

**Sdružení
„SANACE FARMAKU OLOMOUC“**

**REALIZACE SANAČNÍCH OPATŘENÍ
VEDOUCÍCH K NÁPRAVĚ STARÝCH
EKOLOGICKÝCH ZÁTĚŽÍ VZNIKLÝCH PŘED
PRIVATIZACÍ VE SPOLEČNOSTI FARMAK, A.S.
V OLOMOUCI**

AKTUALIZACE ANALÝZY RIZIK

Praha – Olomouc, listopad 2012

Sdružení "SANACE FARMAKU OLOMOUC"

Skanska a.s.

Líbalova 1/2348, 149 00 Praha 4 - Chodov

IČ 26 27 13 03

zapsána v obchodním rejstříku Krajského soudu v Brně, oddíl B, vložka 3685

AQUATEST a.s.

Geologická 4, 152 00 Praha 5

IČ 44 79 48 43

zapsána v obchodním rejstříku Městského soudu v Praze, oddíl B, vložka 1189

Název akce:

REALIZACE SANAČNÍCH OPATŘENÍ VEDOUČÍCH K NÁPRAVĚ STARÝCH EKOLOGICKÝCH ZÁTĚŽÍ VZNIKLÝCH PŘED PRIVATIZACÍ VE SPOLEČNOSTI FARMAK, A.S. V OLOMOUCI

Aktualizace analýzy rizik

Jméno
odpovědného řešitele
sanace nesaturované
a saturované zóny
a jeho podpis:

RNDr. Hana Koppová

osvědčení MŽP o odborné způsobilosti č.1815/2003

.....

Jméno
odpovědného řešitele
sanace stavebních
prací a jeho podpis:

Ing. Zdeněk Luža

.....

Vedoucí projektu:

Ing. Zdeněk Luža

.....

Jméno odpovědné
osoby a její podpis:

Ing. Petr Máša

ředitel společnosti a místopředseda představenstva

OBSAH:	str.
ÚVOD.....	1
1. ÚDAJE O ÚZEMÍ	2
1.1 VŠEOBECNÉ ÚDAJE.....	2
1.1.1 Geografické vymezení území	2
1.1.2 Stávající a plánované využití území.....	3
1.1.3 Základní charakterizace obydlenosti území.....	15
1.1.4 Majetkoprávní vztahy	16
1.2 PŘÍRODNÍ POMĚRY ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ.....	17
1.2.1 Geomorfologické a klimatické poměry	17
1.2.2 Geologické poměry.....	21
1.2.3 Hydrogeologické poměry.....	23
1.2.4 Hydrologické poměry	25
1.2.5 Geochemické a hydrochemické údaje o lokalitě.....	28
2. PRŮZKUMNÉ PRÁCE	31
2.1 DOSAVADNÍ PROZKOUMANOST ÚZEMÍ	31
2.1.1 Základní výsledky dřívějších průzkumných a sanačních prací na lokalitě	32
2.1.2 Přehled zdrojů znečištění	42
2.1.3 Vytipování látek potenciálního zájmu a dalších rizikových faktorů	42
2.1.4 Předběžný koncepční model znečištění.....	44
2.2 SANAČNÍ PRÁCE REALIZOVANÉ ZHOTOVITELEM.....	45
2.2.1 Přehled sanačních prací.....	45
2.2.2 Bilance odstraněných polutantů.....	48
2.3 AKTUÁLNÍ PRŮZKUMNÉ PRÁCE	51
2.3.1 Metodika a rozsah průzkumných a analytických prací.....	52
2.3.2 Výsledky průzkumných prací.....	55
2.3.3 Shrnutí plošného a prostorového rozsahu a míry znečištění	74
2.3.4 Posouzení šíření znečištění.....	81
2.3.5 Shrnutí šíření a vývoje znečištění	92
2.3.6 Omezení a nejistoty.....	94
3. HODNOCENÍ RIZIKA.....	95
3.1 IDENTIFIKACE RIZIK	95
3.1.1 Určení a zdůvodnění prioritních škodlivin a dalších rizikových faktorů.....	95
3.1.2 Základní charakteristika příjemců rizik.....	103
3.1.3 Shrnutí transportních cest a přehled reálných scénářů expozice	105
3.2 HODNOCENÍ ZDRAVOTNÍCH RIZIK	115
3.2.1 Hodnocení expozice.....	115
3.2.2 Odhad zdravotních rizik	118
3.3 HODNOCENÍ EKOLOGICKÝCH RIZIK	121
3.4 SHRNUTÍ CELKOVÉHO RIZIKA	122
3.5 OMEZENÍ A NEJISTOTY	124
4. DOPORUČENÍ NÁPRAVNÝCH OPATŘENÍ.....	124
4.1 DOPORUČENÍ CÍLOVÝCH PARAMETRŮ NÁPRAVNÝCH OPATŘENÍ	124
4.1.1 Doporučení cílových parametrů pro podzemní vodu	124
4.1.2 Doporučení cílových parametrů pro půdní vzduch	129
4.1.3 Doporučení cílových parametrů pro zeminy a stavební konstrukce.....	130
4.1.4 Metodika průkazu splnění sanačních limitů pro podzemní vodu.....	130
4.2 DOPORUČENÍ POSTUPU NÁPRAVNÝCH OPATŘENÍ.....	135
5. ZÁVĚR A DOPORUČENÍ	137
6. POUŽITÁ LITERATURA.....	141

Přílohy:

Seznam mapových příloh:

- Příloha č. 1: Situace zájmového území a jeho okolí v měřítku 1 : 50 000
Příloha č. 2: Situace zájmového území s vyznačením prvků ÚSES a OP vodního zdroje Olomouc – Černovír
Příloha č. 3: Situace zájmového území s vyznačením JÚ Černovír a hydrogeologických vrtů v měřítku 1 : 10 000
Příloha č. 4: Mapa areálu společnosti FARMAK, a.s. a okolí s vyznačením hydrogeologických objektů
Příloha č. 5: Schéma sanace saturované zóny
Příloha č. 6: Schéma sanace nesaturované zóny ventingem a vrty vyhloubené v roce 2011
Příloha č. 7: Mapa areálu společnosti FARMAK, a.s. a okolí s vyznačením hydrogeologických objektů vzorkovaných v rámci AAR
Příloha č. 8: Mapy hydroizohyps
8a ze dne 28. 6. 2007
8b ze dne 2. 7. 2010
8c ze dne 26. 8. 2011
8d ze dne 28. 2. 2012
8e ze dne 7. 2. 2012
Příloha č. 9: Mapa rozšíření toluenu v podzemní vodě
9a v červenci 2010
9b v říjnu 2011
Příloha č. 10: Mapa rozšíření chlorbenzenu v podzemní vodě
10a v červenci 2010
10b v říjnu 2011
Příloha č. 11: Mapa rozšíření benzenu v podzemní vodě
11a v červenci 2010
11b v říjnu 2011
Příloha č. 12: Mapa rozšíření vinylchloridu v podzemní vodě
12a v červenci 2010
12b v říjnu 2011
Příloha č. 13: Mapa rozšíření DCE v podzemní vodě
13a v červenci 2010
13b v říjnu 2011
Příloha č. 14: Mapa rozšíření amonných iontů v podzemní vodě
14a v červenci 2010
14b v říjnu 2011
Příloha č. 15: Izolinie báze kvartérního kolektoru
Příloha č. 16: Situace areálu společnosti FARMAK, a.s. s vyznačením prací realizovaných v rámci akce FARMAK, a.s. - dodatečné služby
Příloha č. 17: Kopie katastrální mapy s vyznačením zájmového území a výpis z katastru nemovitostí

Seznam textových příloh:

- Příloha č. 18: Protokoly laboratorních analýz
Příloha č. 19: Tabulkové zpracování výsledků laboratorních analýz
Příloha č. 20: Grafické znázornění vývoje obsahu polutantů ve vybraných vrtech
Příloha č. 21: Procentuelní zastoupení polutantů ve vzorcích podzemní vody z vybraných vrtů
Příloha č. 22: Přehled vrtů a sond vyhloubených v průběhu sanačních prací

Příloha č. 23:	Báze hydrogeologického kolektoru
Příloha č. 24:	Tabulkové zpracování hydrologických měření, minimální a maximální úrovně neovlivněné hladiny podzemní vody
Příloha č. 25:	Měření hladiny podzemní vody ve vrtech P-200 až P-204 v týdenních intervalech
Příloha č. 26:	Výsledky analýzy rizik z roku 2002 – expoziční scénáře, parametry pro kvantifikaci rizika a koncentrace chemických látek, navržené sanační limity
Příloha č. 27:	Matematický model
Příloha č. 28:	Doplnění matematického modelu (duben 2012)
Příloha č. 29:	Zdravotní rizika staré ekologické zátěže NH_4^+ z provozu společnosti FARMAK, a.s. Olomouc (RNDr. Alexander Skácel)
Příloha č. 30:	Stanovení průměrných a maximálních koncentrací organických polutantů pro výpočet rizik a výpočet rizik pro tyto koncentrace, výpočty bilancí polutantů
Příloha č. 31:	Dokumentace sanačních vrtů - čerpaná a zasakovaná množství vody
Příloha č. 32:	Mocnost volné fáze na hladině podzemní vody a složení fáze
Příloha č. 33:	Technická zpráva o zaměření
Příloha č. 34:	Kopie evidenčního listu geologických prací
Příloha č. 35:	Fotodokumentace
Příloha č. 36:	Potvrzení MŽP o záznamu lokality do databáze SEKM
Příloha č. 37:	Svodné interpretační schéma dokumentující hlavní dosažené výsledky a navržená doporučení
Příloha č. 38:	Tabulky s kompletními výsledky laboratorních analýz vzorků vody z vrtů zahrnutých do sanačního a plošného monitoringu pro ukazatele amonné ionty, BTEX, Cl-Eth, krezoly, xyleny, ethylbenzen - volná příloha pouze na CD

Seznam obrázků v textu:

za str.

Obrázek č. 1:	Letecký snímek areálu společnosti FARMAK, a.s. a okolí (převzato ze serveru www.mapy.cz)	2
Obrázek č. 2:	Výřez z územního plánu sídelního útvaru Olomouc s vyznačením zájmového území (měřítko 1 : 5 000)	3
Obrázek č. 3:	Situace areálu společnosti FARMAK, a.s. a okolních subjektů v měřítku 1 : 10 000	4
Obrázek č. 4:	Mapa areálu společnosti FARMAK, a.s. s vyznačením umístění podzemních objektů a vrtů, zapojených do sanačního systému v únoru 2012	5
Obrázek č. 5:	Mapa areálu společnosti FARMAK, a.s. s vyznačením sanačních prací projektovaných v rámci II. etapy	36
Obrázek č. 6:	Mapa vysokých a nízkých vodních stavů (hydroizohypsy)	70
Obrázek č. 7:	Hydroizohypsy ze dne 29. 6. 1983 (převzato z M. Starobová, 1983)	70
Obrázek č. 8:	Plošné rozšíření benzenu v podzemní vodě v letech 2004, 2010 a 2011	78
Obrázek č. 9:	Plošné rozšíření toluenu v podzemní vodě v letech 2004, 2010 a 2011	78
Obrázek č. 10:	Plošné rozšíření chlorbenzenu v podzemní vodě v letech 2004, 2010 a 2011	79
Obrázek č. 11:	Plošné rozšíření vinylchloridu v podzemní vodě v letech 2004, 2010 a 2011	79
Obrázek č. 12:	Plošné rozšíření 1,2-cis-DCE v podzemní vodě v letech 2004, 2010 a 2011	79
Obrázek č. 13:	Plošné rozšíření amonných iontů v podzemní vodě v letech 2004, 2010 a 2011	79
Obrázek č. 14:	Plošné rozšíření metanolu v podzemní vodě v říjnu 2011	80
Obrázek č. 15:	Plošné rozšíření isopropanolu v podzemní vodě v říjnu 2011	80
Obrázek č. 16:	Plošné rozšíření acetonu v podzemní vodě v říjnu 2011	80
Obrázek č. 17:	Plošné rozšíření psychofarmak v podzemní vodě v říjnu 2011	80
Obrázek č. 18:	Vyznačení potenciálních příjemců zdravotních rizik	104
Obrázek č. 19:	Vyznačení objektů navržených pro postsanační monitoring	132

Seznam tabulek v textu:	na str.
Tabulka 1: Přehled subjektů, které působí v areálu společnosti FARMAK, a.s. a mohou mít vliv na životní prostředí	3
Tabulka 2: Přehled subjektů v nejbližším okolí zájmového území, které mohou mít vliv na životní prostředí	4
Tabulka 3: Přehled hlavních surovin používaných při výrobě ve společnosti FARMAK, a.s. v letech 2009 až 2011	5
Tabulka 4: Přehled vybraných studní v okolí areálu společnosti FARMAK, a.s.	9
Tabulka 5: Aktuální parametry jímacích objektů (studní) v JÚ Černovír	10
Tabulka 6: Průměrné množství odebírané vody z JÚ Černovír v l/s (zdroj: výroční zprávy Vodohospodářské společnosti Olomouc, a.s. z let 2002 až 2011)	11
Tabulka 7: Majetkoprávní vztahy	16
Tabulka 8: Nadmořská výška a svažítost terénu v areálu společnosti FARMAK, a.s.	17
Tabulka 9: Průměrné měsíční a roční úhrny srážek (mm) v obdobích 1931 - 1960, 1951 - 1980, 1961 - 1990 a 1963 - 2011 v Olomouci a měsíční úhrny srážek (mm) v období 2003 – 2011, stanice Olomouc – Klášterní Hradisko (zdroj ČHMÚ)	20
Tabulka 10: Podíl průměrných měsíčních a ročních úhrnů srážek na dlouhodobých průměrech v %	21
Tabulka 11: Hydrologické údaje v profilech Černovír - most a Nové Sady na řece Moravě	26
Tabulka 12: Výsledky analýz podzemní vody vypouštěné do toku Morava dne 20. 1. 2012	27
Tabulka 13: Výsledky analýz povrchové vody toku Morava dne 31. 1. 2012	27
Tabulka 14: Obsah TOC ve vzorcích zeminy odebraných v areálu FARMAKU	30
Tabulka 15: Přehled průzkumných prací provedených na lokalitě	31
Tabulka 16: Účinný dosah vrtů ověřený při sanačním doprůzkumu v roce 2004	40
Tabulka 17: Fyzikální a chemické vlastnosti hodnocených látek	43
Tabulka 18: Přehled expozičních scénářů hodnocených v AR [4], tj. úvodní koncepční model	44
Tabulka 19: Základní údaje o ventingu k 29. 2. 2012	45
Tabulka 20: Přehled odčerpaného množství půdního vzduchu v m ³ - k 29. 2. 2012	46
Tabulka 21: Přehled všech čerpaných a zasakovaných vrtů v průběhu sanace (do 29. 2. 2012)	46
Tabulka 22: Přehled odčerpaného množství podzemní vody v m ³ - k 29. 2. 2012	47
Tabulka 23: Přehled množství odtěžených polutantů k 29. 2. 2012	49
Tabulka 24: Porovnání množství odtěžených polutantů k 29. 2. 2012, tj. po 88 % sanace s množstvím uvedeným v Realizačním projektu sanace [25]	50
Tabulka 25: Přehled množství odtěžených polutantů k 29. 2. 2012 - sanační čerpání	50
Tabulka 26: Přehled množství odtěžených polutantů k 29. 2. 2012 - venting	50
Tabulka 27: Maximální mocnost volné fáze polutantů na hladině podzemní vody zjištěná během sanačních prací (od září 2006 do února 2012)	56
Tabulka 28: Petrografické popisy podle křivky zrnitosti a hodnoty součinitele hydraulické vodivosti (K) stanovené výpočtem z granulometrické analýzy	64
Tabulka 29: Báze hydrogeologického kolektoru a krycí vrstvy ve vybraných vrtech vyhloubených v rámci sanačních prací v areálu Farmaku	66
Tabulka 30: Bilance stávajícího množství toluenu v podzemní vodě v areálu Farmaku	73
Tabulka 31: Bilance stávajícího množství volné fáze v areálu Farmaku	74
Tabulka 32: Rychlost šíření kontaminantů ($f_{oc} = 0,13 \%$)	83
Tabulka 33: Rychlost šíření kontaminantů ($f_{oc} = 0,005 \%$)	84
Tabulka 34: Příron jednotlivých kontaminantů do řeky Moravy	91
Tabulka 35: Cílové limity sanace stanovené v rozhodnutí ČIŽP OI Olomouc, č.j. 08/OV/03761/03/Sn ze dne 2. 5. 2003	96
Tabulka 36: Aktualizovaný koncepční model	106
Tabulka 37: Porovnání reálných scénářů uvažovaných v AR [4] a v AAR	108
Tabulka 38: Základní parametry pro kvantifikaci rizika	117
Tabulka 39: Koncentrace hodnocených chemických látek použité při výpočtech (μg/l)	118

Tabulka 40:	Hodnoty výpočtů HQ, HI a ELCR sledovaných škodlivin vypočtené pro jednotlivé expoziční scénáře	119
Tabulka 41:	Srovnání platných limitů ČIŽP s limity danými vyhláškou č. 252/2004 Sb.	124
Tabulka 42:	Doporučené sanační limity pro lokalitu areálu Farmaku a okolí v Olomouci	126
Tabulka 43:	Úroveň 30% hodnot zbytkové koncentrace znečištění v podzemní vodě drénované řekou Moravou	127
Tabulka 44:	Přehled monitorovacích objektů navržených pro průkaz splnění sanačních limitů v jednotlivých oblastech	132
Tabulka 45:	Rozsah postsanačního monitoringu po dobu 2 let od ukončení sanačních prací	133
Tabulka 46:	Aktualizovaný koncepční model	134
Tabulka 47:	Přehled počtu stanovení a přípustný počet překročení v jednotlivých kolech monitoringu	134
Tabulka 48:	Návrh nápravných opatření – monitoring kvality podzemní vody směrem k JÚ Černovír	136
Tabulka 49:	Návrh nápravných opatření – monitoring obsahu NEL v podzemní vodě v areálu Farmaku	137

Seznam grafů v textu:

za str.

Graf č. 1:	Roční úhrny srážek v letech 2002 – 2011 ve stanicích Olomouc – Holice a Olomouc – Klášterní Hradisko	na str. 19
Graf č. 2:	Vývoj hladiny podzemní vody ve vrtech vně a uvnitř podzemní těsnicí stěny (PTS) a ve vrtu P-32 během sanačního čerpání podzemní vody	21
Graf č. 3:	Vývoj hladiny podzemní vody ve vrtu VB0065 Olomouc (Chválkovice) v letech 1995 - 2011	25
Graf č. 4:	Týdenní stavy hladiny podzemní vody ve vrtu VB0065 Olomouc (Chválkovice) v letech 2002 - 2012	25
Graf č. 5:	Vývoj hladiny podzemní vody ve vrtech vně a uvnitř podzemní těsnicí stěny v letech 2003 – 2012	68
Graf č. 6:	Vývoj hladiny podzemní vody ve vrtech vně a uvnitř podzemní těsnicí stěny (PTS) a množství čerpané podzemní vody ve Farmaku	69

Přehled použitých zkratk

APCL	konečná cílová koncentrace sanace
AR	analýza rizik
AAR	aktualizace analýzy rizik
BTEX	monocyklické aromatické uhlovodíky
Cl-U	chlorované uhlovodíky
Cl-Eth	chlorované ethyleny
CSF	faktor směrnice karcinogenního rizika
ČGS	Česká geologická služba
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČIŽP OI	Česká inspekce životního prostředí, oblastní inspektorát
ČOV	čistírna odpadních vod
ČR	Česká republika
ČSN	česká státní norma
ČSÚ	Český statistický úřad
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
1,2-cis-DCE (DCE)	1,2-cis-dichlorethylen
EL	extrahovatelné látky

ELCR	zvýšené celoživotní riziko vzniku rakoviny
EN	norma Evropské komise pro normalizaci
Farmak	společnost FARMAK, a.s.
FNM ČR	Fond národního majetku České republiky
HI	index nebezpečnosti (hazard index)
HQ	kvocient nebezpečnosti
CHKO	chráněná krajinná oblast
CHLÚ	chráněné ložiskové území
CHOPAV	chráněná oblast přirozené akumulace vod
IARC	Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny
ISO	označení mezinárodní normy vydané International Organization for Standardization
IUR	riziko inhalační jednotky
JÚ	jímací území
K	součinitel hydraulické vodivosti
KD	kontrolní den
K _{oc}	distribuční koeficient oktanol / organický uhlík
k.ú.	katastrální území
KÚ	krajský úřad
LBC	lokální biocentrum
LBK	lokální biokoridor
MěÚ	Městský úřad
MLE	nejpravděpodobnější expozice (most likely exposure)
MmOl	Magistrát města Olomouce
MP MŽP	Metodický pokyn Ministerstva životního prostředí
MZE ČR	Ministerstvo zemědělství České republiky
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
NEL	nepolární extrahovatelné látky
OkÚ	okresní úřad
ONV	okresní národní výbor
OP	ochranná pásma
OS	školství (základní, střední školy)
OVLHZ	odbor vodního a lesního hospodářství a zemědělství
OŽP	odbor životního prostředí
OŽPaZ	odbor životního prostředí a zemědělství
PAU	polycyklické aromatické uhlovodíky
PCB	polychlorované bifenylly
PCE	1,1,2,2-tetrachlorethylen
PP	prováděcí projekt
PR	přírodní rezervace
PTS	podzemní těsnicí stěna
PZP	podzemní zásobník plynu
RBC	regionální biocentrum
RfC	referenční koncentrace
RfD	referenční dávka
RP	realizační projekt
ROL	rozpuštěné organické látky
RU	ropné uhlovodíky
RŽP	referát životního prostředí
SF	faktor směrnice karcinogenity
SOP	standardní operační postup
SŠZ	Střední škola zemědělská
TCE	1,1,2-trichlorethylen
TOC	celkový organicky vázaný uhlík

U.S. EPA	U.S. Environmental Protection Agency
ÚCHR	úplný fyzikálně chemický rozbor
ÚP	územní plán
ÚSES	územní systém ekologické stability
VCE	vinylchlorid
VKP	významný krajinný prvek
VN	vysoké napětí
VOC	těkavé organické látky
VP	výrobní plochy
ZÚ	Zdravotní ústav
Σ	suma

pro světové strany jsou použity zkratky:

J - jih, apod.

jz. - jihozápadní, apod.

Rozdělovník:

Výtisk č. 1:	FARMAK, a.s.
Výtisk č. 2:	MF ČR
Výtisk č. 3:	MŽP
Výtisk č. 4:	ČIŽP OI Olomouc
Výtisk č. 5:	IES RECYCLING, a.s.
Výtisk č. 6:	Krajský úřad Olomouckého kraje
Výtisk č. 7:	Magistrát města Olomouce
Výtisk č. 8:	MORAVSKÁ VODÁRENSKÁ, a.s.
Výtisk č. 9:	Skanska a.s.
Výtisky č. 10 - 11:	AQUATEST a.s.
Výtisk č. 12:	ČGS – Geofond Praha

ÚVOD

Na základě realizační smlouvy č. 02532-2006-452-S-0210/01-01-003-S00208, uzavřené mezi Českou republikou - Ministerstvem financí (dále jen objednatel) a společnostmi Skanska a.s. a AQUATEST a.s., společně sdruženými v rámci sdružení „SANACE FARMAKU OLOMOUC“ (dále jen zhotovitel), a podepsané dne 14. 7. 2006, provádí zhotovitel, v souladu se zadávací dokumentací, práce vedoucí k odstranění staré ekologické zátěže a tím ke splnění Rozhodnutí ČIŽP OI Olomouc č. j. 08/OV/03761/03/Sn ze dne 2. 5. 2003. Jedná se o I. etapu sanačních prací. V listopadu 2006 byl vypracován Realizační projekt (dále jen RP), který byl schválen dne 23. 1. 2007 MF ČR dopisem č. j. 45/13700/2007/JH, podle něhož jsou sanační práce realizovány. Na základě realizační smlouvy č. 05171-2011-452-S-0210/01-01-003-S00393 podepsané dne 13. 1. 2011, provádí zhotovitel i **dodatečné služby** v rámci I. etapy sanačních prací (dále jen dodatečné práce), které spočívají především v aplikaci Fentonova činidla do horninového prostředí. Podrobný popis prací je uveden v realizačním projektu z dubna 2011.

Předkládaná Aktualizace analýzy rizik (AAR) je zpracována v souladu s RP a splňuje požadavky výše uvedeného Rozhodnutí ČIŽP, v němž je uloženo „Vypracovat a předložit ČIŽP OI Olomouc aktualizaci analýzy rizik“. Obvykle bývá aktualizace analýzy rizik zpracována před závěrem sanačních prací z důvodu zhodnocení účinnosti sanace, zbytkového množství kontaminace a navržení případných dalších sanačních prací. V daném případě musela být AAR zpracována dříve, neboť na lokalitě byly zjištěny nové skutečnosti, neoddelitelné od stávajících, které výrazně mění závěry původní analýzy rizik a které mají závažný dopad na průběh sanačních prací.

Zájmovým územím, kterým se předkládaná AAR zabývá, je jak vlastní areál společnosti FARMAK, a.s. (dále jen Farmak), který je vyznačen v přílohách č. 2 až 4, tak jeho předpolí ve směru proudění podzemní vody až k řece Moravě a také prostor mezi Farmakem a jímacím územím Černovír.

Předkládaná analýza rizik byla zpracována v souladu s Metodickým pokynem odboru ekologických škod MŽP - Analýza rizik kontaminovaného území zveřejněným ve Věstníku MŽP, částka 3 v březnu 2011 [44]. Závazná osnova závěrečné zprávy analýzy rizik je rozšířena o kapitolu 2.2 „Sanační práce realizované zhotovitelem“, neboť se jedná o aktualizaci AR zpracovanou na základě vyhodnocení sanace dosud provedené v rámci I. etapy prací. Po dobu realizace zakázky bylo procesně postupováno podle „Směrnice FNM ČR a MŽP pro přípravu a realizaci zakázek řešících ekologické závazky při privatizaci č. 3/2004“.

Cílem předkládané AAR je posoudit aktuální míru znečištění podzemní vody a horninového prostředí v areálu i mimo areál závodu a případná rizika vyplývající z existence stávajícího znečištění včetně návrhů opatření k nápravě. Dále je cílem AAR provést podrobné srovnání koncentrací a bilancí kontaminantů před zahájením sanačního zásahu a na konci hodnoceného období. Na základě aktuálních dat jsou specifikována a kvantifikována ekologická a zdravotní rizika a je vypracován návrh na další nutná opatření. Součástí aktualizace analýzy rizik je kromě jiného i revize stávajících sanačních limitů pro podzemní vodu a pro půdní vzduch.

Akce byla zaevidována u České geologické služby – Geofondu dne 19. 2. 2007 pod č. 322/2007 (příloha č. 34). Záznamy do databáze SEKM jsou prováděny vždy současně se zpracováním ročních zpráv za sanaci.

Práce na AAR byly prováděny od dubna do října 2010. V listopadu 2010 byl zúčastněným stranám rozeslán draft AAR. Během předponentního řízení, které se uskutečnilo dne 4. 2. 2011, bylo dohodnuto, že AAR bude doplněna o matematický model při maximálním povoleném odběru podzemní vody v jímacím území Černovír a bez ochranné funkce podzemní těsnicí stěny. Pro dokončení aktualizované analýzy rizik bylo objednatelem zadáno u společnosti AQUATEST a.s. zpracování doplňku AAR, které zahrnovalo ověření kontaminace v podzemní vodě, hydrologická měření, zpracování map hydroizohyps, doplnění matematického modelu a rozšíření hodnocení zdravotních rizik o další polutanty [18c]. Získané výsledky jsou zpracovány v textu předkládané AAR. Vzhledem k tomu, že od předložení draftu AAR uplynul více než rok, byla všechna potřebná data aktualizována, byly doplněny mapové přílohy o plošné rozšíření polutantů v roce 2011 a o mapy hydroizohyps. Protože došlo ve srovnání s rokem 2010 ke změnám v některých fyzikálních vlastnostech hodnocených látek (např. K_{oc}) a v základních parametrech pro kvantifikaci rizika, byly provedeny aktuální výpočty rychlosti šíření polutantů i nový odhad zdravotních rizik. Pro účely této zprávy jsou využity všechny výsledky dosažené **k 29. 2. 2012**. Platnost údajů o území převzatých z literatury, internetu a od složek státní správy a samosprávy je vztažena k **30. 4. 2012**.

Zpracovatelé zprávy:

Odpovědný řešitel:

RNDr. Hana Koppová

Zpracovatelé dílčích částí:

RNDr. Hana Koppová	- zpracování kapitol 2. Průzkumné práce a 4. Doporučení nápravných opatření, vyhodnocení ostatních kapitol;
Mgr. Andrej Kapinus	- zpracování kapitoly 1. Údaje o území;
Ing. Květoslava Bartošová	- zpracování části kapitoly 3. Hodnocení rizika a grafických výstupů;
Ing. Jaroslav Nosek	- matematické modelování.

Na pracích se kromě zhotovitele podílely subdodavatelsky tyto firmy:

- Marek Pokorný, U kovárny 30, Olomouc – geodetické práce;
- RNDr. Alexander Skácel – hodnocení zdravotních rizik;
- ČHMÚ, pobočka Ostrava – poskytnutí klimatologických a hydrologických údajů.

1. ÚDAJE O ÚZEMÍ

1.1 VŠEOBECNÉ ÚDAJE

1.1.1 Geografické vymezení území

Areál Farmaku se nachází na severním okraji města Olomouce, v městské části Klášterní Hradisko a je využíván pro chemickou a farmaceutickou výrobu od roku 1934. Plocha oploceného areálu Farmaku, která je vyznačená v příloze č. 2, činí 169 233 m². Celková plocha pozemků ve vlastnictví společností FARMAK, a.s. a FARMAK MORAVIA, a.s. je 183 076 m².

Po hospodářsko-správní stránce je Farmak součástí Olomouckého kraje, okresu Olomouc a je zobrazen na listu základní mapy ČR 24-22 (Olomouc) v měřítku 1 : 50 000, 24-224 Olomouc v měřítku 1 : 25 000 a 24-22-14 a 24-22-15 v měřítku 1 : 10 000. Situování lokality je znázorněno na obrázku č. 1 a v přílohách č. 1 až 4. Sanace saturované zóny je prováděna v areálu

Farmaku, jehož oplocená hranice je vyznačena v příloze č. 2 a omezeně za jeho jz. hranicí ve vrtech umístěných v areálu Střední školy zemědělské (příloha č. 5). Pro potřeby analýzy rizik je vymezeno **zájmové území** jako oblast na východě ohraničená železniční tratí, na severu severním okrajem bývalého školního statku, na západě řekou Moravou a na jihu severním okrajem Vojenské nemocnice Olomouc (obrázek č. 3). Pro potřeby matematického modelu a posouzení možnosti šíření zbytkové kontaminace podzemní vodou po ukončení sanace bylo do zájmového území zahrnuto i jímací území Černovír, zobrazené v přílohách č. 1 až 3.

1.1.2 Stávající a plánované využití území

Územní plán sídelního útvaru Olomouc byl schválen usnesením Zastupitelstva města Olomouce dne 29. 10. 1998 a jeho závazná část byla vyhlášena obecně závaznou vyhláškou města. Od té doby je průběžně měněn samostatnými změnami a soubory změn, jejichž závazné části byly vyhlášovány dalšími obecně závaznými vyhláškami a později formou opatření obecné povahy.

Přehled stávajícího využití kontaminovaného území a přilehlého okolí

Areál Farmaku leží na s. okraji města Olomouce, v městské části Klášterní Hradisko v ulici Na Vlčinci. Z hlediska platného Územního plánu sídelního útvaru Olomouc je areál Farmaku umístěn na **ploše pro výrobu**, přičemž podrobnější účel využití je stanoven funkčním typem VP – průmyslová výroba. Na západní okraj areálu Farmaku zasahuje ještě část funkční plochy **veřejné vybavení**, funkční typ OS - školství (obrázek č. 2). Na severu sousedí areál Farmaku se zemědělskými pozemky a hřbitovem, za nimiž je situováno jímací území Černovír. Na východě se za hranicí areálu nachází rovněž zemědělské pozemky, nákladové nádraží ČD a železniční trať č. 270 Bohumín – Přerov – Česká Třebová. Na jihu navazuje na areál rozptýlená zástavba, dříve bytová, dnes používaná k podnikatelským aktivitám a dále Vojenská nemocnice Olomouc. Na jihozápadě a západě sousedí Farmak s plochami veřejného vybavení. Na JZ je to areál středních škol, ve kterém sídlí Střední škola zemědělská a Střední škola stavební – HORSTAV a dále Archeologické centrum Olomouc. Na západ od Farmaku se nachází Střední škola logistiky a chemie se sportovištěm. Za těmito plochami leží obytné území v okolí ulice Jablonského s jedno a dvoupodlažními řadovými rodinnými domy. Za touto obytnou zástavbou, ve vzdálenosti cca 380 až 580 m z. od hranice areálu, protéká řeka Morava. Druhá nejbližší vodoteč - Trusovický potok, který ústí do řeky Moravy cca 650 m ssz., není činností v areálu Farmaku ovlivněn. Podrobný přehled průmyslového využití lokality v minulosti je uveden v [4] a [19].

V současnosti působí v areálu Farmaku dalších 21 subjektů (různé firmy, lékařské ordinace, společnost provozující telekomunikační zařízení, atd.). Ty, které by mohly negativně ovlivnit životní prostředí, uvádíme v tabulce 1. Protože některé z podniků manipulují při své činnosti se závadnými látkami, jsou kontrolovány odpovědnými zástupci Farmaku. K únikům závadných látek do horninového prostředí v důsledku výrobní činnosti těchto firem v minulosti nedošlo.

Tabulka 1: Přehled subjektů, které působí v areálu společnosti FARMAK, a.s. a mohou mít vliv na životní prostředí

Název společnosti	Sídlo	Předmět podnikání, činnost, poznámka
Jiří Doleček	U Botanické zahrady 859/2, 779 00 Olomouc - N. Sady	výroba, instalace, opravy elektrických strojů, přístrojů a zařízení
Radovan Venský	Horní Úlehla 36, Olomouc - Droždín	truhlářství a zpracování dřeva

Název společnosti	Sídlo	Předmět podnikání, činnost, poznámka
FARMAK MORAVIA, a.s.	Na Vlčinci 16/3, 779 00 Olomouc - Klášteří Hradisko	výroba nebezpečných chemických látek a nebezpečných chemických přípravků a prodej chemických látek a chemických přípravků klasifikovaných jako vysoce toxické a toxické, výroba a skladování dezinfekčních prostředků
GLYCONA, s.r.o.	tř. T. Bati 1635, 795 82 Otrokovice	zahraniční i domácí obchod se zemědělskými komoditami, stáčení a čerpání glycerinu a metanolu
Veronika Egerová	Trnkova 22, 779 00 Olomouc - N. Sady	pronájem pozemku za účelem chovu koní (do konce r. 2012)
Miroslav Jůna	Kožušany 70, 783 75 Kožušany - Tážaly	provoz zámečnické dílny

V okolí Farmaku se nachází několik dalších subjektů, které mohly nebo mohou mít negativní vliv na životní prostředí v zájmovém území. Přehled těchto subjektů a jejich zaměření je uveden v tabulce 2. Jejich umístění je znázorněno na obrázku č. 3.

Tabulka 2: Přehled subjektů v nejbližším okolí zájmového území, které mohou mít vliv na životní prostředí

Označení na obr. č. 3	Název/Obchodní firma	Sídlo	Předmět podnikání, činnost, poznámka
1	Areál bývalého školního statku zemědělské školy	Na Sezníku 4, Olomouc - Černovír	soubor jednotlivých firem v nájmu: viz další odkazy a) – g)
1a)	C. B. K. - STAPLER, s.r.o.	dtto	výroba a prodej vysokozdvížných vozíků
1b)	GLOBAL Building, s.r.o.	dtto	stavebnictví, autodoprava a mechanizované práce (v likvidaci)
1c)	PEVYAUTO	dtto	autoservis, autopůjčovna a doprava
1d)	Kovovýroba KODOS s.r.o.	dtto	kovovýroba, zámečnické práce, svařování
1e)	VEDAG - ČR, spol. s r.o.	dtto	výroba a zpracování modifikovaných, oxidovaných, svařovacích a samolepicích asfaltových hydroizolačních pásů
1f)	Školagro, s.r.o.	Na Sezníku 309/4, 779 00 Olomouc - Černovír	zemědělská výroba a činnosti s ní související
1g)	Graphic Art s.r.o.	Baarova 309/4, Olomouc - Chomoutov	velkoplošný tisk, výroba samolepek, polepů na automobily a 3D etiket
2	zemědělská půda v majetku jednotlivých vlastníků	Na Sezníku 104/6, Olomouc - Černovír	obhospodařuje Školagro, s.r.o. - zemědělská výroba a činnosti s ní související
4	České dráhy, a.s.	nábř. Ludvíka Svobody 1222/12, Praha, 110 15	zajištění železničních přepravních služeb na celostátních i regionálních tratích
7	Vojenská nemocnice Olomouc	Sušilovo nám. 5, Olomouc - Klášterní Hradisko	nemocnice včetně LDN a střediska komplexní péče pro válečné veterány

Po dobu provádění sanačních prací v letech 2006 až 2012 nebyly evidovány žádné havárie nebo úniky závadných látek ve výše uvedených podnicích, které by mohly mít vliv na kontaminaci horninového prostředí v areálu Farmaku. Z důvodu trvale vysokého obsahu amonných iontů v podzemní vodě v zájmovém území bylo ověřováno používání hnojiv s obsahem dusíku v okolí

Farmaku. Společnost Školagro, s.r.o. aplikuje 1 až 2x za rok dusíkatá hnojiva v řádu 120 kg/ha a obhospodařuje všechna pole s. a v. od Farmaku (pouze pozemek 50 x 50 m u vojenského hřbitova obhospodařuje ZD Unčovice). Je tedy dodržen limit nařízení vlády č. 103/2003 Sb., ve znění pozdějších předpisů, který stanoví ve zranitelných oblastech (viz níže) použití organického dusíku v množství 170 kg/ha. Také ostatní požadavky dané tímto nařízením vlády jsou společností plněny. Před rokem 1990 byla v bývalém školním statku na ploše ležící severně od vrtu P-206 (příloha č. 3) skladována průmyslová hnojiva a byly zde provozovány nádrže na kejdu (tekuté statkové hnojivo). V areálu Střední školy zemědělské jsou používána na demonstračních pozemcích pouze organická hnojiva, hnůj a chlévská mrva 1x ročně v množství 1,5 tuny.

Ve společnosti FARMAK, a.s. nebyla, po dobu realizace sanace, evidována žádná havárie nebo únik závadných látek. Společnost spadá do režimu zákona č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií, ve znění pozdějších předpisů. V současné době je výroba provozována v objektech č. 21, 22, 31 a 33 (obrázek č. 4). Objekt č. 15 je mimo provoz, v objektu č. 32 je ukončena výroba, v případě potřeby je omezeně využíván jako mezisklad matečných a promývacích louhů a jako mezisklad produktů. Ve výrobních objektech se nacházejí jednotlivá výrobní zařízení a příruční sklady surovin a meziproduktů. Části objektů, ve kterých se nakládá s látkami závadnými vodám, jsou napojeny pouze na chemickou odpadní kanalizaci. Podlahy těchto objektů jsou odolné vůči používaným chemickým látkám. Podlahy objektu č. 33 jsou svedeny do havarijní jímky. Sklady surovin (objekty č. 23, č. 31c – centrální úložiště kapalin a č. 401 – centrální sklad kapalin v obalech) a výrobků (objekt č. 24) jsou zabezpečeny proti úniku závadných látek havarijními jímkami. Podrobně je nakládání se závadnými látkami (podle vodního zákona) popsáno v havarijním plánu [62]. V současnosti jsou ve výrobě používány především žiraviny (kyseliny, amoniak, hydroxidy) a rozpouštědla. Roční průměrná spotřeba chemických látek v kapalném skupenství, které jsou používány v množství větším jak 1 tuna, je uvedena včetně jejich klasifikace a R-vět v následujícím přehledu (údaje poskytl Farmak).

Tabulka 3: Přehled hlavních surovin používaných při výrobě ve společnosti FARMAK, a.s. v letech 2009 až 2011

Popis položky	Roční spotřeba (kg)	Klasifikace*	R-věty*
ACETON TECHNICKÝ	135 153	F, Xi	R 11-36-66-67
AMONIAK VODNÝ ROZTOK ČISTÝ	11 681	C, N	R 34-50
AMONIAK VODNÝ ROZTOK TECHNICKÝ	32 012	C, N	R 34-50
BENZIN TECHNICKÝ	3 874	Karc. kat. 2, F, T, Xn, Xi, N	R 11-36/38-45-48/23/24/25-51/53-65-67
BENZYLCHLORID TECHNICKÝ	5 040	Karc. kat. 2, T, Xn, Xi	R 45-22-23-37/38-41-48/22
CHLORID THIONYLU	5 277	C, Xn	R 14-20/22-29-35
DAPCH HYDROCHLORID 65PROC. VODNÝ	25 600	C, Xn, Xi	R 34-22-37
DIMETHYLFORMAMID	1 467	repr. kat. 2, Xn, Xi	R 61-20/21-36
ETANOL BEZVODÝ NEDENATUROVANÝ	135 995	F	R 11
ETHER	42 510	F+, Xn	R 12-19-22-66-67
ETHER PETROLEJOVÝ	60 398	F, Xn, Xi, N, repr. kat. 3	R 11-38-51/53-65-67
GLYOXAL 40 PROC.	9 581	Xn, Xi, mut. kat.3	R 20-36/38-43-68
HYDROXID SODNÝ TECHNICKÝ KAPAL.	48 522	C	R 35
ISOPROPYLALKOHOL ČISTÝ	47 868	F, Xi	R 11-36-67
KYSELINA CHLOROVODÍKOVÁ ČISTÁ	32 751	C, Xi	R 34-37
KYSELINA L-(+)-MLÉČNÁ 90 PROC.	13 200	Xi	R 41-38
KYSELINA OCTOVÁ TECHNICKÁ	16 120	C	R 10-35

Popis položky	Roční spotřeba (kg)	Klasifikace*	R-věty*
KYSELINA SÍROVÁ VYSOKOPROC. 98 %	298 148	C	R 35
KYSELINA SÍROVÁ ČISTÁ	7 000	C	R 35
METANOL SYNTETICKÝ	275 035	F, T	R 11-39/23/24/25-23/24/25
MONOBROMBENZEN	11 000	Xi, N	R 10-38-51/53
MONOCHLORBENZEN TECHNICKÝ	33 551	Xn, N	R 10-20-51/53
N-METHYLPYRROLIDON	2 730	Xi	R 36/38
OCTAN ETHYLNATÝ TECHNICKÝ	64 686	F, Xi	R 11-36-66-67
OXYCHLORID FOSFOREČNÝ	11 136	T+, C, Xn	R 14-22-26--29-35-48/23
TOLUEN	503 939	F, repr. kat. 3, Xn, Xi	R 11-38-48/20-63-65-67
TOLUEN ČISTÝ	16 435	F, repr. kat. 3, Xn, Xi	R 11-38-48/20-63-65-67
XYLEN	5 695	Xn, Xi, R10	R 10-20/21-38

Poznámka: * - náležitosti označování nebezpečných látek a nebezpečných přípravků jsou uvedeny ve vyhlášce č. 232/2004 Sb., ve znění pozdějších předpisů

Využití území v areálu podniku a v blízkém okolí je schematicky zobrazeno na obrázcích č. 2 a 3. Vzhledem k tomu, že je společnost certifikována podle normy ČSN EN ISO 14001, a dále na základě osobních zkušeností, získaných při provádění sanace v letech 2006 až 2012, vylučujeme, že by mohlo docházet ke kontaminaci horninového prostředí chemickými látkami používanými ve Farmaku, a tím by byl ovlivněn průběh sanačních prací.

Ochrana přírody a krajiny

Územní systém ekologické stability (ÚSES)

Areál Farmaku je podle územního plánu města Olomouce situován mimo dosah prvků územního systému ekologické stability. Nejbližší prvek ÚSES v nadregionální úrovni je dílčí část nadregionálního biokoridoru K 136 probíhající dvěma trasami od S k J, které míjí z. hranici areálu Farmaku ve vzdálenosti 0,3 km. První trasa biokoridoru kopíruje břehy vodního toku Moravy a druhá je střídavě protíná. Druhá trasa je nad soutokem Moravy a Trusovického potoka (při budování protipovodňové hráze bylo místo původního soutoku těchto vodotečí posunuto k severu, jak je vyznačeno v příloze č. 3) odkloněna od první trasy a vede přes z. část regionálního biocentra Černovířský les, ze kterého je vedena zpět přes Trusovický potok k řece Moravě. Na regionální úrovni je v územním plánu vymezeno již zmíněné regionální biocentrum - RBC 270 Černovířský les (0,45 km ssv.). Na lokální úrovni jsou v blízkém okolí zájmového území vymezena dvě lokální biocentra - LBC 21 a 22, která jsou situována podél vodního toku Morava a jsou propojena nadregionálním biokoridorem K 136. Nejbližší lokální biocentrum (LBC 22) se nachází 0,30 km z. od areálu Farmaku. Výše uvedené prvky ÚSES jsou zakresleny v příloze č. 2.

Soustava NATURA 2000, zvláště chráněná území

V bezprostředním okolí zájmového prostoru se nenachází žádné území soustavy NATURA 2000 ani žádné zvláště chráněné území podle zákona č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, ve znění pozdějších předpisů.

Ptačí oblasti

Nejbližší ptačí oblastí je Litovelské Pomoraví (kód lokality CZ0711018), jejíž hranice je totožná s hranicí CHKO Litovelské Pomoraví a je vzdálená 0,8 km sz. od posuzovaného území. Tato

lokalita byla vyhlášena nařízením vlády č. 23/2005 Sb. Ptačí oblast tvoří pruh nivy přirozeně meandrující řeky Moravy, který je 27 km dlouhý a 3 až 8 km široký o celkové rozloze 9 318,7 ha. Řeka a navazující luhy hostí řadu druhů, z nich nejvýznamnější jsou ledňáček říční, strakapoud prostřední, lejsek bělokrký, racek černohlavý, písek obecný, rybák černý, jespák bojovný a vodouš bahenní.

Evropsky významné lokality

Nejbližší evropsky významnou lokalitou je Litovelské Pomoraví (navrhovaná kategorie ochrany - CHKO, přírodní památka) ve vzdálenosti 0,8 km sz. od zájmového území, stanovené nařízením vlády č. 132/2005 Sb., kterým se stanoví národní seznam evropsky významných lokalit, ve znění pozdějších předpisů.

Zvláště chráněná území

Nejbližším zvláště chráněným územím je CHKO Litovelské Pomoraví o rozloze 96 km², vyhlášené vyhláškou MŽP ČR č. 464/1990 Sb., jehož hranice prochází nejbližší 0,8 km sz. od lokality. Zaujímá pruh lužních lesů a luk kolem řeky Moravy mezi městy Olomouc a Mohelnice. Nejbližší přírodní rezervací situovanou v CHKO Litovelské Pomoraví jsou Plané Loučky, které se nacházejí 18,5 km sz. od areálu Farmaku (mimo rozsah grafických příloh). Další zvláště chráněné území situované v CHKO Litovelské Pomoraví je přírodní památka Bázlerova pískovna, vzdálené od zájmového území 1,0 km. Část území CHKO je vyznačena v příloze č. 1.

Přírodní parky

V blízkém ani vzdálenějším okolí zájmového území se nenachází žádný přírodní park ve smyslu § 12 zákona č. 114/1992 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Nejbližším přírodním parkem je až vzdálené údolí Bystřice.

Významné krajinné prvky (VKP)

Významnými krajinnými prvky podle § 3, odst. 1) písm. b) zákona č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, ve znění pozdějších předpisů, jsou lesy, rašeliniště, vodní toky, rybníky, jezera a údolní nivy. Do zájmové lokality VKP přímo nezasahují. Nejbližšími VKP jsou Černovířský les, řeka Morava a nezastavěná část její nivy. Registrované VKP se v okolí lokality nenacházejí. Nejbližším registrovaným VKP je památná lipová alej v Samotíškách, vzdálených 5 km sv.

Záplavové území

Areál Farmaku se podle informací poskytnutých Povodí Moravy, s.p. nachází v záplavovém území (obrázek č. 3). Pro průtok Q_{100} bylo vyhlášeno dne 17. 9. 2004 KÚ Olomouckého kraje, OŽPaZ pod č. j. KUOK/6388/04/OŽPZ/339 bez rozlišení na aktivní a pasivní zóny. Hranice záplavového území pro Q_{100} je stanovena podél tranzitního železničního koridoru Bohumín - Přerov - Česká Třebová, tj. cca 0,14 km v. od hranice areálu Farmaku. Při povodni v roce 1997 byl areál Farmaku zaplaven.

Ochrana vodních zdrojů, nerostných surovin a technických objektů

Vodní zdroje

V areálu Farmaku podzemní voda není využívána. Ve střední části Farmaku jsou umístěny 2 staré kopané studny, nejsou však využívány a jsou zabezpečeny poklopy.

V okolí Farmaku ve směru proudění podzemní vody se nachází v zástavbě rodinných domů a v zahrádkářské kolonii řada domovních studní a 2 studny využívané právníckými subjekty. Umístění studní je vyznačeno na obrázku č. 3. V současné době je v zájmovém prostoru v okolí Farmaku povolen vodoprávním úřadem odběr vody ze 44 jímacích objektů (studny, které byly vyhloubeny před rokem 1955, nejsou evidovány).

