci. Dokážou rušit echolokační signály, které vodní živočichové používají k navigaci, hledání potravy a vyhýbání se predátorům. Ztráta orientace může vést k vyčerpání, a nakonec k vyšší úmrtnosti v důsledku zmíněných stresorů [45].

Dalším významným, ale často přehlíženým dopadem válečných konfliktů je genetická eroze. Izolace populací v důsledku fragmentace stanovišť snižuje genetickou rozmanitost a zvyšuje riziko příbuzenského křížení. Následná ztráta genetické variability snižuje odolnost druhů vůči změnám prostředí a nemocem, a tím zhoršuje jejich schopnost přizpůsobit se a přežít [46].

Přestože škodlivé účinky ozbrojených konfliktů na biotu jsou nepopiratelné, existují případy, kdy vojenské aktivity neúmyslně vedou k přínosům pro ochranu přírody. Je pozoruhodné, že oblasti omezené z důvodu trvalé vojenské přítomnosti nebo nebezpečí, jako je třeba nevybuchlá munice, se mohou stát nezamýšleným útočištěm pro volně žijící živočichy. Tyto zóny, často bez lidských zásahů nad rámec vojenského využití, umožňují regeneraci ekosystémů a zvýšení populací volně žijících živočichů. Bylo zjištěno, že neobyvatelné zóny kolem vojenských oblastí mohou podporovat obnovu populací, a to jak v suchozemských, tak ve vodních systémech. Například demilitarizovaná zóna mezi Severní a Jižní Koreou, která byla kvůli přítomnosti nášlapných min a vojenské činnosti více než šest desetiletí z velké části nedotčena lidmi, se stala v podstatě rezervací volně žijících živočichů. Tato oblast je nyní domovem několika ohrožených druhů, například jeřába rudokrkého a levharta amurského, které se v nepřítomnosti lidských rušivých vlivů prosperují [7, 45, 47].

Válka ve Vietnamu v letech 1962 až 1971 je názorným příkladem rozsáhlých dopadů válečných operací na životní prostředí, které mají významné důsledky pro biologickou rozmanitost a zdraví ekosystémů. Během tohoto období americká armáda spolu s Vietnamskou republikou vystříkala nad Vietnamem, Laosem a Kambodžou více než 20 milionů litrů různých herbicidů. Strategickým cílem bylo zlikvidovat lesní porosty a potravinové zdroje, na nichž byli závislí partyzánské bojovníci [48].

Použité herbicidy, zejména Agent Orange, obsahovaly dioxiny, vysoce toxické sloučeniny, které přetrvávají v půdě po desetiletí. Dioxiny se dostávají do půdy a sedimentů, kde se pevně vážou a odolávají rozkladu, což představuje dlouhodobé ekologické a zdravotní riziko. Tyto chemické látky se hromadí v tukových tkáních zvířat a lidí, dostávají se do potravního řetězce a mohou způsobit onemocnění a vrozené vady u exponovaných populací. Výzkum ukázal, že v oblastech postříkovaných herbicidy došlo nejen k zničení vegetace, ale také k dlouhodobé degradaci půdy. Úrodnost půdy se snížila v důsledku zániku mikrobiálních společenstev, která podporují růst rostlin. Tato degradace měla následný vliv na produktivitu zemědělství, která zůstala snížena ještě dlouho po skončení války [49]

Ekologické škody byly rozsáhlé, podle odhadů byla zasažena plocha o rozloze až 4,5 milionu akrů. Herbicidy vedly k defoliaci mangrovových porostů, horských lesů, vrchovin, kritických stanovišť pro různé druhy, čímž se snížila biologická rozmanitost. Kromě toho se změnila struktura půdy, což zvýšilo náchylnost k erozi a změnilo vodní režim, což následně ovlivnilo kvalitu vody v níže položených oblastech [48, 49].

Dlouhodobé dopady těchto herbicidních operací na lidské zdraví a životní prostředí byly hluboké a trvalé. Chemikálie pronikly do vodních zdrojů, dostaly se do potravinového řetězce a vedly k tomu, že několik generací trpělo zdravotními problémy od rakoviny až po reprodukční poruchy. Sociálně-ekonomické důsledky pro místní komunity závislé na zemědělství a přírodních zdrojích jsou závažné a podtrhují trvalé následky války na zdraví ekosystémů [48, 49].



Obrázek 3: Aplikace herbicidu Agent Orange helikoptérou UH-1D ve Vietnamu [68]

3 CÍL PRÁCE

Cíle bakalářské práce:

1. Vypracujte literární rešerši s důrazem na vybraný problém(y) mající přímou souvislost s válečným konfliktem.
2. Analyzujte možné způsoby ochrany před negativními účinky např. munice s ochuzeným uranem.
3. Navrhněte další směry výzkumu zaměřené na snižování zdravotních a environmentálních rizik.

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4.1 Odběr a úprava vzorků

Odběr a úprava vzorků pro experimentální část práce byly podstatným krokem pro získání přesných a spolehlivých výsledků. Celý průběh odběru vzorků a jejich následné zpracování byl realizován spoluprací mezi Univerzitou obrany (UNOB) a Ústavem chemických procesů (ÚCHP). Experimenty sledující dopad dělostřelecké na životní prostředí byly prováděny na území vojenského újezdu, kde byly za přísně kontrolovaných podmínek odebírány vzorky půdy. Pro experimentální část práce byl vybrán referenční vzorek z jedné části vzorkované referenční sítě, která nejlépe odrážela pozorovaný nárůst koncentrací vybraných prvků. Tento vzorek byl odebrán v okolí předpokládaného dopadu testované munice. Následně z kráteru o průměru přibližně 5 metrů a hloubce 20 centimetrů bylo systematicky odebráno 10 dílčích vzorků, z nichž byl vytvořen směsný vzorek, reflektující obohacení v celé ploše kráteru [50].

Předběžná příprava vzorků půdy zahrnovala jejich sušení a prosévání pro odstranění hrubších částic. Následně byly vzorky půdy rozloženy pomocí mikrovlnného systému (Berhhoff Speedwave Xpert), který zajišťuje rychlý a efektivní rozklad vzorků při kontrolovaných podmínkách. Zpracování odebraných vzorků probíhalo metodou extrakce lučavkou královskou, což je postup využívaný pro uvolnění těžkých kovů do roztoku, který umožňuje jejich další analytické zpracování. Následná analýza extrahovaných vzorků byla prováděna pomocí optické emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES), která poskytuje vysokou přesnost a citlivost pro kvantifikaci těžkých kovů v roztocích [50].

Vyhodnocení získaných analytických dat bylo provedeno za použití softwaru STATISTICA, což umožnilo statistické zpracování výsledků, včetně korelačních a regresních analýz, které jsou zásadní pro interpretaci vztahů mezi koncentracemi těžkých kovů a potenciálními zdroji znečištění [50].

Data využitá pro experimentální část vyplynula ze zahájené spolupráce mezi Fakultou vojenského leadershipu Univerzity Obrany (UNOB) a Fakultou chemickou Vysokého učení technického v Brně (VUT).

4.2 Indexy znečištění

Pro vyhodnocení úrovně zátěže byla použita celá řada indexů znečištění, které jsou nezbytnými nástroji pro hodnocení míry kontaminace půdy těžkými kovy a pro posouzení jejich dopadů na životní prostředí. Tyto indexy umožňují kvantifikovat koncentrace kontaminantů ve srovnání s přirozenými nebo bezpečnostními úrovněmi a poskytují základ pro vyhodnocení potenciálního rizika pro ekosystémy a lidské zdraví. V této práci budou indexy znečištění využity k posouzení míry kontaminace půdy po dopadu dělostřelecké munice, což umožní detailně zhodnotit příspěvek těžkých kovů k celkovému znečištění. Díky nim je možno efektivněji řídit rizika spojená s kontaminací a navrhopat opatření pro sanaci znečištěných

oblastí. V dalších částech jsou některé z těchto indexů podrobněji popsány, aby bylo možné lépe pochopit jejich využití v praxi [51–53].

4.2.1 Geoakumulační index (I_{geo})

Geoakumulační index je významným ukazatelem, který se používá k posouzení úrovně kontaminace půdy těžkými kovy. Byl poprvé použit v roce 1969 a od té doby je široce využíván ve studiích zaměřených na monitorování znečištění životního prostředí. Umožňuje kvantitativně vyjádřit míru znečištění půdy porovnáním současných koncentrací těžkých kovů s předindustriálními úrovněmi. Geoakumulační index je definován následujícím vztahem:

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1,5 \cdot B_n} \right) \quad (1)$$

kde:

- C_n je naměřená koncentrace kontaminantu v půdě (mg/kg).
- B_n je geochemické pozadí (referenční hodnota) daného kontaminantu, které odpovídá přirozeným úrovním (mg/kg).
- faktor 1,5 se používá k zahrnutí možné přirozené variability v pozadí způsobené geologickými faktory a menšími antropogenními zásahy.

Hodnoty I_{geo} se interpretují podle následujících kategorií:

Tabulka 1: Úrovně kontaminace dle I_{geo}

Hodnota	Kvalita půdy
$I_{geo} \leq 0$	Nekontaminovaná
$0 \leq I_{geo} < 1$	Nekontaminovaná až mírně kontaminovaná
$1 \leq I_{geo} < 2$	Mírně kontaminovaná
$2 \leq I_{geo} < 3$	Mírně až silně kontaminovaná
$3 \leq I_{geo} < 4$	Silně kontaminovaná
$4 \leq I_{geo} < 5$	Silně až extrémně kontaminovaná
$I_{geo} > 5$	Extrémně silně kontaminovaná

4.2.2 Faktor obohacení (EF)

Faktor obohacení je důležitým nástrojem, který se využívá ke stanovení míry obohacení půdy daným kovem ve srovnání s přirozeným pozadím. Poskytuje užitečné informace o tom, zda příslušné znečištění pochází z přirozených zdrojů, nebo je výsledkem lidské činnosti. Tento index je založen na standardizaci koncentrace stanovovaného kovu vůči referenčnímu kovu, který je vybrán kvůli jeho nízké variabilitě výskytu a stabilnímu zastoupení v zemské kůře. Pro výpočet se typicky volí kovy jako Fe, Al, Mn, Ti, Sc a Sr. Faktor obohacení je definován následujícím vztahem:

$$EF = \frac{\frac{C_n}{C_{Ref}}}{\frac{B_n}{B_{Ref}}} \quad (2)$$

kde:

- C_n je naměřená koncentrace kontaminantu v půdě (mg/kg)
- C_{Ref} je koncentrace referenčního kovu ve vzorku (mg/kg)
- B_n je geochemické pozadí (referenční hodnota) daného kontaminantu, které odpovídá přirozeným úrovním (mg/kg).
- B_{Ref} je referenční hodnota referenčního kovu v referenčním prostředí (mg/kg).

