

Metodika nepřímého měření kontaminace ropnými látkami pomocí přirozeného stopovače Rn

Zpracovatel:	DEKONTA, a.s., Česká zemědělská univerzita v Praze
Autoři:	Jan Kukačka Radek Červinka Václav Ficař Daniel Kahuda Pavel Pech
Aplikační garant:	Ministerstvo životního prostředí, Odbor environmentálních rizik a ekologických škod - Mgr. Lukáš Čermák
Objednatel:	Ministerstvo životního prostředí
Verze metodiky:	2.0
Datum zpracování:	19.6.2026
Datum aktualizace:	7.9.2026

OBSAH

1. Úvod.....	4
2. Odborný základ metody a princip stopovače Rn	4
3. Podmínky použitelnosti metody a omezení	6
4. Přístrojové a materiálové vybavení	8
4.1. Odběrový set pro půdní vzduch.....	8
4.2. Přístroj pro měření OAR a kontrola správnosti	8
4.3. Pomůcky pro posouzení plynopropustnosti.....	9
5. Návrh průzkumu a přípravná etapa	11
5.1. Shromáždění podkladů o lokalitě a předběžné posouzení vhodnosti lokality	11
5.2. Plán zpracování dat.....	11
6. Terénní postup měření OAR v půdním vzduchu	12
6.1. Vytyčení měřicí sítě a dokumentace měřících bodů	12
6.2. Zřízení bodu a odběr půdního vzduchu	13
6.3. Terénní záznamy	13
6.4. Kontrolní a validační měření	13
7. Zpracování a vyhodnocení dat	14
7.1. Datová struktura a kontrola kvality dat.....	14
7.2. Statistické metody vyhodnocení OAR	16
7.3. Prostorová interpretace a mapové výstupy	17
8. Ověřování výsledků a doporučené navazující kroky	19
8.1. Ověření referenčními metodami	19
8.1.1. Vrtný průzkum a měření výskytu NAPL na hladině podzemní vody	19
8.1.2. Mapování výskytu NAPL pomocí OIP profilování	20
8.2. Monitoring a opakované kampaně	20
9. Související legislativa, normy a metodické dokumenty	21
Použitá literatura	22

Seznam příloh

1. Teoretický základ a případové studie
2. Statistické metody pro vyhodnocení metody nepřímého měření kontaminace ropnými látkami pomocí přirozeného stopovače Rn - Podrobný postup zpracování dat a použití programu RADOIL

Zkratky a jednotky použité v textu

Bq·l ⁻¹	Becquerel na litr
ČGS	Česká geologická služba
ID	Identifikátor (měřicího bodu)
JTSK (S-JTSK)	Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální
k	Plynopropustnost zemin
K	Rozdělovací koeficient (např. mezi vodou, vzduchem a kontaminantem)
kBq·m ⁻³	Kilobecquerel na metr krychlový
k _{em}	Emanační koeficient
m ²	metr čtvereční
NAPL	Non-Aqueous Phase Liquid (volná fáze organických látek na hladině podzemní vody, většinou ropných uhlovodíků)
OAR	Objemová aktivita radonu v kBq·m ⁻³
OIP	Optical Image Profiling (profilování pomocí optické fluorescence)
ppm	Parts per million
QA/QC	Quality Assurance / Quality Control
Rn	Radon
SOP	Standardní operační postup
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
Th	Thorium
U	Uran

1. Úvod

Metodika nepřímého měření kontaminace ropnými látkami pomocí přirozeného stopovače Rn umožňuje vymezení zón možného výskytu volné fáze ropných látek v nesaturované zóně či v blízkosti hladiny podzemní vody. Na základě měření objemové aktivity radonu v půdním vzduchu v geometrické síti lze rekonstruovat kontaminační mrak (izolinie koncentrací daného kontaminantu). Níže popsaná metodika je vhodná pro screening lokalit s předchozí ověřenou kontaminací, pro rychlé vytipování potenciálních hotspotů kontaminace, kam je možné se následně zaměřit pomocí sofistikovanějších metod průzkumu. Jedná se o nepřímou metodu, a tudíž potvrzení vlastní kontaminace je třeba provést přímou metodou stanovení. Tato metodika nenahrazuje detailní průzkum. Výhody této metodiky spočívají především v rychlosti a nízkých nákladech na její provedení.

2. Odborný základ metody a princip stopovače Rn

Vznik a transport radonu

Rn je radioaktivní plyn bez barvy a zápachu, těžší než vzduch, patří mezi vzácné plyny. Vyskytuje se ve třech izotopech:

- ^{219}Rn – aktinon ($T^{1/2} = 3,92$ s, rozpadová řada ^{235}U)
- ^{220}Rn – thoron ($T^{1/2} = 55,3$ s, rozpadová řada ^{232}Th)
- ^{222}Rn – radon ($T^{1/2} = 3,82$ dne, rozpadová řada ^{238}U)

Radon je zdrojem záření alfa, které má významné ionizační účinky.

Základním zdrojem radonu je uran přítomný v podložních horninách (průměrná koncentrace U je 2–3 ppm). Zvýšené objemové aktivity radonu se často vyskytují v podloží tvořeném zvětralými granitoidy, zvětralými vulkanity a některými břidlicemi. Nízké koncentrace radonu jsou v půdách většiny sedimentů. Výjimky tvoří uranové mineralizace v sedimentech. Určitým zdrojem radonu je i podzemní voda ($0\text{--}X00\text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}\text{ }^{222}\text{Rn}$), nicméně koncentrace radioaktivních prvků v podzemních vodách jsou ve srovnání s horninami o tři až čtyři řády nižší (2).

Proces uvolňování radioaktivního plynu radonu z horninového prostředí do půdního vzduchu se nazývá emanace. Intenzita emanace závisí na tzv. emanačním koeficientu (k_{em}), který je definován jako poměr počtu atomů radonu uvolněných do pórového prostoru k celkovému počtu atomů radonu vzniklých v daném objemu materiálu za jednotku času. Hodnota k_{em} roste s teplotou horniny, stupněm oxidace, dekompozicí minerálů a klesající velikostí minerálních zrn. Závisí rovněž na nasycení zdrojové horniny vodou. Bezrozměrný koeficient k_{em} se pohybuje v řádu setin (pískovce, vápence) až desetin (uranové rudy) (2).

Základní transportní procesy radonu v půdě jsou difúze a konvekce. Vliv na migraci radonu má plynopropustnost zemin, tektonické porušení hornin, meteorologické parametry a vegetační pokryv. Vzdálenosti transportu radonu v půdě souvisí s typem transportního mechanismu. Během své průměrné délky života může atom radonu v relativně suché, propustné půdě cestovat molekulární difúzí dále než jeden nebo dva metry ze svého zdroje. Během stejného časového úseku může atom radonu překonat vzdálenost desítek metrů při přenosu konvekcí (5).

Koncentrace radonu v půdním vzduchu (měřena jako tzv. objemová aktivita radonu – OAR) jsou rovněž ovlivněny meteorologickými jevy (vlhkost, tlak, teplota, vítr). Zjednodušeně lze říci, že kromě vlhkosti je zde nepřímá závislost mezi ostatními jevy a koncentrací radonu v půdním

vzduchu. V případě srážek, které ovlivňují vlhkost/míru saturace pórů horninového prostředí, dochází ke zvýšení koncentrací radonu v půdním vzduchu (při saturaci okolo 15-20 % jsou zrna horninového prostředí obalena vodním filmem a radon se drží více v pórovém prostoru vyplněném vzduchem). Obecně s určitým zpožděním bývají vysoké OAR naměřeny vždy po vyšších srážkách.

