

UNIVERZITA PARDUBICE

FAKULTA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2022

Michaela Červená

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická

Monitorování starých ekologických zátěží pomocí mobilního analyzátoru
Ecoprobe 5
Bakalářská práce

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická
Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Michaela Červená**
Osobní číslo: **C19152**
Studijní program: **B0588A130001 Chemie a technologie ochrany životního prostředí**
Téma práce: **Monitorování starých zátěží pomocí mobilního analyzátoru Ecoprobe 5**
Zadávací katedra: **Ústav environmentálního a chemického inženýrství**

Zásady pro vypracování

1. Zpracujte literární rešerši zaměřenou na vznik, monitorování a možnost sanací starých zátěží v půdním podloží.
2. Vyberte vhodnou dostupnou lokalitu a pomocí mobilního analyzátoru Ecoprobe 5 zjistěte kontaminaci půdy v dané oblasti na základě analýz půdního vzduchu. Získané poznatky kriticky vyhodnoťte.
3. Bakalářskou práci zpracujte v souladu se Směrnicí UPa č. 7/2019 „Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací“ v platném znění.

Rozsah pracovní zprávy:
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Jaromíra Chýlková, CSc.**
Ústav environmentálního a chemického inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **25. února 2022**
Termín odevzdání bakalářské práce: **1. července 2022**

L.S.

prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.
děkan

prof. Ing. Petr Mikulášek, CSc.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 25. února 2022

Prohlašuji:

Práci s názvem Monitorování starých zátěží pomocí mobilního analyzátoru Ecoprobe 5 jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 27. 6. 2022

Michaela Červená

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěla poděkovat především vedoucí této bakalářské práce paní prof. Ing. Jaromíře Chýlkové, CSc. za její odborné vedení a cenné rady, dále pak panu Ing. Lubomíru Tomkovi za odborné informace o studovaném území. Rovněž děkuji paní laborantce Janě Hrnčířové za dopravu na monitorovanou lokalitu a svým spolužákům Janu Kirschovi a Jonáši Kosubovi, kteří nabídli pomocnou ruku při přesunu vybavení na vzorkování.

ANOTACE

Tato bakalářská práce byla zaměřena na monitorování kontaminace půdy slepého ramene řeky Labe u přítoku Jesenčanského potoka v Pardubicích na základě analýz půdního vzduchu přenosným analyzátozem ECOPROBE 5. Ten je založen na principu sledování absorpce infračerveného záření analyzovanými látkami, konkrétně methanu, celkových uhlovodíků a oxidu uhličitého. Na lokalitě byla zjištěna zvýšená koncentrace těchto látek v oblasti ramene za nornou stěnou.

KLÍČOVÁ SLOVA

Stará ekologická zátěž, sanace, mobilní analyzátor ECOPROBE 5

TITLE

Monitoring old environmental burdens with the Ecoprobe 5 mobile analyser

ANNOTATION

This work is focused on monitoring soil contamination of the dead-end of the Elbe River at the inflow of the Jesenčanský brook in Pardubice based on soil air analyses with the ECOPROBE 5 mobile analyzer, which works on the principle of monitoring the absorption of infrared radiation. At the locality, elevated concentrations of methane, total petroleum and carbon dioxide were detected in the dead-end area separated by a baffle wall.

KEYWORDS

Old environmental burden, remediation, mobile analyser ECOPROBE 5

OBSAH

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK.....	9
SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK	10
ÚVOD.....	11
1. STARÉ EKOLOGICKÉ ZÁTĚŽE.....	12
1.1 Historie.....	12
1.2 Funkce Ministerstva životního prostředí při řešení starých zátěží	13
1.3 Systém evidence kontaminovaných míst.....	13
1.3.1 Proces analýzy rizik.....	14
2. SANACE	17
2.1 Sanační metody.....	18
2.1.1 Venting.....	18
2.1.2 Bioremediace	19
2.1.3 Vymývání a praní půdy.....	19
3. ROZKLAD ORGANICKÝCH LÁTEK V PŘÍRODĚ.....	24
4. SLEDOVANÁ LOKALITA.....	26
4.1 Charakteristika lokality.....	26
4.2 Historie znečištění.....	26
5. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	28
5.1 Terénní měření na lokalitě	28
5.2 Popis analyzátoru.....	28
6. VÝSLEDKY A DISKUZE.....	35
ZÁVĚR	39
POUŽITÁ LITERATURA	40

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1 Počet lokalit starých ekologických zátěží v SEKM v ČR, 2020 [14]	16
Obrázek 2 Saturovaná a nesaturovaná zóna [19]	18
Obrázek 3 Schéma ventingu [21]	21
Obrázek 4 Příklad in situ bioremediace [22]	22
Obrázek 5 Schéma promývání půdy [23]	23
Obrázek 6 Schéma praní půdy [24]	24
Obrázek 7 Slepé rameno řeky Labe u přítoku Jesenčanského potoka [30]	26
Obrázek 8 Mapa slepého ramene Labe s označením polohy odběrových míst [33]	29
Obrázek 9 IR analyzátor [32]	30
Obrázek 10 Rukojeť a horní panel přístroje ECOPROBE 5 [34]	31
Obrázek 11 Čelní panel přístroje ECOPROBE 5 [32]	32
Obrázek 12 Úvodní obrazovka a hlavní menu přístroje [32]	32
Obrázek 13 Seznam parametrů pro zadání lokality [32]	33
Obrázek 14 Porovnání maximálních a průměrných hodnot methanu naměřených v půdním vzduchu na sledované lokalitě	36
Obrázek 15 Porovnání maximálních a průměrných hodnot oxidu uhličitého naměřených v půdním vzduchu na sledované lokalitě	37
Obrázek 16 Porovnání maximálních a průměrných hodnot celkových uhlovodíků naměřených v půdním vzduchu na sledované lokalitě	38
Tabulka 1 Naměřené maximální a průměrné hodnoty koncentrací methanu v půdním vzduchu na sledované lokalitě	35
Tabulka 2 Naměřené maximální a průměrné hodnoty koncentrací oxidu uhličitého v půdním vzduchu na sledované lokalitě	36
Tabulka 3 Naměřené maximální a průměrné hodnoty koncentrace uhlovodíků v půdním vzduchu na sledované lokalitě	38

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

SEZ stará ekologická zátěž

PCB polychlorované bifenyly

ČR Česká republika

MŽP Ministerstvo životního prostředí

OEREŠ Odbor environmentálních rizik a ekologických škod

OPŽP Operační program Životního prostředí

SEKM systém evidence kontaminovaných míst

ŽP životní prostředí

PID fotoionizační detektor

IR infračervený detektor

TP celkové uhlovodíky

ÚVOD

V dnešní době je věnována velká pozornost problémům spojeným s životním prostředím a jeho znečišťováním. Avšak to, že je tato problematika v poslední letech omílána stále a stále dokola neznámá, že se jedná o něco novodobého.

Znečišťování životního prostředí přírodními vlivy tu bylo vždy. S růstem lidské populace a s rozvojem průmyslu a výrobních technologií však dochází i ke stále většímu znečišťování planety antropogenním způsobem. Jedná se o znečišťující látky tuhé, kapalné i plynné, které se vyskytují ve všech složkách životního prostředí s různou toxicitou a nebezpečnými vlastnostmi. Mohou se zde akumulovat nebo tvořit sekundární produkty, čímž v některých případech vznikají ještě závažnější problémy.

S veškerým našim rozvojem naštěstí přichází i uvědomění, že planetu máme pouze jednu. Novodobým trendem se proto stává i výroba a vznik šetrnějších technologií a produktů. Z dob, kdy na životní prostředí nebyl brán ohled, tak jako dnes, nám však zůstalo plno míst a lokalit těmito nešetrnými postupy znečištěných a poznamenaných. Jedná se převážně o znečištění půdního podloží a takové lokality jsou označovány jako staré ekologické zátěže. S cílem odstranění těchto kontaminací, případně pouze s cílem zabránění šíření kontaminace do ostatních složek životního prostředí jsou tyto lokality evidovány a sanovány.

Tato práce je zaměřena na monitorování staré ekologické zátěže v Pardubicích, u které je prokázáno znečištění ropnými látkami a daná lokalita je v přímém kontaktu s vodou z řeky Labe. Během práce bylo sledováno, zda dochází k úniku ropných látek z kontaminované oblasti skrze půdní vzduch do ovzduší pomocí mobilního přístroje ECOPROBE 5.

1. STARÉ EKOLOGICKÉ ZÁTĚŽE

Staré ekologické zátěže (SEZ) jsou pozůstatkem lidské činnosti s negativním dopadem na životní prostředí a z toho vycházející dopady na lidské zdraví a živé organismy. Jedná se především o místa, jako jsou skládky odpadu, drobné provozovny, bývalé vojenské objekty, sklady nebezpečných látek, průmyslové a zemědělské areály a území postižená těžbou. Nejčastějšími kontaminanty bývají závadné látky jako PCB, pesticidy, těžké kovy, chlorované uhlovodíky, ropné látky a polyaromatické uhlovodíky [1], [2].

Definice pojmu staré ekologické zátěže není právně vyjádřena. Ministerstvo životního prostředí tedy definuje starou ekologickou zátěž jako „*Závažnou kontaminaci horninového prostředí, podzemních nebo povrchových vod, ke které v minulosti došlo nevhodným nakládáním s rizikovými látkami, jako např. ropnými látkami, pesticidy, PCB, chlorovanými a aromatickými uhlovodíky, těžkými kovy. Zjištěná kontaminace je považována za starou ekologickou zátěž, pokud vznikla před privatizací nebo původce kontaminace neexistuje či není znám*“ [2].

1.1 Historie

V České republice je výskyt starých ekologických zátěží pozůstatkem režimů zejména v letech 1938–1989. V tomto období nebylo tolik dbáno na ochranu životního prostředí a nakládání s nebezpečnými látkami nebylo na příliš vysoké úrovni. K řešení těchto zátěží proto došlo ve většině případů až s nástupem demokratického režimu. K této problematice dosud není, i přes vynaložení velkého množství finančních prostředků, zajištěn jednotný a koordinovaný přístup na národní úrovni a některé oblasti nejsou řešeny dodnes. Problémem je i fakt, že v České republice neexistuje právní úprava, která by problém starých ekologických zátěží řešila [1], [3].

Za některé SEZ převzal odpovědnost stát prodejem těchto podniků za tržní ceny a ziskem prostředků z privatizace se zavázal k jejich likvidaci. Mezi *Fondem národního majetku ČR*, jehož kompetence od roku 2006 převzalo *Ministerstvo financí*, a nabyvateli privatizovaných podniků byly uzavírány ekologické smlouvy, které stanovily úhrady nákladů spojené s vypořádáním staré ekologické zátěže. Jednalo se hlavně o náklady na průzkum ekologické závady, analýzu rizik, projekt a realizaci nápravných opatření a činnost odborného dozoru [1], [4].

