

Železničné prevádzky – špecifický typ environmentálnych záťaží

Mgr. Juraj Macek, PhD.

Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra geochémie, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava

Úvod

Železničná doprava bola v minulosti v Československu preferovaným spôsobom prepravy dôležitých surovín. V 50. rokoch 20. storočia boli vo veľkých objemoch prepravované suroviny ako uhlie, železo a ropa, ktoré sa znížili až s rozvojom cestnej dopravy v 70. rokoch. Železničná doprava však ostala jedným z významných spôsobov prepravy surovín, výrobkov a osôb. Železnice Slovenskej republiky v súčasnosti spravujú približne 3600 km tratí, z ktorých je približne 1600 km elektrifikovaných. Elektrifikované sú hlavné trate, na ktorých sú realizované najväčšie objemy prepravy (Bratislava – Žilina – Košice; Bratislava – Levice – Banská Bystrica). Na tratiach bez elektrifikácie sú prepravné výkony zabezpečované nezávislou trakciou (dieselovými lokomotívami). Využívanie dieselových hnacích koľajových vozidiel so sebou však prináša aj isté riziká pre zložky životného prostredia. Vyplývajú z nutnosti prevádzky servisných okruhov, zabezpečujúcich najmä dodávku pohonných hmôt (čerpacie stanice s nádržami a výtajnými miestami) ako aj mazív (olejové hospodárstva) a ďalších prostriedkov údržby. Objemy nebezpečných látok, s ktorými sa v železničných prevádzkach narába, boli a sú veľké (tisíce resp. desiatky tisíc litrov, Obrázok 1). Objem naftového hospodárstva (nádrží na palivo) bežnej dieselovej lokomotívy je približne 4000 l, objem olejového hospodárstva približne 600 l. Na lokalitách boli využívané nádrže na naftu s objemom do 100 m³. Technické opatrenia na obmedzenie nežiadúcich únikov sú v súčasnosti na dostatočnej úrovni (napr. používanie dvojplášťových nádrží na naftu), avšak v minulosti boli na výrazne nižšej úrovni. Pri prechode z parnej trakcie na dieselovú, ktorá sa uskutočnila od 60. rokov 20. storočia, boli v existujúcich staniciach a depách vybudované potrebné nové objekty, resp. boli vybudované celé nové depá. Ich súčasťou boli nádrže na naftu a oleje, manipulačné plochy na stáčanie a výtaj uvedeníh ropných produktov, ako aj súvisiace potrubné rozvody. Objektov boli realizované na úrovni vtedajšej legislatívy a technických možností.



Obrázok 1 Nadzemné nádrže na naftu v rušňovom depe Leopoldov, podzemné nádrže v rušňovom depe v Štúrove

V roku 2008 bol v rámci prijatia legislatívy Európskej únie realizovaný pilotný projekt na 45 lokalitách spoločnosti ZSSK CARGO Slovakia, a. s. Bol zameraný na prvotnú identifikáciu znečistenie horninového prostredia a podzemnej vody. Geologické práce boli realizované na prevádzkach rušňové depo (RD) Bratislava – hlavné ; RD Bratislava – východné; RD Brezno; RD Čadca; RD Čierna n. Tisou; RD Filakovo;

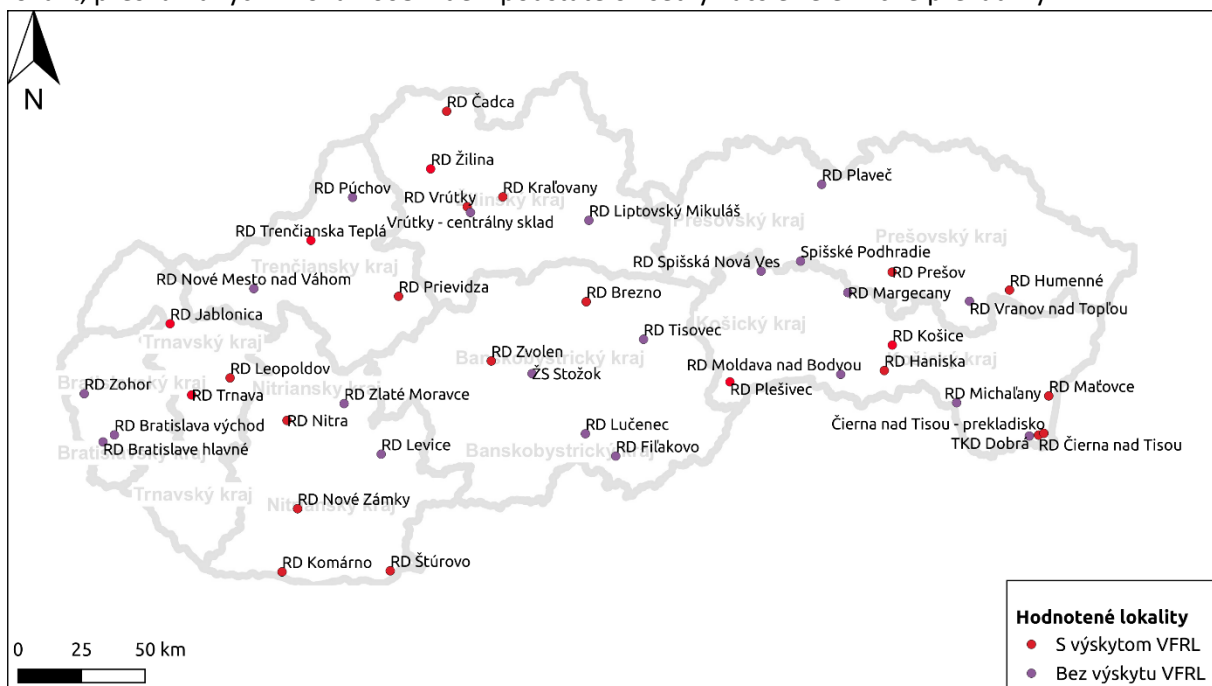
RD Haniska; RD Humenné; RD Jablonica; RD Komárno; RD Košice; RD Kraľovany; RD Leopoldov; RD Levice; RD Liptovský Mikuláš; RD Lučenec; RD Margecany; RD Maťovce; RD Michalľany; RD Moldava nad Bodvou; RD Neded; RD Nitra; RD Nové Mesto nad Váhom; RD Nové Zámky; RD Plaveč; RD Plešivec; RD Prešov; RD Prievidza; RD Púchov; RD Spišská Nová Ves; RD Spišské Podhradie; RD Štúrovo; RD Tisovec; RD Trenčianska Teplá; RD Trnava; RD Vranov n. Topľou; RD Vrútky; RD Žilina; RD Zlaté Moravce; RD Zohor; RD Zvolen; TKD Dobrá; Vrútky centrálny sklad; ŽS Stožok, Čierna nad Tisou – prekladisko. Následne boli v závislosti od výsledkov prieskumu realizované ďalšie etapy geologických prác.