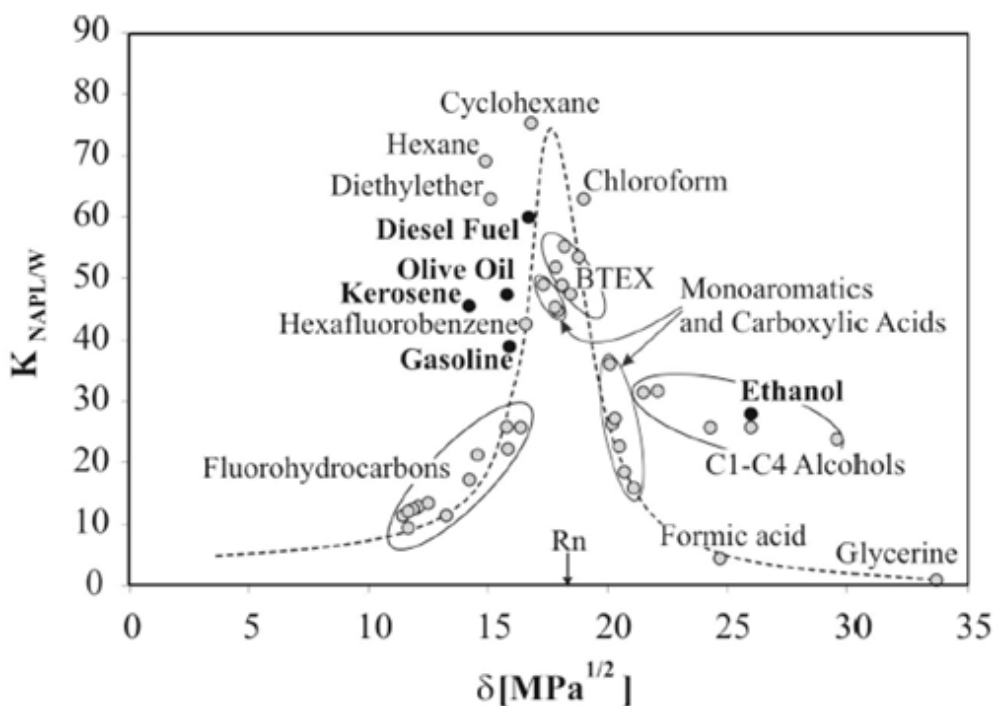
Princip metody

Využití stanovení OAR v půdním vzduchu pro průzkum kontaminovaných lokalit ropnými látkami (zejména benzín, motorová nafta, letecký petrolej) spočívá na faktu, že rozdělovací koeficient (K) pro radon je významně vyšší vůči ropným látkám než vůči vodě či vzduchu:

- $K_{\text{motorová nafta/voda}} \sim 60$ (při 15 °C)
- $K_{\text{motorová nafta/půdní vzduch}} \sim 10$ (při 15 °C)
- $K_{\text{voda/půdní vzduch}} \sim 0,30$ (při 15 °C)

Tím pádem dochází v blízkém okolí a nad kontaminačním mrakem k úměrnému snížení OAR v půdním vzduchu. Toto snížení je tím větší, čím více jsou póry zeminy vyplněné ropnými látkami. Ve srovnání s okolním průměrným pozadím objemové aktivity radonu v půdním vzduchu lze s pomocí naměřených dat rekonstruovat kontaminační mrak (izolinie koncentrací daného kontaminantu) v inverzní podobě.

Z teoretického základu (4) je možné odvodit i minimální podíl kontaminantu v pórovém prostoru (cca 6 %), který již měřitelným způsobem ovlivňuje koncentraci radonu v půdním vzduchu (cca 30 % rozdíl mezi OAR naměřenou nad kontaminací a okolním pozadím). Nicméně z praktických měření se ukazuje, že deficit radonu je měřitelný spíše nad souvislou fází kontaminantu než nad nespojitou kontaminací. Typ kontaminantu rovněž ovlivňuje rozdělovací koeficient pro radon (viz Obrázek 1).



Obrázek 1 Rozdělovací koeficient pro radon mezi kontaminant (NAPL) a vodu (4)

Výstup a použitelnost metody

V případě České republiky jsou data o měření radonu v půdním vzduchu shromažďována SÚJB a vizualizována v interaktivních mapách ČGS – Komplexní radonová informace (<https://mapy.geology.cz/radon/>). Zde je možné získat představu o převažujícím radonovém indexu na konkrétní lokalitě a přibližně jaké koncentrace OAR lze očekávat. Zde je nutno pamatovat, že do výpočtu radonového indexu pozemku vstupuje ještě plynopropustnost zemin. Koncentrace OAR mohou nabývat širokého rozmezí, přibližně následovně:

- Nízký radonový index, typické naměřené hodnoty $1 - 20 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-3}$
- Střední radonový index, typické naměřené hodnoty $10 - 80 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-3}$
- Vysoký radonový index, typické naměřené hodnoty $50 - 300 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-3}$

V případě vyšších požadových hodnot (střední a vysoký radonový index) lze obecně očekávat lepší výsledky/rozdíly naměřených hodnot OAR nad kontaminačním mrakem a pozadím ale rovněž vyšší variabilitu naměřených hodnot. V případě nízkých požadových hodnot (nízký radonový index) bude situace opačná, tedy menší rozlišovací schopnost, rovněž však menší variabilita naměřených hodnot.

Jak již bylo řečeno v úvodu, metodika je vhodná zejména pro screening lokalit s předchozí ověřenou kontaminací, pro rychlé vytipování potenciálních hotspotů kontaminace, kam je možné se následně zaměřit se sofistikovanějšími metodami průzkumu. Jedná se o nepřímou metodu, a tudíž potvrzení vlastní kontaminace je třeba provést přímou metodou stanovení. Tato metodika nenahrazuje detailní průzkum. Výhody této metodiky spočívají především v rychlosti a nízkých nákladech na její provedení.

3. Podmínky použitelnosti metody a omezení

Pro praktické nasazení musí být splněny minimální podmínky lokality a měřicí kampaně, aby byla zachována reprezentativnost a interpretovatelnost výsledků.

Následuje popis klíčových požadavků na posouzení vhodnosti lokality pro aplikaci metody:

Minimální rozsah měření

Doporučený minimální počet měřících bodů na jedné lokalitě, kde bude monitorován výskyt ropné fáze, je min. 40 měřících bodů. Tento počet vychází z provedených pilotních měření v rámci výzkumného projektu „Měření radonu v půdním vzduchu jako indikátor výskytu kontaminace ropnými látkami“ (1) a představuje takový počet měřících bodů, při kterém je variabilita naměřených hodnot OAR na přijatelné úrovni.

Dále je doporučeno dodržovat síť měřících bodů pro měření OAR $10 \times 10 \text{ m}$, což odpovídá doporučení v metodice SÚJB pro stanovení radonového indexu pozemků (6). Při dodržení výše uvedených doporučení vychází minimální velikost plochy pozemku, který má být předmětem měření, 2800 m^2 (například $70 \times 40 \text{ m}$, v rastru $10 \times 10 \text{ m}$).

Síť měření $10 \times 10 \text{ m}$ je možné zahustit, čímž dojde ke zvýšení počtu měřících bodů, což vede ke zvýšení přesnosti výsledků.

Geologická heterogenita a litologické změny

Heterogenita (např. střídání štěrkopísků s jílovými vložkami, nehomogenita navážek) zvyšuje variabilitu a vede k problémům s interpretací. Pokud je v ploše očekávaná zásadní litologická změna ovlivňující plynopropustnost, je nutné buď území dělit na homogennější celky (musí být zachována podmínka minimálního rozsahu měření – viz výše), nebo uvádět vyšší nejistotu a výsledky ověřovat jinou metodou.