Hodnoty EF se interpretují podle následujících kategorií:

Tabulka 2: Kategorizace míry obohacení dle EF

Hodnota	Míra obohacení
$EF \leq 2$	Velmi malé obohacení
$2 < EF < 5$	Mírné obohacení
$5 < EF < 20$	Významné obohacení
$20 < EF < 40$	Velmi vysoké obohacení
$40 \leq EF$	Extrémně vysoké obohacení

4.2.3 Faktor kontaminace (CF)

Faktor kontaminace je klíčovým ukazatelem pro posouzení míry kontaminace půdy těžkými kovy a dalšími znečišťujícími látkami. Tento index se využívá k vyhodnocení, jak výrazně koncentrace daného prvku ve vzorku přesahuje jeho přirozenou koncentraci v půdě nebo sedimentu, čímž poskytuje důležitý náhled na potenciální antropogenní zásah do přirozeného prostředí. Faktor kontaminace je definován následujícím vztahem:

$$CF = \frac{C_M}{C_{np}} \quad (3)$$

kde:

- C_M je koncentrace zkoumaného prvku ve vzorku (mg/kg).
- C_{np} je přirozená, geologická nebo předindustriální referenční hodnota zkoumaného prvku (mg/kg).

Hodnoty CF se interpretují podle následujících úrovní kontaminace:

Tabulka 3: Úrovně kontaminace dle CF

Hodnota	Kontaminace
$CF \leq 1$	Nízká
$1 < CF < 3$	Mírná
$3 < CF < 6$	Značná
$6 \leq CF$	Velmi vysoká

4.2.4 Index znečištění (PI)

Index znečištění umožňuje určit úroveň kontaminace vzhledem k základním, často přirozeným koncentracím těchto látek v půdě. Jednotlivé PI mohou využívat různé referenční hodnoty kovů v půdách, včetně předindustriální úrovně, průměrné úrovně zemské kůry, úrovně pozadí, základních hodnot, hodnot stanovených národními kritérii nebo prahových hodnot znečištění. Tento index poskytuje snadno interpretovatelné kvantitativní hodnocení, které může být použito k určení míry rizika pro zdraví a životní prostředí, závisle na zvolené referenční hodnotě, která může značně ovlivnit výsledný výpočet a interpretaci rizika kontaminace.

$$PI = \frac{C_n}{B_n} \quad (3)$$

kde:

- C_n je naměřená koncentrace kontaminantu v půdě (mg/kg).
- B_n je referenční hodnota daného kontaminantu (mg/kg).

Hodnoty EF se interpretují podle následujících kategorií:

Tabulka 4: Kategorizace znečištění dle PI

Hodnota	Kvalita půdy
$PI \leq 1$	Neznečištěná až lehce znečištěná
$1 < PI < 3$	Mírně znečištěná
$3 \leq PI$	Silně znečištěná

4.2.5 Indexy vycházející z PI

Integrovaný index znečištění (IPI) rozšiřuje koncept PI tím, že poskytuje průměrnou hodnotu PI pro soubor kontaminantů, čímž umožňuje komplexní hodnocení celkové kontaminace lokality. Je definován následujícím vztahem:

$$IPI = \text{mean}(PI_i) \quad (4)$$

kde:

- PI_i je index znečištění i-tého sledovaného těžkého kovu

Hodnoty IPI se interpretují podle následujících kategorií:

Tabulka 5: Kategorizace znečištění dle IPI

Hodnota	Kvalita půdy
$IPI \leq 1$	Lehce znečištěná
$1 < IPI < 2$	Mírně znečištěná
$2 \leq IPI$	Silně znečištěná

V rámci komplexního hodnocení znečištění půdy těžkými kovy je uplatňován celkový index znečištění, označovaný jako PI_{sum} . Tento index vychází z individuálních indexů znečištění (PI) pro každý analyzovaný těžký kov, což poskytuje celkový pohled na úroveň kontaminace půdy:

$$PI_{sum} = \sum_{i=1}^n PI_i \quad (5)$$

kde:

- PI_i je index znečištění i-tého sledovaného těžkého kovu
- n je celkový počet analyzovaných těžkých kovů

Dále se používá průměrný index znečištění, označovaný jako PI_{avg} , který slouží k hodnocení celkové kvality půdy na základě průměrné hodnoty znečištění všech zkoumaných těžkých kovů. Tento index je definován jako:

$$PI_{avg} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n PI_i \quad (6)$$

kde:

- PI_i je index znečištění i-tého sledovaného těžkého kovu
- n je celkový počet zkoumaných těžkých kovů

Pokročilejším indexem pro hodnocení celkového znečištění půdy těžkými kovy je znečištění Nemerowův index. Je definován následujícím vztahem:

$$PI_{Nemerow} = \sqrt{\frac{PI_{avg}^2 + PI_{Max}^2}{n}} \quad (7)$$

kde:

- PI_{avg} je průměrný index znečištění všech zkoumaných těžkých kovů
- PI_{Max} je nejvyšší hodnota indexu znečištění ze všech zkoumaných těžkých kovů
- n je celkový počet zkoumaných těžkých kovů

Výsledná hodnota $PI_{Nemerow}$ se interpretuje podle následujících kategorií:

Tabulka 6: Kategorizace znečištění dle $PI_{Nemerow}$

Hodnota	Kvalita půdy
$PI_{Nemerow} \leq 0,7$	Čistá
$0,7 < PI_{Nemerow} < 1$	Varovně limitující
$1 < PI_{Nemerow} < 2$	Lehce znečištěná
$2 < PI_{Nemerow} < 3$	Mírně znečištěná
$3 \leq PI_{Nemerow}$	Těžce znečištěná

4.2.6 Zátěžový index znečištění (PLI)

Zátěžový index znečištění je metoda používaná k hodnocení celkové úrovně kontaminace půdy těžkými kovy. Tento index poskytuje komplexní pohled na zátěž půdy kontaminanty, a to agregací faktorů kontaminace pro všechny analyzované kovy:

$$PLI = \sqrt[n]{CF_1 \cdot CF_2 \cdot CF_3 \dots \cdot CF_n} \quad (8)$$

kde:

- CF je faktor kontaminace jednotlivých těžkých kovů
- n je počet zkoumaných těžkých kovů

Výsledná hodnota PLI se interpretuje podle následujících kategorií:

Tabulka 7: Kategorizace znečištění dle PLI

Hodnota	Kvalita půdy
$PLI \leq 1$	Neznečištěná
$1 < PLI < 2$	Neznečištěná až mírně znečištěná
$2 < PLI < 3$	Mírně znečištěná
$3 < PLI < 4$	Mírně až vysoce znečištěná
$4 < PLI < 5$	Vysoce znečištěná
$5 \leq PLI$	Velmi vysoce znečištěná

4.2.7 Stupeň kontaminace (C_{deg})

Stupeň kontaminace se vypočítá jako suma faktorů kontaminace pro všechny zkoumané kovy. Tento index poskytuje přehled o celkové zátěži kontaminanty v půdě a je vypočítán pomocí následujícího vzorce:

$$C_{deg} = \sum_{i=1}^n CF_i \quad (9)$$

kde:

- CF_i je faktor kontaminace pro i -tý těžký kov
- n je počet zkoumaných těžkých kovů.

Výsledná hodnota C_{deg} se interpretuje podle následujících kategorií:

Tabulka 8: Stupně kontaminace dle C_{deg}

Hodnota	Kontaminace
$C_{deg} \leq 8$	Nízký stupeň kontaminace
$8 < C_{deg} < 16$	Mírný stupeň kontaminace
$16 < C_{deg} < 32$	Značný stupeň kontaminace
$32 \leq C_{deg}$	Velmi vysoký stupeň kontaminace

Upravenou verzi C_{deg} je modifikovaný stupeň kontaminace (mC_{deg}). Tento index je užitečný pro srovnání úrovní znečištění mezi různými lokalitami nebo časovými obdobími, kde byl analyzován rozdílný počet kontaminantů. Je definován následujícím vztahem:

$$mC_{deg} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n CF_i \quad (10)$$

kde:

- CF_i je faktor kontaminace pro i -tý těžký kov
- n je počet zkoumaných těžkých kovů.

Výsledná hodnota mC_{deg} se interpretuje podle následujících kategorií:

Tabulka 9: Stupně kontaminace dle mC_{deg}

Hodnota	Kontaminace
$mC_{deg} \leq 1,5$	Velmi nízký stupeň kontaminace
$1,5 < mC_{deg} < 2$	Nízký stupeň kontaminace
$2 < mC_{deg} < 4$	Mírný stupeň kontaminace
$4 < mC_{deg} < 8$	Vysoký stupeň kontaminace
$8 < mC_{deg} < 16$	Velmi vysoký stupeň kontaminace
$16 < mC_{deg} < 32$	Extrémně vysoký stupeň kontaminace
$32 \leq mC_{deg}$	Ultra vysoký stupeň kontaminace

4.2.8 Index ekologického rizika (RI)

Index ekologického rizika je používán k hodnocení potenciálního rizika, které představují těžké kovy nebo jiné toxické látky pro ekosystémy. Tento index kvantifikuje možné ekologické škody založené na toxicitě daných látek a jejich koncentracích ve zkoumaném prostředí. Vypočítává jako součet potenciálních ekologických rizik jednotlivých kontaminantů:

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i \quad (11)$$

Přičemž potencionální riziko pro i-tý kontaminant se vypočítá pomocí následujícího vzorce:

$$E_r^i = T_r^i \cdot C_f^i \quad (12)$$

kde:

- E_r^i je potencionální ekologické riziko pro i-tý kontaminant
- T_r^i je faktor toxické odezvy pro i-tý kontaminant
- C_f^i je faktor kontaminace pro i-tý kontaminant

Tabulka 10: Kategorizace ekologického rizika dle E_r^i

Hodnota	Ekologické riziko
$E_r^i \leq 40$	Nízké
$40 < E_r^i < 80$	Mírné
$80 < E_r^i < 160$	Značné
$160 < E_r^i < 320$	Vysoké
$320 \leq E_r^i$	Velmi vysoké

Tabulka 11: Kategorizace ekologického rizika dle RI

Hodnota	Ekologické riziko
$RI \leq 150$	Nízké
$150 < RI < 300$	Mírné
$300 < RI < 600$	Vysoké
$600 \leq RI$	Velmi vysoké

4.3 Charakteristika použité munice

Zkoumaná 152 mm tříštivotrhavá střela OFd je dělostřelecký projektil východního typu, hojně používaný v polních dělostřeleckých systémech, jako jsou houfnice a kanóny. Tento typ munice představuje až 80 % všech dělostřeleckých střel používaných na Ukrajině, což svědčí o jejich významu a širokém nasazení v konfliktu [50].

Tříštivotrhavá střela je vybavena výbušnou náloží složenou z trhaviny, obvykle směsi TNT, hexogenu, nitroglycerinu a dalších výbušnin, které po dopadu explodují a rozptýlí kolem sebe množství stěpin vysokou rychlostí. Tyto stěpiny způsobují rozsáhlé poškození a zranění v okruhu několika desítek metrů od místa výbuchu, čímž je střela efektivní proti pěchotě i lehkým obrněným vozidlům. Plášť střely je vyroben z odolné slitiny oceli, obsahující přísady

jako chrom nebo nikl, která zajišťuje účinnou fragmentaci při explozi a zvyšuje smrtící účinek střepin [50, 54].

Označení OFd souvisí s konkrétním typem nebo variantou této střely, která může mít specifické konstrukční nebo funkční vlastnosti, jako například určitá hmotnost výbušné nálože či způsob aktivace, jež je dán nastavením zapalovače, který je v tomto případě nastaven na tříštivý účinek. Střely tohoto typu jsou často vybaveny různými druhy roznětek, které umožňují iniciaci exploze buď při nárazu, nebo v určité výšce nad cílem, což zvyšuje jejich účinnost v různých bojových podmínkách [50].