Prvá etapa prieskumu bola zameraná na identifikáciu prítomnosti znečistenia (organických látok) v zeminách a podzemnej vode a následnú klasifikáciu lokalít, založenú na stupni znečistenia a potrebe sanácie. Prieskum bol realizovaný na 45 lokalitách, z ktorých 35 sa v súčasnosti nachádza v registri environmentálnych záťaží. Pozostával z vybudovania nových monitorovacích vrtov, odberov vzoriek zemín a podzemnej vody a ich analýz. Súbor laboratórnych analýz pozostával z detegovania obsahov ropných látok (NEL-IR, NEL-UV), monocyklických aromatických uhľovodíkov (BTEX) a chlórovaných alifatických uhľovodíkov. Iba na 15 skúmaných lokalitách boli pred rokom 2008 realizované geologické práce, čiže na väčšine lokalít sa jednalo o prvotný prieskum. V druhej polovici roka 2008 nasledovala druhá etapa prác, ktorá obsahovala vybudovanie nových vrtov na najviac znečistených lokalitách a odbery vzoriek zemín, ako aj odbery vzoriek podzemnej vody zo všetkých lokalít. Pre najviac znečistené lokality boli vypracované rizikové analýzy, hodnotiace možnosti šírenia sa znečistenia podzemnou vodou. V roku 2009 začala tretia etapa geologických prác, ktorá trvala do roku 2014. Jej súčasťou bola realizácia doplnkových prieskumov na vybraných lokalitách, a kontinuálne monitorovanie stavu podzemnej vody na vybraných lokalitách. Po ukončení tretej etapy pokračovalo monitorovanie vybraných lokalít ako separátne geologické úlohy, pričom na šiestich lokalitách pokračuje aj v roku 2023. Na dvanástich lokalitách boli v rokoch 2014 – 2020 v rámci prieskumov pravdepodobných environmentálnych záťaží realizované podrobné geologické prieskumy životného prostredia (ústredná nákladná stanica Bratislava; prekládková stanica Čierna nad Tisou; RD Čierna nad Tisou, železničná stanica a depo Kúty; železničná stanica Levice; RD Liptovský Mikuláš; RD Margecany; RD Nitra; železničná stanica Poprad; hlavná železničná stanica Štúrovo; RD Zlaté Moravce; RD Žilina) na štyroch sanácie (železničná stanica Bánovce nad Bebravou; železničná stanica Brezno, RD Jablonica, RD Plešivec). Rozsah geologických prác, vykonaných na lokalitách po roku 2014 bol podstatne širší (geofyzikálne a atmogeochemické merania, výrazne rozšírený súbor analytických stanovení). V roku 2018 začali na sanačné práce na 14 lokalitách (RD Brezno; RD Čadca; RD Humenné; RD Komárno; RD Košice; RD Kraľovany; RD Leopoldov; RD Nové Zámky; RD Prešov; RD Prievidza; RD Púchov; RD Spišská Nová Ves; RD Štúrovo; RD Vrútky). Sanačné práce pozostávali z troch etáp - predsanačnej aktualizácie analýzy rizika, samotnej sanácie environmentálnej záťaže a posanačného monitorovania lokalít. Hlavnými predpokladanými zdrojmi znečistenia zložiek životného prostredia boli nádrže na pohonné hmoty (naftu), uložené buď pod zemou alebo nad zemou, ako sa súvisiace manipulačné plochy na stáčanie a výdaj pohonných hmôt. V menšej miere boli ako možné zdroje uvažované aj nadzemné nádrže na oleje a kanalizačné systémy na odvod odpadových vôd. Pre železničné lokality je charakteristický výskyt znečistenia vo forme voľnej fázy ropných látok (VFRL). Z hľadiska platnej legislatívy je tento stav dôvodom na okamžitý sanačný zásah. Veľké objemy znečistenia (viac ako 500 l) boli bilancované a plánované na odstránenie na 9 zo 14 lokalít (na základe výsledkov predsanačných analýz rizika znečisteného územia). Výskyt znečistenia nie je pri tomto type lokalít obmedzený na jasne identifikovateľné zdroje (nádrže na palivá a mazivá, manipulačné plochy, produktovody atď.), ale môže sa vyskytovať v podstate v celom priestore danej lokality, kde sa nachádzajú koľaje.

Výsledky vyššie opísaných geologických prác, realizovaných v období rokov 2008 až 2023 sú zaujímavé napríklad z hľadiska prítomnosti a vývoja voľnej fázy ropných látok (VFRL) vo vrtoch. Zmeny v čase na jednotlivých lokalitách predstavuje zaujímavý súbor údajov, ktorého správne vyhodnotenie prispieva k lepšiemu manažmentu znečistených lokalít. Na tomto podklade je možné napríklad presnejšie spracovanie materiállovej bilancie alebo podrobnejší návrh sanačných opatrení. Vývoj hrúbky VFRL vo

vrtoch môže dokumentovať aj relatívne rýchle zmeny stupňa znečistenia lokality. Zmeny hrúbok VFRL vo vrtoch boli v niektorých prípadoch výrazne odlišné od zmien, spôsobených fluktuáciou hladiny podzemnej vody (ktoré sú zrejme z historických meraní). V aktívnej monitorovanej prevádzke došlo k skokovému nárastu VFRL v dvoch vrtoch, čo môže byť napríklad výsledkom nežiadúcich prevádzkových únikov alebo havárií. Problematika VFRL je však komplexná a podlieha vplyvu viacerých faktorov, čoho výsledkom sú rôzne neštandardné situácie. Napríklad v aktívnej prevádzke bola prítomnosť VFRL pozorovaná iba jednorazovo počas 10 ročného monitorovania, v ďalšej prevádzke sa VFRL objavila vo vrte až 2 roky po jeho odvrútaní (jedná sa o dlhodobu neaktívnu prevádzku), a jej hrúbka bola počas následného monitorovania stále približne na úrovni 200 mm. V rámci sanácie jednej z lokalít boli v okolí pôvodného vrtu, monitorovaného počas 13 rokov, vybudované nové hydrogeologické vrty. V pôvodnom vrte nebol v minulosti pozorovaný výskyt fázy, vo všetkých nových vrtoch sa naopak objavila. Podobných situácií bolo počas realizácie geologických úloh pozorovaných viacero, preto je ich hodnotenie nutné vykonať zohľadňujúc širšie súvislosti.

Situácia lokalít, na ktorých bola v období rokov 2008 až 2023 identifikovaná VFRL, je interpretovaná na nasledujúcom obrázku 2. V prvej etape prác bola VFRL identifikovaná na desiatich lokalitách, avšak na šiestich sa nachádzala už pred rokom 2008. V roku 2018 bola VFRL pozorovaná na 18tich lokalitách. Celkovo bol výskyt VFRL v období rokov 2008 až 2023 minimálne jednorazovo pozorovaný až na 23 z 45 lokalít, preskúmaných v roku 2008. Ide v podstate o všetky väčšie železničné prevádzky.



Obrázok 2 Situácia železničných prevádzok na území Slovenskej republiky s vyznačením znečistenia

Charakteristika znečistenia

Detekcia starého znečistenia v zložkách životného prostredia predstavuje rozsiahlu problematiku. Informácie o pôvode, rozsahu a charaktere znečistenia často krát nie sú z archívnych údajov známe. Napriek identifikovanému vysokému stupňu znečistenia zeminy a podzemnej vody môže byť určenie miesta úniku resp. objemu uniknutých znečisťujúcich látok veľmi problematické. Znečistenie, ktoré je vystavené účinkom prirodzených degradačných procesov, môže postupom času významne zmeniť svoj charakter. Týka sa to nielen jeho účinkov na životné prostredie a zdravie živých organizmov, ale aj spôsobu jeho identifikácie a kvantifikácie.