Hodnoty aktivity radonu přírodního pozadí

U lokalit s hodnotami aktivity radonu do $10 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-3}$ je potřeba měření provádět dostatečně citlivými přístroji. Při použití přístrojů, které se v ČR běžně používají pro stanovení radonového indexu (například měřicí systém RM-2, rozsah měření $3 - 1200 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-3}$), je doporučeno tuto metodu na lokalitách do $10 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-3}$ neaplikovat.

Antropogenní zdroje radonu

V případě výskytu antropogenních navážek na měřené lokalitě je nutné zhodnotit, zda tyto materiály nemohou být sekundárním zdrojem radonu (např. strusky, elektrárenské popílký). Takové lokality jsou z hlediska aplikovatelnosti metody nevhodné.

Plynopropustnost zemin

Dostatečná plynopropustnost zemin je zásadní jak pro proveditelnost samotného odběru, tak pro dosažení přijatelné variability naměřených hodnot OAR. Lokalita vhodná pro použití metody má **střední nebo vysokou plynopropustnost zemin**. Před vlastním měřením OAR je nutné provést posouzení plynopropustnosti zemin na lokalitě dle doporučení v metodice SÚJB pro stanovení radonového indexu pozemků (6), tzn. subjektivně dle odporu sání, posouzením zastoupení jemné frakce zemin, která je pro střední nebo vysokou plynopropustnost $f < 65\%$, nebo pomocí přístroje Radon JOK, kdy koeficient plynopropustnosti musí být $K > 4 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$ (6)(3). Při převažující nízké plynopropustnosti není možné metodu indikovat jako vhodnou pro danou lokalitu.

Charakter výskytu volné fáze ropných uhlovodíků

Lokality se souvislým a plošně dostatečně velkým výskytem volné fáze (tzv. NAPL) jsou pro metodu jednoznačně vhodnější než lokality s nesouvislým a prostorově omezeným výskytem. Tam, kde se ropná fáze nevyskytuje nebo je jen izolovaná/nesouvislá, může být interpretace pomocí poklesu OAR nepřesná či zavádějící.

Odběrová hloubka a rizika mělčích odběrů

Při volbě odběrové hloubky je potřeba vždy preferovat hloubku 0,8 m pod terénem a ve všech měřicích bodech tuto hloubku dodržet, stejně tak zajistit stejný objem odebraného vzduchu. Odběrová hloubka 0,5 m pod terénem, která se připouští v případě stanovení radonového indexu pozemku (6), je pro aplikaci této metody nevhodná, neboť v této hloubce nelze 100% zajistit těsnost odběrového systému a zajistit tak jednotné podmínky v celé měřicí síti.

4. Přístrojové a materiálové vybavení

4.1. Odběrový set pro půdní vzduch

Odběr půdního vzduchu se provádí standardizovaným postupem pomocí maloprůměrových odběrových tyčí (12/2 mm) délky (1100 mm), které jsou zaráženy s nasazeným ztraceným hrotem do země pomocí vhodného nástavce a kladiva. Po zarážení do vhodné hloubky se prorážecím drátem vyfukne ztracený hrot a pomocí velkoobjemové injekční stříkačky (např. Janette 150 ml) se přes gumovou trubičku a jednoduchý filtr (např. malý palivový filtr) nasaje půdní vzduch (Obrázek 2). První nasátý objem se nepoužívá (jedná se o směs původního vzduchu v odběrové tyči a půdního vzduchu), ale až druhý s tím, že se mezi odběry gumová trubička zaškrtní. Po odběru je odběrová tyč vytažena ručním či pákovým vytahovákem. Ztracený hrot již dle svého názvu zůstává v zemině.



Obrázek 2 Měřicí systém RM-2, odběrové tyče, podtlaková pumpička, velkoobjemová stříkačka, filtr a gumového napojení (vlevo), detail velkoobjemové stříkačky, filtru a gumového napojení na odběrovou tyč (vpravo)

4.2. Přístroj pro měření OAR a kontrola správnosti

Objemová aktivita radonu se určuje měřením radioaktivity vzorků půdního vzduchu odebraných v hloubce 0,8 m a v souladu s platnou normou ČSN EN ISO 80000-10 se značí symbolem c_A (7). Udává se v jednotkách $\text{kBq} \cdot \text{m}^{-3}$ s přesností na jedno desetinné místo (6).

Pro vlastní měření radonu lze využít několik typů přístrojů založených na odlišných fyzikálních principech. Jako nejvhodnější pro tuto aplikaci se doporučují zejména in-situ měřicí přístroje s okamžitou odezvou (Obrázek 3):

- Scintilační komory (Lucasovy komory, např. NuRADON SOIL)
- Ionizační komory (např. měřicí systém RM-2)
- Přístroje s polovodičovými Si detektory (metoda alfa spektrometrie, např. AlphaGuard)

Postup měření se liší dle použitého přístroje a je třeba postupovat dle návodu k danému přístroji. Obecně se převede objem půdního vzduchu z velkoobjemové stříkačky do měřicí komory či přístroje a provede se měření. Pro vyloučení vlivu thoronu je často aplikována časová prodleva,

viz níže. Výhodou in-situ měřících přístrojů je okamžitá informace ohledně OAR. Lze tak upravit další postup měření (hloubku odběru půdního vzduchu, znovu přeměřit bod apod.).

Při použití scintilačních či ionizačních komor je třeba kontrolovat jejich pozadí a zamezit tak použití komor kontaminovaných přeměnovými produkty radonu. Pozadí detekčních komor musí být nižší než 1/10 odezvy při měření vzorku půdního vzduchu. Minimální detekovatelná aktivita musí být menší než $1 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-3}$. Thorium přítomné v zeminách a horninách generuje thoron (^{220}Rn), zdroj záření alfa, jehož objemová aktivita v půdním vzduchu je stejného řádu jako objemová aktivita radonu. Poločas přeměny thoronu je velmi krátký – 55,6 s. Při stanovení objemové aktivity radonu provedeném v krátkém časovém intervalu po odběru vzorků půdního vzduchu je nezbytné použít postupy zpracování měřených veličin, které vliv thoronu na výsledné hodnoty objemové aktivity radonu vyloučí. Obvyklý postup vyloučení vlivu thoronu je časová prodleva mezi odběrem vzorku půdního vzduchu a začátkem měření, během které se thoron přemění (6).

Měřidla objemové aktivity radonu používaná pro měření radonového indexu pozemku jsou stanovenými měřidly podle zákona č. 505/1990 Sb., o metrologii, ve znění pozdějších předpisů. Ověřování měřidel provádí Autorizované metrologické středisko pro měřidla objemové aktivity radonu a ekvivalentní objemové aktivity radonu při Státním ústavu jaderné, chemické a biologické ochrany, v.v.i. v Kamenné u Příbrami (6). Nicméně i pro aplikaci této metodiky se doporučuje používat pouze ověřená měřidla.



Obrázek 3 NuRADON SOIL – nuviatech-instruments.com (vlevo), měřící systém RM-2 – Dr. Froňka distributor RADON v.o.s. (uprostřed), AlphaGuard – bertin-technologies.com (vpravo)

4.3. Pomůcky pro posouzení plynopropustnosti

Posouzení plynopropustnosti zemin v rámci této metodiky vede k určení, zda je lokalita vhodná (střední a vysoká plynopropustnost) pro měření, či nikoliv (nízká plynopropustnost). Zároveň dává představu o homogenitě měřené lokality, a tedy i o distribuci radonu v půdním vzduchu. Plynopropustnost hornin a zemin (k) se vyjadřuje objemem plynu prošlým jednotkou plochy zeminy kolmé na směr pohybu plynu za jednotku času při definovaném tlaku plynu. Přístroje pro měření plynopropustnosti zemin pracují na principu měření průtoku vzduchu při jeho vysávání ze zeminy nebo při jeho vtlačení do zeminy za použití stálého a přesně definovaného tlakového rozdílu.