4.4 Vybrané těžké kovy

V rámci experimentu bylo analyzováno celkem 28 prvků, z nichž byly pro experimentální část této práce byly vybrány čtyři kovy na základě specifických kritérií, které představují zvláštní riziko pro zdraví a životní prostředí.

Výběr těchto čtyř rizikových prvků byl uskutečněn s ohledem na platnou legislativu, konkrétně podle Vyhlášky č. 153/2016 Sb., která stanovuje limity pro jednotlivé kovy a jejich přijatelné koncentrace v různých typech prostředí. Tato vyhláška poskytuje rámec pro identifikaci prvků, které mohou představovat zvýšené zdravotní nebo ekologické riziko, a tím určuje priority pro jejich další zkoumání a monitorování [55].

Vybrané kovy budou v následujících sekcích detailně popsány, kde bude u každého z nich uvedena jeho základní charakteristika, zdroje výskytu, případné chování v životním prostředí, toxické účinky na zdraví a specifické interakce s biologickými systémy.

4.4.1 Kadmium

Kadmium je stříbřitě bílý, měkký kov, který se typicky nachází ve spojení s jinými kovy jako zinek a olovo v minerálních formách. Díky své vysoké odolnosti vůči korozi a nízkému bodu tání se široce využívá v průmyslu, především ve výrobě baterií a dříve jako stabilizátor v PVC [56].

Přítomnost kadmia v životním prostředí může být přisuzována jak přirozeným, tak antropogenním zdrojům. Přirozené zdroje zahrnují geologickou aktivitu, jako je vulkanismus a zvětvávání hornin. Avšak významnějšími zdroji jsou antropogenní aktivity, jako těžba a zpracování kovů, spalování fosilních paliv, a průmyslové použití, zejména ve výrobě a recyklaci elektroniky. Navíc, válečné konflikty mohou přispět k uvolňování kadmia skrze vojenské odpady a zbytky munice, což vede k lokálním kontaminacím [56–59].

Kadmium se vyznačuje vysokou bioakumulativní schopností, což znamená, že se může efektivně hromadit v živých organismech a biomagnifikovat v potravních řetězcích. Tento kov je toxický jak v rozpustných, tak v nerozpustných formách, přičemž rozpustná forma může snadno kontaminovat vodní zdroje a negativně ovlivnit vodní ekosystémy [56].

Z hlediska lidského zdraví má kadmium značné toxické účinky, včetně potenciálu poškození ledvin, způsobení kostní demineralizace a karcinogenity, zvyšující riziko rakoviny. Kadmium může narušit biochemické dráhy tím, že nahrazuje jiné nezbytné minerály v enzymech, což vede k dysfunkci buněčných a fyziologických procesů. Interakce kadmia s biologickými

systemy zahrnují inhibici reparace DNA a modifikaci signálních drah, které regulují buněčnou smrt a proliferaci. Tyto interakce mohou mít dlouhodobé důsledky na zdraví populace v kontaminovaných oblastech, zvláště v regionech postižených válečnými konflikty, kde může dojít k akutní expozici kadmia z vojenského odpadu a zbytků munice [56, 60].

4.4.2 Chrom

Chrom je kov stříbřitě bílé barvy, vysokého lesku, který se v přírodě nevyskytuje samostatně, ale většinou ve formě sloučenin. Jeho nejčastějším minerálem je chromit, který je hlavním zdrojem chromu pro průmyslové využití. Díky svým unikátním vlastnostem, jako je vysoká odolnost proti korozi, tvrdost a vysoká teplota tání, je chrom široce využíván v metalurgii, zejména pro výrobu nerezové oceli a ochranných povlaků. Do životního prostředí uvolňuje především z antropogenních zdrojů, které zahrnují těžbu a zpracování chromitové rudy, průmyslové využití chromu v procesech galvanizace, výrobu barviv a pigmentů, a při výrobě nerezové oceli. Kromě průmyslových zdrojů se chrom uvolňuje také při spalování fosilních paliv a při zpracování odpadů. Přírodní zdroje chromu zahrnují geologickou erozi hornin obsahujících chrom. Chrom je také používán v některých vojenských aplikacích, například ve výrobě balistických raket a dalších typů munice, což může vést k jeho uvolňování do životního prostředí během válečných konfliktů [57–59, 61].

V životním prostředí se chrom nejčastěji vyskytuje ve dvou oxidačních stavech Cr^{3+} a Cr^{6+} . Chrom ve formě Cr^{3+} je považován za esenciální stopový prvek potřebný pro správnou funkci metabolismu cukrů a lipidů u některých organismů. Rovněž má tendenci se vázat na půdní částice, čímž se snižuje jeho mobilita. Naproti tomu hexavalentní chrom Cr^{6+} je známý svými silně toxickými a karcinogenními účinky. Je schopen pronikat buněčnými membránami a narušovat buněčné procesy tím, že indukuje tvorbu reaktivních kyslíkových druhů (ROS), což vede k poškození DNA a buněčných struktur. Expozice Cr^{6+} může vést k respiračním problémům, k poškození sliznice, k vředům a k rakovině plic při inhalaci prachu nebo aerosolů obsahujících chrom [60, 61].

4.4.3 Nikl

Nikl je stříbřitě bílý kov s vysokým leskem, který se vyznačuje vynikající odolností proti korozi a schopností snadno tvořit slitiny s mnoha jinými kovy. Tento kov se přirozeně vyskytuje především ve spojení s jinými prvky v minerálech, obvykle ve formě sulfidů a oxidů, a je zřídka nalezen ve své elementární formě [62, 63].

Z hlediska zdrojů je nikl uvolňován jak z přírodních, tak z antropogenních zdrojů. Přírodní zdroje zahrnují erozi niklových bohatých hornin a meteoritický prach. Antropogenní zdroje jsou rozsáhlejší a zahrnují metalurgii, kde je nikl často používán ve slitinách, výrobu baterií, a jako katalyzátor v chemickém průmyslu. Dalšími zdroji jsou emise z vozidel a elektráren spalujících fosilní paliva obsahující nikl. Během válečných konfliktů může dojít k uvolnění niklu do životního prostředí také prostřednictvím munice a vojenského odpadu, což zvyšuje jeho koncentrace v postižených oblastech [59, 62, 63].

V životním prostředí se nikl chová různě v závislosti na lokálních podmínkách. Může být vázán v půdě a sedimentech, kde jeho mobilita závisí na pH, organickém obsahu a dalších

faktorech. V kyselém prostředí je nikl více mobilní a může být snadno dostupný pro rostliny a mikroorganismy, což vede k jeho širší distribuci. V ekosystémech může mít nikl dvojí účinek. Je nezbytný pro některé enzymy v rostlinách, ale vyšší koncentrace jsou toxické a mohou vést k negativním účinkům na vodní a terestrické organismy [62, 63].

Expozice niklu, zejména jeho rozpustných sloučenin, může mít vážné zdravotní důsledky. Inhalace prachových částic může způsobit respirační problémy a alergické reakce, zatímco chronická expozice je spojena s rizikem vzniku rakoviny. Nikl také může interagovat s buněčnými proteiny a narušovat DNA, což může vyvolat genetické mutace [62, 63].

4.4.4 Olovo

Olovo je měkký, šedý, těžký kov charakteristický nízkou teplotou tání a vysokou odolností proti korozi. Typicky se nachází v přírodě ve formě minerálu galenitu a je známý svými různorodými průmyslovými aplikacemi, včetně výroby akumulátorů, antikoročních nátěrů a jako ochranný materiál proti radiaci [64].

Zatímco přírodní zdroje jako vulkanická činnost a zvětrávání olovnatých hornin přispívají k jeho přítomnosti v životním prostředí, významnější jsou antropogenní zdroje. Ty zahrnují těžbu a zpracování olova, recyklaci olověných baterií, a jeho použití ve výrobě barev a skla. Historické používání olova v benzínu a vodovodních trubkách má také dlouhodobý dopad na jeho rozšíření v ekosystémech [65]. Vojenské konflikty mohou vést k uvolňování olova, zejména skrze použití olovem bohaté munice [59].

Olovo má tendenci se akumulovat v půdě a vodních sedimentech, kde může zůstat po mnoho let bez významného rozkladu. Jeho schopnost akumulace způsobuje, že je toxický pro řadu živých organismů, což z něj dělá persistentní ekologickou hrozbu. Je zvláště škodlivé pro lidský nervový systém. U dětí může expozice olovu způsobit vývojové poruchy a snížené kognitivní schopnosti. U dospělých jsou rizika spojena s kardiovaskulárními a reprodukčními problémy, a dlouhodobá expozice může vést ke chronickým renálním a neurologickým onemocněním. Olovo má tendenci se hromadit v kostech, což může způsobovat dlouhodobé zdravotní problémy s možným uvolňováním do krevního oběhu. Interaguje s mnoha biologickými systémy, kde napodobuje a narušuje funkce vápníku a zinku v nervovém systému, což vede k poškození nervových buněk a tkání. Olovo také inhibuje řadu enzymů, které jsou klíčové pro syntézu hemoglobinu, což může vést až k anémii [60, 64, 65].

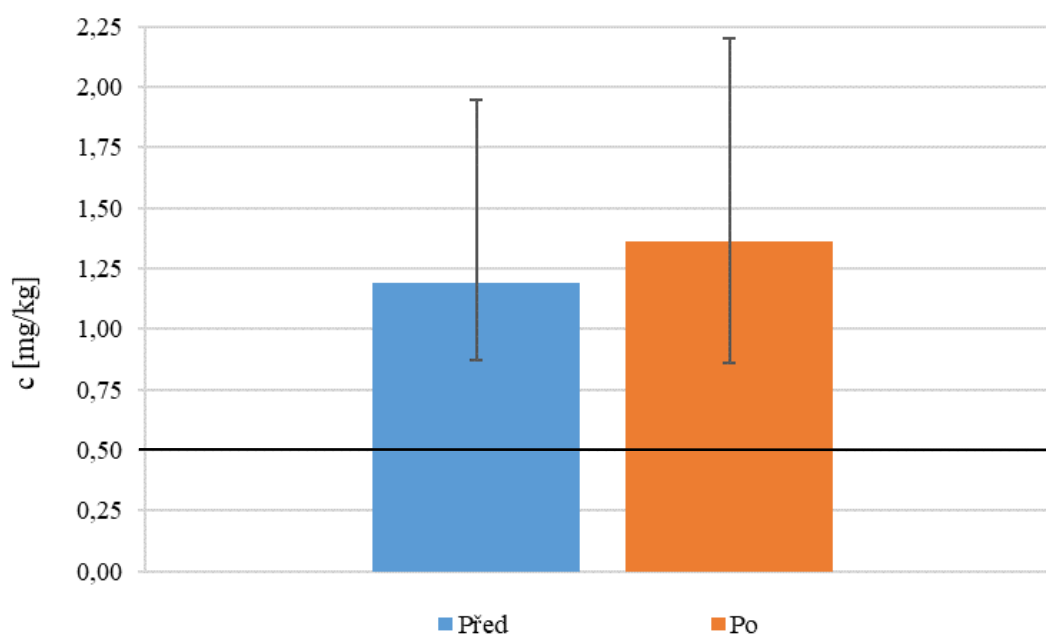
5 VÝSLEDKY A DISKUSE

5.1 Sledovaná koncentrace vybraných prvků

V grafech (Obrázek 4–7) jsou znázorněny koncentrace vybraných prvků v půdě, měřené před a po dopadu dělostřelecké munice. Tato vizualizace umožňuje přehledně srovnat změny v koncentracích těchto prvků způsobené dopadem munice. Černá čára v každém z grafů reprezentuje preventivní hodnotu pro zemědělské půdy, jak je stanovena v platné české legislativě, konkrétně ve vyhlášce č. 153/2016 Sb. Tato vyhláška určuje horní hranice obsahu rizikových látek a rizikových prvků stanovené prováděcím právním předpisem [55].