Ropné látky boli v minulosti, a sú aj v súčasnosti, jedným z najrozšírenejších typov znečistenia. Jedná sa predovšetkým o palivá a mazivá, uniknuté do zložiek životného prostredia buď v priebehu životnosti prevádzok rôzneho typu (zásobníky PHM, rafinérie, produktovody a p.), alebo v dôsledku havárií. Zdrojovým produktom znečistenia je surová ropa, tekutá zmes kvapalných, plynných a rozpustných tuhých uhľovodíkov, ktoré sú však viac alebo menej modifikované v rámci spracovania, transportu, skladovania a samotného využitia v danom odvetví. Prevažnú časť pôvodnej (prírodnej) ropy tvoria kvapalné zložky – n-alkány, izoalkány, cykloalkány a aromáty. Zároveň obsahuje aj malé množstvo organických zlúčenín (zlúčeniny dusíka, síry a kyslíka – NSO zložky) a minerálne prímеси (kovy obsahujúce organické a anorganické soli). Rozdiely v kvalite ropy, pochádzajúcej z rôznych zdrojov, môžu byť výrazné. Ropa sa najčastejšie spracováva v rafinériách, v ktorých sa jednotlivé zložky rozdeľujú a premieňajú na výsledné ropné produkty (pohonné hmoty, mazivá, vykurovacie oleje).

Pri úniku ropných látok na zemskom povrchu sa tieto šíria vzhľadom na gravitačné sily smerom nadol do pórov pásma prevzdušnenia. Nasledujú cestu najmenšieho odporu a preferenčne okupujú priestory vyplnené vzduchom. Kvapôčky vody, prítomné vo väčších póroch, môžu byť znečistením vytlačené, v menších póroch však zostávajú v dôsledku pôsobenia kapilárnych síl nehybné. Časť voľnej fázy ropných látok (VFRL), migrujúcej smerom nadol, zostáva zachytená v póroch a vytvára tak jednu z foriem zvyškového (reziduálneho) znečistenia. V prípade úniku dostatočného objemu je VFRL schopná dosiahnuť až hladinu podzemnej vody (pásmo nasýtenia), kde sú všetky póry vyplnené vodou. V tomto bode sa zvyčajne vertikálne šírenie VFRL (predovšetkým pre VFRL nižšej hustoty) aspoň dočasne zastaví. Ak prísun znečistenia do prostredia pokračuje, je jeho masa schopná gravitačne prekonať kapilárne sily a nahradiť v časti pórov vodu. Šírenie sa znečistenia v prostredí v momente úniku neprebíha výhradne v smere hydraulického gradientu, avšak šíri sa laterálne v priestore. Mobilná (hydraulicky odstrániteľná) VFRL netvorí na lokalite súvislý mrak a pre presné plánovanie sanačných opatrení je nutné využiť všetky dostupné informácie. Celková situácia znečistenia je výsledkom viacerých faktorov, ktoré pri environmentálnych záťažiach nie sú vždy známe (doba, objem a vlastnosti uniknutého znečistenia, špecifiká horninového prostredia)

Charakteristika chemických vlastností konkrétnej znečisťujúcej látky je jedným zo vstupov pre vypracovanie analýzy rizika znečisteného územia podľa smernice MŽP SR č. 1/2015-7. Metodickým postupom sa hodnotia environmentálne a zdravotné rizika, ktoré vyplývajú z prítomnosti a vlastností znečistenia. Typ znečisťujúcej látky podstatným spôsobom vstupuje do oboch uvedených hodnotení. Pri hodnotení environmentálneho rizika je pre výpočet šírenia sa znečisťujúcich látok podzemnou vodou dôležitý retardačný faktor, ako aj rozpadová konštanta. Oba parametre sú pre rôzne typy ropných látok (organického znečistenia) rozdielne, a teda môžu vykazovať rôznu stupeň ovplyvnenia výslednej hodnoty. Pri hodnotení zdravotných rizík je problematika čo najpresnejšieho určenia znečisťujúcej látky ešte dôležitejšia. Vstupné parametre majú pre alifatické a aromatické frakcie rôzne hodnoty, ktoré sa odlišujú aj podľa prevažujúcej frakcie dĺžky uhľovodíkových reťazcov. Pre čo najpresnejšie plánovanie sanačných opatrení je dôležitá identifikácia ropných látok z hľadiska zloženia (komponentná analýza, obsah N-alkánov, BTEX, biomarkerov, obsah síry, FAME). Fyzikálne parametre znečistenia (viskozita, hustota) priamo ovplyvňujú technické možnosti jeho odstránenia z horninového prostredia. Bližšiu charakteristiku znečisťujúcich látok z hľadiska veku je možné realizovať stanovením aj aditív, ktoré sa pridávajú do ropných produktov (palív), a ktorých maximálne obsahy sa v priebehu času upravovali (síra, olovo, biozložka).

Problematika identifikácie znečistenia životného prostredia ropnými látkami sa neustále vyvíja. Z historického hľadiska bolo v Československu resp. Slovenskej republike na detekciu ropných látok používané spektrofotometrické stanovenie NEL-IR, resp. NEL-UV. Obe stanovenia sú neselektívne, výsledná hodnota poskytuje údaj o sumárnej kvantite znečistenia, avšak nie o kvalite. V súčasnosti sa

na detekciu ropných látok využíva skôr metóda plynovej chromatografie (GC-MS a GC-FID, označovaná aj ako C₁₀-C₄₀ alebo NEL_{GC}), ktorá umožňuje identifikáciu jednotlivých zložiek znečistenia. Výsledný chromatografický záznam je možné porovnať so známymi štandardami, a získať tak orientačný údaj o charaktere znečisťujúcej látky.

Prie realizácii geologických úloh niekedy dochádza aj k súbežnej analýze jednej vzorky vo viacerých laboratóriách, kedy je rovnaký typ znečistenia (v našom prípade ropné látky) sledovaný prostredníctvom rôznych parametrov. Výsledkom uvedeného postupu môže byť rozsiahly súbor dát, ktorý je problematické interpretovať. Z praktických skúseností vieme, že vysoké hodnoty (vyššie ako legislatívne kritériá), môže dosahovať iba jeden z troch uvedených parametrov, alebo dva, alebo aj všetky tri. Dokumentované sú aj rozdiely vo laboratórne stanovených koncentráciách znečisťujúcich látok, ktoré sú výsledkom analýzy jednej vzorky v rozdielnych laboratóriách, a hodnoty ktorých sa odlišujú aj o dva rády.

Odstránenie mobilnej VFRL je zvyčajne hlavným cieľom sanačných opatrení. Realizuje sa dvojfázovým čerpaním, kedy nižšie umiestnené čerpadlo na podzemnú vodu vytvára hydraulickú depresiu. V nejak sa následne akumuluje VFRL, ktorá je odčerpávaná druhým, vyššie umiestneným čerpadlom (Obrázok 3). Úspešnosť hydraulického odstránenia VFRL z horninového prostredia je podmienená tromi faktormi – množstvo reziduálneho znečistenia v dôsledku pôsobenia kapilárnych síl, heterogenita prostredia a konduktivita VFRL. Úplné odstránenie znečistenia vo forme VFRL je časovo aj ekonomicky náročné. Sú známe lokality, na ktorých prebiehajú sanačné práce desiatky rokov a napriek tomu výskyt VFRL na nich pretrváva. Kontinuálny výskyt VFRL však môže byť aj výsledkom vplyvu ďalších faktorov, ako sú napríklad dotekanie znečistenia preferenčnými cestami, alebo problémy pri odstránení primárneho zdroja znečistenia.