Prvním způsobem je orientační a subjektivní hodnocení odporu sání velkoobjemové stříkačky při nasávání půdního vzduchu z odběrových tyčí. Klasifikujeme ho ve třech stupních 1 – bez odporu, 2 – odpor slabý, 3 – s odporem. Ze všech bodů/stupňů odporu se následně spočte průměr.

Druhý způsob je přímé in situ měření, kdy se plynopropustnost zemin stanovuje ve stejné hloubce jako odběr vzorků půdního vzduchu pro měření OAR. Používají se zpravidla shodné technické prostředky jako při odběrech vzorků půdního vzduchu (duté zarážené tyče malého průměru se ztraceným hrotem). Vnitřní povrch dutiny, která vzniká vyražením volného hrotu, je pro každý měřicí systém přesně definován a odpovídá „geometrickému faktoru“ systému. Při přímém měření plynopropustnosti není dovoleno zvětšovat měřicí prostor v zemině. Pro přímé měření plynopropustnosti zemin je principiálně možné využít jakýkoli přístroj určený pro tento účel. Vzhledem k problematickému stanovení tzv. „geometrického faktoru“ při tomto měření, opravám na volný průtok vzduchu tyčí a přístrojem, které jsou pro každý přístroj specifické, a vzhledem k tomu, že není zavedena kalibrace přístrojů a standardizace měření plynopropustnosti, je nutno hodnoty plynopropustnosti zemin měřené jinými přístroji než v ČR převážně užívaným plynopropustoměrem RADON-JOK (viz Obrázek 4) na tento přístroj navázat (6).

Při hodnocení naměřených hodnot plynopropustnosti je možné vycházet z *Tabulka 1*.

Tabulka 1 Vyhodnocení plynopropustnosti zemin

Měření plynopropustnosti (k)	Subjektivní odpor sání (průměr ze všech bodů)
Vysoká plynopropustnost $k > 4,0 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$	Průměr ze všech bodů se pohybuje mezi hodnotami 1-2 včetně
Střední plynopropustnost $4,0 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2 > k > 4,0 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$	
Nízká plynopropustnost $k < 4,0 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$	Průměr ze všech bodů se pohybuje mezi hodnotami 2-3



Obrázek 4 Měření plynopropustnosti zemin pomocí měřicího přístroje RADON-JOK

5. Návrh průzkumu a přípravná etapa

5.1. Shromáždění podkladů o lokalitě a předběžné posouzení vhodnosti lokality

Doporučený minimální soubor podkladů:

- Dosavadní průzkumné a sanační zprávy obsahující informace o zdrojových oblastech kontaminace, směru šíření, výsledky laboratorních analýz.
- Dostupná data o výskytu volné fáze ropných látek (měření mocnosti fáze na hladině podzemní vody, výsledky geofyzikálního průzkumu nebo jiné specificky zaměřené průzkumné práce).
- Geologické a hydrogeologické informace pro posouzení homogenity a informace, z nichž lze odvodit očekávané plynopropustnosti zemin (litologické profily, riziko výrazných litologických přechodů, apod.)
- Interaktivní mapy ČGS – Komplexní radonová informace (<https://mapy.geology.cz/radon/>)

Ještě před vytyčením měřicí sítě se doporučuje udělat předběžný průzkum, zda lokalita splní minimální předpoklady:

- Volba vhodné metody pro stanovení plynopropustnosti zemin a ověření převažující plynopropustnosti na lokalitě
- Aktivita radonu přírodního pozadí je větší než $10 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-3}$
- Nepřítomnost antropogenních zdrojů radonu na lokalitě
- Pokud to podmínky dovolují tak ověřit souvislost zóny volné fáze na hladině podzemní vody
- Ověřit dostatečnou plochu území (min. cca 2800 m^2) a dostupnost území pro rozmístění bodů v síti $10 \times 10 \text{ m}$, případně podrobnější.
- Ověřit možnost realizovat jednotnou odběrovou hloubku (primárně 80 cm, alternativně 50 cm) a dosáhnout požadovaného počtu bodů (minimálně 40)

5.2. Plán zpracování dat

Je doporučeno v rámci vyhodnocení průzkumných prací pomocí navrhované metodiky dodržovat standardní operační postupy (SOP) pro zpracování naměřených dat platné v rámci příslušné řešitelské organizace.

Kromě interních SOP jsou doporučeny následující postupy:

- Záznam změřené OAR v měřicím bodu musí obsahovat minimálně: ID bodu, souřadnice X a Y, hodnotu OAR v $\text{kBq} \cdot \text{m}^{-3}$
- Označení bodu - ID bodu musí být unikátní a musí mít jasná pravidla pro opakované kampaně (značení opakovaných měření stejných bodů, záznam případného posunu bodu, apod.)
- Další doporučené záznamy ke každému měřicímu bodu: informace odporu sání při odběru půdního vzduchu, nebo změřená plynopropustnost zemin v daném bodě, hloubky odběru půdního vzduchu

- Doporučené záznamy k měřené lokalitě: popis povrchu, překážky na povrchu terénu, fotodokumentace, dokumentace klimatických poměrů: teplota, srážky, směr a rychlost větru, oblačnost
- Pro geodetické zaměření měřených bodů zvolit jednotný souřadnicový systém (v ČR se obvykle pracuje s geografickým souřadnicovým systémem JTSK)
- Doporučuje se dodržovat stejný postup dokumentace při opakovaném měření v různých částech roku
- Pokud jsou k dispozici informace o mocnosti volné fáze ropných látek, doporučuje se připravit polygon prostorového ohraničení volné fáze na hladině podzemní vody (také obálka nebo hranice) v JTSK souřadnicích jako referenci pro validaci metody v rámci zpracování výsledků (viz kap. 7)

6. Terénní postup měření OAR v půdním vzduchu

6.1. Vytyčení měřicí sítě a dokumentace měřících bodů

Doporučený postup:

- Pro standardní aplikaci navrhnout síť minimálně v rozsahu umožňujícím ≥ 40 bodů, v síti 10 x 10 m nebo podrobnější, provést vytyčení pomocí vytyčovací kolíků, doporučuje se preferovat pravidelný raster (kvůli statistickému vyhodnocení a jednoduchému zaměření)



Obrázek 5 Příklad vytyčení měřicí sítě v rastru 10 x 10 m (lokalita Vamberk)

- Pokud podklady nebo terén ukazují litologické změny (např. přechod do spraší/jílovitých vložek), doporučuje se území rozdělit na dílčí homogennější celky, které každou zvlášť zkoumáme dle doporučeného postupu pro jednu individuální oblast

Pro následné vyhodnocení je potřebné odběrové body zaměřit v souřadnicovém systému JTSK s přesností do $\pm 0,5$ m, případně zaměřit krajní body, pakliže jsou body rozmístěny v pravidelné čtvercové síti.