1.2 Funkce Ministerstva životního prostředí při řešení starých zátěží

Ministerstvo životního prostředí (MŽP) je ústředním orgánem státní správy ve věcech životního prostředí. Prostřednictvím *Odboru environmentálních rizik a ekologických škod* (OEREŠ) působí jako odborný garant procesu odstraňování starých ekologických zátěží. OEREŠ se zabývá kontrolou a posuzováním procesu odstraňování starých ekologických zátěží z hlediska životního prostředí [2], [4].

MŽP dále zajišťuje, řídí a financuje odstraňování starých ekologických zátěží po sovětské armádě. Ta na našem území využívala 73 lokalit, kde zhruba u 60 z nich byla zjištěna významná ekologická škoda. V těchto oblastech se jedná hlavně o znečištění podzemních vod ropnými látkami, chlorovanými uhlovodíky, těžkými kovy a dalšími toxickými látkami. Sanace těchto lokalit jsou financovány ze státního rozpočtu [5].

Problematika odstraňování starých ekologických zátěží je řešena pomocí *Operačního programu Životního prostředí* (OPŽP), který umožňuje čerpat finanční prostředky z *Evropského fondu pro regionální rozvoj* a *Fondu soudržnosti*. Starých ekologických zátěží se týká prioritní osa 3 – *Odpady a materiálové toky, ekologické zátěže a rizika*, bod 3.4 – *Dokončení inventarizace a odstranění starých ekologických zátěží*. V letech 2014–2020 nabízel OPŽP přes 2,6 mld. eur na financování těchto projektů. Tyto prostředky jsou využívány pro jinak složitě financovatelné lokality, jako jsou náhodně objevené zátěže bez majitele, sanace dlouhodobých havárií na podzemních vodách a jinak rizikové lokality.

Definice staré ekologické zátěže podle OPŽP splňují místa kde: „*Původce kontaminace neexistuje či není znám. Jedná se závažnou kontaminací zemin, podzemních vod, povrchových vod, případně stavebních konstrukcí*“ [6], [7].

1.3 Systém evidence kontaminovaných míst

K evidenci všech kontaminovaných lokalit a lokalit s potencionální kontaminací vede Ministerstvo životního prostředí *Systém evidence kontaminovaných míst* (SEKM). Podle pokynů *Evropské agentury pro životní prostředí* jsou zde shromažďovány, spravovány a prezentovány informace o těchto místech a jsou zpřístupněny pro orgány státní správy i veřejnost [8].

Kvůli velkému výskytu havárií a kontaminací v historii i v současné době, je očekáváno a předpokládáno jejich řešení a omezování v souladu s péčí o životní prostředí. Podle *Zprávy o životním prostředí České republiky* z roku 2020 je systémem SEKM sledováno

přes 11 000 lokalit po celé České republice, jak je vidět na Obrázku 1, kde je znázorněn počet kontaminovaných míst v jednotlivých krajích. Množství se však neustále mění. S tímto je bohužel spojena i problematika dalšího využívání těchto oblastí, protože přítomné ekologické zátěže způsobují omezení v následném funkčním využití lokality. Představme si třeba takový brownfield, tedy nevyužívané území, které je zanedbáno a může být kontaminováno, jako například opuštěné průmyslové areály, zemědělské objekty, ale i staré skládky, odkaliště, výsypky nebo ukončené povrchové doly. A právě tyto lokality by měly být využívány přednostně než výstavby na zemědělské půdě. Avšak právě přítomná kontaminace je překážkou při opětovném využití pozemku. Zároveň jsou sanační procesy, které se využívají k odstranění kontaminace nebo alespoň k jejímu snížení, časově i finančně náročné procesy. Je třeba se proto rozhodovat, které kontaminované lokality se budou řešit přednostně [9], [10], [11].

Kontaminované lokality jsou ty lokality, kde je již kontaminace alespoň orientačně ověřena. Jedná se hlavně o kontaminace horninového prostředí, což zahrnuje podzemní a povrchové vody, zeminu nebo i skládky a stavební konstrukce. Ke kontaminaci došlo mimo jiné třeba záměrným znečišťováním nebo následkem havárií ve výrobních procesech. Přičemž lokality s potenciální kontaminací jsou pouze lokality, kde se na základě analýz rizik a průzkumných prací kontaminace předpokládá, nelze ji vyloučit, ale není ještě dostatečně prověřena. Této charakteristice odpovídá většina sledovaných lokalit. Pojem lokalita v našem případě znamená oblast, kterou systém SEKM eviduje, sleduje a shromažďuje o ní získané informace. Díky tomu má každá lokalita v systému svůj záznam a souhrnný formulář s nejdůležitějšími údaji a informacemi [10], [11].

1.3.1 Proces analýzy rizik

S cílem ochrany životního prostředí a předcházení kontaminacím jeho složek je veden proces analýzy rizik. Skládá se z několika na sebe navazujících kroků, kterým předchází průzkumné práce. Jejich cílem je zjištění přítomnosti kontaminace a jejího rozsahu v horninovém prostředí. Následuje identifikace zdrojů rizika. Ta stanovuje havarijní scénáře s jejich příčinami a dopady a vychází z dostupných údajů a průzkumu stavu znečištění. Dochází ke zjištění přítomnosti nebezpečných chemických látek pro životní prostředí. Během dalšího kroku je cílem stanovit následky havarijních scénářů a jejich pravděpodobnosti vzniku. V tomto kroku se k daným havarijním scénářům přiřazují koncentrace nebezpečných látek, které už mohou ohrozit některou ze složek ŽP. Posledním krokem tohoto procesu je hodnocení rizik, kde jsou porovnávány výsledky analýzy rizik s kritérii za účelem

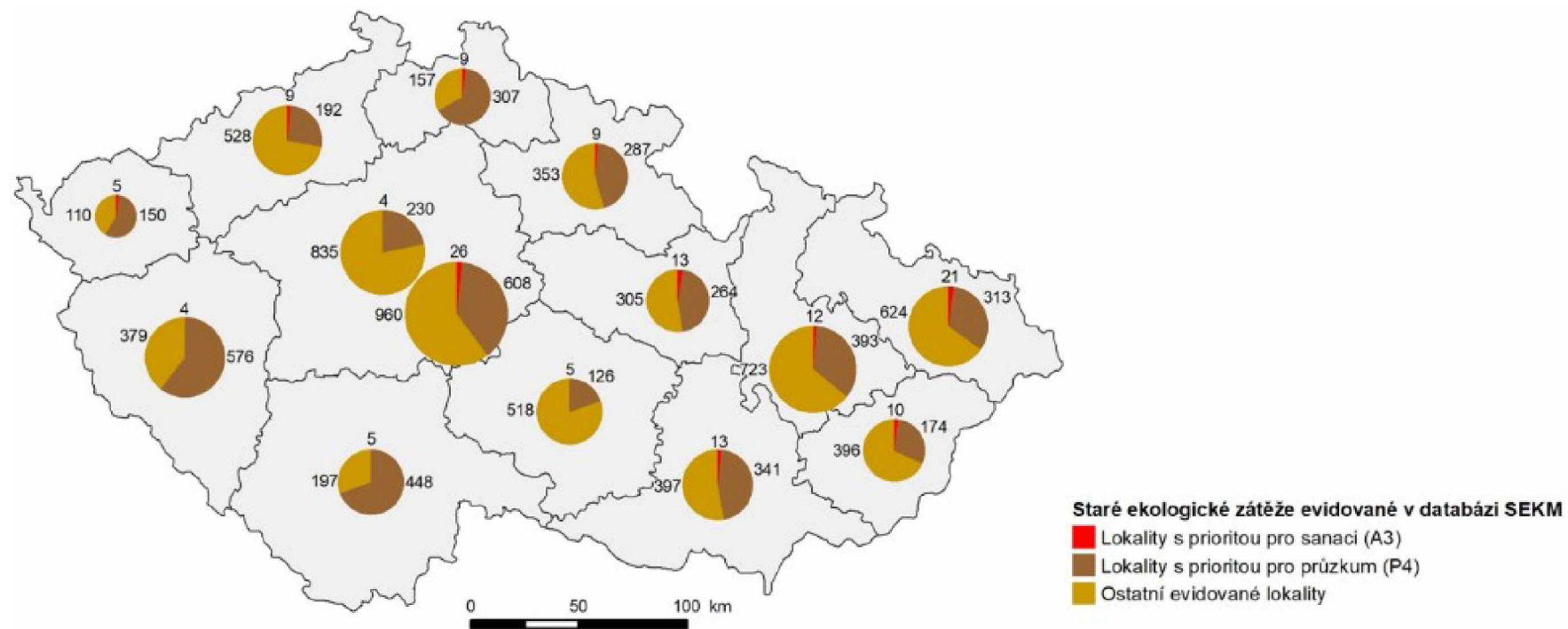
stanovení přijatelnosti rizika a nápravných opatření. Zároveň dochází k odhadu finančních nákladů a časové náročnosti nápravných opatření [12].

Závěrečná zpráva analýzy rizik, ve které jsou uvedeny její výsledky je zpracována v souladu s vyhláškou č. 369/2004 Sb., o projektování, provádění a vyhodnocování geologických prací, oznamování rizikových geofaktorů a o postupu při výpočtu zásob výhradních ložisek v platném znění. Jelikož analýza rizik vychází z ověřených a známých skutečností v době jejího zpracování, má proto časově omezenou platnost a její výsledky jsou zveřejňovány v databázi SEKM v souladu se zákonem č. 62/1988 Sb., o geologických pracích, a prováděcími předpisy v platném znění [13].

Cílem tohoto procesu je tedy všeobecný popis existujícího či reálně potencionálního rizika vycházejícího z přítomné kontaminace. To může představovat aktuální ohrožení lidského zdraví či složek životního prostředí, případně budoucí ohrožení. Díky tomu stanovujeme nápravná opatření s cílovými parametry.

Stanovením přijatelnosti rizika se dostáváme ke kategorizaci priorit, kdy lokalitám v SEKM přiřadíme stupeň priority na základě klasifikace lokalit podle analýz rizik a podle úrovně prozkoumanosti. Díky této klasifikaci jsou lokality děleny do tří kategorií podle dalšího postupu řešení kontaminace. Umístění lokality do některé z kategorií je vyjádřeno třímístným kódem priority. Následně je díky tomu určen charakter dalších opatření a naléhavost řešení, tomu vždy odpovídá jen jeden obecně definovaný postup pro danou kategorii. Každá pozice kódu má svůj význam, první dvě místa v kódu slouží k dělení lokalit do kategorií podle dalšího postupu. Poslední pozice nebo jinak řád priority přesněji udává stupeň priority podle závažnosti kontaminace, jejího šíření a závažnosti důsledků znečištění a nabývá hodnot od 1 do 3 [10], [11].

Jak už bylo dříve zmíněno, lokality se dělí do tří kategorií. První z nich je kategorie A, která se dále dělí na podskupiny A1, A2 a A3. Patří sem lokality, u kterých je kontaminace potvrzená a aktuální. Poté následuje kategorie potenciálně kontaminovaných lokalit s označením P, která se dále dělí na podskupiny P1, P2, P3 a P4. Kontaminace je u těchto lokalit potenciálním problémem, není o ní dostatek informací a je potřeba ji ověřit průzkumem a analýzou rizik. Poslední kategorii značíme N, tedy nekontaminované lokality, u kterých není vyžadován žádný zásah a dělí se na podskupiny N0, N1 a N2 [10], [11].