5.1.1 Kadmium

Koncentrace kadmia před dopadem dělostřelecké munice dosahovala hodnoty 1,19 mg/kg, zatímco po dopadu stoupla na 1,36 mg/kg, což odpovídá navýšení o 0,17 mg/kg. Tento nárůst ukazuje, že jak počáteční, tak nově změřené koncentrace kadmia výrazně přesahují stanovené preventivní hodnoty (0,50 mg/kg). Vyšší počáteční hodnota může reflektovat přirozeně zvýšenou úroveň kadmia v dané oblasti nebo může být výsledkem historického znečištění spojeného s vojenskými aktivitami.

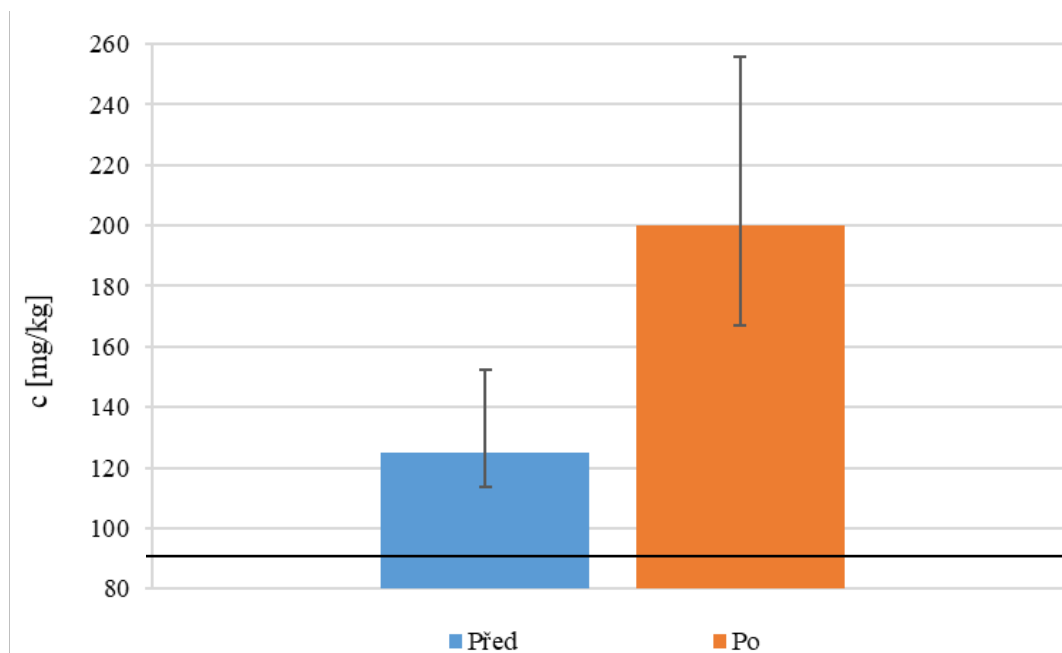


Obrázek 4: Graf srovnávající koncentrace kadmia v půdě před a po dopadu munice

5.1.2 Chrom

Koncentrace chromu v půdě před dopadem dělostřelecké munice činila 125 mg/kg a po dopadu vzrostla na 200 mg/kg. Sledovaný příspěvek tedy odpovídá hodnotě 75 mg/kg. Preventivní hodnota pro chrom v zemědělských půdách je stanovena na 90 mg/kg, přičemž obě změřené hodnoty tuto hranici překračují. Toto překročení může opět signalizovat, že vyšší koncentrace

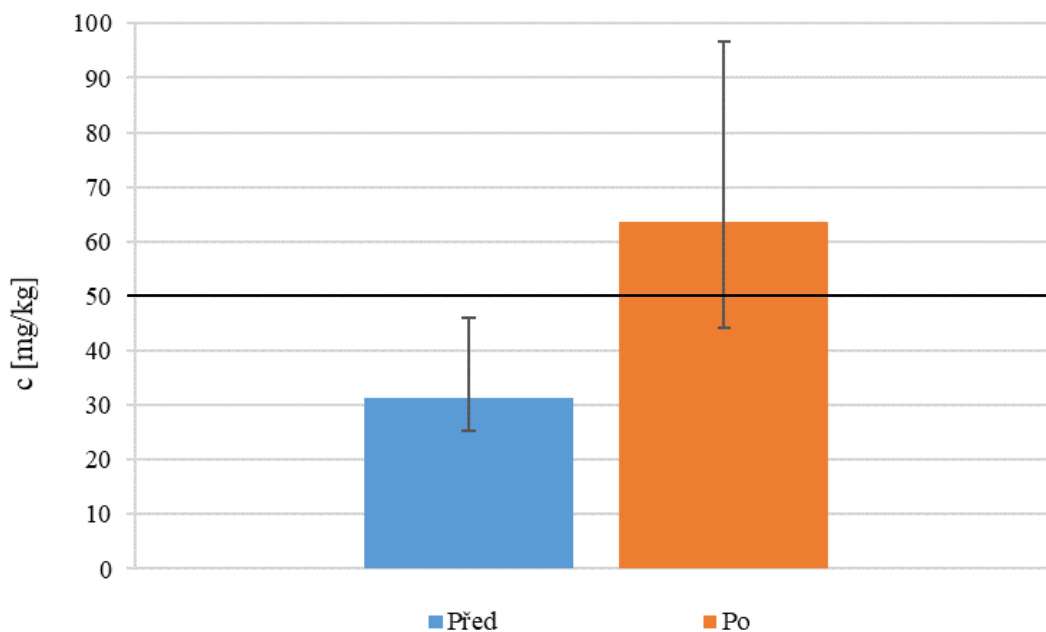
chromu v této oblasti může být důsledkem přirozeně vyšších hodnot nebo historického znečištění způsobeného vojenskými aktivitami.



Obrázek 5: Graf srovnávající koncentrace chromu v půdě před a po dopadu munice

5.1.3 Nikl

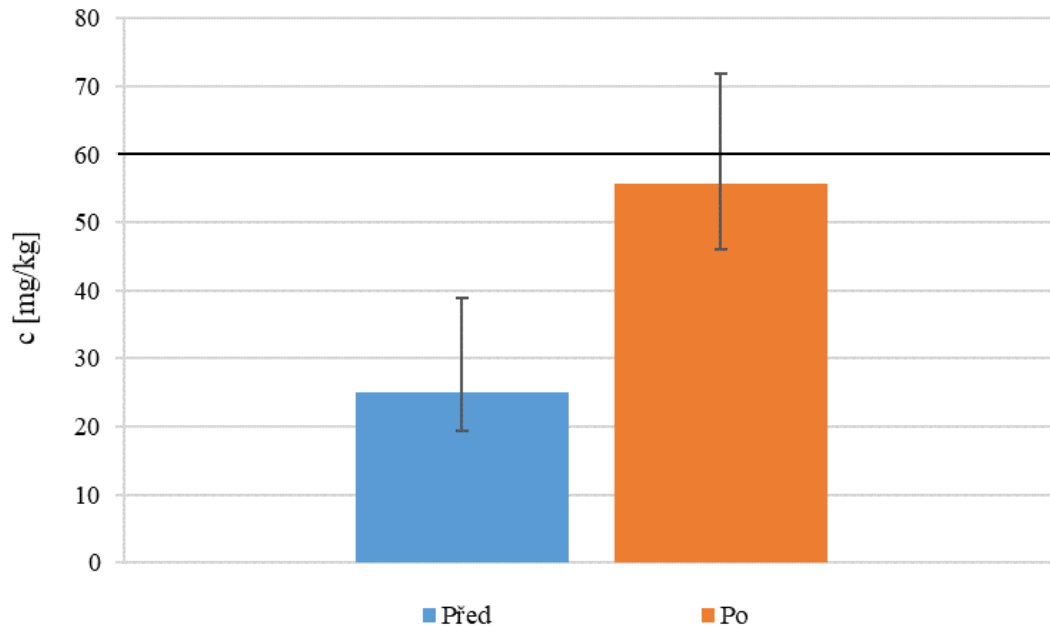
Původní koncentrace niklu byla 31,4 mg/kg, zatímco po dopadu se hodnota více než zdvojnásobila na 63,6 mg/kg, což znamená přírůstek 32,2 mg/kg. Zde je možno pozorovat překročení preventivní hodnoty (50 mg/kg) po dopadu munice o 13,3 mg/kg.



Obrázek 6: Graf srovnávající koncentrace niklu v půdě před a po dopadu munice

5.1.4 Olovo

Koncentrace olova v půdě se zvýšila z původní hodnoty 25,1 mg/kg na 55,6 mg/kg po dopadu dělostřelecké munice, což představuje značný nárůst o 30,5 mg/kg. Přestože se hodnota po dopadu značně přiblížila hranici preventivního limitu (60 mg/kg,) stále zůstává těsně pod touto hranicí.

