VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ
INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

SANACE PODZEMNÍCH VOD KONTAMINOVANÝCH ROPNÝMI LÁTKAMI
REMEDIATION OF GROUNDWATER CONTAMINATED BY OIL PRODUCTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE Eva Kabelíková
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. RENATA BIELA, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2017

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM	B3607 Stavební inženýrství
TYP STUDIJNÍHO PROGRAMU	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
STUDIJNÍ OBOR	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
PRACOVIŠTĚ	Ústav vodního hospodářství obcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

STUDENT	Eva Kabelíková
NÁZEV	Sanace podzemních vod kontaminovaných ropnými látkami
VEDOUCÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	Ing. Renata Biela, Ph.D.
DATUM ZADÁNÍ	30. 11. 2016
DATUM ODEVZDÁNÍ	26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ fakulta stavební DĚKAN - 19 -

....	....
doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.	prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Vedoucí ústavu	Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

[1] CRITTENDEN, John, et al. Water Treatment: Principles and Design. 2nd Edition. John Wiley and Sons, 2005. 1948p. ISBN 0-471-11018-3.
[2] MARTOŇ, Jozef, et al. Vodárenstvo III. 1. vydanie. Bratislava: STU, 2002. 232 s. ISBN 80-227-1640-5.
[3] HLAVÁČ, Jaroslav, et al. Vodárenství - Jímání a úprava vody, procesy, výpočty, konstrukce. Multimediální učebnice. 1. vydání. Brno: VAS, a.s., 2003.
[4] HLAVÍNEK, Petr a Jaromír ŘÍHA. Jakost vody v povodí. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2004. 209 s. ISBN 80-214-2815-5.
[5] SYNÁČKOVÁ, Marcela. Čistota vod. 1. vydání. Praha: ČVUT, 1994. 208 s. ISBN 80-01-01083-X.
[6] TUHOVČÁK, Ladislav, et al. Vodárenství: Studijní opory. 1. vydání. Brno: VUT FAST, 2006. 252 s.
[7] Články z odborných časopisů, technické normy.
[8] Firemní podklady.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ (ZADÁNÍ, CÍLE PRÁCE, POŽADOVANÉ VÝSTUPY)

Bakalářská práce bude rozdělena do dvou částí. První část práce bude pojednávat o jímání podzemních vod, možnostech jejich ochrany a alternativách sanace podzemních vod znečištěných ropnými látkami. V druhé části práce bude zpracován přehled firem, které se danou problematikou zabývají a popis jimi navrhovaných řešení.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Renata Biela
....

Ing. Renata Biela, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce popisuje sanaci podzemních vod, která je kontaminovaná ropnými látkami. V první části jsou popsány způsoby jímání podzemních vod ze zdrojů, způsoby, možnosti a vlastnosti znečištění podzemních vod a charakteristika znečišťujících látek. Dále jsou blíže popsány ropné látky a jejich vlastnosti, jaké jsou způsoby ochrany podzemních vod a likvidace vzniklých havárií. Na závěr první části jsou uvedeny způsoby sanace znečištěných podzemních vod. V druhé části práce je zpracován přehled firem, které provádějí sanační práce a popis jejich technologií řešení.

KLÍČOVÁ SLOVA

Ropné látky, podzemní voda, sanace, uhlovodíky, kontaminace

ABSTRACT

This bachelor thesis describes rehabilitation of groundwater which is contaminated with oil products. The first part describes methods of collecting groundwater from the sources together with forms possibilities and properties of groundwater pollution and characteristics of pollutants. In addition, oil substances and their properties are described, followed by methods of groundwater protection and liquidation of accidents. At the end of the first part, ways of remediation of contaminated groundwater are presented. The second part of the thesis contains an overview of companies that carry out remediation work and description of their solution technologies.

KEYWORDS

Oil products, groundwater, rehabilitation, hydrocarbons, contamination

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Eva Kabelíková *Sanace podzemních vod kontaminovaných ropnými látkami.* Brno, 2017. 52 s, Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Renata Biela, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26. 5. 2017

Eva Kabelíková
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucí práce Ing. Renatě Biele, Ph.D. za odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

OBSAH

1 ÚVOD ... 3

2 JÍMÁNÍ VODY Z PODZEMNÍCH ZDROJŮ ... 4

2.1 Vertikální jímadla – studny ... 4
2.1.1 Konstrukce studní ... 5

2.2 Horizontální jímadla ... 6
2.2.1 Jímací zářezy ... 6
2.2.2 Jímací galerie, štoly ... 7

2.3 Infiltrace ... 7

2.4 Pramenní jímky ... 8

2.5 Požadavky na jímací objekty ... 8

2.6 Ochranná pásma vodních zdrojů ... 9
2.6.1 Ochranné pásmo I. stupně ... 9
2.6.2 Ochranné pásmo II. stupně ... 9

3 ZNEČIŠTĚNÍ PODZEMNÍCH VOD ... 10

3.1 Způsoby znečištění podzemních vod ... 10

3.2 Zdroje znečištění a znečišťující látky ... 11

4 ROPNÉ LÁTKY ... 12

4.1 Pohyb ropných látek ... 13
4.1.1 Pohyb plynných ropných látek ... 13
4.1.2 Pohyb kapalných ropných látek ... 13
4.1.3 Pohyb rozpuštěných a emulgovaných ropných látek ... 14

4.2 Samočištění ropných látek ... 14

5 OCHRANA PODZEMNÍCH VOD ... 15

5.1 Nástroje ochrany podzemních vod ... 15

5.2 Havárie a likvidace jejich následků ... 15
5.2.1 Ropné havárie ... 16
5.2.2 Základní postupy likvidace havárií ... 16

6 SANACE PODZEMNÍCH VOD ... 17

6.1 Sanace podzemních vod znečištěných ropnými látkami ... 17

6.2 Asanační práce ... 18
6.2.1 Prvky aktivní ochrany ... 18
6.2.2 Prvky pasivní ochrany ... 21

7 ÚPRAVA VODY OBSAHUJÍCÍ ROPNÉ LÁTKY ... 22

8 FIRMY PROVÁDĚJÍCÍ SANAČNÍ PRÁCE ... 24

8.1 Alphabio Ecoservice, s r.o. ... 24
8.1.1 Podmínky využití biotechnologie ... 24
8.1.2 Výhody biotechnologie ... 24
8.1.3 Nabízené služby ... 25
8.1.4 Sanační metoda in-situ ... 25

8.2 Ekosystem spol. s r.o. ... 25
8.2.1 Technologie řešící dekontaminaci půdního a horninového prostředí ... 26

8.3 Geosan spol. s r.o. ... 28
8.3.1 Dekontaminace stripováním ... 29
8.3.2 Dekontaminace ventingem ... 30
8.3.3 Sanace kontaminovaných podzemních vod pomocí gravitačních odlučovačů a tlakových filtrů ... 30

8.4 Lidařík, s r.o. ... 31
8.4.1 Sanace znečištěných podzemních vod ... 32
8.4.2 Sanace znečištěného půdního vzduchu ... 33

8.5 NANO IRON, s r.o. ... 34
8.5.1 In – situ redukční technologie sanace podzemních vod s využitím nanočástic Fe(0) ... 34

8.6 AQUATEST a.s. ... 35
8.6.1 Nanotechnologie ... 35
8.6.2 Sanační technologie ... 36
8.6.3 Biotechnologie ... 37

8.7 SEPARA spol. s r.o. ... 37
8.7.1 Odlučovače ropných látek ... 38

9 ZÁVĚR ... 39

10 POUŽITÁ LITERATURA ... 41

SEZNAM TABULEK ... 43

SEZNAM OBRÁZKŮ ... 44

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ ... 45

SUMMARY ... 46

1 ÚVOD

Při jímání vody potřebné pro úpravu na pitnou rozlišujeme dva zdroje, a to vodu povrchovou a podzemní. Podzemní zdroje vody se nacházejí pod povrchem v půdě nebo v nesoudržných zeminách, kde vyplňují póry mezi zrny a puklinami. Podzemní vodu podle kinematiky dělíme na stojatou a proudící a podle hladiny na volnou a napjatou (artézskou).

Z hlediska upravitelnosti vody je podzemní voda brána jako kvalitnější zdroj. Není tolik znečištěná, protože je chráněná vrstvou zeminy. Pro pitné účely se dá použít pouze s desinfekčním prostředkem nebo s menší úpravou než voda povrchová.

Kvalita podzemních vod závisí na různých faktorech:

- na povaze dešťových vod, která se značně liší, zejména pokud jde o kyselost způsobenou znečištěním,
- na charakteristice existujících podzemních vod, které mohou být desítky až tisíce let staré,
- na charakteristice půdy, přes kterou musí podzemní voda procházet,
- na charakteristice hornin, které obsahují vodonosné vrstvy. [6]

Obecně se podzemní voda skládá z několika iontů, které tvoří sloučeniny. Jsou to vápník, hořčík, sodík, draslík a v menší míře železo a mangan. Jsou to všechno kationty, které se ve vodě nacházejí společně s anionty, jejichž sloučeniny jsou označovány jako soli. Jsou to převážně uhličitany, hydrogenuhličitany, sulfidy a chloridy. [6]

Z chemického hlediska se charakteristika liší hloubkou hladiny podzemní vody a místem výskytu. Obecně mají podzemní vody vyšší obsah oxidu uhličitého a nízké nebo nulové koncentrace organických látek. Koncentrace kyslíku jsou v podzemních vodách nízké, často až anoxické. V malé hloubce bývají ve větším počtu zastoupeny dusičnany. Ve větších hloubkách se naopak vyskytují větší koncentrace kovů, a to zejména železa a manganu. V mimořádných případech může podzemní voda obsahovat i vyšší koncentrace radonu nebo jiných radioaktivních látek. [1]

Podzemní vody klasifikujeme ještě z jiných hledisek, a to podle stupně a charakteru mineralizace, obsahu plynů, radioaktivních látek, stopových prvků, teploty atd.

V každé zemi na světě se nachází jiné procento zdrojů podzemních vod pro pitné účely. Jsou státy, jako například Dánsko, Rakousko, Portugalsko nebo Itálie, jejichž podzemní vody tvoří více než 90 % zdrojů. Naopak státy jako Řecko, Velká Británie, Irsko, Španělsko nebo Maďarsko má pod 40 % zdrojů podzemních vod. [6] V České republice je poměr zdrojů podzemních a povrchových vod takřka vyrovnaný. Uvádí se, že v roce 1999 byl tento poměr 47:53, přičemž v dlouhodobém trendu se procenta podzemních zdrojů stále mírně snižují. [16]

Z těchto čísel je patrné, že si podzemních zdrojů pitné vody musíme vážit. Je nutné zabývat se jejich ochranou a údržbou. Je nutné sledovat znečištění těchto vod, odstraňovat jejich původce a v případě kontaminace nejvhodnější metodou provést sanaci.

2 JÍMÁNÍ VODY Z PODZEMNÍCH ZDROJŮ

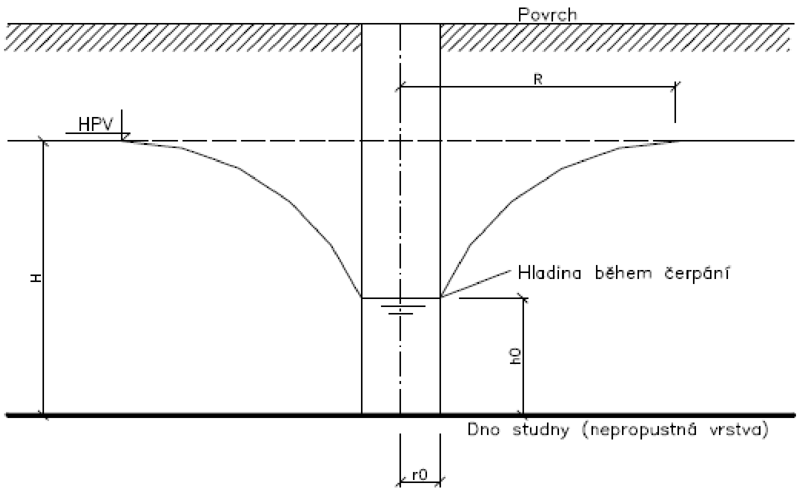
Rozlišujeme čtyři zařízení pro jímání podzemní vody:

- vertikální – studny;
- horizontální – zářezy, štoly a galerie;
- kombinované – radiální studny;
- podchycení pramenů – pramenní jímky. [1]

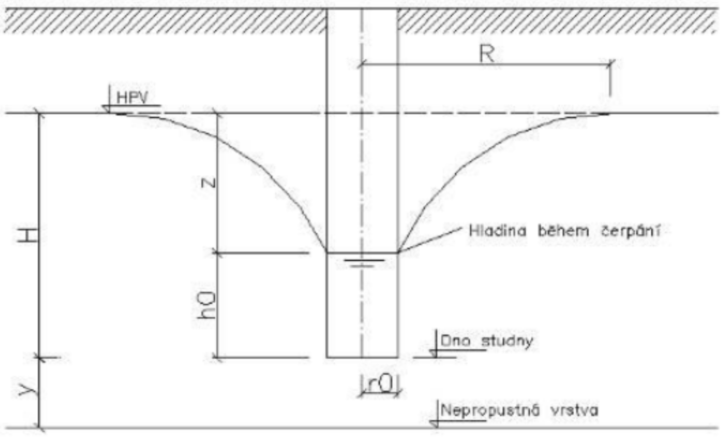
2.1 VERTIKÁLNÍ JÍMADLA – STUDNY

Studna je nejpoužívanějším vertikálním zařízením pro jímání vody. Zřizuje se tam, kde má zvodněná vrstva dostatečnou mocnost. Do studny je voda přiváděná uměle, například snížením hladiny vody ve studni důsledkem čerpání. [1]

Jedním z hledisek dělení studen je vztah k nepropustnému podloží. Podle toho dělíme studny na úplné a neúplné. Úplná studna má dno až na nepropustné vrstvě, neúplná zasahuje pouze do vrchní části zvodněné vrstvy.