Z tohoto množství je 17 kopaných studní s hloubkou od 3 do 12 m a průměrem 0,8 - 1,0 m. Pro jednotlivé studny je povolen roční odběr od 5 do 216 m³, celkově povolený odběr vody činí 1 421 m³/rok. Většina studní je povolena za účelem odběru užitkové vody pro zahradu (jako zálivka), pouze v jednom případě je určena k zásobování zahradního bazénu (p. č. 154/4 k. ú. Černovír). Jako zdroj pitné vody byla povolena pouze studna na p. č. 46/19 k. ú. Klášterní Hradisko, o hloubce 5 m a průměru 1 m. Dvě studny jsou využívány v areálech škol, studna p. č. 57/15 se nachází v areálu Střední školy logistiky a chemie a slouží k zálivce sportoviště, druhá studna je umístěna v areálu Střední školy zemědělské na parcele č. 44 a slouží k zalévání pozemků. Bližší údaje o využití těchto 2 studní jsou uvedeny v kapitole 3.1.2. V obytné zóně v okolí Farmaku je vybudován veřejný vodovodní řad, ze kterého jsou zásobovány pitnou vodou jednotlivé rodinné domy. Vrtaných studní je v zájmovém území 9, s hloubkou od 3 do 20 m, o průměru 150 až 416 mm a povoleném celkovém odběru 1 451 m³/rok. Studny jsou povoleny za účelem odběru užitkové vody pro zahradu a v jednom případě pro potřeby vojenského hřbitova v Černovíři. Ražených studní je 18, s hloubkou od 2,6 do 9,0 m a s průměrem 3/4" a 5/4" a celkovým povoleným odběrem 192 m³/rok. Tyto studny jsou také povoleny za účelem odběru užitkové vody – na zalévání a kropení zahrádek. V jednom případě - na p. č. 57/11 k. ú. Klášterní Hradisko - jsou u rodinného domu tři ražené studny. Většina ražených studní je situována v zahrádkářské kolonii, k níž vede přípojka veřejného vodovodu (k hranici pozemků p. č. 46/3 a p. č. 46/4). Podle vyjádření jeho provozovatele však pitnou vodu v kolonii nikdo neodebírá.

V prostoru obytné zástavby se na zahradách rodinných domů nachází celkem 28 bazénů (zjištěno z leteckého snímku). Pouze u jednoho bazénu je uveden jako oficiální zdroj kopaná studna, a to na p. č. 154/4 k. ú. Černovír (pan Gajda). Protože však je voda ve studni kontaminovaná a zapáchá, tak je k napouštění bazénu používána pitná voda z vodovodu. V obytné zóně je povolen vodoprávním úřadem odběr užitkové vody ze studní, u nichž se zároveň nachází bazény, v 6-ti případech - kopaná studna na parcele č. 170 (rodinný dům), kopaná studna na p. č. 169 (zahradka), obě v k. ú. Černovír, 3 ražené studny na parcele č. 57/11 (rodinný dům), vrtaná studna na p. č. 50/25 (rodinný dům), kopaná studna na p. č. 46/19 (rodinný dům), ražená studna na p. č. 46/38 (rodinný dům), vše v k. ú. Klášterní Hradisko. Místním šetřením bylo zjištěno, že bazény u rodinných domů, využívané pro koupání, jsou napouštěny vodou z veřejného vodovodu. Nelze však vyloučit, že do některého bazénu je napouštěna voda ze studny. V prostoru zahrádkářské kolonie je 11 nádrží na vodu (zjištěno z leteckého snímku) o rozměrech maximálně 2 x 2 m, ty však mají okrasnou funkci nebo slouží jako rezervoár vody na zalévání.

Celkový povolený průměrný odběr ze všech studní v zájmovém území činí 9,27 l/s a maximální roční odběr 3 064 m³. Vodoprávní úřad se nezabývá kvalitou vody čerpané ze studní, neboť to není v jeho pravomoci. U právních subjektů a u některých domovních studní je v rozhodnutí uvedeno, že je vydáno bez ohledu na jakost podzemní vody v místě jejího odběru. U domovních studní navíc není kvalita vody orgány ochrany veřejného zdraví řešena, jak vyplývá ze zákona č. 258/2000 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Obsah polutantů v domovních studních je hodnocen v kapitole 2.3.2. V tabulce 4 uvádíme přehled vybraných studní v j., jz. a z. okolí Farmaku.

Tabulka 4: Přehled vybraných studní v okolí areálu společnosti FARMAK, a.s.

Označení studny	St p. č. 57/15	St p. č. 44	St p. č. 46/47	St p. č. 170	St p. č. 46/19	St p. č. 171	St p. č. 46/38	St p. č. 42/9	St p. č. 42/9
adresa, číslo popisné	U Hradiska 29, Olomouc	U Hradiska 4, Olomouc	Jablonského 46/48, Olomouc	Jablonského 59, Olomouc	Lamblova 38, Olomouc	Jablonského, Olomouc	Jablonského 36/52, Olomouc	zahrádkářská kolonie	zahrádkářská kolonie
číslo parcely	p. č. 57/15	p. č. 44	p. č. 46/47	p. č. 170	p. č. 46/19	p. č. 171	p. č. 46/38	p. č. 42/9	p. č. 42/9
katastrální území	Kláštevní Hradisko	Kláštevní Hradisko	Kláštevní Hradisko	Černovír	Kláštevní Hradisko	Černovír	Kláštevní Hradisko	Kláštevní Hradisko	Kláštevní Hradisko
vlastník/uživatel studny	Střední škola logistiky a chemie	Střední škola zemědělská	Baklík, dům je neobydlen	Ing. Hopjan	Ing. Gajda	Müllerovi	Blatňákovi	Vaculínovi	M. Polívka a J. Polívková
konstrukce studny	kopaná	kopaná	ražená	kopaná	kopaná	kopaná	ražená	ražená	ražená
typ výstroje	beton, skruže	beton, skruže	pozinkovaná trubka	beton, skruže	beton, skruže	beton, skruže	pozinkovaná trubka	pozinkovaná trubka	pozinkovaná trubka
hloubka studny	8,0 m	8,0 m	-	4,0 m	5,0 m	4,0 m	4,0 m	3,0 m	-
využití vody	užitková voda	užitková voda	-	užitková voda	pitná a užitková voda	užitková voda	užitková voda	užitková voda	-
maximální odběr	1,035 l/s	0,04 l/s	-	0,3 l/s	0,3 l/s	1,0 l/s	0,1 l/s	0,1 l/s	-
maximální měsíční odběr	60 m ³	24 m ³	-	2 m ³	2 m ³	4 m ³	1 m ³	0,2 m ³	-
roční odběr	540 m ³	288 m ³	-	12 m ³	24 m ³	24 m ³	6 m ³	1,2 m ³	-
počet měsíců odběru	9	12	-	6	12	6	6	6	-
povolení k odběru vydáno dne	19. 12. 2008	14. 8. 2007	-	vyhloubena před r. 1955	21. 8. 2000	5. 5. 2010	26. 10. 2010	-	-
laboratorní analýza	ne*	17. 9. 2010	jaro 2002	4. 5. 2010	17. 9. 2010	17. 9. 2010	17. 9. 2010	17. 9. 2010	jaro 2002

Vysvětlivky:

* - pravidelně se vzorkuje vrt R-105A, který se nachází 3 m od studny

Vodní zdroj (prameniště) Černovír

V bezprostředním okolí zájmového území se nachází významné jímací území označované „vodní zdroj (prameniště) Olomouc – Černovír“ (dále jen JÚ Černovír), které slouží k veřejnému zásobování pitnou vodou. Vlastníkem jímacího území je Vodohospodářská společnost Olomouc, a.s., provozovatelem je MORAVSKÁ VODÁRENSKÁ, a.s. Vzhledem k blízkosti areálu Farmaku (0,6 km jz.) by mohlo být prameniště ohroženo starou ekologickou zátěží.

V JÚ Černovír, které spadá do k. ú. Chválkovice, Černovír a Hlušovice, se nachází celkem 38 studní napojených násoskami do 7 sběrných studní (A0, E0, H1, H2, H3, H4, C16). Průměr výstroje násoskových studní je 150 až 1 000 mm, průměr výstroje sběrných studní je 1 250 až 6 000 mm. Objekty mají hloubky 4,4 - 13,6 m, přičemž většina studní má hloubku 7 - 9 m. Technické parametry studní jsou uvedeny v tabulce 5.

Tabulka 5: Aktuální parametry jímacích objektů (studní) v JÚ Černovír

Název studny	Využití studny	Průměr (mm)	Hloubka (m)	Materiál výstroje
A0	sběrná	6 000	8,20	zdivo
A1	násosková	200	8,20	litinová zárubnice
A2	násosková	200	8,25	litinová zárubnice
A3	násosková	200	5,10	litinová zárubnice
A4	násosková	200	7,30	litinová zárubnice
A5	násosková	200	8,80	litinová zárubnice
A6	násosková	200	8,30	litinová zárubnice
B1	násosková	150	5,95	litinová zárubnice
B2	násosková	150	7,00	litinová zárubnice
B3	násosková	150	6,60	litinová zárubnice
B4	násosková	150	6,60	litinová zárubnice
B5	násosková	150	4,40	litinová zárubnice
B6	násosková	150	6,80	litinová zárubnice
B7	násosková	150	7,90	litinová zárubnice
B8	násosková	150	8,40	litinová zárubnice
C16	sběrná	1 250	7,50	betonové skruže
C17	násosková	?	?	?
E0	sběrná	2 700	8,90	zdivo
E2	násosková	200	9,50	litinová zárubnice
E8	násosková	200	9,20	litinová zárubnice
E10	násosková	200	8,70	litinová zárubnice
E12	násosková	200	7,75	litinová zárubnice
E13	násosková	650	7,30	litinová zárubnice
E14	násosková	650	7,30	litinová zárubnice
E15	násosková	650	7,50	litinová zárubnice
H1	sběrná	5 000	13,62	zdivo
H2	sběrná	5 000	7,90	zdivo
H3	sběrná	5 000	11,50	zdivo
H4	sběrná	5 000	12,27	zdivo
Ha	násosková	150	10,00	litinová zárubnice
Hb	násosková	150	9,20	litinová zárubnice

Název studny	Využití studny	Průměr (mm)	Hloubka (m)	Materiál výstroje
Hc	násosková	150	7,90	litinová zárubnice
Hd	násosková	150	7,70	litinová zárubnice
He	násosková	150	8,50	litinová zárubnice
Hf	násosková	150	9,00	litinová zárubnice
K1	násosková	150	8,90	litinová zárubnice
K2	násosková	150	8,60	litinová zárubnice
K3	násosková	150	7,90	litinová zárubnice
K4	násosková	150	9,30	litinová zárubnice
K5	násosková	150	8,80	litinová zárubnice
K6	násosková	150	9,60	litinová zárubnice
K7	násosková	150	7,75	litinová zárubnice
T1	násosková	1 000	6,90	betonová skruž
T2	násosková	1 000	7,50	betonová skruž
T4	násosková	1 000	6,80	betonová skruž

Odběr vody neprobíhá ze všech násoskových nebo sběrných studní současně, ale střídavě jsou zapojovány a odpojovány jednotlivé studňové jímací řady. Z jednotlivých studní je voda násoskou dopravována do sběrných studní a odtud je výtlakem ponorných čerpadel vedena do úpravní vody. Vzhledem k technickému provedení systému sběrných a násoskových studní je při odběrech vody vždy v příslušné sběrné studni úroveň hladiny podzemní vody nižší než v násoskách, zapojených do dané sběrné studny. Zárubnice studní jsou z důvodu tvorby bakteriálních nárůstů mechanicky čištěny metodou vysokotlakého otryskání s následným odčerpáním uvolněného materiálu. Situace jímacích objektů v JÚ Černovír je vyznačena v příloze č. 3.

Rozhodnutím č. j. voda/632/76-Ma ze dne 1. 4. 1976, vydaným tehdejším OVLHZ bývalého ONV, byl povolen odběr podzemních vod z vodního zdroje označeného jako „Studny v prameništi Olomouc - Černovír - Chválkovice“ v množství: průměrný roční odběr 250 l/s, špičkový odběr 375 l/s a roční odběr 7 884 000 m³/rok. Na podnět Vodohospodářské společnosti Olomouc, a.s. byl Rozhodnutím č. j. ŽP/1605/03/Ha ze dne 7. 4. 2003 OŽP MmOl povolen odběr v množství maximálně 250 l/s, průměrně 190 l/s, maximálně 657 000 m³/měsíc, průměrně 499 320 m³/měsíc a maximálně 5 991 840 m³/rok. Platnost rozhodnutí je stanovena do 31. 12. 2012. Svou žádost navrhovatel zdůvodnil nižší spotřebou vody. Množství vody jímáné v letech 1977 až 1982 se pohybovalo od minima 158 l/s v roce 1979 po maximum 204 l/s v roce 1981. Průměrné množství vody odebírané z prameniště Černovír v letech 2002 až 2011 je uvedeno v tabulce 6. Z tabulky je patrné, že množství odčerpáné vody z JÚ Černovír v uvedeném období postupně klesá. Podle sdělení zástupce provozovatele Ing. Úlehly bude požádáno o vydání nového povolení k odběru vody ve stejném množství, tedy maximálně 250 l/s. Při měřeních hladiny podzemní vody bylo z jímacího území odebíráno 76,6 l/s vody dne 2. 7. 2010, 118,5 l/s dne 26. 8. 2011 a 82,9 l/s dne 28. 2. 2012.

Tabulka 6: Průměrné množství odebírané vody z JÚ Černovír v l/s (zdroj: výroční zprávy Vodohospodářské společnosti Olomouc, a.s. z let 2002 až 2011)

Rok/lokalita	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
	(l/s)									
JÚ Černovír	89,1	102,5	98,5	75,7	67,1	58,8	59,5	55,5	58,8	66,2

JÚ Černovír je využíváno již od roku 1889, ve kterém byla do provozu uvedena parní čerpací stanice a první studna E0 o průměru 2 700 mm a hloubce 8,9 m s vydatností 30 l/s. V následujících letech se prameniště rozšiřovalo v závislosti s růstem spotřeby vody. Nejprve bylo doplněno o studny E2 až E5 (o původním průměru 800 mm), které jsou násoskovým řadem propojeny se studní E0. Následně byly vybudovány studny E6 až E15 (o původním průměru 800 mm) s násoskovým potrubím zaústěným do studny E0. Studny byly násoskou napojeny na původní čerpací stanici (max. čerpaný výkon 46 l/s), přes kterou byla voda distribuována do městské vodovodní sítě. Podzemní voda z mělkého průlinového kolektoru holocenních fluvialních sedimentů s vysokými obsahy železa a agresivního oxidu uhličitého způsobovala postupné stárnutí výstroje jímacích objektů, které vyvolalo potřebu rekonstrukce a posílení jímacího studňového řadu. Proto byly v roce 1972 po napojení na novou, již elektrifikovanou čerpací stanici (max. čerpaný výkon 200 l/s), zprovozněny jímací řady A (studny A1 až A6) a B (studny B1 až B8), které jsou v současnosti společně se studnami E2, E8, E10 a E12 svedeny do sběrné studny A0. Později byly realizovány násoskové studny Ha až Hf a sběrné studny H1 až H4. Studny Ha a Hb jsou napojeny do studny H1, studny Hc a Hd do studny H2 a studny He a Hf do studny H3. Do sběrné studny C16 je svedena pouze voda ze studny C17. Prameniště bylo doplněno na východě o studny T1, T2 a T4 spojené násoskou do sběrné studny E0. Voda z nejnovějšího násoskového řadu K1 až K7 je přivedena ke studni H4. Veškerá jímáná voda je ze sběrných studní (E0, A0, C16, H1, H2, H3, H4) odváděna do úpravní vody. V úpravně vody docházelo od roku 1972 (uvedení do provozu) jen k jednoduché úpravě vody spočívající v odkyselení aerací a dezinfekci z důvodu vyšších obsahů železa a manganu. Po povodni v červenci 1997, po níž došlo ke zhoršení jakosti vody (patrné z nárůstu koncentrací $CHSK_{Mn}$), byla v roce 1999 zahájena rekonstrukce úpravní vody, zahrnující vybudování filtrace, doplnění dávkování manganistanu draselného, koagulátu a ozónu. Pro hygienické zabezpečení vody bylo navrženo dávkování chlordioxidu. Dvojstupňová úpravná zajišťuje dostatečnou kvalitu vyhovující současným legislativním požadavkům. Na podzim roku 2011 bylo provedeno čištění a rekonstrukce sběrné studny E0 a všech 6-ti násosek do ní zaústěných.

Pásma hygienické ochrany JÚ Černovír byla vyhlášena dne 14. 8. 1984 a následně byl jejich rozsah změněn Rozhodnutím RŽP OkÚ Olomouc ze dne 18. 5. 1998. Protože jejich rozsah byl v první dekádě 21. století nevyhovující, byla zpracována v roce 2008 revize ochranných pásem vodního zdroje [30]. Plošný rozsah ochranného pásma I. stupně byl rozhodnutím č. j. ŽP-DOK/2275/2010/Hu ze dne 2. 3. 2010, vydaným OŽP MmOl rozšířen z bezprostředního okolí studní na většinu plochy Černovířského lesa. Revidované OP II. stupně bylo vyhlášeno dne 7. 9. 2011. Původní ochranná pásma stupňů IIa a IIb jsou vyznačena v příloze č. 1, platná ochranná pásma I. stupně a II. stupně JÚ Černovír jsou vyznačena v přílohách č. 2 a 3. V původně platném OP stupně IIb vedla jeho západní hranice podél podzemní těsnicí stěny (PTS). V současnosti platné OP II. stupně je bez rozlišení a areál Farmaku do něho nespadá.

Provozovatel JÚ Černovír poskytl pro potřeby AAR výsledky jedno až třídních čerpacích zkoušek, které provedla v listopadu 2011 společnost OHGS s.r.o. ze studní E0 a násosek do ní zaústěných [31a]. Při testování samotné sběrné studny E0 bylo čerpáno 43 l/s při snížení hladiny 2,5 m na úroveň 209 m n.m. Ve 400 m vzdáleném vrtu HV-124 byl naměřen pokles hladiny o 0,02 m, ve studni E14, vzdálené 130 m hladina poklesla o 0,28 m. Při 3denním čerpání podzemní vody jak ze sběrné studny E0, tak i z násoskových studní řad E a T v celkovém množství 107 l/s poklesla hladina podzemní vody ve sběrné studni na 209,96 m n.m. V pozorovacích objektech pokles hladiny podzemní vody, ve srovnání se stavem před zahájením čerpacích zkoušek, činil 0,74 m ve vrtu HV-123 a 0,29 ve vrtu HV-124. Předpoklad minimální využitelné vydatnosti 6-ti násosek zaústěných do sběrné studny ve výši 60 l/s a vydatnost samotné sběrné studny E0 ve výši

40 l bude nutné podle autorky vyhodnocení zkoušek (J. Vrbová, 2011) v rámci dalšího provozu prameniště ověřit. Součástí elaborátu bylo i vyhodnocení jakosti vody z hlediska obsahu NH_4^+ , dusičnanů, Fe, Mn, huminových látek, CHSK_{Cr} , pH a vodivosti. Nebylo tedy zaměřeno na polutanty, které jsou odstraňovány při sanaci ve Farmaku, s výjimkou amonných iontů. Ty byly ve všech studních pod mezí stanovitelnosti ($<0,033 \text{ mg/l}$). Čerpací zkoušky byly realizovány z důvodu ověření záměru vlastníka JÚ jímat podzemní vodu pro vodárenské účely především ze studní situovaných v jv. části jímacího území, tedy areálu Farmaku nejblíže.

Jakost vody v JÚ Černovír posuzoval S. Šeda [30] na základě souboru výsledků laboratorních analýz jakosti surových vod, pocházejících z období 1998 - 2008 ze studní A0, E0, C16, H1, H2, H3 a H4 (sběrné studny). Posuzovány byly pH, vodivost, CHSK_{Mn} , Fe, Mn, NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , Cl^- . Výsledky laboratorních analýz podzemní vody byly porovnány s limity uvedenými v příloze č. 1 vyhlášky č. 252/2004 Sb., ve znění pozdějších předpisů.

Naměřené hodnoty pH ukazují na podzemní vodu s kyselou reakcí. Hodnoty pH nepřekročily hodnotu 7 (max. 6,9), průměrně se hodnoty pohybovaly okolo 6,25. Průměrné hodnoty neodpovídají nejnižší mezní hodnotě 6,5. Naměřené hodnoty elektrické vodivosti se pohybovaly průměrně v rozmezí 44 - 75 mS/m. Hodnoty tak nepřekračují mezní hodnotu 125 mS/m. Chemická spotřeba kyslíku manganistanem (CHSK_{Mn}) nepřekračuje, až na studnu A0, mezní hodnotu 3 mg/l. Koncentrace železa se trvale pohybuje okolo 0,4 mg/l a tudíž překračují mezní hodnotu 0,2 mg/l. Rovněž koncentrace manganu, které jsou trvale vysoké (cca 0,36 mg/l) a překračují mezní hodnotu 0,05 mg/l. Naopak koncentrace amonných iontů jsou trvale nízké, zjištěné hodnoty se pohybují v intervalu 0,05 - 0,1 mg/l. Mezní hodnota pro amonné ionty je 0,5 mg/l. Obsahy dusičnanů jsou také nízké, pohybují se na hodnotách cca 10 mg/l, pouze ve studni E0 jsou cca 2x vyšší (23,75 mg/l). Nejvyšší mezní hodnota pro dusičnany je stanovena ve výši 50 mg/l. Koncentrace síranů dosahují vyšších hodnot ve studních A0 a E0 - cca 77 mg/l, v ostatních studních jsou v intervalu 40 - 50 mg/l. Mezní hodnota pro sírany je dána hodnotou 250 mg/l. Ve studních A0 a E0 jsou také vyšší obsahy chloridů - 32 a 44 mg/l, v ostatních studních jsou v intervalu 20 - 25 mg/l. Mezní hodnota pro chloridy je 100 mg/l.

V archivu autorky AAR jsou k dispozici výsledky laboratorních analýz surové vody z JÚ Černovír z let 1981 až 1991, prováděné tehdejším vlastníkem JÚ, v rámci kterých byly analyzovány i obsahy ropných látek. Jejich zdrojem však mohl být provoz na železnici, proto se jimi nezabýváme. Dále jsou k dispozici výsledky analýz vzorků vody z let 1981 a 1984 (vždy ve 3 kolech) z vrtů P-3, P-9 až P-11, P-13, P-14, P-20, P-22, P-26, P-33, P-57 a P-64, provedené **tehdejším n.p. Farmakon**, které zahrnovaly i stanovení alkanů do C_8 , benzenu, toluenu a acetonu. Vrtly byly situovány severně od areálu Farmaku (s výjimkou vrtu P-33 umístěného v areálu) a nejblíže k JÚ Černovír byl vrt P-3 (150 m jz. od studny A0). Situace vrtů je vyznačena v přílohách č. 3 a 4. Ve vrtu P-3, v němž v roce 1977 analýza provedená Geotestem nezjistila kontaminaci, ale v laboratoři n.p. Farmakon bylo stanoveno 140 $\mu\text{g/l}$ toluenu, byl v roce 1981 obsah toluenu nulový, ovšem obsah benzenu byl stanoven ve výši 21 $\mu\text{g/l}$ dne 28. 7. 1981, v dalších 2 kolech v roce 1981 a 3 kolech v roce 1984 již stanoven nebyl. Toluén ani aceton v tomto vrtu během monitoringu v letech 1981 a 1984 zjištěny nebyly. V dalších 11-ti vrtech (bez vrtu P-33) byly organické látky obvykle v letech 1981 a 1984 pod mezí stanovitelnosti. Výjimkou byl vysoce kontaminovaný vrt P-33 v areálu Farmaku a vrtly P-9 a P-14, situované severně od areálu Farmaku v prostoru bývalého školního statku zemědělské školy. V těchto vrtech byla zjištěna kontaminace již v roce 1977 alkany do C_8 a benzenem (až 500 $\mu\text{g/l}$) a ve vrtu P-14 i toluénem (200 $\mu\text{g/l}$). V letech 1981 a 1984 byly ve vrtu P-9 ověřeny jen alkany do C_8 s maximem 2,8 mg/l dne 15. 9. 1981. Ve vrtu P-14 byly také přítomny alkany do C_8 , jak v roce 1981 (13,0 mg/l dne 25. 8. 1981), tak i v roce 1984 (2,1 mg/l dne 25. 1. 1984). V roce

1984 v žádném z 11-ti vrtů situovaném mimo areál Farmaku nebyly benzen, toluen ani aceton přítomny. Ve vrtu P-33 byla v roce 1977 suma acetonu a etanolu ve výši 2 940 mg/l (tabulka 7 v příloze č. 19), v roce 1981 nebyly tyto polutanty zjištěny. Ale v roce 1984 byl aceton identifikován při každém kole monitoringu s maximem dne 29. 3. 1984 ve výši 523 mg/l.

Ochrana nerostných surovin

Hodnocené území, ani jeho širší okolí neleží v Chráněném ložiskovém území (CHLÚ) ve smyslu § 16 zákona č. 44/1988 Sb., ve znění pozdějších předpisů. CHLÚ chrání výhradní ložiska proti znemožnění nebo ztížení jejich dobývání. V širším okolí se nacházejí 2 evidovaná netěžená nevýhradní ložiska štěrkopísku. Ložisko č. 3197800 Černovír, vyřazené z bilance (1,5 km sz.) a ložisko štěrkopísku č. 5206900 Černovír, nebilancované (4,0 km sz.). Výše uvedená ložiska jsou situována v CHKO Litovelské Pomoraví. V blízkosti zájmového území (1,5 km sv.) mezi Černovírem a Hlušovicemi se nachází staré slatiniště rozčleněné do několika samostatných ploch. S jeho ekonomickým využitím se nepočítá. V okolí Farmaku nejsou ČGS - Geofondem evidována stará důlní díla. Nejbližší poddolované území je v. od Olomouce ve vzdálenosti 8 km, jedná se o lokalitu Lošov se starým důlním dílem pro těžbu měděné rudy.

Ochranná pásma technických objektů

Podél východní hranice areálu Farmaku ve vzdálenosti 140 m vede rychlostní železniční trať č. 270 Bohumín - Přerov - Česká Třebová. Ochranné pásmo dráhy (železnice), které podle zákona č. 266/1994 Sb., ve znění pozdějších předpisů, tvoří prostor po obou stranách dráhy, jehož hranice jsou vymezeny souvislou plochou vedenou u dráhy celostátní, vybudované pro rychlost větší než 160 km/hod, 100 m od osy krajní koleje, nejméně však 30 m od hranic obvodu dráhy. Přímo do areálu Farmaku vede z nákladního nádraží Černovír železniční vlečka. Mimo areál je ze zákona zřízeno ochranné pásmo ve vzdálenosti 30 m od osy krajní koleje a v areálu je stanoveno Farmakem ochranné pásmo ve vzdálenosti 1,5 m od osy krajní koleje.

U podzemní těsnící stěny je ochranné pásmo zřízeno ve vzdálenosti 2,5 m od osy objektu na obě strany. Ochranné pásmo PTS bylo zřízeno především z důvodu možného provádění stavebních prací, případně nežádoucí výsadby dřevin, jejichž kořeny by mohly narušit funkci objektu.

Přímo v areálu se nachází podzemní venkovní vedení elektrické sítě VN 22 kV, jehož ochranné pásmo je vymezeno zákonem č. 458/2000 Sb. (energetický zákon), ve znění pozdějších předpisů, na 1 m po obou stranách krajního kabelu. V areálu se nachází 2 zděné elektrické stanice (transformátorové stanice - objekt č. 4 a objekt č. 43), jejichž ochranné pásmo je dle energetického zákona vymezeno svislými rovinami vedenými ve vodorovné vzdálenosti u zděných elektrických stanic s převodem napětí z úrovně nad 1 kV a menší než 52 kV na úroveň nízkého napětí 2 m od vnějšího pláště stanice ve všech směrech.

Několik desítek metrů za severní hranicí areálu se nachází vysokotlaký plynovod, který vede podél západní strany Černovířského lesa směrem na sever. Jeho ochranné pásmo je vymezeno zákonem č. 458/2000 Sb. (energetický zákon), ve znění pozdějších předpisů, a činí 4 m na obě strany od půdorysu. Vysokotlaký plynovod je přiveden do plynové stanice (objekt č. 38), v současné době však není využíván. V celém areálu se nachází hustá podzemní síť rozvodů požární a pitné vody, které vedou většinou společně. Ochranným pásmem se rozumí prostor 2 m od půdorysu potrubí na obě strany. Také se v celém areálu nachází hustá síť lokálních vedení podzemních (kanalizace, elektrické kabely) i nadzemních (parovod, chladicí voda, elektrické kabely), která nemají ochranná pásma stanovena. V některých případech omezovaly zejména podzemní síť lokalizaci průzkumných vrtů.

Ochrana podzemních a povrchových vod z hlediska zemědělských činností

Katastrální území Černovír (kód 710571) i Klášterní Hradisko (71055) včetně zájmového území jsou zařazena podle nařízení vlády č. 103/2003 Sb., ve znění pozdějších předpisů, mezi zranitelné oblasti. To jsou území, kde se vyskytují povrchové nebo podzemní vody, zejména využívané nebo určené jako zdroj pitné vody, v nichž koncentrace dusičnanů přesahuje hodnotu 50 mg/l, nebo mohou této hodnoty dosáhnout nebo povrchové vody, u nichž v důsledku vysoké koncentrace dusičnanů ze zemědělských zdrojů dochází nebo může dojít k nežádoucímu zhoršení jakosti vody. Ve zranitelných oblastech je nařízením vlády upraveno používání a skladování hnojiv, používání a užívání statkových hnojiv, střídání plodin a provádění protierozních opatření. Výše uvedené se týká zemědělsky obhospodařovaných polí sousedících na východě a severu s areálem Farmaku.

Plánované změny využití lokality

Územní plán je uveřejněn na oficiálních internetových stránkách města Olomouc <http://www.olomouc.eu/>, na nichž je také uveden obsah **konceptu** nového Územního plánu. V něm, ve výkresu „Plocha s rozdílným využitím“, je areál Farmaku nově umístěn na **ploše smíšené obytné**. Plochy smíšené obytné se vymezují za účelem dosažení polyfunkčnosti města a zajištění podmínek pro bydlení v kvalitním prostředí, umožňujícím bezpečný pohyb a každodenní rekreaci a relaxaci obyvatel, dostupnost veřejných prostranství a občanského vybavení. Na těchto plochách je podmíněně přípustné umístění staveb pro nerušící výrobu, výrobní služby a sklady v měřítku úměrném potenciálu území a v souladu s jeho charakterem. Výkres „Základní členění území“ zařazuje areál Farmaku do **zastavěného území stabilizovaného** (plocha 019/02). Zastavěné území stabilizované se vymezuje za účelem zajištění stabilizovaného prostředí a pro potvrzení jeho stávajícího využití. Ve výše jmenovaném výkresu je zakreslena zastavitelná plocha také podél východní hranice areálu Farmaku. Podle vedoucí oddělení územního plánování a architektury MmOl Ing. arch. Jany Křenkové bude tato zastavitelná plocha zrušena z důvodu nesouhlasných stanovisek z hlediska zemědělského půdního fondu. Menší plocha sousedící severně s areálem Farmaku zůstane plochou zastavitelnou. Pro území, jehož součástí je také areál Farmaku, bude v konceptu územního plánu zpracována územní studie (US-019b) k dotvoření struktury převážně stabilizovaných ploch a zlepšení jejich zapojení do území.

1.1.3 Základní charakterizace obydlenosti území

V městě Olomouci žije 99 529 obyvatel (stav k 1. 1. 2012), podíl žen je 53 % a podíl dětí ve věku 0 - 14 let je 14 %. Od roku 1991, kdy bylo v Olomouci evidováno 105 990 obyvatel, jejich počet postupně klesá (zdroj veřejná databáze ČSÚ, <http://vdb.czso.cz>). Areál Farmaku se nachází v městské části Klášterní Hradisko a na severu sousedí s městskou částí Černovír. Údaje o počtu obyvatel v těchto částech obce nebyly k dispozici.

Nejbližší trvale obývaná zástavba ve směru proudění podzemní vody je na ulicích U Hradiska, Benýškova, Lamblova a Jablonského (obr. č. 1). Jedná se vesměs o jednopodlažní nebo dvoupodlažní rodinné domky různého stáří. Počet domů, které se ve směru proudění podzemní vody nacházejí, je 62. Počet osob, žijících v této nejbližší obytné zástavbě, byl odhadnut na 248 osob, přičemž byly uvažovány 4 osoby na 1 dům.

Na západě a jihozápadě sousedí Farmak s areály středních škol, ve kterých se během školního roku pohybují žáci ve věku 15 - 19 let. Na JZ se jedná o areál, ve kterém sídlí Střední škola

zemědělská, kterou navštěvuje celkem 546 žáků, a Střední škola stavební - HORSTAV s 84 žáky. Na západ od Farmaku se nachází Střední škola logistiky a chemie s celkovým počtem žáků 330. Údaje o počtu žáků jsou uvedeny podle stavu k 30.9.2011 (zdroj <http://www.msmt.cz>).

Na kontaminovaném prostoru se pohybují především zaměstnanci společnosti FARMAK, a.s. a FARMAK MORAVIA, a.s. V závodě pracuje celkem 256 vlastních zaměstnanců na 3 směny (194 osob ranní, 33 odpolední, 29 noční směna). Kromě toho se během dne v areálu pohybuje cca 50 zaměstnanců cizích firem, kteří se zde však nevyskytují po celou pracovní dobu. Dále je odhadováno cca 10 osob denně jako návštěvníků společnosti. Údaje byly poskytnuty společností FARMAK, a.s.

1.1.4 Majetkoprávní vztahy

Podrobné majetkoprávní vztahy (údaje z katastru nemovitostí z března 2012) jsou shrnuty v tabulce 7.

Tabulka 7: Majetkoprávní vztahy

Areál Farmaku, k. ú. Klášterní Hradisko	
Číslo parcely	Vlastník
11/1, 101/44, 101/45, 101/47, 138/1, 138/2, 138/3, 142, 143, 144, 145, 146, 150, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 165, 166, 267, 268, 269/1, 269/2, 272, 273, 274, 275, 276/1, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 356, 366/1, 366/2, 4/1, 7/11, 7/15, 22/5, 22/6, 80/4, 82, 132/5, 132/14, 135/1, 137, 139, 172, 173	FARMAK, a.s., Na Vlčinci 16/3, Olomouc – Klášterní Hradisko
Areál Farmaku, k. ú. Pavlovičky	
Číslo parcely	Vlastník
113/8, 113/9	FARMAK, a.s., Na Vlčinci 16/3, Olomouc – Klášterní Hradisko
Areál Farmaku, k. ú. Černovír	
Číslo parcely	Vlastník
1120, 1092/5	FARMAK, a.s., Na Vlčinci 16/3, Olomouc – Klášterní Hradisko
Areál Farmaku MORAVIA, k. ú. Klášterní Hradisko	
Číslo parcely	Vlastník
11/4, 101/46, 132, 134, 136, 139, 140, 141, 148, 151, 152, 164, 187, 199, 223, 260, 270, 271, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 297, 7/12, 48/12, 50/21, 51/11, 54/1, 54/4, 54/5, 54/6, 54/9, 54/11, 57/1, 57/2, 57/26, 58/2, 80/2, 132/16, 135/6, 135/7, 135/8, 135/9, 135/10, 138, 150, 151, 153, 154, 163, 171	FARMAK MORAVIA, a.s., Na Vlčinci 16/3, Olomouc – Klášterní Hradisko
Areál Farmaku MORAVIA, k. ú. Černovír	
Číslo parcely	Vlastník
904/3, 904/47	FARMAK MORAVIA, a.s., Na Vlčinci 16/3, Olomouc – Klášterní Hradisko

Společnost FARMAK, a.s., se sídlem Olomouc, Klášterní Hradisko, Na Vlčinci 16/3, PSČ 771 17, IČ 451 92 961, byla rozdělena formou odštěpení a sloučení, a to sloučením odštěpované části jmění s nástupnickou společností FARMAK MORAVIA, a.s., se sídlem Olomouc - Klášterní Hradisko, Na Vlčinci 16/3, PSČ 779 00, IČ 476 77 457. Na nástupnickou společnost FARMAK MORAVIA, a.s. přešla část jmění rozdělované společnosti FARMAK, a.s., určená v projektu rozdělení odštěpením a sloučením. Rozhodný den rozdělení byl 1. 1. 2009. FARMAK, a.s. bude pokračovat v odstraňování starých ekologických škod i na odštěpených nemovitostech a prohlašuje, že je schopen a ochoten plnit i na odštěpených nemovitostech smlouvu č. 210/01 – o vypořádání ekologických závazků vzniklých před privatizací.

Přílohu č. 17 tvoří kopie katastrální mapy se situací parcel zájmového území, výpis z katastru nemovitostí a tabulka s vlastníky okolních parcel. V této příloze je přesně vyznačena hranice pozemků ve vlastnictví Farmaku, ve všech ostatních mapových přílohách je hranice areálu vyznačena zjednodušeně z důvodu větší přehlednosti.

1.2 PŘÍRODNÍ POMĚRY ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Přírodní poměry lokality byly podrobně popsány ve zprávách, uvedených v kapitole 6, na které tímto odkazujeme. Níže uvádíme buď nové a aktuální informace nebo údaje, které budou využity při zpracování předkládané AAR.

1.2.1 Geomorfologické a klimatické poměry

Podle geomorfologického členění [34] náleží město Olomouc do těchto jednotek:

Provincie:	Západní Karpaty
Subprovincie:	Vněkarpatské sníženiny
Oblast:	Západní vněkarpatské sníženiny
Celek:	Hornomoravský úval
Podcelek:	Středomoravská niva

Údaje o nadmořské výšce a o svažitosti terénu zájmového území uvádíme v tabulce 8, z níž vyplývá, že areál Farmaku je situován v rovině, s rozdílem nadmořské výšky nejvyššího bodu (prostor vrtu SM-4) a nejnižšího bodu (prostor vrtu FAR-4) 0,91 m. Sklon terénu v areálu závodu odhadujeme na 1,4 ‰.

Tabulka 8: Nadmořská výška a svažitost terénu v areálu společnosti FARMAK, a.s.

Závod	Nejnižší bod (m n.m.)	Nejvyšší bod (m n.m.)	Rozdíl výšek (m)	Průměrný sklon terénu (‰)
areál Farmaku	213,41	214,32	0,91	1,4

Z hlediska antropogenní modelace terénu je, především v areálu Farmaku, nahrazena svrchní část geologického profilu navážkami. Ve všech vrtech vyhloubených v průběhu sanace v letech 2007 až 2009 byla vždy zastížena navážka. Její průměrná mocnost činila 1,9 m, s maximem 4,3 m ve vrtu MNV-2 a s minimem 0,5 m ve vrtu VK-5 (obrázek č. 4). V 6-ti vrtech byla krycí vrstva šterkopísků úplně nahrazena navážkou (HP-2 do hloubky 2,2 m p.t., HP-7 do 4,0 m p.t., MNV-3 do 4,3 m p.t., SM-43 do 2,7 m p.t., SM-44 do 3,1 m p.t. a SM-45 do 2,8 m p.t.). Také ve všech 29 svislých vrtech vyhloubených v areálu Farmaku v roce 2011 pro aplikaci Fentonova činidla

(SM-46 až SM-66, SM-68 až SM-75, SMS-8), jejichž lokalizace je vyznačena v příloze č. 6, byla vždy zastižena navážka, a to v mocnosti od 0,8 do 4,3 m. V 25-ti vrtech byla krycí vrstva šterkopísků úplně nahrazena navážkou. Průměrná mocnost navážky činila 2,5 m, s maximem 4,3 m ve vrtech SM-46 a SM-50 a s minimem 0,8 ve vrtu SM-75.

Výroba je soustředěna do budov s betonovými podlahami, často izolovanými. Zpevněné a s asfaltovým povrchem jsou komunikace a ve výrobní části areálu rovněž převážná většina volných ploch. Část komunikací je tvořena žulovou dlažbou. Nezpevněné povrchy mají charakter trávníků s humózní hlínou v podloží a v zelených pásích kolem budov ve všech ostatních částech závodů.

Zastavěná plocha byla vypočítána z katastrální mapy a činí 34 463 m², což je 20,9 % areálu Farmaku. Podklady pro stanovení podílu ostatních ploch poskytl Ing. Majda z Farmaku. V areálu Farmaku je 18,6 % zpevněné plochy (31 465 m²), z toho je 8,6 % asfaltové plochy, 7,4 % betonové plochy a 2,6 % dlažby a chodníků. Zbytek 60,5 % (102 385 m²) je zatravněná plocha. Primární ohniska kontaminace se nacházejí jak v místech zpevněných ploch (okolí vrtu FAR-10), tak v zatravněném území (okolí vrtu P-32).

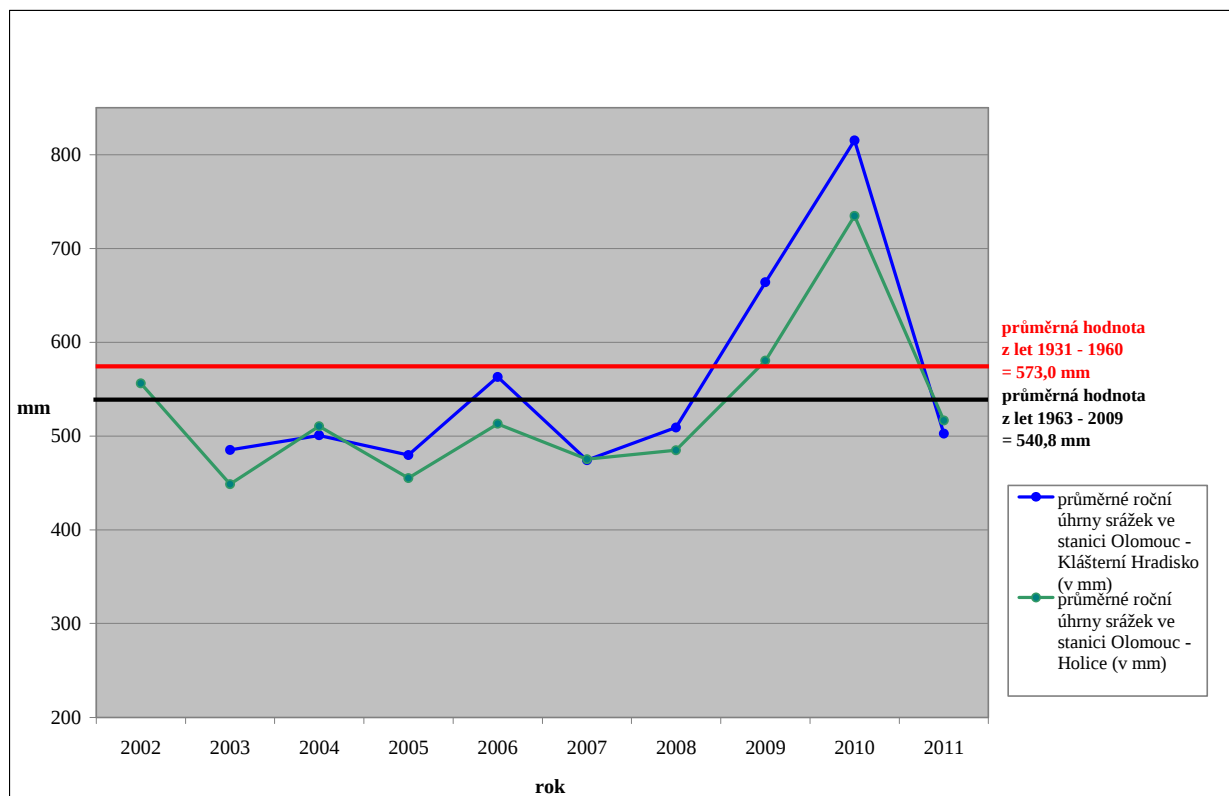
Klimatické poměry

Podle klimatického členění ČR spadá zájmové území do teplé klimatické oblasti T2 [50], která je charakterizovaná dlouhým a suchým létem s krátkým přechodným obdobím, teplejším jarem a podzimem. Zima je krátká, suchá, s velmi krátkým trváním sněhové pokrývky. Protože členění podle E. Quitta [50] vychází ze starých klimatologických dat za období let 1901 - 1950 a 1926 - 1950, byla provedena klimatická regionalizace založená na digitálním modelování novějších dat z třicetileté datové řady tzv. "normálu" z let 1961 – 1990 [40], podle níž lokalita spadá do třídy klimatické regionalizace III s průměrným počtem dní 160 až 177 s teplotou vzduchu 10 °C a vyšší, s průměrným ročním úhrnem srážek do 580 mm a s obdobím beze srážek více jak 22 dní.

Na doplňování zásob podzemní vody, a tedy i na kolísání její hladiny, mají v zájmovém území významný podíl atmosférické srážky. Úhrny atmosférických srážek byly v Olomouci postupně měřeny ve 3 stanicích (Holice, Klášterní Hradisko a Slavonín) a měsíční úhrny srážek, které poskytuje pro lokalitu Olomouc ČHMÚ, jsou kompilátem dat, naměřených v těchto stanicích. Od roku 2000 je provozována plně automatická klimatická stanice v Olomouci - Holici v areálu Přírodovědecké fakulty (210 m n.m.). V Klášterním Hradisku v areálu Střední školy zemědělské (215 m n.m.) je provozována vedlejší srážkoměrná stanice. Stanice jsou od sebe vzdáleny 4,4 km.

Při porovnání ročních úhrnů srážek ze stanic v Holici a Klášterním Hradisku v letech 2003 až 2011 je obvykle vyšší srážkový úhrn ve stanici Klášterní Hradisko, a to o 36,3 až 83,6 mm. Nejvyšší rozdíl byl zaznamenán v letech 2009 a 2010, kdy byl ve stanici Klášterní Hradisko úhrn srážek dokonce o 83,6 a 80,6 mm vyšší (spadlo 664,0 a 815,3 mm srážek). Nižší srážkové úhrny ve stanici Klášterní Hradisko byly zaznamenány v letech 2004 (o 9,8 mm), 2007 (o 1 mm) a 2011 (o 14,1 mm). V grafu č. 1 jsou roční úhrny srážek z let 2002 až 2011 ve stanicích Holice a Klášterní Hradisko porovnány s dlouhodobými průměrnými hodnotami v letech 1931 až 1960 (573,0 mm) a 1963 až 2009 (540,8 mm). Díky extrémním srážkovým úhrnům v roce 2010 (734,7 mm ve stanici Holice) je dlouhodobý průměr v letech 1963 až 2011 o 9,2 mm vyšší (550,0 mm) než v letech 1963 až 2009.

Graf č. 1: Roční úhrny srážek v letech 2002 – 2011 ve stanicích Olomouc – Holice a Olomouc – Klášterní Hradisko



V tabulce 9 jsou porovnány dlouhodobé průměrné úhrny srážek za období 1931 až 1960 (převzato z [42]), za období 1951 až 1980 [28], za období 1961 až 1990 a za období 1963 až 2011 (získané z ČHMÚ, pobočka Ostrava) ve stanici Olomouc. Téměř po celé 20. století se dlouhodobé průměrné úhrny srážek neliší, pohybují se kolem 570 mm za rok. Dlouhodobý průměr v letech 1963 (tj. od doby vybudování objektů státní pozorovací sítě ČHMÚ pro podzemní vodu) až 2011 je o cca 20 mm nižší. Tento pokles je způsoben podstatně nižšími úhrny srážek v poslední dekádě 20. století a na počátku 21. století, i když extrémní úhrn srážek v roce 2010 zvýšil dlouhodobý průměr o cca 10 mm (pokud by byl uvažován průměr za období 1963 až 2009, činil by 504,8 mm). Z hlediska jednotlivých měsíců nejvyšší množství srážek v letech 1963 až 2011 spadlo v červenci (78,8 mm), nejnižší pak v únoru (22,9 mm). Ve vegetačním období (IV – IX) spadlo v průměru 66,5 % a v chladném období (X – III) 33,5 % ročního úhrnu srážek. V období let 1963 až 2011 byl z hlediska jednotlivých let nejvyšší roční úhrn srážek zaznamenán v roce 2010 ve výši 815,3 mm, druhý nejvyšší úhrn byl naměřen v roce 1966 ve výši 732,2 mm, nejnižší pak v roce 1983, kdy spadlo pouze 405,9 mm srážek. V roce 1997, v době záplav v povodí řeky Moravy, v červenci napadlo 229,4 mm srážek, roční srážkový úhrn činil 585,4 mm.

Údaje o dlouhodobých průměrných měsíčních úhrnech srážek jsou v tabulce 9 doplněny o měsíční úhrny srážek v letech 2003 až 2011 ve stanici Klášterní Hradisko, která je zájmovému území nejbližší (převzato od Farmaku). Z tabulky vyplývá, že nejvyšší měsíční úhrny srážek (>100 mm) byly v tomto období zaznamenány v měsících květen až srpen s maximem 178,4 mm v květnu 2010. Minimální měsíční úhrny srážek (<10 mm) se vyskytovaly nepravidelně – v únoru, březnu, dubnu, červnu, září, říjnu a listopadu. V listopadu 2011 byl úhrn srážek nulový. V období 2006 až 2011 (doba realizace sanačních prací) v jednotlivých letech roční úhrny srážek

značně kolísaly. Nejvyšší úhrn srážek byl zaznamenán v roce 2010 (815,3 mm), tento rok můžeme označit podle Réthlyho klasifikace vlhkosti měsíců a období za mimořádně vlhký. Naopak suchý byl rok 2007, ve kterém byl nejnižší úhrn srážek za toto období (474,2 mm). Rok 2009 byl velmi vlhký a zbývající roky 2006, 2008 a 2011 byly normální. Proměnlivost v úhrnech atmosférických srážek se projevuje ve výrazném kolísání hladiny podzemní vody (kap. 1.2.3) a ve vymývání kontaminace z nesaturované zóny a nárůstu koncentrací organických látek v podzemní vodě, který byl dokumentován především v druhé polovině roku 2010.