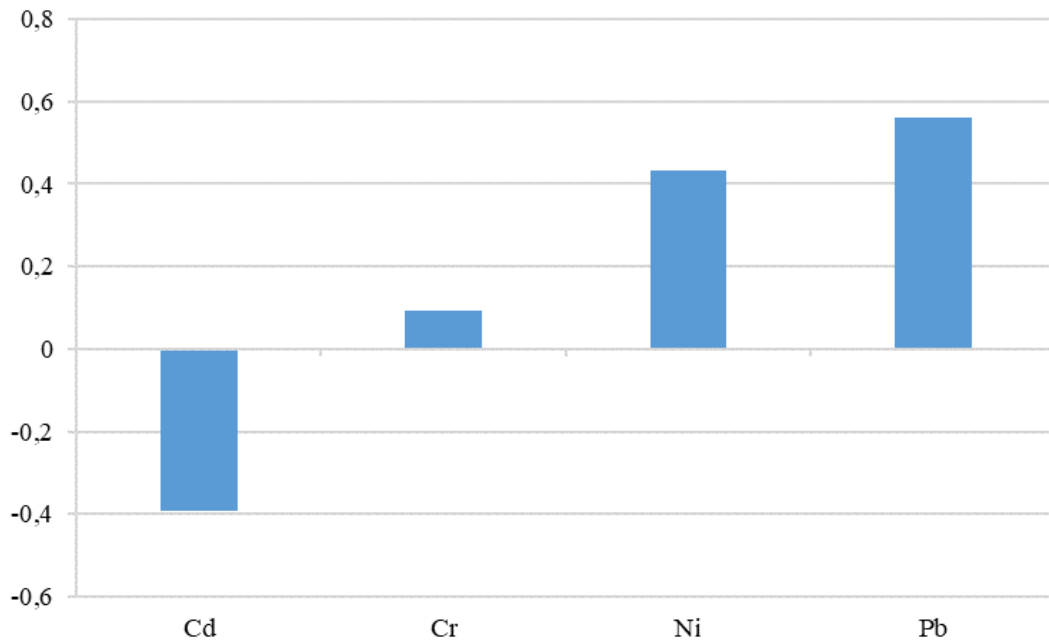


Obrázek 7: Graf srovnávající koncentrace olova v půdě před a po dopadu munice

5.2 Indexy znečištění

5.2.1 Geoakumulační index (I_{geo})

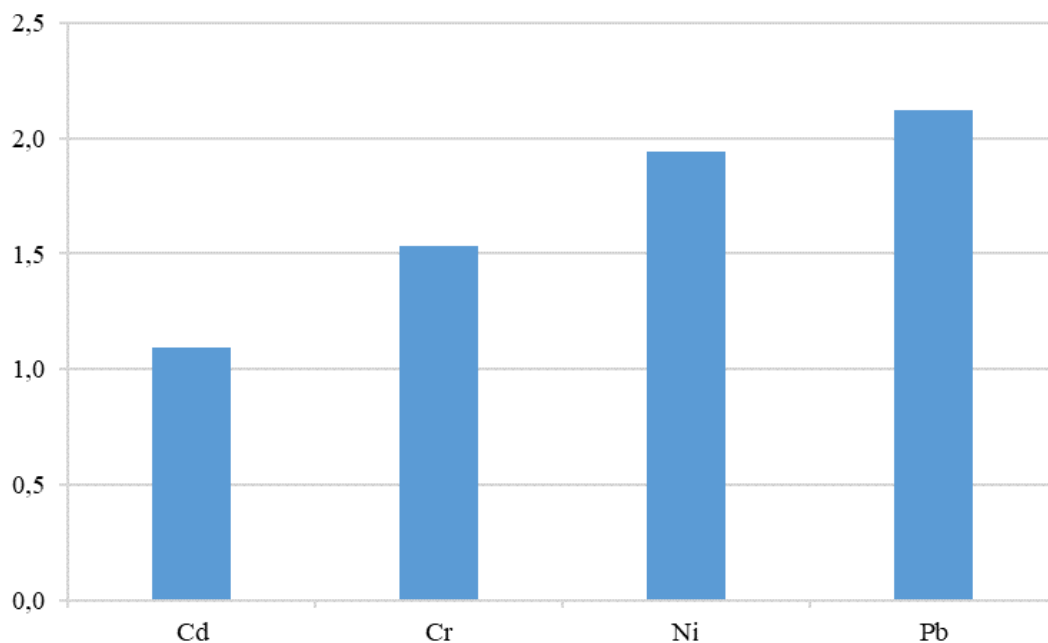
Všechny hodnoty Geoakumulačního indexu pro jednotlivé těžké kovy jsou vyneseny v grafu níže (Obrázek 8). Hodnota I_{geo} pro kadmium (-0,39) značí, že jeho úroveň je mírně pod přirozeným geochemickým pozadím, indikující nekontaminovaný stav. Hodnota chromu (0,09) odpovídá minimální kontaminaci, což naznačuje koncentraci blízkou přirozenému pozadí. Nikl (0,43) a olovo (0,56), se nacházejí nad přirozenými hladinami, což svědčí o mírné kontaminaci.



Obrázek 8: Graf srovnávající hodnoty I_{geo} mezi vybranými kovy

5.2.2 Faktor obohacení (EF)

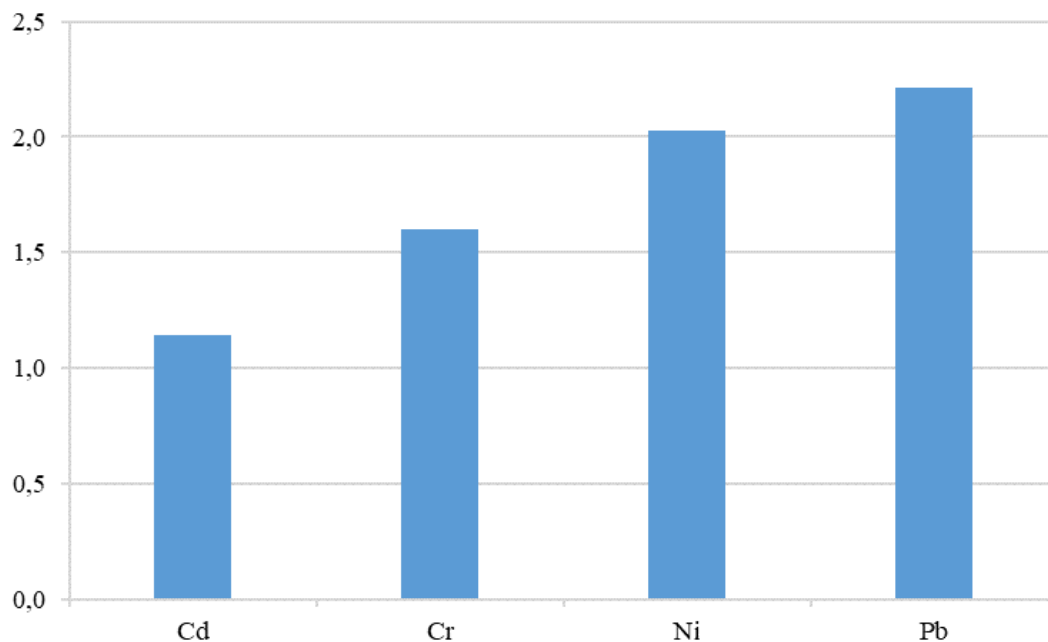
Pro vyhodnocení byl jako referenční kov vybrán hliník. Do grafu (Obrázek 9) jsou vyneseny hodnoty EF pro kadmium (1,09), chrom (1,53) a nikl (1,94) vykazují minimální obohacení. Naproti tomu olovo s hodnotou EF 2,12 již překračuje hranici mírného obohacení.



Obrázek 9: Graf srovnávající hodnoty EF mezi vybranými kovy

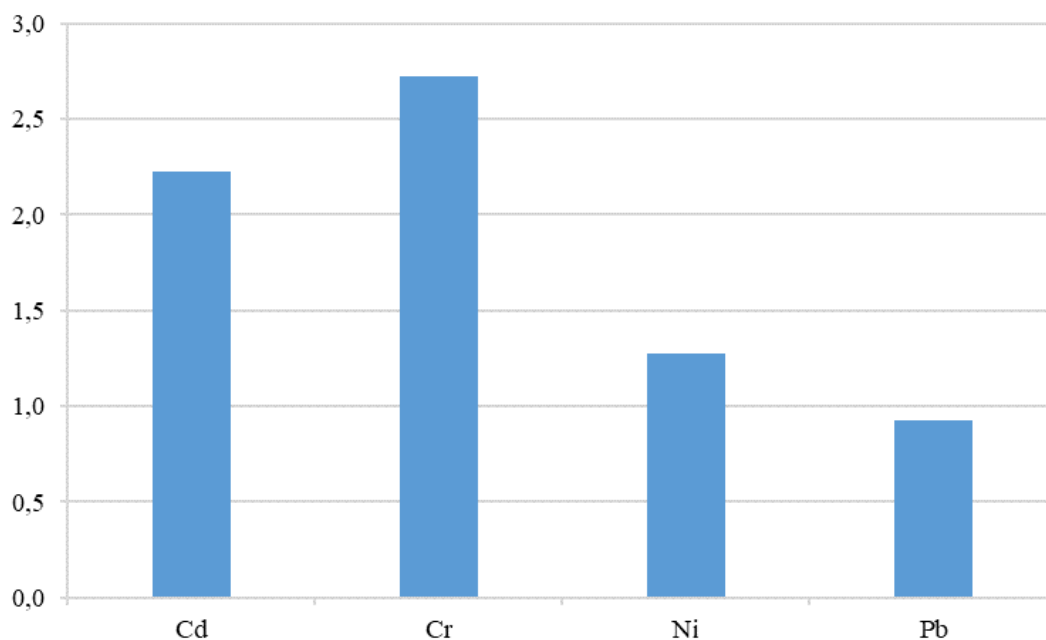
5.2.3 Faktor kontaminace (CF)

V grafu (Obrázek 10) jsou vyneseny hodnoty faktoru kontaminace pro kadmium (1,14), chrom (1,60), nikl (2,03) i olovo (2,22), které naznačují, že všechny tyto těžké kovy spadají do oblasti s mírným stupněm kontaminace.



Obrázek 10: Graf srovnávající hodnoty CF mezi vybranými kovy

5.2.4 Index znečištění (PI)



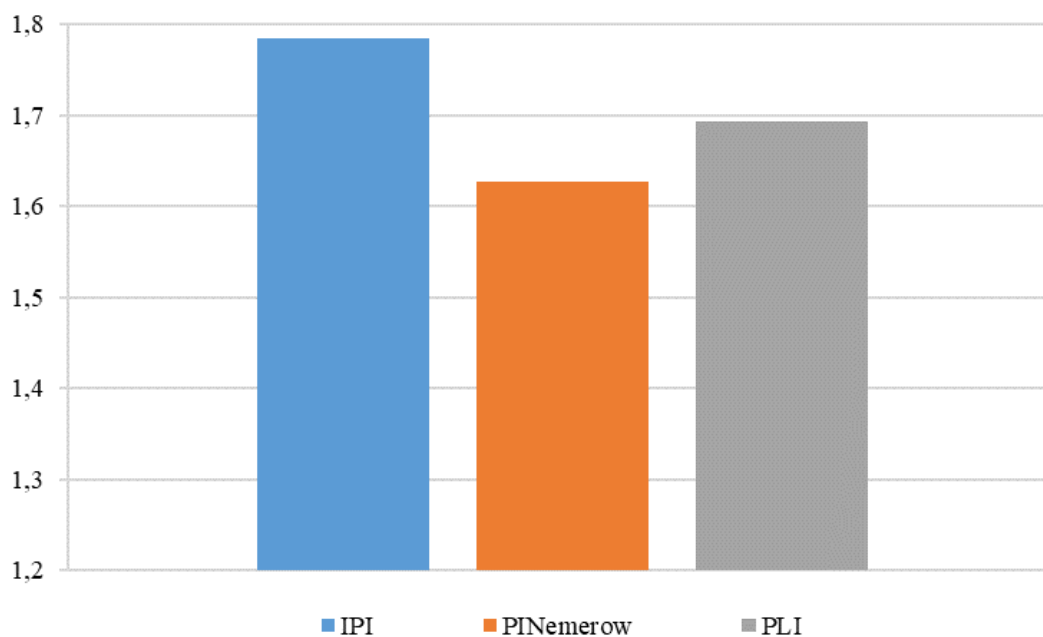
Obrázek 11: Graf srovnávající hodnoty PI mezi vybranými kovy

Pro výpočet indexu znečištění byly jako referenční hodnoty použity preventivní limity pro zemědělské půdy. Níže v grafu (Obrázek 11) jsou vyneseny hodnoty pro jednotlivé těžké kovy.

Kadmium s hodnotou 2,22 a chrom s hodnotou 2,72 naznačují střední znečištění, což signalizuje, že jejich koncentrace jsou více než dvojnásobné ve srovnání s preventivními limitami a mohou odrážet vliv vojenských aktivit. Nikl s hodnotou 1,27 ukazuje rovněž na střední znečištění, zatímco olovo s hodnotou 0,93 naznačuje znečištění pouze nízké, neboť jeho hodnota je nižší než preventivní limit.