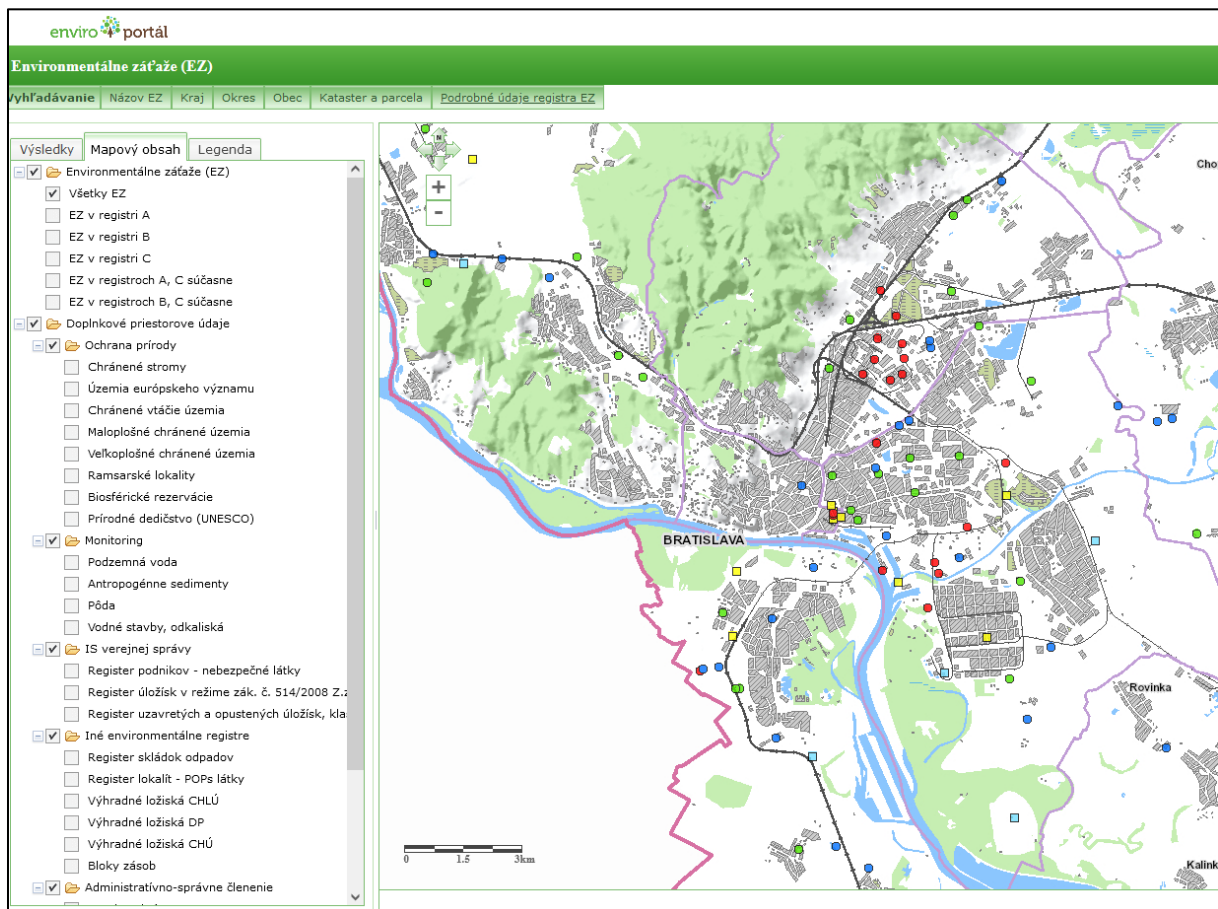
Obrázok 3 Odčerpávanie VFRL ponorným čerpadlom z vrtu a dočasne uskladnenie v IBC nádobe

Environmentálne záťaž

Environmentálna záťaž (EZ) je v zmysle geologického zákona zadefinovaná ako znečistenie územia spôsobené činnosťou človeka, ktoré predstavuje závažné riziko pre ľudské zdravie alebo horninové prostredie, podzemnú vodu a pôdu s výnimkou environmentálnej škody. Ide o široké spektrum území kontaminovaných priemyselnou, vojenskou, banskou, dopravnou a poľnohospodárskou činnosťou, ale aj nesprávnym nakladaním s odpadom (<http://www.enviroportal.sk>).

V súčasnosti sa environmentálne záťaž a informácie o ich umiestnení a prípadnej rizikovosti evidujú v rámci Informačného systému environmentálnych záťaží (IS EZ), ktorý je súčasťou informačného systému verejnej správy. IS EZ sa pravidelne aktualizuje a svojim používateľom poskytuje aktuálne a

overené atribútové a geopriestorové údaje z databázy administratívneho zdroja. Zriaďovateľom IS EZ je MŽP SR a jeho technickým a odborným prevádzkovateľom je SAŽP. Na nasledujúcom obrázku 4 sú znázornené EZ, evidované na území mesta Bratislava.



Obrázok 4 Environmentálne záťažé na území mesta Bratislava (<http://envirozataze.enviroportal.sk>)

MŽP SR dlhodobo realizuje aktivity v rámci prieskumu, sanácie, monitoringu a zlepšovania informovanosti v oblasti environmentálnych záťaží v mestskom prostredí, v opustených priemyselných lokalitách vrátane oblastí, ktoré prechádzajú zmenou, podporujú aj prostredníctvom Operačného programu Kvalita životného prostredia (OP KŽP). Uznesením vlády Slovenskej republiky č. 320/2022 z 11. mája 2022 bol schválený už tretí Štátny program sanácie environmentálnych záťaží (2022 – 2027). Strategický dokument stanovuje priority riešenia environmentálnych záťaží, definuje postup prác v oblasti ich riešenia a to vrátane odhadu finančnej náročnosti riešenia environmentálnych záťaží s cieľom postupnej minimalizácie ich negatívnych účinkov na životné prostredie a zdravie človeka.

V súčasnosti je na území Slovenskej republiky evidovaných viac ako 2000 environmentálnych záťaží v rôznych kategóriách - pravdepodobná EZ, potvrdená EZ, sanovaná EZ. Zvyčajným pracovným postupom pri skúmaní vplyvu EZ na životné prostredie a ľudské zdravie je vykonanie podrobného geologického prieskumu životného prostredia. Ak tento na skúmanej lokalite identifikuje koncentrácie znečisťujúcich látok vo vysokých koncentráciách (vyšších ako stanovuje smernica MŽP SR č. 1/2015-7), je nutné vypracovať analýzu rizika znečisteného územia. Analýza podrobne vyhodnotí prítomnosť a aktuálnosť znečistenia horninového prostredia, možnosti jeho šírenia podzemnou vodou, ako aj vplyv na zložky životného prostredia. Obsahuje aj stručný návrh sanačných opatrení. Ak sa geologickým prieskumom preukáže potreba sanácie, je jej realizácia zameraná na odstránenie znečistenia, predstavujúceho riziko. Poslednou etapou je posačné monitorovanie lokality, ktoré musí potvrdiť

odstránenie znečistenia. Zvyčajne pozostáva z odberov vzoriek podzemnej vody z vhodne zvolených vrtoch na lokalite a sledovania koncentrácií vybraných znečisťujúcich látok.