Obr. 2.1 Úplná studna [1]



Obr. 2.2 Neúplná studna [1]

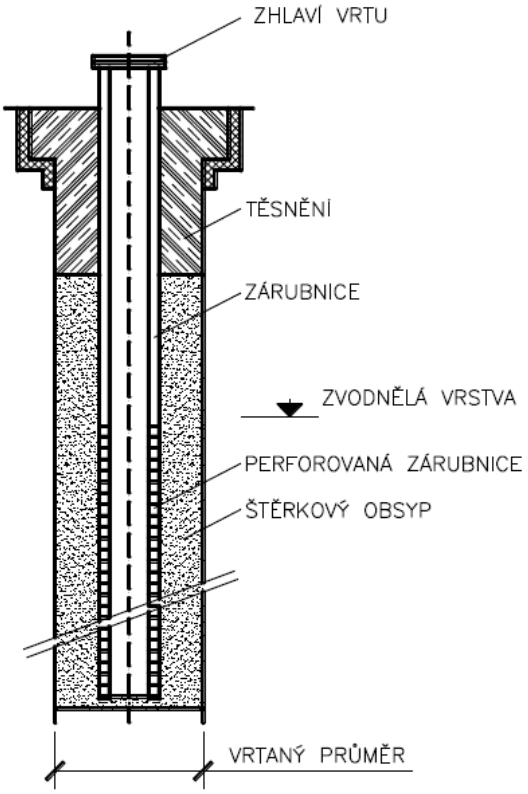
Dalším faktorem dělení je hladina. Podle hladiny se studny dělí na studny s hladinou volnou a studny s hladinou napjatou. U studny s napjatou hladinou dojde při porušení nepropustné vrstvy ke zvýšení hladiny až při jejím naražení. [1]

2.1.1 Konstrukce studní

Rozlišujeme studny:

- jehlové – nejjednodušší, ocelové nebo nerezové trubky o průměru 30-80 mm. Používají se do hloubky 50 m.
- vrtané (trubní) – zřizují se hlubinným vrtáním až do hloubky 100 m, jako první se do země vrtají pažnice, po vyhloubení se do pažnice vsune zárubnice a prostor mezi pažnicí a zárubnicí se vysype štěrkem. Následně se pažnice vytáhne a součástí studny zůstává jen zárubnice;
- šachtové – pro jímání většího množství vody. Zřizují se do hloubky asi 15 m, kdy je to hospodárné. Větší hloubky jsou finančně nákladnější. Výhodou šachtových studní je velká plocha kontaktu pláště a zvodněné vrstvy, což umožňuje snížení vtokové rychlosti a zamezení vplavování písku do studny. Šachtové studny dále rozdělujeme na:
    - kopané – mají průměr do 1,5 m a využívají se spíše pro individuální zásobování. Plášť se často vytváří ze železobetonových prstencových skruží, které se ve zvodněné vrstvě osazují na sucho, aby spárami mohla do studny přitékat voda;
    - spouštěné – mají průměr 3-6 m. Nejprve se vykope stavební jáma, na dno jámy se uloží věnec se zabetonovaným ocelovým břitem k usnadnění klesání studny. Poté se vybetonuje plášť studny do výšky 1 m nad terénem. Následně se začne těžit zemina ze dna studny, při čemž studna klesá a nadezdívá se;

- radiální – tzv. kombinované, jsou složeny s vertikální studny a horizontálních sběračů. Průměr se pohybuje okolo 4-6 m. Horizontální drény jsou ocelové trubky, které se zatlačují hydraulickými lisy. [1]



Obr. 2.3 Konstrukce vrtané studny [1]

Studny vždy situujeme tak, aby nemohlo být znečišťováno jejich okolí po celou dobu provozu a aby neovlivnily už existující zdroje vody. Norma stanovuje nejmenší dovolené vzdálenosti od možného zdroje znečištění. [1]

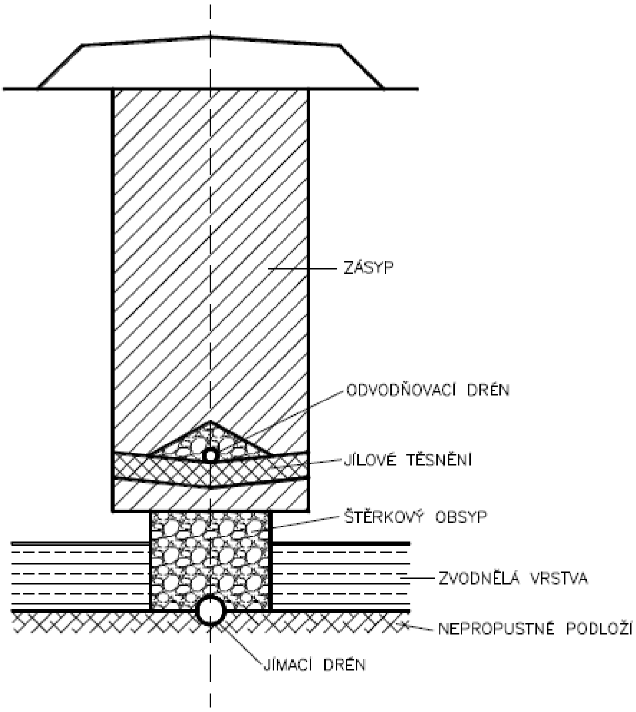
2.2 HORIZONTÁLNÍ JÍMADLA

Horizontální jímací zařízení navrhujeme tam, kde je malá mocnost zvodněné vrstvy a pokud není hloubka nepropustného podloží příliš velká. Rozlišujeme jímací zářezy, štoly a galerie. [1]

2.2.1 Jímací zářezy

Používají se pro jímání vody do hloubky 3 m. Podzemní voda se odvádí drénem, který je v horní části perforovaný, obsypaný štěrkem a zajištěný proti znečištění jílovým těsněním. Aby byly drény lépe kontrolovatelné, navrhují se v bodech zlomů nebo po 50 m délky revizní

šachty. Tento způsob jímání volíme pouze v takových místech, kde není jiná možnost z důvodu nespolehlivosti v období sucha. [1]



Obr. 2.4 Schéma jímacího zářezu [1]

2.2.2 Jímací galerie, štoly

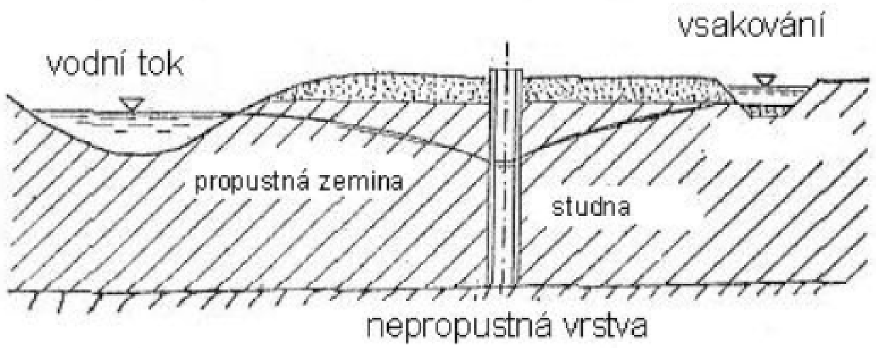
Jímací galerie se využívají pro jímání většího množství vody, až 100 l/s. Budují se jako průlezné nebo průchozí a jako materiál volíme železobeton nebo zdivo. Galerie se zřizují v otevřené rýze a štoly se budují hornickým způsobem. Vnější strana galerie je zajištěna proti vplavování jemnějších částic pomocí štěrkového filtru, který také slouží k soustředění vody. Do galerie voda stéká otvory, které jsou umístěné ve spodní části stěn, a shromažďuje se v podélném svodném žlabu, kterým odtéká. Svodný žlab ústí do sběrné studny. Jímací galerie se používají např. na Slovensku. [1]

2.3 INFILTRACE

Infiltrace je způsob obohacování podzemích vodních zdrojů. Obohacování spočívá v tom, že se do vhodných zemin přivádí povrchová voda, která v nich setrvává několik týdnů až měsíců a zbavuje se škodlivých látek přirozenou cestou. Přírodní prostředí pracuje jako filtr.

Vodonosnou vrstvu můžeme obohatit dvěma způsoby:

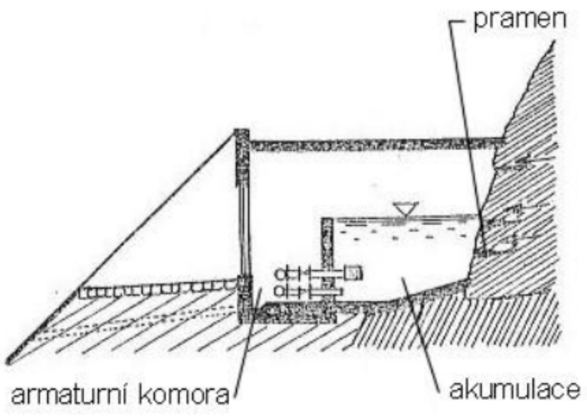
- břehová infiltrace – podél vodních toků se umisťují odběry vody pomocí studní,
- umělá infiltrace – provádí se buď zavedením vody do nádrží, nebo příkopů, které mají propustné dno, nebo do větší hloubky pomocí šachet. [1]



Obr. 2.5 Břehová (vlevo) a umělá (vpravo) infiltrace [1]

2.4 PRAMENNÍ JÍMKY

Pramenem se rozumí takové místo, kde podzemní voda přirozeně vyvěrá na zemský povrch. K podchycení těchto pramenů se používají pramenní jímky. Podzemní voda do nich volně vtéká a akumuluje se, a pokud se z pramenní jímky voda neodebere, odtéká jako povrchová voda do terénu. [1]



Obr. 2.6 Schéma pramenní jímky [1]

2.5 POŽADAVKY NA JÍMACÍ OBJEKTY

Pokud budujeme nový jímací objekt, je vhodné používat materiály, které nepodléhají korozi. Jedná se tedy o kvalitní plasty a nerez, pokud je použita ocel, musí být ošetřena protikorozním nátěrem. Jímací objekty větších významů se vybavují monitorovací, měřící a signalizační technikou. Jímací objekt by měl být snadno přístupný pro obsluhu, údržbu a pro případ oprav. [1]

2.6 OCHRANNÁ PÁSMA VODNÍCH ZDROJŮ

Abychom ochránili vydatnost a kvalitu vodních zdrojů, stanovujeme jejich ochranná pásma. Na základě Vyhlášky Ministerstva životního prostředí č. 137/1999 Sb. lze stanovit ochranné pásmo I. a II. stupně.

2.6.1 Ochranné pásmo I. stupně

Ochranné pásmo I. stupně je souvislé území v těsné blízkosti jímacího objektu. Rozsah se liší podle způsobu jímání. U zdrojů podzemních vod je to minimálně 10 metrů od odběrného zařízení.

2.6.2 Ochranné pásmo II. stupně

Ochranné pásmo II. stupně se nachází vně ochranného pásma I. stupně a je tvořeno jedním souvislým nebo více od sebe oddělenými územími. Nemusí být stanoveno vůbec v případech, kdy je ochranné pásmo I. stupně dostačující. [1]

3 ZNEČIŠTĚNÍ PODZEMNÍCH VOD

Znečištěním podzemních vod se rozumí každá změna fyzikálních, chemických, popřípadě i biologických vlastností v porovnání s jejich přírodním stavem. Znečištění vodu omezuje nebo zcela znemožňuje její využití. Znečištění obecně dělíme na:

- znečištění nedosahující mezních přípustných hodnot jednotlivých ukazatelů. Koncentrace látek jsou ale vyšší než běžné hodnoty;
- znečištění přesahující maximální přípustné hodnoty koncentrací ve vybraných ukazatelích.

Podzemní voda je oproti povrchové značně méně vystavena znečištění. Její znečištění většinou znamená také znečištění horninového prostředí., kde je likvidace znečištění složitá. Znečištění odpadních vod se většinou projevu opožděně a zjistí se až při znečištění celého pásma nasycení. [2]

3.1 ZPŮSOBY ZNEČIŠTĚNÍ PODZEMNÍCH VOD

Jakost podzemních vod závisí na intenzitě využití území a na znečištění životního prostředí, tedy půdy a vzduchu. Látky, které znečišťují podzemní vodu, do ní pronikají z povrchu země průsakem srážkové vody nebo v místech infiltrace z povrchových vodních toků. Největší znečištění tedy nastává v oblastech, kde je znečištěn povrch v důsledku zemědělské činnosti, průmyslové výroby, dopravy, těžby a úpravy surovin. Běžnými způsoby znečištění jsou:

- vypouštění odpadních vod do podzemních,
- úniky odpadních vod ze stokových sítí a čistíren,
- provozní a havarijní úniky z produktovodů (např. ropovodů), při manipulaci a použití těchto látek,
- průsaky ze špatně zabezpečených skládek odpadu,
- úniky z objektů zemědělských provozů a výroben,
- průsaky ze zemědělsky obhospodařovaných ploch (hnojiva),
- průsaky znečištěných srážkových vod,
- infiltrace ze znečištěných vodních toků,
- nevhodně utěsněné hydrogeologické objekty (vrty),
- úniky roztoků z chemické těžby surovin v podzemních prostorech,
- znečištění přes jímací, popř. pozorovací objekty zaplavené např. při povodních. [2]

Podle prostorového charakteru členíme zdroje znečištění na:

- bodové, které představují obvykle znečištění komunální (průsaky z ČOV), průmyslové a zemědělské,
- liniové, které představuje např. infiltrace z toků, průsak podél komunikací, vedení apod.,
- plošné, kde zdrojem znečištění jsou průsaky ze zemědělsky obhospodařovaných pozemků, infiltrace znečištěné srážkové vody apod.,

- difúzní zdroje jsou zdroji rozptýlenými, které mohou pocházet z bodových, liniových, popř. plošných znečištění. [2]

3.2 ZDROJE ZNEČIŠTĚNÍ A ZNEČIŠŤUJÍCÍ LÁTKY

Látky, které ovlivňují změnu jakosti podzemních vod, dělíme na antropogenní a přírodní. Těchto látek je celá řada, proto se zaměřím jen na pár nejčastějších a nejnebezpečnějších.

Městské odpadní látky způsobují především mikrobiální znečištění. Obsahují organické látky a produkty jejich rozkladu. Dále pak taky tenzidy, dusíkaté látky a sloučeniny fosforu.

Průmyslové odpadní vody, jejichž složení může být značně různorodé. Mohou obsahovat například chloridy, sírany, železo, mangan, dusičnany, dusitany, fenoly, ropné látky nebo těžké kovy. Charakteristický je vysoký stupeň mineralizace, zbarvení, zápach a toxicita těchto vod.

Odpadní vody ze zemědělství, které představují zejména tekuté odpady z živočišné výroby. Jedná se o močůvku, hnojůvku, průmyslová hnojiva, pesticidy, silážní šťávy, odpady z rostlinných produktů a z velkochovů. Základními znečišťujícími látkami jsou sloučeniny dusíku, fosforu a draslíku, ale i bakteriální znečištění.

Pesticidy jsou jak organické, tak anorganické chemické látky užívané na ochranu rostlin před škodlivými organismy a hmyzem. Ohrožení podzemních vod pesticidy závisí na řadě faktorů, zejména na jejich množství, povaze, rozpustnosti ve vodě, prchavosti a na adsorbční schopnosti.