Tabulka 9: Průměrné měsíční a roční úhrny srážek (mm) v obdobích 1931 - 1960, 1951 - 1980, 1961 - 1990 a 1963 - 2011 v Olomouci a měsíční úhrny srážek (mm) v období 2003 – 2011, stanice Olomouc – Klášterní Hradisko (zdroj ČHMÚ)

Období	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	IV-IX	X-III	I-XII
1931 - 1960	25,0	24,0	26,0	35,0	61,0	76,0	91,0	79,0	44,0	43,0	41,0	28,0	386,0	187,0	573,0
1951 - 1980	26,0	26,0	28,0	40,0	67,0	81,0	87,0	72,0	40,0	39,0	41,0	28,0	387,0	188,0	575,0
1961 - 1990	27,5	25,5	27,2	37,8	73,3	78,4	76,4	68,8	44,5	40,0	40,4	30,3	379,2	190,9	570,1
1963 - 2011	26,4	22,9	28,7	35,6	64,8	72,5	78,8	67,3	46,6	36,9	38,5	31,0	365,6	184,4	550,0
2003	33,6	4,2	2,8	27,5	84,4	2,9	110,0	50,0	27,3	53,6	38,7	50,1	302,1	183,0	485,1
2004	34,4	18,9	19,6	42,7	13,4	102,4	75,5	27,9	30,2	73,1	44,8	17,8	292,1	208,6	500,7
2005	36,1	33,7	9,8	30,3	78,0	33,9	85,7	45,0	27,7	3,1	41,5	55,0	300,6	179,2	479,8
2006	36,1	45,8	53,5	60,8	87,7	67,1	14,0	111,1	8,5	15,1	35,1	28,3	349,2	213,9	563,1
2007	35,0	29,3	42,4	3,4	75,8	41,7	47,3	56,8	65,3	24,5	34,2	18,5	290,3	183,9	474,2
2008	27,2	13,1	38,7	44,2	71,0	58,6	65,6	94,3	25,3	17,3	26,4	27,4	359,0	150,1	509,1
2009	26,3	54,5	78,8	7,3	49,4	112,2	90,5	57,0	21,9	63,2	44,8	58,1	338,3	325,7	664,0
2010	51,3	30,7	16,1	45,8	178,4	57,0	126,0	130,4	76,3	6,5	54,9	41,9	613,9	201,4	815,3
2011	18,2	4,8	32,4	46,7	62,9	94,0	107,2	62,1	19,9	27,5	0,0	26,9	392,8	109,8	502,6
2003 - 2011	33,1	26,1	32,7	34,3	77,9	63,3	80,2	70,5	33,6	31,5	35,6	36,0	359,8	195,0	554,8
2012	33,3	33,3													

V tabulce 10 je vypočten procentuelní podíl průměrných měsíčních, resp. ročních úhrnů srážek v době sanačního doprůzkumu (2004) a v průběhu sanace (2006 až 2012) na dlouhodobých průměrech. Pro hodnocení vlhkosti měsíců a roků byla použita Réthlyho klasifikace vlhkosti měsíců a let:

% dlouhodobých normálů:

pro měsíce

< 10	mimořádně suchý	SSS
10 – 49	velmi suchý	SS
50 – 79	suchý	S
80 – 120	normální	N
121 – 150	vlhký	V
151 – 190	velmi vlhký	VV
191 a více	mimořádně vlhký	VVV

pro roky

< 60
60 – 79
80 – 89
90 – 110
111 – 120
120 – 140
> 140

Poznámka: pro výpočet byly použity dlouhodobé průměry z let 1963 až 2011 poskytnuté ČHMÚ pro stanici Olomouc (tedy kompilát 3 stanic sledovaných v Olomouci - viz výše).

Tabulka 10: Podíl průměrných měsíčních a ročních úhrnů srážek na dlouhodobých průměrech v %

Období		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	IV-IX	X-III	I-XII
2004	%	130,3	82,5	68,3	119,9	20,7	141,2	95,8	41,5	64,8	198,1	116,4	57,4	80,7	108,8	94,7
	Réthly	V	N	S	N	SS	V	N	SS	S	VVV	N	S	-	-	N
2006	%	136,7	200,0	186,4	170,8	135,3	92,6	17,8	165,1	18,2	40,9	91,2	91,3	100,0	124,4	112,2
	Réthly	V	VVV	VV	VV	V	N	SS	VV	SS	SS	N	N	-	-	V
2007	%	132,6	127,9	147,7	9,6	117,0	57,5	60,0	84,4	140,1	66,4	88,8	59,7	78,1	103,9	91,0
	Réthly	V	V	V	SSS	N	S	S	N	V	S	N	S	-	-	N
2008	%	103,0	57,2	134,8	124,2	109,6	80,8	83,2	140,1	54,3	46,9	68,6	88,4	98,7	83,2	90,9
	Réthly	N	S	V	V	N	N	N	V	S	SS	S	N	-	-	N
2009	%	99,6	238,0	274,6	20,5	76,2	154,8	114,8	84,7	47,0	171,3	116,4	187,4	83,0	181,2	132,1
	Réthly	N	VVV	VVV	SS	S	VV	N	N	SS	VV	N	VV	-	-	VV
2010	%	194,3	134,1	56,1	128,7	275,3	78,6	159,9	193,8	163,7	17,6	142,6	135,2	166,7	113,3	140,0
	Réthly	VVV	V	S	V	VVV	S	VV	VVV	VV	SS	V	V	-	-	VV
2011	%	68,9	21,0	112,9	131,2	97,1	129,7	136,0	92,3	42,7	74,5	0,0	86,8	104,8	60,7	82,8
	Réthly	S	SS	N	V	N	V	V	N	SS	S	SSS	N	-	-	S
2012	%	126,1	145,4													
	Réthly	V	V													

Čtyři měsíce před hydrologickým měřením ve dnech 19. až 20. 4. 2004 v rámci sanačního doprůzkumu, realizovaného firmou TALPA – RPF, s.r.o., bylo ve srovnání s dlouhodobými průměry postupně období vlhké, normální a suché (leden až březen 2004), poté v dubnu 2004 období normální. Další režimní měření hladiny podzemní vody bylo realizováno dne 28. 6. 2007, již v rámci sanačních prací. Čtyři měsíce před tímto měřením bylo ve srovnání s dlouhodobými průměry nejdříve období vlhké (březen 2007), které přešlo v období mimořádně suché (duben 2007) a následně v období normální (květen 2007) a červen 2007 byl suchý. Před hydrologickým měřením dne 2. 7. 2010 bylo období suché (březen), vlhké (duben), mimořádně vlhké (květen) a suché (červen). Čtyři měsíce před měřením hladiny podzemní vody v srpnu 2011 (26. 8. 2011) bylo období normální nebo vlhké. Před hydrologickým měřením dne 28. 2. 2012 bylo období mimořádně suché (listopad 2011), normální (prosinec 2011) a poté 2 měsíce vlhké (leden a únor 2012).

V období sanačního čerpání podzemní vody od července 2007 do února 2012 bylo ve srovnání s dlouhodobými průměry nejčastěji období normální (15x), následovalo období vlhké (13x) a suché (11x). Období velmi suché bylo 6x, období mimořádně vlhké i velmi vlhké bylo vždy 5x a období mimořádně suché 1x. Výkyvy ve vlhkosti jednotlivých měsíců byly výrazné, vlhkost měsíců se pohybovala od velmi suchých po mimořádně vlhké, převládaly však normální měsíce (15 z celkového počtu 56 měsíců, tj. 27 %), vlhké měsíce tvoří podíl 23 % a suché měsíce 20 %. Pro vývoj kontaminace má vliv především období od ledna do srpna 2010, kdy byly zaznamenány často vysoké srážkové úhrny, které se projeví výrazným vzestupem úrovně hladiny podzemní vody (graf č. 2).

1.2.2 Geologické poměry

Podrobně jsou geologické a hydrogeologické poměry lokality popsány a hodnoceny ve zprávách uvedených v kapitole 6. Níže uvádíme vertikální geologický profil zájmového území, převzatý z analýzy rizik [4]. Přestože v rámci sanačního doprůzkumu realizovaného firmou TALPA -

RPF, s.r.o. byla provedena řada nových vrtů, v textu závěrečné zprávy za doprůzkum [23] nebyly získané informace vyhodnoceny. Nové poznatky, které jsme získali při hloubení vrtů v rámci sanace, jsou uvedeny v kapitole 2.3.2.

Antropogenní zeminy (navážky) - svrchní část geologického profilu zejména v areálu Farmaku je nahrazena navážkami, které jsou tvořeny různorodým materiálem - zeminami charakteru jílovitých hlín se šterkem, betonem, škvárou a stavební sutí - úlomky a střípky cihel. Ověřená mocnost navážek dosahuje max. 3 m, v průměru se pohybuje mezi 1,0 – 2,0 m. *Aktuálními vrtnými pracemi byly zastiženy navážky až do 4,3 m p.t.*

Povodňové jemnozrnné zeminy – svrchní segment fluviálních sedimentů charakteristický pro závěr sedimentačního cyklu při zpomalování rychlosti toku s tvorbou lokálních mělkých jezírek, popř. slepých ramen. V této fázi sedimentace se vytváří jemnozrnné zeminy s charakterem jílovitých zemin – jílu, písčitých jílu, lokálně s příměsí drobného šterku. Šterková a písčitá příměs v zeminách je tvořena opracovaným materiálem hornin krystalinika s podstatným zastoupením křemene a kvarcitických hornin. Mocnost těchto jemnozrnných zemin silně kolísá, a to v závislosti na antropogenní činnosti (v blízkosti Farmaku byla tato vrstva v minulosti těžena jako cihlářská surovina – ložisko jen pro místní účely) a na místních přírodních podmínkách pro sedimentaci. Ověřená mocnost dosahuje až 4,7 m, převažuje v průměru kolem 1,0 – 2,0 m. V závěru fluviálního sedimentačního cyklu kvartéru vznikly v místech s dlouhodobějším zadržením vod jako vod stojatých (slepá mělká ramena, jezírka) podmínky pro vývoj vegetace, která se dnes v geologickém profilu projevuje jako **vrstva rašeliny**. Ta je vyvinuta pouze v jižní části lokality v prostoru s místním názvem Dolní rybník (viz příloha č. 3) a v okolí stáčiště u železniční vlečky v areálu Farmaku (plocha 11 na obrázku č. 4).

Šterkopísčité fluviální sedimenty tvoří hlavní terasu řeky Moravy, tzv. kralickou terasu. Tyto zeminy jsou popsány jako písčité šterky. Sediment je tvořen celou škálou frakcí, kde lutitická frakce je zastoupena až do cca 8 %, písčitá až do 37 % a šterkovitá až do 90 %. Lokálně je jemnozrnná frakce obsažena ve vyšším zastoupení a fluviální sediment pak má charakter jílovitopísčitého šterku. Šterková a písčitá zrna v zeminách jsou tvořena dobře opracovaným, valounovým materiálem hornin krystalinika s podstatným zastoupením křemene a kvarcitických hornin. Mocnost této vrstvy je dána morfologií předkvartérního podloží a rovinatým charakterem terénu. Pohybuje se od 1,0 m do 8,0 m s převahou mocnosti kolem 4 – 5 m. Šterková zrna jsou převážně velikosti kolem 0,5 – 2,0 cm, ojediněle, zejména při bázi vrstvy jsou zrna valounů do velikosti kolem 10 cm.

Předkvartérní podloží je na lokalitě tvořeno 2 formacemi:

Neogenní (mladší terciér) sedimenty v mořském, popř. brakickém a lakustrinním vývoji. Geneticky a litologicky lze tyto zeminy posuzovat takto:

- Starší mořské sedimenty (miocén) – vápnité jíly, písčité jíly, tmavě šedé, zelenošedé, šedozeleňé barvy, bývá v nich dírkovcová fauna,
- Mladší lakustrinní sedimenty (pliocén) – jílovité písky, písčité jíly světle hnědožluté barvy.

Kulmské horniny - jedná se o jílovité břidlice, droby, prachovce - stáří spodní karbon (mladší paleozoikum). Vesměs jde o horniny s vysokým stupněm navětrání, popř. jsou až zcela zvětralé a geneticky je řadíme k eluviu skalního masivu, které přechází do navětralých skalních hornin - drob a břidlic s hustou sítí ploch odlučností (puklinatost, foliace). Svým charakterem se blíží jílovitopísčitým zeminám. Tyto horniny jsou v popsaném vertikálním profilu geneticky nejstarší.

Ve vrtech byl strop kulmských hornin zastižen v úrovni 4,6 - 11,0 m a více metrů pod terénem. V prostoru objektu Klášterního Hradiska (vojenské nemocnice) vycházejí tyto horniny na den ve formě morfologické elevace převýšené nad okolní terén cca o 6 m (příloha č. 8).

Kvartérní fluviální sedimenty jsou v zájmovém prostoru uloženy jednak přímo na zvětralých paleozoických horninách, jednak na neogenních sedimentech. Mocnost neogenních sedimentů je na lokalitě proměnlivá a závisí na morfologii podložních kulmských hornin. Ve většině průzkumných vrtů, kde byly neogenní sedimenty zastiženy, kolísá jejich mocnost kolem 0,2 – 2,0 m s výjimkou vrtu FAR-5, FAR-11 a FAR-12, které byly ukončeny v neogenních sedimentech a nebyla tedy ověřena jejich mocnost. Geologický profil ve vrtu FAR-5 zjistil mocnější vrstvu pliocenních jílovitých písků, což ukazuje na vliv kulmské elevace při formování sedimentačního prostředí v neogénu. V této části byly mořské sedimenty miocénu nahrazeny jezerními sedimenty pliocénu.

1.2.3 Hydrogeologické poměry

Z hlediska hydrogeologické rajonizace [69] je lokalita součástí rajónu 1621 - Pliopleistocén Hornomoravského úvalu – severní část. Útvar podzemních vod č. 16210, do něhož je rajón zařazen, má stejný název a náleží do něho především kvartérní uloženiny Středomoravské nivy a vyšších údolních teras a jeho plocha činí 356,84 km². Hlavní kvartérní hydrogeologický kolektor tvoří vrstva fluviálních sedimentů, které jsou charakterizovány písčitémi štěrky a písky s průlinovou propustností. Kvartérní klastické sedimenty jsou považovány za jednokolektorový zvodněný systém s freatickou zvodní. Na bázi kolektoru se nacházejí především neogenní sedimenty s průlinovou propustností, méně pak kulmské sedimenty (paleozoikum) s puklinovou propustností. Podložní horniny lze ve vztahu ke kvartérnímu kolektoru považovat za relativně nepropustné s charakterem hydrogeologického izolátoru. Stropní izolátor tvoří povodňové hlíny, jejichž mocnost v okolí lokality dosahuje cca 0,3 až 4,8 m (příloha č. 23), v průměru pak 2,1 m. Jejich mocnost se zmenšuje se vzdáleností od řeky Moravy. Severně od areálu Farmaku směrem k JÚ Černovír zvlněný reliéf relativně nepropustného pliocenního podloží plynule klesá od elevace na spojnici vrtů HV-113 a HV-124 (příloha č. 3) k SV, k přehloubenému korytu. Pokles provází zvětšování mocnosti průlinově propustného souvrství z 5,2 na 13,1 m. Hranice přehloubeného koryta vede východně od studní v JÚ Černovír, a to přibližně paralelně s hranicí ochranného pásma I. stupně tak, jak je vyznačena v příloze č. 3, poté prochází přibližně přes studnu E-10 směrem k jihojihovýchodu. Jihozápadně od JÚ Černovír ve směru k Farmaku člení nepravidelné deprese a elevace v pliocenním podloží úzká obtížně sledovatelná odvodňovací koryta [28].

Kolektorem podzemní vody přímo v zájmovém území jsou kvartérní fluviální štěrkopísky se součinitelem hydraulické vodivosti pohybujícím se v rozmezí $3,2 \times 10^{-3}$ až $5,3 \times 10^{-4}$ m/s (in [19]). Mocnost kvartérních štěrkopísků tvořících hydrogeologický kolektor se pohybuje obvykle v jednotkách metrů.

Oblast kolem Klášterního Hradiska představuje z hlediska vývoje kvartérních fluviálních sedimentů řeky Moravy, ale i vývoje terciérních uloženin v širším okolí lokality, místní komplikaci. Jedná se o elevaci kulmských hornin, která tvoří lokální hydrogeologickou bariéru pro proudění podzemních vod v kvartérním kolektoru a která měla rovněž vliv na uložení a genezi sedimentárních hornin již během terciéru.

Proudění podzemní vody a šíření kontaminace v horninovém prostředí je výrazně ovlivněno v areálu Farmaku existencí podzemních objektů. V okolí vrtu SM-18 to jsou základy čerpací stanice (objekt č. 31e), které jsou ukončeny v 5 m p.t. a pod nimi je umístěna proti vlhkosti nepropustná těsnicí stěna do hloubky 7,5 m p.t. Stěna je vybudována kolem celého objektu, materiál není znám. Také u objektů č. 12a, 13b, 32a a 31d je proudění podzemní vody ovlivněno existencí betonových van kolem bývalých nádrží, jejichž základy sahají do hloubky kolem 3,6 až 5,0 m p.t. Všechny známé podzemní objekty jsou vyznačeny na obrázku č. 4. Proudění podzemní vody mohou ovlivňovat i zbytky staré chemické kanalizace, která byla při sanačních pracích u objektu č. 21 dokumentována v hloubce až 4,0 m p.t. V rámci sanačních prací byla odtěžena jen částečně, neboť ve větší části, určené pro demolici, nebyla kontaminace horninového prostředí ověřena [14]. Vedení této kanalizace včetně jednotlivých revizních šachet (celkem 36 ks) je vyznačeno na obrázku č. 4 (liší se od znázornění kanalizace uvedené ve zprávě za sanačního doprůzkumu realizovaného firmou TALPA - RPF, s.r.o. [23]) na základě dokumentace poskytnuté Farmakem. V roce 1995 bylo provedeno zaslepení všech revizních šachet betonovou plombou, zásypem štěrkem a odstraněním horní skruže s následnou zádlažbou, potrubí bylo ponecháno. Kanalizace je zaústěna do sběrných nádrží u objektu č. 41d a podle výkresové dokumentace v j. části závodu dna revizních šachet měla být cca 3,5 m pod úroveň terénu. V kanalizaci je s velkou pravděpodobností zbytková kontaminace, která je při vzestupu hladiny podzemní vody vyplavována do horninového prostředí jak východně od objektů č. 31 a 32a, tak východně od vrtu P-56. Také dešťová a splašková kanalizace a rozvod chladicí vody mohou lokálně ovlivňovat směr proudění podzemní vody, i když pouze při vysokých stavech (viz graf č. 2), neboť jejich hloubka je nižší, kolem 2,0 m p.t.

Znečištění je vázáno na kvartérní hydrogeologický kolektor tvořený vrstvou fluvialních písčitých štěrků s průlinovou propustností. Báze kolektoru se pohybuje v nadmořské výšce 205 až 207 m s několika lokálními depresiemi. V areálu Farmaku je nejvýraznější deprese situována v prostoru vrtu P-32, kde je báze kolektoru v úrovni cca 203,6 m n.m. Mimo areál Farmaku pak v prostoru vrtů P-203 a P-204 u sv. okraje PTS (203,12 m n.m.) a ve větší vzdálenosti pak v okolí vrtu R-55 sv. od bývalého školního statku, kde bylo podloží kolektoru zastiženo v hloubce 202,9 m n.m. Naopak elevace se vyskytuje v areálu Farmaku v jeho jižní části v okolí vrtu P-67 (208,06 m n.m.) a v sz. části v prostoru vrtu FAR-7 (208,04 m n.m.). Mimo areál je báze kolektoru nejměleji jv. od Farmaku v prostoru vrtů FAR-6 a R-100 (208,15 m n.m.) v důsledku elevace kulmských hornin (příloha č. 15). Zjištěnou zvědeň lze charakterizovat jako freatickou s přímou vazbou na hladinu vody v řece Moravě. V roce 2004 byla hladina podzemní vody volná a pohybovala se v úrovni 209,2 až 211,5 m n.m. [23]. Dotace kolektoru vodou se děje z poříční vody, v případě lokality z místa soutoku řeky Moravy a Trusovického potoka, dále infiltrací srážkových vod na přilehlém povodí. Koryto řeky Moravy v prostoru Klášterní Hradisko má po většinu roku drenážní funkci, pouze za vyšších stavů hladiny v řece (jarní měsíce) dochází i zde k místní dotaci kolektoru (viz příloha č. 8d). Provedenými čerpacími zkouškami v rámci sanačního doprůzkumu [23] byl ověřen součinitel hydraulické vodivosti K (dříve označován jako koeficient filtrace) v rozmezí $5,0 \times 10^{-4}$ až $2,6 \times 10^{-3}$ m/s. Jedná se tedy o prostředí dosti silně až silně propustné, III. až II. třídy propustnosti (hodnocení dle J. Jetela, 1973). Hydrogeologické poměry na lokalitě jsou ovlivněny vybudovanou podzemní těsnicí stěnou kolem areálu firmy Farmak (příloha č. 3) s tím, že směrem k řece Moravě je tato PTS otevřená. Jejím účelem je zabránit pronikání kontaminovaných podzemních vod z prostoru areálu směrem k jímacímu území Černovír. PTS tvoří hydraulickou bariéru ve směru přirozeného proudění podzemních vod, tj. ve směru od SV k JZ šikmo k toku řeky Moravy. PTS byla zhotovena z těsnicího materiálu, jehož $K = 1,17 \times 10^{-8}$ až $6,32 \times 10^{-10}$ m/s. Podzemní voda v neogenních sedimentech je vázána na propustnější segmenty uvnitř sedimentačního profilu, přičemž její přímou

komunikaci s kvartérním kolektorem lze zcela vyloučit. Stropní izolátor tvoří fluviální jemnozrnné zeminy (hlíny). Tato vrstva je zejména v prostoru areálu Farmaku místně nahrazena antropogenními navážkami. Jímací území Černovír je od PTS vzdáleno cca 600 m severně až severovýchodně. Odebírá se z něj kolem 110 l/s, v případě zvýšené potřeby může odběr činit až 250 l/s vody. Dlouhodobé čerpání podzemní vody vyvolává v okolí jímacího území lokální depresi se změnou proudění podzemní vody s dosahem cca 200 až 300 m [4].

Minimální a maximální úrovně neovlivněné hladiny podzemní vody zpracované z hydrologických měření prováděných v průběhu sanace od června 2007 do února 2012 jsou uvedeny v příloze č. 24 jak v m p.t., tak i v nadmořských výškách. Vývoj hladiny podzemní vody v nejbližším objektu státní pozorovací sítě ČHMÚ VB0065 Olomouc (Chválkovice) v letech 1995 – 2011 je znázorněn v grafu č. 3. Rozkyv hladiny podzemní vody v jednotlivých letech se pohyboval od minima 0,4 m v roce 2001 do maxima 1,18 m v povodňovém roce 1997. Průměrný rozkyv v letech 1995 až 2011 činí 0,6 m (příloha č. 24). Ve srovnání s kolísáním hladiny podzemní vody v zájmovém území je rozkyv v objektu VB0065 nižší, neboť je situován uprostřed údolní nivy (příloha č. 1), kde je pohyb hladiny podzemní vody vyrovnanější. V příloze č. 24 jsou uvedeny také průměrné hodnoty z let 1976 až 1980 (převzato z [28]), kdy byl rozdíl mezi maximální a minimální hladinou 1,77 m, tedy mírně vyšší než v období let 1995 až 2011 (1,63 m). Průměrný roční stav hladiny podzemní vody v letech 1976 až 1980 byl podstatně níže (2,54 m p.t.). V grafu č. 4 jsou znázorněny týdenní stavy hladiny podzemní vody ve vrtu VB0065 v letech 2002 až 2012, v tomto období byl průměrný výskyt hladiny v hloubce 1,9 m p.t., tedy o 0,64 m výše než v období 1976 až 1980.

Podle Mapy odtoku podzemní vody ČSSR (Krásný J., 1981) je dlouhodobý specifický odtok podzemní vody v hodnoceném území ve výši 2 až 3 l/s/km², což je podle klasifikace uvedené v této mapě střední specifický odtok stupně IV. Hydrogeologický kolektor je dotován poříční vodou z prostoru soutoku vodotečí Morava a Trusovický potok a infiltrací srážkových vod. Severovýchodně a východně od areálu Farmaku se na doplňování zásob podílí i přítoky od okrajů údolní nivy. Protože však je v tomto prostoru JÚ Černovír, vytváří se mezi ním a areálem Farmaku rozvodnice, jejíž poloha je závislá na množství podzemní vody odebírané v JÚ Černovír. V roce 1983, tedy před realizací podzemní těsnicí stěny, ovšem při sanačním čerpání podzemní vody v areálu Farmaku, při vodárenském odběru cca 200 l/s a při nadprůměrných vodních stavech, byla rozvodnice západně od železniční trati Olomouc – Zábřeh cca 200 m, ale v prostoru vrtu HV-111 přecházela na východní stranu od železniční trati a vedla cca 100 m východně od linie vrtů HV-112 až P-61 (příloha č. 3). Režim mělké podzemní vody je v současnosti ovlivňován vodárenskými odběry v JÚ Černovír, sanačním čerpáním podzemní vody v areálu Farmaku, existencí podzemní těsnicí stěny a reliéfem podloží kvartérního kolektoru. Hydroizohypsy znázorňující proudění podzemní vody před zahájením a v průběhu sanačního čerpání podzemní vody tvoří přílohu č. 8 a budou diskutovány v kapitole 2.3.2.

1.2.4 Hydrologické poměry

Hydrologicky náleží hodnocená lokalita do dílčího povodí řeky Moravy: 4-10-03 Morava od Třebůvky po Bečvu. Podle detailního členění leží z. část areálu Farmaku v drobném povodí 4-10-03-091/0 a v. část leží v drobném povodí 4-10-03-112/2 (<http://heis.vuv.cz/>). Blízké okolí areálu na severu, včetně větší části plochy prameniště Černovír, spadá také do posledně jmenovaného drobného povodí. Území je odvodňováno řekou Moravou, do které ústí u Černovíru Trusovický potok (příloha č. 3). Morava protéká územím od severu k jihu ve vzdálenosti cca 380 až 580 m od západního okraje areálu Farmaku. Podle vyhlášky č. 470/2001

Sb., ve znění pozdějších předpisů, je řeka Morava významným vodním tokem v délce 271,7 km. V tabulce 11 jsou uvedeny vybrané hydrologické údaje ve dvou profilech na řece Moravě (data převzata z ČHMÚ).

Tabulka 11: Hydrologické údaje v profilech Černovír - most a Nové Sady na řece Moravě

Hydrologické pořadí profilu	Název profilu	Plocha povodí (km ²)	Průměrný roční stav (cm)	Průměrný roční průtok Q_a (m ³ /s)	M-denní průtok Q_{364} (m ³ /s)	N-leté průtoky				
						Q_1	Q_5	Q_{10}	Q_{50}	Q_{100}
4-10-03-091/0	Černovír - most	3 027,0	-	25,04	2,58	-	-	-	-	-
4-10-03-115/0	Nové Sady	3 323,9	155,0	27,10	-	135,0	258,0	319,0	476,0	551,0

Vysvětlivky: Q_a - průměrný průtok, Q_{364} - průtok dosažený po 364 dní v roce, Q_1 - tzv. jednoletá voda, její průtok je v dlouhodobém průměru dosažen nebo překročen 1x za rok

Kvalita povrchové vody toku Morava je sledována správcem toku (Povodí Moravy, s.p.). V letech 2009 až 2010 byly v souladu ČSN 75 7221, která stanoví základní požadavky jakosti vody, sledovány v profilech na toku Morava především BSK₅, CHSK_{Cr}, P_{celk.}, N-NO₃ a N-NH₄ (www.pmo.cz). Tok je možné dle koncentrací uvedených ukazatelů zařadit do I. až V. třídy jakosti. Celkově je u všech ukazatelů po celé délce toku patrný nárůst znečištění. U CHSK_{Cr} je tok ve střední části ve II. třídě jakosti. Podobná situace je i u BSK₅, kde průměrné znečištění bylo ve dvouletí 2009 - 2010 na celém toku absolutně nejnižší od dvouletí 1994 - 1995. Průběh znečištění dusičnany je dlouhodobě stejný, od Moravičan je tok ve II. třídě jakosti. V obsahu amoniakálního dusíku je tok v I. a II. třídě jakosti, průměrné koncentrace se pohybují od 0,01 do 0,14 mg/l a jsou na všech profilech nejnižší od roku 1994. V tomto dvouletí vychází velmi dobře hodnocení obsahu fosforu, které je výrazně lepší než v předchozích letech. Většina toku je ve II. třídě jakosti (dříve s výjimkou horního úseku toku převládala III. třída). Průměrné koncentrace klesají pomaleji než zjištěná maxima, ale trend je to velmi pozitivní. Údaje jsou převzaty ze „Souhrnné zprávy o vývoji jakosti povrchových vod v povodí Moravy ve dvouletí 2009 - 2010“.

Během analýzy rizik [4], ani v průběhu sanačního doprůzkumu [23] nebylo ověřováno případné šíření polutantů do povrchové vodoteče drénováním kontaminované podzemní vody. Před zahájením sanačních prací jsme odebrali dne 5. 1. 2007 vzorek povrchové vody v místě projektovaného vypouštění přečištěné odpadní vody do Moravy. Obsahy všech sledovaných organických polutantů byly pod mezí stanovitelnosti, obsah amoniakálního dusíku činil 0,05 mg/l. Kvalitu vody v řece Moravě z hlediska anorganických ukazatelů jsme ověřili v době vypouštění přečištěné odpadní vody dne 30. 10. 2007. Protokol o zkoušce je součástí přílohy č. 18, koncentrace ukazatelů používaných pro hodnocení třídy jakosti byly u BSK₅ 1,02 mg/l, u N-NH₄ 0,05 mg/l, u CHSK_{Cr} 5,59 mg/l, což odpovídá třídě jakosti I. Ukazatel P_{celk.} byl o něco vyšší (0,12 mg/l) a náležel by do třídy jakosti II. Mimo celkový fosfor byly uvedené koncentrace nižší než roční průměry v současnosti platných norem environmentální kvality z nařízení vlády č. 61/2003 Sb., ve znění pozdějších předpisů.

V rámci sanačních prací je z areálu Farmaku prostřednictvím potrubí, ukončeného vyústním objektem, vypouštěna přečištěná podzemní voda do vodního toku Morava. Vypouštění vody (množství a kvalita) je realizováno na základě platného rozhodnutí č. j. KÚOK 48407/2007 ze dne 11. 6. 2007, ve znění pozdějších změn. V současné době je povoleno vypouštěné množství 5,0 l/s (průměrně i maximálně). Kvalita vypouštěné vody, ze dvou sanačních stanic, je

monitorována 1x za měsíc. Sledované ukazatele, aktuální koncentrace a maximální přípustná hodnota koncentrací (limit) je uveden v tabulce 12. Jak vyplývá z tabulky, koncentrace sledovaných látek nepřekračují limity dané citovaným rozhodnutím.

Tabulka 12: Výsledky analýz podzemní vody vypouštěné do toku Morava dne 20. 1. 2012

Objekt	N-NH ₄ ⁺	krezoly	benzen	toluen	VCE	1,2-cis-DCE	TCE	PCE	chlor-benzen
	(mg/l)	(μg/l)							
San. stanice č. 1	1,88	0,5	<0,5	28,0	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	11,5
San. stanice č. 2	3,19	<0,1	3,2	147,0	3,0	50,7	<0,5	<0,3	148,0
limit KÚOK	40,00	1 000,0	2 100,0	2 600,0	720,0	720,0	360,0	260,0	500,0

V souladu s výše uvedeným rozhodnutím je také 4x ročně sledována kvalita povrchové vody toku Morava v místech nad výpustí (Morava - nad) a pod výpustí (Morava - pod). Místa odběru vzorků povrchové vody jsou vyznačena v příloze č. 4. Zjištěné koncentrace sledovaných látek, uspořádané v tabulce 13, jsou srovnány s normami environmentální kvality uvedenými v nařízení vlády č. 61/2003 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Jak vyplývá z tabulky, nejsou tyto normy v místě pod výpustí dekontaminované vody překročeny (podrobněji viz kapitola 2.3.4.3).

Tabulka 13: Výsledky analýz povrchové vody toku Morava dne 31. 1. 2012

Objekt	N-NH ₄ ⁺	krezoly	benzen	toluen	VCE	1,2-cis-DCE	TCE	PCE	chlor-benzen
	(mg/l)	(μg/l)							
Morava - nad	0,27	<0,1	<0,1	0,2	<0,2	<0,3	<0,5	<0,3	<0,1
Morava - pod	0,23	<0,1	<0,1	0,2	<0,2	<0,3	<0,5	<0,3	<0,1
NEK-RP*	0,23	-	10,0	5,0	1,0	1,0	10,0	10,0	1,0

* - NEK-RP = norma environmentální kvality vyjádřená jako celoroční průměrná hodnota, stanovená v nařízení vlády č. 61/2003 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Pro každý daný útvar povrchových vod se použitím NEK-RP rozumí, že aritmetický průměr koncentrací naměřených v různých časech průběhu roku v žádném reprezentativním monitorovacím místě ve vodním útvaru nepřekračuje dotyčnou normu.

U benzenu je stanovena i NEK-NPH ve výši 50 μg/l. NEK-NPH = norma environmentální kvality, vyjádřená jako nejvyšší přípustná hodnota, je nepřekročitelná. Není-li NEK-NPH stanovena, nejvyšší přípustné hodnoty se nepoužijí.

Hodnocené území se podle informací poskytnutých Povodím Moravy, s.p. nachází v záplavovém území řeky Moravy (obrázek č. 3). Pro průtok Q₁₀₀ bylo vyhlášeno záplavové území dne 17. 9. 2004 KÚ Olomouckého kraje, OŽPaZ pod č. j. KUOK/6388/04/OŽPZ/339 bez rozlišení na aktivní a pasivní zóny. Hranice záplavového území pro Q₁₀₀ je ve vztahu k zájmového území stanovena podél tranzitního železničního koridoru Bohumín - Přerov - Česká Třebová, tj. cca 0,14 km v. od hranice areálu Farmaku. Při povodni v roce 1997 byl areál Farmaku zaplaven. Součástí protipovodňové ochrany místní části Černovír bylo přeložení zaústění Trusovického potoka do řeky Moravy v délce 425 m, rekonstrukce levobřežní ochranné hráze podél řeky Moravy v délce 748 m (od Černovířského mostu po soutok s Trusovickým potokem) a levobřežní ochranné hráze podél Trusovického potoka v délce 1 162 m. Současně byly vybudovány tenkostěnné těsnící stěny v místech, kde v minulosti byly meandry řeky Moravy a tedy zvýšená propustnost prostředí pro podzemní vodu. Místa úprav, včetně kót hloubky těchto těsnících stěn jsou znázorněny v příloze č. 3. Protipovodňové úpravy byly zkolaudovány dne 31. 3. 2008. Z hlediska proudění podzemní vody může existence tenkostěnných těsnících stěn

pouze lokálně ovlivnit hydraulickou komunikaci mezi povrchovou a podzemní vodou. Vzhledem ke směru proudění podzemní vody se to však v areálu Farmaku a nejbližším okolí neprojeví.

Podle nařízení vlády č. 61/2003 Sb., ve znění pozdějších předpisů, jsou všechny povrchové vody na území České republiky vymezeny jako citlivé oblasti. Pro citlivé oblasti a pro vypouštění odpadních vod do povrchových vod ovlivňujících kvalitu vody v citlivých oblastech jsou stanoveny v tomto nařízení vlády ukazatele přípustného znečištění odpadních vod a jejich hodnoty pro celkový dusík a sloučeniny dusíku a celkový fosfor u městských odpadních vod a průmyslových odpadních vod (sanační práce nejsou ve výše citovaném nařízení vlády zahrnuty).

Úsek řeky Moravy od mostu v k. ú. Unčovice (nad Olomoucí) až po most v Čertoryjích (pod Olomoucí) je součástí rybářského revíru 471 049 - MORAVA 18 (mimopstruhový revír), slouží tedy k rybolovu. Podél koryta Moravy jsou v blízkosti zájmového území vyšlapány pěšiny, které slouží k rekreaci formou pěších procházek podél řeky a k venčení psů.

1.2.5 Geochemické a hydrochemické údaje o lokalitě

V rámci sanačních prací byl zhotovitelem v areálu Farmaku základní chemismus podzemní vody sledován nejprve ve vrtu SM-16 v roce 2006, tj. před zahájením vlastní sanace z důvodu nastavení provozních parametrů sanační technologie. V měsíci únoru 2008 byl sledován chemismus podzemní vody v rámci příprav na terénní zkoušky STP ve vrtech AT-106 a SM-9. Nejvíce analýz je k dispozici z vrtů zapojených do terénní zkoušky aplikace Fentonova činidla. Jedná se o vrty SM-11, SM-18, SM-42, SM-44 a SM-45. V omezeném rozsahu byl Farmakem pro vlastní potřebu sledován chemismus v řadě vrtů v areálu i mimo areál. Pro hodnocení byly vybrány vrty HV-404, P-200 a P-208, přičemž analýzy jsou z roku 2005. Chemismus vody v JÚ Černovír reprezentují analýzy z pozorovacích vrtů (HV-111 a HV-116), násoskové studny (K2) a sběrné studny (A0). Analýzy z prvních tří uvedených objektů provedla firma MORAVSKÁ VODÁRENSKÁ, a.s. Ze sběrné studny A0 byl využit výsledek analýzy kontrolního odběru, kterou provedl GEOTest Brno n. p. v roce 1982 [27].

Výsledky stanovení anorganických ukazatelů jakosti vody, reprezentovaných úplným fyzikálně chemickým rozbohem (ÚCHR), které jsou uspořádány do tabulky 1 v příloze č. 19, umožňují získat představu o hydrogeochemických poměrech lokality. Chemické složení podzemní vody v areálu Farmaku v místě situování vrtů SM-18, SM-44 a SM-45 je značně ovlivněné velmi vysokým stupněm kontaminace. Z hlediska milivalprocentního zastoupení hlavních iontů (hranice je 25 %) má kontaminovaná podzemní voda variabilní složení, v nejvíce kontaminovaných vrtech (SM-18 a SM-45) je typu Ca-Cl a v méně kontaminovaném vrtu SM-44 je typu Ca-Cl-HCO₃. Ve vrtech, které byly původně navrženy pro terénní zkoušky STP (AT-106 a SM-9), a také ve vrtu SM-42 je podzemní voda typu Na-Ca-Cl-HCO₃. Ve slabě kontaminovaných vrtech v jižní části areálu (SM-11) je podzemní voda typu Ca-SO₄-HCO₃ a v severní části areálu (SM-16) je podzemní voda typu Na-Ca-HCO₃. Jak vyplývá ze složení hlavních iontů, anorganické znečištění reprezentují především chloridy, které ve vrtech SM-18 a SM-45 předčily podíl přirozeně se vyskytujících hydrogenuhličitánů. Chemický typ vody v JÚ Černovír lze přibližně odhadnout jako Ca-HCO₃, protože jak ve sběrné studni A0, tak v násoskové studni K2 nebyly stanoveny všechny potřebné anionty a kationty. Obecně je v mělkém průlinovém kolektoru kvartérních sedimentů údolní nivy řeky Moravy, neovlivněném antropogenní kontaminací, většinou přítomna podzemní voda typu Ca-HCO₃, popř. Ca-Na-HCO₃ [27]. Podzemní vodu v areálu Farmaku lze hodnotit jako dosti tvrdou až velmi tvrdou se zvýšenou až vysokou mineralizací, v JÚ Černovír pak jako středně tvrdou až tvrdou. Podzemní

voda v areálu je také výrazně ovlivněna vysokými koncentracemi amonných iontů dosahujícími většinou desítek mg/l, výjimečně až nízkých stovek mg/l. Na přítomnost organického znečištění ukazují velmi vysoké hodnoty chemické spotřeby kyslíku dichromanem (CHSK_{Cr}). U analýz provedených zhotovitelem je však do celkové hodnoty CHSK_{Cr} zahrnuta i kyslíková spotřeba všech oxidovatelných anorganických látek. Sumární koncentraci iontů v podzemní vodě ukazuje parametr vodivost (mS/m). Ovlivněná voda v areálu dosahuje většinou nízkých stovek mS/m, zatímco neovlivněná v blízkém okolí JÚ Černovír dosahuje jen desítek mS/m. Přirozeného původu jsou zvýšené koncentrace železa a manganu, které jsou vyšší v areálu Farmaku než v JÚ Černovír.

Získané výsledky jsou v tabulce 1 v příloze č. 19 porovnány s limity kritérií Metodického pokynu MŽP (dále jen MP MŽP), neboť původní AR z těchto hodnot vycházela a MP MŽP byl zrušen až v době finalizace AAR. Navíc jsou porovnány, pouze pro srovnání, i s ukazateli uvedenými ve vyhlášce č. 252/2004 Sb., ve znění pozdějších předpisů, stanovující mezní hodnoty pro pitnou vodu, přestože se v areálu Farmaku podzemní voda k pitným účelům nevyužívá. Ve srovnání s kritérii Metodického pokynu MŽP byl limit kategorie C překročen pro chloridy v areálu v 5 vrtech (SM-9, SM-18, SM-42, SM-44 a SM-45). Nejvyšší obsah chloridů byl stanoven dne 22. 10. 2010 ve vrtu SM-18 (1 220,0 mg/l). Limit kritéria C byl překročen také u amonných iontů, a to v 7 vrtech v areálu (AT-106, SM-9, SM-11, SM-18, SM-42, SM-44 a SM-45). Nejvyšší obsah amonných iontů byl zjištěn ve vrtu SM-42 v prosinci 2008 (233,0 mg/l). Limit kritéria B byl překročen jen v areálu, a to u chloridů ve vrtech AT-106 a SM-11 a u dusitanů ve vrtu SM-18. Limit kritéria A byl překročen v areálu ve vrtu SM-16 u amonných iontů a chloridů. Limit kritéria A byl překročen u chloridů také v blízkosti PTS (P-200, P-208 a HV-404) i v JÚ Černovír (A0, K2 a HV-116). Limitům vyhlášky č. 252/2004 Sb., ve znění pozdějších předpisů, nevyhověla podzemní voda v areálu u řady ukazatelů (vodivost, tvrdost, amonné ionty, mangan, železo, chloridy a CHSK_{Cr}). Naopak téměř všechny limity byly splněny u jímání podzemní vody ze studny K2 (s výjimkou doporučené hodnoty u tvrdosti a hořčíku) a ze studny A0 (s výjimkou doporučené hodnoty u vápníku). Nicméně po povodni v roce 1997 došlo v JÚ Černovír ve většině jímacích studní ke zhoršení jakosti, které se projevuje zvýšenými koncentracemi železa, manganu a huminových látek, takže musela být uvedena do provozu účinnější technologie na úpravu vody (viz kap. 1.1.2). V rámci terénních prací pro STP byly sledovány i obsahy vybraných kovů v podzemní vodě v 5-ti vrtech (tabulka 2 v příloze č. 19). Jak vyplývá z tabulky, byly obsahy většiny kovů pod mezí stanovitelnosti. Z hlediska kritérií MP MŽP byl překročen limit kritéria A pouze u barya ve 2 vzorcích (SM-11 a SM-42) a obsah niklu v 1 vzorku (SM-45). Zvýšené jsou obsahy železa, což je typické pro mělké podzemní vody jakožto důsledek oxidace sulfidů. Ovšem v prostoru vrtu SM-18 byly stanoveny koncentrace až v nižších desítkách mg/l, což je důsledek antropogenní činnosti. Vybrané těžké kovy jsou sledovány od podzimu 2011 během aplikace Fentonova činidla do vrtů (tabulka 2 v příloze č. 19). Závadné obsahy kovů nebyly v podzemní vodě zjištěny. Vliv oxidačního činidla na koncentraci těžkých kovů v podzemní vodě se neprojevil, s výjimkou obsahu Ni, méně Cu ve vrtu FAR-2. Nárůst obsahu niklu bude proto podrobně sledován v roce 2012.

Během přípravy terénních zkoušek STP (aplikace Fentonova činidla a persulfátu do horninového prostředí) bylo ověřeno chemické složení vzorků zeminy odebraných z mělkých nevystrojených vrtů (MNV-1 až MNV-3) a z pozorovacích vrtů (HP-1 a HP-6) z kolektoru (štěrk) i z podložního izolátoru (jíl). Vrty MNV-1 až MNV-3 byly umístěny u stávajících sanačních vrtů, které byly původně uvažovány pro terénní zkoušky (příloha č. 5). Z vrtu MNV-2 byl odebrán jen vzorek z kolektoru, protože podložní jíl nebyl do hloubky 10 m p.t. zastižen. Monitorovací vrt HP-1 byl umístěn u vrtu AT-106 a pozorovací vrt HP-6 byl umístěn u vrtu SM-9. Veškeré výsledky analýz

jak v sušině, tak i ve výluhu jsou uspořádány v tabulkách 3 a 4 v příloze č. 19. Obsahy TOC (celkový organický uhlík) a organických polutantů jsou zároveň uvedené níže v tabulce 14. Frakce organického uhlíku (TOC) ve vzorku v sušině z kolektoru byla stanovena v rozmezí <0,010 - 0,196 %, ve vzorku v sušině z podložního izolátoru byl stanoven obsah TOC v intervalu <0,010 - 0,167 %. To znamená, že např. ve vrtu MNV-3 je ve 100 g vlhké zeminy obsaženo 0,167 g TOC. Obsahy organických polutantů dosáhly ve vzorcích většinou jen nízkých koncentrací (<0,05 - 4,60 mg/kg). Nejvyšší koncentrace v kolektoru byla zjištěna ve vrtu MNV-1 ve výši 256,30 mg/kg (4,0 - 5,0 m p.t.) a v podložním izolátoru ve vrtu MNV-3 ve výši 1 649,1 mg/kg (8,7 - 9,3 m p.t.). Přestože většina vzorků zeminy ze saturované zóny vykazovala při odběru zápach po organických polutantech (především toluenu), výsledky laboratorních analýz většinou významnou kontaminaci nepotvrdily. Ovšem na zápachu se podílí i rozklad bakterií v podzemní vodě, což je obtížně rozlišitelné. Nad cílovými limity stanovenými pro sanaci nesaturované zóny byl obsah toluenu v 1 vzorku z nesaturované zóny (MNV-1) a obsah benzenu, toluenu, chlorbenzenu, DCE, TCE a PCE ve vzorku jílu na bázi kolektoru (MNV-3). Naopak ve vzorcích zeminy z vrtů situovaných v prostoru výskytu volné fáze polutantů (okolí vrtu SM-18), byly stanoveny vysoké obsahy toluenu a chlorbenzenu v celém vrtném profilu, tedy jak těsně nad hladinou podzemní vody, tak i v písčitém štěrku a v jílovitém podloží (tabulky 5 a 37 v příloze č. 19). Lze tedy konstatovat, že organické znečištění je nasorbováno v některých částech Farmaku na jílovitých částicích v saturované zóně, odkud bude, po odstranění kontaminace z podzemní vody, postupně přecházet do vodního prostředí. Pro odhad šíření kontaminace budeme v kapitole 2.3.4 uvažovat hodnotu TOC 0,13 %, což je průměrná hodnota TOC z písčitých štěrků z vrtů, v nichž byla stanovena hodnota vyšší než mez stanovitelnosti, a 0,005 % pro písčité štěrky, v nichž byl obsah TOC pod mezí stanovitelnosti s tím, že tato hodnota je mezí detekce. V doplnění matematického modelu z dubna 2012 je použita hodnota TOC 0,13 % a variantně i 1,0 %, neboť vyšší obsah organického uhlíku má výrazný vliv na zpomalení transportu polutantů. Podrobně je tato problematika komentována v příloze č. 28.

Tabulka 14: Obsah TOC ve vzorcích zeminy odebraných v areálu FARMAKU

Objekt	Umístěn u vrtu	Datum	Hloubka odběru (m)	Petrografický popis	Senzorický popis	TOC %	TOC (mg/kg)	Obsah organických polutantů (mg/kg)
MNV-1	FAR-10	27.2.2007	4,0 - 5,0	písčité štěrky	SZ	<0,010	<100,0	256,30
MNV-1	FAR-10	27.2.2007	7,5 - 8,0	jíl	BZ	<0,010	<100,0	4,60
MNV-2	P-32	27.2.2007	4,0 - 6,0	písčité štěrky	SZ	<0,010	<100,0	49,90
MNV-3	SM-9	27.2.2007	5,4 - 6,0	písčité štěrky	SZ	<0,010	<100,0	3,10
MNV-3	SM-9	27.2.2007	8,7 - 9,3	jíl	VSZ	0,167	1 670,0	1 649,10
HP-1	-	22.11.2007	5,8 - 6,0	písčité štěrky	SLZ	0,089	890,0	0,05
HP-1	-	22.11.2007	7,7 - 8,0	jílovitopísčité štěrky	Z	0,109	1 090,0	0,14
HP-1	-	22.11.2007	8,0 - 8,4	jíl*	SLZ	0,097	970,0	0,06
HP-6	-	22.11.2007	7,0 - 7,5	jílovitopísčité štěrky	SZ	0,196	1 960,0	<0,05
HP-6	-	23.11.2007	8,5 - 8,7	jíl**	SZ	0,092	920,0	0,46

Vysvětlivky:

BZ bez zápachu

SLZ slabý zápach

Z zápach

SZ silný zápach

VSZ velmi silný zápach

* - podle granulometrické analýzy se jedná o jílovitohlinitý písek

** - podle granulometrické analýzy se jedná o hlinitý písek

Fyzikální a zrnitostní vlastnosti zemin byly zkoumány v nesaturované i saturované zóně v rámci STP v roce 2007 v 8 vzorcích z vrtů HP-1 a HP-6 a při hloubení vrtů pro aplikaci Fentonova činidla v roce 2011 ve 14 vzorcích odebraných z 8 vrtů. Jejich vyhodnocení je uvedeno v kapitole 2.3.2.