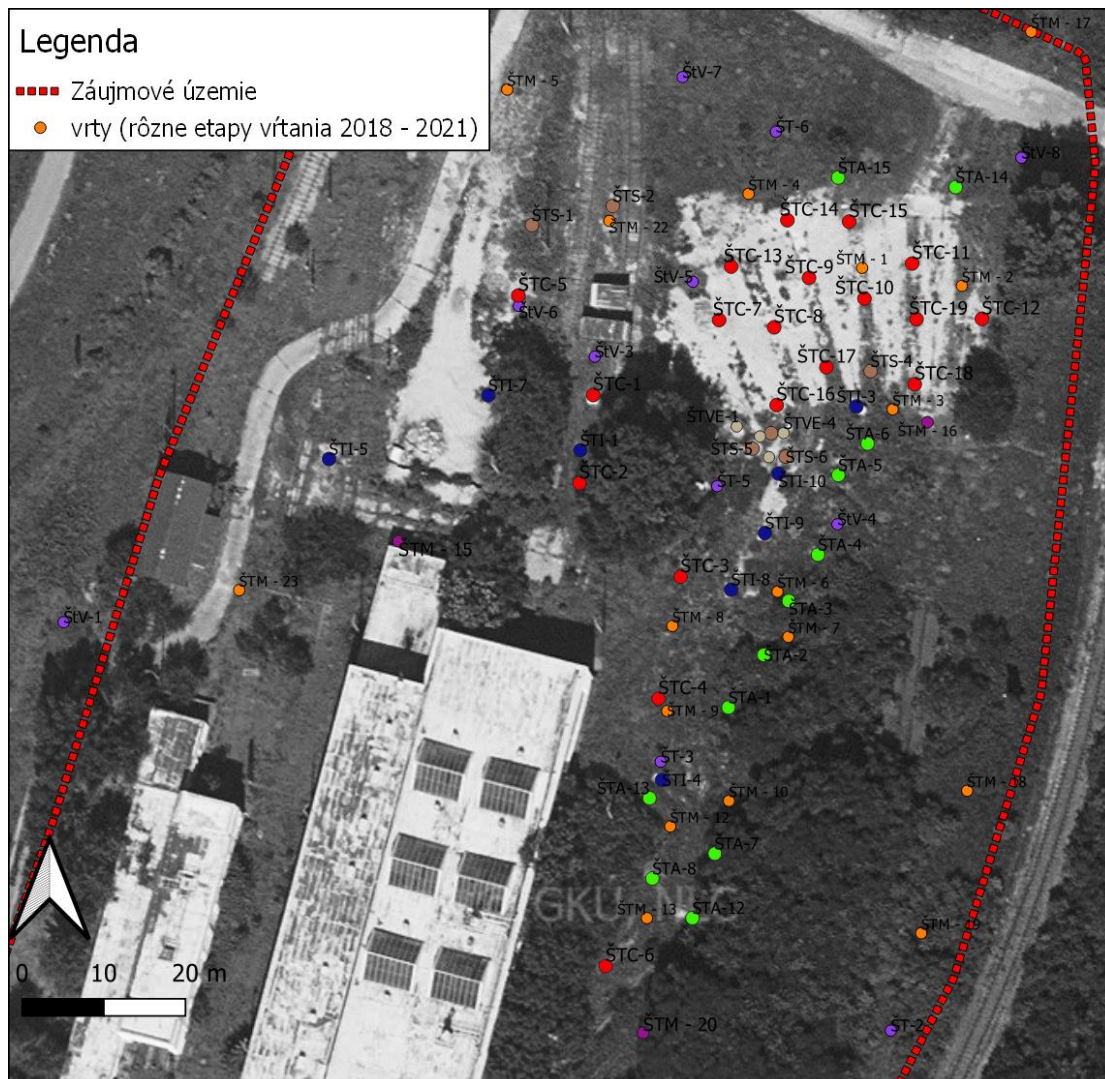
Sanácia environmentálnej záťaže v rušňovom depe Štúrovo

Podkladom pre plánovanie sanačných prác je zvyčajne podrobný prieskum lokality. Jeho výsledkom sú detailné informácie o charaktere a priestorovom rozložení znečistenia. Rušňové depo v Štúrove má dlhodobú históriu opráv hnacích koľajových vozidiel. V prevádzke bolo už v 50tych rokoch 20. storočia. Pri prechode z parnej trakcie na naftovú sa na lokalite vykonávala aj údržba dieselových lokomotív. Počas prevádzkových úkonov mohlo dochádzať a pravdepodobne aj dochádzalo k únikom prevádzkových kvapalín na báze ropy (nafta, mazivá), či už v dôsledku netesností jednoplášťových nádrží a armatúr, alebo nesprávnej manipulácie. Lokalita bola v minulosti podrobne preskúmaná (Polák, 1987; Solymosiová et al. 1988, Vrana et al., 2008) a od roku 2008 bolo realizované monitorovanie kvality podzemnej vody. V okolí podzemných nádrží boli identifikované 4 vrty, v ktorých sa dlhodobo vyskytovala VFRL hrúbky až 870 mm (Kostolanský et al., 2017). Lokalita bola v roku 2017 zaradená do balíku 14 železničných lokalít, na ktorých bola MŽP SR schválená realizácia sanačných prác. V informačnom systéme environmentálnych záťaží je lokalita registrovaná ako potvrdená environmentálna záťaž NZ (029) / Štúrovo - Rušňové depo, Cargo a.s. (SK/EZ/NZ/601), približne od roku 2008 je mimo prevádzky.

Prvým krokom sanácie bolo uskutočnenie predsanačného prieskumu s aktualizovanou analýzou rizika. V rámci prieskumu boli realizované geofyzikálne a atmogeochemické merania, ťažiskom prác bolo odvrtanie prieskumných a hydrogeologických vrtoch, z ktorých boli odoberané vzorky zemín a podzemnej vody. Vo vzorkách boli sledované primárne koncentrácie organických látok (NEL-IR, NEL-UV, C₁₀-C₄₀, BTEX, CLU, PAU, PCB), ktoré boli priebežne upravované na základe nových informácií získaným počas prieskumu.

Prieskum v štúrovskom depe identifikoval veľmi rozsiahle znečistenie zemín vrchnej časti pásma nasýtenia (v hĺbke cca 8 – 10 m pod terénom), obsah C₁₀-C₄₀ v zeminách bol až 17 200 mg/kg (hodnota intervenčného kritéria smernice MŽP SR č. 1/2015-7 pre priemyselné areály je 500 mg/kg). Maximálna koncentrácia C₁₀-C₄₀ v podzemnej vode bola až 7,71 mg/l (hodnota intervenčného kritéria smernice MŽP SR č. 1/2015-7 je 0,5 mg/l). Výskyt VFRL bol pozorovaný iba v starých vrtoch na ploche približne 700 m². Predpokladaným zdrojom znečistenia boli podzemné jednoplášťové nádrže na PHM (Urban et al., 2019).

Na základe výsledkov predsanačného prieskumu boli projektované sanačné práce, ktorých ťažiskom bolo čerpanie a čistenie podzemnej vody v odlučovačoch ropných látok a odčerpávanie VFRL z vytvorených hydraulických depresíí. Na nasledujúcom obrázku 5 je znázornená situácia vrtoch, vybudovaných počas sanačných prác. Ich hustota bola vysoká, preto bolo možné účinnosť sanačných prác detailne sledovať a komplexne vyhodnocovať.