Další hrozbou jsou tzv. **„černé skládky"**, které mohou velmi rozsáhle znečistit podzemní vodu. Podobným problémem jsou i nedostatečně zabezpečená úložiště průmyslových toxických odpadů a radioaktivních látek.

Ropné látky patří do skupiny nebezpečných škodlivých látek, které už v malém množství znehodnocují organoleptické vlastnosti vody. Hustota ropných látek je nižší než hustota vody (od cca 700 kg/m^3 až po cca 850 kg/m^3). Ropné látky se s vodou místí obtížně, obvykle na styku s vodou vytváření rozhraní a v běžných podmínkách plavou na hladině vody. Do vody se ropné látky dostávají na styku formou emulze. Schopnost vytváření emulze roste s klesajícím povrchovým napětím na styku vody a ropných látek. Toxicita ropných látek není příliš vysoká, negativní vliv na organoleptické vlastnosti se většinou projeví dříve, než je dosáhnut stupeň toxicity. Některé ropné látky jsou karcinogenní. [2]

4 ROPNÉ LÁTKY

Z technického hlediska lze ropné uhlovodíky rozdělit do 4 skupin:

1) benziny (směs uhlovodíků C_4 až C_{12}),
2) petroleje (směs uhlovodíků C_{12} až C_{18}),
3) plynové oleje (směs uhlovodíků C_{16} až C_{24}),
4) mazací oleje (směs uhlovodíků C_{24} až C_{40}). [3]

Mohou se vyskytovat:

- rozpustné,
- nerozpuštěné – volné,
- emulgované,
- adsorbované v organických látkách (na jílových částečkách, planktonu, dnových sedimentech). [3]

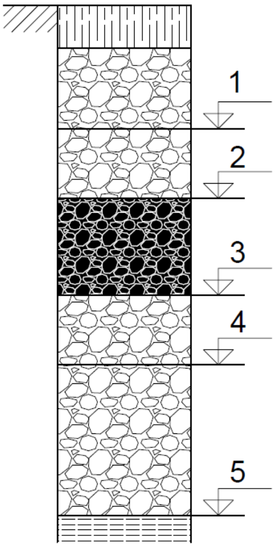
Čím je délka řetězce větší, tím je horší rozpustnost ropných uhlovodíků. Na hladině se olejový film začíná vytvářet při koncentraci větší než 0,1 až 0,2 $mg.l^{-1}$; 50 litrů oleje stačí pokrýt 1 km^2 vodní plochy o tloušťce vrstvy 0,05 mm.

Ropné uhlovodíky ovlivňují pach a jsou schopné se kumulovat ve vodních organismech a dnových sedimentech. Olejový film na hladině zpomaluje přístup kyslíku do vody a tím ovlivňuje biologický rozklad. Ropné látky patří do skupiny nepolárních uhlovodíků analyzovaných jako nepolární extrahovatelné látky.

Ropné látky se podle pohybu a samočištění dělí na 4 základní skupiny:

- plynné,
- kapalné,
- emulze,
- rozpuštěné. [3]

Výskyt ropných látek v horninách je tedy možný ve více zónách. První zóna v pásmu provzdušnění obsahuje jen plynné ropné látky. Druhá zóna se nachází mezi maximální úrovní ropných látek a jejich okamžitou úrovní. V této zóně ropné látky obalují povrch horninových zrn. Třetí zóna je nad hladinou podzemní vody a vytváří jí vrstva kapalných ropných látek. Čtvrtou zónu tvoří směs kapek ropných látek s podzemní vodou. Pod minimální úrovní rozhraní vody a kapky ropné látky je pátá zóna s rozpuštěnými nebo emulgovanými ropnými látkami. [3]



1 – maximální úroveň ropných látek

2 – okamžitá úroveň ropných látek

3 – okamžitá úroveň rozhraní voda – ropná látka

4 – minimální úroveň rozhraní voda – ropná látka

5 - izolátor

Obr. 4.1 Zóny výskytu ropných látek v horninách [3]

4.1 POHYB ROPNÝCH LÁTEK

Pohyb každé ropné látky je jiný, což znamená, že teoretické stanovení pohybu ropných látek v jednotlivých zónách je často složité. [3]

4.1.1 Pohyb plynných ropných látek

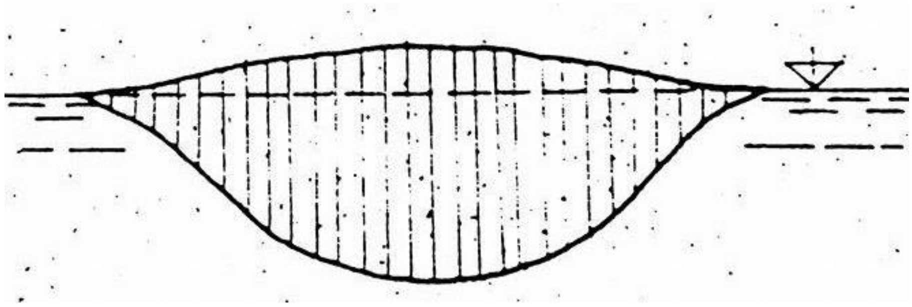
Pohyb plynných ropných látek podmiňují dva faktory, a to difuze plynů a změna úrovně hladiny podzemní vody. [3]

4.1.2 Pohyb kapalných ropných látek

Pohyb kapalných ropných látek určuje propustnost horniny, hydraulický sklon a viskozita kapaliny. Z hodnot viskozit je patrné, že pohyb benzínu bude rychlejší než pohyb nafty. Kolísání hladiny podzemní vody zpomaluje pohyb ropných látek, ale zvětšuje plochu kontaminace horniny ropnými látkami. Velikost plošného rozšíření kapalných ropných látek závisí na množství a počtu úniků do horninového prostředí.

Při malém jednorázovém úniku se ropné látky sorbují na povrch horninového prostředí, případně se zadrží v hornině kapilárními silami. Za přístupu vzduchu se tyto ropné látky rozloží v půdě biochemickými procesy, takže nemusí dojít ke znečištění podzemních vod. Při větším jednorázovém úniku se vyčerpá sorpční schopnost horniny a vlivem gravitace nastane vertikální pohyb ropných látek a obvykle dojde k vytvoření tělesa ropných látek. Jelikož většina ropných látek, které ohrožují podzemní vody, má menší hustotu než voda, plave těleso ropných látek na hladině. Těleso se pomalu zplošťuje, tedy zmenšuje svou výšku, ale zvětšuje plochu. Celé těleso je unášeno proudící podzemní vodou. Těleso se také může vytvořit v místech opakovaného přítoku ropných látek do horninového prostředí přes dobře

propustné a velmi vysoké pásmo provzdušnění. Ropné těleso se vytváří v depresi při čerpání podzemní vod.



Obr. 4.2 Tvar tělesa ropných látek na hladině podzemní vody [3]

Pohyb ropných látek v hornině se dělí na tři fáze. První fáze je vertikální pohyb v pásmu provzdušnění. Druhá fáze je fáze aktivní migrace, která nastává po dotoku ropné látky k hladině podzemní vody, nebo izolátoru a začne se pohybovat horizontálně. Třetí fází je pasivní migrace, při které ropné látky unáší proudící podzemní voda. Důležitou úlohu při pohybu ropných látek má kolísání hladiny podzemní vody. [3]

4.1.3 Pohyb rozpuštěných a emulgovaných ropných látek

Pohyb rozpuštěných a emulgovaných ropných látek v podzemní vodě je podmíněný vlastním pohybem podzemní vody. Z hlediska znečištění je pohyb rozpuštěných a emulgovaných ropných látek nebezpečnější než pohyb kapalných ropných látek, protože zasahuje podstatně větší území (5 až 80krát). Na pohyb rozpuštěných látek má vliv sorpce, desorpce, difuze a hydrodynamická disperze. [3]

4.2 SAMOČIŠTĚNÍ ROPNÝCH LÁTEK

Při samočištění se uplatňuje především chemický a biochemický rozklad a sorpce. Sorpce se uplatňuje u všech forem ropných látek. Adsorbované ropné látky podléhají změnám, které jsou výsledkem různých procesů, z nichž nejdůležitější je desorpce vodou.

V přírodě je velké množství mikroorganismů, které mohou rozložit uhlovodíky za aerobních i anaerobních podmínek. Velkou schopnost rozkladu mají bakterie žijící v půdě, a to rody Pseudomonas, Achromobacter a Flavobacterium a jiné. Rozklad chemického znečištění bakteriemi je složitý proces. [3]

Obr. 4.3 Bakterie Pseudomonas [7]

5 OCHRANA PODZEMNÍCH VOD

Jde o soubor opatření zaměřených na předcházení, omezení a sanaci následků nadměrného využití a znečištění podzemních vod. Jedná se o opatření legislativní, krajinotvorná i technická. Ochrana podzemních vod jsou tedy činnosti preventivní, kontrolní (dozor) a sanační. [2]

5.1 NÁSTROJE OCHRANY PODZEMNÍCH VOD

Podzemní vody jsou přednostně vyhrazeny pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou. Ochranu je možné dělit podle různých hledisek. Velmi často se člení na ochranu:

- primární, u které se jedná především o ochranu podzemních vod v nadměrně využívaných oblastech a v lokalitách, kde se počítá s budoucím využitím. Tento způsob ochrany zahrnuje technicko-organizační postupy, které mají zamezit zhoršení jakosti podzemních vod. Jde o výstavbu stavebních prvků (záchytné nádrže, ochranné kanály apod.), konstrukčně-technologických opatření (protikorozní, signalizace apod.) a o provozní dozor;
- sekundární, která spočívá v zabezpečení protihavarijních opatření. Je většinou součástí havarijních plánů podniků, v nichž může dojít ke znečištění podzemní vody velkými zdroji znečištění. Zejména v takových případech by nebyla primární ochrana dostatečná. Dále se člení na ochranu:
  - pasivní, kdy je omezen pohyb znečištěné podzemní vody např. podzemními clonami a stěnami;
  - aktivní, kdy je znečištěná voda odčerpávána ze zvodně vhodně umístěnou soustavou studní. [2]

5.2 HAVÁRIE A LIKVIDACE JEJICH NÁSLEDKŮ

Havárie na podzemních vodách jsou značným problémem z hlediska poškození životního prostředí i z hlediska finančních nákladů na jejich likvidaci a následné sanace. Dopady na životní prostředí i finanční náklady lze snížit rychlým a odborným zásahem s využitím technického opatření. Při nevhodném postupu při likvidaci havárie se může způsobit rozšíření zasaženého prostoru a poškození dalšího území.

Havárií se rozumí mimořádné závažné zhoršení nebo ohrožení jakosti vody. Zpravidla se jedná o nepředvídaný jev s následným výrazným zhoršením jakosti. Za havárii se vždy považují případy zhoršení jakosti vod ropnými látkami nebo dojde-li ke zhoršení nebo ohrožení jakosti v chráněných vodohospodářských oblastech, v ochranných pásmech nebo na vodárenských tocích. O havárii se nejedná, když vzhledem k rozsahu a místu úniku je vyloučeno nebezpečí vniknutí závadných látek do podzemních vod.

Havárii hlásí původce nebo ten, kdo ji zjistí. Havárie se hlásí vodohospodářskému orgánu pověřené obce. Uživatel závadných látek je povinen vypracovat plán havarijních opatření, pokud s těmito látkami zachází ve větším rozsahu, nebo když je zacházení s nimi spojeno

s větším rizikem nebezpečí. Havarijní plány schvaluje vodohospodářský orgán. Všechny postupy spojeny s likvidací havárií včetně následných sanací musí být v souladu s plánem havarijních opatření.

Havárií na podzemních vodách se většinou rozumí únik závadných látek na nezpevněnou plochu, únik z podzemních úložišť a potrubních systémů, úniky z netěsných kanalizací a nepovolené vypouštění odpadních vod. Prostředí je častokrát nesnadno kontrolovatelné, zasažená místa se obtížně hledají a sanační práce jsou velmi nákladné. Při úniku škodlivých látek do horninového prostředí je nutné co nejrychleji odstranit poškozenou zeminu, případně zahájit sanační čerpaní podzemní vody. [2]

5.2.1 Ropné havárie

Ropné havárie patří k nejčastěji vyskytujícím se únikům s vážným ohrožením jakosti podzemních vod. Ropnými látkami rozumíme uhlovodíky a jejich směsi s bodem tuhnutí nižším než 40°C. Volné fáze ropných látek jsou většinou ve vodě nerozpustné nebo jen částečně rozpustné. Z nezpevněných ploch se ropné látky odstraní odtažením zasaženého horninového prostředí v kombinaci s posypem méně propustných míst účinným hydrofobním sorbentem. Při zasažení nezpevněných ploch platí, že vlhké a celistvé horninové prostředí je pro ropné látky méně propustné než suché a zvětralé povrchy. V případě úniku ropných látek a látek podobné povahy na nezpevněné plochy je nutné oddělit zasažený prostor, sbírat uniklou látku a odtěžit kontaminovanou zeminu. [2]

5.2.2 Základní postupy likvidace havárií

Základní postupy likvidace havárií spočívají v:

- neprodleném nahlášení havárie,
- rychlém odstranění příčin havárie,
- zabránění, resp. zmírnění škodlivých následků:
    - likvidací uniklých závadných látek,
    - sledováním jakosti ohrožené podzemní vody,
    - uvedením zasaženého místa, pokud možno do původního stavu. [2]

Při likvidaci havárií na podzemních vodách je nutné postupovat tak, aby zvolený postup neohrozil další systémy životního prostředí. V případě složitých opatření, a pokud nelze postupovat podle havarijního plánu, by měl rozhodovat kvalifikovaný a oprávněný vodohospodář. [2]

6 SANACE PODZEMNÍCH VOD

Sanací podzemních vod a aplikací metod likvidace jejich znečištění se v současné době zabývá celá řada komerčních společností. Ty disponují řadou technologického zařízení a materiály potřebnými k odstranění škodlivých látek z podzemní vody. Výběr vhodné sanační technologie má zásadní vliv na průběh a výsledky sanačního zásahu.

Nejdůležitějším kritériem pro výběr sanační technologie je výskyt kontaminantu v závislosti na horninovém prostředí. Nejde pouze o zhodnocení výskytu ohniska znečištění vůči hladině podzemní vody a jejím režimním změnám, ale také o posouzení geologické, tektonické stavby a litologie daného území.