5.2.5 Integrovaný index znečištění (IPI), Index znečištění Nemerow ($PI_{Nemerow}$) a Zátěžový index znečištění (PLI)

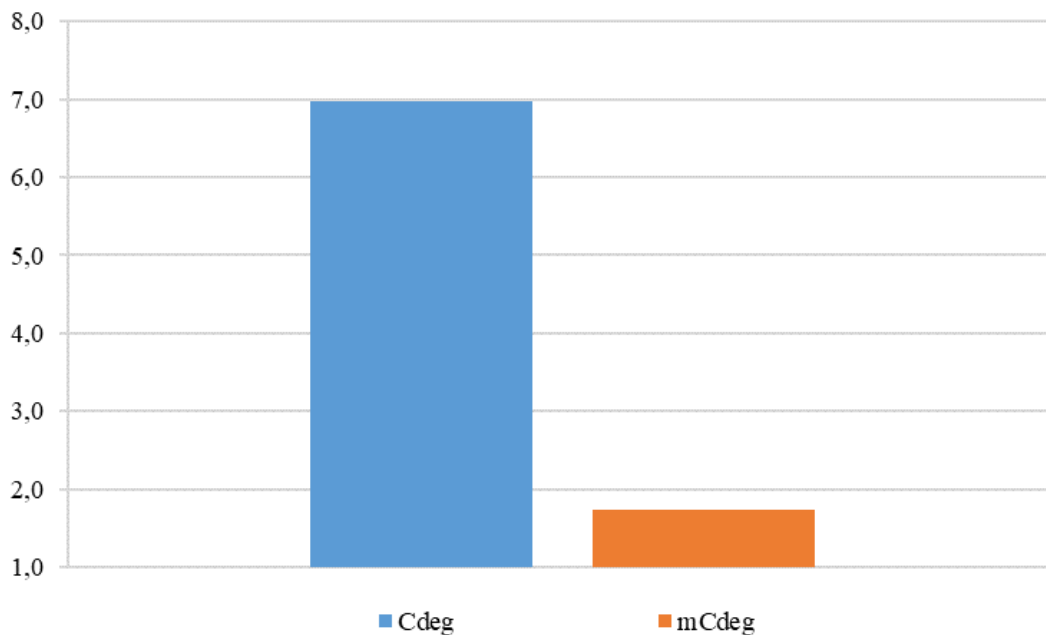
V grafu (Obrázek 12) jsou vyneseny hodnoty tří indexů znečištění, které reflektují rozdílné úrovně kontaminace půdy. Integrovaný index znečištění má hodnotu 1,79, což ho řadí do kategorie středního znečištění. Tento index, agregující průměrné hodnoty znečištění pro všechny sledované kovy, ukazuje na významnou, ale ne kritickou míru kontaminace. Index znečištění Nemerow s hodnotou 1,63, indikuje lehké znečištění, což signalizuje nižší, ale stále patrné riziko pro životní prostředí. Zátěžový index znečištění, s hodnotou 1,69, spadá do kategorie žádného až mírného znečištění.



Obrázek 12: Graf srovnávající hodnoty IPI, $PI_{Nemerow}$ a PLI

5.2.6 Stupeň kontaminace (C_{deg}) a modifikovaný stupeň kontaminace (mC_{deg})

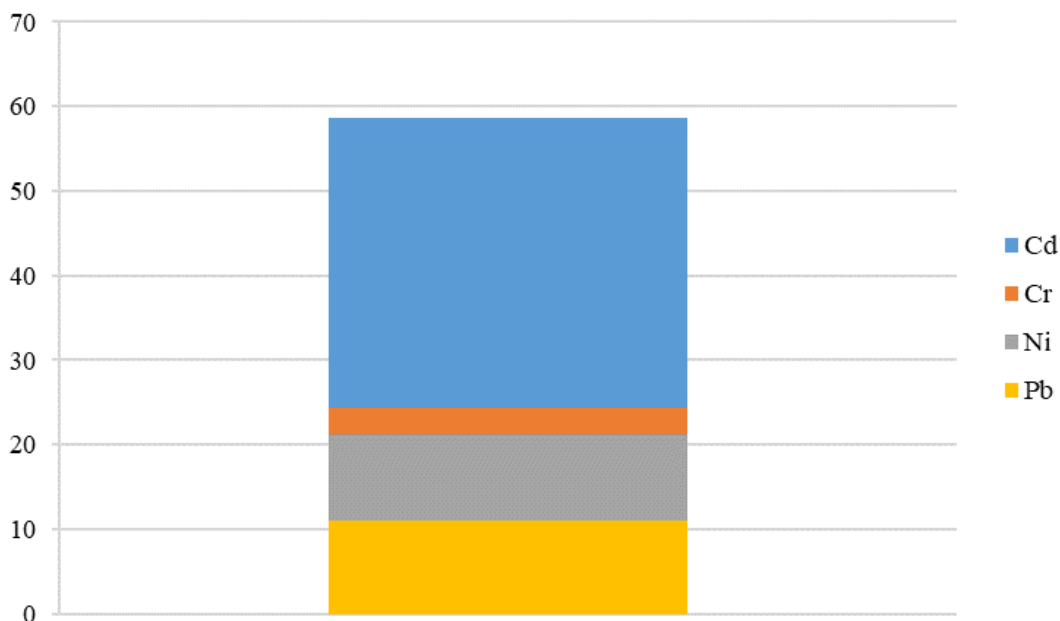
V grafu (Obrázek 13) jsou uvedeny hodnoty stupně kontaminace (6,98) a modifikovaného stupně kontaminace (1,75). Obě hodnoty jsou zařazeny do kategorie nízkého stupně kontaminace, což naznačuje, že přestože v oblasti existuje určitá úroveň kontaminace, je relativně nízká a neměla by představovat významné riziko pro zdraví nebo životní prostředí.



Obrázek 13: Graf srovnávající hodnoty C_{deg} a mC_{deg}

5.2.7 Index ekologického rizika (RI)

Graf (Obrázek 14) zobrazuje hodnoty potenciálního rizika (E_r^i) jednotlivých těžkých kovů a jejich celkovou sumu, která je vyjádřena jako Index ekologického rizika (RI). Hodnoty potenciálního rizika jsou pro kadmium 34,29, chrom 3,2, nikl 10,13 a olovo 11,08, kdy celkový součet odpovídá hodnotě RI (58,69). Tato hodnota odpovídá nízkému ekologickému riziku, což naznačuje, že celkový dopad všech zahrnutých kovů na ekosystém zůstává na nízké úrovni.



Obrázek 14: Graf reflektující výslednou hodnotu RI

Je důležité poznamenat, že index ekologického rizika lépe reflektuje celkový dopad kontaminace, když jsou zahrnuty všechny relevantní těžké kovy v dané oblasti, ne pouze omezený výběr.

5.2.8 Aplikace výsledků

Níže přiložený snímek (Obrázek 15) zobrazuje rozsáhlou plochu nedaleko města Slavjansk na Ukrajině, o rozloze přibližně 1 km², která byla zasažena přibližně 2500 kusy dělostřelecké munice. V případě, že by všechny tyto krátery byly způsobeny stejným typem munice, který je sledováno v této práci, celkové příspěvky těžkých kovů na celou plochu s hodnotami Cd (0,008 mg/kg), Cr (3,682 mg/kg), Ni (1,581 mg/kg) a Pb (1,497 mg/kg) se mohou zdát poměrně nízké. Je ale důležité zdůraznit, že tyto hodnoty představují pouze příspěvky z kráterů, přičemž ve skutečnosti mohou být skutečné příspěvky daleko vyšší. Důvodem je, že půda a fragmenty munice jsou po explozi rozptýlovány do širšího okolí, často desítky metrů od epicentra kráteru. Tento fakt poukazuje na potřebu širokospektrálního monitoringu kontaminace půdy ve vojensky zasažených oblastech a zdůrazňuje význam aplikace komplexních přístupů při hodnocení environmentálního dopadu vojenských konfliktů.



Obrázek 15: Satelitní snímek vyobrazující dopad válečného konfliktu mezi Ruskem a Ukrajinou [69]

6 ZÁVĚR

Bakalářská práce poskytla ucelený pohled na environmentální a zdravotní rizika spojená s moderním válčením, zdůrazňující význam multidisciplinárního přístupu k řešení těchto otázek. Prostřednictvím zkoumání historických a současných konfliktů byly identifikovány klíčové zdroje znečištění, včetně těžkých kovů a jiných toxických látek, které jsou uvolňovány do prostředí během válečných operací.

V experimentální části byly analyzovány koncentrace čtyř vybraných těžkých kovů, kadmia, chromu, niklu a olova, ve vzorcích půdy před a po dopadu dělostřelecké munice. Výsledky jasně ukázaly, že po dopadu munice došlo ke zvýšení koncentrací všech zkoumaných těžkých kovů. Po kvantifikaci těchto kovů následovala aplikace různých indexů znečištění, které odhalily, že místa dopadů munice vykazují nízké až střední úrovně kontaminace. Tyto zjištění poukazují na nutnost dalšího monitoringu a intenzivnějšího výzkumu.

V rámci dalšího výzkumu bude spolupráce mezi Vysokým učením technickým v Brně (VUT) a Univerzitou obrany (UNOB) pokračovat a rozvíjet možnosti pro sledování dalších typů munice a rozšiřovat sledované faktory, představující environmentální a zdravotní rizika.

Dalších etapy výzkumu budou zaměřeny na oblasti ekotoxikologie, sledování genotoxicity a její oxidativní potenciál kontaminantů, což představuje základ pro posouzení dlouhodobých zdravotních rizik spojených s expozicí toxickým látkám. Dále se bude věnovat pozornost organickým polutantům, modelování pohybu kontaminantů v životním prostředí a tvorbě kontaminačních map s využitím geografických informačních systémů (GIS). To bude podpořeno i pokračujícím měřením kvality ovzduší a analýzou základních fyzikálně-chemických půdních charakteristik, což poskytne pohled na interakce mezi půdními procesy a atmosférickými podmínkami.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] SINGHAL, Saurabh. Early life shocks and mental health: The long-term effect of war in Vietnam. *Journal of Development Economics* [online]. 2019, **141**, 102244. ISSN 0304-3878. Dostupné z: doi:10.1016/J.JDEVECO.2018.06.002
- [2] ADLER, Martin a Panos PICTURES. BattleScars: Global Conflicts and Environmental Health. *Environmental Health Perspectives* [online]. 2004, **112**(17). ISSN 0091-6765. Dostupné z: doi:10.1289/EHP.112-A994
- [3] GUIDOTTI, Matteo, Andrea LEISEWITZ a Massimo C. RANGHIERI. The endless war: the long-term impact on health and environment of armed conflicts. *Annales. Proceedings of the Academy of Sciences of Bologna. Class of Physical Sciences* [online]. 2023 [vid. 2024-05-20]. Dostupné z: doi:10.30682/ANNALESPS2301H
- [4] MCCALLY, Michael a Jennifer LEANING. Environment and health: 5. Impact of war. *CMAJ • OCT.* 2000, **163**(9), 1157.
- [5] PALCZEWSKA, Milena. ENVIRONMENTAL IMPACT OF WARS AND ARMED CONFLICTS [online]. 2015, **XXVIII**, 2022. Dostupné z: doi:10.2478/kbo-2022-0015
- [6] BISWAS, Asit K. Scientific assessment of the long-term environmental consequences of war. *The Environmental Consequences of War* [online]. 2000, 303–315. Dostupné z: doi:10.1017/CBO9780511522321.017
- [7] LAWRENCE, Michael J., Holly L.J. STEMBERGER, Aaron J. ZOLDERDO, Daniel P. STRUTHERS a Steven J. COOKE. The effects of modern war and military activities on biodiversity and the environment. *Environmental Reviews* [online]. 2015, **23**(4), 443–460. ISSN 11818700. Dostupné z: doi:10.1139/ER-2015-0039/ASSET/IMAGES/LARGE/ER-2015-0039F5.JPEG
- [8] RAWTANI, Deepak, Gunjan GUPTA, Nitasha KHATRI, Piyush K. RAO a Chaudhery Mustansar HUSSAIN. Environmental damages due to war in Ukraine: A perspective. *Science of The Total Environment* [online]. 2022, **850**, 157932. ISSN 0048-9697. Dostupné z: doi:10.1016/J.SCITOTENV.2022.157932
- [9] SIDEL, Victor W. a Barry S. LEVY. The health impact of war. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion* [online]. 2008, **15**(4), 189–195. ISSN 17457319. Dostupné z: doi:10.1080/17457300802404935
- [10] BENJAMIN, Diane a Wendy HELLERSTEDT. War and Public Health. In: [online]. 2007. ISBN 1987;257:790. Dostupné z: www.epi.umn.edu/mch
- [11] SUNDARAM, Mekala, Antoine FILION, Benedicta E. AKARIBO a Patrick R. STEPHENS. Footprint of war: integrating armed conflicts in disease ecology. *Trends in Parasitology* [online]. 2023, **39**(4), 238–241. ISSN 14715007. Dostupné z: doi:10.1016/j.pt.2023.01.007