Obrázok 5 Situácia vrtov odvrátaných v RD Štúrovo v období rokov 2018 až 2021

Znečistenie zemín ropnými látkami bolo identifikované hlavne na rozsiahlej ploche v okolí podzemných nádrží na PHM (pôvodne uvažovaný zdroj znečistenia), ako aj koľajisku pred bývalou budovou depa (zdroj znečistenia identifikovaný počas sanačných prác). Vo všetkých vzorkách zemín z pásma nasýtenia v uvedenom priestore stanovené koncentrácie prekračovali IT kritérium smernice. Vo všetkých vrtoch (s výnimkou jedného), kde bola koncentrácia ropných látok vyššia ako 5000 mg.kg^{-1} , bola počas realizáciu geologickej úlohy pozorovaná VFRL, resp. ak išlo o nevystrojene vrty bola VFRL pozorovaná v hydrogeologických vrtoch v ich tesnej blízkosti. Celkovo bola prítomnosť VFRL rôznej hrúbky pozorovaná až v 28mich vrtoch, vybudovaných počas sanačných prác. Zo toho v 13tich vrtoch boli koncentrácie ropných látok v zeminách vyššie ako 5000 mg.kg^{-1} (resp. vo vrtoch v ich tesnej blízkosti). Súvis koncentrácie ropných látok v zemine s množstvom odčerpaného znečistenia však nebol preukázaný. Vo vrte, z ktorého bolo odčerpaných takmer $1,5 \text{ m}^3$ (z celkového objemu cca $6,5 \text{ m}^3$ VFRL odčerpaného počas realizácie sanácie) boli koncentrácie ropných látok v zemine oproti príľahlým vrtoom relatívne nízke (4430 mg.kg^{-1}). Bola pozorovaná aj vysoká variabilita vrtov z hľadiska produktivity VFRL. Napriek relatívnej blízkosti vrtov s výskytom VFRL (cca 10 m) v koľajisku severne od točne sa odčerpané množstvá znečistenia líšili až rádovo.

Odstraňovanie znečistenia prebiehalo na princípe dvojfázového čerpania (separátne čerpanie vody a VFRL) s využitím viacerých doplnkových sanačných metód. Po odvrátení čerpacích a infiltračných vrtov s priemerom 200 mm bolo spustené čerpanie podzemnej vody. Čerpaná voda bola po prečistení v sanačnej technológii v odľučovači ropných látok opätovne zasakovaná do horninového prostredia. V Štúrove stačilo na vytvorenie optimálnych depresných kuželov, do ktorých natekalo znečistenia, čerpať vodu na úrovni cca $0,5 - 1,0 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. V priebehu sanácie však nedochádzalo k dostatočnému dotekaniu podzemnej vody do čerpaných vrtov, a preto bolo nutné výdatnosť čerpania postupne znižovať.

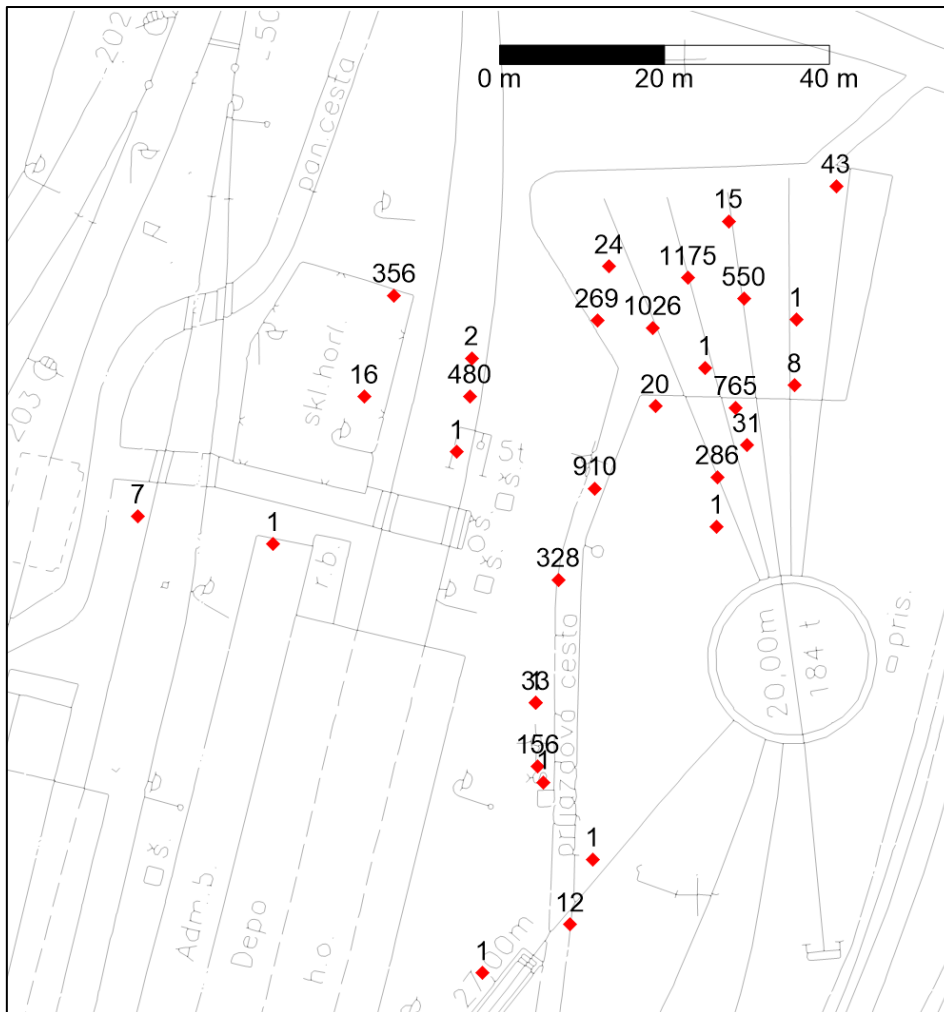
Odčerpávanie VFRL prebiehalo prostredníctvom čerpadiel, osadených iba na sčerpávanie znečistenia. Tieto boli v najviac výdatných vrtoch napojené na časový spínač, ktorý zabezpečoval automatické denné odčerpávanie znečistenia do zásobných kontajnerov. Vrty menej výdatné na VFRL boli odčerpávané manuálne po nahromadení väčšieho objemu znečistenia.

Sanačné práce prebiehali na približne 2 roky. Ich súčasťou boli aj doplnkové metódy na odstránenie zvyškového znečistenia, ako sú airsparging, vymývanie zemín surfaktantami a podporovaná biodegradácia.

Pred zahájením sanačných prác prebehlo odčerpávanie VFRL z existujúcich vrtov. Z vrtu ST-5 bolo odčerpávaných takmer 150 l znečistenia. Úvodným krokom sanačných prác na oboch lokalitách bolo vybudovanie siete nových vrtov, ktoré boli realizované postupne v 5 etapách.