Obrázek 1 Počet lokalit starých ekologických zátěží v SEKM v ČR, 2020 [14]

2. SANACE

Jedním ze závěrečných kroků řešení ekologických zátěží je odstranění, případně snížení koncentrace nebezpečných látek nebo zabránění šíření kontaminace do dalších složek životního prostředí na lokalitě pomocí sanačních metod. Jedná se o takovou úpravu, jež umožní návrat dotčeného území do uspokojivého stavu [15].

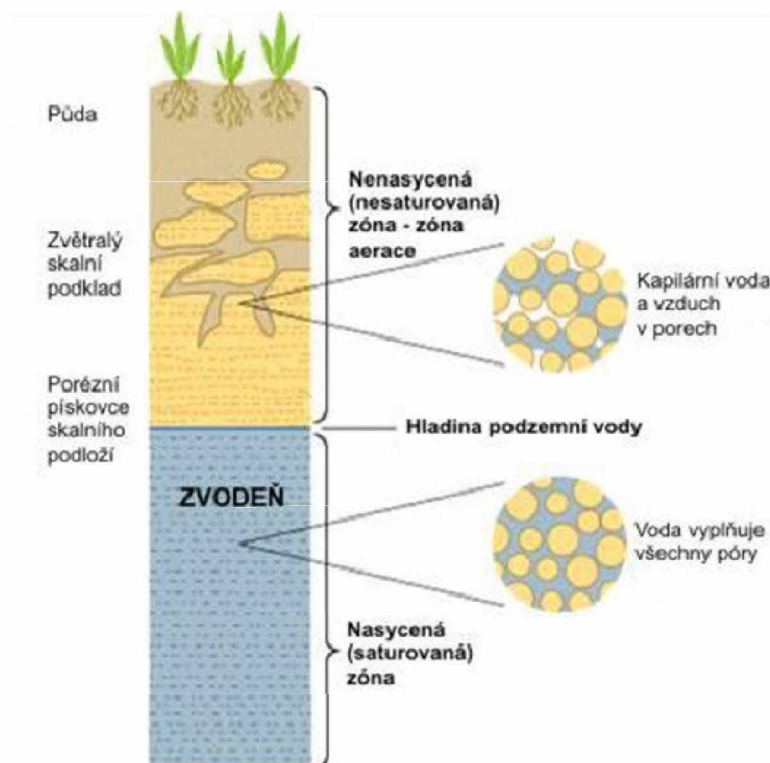
Z nejvyšších přípustných koncentrací kontaminantů v prostředí zjištěných během procesu analýzy rizik jsou stanoveny sanační limity. Před samotným zahájením sanačních prací mohou být provedeny další podrobné průzkumy s cílem zvolení optimální sanační technologie. Po ukončení sanačních prací a dosažení stanovených cílových koncentrací kontaminantů následuje postsanační monitorig, jehož účelem je ověření trvalého vyčištění lokality [16].

Podle místa realizace dělíme sanační technologie na dvě skupiny. Technologie ex situ jsou praktikovány ve specifických zařízeních, která jsou zřízena k tomuto účelu. Kontaminovaný materiál je vytěžen nebo odčerpán a transportován do zařízení. Tyto metody jsou účinnější, šetrnější k životnímu prostředí, snáze kontrolovatelné a dražší. Oproti tomu technologie in situ, které jsou prováděny přímo na kontaminované lokalitě, jsou výrazně levnější, ale průběh sanace a kontrola odstraňování kontaminace jsou podstatně těžší. Aktivní chemická látka je v tomto případě aplikována do horninového prostředí či podzemní vody, kde se kontaminace nachází. Reakcí s kontaminantem zde dochází ke vzniku neškodných sloučenin [16], [17].

Na Obrázku 2 je vidět, že půdní podloží ve vertikálním řezu dělíme na oblast saturované a nesaturované zóny.

Pojem nesaturovaná zóna popisuje v horninovém prostředí oblast mezi povrchem terénu a hladinou podzemní vody (horní ohraničení zvodně), kde je vlhkost menší než celková pórovitost. V pórech je tedy přítomen půdní vzduch a vlhkost.

Saturovaná zóna nebo také pásmo nasycení představuje oblast horninového prostředí, kde je volný okolní prostor zcela zaplněn podzemní vodou. Vlhkost je zde rovna celkové pórovitosti [18].



Obrázek 2 Saturovaná a nenasurovaná zóna [19]

2.1 Sanační metody

Pro sanaci půdního podloží bývá odtěžena kontaminovaná vrstva a dochází k zasypání místa inertním materiálem. Vytěžený kontaminovaný materiál může být na povrchu následně dále čištěn nebo se ukládá na skládku nebezpečných odpadů.

V případě sanací podzemních vod se provádí sanační čerpání, kdy je voda čerpána na povrch a zde bývá pomocí různých metod jako gravitační separace, stripování, nebo na aktivních filtrech čištěna a vypouštěna zpět do horninového prostředí nebo vodního toku [16].

Nejčastěji používané sanační technologie v České republice jsou:

2.1.1 Venting

Jedná se o jednu z nejpoužívanějších in situ sanačních metod pro nenasurovanou zónu, můžeme ji však používat in situ i ex situ. Principem této metody je odsávání vzduchu z kontaminovaného půdního prostředí nenasurované zóny pomocí vyhloubených odsávacích vrtů na lokalitě, jak je vidět na Obrázku 3, který znázorňuje schéma provedení této metody.

Odsávaný vzduch je na povrchu čištěn například pomocí aktivního uhlí, aby byly splněny příslušné koncentrační limity [20].

2.1.2 Bioremediace

U biologických postupů dochází k využívání organismů, jako jsou bakterie, plísně, houby nebo vyšší rostliny k odstranění kontaminace. Podmínkou je tedy zajištění vhodných podmínek v prostředí, aby byly mikroorganismy schopny využít znečišťující látky v jejich metabolismu a docházelo tím k odstraňování znečištění z prostředí.

Jedná se o souhrn metod, kde je využíváno živých organismů k přeměně škodlivých látek na neškodlivé. Patří sem in situ metody jako bioventing, dále třeba fytořemediace, kdy je využíváno vyšších zelených rostlin k odstranění kontaminace. Ex situ metody zahrnují například metody jako kompostování nebo biostabilizaci [20].

Technologické provedení těchto metod, znázorněné na Obrázku 4, je založeno na urychlení přirozeného procesu činností mikroorganismů, kdy se do půdy dodává kyslík, většinou ve formě vzduchu, případně jako peroxid vodíku, a dále živiny (např. dusík). Tím dochází k rychlejšímu růstu mikroorganismů, které jsou schopny odstraňovat znečištění [17].

2.1.3 Vymývání a praní půdy

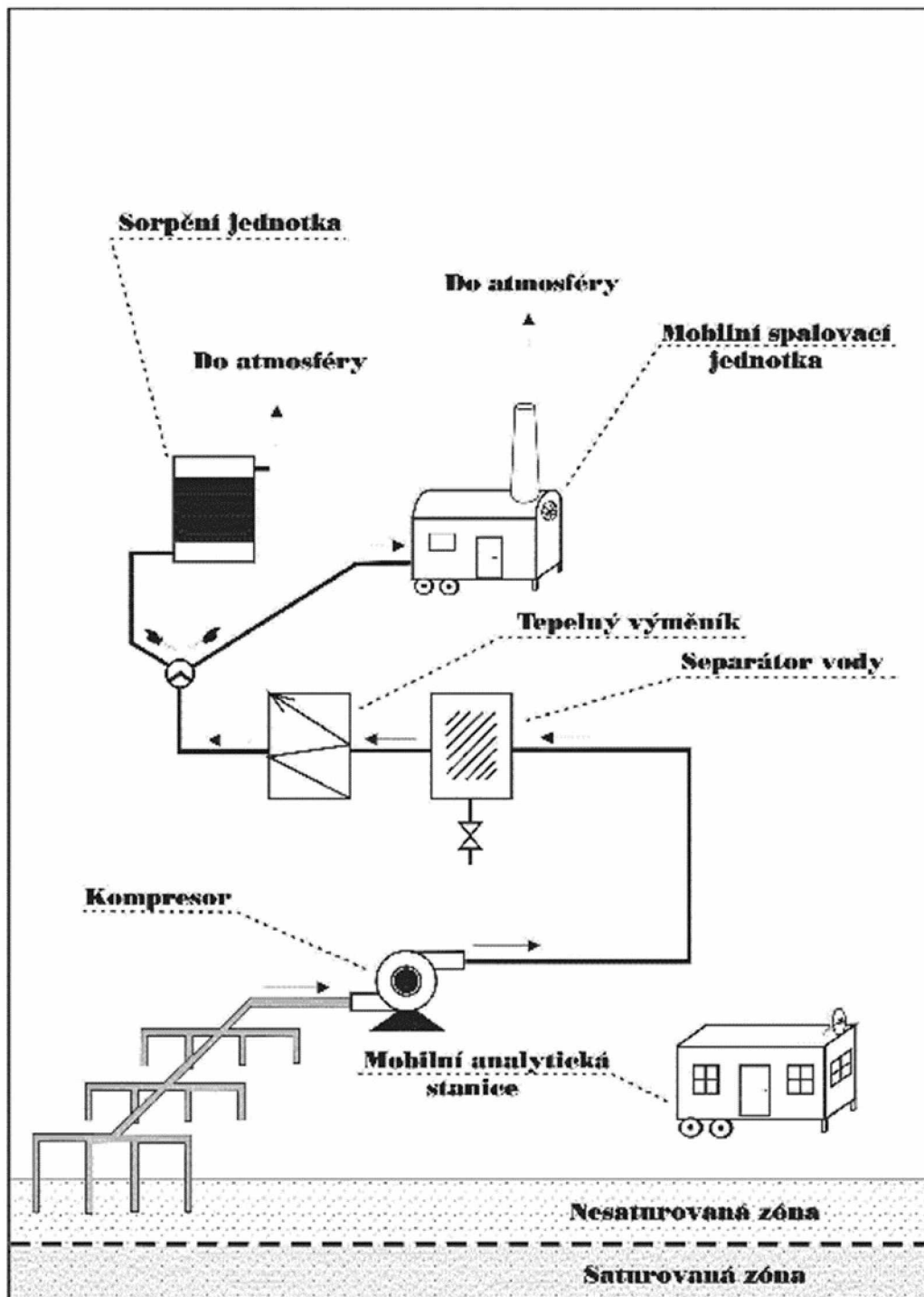
O vymývání půdy jakožto sanační technologii se bavíme v případě, že je proces prováděn v uspořádání in situ. V případě ex situ uspořádání se jedná o praní půdy.