Prvním krokem sanace je volba technologie podle cíle nápravných opatření a sanovaného média. Druhým krokem je zhodnocení fyzikálně-chemických, toxikologických a bioakumulačních vlastností nejvýznamnějšího kontaminantu, jeho koncentrací a stanovených sanačních limitů. Podle způsobu výskytu kontaminantu v horninovém prostředí a interakce kontaminantu s přírodním prostředím se volí místo sanace v kombinaci s konkrétní technologií. Pro volbu sanační metody je s ohledem na délku sanace důležitý bilanční výpočet výskytu a pohybu kontaminantů v jednotlivých složkách horninového prostředí. Často se volí i více sanačních metod, které se realizují souběžně nebo s odstupem. Velká hloubka průniku kontaminantu vylučuje použití sanační metody ex situ (mimo místo kontaminace). Za limitní se považuje hloubka 6 m. Poměrně zásadním způsobem mohou volbu sanační metody ovlivnit místní podmínky a infrastruktura znečištěné lokality. Například nemožnost vypouštění nebo jen velmi kvantitativně a kvalitativně omezené vypouštění vod limituje čerpání vody a následné čištění. Nevýhodou energeticky náročných technologií je nedostatečný zdroj elektrické energie. Naopak možnost využití stávající ČOV preferuje metodu čerpání. Levný zdroj páry preferuje nasazení termicky podporovaných metod in situ, levný zdroj stlačeného vzduchu pak preferuje použití pneumatických metod, kdy je výsledkem buď lepší jakost vyčištění prostředí, nebo rychlejší sanace. Pokud existuje více odborně i cenově rovnocenných technologií, doporučuje se zpracovat studie proveditelnosti. Studii je nutné zpracovat i v opačném případě, kdy zdánlivě nebo skutečně nevyhovuje žádné řešení. V tomto případě se často přistupuje k metodě vznikající či experimentální. Pokud se v průběhu sanace ukáže, že vybraná technologie je nedostačující, je nutné ji optimalizovat nebo nahradit jinou technologií. Výběr sanačních technologií mohou ovlivnit i další faktory, jako např. území se zvláštních režimem ochrany (OP, CHKO, CHOPAV). Nezbytným předpokladem úspěšné sanace je odborná úroveň řešitelů a vykonavatelů odborného dozoru. [2]

6.1 SANACE PODZEMNÍCH VOD ZNEČIŠTĚNÝCH ROPNÝMI LÁTKAMI

Ropné látky neboli uhlovodíky, jsou hlavním zdrojem znečištění vod zejména v průmyslových objektech a areálech, podél železnic a v okolí čerpacích stanic pohonných hmot. Vážným problémem je především výskyt na vodohospodářsky významných lokalitách. Pokud je na hladině podzemních vod volná fáze ropných uhlovodíků v odpovídajícím

množství, je možné je za pomoci speciálního čerpadla nebo tubusu přímo čerpat, např. do gravitačních odlučovačů. Pokud voda obsahuje na výstupu větší množství rozpuštěných ropných látek, než je přípustný limit, je možné ji dočistit tlakovou filtrací až na koncentraci 0,2 mg/l. Voda se dále upravuje průtokem přes lamelovou usazovací nádrž. V případě vyšší propustnosti a dostatečného množství těkavých kontaminantů je efektivní metoda tzv. venting. Kontaminovaný půdní vzduch je odsáván vývěvou přes separátor na filtrační jednotku nebo katalytickou spalovnu. Takto lze sanovat až do cca 0,40 m^3/s kontaminovaného půdního vzduchu. Další metodou je tzv. stripování, které využívá možnost převést znečišťující látky do plynného skupenství a zachytit je na regenerovatelném sorbentu. Kontaminovaná voda se čerpá do tzv. stripovací kolony. Poté znečišťující látka přechází do plynného skupenství a je sorbována na filtru. Po nasycení sorpční aktivity se filtr s náplní aktivního uhlí desorbuje parou. Po odstranění kontaminantů může voda v některých ukazatelích splňovat až limity pitné vody. Takto je možné sanovat podzemní vodu až do vydatnosti 100 l/s při koncentraci ropných látek do 100 mg/l. [2]

6.2 ASANAČNÍ PRÁCE

Ropné látky jsou zdrojem zdravotních a organoleptických závad, které činí podzemní vodu nepoživatelnou. Odstraněním těchto látek se rozumí odstranění ropných látek z vody i z horninového prostředí, tedy provedení asanace vod.

Úplná asanace vyžaduje tyto zásahy:

- odstranění zdroje znečištění,
- odstranění hornin znečištěných ropnými látkami,
- odstranění ropných látek na hladině podzemní vody,
- odstranění vody s emulgovanými a rozpuštěnými ropnými látkami. [4]

Skutečný rozsah asanačních prací a termín jejich ukončení závisí na třech základních faktorech, kterými jsou:

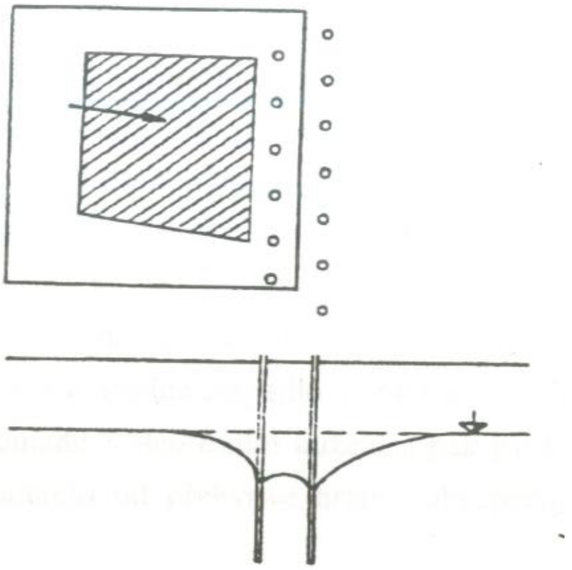
- technické podmínky asanace,
- rozsah ohrožení zásob podzemních vod a vodárenských objektů,
- ekonomické možnosti asanace. [4]

6.2.1 Prvky aktivní ochrany

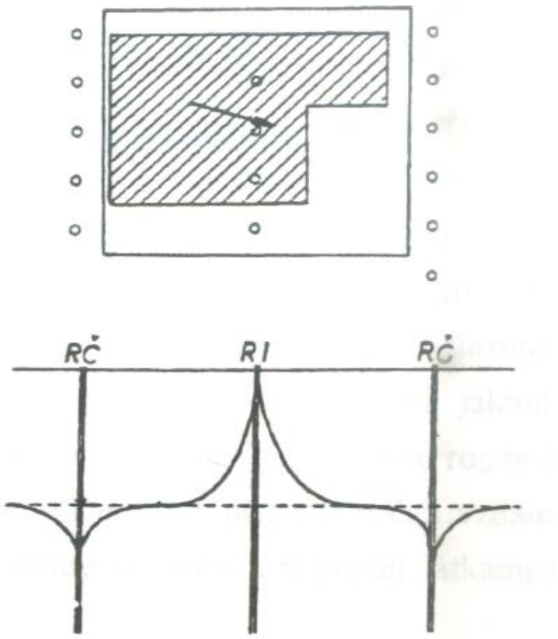
Mezi prvky aktivní ochrany asanačních prací patří vrty, rýhy, drenáže apod., které umožňují odčerpávání ropných látek i znečištěné vody a vytvoření potřebné deprese zamezující jejich dalšímu šíření. Prvky aktivní ochrany můžeme vhodným způsobem doplnit také prvky pasivními.

Nejčastějším prvkem aktivní ochrany je hydraulická ochrana. Jde v podstatě o jednu nebo dvě řady vrtů vytvářejících souvislé snížení kolmo na směr proudění podzemní vody pod místem znečištění. Při rozsáhlém znečištění je zapotřebí vytvořit dvě řady – vnitřní a vnější. Vnitřní

slouží především k odčerpání ropných látek a režim čerpání musí být uzpůsoben jejich maximálním odběrům. Vnější linie zachycuje ve vodě rozpuštěné ropné látky a tvoří souvislý depresní kužel.

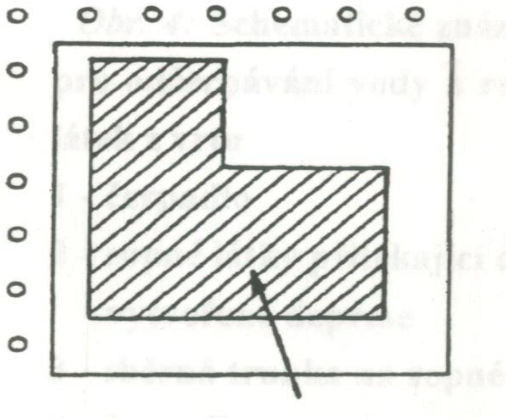


Obr. 6.1 Hydraulická clona dvouřadá [4]



Obr. 6.2 Hydraulická clona infiltračně čerpací [4]

V případech, kdy z daného území není možné odčerpávat potřebné množství vody, můžeme využít systém infiltračně čerpací, který má ještě řadu infiltračních vrtů, čímž vznikne uvnitř clony elevace, od které se voda roztéká opět k čerpaným vrtům.



Obr. 6.3 Hydraulická clona jednořadá [4]

Jestliže nejde o rozsáhlé znečištění, stačí jednořadá hydraulická ochrana. Vrty jednořadé hydraulické ochrany a ve vnější řadě ochrany dvouřadé by měly být vždy úplné nebo by měly sahat alespoň jednou třetinou mocnosti zvodněné vrstvy pod úroveň znečištění podzemních vod. Kontrolou funkce hydraulické ochrany je systém pozorovacích vrtů, podle nichž můžeme stanovit, zda je funkce hydraulické ochrany dostatečná.

Automatické odčerpávání ropných látek z hladiny podzemní vody v čerpaném vrtu je poměrně složitá záležitost, protože jejich vrstva bývá poněkud tenká (často jen několik mm) a pokud chceme dostáhnout odděleného čerpání ropných látek a vody, musíme čerpat přerušovaně. Sací koš čerpadla na ropné látky je umístěn v zaslepené trubce dole, do které může přepadat ropná látka přes horní okraj. Přelivová trubka umožňuje pohybem nahoru a dolů snadnou regulaci úrovně, ve které se odčerpávají ropné látky, aniž by bylo nutné měnit délku sacího potrubí čerpadla. Automatické zapínání čerpadla po nahromadění ropných látek v dostatečné mocnosti se zabezpečí dvěma kontakty, z nichž horní, jakmile se dostane do vody, vypíná čerpadlo a dolní je opět zapíná. Tím se dosáhne toho, že se mohou ropné látky pomalu hromadit v depresním kuželu a pak jsou najednou odčerpány, přičemž určitá vzdálenost horního kontaktu od přelivové hrany zabezpečuje, že nebude čerpána s ropnými látkami také voda.

Dalšími prvky aktivní ochrany, které se využívají, pokud jsou úniky menšího rozsahu a při mělké hladině podzemní vody, jsou rýhy a drenáže. Rýhy mají tu výhodu, že vizuálně můžeme kontrolovat jejich účinnost a můžeme jimi přerušit celý proud znečištění. Rýhy však nejsou výhodné jako trvalý prvek aktivní ochrany, poněvadž výskyt uhlovodíků na hladině vody v otevřené rýze je nebezpečí s ohledem k požáru. U drenáže je velmi obtížné, hlavně při větším kolísání podzemní vody, dosáhnout toho, aby úroveň hladiny byla právě v úrovni drenážních perforovaných trubek, což umožňuje, aby se do nich dostaly ropné látky. [4]

6.2.2 Prvky pasivní ochrany

Prvky pasivní ochrany podzemních vod omezují šíření znečištění určitým směrem, ale nemohou zabezpečit celkovou asanaci. Mezi nejčastější prvky pasivní ochrany patří podzemní nepropustné stěny. Podzemní stěna může být vybudována jako úplná (zahloubená až do nepropustného podloží) nebo neúplná (sahající jen do určité části zvodnění horniny). Úplná stěna zabraňuje jakémukoliv proudění. To ovšem znamená, že pokud přitéká voda pod určitým spádem, u úplné podzemní stěny se začne vzdouvat. Proto se tento typ stěny používá buď společně s některým prvkem aktivní ochrany, kterým se přitékající voda odčerpává, nebo se používá uzavřená podzemní stěna, která úplně obklopuje prostor kolem místa znečištění, avšak i v tomto případě musí být zabezpečeno odčerpávání znečišťujících látek a regulace hladiny podzemní vody. Neúplná podzemní stěna nebrání proudění podzemní vody, ale zabraňuje šíření ropných látek na její hladině. I v tomto případě musí být zabezpečeno odčerpávání ropných látek, protože pokud by se u neúplné stěny nahromadily, mohly by ji podtéci.

K pasivním prvkům ochrany patří také infiltrační objekty, jako jsou infiltrační rýhy nebo infiltrační vrty. Jejich ochranná funkce spočívá v tom, že zvýšením hladiny podzemní vody se změní její přirozený spád, a tím i směr šíření znečištění. [4]

7 ÚPRAVA VODY OBSAHUJÍCÍ ROPNÉ LÁTKY

Upravitelnost vod je dána její jakostí, zejména povahou a koncentrací látek, stupněm znečištění a účinností použitého technologického postupu a strojně technologického zařízení. Podle přílohy č. 13 k vyhlášce č. 428/2001 Sb. „Požadavky na jakost surové vody", se dělí zdroje do čtyř kategorií upravitelnosti:

- **A1** – Úprava surové vody s koncovou dezinfekcí pro odstranění sloučenin a prvků, které mohou mít vliv na její další použití, a to zvláště snížení agresivity vůči materiálům rozvodného systému včetně domovních instalací (chemické nebo mechanické odkyselení), dále odstranění pachu a plynných složek provzdušňováním. Prostá filtrace pro odstranění nerozpuštěných látek a zvýšení jakosti.
- **A2** – Surová voda vyžaduje jednodušší úpravu, např. koagulační filtraci, jednostupňové odželezňování, odmanganování nebo infiltraci, pomalou biologickou filtraci, úpravu v horninovém prostředí, a to vše s koncovou dezinfekcí. Pro zlepšení vlastností je vhodná stabilizace vody.
- **A3** – Úprava surové vody vyžaduje dvou či vícestupňovou úpravu čiřením, oxidací, odželezňováním a odmanganováním s koncovou dezinfekcí, popř. jejich kombinaci. Mezi další vhodné procesy se řadí např. využívání ozónu, aktivního uhlí, pomocných flokulantů, flotace. Ekonomicky náročnější postupy technicky zdůvodněné (např. sorpce na speciálních materiálech, iontová výměna, membránové postupy) se použijí mimořádně.
- **Vyšší koncentrace než jsou uvedeny pro kategorii A3** – Podle § 13 odst. 2 zákona lze vodu této jakosti výjimečně odebírat pro výrobu pitné vody s udělením výjimky příslušným krajským úřadem. Pro úpravu na vodu pitnou se musí použít technologicky náročné postupy spočívající v kombinaci typů úprav uvedených pro kategorii A3, přičemž je nutné zajistit stabilní kvalitu vyráběné pitné vody podle vyhlášky č. 252/2004 Sb. Přednostním řešením v těchto případech je však eliminace příčin znečištění anebo vyhledání nového zdroje vody. [5]

Tab. 7.1 Uhlovodíky C10-C40 a jejich mezní hodnoty pro jednotlivé kategorie standartních metod úpravy surové vody na pitnou vodu [5]

ukazatel	jednotka	A1	A2	A3
		mezní	mezní	mezní
uhlovodíky C10-C40	mg/l	0,1	0,1	0,1

Při úpravě vody s vyšším organickým znečištěním nebo při úpravě vody, u které nelze vyloučit výskyt specifických organických nebo jiných látek, jejichž obsah je možné snížit sorpcí, můžeme použít aktivní uhlí.