Pozadové znečištění podzemních vod a zemin na lokalitě se nepředpokládá. Kolem areálu Farmaku je vybudována PTS, takže migrace případné kontaminace do areálu není, po jejím vybudování, možná.

2. PRŮZKUMNÉ PRÁCE

2.1 DOSAVADNÍ PROZKOUMANOST ÚZEMÍ

Na lokalitě bylo před zahájením vlastních sanačních prací provedeno několik průzkumů, které jsou chronologicky seřazené v tabulce 15. Protože jedním z možných recipientů rizik je JÚ Černovír, jsou do tabulky zahrnuty i ty průzkumy, které se jímacím územím zabývají a které považujeme pro další hodnocení za významné. Přesná citace zpráv je uvedena v kapitole 6.

Tabulka 15: Přehled průzkumných prací provedených na lokalitě

Označení v kap. 6	Rok	Účel prací	Objednatel	Zhotovitel průzkumu
Průzkumy realizované především v areálu Farmaku, případně v okolí				
[19]	1975 - 1977	průzkum znečištění podzemních vod ve vztahu k JÚ Černovír	Farmakon, n.p.	GEOtest Brno, n.p.
[8]	1997	doplněk k ekologickému auditu včetně průzkumných prací	FARMAK, a.s.	SEPARA spol. s r.o.
[4], [5], [6]	2002 - 2003	analýza rizik (s Doplnky č. 1 a 2) včetně průzkumných prací	FNM ČR	GHE, a.s.
[23], [24]	2004	sanační doprůzkum	MF ČR	TALPA – RPF, s.r.o.
Průzkumy realizované pro JÚ Černovír				
[28]	1983	průzkum pro preventivní ochranu JÚ Černovír proti znečištění látkami přepravovanými železnicí	SmVaK, n.p.	GEOtest Brno, n.p.
[30]	2008	revize ochranných pásem JÚ Černovír včetně mat. modelu	Vodohospodářská společnost, a.s.	OHGS s.r.o.
[20]	2009	hydrologická měření a sledování kvality vody v pozorovací síti vrtů kolem JÚ Černovír	MORAVSKÁ VODÁRENSKÁ, a.s.	Hydrogeologie, s.r.o.
[31a]	2011	rekonstrukce studní a násosky a krátkodobé čerpací zkoušky z vybraných studní	Vodohospodářská společnost, a.s.	OHGS s.r.o.

Výsledky námi realizovaných prací v letech 2006 až 2012, tedy sanačních prací, průzkumných prací v rámci STP, případně prací provedených nad rámec realizačního projektu, jsou, pokud se vztahují k problematice analýzy rizik, uvedeny a zhodnoceny v kapitole 2.3. Podrobně jsou pak popsány v jednotlivých ročních zprávách za sanaci.

2.1.1 Základní výsledky dřívějších průzkumných a sanačních prací na lokalitě

Ochranné sanační čerpání a vybudování PTS

Nápravná opatření na likvidaci ekologických škod v areálu a okolí společnosti Farmak (původně Farmakon Olomouc s.p.) se začala realizovat v letech 1975 až 1977 provedením průzkumu znečištění [19]. S ohledem na získané výsledky a blízkost jímacího území Černovír bylo navrženo ochranné opatření sestávající z realizace podzemní těsnicí stěny jako hydraulické bariéry. Do doby výstavby PTS bylo provozováno ochranné čerpání podzemní vody z vrtů R-46, R-48, R-49, R-50, R-53 a R-54 a R-93, situovaných v severní části areálu Farmaku a severně od okraje areálu (příloha č. 4). V roce 1982 bylo z těchto vrtů čerpáno cca 16 l/s podzemní vody [22], údaje o obsahu polutantů v čerpané vodě nejsou k dispozici. PTS byla budována v letech 1983 až 1986 z jílovocementového materiálu o tloušťce 0,8 m, zapuštěná byla 1,5 m do nepropustného podloží a s korunou 1,0 m pod terénem. Průměrná hloubka stěny je 8 m a délka 1 700 m. Součinitel hydraulické vodivosti (K) těsnicího materiálu byl stanoven v rozmezí $6,32 \times 10^{-10}$ až $1,17 \times 10^{-8}$ m/s [63]. Stavba byla zkolaudována v květnu 1986. Současně s PTS byl vybudován systém pozorovacích vrtů P-200 až P-211. Na podzim roku 1986 byl spuštěn zkušební provoz PTS, trvalý provoz byl zahájen v lednu 1991 podle provozního řádu zpracovaného Ing. Milanem Kučerou dne 10. 12. 1990 [65]. Aktivní ochrana jímacího území Černovír byla realizována formou čerpání z vrtů uvnitř PTS (R-211 až R-218) a z linie vrtů podél řeky Moravy (vrty R-96, R-97, R-98, R-99 a R-101 (příloha č. 4) s celkovou vydatností do 10 l/s. Podzemní voda čerpána uvnitř PTS a na liniích sanačních vrtů (v 80. letech bylo čerpáno i z vrtů situovaných východně a severně od areálu Farmaku - viz níže) byla do prosince 1991 vypouštěna přímo do řeky Moravy, poté odváděna na podnikovou ČOV a po přečištění vypouštěna do městské kanalizace. Sanační čerpání linie vrtů vně PTS, tj. podél řeky Moravy, bylo ukončeno v únoru 1998. Pro „**systém ochrany podzemních vod před kontaminací z areálu FARMAK, a.s. Olomouc**“, provozovaný Farmakem, byl aktualizován původní provozní řád v dokumentu „Manipulačně provozní řád VOP/PTS“ z března 1997, schváleném RŽP OkÚ Olomouc dne 26. 1. 1998 pod č. j. ŽP-765/97-Op. Čerpáno bylo z vrtů R-211 až R-214 a R-217 a R-218, úroveň hladiny podzemní vody byla měřena 1x týdně, a to i z pozorovacích vrtů P-200 až P-211, 2x ročně byl zjišťován obsah vybraných anorganických ukazatelů a 1x ročně TOL. Nový řád byl vypracován v březnu 2004 a byl schválen Magistrátem města Olomouce, odborem životního prostředí dne 15. 12. 2004 pod č. j. ŽP/20971/04Kr. Dne 5. 12. 2006 byl zhotovitelem sanačních prací převzat provoz systému včetně pasivní části PTS (pozorovacích vrtů P-200 až P-211), který do té doby realizoval Farmak, neboť to bylo podmínkou zadávací dokumentace k sanaci. Čerpání podzemní vody bylo od 5. 12. 2006 do 5. 7. 2007 provozováno z vrtů R-211 (pouze v prosinci 2006), R-213, R-217 a R-218. Voda z vrtů R-211 a R-213 byla odváděna na ČOV Farmaku k likvidaci, voda z vrtů R-217 a R-218 byla vedena do chladicího okruhu Farmaku. Dne 5. 7. 2007 byl provoz ochranného sanačního čerpání zhotovitelem ukončen, neboť dne 6. 7. 2007 bylo zahájeno sanační čerpání podzemní vody podle realizačního projektu. Od 6. 7. 2007 tedy Farmak čerpá podzemní vodu pouze z vrtů R-217 a R-218, kterou využívá pro svůj chladicí okruh. Od listopadu 2009 bylo přerušeno čerpání z vrtu R-217, v němž byl zaznamenán nárůst benzenu a chlorovaných ethylenů, a využíván byl pouze vrt R-218 v množství cca 0,8 l/s. Od 9. 12. 2010 bylo čerpání z vrtu R-217 obnoveno (koncentrace polutantů poklesly) a z vrtu R-218 přerušeno (s výjimkou krátkodobého čerpání v prosinci 2011). V rámci provozu ochranného sanačního čerpání bylo od převzetí provozu v prosinci 2006 do 29. 2. 2012 odčerpáno celkem 210 673 m³ podzemní vody, což je cca 1,3 l/s. Z vrtu R-217 bylo v roce 2011 průměrně čerpáno odběr 0,61 l/s. Od 7. 3. 2012 již společnost Farmak nebude čerpat vodu z těchto vrtů do chladicího okruhu.

Průzkumy realizované především v areálu Farmaku, případně v okolí

Poznámka: komentáře autorky AAR k výsledkům průzkumů, resp. porovnání s výsledky aktuálních sanačních prací jsou níže uvedeny kurzívou.

Základní průzkumné práce v areálu Farmaku (v té době n.p. Farmakon) byly provedeny **Geotestem n.p. Brno v letech 1975 až 1977** [19] a sestávaly ze 3 etap. První etapa byl předběžný průzkum, druhá etapa detailní průzkum a vybudování ochrany JÚ Černovír, třetí pak definitivní provoz této ochrany. Závěrečná zpráva první etapy, během níž byly vyhloubeny vrty řad P-1 až P-45, P-56 až P-67 a R-46 až R-55, byla předložena v září 1977 a bylo v ní konstatováno:

- Bylo prokázáno, že n.p. Farmakon je hlavním znečišťovatelem podzemní vody v zájmovém území. Nejzávažnějšími polutanty byly organické polární látky (aceton, etanol, metanol, isopropylalkohol), organické nepolární látky (toluen, alkany a chlorované uhlovodíky), anorganické látky (sulfáty, chloridy, sodík, amoniak).
- Dalšími zdroji znečištění podzemní vody jsou bývalé skládky, zemědělská velkovýroba a sídlištní aglomerace. Závažný vliv na kvalitu podzemní vody v severní části zájmového území má rekultivovaná skládka v soutokové oblasti Moravy a Trusovického potoka, kde byl zjištěn obdobný typ kontaminace jako v n.p. Farmakon.
- Nejvýraznější průmyslové znečištění podzemní vody původem z n.p. Farmakon bylo zjištěno především v areálu závodu, odkud se šíří směrem k JZ až k řece Moravě, kterou je podzemní voda drénována. Dalším z preferovaných směrů šíření kontaminace je od závodu povšechně k severu až zhruba na úroveň školního statku (*viz obrázek č. 3*). Masivní znečištění ostře končí na severním okraji návrší Klášterní Hradisko a východním okrajem n.p. Farmakon.
- Méně výrazná kontaminace byla zjištěna v severní části studované oblasti v těsné blízkosti JÚ Černovír severně od vrtu P-12 (*vyznačen v příloze č. 3*).
- Samostatná aureola znečištěné podzemní vody v prostoru rekultivované skládky (situovaná sz. od zájmového území v blízkosti soutoku Moravy a Trusovického potoka) se může za určitých okolností rozšířit směrem k jímacímu území a účastnit se kontaminace ssv. části území.
- Šíření kontaminace od závodu směrem zjz. je podmíněno elevací kulmských a plioleptocenních hornin v podloží šterkopísků a existencí nevýrazného přehloubeného koryta při severním úpatí této elevace (*vyznačena v příloze č. 15*).
- Jako ochranu jímacího území před nejzávažnějším typem znečištění pocházejícím z n.p. Farmakon byla navržena podzemní těsnící stěna, doplněná čerpáním a pozorovacím systémem.
- K likvidaci znečištění v prostoru, který nebude uzavřen podzemní stěnou, je navržen systém kontinuálně čerpaných vrtů, který bude v činnosti až do odčerpání nejvíce kontaminovaných vod.

Z hlediska typu organického znečištění je třeba konstatovat, že v době průzkumu byly analytické metody méně dokonalé než v současnosti, takže některé typy analýz nebyly prováděny, případně byly z hlediska kvalitativního označeny jako neidentifikované látky. Proto při hodnocení úrovně kontaminace byla použita suma rozpuštěných organických látek (ROL). V areálu Farmaku byly ROL stanoveny v podzemní vodě v koncentracích vyšších než 1 000 mg/l, maximální hodnota 6 284 mg/l byla zjištěna ve vrtu P-33. Ve vrtu P-36 (příloha č. 3), tedy v prostoru skladování surovin na volné ploše ve v. části areálu, bylo znečištění ROL ve výši 1 390 mg/l. Také západně od areálu, ve vrtu R-48 ležícím cca 25 m severně od stávajícího vrtu SM-31 (příloha č. 4), byly

obsahy ROL nad 1 000 mg/l. Ještě i ve vrtu P-28, ležícím cca 20 m z. od R-48, bylo 354 mg/l ROL. Ve směru k JÚ Černovír byly ověřeny stopy ROL s maximem ve vrtu P-60 situovaném z. od studní jímacího řadu B (příloha č. 3), a to ve výši 200 µg/l toluenu. V oblasti kontaminace vyšší než 100 mg/l ROL byly z hlediska procentuelního zastoupení dominantní etanol a aceton (společně tvořily cca 53 až 62 %), toluen se pohyboval kolem 10 %, metanol a isopropanol se pohybovaly v rozmezí 6 až 9 %. Ve směru proudění podzemní vody, v oblastech s nižší koncentrací ROL, klesal podíl acetonu, etanolu, isopropanolu a metanolu a zvyšoval se podíl toluenu, chlorovaných uhlovodíků a alkanů. Ve směru k JÚ Černovír nebyly při průzkumu ve vrtech P-12, P-21, P-61, R-54 polutanty zjištěny, i když laboratoří n.p. Farmakon byly ve vrtech P-12 a P-61 stanoveny obsahy toluenu cca 350 µg/l. Ostatní organické látky nebyly v blízkosti JÚ Černovír zjištěny. Z hlediska anorganických ukazatelů byly v areálu závodu velmi vysoké koncentrace síranů, a to nad 1 000 mg/l s extrémem v prostoru objektu 13c (22 649 mg/l). Vysoké obsahy síranů byly zjištěny i ve vrtu P-61 (721 mg/l). Také chloridy byly v areálu Farmaku ve stovkách mg/l s maximem ve vrtu R-48 (5 676 mg/l). Kontaminace amonnými ionty nebyla tak vysoká, maximum bylo zjištěno ve vrtu P-56 ve výši 37 mg/l. Obsahy ROL nebyly analýzami vzorků vody z povrchových toků (Trusovický potok, Morava, Bystřice) zjištěny, a to ani v místech ležících pod oblastí, v níž byly kontaminované podzemní vody drénovány tokem řeky Moravy, a pod vyústěním chemické kanalizace n.p. Farmakon [19].

Uzavřený tvar PTS, navržený v závěrečné zprávě průzkumu, byl na základě znaleckého posudku V. Hála pozměněn do definitivní podoby vyznačené v příloze č. 4, tedy vedoucí kolem celého areálu Farmaku a pouze na jižní straně otevřená. Kontaminace v areálu Farmaku a v jeho okolí byla řešena s cílem ochrany JÚ Černovír. Během výstavby PTS část pohyblivějších složek kontaminace migrovala do širšího okolí. *Není uvedeno kterým směrem, je otázkou, zda to nebylo právě způsobeno sanačním čerpáním vrtů (viz dále).* V té době sanace kontaminované zvodně byla realizována třemi liniemi čerpacích vrtů. První vedla podél trati ČD Olomouc - Česká Třebová a tvořily ji vrty HV-401, HV-402, HV-403, R-54, HV-404, HV-405 a R-47. Čerpání probíhalo od března 1986 do srpna 1988. Druhá linie sledovala úseky PTS v Černovíře s objekty R-55, R-65, R-114, HV-406, HV-407, HV-408 a čerpání bylo ukončeno před rokem 1997. Třetí linie byla rozložena podél řeky Moravy a tvořily ji vrty R-51, R-96, R-97, R-105, R-103, R-99 a R-102. Vrty všech tří linií jsou vyznačeny v příloze č. 3. V roce 1997 bylo čerpáno již jen z vrtu R-96 [8]. Ve vrtech třetí linie se projevoval klesající trend koncentrace závadných látek. Z časových ročních řad sledování kontaminace byl ve většině sond a vrtů patrný sestup masivního znečištění až na hodnoty prakticky nulové, které však byly neočekávaně v jednom odběru vystřídány vysokými hodnotami, v dalších vzorcích se pak blížily znovu k nule [8].

V rámci **ekologického auditu**, zpracovaného Ústavem pro životní prostředí PřF UK Praha v roce 1992 [10], byly provedeny laboratorní analýzy vzorků podzemní vody z vrtů R-211, R-212, R-217 a R-218. Nejvyšší obsahy polutantů byly stanoveny ve vrtech R-211 a R-212 – toluen ve výši 67 000 µg/l, benzen 781 µg/l a DCE 13 000 µg/l

V rámci ochranného sanačního čerpání byly Farmakem v letech 1991 až 1996 sledovány obsahy polutantů ve vrtech P-201 až P-210, situovaných vně a uvnitř PTS. Ve většině vrtů byly obsahy benzenu, toluenu a chlorbenzenu ve stopových množstvích. Výjimkou byly velmi rozkolísané obsahy v P-201 od hodnot pod mezí stanovitelnosti po maximum 22 000 µg/l v roce 1995. *V tomto objektu byly během sanačního monitoringu v letech 2006 až 2012 obsahy obvykle ve stopových množstvích s výjimkou července 2008, kdy bylo ve vrtu stanoveno 4 500 µg/l toluenu. Vzhledem k tomu, že takováto hodnota se již nikdy neopakovala, výsledek byl původně považován za erratické měření. Ovšem také to může být okraj kontaminačního mraku, který nebyl dosud*

vymapován, neboť v roce 2011 byly ve vzorcích vody z vrtu SM-16 zjištěny obsahy toluenu v desítkách tisíc $\mu\text{g/l}$. Tento vrt byl, podle závěrů sanačního průzkumu [23], nekontaminovaný a byl v realizačním projektu sanace vypracovaném společností TALPA - RPF, s.r.o. [25], navržen na zasakování. Po přerušení zásaku v roce 2011 v řádu měsíců došlo ve vrtu k nárůstu obsahu toluenu až na 36 600 $\mu\text{g/l}$. Po opětovném zapojení vrtu do zasakování koncentrace toluenu poklesly na jednotky $\mu\text{g/l}$. Obsahy chlorbenzenu byly v letech 1991 až 1996 v desítkách $\mu\text{g/l}$ ve vrtech P-205 a P-206 a ve vrtu P-207 uvnitř PTS i jednorázově ve výši 366 $\mu\text{g/l}$. V tomto vrtu byly během sanačního monitoringu rozkolísané obsahy chlorbenzenu s maximem 692 $\mu\text{g/l}$ v lednu 2009. Amonné ionty byly obvykle v nižších jednotkách mg/l s výjimkou vrtu P-206, v němž byly obsahy NH_4^+ v desítkách mg/l s maximem 122 mg/l v roce 1996. Během sanačního monitoringu v letech 2006 až 2011 byly v tomto vrtu koncentrace maximálně v desetinách mg/l .

Vyhlobení dalších 7 monitorovacích vrtů (AT-101 až AT-107) a 21 mělkých sond, vzorkovací a analytické práce byly součástí **doplňku k ekologickému auditu** z roku 1997 [8]. Analyzovány byly vzorky půdního vzduchu (19 ks) a podzemní vody ze stávajících a nově vyhloubených vrtů (celkem 22 ks). Ve vzorcích podzemní vody byla provedena široká škála analýz – ÚCHR, aceton, etanol, metanol, kyanidy, kovy, BTEX, styren, PAU, chlorbenzen, dichlorbenzeny, Cl-U, NEL, PCB, cyklohexanon, kresoly, pyridin, tetrahydrouranon. Ovšem ne všechny analýzy byly provedeny ve všech vzorcích vody. Pouze ve 2 vzorcích zeminy byly ověřovány obsahy PCB a NEL. Byla zjištěna velmi závažná kontaminace nesaturované zóny NEL, benzenem, toluenem, ethylbenzenem, xyleny a Cl-Eth v půdním vzduchu. Saturovaná zóna byla podle závěrů auditu masívně kontaminovaná anorganickými látkami (amonnými ionty a chloridy) a organickými látkami (toluen, 1,2-cis-DCE, chlorbenzen a NEL). Nejzávažněji byla znečištěna saturovaná i nesaturovaná zóna v jz. části areálu. Je třeba podotknout, že etanol a metanol byly ověřovány ve všech 22 objektech. Aceton byl stanovován pouze ve 2 objektech a například ve vrtu P-33, který byl do vzorkování také zahrnut a v němž byl v roce 1977 obsah acetonu a etanolu 2 900 mg/l , ověřován nebyl. Přitom v půdním vzduchu byl v sondách v okolí vrtů P-32 a P-34 stanoven obsah acetonu až 5 200 mg/m^3 . Ve vrtu R-48, v němž během průzkumu v roce 1977 [19] byly ověřeny obsahy ROL více jak 1 000 mg/l , byly v roce 1997 stanoveny obsahy chlorbenzenu, TCE benzenu a xylenu ve stovkách $\mu\text{g/l}$, pouze toluenu bylo zjištěno 32 700 $\mu\text{g/l}$. Z hlediska absolutních hodnot byl stanoven nejvyšší obsah toluenu ve vrtech AT-107 (200 000 $\mu\text{g/l}$) a R-50 (190 000 $\mu\text{g/l}$), benzenu ve vrtu P-67 (1 140 $\mu\text{g/l}$), chlorbenzenu ve vrtu AT-106 (39 000 $\mu\text{g/l}$), vinylchloridu ve vrtu AT-102 (13 000 $\mu\text{g/l}$ – vrt je v místě stávajícího SM-18), 1,2-cis-DCE ve vrtu AT-102 (13 000 $\mu\text{g/l}$) a TCE ve vrtu AT-103 (65 000 $\mu\text{g/l}$). Pro metanol a etanol byla mezí stanovitelnosti 2 000 $\mu\text{g/l}$, pro aceton 4 000 $\mu\text{g/l}$. Ve všech vrtech byl obsah etanolu pod mezí stanovitelnosti (ve vrtu P-67 na mezí stanovitelnosti). Také obsah metanolu byl v 18-ti vrtech pod mezí stanovitelnosti, ovšem ve vrtech AT-102 bylo zjištěno 226 000 $\mu\text{g/l}$, ve vrtu P-33 pak 21 000 $\mu\text{g/l}$ a ve vrtu P-67 41 000 $\mu\text{g/l}$ metanolu. Aceton byl ověřován v 5-ti objektech, z toho 2x pod mezí stanovitelnosti (AT-101 a P-34). Ve vrtu AT-107 bylo stanoveno 12 000 $\mu\text{g/l}$, ve vrtu P-33 pak 136 000 $\mu\text{g/l}$ a ve vrtu P-32 dokonce 210 000 $\mu\text{g/l}$ acetonu. V půdním vzduchu převládaly různé varianty cyklopentanů a cyklohexanů, v některých sondách byl nalezen i metanol. Kvalitativní analýzou byla v areálu Farmaku identifikována široká škála organických látek, které podle autora auditu mohly pocházet z procesu výroby, současně mohly být sekundárními produkty rozkladu a vzájemných reakcí v podzemní vodě.

Z anorganických ukazatelů byly ověřeny vysoké obsahy především u amonných iontů s maximem 111 mg/l ve vrtu AT-106, v ostatních objektech od jednotek mg/l do cca 35 mg/l (AT-102, AT-104). Obsahy chloridů obvykle nepřekročily 300 mg/l , s výjimkou vrtů AT-102 (500 mg/l) a AT-106 (759 mg/l).

Z domovních studní v okolí areálu Farmaku byla ověřena kontaminace ve studni Db 1000, ležící západně od PTS (příloha č. 3). Obsah amonných iontů činil jen 0,04 mg/l, z organických látek byl zvýšený obsah TCE (41,7 µg/l) a toluenu (580 µg/l). V roce 1977 studna Db 1000 vzorkována nebyla, v blízkém vrtu P-17 situovaném v místě nynějšího vrtu P-209 byl obsah ROL 31 350 µg/l.

V níže uvedených průzkumech byly vzorkovány i stavební konstrukce. Protože část kontaminovaných objektů již byla odstraněna a část bude řešena v rámci II. etapy sanačních prací (obrázek č. 5), která je plánována od II. poloviny roku 2012, a protože předkládaná AAR hodnotí míru kontaminace především v podzemní vodě, tak se znečištěním stavebních konstrukcí nezabýváme.

Analýza rizika [4] byla vypracována firmou GHE, a.s. v květnu 2002, její doplňky pak v září 2002 a lednu 2003 [5] a [6]. V doplňku k ekologickému auditu vytipovaná potenciální ohniska kontaminace byla upřesněna na 11 ploch v areálu Farmaku, které jsou vyznačeny na obrázku č. 4. Plocha č. 1 je situována na parkovišti vně plotu ohrazujícího areál. Průzkumné práce realizované jako součást AR v únoru a březnu 2002 sestávaly z odběru vzorků půdního vzduchu z mělkých sond (118 ks), z odběru vzorků zemin (84 ks). Stanovovány byly obsahy vždy NEL, BTEX, PAU, Cl-U, chlorbenzenu, v omezeném rozsahu kyanidů a těžkých kovů a organických látek (formaldehyd, cyklohexanon, tetrahydrofuran, pyridin, kresoly, aceton). Analyzováno bylo i 8 ks stavebních konstrukcí. Bylo odebráno 64 ks vzorků podzemní vody z 50-ti stávajících a 14-ti nově vyhloubených vrtů (FAR-1 až FAR-12, R-103A a R-105A).

Z 84 vzorků zemin byly obsahy polutantů pouze ve 2 vzorcích nad kritériem C MP MŽP, a to v ukazateli PAU. Tyto výsledky vedly autora AR k závěru, že kontaminace je způsobena vysoce těkavými látkami, takže při odběru vzorků je dokumentován silný zápach, ovšem polutanty okamžitě vytékají, navíc prý zeminy nemají sorpční schopnosti, a proto nejsou v laboratoři detekovány. Proto také nebyla pro zeminy počítána zdravotní rizika. *Citované výsledky jsou v rozporu se zkušenostmi zhotovitele na lokalitě. Jak vyplývá z přílohy č. 19 a z ročních zpráv za sanaci, byly v areálu Farmaku ve vzorcích zeminy odebraných jak z nenasycené, tak i nasycené zóny zjištěny velmi vysoké koncentrace především toluenu a chlorbenzenu.* V půdním vzduchu byl dominantním polutantem TCE vázaný na plochy 11 a 6 s rozšířením k ploše 2 (situace ploch je vyznačena na obrázku č. 4). Autor AR konstatoval, že kontaminace půdního vzduchu byla v přímé souvislosti s kontaminací v podzemní vodě. Lokálně byly v půdním vzduchu zjištěny vysoké obsahy toluenu, ethylbenzenu, xylenu a sumy ropných uhlovodíků.

Bylo konstatováno, že kontaminanty jsou vázané především na podzemní vodu. Za dominantní byly vytipovány uvnitř PTS (včetně linie vrtů R-211 až R-214) benzen, toluen, VCE, DCE, TCE, PCE, chlorbenzen, amonné ionty, kresoly a NEL. Vně PTS byly dominantními VCE, amonné ionty a chlorbenzen. Z hlediska absolutních hodnot byly obsahy toluenu nad 100 000 µg/l stanoveny ve vrtech P-32, P-56, AT-107, FAR-10 s maximem ve vrtu AT-103 ve výši 722 000 µg/l. Ve vrtu AT-102, v němž bylo v roce 1997 stanoveno 92 800 µg/l toluenu, bylo ověřeno 90 400 µg/l této látky. Koncentrace benzenu byly vyšší než 100 µg/l v 6-ti vrtech (P-32, P-67, R-212, FAR-2, AT-102 a FAR-10) s maximem ve FAR-2 ve výši 1 530 µg/l. Chlorbenzen byl v koncentracích vyšších než 1 000 µg/l stanoven ve vrtech R-213, FAR-2, P-67, AT-103, AT-104, AT-107, R-215 a AT-102, v němž bylo zjištěno maximum na lokalitě – 64 800 µg/l. Obsah Cl-Eth vyšší než 1 000 µg/l byl stanoven ve vrtech P-67, AT-102, AT-103 a FAR-10 s tím, že maximum TCE bylo ověřeno ve vrtech FAR-10 a AT-103 (22 800 a 14 100 µg/l), maximum DCE ve stejných vrtech ve výši 14 800 a 13 900 µg/l a nejvyšší obsah VCE ve vrtu

AT-102 ve výši 1 660 µg/l. PCE byl přítomen pouze v nižších desítkách µg/l. Krezoly byly ověřovány ve vzorcích podzemní vody z 24 vrtů a obvykle pod mezí stanovitelnosti (která však činila 1 000 µg/l), maximum bylo zjištěno ve vrtu P-67 ve výši 2 300 µg/l. V textu AR bylo uvedeno, že v místech enormně vysokých koncentrací hodnocených kontaminantů lze předpokládat jejich výskyt i ve formě volné fáze.

Ve vzorcích podzemní vody nebyl vůbec stanovován metanol a isopropanol. Aceton byl stanoven v 25 vzorcích podzemní vody, vždy byl pod mezí stanovitelnosti (<1 000 µg/l). Ovšem přestože byl v roce 1997 ve vrtech P-32 a P-33 stanoven aceton ve stovkách tisíc µg/l, tak během analýzy rizika vůbec v těchto vrtech ověřován nebyl. Ve vrtu označeném R-46, ovšem situovaném podle mapových příloh AR v místě skutečného vrtu P-36, nebyla kontaminace vůbec přítomna. Je otázka, zda je vrt chybně vyznačen, nebo skutečně došlo k vymizení polutantů v tomto vrtu. Ve skutečném vrtu R-46, situovaném v blízkosti stávajícího vrtu SM-15 (příloha č. 4) a v současnosti již neexistujícím, bylo v roce 1977 stanoveno pouze 3 370 µg/l ROL. Daný objekt (v rámci sanace od r. 2011 označován již jako P-36) nevykazuje v letech 2006 až 2012 téměř kontaminaci, přitom se nachází v místě, kde dlouhé roky bylo volné skladování surovin na otevřené ploše. Také v rámci AR nebyl zjišťován obsah polutantů v povrchové vodě z řeky Moravy.

Na základě odhadů šíření znečištění bylo v AR [4] konstatováno, že všechny zjištěné kontaminanty tvoří kontaminační mraky, vázané na podzemní vodu. Rozměry kontaminačních mraků byly dány několika faktory, především charakterem a velikostí PTS, četností a vzdáleností ohnisek kontaminace ve výrobním areálu, skutečnou rychlostí šíření daného kontaminantu, realizovaným sanačním čerpáním, morfologií předkvartérního podloží a povodní v roce 1997, kdy došlo k nasycení celého profilu kolektoru vodou s následným odnosem kontaminace spolu s poklesem hladiny podzemní vody. Tyto faktory umožnily kontaminačním mrakům setrvávat dlouhodobě ve stabilizované formě na omezené ploše. Byl vysloven předpoklad, že setrívání kontaminačního mraku uvnitř PTS s podobným charakterem, jak byl zjištěn v rámci AR, bude trvat po dobu několika desítek let. Dále bylo konstatováno, že důležitou roli pro migraci kontaminace hraje průběh inženýrských sítí v dosahu hladiny podzemní vody, kdy zejména podél kanalizace se může dostávat kontaminant mimo areál PTS a ovlivňovat tak kvalitu podzemní vody. Podle AR je v prostoru mimo PTS a mimo linii sanačních vrtů (R-211 až R-214) zjištěná kontaminace reziduálním projevem původních kontaminačních mraků existujících v době před realizací PTS a sanačního čerpání. *Porovnáme-li koncentrace polutantů v tomto prostoru v roce 1977 a v roce 2002, lze s tímto závěrem souhlasit. Určitá výhrada může být k tvrzení, že se jedná o rezidua, protože to platí pro Cl-Eth, avšak ne pro chlorbenzen a benzen, které se mimo areál Farmaku ve směru k řece Moravě vyskytují.* Dále jsou v textu AR hodnoceny výsledky sledování kvality podzemní vody na vybraných vrtech uvnitř i vně PTS v období let 1987 až 2001, které prováděl Farmak z vlastních prostředků. Je konstatováno, že vývoj koncentrací polutantů v čase nevykazuje sestupnou tendenci, obsahy koncentrací kolísají v jednotlivých vrtech v hodnotách až několika řádů, a proto se nedá usuzovat na prokazatelné zmírnění vlivu staré ekologické zátěže na kontaminaci podzemní vody a že stav kontaminace je na lokalitě prakticky neměnný. Způsob stanovení navržených sanačních limitů v AR [4] je popsán a komentován v kapitole 2.1.3.

Výsledky laboratorních analýz vzorků vody provedené v letech 1977, 1997 a 2002 jsou u vybraných vrtů a studní uspořádány do tabulky 7 v příloze č. 19. Situace těchto objektů je vyznačena v příloze č. 3.

V rámci **předsanačního doprůzkumu v roce 2004** [23] byly provedeny následující práce:

- revize 62 stávajících vrtů,
- vyhloubení 40-ti nových vrtů SM-1 až SM-37 a SM-39 až SM-41,

- vyhloubení ventingových vrtů pro potřeby pilotního testu,
- odběr vzorků půdního vzduchu ze 40 ks atmogeochemických sond,
- odběr 33 vzorků stavebních konstrukcí – stěn a podlah budov,
- odběr 145 vzorků zeminy, a to z atmogeochemických sond (19 ks) a ze sond Z-1 až Z-42 ze 3 hloubkových úrovní,
- odběr 96 vzorků podzemní vody z nově vyhloubených a stávajících vrtů,
- čerpací zkoušky z deseti dvojic vrtů.

Podle [23] lze na lokalitě charakterizovat čtyři ohniska **kontaminace nesaturované zóny** (zeminy a půdního vzduchu) - *doslovně převzato z [23], plochy jsou vyznačeny na obrázku č. 4:*

První ohnisko (podle AR [43] plocha 1) se nachází na parkovišti před hlavní bránou, kde byly zaznamenány zvýšené koncentrace NEL, toluenu, trichlorethenu a tetrachlorethenu v půdním vzduchu a nadlimitní koncentrace chlorbenzenu a benzenu v zeminách. Rozsah kontaminace odhadujeme na prostor o rozměru 15 x 20 m v hloubkové úrovni do 2 m a 10 x 10 m na úroveň hladiny podzemní vody, tedy do hloubky cca 4 m. Celkem tedy předpokládáme cca 800 m³ kontaminované zeminy. Nadlimitní kontaminace podzemní vody v tomto prostoru dokumentována nebyla.

Druhé menší ohnisko (podle AR část plochy 4) se nachází v zatravněné ploše v. od budovy č. 11a - chemické výroby, kde byly zaznamenány zvýšené koncentrace toluenu a NEL v půdním vzduchu a nadlimitní koncentrace chlorbenzenu, krezolů a toluenu v zeminách. Rozsah kontaminace odhadujeme na ploše cca 15 x 15 m do hloubky 4 m, celkem tedy 900 m³ kontaminované zeminy.

Třetí ohnisko (podle AR plochy 6 a 11) je co do rozsahu i intenzity kontaminace nejvýznamnější. Táhne se od podzemního skladu hořlavin mezi budovami chemické výroby č. 31 a č. 32 směrem k jihu do prostoru podzemního skladu hořlavin a úložiště žíravín, přes stáčiště až za železniční vlečku. V minulosti byly v tomto prostoru ověřeny především vysoké koncentrace trichlorethenu, ojediněle pak dichlorethenu a NEL. Sanační doprůzkum potvrdil zvýšené koncentrace trichlorethenu, případně i cis-1,2-dichlorethenu, toluenu a ojediněle NEL v půdním vzduchu a nadlimitní koncentrace toluenu, benzenu, TCE, chlorbenzenu i krezolů v zeminách. Kontaminované polohy jsou soustředěny do hloubkové úrovně 2,5 – 3,5 m, tedy do zóny aerace podzemní vody (nevýznamná kontaminace vyšších poloh byla zaznamenána pouze v jedné sondě v prostoru stáčiště). Jedná se o kontaminovanou plochu o rozměrech cca 80 x 100 m, z velké části zastavěnou. Kontaminace se vyskytuje v hloubkové úrovni 2,5 – 4,0 m, což představuje cca 12 000 m³ kontaminované zeminy. Tento prostor je také s největší pravděpodobností jedním z hlavních zdrojů kontaminace podzemní vody.

Čtvrté ohnisko (podle AR plocha 10) bylo lokalizováno v prostoru větve staré chemické kanalizace, vedoucí od budovy č. 20 k budově č. 22d, procházející mezi budovami č. 21 a č. 21e. Zeminy jsou kontaminovány od úrovně 2,5 m až na hladinu podzemní vody. Délka této větve kanalizace je 80 m. Předpokládáme-li kontaminaci v šířce do 2 m po každé straně, kontaminovaná poloha je v hloubce 2,5 – 4,0 m, jedná se tedy o 480 m³ kontaminované zeminy.

Vzorkováním zemin pod objekty, v nichž byla prokázána nadlimitní kontaminace v podlahách, byla dokumentována kontaminace zemin pouze pod objektem č. 10c (podle AR součást plochy 4). Jedná se o cca 133 m³ kontaminované zeminy.

Podzemní voda je kontaminována nejen v prostoru areálu Farmaku, ale i v prostoru občanské zástavby mimo areál v z. a jz. směru. *Z výsledků analýz vzorků podzemní vody byly sestaveny*

mapy rozsahu kontaminace jednotlivých sledovaných polutantů, které jsme převzali do obrázků č. 8 až 13. Izolinie koncentrací byly v [24] vykresleny pomocí programu Surfer bez jakékoliv další úpravy, proto jsou, vzhledem k tomu, že síť vrtů nebyla pravidelná, místy „kotrbaté“, i když se jedná o kontaminaci ve spojitém prostředí - podzemní vodě. V tabulce 6 v příloze č. 19 jsou výsledky analýz vzorků podzemní vody, získané při sanačním doprůzkumu, uspořádány společně s výsledky vstupního kola monitoringu v rámci sanačních prací. Protože obsahy krezolů byly v letech 2004 i 2006 obvykle pod mezí stanovitelnosti, výjimečně v nižších stovkách $\mu\text{g/l}$, a tedy výrazně pod sanačním limitem, nejsou v tabulce uvedeny. Výjimku tvořil vrt P-32, v němž v roce 2004 byla stanovena suma krezolů ve výši 4 357 $\mu\text{g/l}$, ovšem během vstupního kola monitoringu nebyla potvrzena (393 $\mu\text{g/l}$) a během sanačních prací se pohybuje v desítkách nebo nižších stovkách $\mu\text{g/l}$. Z hlediska absolutních hodnot byly nejvyšší obsahy stanoveny u toluenu, v 6-ti vrtech nad 100 000 $\mu\text{g/l}$. Bohužel při sestavování výsledků do tabulek došlo k chybě a ve vrtu SM-18 stanovená hodnota 1 140 000 $\mu\text{g/l}$ byla uvažována jako 140 000 $\mu\text{g/l}$. Proto v rámci vyhodnocování doprůzkumu nebyla vůbec řešena existence volné fáze na hladině podzemní vody, a tomu odpovídal i návrh rozsahu sanačních prací. Druhým nejvíce zastoupeným polutantem byl chlorbenzen, který se pohyboval v desítkách tisíc $\mu\text{g/l}$ v 6-ti vrtech a ve vrtu SM-18 bylo stanoveno 898 000 $\mu\text{g/l}$. Koncentrace benzenu byly řádově nižší, obvykle v kontaminovaných vrtech ve stovkách $\mu\text{g/l}$, maximum bylo ve vrtu FAR-2 ve výši 1 530 $\mu\text{g/l}$. Ve vrtech SM-18 a VV-1 byly obsahy také nad 1 000 $\mu\text{g/l}$, z důvodu ředění vzorků nebyly výsledky přesné. Chlorované ethyleny byly v desítkách tisíc $\mu\text{g/l}$ přítomny v 5 vrtech s maximem 72 112 $\mu\text{g/l}$ ve vrtu FAR-10. Amonné ionty se v kontaminovaných vrtech pohybovaly v nižších desítkách mg/l , maximum bylo stanoveno ve vrtu FAR-2 ve výši 124 mg/l .

Z důvodu dlouhé časové prodlevy mezi posledním vzorkováním při zpracování Realizačního projektu pro zadávací dokumentaci výběrového řízení (v dubnu 2004) a předpokládaným zahájením sanačních prací (II. polovina roku 2007) bylo provedeno zhotovitelem sanace **vstupní kolo monitoringu znečištění podzemní vody** a to v období od 18. 9. 2006 do 12. 10. 2006. Celkem bylo ovzorkováno 61 vrtů, především všechny vrty, ve kterých byla v roce 2004 ověřena kontaminace podzemní vody. Vzorky vody byly odebírány v dynamickém režimu, sací koš čerpadla byl umístěn v hloubce 1,0 m nade dnem vrtu. Některé vrty, uvedené v projektu z roku 2004, nebyly nalezeny (SM-34, SM-35) nebo byly poškozeny (HV-408 a AT-105). Laboratorní analýzy byly provedeny pro všechny ukazatele, pro něž jsou stanoveny cílové limity sanace – amonné ionty, benzen, toluen, chlorbenzen, VCE, DCE, TCE, PCE a krezoly (para-, orto- a meta-). Navíc byly ve vzorcích vody stanoveny obsahy všech ostatních organických látek, které lze danou metodou analyzovat: ethylbenzen, xyleny, styren, chloroform, tetrachlormethan, 1,2-dichlorethan, 1,1,1-trichlorethan, 1,1,2-trichlorethan, 1,1,1,2-tetrachlorethan, 1,1,2,2-tetrachlorethan, 1,2-dichlorbenzen, 1,3-dichlorbenzen, 1,4-dichlorbenzen, fenol, dimethylfenoly a vyšší fenoly. Z vrtu VV-1 byl odebrán, vzhledem k výskytu volné fáze na hladině podzemní vody, její vzorek, který byl analyzován kvalitativně a kvantitativně a to na NEL, TOL a PAU. Z vrtu nebyl odebrán vzorek vody v dynamickém režimu. Obsah NEL byl také stanoven ve vrtu R-213. V 5 vrtech (AT-103, AT-107, P-32, SM-18 a SM-33) byly provedeny navíc zonální odběry vzorků podzemní vody a to z hloubky 0,5 m pod hladinou podzemní vody.

Výsledky vstupního kola monitoringu znečištění podzemní vody jsou uvedeny v tabulce 6 v příloze č. 19, ve které jsou porovnány obsahy amonných iontů, benzenu, toluenu a chlorbenzenu ověřené v letech 2004 a 2006 s cílovými limity sanace s výjimkou Cl-Eth, jež jsou uvedeny v sumě a pro ni cílový limit stanoven nebyl.

Z tabulky 6 v příloze č. 19 vyplývá, že v roce 2006 došlo k rozšíření kontaminačního mraku, navíc byla prokázána záměna vzorků podzemní vody v předchozím průzkumu (nebo vzorkovnic v laboratoři) pro toluen u R-211 a R-213 (pokud nedošlo k posunutí kontaminačního mraku).

Z hlediska jednotlivých polutantů byl v roce 2006 dokumentován u amonných iontů, ve srovnání s rokem 2004, obecně pokles jejich koncentrací, především ve vrtu FAR-2, ve kterém bylo v roce 2004 stanoveno maximum na lokalitě – 124 mg/l a ve vrtu AT-106. Naopak byl zaznamenán vysoký nárůst NH_4^+ ve vrtech SM-27 (na 31,3 mg/l) a SM-37 (na 15,9 mg/l), které jsou situovány cca 200 m od areálu závodu.

Poznámka: při průzkumných pracích pro AR [4] a sanační doprůzkum [23] došlo k záměně vrtu P-36 (v němž bylo v roce 1977 zjištěno 1 390 000 $\mu\text{g/l}$ ROL) za vrt R-46 (v němž bylo stanoveno v roce 1977 3 370 $\mu\text{g/l}$ ROL), toto chybné označení bylo převzato na začátku sanačních prací i zhotovitelem, v předkládané AAR je označení již správné, stejně tak v tabulkách výsledků analýz. Také došlo k záměně vrtů P-39, který je v areálu Farmaku a byl označen jako P-40, který ve skutečnosti leží východně od areálu. Při studiu archivních podkladů bylo dodatečně zjištěno, že vrt označený „vrt 2“ je totožný s vrtem P-29, proto je v situacích uvedeno obojí značení, v tabulkách bylo ponecháno značení „vrt 2“. Správná poloha vrtů je vyznačena v příloze č. 4.

V rámci sanačního doprůzkumu [23] byla čerpacími zkouškami ověřena těsnost PTS s tím, že ta je pro podzemní vodu v zásadě nepropustná a doposud funkční a dostatečně brání rozšiřování kontaminace severním směrem. Z čerpacích zkoušek byl stanoven dosah depresních kuželů ve vrtech SM-18 a SM-5 (v realizačním projektu navržen na zásak), jak vyplývá z tabulky 16.

Tabulka 16: Účinný dosah vrtů ověřený při sanačním doprůzkumu v roce 2004

Objekt	Čerpané množství vody (l/s)	Dosah čerpání podzemní vody (m)
SM-5	2,4	180
SM-18	2,2	80 až 100

S cílem ověřit účinnost ventingu jako jedné z možných sanačních metod byla provedena firmou TALPA – RPF, s.r.o. v květnu až červnu 2004 **ventingová zkouška** [24] v prostoru stávajících ventingových větví č. 1 a 2 (příloha č. 6). Odsáváno bylo 9 úzkoprofilových sond a nově vyhloubený vrt VV-1. Podle závěrů zkoušky bylo jednoznačně prokázáno, že vlivem odsávání půdního vzduchu dochází k rychlejšímu vytékávání škodlivin z půdního prostředí a nepochybně i z podzemní vody s tím, že je vhodné použít v dané lokalitě venting. Jak se později ukázalo, byla během této zkoušky do vrtu „přitažena“ volná fáze toluenu, která rozpustila asfaltový obal nádrží umístěných v objektu č. 32a, takže fáze měla vzhled černé husté kapaliny (v roce 2007 došlo k poškození vrtu při odtěžování nádrží objektu č. 32a). Výsledky zkoušky tedy byly zkresleny přítomností volné fáze kontaminantů na hladině podzemní vody.

Na základě výsledků sanačního doprůzkumu byl zpracován firmou TALPA – RPF, s.r.o. **realizační projekt sanace** [25] a jeho doplněk [26], který byl pro zhotovitele závazný.

Podle realizačního projektu [25] měla být sanace nesaturované zóny i podzemní vody prováděna současně. Během přípravných prací však bylo rozhodnuto rozdělit sanační práce na 2 etapy s tím, že do I. etapy byla zahrnuta sanace podzemní vody a z nesaturované zóny jen sanace třetího a čtvrtého ohniska kontaminace. Plochy nesaturované zóny, které budou odtěženy až v rámci II. etapy sanačních prací (do současnosti nebyla zahájena, plánováno je zahájení prací v listopadu 2012), jsou vyznačeny na obrázku č. 5.

Průzkumy realizované pro JÚ Černovír

Z průzkumů, zabývajících se JÚ Černovír, je důležitý hydrogeologický průzkum realizovaný v roce 1983 [28], při kterém bylo vyhloubeno 23 hydrogeologických vrtů (HV-101 až HV-114, HV-116 až HV-124) podél železničních tratí Olomouc – Česká Třebová a Olomouc – Uničov pro účely preventivní ochrany mělké podzemní vody před kontaminací ropnými látkami případně jinými toxickými látkami přepravovanými železnicí. Byly provedeny čerpací zkoušky, které stanovily součinitel hydraulické vodivosti v rozmezí $1,6$ až $1,9 \times 10^{-3}$ m/s. Podle vykreslených hydroizohyps přitékala mělká podzemní voda k jímacímu území ze všech stran, rozvodnice se vytvořila, při vodárenském odběru 200 l/s, na poloviční vzdálenosti mezi studnami v JÚ a Farmakem. Vzorkování podzemní vody neprokázalo kontaminaci ropnými látkami.

Součástí zpracování podkladů pro stanovení ochranných pásem JÚ [27] byla i mapa hydroizohyps z června 198/3, kterou jsme převzali do AAR (obrázek č. 7), která rovněž dokládá vytvoření rozvodnice při vodárenském odběru 200 l/s a při neexistenci PTS sv. od areálu Farmaku.

V roce 2008 byl v rámci revize ochranných pásem JÚ Černovír, Chomoutov, Moravská Huzová a Štěpánov [30] zpracován matematický model. Podle modelu v případě, že by bylo jímáno ze všech lokalit celkem 300 l/s, z toho z JÚ Černovír 190 l/s, nebylo by v provozu sanační čerpání v areálu Farmaku a podzemní těsnicí stěna by byla nefunkční, tak by došlo ke změně ve směru proudění podzemní vody z prostoru areálu Farmaku k SV k JÚ. Zóna 50-ti denního zdržení by dosáhla do vzdálenosti 160 m od čerpaných vrtů.

Průběžně je v okolí jímacího území sledována kvalita podzemní vody a úroveň její hladiny v tzv. účelové pozorovací síti JÚ Černovír. Do roku 2009 práce zajišťovala firma Hydrogeologie, s.r.o. [20], od roku 2010 firma Lidařík, s.r.o. V rámci monitoringu byly v roce 2009 ve vybraných 25-ti vrtech změřeny úrovně hladiny podzemní vody a odebrány vzorky podzemní vody na vybrané anorganické ukazatele. Z námi sledovaných polutantů je stanovován pouze obsah amonných iontů, ne však ve všech vrtech. Organické látky ve vzorcích vody sledovány nejsou. V roce 2009 byla dokumentována z předchozích let opakující se kontaminace podzemní vody v jímacím území sírany (5 vzorků), a vysoké obsahy manganu a železa. Dříve indikované znečištění amonnými ionty se neprokázalo. Rozbory vody z jednotlivých studní (násoskových nebo sběrných) v jímacím území v rozsahu vyhlášky č. 252/2004 Sb., ve znění pozdějších předpisů, se neprovádí. Analyzuje se směsná voda z několika jímacích území. Provozovatelem JÚ byly tyto analýzy poskytnuty, ovšem pro náš účel nemají žádnou vypovídací hodnotu.