6.2. Zřízení bodu a odběr půdního vzduchu

Po vytyčení měřících bodů je možné začít se zarážení dutých odběrových tyčí se ztraceným hrotem do požadované hloubky 0,8 m (musí být stejná pro všechny body). Zarážení probíhá pomocí vhodné násadky a kladiva. Následně se ztracený hrot prorážecím drátem vyťukne a pomocí velkoobjemové stříkačky (např. Janette 150 ml) se přes gumovou trubičku a jednoduchý filtr (např. malý palivový filtr) nasaje půdní vzduch. První nasátý objem se nepoužívá (jedná se o směs původního vzduchu v odběrové tyči a půdního vzduchu), ale až druhý s tím, že se mezi odběry gumová trubička zaškrtní. Důležitým pravidlem je zachovat těsnost odběrové tyče vůči okolní zemině, aby nedocházelo k přísávání atmosférického vzduchu, a tím k ovlivnění výsledků OAR. Pakliže je při nasávání půdního vzduchu znečištěn filtr (např. nasátí jemných částic jílu či písku, nasátí půdní/podzemní vody) je třeba ho vyměnit, stejně tak je třeba kontrolovat těsnost gumových trubiček a velkoobjemových stříkaček. Je-li nemožné nasát celý objem velkoobjemové stříkačky, je nutné zaznamenat objem nasátého půdního vzduchu a zohlednit to při výpočtu OAR. Po odběru je odběrová tyč vytažena ručním či pákovým vytahovákem. Ztracený hrot již dle svého názvu zůstává v zemině.

Následuje měření OAR, kdy se postup měření liší dle použitého přístroje a je třeba postupovat podle návodu k danému přístroji. Nicméně obecně se převede objem půdního vzduchu z velkoobjemové stříkačky do měřicí komory či přístroje a provede se měření. Pro vyloučení vlivu thoronu je často aplikována časová prodleva.

Opakovat měření na stejném bodě je vhodné v případech kdy $OAR < 1 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-3}$ nebo je naopak naměřena extrémně vysoká hodnota, nebo když jsou jakékoli pochybnosti v provedeném postupu měření.

6.3. Terénní záznamy

Nedílnou součástí měření jsou terénní záznamy – polní protokol, který by měl obsahovat položky dle kap. 7.1 a dále položky důležité pro vyhodnocení OAR, které se váží k použitému měřicímu zařízení (např. čas mezi přenosem půdního vzduchu do měřicí komory a jeho změřením). Zároveň by měl obsahovat záznam případů, kdy je odběr obtížný (indikace nižší plynopropustnosti / heterogenity).

6.4. Kontrolní a validační měření

V případě prostorově velkých lokalit, kdy není možné realizovat měření během jednoho dne se doporučuje zvolit nejméně jeden kontrolní bod. Tento kontrolní bod bude zachován po celou dobu měření a každý měřicí den z něho bude odebrán půdní vzduch a změřena OAR. Cílem je porovnat denní variace OAR, které mohou být závislé na meteorologických jevech (zejména významná změna teploty, změna vlhkosti – srážky, významná změna tlaku či síly větru). V případě významného rozdílu mezi hodnotami OAR z jednotlivých dnů (rozdíl vyšší než 30 %) je třeba naměřené hodnoty vyhodnocovat zvlášť pro každý den měření (tj. lokalitu rozdělit na jednodenní měřené plochy).

7. Zpracování a vyhodnocení dat

7.1. Datová struktura a kontrola kvality dat

Základem vyhodnocení je jednotná datová tabulka všech měřicích bodů, získaná z terénního měření, která tvoří **tzv. primární soubor dat**. Data musí být uložena tak, aby bylo možné jednoznačně dohledat původ každé hodnoty OAR. Soubor požadovaných datových záznamů uvádí *Tabulka 2*.

Tabulka 2 Požadavky na datovou strukturu terénních záznamů

Povinné položky	Poznámka / doporučení
ID bodu	Unikátní označení; při opakovaných kampaních zachovat shodná ID nebo uvést vazbu na původní bod.
Souřadnice X, Y (JTSK)	Jednotný souřadnicový systém.
OAR (kBq·m⁻³)	Objemová aktivita radonu v půdním vzduchu
Hloubka odběru (m)	Preferováno 0,8 m při jednotných podmínkách v celé síti 10 x 10 m nebo podrobnější.
Objem měřeného půdního vzduchu (cm³)	Doporučeno dodržovat postup v metodice SÚJB pro stanovení radonového indexu pozemků (6)
Odpor sání / plynopropustnost	Subjektivní charakteristika odběru klasifikující odpor pístu odběrové stříkačky ve třech stupních 1 – bez odporu, 2 – odpor slabý, 3 – s odporem. Alternativně přístrojem Radon-JOK Doporučeno dodržovat postup v metodice SÚJB pro stanovení radonového indexu pozemků (6)
Datum a čas měření	-
Ostatní	Jméno měřiče, popis terénu, např. povrch (navážka/asfalt), překážky, problém s těsností, podezření na přísávání, teplota vzduchu, oblačnost, směr a rychlost větru, apd.

Kontrolu kvality dat je doporučeno provádět průběžně během měření, nejpozději bezprostředně po ukončení měření. Minimální doporučené kroky:

- Kontrola úplnosti: chybějící ID, souřadnice, hloubka nebo OAR. V případě potřeby provést opakované měření.
- Kontrola duplicit: shodné souřadnice, ID bodu – provést kontrolu nebo opakované měření.
- Kontrola extrémních hodnot: v případě naměřené hodnoty $\leq 1 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-3}$ nebo extrémně vysoké hodnoty (o 2 řády a více než jsou ostatní hodnoty) měření opakovat v novém bodě.
- Kontrola odběrové hloubky: vyřadit body, kde nebylo možné dodržet jednotnou hloubku a měření opakovat,

Po kontrole naměřených dat a dalších dat získaných z terénu se vytvoří tzv. **výstupní soubor dat** ve formátu Excel pro navazující statistickou analýzu pomocí programu RADOIL (Příloha 2). Doporučený formát souboru EXCEL pro programové statistické vyhodnocení pomocí programu RADOIL ukazuje *Tabulka 3*. V případě, že je na zkoumané lokalitě známý rozsah NAPL na hladině podzemní vody, programový nástroj pro zpracování naměřených dat umožňuje porovnání identifikované oblasti NAPL se skutečným výskytem NAPL na lokalitě. Pro tyto účely je možné

nahrát do programového nástroje RADOIL (Příloha 2) **druhý výstupní soubor** ve formátu EXCEL, který obsahuje body ohraničení skutečného výskytu NAPL na lokalitě se souřadnicemi X,Y.

Tabulka 3 Výstupní soubor dat s naměřenými OAR ve formátu EXCEL

	A	B	C	D
1	Bod	X	Y	OAR
2	1	-610449,796	-1056476,5	14,5
3	2	-610444,76	-1056482,7	28,0
4	3	-610438,934	-1056490,1	10,2
5	4	-610434,808	-1056496,6	25,1
6	5	-610429,71	-1056503	14,1
7	6	-610425,159	-1056510,7	25,2
8	7	-610420,274	-1056517,6	23,9
9	8	-610412,025	-1056524,8	17,9
10	9	-610408,801	-1056534,9	43,1
11	10	-610404,44	-1056541,4	10,9
12	11	-610396,949	-1056536	40,9
13	12	-610402,259	-1056528,5	23,2
14	13	-610407,474	-1056521,3	38,1
15	14	-610412,973	-1056512,4	29,1

Tabulka 4 Výstupní soubor dat s body ohraničení skutečného výskytu NAPL na lokalitě ve formátu EXCEL

	A	B	C
1	Bod	X	Y
2	1	-610436,75	-1056467,79
3	2	-610441,60	-1056471,01
4	3	-610445,22	-1056474,02
5	4	-610445,79	-1056480,05
6	5	-610443,19	-1056486,04
7	6	-610439,97	-1056489,87
8	7	-610437,16	-1056494,88
9	8	-610433,16	-1056495,90
10	9	-610429,62	-1056492,76
11	10	-610426,93	-1056488,61
12	11	-610423,55	-1056486,61
13	12	-610419,80	-1056487,30
14	13	-610415,16	-1056488,89
15	14	-610411,16	-1056491,38
16	15	-610407,10	-1056495,10
17	16	-610403,63	-1056499,44
18	17	-610400,75	-1056504,08
19	18	-610397,14	-1056509,84
20	19	-610393,68	-1056514,80
21	20	-610390,31	-1056519,58

7.2. Statistické metody vyhodnocení OAR

Statistické vyhodnocení naměřených dat má hlavní cíl - identifikovat body nebo souvislé oblasti s nízkými hodnotami OAR („pokles OAR“), které mohou indikovat přítomnost NAPL.