Výhodné je použít zrněné aktivní uhlí jako náplň otevřených nebo uzavřených filtrů.

Ropné látky jsou zdrojem špatných organoleptických vlastností vody, k jejichž úpravě lze využít sorpční schopnosti aktivního uhlí. Účinnost se prodlužuje při předřazení ozonizace. Ozonizace zařazená před filtraci nejen zvyšuje eliminaci organických látek, ale současně dochází k zachycení vedlejších produktů ozonizace a ke zvýšení obsahu kyslíku v protékající vodě.

Obr. 7.1 Aktivní uhlí granulované [18]

K dekontaminaci vody pro pitné účely slouží rovněž zařízení pracující na principu reverzní osmózy. Reverzní osmóza je proces poskytující záruku produkce vody vysoké kvality z chemického i biologického hlediska. [4]

8 FIRMY PROVÁDĚJÍCÍ SANAČNÍ PRÁCE

V naší republice působí řada firem, které provádějí sanační práce. Odstraňují následky znečištění ropnými látkami i dalšími kontaminanty nejen v podzemních vodách, ale také v horninovém prostředí a půdním vzduchu.

Tyto firmy při zpracování projektu vychází z výsledků, které se získaly z pečlivě provedeného průzkumu a analýzy rizikovosti. Stanovení rizika pro okolní životní prostředí a požadavky správních orgánů jsou rozhodujícími faktory pro dimenzování sanačních prací. Zároveň je však nutné maximálně respektovat potřeby a možnosti zákazníků. [13]

8.1 ALPHABIO ECOSERVICE, S R.O.

AlphaBio EcoService, s r.o. je ekologicko-inženýrskou a realizační firmou nabízející komplexní služby v různých oblastech revitalizace a ochrany životního prostředí, která ve své činnosti využívá pokrokové postupy a technologie.

AlphaBio EcoService, s r.o. je členem otevřeného a stále se rozšiřujícího systému Alpha Environmental Biosystems Group, sdružujícího v současné době přes 100 firem řady zemí světa, které používají materiály ALPHA a know-how biotechnologií ALPHA MICROX k ozdravování životního prostředí. Vzájemný transfer informací a zkušeností mezi členy tohoto systému umožňuje neustálé zkvalitňování poskytovaných ekologických služeb, rozšiřování spektra řešených problémů a typů bioremediačních aplikací. [8]

8.1.1 Podmínky využití biotechnologie

Biotechnologie můžeme s úspěchem využívat při řešení těch ekologických zátěží, kde kontaminované prostředí není toxické pro základní článek procesu sanace – mikroorganismy. Rozhodování o vhodnosti použití biotechnologií a o volbě vhodných technologických postupů může být odpovědné pouze tehdy, pokud je předem stanovena ověřovacími testy toxicita a biodegradovatelnost kontaminantů. Následně je možné stanovit limity sanačních prací a garance. V průběhu realizačních prací je pak nutné zajistit potřebné monitorování a stálou optimalizaci podmínek a provozních režimů pro nepřerušovaný průběh sanace. [8]

8.1.2 Výhody biotechnologie

Výhodami jsou:

- kompatibilita s dalšími ekologickými technologiemi, možnost vytváření optimálních kombinací k rychlejšímu dosažení cílových efektů,
- šetrnost k ostatním složkám životního prostředí,
- snadná a rychlá aplikace,
- technická a ekonomická výhodnost pro zákazníka,
- široké spektrum použití,

- účinný biochemický rozklad toxických organických látek na látky pro životní prostředí nezávadné. [8]

8.1.3 Nabízené služby

Společnost AlphaBio EcoService, s r.o nabízí služby v oblasti:

- čištění odpadních vod,
- geologie a hydrogeologie,
- zneškodňování odpadů
- revitalizace,
- čištění průmyslových vzdušin,
- zemědělství. [8]

V oblasti geologie a hydrogeologie společnost AlphaBio EcoService, s r.o nabízí poradenské a expertní služby a projektování hydrogeologických průzkumných prací a zajištění jejich realizace. K sanaci území kontaminovaných organickými látkami využívá metodu in-situ. Provádí také monitorovací práce. [8]

8.1.4 Sanační metoda in-situ

Bioremediační metoda umožňuje účinnou sanaci kontaminovaných podzemních vod, horninového prostředí a sedimentů a vody rybníků, bazénů apod. Metoda umožňuje účinný biochemický rozklad širokého spektra kontaminantů, např.: ropných produktů, benzenu, etylbenzenu, toluenu, xylenu, styrenu, PAU, tenzidů, živočišných a rostlinných tuků. Výhodou bioremediačních sanačních metod je výrazné zkrácení doby sanace kontaminovaného prostředí a snížení ceny sanačních prací. [8]

8.2 EKOSYSTEM SPOL. S R.O.

Společnost EKOSYSTEM spol. s r. o. zajišťuje komplexní služby v oblasti odstraňování ekologických zátěží z půdy, horninového prostředí a podzemní vody. Provádí tedy všechny práce, které jsou s tímto spojeny, od průzkumných prací přes zajištění veškerých sanačních technologií až po monitoring a závěrečné vyhodnocení.

Postup prací:

- průzkumné práce,
- vypracování analýz rizika,
- vypracování studie proveditelnosti,
- vlastní sanační práce,
- monitoring,
- ostatní mimořádné a speciální aktivity (např. expertní posouzení). [9]

8.2.1 Technologie řešící dekontaminaci půdního a horninového prostředí

Tam, kde je to technicky možné, lze využít invazivní sanační technologii, kde se jedná především o odtěžení kontaminované zeminy a horniny s následným zneškodněním a záhozem odtěžených prostor inertním materiálem. Jedná se např. o biodegradaci ex-situ, kompostování nebo praní zemin. Tato sanační technologie je velice rychlá a účinná, ale nelze jí využít ve všech lokalitách, konkrétně ne v lokalitách, kde může dojít k narušení stavebních konstrukcí, technologických zařízení nebo k zásadnímu omezení průmyslové výroby. Proto společnost EKOSYSTEM spol. s r.o. upřednostňuje sanační technologie in-situ, z nichž jsou pro daný účel sanace využívány: [9]

Venting

Princip spočívá v odsávání půdního vzduchu pomocí vývěvy a jeho následného čištění na filtrech, čímž se z nesaturované zóny odstraní především těkavé organické látky. Probíhá obvykle ze speciálně upravených ventingových vrtů, případně z kombinovaných vrtů společně se sanačním čerpáním. Variantou ventingu je „promývání vzduchem", kdy se pro docílení vyšší mobility těkavých látek vhání do okolních vrtů stlačený vzduch.

Venting se v současnosti zcela běžně používá na všech lokalitách sanovaných společností EKOSYSTEM spol. s r. o., kde jsou převažujícím kontaminantem těkavé organické látky. [9]

Bioventing

Jde o obměnu ventingu použitelnou pro odstraňování veškerých biologicky rozložitelných látek. Spočívá v dotaci kyslíku do nesaturované zóny (kombinací odsávání s vtláčením vzduchu, popř. nastavením parametrů odsávání tak, aby byla posílena cirkulace půdního vzduchu v zemině), čímž se stimuluje degradační potenciál mikroflóry primárně obsažené v zemině, popř. do zeminy uměle dodané. V rámci intenzifikace mohou být do nesaturované zóny dodávány i výživné látky. Výhodou je mj. snadná transformace klasického ventingu na bioventing, pouhou úpravou technických parametrů.

Firma běžně používá bioventing v kombinaci s klasickým ventingem, a to na lokalitách se směsnou kontaminací. [9]

Air sparging

Je vhodný pro odstraňování těkavých organických látek (největší pozitivní zkušenosti jsou s odstraňováním chlorovaných uhlovodíků) z podzemní vody a z přilehlé části nesaturované zóny, zejména pokud je dostatečně porézní. Jde o obdobu principu stripování: do speciálně upraveného vtláčecího vrtu se vhání vzduch, který se pod hladinou podzemní vody rozptýlí ve formě jemných bublinek. Ty na sebe váží těkavý kontaminant, který s nimi uniká do půdního vzduchu, je pak odsáván blízkým ventingovým vrtem a čištěn na filtrech. Variantou je air sparging v tzv. autosanačních vrtech, kdy se vtláčení i odsávání vzduchu provádí v jediném speciálně konstruovaném vrtu.

Výhodou této metody je mimo jiné využití v izolovaných a bodových ohniscích znečištění a všude tam, kde z jakýchkoli důvodů nelze umístit sanační stanici. [9]

Bioslurping

Jde o progresivní metodu odstraňování kontaminace při rozhraní saturované a nesaturované zóny, vhodnou zejména pro odstraňování ropných uhlovodíků ve fázi na hladině podzemní vody. Do vrtu je zapuštěna pohyblivá trubka, kterou se odsává („srká“) připovrchová kontaminovaná vrstva podzemní vody a zároveň, resp. střídavě, i půdní vzduch. Současně tím dochází ke splnění podmínek pro průběh biodegradace, probíhá tedy i bioventing. [9]

Biodegradace in situ

I tato technologie je založena na existenci mikroflóry s degradačními schopnostmi v půdním a horninovém prostředí (případně do něj uměle dodané); do jisté míry jde o podobné principy, jako v případě výše uvedeného bioventingu a bioslurpingu. Sanačně čerpaná podzemní voda se na povrchu obohacuje o živiny a zasakuje zpět do země, kde stimuluje degradační potenciál mikroorganismů. [9]

Chemická oxidace in situ

Z několika možností lišících se oxidačním médiem (ozón, Fentonovo činidlo atd.) je prakticky zkoušena a k rutinní sanaci využívána chemická oxidace manganistanem draselným. Ten se vpravuje do horninového prostředí ve formě vysoce koncentrovaného roztoku, a to tlakovým zasakováním pomocí speciálně konstruovaných vrtů. Dociluje se tak především oxidace chlorovaných uhlovodíků v podzemní vodě a v zemině, čímž se vytvoří netoxické nebo nerozpustné anorganické sloučeniny (chlorid draselný, oxidy manganu). Tyto látky již nepředstavují ekologickou zátěž a mohou být ponechány v horninovém prostředí. [9]

Srážení těžkých kovů in situ

Jde o technologie dosud používané především v úpravárenství vody; sanace in situ tímto způsobem je dosud málo rozšířená, avšak počítá se s širší aplikací. Z různých technologií (srážení uhličitanové, hydroxidové, koagulace atd.) bylo společností prakticky zkoušeno sulfidické srážení chromu a niklu. Je založeno na imobilizaci těžkých kovů a provádí se pomocí gravitačního zasakování chemických přípravků do vrtů (v daném případě jde o sulfid sodný, resp. produkty na jeho bázi). Následně vzniklá sraženina přetrvává v zemině, aniž by představovala jakoukoli ekologickou zátěž. [9]

Proplachování

Je založeno na jednoduchém principu zasakování do půdního, resp. horninového prostředí, k němuž lze využít zasakovací vrty nebo zasakovací drény. Zasakování se kombinuje se sanačním čerpáním.

Proplachování se provádí:

- vodou, obvykle jde o zpětné zasakování sanačně čerpané vody po průchodu dekontaminační stanicí,
- biopreparátem – v podstatě jde o modifikaci výše popsané biodegradace in situ,
- chemickými přípravky, včetně např. detergentů.

Proplachování, zejména přečištěnou sanačně čerpanou podzemní vodou, se minimálně jako podpůrná metoda provádí na většině lokalit sanovaných společností EKOSYSTEM spol. s r.o. [9]

Enkapsulační (zadržovací) metody

Kromě řídce používané (technicky a finančně náročné) enkapsulace v užším slova smyslu, tzn. úplného uzavření kontaminačního mraku do neprůchodné bariéry, jsou běžně k dispozici následující opatření proti průniku kontaminantu do vnějšího prostředí:

- ochranné drény – mají poměrně univerzální využití (všude tam, kde je nutno zabránit průniku kontaminantu s podzemní vodou do okolí), obvykle z nich probíhá sanační čerpání a výhodou je i možnost uplatnění dalších sanačních technologií (např. zasakování oxidačních nebo srážecích médií).
- těsnicí stěny – jsou vhodné k zamezení šíření obtížně odstranitelných kontaminantů nebo pro rychlé zamezení migrace masivního kontaminačního mraku. [9]

Reakční bariéry

Jde v podstatě o těsnicí stěny opatřené tzv. reakčními branami, průchody v úrovni saturované zóny, vyplněnými kovovým (nulamocným) železem. Používají se k sanaci těkavých organických látek, především chlorovaných uhlovodíků, na specifických lokalitách s masivní kontaminací. Výhodou je částečná průchodnost a tím zmírnění zásahu do hydrogeologických poměrů lokality, za současného zabránění šíření kontaminace. [9]

8.3 GEOSAN SPOL. S R.O.

Geosan je soukromá společnost, která vznikla v roce 1991 z pracovníků, kteří se jako jedni z prvních v bývalém Československu podíleli na odstraňování ekologických havárií, především na podzemních vodách.

Firma mimo jiné nabízí především služby v oblasti ekologie, a to:

- zajištění života ve stojatých a tekoucích vodách,
- provoz vodovodů a kanalizací,
- monitorovací systémy,
- dekontaminace stripováním,
- dekontaminace ventingem,

- sanace podzemních vod kontaminovaných ropnými uhlovodíky,
- odstranění železa a manganu,
- stanovení hydrogeologických a hydrochemických parametrů čerpací zkoušky,
- snižování hladiny podzemní vody,
- prodej, pronájem a servis sanačních a čerpacích technologií. [10]

Jelikož téma mé bakalářské práce se nazývá sanace podzemních vod kontaminovaných ropnými látkami, budu se dále věnovat pouze sanačním pracím.