Z výše uvedených průzkumů vyplývá, že masivní kontaminace se v době před vybudováním PTS šířila především ve směru proudění podzemní vody k řece Moravě, kdy i v prostoru domovních studní byly v roce 1977 zjištěny koncentrace rozpuštěných organických látek ve stovkách tisíc $\mu\text{g/l}$ (tabulka 7 v příloze č. 19). Naproti tomu směrem k JÚ Černovír nebyly takovéto obsahy vůbec zjištěny. Koncentrace ROL stanovené při opakovaných analýzách laboratoří Geotestu Brno [19] byly nulové (vrty P-3, P-11, P-12, P-21, P-40, P-41, P-60, P-61, R-47, R-54, R-55) nebo stopové (R-52). Což se liší od výsledků současně provedených analýz v laboratoří Farmakonu, při kterých byl stanovován toluen a aceton. Aceton byl vždy nulový, toluen byl ve vrtech P-3, P-12, P-21, P-40, R-52, P-60, P-61 v nižších stovkách tisíc, maximum bylo zjištěno ve vrtu P-12 (700 $\mu\text{g/l}$). Jednalo se o prostor mezi východní a severní hranicí areálu Farmaku a železniční tratí Olomouc – Česká Třebová (příloha č. 3).

2.1.2 Přehled zdrojů znečištění

Podle AR [4] byly maximální obsahy jednotlivých polutantů do té doby vázány na „primární ohniska kontaminace“, i když byl zřetelný posun vysokých koncentrací mimo tato ohniska. Za primární ohniska kontaminace, která do té doby ovlivňovala šíření kontaminace do prostoru, byla považována:

- plocha 11 – stáčiště u FAR-10,
- plocha 4 – volné skladování a přečerpávání nebezpečných látek,
- plocha 10 – stará chemická kanalizace v místě jejího vyústění z výroby v objektu č. 13, který není v současnosti využíván, výroba byla v minulosti ukončena.

Výše zmíněné plochy jsou vyznačeny na obrázku č. 4.

Podle závěrů sanačního průzkumu [23] byla podzemní voda kontaminována nejen v prostoru areálu Farmaku, ale i v prostoru občanské zástavby mimo areál. Nadlimitních koncentrací dosahovaly všechny sledované škodliviny, rozsah kontaminačních mraků pro různé polutanty byl odlišný. Prostorově nejrozsáhlejší byla dokumentována kontaminace podzemní vody chlorbenzenem. Přibližný rozsah kontaminačního mraku chlorbenzenu byl odhadnut na cca 150 000 m². Celkové množství kontaminovaných vod nad sanační limit alespoň jedním kontaminantem v zájmovém prostoru bylo odhadnuto na cca 52 500 m³. Nejvýrazněji přesahují sanační limit koncentrace chlorbenzenu (více jak 5 000x) a toluenu (více jak 500x). Primární ohniska uvedená v AR (viz výše) byla ověřena průzkumnými pracemi. Pro I. etapu sanačních prací bylo pro plochu 11 navrženo odstranění ohniska ventingem (je realizováno). Plocha 4 (druhé ohnisko) a plocha 1 (první ohnisko podle [23]) byly přesunuty do II. etapy sanačních prací. Pro odtěžení staré chemické kanalizace byla navržena pouze její koncová část u objektu č. 21, což bylo v rámci I. etapy sanačních prací realizováno.

V projektu sanačních prací II. etapy je navržena částečná demolice a obnovení podlah v objektech č. 21, 25, 30a, 30c. Sanační zásah kompletní demolicí stavby je navržen u objektů č. 10c, 11a, 14, 14a, 15b, 22f. Odtěžba kontaminovaných zemin je navržena ve 4 lokalitách (parkoviště, plocha u objektu č. 11a, podloží pod objektem č. 10c, podloží pod objektem č. 11a). Situování těchto lokalit je vyznačeno na obrázku č. 5. Lze předpokládat ještě kontaminaci pod podlahou objektů č. 14, 14a, 15b, což bude v rámci sanačních prací ověřeno vzorkováním zemin po demolici podlah v jednotlivých objektech.

2.1.3 Vytipování látek potenciálního zájmu a dalších rizikových faktorů

V rámci analýzy rizik [4] byly provedeny průzkumné práce zahrnující vrtné, vzorkovací a analytické práce jak v nesaturované, tak i satureované zóně. Získané výsledky laboratorních analýz byly použity při hodnocení rizik. Jako prioritní škodliviny v podzemní vodě byly vytipovány VCE, 1,2-cis-DCE, TCE, PCE, benzen, toluen, chlorbenzen, krezoly a NH₄⁺.

Fyzikálně–chemické vlastnosti těch látek, které byly hodnoceny v rámci předkládané AAR (**benzen, toluen, chlorbenzen, metanol, isopropanol, VCE, 1,2-cis-DCE, NH₄⁺, aceton, psychofarmaka**) jsou uvedeny v kapitole 3.1.1. V tabulce 17 uvádíme jejich základní fyzikálně–chemické vlastnosti. Rozšíření původní škály polutantů o metanol, isopropanol, aceton a 8 psychofarmak vyplynulo z nově zjištěných skutečností, které byly ověřeny při sanačních pracích.

Obsahy polutantů, pro které byla počítána rizika v rámci AR v roce [4], jsou uvedeny v příloze č. 26. Koncentrace použité pro výpočet rizik v předkládané AAR jsou uvedeny v kapitole 3.2.1 v tabulce 39. Vymezení plošného rozsahu znečištění podzemní vody, vyžadující podle výsledků sanačního doprůzkumu z roku 2004 sanaci, je graficky znázorněno na obrázcích č. 8 až 13. Z hlediska znečištění saturované zóny by podle [25] sanační zásah zahrnul v areálu Farmaku a nejbližším okolí cca 60 % plochy. Hmotnostní bilance kontaminantů z roku 2004 jsou uvedeny v kapitole 2.2.2.

Tabulka 17: Fyzikální a chemické vlastnosti hodnocených látek

Látka	Molekulová hmotnost	Hustota	Rozpustnost	Tlak par	Henryho konstanta	log K _{ow}	log K _{oc}
	g/mol	g/cm ³	mg/l	kPa	atm.m ³ /mol	-	-
benzen	78,11	0,8765	1 790	11,60	$5,55 \times 10^{-3}$	2,13	1,85
toluen	92,14	0,8623	536	3,16	$6,64 \times 10^{-3}$	2,73	2,37
chlorbenzen	112,56	1,1058	498	1,24	$3,11 \times 10^{-3}$	2,84	2,46
vinylchlorid	62,50	0,9106	8 800	362,64	$2,78 \times 10^{-2}$	1,62	1,41
cis-1,2-DCE	96,94	1,2837	6 410	33,86	$4,08 \times 10^{-3}$	1,86	1,81
metanol	32,04	0,7914	1 000 000	15,87	$4,55 \times 10^{-6}$	-0,77	0,09
isopropanol	60,10	0,7809	1 000 000	6,61	$8,10 \times 10^{-6}$	0,05	0,54
amoniak	17,03	0,6960	899 000	$2,21 \times 10^{-8}$	$1,61 \times 10^{-5}$	-4,37	-3,79
amonný kationt	18,04	-	10 200	$2,21 \times 10^{-14}$	$3,88 \times 10^{-13}$	-4,37	-
aceton	58,08	0,7845	1 000 000	33,20	$3,50 \times 10^{-5}$	-0,24	0,99
psychofarmaka*							
chlorprothixen báze	315,86	-	0,295	$1,40 \times 10^{-7}$	$2,50 \times 10^{-9}$	5,18	3,73
thiepinon	226,29	-	0,787	$7,47 \times 10^{-7}$	$2,07 \times 10^{-8}$	4,10	3,39
prothiaden hydrochlorid	331,90	1,1240	-	-	-	-	-
amitriptylin hydrochlorid	313,86	-	10,840	$1,15 \times 10^{-12}$	$4,33 \times 10^{-15}$	2,18	2,07

Zdroj: databáze U.S. EPA z listopadu 2011 ([http://www.epa.gov/reg3hscd/risk/human/rb-concentration-table/Generic Tables](http://www.epa.gov/reg3hscd/risk/human/rb-concentration-table/Generic%20Tables)), EPI SuiteTM, bezpečnostní list Farmaku báze chlorprothixenia, thiepinonu, chloridu dosulepinia (prothiaden hydrochlorid), bezpečnostní list SIGMA – ALDRICH amitriptylinu hydrochloridu

Vysvětlivky:

K_{ow} distribuční koeficient oktanol / voda

K_{oc} distribuční koeficient oktanol / organický uhlík

* - laboratorními analýzami byly ověřovány obsahy těchto psychofarmak: chlorprothixen báze, thiepinon, citronan butamirátu, karbinol melitracenu, karbinol prothiadenu, 2-chlorthioxan-thon, prothiaden hydrochlorid, karbinol isokumaronu, suma amitriptylin hydrochlorid a karbinol amitriptylinu hydrochlorid, fyzikální a chemické vlastnosti výše jmenovaných psychofarmak jsou v uvedených zdrojích dostupné omezeně, jen pro některé zástupce

Složitost problematiky vytipování látek potenciálního zájmu dokresluje skutečnost, že ve vzorku vody z vrtu AT-106 odebraného dne 2. 5. 2010 byla provedena kvalitativní analýza a stanoven obsah NEL. Vzorek vody z tohoto vrtu byl vybrán, protože u něho byla kvalitativní analýzou nalezena nejpočetnější a nejvýraznější skupina píků jiných než BTEX a Cl-U. Seznam nejvýraznějších látek identifikovaných z velkého počtu všech přítomných látek ve vzorku vody metodou GC/MS je následující: **ethylisopropyl ether, resp. sec-butylethyl ether, methylpenten, buten, isopentylalkohol, cyklohexylmethan, dimethylhexan, dimethylcyklo-**

propan, dimethylcyklohexan, ethylmethylbenzen, benzylchlorid, dichlorotoluen. Většinu těchto látek by bylo možno stanovit jako souhrnný ukazatel NEL. Pro tyto látky chybí v literatuře parametry pro kvantifikaci rizika a jednotlivě nebyly kvantitativně stanoveny. Proto nejsou do hodnocení rizik zahrnuty. Ze stávajících analýz NEL vyplývá, že obsahy těchto látek nejsou vyšší než koncentrace stávajících polutantů.

Rizikové faktory, které mohou negativně ovlivňovat okolí kontaminovaného území jinak než expozicí chemické látky (např. prašnost, eroze v důsledku kontaminace) nebyly při realizaci sanačních prací zaznamenány. Z přirozených faktorů, které mohou vyvolat vznik nových cest šíření kontaminace lze okrajově uvažovat o změnách proudění podzemní vody vyvolaných provozem vodních děl. Jak je uvedeno v kapitole 1.1.2, je v obytné zóně jz. od Farmaku řada domovních studní. Celkový povolený průměrný odběr ze všech studní v zájmovém území činí 9,27 l/s. Ovšem toto množství nebude čerpáno trvale, navíc studny jsou ve směru přirozeného proudění podzemní vody, takže případné rozvlečení zbytkové kontaminace jiným směrem vylučujeme.

2.1.4 Předběžný koncepční model znečištění

Protože předkládaná zpráva je aktualizací původní analýzy rizik, chápeme jako předběžný koncepční model expoziční scénáře, které byly kvantifikovány pro posouzení rizik z hlediska možných dopadů na lidské zdraví v analýze rizik z roku 2002. Tyto jsou uvedeny v tabulce 18. V citované AR [4] nebyla rizika počítána pro amonné ionty, scénáře se tedy týkají pouze organických polutantů.

Tabulka 18: Přehled expozičních scénářů hodnocených v AR [4], tj. úvodní koncepční model

Číslo	Expoziční scénář (příjemce rizik)	Expozice	Expoziční cesty
1	pracovník provádějící výkopové stavební a sanační práce v prostoru areálu závodu (on-site)	podzemní voda, prach ovzduší	orální expozice z podzemní vody orální expozice z prachu inhalační expozice z látek těkajících do ovzduší
2	obyvatelé obytné zóny v prostoru ulic Jablonského a Lamblovy a zahrádkáři	užitková voda	nahodilá orální expozice
3	obyvatelé obytné zóny v prostoru ulic Jablonského a Lamblovy a zahrádkáři	pitná voda	orální expozice
4	podzemní voda uvnitř CHOPAV s návazností na JÚ Černovír	pitná voda	orální expozice

Výše uvedené scénáře 2 a 3 byly uvažovány pouze v případě, že dojde k zastavení sanačního čerpání z vrtů na výstupu kontaminovaných podzemních vod z prostoru PTS. Pro scénář č. 4 byl vysloven předpoklad, že v případě, že by časem PTS přestala plnit svou funkci (životnost PTS se uvažuje v desítkách let), nelze vyloučit, že by došlo k ohrožení kvality podzemní vody přítokem kontaminace do depresního kužele jímacích objektů. Dále bylo v AR [4] konstatováno, že není možno věrohodně doložit, jaké koncentrace a v jakém čase mohou ovlivnit kvalitu podzemní vody v JÚ Černovír při nefunkčnosti PTS, že nelze vyloučit, že by došlo ke zhoršení kvality podzemní vody a že to samo o sobě představuje potenciální rizikový faktor ohrožení vodního zdroje pro Olomoucko. Rizika pro tento scénář počítána nebyla.

Výsledná nekarcinogenní rizika (vyjádřená indexem nebezpečnosti HI) a karcinogenní rizika jednotlivých expozičních scénářů jsou uvedena v příloze č. 26. Pro scénář č. 1 byla míra nekarcinogenního rizika překročena pro inhalační expozici a orální příjem ($HI = 3,6$). Pro scénář č. 2 rizika překročena nebyla a pro scénář č. 3 byla překročena jak nekarcinogenní rizika ($HI = 9,1$), tak i karcinogenní riziko ($ELCR = 1,7 \times 10^{-5}$). Z důvodu neexistence referenčních dávek pro VCE, amonné ionty a NEL nebylo možné vyhodnotit rizika plynoucí z expozice těmito látkami.

2.2 SANAČNÍ PRÁCE REALIZOVANÉ ZHOTOVITELEM

V současné době se k řešení znečištění na posuzovaném území vztahuje platné Rozhodnutí ČIŽP OI Olomouc č. j. 08/OV/03761/03/Sn ze dne 2. 5. 2003. Podle zadávacích podmínek zpracovaných objednatelem pro výběrové řízení na sanaci ze dne 7. 2. 2005 je zhotovitelem realizována I. etapa sanačních prací.

Protože se v předkládané AAR zabýváme revizí limitů pro podzemní vodu a půdní vzduch, neuvádíme přehled prací, které se týkaly sanace kontaminovaných stavebních objektů a sanace nesaturované zóny odtěžbou a které již byly provedeny. Tyto práce jsou podrobně popsány v příslušných ročních zprávách za sanaci [14] a [15], cílové limity pro stavební konstrukce a pro zeminy byly dosaženy. Průběh sanačních prací byl dokumentován a vyhodnocován v ročních zprávách, na které tímto odkazujeme. Níže uvádíme přehled sanačních prací prováděných v nesaturované zóně ventingem a v saturované zóně čerpáním kontaminované podzemní vody a aplikací Fentonova činidla.

2.2.1 Přehled sanačních prací

Sanace nesaturované zóny horninového prostředí ventingem

Kontaminované polohy zemin nesaturované zóny v plochách 6 a 11 (podle AR) - úložiště a stáčiště hořlavin a žiravin - je vzhledem k velké zastavěnosti ploch sanováno pomocí ventingu. Rozsah ploch byl odhadnut v závěrečné zprávě za sanační doprůzkum na 8 000 m². Sanace pomocí ventingu probíhá společně se sanačním čerpáním a byla zahájena po odtěžení nádrží v objektu č. 32a. Od dubna do července 2008 byl doplněn počet ventingových vrtů na 48 (vrty jsou ukončeny v hloubce 3,8 m p.t.) a byla instalována sanační technologie. Venting je rozdělen do 3 větví, situování vrtů a dekontaminačních jednotek je zobrazeno v příloze č. 6. Postupně byl od 15. 7. 2007 zahájen zkušební provoz na jednotlivých ventingových větvích. Základní údaje o provozu ventingu jsou uvedeny v tabulce 19. Počet zapojených vrtů a množství odsávaného vzduchu z každého vrtu je měněno průběžně na základě koncentrací polutantů ve vzorcích vzdušnin.

Tabulka 19: Základní údaje o ventingu k 29. 2. 2012

Větev č.	Počet vrtů zapojených do větve	Zkušební provoz	Plný provoz
1	17	15.7.2007 - 14.9.2007	15.9.2007 - 15.10.2010
2	22	26.9.2007 - 28.11.2007	29.11.2007 - 15.10.2010
3	9	3.10.2007 - 2.12.2007	3.12.2007 - 3.8.2009, 20.5.2010 - 15.10.2010

Poznámka: Dne 15. 10. 2010 byl venting ve všech větvích přerušen, neboť obsahy polutantů byly dlouhodobě velmi nízké, pravděpodobně z důvodu vysoké úrovně hladiny podzemní vody. Plánováno je opětovné zapojení jako součást prací v rámci dodatečných prací, tedy při aplikaci Fentonova činidla od května 2012.

V tabulce 20 je uvedeno množství odčerpaného půdního vzduchu z jednotlivých větví. Nejvíce vzduchu bylo odsáváno z větve č. 1, neboť je v prostoru s nejvyšší kontaminací a v místě, kde se vyskytuje volná fáze polutantů. Ve větvi č. 3 obsahy kontaminantů relativně rychle poklesly, proto bylo čerpání na dobu cca 10 měsíců vypnuto, poté bylo odsávání omezeno na 3 vrty.

Tabulka 20: Přehled odčerpaného množství půdního vzduchu v m³ - k 29. 2. 2012

Období	Objekt – venting			Celkem za období
	větev č. 1	větev č. 2	větev č. 3	
	odčerpané množství půdního vzduchu (m³)			m³
rok 2007 (od 15.7.2007)	169 701,0	25 157,0	22 768,0	217 626,0
rok 2008	2 053 829,8	1 002 213,6	880 265,5	3 936 308,9
rok 2009	2 344 317,6	1 190 426,6	543 715,5	4 078 459,7
rok 2010 (do 15.10.2010)	2 142 983,0	924 847,0	458 177,0	3 526 007,0
rok 2011	0,0	0,0	0,0	0,0
rok 2012 (do 29.2.2012)	0,0	0,0	0,0	0,0
celkem	6 710 831,4	3 142 644,2	1 904 926,0	11 758 401,6

Sanace saturované zóny čerpáním kontaminované podzemní vody

Sanace kontaminované podzemní vody je realizována metodou sanačního čerpání vrtů s následnou dekontaminací vody ve stripovacích jednotkách a filtrech s aktivním uhlím. Odloučené škodliviny ve vzduchu ze stripovací kolony jsou zachycovány na filtrech z aktivního uhlí. Původně projektovaná technologie nitrifikace a denitrifikace podzemní vody nebyla, vzhledem k velkému mikrobiálnímu oživení čerpané vody, funkční a byla zrušena. Význam čerpání je především v jímání značného množství kontaminované podzemní vody, zamezení šíření kontaminace mimo prostor areálu, obnažení větší části zvodně v prostoru realizace ventingu, což vede k efektivnějšímu jímání vytěkaných škodlivin nad hladinou podzemní vody. Pro sanační čerpání podzemní vody jsou použity stávající vrty na lokalitě, od roku 2009 doplněné 4 novými vrty (SM-42 až SM-45). Sanační čerpání je rozděleno do 3 stanic. Vyčištěná voda je částečně vypouštěna do řeky Moravy (v množství max. 5 l/s), částečně zpětně zasakována do horninového prostředí. Přehled všech vrtů, které byly během sanace zapojeny do čerpání nebo zasakování je uveden v tabulce 21, jejich situace je vyznačena v příloze č. 5.

Tabulka 21: Přehled všech čerpaných a zasakovaných vrtů v průběhu sanace (do 29. 2. 2012)

San. stanice	Čerpané vrty	Ø množ. čerpané vody* (l/s)	Zasakované vrty
1	AT-103, AT-107, FAR-2, FAR-10, SM-11, SM-18, SM-43, SM-44, SM-45	2,4/3,0	FAR-12, P-39, R-215, SM-13, SM-14, SM-8, SM-10
2	AT-106, P-32, P-56, R-212, R-213, SM-9	1,7/2,0	P-33, R-50, R-211, R-212, R-213, SM-1, SM-2, SM-3, SM-4, SM-31,
3	AT-104, SM-42, VV-1	0,8/1,0	AT-104, SM-15, SM-16, SM-17

* - Ø množství vztažené k celé době sanačního čerpání (od 9. 7. 2007 do 29. 2. 2012) / Ø množství vztažené k době, kdy byla daná stanice v provozu

Podrobné údaje o době zapojení jednotlivých vrtů do čerpání nebo zásaku včetně množství vody je uvedeno v tabulkách 1 až 8 v příloze č. 31. Zkušební provoz sanačních stanic č. 1 a 2 byl zahájen dne 9. 7. 2007, plný provoz probíhá od 9. 9. 2007 dosud. Zkušební provoz sanační

stanice č. 3 byl zahájen dne 15. 8. 2007, plný provoz probíhal od 15. 10. 2007 do 22. 12. 2011. Provoz sanačního čerpání je přerušován pouze krátkodobě z důvodů údržby nebo při odstávce výroby ve Farmaku. Výjimkou bylo půlroční přerušení ve 2 stanicích v roce 2011 z důvodu hloubení nových vrtů v okolí objektu č. 31 (viz níže).

Jednotlivé čerpané vrty jsou do systému zapojovány, případně odpojovány podle aktuálních koncentrací polutantů, např. vrt AT-104 byl ze systému vypnut v prosinci 2007, neboť v něm byly dosaženy cílové limity a od té doby je využit jako zasakovací. Projektováno bylo čerpání cca 7,3 l/s kontaminované vody. Jak vyplývá z tabulky 21, činí od doby zahájení sanace do 29. 2. 2012 průměrné čerpané množství 6,0 l/s (vztaženo k době, kdy byly sanační stanice v provozu), resp. 4,9 l/s (vztaženo k celé době sanace od července 2007 do února 2012). Nižší objem čerpané vody je způsoben nižší hltností zasakovaných vrtů z důvodu zanášení výstroje vrtů biomasou. Navíc vrty SM-34 a SM-35, situované mimo areál Farmaku, které měly být pro zásak použity, byly mezitím zlikvidovány. Navíc začátkem roku 2009 poklesla kontaminace v některých sanačních vrtech, případně byly poškozeny, proto byly odpojeny ze systému a do doby, než byly zkolaudovány další vrty jako vodní díla, bylo jímáno nižší množství vody. V tabulce 22 je uveden přehled odčerpaného množství vody od zahájení sanace k 29. 2. 2012.

Do celkové bilance odčerpaného množství kontaminované vody a následně do bilancí polutantů je zahrnuto i ochranné sanační čerpání provozované Farmakem z vrtů R-217 a R-218 pro účely doplňování chladicí vody (podrobně je ochranné sanační čerpání před rokem 2007 popsáno v kapitole 2.1.1). Ke dni 29. 2. 2012 bylo takto odčerpáno 210 673 m³ vody.

Tabulka 22: Přehled odčerpaného množství podzemní vody v m³ - k 29. 2. 2012

Období	Objekt			Celkem za období
	san. stanice č. 1	san. stanice č. 2	san. stanice č. 3	
	odčerpané množství podzemní vody (m³)			m³
rok 2007 (od 9.7.2007)	17 316,0	21 457,0	10 957,0	49 730,0
rok 2008	106 206,0	82 983,0	26 066,0	215 255,0
rok 2009	82 264,0	80 019,0	28 336,0	190 619,0
rok 2010	89 565,0	38 815,0	28 681,0	157 061,0
rok 2011	48 121,0	39 075,0	10 268,0	97 464,0
rok 2012 (do 29.2.2012)	9 609,0	7 399,0	0,0	17 008,0
celkem	353 081,0	269 748,0	104 308,0	727 137,0

Čerpání vrtů AT-104, SM-42 a VV-1, tedy objektů do sanační stanice č. 3, bylo vždy kontinuální. Čerpání z vrtů zapojených do sanačních stanic č. 2 a 3 je přerušované podle kapacity dekontaminačních jednotek. Takový způsob sanace bývá používán na některých lokalitách s cílem promývat rozhraní saturované a nesaturované zóny. Na lokalitě Farmaku však vliv intervalového čerpání na účinnost sanace nebyl prokázán. Podrobné parametry sanačně čerpaných a zasakovaných vrtů jsou uvedeny v tabulkách 9 až 11 v příloze č. 31.

Sanace saturované zóny aplikací Fentonova činidla

Aplikace Fentonova činidla je prováděna v rozsahu realizačního projektu akce „FARMAK, a.s. - dodatečné služby“ [18b], který byl schválen dne 7. 6. 2011. Vlastní zasakování Fentonova činidla bylo zahájeno dne 25. 10. 2011. Do vrtů je gravitačně zasakován 7,5% roztok peroxidu vodíku.

Do 29. 2. 2012 bylo Fentonovo činidlo zasakováno v rámci I. etapy jednorázové aplikace do 6 vrtů (AT-103, AT-106, AT-107, SM-9, VV-1 a P-56). Dále bylo realizováno ověření současného zasakování Fentonova činidla do více vrtů, které bude v plném rozsahu prováděno ve 4 tzv. „ohniscích“, tj. v prostoru kolem vrtů P-32, FAR-2, FAR-10 a SM-18. Fentonovo činidlo bylo dosud zasakováno do 20 vrtů (FAR-2, SM-51, SM-52, SM-53, SM-54, SM-55, FAR-10, SM-56, SM-57, SM-58, SM-59, SM-60, SM-61, SM-62, SM-64, SM-65, SM-66, SM-68, SM-70 a SMS-8). Celkem bylo do výše uvedených vrtů aplikováno 3 737 kg 100% peroxidu vodíku. Od ledna 2012 byly práce přerušeny z důvodu nízkých teplot a v plné aplikaci je pokračováno od března 2012. Protože z plánovaného množství 54 444 kg 100% peroxidu vodíku bylo zasáknuto cca 7 %, není pro podrobné hodnocení dostatek dat. Pouze lze konstatovat, že ve vrtech, do nichž bylo Fentonovo činidlo aplikováno, byl obecně zaznamenán pokles obsahu polutantů, především toluenu. Nárůst látek, které by mohly být produkty oxidace a rozpadu (acetofenon, benzaldehyd, brommethan, ethylester kyseliny octové, chlorethan, chlormethan, isobenzofuranon, kyselina benzoová) nebyl prokázán. Podrobně bude účinnost této sanační technologie hodnocena ve zprávách pro kontrolní dny.

2.2.2 Bilance odstraněných polutantů

Bilance polutantů vypočtená před zahájením sanačních prací

V AR [4] je uveden odhad odstraněných polutantů při ochranném sanačním čerpání podzemní vody v letech 1996 až 2001 výpočtem z čerpaných množství (průměr za toto období byl 6,4 l/s) a koncentrací polutantů. Celkem bylo odstraněno cca 48 tun nebezpečných látek, z toho hlavní podíl tvořil toluen (40 229 kg) a Cl-Eth (4 008 kg). Množství vyšší než 1 tuna bylo odstraněno ještě u chlorbenzenu (1 349 kg) a xylenu (1 078 kg). Benzenu bylo odstraněno 224 kg. Za celou dobu sanace od roku 1986 do roku 2001 lze uvažovat až se 120 tunami. Množství kontaminantů, které bylo z lokality odstraněno migrací podzemní vodou před vybudováním PTS, lze odhadnout na minimálně stejnou tonáž, tedy celkem 240 t. Tato tvrzení však nejsou nijak podložena. V Doplnku č. 1 k AR [5] je uvedeno: „Archivní data o kubaturách a pohybu používaných chemikálií ve výrobě byla zničena při povodních v červenci 1997. Velmi hrubě a s velkou nepřesností lze podle ústních podání usuzovat, že po dobu existence chemické výroby v prostoru areálu Farmaku, tj. od roku 1934 byl do geoprostředí vypuštěn (utracen) cca 10-ti násobek vyčíslených kubatur sledovaných polutantů, tj. celkem 480 tun kontaminantů“.

Výpočet množství polutantů v saturované zóně byl proveden v Doplnku č. 1 k Realizačním projektu firmou TALPA - RPF, s.r.o. [26] a je uveden v tabulce 24. Při bilancování kontaminujících látek v podzemní vodě autorka Doplnku vycházela z map rozsahu kontaminace podzemních vod, uvedených v [25] a předpokládala průměrnou mocnost zvodně 3,5 m a efektivní pórovitost 10 %.

Bilance polutantů odstraněných během sanačních prací v letech 2007 až 2012

Množství odtěžených polutantů při odsávání půdního vzduchu (ventingu) a při odčerpávání kontaminované podzemní vody v jednotlivých měsících je počítáno z odčerpaného množství médií a laboratorně stanovených koncentrací Cl-U. Množství odtěžených polutantů v podzemní vodě je sníženo o tu jejich část, která je obsažena ve vyčištěné vodě zpětně zasakované do horninového prostředí. Od zahájení sanace bylo z jednotlivých polutantů nejvíce odstraněno toluenu - celkem 16 759 kg (1 144 kg volné fáze a 15 615 ze sanace podzemní vody a půdního vzduchu), jak vyplývá z tabulky 23.

Tabulka 23: Přehled množství odtěžených polutantů k 29. 2. 2012

Polutant/ období	Volná fáze toluenu* (kg)	Benzen (kg)	Toluen (kg)	Chlor- benzen (kg)	Cl-Eth (kg)	Krezoly (kg)	NH ₄ ⁺ (kg)	NEL (kg)
XII / 2006	-	0,39	9,47	17,27	1,74	0,15	45,10	-
rok 2007	399,25	9,83	1 776,51	564,39	139,90	6,69	906,93	32,48
rok 2008	323,46	73,34	5 154,07	848,84	646,40	20,43	1 595,66	987,67
rok 2009	97,38	40,84	1 864,57	510,92	463,21	14,72	1 142,67	110,67
rok 2010	323,63	19,83	4 541,82	897,91	367,01	20,56	654,72	95,82
rok 2011	0,00	8,53	1 774,79	431,08	160,31	5,63	537,68	-
I - II / 2012	0,00	2,34	349,70	91,18	11,28	1,71	122,00	-
terénní zk. STP	-	-	49,60	31,70	-	-	-	-
aplikace FČ	-	-	94,79	71,06	-	-	-	-
Celkem	1 143,72	155,10	15 615,32	3 464,35	1 789,85	69,89	5 004,76	1 226,64

Vysvětlivky: * - hustota toluenu je 870 kg/m³

Do množství odstraněných polutantů jsou započítány i toluen (49,6 kg) a chlorbenzen (31,7 kg) odstraněné při aplikaci Fentonova činidla během terénní zkoušky STP a během poloprovozní aplikace v rámci dodatečných prací z října až prosince 2011. Do bilance nejsou zahrnuty další organické látky, jako třeba aceton, metanol nebo isopropanol, které jsou prokazatelně v podzemní vodě přítomny, nebyly však během sanace analyticky stanovovány. Jejich analýzy byly zahájeny v omezeném počtu až v rámci aplikace Fentonova činidla a ve vybraných vrtech pro potřeby předkládané AAR (viz kapitola 2.3.1).

Porovnáme-li množství odtěžených organických polutantů s množstvím kondenzátu (odpadů vzniklých z regenerace aktivního uhlí), které činí 32 077 kg, pak se jeví bilance provedená výpočty z čerpaných médií a koncentrací polutantů na vstupu do dekontaminačních jednotek (22 321 kg, volná fáze je likvidována přímo) podhodnocená. Je však nutné podotknout, že při regeneraci aktivního uhlí a při čerpání fáze ne vždy je ve formě kondenzátu likvidována pouze čistá fáze, ale i voda s vysokým obsahem polutantů. Druhý aspekt, který ovlivňuje bilanci polutantů je skutečnost, že do května 2010 byly analýzy vzorků vody na vstupu do dekontaminačních jednotek prováděny z nefixovaných vzorků, takže ve skutečnosti byly obsahy polutantů ve vstupní vodě vyšší. Třetí aspekt ovlivňující bilanci polutantů je, že v podzemní vodě je řada dalších organických látek, které byly stripováním odbourány, ovšem nejsou analyticky sledovány (viz kap. 2.1.3). Také může být nižší bilance způsobena nehomogenitou vzorků vody, která je podrobně vysvětlena v kapitole 2.3.2. Proto bilanci polutantů stanovenou výpočtem a uvedenou v tabulce 23 považujeme za podhodnocenou s tím, že ve skutečnosti bylo odstraněno organických látek podstatně více.

Z hlediska porovnání množství polutantů odstraněných během stávající sanace (4,5 roku) a během ochranného čerpání v letech 1996 až 2001 (6 let) je největší rozdíl u chlorbenzenu, kterého bylo za 3 roky probíhající sanace odtěženo cca 2,6x více než při ochranném čerpání za 6 let. Množství odstraněného benzenu během sanace je nižší (cca 70 %) a Cl-Eth bylo odstraněno nepatrně méně (cca 90 %). Toto srovnání je však ovlivněno tím, že v letech 1996 až 2001 bylo průměrně čerpáno 6,4 l/s, během sanace jen 4,9 l/s. Ovšem součástí sanace je i venting. Vycházíme-li ze skutečnosti, že od 90. let 20. století k únikům polutantů do horninového prostředí již nedocházelo, měl by objem odstraněných polutantů během let klesat. Lze tedy předpokládat, že značná část polutantů se vyskytovala a vyskytuje ve formě volné fáze a také je nasorbována na zeminách jak v nesaturované, tak saturované zóně. Tyto trvalé „donátory“ kontaminantů v podzemní vodě snižují účinnost sanace. Proto je nezbytně nutné odstranit jak

volnou fází z hladiny podzemní vody, tak i kontaminovanou zeminu z nesaturované zóny. Jak vyplývá z tabulky 24, v době do 29. 2. 2012, tedy po 88 % plánované sanace z hlediska rozpočtu (bez dodatečných prací, s dodatečnými pracemi to je 79 %) bylo odstraněno cca 1,7x více organických polutantů než bylo celkové množství odhadnuté v doplňku k realizačnímu projektu [26]. Pro posouzení účinnosti jednotlivých technologií - ventingu a sanačního čerpání podzemní vody - uvádíme v tabulkách 25 a 26 bilance samostatně pro podzemní vodu a půdní vzduch.

Tabulka 24: Porovnání množství odtěžených polutantů k 29. 2. 2012, tj. po 88 % sanace s množstvím uvedeným v Realizačním projektu sanace [25]

Polutant	Benzen	Toluen	Chlorbenzen	Cl-Eth	Krezoly	NH ₄ ⁺	NEL
bilance uvedená v RP [26] (kg)	26,5	10 207,9	2 543,2	401,5	neuved.	4 086,0	neuved.
odtěženo k 29.2.2012 (kg)*	155,1	16 759,0	3 464,4	1 789,9	69,9	5 004,8	1 226,6
odtěženo k 29.2.2012 (%)	585,3	164,2	136,2	445,8	-	122,5	-
zbývá odtěžit (kg)	-	-	-	-	-	-	-

* - do bilance není započteno množství toluenu a chlorbenzenu odstraněné při terénních zkouškách

Tabulka 25: Přehled množství odtěžených polutantů k 29. 2. 2012 – sanační čerpání

Polutant/ období	Volná fáze toluenu (kg)	Benzen (kg)	Toluen* (kg)	Chlorbenzen* (kg)	Cl-Eth (kg)	Krezoly (kg)	NH ₄ ⁺ (kg)	NEL** (kg)
XII / 2006	-	0,39	9,47	17,27	1,74	0,15	45,10	-
rok 2007	399,25	9,83	1 275,65	564,39	114,70	6,69	906,93	-
rok 2008	323,46	60,24	2 337,85	848,84	328,41	20,43	1 595,66	-
rok 2009	97,38	33,04	1 342,70	510,92	232,46	14,72	1 142,67	-
rok 2010	323,63	13,5	4 019,70	897,91	247,37	20,56	654,72	-
rok 2011	0,00	8,53	1 774,79	431,08	160,31	5,63	537,68	-
I - II / 2012	0,00	2,34	349,70	91,18	11,28	1,71	122,00	-
Celkem	1 143,72	127,87	11 109,86	3 361,59	1 096,27	69,89	5 004,76	-

Tabulka 26: Přehled množství odtěžených polutantů k 29. 2. 2012 - venting

Polutant/ období	Volná fáze toluenu* (kg)	Benzen (kg)	Toluen (kg)	Chlorbenzen** (kg)	Cl-Eth (kg)	Krezoly ** (kg)	NH ₄ ⁺ ** (kg)	NEL (kg)
XII / 2006	-	0,00	0,00	-	0,00	-	-	0,00
rok 2007	-	0,00	500,86	-	25,20	-	-	32,48
rok 2008	-	13,10	2 816,22	-	317,99	-	-	987,67
rok 2009	-	7,80	521,87	-	230,75	-	-	110,67
rok 2010	-	6,33	522,12	-	119,64	-	-	95,82
rok 2011	-	0,00	0,00	-	0,00	-	-	0,00
I - II / 2012	-	0,00	0,00	-	0,00	-	-	0,00
Celkem	-	27,23	4 361,07	-	693,58	-	-	1 226,64

* - ukazatel nesledován

Z tabulek vyplývá, že celkově je účinnější sanační čerpání podzemní vody. Toluenu bylo v roce 2008 odtěženo větší množství ventingem, což bylo způsobeno výskytem volné fáze na hladině podzemní vody, a tedy vyššími koncentracemi toluenu ve vzdušnině a nízkou úrovní hladiny podzemní vody. Přestože v roce 2009 byla úroveň hladiny podzemní vody přibližně stejná (graf č. 2) a množství odsátého půdního vzduchu bylo dokonce nepatrně vyšší než v roce 2008, pokleslo množství odstraněného toluenu ventingem 5x. Množství toluenu odčerpaného podzemní vodou v roce 2009 bylo nižší než v roce 2008, neboť do systému nebyly zapojeny vrtly v místě nejvyšší kontaminace jižně od objektu č. 31 a bylo čerpáno o 0,8 l/s vody méně. V roce 2010, kdy byly do sanačního čerpání zapojeny nově vyhloubené vrtly v okolí objektu č. 31, bylo odtěženo toluenu nejvíce (4 019,7 kg). Nízká výtěžnost v roce 2011 byla způsobena přerušением sanace ve 2 sanačních stanicích po dobu cca 6 měsíců z důvodu hloubení vrtů pro aplikaci Fentonova činidla. Odhad zbytkového množství polutantů je proveden v kapitole 2.3.2.

2.3 AKTUÁLNÍ PRŮZKUMNÉ PRÁCE

V projektu sanačních prací [25] nebyly navrženy žádné průzkumné práce s výjimkou realizace studie technické proveditelnosti (STP), která však nebyla blíže specifikována. Pouze bylo uvedeno, že jejím cílem je zhodnocení možnosti změny sanační technologie podzemních vod a využití některé z méně obvyklých metod na dočištění kontaminace (chemická oxidace a redukce, reduktivní dehalogenace). V rámci STP byly nejdříve provedeny v roce 2007 laboratorní testy, a poté byla realizována od prosince 2008 do května 2009 pilotní terénní zkouška. Průběh a výsledky zkoušek jsou popsány v samostatných zprávách [1] a [16], na které tímto odkazujeme.

Na základě vyhodnocení terénní zkoušky STP byl v lednu 2010 zpracován Doplněk č. 1 k RP, jehož předmětem bylo rozšíření sanačních prací týkajících se saturované zóny, které by mělo vést k odstranění nově zjištěných skutečností odtěžením starých nádrží a aplikací Fentonova činidla do podzemní vody [17]. Rozšíření sanace o dodatečné práce bylo schváleno, realizační projekt [18b] byl vydán v dubnu 2011 a od června 2011 jsou dodatečné práce prováděny v souladu s uvedeným projektem.

Jako průzkumné práce lze chápat vyhloubení náhradních sanačních vrtů VV-1, SM-18 a P-56. Výsledky získané při hloubení vrtů i při realizaci STP byly detailně vyhodnoceny v ročních zprávách za sanaci a ve výše zmíněné závěrečné zprávě za STP. Všechny tyto zprávy jsou uvedeny v kapitole 6. „Použitá literatura“ a v dalším textu jsou zmíněny jen ty průzkumné práce a jejich výsledky, které mají přímý dopad na hodnocení rizik.

Během sanačních prací je realizován jak sanační, tak plošný monitoring znečištění podzemní vody. Plošný monitoring je prováděn ve čtvrtletních intervalech od října 2006, od roku 2011 v omezeném rozsahu, neboť došlo k prodloužení doby sanace bez navýšení počtu analýz v položkách rozpočtu. Pokud byla v některém vrtu zjištěna výrazná změna v obsahu analyzovaných látek, byl vrt sledován častěji (např. R-217, R-218, P-200 až P-204, SM-7). V rámci STP byly ověřovány obsahy polutantů v zeminách, prováděny fyzikálně-mechanické zkoušky vrtných jader (granulometrické analýzy a stanovení součinitele hydraulické vodivosti K) a řada dalších sledování a zkoušek. Získané výsledky jsme zpracovali do přehledných tabulek, které jsou součástí předkládané AAR. Protokoly laboratorních analýz, které nebyly doloženy v přílohách předchozích zpráv, vydaných pro předmětnou sanaci, tvoří přílohu č. 18. V příloze

č. 19 jsou tabulkově zpracovány výsledky laboratorních analýz vzorků zemin, podzemní a povrchové vody a vzdušniny. Pro účely této zprávy jsou využity výsledky dosažené k 29. 2. 2012. Výjimečně, pokud byl výsledek důležitý, byly do tabulek v příloze č. 19 zahrnuty i výsledky z března, resp. dubna 2012. Za dobu sanace bylo analyzováno více jak 3 000 vzorků vody. Kompletní výsledky laboratorních analýz jsou uvedeny pouze v elektronické podobě v samostatné volné příloze č. 38. V příloze č. 19 v tabulkách 9 až 20 (výsledky analýz BTEX, chlorbenzenu, NH_4^+ , Cl-Eth a krezolů) jsou uspořádány, z důvodu redukce velkého počtu dat, pouze výsledky za červenec 2010 a pak všechny výsledky od října 2010 do února 2012. V příloze č. 20 jsou graficky znázorněné vývoje obsahu sledovaných polutantů ve vybraných vrtech. Procentuelní zastoupení polutantů v podzemní vodě z jednotlivých vrtů tvoří v přílohu č. 21. V příloze č. 22 je uveden přehled všech vrtů a sond vyhloubených v průběhu sanačních prací. V příloze č. 23 jsou zpracovány údaje o mocnosti hydrogeologického kolektoru (z dostupných petrografických popisů archivních a nově vyhloubených vrtů). V příloze č. 24 jsou pro vybrané vrty statisticky zpracována hydrologická měření prováděná v letech 2007 až 2012. Pro každý vrt, neovlivněný sanačními pracemi, je uvedena úroveň maximální a minimální hladiny podzemní vody. Navíc jsou v příloze i výsledky vybraných 12-ti kol hydrologických měření. Ta se od června 2007 provádí každé dva měsíce. V příloze č. 25 jsou uvedeny výsledky týdenních měření hladiny podzemní vody ve vrtech podél PTS (P-200 až P-204) za celé období sanace. V příloze č. 8 je zpracováno 5 map hydroizohyps (1x v období před zahájením sanačního čerpání a 4x v období ovlivněném čerpáním podzemní vody). Hydroizohypsy byly konstruovány pomocí programu Surfer 8.0 a pro kontrolu byly vyneseny i ručně metodou lineární interpolace a následně zhlazeny. Všechny výše uvedené přílohy jsou využity při hodnocení šíření a vývoje kontaminace v zájmovém území.

V draftu AAR, vydaném v listopadu 2010 byl v doporučeních postupu nápravných opatření navržen monitoring kvality podzemní vody směrem k JÚ Černovír v 6-ti vrtech a monitoring obsahu NEL v podzemní vodě v areálu Farmaku v 10-ti vrtech. Tyto práce byly provedeny v roce 2011. V průběhu zpracování AAR se ukázalo, vzhledem k dalším nově zjištěným skutečnostem, že je nutné pro dokončení aktualizace analýzy rizik ověřit obsah acetonu, metanolu, isopropanolu a psychofarmak v podzemní vodě v areálu Farmaku a okolí. Pro potřeby modelu bylo nutné rozšířit hydrologická měření. Tyto práce byly zadány objednatelem ve formě doplňku aktualizované analýzy rizik společnosti AQUATEST a.s., která vypracovala v listopadu 2011 prováděcí projekt tohoto doplňku [18c]. Rozsah a výsledky prací jsou uvedeny níže.

2.3.1 Metodika a rozsah průzkumných a analytických prací

Metodika vzorkování a kontrola kvality byla v souladu s Metodickým pokynem MŽP „Vzorkovací práce v sanační geologii“ [66]. Metodika a rozsah průzkumných prací byly detailně popsány v ročních zprávách a ve výše zmíněné závěrečné zprávě za STP, proto nejsou součástí předkládané AAR. Všechny tyto zprávy jsou uvedeny v kapitole 6. „Použitá literatura“.

Vrtné práce

V průběhu sanace vznikla potřeba vyhloubit náhradní sanační vrty za původní poškozené objekty P-56, SM-18 a VV-1. Bylo vyhloubeno i 7 mělkých nevystrojených vrtů (MNV-1 až MNV-7), nové monitorovací vrty HP-1 až HP-7, 4 vystrojené vrty pro terénní zkoušku STP (SM-42 až SM-45) a také byly vyhloubeny dočasné sondy VK-1 až VK-8 pro ověření účinnosti sanace půdního vzduchu. V roce 2011 bylo vyhloubeno 29 svislých a 9 šikmých vrtů pro aplikaci

Fentonova činidla, jejichž umístění je vyznačeno v příloze č. 6. Údaje o všech nově vyhloubených vrtech tvoří přílohu č. 22.

Geodetické zaměření vrtů

Při hydrologických měření v roce 2007 bylo zjištěno, že naměřené hodnoty neodpovídají archivním datům, proto bylo provedeno, nad rámec projektovaných prací, v červnu 2007 nové zaměření 29 stávajících vrtů. Při novém zaměření byly zjištěny rozdíly u archivních dat v desítkách centimetrů, proto jsme provedli korekci hydrologických měření. Také všechny trvale vystrojené vrty vyhloubené během sanace byly zaměřeny, navíc bylo v roce 2011 znovu přeměřeno 25 stávajících objektů. Na základě platných dat byla provedena korekce hydrologických měření (například u vrtu P-32 chybná hodnota převzatá ze sanačního doprůzkumu [23] způsobovala nevysvětlitelnou elevaci v proudění podzemní vody). Technická zpráva o zaměření z roku 2007 tvoří přílohu č. 33, ostatní technické zprávy o zaměření tvoří přílohy příslušných ročních zpráv.

Analýzy vzorků vody ze stávajících vrtů na jednotlivé formy dusíku

Vzhledem k relativně pomalému poklesu amonných iontů v podzemní vodě během sanačních prací byly ve vybraných vrtech sledovány koncentrace jednotlivých forem dusíku, chloridů a pH ve vzorcích podzemní vody z vybraných vrtů. Objekt jímky chladírny (situovaný u objektu č. 32a) a 7 vrtů byly vzorkovány 10x v průběhu roku 2009 a 2x v roce 2010 a vrt SM-17 byl vzorkován 2x v roce 2010. Výsledky analýz včetně výpočtu dusíkové bilance jsou uvedeny v tabulkách 21 a 22 v příloze č. 19. Tyto práce byly provedeny nad rámec realizačního projektu.

Analýzy vzorků vody z domovních studní

Pro ověření aktuálních koncentrací podzemní vody v domovních studních byly dne 15. 9. 2010 odebrány vzorky vody z 5-ti domovních studní a ze studny SŠZ Olomouc, která slouží pro zálivku záhonů. Výsledky analýz doplněné o archivní údaje jsou uspořádány v tabulce 27 v příloze č. 19. Tyto práce byly provedeny nad rámec realizačního projektu.

Analýzy vzorků vody navržené v draftu AAR

Z důvodu kontroly úrovně obsahu polutantů ve směru k JÚ Černovír byly v jarním kole (2. 5. 2011) a podzimním kole (21. 10. 2011) odebrány vzorky vody v dynamickém režimu z vrtů HV-111, HV-114, HV-402, P-12 a P-21 na stanovení obsahu benzenu, toluenu, ethylbenzenu, xylenů, chlorbenzenu, krezolů, VCE, DCE, TCE, PCE, amonných iontů, metanolu a isopropanolu. Navíc byly v jarním kole (18. až 22. 4. a 2. 5. 2011) odebrány vzorky vody v dynamickém režimu na analýzu výše uvedených látek i ze 4 objektů situovaných ve směru proudění podzemní vody z areálu Farmaku (Db-15, FAR-5, R-96 a R-101) a z vrtu HV-404 situovaného mezi PTS a JÚ Černovír. Výsledky analýz jsou uspořádány do tabulky 29 v příloze č. 19.