Na základě výsledků testování v rámci výzkumného projektu RADOIL (1) byly identifikovány následující statistické metody vyhodnocení naměřených dat:

i. *Prahování pomocí percentilů (bodový přístup)*

Nejjednodušší postup vychází z percentilů naměřeného souboru hodnot OAR. Zvolený percentil slouží jako limitní práh pro označení „nízkých“ hodnot. Body s $OAR \leq \text{práh}$ jsou označeny jako anomální a indikují přítomnost NAPL na zkoumané lokalitě. Tento přístup je vhodný pro rychlou orientaci, ale nezohledňuje prostorové souvislosti a může být citlivý na lokální chyby nebo heterogenitu.

ii. *Prostorově kontextové metody (nejbližší sousedé)*

Pro zvýšení robustnosti a zachycení souvislých zón poklesu OAR se využívají metody založené na prostorovém kontextu – kombinují hodnotu v bodě s hodnotami nejbližších sousedů. V projektu RADOIL (1) byly testovány zejména:

- percentily z průměrů „čtverců“ čtyř nejbližších bodů (4 body): pro každý bod se vyberou 4 nejbližší body podle eukleidovské vzdálenosti v rovině (X, Y):

$$d = \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2}$$

Z vybraných bodů se vypočte průměr; průměr se porovná s percentilovým prahem,

- analogické výpočty jako výše popsaná metoda, ale pro 3 nebo 2 nejbližší body (vyšší citlivost na lokální pokles, ale vyšší náchylnost na šum),
- 3 body menší než percentil: v okolí čtyř nejbližších bodů se ověřuje, zda alespoň tři body mají OAR pod stanoveným prahem; pokud ano, celá skupina je označena jako anomální s indikací NAPL.

V rámci snahy nalézt optimální metodu pro vyhodnocování naměřených hodnot OAR pomocí předkládané metodiky byly v rámci řešení projektu RADOIL (1) testovány všechny popsané metody. Byla testována robustnost detekce oblastí NAPL pro jednotlivé metody, aby se zvýšila spolehlivost interpretace výsledků a snížilo riziko chyb způsobených náhodnými výkyvy v datech. Pro vyhodnocení nejvýhodnějších statistických přístupů byly použity pilotní lokality se známým rozsahem NAPL na hladině podzemní vody, aby bylo možné vyhodnocovat správnost statistického vyhodnocení. Pro nalezení optimální vyhodnocovací metody byl vždy hodnocen:

- počet správně určených bodů uvnitř skutečné oblasti výskytu NAPL (správná detekce),
- počet bodů určených příslušnou metodou jako přítomnost NAPL, avšak mimo skutečnou oblast NAPL (falešné detekce),
- počet bodů, které jsou ve skutečné oblasti NAPL, ale metoda je neidentifikovala (falešně negativní detekce).

Jako nejvíce robustní metody pro správnou identifikaci výskytu NAPL na kontaminované lokalitě pomocí měření OAR jsou na základě výsledků projektu RADOIL (1) doporučeny následující statistické metody:

I. Percentily z bodů – 50 percentil

Velmi vysoký počet identifikovaných bodů uvnitř skutečné oblasti NAPL; vhodné pro agresivnější detekci, pokud je akceptovatelná vyšší míra tzv. falešné detekce mimo oblast NAPL (~30–40 %).

II. Percentily z bodů – 20 percentil

Bezpečnější volba s nízkou mírou tzv. falešné detekce; vhodné jako výchozí nastavení při přísnějším prahu.

III. 3 body menší než percentil – 50 percentil

Vysoký rozdíl mezi správně určenými a falešně detekovanými body, tzv. nejlepší kompromis, falešné detekce do 40 %.

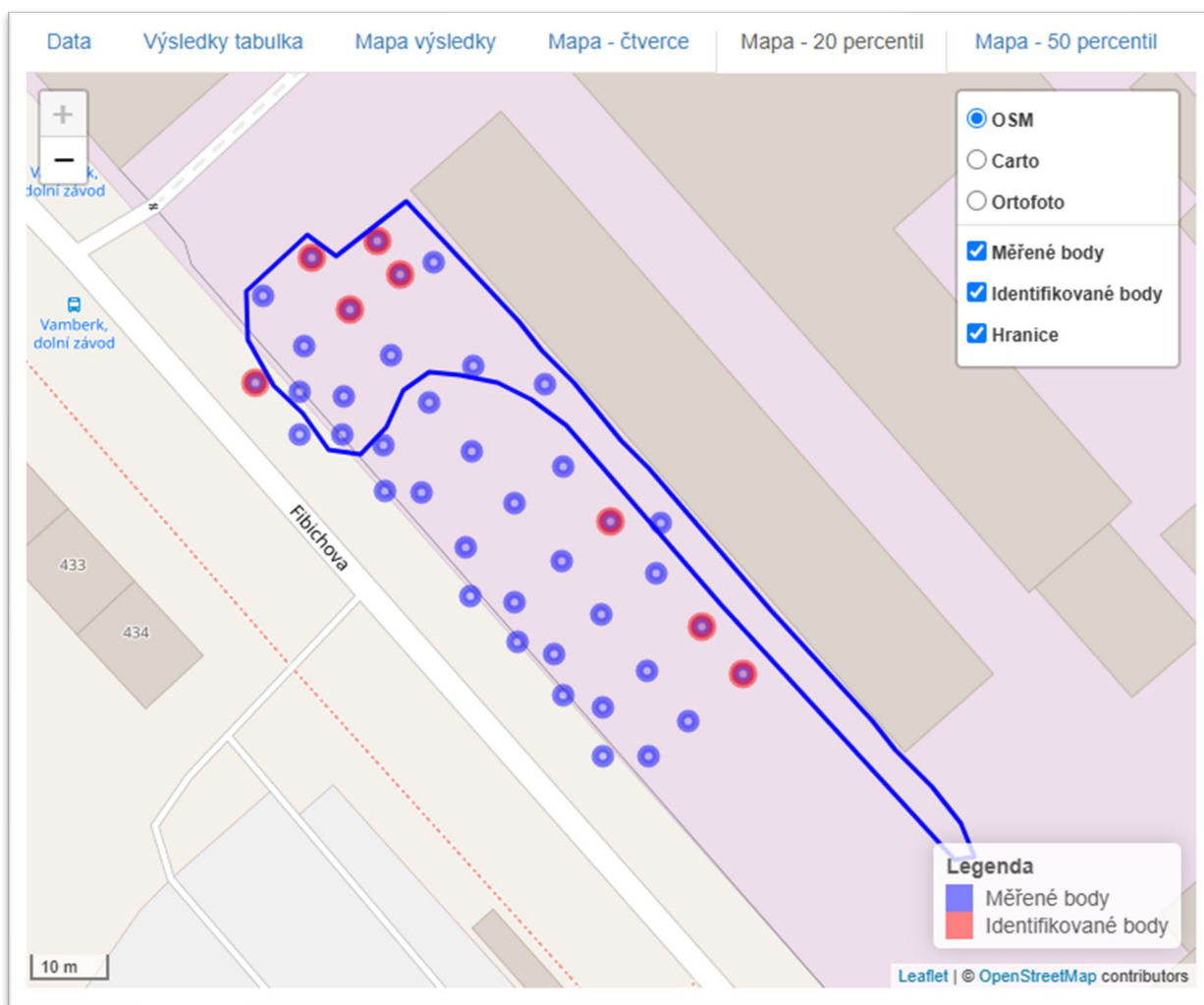
Výše popsané 3 nejlépe vypovídající statistické metody jsou součástí programu RADOIL (Příloha 2) jako hlavní nástroje pro vyhodnocení naměřených OAR při detekci NAPL na kontaminované lokalitě.