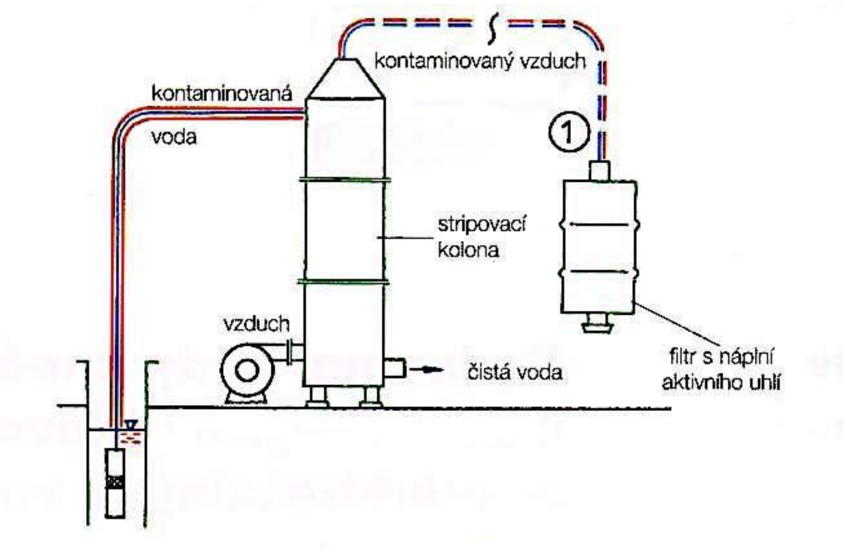
8.3.1 Dekontaminace stripováním

Dekontaminaci stripováním využívá firma GEOSAN pro vody znečištěné chlorovanými, lehkými a středními uhlovodíky. Jedná se o metodu, kdy se znečišťující látka převádí do vzdušné fáze a zachycuje se na regenerovatelném sorbentu.

Kontaminovaná voda je čerpána do vhodně sestavené stripovací kolony. Znečišťující látka přechází do vzdušné fáze a je sorbována na filtru, který má náplň z aktivního uhlí. Po nasycení sorpční aktivity se filtr s náplní aktivního uhlí desorbuje parou. Na filtru je filtrační hmotou vlákno Aktilen. Desorpce se vykonává zahřátím elektrickou energií a následně dojde ke kondenzaci.

Stripovací kolony jsou konstruovány podle potřeby dané lokality.

Po odstranění kontaminantů může voda splnit normu pitné vody. Zařízení je možné konstruovat až do vydatnosti 100 l/s. [10]

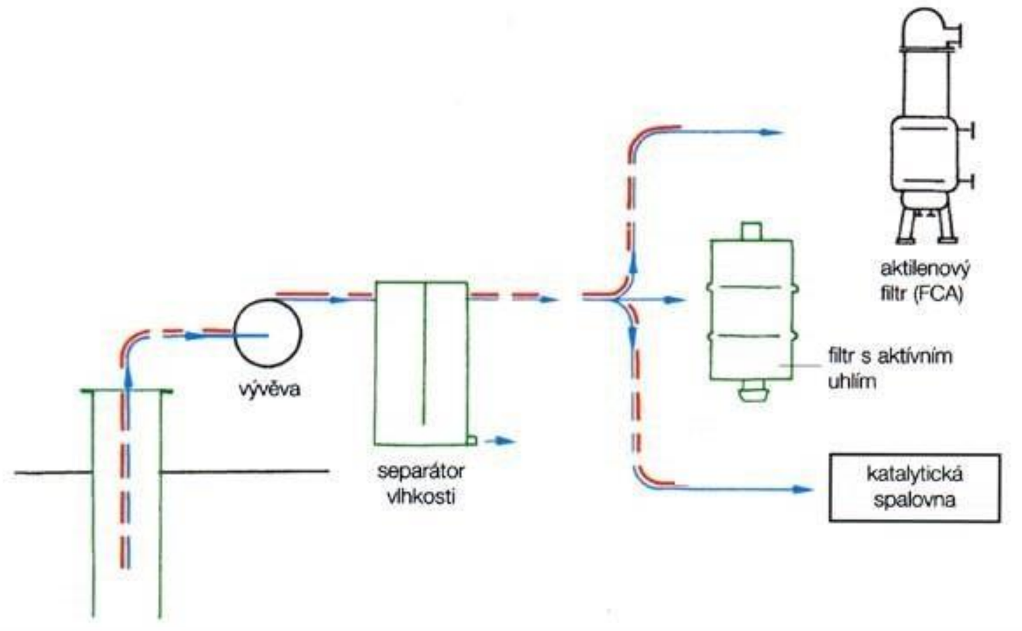


Obr. 8.1 Schéma sanační jednotky stripování [10]

8.3.2 Dekontaminace ventingem

Metoda ventingu je ve většině případů efektivnější, než je klasická sanace vody. Vhodné je sanační postupy používat společně. Tato metoda je vhodná především do horninového prostředí s vyšší propustností a dostatečným množstvím těkavých kontaminantů. Když jsou sanační objekty vhodně rozmístěny a řešeny, tak je tato technologie velmi účinná.

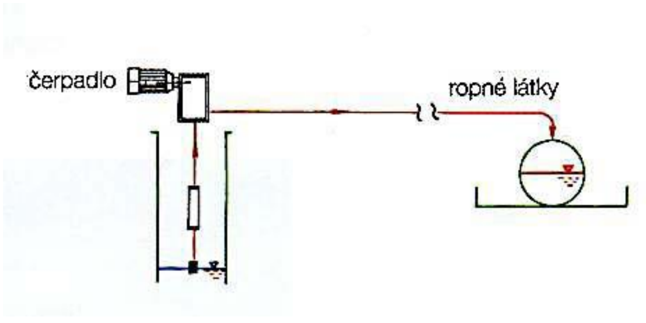
Půdní vzduch, který je kontaminován chlorovanými nebo ropnými uhlovodíky je odsáván vývěvou přes separátor na filtrační jednotku nebo katalytickou spalovnu. Podtlak v jímacím objektu je regulován podle potřeby, v závislosti na propustnosti geologického podloží a konstrukci jímacího objektu. [10]



Obr. 8.2 Schéma sanační jednotky ventingu [10]

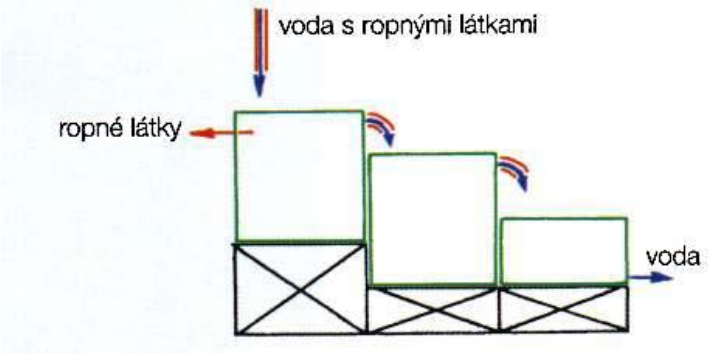
8.3.3 Sanace kontaminovaných podzemních vod pomocí gravitačních odlučovačů a tlakových filtrů

Jestliže je na hladině podzemních vod volná fáze ropných uhlovodíků v odpovídajícím množství, je možné za pomoci speciálního čerpadla nebo tubusu přímé čerpání. [10]



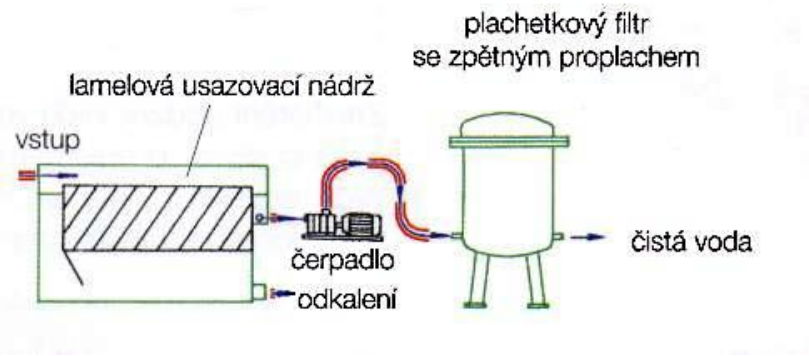
Obr. 8.3 Přímé čerpání ropných látek [10]

Voda s obsahem ropných látek je čerpána do gravitačních odlučovačů. Jestliže voda obsahuje na výstupu z odlučovače větší množství rozpuštěných ropných látek, než je přístupné a neobsahuje některé nežádoucí příměsi, je možné ji dočistit přes tlakový filtr až na hodnotu 0,2 mg/l. [10]



Obr. 8.4 Gravitační odlučovač [10]

Pokud je ve vodě např. železo, mangan nebo mechanické nečistoty, upravuje se voda před tlakovou filtrací přidáním aktivního uhlí. Voda se dále upravuje přechodem přes lamelovou usazovací nádrž. Filtr se regeneruje zpětným praním. [10]



Obr. 8.5 Lamelová usazovací nádrž [10]

8.4 LIDAŘÍK, S R.O.

Firma Lidařík, s r.o. poskytuje komplexní technické práce s podzemními vodami od roku 1996.

Dva základní oddíly poskytovaných služeb:

- sanace znečištěných podzemních vod, s tím související sanace znečištěného podzemního vzduchu,
- práce s čistou podzemní vodou. [11]

Pro účely této bakalářské práce se budu zabývat pouze sanačními pracemi.

8.4.1 Sanace znečištěných podzemních vod

Při odstranění ropných látek se jedná především o mechanické odstranění volné fáze z hladiny podzemní vody a dočištění zbytku rozpuštěných látek. Nejčastěji se využívají podzemní vrty, které se situují v blízkosti zdroje znečištění. [11]

Čerpání kontaminované podzemní vody z vrtů

V sanačních vrtech se na hladině podzemní vody vyskytuje volná fáze ropných látek. Ta je odčerpávána vzduchovým čerpadlem přímo z hladiny do odlučovače ropných látek. Voda je z čerpadla vytláčena tlakovým vzduchem ze vzduchového kompresoru. U dna vrtu, kde se již nevyskytuje volná fáze ropných látek, je umístěno ponorné čerpadlo, které zabezpečuje snížení hladiny podzemní vody, tzv. depresi. Tato voda je vypouštěna přes kontrolní nádrž, popřípadě filtr naplněný sorbenty. [11]

Gravitační odlučovač slouží k odloučení volné fáze ropných látek z vody. Do odlučovače se nejvíce znečištěná voda přivádí vzduchovými čerpadly. Odlučovač je rozdělen na několik komor, kterými voda postupně protéká a volná fáze ropných látek se odlučuje. Ta je současně odebírána a předávána na další likvidaci odborné firmě. Voda dále odtéká k dočištění na filtr.

Filtr je naplněn sorbenty (převážně kutex a fibroil), kde dojde k zachycení zbytkové části ve vodě rozpuštěných látek. Vyčištěná voda se odtud vypouští do kanalizace, vodoteče apod. Filtrační náplň se pravidelně kontroluje a mění a její likvidace probíhá u odborných firem. [11]

Chemické oxidace a redukce

Chemická oxidace a redukce je další používanou sanační metodou. Jedná se o zasakování oxidačních nebo redukčních činidel do horninového prostředí. K oxidaci, případě redukci dochází přímo v horninovém prostředí a odpadá tedy čerpání kontaminovaní podzemní vody. Do horninového prostředí se řízeně zasakuje manganistan draselný, syrovátka, peroxid a další činidla. [11]

Stripovací zařízení na chlorované uhlovodíky

Slouží k odstranění chlorovaných uhlovodíků z vody. Jedná se o co největší provzdušnění kontaminované vody. Voda protéká ve stripovací věži přes rošty ze shora dolů proti proudu ventilátorem vháněného vzduchu nebo je voda v horní části věže pomocí trysky rozprášena na drobné kapičky, které padají dolů proti proudu vzduchu. Cílem stripování je co největší uvolnění chlorovaných uhlovodíků z vody do vzduchu. Na výtoku je voda již v požadované kvalitě a je vypouštěna, popřípadě dále upravována. Kontaminovaný vzduch je odváděn na demistr, kde dojde k odstranění vlhkosti a dále na vzduchové filtry.

Vzduchový filtr je nejčastěji ocelová pozinkovaná nádoba naplněná aktivním uhlím. Z filtru je již odváděn čistý vzduch. [11]

8.4.2 Sanace znečištěného půdního vzduchu

Principem této metody je odčerpání kontaminovaného půdního vzduchu ze zeminy a jeho vyčištění. Sanace může být realizována přímo na sanačních vrtech v místě kontaminace nebo na dekontaminační ploše, kam je kontaminovaná zemina navezena a po vyčištění vrácena na původní místo. [11]

Venting ze sanačních vrtů

Pro odsání půdního vzduchu může být využito kombinovaných sanačních vrtů, jak pro podzemní vodu, tak i pro půdní vzduch. V případě, že se udělají jen samostatné vrty pro půdní vzduch, jedná se o malé průměry, nejčastěji 63 mm. Půdní vzduch je odsáván z vrstvy zeminy nad hladinou podzemní vody. Na vrtu se vývěvou vytvoří podtlak. Vzduch je odsáván na demistr, kde dojde k odstranění vlhkosti ze vzduchu. Následně je odváděn na vzduchový filtr s náplní aktivního uhlí. [11]

Venting na dekontaminační ploše

Při navážení zeminy se postupně vytváří síť perforovaného potrubí, které je rovnoměrně ukládáno do zeminy. Na toto potrubí je napojena vývěva, která vytváří podtlak a dochází k odsávání kontaminovaného vzduchu na filtry. Vytvořená dekontaminační plocha musí být důkladně izolována, a to jak na styku kontaminované zeminy s plochou, tak musí být zabráněno úniku chlorovaných uhlovodíků do ovzduší. Pro zvýšení účinnosti se může do zeminy vhánět čistý vzduch pomocí ventilátoru, který při průchodu zeminou s sebou strhává kontaminaci a je dále odsáván na demistr a filtry. [11]

Obr. 8.6 Uložení kontaminované zeminy a potrubí [11]

Na vzduchový filtr je přiváděn vzduch s obsahem chlorovaných uhlovodíků. Pomocí demistru musí být ze vzduchu co nejvíce odstraněna vzdušná vlhkost, jelikož výrazně zhoršuje sorpční schopnost aktivního uhlí. Jedná se nejčastěji o ocelovou pozinkovanou nádobu naplněnou aktivním uhlím. Velikost filtru je závislá na množství náplně. Ta je zase závislá na koncentraci znečištění a množství vzduchu. Z filtru již odchází vyčištěný vzduch do ovzduší. Pokud je překročena sorpční kapacita aktivního uhlí, je přívod vzduchu přepojen na další filtr. Kontaminované aktivní uhlí je speciálním zařízením desorbováno, popřípadě likvidováno odbornou firmou. [11]