Dále byly v 9 objektech v areálu Farmaku (AT-106, FAR-10, HP-4, P-32, P-56, SM-9, SM-18, SM-43 a VV-1) a ve vrtu R-213, který byl v minulosti součástí ochranného sanačního čerpání, odebrány vzorky vody v dynamickém režimu na stanovení obsahu NEL včetně kvalitativní analýzy, a to ve 2 kolech - v dubnu a květnu 2011 a v prosinci 2011. Výsledky analýz jsou uspořádány do tabulek 26 a 30 v příloze č. 19.

Situování vrtů, z nichž byly odebrány vzorky vody, je vyznačeno v příloze č. 7.

Analýzy vzorků vody z vrtů vyhloubených v roce 2011 pro aplikaci Fentonova činidla

Ze všech 38 nově vyhloubených vrtů byly odebrány vzorky vody na stanovení obsahu benzenu, toluenu, chlorbenzenu, VCE, DCE, TCE, PCE a amonných iontů, ve vybraných vrtech i na obsah krezolů, acetonu, metanolu a isopropanolu. U některých vrtů byly analýzy prováděny opakovaně, vybrané vrty jsou zahrnuty do monitoringu aplikace Fentonova činidla. Všechny výsledky jsou uspořádány v tabulce 35 v příloze č. 19. Ve 14 vrtech byl navíc analyzován obsah NEL, výsledky jsou uvedeny v tabulce 36 v téže příloze. Situování vrtů je vyznačeno v příloze č. 6.

Práce v rámci doplňku AAR

Ověření kontaminace v podzemní vodě

Výskyt nově zjištěných polutantů byl ověřen ve vybraných 8 vrtech v areálu a okolí Farmaku, především s ohledem na jímací území Černovír, zahrádkářské kolonie ve směru proudění podzemní vody a řeku Moravu. Laboratorní analýzy odebraných vzorků podzemní vody byly analyzovány v rozsahu aceton, metanol, isopropanol a psychofarmaka (chlorprothixen báze, thiepinon, citronan butamirátu, karbinol melitracenu, karbinol prothiadenu, 2-chlorthioxanthon, prothiaden hydrochlorid, karbinol isokumaronu, suma amitriptylin hydrochlorid a karbinol amitriptylinu hydrochlorid). Koncentrace psychofarmak byly ověřeny v prosinci 2011 ve vrtech AT-107, SM-33, SM-45, SM-62, SM-63, SM-66, SM-74 a SM-75. Výsledky analýz jsou uspořádány v tabulce 34 v příloze č. 19. Obsahy acetonu, metanolu a isopropanolu byly ověřeny v říjnu až prosinci v objektech P-33, P-34, P-36, R-50, SM-31, SM-33, SM-36 a vrt 2. Výsledky laboratorních analýz jsou uspořádány v tabulkách 31, 32 a 33 v příloze č. 19, v nichž jsou pro úplnost uvedeny obsahy těchto látek stanovené i v ostatních vrtech, v nichž byly během STP prováděny.

Hydrologická měření

Tři kola hydrologických měření hladiny podzemní vody se uskutečnila ve dnech 11. 11. 2011, 7. 2. 2012 a 28. 2. 2012), maximálně bylo měřeno 189 hydrogeologických objektů. Stávající hydrologická měření byla rozšířena o všechny dostupné objekty v širším okolí Farmaku, především ve směru k jímacímu území Černovír, tj. o 85 objektů.

Zpracování map hydroizohyps

Pomocí programu Surfer 8.0 byly z měření ve dnech 26. 8. 2011, 7. 2. 2012 a 28. 2. 2012 zpracovány mapy hydroizohyps.

Doplnění matematického modelu

Stávající matematický model šíření zbytkové kontaminace v saturované zóně byl doplněn o hodnocení nově zjištěných polutantů (aceton, metanol, isopropanol a psychofarmaka). Model byl zpřesněn podle výsledků rozšířených hydrologických měření ve vztahu k možnému šíření zbytkové kontaminace směrem k jímacímu území Černovír po ukončení sanačního čerpání podzemní vody a tvoří přílohu č. 28.

Hodnocení zdravotních rizik

Hodnocení zdravotních rizik bylo rozšířeno o další polutanty - aceton, případně jiné látky zjištěné v saturované a nesaturované zóně v areálu Farmaku, jako např. psychofarmaka a deriváty vstupních surovin, používaných v minulosti při výrobě (viz kapitola 1.1.2).

Použité statistické metody a způsob zpracování dat

Výsledky laboratorních analýz vzorků zeminy a podzemní vody byly porovnány se sanačními limity, limity danými legislativou a případně s kritérii A, B, C již neplatného Metodického pokynu Ministerstva životního prostředí „Kritéria znečištění zemín a podzemní vody“ [43], neboť původní AR z těchto hodnot vycházela a metodický pokyn byl zrušen v době finalizace AAR. Zeminy byly také porovnány s limitními hodnotami uvedenými v přílohách č. 4 a 10 k vyhlášce č. 294/2005 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Výsledky analýz vzorků podzemní vody byly, pokud to bylo účelné, porovnány s limity danými vyhláškou č. 252/2004 Sb., ve znění pozdějších předpisů, s limity technické normy ČSN 75 7143 „Jakost vody pro závlahu“ a s referenčními hodnotami definovanými ve vyhlášce č. 5/2011 Sb. Obsahy polutantů v povrchové vodě byly porovnány s normami environmentální kvality uvedenými v příloze č. 3 nařízení vlády č. 61/2003 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Pro vybraná data, získaná v rámci sanačních prací, byly provedeny výpočty procentuelního zastoupení polutantů, analýzy časových řad a korelační analýzy. V grafech v příloze č. 20 jsme použili ke grafickému zobrazení trendů v datech a k analýze předpovědí spojnice trendů. Tyto analýzy se rovněž nazývají regresní analýzy. Pomocí regresních analýz můžeme předpovídat budoucí hodnoty prodloužením spojnice trendu za současná data. Použili jsme polynomickou spojnici trendu stupeň 6, v jednom případě stupeň 4 (viz příloha č. 20).

Metody řízení jakosti (včetně plnění zákonných požadavků)

Všechny průzkumné i vyhodnocovací práce byly prováděny v souladu s procesními příručkami podnikového systému jakosti účastníků sdružení dle normy ISO 9001. Na tuto příručku navazují standardní operační postupy (SOP). Oznámení o provádění vrtných prací bylo v souladu s § 9a, odst. 3 zákona č. 62/1988 Sb., o geologických pracích, ve znění pozdějších předpisů, zasláno dne 13. 2. 2007 pod značkou 461/07/2/98/1 pro sanační práce a dne 4. 2. 2011 pod značkou 1100980107 pro dodatečné práce Magistrátu města Olomouc, odboru životního prostředí. Odpady, které vznikaly při hloubení vrtů, byly odstraňovány v souladu s platnou legislativou, jejich evidence je v přílohách příslušných ročních zpráv.

2.3.2 Výsledky průzkumných prací

Nové skutečnosti zjištěné během sanačních prací

V průběhu realizace sanačních prací byly zjištěny nové skutečnosti, které mají podstatný vliv na účinnost sanačních prací a které jsou **neoddělitelné** od stávající kontaminace horninového prostředí. Podrobně byly popsány v Doplnku č. 1 k RP [17] a ve zprávách pro kontrolní dny č. 19 a 20. Níže uvádíme jen jejich přehled.

- **výskyt volné fáze polutantů na hladině podzemní vody**

Během sanačních prací byl prokázán na několika místech v areálu Farmaku výskyt volné fáze toluenu na hladině podzemní vody. Po vydání Doplnku č. 1 k RP (leden 2010) se objevila navíc volná fáze i ve vrtu P-56, a to v mocnosti až 0,02 m (březen 2010). Od konce prosince 2011 byl dokumentován výskyt volné fáze ve vrtech SM-60, SM-65 a SM-66. Dne 29. 2. 2012 byl ve vrtu SM-60 naměřen jen film volné fáze, ve vrtu SM-65 byla ověřena mocnost 0,2 m a ve vrtu SM-66 pak 0,015 m. Fáze ve dvou posledně jmenovaných vrtech vykazovala světle žluté zabarvení. Barevně se odlišovala od fáze přítomné v letech 2008 a 2009 ve vrtech SM-44 a SM-45, situovaných v blízkosti výše uvedených vrtů, neboť ta byla černá. Přestože sanačními pracemi

bylo k 29. 2. 2012 odstraněno již 16,7 t toluenu, stále je přítomna v areálu Farmaku jeho volná fáze. Zda výskyt fáze od prosince 2011 souvisí s opětovným zahájením čerpání podzemní vody v okolí objektu č. 31 dne 2. 11. 2011, nebo s přirozeným kolísáním hladiny podzemní vody, nelze jednoznačně prokázat. Od listopadu byly čerpány vrty SM-18, SM-42 a SM-43, nejbližší aktuálního výskytu volné fáze je vrt SM-43, a to ve vzdálenosti 10 m. Ovšem ve vrtu SM-65 byl dne 26. 7. 2011, tedy v době, kdy byl provoz sanační stanice č. 1 vypnut již 2 měsíce, obsah toluenu 179 000 µg/l, což byla nejvyšší koncentrace stanovená v nově vyhloubených vrtech. Je třeba upozornit, že odběr vzorků z vrtů byl prováděn v dynamickém režimu a cca 3 m pod hladinou podzemní vody. Z hlediska chodu hladiny podzemní vody (grafy č. 2 a 6) se volná fáze koncem prosince 2011 objevila v období postupného klesání hladiny během celého roku 2011.

V tabulce 27 uvádíme maximální mocnosti fáze zjištěné ve vrtech v areálu Farmaku. V souladu se závěry kontrolního dne č. 7 byl v červenci 2008 zjišťován výskyt volné fáze ve všech vrtech v areálu Farmaku. Od září 2008 je měření prováděno minimálně 1x měsíčně, při výskytu větší mocnosti až 1x týdně. Hodnoty všech měření mocnosti volné fáze jsou uvedeny v příloze č. 32, situace vrtů s volnou fází je vyznačena v příloze č. 5. Celková plocha, na níž se během sanačních prací vyskytovala fáze, je odhadnuta na 1 350 m².

Tabulka 27: Maximální mocnost volné fáze polutantů na hladině podzemní vody zjištěná během sanačních prací (od září 2006 do února 2012)

Zjištění	Objekt										
	VV-1 ^{*1)}	P-32	P-56	SM-18 ^{*2)}	SM-18	SM-42	SM-43	SM-44	SM-45	SM-65	SM-66
mocnost fáze (m)	0,101	0,500	0,020	0,164	0,660	0,002	0,380	0,500	0,500	0,200	0,015
datum měření	22.9.06	8.7.09	24.3.10	22.9.06	11.12.09	2.1.12	11.12.09	19.11.08	19.11.08	29.2.12	29.2.12

Vysvětlivky:

^{*1)} – měření z původního vrtu VV-1, zlikvidovaného v červnu 2007

^{*2)} – měření z původního vrtu SM-18, poškozeného v únoru 2008

Poznámka:

vrty SM-18 a SM-42 vyhloubeny dne 19. 6. 2008, vrt SM-43 vyhlouben dne 17. 6. 2008, vrty SM-44 a SM-45 vyhloubeny dne 23. 10. 2008, vrt P-56 vyhlouben dne 2. 12. 2009, vrty SM-65 a SM-66 vyhloubeny dne 18. 5. 2011

V případě zjištění volné fáze na hladině podzemní vody ve vrtech je tato, dříve nad rámec sanačních prací, od června 2011 jako součást dodatečných služeb, odčerpávána peristaltickým čerpadlem nebo sbírána odběrným válcem do jejího vymizení. Celkem bylo na lokalitě tímto způsobem do 29. 2. 2012 již odstraněno 1 143,72 kg volné fáze. Při terénní zkoušce Fentonova činidla na přelomu let 2008 a 2009 byla ve vrtech SM-18, SM-44 a SM-45 fáze odstraněna. Po zapojení těchto nových vrtů do systému sanačního čerpání v říjnu 2009 došlo k „přitažení“ fáze z okolí. Ze vzorků volné fáze, která je v některých vrtech čirá, v některých má vzhled černé mazlavé hmoty, byly provedeny kvalitativní a kvantitativní analýzy, jejich protokoly jsou uvedeny v příloze č. 18. Výsledky jsme uspořádali do přílohy č. 32. Ve většině případů je dominantní toluen (až 98,5 %), pouze ve vrtu SM-45 byl v roce 2008 podíl chlorbenzenu vyšší (cca 30 %).

- **výskyt polutantů, pro které jsou stanoveny cílové limity sanace, v zeminách v místech, kde sanace zemin nebyla projektována**

O tom, že na rozhraní saturované a nesaturované zóny je v zeminách nasorbováno velké množství polutantů, svědčí výsledky terénní zkoušky STP ve vrtu AT-107, kdy po aplikaci

oxidačních činidel v důsledku fyzikálních změn došlo k uvolnění toluenu ze zeminy do podzemní vody. To se projevilo dočasným nárůstem obsahu toluenu na nižší stovky tisíc µg/l. Pokud by byla prováděna pouze sanace čerpáním podzemní vody, hrozí po jejím ukončení **reálné nebezpečí zpětného vytvoření rovnováhy mezi pevnou a kapalinovou složkou horninového prostředí ve formě transportu polutantů do podzemní vody a nárůstu jejich koncentrací nad cílové limity**. Při hloubení vrtů SM-18, SM-42, SM-43, SM-44 a SM-45 v roce 2008 (tabulka 5 v příloze č. 19) byly nadlimitní obsahy polutantů ve všech 5 vrtech, především toluenu a chlorbenzenu, ojediněle pak krezolů a NEL.

Ve vrtech vyhloubených v roce 2011 byly vzorky zemin na laboratorní analýzy odebrány vždy z vizuálně nejvíce kontaminované části profilu vrtu. Výsledky všech analýz jsou uspořádány do tabulky 37 v příloze č. 19, v níž jsou uvedeny i litologické popisy vzorků a naražené hladiny podzemní vody při hloubení. Celkem byly polutanty, pro něž byly na lokalitě stanoveny cílové limity, ověřovány v 36 vzorcích. Obsah NEL byl nad limitem v 1 vzorku, toluenu v 5 vzorcích, chlorbenzenu v 7 vzorcích a TCE v 1 vzorku. V prostoru vrtu FAR-10 kontaminace zemin nebyla zjištěna. V prostoru vrtu P-32 byl ve vzorku zeminy z vrtu SM-49 z podložního písčitého jílu z hloubky 11,0 až 12,0 m stanoven obsah NEL ve výši 1 460 mg/kg, přítomny byly i aceton a metanol, kontaminace tedy pronikla celým profilem šterkopísčitého kolektoru až na bázi do písčitého jílu. V ostatních vrtech (u objektu P-32) kontaminace nebyla zjištěna, ovšem před hloubením vrtů byla provedena odtěžba starých nádrží a kontaminované zeminy (objekt č. 13a), takže vzorkování potvrdilo, že sanace zemin byla řádně provedena. V prostoru severně od vrtu FAR-10 byla zjištěna novými vrty kontaminace zeminy toluenem a chlorbenzenem, jižně od FAR-10 byly vrty bez kontaminace, pouze v SM-51 byl v podložním písčitém jílu stanoven v sušině isopropanol. V prostoru objektu č. 31 bylo ověřováno znečištění v 16 vrtech, z toho v 5 vrtech zonálně. Nadlimitní obsahy byly zjištěny u TCE v 1 vzorku navážky z hloubky 1,5 až 1,7 m z vrtu SM-63 (401 mg/kg). U chlorbenzenu byly obsahy nad limity ČIŽP v 5-ti vzorcích (vrty SM-64 až SM-66, SMŠ-67 a SM-68) s maximem 579 mg/kg ve vrtu SM-68 a u toluenu ve 4 vzorcích (vrty SM-64 až SM-66 a SM-68) s maximem 3 840 mg/kg ve vrtu SM-68. Kontaminace toluenu a chlorbenzenu se vyskytovala především na rozhraní saturevané a nesaturevané zóny. V prostoru vrtu FAR-2 byl nadlimitní chlorbenzen (2x) a toluen (1x).

Nad rámec sanačních prací byl jz. od objektu 13b vyhlouben nevystrojený vrt MNV-14 (příloha č. 16) s cílem ověřit, zda dochází k šíření volné fáze toluenu z prostoru objektu č. 13a směrem k vrtu P-56. V těsné blízkosti vrtu MNV-14 byla v roce 2007 provedena demolice objektu č. 3 včetně základů do hloubky 2,0 m. Ze dna vzniklé jámy byly odebrány vzorky zeminy, které neprokázaly nadlimitní obsah toluenu. Ve vrtu MNV-14 byla do hloubky 2,4 m p.t. zastižena navážka bez vizuální kontaminace. Od 2,4 do 2,5 m p.t. byla ověřena navážka - písek vykazující silný zápach po toluenu. Poté byl do hloubky 3,4 m písčité šterk se slabým zápachem a od 3,4 do 4,2 m p.t. písčité šterk vykazující silný zápach po toluenu. Hladina vody, s filmem volné fáze, byla naražena ve 4,2 m p.t. Vzorek z hloubky 2,4 až 2,5 m obsahoval nadlimitní koncentraci toluenu ve výši 775 mg/kg. Ve vzorku z hloubky 3,4 až 4,0 m byl obsah toluenu zanedbatelný (0,86 mg/kg). Lze tedy usoudit, že zjištěná kontaminace je způsobená šířením volné fáze v závislosti na kolísání hladiny podzemní vody. Vzhledem k charakteru zeminy v hloubce 3,4 až 4,0 m (písčité šterk) nelze očekávat analytické stanovení vysokých obsahů polutantů, neboť zrna písku a šterku jsou pouze obalena toluenem, který se šíří průlinami ve formě volné fáze.

- **výskyt dalších organických polutantů v podzemní vodě**

Při realizaci STP v letech 2008 a 2009 bylo kvalitativní analýzou zjištěno, že je v podzemní vodě přítomna řada dalších organických látek, především **metanol, isopropanol a aceton**. Metanol

a isopropanol, které se vyskytovaly přímo v místě aplikace oxidačních činidel při terénních zkouškách, byly laboratorně sledovány. Jejich obsahy se pohybovaly před aplikací činidel v tisících $\mu\text{g/l}$ (vrty SM-44, SM-45 a AT-106) až v desítkách tisíc $\mu\text{g/l}$ (vrty SM-18 a SM-43). Výsledky analýz metanolu a isopropanolu z let 2008 a 2009 jsou uvedeny v tabulce 8 v příloze č. 19. Obsahy metanolu a isopropanolu, jejichž analýzy jsou v rámci dodatečných prací prováděny od roku 2011 (tabulky 32, 33 a 35 v příloze č. 19), byly obvykle pod mezí stanovitelnosti (500 $\mu\text{g/l}$), nejvyšší hodnota metanolu byla stanovena západně od objektu č. 31b ve vrtu SM-66 ve výši 2 610 $\mu\text{g/l}$, isopropanolu pak jižně od objektu č. 31 ve vrtu SMŠ-69 ve výši 590 $\mu\text{g/l}$. Situování vrtů je vyznačeno v příloze č. 6.

Z kvalitativních analýz provedených v rámci STP vyplývá, že se v podzemní vodě vyskytuje i aceton, ten však nebyl kvantitativně stanovován. Pro výše uvedené polutanty nejsou definovány cílové limity sanace, neboť nejsou zahrnuty do kritérií MP MŽP, i když již v minulosti byl výskyt metanolu v podzemní vodě z vrtu AT-102, který byl situován v místě SM-18, ve výši 226 000 $\mu\text{g/l}$ a výskyt acetonu ve vrtech P-32 a P-33 (210 000 $\mu\text{g/l}$ a 136 000 $\mu\text{g/l}$) doložen průzkumem v roce 1997 (tabulka 7 v příloze č. 19). Při průzkumných pracích v rámci analýzy rizika, a ani při sanačním doprůzkumu, však metanol ani isopropanol ověřován nebyl. Během analýzy rizika [4] byl stanovován obsah acetonu v podzemní vodě, ve všech vzorcích však byl pod mezí stanovitelnosti, ovšem ve vzorcích vody z vrtů P-32 a P-33 analyzován nebyl. Přítomnost těchto látek v podzemní vodě negativně ovlivňuje účinnost sanace, neboť jsou také odbourávány při dekontaminaci v sanačních jednotkách. Po odtěžení kontaminované zeminy v objektu č. 13a (příloha č. 16) byl odebrán vzorek podzemní vody, která vytvořila v depresi na dně jámy jezírko o rozměrech cca 3,5 x 2,0 m. Ve vzorku vody byl zjištěn obsah toluenu blízký se volné fázi (420 000 $\mu\text{g/l}$), a především obsah **acetonu** ve výši **23,9 g/l** (tabulka 31 v příloze č. 19). Také byl přítomen metanol (13 500 $\mu\text{g/l}$) a isopropanol (3 090 $\mu\text{g/l}$). Nad sanační limit byl i benzen (236 $\mu\text{g/l}$). Takto vysoká koncentrace acetonu při dalších analýzách nebyla zjištěna (tabulky 31 a 35 v příloze č. 19). Na okraji vytěženého prostoru objektu č. 13a byl umístěn provizorní vrt, ve kterém bylo v únoru 2012 stanoveno jen 140 $\mu\text{g/l}$ acetonu. Druhý nejvyšší obsah acetonu byl stanoven j. od objektu č. 31 ve vrtu SMŠ-69 ve výši 2 930 $\mu\text{g/l}$.

Vně areálu Farmaku byly obsahy metanolu, isopropanolu a acetonu ověřovány ve 3 vrtech v prostoru existující preferenční zóny šíření polutantů (SM-33, SM-36 a vrt 2). Ve všech 3 vrtech byly jejich obsahy pod mezí stanovitelnosti.

Dalšími polutanty, které jsou přítomny v podzemní vodě a jsou **produkty degradace primárních kontaminantů**, jsou kyselina benzoová a izobenzofuranon. Ojedinele a v relativně velmi malém množství (do stovek $\mu\text{g/l}$) byly stanoveny v roce 2008 ve vrtech SM-18 a SM-44. Tyto dvě látky, dále acetofenon, benzaldehyd, brommethan, ethylester kyseliny octové (ethylacetát), chlorethan, chlormethan, a i metanol, isopropanol a aceton jsou od října 2011 sledovány v rámci monitoringu aplikace Fentonova činidla. Během tohoto monitoringu byly dosud všechny výše uvedené sloučeniny pod mezí stanovitelnosti, pouze ve vrtu SMŠ-69 byl obsah benzaldehydu 466 $\mu\text{g/l}$.

V okolí objektu č. 31 byla v roce 2011 ve 3 vrtech při laboratorních analýzách organických látek indikována přítomnost **psychofarmak** jak ve vzorcích zeminy, tak i podzemní vody, a to v objektech SM-62, SM-63 a SM-74. V zemině byly obsahy farmak v různých hloubkách jak v navážce mělce pod terénem (1,5 až 1,7 m p.t. v SM-63), tak na rozhraní nenasycované a sycované zóny (4,5 až 5,0 m p.t. v SM-62), a i v podložních jílech (7,0 až 7,5 m p.t. v SM-74) v koncentračních úrovních $\mu\text{g/kg}$ a mg/kg . V podzemní vodě byl ve vrtu SM-62 v srpnu 2011 ověřen amitriptylin a jeho oxidační produkt v koncentrační úrovni několika stovek $\mu\text{g/l}$,

pravděpodobně též iminostilben nebo jeho deriváty (dibenzazepin) na koncentrační úrovni desítek $\mu\text{g/l}$. Ve vrtu SM-63 byly identifikovány farmaka amitriptylin a clopenthixol v desítkách $\mu\text{g/l}$. Ve vrtu SM-74 byl identifikován amitriptylin na koncentrační úrovni 100 $\mu\text{g/l}$. Laboratoř společnosti AQUATEST a.s. ve spolupráci s Farmakem stanovila postup na kvantitativní analýzy těchto 9 psychofarmak: chlorprothixen báze, thiepinon, citronan butamirátu, karbinol melitracenu, karbinol prothiadenu, 2-chlorthioxanthon, prothiaden hydrochlorid, karbinol isokumaronu amitriptylin hydrochlorid. Výskyt byl ověřován v prosinci 2011 jak v místech, kde se psychofarmaka vyráběla (objekty č. 31, 32), tak i vně areálu ve směru proudění podzemní vody ve vrtu SM-33. Ve všech 8 vzorkovaných vrtech byla psychofarmaka stanovena, nejvyšší obsahy byly ve vrtech SM-45 a SM-66 ve stovkách $\mu\text{g/l}$. Indikovány byly i mimo areál Farmaku, ve vrtu SM-33, i když ve stopovém množství (tabulka 34 v příloze č. 19).

Ve vybraných vrtech vyhloubených v roce 2011 byly stanoveny vysoké koncentrace **nepolárních extrahovatelných látek** (tabulka 36 v příloze č. 19). I po odečtení obsahu BTEX, chlorbenzenu a Cl-Eth činí hodnota NEL až stovky mg/l , a to ve vrtech SM-64, SM-66, tedy západně od objektu č. 31b, kde již výskyt polutantů nebyl očekáván.

Jak je uvedeno v kapitole 2.1.3, je přítomna v podzemní vodě v areálu Farmaku řada organických látek, které by bylo možno stanovit jako ukazatel NEL. Z toho důvodu byly provedeny v osmi sanačně čerpaných vrtech (AT-106, FAR-10, P-32, P-56, SM-9, SM-18, SM-43 a VV-1) a v jednom pozorovacím vrtu (HP-4) v areálu Farmaku a ve vrtu R-213, který byl jak sanačně čerpán, tak zasakován a je situován mimo areál, ve 2 kolech v roce 2011 kvantitativní analýzy uhlovodíků $\text{C}_5 - \text{C}_{40}$, NEL a EL a kvalitativní analýzy ropných uhlovodíků. Výsledky analýz jsou uspořádané do tabulek 26 a 30 v příloze č. 19, protokoly jsou součástí přílohy č. 18. V komentáři u jednotlivých kvalitativních analýz z prosince 2011 je uvedeno, které další organické látky byly v jednotlivých vzorcích vody identifikovány (tabulka 30 v příloze č. 19). Ve vrtech P-32 a P-56 nebyly jiné organické látky detekovány, ve vrtu SM-43 pouze stopy těžkých organických látek. Ve vrtech SM-9 a R-213 byl detekován ethylmethylbenzen, v ostatních 5 vrtech bylo zjištěno 3 až 6 dalších organických látek. Nejčastěji se vyskytoval ve vzorcích vody právě ethylmethylbenzen. Podíl nepolárních extrahovatelných látek na všech extrahovatelných látkách je obvykle kolem 90 %. Údaje v tabulkách ukazují na složitost objektivně hodnotit tyto organické látky, neboť výsledky jsou zkreslovány přítomností vysokých koncentrací toluenu, popřípadě chlorbenzenu a nutností ředit silně kontaminované vzorky. V tabulce 26 v příloze č. 19 je ve sloupci „uhlovodíky $\text{C}_5 - \text{C}_{40}$ “ jejich hodnota snížena o obsahy BTEX, chlorbenzenu a Cl-Eth, proto je pak ve většině případů ukazatel „uhlovodíky $\text{C}_5 - \text{C}_{40}$ “ pod mezí stanovitelnosti ($<0,5 \text{ mg/l}$), přitom obsahy NEL jsou řádově vyšší. Ovšem u vzorku vody z vrtu SM-9 jsou obsahy NEL nižší než obsahy uhlovodíků $\text{C}_5 - \text{C}_{40}$, což je dáno citlivostí použitých analytických metod. Ve vzorcích vody z vrtů, v nichž nebyl obsah organických látek příliš vysoký, bylo možno určit procentuelní zastoupení jednotlivých frakcí uhlovodíků. Ve vrtech AT-106, HP-4 a R-213 převládají uhlovodíky s počtem atomů uhlíku 5 až 9, kdy hlavní složkou kontaminace je chlorbenzen. Pouze ve vrtu SM-9 byl jejich podíl 73 % a zbývajících 27 % bylo zastoupeno uhlovodíky s 10 až 16 atomy, což odpovídá směsnému znečištění částečně zdegradovaným benzinem a chlorbenzenem (tabulka 30 v příloze č. 19).

Poznámka:

Pojmem extrahovatelné látky se označují ty látky, které za určitých podmínek přecházejí z pevné nebo vodné fáze vzorku do organického rozpouštědla a jsou ve formě roztoku v tomto rozpouštědle odděleny z analyzovaného prostředí. Mezi extrahovatelné látky patří oleje (minerální, rostlinné), tuky, mýdla, pryskyřice, vosky, těžké uhlovodíky, fenoly, PCB, organická rozpouštědla a řada dalších látek, tedy polární i nepolární látky ropného i neropného původu. Poněvadž neexistují selektivní organická

rozpuštědla, do kterých by přecházely pouze jednotlivé typy jmenovaných látek, stanoví se jejich směs. Podle původu vzorku se odhadne typ přítomných extrahovatelných látek a zvolí se příslušná metoda stanovení. Pojmem nepolární extrahovatelné látky se označují extrahovatelné látky nepolárního charakteru, zejména ropného původu.

Lze však konstatovat, že v podzemní vodě v areálu Farmaku, především v okolí objektů č. 31 a 31b je řada jiných organických nepolárních látek doložených ukazatelem NEL, nejvíce ve vrtech SM-64 a SM-66, případně extrahovatelných látek polárního charakteru, doložených rozdílem mezi ukazateli EL a NEL. Protože však je v těchto vrtech vysoká míra kontaminace i toluenem, případně chlorbenzenem, a protože kvantitativní stanovení všech těchto organických látek je nad rámec projektovaných prací, lze předpokládat, že při odstraňování kontaminace z horninového prostředí bude odstraněn nejen toluen a chlorbenzen, ale i tyto organické látky. Pro hodnocení rizik chybí u většiny těchto látek pro kvantifikaci rizika toxikologické parametry. Proto nelze riziko stanovit a následně navrhnout sanační limity.

- **šíření polutantů podzemní vodou z ohnisek kontaminace**

Ve vrtu R-217, situovaném severně od areálu Farmaku (příloha č. 4), docházelo k výrazným výkyvům v obsahu benzenu, DCE a VCE. Zdrojem kontaminace by měla být tzv. „plocha 1“ (obrázek č. 5), jež bude předmětem sanace v II. etapě prací. Vrt AT-105, který je situovaný v „ploše 1“, je pro odběry vzorků nepřístupný, není tedy možné ověřit tento předpoklad. Vývoj koncentrací je znázorněn v grafu č. 36 v příloze č. 20. Od ledna 2008 do října 2009 byla dokumentována opakovaně přítomnost benzenu ve velmi vysokých koncentracích, maximální obsah byl stanoven v říjnu 2008 ve výši 2 810 µg/l. Přitom byl ve vrtu obsah benzenu v letech 2004 a 2006 pod mezí stanovitelnosti. Poté, co z vrtu bylo ukončeno čerpání vody (31. 10. 2009) pro chladicí systém Farmaku, prudce klesl obsah benzenu na 26,6 µg/l a dále až k mezi stanovitelnosti, kde se vyskytuje v současnosti. S určitým zpožděním vzrůstaly obsahy DCE a VCE, přestože se šíří horninovým prostředím stejnou rychlostí (tabulky 32 a 33). Maximum u VCE bylo stanoveno v únoru 2010 - 6 800 µg/l a u DCE v dubnu 2010 - 8 000 µg/l. V dalším kole monitoringu v červenci 2010 (při vysokém stavu hladiny podzemní vody) došlo k výraznému poklesu obou Cl-Eth na nižší stovky µg/l a poté až na desítky µg/l. U DCE byl od ledna 2011, po opětovném zahájení čerpání podzemní vody, zaznamenán postupný nárůst až na 501 µg/l v říjnu 2011.

Od července 2010, tedy pravděpodobně v důsledku vymytí zbytkové kontaminace z rozhraní saturované a nesaturované zóny při vysokých vodních stavech, jsou dokumentovány nadlimitní obsahy VCE a TCE ve vrtu SM-7, který je situovaný uprostřed areálu Farmaku a není zasakován, s maximy 1 050 µg/l VCE a 4 920 µg/l DCE (tabulky 14 a 15 v příloze č. 19). Při monitoringu v říjnu 2011 však byl dokumentován pokles obou látek na hodnoty kolem 1 µg/l.

- **vliv nehomogenity vzorků podzemní vody na výši stanovených obsahů polutantů v podzemní vodě**

Na podzim roku 2008 byly ve vzorcích vody z vysoce kontaminovaných vrtů zjištěny výrazné rozdíly obsahů polutantů u kontrolních vzorků. Proto byla na základě pokynu laboratoře společnosti AQUATEST a.s. prováděna fixace vzorků ze sanačně čerpaných vrtů a vstupů na dekontaminační jednotky kyselinou dusičnou, a to od října 2008 do března 2009. Poté bylo laboratoří od požadavku fixace upuštěno. V dubnu 2010 byly opětovně zjištěny vysoké rozdíly v koncentracích kontrolních vzorků. Následně byl laboratoří proveden pokus, kdy byly vzorky vody z vysoce kontaminovaných vrtů analyzovány opakovaně s fixací a bez fixace. Výsledky

jsou uvedeny v tabulce 23 v příloze č. 19. Problémy analýz benzenu, toluenu a chlorbenzenu jsou v nehomogenitě vzorků. U vrtu AT-107 se nehomogenita projevila až po 7 dnech. Naopak u vrtu P-32, v němž se vyskytuje volná fáze na hladině vody, problémy s homogenitou nenastávají. Nejvyšší vliv nehomogenity byl zaznamenán u vzorku vody z vrtu SM-44. Odchyilkám ve stanovených koncentracích těchto látek lze zabránit fixováním vzorků na pH 2 kyselinou dusičnou nebo sírovou. Z toho důvodu jsou od května 2010 opět vzorky vody ze sanačních vrtů a ze vstupů do dekontaminačních jednotek fixovány. Tuto skutečnost je nutné brát v úvahu při hodnocení vývoje obsahu polutantů v čase. Také v dřívějších průzkumech zjištěné výkyvy koncentrací mohly být způsobeny právě nehomogenitou vzorků. Ovšem např. u vrtů R-217 a SM-7 byla rovněž od května 2010 prováděna fixace, přesto byly zaznamenány změny v obsahu Cl-Eth, proto nelze vyloučit, že výrazné změny v koncentracích mohou být způsobeny i kolísáním hladiny podzemní vody nebo narušením rovnovážného stavu např. zemními pracemi v místech, kde je zbytková kontaminace. To platí např. pro jednorázový nárůst amonných iontů a chlorbenzenu ve vrtech R-215, SM-8 a SM-10 v lednu 2010, kdy koncem roku 2009 byly v okolí těchto vrtů (např. v objektu č. 12b) prováděny zemní práce až po hladinu podzemní vody a byla přitom pracovníky Farmaku zjištěna vizuálně kontaminace horninového prostředí.

Při monitoringu nových vrtů vyhloubených v roce 2011 bylo zjištěno, že jsou obsahy polutantů při prvním kole vzorkování odlišné než v dalších kolech, přestože jsou vzorky vody odebrány vždy ve stejném režimu, dynamicky, po stejné době čerpání podzemní vody. Byl zaznamenán jak výrazný nárůst, tak i výrazný pokles obsahu především toluenu v následujících kolech monitoringu, přestože vzorky vody byly vždy fixovány, což dokládají výsledky analýz uvedené v tabulce 35 v příloze č. 19.

- **kontaminace podzemní vody toluenem v sv. okraji areálu Farmaku**

V sv. části areálu Farmaku byly ve vrtu SM-16 dokumentovány výrazné výkyvy v obsahu toluenu v závislosti na tom, zda byla do vrtu zasakována vyčištěná voda nebo ne. V grafu č. 37 v příloze č. 20 je znázorněn vývoj obsahu toluenu ve vrtu. V roce 2004 byl stanoven, po vyhloubení vrtu, obsah 115 µg/l toluenu. Při vstupním kole monitoringu v září 2006 bylo zhotovitelem ověřeno 88 500 µg/l, proto bylo uvažováno se sanačním čerpáním vody z vrtu. Ovšem v dalších měsících analýzy prokázaly tak výrazný pokles toluenu, že byla koncentrace ze září 2006 považována za erratické měření a v srpnu 2007 bylo do vrtu zahájeno zasakování vyčištěné vody. Po přerušení zásaku v květnu 2011 byla v říjnu a listopadu ověřena koncentrace toluenu až 36 600 µg/l (tabulka 10 v příloze č. 19). Vrt byl opětovně zapojen do zásaku od 29. 11. do 22. 12. 2011. Dne 9. 1. 2012, tedy 19 dní po ukončení zásaku byl proveden další odběr vzorku, ve vodě bylo stanoveno 7,7 µg/l toluenu. Vrt se nachází podle sdělení zástupců Farmaku mimo jakýkoliv zdroj kontaminace. V únoru 2012 činil obsah toluenu již 19 600 µg/l a v dubnu 2012 dokonce 42 200 µg/l, koncentrace toluenu vzrůstala s dobou čerpání před odběrem vzorků. Šetřením na lokalitě bylo zjištěno, že se jv. od vrtu vyskytuje podzemní vyzdřená jímka, uvnitř které je ocelová nádrž. Z nádrže, která je nepoškozená, a z jímky byly odebrány v dubnu 2012 vzorky vody. Výsledky analýz jsou uvedeny v tabulce 24 v příloze č. 19 a dokládají existenci významné kontaminace. Považujeme za nezbytné provést v této části areálu Farmaku průzkum, který ověří rozsah, míru a zdroj kontaminace podzemní vody toluenem, neboť objekt č. 46 byl v minulosti používán jako čerpací stanice hořlavých odpadů a označení „objekt č. 47a“ patřilo mobilní spalovně (obrázek č. 4). V roce 2004 byla jednorázově stanovena vysoká koncentrace toluenu ve vrtu P-201 (79 700 µg/l), který je relativně blízko k vrtu SM-16. Ovšem monitoringem prováděným od roku 2006 se již nepotvrdila, pouze v červenci 2008 bylo ve vrtu jednorázově stanoveno 4 500 µg/l toluenu. Přesto by bylo vhodné v rámci výše doporučeného průzkumu ověřit i možnou souvislost vysokých obsahů toluenu mezi těmito objekty.

Podobná je situace v zasakovaném vrtu SM-10 situovaném z. od objektu č. 31, jak vyplývá z tabulky 10 v příloze č. 19, pouze obsahy toluenu v době, kdy do vrtu nebylo zasakováno byly v nižších tisících $\mu\text{g/l}$ (2 730 $\mu\text{g/l}$ v srpnu 2011). Zásak do vrtu bude od března 2012 ukončen a vrt bude monitorován.

- **kontaminace podzemní vody v okolí objektu č. 31 zjištěné při dodatečných pracích**

Výsledky, které byly získány v průběhu realizace dodatečných prací, tedy při hloubení nových vrtů, odběrech vzorků zemin a podzemní vody a laboratorních analýzách, prokázaly, že rozsah, míra a druh kontaminace má podstatně závažnější charakter, než bylo zjištěno předchozími průzkumy. Nově vyhloubenými vrty byl zmapován plošný rozsah kontaminace v širším okolí objektu č. 31, je výrazně větší než se předpokládalo v realizačním projektu z roku 2004 vypracovaném firmou TALPA - RPF, s.r.o. [23]. Kontaminace podzemní vody v této části Farmaku byla severně prokázána i u okraje objektu č. 32 ve vrtu SM-75 (příloha č. 6). Na SV cca 10 m od vrtu VV-1 je v podzemní vodě ve vrtu SM-60 velmi vysoký obsah toluenu (54 300 $\mu\text{g/l}$). Na JV došlo ve vrtu SM-74 k postupnému nárůstu koncentrací toluenu, DCE a TCE na desítky tisíc $\mu\text{g/l}$. Podobný vývoj byl dokumentován i ve vrtu SM-70. Lze z toho vyvozovat, že zdrojem kontaminace mohou být staré podzemní inženýrské sítě, především stará chemická kanalizace (obrázek č. 4) a přívodní potrubí vedoucí z oblasti nádrží u vrtu FAR-10 směrem k objektu č. 32a. Tuto úvahu podporuje i vývoj znečištění ve vrtech situovaných v oblasti jihozápadně od objektu č. 31, tedy v prostoru s masivní kontaminací (vrty SM-18, SM-42, SM-44 a SM-45). V závislosti na jejich pozici se měnil obsah hlavních polutantů - toluenu, chlorbenzenu a případně benzenu během přerušení sanačního čerpání podzemní vody po dobu cca 5,5 měsíce. Vrty vykazovaly po přerušení čerpání nárůst kontaminace, poté určité vyrovnaní a po opětovném zahájení čerpání opět pokles kontaminace. Je tedy zřejmé, že při sanačním čerpání je z okolí přitahována relativně čistá podzemní voda. Naopak ve vrtu SM-43, který je dál od místa masivní kontaminace, došlo po přerušení čerpání k poklesu obsahu toluenu a benzenu a naopak nárůstu chlorbenzenu. Po zahájení čerpání řádově vzrostl obsah toluenu i benzenu a poklesl obsah chlorbenzenu. Proto je nutná kombinace různých sanačních technologií, která zvýší účinnost prací, na lokalitě Farmak se jedná o aplikaci Fentonova činidla za současného odsávání vzduchu z aplikačních vrtů a doplňkové sanační čerpání podzemní vody.

Monitoringem nově vyhloubených vrtů byla zjištěna masivní kontaminace i z. od objektu č. 31b (příloha č. 6). Proto byl severně od vrtu SM-64 vyhlouben dodatečně vrt SMŠ-1 s cílem vymezit okraj kontaminačního mraku. Obsah toluenu v tomto vrtu činil 36 900 $\mu\text{g/l}$. Byl tedy vyhlouben ještě vrt SM-73 cca 20 m severně od SMŠ-1. Ve vrtu nebyla přítomnost polutantů zjištěna, a to i opakovaně, toluen byl pouze 3,9 $\mu\text{g/l}$. Z polutantů, pro které je stanoven sanační limit, byly nad tímto limitem v obou kolech vzorkování amonné ionty a chlorbenzen, vždy však pouze mírně nad limitem. Lze tedy konstatovat, že vrtem SM-73 byl vymezen okraj kontaminace v prostoru objektu č. 31 na severozápadě.

V okolí vrtu FAR-10 nebyla čtyřmi nově vyhloubenými vrty (SM-56 až SM-59) kontaminace prokázána. Ve vrtu FAR-10 byly při sanačním čerpání stále nadlimitní obsahy benzenu a DCE. Po přerušení čerpání z vrtu došlo k poklesu obou polutantů pod sanační limit, je tedy zřejmé, že i v prostoru tohoto vrtu, kde jsou stará podzemní potrubí, dochází k přitahování kontaminace z okolí. Při aplikaci Fentonova činidla do vrtu je dokumentována bouřlivá reakce a zvýšení teploty až na 50 °C způsobené zbytky burelu (MnO_2), který byl v minulosti v daném místě volně skladován a při terénních úpravách byl ponechán na místě. Kvalitativní analýzou byly v podzemní vodě z vrtu FAR-10 identifikovány hexanon, butanol, buten a methylpenteny (tabulka 30 v příloze č. 19). Východně od vrtu FAR-10 se nacházejí staré nepoužívané nádrže

v betonových vanách (objekt č. 31d). V srpnu 2010 byly odebrány vzorky vody jak přímo z ocelové nádrže, tak z prostoru mezi nádrží a vanou. Výsledky analýz, uvedené v tabulce 24 v příloze č. 19 dokládají, že i když byla v nádrži voda znečištěná zbytky toluenu a amonných iontů, mimo nádrž se kontaminace nešíří. Voda z nádrže byla vyčerpána a zlikvidována v sanační stanici.

V prostoru vrtu P-32 je kontaminace podstatně rozsáhlejší, jak plošně tak i vertikálně. Ve vrtu SM-49 byl ve vzorku zeminy z podložního písčitého jílu z hloubky 11,0 až 12,0 m stanoven obsah NEL ve výši 1 460 mg/kg, přítomny byly i aceton a metanol (tabulka 37 v příloze č. 19).

Na základě všech výše uvedených nově zjištěných skutečností je nutné konstatovat, že stávající rozsah prací neumožní odstranění kontaminace tak, aby byly splněny platné cílové limity sanace. Považujeme za nezbytné po ukončení I. a II. etapy prací zhodnotit míru zbytkové kontaminace ve formě dodatku AAR a navrhnout a realizovat další, III. etapu sanačních prací, které ovšem musí předcházet podrobný průzkum především severovýchodní části areálu Farmaku, prostoru podél všech větví staré chemické kanalizace, území podél přívodního potrubí mezi objekty č. 31d a 32a a okolí a podloží starých nepoužívaných jímek a nádrží, z nichž některé jsou vyznačeny na obrázku č. 4.

V rámci sanačních prací bylo provedeno velké množství laboratorních analýz a zkoušek, jak bylo uvedeno výše. Výsledky byly vždy vyhodnoceny v samostatných zprávách nebo v ročních zprávách (viz kapitola 6). Některé jsou uvedeny výše při popisu nově zjištěných skutečností, níže pak uvádíme souhrn dalších výsledků, které jsou využity pro AAR.

Detaily geologické stavby a hydrogeologických poměrů zaměřené na rizika šíření kontaminace

Geologická stavba odpovídá základnímu geologickému profilu: ve směru od podloží do nadloží – kulmské horniny ⇒ neogenní (mladší terciér) sedimenty ⇒ štěrkopísčité fluvialní souvrství (kvartér) ⇒ povodňové hlíny s jílovitou a písčitou příměsí ⇒ antropogenní navážky. Mocnost jednotlivých litologických vrstev je velmi proměnlivá.

Přírodní podmínky a přírodní (neporušená) geologická stavba v areálu Farmaku jsou relativně příznivé pro vertikální migraci kontaminace vzhledem k relativně malé mocnosti krycí vrstvy, jejímu častému nahrazení navážkou a ke kolísání hladiny podzemní vody. Přirozený geologický profil je navíc na lokalitě narušen antropogenní činností zejména:

- liniovými stavbami – inženýrské sítě – založené v hloubce až 4,0 m p.t. (báze obsypu staré chemické kanalizace u objektu č. 21), ostatní kanalizace je od 0,8 do 4,0 m p.t., rozvody pitné a chladicí vody jsou od 0,8 do 3,0 m p.t., nízkotlaký plynovod je veden v hloubce 1,0 až 3,0 m p.t., elektrické kabely od 0,7 do 3,0 m p.t.,
- hloubka základů budov se pohybuje od 1,0 do 5,0 m p.t., objekt č. 31e má vybudovanu nepropustnou těsnicí stěnu proti vlhkosti do hloubky 7,5 m p.t.,
- podzemními jímkami se základovou spárou až 5 m p.t. (obrázek č. 4).

Údaje o hloubkách inženýrských sítí poskytl zaměstnanec Farmaku Ing. Majda.

Z výsledků fyzikálně-mechanických zkoušek, provedených na 8 vzorcích zeminy z vrtů HP-1 a HP-6 (vyhloubených v roce 2007) vyplývá, že ve vrstvě štěrkopísku bylo 5 až 9 % příměsí hlíny. Podíl štěrkových zrn činil 52 až 61 % a podíl jemné, střední a hrubé frakce (2 až 63 mm) byl vyrovnaný. Písek byl zastoupen 32 až 42 %. Ve vrstvě podložních jílovitohlinitých, případně

hlinitých písků byl podíl hlinitých zrn 37 a 48 %, písek činil 52 a 63 %. Protokoly zkoušek jsou součástí přílohy č. 18, v tabulce 28 jsou uvedeny hodnoty součinitele hydraulické vodivosti zjištěné ze zkoušek.