7.3. Prostorová interpretace a mapové výstupy

Prostorová interpretace výsledků měření OAR pro indikaci NAPL převádí výsledky bodových a prostorově kontextových analýz do mapových výstupů použitelných pro rozhodování v průzkumu a monitoringu. Každý měřený bod má své unikátní ID a informaci o prostorových souřadnicích X a Y, tudíž je možné výsledky interpretovat v jakémkoliv GIS prostředí.

V rámci výzkumného projektu „Měření radonu v půdním vzduchu jako indikátor výskytu kontaminace ropnými látkami - RADOIL“ (1) byl vytvořen také doprovodný programový nástroj RADOIL pro vyhodnocení naměřených dat, který poskytuje mapový výstup, což je interaktivní mapa s integrovanou podkladovou mapou OpenStreetMap s body OAR, jejich ID, hodnotou OAR a příznakem detekce, možností zapínání/vypínání vrstev a zobrazení polygonu skutečné oblasti NAPL v případě, že je do programu zadána skutečná oblast NAPL jako vstupní soubor. Mapový výstup ukazuje *Obrázek 6*. Součástí výstupu vyhodnocení pomocí programu RADOIL je také tabulkový výstup přehledné statistiky pro každou použitou metodu. Ukázku tabulkového výstupu uvádí *Obrázek 7*.

Program RADOIL není oficiální výstup výzkumného projektu, avšak jako testovací beta verze je na vyžádání zdarma dostupná u autorského kolektivu této metodiky k testování odbornou veřejností. Za případné chyby a nedostatky programového nástroje řešitelská organizace neručí.



Obrázek 6 Mapový výstup programu RADOIL pro lokalitu Vamberk – červené body jsou identifikované body statickou metodou „20 percentil“, modrá oblast představuje oblast skutečného výskytu ropné fáze na lokalitě.

Data	Výsledky tabulka	Mapa výsledky	Mapa - čtverce	Mapa - 20 percentil	Mapa - 50 percentil
Metrika	Čtverce	P20	P50		
Správně uvnitř	11.00	4.00	9.00		
% správně uvnitř	78.57	28.57	64.29		
Falešně mimo	13.00	4.00	11.00		
% falešně mimo	50.00	15.38	42.31		
Neidentifikované	16.00	32.00	20.00		
Neidentifikované uvnitř	3.00	10.00	5.00		

Obrázek 7 Výstupní hodnotící informace programu RADOIL pro 3 statistické metody popsané v kapitole 7.2

8. Ověřování výsledků a doporučené navazující kroky

Za výsledek vyhodnocení měření na kontaminované lokalitě se považuje vymezení zón poklesu OAR a jejich interpretace ve vztahu k pravděpodobnému výskytu volné fáze ropných látek na lokalitě pomocí statistických metod uvedených v kapitole 7. Při interpretaci je nutné vždy zohlednit:

- **plynopropustnost a geologickou homogenitu:** litologické změny mohou vyvolat pokles OAR i bez přítomnosti NAPL; v takových případech je vhodné území dělit na homogenní celky při dodržení podmínek použitelnosti metody uvedených v kapitole 3. nebo výsledky ověřit jinou metodou,
- **jednotnost odběru:** rozdílná odběrová hloubka nebo přísávání vzduchu snižuje přesnost měření,
- **charakter NAPL:** souvislé a plošně významné výskyty se projevují stabilnější a lépe interpretovatelnou zónou poklesu OAR než izolované „ostrůvky“.

8.1. Ověření referenčními metodami

V případě absence informace o skutečném rozsahu výskytu NAPL na lokalitě, je doporučeno provést minimálně jedno referenční měření následujícími metodami:

8.1.1. Vrtný průzkum a měření výskytu NAPL na hladině podzemní vody

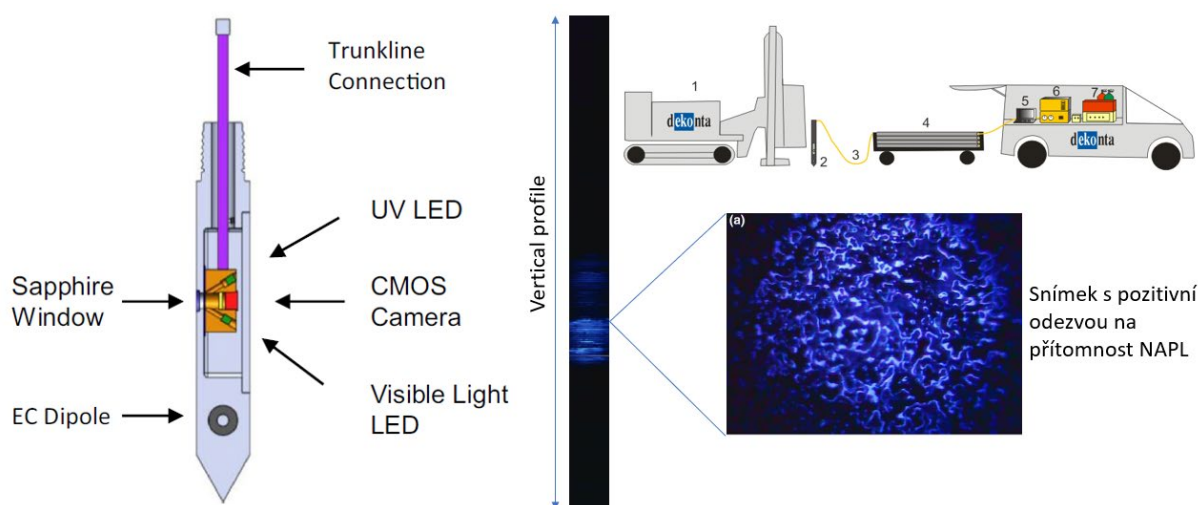
Nejvhodnější metodou pro zjištění skutečného rozsahu výskytu volné fáze ropných látek je provedení úzkoprofilových vrtů ve vhodně zvolené pravidelné síti. Ve vrtech, které mohou být vystrojeny dočasně, se následně provede měření volné fáze ropných látek pomocí akustického hladinoměru a fázoměru (Obrázek 8).



Obrázek 8 Interface meter od firmy Solinst pro měření mocnosti volné fáze ropných uhlovodíků

8.1.2. Mapování výskytu NAPL pomocí OIP profilování

Další možností ověření reálného výskytu volné fáze ropných látek je využití tzv. Metod „Direct sensing“, které umožňuje identifikaci NAPL ropného původu pomocí penetrační vrtné soupravy, na jejímž hrotu je umístěna jak snímací kamera okolního horninového prostředí, tak i zdroj emitující UV světlo. Vrtný hrot se při penetraci pomalu posouvá směrem dolů ve vertikálním profilu a přitom pořizuje snímky odražené fluorescence, která je typická pro ropné látky (typicky modrá barva, Obrázek 9). Průzkum tímto způsobem na lokalitě probíhá v předem připraveném rastru. Tímto způsobem lze relativně rychle a podrobně ověřit přítomnost volné fáze ropných látek a vytyčit velmi přesně plošný a hloubkový rozsah.