Celý princip této metody je založen na aplikaci vodných roztoků látek, které jsou schopny v horninovém prostředí rozpouštět polutanty nebo alespoň měnit jejich povrchové vlastnosti, čímž dochází k jejich převedení do roztoku. Mezi používané vymývací roztoky patří za specifických podmínek voda, ve většině případů se jedná o slabé vodné roztoky povrchově aktivních látek, kyselin, zásad, alkoholů a rozpouštědel.

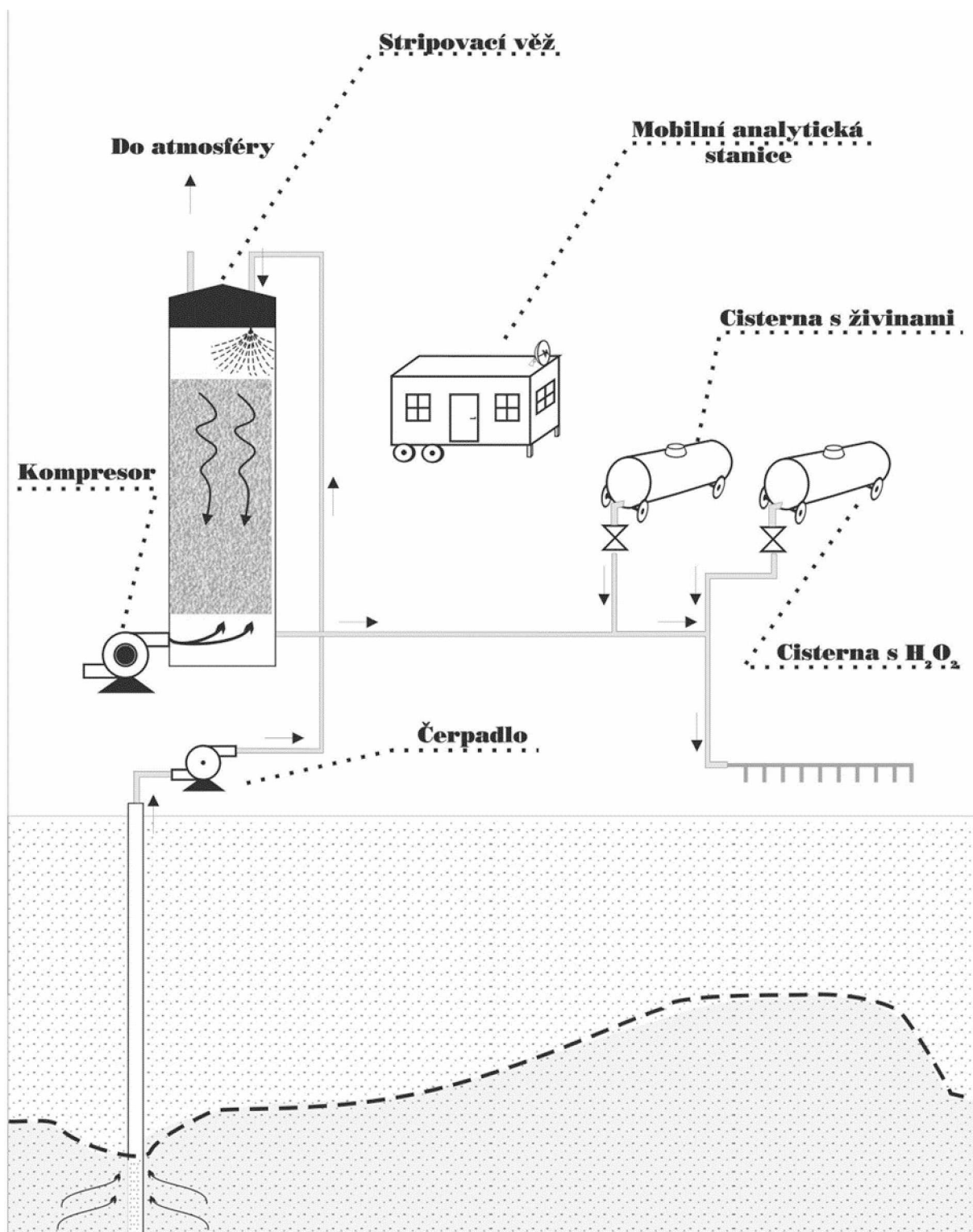
V praxi je u vymývání půdy, jejíž schéma lze vidět na Obrázku 5, do horninového prostředí zasaženého kontaminací vpravována extrahující vodná fáze díky vsakovacímu systému nebo vrtům. Vymývací roztok je následně jímán na povrchu čerpacími vrty a je následně přečišťován a recyklován pro další použití.

U praní půdy, které je znázorněno na Obrázku 6, probíhá proces v pracím zařízení. Odstraňování kontaminace probíhá buď rozpouštěním polutantů do pracího roztoku, nebo jejich separací v průběhu mechanického dělení a postupného praní. Na začátku procesu je třeba vytěžit kontaminovanou zeminu a přepravit ji do místa čištění. Před zahájením musí

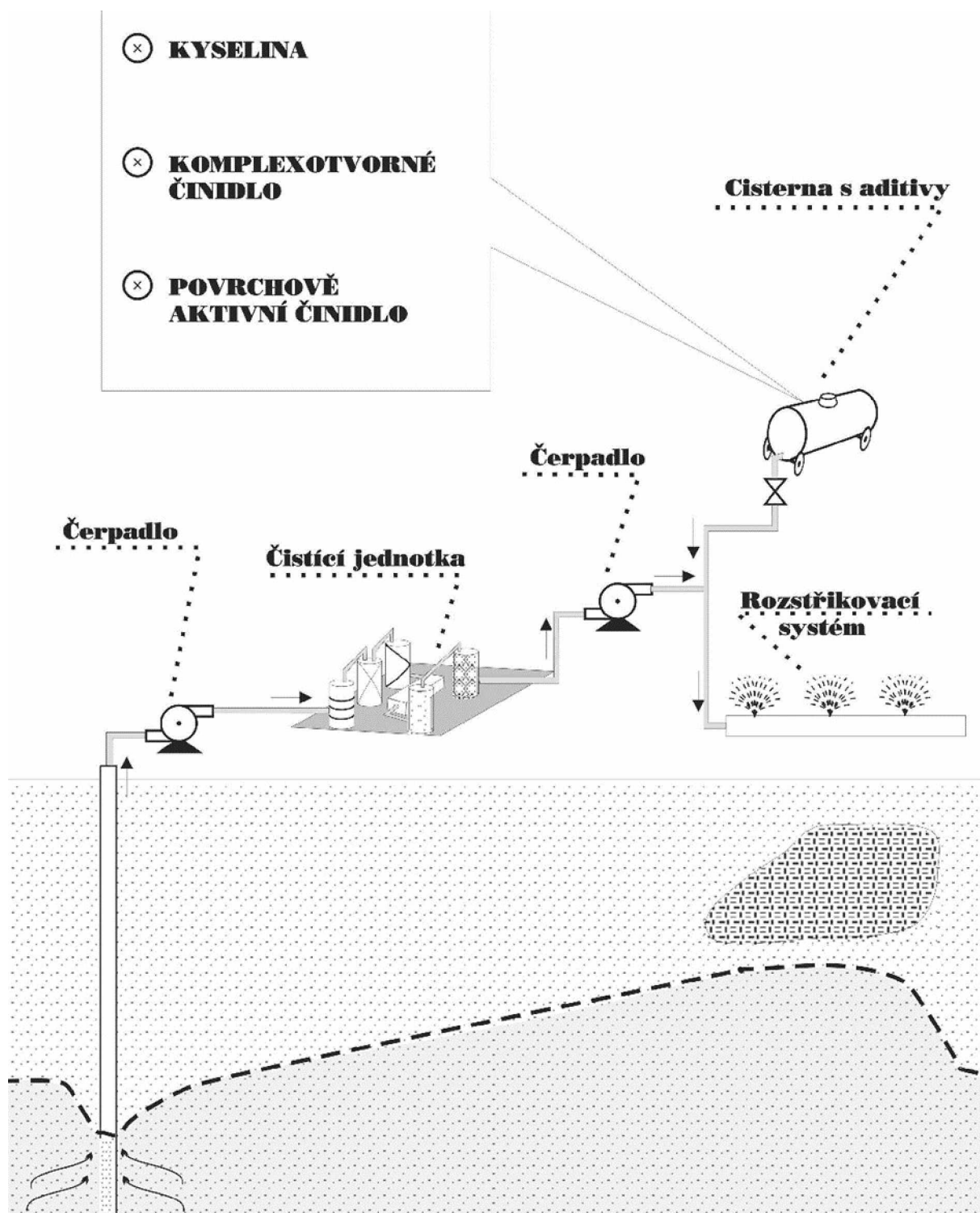
být vytěžená zemina ještě tříděna, kdy dochází k oddělení větších částí, jako jsou kameny, aby došlo k zajištění co nejvyšší možné homogenity čištěného materiálu. V samotném procesu praní půdy je zemina smíchána s prací vodnou fází a vzniklá směs je vedena přes síta, směšovače a vodní trysky, kde dochází k vymývání jemných podílů a dělení na frakce. Kontaminanty podle vlastností přechází do roztoku nebo flotují k hladině. Prací voda je na konci procesu přečištěna a recyklována pro další použití. Protože většina organických i anorganických kontaminantů má tendence vázat se na prachové částice půdy, jsou po přečištění jemné podíly půdy analyzovány na obsah polutantů. Podle výsledků těchto analýz je půda buď dále čištěna, nebo umístěna na skládku. Na dně zařízení dochází k usazení hrubších částí zeminy, jako je šterk a písek, s kterými je dále nakládáno podle míry znečištění [17], [20].