- [12] GARRY, S. a F. CHECCHI. Armed conflict and public health: into the 21st century. *Journal of Public Health* [online]. 2020, **42**(3), e287–e298. ISSN 1741-3842. Dostupné z: doi:10.1093/PUBMED/FDZ095
- [13] KORINEK, Kim, Zachary ZIMMER, Bussarawan TEERAWICHITCHAINAN, Yvette YOUNG, Long CAO MANH a Tran Khanh TOAN. Cognitive function following early life war-time stress exposure in a cohort of Vietnamese older adults. *Social Science & Medicine* [online]. 2024, **349**, 116800. ISSN 0277-9536. Dostupné z: doi:10.1016/J.SOCSCIMED.2024.116800
- [14] THOMAS F. HOMER-DIXON. Environmental Changes as Causes of Acute Conflict. *Conflict After the Cold War* [online]. 2015, 624–638. Dostupné z: doi:10.4324/9781315664484-67
- [15] SAMET, Jonathan M. War and Population Health: there is no metric for the horror. *Population Health Metrics* [online]. 2024, **22**(1), 1–2. ISSN 14787954. Dostupné z: doi:10.1186/S12963-023-00321-X/METRICS
- [16] ZALAKEVICIUTE, Rasa, Danilo MEJIA, Hermel ALVAREZ, Xavier BERMEO, Santiago BONILLA-BEDOYA, Yves RYBARCZYK a Brian LAMB. War Impact on Air Quality in Ukraine. *Sustainability 2022, Vol. 14, Page 13832* [online]. 2022, **14**(21), 13832. ISSN 2071-1050. Dostupné z: doi:10.3390/SU142113832
- [17] ZOU, Xiang, Muhammad AZAM, Talat ISLAM a Khalid ZAMAN. Environment and air pollution like gun and bullet for low-income countries: war for better health and wealth. *Environmental Science and Pollution Research* [online]. 2016, **23**(4), 3641–3657. ISSN 16147499. Dostupné z: doi:10.1007/S11356-015-5591-3/FIGURES/4
- [18] WILKINSON, Sally, Gina MILLS, Rosemary ILLIDGE a William J. DAVIES. How is ozone pollution reducing our food supply? *Journal of Experimental Botany* [online]. 2012, **63**(2), 527–536. ISSN 0022-0957. Dostupné z: doi:10.1093/JXB/ERR317
- [19] OTUKOYA, Titilayo Aishat a Titilayo Aishat OTUKOYA. The scars beyond bullets: Recognizing the environmental toll of war. *International Journal of Science and Research Archive* [online]. 2024, **11**(1), 1721–1746. ISSN 2582-8185. Dostupné z: doi:10.30574/IJSRA.2024.11.1.0224
- [20] MANISALIDIS, Ioannis, Elisavet STAVROPOULOU, Agathangelos STAVROPOULOS a Eugenia BEZIRTZOGLU. Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. *Frontiers in Public Health* [online]. 2020, **8**, 505570. ISSN 22962565. Dostupné z: doi:10.3389/FPUBH.2020.00014/BIBTEX
- [21] SALMAN, Nader A., Maha K. AL-MISHREY, Hamid T. AL-SAAD a Ahmed RUSHDI. Air Pollution in the Southern Part of Iraq and Its Health Risks. *Aerosol Optical Depth and Precipitation* [online]. 2024, 107–122. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-031-55836-8_6

- [22] SACKS, Jason D., Lindsay Wichers STANEK, Thomas J. LUBEN, Douglas O. JOHNS, Barbara J. BUCKLEY, James S. BROWN a Mary ROSS. Particulate matter-induced health effects: Who is susceptible? *Environmental Health Perspectives* [online]. 2011, **119**(4), 446–454. ISSN 00916765. Dostupné z: doi:10.1289/EHP.1002255/SUPPL_FILE/1002255REV_SUPPL.PDF
- [23] NAIK, Suresh R., Dipesh GAMARE a Amisha BHOPATRAO. Chemical health hazards and toxicity of environmental pollutants on humans, animals and others: An overview. *Journal of Toxicological Studies* [online]. 2024, **2**(1), 1135–1135. ISSN 3029-2832. Dostupné z: doi:10.59400/JTS.V2I1.1135
- [24] RENGARAJAN, Thamaraiselvan, Peramaiyan RAJENDRAN, Natarajan NANDAKUMAR, Boopathy LOKESHKUMAR, Palaniswami RAJENDRAN a Ikuo NISHIGAKI. Exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons with special focus on cancer. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine* [online]. 2015, **5**(3), 182–189. ISSN 2221-1691. Dostupné z: doi:10.1016/S2221-1691(15)30003-4
- [25] KHORDAGUI, Hosny a Dhari AL-AJMI. Environmental impact of the Gulf War: An integrated preliminary assessment. *Environmental Management* [online]. 1993, **17**(4), 557–562. ISSN 0364152X. Dostupné z: doi:10.1007/BF02394670/METRICS
- [26] WHITE, Roberta F., Lea STEELE, James P. O'CALLAGHAN, Kimberly SULLIVAN, James H. BINNS, Beatrice A. GOLOMB, Floyd E. BLOOM, James A. BUNKER, Fiona CRAWFORD, Joel C. GRAVES, Anthony HARDIE, Nancy KLIMAS, Marguerite KNOX, William J. MEGGS, Jack MELLING, Martin A. PHILBERT a Rachel GRASHOW. Recent research on Gulf War illness and other health problems in veterans of the 1991 Gulf War: Effects of toxicant exposures during deployment. *Cortex* [online]. 2016, **74**, 449–475. ISSN 0010-9452. Dostupné z: doi:10.1016/J.CORTEX.2015.08.022
- [27] PRICE, A. R.G. Impact of the 1991 Gulf War on the coastal environment and ecosystems: Current status and future prospects. *Environment International* [online]. 1998, **24**(1–2), 91–96. ISSN 0160-4120. Dostupné z: doi:10.1016/S0160-4120(97)00124-4
- [28] CERTINI, Giacomo, Riccardo SCALENGHE a William I. WOODS. The impact of warfare on the soil environment. *Earth-Science Reviews* [online]. 2013, **127**, 1–15. ISSN 0012-8252. Dostupné z: doi:10.1016/J.EARSCIREV.2013.08.009
- [29] PEREIRA, Paulo, Ferdo BAŠIĆ, Igor BOGUNOVIC a Damia BARCELO. Russian-Ukrainian war impacts the total environment. *Science of The Total Environment* [online]. 2022, **837**, 155865. ISSN 0048-9697. Dostupné z: doi:10.1016/J.SCITOTENV.2022.155865
- [30] PICHTEL, John. Distribution and fate of military explosives and propellants in soil: A review. *Applied and Environmental Soil Science* [online]. 2012, **2012**. ISSN 16877667. Dostupné z: doi:10.1155/2012/617236

- [31] HRYHORCZUK, Daniel, Barry S. LEVY, Mykola PRODANCHUK, Oleksandr KRAVCHUK, Nataliia BUBALO, Alex HRYHORCZUK a Timothy B. ERICKSON. The environmental health impacts of Russia's war on Ukraine. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology* [online]. 2024, **19**(1), 1–14. ISSN 17456673. Dostupné z: doi:10.1186/S12995-023-00398-Y/FIGURES/2
- [32] KOKORÎTE, Ilga, Mâris KĪAVIÒÐ, Dîre ĪAVIÒÐ, Oskars PURMALIS a Aija ZUËIKA. Soil Pollution with Trace Elements in Territories of Military Grounds in Latvia. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences, Section B: Natural, Exact, and Applied Sciences* [online]. 2008, **62**(1–2), 27–33. ISSN 1407009X. Dostupné z: doi:10.2478/V10046-008-0010-5
- [33] SANDERSON, Peter, Ravi NAIDU, Nanthi BOLAN, Mark BOWMAN a Stuart MCLURE. Effect of soil type on distribution and bioaccessibility of metal contaminants in shooting range soils. *Science of The Total Environment* [online]. 2012, **438**, 452–462. ISSN 0048-9697. Dostupné z: doi:10.1016/J.SCITOTENV.2012.08.014
- [34] TROKHYMENKO, Ganna, Serhiy LITVAK, Olga LITVAK, Antonina ANDREEVA, Olena RABICH, Larisa CHUMAK, Mykola NALYSKO, Mykhailo TROSHYN, Bohdana KOMARYSTA a Dmytro SOPOV. Assessment of iron and heavy metals accumulation in the soils of the combat zone. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* [online]. 2023, **5**(10 (125)), 6–16. ISSN 1729-4061. Dostupné z: doi:10.15587/1729-4061.2023.289289
- [35] MILACIC, S. a J. SIMIC. The consequences of NATO Bombing on the Environment in Serbia [online]. 2004. Dostupné z: http://inis.iaea.org/Search/search.aspx?orig_q=RN:35070442
- [36] DURANTE, Marco a Mariagabriella PUGLIESE. Depleted uranium residual radiological risk assessment for Kosovo sites. *Journal of Environmental Radioactivity* [online]. 2003, **64**(2–3), 237–245. ISSN 0265-931X. Dostupné z: doi:10.1016/S0265-931X(02)00052-8
- [37] Depleted Uranium in Bosnia and Herzegovina. *United Nations Environment Programme* [online]. 2003. Dostupné z: <https://www.unep.org/resources/assessment/depleted-uranium-bosnia-and-herzegovina-post-conflict-environmental-assessment>
- [38] BASHIR, Ishrat, F. A. LONE, Rouf Ahmad BHAT, Shafat A. MIR, Zubair A. DAR a Shakeel Ahmad DAR. Concerns and threats of contamination on aquatic ecosystems. *Bioremediation and Biotechnology: Sustainable Approaches to Pollution Degradation* [online]. 2020, 1–26. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-030-35691-0_1/TABLES/4
- [39] TONGESAYI, Tsanangurayi a Sunungurai TONGESAYI. Contaminated Irrigation Water and the Associated Public Health Risks. *Food, Energy, and Water: The Chemistry Connection* [online]. 2015, 349–381. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-800211-7.00013-2