Počas vrtných prác boli v Štúrove pozorované samovoľné náteky VFRL do nových vrtov. Pri budovaní vrtov (07/2019) na okraji predpokladaného mraku znečistenia (identifikovaného v práci Urban et al., 2019) bolo pozorované pomerne rýchle natekanie VFRL do dvoch nových vrtov. V ďalšej etape vrtných prác (07/2020) bola identifikovaná plošne rozsiahla oblasť, ktorá bola ďalším zdrojom znečistenia na lokalite. Tento zdroj bol z hľadiska objemu znečistenia vo forme VFRL výdatnejší ako priestor v okolí podzemných nádrží. V priestore koľajiska pred dnes už neexistujúcou budovou depa bola potvrdená prítomnosť znečistenia vo forme mobilnej VFRL. Vysoký stupeň nasýtenia horninového prostredia znečistením bol potvrdený aj okamžitým objavením VFRL v nových vrtoch (do hrúbky takmer 1000 mm). VFRL bola najskôr odčerpávaná bez podporného čerpania podzemnej vody (vo viacerých vrtoch na lokalite po odčerpání prvotného objemu VFRL už nedošlo k jej ďalšiemu dotekaniu). Vysoké prítoky VFRL vo viacerých nových vrtoch (STC-8, STC-10) boli podnetom pre spustenie čerpania podzemnej vody v príslušných vrtoch (STC-7, STC-9, STC-11). Následne sa aj v týchto vrtoch (okrem STC-11) objavila VFRL s hrúbkou takmer 1500 mm (STC-9). Z vrtov v okolí podzemných nádrží bolo odčerpávaných cca 2 m^3 znečistenia, z vrtov v priestore koľajiska viac ako 4 m^3 (Obrázok 6). Čiže zdroj znečistenia, identifikovaný počas sanačných prác (koľajisko pred bývalou budovou depa), bol dvojnásobne výdatnejší z hľadiska odčerpanej VFRL, ako pôvodne uvažovaný zdroj znečistenia (podzemné nádrže na PHM). Okrem uvedených dvoch hlavných zdrojov znečistenia, boli na lokalite identifikované aj dva menšie zdroje (produktovod PHM a opravárenská jama).

Sanačnými prácami tak bolo overené znečistenie VFRL na približne trojnásobne väčšej ploche, ako sa pôvodne predpokladalo. V práci Macek a Milička (2021) je vyhodnotený charakter znečistenia z hľadiska jeho degradácie, pričom výsledkom je zistenie, že znečistenie pochádza z viacerých rôznych zdrojov. Napriek tomu, že depo je viac ako 10 rokov mimo prevádzky, bola na lokalite odobraná vzorka VFRL s bez zjavných známkov degradácie. Odhadovaný vek znečistenia na lokalite je od 8 do 48 rokov.



Obrázok 6 Poloha vrtov, z ktorých bola odčerpávaná VFRL, a odčerpaný objem

Problémy pri realizácii sanačných prác

V nasledujúcom texte uvádzame niektoré aspekty sanačných prác, ktoré boli z hľadiska realizačnej praxe neštandardné. Jedná sa predovšetkým o problematiku optimalizácie odčerpávania znečistenia, ako aj výsledky špecializovaných analýz vzoriek VFRL.

Jedným z cieľov sanácie bolo odstránenie pravdepodobného zdroja znečistenia – nevyužívaných a zakonzervovaných podzemných nádrží na PHM o objeme $3 \times 100 \text{ m}^3$. Nádrže boli odstránené v máji 2019 špecializovanou firmou. Po odvrtní vrtu STI-7, ktorý sa nachádza v priestore jamy po asanovaných nádržiach, sme očakávali dotekanie vyšších objemov VFRL. Skutočnosťou však bola vrstva VFRL iba cca 20 mm po odvrtní vrtu, ktorá sa výrazne nemenila ani po začatí čerpania podzemnej vody. Výdatnosť čerpania bola postupne zvyšovaná tak, aby sa postupne znižovala hladina podzemnej vody. Najvýraznejšie natekanie VFRL do vrtov bolo totiž na lokalite pozorované pri znížení hladiny podzemnej vody o cca 100 cm. Avšak ani pri takto zníženej úrovni hladiny nebolo do vrtu STI-7 pozorované natekanie VFRL. Čerpanie podzemnej vody bolo preto 09/2020 ukončené. Jednorazový vyšší objem VFRL však samovoľne natiekol do vrtu v 02/2021 – 360 mm, kedy bola aj odobratá vzorka VFRL.

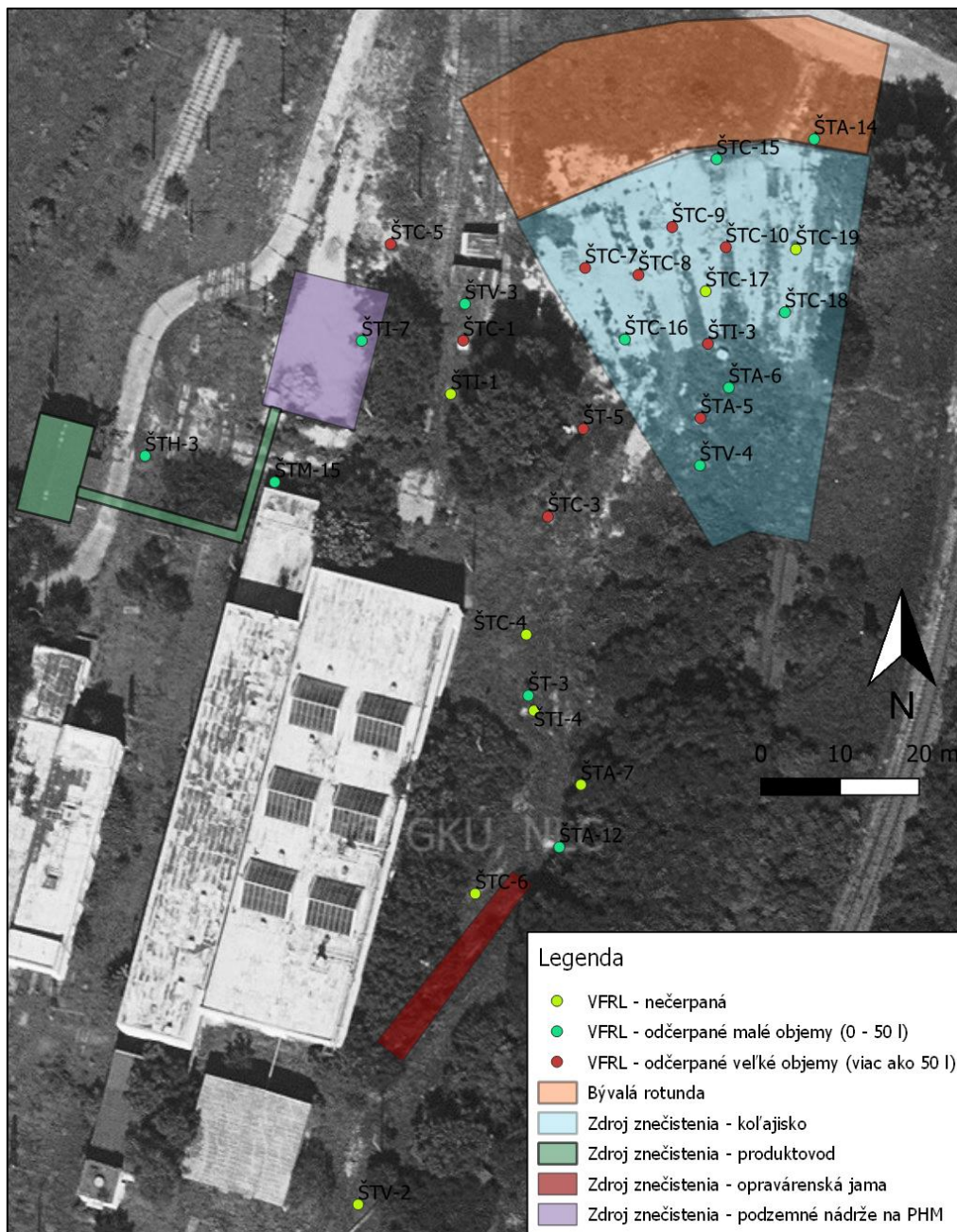
Podobná situácia, jednorazové natečenie VFRL do vrtu bez čerpania podzemnej vody, bola pozorovaná aj vo vrte ŠTV-4. Vrt sa nachádza na okraji mraku znečistenia, z vrtov v jeho okolí nebola odčerpávaná VFRL. Podzemná voda bola v okolí vrtu čerpaná z objektov, nachádzajúcich sa medzi vrtom STV-4 a mrakom znečistenia, takže výskyt VFRL vo vrte bol veľmi nepravdepodobný. Čiže aj napriek

postupnému začerpávaniu nových vrtov, ktorého cieľom bol zamedziť šíreniu VFRL, k šíreniu VFRL preukázateľne došlo.