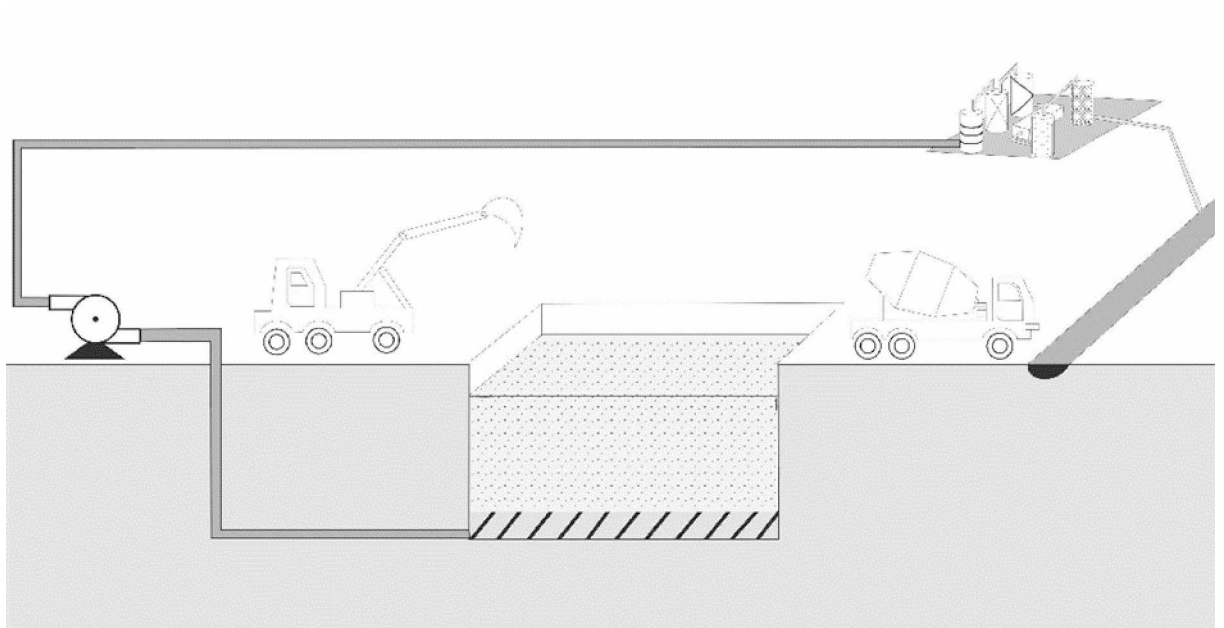
Obrázek 3 Schéma ventingu [21]



Obrázek 4 Příklad in situ bioremediace [22]



Obrázek 5 Schéma promývání půdy [23]



Obrázek 6 Schéma praní půdy [24]

3. ROZKLAD ORGANICKÝCH LÁTEK V PŘÍRODĚ

Mezi nejdůležitější funkce mikroorganismů v půdách patří rozklad a mineralizace organických látek. Uvádí se, že jejich činností dochází k rozkladu až 90 % organických látek. Znečišťující rozkládané látky v půdě i dalších složkách životního prostředí mohou být přírodní, ale jedná se hlavně o látky spojené s antropogenní činností (tedy činností člověka), kterým se jinak říká polutanty [25].

Rozklad organických látek mikroorganismy je proces, při kterém jsou látky rozkládány pomocí biologických činitelů a kontaminanty přechází na neškodné produkty, jako jsou oxid uhličitý a voda. Při tomto procesu může však dojít pouze k transformaci kontaminantu na jinou látku, popřípadě k jeho akumulaci nebo jen částečné oxidaci. Tato situace nastává v případech, kdy si mikroorganismy nejsou schopny poradit s úplným rozkladem dané látky (např. u rozkladu PCB) [26].

Popsaný děj představuje samočisticí schopnost půdy, kdy je půdní mikroedafon po určité adaptaci schopen odbourávat i velmi perzistentní polutanty (např. fenoly a kresoly). Je prokázáno, že mikroorganismy mají schopnost degradovat jak uhlovodíky, tak i složky surové ropy. Celý proces je ovlivňován množstvím živin a kyslíku, přítomným světlem a vlhkostí, dále okolní teplotou a pH. Kontaminaci půdy lze porušit její základní funkce a může dojít k šíření kontaminantů do ostatních složek životního prostředí. [26], [27], [28].

4. SLEDOVANÁ LOKALITA

Lokalita sledovaná v této bakalářské práci, slepé rameno řeky Labe u přítoku Jesenčanského potoka, se nachází v západní části města Pardubic. Je situována na levém boku řeky, severně od závodu PARAMO, a. s., kterým protéká Jesenčanský potok, ústící do slepého ramene. Území se nachází v zátopové oblasti řeky Labe.

4.1 Charakteristika lokality

Toto slepé rameno bylo na Labi vybudováno v letech 1965–1968 během vodohospodářských úprav na řece. Je téměř půl kilometru dlouhé, o šířce zhruba 55 m, hloubce 3 m a zaujímá plochu přes 11 ha. Jak je vidět na Obrázku 7, ve východní části je na rameno napojen Jesenčanský potok a slepé rameno ústí do řeky v části západní. Bylo tedy využíváno především jako uklidňovací nádrž. Zároveň je tímto napojením ovlivňována hladina vody v rameni, a to díky regulacím na řece mezi zdymadly v Pardubicích a v Srnojedech, mezi kterými se lokalita nachází [29].



Obrázek 7 Slepé rameno řeky Labe u přítoku Jesenčanského potoka [30]

4.2 Historie znečištění

Ekologická zátěž na území je způsobena hlavně kontaminací dnových sedimentů, které jsou sem unášeny skrze Jesenčanský potok. Jedná se převážně o znečištění látkami ropného charakteru, jako jsou ropa, benziny, oleje, petroleje a nafta. Dále se zde předpokládá

kontaminace organickými rozpouštědly. Převážně se jedná o látky kapalné, které představují pro složky životního prostředí největší nebezpečí. Tyto znečišťující látky jsou spojeny s činností závodu PARAMO, a. s., který na základě povolení vypouštěl odpadní vody do Jesenčanského potoka. Následkem havárií popílkových skládek Elektrárny Opatovice v roce 1972 došlo k zanesení celé západní části ramene naplaveninami z hlavního toku Labe a vznikl zde poloostrov, který zarůstá rákosem. Nyní je následkem zanesení Jesenčanského potoka sedimenty a organickými polutanty znečištění transportováno až do slepého ramene, kde díky tomu došlo k zanesení celého profilu ramene tak, že hloubka již nepřekračuje 1,5 m [28], [31].

V *Systému evidence kontaminovaných míst* má lokalita přidělenou kategorii priority A2.1. Podle souhrnného formuláře se jedná o kontaminaci na místě potvrzenou, která je nad úroveň koncentračních limitů stanovených legislativou, nebo je zde nemožnost využívání lokality v souladu s platným územním plánem, nebo bylo potvrzeno šíření kontaminace ze znečištěné lokality [31].

V roce 2004 byla pro lokalitu zpracována analýza rizik, ze které vyšlo, že znečištění je tvořeno primárně ropnými uhlovodíky. Ty jsou zachyceny na naplaveném znečištění, které se ve slepém rameni usadilo. Riziko šíření kontaminace mimo slepé rameno nebylo prokázáno. Protože podzemní vody v okolí slepého ramene nejsou využívány pro lidskou potřebu, není ani zde sledováno riziko pro zdraví člověka. Jisté nebezpečí však představuje konzumace ryb z kontaminované oblasti. S rybařením na lokalitě mohou být dále spojeny i problémy jako podráždění kůže při kontaktu s vodou nebo může docházet ke vdechování odpařených kontaminantů z povrchu vody vlivem vyšší teploty. Tyto skutečnosti však nemůžou být prokázány pro nedostatek údajů. Člověk je však podle analýzy rizik považován za potenciálně ohrožený subjekt [31].

5. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

5.1 Terénní měření na lokalitě

V dubnu roku 2022 bylo provedeno terénní měření půdního vzduchu na lokalitě pomocí mobilního analyzátoru Ecoprobe 5. Na odběrovém místě byla vždy vyhloubena pomocí sondýrky jamka o hloubce zhruba 25 cm a šířce cca 6 cm 2 m od břehu ramene. Konkrétní odběrová místa jsou naznačena na Obrázku 8. Je zde vidět, že 1. měření proběhlo vpravo od přítoku Jesenčanského potoka do slepého ramene, vlevo pak bylo provedeno 2. a 3. měření. Vzdálenost jednotlivých měřených míst byla přibližně 5 m od sebe. Vzhledem k výsledkům v prvních třech měřeních bylo následně rozhodnuto prozkoumat břeh za nornou stěnou, která se nachází mezi body 2. a 3. měření. Další měření probíhala pouze v prostoru levého břehu ramene, protože pravý břeh byl špatně přístupný. Rozmezí mezi 4. až 10. odběrovým místem bylo cca 2 m. Na závěr byl proměřen pravý (odběrové místo 11.) i levý (odběrové místo 12.) břeh Jesenčanského potoka před vústěním do slepého ramene ve vzdálenosti cca 0,5 m od břehu. Protože je měřena složkou plyn, byly v době odběru zaznamenány hodnoty teploty a tlaku. Meteorologická stanice Pardubice – letiště uváděla pro čas měření teplotu 4 °C a tlak 1020 hPa.

5.2 Popis analyzátoru

K monitorování staré ekologické zátěže v této bakalářské práci byl používán mobilní analyzátor ECOPROBE 5 vyrobený firmou RS Dynamics Praha.

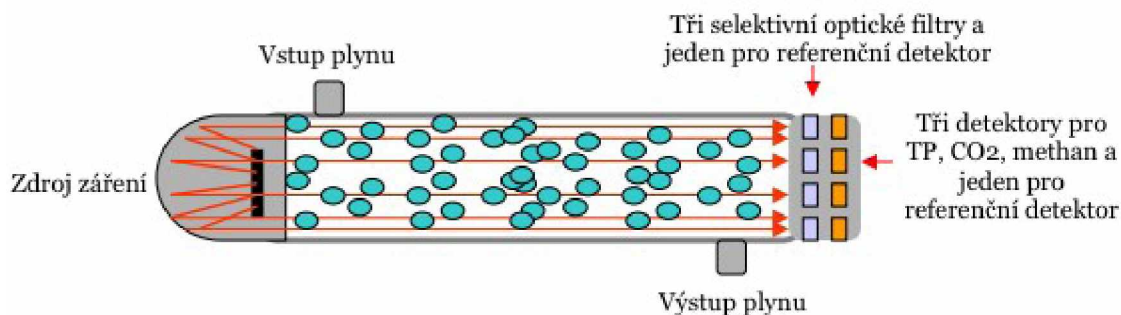
Přenosný měřicí přístroj ECOPROBE 5 je vybaven fotoionizačním analyzátozem (PID), který umožňuje měření celkové koncentrace vybraných těkavých organických látek. Během této bakalářské práce se však PID nevyužíval. Dále je přístroj vybaven infračerveným analyzátozem (IR), který odděleně měří oxid uhličitý, methan i celkové uhlovodíky (TP).

Během měření je do sondy nasáván půdní vzduch, který je následně v přístroji průběžně analyzován. U IR detektoru vychází zjišťování přítomnosti plynu a jeho koncentrace z faktu, že v infračervené oblasti má většina plynů vlastní charakteristické spektrum. Průchodem infračerveného záření plynným vzorkem a zaznamenáním velikosti absorpce specifických vlnových délek tohoto záření lze stanovit koncentraci určitých látek [32].



Obrázek 8 Mapa slepého ramene Labe s označením polohy odběrových míst [33]

Na Obrázku 9 je znázorněna funkce použitého infračerveného analyzátoru. Záření, které vychází ze zdroje, postupuje měrnou trubicí. Přichází zde do styku s měřeným plynem a v případě, že je v něm přítomna analyzovaná složka, dochází k absorpci jejího charakteristického záření. Úbytek tohoto záření je přímo úměrný koncentraci dané složky a je registrován pomocí detektorů [32].



Obrázek 9 IR analyzátor [32]

V přístroji jsou přítomny tři nezávislé detektory, před kterými jsou předřazeny selektivní filtry. Díky tomu dochází k propouštění pouze specifických vlnových délek, které jsou charakteristické pro oxid uhličitý, methan a celkové uhlovodíky. Všechna tato čidla mají pracovní rozsah od 0 do 500 000 ppm s dolní mezí 50 ppm. Detektor pro měření celkových uhlovodíků má široký rozsah vlnových délek, který odpovídá vlnovým délkám uhlovodíků s vazbou C-H v molekule. Výsledná koncentrace z detektoru celkových uhlovodíků je uváděna jako koncentrace celku, zahrnuje tedy kromě jednotlivých sloučenin i methan. Detektor pro oxid uhličitý měří CO_2 odděleně a měření není rušeno jinými sloučeninami.