- [40] SHUMILOVA, Oleksandra, Klement TOCKNER, Alexander SUKHODOLOV, Valentyn KHILCHEVSKYI, Luc DE MEESTER, Sergiy STEPANENKO, Ganna TROKHIMENKO, Juan Antonio HERNÁNDEZ-AGÜERO a Peter GLEICK. Impact of the Russia–Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure. *Nature Sustainability* 2023 6:5 [online]. 2023, **6**(5), 578–586. ISSN 2398-9629. Dostupné z: doi:10.1038/s41893-023-01068-x
- [41] SCHILLINGER, Juliane, Gül ÖZEROL, Şermin GÜVEN-GRIEMERT a Michiel HELDEWEG. Water in war: Understanding the impacts of armed conflict on water resources and their management. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water* [online]. 2020, **7**(6), e1480. ISSN 2049-1948. Dostupné z: doi:10.1002/WAT2.1480
- [42] AMROSE, Susan E., Katya CHERUKUMILLI a Natasha C. WRIGHT. Chemical contamination of drinkingwater in resource-constrained settings: Global prevalence and piloted mitigation strategies. *Annual Review of Environment and Resources* [online]. 2020, **45**(Volume 45, 2020), 195–226. ISSN 15435938. Dostupné z: doi:10.1146/ANNUREV-ENVIRON-012220-105152/1
- [43] VYSHNEVSKYI, Viktor, Serhii SHEVCHUK, Viktor KOMORIN, Yurii OLEYNIK a Peter GLEICK. The destruction of the Kakhovka dam and its consequences. *Water International* [online]. 2023, **48**(5), 631–647. ISSN 02508060. Dostupné z: doi:10.1080/02508060.2023.2247679
- [44] WILBY, Andrew a Andy HECTOR. The Role of Biodiversity. *Encyclopedia of Life Sciences* [online]. 2008. Dostupné z: doi:10.1002/9780470015902.A0021228
- [45] HANSON, Thor. Biodiversity conservation and armed conflict: a warfare ecology perspective. *Annals of the New York Academy of Sciences* [online]. 2018, **1429**(1), 50–65. ISSN 1749-6632. Dostupné z: doi:10.1111/NYAS.13689
- [46] FRANKHAM, Richard, Jonathan D. BALLOU, Katherine RALLS, Mark D. B. ELDRIDGE, Michele R. DUDASH, Charles B. FENSTER, Robert C. LACY a Paul SUNNUCKS. Inbreeding and loss of genetic diversity increase extinction risk. *A Practical Guide for Genetic Management of Fragmented Animal and Plant Populations* [online]. 2019, 31–48. Dostupné z: doi:10.1093/OSO/9780198783411.003.0003
- [47] BRADY, Lisa M. From war zone to biosphere reserve: the Korean DMZ as a scientific landscape. *Notes and Records* [online]. 2021, **75**(2), 189–205. ISSN 17430178. Dostupné z: doi:10.1098/RSNR.2020.0023
- [48] STELLMAN, Jeanne Mager a Steven D. STELLMAN. Agent orange during the Vietnam war: The lingering issue of its civilian and military health impact. *American Journal of Public Health* [online]. 2018, **108**(6), 726–728. ISSN 15410048. Dostupné z: doi:10.2105/AJPH.2018.304426
- [49] FREY, R Scott. Agent Orange and America at war in Vietnam and Southeast Asia. *Human Ecology Review* [online]. 2013, **20**(1), 1–10. Dostupné z: <https://about.jstor.org/terms>

- [50] IVAN, Jan, Michal ŠUSTR, Ekaterina KOROTENKO, Michal ŠYC a Jiří GREGOR. *Environmental impacts of Artillery Ammunition: Chemical Composition of Soils*. Brno, 2024. Dostupné z: Katedra palebné podpory, Univerzita obrany. Data z probíhajícího nepublikovaného výzkumu Katedry palebné podpory, Univerzity obrany, Brno o vlivu dělostřelecké palby na životní prostředí.
- [51] WEISSMANNOVÁ, Helena Doležalová a Jiří PAVLOVSKÝ. Indices of soil contamination by heavy metals – methodology of calculation for pollution assessment (minireview). *Environmental Monitoring and Assessment* 2017 189:12 [online]. 2017, **189**(12), 1–25. ISSN 1573-2959. Dostupné z: doi:10.1007/S10661-017-6340-5
- [52] ČMELÍKOVÁ, Dorota. *Využití indexů znečištění pro zhodnocení kontaminace půd* [online]. Brno, 2021. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/131773>
- [53] SATOLA, Ondřej. *Indexy znečištění pro hodnocení půd*. Brno, 2020. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/123991>
- [54] LIMA, Débora R.S., Marcio L.S. BEZERRA, Eduardo B. NEVES a Fátima R. MOREIRA. Impact of ammunition and military explosives on human health and the environment. *Reviews on Environmental Health* [online]. 2011, **26**(2), 101–110. ISSN 00487554. Dostupné z: doi:10.1515/REVEH.2011.014/MACHINEREADABLECITATION/RIS
- [55] Vyhláška č. 153/2016 Sb., o stanovení podrobností ochrany kvality zemědělské půdy a o změně vyhlášky č. 13/1994 Sb., kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu [online]. 2016. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-153>
- [56] GENCHI, Giuseppe, Maria Stefania SINICROPI, Graziantonio LAURIA, Alessia CAROCCI a Alessia CATALANO. The Effects of Cadmium Toxicity. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [online]. 2020, **17**(11). ISSN 16604601. Dostupné z: doi:10.3390/IJERPH17113782
- [57] BROOMANDI, Parya, Mert GUNEY, Jong Ryeol KIM a Ferhat KARACA. Soil Contamination in Areas Impacted by Military Activities: A Critical Review. *Sustainability* 2020, Vol. 12, Page 9002 [online]. 2020, **12**(21), 9002. ISSN 2071-1050. Dostupné z: doi:10.3390/SU12219002
- [58] TROKHIMENKO, Ganna, Serhiy LITVAK, Olga LITVAK, Antonina ANDREEVA, Olena RABICH, Larisa CHUMAK, Mykola NALYSKO, Mykhailo TROSHYN, Bohdana KOMARYSTA a Dmytro SOPOV. Assessment of iron and heavy metals accumulation in the soils of the combat zone. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* [online]. 2023, **5**(10 (125)), 6–16. ISSN 1729-4061. Dostupné z: doi:10.15587/1729-4061.2023.289289

- [59] SKALNY, Anatoly V., Michael ASCHNER, Igor P. BOBROVNITSKY, Pan CHEN, Aristidis TSATSAKIS, Monica M.B. PAOLIELLO, Aleksandra BUHA DJORDEVIC a Alexey A. TINKOV. Environmental and health hazards of military metal pollution. *Environmental Research* [online]. 2021, **201**, 111568. ISSN 0013-9351. Dostupné z: doi:10.1016/J.ENVRES.2021.111568
- [60] BALALI-MOOD, Mahdi, Kobra NASERI, Zoya TAHERGORABI, Mohammad Reza KHAZDAIR a Mahmood SADEGHI. Toxic Mechanisms of Five Heavy Metals: Mercury, Lead, Chromium, Cadmium, and Arsenic. *Frontiers in Pharmacology* [online]. 2021, **12**, 643972. ISSN 16639812. Dostupné z: doi:10.3389/FPHAR.2021.643972/BIBTEX
- [61] IYAKA, Yahaya Ahmed. CHROMIUM IN SOILS: A REVIEW OF ITS DISTRIBUTION AND IMPACTS. *Continental J. Environmental Sciences*. 2009, **3**, 13–18.
- [62] GENCHI, Giuseppe, Alessia CAROCCI, Graziantonio LAURIA, Maria Stefania SINICROPI a Alessia CATALANO. Nickel: Human Health and Environmental Toxicology. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2020, Vol. 17, Page 679 [online]. 2020, **17**(3), 679. ISSN 1660-4601. Dostupné z: doi:10.3390/IJERPH17030679
- [63] BUXTON, Samuel, Emily GARMAN, Katherine E. HEIM, Tara LYONS-DARDEN, Christian E. SCHLEKAT, Michael D. TAYLOR a Adriana R. OLLER. Concise Review of Nickel Human Health Toxicology and Ecotoxicology. *Inorganics* 2019, Vol. 7, Page 89 [online]. 2019, **7**(7), 89. ISSN 2304-6740. Dostupné z: doi:10.3390/INORGANICS7070089
- [64] BOSKABADY, Marzie, Narges MAREFATI, Tahereh FARKHONDEH, Farzaneh SHAKERI, Alieh FARSHBAF a Mohammad Hossein BOSKABADY. The effect of environmental lead exposure on human health and the contribution of inflammatory mechanisms, a review. *Environment International* [online]. 2018, **120**, 404–420. ISSN 0160-4120. Dostupné z: doi:10.1016/J.ENVINT.2018.08.013
- [65] RAJ, Kshyanaprava a Alok Prasad DAS. Lead pollution: Impact on environment and human health and approach for a sustainable solution. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology* [online]. 2023, **5**, 79–85. ISSN 2590-1826. Dostupné z: doi:10.1016/J.ENCECO.2023.02.001
- [66] Oil well fires rage outside Kuwait City. *U.S. Department of Defense* [online]. Dostupné z: <https://www.defense.gov/Multimedia/Photos/igphoto/2001159798/>
- [67] PLANET LABS. Deliberate Explosion Inside Ukraine Dam Most Likely Caused Collapse, Experts Say. *The New York Times* [online]. 2023. Dostupné z: <https://www.nytimes.com/2023/06/06/world/europe/ukraine-kakhovka-dam-russia.html?searchResultPosition=8>

- [68] GRIGSBY, Brian. Veterans Exposed to Agent Orange May Be at Increased Risk of Developing Progressive Blood Cancers | Lombardi Comprehensive Cancer Center | Georgetown University. *Lombardi Comprehensive Cancer Center* [online]. 1969. Dostupné z: <https://lombardi.georgetown.edu/news-release/veterans-exposed-to-agent-orange-may-be-at-increased-risk-of-developing-progressive-blood-cancers/>
- [69] MAXAR. War from above: Aerial images from Russia's invasion of Ukraine. *Reuters* [online]. Dostupné z: <https://www.reuters.com/news/picture/war-from-above-aerial-images-from-russia-idUSRTS8RNQP/>

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ZKRATKA	VÝZNAM
PM	Pevné částice
PM _{2,5}	Jemné částice
VOC	Těkavá organická látka
PAH	Polycyklické aromatické uhlovodíky
TNT	Trinitrotoluen
DU	Ochuzený uran
UNOB	Univerzita obrany
ÚCHP	Ústav chemických procesů
VUT	Vysoké učení technické
ICP-OES	Optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem
I_{geo}	Geoakumulační index
EF	Faktor obohacení
CF	Faktor kontaminace
PI	Index znečištění
IPI	Integrovaný index znečištění
PLI	Zátěžový index znečištění
C_{deg}	Stupeň kontaminace
mC_{deg}	Modifikovaný stupeň kontaminace
RI	Index ekologického rizika
ROS	Reaktivní formy kyslíku
pH	Vodíkový exponent
DNA	Deoxyribonukleová kyselina
GIS	Geografický informační systém