8.5 NANO IRON, S R.O.

Společnost NANO IRON, s r.o. se zabývá výrobou a technickou podporou při aplikaci nanočástic elementárního železa Fe(0). Unikátem společnosti je ekologicky šetrná a bezodpadová technologie umožňující produkci nanočástic Fe(0) v průmyslovém měřítku s téměř neomezenou výrobní kapacitou. [12]

Nanočástice železa jsou dodávány ve formě dlouhodobě stabilních vodních disperzí (NANOFER 25, NANOFER 25S) vhodných např. k čištění podzemních a povrchových vod. Nadstandartním produktem je čistý nanoprášek nulamocného železa v suchém stavu (NANOFER 25P) uchovávaný v inertní atmosféře vhodný k dalšímu zpracování a úpravám. [12]

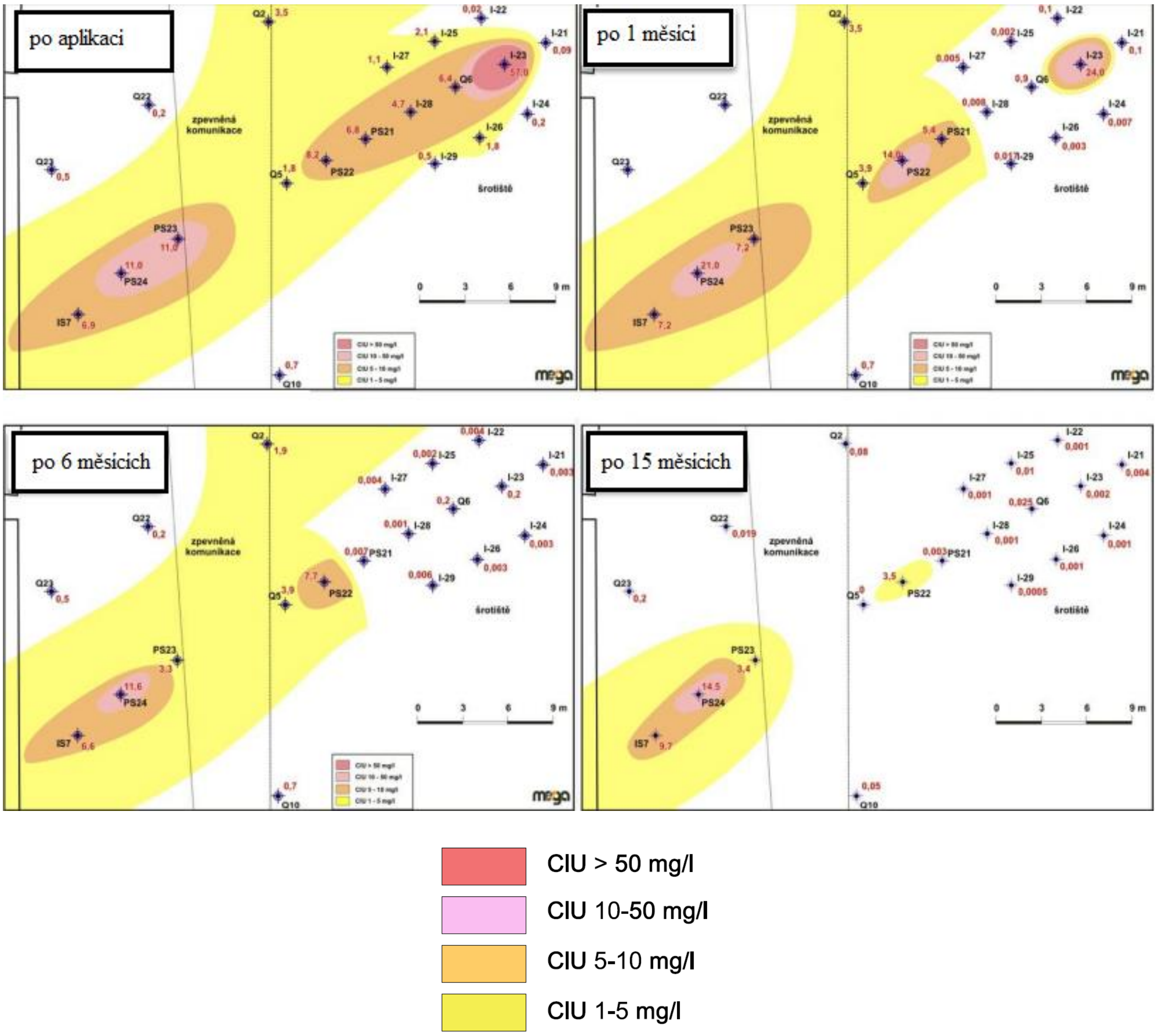
Díky svým mimořádným redukčním schopnostem, malému rozměru částic a vysoké reaktivitě vůči široké škále toxických látek jsou produkty Nanofer aplikovány v redukčních technologiích sanace podzemních i povrchových vod, při čištění důlní vody a v řadě dalších aplikací. [12]

8.5.1 In – situ redukční technologie sanace podzemních vod s využitím nanočástic Fe(0)

Použití nanočástic na bázi nulamocného (elementárního) železa pro čištění podzemích vod a horninového prostředí metodou in-situ je moderní metoda sanace prostředí, které je znečištěno chlorovanými uhlovodíky, těžkými kovy, radionuklidy a dalšími kontaminanty. Tato technologie se začala před několika lety používat v USA a v současné době se využívá na nejrůznějších světových lokalitách i v České Republice. [12]

Metoda sanace podzemní vody in-situ je založena na injektáži Fe(0) do podzemní vody pomocí injektážních vrtů. Tato technologie je ekologicky šetrná a finančně výhodnější např. v porovnání s metodou venting. Ekologická šetrnost spočívá v minimálním dopadu na životní prostředí díky malým injektážních vrtů bez dalších rozsáhlejších zásahů. Nanoželezo se díky velikosti částic v oblasti koloidů transportuje podzemní vodou od místa injektáže až do kontaminované oblasti, kde dochází k chemické degradaci kontaminantů. [12]

Principem sanační metody s použitím nulamocného elementárního železa jsou oxidačně – redukční reakce, založené na změně oxidačního stavu kontaminantu, čímž dochází ke snížení jeho mobility a toxicity, či k přeměně na jinou látku. [12]



Obr. 8.7 Degradace chlorovaných uhlovodíků na postižené lokalitě [12]

8.6 AQUATEST A.S.

Společnost AQUATEST a.s. poskytuje konzultační a inženýrské služby v oblastech životního prostředí a vodního hospodářství. Struktura nabízených služeb společnosti pokrývá oblast geologických, hydrogeologických, ekologických a dalších aktivit.

Společnost provádí sanační ekologii včetně projektování, provádění sanace podzemních vod, zemin a stavebních substancí a jejich vyhodnocování, včetně aplikací biologických postupů degradace kontaminace, chemických a fyzikálních metod. [13]

8.6.1 Nanotechnologie

Společnost AQUATEST a.s. realizuje a dlouhodobě se podílí na výzkumu a vývoji dekontaminačních postupů s využitím nanotechnologií a nanomateriálů. Jde především o technologie, které jsou založeny na aplikaci nanočásticových a nanovlákenných materiálů

při čištění a monitoringu kontaminovaných vod. Nejrozsáhlejší je využití nanočástic na bázi elementárního železa pro realizaci reduktivních technologií při čištění podzemních průmyslových odpadních vod. Dále mezi výzkum patří nanovlákenné a mikrovlákenné materiály využívané jako nosiče biomasy pro intenzifikace čistíren odpadních vod, oleofilní/hydrofobní membránové a sorbční materiály pro separaci fáze organických látek a vody a oxidických nanočástic pro podporu biodegradace ropných látek.

Díky vyvinutí, optimalizaci a uvedení sanační metody s využitím nanočástic elementárního železa mezi zavedené sanační technologie a postupy se Česká republika stala zemí s největší výrobní kapacitou tohoto nanomateriálu. Oleofilní/hydrofobní membrány a mikrovlákenný sorbent slouží pří výrobě pasivních sběračů produktu organické fáze z hladiny. [13]

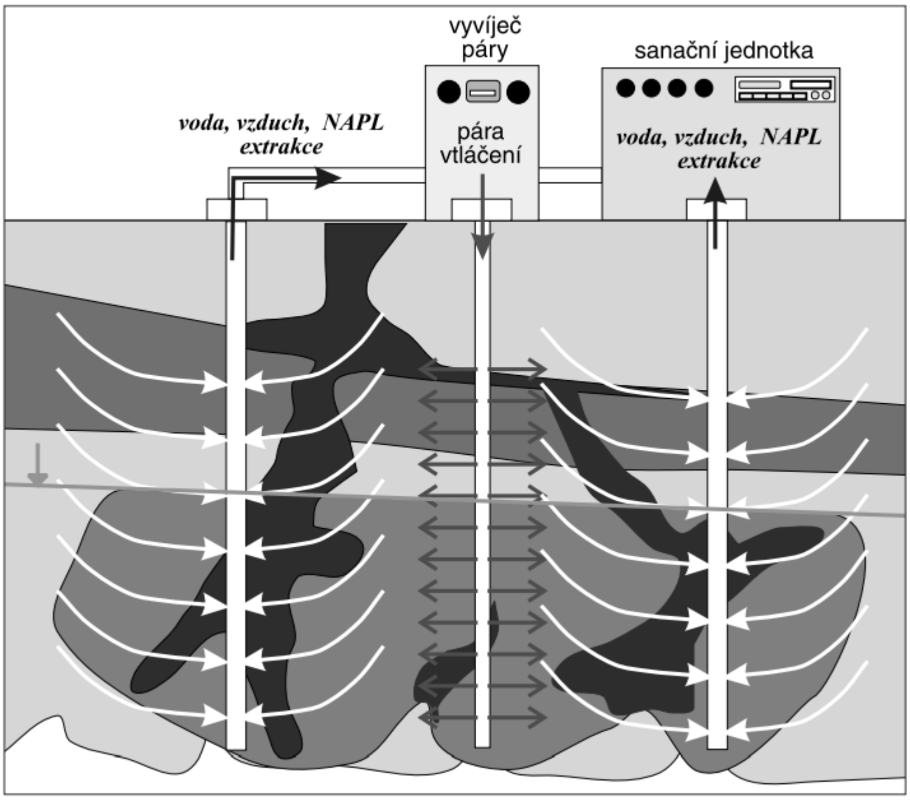
8.6.2 Sanační technologie

AQUATEST a.s. realizuje řadu výzkumných projektů, které se zaměřují na vývoj nových technologií, jejich optimalizaci a zavádění inovativních sanačních postupů do provozní praxe v oblasti dekontaminace horninového prostředí. Nejčastěji se jedná o inovativní fyzikální, chemické a biologické postupy čištění kontaminovaného horninového prostředí. Tyto technologie se využívají samostatně nebo v rámci intenzifikace tradičních sanačních metod jako čerpání, air-spargingu a ventingu. Významnou oblastí výzkumu společnosti je vývoj bioremediačních postupů s využitím alternativních akceptorů elektronů (např. nitráty, oxidy železa). Součástí aplikovaného výzkumu je i zavádění intenzifikačních postupů pro optimalizaci sanačních prací v komplikovaných geologických podmínkách puklinově nebo málo propustného prostředí. Mezi takto zavedené technologie v podmínkách ČR jsou považovány zejména metody hydraulického štěpení a torpedace vrtů. Významnou oblastí výzkumu je vývoj a zavádění nových diagnostických postupů pro ověřování charakteru horninového prostředí, kolektorů podzemních vod a distribuce kontaminace. [13]

Nejvýznamnějším realizačním výstupem zavedené technologie na území ČR jsou metoda řízeného propařování, technologie autosanačních vrtů, metoda bioventingu, in-situ chemická oxidace s využitím manganistanu a Fentonova činidla, reduktivní dehalogenace s využitím elementárního železa a fermentovatelného substrátu, metoda využívající plynů CO_2 a O_2 sycené vody pro podporu extrakce fáze z kolektoru a in-situ flotace. [13]

Metoda řízeného propařování

Přehřátá pára se vhání do horninového prostředí speciálními injektážními vrty. Dochází k prohřátí kontaminované oblasti a uvolnění organických látek. Z vrtů se odsává půdní vzduch, který se na povrchu zachytává a čistí ověřenými technologickými způsoby, jako např. sorbcí na aktivní uhlí. Hlavním přínosem této metody je velká rychlost sanace. [14]



Pozn.: NAPL= organické látky těžší než voda

Obr. 8.8 Schéma uspořádání při technologii řízeného propařování [15]

8.6.3 Biotechnologie

Společnost AQUATEST a.s. se z oblasti biotechnologie zaměřuje na výzkum a vývoj biotechnologických postupů a metod eliminace toxických a obtížně rozložitelných látek z podzemních a průmyslových odpadních vod. Biotechnologií je dosahováno úspor provozních nákladů souvisejících s bezodpadovou eliminací znečišťujících složek. Nejširší oblastí biotechnologie jsou konkrétně bioventing, bioremedace podzemních vod s využitím alternativních akceptorů elektronů a reduktivní dehalogenace organických polutantů. Další významnou oblastí je vývoj a aplikace biofilmových bioreaktorů po čištění podzemní vody on-site a kontaminovaného vzduchu z ventingu a stripovacích jednotek. [13]

8.7 SEPARA SPOL. S R.O.

SEPARA spol. s r.o. je česká firma, která byla založena roku 1990. Společnost dodává domovní čistírny odpadních vod, odlučovače ropných látek, odlučovače tuků, plastové nádrže, plastové bazény a jiné. [17]

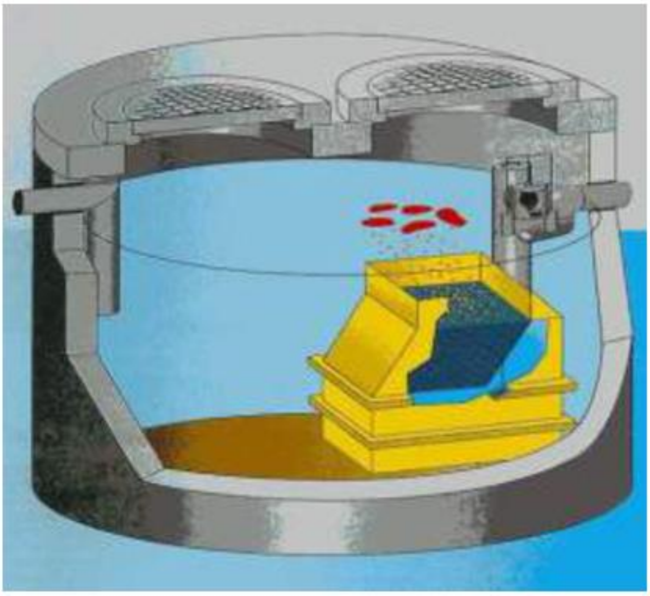
8.7.1 Odlučovače ropných látek

Odlučovač ropných látek tvoří nádrž z polypropylenu, ve které je umístěna dělící stěna, která tvoří dva funkční prostory, a to prostor pro usazení hrubých nečistot a prostor odlučovací s lamelovou vestavbou. Nádrž je uzavřená víkem z polypropylenových desek, odolných proti UV záření. [17]

Funkce odlučovače

Přes nátokové potrubí natéká voda znečištěná ropnými látkami do první části nádrže, usazovacího prostoru, kde působením sedimentace dochází k oddělení hrubých nečistot (písku, štěrku apod.). Sedimentované hrubé nečistoty se usazují na dně.