Čtvrtý detektor přítomný v analyzátoru slouží k referenčnímu měření. Jeho umístění je v přístroji zvoleno tak, aby docházelo k nerušenému dopadu celého infračerveného záření. Získaný údaj je tedy, jak u referenčního, tak i u předchozích detektorů ovlivňován prachem, vlhkostí a případně jinými rušivými faktory.

Dále je přístroj ECOPROBE 5 schopen měřit teplotu, tlak a koncentraci kyslíku. Jedno měření trvá v rozmezí 20 až 30 sekund a je během něho získána jak maximální, tak průměrná koncentrace dané složky v měřeném plynu [32].

Popis ovládání přístroje

Pomocí tlačítek umístěných na horním panelu a rukojeti přístroje (viz Obrázek 10) mohou být ovládány všechny přístrojové funkce.

Na horním panelu jsou po levé straně umístěna tlačítka ESC (k ukončení operace a navrácení do hlavní nabídky – Main Menu) a LIGHT (umožňuje zapínání a vypínání podsvícení obrazovky). Vpravo na horním panelu jsou pod sebou umístěna tlačítka ON/OFF (zapínání a vypínání přístroje) a RUN (pro zahájení měření).

Mnohem více jsou však využívána směrová tlačítka čtyř šipek, která jsou umístěna na rukojeti



přístroje a mají různé funkce podle nabídek v menu. Šípkami nahoru (▲) a dolů (▼) je posouván kurzor po nabídce. Pravou šípkou (►) je potvrzována volba nebo zahajuje zvolenou operaci a levá šipka (◄) vrací program o jeden krok zpět [34].

Pro připojení nabíječky, GPS přijímače, teploměru v sondě a alternativních zdrojů energie jako jsou solární baterie nebo nabíječka do auta slouží multifunkční konektor umístěný na čelním panelu přístroje, který je označen na Obrázku 11 jako bod A. Dále se zde nachází vstup čerpaného vzduchu (bod B), na který je připojena gumová hadička s filtrem, jehož funkcí je zachytávání pevných částí ze vzduchu, aby se předešlo znečištění měrné cely nebo dokonce případnému poškození analyzátoru. Výstup změřeného vzduchu je označen jako bod C [34].

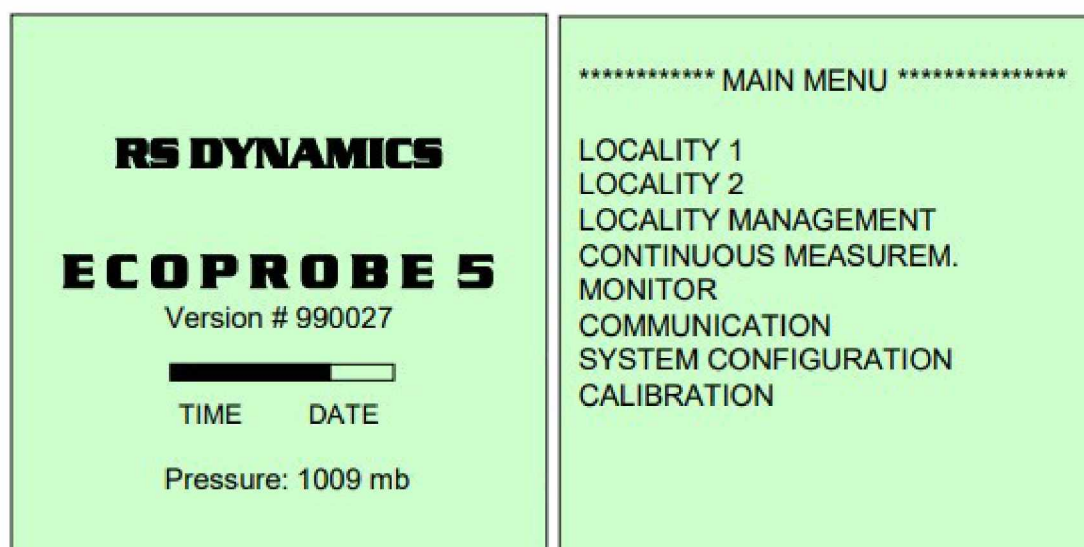
Obrázek 10 Rukojeť a horní panel přístroje ECOPROBE 5 [34]

Stisknutím tlačítka ON/OFF se zapne přístroj a na obrazovce se zobrazí úvodní logo, verze instalovaného softwaru, ukazatel stavu baterie, čas, datum a atmosférický tlak. Stisknutím pravé šipky se přesuneme do hlavní nabídky se seznamem možností (viz Obrázek 12). Šípkou nahoru a dolů se posouvá kurzorem po hlavní nabídce a pravou šípkou se otevírá zvolená položka [32].



Obrázek 11 Čelní panel přístroje ECOPROBE 5 [32]

V hlavním menu jsou položky COMMUNICATION (pro přenos dat z přístroje do počítače), CALIBRATION (pro kalibraci jednoho bodu), CONTINUOUS MEASUREMENT (umožňuje neomezeně dlouhé měření bez zaznamenávání hodnot) nebo SYSTEM CONFIGURATION. K měření je však využíváno položky MONITOR, která za definovaných časových intervalů automaticky monitoruje obsah škodlivin nebo položky LOKALITY 1 (2) pro individuální měření již vytvořené lokality. Poslední nezmíněnou položkou v hlavním menu je LOCALITY MANAGEMENT, kde se zadávají parametry nové lokality nebo se zde mění hodnoty parametrů již měřených lokalit. Otevřením této položky se nám zobrazí menu s možností Open LOCALITY 1 (2) jejímž zvolením otevřeme seznam již měřených lokalit, kde můžeme zadat novou lokalitu položkou <new>. Tím se otevírá konfigurační soubor se seznamem parametrů s přednastavenými hodnotami pro zadání nové lokality, jak je vidět na Obrázku 13 [34].



Obrázek 12 Úvodní obrazovka a hlavní menu přístroje [32]

Jako první je vždy třeba zadat název nového měření. V případě, že chceme změnit přednastavené hodnoty, následuje skupina s parametrem GRID, která umožňuje výběr mezi standardním systémem a systémem se záznamem dat z GPS. V standardním systému jsou všechny naměřené hodnoty zaznamenány pomocí přidělených X, Y souřadnic. Další parametry v této skupině jsou X (Y) Increment, kterými se nastavuje vzdálenost souřadnicového systému pro parametr GRID. V systému s GPS jsou souřadnice zaznamenávány automaticky, a je proto možno měřit v libovolných bodech.

Následuje skupina parametrů:

LOCALITY1:	noname

Grid:	Standard
X Increment:	10.0 m
Y Increment:	10.0 m

Group Measurement:	No
Pump Speed:	1.25 l/mim
Sampl. interval:	0.1 s
Reset period:	AUT s
Preint. period:	5 s
Integr. period:	20 s
Probe Depth:	0.50m
Save Curr. Val.:	No
Temperature:	99 grad
PID On/Off:	On
Range:	STANDARD
Calibration gas:	118 Isobutene
Units:	ppm
Evaluation:	Maximum

Infra-Red On/Off:	On
Continuous Measurement:	On
Units:	ppm
Evaluation:	Maximum

Oxygen:	On
Temperature units:	C
Pressure units:	kPa
PID Alarm:	1000
methane Alarm:	99999
TP Alarm :	99999
CO2 Alarm:	99999

Save Configuration	

Group Measurement – Tento parametr nám nabízí možnost se rozhodnout, zda budeme měřit s vynulováním přístroje nebo bez něj. Při zvolení možnosti „NO“ nulování probíhá a přístroj měří ve třech intervalech (nulování, preintegrace a vlastní měření). V případě, že není možno zajistit přísun čistého vzduchu pro nulování přístroje, zvolíme možnost „YES“. Nulování pak proběhne pouze jednou, na začátku měření, a to mimo kontaminovanou lokalitu.

Pump Speed – Slouží k nastavení rychlosti čerpadla a množství analyzovaného vzduchu během jednoho měření v rozmezí od 0,25 do 4,0 l/min.

Sampling interval – Nastavením intervalu v rozmezí od 0,1 do 1 sekundy přístroj v průběhu měření ukládá naměřené hodnoty. Musíme však v parametru *Save Current Values* nastavit možnost „YES“.

Obrázek 13 Seznam parametrů pro zadání lokality [32]

Resetting period – Časový interval, během kterého přístroj měří nasávaný vzduch mezi měřeními a používá tuto hodnotu jako výchozí úroveň. Zároveň tímto dochází k vyčištění komory od kontaminovaných plynů z předchozího měření. Hodnota „AUT“ umožňuje

automatické nastavení času, kdy si přístroj sám zajišťuje dobu mezi 10 až 30 sekundami pro nejlepší čištění komory podle naměřené koncentrace v předchozím měření.

Preintegration period – Dochází k nasávání plynu do přístroje bez ukládání dat o naměřené koncentraci. Pro standardní měření je tato doba nastavena na 5 sekund.

Integration period – Jedná se o dobu měření, během které přístroj nasává analyzovaný plyn a dochází k měření koncentrace kontaminantu. Výsledné hodnoty jsou zobrazeny ve čtyřech grafech, kde je jeden graf pro PID (udává naměřený souhrn všech organických látek) a zbylé tři grafy ukazují naměřené hodnoty IR pro methan, oxid uhličitý a celkové uhlovodíky. Přednastavená časová hodnota integrace je 20 sekund.

PID On/Off – Zapínání a vypínání analytické jednotky PID (např. kvůli úspoře energie v případě, že analyzátor není využíván). Analyzátor měří v rozsahu STANDARD (pro běžné měření) a HISENS (s vysokou citlivostí pro velmi nízké koncentrace). Nabídka *Calibration gas* umožňuje výběr z cca 200 látek pro automatickou kalibraci analyzátoru.

Infra-Red On/Off – Vypínání a zapínání jednotky IR. Volbou „OFF“ se analyzátor po každém měření vypíná a dochází k menší spotřebě baterie. Pro větší přesnost měření je však lepší zvolit možnost „ON“, kdy je analyzátor stále zapnutý, ale dochází k větší spotřebě energie.

Evaluation – Tato položka u obou analyzátorů slouží k volbě mezi integrálním vyhodnocením, kdy jsou zobrazovány průměrné hodnoty a vyhodnocením maximální hodnoty, kdy přístroj nalezne nejvyšší naměřenou hodnotu z integrační fáze [32], [34].

6. VÝSLEDKY A DISKUZE

Naměřené koncentrace vybraných kontaminantů v půdním vzduchu na lokalitě slepého ramene řeky Labe jsou shrnuty v Tabulkách 1 až 3.

Hodnoty koncentrací methanu přináší Tabulka 1 a grafické porovnání maximálních a průměrných hodnot pro jednotlivá měření pak Obrázek 14.