Tabulka 28: Petrografické popisy podle křivky zrnitosti a hodnoty součinitele hydraulické vodivosti (K) stanovené výpočtem z granulometrické analýzy

Objekt	Datum	Hloubka odběru vzorku (m)	Petrografický popis podle granulometrické analýzy	K (m/s)
HP-1	22.11.2007	1,5 - 2,0	hlína	$<3,0 \times 10^{-8}$
		5,0 - 6,0	hlinitopísčítý štěrk	$1,4 \times 10^{-3}$
		7,0 - 8,0	hlinitopísčítý štěrk	$2,2 \times 10^{-4}$
		8,6 - 9,0	jílovitohlinitý písek	$<3,0 \times 10^{-8}$
HP-6	23.11.2007	1,8 - 2,3	hlína	$5,0 \times 10^{-8}$
		4,6 - 5,0	hlinitopísčítý štěrk	$4,2 \times 10^{-4}$
		7,0 - 8,0	hlinitopísčítý štěrk	$7,1 \times 10^{-4}$
		8,7 - 9,0	hlinitý písek	$1,9 \times 10^{-7}$
SM-49	18.10.2011	8,0 - 9,0	hlinitopísčítý štěrk	$2,6 \times 10^{-4}$
	18.10.2011	10,5 - 11,0	písek se štěrkem (12 %)	$3,4 \times 10^{-5}$
	18.10.2011	11,0 - 12,0	jílovitá hlína písčítá	$<3,0 \times 10^{-8}$
SM-54	20.5.2011	3,5 - 4,5	hlinitopísčítý štěrk	$1,8 \times 10^{-4}$
	20.5.2011	6,0 - 7,0	hlinitopísčítý štěrk	$5,6 \times 10^{-4}$
SM-55	26.5.2011	8,4 - 9,0	hlinitý písek se štěrkem (16 %)	$2,5 \times 10^{-7}$
SM-59	2.6.2011	1,5 - 2,5	hlína	$<3,0 \times 10^{-8}$
	2.6.2011	3,5 - 4,0	hlinitý písek se štěrkem (34 %)	$1,3 \times 10^{-6}$
	2.6.2011	6,8 - 8,0	prachovitý písek se štěrkem (18 %)	$7,0 \times 10^{-8}$
SM-62	31.5.2011	1,5 - 2,0	hlinitý písek se štěrkem (27 %)	$1,1 \times 10^{-6}$
	31.5.2011	7,0 - 8,0	písčítá hlína	$<3,0 \times 10^{-8}$
SM-63	31.5.2011	5,5 - 6,0	hlinitopísčítý štěrk	$4,2 \times 10^{-4}$
SM-65	18.5.2011	7,4 - 8,0	prachovitý písek	$6,4 \times 10^{-8}$
SM-70	19.5.2011	4,5 - 5,0	hlinitopísčítý štěrk	$7,6 \times 10^{-4}$

Součinitel hydraulické vodivosti (K), který vyjadřuje míru propustnosti horninového prostředí a je číselně roven filtrační rychlosti, byl stanoven výpočtem z křivky zrnitosti vzorků zemin metodou Mallet-Pacquand. Ve vzorcích zemin, odebraných z vrtů HP-1 a HP-6, se hodnoty součinitele K pro kolektor písčítých štěrků pohybují v rozmezí $2,2 \times 10^{-4}$ až $1,4 \times 10^{-3}$ m/s. Hydrogeologický kolektor lze tedy podle klasifikace propustnosti hornin [36] označit za dosti silně propustný (III. třída propustnosti) a stanovené hodnoty K korelují s archivními hodnotami uvedenými v kapitole 1.2.3. Při karotážním měření [in 16] byly hodnoty K ze stejného prostředí stanoveny o řád níže ($2,0 \times 10^{-4}$ až $2,0 \times 10^{-5}$ m/s) a navíc bylo zjištěno, že ve vrtech AT-106 a HP-5 od sebe vzdálených 5 m, navzdory existenci stejných propustných poloh, není rychlost ani režim proudění úplně stejný, což má vliv na vytváření tzv. preferenčních zón, kterými se kontaminace šíří rychleji. Vrstva podložních jílu má podle klasifikace propustnosti hornin charakter prostředí nepatrně propustného až velmi slabě propustného, součinitel hydraulické vodivosti K se pohybuje v intervalu $<3,0 \times 10^{-8}$ až $1,9 \times 10^{-7}$ m/s (VII. až VIII. třída propustnosti). Pro vrstvu hlín ležících v nadloží písků se štěrkem nebo písčítých štěrků byl stanoven K v intervalu $<3,0 \times 10^{-8}$ až $5,0 \times 10^{-8}$ m/s, což ji řadí do prostředí velmi slabě propustného až nepatrně propustného (VII. až VIII. třída propustnosti), které by mělo zabránovat pronikání kontaminace do saturované zóny. Na některých místech byly nadložní hlíny nahrazeny

navážkou s různým stupněm písčité nebo jílovité příměsi. Navážky jsou řazeny do prostředí o něco propustnějšího než původní hlíny, jsou tedy pro pronikání kontaminace do saturované zóny rizikovější. Ve vrtech vyhloubených v průběhu sanace **v letech 2007 až 2009** byla vždy zastižena navážka, obvykle charakteru písčité nebo jílovité hlíny s úlomky cihel, kamenů, betonu nebo škváry a stavební suti. Její průměrná mocnost činila **1,9 m**, s maximem 4,3 m ve vrtu MNV-3 a s minimem 0,5 m v sondě VK-5 (obrázek č. 4). Navážka tedy dosahuje do větších hloubek, než bylo prezentováno v analýze rizik. V 6-ti vrtech byla krycí vrstva šterkopísků, úplně nahrazena navážkou, případně i část kolektoru (vrty HP-2 do hloubky 2,2 m p.t., HP-7 do 4,0 m p.t., MNV-3 do 4,3 m p.t., SM-43 do 2,7 m p.t., SM-44 do 3,1 m p.t. a SM-45 do 2,8 m p.t.).

Také z 8 vybraných vrtů vyhloubených v roce 2011 (příloha č. 6) v rámci dodatečných prací byly odebrány vzorky zeminy na fyzikálně-mechanické zkoušky. Protokoly zkoušek jsou součástí přílohy č. 18, petrografické popisy podle křivky zrnitosti a vypočtené koeficienty hydraulické vodivosti jsou uvedeny v tabulce 28. Ve svrchní části profilu (vzorek z vrtu SM-59 z hloubky 1,5 až 2,5 m) je přítomna hlína, která představuje hydrogeologický izolátor s $K = <3,0 \times 10^{-8}$ m/s. Ve vrtu byla hlína zastižena od 1,2 do 3,4 m p.t. Ve všech vrtech je však hlína nahrazena částečně nebo zcela navážkou, často charakteru hlinitého písku se šterkem (1,5 - 2,0 m, ověřena ve vrtu SM-62), která má koeficient hydraulické vodivosti vyšší - $1,1 \times 10^{-6}$ m/s. Ve střední části profilu (3,5 - 7,0, resp. 11,0 m v prostoru objektu č. 13a) byl ověřen většinou hlinitopísčítý šterk, méně hlinitý písek se šterkem nebo písek se šterkem. Uvedené typy zemin představují hydrogeologický kolektor koeficientem hydraulické vodivosti v intervalu $3,4 \times 10^{-5}$ až $7,6 \times 10^{-4}$ m/s. Na bázi vrtů byl v hloubce 7,0 až 12,0 m p.t. zjištěn prachovitý písek, prachovitý písek se šterkem, hlinitý písek se šterkem, písčitá hlína nebo jílovitá hlína písčitá, tedy sedimenty s povahou izolátoru. Tomu odpovídají nízké hodnoty koeficientu hydraulické vodivosti ($<3,0 \times 10^{-8}$ - $7,0 \times 10^{-8}$ m/s). Při porovnání petrografických popisů zjištěných z křivky zrnitosti, uvedených v tabulce 28, s popisy provedenými vizuálně v terénu dle normy ČSN 72 1001 „Pojmenování a popis hornin“ (nyní zrušené), které jsou v příloze č. 13 roční zprávy za rok 2011 [18d], mají některé zeminy odlišné názvy. To je dáno různou metodikou určení. Největší rozdíly jsou u sedimentů ve spodní části profilu, zařazenými podle křivky zrnitosti jako hlína, ve skutečnosti se však jedná o jílovitý písek až jíl.

Předkvartérní podloží tvoří na lokalitě a v jejím blízkém okolí morfologicky zvlněný paleoreliéf, na který sedimentovaly říční šterkopísky. Pro všechny dostupné vrty jsme uspořádali data o mocnosti kolektoru a krycí vrstvy hlín do přílohy č. 23. V příloze č. 15 jsou znázorněny izolinie báze kolektoru, která se pohybuje v nadmořské výšce 205 až 207 m s několika lokálními depresiemi. Podrobný popis je uveden v kapitole 1.2.3. Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší úrovní báze kolektoru v zájmovém území je cca 5,3 m.

V areálu Farmaku bylo v období od 27. 2. 2007 do 29. 2. 2012 vyhloubeno celkem 52 nových vystrojených vrtů (příloha č. 22), z toho 43 svislých a 9 šikmých. Dále bylo vyhloubeno 26 nevystrojených vrtů, většinou do hloubky kolem 4 m pod terénem, které vždy byly likvidovány záhozem. Pouze vrty MNV-1 až MNV-3 byly ukončeny v 10,0 m p.t. a sloužily k odběru vzorků zeminy pro zkoušky STP. Vrty MNV-4 až MNV-7 byla zpřesňována míra kontaminace podél staré chemické kanalizace. Dočasné sondy VK-1 až VK-8 byly vyhloubeny v září 2009 pro ověření účinnosti ventingu. V roce 2011 bylo vyhloubeno v betonové vaně objektu č. 13b (příloha č. 16) 10 mělkých nevystrojených sond (MNV-4 až MNV-13), kterými byla zjišťována kontaminace výplně kolem nádrží v betonové vaně. Navíc byl vyhlouben mělký nevystrojený vrt MNV-14 do 4,2 m p.t., v prostoru mezi vrty P-32 a P-56 (příloha č. 5), pro ověření výskytu volné fáze toluenu na hladině podzemní vody. Mělké nevystrojené vrty (max. do

hloubky 4,2 m) nejsou v hodnocení mocnosti litologických vrstev uvažovány, tak jako šikmé vrty, u nichž dochází k určitému zkreslení vlivem úhlu hloubení. **Hodnoceno je tedy 46 vrtů.** Mocnost navážek, které částečně nebo zcela nahradily původní povodňové hlíny, byla ověřena v intervalu od 0,8 m (MNV-2, SM-75) do 4,3 m (MNV-3). Ve vrtech SM-46 a SM-50 byla sice také zastižena navážka až do 4,3 m p.t., ovšem vrty jsou umístěny v prostoru objektu č. 13a, v němž předtím byla odtěžována kontaminovaná zemina. Ve většině vrtů (31 ze všech hodnocených vrtů) navážka zcela nahradila původní hlíny. Průměrná mocnost navážek (hodnoceno je 46 vrtů vyhloubených v letech 2007 až 2011) je **2,4 m**. Zachovalá mocnost rostlých hlín byla zjištěna v rozmezí od 0,1 m (P-56) do 2,2 m (SM-59). Průměrná mocnost zastižených krycích hlín je pouze 0,9 m (není myšlena celková mocnost nadloží štěrkopísčitého kolektoru). Vrstva krycích hlín byla ověřena pouze v 15 vrtech, a to do hloubky 1,5 m (SM-71) až 4,7 m (SM-50). Mocnost kvartérních písků, písků se štěrkem a písčitých štěrků, tvořících hydrogeologický kolektor, byla zjištěna v intervalu od 2,4 m (VV-1) do 7,7 m (SM-49). Průměrná mocnost kolektoru je 4,8 m. Obvykle byly vrty hloubeny jako hydraulicky úplné, tzn. do nepropustného podloží, s výjimkou vrtu MNV-2 a některých vrtů vyhloubených pro aplikaci Fentonova činidla. Petrografické popisy těchto vrtů tvoří přílohu č. 13 v roční zprávě za rok 2011 [18d]. Ve všech hydraulicky úplných vrtech byl zastižen ve funkci nepropustného podloží jíl s různou příměsí písku, případně ojedinělými valouny štěrku, zřejmě neogenního stáří. Kulmské horniny nebyly v žádném vrtu zjištěny. V tabulce 29 jsou uvedeny mocnosti krycí vrstvy hlín, báze kolektoru a mocnost kolektoru ve vybraných vrtech.

Tabulka 29: Báze hydrogeologického kolektoru a krycí vrstvy ve vybraných vrtech vyhloubených v rámci sanačních prací v areálu Farmaku

Objekt	Hloubka vrtu (m)	Kóta terénu (m n.m.)	Báze kolektoru (m p.t.)	Báze kolektoru (m n.m.)	Mocnost kolektoru (m)	Mocnost krycí vrstvy (m)	Hladina podz. vody ustálená po vystrojení (m p.t.)
HP-1	10,0	214,09	8,0	206,09	5,9	2,1	4,19
HP-2	10,0	214,11	8,3	205,81	6,1	2,2	4,19
HP-3	10,0	214,08	8,2	205,88	5,2	3,0	4,16
HP-4	10,0	214,09	8,2	205,89	5,8	2,4	4,18
HP-5	10,0	214,07	8,6	205,47	6,2	2,4	4,21
HP-6	10,0	214,93	8,5	206,43	6,2	2,3	4,83
HP-7	10,0	214,81	8,7	206,11	5,7	3,0	4,73
MNV-1	10,0	213,84	7,3	206,54	3,8	3,5	-
MNV-2	10,0	213,90	>10,0	>203,90	>7,7	2,3	-
MNV-3	10,0	214,92	8,7	206,22	4,4	4,3	-
P-56	9,5	214,64	8,3	206,34	5,3	3,0	4,78
SM-18	10,0	213,79	7,0	206,79	4,8	2,2	3,57
SM-42	10,0	214,15	7,2	206,95	4,2	3,0	3,90
SM-43	10,0	213,70	7,4	206,30	4,7	2,7	3,41
SM-44	8,0	213,99	7,0	206,99	3,9	3,1	4,25
SM-45	8,0	213,80	6,8	207,00	4,0	2,8	4,02
SM-49	12,0	214,62	11,0	203,62	7,7	3,3	4,27
SM-50	9,0	214,56	>9,0	>205,56	>4,3	4,7	4,19
SM-52	9,0	214,41	8,3	206,11	4,9	3,4	4,18

Objekt	Hloubka vrtu (m)	Kóta terénu (m n.m.)	Báze kolektoru (m p.t.)	Báze kolektoru (m n.m.)	Mocnost kolektoru (m)	Mocnost krycí vrstvy (m)	Hladina podz. vody ustálená po vystrojení (m p.t.)
SM-59	9,0	213,46	6,8	206,66	3,4	3,4	2,66
SM-60	9,0	213,17	6,7	206,47	5,5	1,2	2,47
SM-61	9,0	213,27	6,6	206,67	5,1	1,5	2,53
SM-64	8,0	213,93	6,5	207,43	3,9	2,6	3,33
SM-70	9,0	214,09	>9,0	>205,09	>5,5	3,5	3,40
SM-73	9,0	213,83	6,8	207,03	4,5	2,3	3,35
SM-74	9,0	213,67	6,9	206,77	3,9	3,0	2,86
SM-75	9,0	213,41	6,5	206,91	5,7	0,8	2,95
SMS-8	9,0	213,68	6,7	206,98	4,7	2,0	3,26
VV-1	8,0	213,13	6,2	206,93	2,4	3,8	2,20

Vysvětlivky: kurzívou jsou označeny vrty, v nichž byla krycí vrstva hlín zcela nahrazena navážkou

Pro konstrukci map hydroizohyps (příloha č. 8) byla použita měření stavů hladiny podzemní vody ve dnech 28. 6. 2007, 2. 7. 2010, 26. 8. 2011, 7. 2. 2012 a 28. 2. 2012. Dne 28. 6. 2007, tedy před zahájením sanačních prací byly čerpány vrty R-213 (1,15 l/s), R-217 (1,14 l/s) a R-218 (0,84 l/s), tj. celkově 3,13 l/s. Dne 2. 7. 2010 byly v provozu všechny 3 sanační stanice, čerpáno bylo 5,75 l/s z 10-ti sanačních vrtů a navíc 0,82 l/s z vrtu R-218 a zasakováno zpět do horninového prostředí bylo 1,89 l/s. V JÚ Černovír bylo čerpáno 76,6 l/s vody. Dne 26. 8. 2011 byla v provozu pouze sanační stanice č. 2, čerpány byly vrty AT-106, P-32, P-56 a SM-9 o celkové vydatnosti 1,64 l/s, zasakováno bylo 0,79 l/s. Čerpáno bylo také z vrtu R-217 ve výši 0,6 l/s. Z jímacího území bylo čerpáno 118,5 l/s. Dne 7. 2. 2012 byly v provozu sanační stanice č. 1 a 2, čerpány byly vrty AT-106, P-32, SM-18, SM-43 a SM-45 o celkové vydatnosti 2,9 l/s, zasakováno bylo 0,87 l/s a jímána byla voda i z vrtu R-217 ve výši 0,6 l/s. Z jímacího území bylo odebíráno 113,6 l/s. Dne 28. 2. 2012 byly v provozu také jen sanační stanice č. 1 a 2, čerpány byly vrty AT-106, P-32, P-56, R-213, SM-18, SM-43 a SM-45 o celkové vydatnosti 3,63 l/s, zasakováno bylo 1,03 l/s a z vrtu R-217 se odebíralo 0,62 l/s a z JÚ 82,9 l/s. Níže jsou tato data přehledně uvedena:

Datum	Sanačně čerpaná voda (l/s)	Zasakovaná voda (l/s)	Odběr vody Farmakem (l/s)	Celkový odběr vody z areálu (l/s)	Odběr vody v JÚ (l/s)
28. 6. 2007	-	-	3,13	3,13	58,8
2. 7. 2010	5,75	1,89	0,82	4,68	76,6
26. 8. 2011	1,64	0,79	0,60	1,45	118,5
7. 2. 2012	2,90	0,87	0,60	2,63	113,6
28. 2. 2012	3,63	1,03	0,62	3,22	82,9

Pro zpracování map hydroizohyps byla z řady hydrologických měření (příloha č. 24) vybrána ta, která byla nějakým způsobem mezní - v srpnu 2011 byl odběr vody v areálu Farmaku minimální - 1,45 l/s a v JÚ Černovír spíše vyšší odběr vody (118,5 l/s). Naopak v únoru 2012 byl odběr vody v areálu Farmaku vyšší - 3,2 l/s a v JÚ nižší - 82,9 l/s. V letech 2007 až 2010 nebyl měřen tak rozsáhlý počet vrtů, jako v letech 2011 a 2012. Pro vzájemné porovnání hydraulického spádu byly vybrány co nejvzdálenější objekty, které byly vždy měřeny. Jedná se o prostor mezi východním okrajem PTS (FAR-11) a linií vrtů u řeky Moravy (R-99). Vrt FAR-11 je umístěn na

vnějším okraji PTS, takže by v něm měla být hladina podzemní vody nepřírozně zvýšená. Porovnáme-li však hladiny v tomto vrtu s objektem HV-402, jenž existencí PTS není ovlivněn, tak se jedná o rozdíl v řádu cm. Níže jsou uvedeny úrovně hladiny podzemní vody v těchto vrtech, jejich rozdíl a je vypočten hydraulický spád. Ten je odlišný v únoru 2012. Důvodem je skutečnost, že na rozdíl od měření v letech 2007 až 2010, kdy byla podzemní voda drénována řekou Moravou, docházelo v únoru 2012 k infiltraci povrchové vody z řeky Moravy do hydrogeologického kolektoru (příloha č. 8d), což se projevilo i na rozdílu hladin, který byl dne 28. 2. 2012 o 1 m nižší než dne 2. 7. 2010. Mapa hydroizohyps ze dne 28. 2. 2012 tedy znázorňuje proudění podzemní vody za nižších vodních stavů, ze dne 2. 7. 2010 za vyšších vodních stavů, což je zřejmé i z grafu č. 5, v němž jsou vyznačeny úrovně hladiny podzemní vody v objektu VB0065 v daných dnech a navíc i dne 20. 4. 2004, pro který byly zpracovány hydroizohypsy během sanačního doprůzkumu. Tento objekt je v dostatečné vzdálenosti jak od areálu Farmaku, tak i od JÚ Černovír a měl by představovat přirozené kolísání hladiny podzemní vody. Rozdíl hladin v červenci 2010 a únoru 2012 v něm však činil jen 0,35 m. Objekt VB0065 je více v centru údolní terasy, a proto v něm rozkvyv není tak velký.

Datum	Hladina PV ve FAR-11 (m n.m.)	Hladina PV v R-99 (m n.m.)	Rozdíl hladin (m)	Hydraulický gradient	Hladina PV ve VB0065 (m n.m.)
28. 6. 2007	211,55	208,89	2,66	0,0035	212,69
2. 7. 2010	212,11	209,23	2,88	0,0038	213,12
26. 8. 2011	211,65	209,05	2,60	0,0034	212,97
7. 2. 2012	211,55	209,42	2,13	0,0028	212,79
28. 2. 2012	211,51	209,63	1,88	0,0025	212,77

Výpovědní hodnota map hydroizohyps při sanačním čerpání je pro areál Farmaku snížena skutečností, že ze sanačně čerpaných vrtů, s výjimkou VV-1, je čerpáno intervalově a naměřené hodnoty odpovídají okamžitému stavu. Navíc se zasakované vrty zanášejí biomasou, jejich hltnost klesá a často je v nich hladina vody nad úrovní terénu. Z toho důvodu byla u těchto vrtů při zpracování map hydroizohyps provedena korekce hladiny podzemní vody na úroveň terénu.

Podzemní voda v době před zahájením sanace směřovala z areálu Farmaku směrem k západu až jihozápadu (příloha č. 8a). Pouze lokální deprese se vytvořila kolem čerpaného vrtu R-217. Dne 28. 6. 2007 byl hydraulický gradient v prostoru mezi východním okrajem PTS a linií vrtů u řeky Moravy 0,0035 (vypočtený z rozdílu hladin ve vrtech FAR-11 a R-99). Čerpání podzemní vody z vrtů R-213, R-217 a R-218 se projevilo pouze lokální depresí kolem vrtu R-217. Maximální rozdíl potenciometrické výšky (počítáno z hodnot v m n.m.) na lokalitě byl 2,8 m. Hladina podzemní vody byla volná nebo napjatá a pohybovala se v hloubce od 1,7 do 5,2 m p.t.

Při sanačním čerpání dne 2. 7. 2010 (příloha č. 8b) se vytvořil v areálu Farmaku vyšší hydraulický spád, především v jeho východní části, která je ohraničena podzemní těsnicí stěnou a v níž jsou jak zasakované, tak čerpané vrty. Proudové pole bylo ovlivněno umístěním čerpaných a zasakovaných vrtů. Vliv přítoku podzemní vody z prostoru za okrajem PTS u objektu P-200 není nijak výrazný. Dne 2. 7. 2010 byl hydraulický gradient v prostoru mezi PTS a linií vrtů u řeky Moravy 0,0038, tedy jen nepatrně vyšší ve srovnání s obdobím před zahájením sanace. Maximální rozdíl potenciometrické výšky na lokalitě však byl 8,3 m vlivem čerpání a zásaku na lokalitě. Hladina podzemní vody byla volná nebo napjatá a pohybovala se od cca 0,0 m p.t. v zasakovaných vrtech do 8,3 m p.t. v sanačně čerpaných vrtech.

Dne 26. 8. 2011, kdy byl odběr vody z areálu Farmaku pouze 1,45 l/s, nebyl rozdíl potenciometrických výšek tak výrazný, depresní kužele kolem sanačně čerpaných vrtů byly nevýrazné, pouze ve vrtu R-217 byla vlivem odběru 0,6 l/s snížena hladina podzemní vody o více jak 2 m (příloha č. 8c). Proudové pole bylo částečně ovlivněno umístěním zasakovaných vrtů. Dne 26. 8. 2011 byl hydraulický gradient v prostoru mezi PTS a linií vrtů u řeky Moravy 0,0034, tedy nižší než v letech 2007 a 2010. Maximální rozdíl potenciometrické výšky na lokalitě však byl 7,5 m. Hladina podzemní vody byla volná nebo napjatá a pohybovala se od cca 0,0 m p.t. v zasakovaných vrtech do 6,0 m p.t. v sanačně čerpaných vrtech. Výjimkou byl vrt SM-9, který má velmi nízkou vydatnost a při čerpání v něm hladina klesá až na 8 m p.t. Přitom ve vrtu HP-7, vzdáleném cca 5 m byla naměřena hladina o 3,5 m výše.

Dne 28. 2. 2012 byl rozdíl potenciometrických výšek přímo v areálu Farmaku o něco vyšší (příloha č. 8d), neboť bylo odebíráno 3,22 l/s, ovšem v důsledku nižších vodních stavů byl hydraulický spád nejnižší - 0,0025 a díky větším průtokům v řece Moravě docházelo k infiltraci vody z Moravy do kolektoru. Maximální rozdíl potenciometrické výšky na lokalitě byl 6,36 m. Hladina podzemní vody byla volná nebo napjatá a pohybovala se od cca 0,0 m p.t. v zasakovaných vrtech do 5,95 m p.t. ve vrtu R-217.

Z měření dne 7. 2. 2012 je zpracována detailní mapa hydroizohyps v prostoru objektu č. 31 (příloha 8e), kdy bylo čerpáno z vrtů SM-18, SM-43 a SM-45 celkem 1,87 l/s. Lokálně docházelo ke změně proudění podzemní vody, protože je v této části kolektor dostatečně zvodnělý, nebyl rozdíl potenciometrických výšek tak výrazný a činil cca 0,4 m.

Režim proudění mělké podzemní vody je výrazně ovlivněn PTS. Na straně přítokové k PTS, tj. na straně sv. a v. je hladina podzemní vody vyšší vně PTS než uvnitř PTS a naopak na odtokové straně směrem k řece Moravě je hladina podzemní vody vně PTS nižší než uvnitř PTS. Znamená to, že hladina podzemní vody na přítokové straně PTS je „vzdutá“ díky této hydraulické bariéře, na odtokové straně PTS je hladina „zakleslá“. Podle [65] byl při zkušebním provozu PTS od října 1987 do září 1988 mezi vrty P-201 a P-202 rozdíl hladiny podzemní vody 0,28 m, ovšem současně bylo provozováno sanační čerpání podzemní vody v linii vrtů vedoucí východně od PTS mezi areálem Farmaku a železniční tratí. V grafu č. 5 jsou vyneseny rozdíly mezi hladinami za období let 2003 až 2012 (protože měření bylo prováděno nejen zhotovitelem, ale i pracovníky Farmaku a nelze vyloučit chybné měření, vynesli jsme do grafu č. 6 úroveň hladiny podzemní vody z měření, prováděných pouze zhotovitelem v rámci sanačních prací). Jak z grafů vyplývá, zahájení sanačního čerpání se projevilo poklesem hladiny podzemní vody uvnitř PTS o cca 1 m. Pro hodnocení šíření kontaminace a účinnosti sanace je významné období roku 2010, kdy byl zaznamenán v květnu 2010 nárůst hladiny podzemní vody vně PTS na maximum nejen za celé období sanace, ale i za léta 2003 až 2012. Hladina podzemní vody dosáhla až k hornímu okraji PTS, protože však vrty na vnitřní straně PTS vykazovaly rozdíl cca 0,5 m, nepředpokládáme vtékání vody do areálu Farmaku z prostoru vně PTS. K vzestupu hladiny podzemní vody v důsledku intenzivních dešťů došlo i uvnitř PTS, přestože čerpané množství bylo stejné. V grafu č. 2 je pro ilustraci vyznačen i výskyt volné fáze na hladině vrtu P-32, který se objevuje po určitém vzestupu hladiny podzemní vody v areálu Farmaku, a tedy promytí rozhraní saturované a nesaturované zóny. Výjimkou je výskyt filmu na hladině podzemní vody ve vrtu P-32 koncem roku 2011, kdy hladina podzemní vody dlouhodobě klesala. V grafu č. 6 je pak vyznačeno množství vody, které bylo odebíráno v areálu Farmaku zhotovitelem během sanačního čerpání a Farmakem do chladicího okruhu, snížené o zasakované množství, a chod hladiny podzemní vody ve vrtu VB0065, jenž je v dostatečné vzdálenosti (příloha č. 1). Po zahájení sanačního čerpání hladina podzemní vody v areálu postupně klesala s nárůstem čerpaného množství,

naproti tomu chod hladiny podzemní vody ve vrtu VB0065 byl vyrovnaný. Tento stav trval do začátku roku 2008, kdy došlo k ustálení hydrodynamických podmínek v areálu Farmaku. Přestože pak bylo čerpáno cca 5 l/s, tak chod hladiny ve vrtech uvnitř i vně PTS byl v podstatě stejný. Ve srovnání s objektem VB0065 byly výkyvy hladiny podzemní vody během let 2008 až 2012 výraznější, a to i ve vrtech vně PTS. Koncem roku 2011, v důsledku nižších odběrů vody v JÚ Černovír (byla prováděna rekonstrukce jímacích objektů), byl ve vrtech P-202 a P-204 zaznamenán vzestup hladiny podzemní vody o cca 0,2 m ve vrtu P-202 a o 0,4 m ve vrtu P-204, který je k JÚ o 200 m blíže (příloha č. 3).

Z hlediska šíření kontaminace podzemní vodou je nejdůležitějším potenciálně ohrožitelným recipientem JÚ Černovír. Pro ilustraci vlivu vodárenských odběrů a existence PTS na proudění podzemní vody v zájmovém území jsou na obrázku č. 6 znázorněny hydroizohypsy při vysokých a nízkých vodních stavech z let 1965, kdy z jímacího území bylo odebíráno 250 l/s a depresní kužel dosahoval kóty 206,0 m n.m. (při nízkých vodních stavech) a 207,0 m n.m. (při vysokých vodních stavech). Rozvodnice v důsledku vodárenských odběrů se vytvářela sv. od areálu Farmaku. Také z mapy hydroizohyps, převzaté z [27] a znázorňující proudění podzemní vody v roce 1983 při odběru 200 l/s z JÚ (obrázek č. 7), vyplývá, že rozvodnice se tvoří severně a sv. od areálu Farmaku. Proto také nebylo v 70. letech 20. století dokumentováno významné šíření kontaminace v podzemní vodě směrem k JÚ, na rozdíl od znečištění v domovních studnách mezi areálem Farmaku a řekou Moravou, kde byly ověřeny koncentrace polutantů ve stovkách tisíc $\mu\text{g/l}$ například ve studnách Db-30, Db-41 (tabulka 7 v příloze č. 19). Z námi vypracovaných map hydroizohyps (přílohy č. 8c a 8d) vyplývá, že se rozvodnice v důsledku existence PTS tvoří jižněji. Při odběru cca 83 l/s vody z JÚ se vytváří v širším okolí vrtu HV-124, při vyšším odběru (cca 120 l/s) se rozvodnice posunuje mírně k severu.

Sledování obsahu iontových a neiontových forem dusíku

Výsledky analýz iontových a neiontových forem dusíku, chloridů a pH podzemní vody z vrtů sanačně čerpáných (AT-103, FAR-2, P-32 a SM-43), zasakovaných (SM-14, SM-17 a P-39), neovlivněného vrtu P-37 a jímky chladírny, které byly odebírány v týdenních intervalech ve 3 cyklech - leden až březen 2009, srpen a září 2009 a červen 2010, jsou uspořádány do tabulky 21 v příloze č. 19. U neovlivněného vrtu P-37 je obsah amonných iontů po celou dobu sanace vyrovnaný - na začátku sanace v září 2006 byl obsah NH_4^+ 14,2 mg/l a v červenci 2010 pak 13,0 mg/l. Výkyvy nebyly zaznamenány ani v týdenních intervalech. U zasakovaných vrtů je obsah NH_4^+ ovlivněn jejich koncentrací v zasakované vodě, takže u těchto vrtů je patrná vyšší rozkolísanost (SM-14 a P-39). U čerpáných vrtů je míra rozkolísanosti v týdenních intervalech různá, nejvyšší byla zaznamenána u vrtu FAR-2. Ve vrtu SM-43, který při prvních dvou cyklech čerpán nebyl, byly obsahy amonných iontů vyrovnané, po 10-ti měsících čerpání byl v červnu 2010 dokumentován výrazný pokles amonných iontů. Podíl volného amoniaku, který je toxický, je ve vzorcích vody závislý na hodnotě pH, což se při monitoringu potvrdilo, čím vyšší pH, tím vyšší obsah volného amoniaku. V jímce chladírny (u objektu č. 32a), která by mohla být potenciálním zdrojem kontaminace, byly obsahy amonných iontů odlišné v jednotlivých cyklech vzorkování. V lednu a únoru byly obvykle pod mezí stanovitelnosti, naopak v srpnu dosahovaly až 6,7 mg/l. Z hlediska dusíkové bilance nedocházelo v jednotlivých kolech monitoringu ke změnám v podílech jednotlivých složek (tabulka 22 v příloze č. 19), dusitany byly většinou pod mezí stanovitelnosti a dusičnany v nižších jednotkách mg/l. Chloridy byly stanovovány v omezeném rozsahu a jejich obsah byl ovlivněn zimní údržbou vozovek, neboť v únoru a březnu 2009 byly ve vrtu AT-103 stanoveny koncentrace až 360 mg/l, v červnu 2010 byly koncentrace nižší než 100 mg/l.

Pro výpočty rizik z inhalace amoniakálního dusíku bylo nutné odhadnout reálné poměry disociace dusíku amonného (N-NH_4) na dusík amoniakální (N-NH_3). Podle literatury lze provzdušňováním odstranit z vody při $\text{pH} = 8$ cca 37 % amoniakálního dusíku. Proto byly odebrány vzorky směsné vody před vstupem na stripovací jednotku a po výstupu z ní. Z porovnáním stanovených koncentrací uvedených v tabulce 28 v příloze č. 19 vyplývá, že tímto způsobem se dne 18. 10. 2010 na dekontaminační stanici odstraňovalo 0 až 19 % amoniakálního dusíku.

Analýzy vzorků vody z domovních studní

Výsledky analýz vzorků vody z domovních studní, studní v zahrádkářské kolonii a studny v areálu SŠZ, doplněné o archivní výsledky, jsou uspořádány v tabulce 27 v příloze č. 19. Při vzorkování v září 2010 byly nad sanačním limitem amonné ionty ve studni St-Gajdovi, v níž byly vysoké obsahy NH_4^+ i v roce 2002, a obsah chlorbenzenu ve studni St-Blatákově (345 $\mu\text{g/l}$). Podle vyhlášky č. 252/2004 Sb., ve znění pozdějších předpisů, která stanoví limity pro pitnou vodu, nevyhověla v září 2010 studna St-Müllerovi v amonných iontech, studna St-Gajdovi v amonných iontech a benzenu, studna Blatákově v amonných iontech, benzenu a VCE. Studna St-Vaculínovi překročila limity pro benzen a VCE. Ve studni v areálu SŠZ byl obsah polutantů velmi nízký vzhledem k situování studny cca 120 m od silně kontaminovaného vrtu AT-107. Z pozice studní je zřejmé, že v prostoru od vrtu AT-107 vede preferenční cesta, kterou se šíří polutanty reprezentované benzenem (nižší hustota než voda) a chlorbenzenem (vyšší hustota než voda) a omezeně amonnými ionty dále přes vrt SM-33 v pruhu vymezeném vrtem SM-36 a studnami St-Polívkově a St-Vaculínovi. Dále se preferenční cesta stáčí k západu a vede přes studnu St-Blatákově k vrtům R-99 a vrt 2. V současné době se v této oblasti téměř nevyskytuje toluen. Ve srovnání s archivními výsledky je stávající kontaminace „zanedbatelná“, neboť v době průzkumu v roce 1977 byl obsah toluenu v desítkách tisíc $\mu\text{g/l}$ a obsah benzenu v tisících $\mu\text{g/l}$. Nejvyšší kontaminace byla v roce 1977 zjištěna v domovní studni označené Db-41 (příloha č. 3), v níž bylo stanoveno 263 560 $\mu\text{g/l}$ rozpuštěných organických látek s cca 62% podílem sumy acetonu a etanolu (tabulka 7 v příloze č. 19). Z hlediska ohrožení lidského zdraví je v současnosti nevyhovující obsah VCE a benzenu, což jsou lidské karcinogeny.

Monitoring kvality podzemní vody směrem JÚ Černovír a ve směru jejího proudění k řece Moravě

Výsledky analýz vzorků podzemní vody jsou sestaveny do tabulky 29 v příloze č. 19. Ve všech 7 vrtech situovaných za PTS směrem k JÚ Černovír byly obsahy sledovaných látek jak v jarním, tak podzimním kole monitoringu v roce 2011 většinou pod mezí stanovitelnosti, v menším množství v desetinách $\mu\text{g/l}$. Nejvyšší obsah toluenu byl stanoven ve vrtu HV-403 ve výši 2,5 $\mu\text{g/l}$, který je od studní jímacího území vzdálen 800 m. Referenční hodnoty koncentrací znečišťujících látek nebo ukazatelů znečištění v podzemních vodách, jejichž překročení indikuje vliv lidské činnosti a zhoršenou jakost těchto vod, převzaté z [69], jsou překročeny pouze nepatrně. Karcinogenní benzen a vinylchlorid byly ve všech vzorcích pod mezí stanovitelnosti. Kontaminace podzemní vody mezi areálem Farmaku a JÚ tedy nebyla prokázána. Přesto před ukončením sanačních prací doporučujeme znovu provést monitoring ve stejném rozsahu.

Ve směru k řece Moravě byly vzorkovány 4 objekty, které jsou situovány mimo preferenční zónu šíření kontaminace (v prostoru vrtů SM-36, SM-39 a vrt 2). Z výsledků uvedených v tabulce 29

v příloze č. 19 vyplývá, že také v těchto objektech nebyla zjištěna kontaminace, ve většině ukazatelů byly obsahy pod mezí stanovitelnosti.

Orientační bilance znečištění

Jak vyplývá z kapitoly 2.2.2, je bilance znečištění v daném horninovém prostředí velmi problematická, především z důvodu výskytu volné fáze polutantů na hladině podzemní vody.

Kvantifikovat zbytkové množství polutantů k únoru 2012 (resp. říjnu 2011) je velmi obtížné a je zatíženo vysokou mírou nejistoty. Pokud považujeme za reálný odhad z AR, že do horninového prostředí během provozu v n.p. Farmakon uniklo cca 480 t používaných organických surovin a že při sanačních pracích v letech 1986 až 2001 bylo odtěženo 120 t organických polutantů a že bylo z lokality migrací podzemní vodou před vybudováním PTS odstraněno 240 t organických látek, pak zbývá na dobu před zahájením sanace **120 t**. Dosud při sanaci bylo odtěženo cca 32 t, vycházíme-li z množství odstraněného kondenzátu, podle bilančních výpočtů pak 23,4 t. Zbývá tedy **88 tun**, resp. **96,6 t**. Pokud bychom provedli stejný výpočet aktuálního množství polutantů metodikou, použitou v realizačním projektu, získáme opět velmi nepřesná čísla, která neodpovídají realitě, jak vyplývá níže.

Odhad aktuálního množství polutantů v podzemní vodě lze pomocí vztahu:

$$M = P \times n_e \times h \times c$$

kde:

- M – aktuální (zbytkové) množství toluenu na lokalitě (kg),
- P – plocha s výskytem toluenu nad stávající sanační limit 1 800 µg/l; 28 450,6 m²,
- h – mocnost zvodnělé vrstvy (4,0 m),
- n_e – efektivní pórovitost (odborný odhad 10 %),
- c – průměrná koncentrace toluenu v podzemní vodě; c₁ = 5 000 µg/l a c₂ = 100 000 µg/l; hodnoty odvozené z přílohy č. 9b, koncentrace 100 000 µg/l je výrazně nadhodnocena.

pro c₁ = 5 000 µg/l

Zbytkový obsah toluenu je odhadnut na 56 kg.

pro c₂ = 100 000 µg/l

Zbytkový obsah toluenu je odhadnut na 1 138 kg.

Podobně by mohly být vypočítány obsahy ostatních organických látek. V rámci objektivit je třeba upozornit, že v matematickém modelu (příloha č. 28) je uvažována n_e = 21 %. V tom případě by odhadované aktuální množství toluenu v podzemní vodě bylo dvojnásobné, pro toluen by se pohybovalo v intervalu **112 kg až 2 276 kg**.

Pro srovnání uvádíme v tabulce 30 bilanci stávajícího množství toluenu (vztaženo k říjnu 2011) v podzemní vodě přesně podle metodiky uvedené v RP [25]. Z přílohy č. 9b byly pro jednotlivé izoliny koncentrací toluenu vypočteny odpovídající plochy kontaminace.

Při použití metodiky výpočtu bilance polutantů uvedené v RP vychází zbytkové množství toluenu v podzemní vodě v říjnu 2011 ve výši 151,3 kg.

Tabulka 30: Bilance stávajícího množství toluenu v podzemní vodě v areálu Farmaku

Plocha kontaminace (m ²)	Koncentrace > (mg/l)	Koncentrace (mg/l)	Mocnost kolektoru h (m)	Efektivní pórovitost n _e (%)	Množství (kg)
28 450,6	1,8	1,8	4,0	0,2	41,0
19 409,1	5,0	3,2	4,0	0,2	49,7
5 775,2	10,0	5,0	4,0	0,2	23,1
2 501,5	20,0	10,0	4,0	0,2	20,0
548,2	40,0	20,0	4,0	0,2	8,8
223,8	60,0	20,0	4,0	0,2	3,6
153,8	80,0	20,0	4,0	0,2	2,5
135,5	100,0	20,0	4,0	0,2	2,2
6,5	200,0	100,0	4,0	0,2	0,5
Celkem	57,4				151,3

Pokud bychom výpočet zjednodušili tak, že by byla uvažována celá plocha kontaminace vyšší než sanační limit (opět převzata z přílohy č. 9b) a obsah toluenu by odpovídal průměru koncentrací uvedených v tabulce 30, pak by zbytkové množství polutantů činilo 1 306,5 kg (viz tabulka 7 v příloze č. 30).

Sanačním čerpáním podzemní vody bylo v I. polovině roku 2012 odstraněno každý měsíc cca 100 až 130 kg toluenu, celkem 832 kg, je tedy zřejmé, že výsledné bilance jsou výrazně podhodnocené a neodpovídají realitě.

Navíc skutečné množství toluenu v horninovém prostředí v zájmovém území je výrazně vyšší, neboť jeho značná část je nasorbována na zeminy v saturované zóně a teprve v případě změny sorpční rovnováhy (v důsledku poklesu koncentrací v podzemní vodě při sanačních pracích) přechází do podzemní vody. I v tomto případě se množství toluenu, vázané na pevné částice v saturované zóně pohybuje v řádech desítek kg až desítek tun. Podrobné výpočty při použití různých metodik jsou uvedeny pro nejdůležitější polutanty v tabulkách 7 (toluen) a 8 (chlorbenzen) v příloze č. 30. Pro výpočty byly použity 2 metodiky. První vychází z koncepce sorpční rovnováhy mezi kontaminovanou podzemní vodou a zeminou, kdy byly výpočty provedeny pro hodnoty distribučního koeficientu K_d odvozené v kapitole 2.3.4.2.

Druhá metodika vychází z obsahů polutantů stanovených laboratorně ve vzorcích zeminy ze saturované zóny. Pro výpočty byly použity průměrné obsahy toluenu a chlorbenzenu v zeminách hydrogeologického kolektoru (bez nadložních hlín a podložních jíílů), uvedené v tabulce 5 v příloze č. 19. Pro tolueu byla uvažována koncentrace 2 131 mg/kg, pro chlorbenzen pak 1 094 mg/kg. Tyto průměrné obsahy byly vztaženy na různě velké plochy, vypočtené z izolinií kontaminace znázorněných v přílohách č. 9b a 10b. Lze předpokládat, že průměrná koncentrace toluenu se vyskytuje v zeminách v saturované zóně na ploše minimálně 548,2 m², která je vymezena izolinií 40 000 µg/l toluenu v podzemní vodě. Obdobně pro chlorbenzen odhadujeme, že jeho průměrná koncentrace v zemině v saturované zóně se vyskytuje na ploše 557,9 m², která je vymezena izolinií 20 000 µg/l chlorbenzenu v podzemní vodě. Navíc byly výpočty provedeny pro 2 hodnoty objemové hmotnosti zeminy (převzata z literatury). Jak vyplývá z tabulek 7 a 8 v příloze č. 30, lze odhadnout zbytkové množství toluenu v saturované zóně minimálně na cca 11,5 tuny a chlorbenzenu na cca 6,1 tuny.

Celkové množství polutantů v saturované zóně bude výrazně navýšeno o volnou fázi, která je z podstatné části tvořena toluenem (příloha č. 32). Pro doplnění byl proveden v tabulce 31 výpočet bilance stávajícího množství volné fáze v areálu Farmaku.

Tabulka 31: Bilance stávajícího množství volné fáze v areálu Farmaku

Ø mocnost fáze (m)	Plocha výskytu fáze (m ²)	Efektivní pórovitost (%)	Objem fáze (m ³)	Měrná hmotnost toluenu (kg/m ³)	Objem fáze (t)	Objem fáze (kg)
0,27 ¹⁾	1 350,0	10,0	37,3	870,0	32,5	32 480
0,05 ²⁾			6,8		5,9	5 872
0,01 ²⁾			1,4		1,2	1 174

Vysvětlivky

¹⁾ - vypočteno jako průměrná hodnota z maximálně zjištěných mocností fáze ve všech vrtech, v nichž byla fáze ověřena v letech 2006 až 2012 (viz tabulka 27)

²⁾ - odborný odhad průměrné mocnosti fáze

K 29. 2. 2012 bylo odtěženo 1 143,72 kg volné fáze, je tedy zřejmé, že průměrná mocnost fáze na lokalitě byla vyšší než 0,01 m. Pokud by byla uvažována efektivní pórovitost 20 %, bylo by množství fáze 2x vyšší (2 348 až 64 960 kg). Bilanční výpočty jsou zatíženy vysokou mírou nejistoty, takže výsledné aktuální množství kontaminace se pohybuje v rozmezí řádů.

Podobně nereálný je výpočet aktuálního obsahu amonných iontů. Ty se na jílovité částice nevážou, takže výpočet by neměl být zatížen takovou chybou. Přestože bylo z podzemní vody odstraněno již 5 000 kg amonných iontů, tedy 1,2 násobek množství, vypočteného v realizačním projektu, stále je plocha s obsahem NH₄⁺ nad sanační limit na úrovni 85 % plochy z roku 2004 (příloha č. 14b).

Z provedených výpočtů vyplývá, že bilance zbytkového množství polutantů jsou zatíženy nepřijatelnou mírou nejistoty. Z průběhu sanačních prací a na základě výše uvedeného odhadujeme, že jsou v horninovém prostředí přítomny **desítky tun organických polutantů a jednotky tun amonných iontů**.

2.3.3 Shrnutí plošného a prostorového rozsahu a míry znečištění

Kontaminace nesaturované zóny

Přestože revize limitů pro zeminy není v AAR řešena, hodnotíme níže výsledky rozborů vzorků zeminy, neboť dosažené koncentrace jsou odlišné především od posouzení zemin v AR [4]. Námi provedenými analýzami vzorků zemin z rozhraní saturované a nesaturované zóny byla prokázána existence znečištění v místech, kde nové vrty byly hloubeny. Naproti tomu vzorky zemin ze sond VK-1 až VK-8, vyhloubených v září 2009 pro ověření účinnosti sanace ventingem v prostoru odsávání půdního vzduchu, tedy v místě předpokládané kontaminace nesaturované zóny, neověřily přítomnost polutantů nad sanační limity stanovené pro zeminy. A to přestože byly sondy situovány záměrně u ventingových vrtů s nejvyššími obsahy polutantů v půdním vzduchu. Bylo celkem odebráno 13 vzorků zeminy ze 7-mi úzkoprofilových sond. Nadlimitní

koncentrace byla stanovena pouze u 1 ukazatele – toluenu v jednom vzorku zeminy ze sondy VK-6 (obrázek č. 4 a příloha č. 6) z hloubky 2,5 až 3,5 m, a byla 20x vyšší než limit ČIŽP. Sonda byla situována těsně u ventingového vrtu V-2, neboť ten vykazoval vysoké obsahy polutantů ve vzdušnině. Přitom v nadloží, ve vzorku z hloubky 1,5 až 2,5 m nebyla kontaminace toluenem zjištěna. Ovšem téměř současně s odběrem vzorku zeminy z VK-6 byl odebrán vzorek vzdušiny z vrtu V-2 a obsahy všech polutantů byly pod cílovými limity. Jak je patrné z obrázku č. 4, sonda VK-6 je situována v blízkosti betonové vany, ze které byly vytaženy nádrže při sanaci objektu č. 32a, a tudíž lze v tomto místě předpokládat zbytkové znečištění. Kontaminace může navíc souviset s výskytem volné fáze toluenu v okolí objektu č. 31. Naopak v sondě VK-2 situované u vrtu V-9 (příloha č. 6), v němž v době odběru vzorku zeminy byl obsah toluenu ve vzdušnině cca 2 500 mg/m³, nebylo znečištění zeminy prokázáno. Takovéto rozporuplné výsledky podporují návrh omezit platnost cílových limitů pro půdní vzduch.

Ze zkušeností získaných během sanace předpokládáme, že v areálu Farmaku se může vyskytovat několik oblastí s kontaminací nesaturované zóny, neboť průzkumy provedené v minulosti měly „bodový“ charakter. Například podél staré chemické kanalizace se odebíraly vzorky zeminy ze sond vzdálených 50 m, což je nedostatečné. Také konstatování v AR [4], že polutanty při odběru vzorků zemin okamžitě vytékaly, a proto nebyly analyticky zjištěny, nekoresponduje s námi dosaženými výsledky. Spíše to odpovídá skutečnosti, že je analytika pevných vzorků zatížena vysokou mírou nejistoty, způsobenou nehomogenitou vzorků. Předpoklad, že existují v areálu Farmaku oblasti s nadlimitní kontaminací nesaturované zóny, které dosud provedenými průzkumy nebyly identifikovány, potvrzují i nárůsty polutantů v podzemní vodě v souvislosti s prováděním zemních prací v okolí objektu č. 12b na podzim 2009 (viz kap. 2.3.2). Hloubkový dosah kontaminace v takových místech předpokládáme až po hladinu podzemní vody. Dalším podpůrným faktem tohoto předpokladu je skutečnost, že po výrazném zvýšení hladiny podzemní vody v květnu a červnu 2010 došlo k nárůstu obsahu polutantů v podzemní vodě, a to i mimo areál Farmaku, především ve vrtech SM-36 a SM-39. Pokud uvažujeme, že se tyto vrty nachází v místě preferenčních cest, kdy rychlost šíření znečištění v podzemní vodě je kolem 3 000 m/rok, pak je rozšíření k vrtům reálné. Ovšem považujeme za pravděpodobné, že i mimo areál Farmaku se mohou vyskytovat lokálně místa s kontaminací nesaturované zóny jako pozůstatek masivního znečištění z přelomu 70. a 80. let 20. století.