Voda znečištěná ropnými látkami dále přetéká přes nornou stěnu do druhého prostoru, odlučovacího, a dvěma otvory vtéká do lamelové vestavby. Lamelová vestavba je tvořena řadou paralelních lamel z plastu. Při průtoku přes tyto lamely dochází ke shlukování kapek ropné látky na spodní straně lamel. Při dosažení určité velikosti jsou kapky tlačeny vlivem rozdílných měrných hustot do horního sběrného prostoru. Naopak malá zrnka kalu klesají podél lamel na dno prostoru vestavby. Voda zbavená ropných látek teče dále přes odtokovou komoru do odtokového potrubí. [17]



Obr. 8.9 Odlučovač ropných látek [17]

9 ZÁVĚR

Cílem mé bakalářské práce bylo v první části zpracovat literární rešerši, která bude pojednávat o jímání podzemních vod, možnostech jejich ochrany a alternativách sanace podzemních vod znečištěných ropnými látkami. Dalším cílem bylo vypracovat přehled firem, které se danou problematikou zabývají a popsat jimi navrhovaná řešení.

Jímání podzemních vod se provádění pomocí vertikálních a horizontálních jímadel. Mezi vertikální jímadla patří studny, které jsou nejpoužívanějším jímacím zařízením. U horizontálních jímadel rozlišujeme jímací zářezy, galerie a štoly. Horizontální jímadla volíme u malé mocnosti zvodněné vrstvy, a pokud není hloubka nepropustného podloží příliš velká. Mezi možné zdroje podzemních vod se řadí infiltrace, která tyto zdroje obohacuje. Jedná se o přívod povrchové vody do vhodných zemin s následným zasakováním. Dalším typem zdroje jsou pramenní jímky, které podchycují prameny podzemní vody, která přirozeně vyvěrá na zemský povrch.

Znečištěním podzemních vod se rozumí každá změna jejich vlastností v porovnání s jejich přírodním stavem, ať už fyzikálních, chemických nebo biologických. Mezi nejčastější a nejnebezpečnější znečišťující látky patří městské odpadní vody, průmyslové odpadní vody, odpadní vody ze zemědělství, pesticidy, tzv. „černé skládky“ a také ropné látky. Ropné látky už v malém množství znehodnocují organoleptické vlastnosti.

Ropné látky, též označovány jako uhlovodíky C10-C40, se mohou vyskytovat jako rozpustné, volné, emulgované a adsorbované v organických látkách. Podle pohybu a samočištění se dělí na plynné, kapalné, emulze a rozpuštěné. Pohyb každé ropné látky z těchto variant výskytu je jiný a špatně se určuje. Při samočištění ropných látek se uplatňuje především chemický a biochemický rozklad a sorpce.

Ochranou podzemních vod se rozumí soubor opatření zaměřených na předcházení, omezení a sanaci následků znečištění podzemních vod. Ochrana se dělí na primární a sekundární. U primární ochrany jde o výstavbu stavebních prvků ochrany, konstrukčně-technologických opatření a o provozní dozor. Sekundární ochrana spočívá v zabezpečení těchto protihavarijních opatření.

Nejdůležitějším kritériem pro výběr sanační technologie je výskyt kontaminantu v závislosti na horninovém prostředí. Zásadním způsobem mohou volbu sanační technologie ovlivnit místní podmínky a infrastruktura znečištěné lokality. Pokud se v průběhu sanace ukáže, že je vybraná technologie nedostačující, musí se optimalizovat nebo nahradit novou. Odstraněním ropných látek se rozumí odstranění ropných látek z vody i horninového prostředí, jedná se tedy o asanaci. Asanační práce mohou být zabezpečeny prvky aktivní a pasivní ochrany. Nejčastějším prvkem aktivní ochrany je hydraulická ochrana, kde se jedná o jednu nebo dvě řady vrtů. U pasivních prvků ochrany se nejčastěji využívají podzemní nepropustné stěny.

V České republice působí řada firem, které provádějí sanační práce. Mezi nejčastěji využívané technologie sanace patří např. bioremedační metoda, venting, stripování nebo sanace pomocí gravitačních odlučovačů. Mezi novější technologie, které nejsou zatím příliš rozšířené, patří například sanace pomocí nanočástic elementárního železa.

Firmami, které využívají biotechnologie, jsou například AlphaBio EcoService, s r.o. a EKOSYSTEM spol. s r.o. Základním článkem procesu sanace biotechnologií jsou mikroorganismy. Proto se tato metoda nedá použít v příliš toxickém prostředí.

Technologii ventingu nabízí celá řada firem, jedná se např. o již zmiňovaný EKOSYSTEM spol. s r.o. a Geosan spol. s r.o. Venting slouží k dekontaminaci půdního vzduchu. Společnost Geosan spol. s r.o. také nabízí metodu stripování a sanaci pomocí gravitačních odlučovačů.

Na sanaci pomocí nanočástic železa se specializují NANO IRON, s r.o. nebo AQUATEST a.s. Tato metoda je založena na injektáži nulamocného železa do podzemní vody pomocí injektážních vrtů. Nanotechnologie se řadí mezi ekologicky i ekonomicky nejšetrnější.

Při zpracování této bakalářské práce jsem zjistila, že problematikou sanace podzemních vod kontaminovaných ropnými látkami se zabývá celá řada firem. Při sanaci je nutné řešit nejen čištění podzemní vody, ale současně s tím i odstranění znečištění z horninového prostředí a půdního vzduchu. Je patrné, že metody sanace se vyvíjejí, nejmodernější metodou je dnes využívání nanočástic elementárního železa.

10 POUŽITÁ LITERATURA

[1] TUHOVČÁK, Ladislav, Pavel ADLER, Tomáš KUČERA a Jaroslav RÁCLAVSKÝ. *Vodárenství: A. Úprava vody*. Brno: VUT, 2006

[2] HLAVÍNEK, Petr a Jaromír ŘÍHA. *Jakost vody v povodí*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2815-5.

[3] SYNÁČKOVÁ, Marcela. *Čistota vod*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1996. ISBN 80-010-1083-X.

[4] PLŠKOVÁ, Renata. *Sanace podzemních vod kontaminovaných nepolárními extrahovatelnými látkami: (rešerše - 1. etapa)*. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1994.

[5] *Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 428/2001 Sb.: Příloha č. 13*. In: 2001, ročník 2016, číslo 428.

[6] GRAY, N. F. *Water technology: an introduction for environmental scientists and engineers*. 3rd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2010. ISBN 978-1-85617-705-4.

[7] *Colloidal Silver Secrets: Colloidal Silver and Pseudomonas Infections. Colloidal Silver Secrets* [online]. Dostupné z: http://colloidalsilversecrets.blogspot.cz/2011/01/colloidal-silver-and-pseudomonas.html

[8] *ČOV, čističky odpadních vod - Ekosystem.cz*. [online]. [cit. 07.05.2017]. Dostupné z: https://www.ekosystem.cz/

[9] *AlphaBio EcoService, s.r.o.* [online]. [cit. 07.05.2017]. Dostupné z: http://abes.euweb.cz/

[10] *Geosan_buildpage_1.0 | Geosan pro vodu, voda pro život.* [online]. [cit. 08.05.2017]. Dostupné z: http://geosan.cz/

[11] *Lidařík, s r.o.* [online]. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: http://www.lidarik.cz/

[12] *NANO IRON, s.r.o. - Production and application of nanoscale Zero-Valent Iron (nZVI).* [online]. [cit. 08.05.2017]. Dostupné z: http://www.nanoiron.cz/

[13] *AQUATEST a.s.* [online]. [cit. 09.05.2017]. Dostupné z: http://www.aquatest.cz

[14] *Vodní zdroje Ekomonitor spol. s r. o.* [online]. [cit. 09.05.2017]. Dostupné z: http://www.ekomonitor.cz/sites/default/files/filepath/prezentace/19_kolarova.pdf

[15] *Ministerstvo životního prostředí* [online]. [cit. 09.05.2017]. Dostupné z: http://www.mzp.cz/ris/ekodisk-new.nsf/6d13b004071d0140c12569e700154acb/ec74aae6b712c384c1257233003b457b/$FILE/OF%2001_2004.pdf

[16] *K budoucímu vývoji zdrojů pitné vody v ČR 01/19/2002. Ministerstvo životního prostředí* [online]. [cit. 11.05.2017]. Dostupné z: http://www.mzp.cz/ris/ais-ris-info-

copy.nsf/6d13b004071d0140c12569e700154acb/8b432bf5da1e301cc1256c370072c926?OpenDocument

[17] *Odlučovače ropných látek. Bazény, zastřešení bazénů, čistírny odpadních vod, plastové nádrže, odlučovače – SEPARA s. r. o. Bazénový specialista v České republice* [online]. [cit. 15.05.2017]. Dostupné z: http://www.separa.cz/produkty/odlucovace/odlucovace-ropnych-latek/

[18] *Aktivní uhlí granulované – Filtrační hmoty a náplně – FORNIA. FORNIA s.r.o. - Distribuce a výroba přístrojů na úpravu užitkové vody* [online]. [cit. 15.05.2017]. Dostupné z: http://www.fornia.cz/filtracni-hmoty-a-naplne/regeneracni-sul-2-1/

SEZNAM TABULEK

TAB. 7.1 UHLOVODÍKY C10-C40 A JEJICH MEZNÍ HODNOTY PRO JEDNOTLIVÉ KATEGORIE STANDARTNÍCH METOD ÚPRAVY SUROVÉ VODY NA PITNOU VODU [5].. 22

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 2.1 ÚPLNÁ STUDNA [1] 4
OBR. 2.2 NEÚPLNÁ STUDNA [1] 5
OBR. 2.3 KONSTRUKCE VRTANÉ STUDNY [1] 6
OBR. 2.4 SCHÉMA JÍMACÍHO ZÁŘEZU [1] 7
OBR. 2.5 BŘEHOVÁ (VLEVO) A UMĚLÁ (VPRAVO) INFILTRACE [1] 8
OBR. 2.6 SCHÉMA PRAMENNÍ JÍMKY [1] 8
OBR. 4.1 ZÓNY VÝSKYTU ROPNÝCH LÁTEK V HORNINÁCH [3] 13
OBR. 4.2 TVAR TĚLESA ROPNÝCH LÁTEK NA HLADINĚ PODZEMNÍ VODY [3] 14
OBR. 4.3 BAKTERIE PSEUDOMONAS [7] 14
OBR. 6.1 HYDRAULICKÁ CLONA DVOUŘADÁ [4] 19
OBR. 6.2 HYDRAULICKÁ CLONA INFILTRAČNĚ ČERPACÍ [4] 19
OBR. 6.3 HYDRAULICKÁ CLONA JEDNOŘADÁ [4] 20
OBR. 7.1 AKTIVNÍ UHLÍ GRANULOVANÉ [18] 23
OBR. 8.1 SCHÉMA SANAČNÍ JEDNOTKY STRIPOVÁNÍ [10] 29
OBR. 8.2 SCHÉMA SANAČNÍ JEDNOTKY VENTINGU [10] 30
OBR. 8.3 PŘÍMÉ ČERPÁNÍ ROPNÝCH LÁTEK [10] 30
OBR. 8.4 GRAVITAČNÍ ODLUČOVAČ [10] 31
OBR. 8.5 LAMELOVÁ USAZOVACÍ NÁDRŽ [10] 31
OBR. 8.6 ULOŽENÍ KONTAMINOVANÉ ZEMINY A POTRUBÍ [11] 33
OBR. 8.7 DEGRADACE CHLOROVANÝCH UHLOVODÍKŮ NA POSTIŽENÉ LOKALITĚ [12] 35
OBR. 8.8 SCHÉMA USPOŘÁDÁNÍ PŘI TECHNOLOGII ŘÍZENÉHO PROPAŘOVÁNÍ [15] 37
OBR. 8.9 ODLUČOVAČ ROPNÝCH LÁTEK [17] 38

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ČR	Česká republika
tzv.	tak zvaně
např.	například
mj.	mimo jiné
atd.	a tak dále
tzn.	to znamená
ČOV	čistírna odpadních vod
OP	ochranné pásmo
CHKO	chráněná krajinná oblast
CHOPAV	chráněná oblast přirozené akumulace vod
Sb.	sbírky
odst.	odstavec
popř.	popřípadě
apod.	a podobně
resp.	respektive
s r.o.	s ručením omezeným
spol.	společnost
a.s.	akciová společnost

C10-C40	ropné uhlovodíky
NAPL	organické látky těžší než voda
Fe(0)	elementární železo
ClU	chlorované uhlovodíky
UV	ultrafialové

SUMMARY

The aim of my bachelor thesis was to elaborate a literary research, which will deal with the collection of groundwater, the possibilities of its protection and alternatives to the remediation of groundwater contaminated by petroleum substances. Furthermore, the aim was to create an overview of companies that deal with the issue and describe the solutions proposed by them.

Groundwater collection is carried out using horizontal or vertical recesses. Possible sources of groundwater are infiltration or spring wells. Groundwater pollution is any change in its properties in comparison with their natural state, whether physical, chemical or biological. One of the main pollutants is petroleum, which already in a small concentration is destroying the organoleptic properties of water. Petroleum can occur as soluble, free, emulsified and adsorbed in organic matter. Groundwater protection is a set of measures to prevent, reduce and remedy the consequences of groundwater pollution. The most important criterion for the selection of remediation technology is the presence of a contaminant depending on the geological environment. If, during remediation, it turns out that the selected technology is inadequate, it must be optimized or replaced by new technology. There are a number of companies in the Czech Republic doing remedial work. The most commonly used remediation technologies include, for example, bioremediation, venting, stripping or redevelopment using gravity separators. Newer technologies include, for example, redevelopment using elemental iron nanoparticles. This bachelor thesis deals with the technology of seven companies, which are among the best known and have a wide range of redevelopment technologies.

During this bachelor work, I found out that many companies are dealing with the problem of remediation of underground water contaminated with petroleum substances. In remediation it is necessary to solve not only the cleaning of groundwater, but also the elimination of pollution from the rock environment and the soil air.