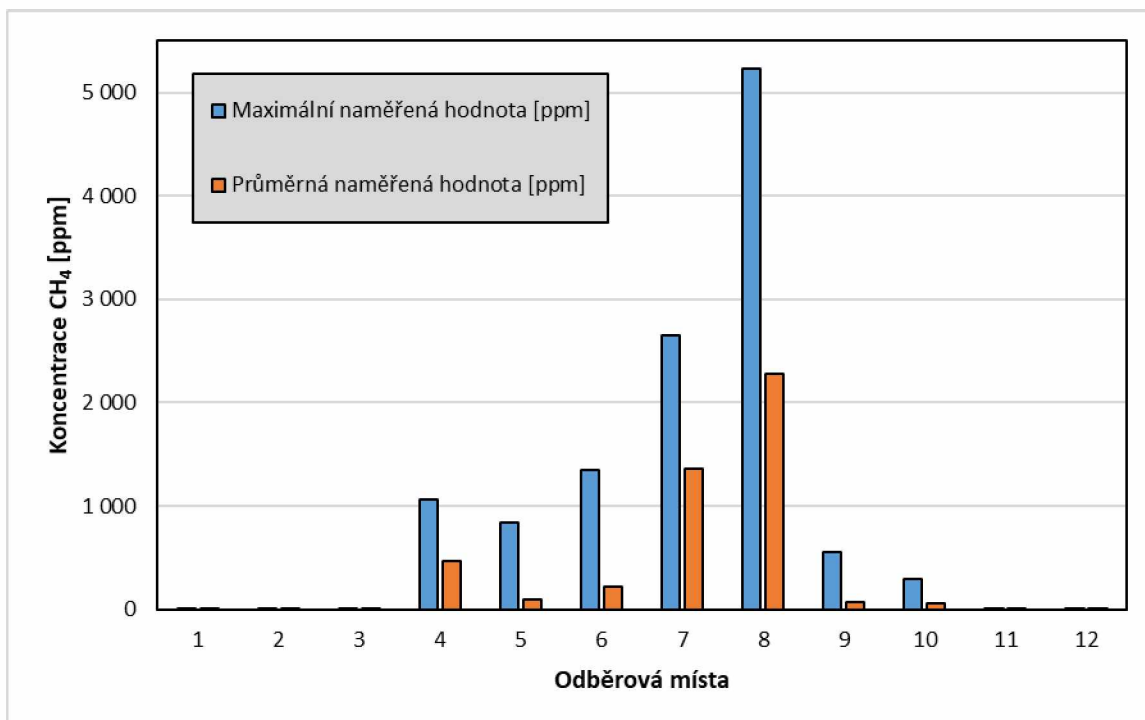
Tabulka 1 Naměřené maximální a průměrné hodnoty koncentrací methanu v půdním vzduchu na sledované lokalitě

Odběrové místo	Maximální naměřená hodnota CH ₄ [ppm]	Průměrná naměřená hodnota CH ₄ [ppm]
1	0,10	0,01
2	0,10	0,01
3	0,10	0,01
4	1067,78	468,48
5	832,50	90,47
6	1344,17	217,71
7	2647,13	1358,97
8	5235,81	2281,56
9	558,75	73,96
10	296,28	55,77
11	0,01	0,01
12	0,01	0,01

Pozn: Poloha odběrových míst je označena na Obrázku 8.

Z tabulky i obrázku je vidět, že naměřené koncentrace methanu z prvních třech odběrových míst jsou téměř minimální. Vyšší koncentrace byly naměřeny až od 4. odběrového místa, kde začíná být voda z ramene v kontaktu se zanesenými naplaveninami. Nejvyšší naměřená hodnota byla získána během měření na lokalitě 8. odběrového místa a to 5235,81 ppm CH₄. U měření zbylých odběrových míst hodnoty koncentrací značně poklesly, dá se proto předpokládat, že k úniku methanu skrze půdní vzduch dochází pouze v oblastech, kde je slepé rameno zaneseno.

Z dat získaných pro oxid uhličitý, která jsou uvedena v Tabulce 2 a na Obrázku 15, je zřejmé, že hodnoty během měření značně kolísaly a není zde možno sledovat stejný nárůst a pokles koncentrací jako u ostatních naměřených složek.



Obrázek 14 Porovnání maximálních a průměrných hodnot methanu naměřených v půdním vzduchu na sledované lokalitě

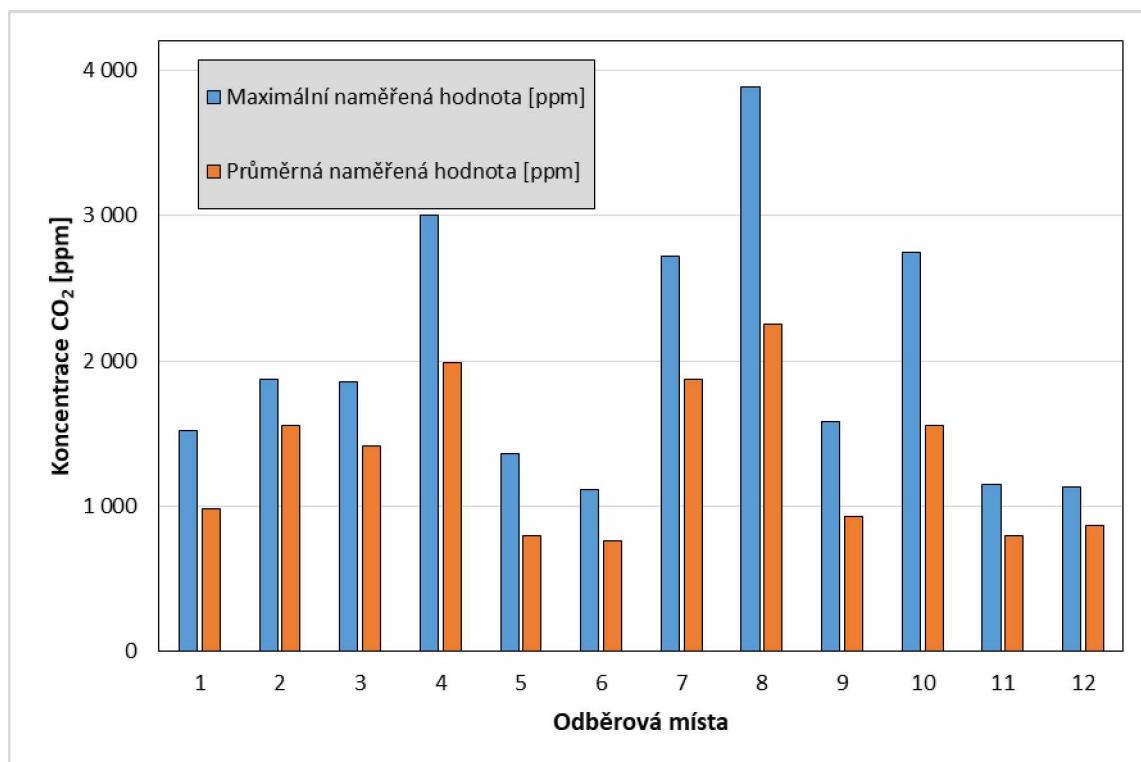
Pozn: Poloha odběrových míst je označena na Obrázku 8.

Tabulka 2 Naměřené maximální a průměrné hodnoty koncentrací oxidu uhličitého v půdním vzduchu na sledované lokalitě

Odběrové místo	Maximální naměřená hodnota CO ₂ [ppm]	Průměrná naměřená hodnota CO ₂ [ppm]
1	1521,26	983,49
2	1873,41	1556,58
3	1854,75	1417,45
4	3003,28	1989,87
5	1361,56	794,91
6	1117,47	761,69
7	2720,32	1872,95
8	3888,38	2254,68
9	1579,37	932,60
10	2745,77	1557,51
11	1150,96	801,45
12	1135,31	869,32

Pozn: Poloha odběrových míst je označena na Obrázku 8.

Z Obrázku 15, kde jsou naměřené koncentrace CO₂ schematicky znázorněny, je však možno sledovat, že vyšší koncentrace oxidu uhličitého byly získány během měření na 4., 7., 8. a 10. odběrovém místě. Maximální hodnoty z měření ostatních odběrových míst se pohybují v přibližně stejném rozmezí od 1100 do 1900 ppm.



Obrázek 15 Porovnání maximálních a průměrných hodnot oxidu uhličitého naměřených v půdním vzduchu na sledované lokalitě

Pozn: Poloha odběrových míst je označena na Obrázku 8.

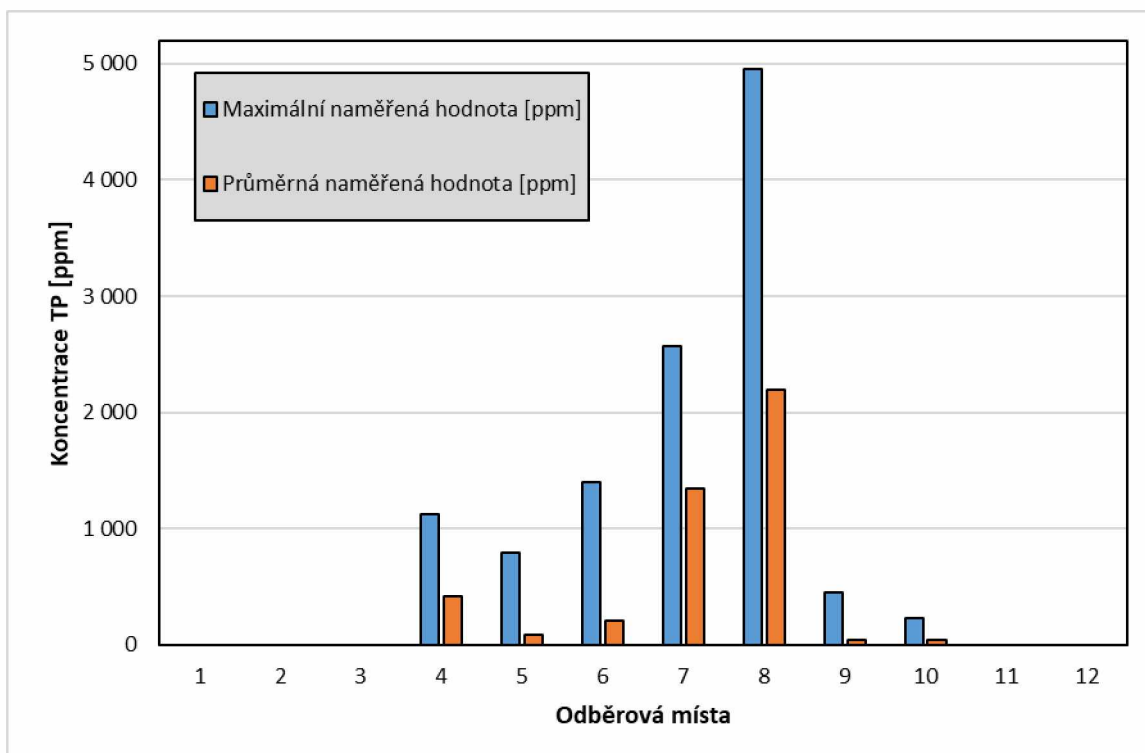
Z naměřených hodnot pro celkové uhlovodíky (viz Tabulka 3 a Obrázek 16) je vidět, že se vyskytují ve zvýšené míře na podobných místech jako methan.