Z hľadiska odstraňovania VFRL bol zaujímavý vrt STC-9. Po odvrtaní bola vo vrte pozorované iba minimálne množstvo VFRL (vrstva hrúbky do 50 mm), pričom do ďalších dvoch vrtov v jeho blízkom okolí samovoľne natiekla VFRL v hrúbke až 970 mm. Po spustení čerpania podzemnej vody v tomto vrte však bolo zaznamenané okamžité natekanie veľkých objemov VFRL. Hrúbka vrstvy opätovane natečenej VFRL pravidelne dosahovala viac ako 1000 mm (viac ako 30 l). Vrt bol po ukončení sanácie vyhodnotený z hľadiska odčerpaného znečistenia ako najvýdatnejší.

Predpoklad výskytu znečistenia bol aj v okolí pôvodného objektu ST-3, z ktorého bolo počas pilotného sčerpávania jednorazovo odčerpaných viac ako 80 l VFRL, ktorá po odčerpaní opätovne natekala. Vrt STI-4 sa nachádzal cca 2,2 m od vrtu ST-3, bol čerpaný cca 3 mesiace pri rôznych výdatnostiach, avšak výraznejšie prítoky znečistenia neboli pozorované (hrúbka VFRL bola do 5 cm).

V rámci etapovej realizácie vrtných prác bolo identifikovaných viacero nových zdrojov znečistenia na lokalite (Obrázok 7). Významným bol predovšetkým zdroj v priestore koľajiska pred bývalou budovou depa (rotundy). Samovoľné natekanie VFRL do novovybudovaných vrtov bolo pozorované takmer v celej severnej časti lokality, v priestore koľajiska bola pozorovaná hrúbka VFRL týždeň po realizácii vrtných prác až 1000 mm. Dva menšie nové zdroje znečistenia predstavovali produktovod od miesta stáčania PHM a opravárenská jama. Pri realizácii vrtov však neboli v odobratých vzorkách zemín identifikované vysoké koncentrácie ropných látok, ktoré by naznačovali výskyt mobilnej fázy VFRL. Podľa [8] je odčerpateľné množstvo VFRL možné predpokladať pri koncentráciách ropných látok na 10 000 mg/kg. Tieto boli na lokalite detegované počas etapy sanácie iba v jednej vzorke. Zároveň bol identifikovaný iba jeden vrt, v ktorom sa bolo znečistenie zemín identifikované aj v pásme prevzdušnenia – miesto prestupu znečistenia do nižších úrovní nebolo presne zistené.



Obrázok 7 Identifikované zdroje znečistenie ropnými látkami a výdatnosť vrtov z hľadiska odčerpanej VFRL

Záver

Výsledkom geologických prác, realizovaných v období rokov 2008 až 2023 bolo podrobné zhodnotenie stavu znečistenia na železničných prevádzkach, prípadne jeho odstránenie. Znečistenie podzemnej vody bolo overené monitorovaním lokalít, ako aj počas podrobných geologických prieskumov životného prostredia. Vysoký stupeň znečistenia, potvrdený výskytom VFRL na hladine podzemnej vody, bol identifikovaný na 23 lokalitách zo 45 z prvotného prieskumu, na 16 lokalitách boli realizované sanačné práce. K dnešnému dátumu je na väčšine z uvedených lokalít ukončená prevádzka, aktívna alebo obmedzená prevádzková činnosť bola v roku 2023 vykonávaná v 15 prevádzkach. To však neznamená, že nepredstavujú rizikové lokality.

Vzhľadom na vysoký podiel silne znečistených lokalít je zrejmé, že prevádzky opráv a údržby hnacích koľajových vozidiel mali najmä v minulosti negatívny vplyv na zložky životného prostredia. Znečistenie zemín a podzemnej vody ropnými látkami a výskyt VFRL na sú výsledkom nedostatočného technického zabezpečenia (jednoplášťové nádrže na PHM, potrubné rozvody bez chráničiek, a pod.), neodbornej manipulácie s ropnými produktami, ako aj mimoriadnych havarijných únikov.

Použitá literatúra

Kostolanský et al., 2017. Monitoring geologických faktorov životného prostredia a udržiavanie geologických diel – rušňové depo Štúrovo. Záverečná správa. Cennis, s.r.o., Bratislava

Macek, J., Jurkovič, Ľ. Malý, V., 2020: Voľná fáza ľahkých ropných látok - aktuálny pohľad na identifikáciu a hodnotenie znečistenia v horninovom prostredí. *PODZEMNÁ VODA*, 26(2), 2020, 1 – 10

Macek, J., Milička, J. 2021: Light non-aqueous phase liquids distribution and weathering in former railyard; SE Danube Basin, Slovakia. *Acta Geologica Slovaca*, 13, 1, 1-12.

Macek, J., Milička, J., Jurkovič, Ľ. 2021: Identifikácia starého znečistenia ropnými látkami. *Podzemná voda*, 27, 1, s. 23-36.

Macek, J., Kolesár, M. 2022: Hodnotenie prítomnosti voľnej fázy ropných látok na základe koncentrácií ropných látok v zemine. *Podzemná voda*, 28, 2, s. 128-136.

Macek, J., Jurkovič, Ľ., Milička, J., Tóth, R., Horváthová, H. 2022. Comparison of two model environmental burdens with massive light non-aqueous phases liquids (LNAPL) pollution – the extent of pollution identified by geological survey vs. reality uncovered by remediation. *Mineralia Slovaca*, 54, 2, s. 175-184

Polák et al., 1987. Štúrovo anilín. Havária podzemných vôd. Vodné zdroje n.p., Bratislava

Solymosiová et al., 1988. Štúrovo – znečistenie podzemných vôd ropnými látkami. Záverečná správa o hydrogeologickom prieskume. Vodné zdroje n.p., Bratislava

Urban et al., 2019. Sanácia environmentálnej záťaže NZ (029) / Štúrovo - Rušňové depo, Cargo a.s. (SK/EZ/NZ/601). Čiastková záverečná správa s aktualizovanou analýzou rizika. DEKONTA Slovensko, spol. s r. o.

Vrana et al., 2008. Vypracovanie programov opatrení v rámci prípravy plánov manažmentu oblastí povodí v súlade s požiadavkami vodného zákona a Rámcovej smernice o vode pre prevádzky ZSSK CARGO a.s. – I. etapa prác a lokalitu Čierna nad Tisou – prekladisko. Záverečná správa. HYDEKO – KV, Bratislava