Obrázek 9 Princip optického profilování pro účely identifikace NAPL na hladině podzemní vody

8.2. Monitoring a opakované kampaně

Metoda měření objemové aktivity radonu v půdním vzduchu je vhodná pro jednorázové orientační vymezení zón s pravděpodobným výskytem volné fáze ropných látek.

V případě použití v rámci dlouhodobého a opakovaného monitoringu jedné kontaminované lokality je základní podmínkou použitelnosti metody vysoká srovnatelnost jednotlivých monitorovacích kampaní. Opakovaná měření by měla být prováděna ideálně ve stejném roční období, při co nejpodobnější teplotě a za obdobných meteorologických podmínek. Pokud je to možné, neměly by být kampaně realizovány bezprostředně po vydatných srážkách, za sněhové pokrývky nebo v období výrazně odlišné půdní vlhkosti, protože tyto faktory mohou samy o sobě ovlivnit transport půdního plynu a naměřené hodnoty OAR. Stejně tak je nutné dodržet stejnou odběrovou hloubku, stejný typ měřicího přístroje, stejný odběrový postup, stejný objem odebraného půdního vzduchu a pokud možno i shodný rozsah měření a polohu měřicích bodů.

Pro opakované kampaně se doporučuje zachovat identická ID měřicích bodů a jejich souřadnice. Pokud není možné bod z technických důvodů změřit ve zcela shodné poloze, musí být tato skutečnost zaznamenána v terénní dokumentaci včetně velikosti a směru posunu. Vyhodnocení trendu je nejspolehlivější tehdy, pokud jsou porovnávány kampaně provedené ve stejné síti bodů a za použití shodného způsobu statistického zpracování (viz. kapitola 7). Změna použitého

percentilového prahu nebo jiné statistické metody mezi kampaněmi je nepřipustná, protože by znemožnila přímé porovnání výsledků.

V rámci dlouhodobého opakovaného monitoringu je doporučeno vyhodnocovat jak změny jednotlivých bodových hodnot OAR, tak změny rozsahu a polohy souvislých zón poklesu OAR. Pokles hodnot OAR ve stejné části lokality ve více po sobě následujících kampaních může indikovat nárůst množství volné ropné fáze nebo zvýšení její souvislosti. Naopak zmenšování plochy s nízkými hodnotami OAR nebo návrat hodnot k úrovni okolního pozadí může svědčit o úbytku volné fáze, například vlivem přirozeného úbytku nebo probíhající sanace. Posun polohy anomální zóny v čase může být interpretován jako migrace kontaminačního mraku či změna polohy akumulace volné fáze. Taková interpretace však musí být vždy posouzena s ohledem na hydrogeologické poměry lokality, směr proudění podzemní vody, plynopropustnost zemin a případné změny povrchových podmínek.

Výsledky opakovaných kampaní a dlouhodobého monitoringu je vhodné, zejména při zjištění výraznější změny trendu, ověřit dalšími dostupnými informacemi o lokalitě, například přímými ověřovacími metodami (viz. kapitola 8.1).

9. Související legislativa, normy a metodické dokumenty

Tato metodika se pohybuje na pomezí průzkumu kontaminovaných míst, ochrany podzemních a povrchových vod, nakládání se závadnými látkami, geologických prací a radiační ochrany při práci s přirozeně se vyskytujícím radonem v půdním vzduchu. Při jejím použití je proto nezbytné vycházet nejen z technického postupu uvedeného v této metodice, ale také z aktuálně platných právních předpisů a metodických dokumentů.

Významnou skupinu tvoří předpisy upravující geologické a průzkumné práce. To se týká zejména situací, kdy metoda slouží jako podklad pro průzkum kontaminovaného území, vymezení ohniska znečištění, návrh sanačního zásahu nebo monitoring. Je-li měření součástí geologického průzkumu nebo sanační geologie, musí být respektovány následující předpisy a metodiky:

- Zákon č. 62/1988 Sb., o geologických pracích, včetně požadavků na odbornou způsobilost, dokumentaci prací a archivaci výsledků,
- Vyhláška č. 369/2004 Sb., o projektování, provádění a vyhodnocování geologických prací,
- Metodický pokyn MŽP pro průzkum kontaminovaného území (Věstník MŽP č. 9/2005),
- Metodický pokyn MŽP Vzorkování v sanační geologii (Věstník MŽP č. 2/2007, příloha 2).

Přestože zde popsaná metoda nepracuje s umělými zdroji ionizujícího záření, využívá měření radonu jako přirozeného stopovače, a je proto vhodné respektovat terminologii, zásady správného měření a obecné požadavky na odbornou způsobilost používané v oblasti radonového průzkumu. Z praktického hlediska je žádoucí, aby terénní měření a interpretace dat prováděla osoba s odpovídající zkušeností s měřením objemové aktivity radonu v půdním vzduchu, případně osoba se způsobilostí odpovídající činností podle požadavků SÚJB. Pro oblast radiační ochrany jsou relevantní zejména následující předpisy a metodiky:

- Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon,
- Vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje,
- Doporučení SÚJB: Stanovení radonového indexu pozemku

Vedle právních předpisů jsou pro praktické použití metodiky vhodné kromě výše zmíněných další metodické dokumenty Ministerstva životního prostředí vztahující se ke kontaminovaným místům:

- Metodický pokyn MŽP Analýza rizik kontaminovaného území (Věstník MŽP č. 3/2011),
- Metodický pokyn MŽP Zásady zpracování studie proveditelnosti opatření pro nápravu závadného stavu kontaminovaných lokalit (2007),
- Metodický pokyn MŽP pro práci se systémem SEKM (2021).

Tyto dokumenty stanovují požadovanou strukturu průzkumných a hodnoticích zpráv, způsob formulace závěrů a vazbu mezi průzkumem, vyhodnocením rizik a rozhodováním o dalším postupu. Metoda nepřímého měření pomocí radonu by proto měla být v dokumentaci lokality vždy prezentována jako jedna z průzkumných linií důkazů, nikoliv jako samostatný a jediný podklad pro definitivní rozhodnutí o rozsahu kontaminace nebo o ukončení sanace.

Vzhledem k tomu, že právní předpisy i metodické dokumenty mohou být novelizovány, je nutné při každé konkrétní aplikaci této metodiky ověřit jejich aktuální znění.

Použitá literatura

- (1) Kukačka, J., Červinka, R. (2026): Měření radonu v půdním vzduchu jako indikátor výskytu kontaminace ropnými látkami (RADOIL, SS07010398), Odborná zpráva o řešení projektu, 12.1.2026.
- (2) Matolín, M. (2011): Stanovení radonového indexu pozemků (učební texty), Univerzita Karlova, Praha
- (3) Radon v.o.s.: Přístroj k měření plynopropustnosti zemin a hornin in-situ RADON-JOK, technická dokumentace.
- (4) Schubert M. (2015): Using radon as environmental tracer for the assessment of subsurface Non-Aqueous Phase Liquid (NAPL) contamination – A review. Eur. Phys. J. Special Topics 224, 717–730, DOI: 10.1140/epjst/e2015-02402-3.
- (5) Schumann, R. R., Owen, D. E., Asher-Bolinder, S. (1988): Weather factors affecting soil-gas radon concentrations at a single site in the semiarid western U. S., U. S. Geological Survey Open file report, Denver, Colorado, 80225-0046, s. 3-6
- (6) SÚJB (2004): Metodika pro stanovení radonového indexu pozemků, Státní úřad pro jadernou bezpečnost, Praha, 2004.
- (7) ČSN EN ISO 80000-10: Veličiny a jednotky - Část 10: Atomová a jaderná fyzika