Vyšší koncentrace byly nalezeny na odběrových místech 4. až 10., tedy v zanesené části ramene. Nejvyšší naměřená koncentrace uhlovodíků, získaná během měření na 8. odběrovém místě byla 4948,62 ppm.

Tabulka 3 Naměřené maximální a průměrné hodnoty koncentrace uhlovodíků v půdním vzduchu na sledované lokalitě

Odběrové místo	Maximální naměřená hodnota TP [ppm]	Průměrná naměřená hodnota TP [ppm]
1	0,00	0,00
2	0,00	0,00
3	0,00	0,00
4	1128,99	421,87
5	797,48	85,11
6	1401,59	204,11
7	2567,56	1340,69
8	4948,62	2188,81
9	455,04	45,47
10	233,28	45,64
11	0,00	0,00
12	0,00	0,00

Pozn: Poloha odběrových míst je označena na Obrázku 8.



Obrázek 16 Porovnání maximálních a průměrných hodnot celkových uhlovodíků naměřených v půdním vzduchu na sledované lokalitě
Pozn: Poloha odběrových míst je označena na Obrázku 8.

ZÁVĚR

V této bakalářské práci byla proměřena lokalita slepého ramene řeky Labe u přítoku Jesenčanského potoka, jež se nachází v západní části Pardubic. Byla zkoumána kontaminace ropnými uhlovodíky, protože zde v historii došlo k transportu těchto látek ze zaneseného Jesenčanského potoka. Ke sledování koncentrací naměřených kontaminantů byl použit přenosný analyzátor ECOPROBE 5, jehož součástí je IR detektor, který měří absorpci infračerveného záření. Zkoumanou složkou byl půdní vzduch, ve kterém byly sledovány koncentrace methanu, oxidu uhličitého a celkových uhlovodíků. Na lokalitě proběhlo měření na 12 odběrových místech.

Bylo zjištěno, že nejvyšší koncentrace methanu a celkových uhlovodíků byly naměřeny na 4. až 10. odběrovém místě. Na sledované lokalitě se tato místa nachází v zanesené části slepého ramene, která je od zbytku vodní plochy oddělena nornou stěnou. Nejvyšší naměřená koncentrace methanu byla z 8. odběrového místa, a to 5235,81 ppm. Pro celkové uhlovodíky byla naměřena maximální hodnota 4948,62 ppm také na 8. odběrovém místě. U zbylých odběrových míst v zanesené oblasti ramene jsou naměřené hodnoty pro tyto kontaminanty výrazně nižší. V podstatě minimální koncentrace byly naměřeny na 1., 2., 3., 11. a 12. odběrovém místě. Lze proto předpokládat, že k úniku methanu a celkových uhlovodíků skrze půdní vzduch dochází pouze v oblasti slepého ramene, kde je odděleno nornou stěnou.

Vyšší koncentrace oxidu uhličitého byly taktéž zjištěny v oblasti za nornou stěnou, tato skutečnost však neplatí pro všechna sledovaná odběrová místa. Nejvyšší naměřená koncentrace CO₂ o hodnotě 3888,38 ppm byla opět získána na 8. odběrovém místě. Pro většinu odběrových míst však byla změřena maximální i průměrná koncentrace oxidu uhličitého do 1900 ppm.

Výsledky a skutečnosti zjištěné během této bakalářské práce by mohly být zdrojem informací o kontaminaci území ropnými látkami při případné sanaci sledované lokality.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] A4 – STARÉ EKOLOGICKÉ ZÁTĚŽE. Ministerstvo životního prostředí [online]. [cit. 2022-02-12]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/www/dav.nsf/rocenka_06/a4.htm
- [2] Staré ekologické zátěže, resp. kontaminovaná místa. Ministerstvo životního prostředí [online]. [cit. 2022-02-12]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/stare_ekologicke_zateze
- [3] VUČKA, Petr. MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. Edice PLANETA: odborný časopis pro životní prostředí [online]. XII. Praha, 2005, 96 s. [cit. 2022-02-12]. ISSN 1213-3393. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/4FC51349D2271EF2C12570A5001EE921/\\$file/planeta_10korektura2.pdf](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/4FC51349D2271EF2C12570A5001EE921/$file/planeta_10korektura2.pdf)
- [4] Odstraňování starých ekologických zátěží v rámci procesu privatizace. Ministerstvo životního prostředí [online]. [cit. 2022-02-26]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/odstranovani_ekologic_kych_zatezi
- [5] Odstraňování starých ekologických zátěží způsobených Sovětskou armádou. Ministerstvo životního prostředí [online]. [cit. 2022-02-26]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/zateze_sovetska_armada
- [6] Operační program Životního prostředí [online]. [cit. 2022-02-26]. Dostupné z: <https://www.opzp.cz/>
- [7] Operační program Životní prostředí – prioritní osa 3, oblast podpory 3.4 - Dokončit inventarizaci a odstranit ekologické zátěže. Ministerstvo životního prostředí [online]. [cit. 2022-02-26]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/operacni_program_zp
- [8] SEKM3 [online]. [cit. 2022-02-27]. Dostupné z: <https://www.sekm.cz/portal/>
- [9] Zpráva o životní prostředí České republiky. Cenia [online]. [cit. 2022-03-08]. Dostupné z: <https://www.cenia.cz/wp-content/uploads/2022/03/Zprava2020.pdf>
- [10] Věstník Ministerstva životního prostředí [online]. XXXI. 2021 [cit. 2022-03-08]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/vestnik_mzp_2021/\\$FILE/SOTPR-Vestnik leden_2021-210227.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/vestnik_mzp_2021/$FILE/SOTPR-Vestnik leden_2021-210227.pdf)
- [11] TYLČER, Jiří a Zdenka SZURMANOVÁ. Hodnocení priorit – kategorizace kontaminovaných a potenciálně kontaminovaných míst. Ministerstvo životního prostředí [online]. [cit. 2022-03-08]. Dostupné z:

[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/vestnik_mzp_2021/\\$FILE/SOTPR-Vestnik leden_2021_priloha1-210127.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/vestnik_mzp_2021/$FILE/SOTPR-Vestnik leden_2021_priloha1-210127.pdf)

[12] SIKOROVÁ, Kateřina a Kateřina BLAŽKOVÁ. Analýza dopadů havárií s účastí nebezpečné látky na životní prostředí. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2018. SPBI spektrum, 99. ISBN 978-80-7385-211-5.

[13] Věstník ministerstva životního prostředí [online]. XXI. 2011 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/46861B2409735127C125784E0043418B/\\$file/OVV-Vestnik_3_2011-09032011.pdf](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/46861B2409735127C125784E0043418B/$file/OVV-Vestnik_3_2011-09032011.pdf)

[14] Počet lokalit starých ekologických zátěží v SEKM. In: ISSaR: Informační systém statistiky a reportingu v životním prostředí [online]. [cit. 2022-03-08]. Dostupné z: <https://issar.cenia.cz/cr/prumysl-a-energetika/stare-ekologicke-zateze/>

[15] MAJERNÍK, Milan, Naqib DANESHJO a Enayat DANISHJOO. Management of the Remediation of Old Environmental Burdens: Acces la Success. Calitatea [online]. 2019, svazek 20, č. 173, s. 111-115. [cit. 2022-04-05]. ISSN 15822559. Dostupné z: <https://www.proquest.com/docview/2317014202?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true#center>

[16] Staré ekologické zátěže. Enviweb [online]. 31. 5. 2012 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://www.enviweb.cz/91587>

[17] KUBAL, M., J. BURKHARD a M. BŘEZINA. Dekontaminační technologie [online]. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Fakulta technologie ochrany prostředí, Ústav chemie ochrany prostředí, 2002 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://old.vscht.cz/uchop/CDmartin/index.html>

[18] Slovník důležitých pojmů. In: Geovědy [online]. [cit. 2022-05-25]. Dostupné z: https://www.geovedy.cz/cs/files/hydrogeologicke_pojmy.pdf

[19] In: Technická univerzita Ostrava: Katedra geologického inženýrství [online]. [cit. 2022-04-5]. Dostupné z: http://geologie.vsb.cz/geomorfologie/prednasky/9_kapitola.htm

[20] Kolektiv autorů. Kompendium sanačních technologií. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, 2006. ISBN 80-86832-15-5.

[21] Technika ventingu v uspořádání in-situ. In: Dekontaminační technologie [online]. [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://old.vscht.cz/uchop/CDmartin/8-nejcasteji/8-1-1big.gif>

- [22] Bioremediace in-situ. In: Dekontaminační technologie [online]. [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: <https://old.vscht.cz/uchop/CDmartin/8-nejcasteji/8-3-2big.gif>
- [23] Promývání zemin. In: Dekontaminační technologie [online]. [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: <https://old.vscht.cz/uchop/CDmartin/8-nejcasteji/8-4-1big.gif>
- [24] Zjednodušené schéma praní zeminy. In: Dekontaminační technologie [online]. [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: <https://old.vscht.cz/uchop/CDmartin/8-nejcasteji/8-4-2big.gif>
- [25] Mikrobní ekologie. In: Univerzita J. E. Purkyně: Fakulta životního prostředí [online]. [cit. 2022-05-26]. Dostupné z: <http://fzp.ujep.cz/~trogl/8Ekologie.pdf>
- [26] Biologické metody zpracování odpadu [online]. VŠB-TU Ostrava [cit. 2022-05-26]. Dostupné z: <http://hgf10.vsb.cz/546/bmzo/pages/Biodegradace.html>
- [27] Půda: Kontaminace půdy. EAGRI [online]. [cit. 2022-05-26]. Dostupné z: <https://eagri.cz/public/web/mze/puda/ochrana-pudy-a-krajiny/degradace-pud/kontaminace-pudy/>
- [28] KALÁČ, Pavel. Chemie životního prostředí [online]. 2., dopl. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, 2010 [cit. 2022-05-26]. ISBN 978-80-7394-232-8. Dostupné z: http://kch.zf.jcu.cz/vyuka/download/chemie_ziv_prostr.pdf
- [29] Analýza rizik. SEKM [online]. [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: <https://www.sekm.cz/portal/areasource/11765009/documents/11776500901/>
- [30] In: SEKM [online]. [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: https://www.sekm.cz/portal/areasource/11765009/as_regions/11765009001/
- [31] Slepé rameno Labe. SEKM [online]. [cit. 2022-03-25]. Dostupné z: <https://www.sekm.cz/portal/areasource/details/11765009/>
- [32] Ecoprobe 5 Operator's manual, Praha: RS Dynamics, 2004. 76 s.
- [33] <https://mapy.cz>
- [34] Ecoprobe 5 Manuál operátora, Praha: RS Dynamics, 30 s.