Obsahy polutantů v půdním vzduchu jsou sledovány v místech, kde je prováděna sanace ventingem (příloha č. 6), v jednotlivých ventingových vrtech v měsíčních intervalech. Výsledky analýz za jednotlivé roky jsou uvedeny v ročních zprávách [14], [15] a [18]. Výsledky analýz z let 2010 a 2011 jsou v tabulkách 38 až 40 v příloze č. 19. V letech 2007 a 2008 byly obsahy toluenu, ropných uhlovodíků a omezeně TCE a DCE velmi vysoké, až v tisících mg/m³. Během sanace, především v letech 2009 a 2010 obsahy těchto polutantů výrazně poklesly tak, že ve většině vrtů jsou splněny cílové limity. Ovšem ojediněle je laboratorně stanovena nadlimitní koncentrace, a to u různých vrtů. Porovnáme-li obsahy polutantů stanovené v jednotlivých vrtech s koncentracemi laboratorně stanovenými na vstupu do ventingových stanic, tak se relativně často tyto výsledky neshodovaly, např. v prosinci 2007 byl ve ventingové větvi č. 3 na vstupu do stanice obsah toluenu 3 890 mg/m³, přitom ve většině vrtů byla koncentrace toluenu v desítkách mg/m³, nejvyšší byla ve vrtu V-46 a činila 3 730 mg/m³. Naopak v březnu 2008 byl ve větvi č. 1 na vstupu do ventingové stanice obsah toluenu 175 mg/m³, přitom ve 4 vrtech byl obsah v tisících mg/m³ a obsah toluenu na vstupu by měl být kolem 1 000 mg/m³. Proto navrhuje i z tohoto důvodu omezit platnost sanačních limitů pro půdní vzduch, neboť nelze zaručit objektivitu měření.

Kontaminace saturované zóny

Plošný rozsah kontaminace jednotlivých polutantů v podzemní vodě, pro které je provedena revize cílových limitů (toluen, chlorbenzen, benzen, VCE, 1,2-cis-DCE a amonné ionty), je znázorněn v přílohách č. 9 až 14. Vykresleny jsou izolinie znečištění podle hodnot plošného monitoringu z července 2010, kdy došlo, po velmi příznivých výsledcích z první poloviny roku 2010, k vymytí kontaminace při vysokých vodních stavech v květnu a červnu 2010. Dále jsou vykresleny izolinie podle hodnot z října 2011, tedy z doby, kdy bylo sanační čerpání cca 6 měsíců výrazně redukováno a byla tak simulována situace ukončení sanačních prací. Krajní izolinie má vždy hodnotu sanačního limitu pro daný polutant. Jak bylo zjištěno monitoringem v srpnu 2010, zvýšení obsahu především benzenu a chlorbenzenu mimo areál Farmaku, dokumentované v červenci 2010, mělo dočasný charakter a postupně docházelo k poklesu jejich koncentrací. Z hlediska plošného rozšíření polutantů nad cílové limity sanace v červenci 2010 byl toluen rozšířen na menší ploše než chlorbenzen a benzen, i když z hlediska úrovně koncentrací je nejzávažnějším polutantem toluen. **Totéž platí i pro říjen 2011, současně však v centrech kontaminace došlo k nárůstu koncentrací jak toluenu, tak benzenu a chlorbenzenu, což lze vyvodit ze škály koncentrací, které v mapách rozšíření polutantů musely být použity** (přílohy č. 9 až 11). Obsahy VCE a 1,2-cis-DCE nad sanační limit byly v červenci 2010 i v říjnu 2011 jen v ojedinělých objektech, ovšem vždy na jiných místech areálu Farmaku. Plošně nejvíce rozsáhlé je znečištění amonnými ionty, které zasahuje jak značnou část areálu Farmaku, tak i území mimo areál ve směru proudění podzemní vody. Také u těchto 3 ukazatelů musely být navýšeny škály koncentrací (přílohy č. 12 až 14), nejvíce u amonných iontů, a to z 15 mg/l na 100 mg/l.

U vybraných vrtů je časový vývoj obsahu polutantů znázorněn v grafech **v příloze č. 20**. V grafech č. 1 až 17 je znázorněn vývoj hlavních polutantů – amonných iontů, toluenu, chlorbenzenu a sumy Cl-Eth ve vrtech, které byly zapojeny do sanačního čerpání s výjimkou vrtu AT-104. U vrtů AT-107 a R-212 (grafy č. 3 a 8) nebyly amonné ionty znázorněny. V grafech č. 18 až 22 jsou zobrazeny obsahy benzenu ve vybraných 16 sanačně čerpaných vrtech. V grafech č. 23 až 27 jsou porovnány obsahy amonných iontů a množství vody čerpané ze sanačních vrtů. V grafech č. 28 až 30 jsou znázorněny obsahy hlavních polutantů ve vrtech, situovaných v preferenční zóně ve směru proudění podzemní vody z areálu Farmaku k řece Moravě – SM-33, SM-36 a SM-39. Grafy č. 31, 32 a 34 porovnávají obsahy amonných iontů ve vrtech AT-103, AT-107 a SM-12 s kolísáním hladiny podzemní vody v areálu Farmaku. V grafu č. 33 je znázorněn obsah amonných iontů a čerpané, resp. zasakované množství vody, v grafu č. 35 je porovnán vývoj obsahu benzenu ve vrtech HP-4 a AT-106, vzdálených od sebe 3 m, z nichž pouze vrt AT-106 byl čerpán. V grafu č. 36 je porovnán obsah benzenu, VCE a DCE s čerpaným množstvím vody ve vrtu R-217 a v grafu č. 37 je znázorněn vývoj obsahu toluenu ve vrtu SM-16.

Z grafů vyplývá, že pokles amonných iontů, které nejsou schopny se vázat na jílovité částice v horninovém prostředí, není tak výrazný, jak by odpovídalo již odstraněnému množství. Za předpokladu, že k nové dotaci amonných iontů do horninového prostředí nedochází (což bylo na žádost zhotovitele prověřeno zástupci Farmaku s konstatováním, že dotace je vyloučena), měly by koncentrace amonných iontů především v areálu Farmaku plynule klesat, neboť kolektor je dotován především infiltrací atmosférických srážek, které amonné ionty neobsahují. Také případné přítoky podzemní vody z jižního okraje areálu spíše stávající kontaminaci nařezují. Z porovnání obsahů amonných iontů uvnitř PTS, ale severně od areálu Farmaku, kde byla v minulosti kontaminace amonnými ionty indikována jako důsledek zemědělské činnosti,

vyplývá, že se odtud znečištění nešíří, neboť obsahy NH_4^+ jsou v nižších jednotkách mg/l, tedy pod stávajícím sanačním limitem (viz příloha č. 14 a tabulka 12 v příloze č. 19). Proto jsou, s vysokou pravděpodobností, v areálu Farmaku místa s kontaminací amonnými ionty v nenasaturované zóně, odkud dochází k vymývání srážkovou vodou nebo kolísáním hladiny podzemní vody, jak bylo zmíněno výše. V lednu 2010 došlo ve vrtu R-215 k nárůstu obsahu amonných iontů z obvyklých 10 mg/l na 150 mg/l, také ve vrtech SM-8 a SM-10 byl zaznamenán nárůst, i když ne v takovém rozsahu. V následujícím kole monitoringu v dubnu 2010 však byly již hodnoty v původní výši. Po zvýšení hladiny podzemní vody v květnu a červnu 2010 mělo dojít k poklesu amonných iontů v jednotlivých vrtech z důvodu naředění, výsledky monitoringu v červenci to však nepotvrdily, což opět indikuje dotaci z nenasaturované zóny. V říjnu 2011 byl obsah amonných iontů nad 100 mg/l ve 2 vrtech (SM-8 a P-39), zvýšené hodnoty byly i v dalších vrtech (SM-7 a VV-1). Při monitoringu v dubnu 2012 již byly obsahy amonných iontů nižší.

V grafech v příloze č. 20 znázorněné časové vývoje organických polutantů dokládají, že, ve srovnání s dobou před zahájením sanace, obvykle výrazně poklesly jejich koncentrace, ovšem vzhledem k velmi vysokým počátečním obsahům jsou stávající hodnoty stále velmi vysoké. Navíc bylo vyhloubeno mnoho nových vrtů v centrech kontaminace, v nichž jsou obsahy organických polutantů, zejména toluenu a chlorbenzenu v nižších stovkách tisíc, resp. vyšších desítkách tisíc $\mu\text{g/l}$.

Pro zhodnocení vlivu sanačních prací na změny v rozšíření kontaminace v saturované zóně jsme na obrázcích č. 8 až 13 porovnali plošný rozsah jednotlivých polutantů, zjištěný v rámci sanačního doprůzkumu v roce 2004, s příznivými výsledky v dubnu 2010 a méně příznivými výsledky v říjnu 2011, tedy po vyčerpání 71 % projektovaných nákladů na sanaci. Od konce října 2011 je na lokalitě aplikováno Fentonovo činidlo, v důsledku čehož dochází ke kolísání v obsahu polutantů podle doby, která uplyne od zásaku roztoku. Znázornění plošného rozsahu znečištění od listopadu 2011 do současnosti by bylo zatíženo vysokou mírou nejistoty, navíc nejsou sledovány všechny vrty současně.

Poznámka: Po navýšení nákladů na sanaci o 20 % došlo z časového hlediska k posunu procentuelního vyjádření spotřebovaných nákladů, takže k 31. 10. 2011 bylo spotřebováno 71 %, k 29. 2. 2012 pak 79 % z rozpočtovaných nákladů. Pokud by nebylo uvažováno navýšení o dodatečné práce, pak by v říjnu 2011 bylo spotřebováno 86 % z původního rozpočtu, k 29. 2. 2012 pak 88 %.

Z hlediska šíření polutantů ve směru proudění podzemní vody lze konstatovat, že nejzápadněji od areálu Farmaku - v objektu vrt 2, který leží u řeky Moravy, cca 400 m od hranice Farmaku byla největší kontaminace zjištěna v letech 2008 a 2009 (až 4 500 $\mu\text{g/l}$ chlorbenzenu a 150 $\mu\text{g/l}$ benzenu). V roce 2010 byly v tomto vrtu všechny organické ukazatele výrazně pod sanačními limity. V lednu 2011 byl dokumentován nadlimitní obsah chlorbenzenu (271,0 $\mu\text{g/l}$) a zvýšený, i když podlimitní, obsah benzenu (20,8 $\mu\text{g/l}$). Je to důsledek pohybu zbytkové kontaminace způsobený vysokými stavy hladiny podzemní vody od května 2010. Dne 13. 4. 2011 bylo ve vrtu stanoveno dokonce 352,0 $\mu\text{g/l}$ chlorbenzenu a 27,6 $\mu\text{g/l}$ benzenu. V říjnu 2011 byl dokumentován mírný pokles, ovšem v prosinci 2011 opět nárůst benzenu i chlorbenzenu. Benzen byl těsně pod sanačním limitem (29,3 $\mu\text{g/l}$), obsah chlorbenzenu byl cca 2x vyšší než sanační limit a činil 391 $\mu\text{g/l}$.

Benzen

Po provedení 75 % sanačních prací - v dubnu 2010 - území, znečištěné benzenem v hodnotách vyšších než 30 µg/l, zaujímalo cca 1/10 plochy kontaminované v roce 2004 (obrázek č. 8). V důsledku zvýšených úrovní hladiny podzemní vody došlo v červenci 2010 k rozšíření zbytkové kontaminace mimo areál ve směru preferenční zóny až do vrtu SM-39. Následné odběry vzorků vody v srpnu 2010 nepotvrdily tento nárůst a kontaminace benzenem mimo areál závodu byla v omezených plochách. Spíše poklesový trend koncentrací benzenu v sanačně čerpaných vrtech je doložen u vybraných vrtů spojnici trendů dat v grafech č. 18 až 22 v příloze č. 20. I když v některých vrtech byly v průběhu sanace zaznamenány výkyvy (vrt FAR-10, méně R-213), které zhruba odpovídají zvýšení úrovně hladiny podzemní vody. Ve vrtech AT-107, SM-42 a SM-44 došlo v druhé polovině roku 2011, po přerušení sanačního čerpání v květnu 2011, k výraznému nárůstu koncentrací, které mají, po opětovném zahájení čerpání v listopadu 2011 a po aplikaci Fentonova činidla, klesající trend. Ve vrtech AT-106 a SM-9 byl zaznamenán nárůst koncentrací v roce 2012, což s velkou pravděpodobností souvisí s aplikací Fentonova činidla do vrtů. V říjnu 2011 zaujímalo území, znečištěné benzenem v koncentracích vyšších než 30 µg/l, cca 1/5 plochy kontaminované v roce 2004. Ve srovnání s dubnem 2010 došlo tedy k nárůstu plošného rozšíření na cca dvojnásobek (cca 35 000 m²).

Toluen

Na obrázku č. 9 jsou vyznačeny izolinie koncentrací toluenu. Také u této látky došlo k výrazné redukci kontaminované plochy, vyšší účinnost odstraňování toluenu je limitována existencí volné fáze na hladině podzemní vody. Na rozdíl od benzenu a chlorbenzeny nebyl v červenci 2010 zaznamenán výrazný rozdíl v plošném rozšíření ve srovnání s dubnem a následně srpnem 2010. V grafech č. 1 až 17 jsou znázorněny časové vývoje hlavních polutantů (toluenu, sumy Cl-Eth, chlorbenzeny a amonných iontů). Ve srovnání s koncentracemi, zjištěnými v roce 2004, byl ve všech sanačních vrtech zaznamenán pokles, s výjimkou vrtů SM-42 a SM-44. Z hlediska procentuelního zastoupení hlavních polutantů v sumě organických látek (benzeny, toluenu, chlorbenzeny a Cl-Eth) v jednotlivých sanačně čerpaných vrtech (příloha č. 21) převažuje jednoznačně toluen v 6 vrtech (AT-107, FAR-2, P-32, P-56, SM-18, SM-44). Jednoznačně dominantní chlorbenzen je také v 6 objektech (AT-103, AT-106, R-212, R-213, SM-9, SM-11) a ve 2 vrtech je obsah podílu toluenu a chlorbenzeny vyrovnaný (AT-104, SM-45). Ve 2 vrtech (FAR-10 a SM-42) byl, po zahájení sanace a při obsahu polutantů v nižších stovkách tisíc µg/l, dominantní toluen. Po poklesu celkového obsahu organických polutantů na nižší tisíce µg/l je dominantní Cl-Eth (FAR-10) nebo chlorbenzen (SM-42). U vrtu SM-42 je při vysokých koncentracích organických látek opět dominantní toluen. Ve vrtu SM-43 byl původně dominantní chlorbenzen, od jara 2010 toluen, v roce 2011 se tyto dva ukazatele v dominanci střídají. Ve vrtu VV-1 došlo k výrazné změně. Počáteční dominance toluenu je od října 2011 změněna na Cl-Eth, navíc od února 2012 má 60% zastoupení TCE (tabulka 2 v příloze č. 21).

V říjnu 2011 zaujímalo území znečištěné toluenem v koncentracích vyšších než 1 800 µg/l cca 1/5 plochy kontaminované v roce 2004. Ve srovnání s dubnem 2010 byl v říjnu 2011 prokázán mírný nárůst plošného rozšíření na 28 500 m².

Chlorbenzen

U chlorbenzeny byl v létě roku 2010 podobný vývoj jako u benzenu – po nízkých koncentracích v dubnu došlo k nárůstu jeho obsahu ve vrtech v tzv. preferenční zóně SM-36 a SM-39 (příloha

č. 10a). Nadlimitní koncentrace chlorbenzenu i benzenu zjištěné v roce 2004 v prostoru vrtu 2 u řeky Moravy během sanace vymizely a od května 2009 byl v tomto vrtu jejich obsah velmi často pod mezí stanovitelnosti nebo v jednotkách $\mu\text{g/l}$. Ovšem v roce 2011 byl zaznamenán jak postupný nárůst benzenu až téměř k limitní hodnotě $30 \mu\text{g/l}$, tak především chlorbenzenu až na $391 \mu\text{g/l}$, takže v roce 2011 byl limit pro chlorbenzen v tomto vrtu vždy překročen. V areálu Farmaku dochází k výraznému kolísání chlorbenzenu ve vrtech P-39 a FAR-12, v nichž v lednu 2010 byl ověřen v tisících $\mu\text{g/l}$. Poté postupně klesal až do července 2010, ve vrtu P-39 byl pod limitem, ve vrtu FAR-12 stále ještě nad limitem $170 \mu\text{g/l}$. Do těchto vrtů je zasakována vyčištěná voda, která obsahuje maximálně jednotky $\mu\text{g/l}$ chlorbenzenu. Vrt P-39 byl vzorkován v minulosti v roce 1977 a nebyla v něm zjištěna žádná kontaminace. Vrt FAR-12 byl vyhlouben a vzorkován v roce 2002 a i v něm nebyly kontaminanty přítomny. Naopak ve vzdálenějším vrtu P-36 byla v roce 1977 ověřena závažná kontaminace ROL ($1\,390\,000 \mu\text{g/l}$) odpovídající volné fázi, která však dalšími průzkumy nebyla potvrzena. V říjnu 2011 nadlimitní obsahy chlorbenzenu ve vrtech P-39 a FAR-12 již nebyly detekovány. V říjnu 2011 zaujímal území znečištěné chlorbenzenem v koncentracích vyšších než $170 \mu\text{g/l}$ cca $1/4$ plochy kontaminované v roce 2004, ve srovnání s dubnem 2010 došlo tedy k nárůstu plošného rozšíření o cca $1/2$ na $42\,000 \text{ m}^2$.

Vinylchlorid

Vinylchlorid se nadlimitně vyskytuje pouze v areálu Farmaku, a to ojediněle, ovšem v různých místech v jednotlivých letech. V dubnu 2010 byl překračován limit ve vrtu R-217. Od července 2010 došlo v tomto vrtu k poklesu, naopak se objevil nadlimitní obsah ve vrtu SM-7. Další vrty, v nichž je vinylchlorid dlouhodobě nad sanačním limitem jsou FAR-10, P-32 a ojediněle objekt SM-9. Obsahy VCE však sanační limit překračovaly obvykle ne víc než o dvojnásobek. V říjnu 2011 ve výše jmenovaných vrtech VCE nadlimitní již nebyl, ovšem byl ve vyšších stovkách $\mu\text{g/l}$ stanoven ve vrtu SM-42 a v nově vyhloubených vrtech až do $1\,500 \mu\text{g/l}$ (tabulka 35 v příloze č. 19). Z obrázku č. 11 je zřejmé, že v současnosti je plošný rozsah VCE, ve srovnání s původní plochou, zanedbatelný, neboť zaujímá cca 1% z původní plochy, která činila $44\,000 \text{ m}^2$. Nelze však podceňovat „mimořádné“ zvýšení obsahů VCE, které mohou svědčit o zbytkové kontaminaci v místech, která při předchozích průzkumech nebyla zkoumána.

1,2-cis-DCE

U 1,2-cis-DCE je zmenšení plochy kontaminace obdobné, cca na 2% ($35\,000 \text{ m}^2$) původního rozsahu, který je vyznačen na obrázku č. 12. Z hlediska výskytu nadlimitního obsahu DCE je situace stejná jako u VCE - pokles, ve srovnání s rokem 2010, ve vrtech P-32, FAR-10, R-217 a SM-7. V novém vrtu SM-74 vzrostl DCE z $2\,290 \mu\text{g/l}$ (srpen 2011) na $24\,700 \mu\text{g/l}$ (leden 2012). To je hodnota, jež nebyla od zahájení sanačního čerpání v areálu Farmaku nikdy stanovena.

Amonné ionty

U amonných iontů je situace komplikovanější. Přestože tento polutant by měl být snadno odstraněn, neboť jeho schopnost sorpce je minimální (viz kapitola 2.3.4), poklesový trend není tak výrazný jako u ostatních polutantů. To se projevuje rozsahem plochy, v níž jsou amonné ionty nad sanačním limitem. V dubnu 2010 došlo ke zmenšení oproti původní ploše vymezené v roce 2004 (obrázek č. 13). V červenci 2010 nebylo, ve srovnání s dubnem, dokumentováno větší rozšíření mimo areál, byly však zaznamenány mírné nárůsty obsahu amonných iontů ve vrtech R-213 a R-212. Od října 2010 došlo ke zvýšení obsahu NH_4^+ nad limit ve vrtu SM-39 a tento stav trvá dosud. V říjnu 2011 byl tedy kontaminační mrak mimo areál Farmaku protažen

až do vrtu SM-39. V grafech č. 23 až 27 v příloze č. 20 jsou znázorněny obsahy amonných iontů ve vybraných sanačně čerpaných vrtech v letech 2004 až 2012 a množství vody, které je z těchto vrtů jímáno. U 3 z 5-ti vrtů (AT-103, AT-107 a P-32) došlo po zahájení čerpání k nárůstu amonných iontů na cca dvojnásobek, po několika měsících obsah NH_4^+ poklesl, ne však na původní hodnotu. Pod sanační limit amonné ionty poklesly pouze ve vrtu AT-103, a to od druhé poloviny roku 2011. Spojnice trendu dat nemá u vrtů, pro něž jsou grafy zpracovány, poklesový charakter, s výjimkou objektu AT-103. Nejvýraznější pokles byl zaznamenán ve vrtu SM-42, v němž bylo v říjnu 2008 stanoveno 60 mg/l a v červenci 2010 jen 4 mg/l. Takto nízký obsah je nyní ve vrtu trvale. V tomto vrtu však vždy po zahájení čerpání vody ve výši 1 l/s poklesly koncentrace všech polutantů, takže nelze vyloučit, že čerpáním je přitahována čistá podzemní voda z okolí. Naopak ve vrtech R-212 a R-213 došlo po ukončení sanačního čerpání a zahájení zasakování vyčištěné vody k nárůstu obsahu amonných iontů, na cca 4násobek sanačního limitu (grafy č. 27 a 33 v příloze č. 20).

V grafech č. 31, 32 v příloze č. 20 jsou srovnány obsahy amonných iontů v sanačně čerpaných vrtech AT-103 a AT-107 a chod hladiny podzemní vody měřený na okraji areálu Farmaku uvnitř PTS. U vrtu AT-103 pravidlo čím je hladina podzemní vody níže, tím jsou vyšší obsahy amonných iontů platilo do poloviny roku 2010. Poté, při poklesu hladiny podzemní vody v areálu, poklesl obsah amonných iontů. Stejná situace je ve vrtu AT-107, do poloviny roku 2010 obvykle platilo čím mělčí hladina, tím nižší koncentrace. V roce 2011 jsou však dokumentovány výkyvy v rozsahu 10 až 25 mg/l. V grafu č. 34 v příloze č. 20 jsou vyneseny obsahy amonných iontů ve vrtu SM-12, který není ovlivněn ani čerpáním, ani zásakem. Průběh je od roku 2009 velmi nevyrovnaný s koncentracemi v desítkách mg/l.

V říjnu 2011 zaujímal území, znečištěné amonnými ionty v koncentracích vyšších než 7,2 mg/l, cca 85 % plochy kontaminované v roce 2004, ve srovnání s dubnem 2010 došlo tedy k nárůstu plošného rozšíření, a to na 112 000 m². V roce 1977, kdy bylo území podrobně zkoumáno, byly z 80 vzorkovaných objektů pouze ve třech obsahy NH_4^+ nad 20 mg/l. V areálu Farmaku ve vrtu P-56 (37 mg/l), mimo areál ve vrtu P-44 (25 mg/l) a ve studni Db-76 (76 mg/l). Situování vrtů je vyznačeno v příloze č. 3, studna Db-76 je mimo zájmové území. Ve většině ostatních vrtů byly amonné ionty v nižších jednotkách mg/l. V roce 2002 byly maximální hodnoty na lokalitě vyšší a v roce 2004 bylo maximum stanoveno ve vrtu FAR-2 (124 mg/l). V tomto vrtu se sanačními pracemi amonné ionty snížily a od května 2011 jsou pod sanačním limitem. Během sanačních prací byly opakovaně zjišťovány v areálu Farmaku vyšší koncentrace NH_4^+ , s maximem nad 100 mg/l, v říjnu 2011 bylo stanoveno 123 mg/l ve vrtu SM-8 a 108 mg/l ve vrtu P-39.

TCE, PCE a krezoly

Tyto látky jsou trvale pod cílovými limity, proto pro ně nebyly izolinie koncentrací sestaveny a nebudou předmětem revize sanačních limitů. Výjimkou se ukázal TCE v únoru 2012 ve vrtu VV-1, v němž bylo stanoveno 4 460 µg/l, tedy cca 10násobek sanačního limitu. Také v nově vyhloubeném vrtu SM-61 byl v únoru 2012 potvrzen nárůst obsahu TCE na 7 420 µg/l. V obou vrtech byly tyto nadlimitní hodnoty stanoveny po aplikaci Fentonova činidla, jedná se tedy pravděpodobně o dočasnou záležitost.

Pokud uvažujeme linii vrtů R-211 až R-214, FAR-3, P-67 a AT-101 za hraniční pro sanační práce v saturované zóně (takto bylo území rozděleno v AR), tak vrt SM-33, v němž jsou vysoké obsahy především toluenu a chlorbenzenu, náleží ještě do oblasti sanace. Pak je problémovým územím mimo areál Farmaku oblast vrtů SM-36, SM-39 a vrt 2 (viz výše).

U nově vytipovaných látek na lokalitě (metanol, isopropanol, aceton a psychofarmaka) jsme zpracovali plošný rozsah znečištění z října 2011. Pro konstrukci izolinií koncentrací metanolu a isopropanolu bylo využito výsledků analýz ze 44 vrtů, u acetonu ze 45 vrtů a u sumy psychofarmak z 8 vrtů. Plošné rozšíření těchto látek je znázorněno na obrázcích č. 14 až 17. Podrobný komentář o rozšíření těchto látek je uveden v kapitole 2.3.2.

2.3.4 Posouzení šíření znečištění

2.3.4.1 Šíření znečištění v nesaturované zóně

Nesaturovaná zóna je tvořena jílovitými hlínami s různým stupněm písčité příměsi. Obsah TOC ve vzorku těchto hlín stanoven nebyl, v litologicky podobných sedimentech však byl ve výši 0,39 a 0,21 % [41]. Z hlediska hydraulických parametrů má charakter izolátoru a pro vodu je nepropustná. Mocnost hlín ověřená vrtnými pracemi je uvedena v příloze č. 23. V areálu Farmaku se pohybuje od 0,5 m (vrt P-36) do 4,8 m (vrt P-67), s tím, že je v některých místech jejich svrchní část nahrazena navázkou. Pohyb kontaminantů v nesaturované zóně se uskutečňuje především vertikálním směrem. Obecně je migrace závislá na výskytu a četnosti pórů, puklin a jiných diskontinuit. Na šíření kontaminantů se podílí i vyluhování srážkovou nebo podpovrchovou vodou. V blízkosti hladiny podzemní vody může být pohyb kontaminantu způsoben i kolísáním hladiny, což platí pro zájmové území.

V areálu Farmaku je větší část plochy (60,5 %) zatravněná. Primární ohniska kontaminace se nacházejí jak v místech zpevněných ploch (okolí vrtu FAR-10), tak v zatravněném území (okolí vrtu P-32). Proto migrace polutantů v důsledku infiltrace atmosférických srážek je možná. Po průniku kontaminace do hlín se začínají uplatňovat fyzikální a chemické vazby a postup se výrazně zpomaluje. Část kontaminace je zachycena retenční kapacitou hlín, po dosažení limitních hodnot (nasycení sorpční kapacity) dochází k dalšímu postupu a následnému vyluhování do saturované zóny. V případě porušení vrstvy hlín, případně jejich redukce nebo absence, se uplatňuje výrazně nižší retenční schopnost navážek, což má za následek rychlejší přestup kontaminace do saturované zóny.

Vezmeme-li v úvahu rozsah a úroveň kontaminace zemin v nesaturované zóně, omezený rozsah zpevněných ploch a zkušenosti z probíhající sanace, je migrace kontaminantů do podzemní vody možná a představuje významné riziko, které je třeba eliminovat odstraněním kontaminovaných ploch.

2.3.4.2 Šíření znečištění v saturované zóně

Oběh podzemní vody v mělkém kvartérním kolektoru je vázán na průlinově propustné souvrství štěrkopísků. Hladina podzemní vody je volná nebo napjatá. Z hydrologických měření prováděných v letech 2007 až 2012 jsou v příloze č. 24 zpracovány minimální a maximální stavy hladiny podzemní vody u vrtů, situovaných mezi PTS a řekou Moravou a neovlivněných sanačním čerpáním. Přirozená hladina podzemní vody v tomto prostoru v letech 2007 až 2012 kolísala od 1,46 do 4,63 m p.t., z hlediska nadmořské výšky pak v úrovni 208,75 až 211,54 m n.m., tedy v rozmezí 2,8 m. Také jsou v této příloze uvedeny výsledky 12 vybraných hydrologických měření, pět z nich bylo použito na sestavení map hydroizohyps (příloha č. 8).

Odhad rychlosti proudění podzemní vody

Oběh podzemní vody v kvartérním fluvialním kolektoru je vázán na průlinově propustné štěrkopísky s různým stupněm zahlinění. Součinitel hydraulické vodivosti byl pro štěrkopísky v zájmovém území stanoven hydrodynamickými zkouškami v rozmezí hodnot $5,30 \times 10^{-4}$ m/s až $3,21 \times 10^{-3}$ m/s, jedná se tedy o prostředí dosti silně propustné. Tyto údaje byly převzaty z archivního průzkumu M. Kučery realizovaného v roce 1977 [19]. Proudění podzemní vody směřuje k JZ a je ovlivněno existencí PTS a čerpáním a zasakováním vody v areálu Farmaku v rámci sanačních prací. Hydraulický spád před zahájením sanačních prací na lokalitě činil 0,0035. Podloží kolektoru bylo při hloubení vrtů v areálu Farmaku ověřeno v hloubce cca 6,0 až 11,1 m p.t. (příloha č. 23).

Odhad rychlosti proudění podzemní vody

Rychlost proudění podzemní vody byla počítána z Darcyho zákona na základě hydraulických parametrů zjištěných pro lokalitu:

$$v = -K \times I$$

$$v_s = v / n_e$$

kde:

- v – Darcyho filtrační rychlost proudění (m/s),
- K – součinitel hydraulické vodivosti - $5,30 \times 10^{-4}$ m/s a $3,21 \times 10^{-3}$ m/s; hodnoty z hydrodynamických zkoušek převzaté z archivního průzkumu M. Kučery [19],
- I – hydraulický gradient; -0,0035, vypočten z měření ve vrtech FAR-11 a R-99 dne 28. 6. 2007,
- v_s – skutečná rychlost proudění (m/s),
- n_e – efektivní pórovitost (odborný odhad 10 %).

pro $K_1 = 5,30 \times 10^{-4}$ m/s

Rychlost proudění podzemní vody byla odhadnuta na 585 m/rok.

pro $K_2 = 3,21 \times 10^{-3}$ m/s

Rychlost proudění podzemní vody byla odhadnuta na cca 3 543 m/rok.

Rozdíl mezi rychlostí proudění podzemní vody se za použití jednotlivých součinitelů hydraulické vodivosti liší o 1 řád.

Odhad šíření kontaminace

Látky rozpuštěné v podzemní vodě migrují saturovanou zónou advekčně – disperzním pohybem a zároveň jsou řízeny procesy sorpce a degradace. Výsledkem sorpce je retardace kontaminačního mraku (zpoždění), který se vytváří ve směru proudění. Pro výpočet faktoru retardace při lineární sorpci se užívají následující rovnice:

$$R = 1 + \frac{\rho_b}{n} \times K_d$$

kde:

R – retardační faktor (bezrozměrný),
 ρ_b – objemová hmotnost zeminy (2,0 g/cm³),
 n – pórovitost (odborný odhad = 15 %),
 K_d – distribuční koeficient (cm³/g).

Pro distribuční koeficient K_d platí:

$$K_d = K_{oc} \times f_{oc}$$

kde:

K_{oc} – dělicí koeficient voda-organický uhlík (cm³/g) – viz tabulka 17,
 f_{oc} – podíl organického uhlíku v zemině – 0,13 % a 0,005 % (viz kapitola 1.2.5).

a

$$v_r = v_s / R$$

kde:

v_r – rychlost šíření prioritních kontaminantů v podzemní vodě (m/s),
 v_s – skutečná rychlost proudění podzemní vody (m/s).

Vypočtené rychlosti šíření kontaminantů jsou uvedeny v tabulkách 32 a 33 a to variantně pro dvě hodnoty f_{oc} (0,13 % a 0,005 %). Jako první byl pro výpočet použit průměrný obsah organického uhlíku ve štěrcích na lokalitě TOC = 0,13 % (viz tabulka 14). V jilech byl laboratorně stanoven ukazatel TOC <0,01 %. Protože byl obsah TOC pod mezí stanovitelnosti a je tedy ve skutečnosti nižší než 0,01 %, byla pro výpočet použita hodnota TOC = 0,005 %, odpovídající mezi detekce laboratorní metody. *Mez detekce je nejnižší množství analytu ve vzorku, které lze detekovat, ale které není nutně kvantifikovatelné jako exaktní hodnota a je nižší než mez stanovitelnosti.*

Tabulka 32: Rychlost šíření kontaminantů ($f_{oc} = 0,13 \%$)

Látka	log K_{oc}	R	v_{r1} ($K = 5,30 \times 10^{-4}$ m/s)	v_{r2} ($K = 3,21 \times 10^{-3}$ m/s)
	[-]	[-]	[m/rok]	[m/rok]
benzen	1,85	2,23	263	1 591
toluen	2,37	5,06	116	700
chlorbenzen	2,46	6,00	98	591
vinylchlorid	1,41	1,45	405	2 451
1,2-cis-DCE	1,81	2,12	276	1 672
amoniak	-3,79	1,00	585	3 543
aceton	0,99	1,17	500	3 030
metanol	0,09	1,02	573	3 469
isopropanol	0,54	1,06	552	3 342
chlorprothixen báze	3,73	94,09	6	38
thiepinon	3,39	43,55	13	81
amitriptylin hydrochlorid	2,07	3,04	193	1 167

Z tabulky 32 je patrné, že při použití 2 různých součinitelů hydraulické vodivosti se rozdíly v rychlosti šíření kontaminantů liší až o 1 řád. Rychlost šíření kontaminantů byla vypočítána v rozmezí 6 m/rok až 585 m/rok, pokud uvažujeme nižší K ($5,3 \times 10^{-4}$ m/s), a tedy méně propustné prostředí a mezi 38 až 3 543 m/rok pro $K = 3,21 \times 10^{-3}$ m/s. Vypočtené hodnoty indikují, že uvedené látky rozpuštěné v podzemní vodě jsou zpomalovány vůči rychlosti proudění podzemní vody. Z hodnocených kontaminantů jsou nejvíce zpomalována psychofarmaka, z ostatních organických látek pak chlorbenzen, který se ve srovnání s podzemní vodou šíří cca 6x pomaleji a naopak nejrychleji se šíří amoniak, pro něhož byla vypočítána nejnižší hodnota retardačního faktoru (1,0) a také metanol (1,02), isopropanol (1,06), méně již aceton s retardačním faktorem 1,17.

V tabulce 33 jsou vypočítány rychlosti šíření kontaminantů při uvažování nižšího podílu organického uhlíku v zemině (0,005 %), odpovídajícího mezi detekce laboratorní metody použité pro jeho analytické stanovení (ve zvodnělých písčících štěrcích na lokalitě byly hodnoty TOC většinou pod mezí stanovitelnosti). Při nižším f_{oc} je výrazně nižší také retardační faktor a kontaminanty se šíří rychleji, u vinylchloridu, 1,2-cis-DCE, benzenu a acetonu téměř stejnou rychlostí jako proud podzemní vody. Toluén a chlorbenzen jsou zpomaleny cca 1,2x, amoniak, metanol a isopropanol se šíří bez retardace. Psychofarmaka jsou zpomalena 1,1x až 4,6x.

Tabulka 33: Rychlost šíření kontaminantů ($f_{oc} = 0,005$ %)

Látka	$\log K_{oc}$	R	V_{r3} ($K = 5,30 \times 10^{-4}$ m/s)	V_{r4} ($K = 3,21 \times 10^{-3}$ m/s)
	[-]	[-]	[m/rok]	[m/rok]
benzen	1,85	1,05	559	3 383
toluen	2,37	1,16	506	3 064
chlorbenzen	2,46	1,19	491	2 972
vinylchlorid	1,41	1,02	575	3 483
1,2-cis-DCE	1,81	1,04	561	3 397
amoniak	-3,79	1,00	585	3 543
aceton	0,99	1,01	581	3 520
metanol	0,09	1,00	585	3 540
isopropanol	0,54	1,00	584	3 535
chlorprothixen báze	3,73	4,58	128	774
thiepinon	3,39	2,64	222	1 344
amitriptylin hydrochlorid	2,07	1,08	543	3 286

Výše uvedené rychlosti šíření kontaminantů se liší od výpočtů uvedených v AR z roku 2002 [4]. Zde byly vypočítány rychlosti šíření od 1 323 m/rok do 1 812 m/rok. Rozdíl je způsoben použitím některých odlišných vstupních parametrů, a to především součinitele hydraulické vodivosti a dělicího koeficientu voda-organický uhlík. V AR z roku 2002 byla použita průměrná hodnota $K = 1,5 \times 10^{-3}$ m/s z dat čerpacích zkoušek převzatých z archivního průzkumu M. Kučery [19]. Pro naše výpočty jsme použili dvě krajní hodnoty K převzaté ze stejného zdroje. Hodnoty K_{oc} uvedené v tabulce 17 byly převzaty ze zdrojů citovaných pod tabulkou, především z databáze U. S. EPA. V AR z roku 2002 není zdroj dat uveden. Nejvíce se vzájemně liší K_{oc} u DCE, kdy námi použitá hodnota je o tři řády vyšší. Liší se také parametr f_{oc} , kdy v AAR z roku

2002 byla použita hodnota 0,01 %. Hydraulický gradient použitý pro výpočet v roce 2002 byl přibližně stejný (-0,00383).

V červenci 2010, cca 2 měsíce po zvýšení úrovně hladiny podzemní vody na maximum ve sledovaném období, byly ve vzdálenosti 200 až 300 m od areálu Farmaku (ve vrtech SM-36 a SM-39) dokumentovány nárůsty obsahu benzenu (nižší hustota než voda) a chlorbenzen (vyšší hustota než voda) v podzemní vodě. Může to být výsledek transportu kontaminace podzemní vodou z areálu závodu, pokud uvažujeme vyšší rychlost šíření polutantů. Ale také nelze vyloučit, že došlo k vyplavení kontaminace z nenasycované zóny mimo areál Farmaku, což odpovídá variantě s nižší rychlostí šíření kontaminace podzemní vodou - cca 550 m/rok. Taková možnost reálně existuje, neboť v 70. letech 20. století byla volná fáze polutantů rozšířena i mimo areál Farmaku, jedná se tedy o zbytkovou kontaminaci zachycenou v nenasycované zóně a vymývanou při vysokých stavech hladiny podzemní vody v území.

Výpočet šíření znečištění má význam jak vzhledem k JÚ Černovír, tak i k okolním studnám a řece Moravě. V současnosti je směr proudění podzemní vody ovlivněn sanačním čerpáním v areálu Farmaku. Po ukončení sanačního čerpání může dojít k šíření kontaminantů, a to odhadovanou rychlostí cca 0,01 km/rok až 3,5 km/rok, v závislosti na rychlosti šíření podzemní vody a schopnosti sorpce kontaminantu na zeminu. V areálu Farmaku docházelo v minulosti k únikům polutantů po desítky let. Z hlediska šíření kontaminace jsou v zájmovém území 2 hlavní a přitom mezní recipienty - řeka Morava, do níž by mohla být kontaminace drénována a JÚ Černovír, do jehož studní by mohlo být znečištění přitaženo v důsledku vytvoření depresního kužele při vodárenských odběrech. Průzkumem v 70. letech 20. století, ještě před vybudováním podzemní těsnicí stěny, bylo prokázáno rozšíření masivní kontaminace směrem k řece Moravě. Naproti tomu ve směru k JÚ Černovír byly obsahy polutantů „zanedbatelné“ ve srovnání s koncentracemi v území z. a jz. od areálu Farmaku.

Poznámka:

Hodnoty vstupních parametrů (efektivní pórovitost, součinitele hydraulické vodivosti a distribuční koeficient K_d) použité pro výpočet se částečně liší od hodnot těchto parametrů použitých při matematickém modelování (příloha č. 27), a to na základě archivních podkladů, výsledků laboratorních analýz a zkoušek provedených během sanačních prací. Protože cílem aktualizace modelu bylo přehodnotit původní model podle výsledků aktualizovaného pohybu kontaminantů, byla vstupní modelová data ponechána v původních parametrech. Kontrolními výpočty bylo ověřeno, že při použití vstupních parametrů podle matematického modelu se rychlost šíření organických látek zvýší o 10 až 20 % (příloha č. 27). Jak je uvedeno níže, výsledky modelování jsou z hlediska rychlosti šíření polutantů nadhodnoceny.

Vybudovaná PTS zabraňuje šíření kontaminace, což je doloženo průběžným monitoringem vrtů P-200 až P-204. V případě ukončení sanace bude v areálu Farmaku zbytková kontaminace polutantů. Samotná stěna bude značně omezovat ředění polutantů, především těch, které jsou těžší než voda (chlorbenzen, 1,2-cis-DCE a amonné ionty), neboť tvoří hydraulickou bariéru. Při středních a nízkých vodních stavech nebude docházet k přetékání stěny. Ovšem, jak vyplývá z grafu č. 5, jsou dokumentovány i extrémní stavy hladiny podzemní vody kolem 0,8 m p.t., při kterých může docházet k jejímu přetékání. Z toho důvodu byla zpracována aktualizace matematického modelu, jejímž cílem bylo především hodnocení rizik migrace kontaminantů pro JÚ Černovír po ukončení sanace.

Matematický model proudění a transportu kontaminantů podzemní vodou

Protože při návrhu sanačních prací v realizačním projektu [25] byl využit matematický model, byla v rámci AAR v roce 2010 provedena jeho aktualizace, která tvoří přílohu č. 27.

Matematický model řeší zpětný nástup hladiny podzemní vody po ukončení sanačního čerpání podzemní vody a simulaci vlivu vypnutí sanačního systému v areálu Farmaku na migraci zbytkové kontaminace do JÚ Černovír. S ohledem na řadu nejistot při návrhu proudového modelu popisujícího proudění uvnitř areálu Farmaku bylo rozhodnuto o vytvoření transportního modelu popisujícího migraci neretardovaného stopovače od hranic areálu ve směru proudění. Model tedy řeší nejméně příznivou variantu rychlosti šíření látek (bez retardace), jedná se tedy o přístup na straně bezpečnosti. S výjimkou amonných iontů lze dle typu ostatních látek počítat s jejich sorpcí na horninu, jejich migrace bude pomalejší. Transportní model byl řešen pro dvě varianty proudového pole – variantu se sanačními vrtly a variantu bez sanace. Na hranici areálu byl simulován zdroj stopovače s koncentrací 1 po celou dobu simulace, přičemž transportní model simuloval migraci stopovače v časovém horizontu 60 let. Transportní model bere v úvahu šíření látky vlivem disperze a dále počítá s ředěním.

Vývoj migrace stopovače pro proudový model se sanačním čerpáním je zachycen pouze pro časový krok 30 let (viz Obr. 10 v příloze č. 27). Z modelu je patrná dobrá funkce sanačního systému, prakticky nedochází k migraci stopovače. Vývoj koncentrací stopovače pro proudový model bez sanačních vrtů je zachycen na Obr. 11 až 14 v příloze č. 27, a to pro časový krok 5, 10, 30 a 60 let od počátku výpočtu. Přibližně po 10 letech již lze v řece Moravě, tvořící západní okrajovou podmínku, indikovat koncentrace na úrovni 10 % zdrojové hodnoty a s postupným dalším krokem obsahy v řece dále rostou až na 30 % zdrojové koncentrace po 60 letech, což je konečná hodnota při ustálení rovnováhy mezi ředěním a dotací.

S ohledem na modelové rozložení hladin podzemní vody nebyla očekávána migrace stopovače ve směru JÚ Černovír, což také transportní model potvrdil. V tomto směru lze pozorovat pouze částečnou migraci vlivem disperze. Z obrázků v příloze č. 27 je patrné, že dochází k částečné migraci stopovače skrz podzemní těsnicí stěnu. Toto je dáno způsobem zadávání PTS do proudového modelu, kdy stěna je zadána jako velmi málo propustná poloha s velmi nízkým součinitelem hydraulické vodivosti (z důvodu numerického výpočtu nelze zadat jako absolutně nepropustná). Z pohledu řešení to však nepředstavuje zásadní nepřesnost.

Tento model nepotvrdil obavy z ohrožení JÚ Černovír při vypnutí sanačního čerpání/zasakování, ukázalo se však možné ohrožení okolí Farmaku na jihozápad v důsledku pravděpodobné migrace kontaminantů. Toto bylo také potvrzeno transportním modelem. Navržené proudové modely braly v úvahu průměrné čerpání v JÚ Černovír (v sumě přibližně 95 l/s odpovídající měřeným hladinám z 2. 7. 2010). Modelově byla varianta vyššího čerpaného množství testována (200 l/s), ovšem pouze na základě odhadu (nebyla k dispozici měření hladin podzemní vody pro tento stav), přičemž se ukázalo že k ohrožení JÚ nedojde.

Výsledky matematického modelu, týkající se šíření kontaminace po ukončení sanačních prací, bylo možné porovnat se skutečným stavem, neboť v roce 2011 bylo v místě nejvyšší kontaminace v areálu Farmaku sanační čerpání na cca 6 měsíců přerušeno. V přílohách 9b až 14b je znázorněno plošné rozšíření kontaminace koncem října 2011, před opětovným zapojením sanačních stanic č. 1 a 3. Polutanty se šířily především preferenční zónou zjz. směru (viz přílohy

10b a 11b), oproti předpovědi modelu, v němž bylo šíření polutantů i z. a jz. směrem (Obr. 11 až 14 v příloze č. 27).

Po provedení nezbytných hydrologických měření v letech 2011 a 2012 byl matematický model doplněn (příloha č. 28). Plošně větší a hustší síť měření zpřesnila předpokládaný směr šíření polutantů, který více odpovídá zjištěním z roku 2011.

Doplnění matematického modelu

Cílem doplnění matematického modelu (příloha č. 28) bylo zjistit možná rizika kontaminace JÚ Černovír při dlouhodobém čerpání podzemní vody na úrovni maximálního povoleného odběru 250 l/s. K tomu byly provedeny tyto činnosti:

- aktualizovaný proudový model byl použit k simulaci vlivu zvýšeného čerpání v JÚ Černovír (celkem 250 l/s) na směr proudění podzemní vody v blízkosti areálu Farmaku,
- v rámci proudového modelu byla testována varianta simulující pokles těsnících schopností podzemní těsnící stěny a varianta bez PTS,
- zvolené varianty proudových modelů byly doplněny transportními modely simulujícími migraci vybraných kontaminantů (toluen, chlorbenzen a amonné ionty) v časovém horizontu 30 let.

Ze všech tří zpracovaných variant proudového modelu vyplývá, že ani v jednom modelovém scénáři nedojde, s přihlédnutím k tvaru proudových čar, k ohrožení jímacího území v důsledku změny směru proudění kontaminovaných vod z oblasti areálu Farmaku (Obr. 08 až 10 v příloze č. 28). Tomuto výsledku nasvědčují i historické zkušenosti na lokalitě, kdy ani v době neexistence PTS nedocházelo při maximálním čerpání v JÚ k migraci kontaminace z areálu podniku na severovýchod.

Transportní modely, simulující migraci polutantů horninovým prostředím, byly vytvořeny pro toluen, chlorbenzen a amonné ionty. Toluén a chlorbenzen zastupují látky, jejichž retardace v důsledku sorpce je vyšší, amonné ionty pak zastupují skupinu látek s velmi malou sorpcí (prakticky horninovým prostředím migrují bez retardace). Na základě transportních modelů si tak lze utvořit představu o rychlosti migrace i ostatních nesimulovaných látek. Celkem byly vytvořeny čtyři různé varianty transportních modelů, které by měly poskytnout komplexní představu o vývoji migrace znečištění na lokalitě při různých variantách proudového pole, kdy bylo simulováno čerpání v JÚ na úrovni 250 l/s. Varianty se lišily různou použitou hodnotou TOC a existencí, resp. neexistencí zdrojů kontaminace. Tyto parametry mají zásadní vliv na rychlost šíření znečištění. Navíc byly uvažovány varianty s funkční PTS a bez PTS:

- a) nepoškozená PTS, modelové zdroje kontaminace ANO, TOC = 0,13 % – Obr. 11 – 13;
- b) bez PTS, modelové zdroje kontaminace ANO, TOC = 0,13 % – Obr. 14 – 16;
- c) bez PTS, modelové zdroje kontaminace ANO, TOC = 1 % – Obr. 17 – 19;
- d) bez PTS, modelové zdroje kontaminace NE, TOC = 0,13 % – Obr. 20 – 22.

Nejméně příznivou variantou je varianta b) bez PTS, s modelovými zdroji kontaminace a s hodnotou TOC = 0,13 %. Avšak ani při ní nedochází k ohrožení JÚ v důsledku „přitahování“ kontaminované vody z areálu Farmaku. Variantou, která bude pravděpodobně nejvíce blízká reálnému chování na lokalitě, je pak varianta a), při které bez sanačního čerpání v areálu Farmaku dochází k migraci kontaminace do vodního toku Morava v časovém horizontu cca

20 let pro kontaminaci toluenu a chlorbenzenu, resp. 10 let pro kontaminaci amonných iontů. Oproti tomu varianta c) demonstruje zásadní vliv TOC (1 %) na rychlost šíření kontaminace toluenu a chlorbenzenu. Varianta d) slouží pouze pro ilustraci migrace bez modelových zdrojů kontaminace, tento stav je však na lokalitě málo pravděpodobný, kontaminace nesaturované zóny zde byla již dříve prokázána. **Považujeme za nutné upozornit, že veškeré transportní modely jsou, kromě nejistot spojených s proudovým modelem, navíc zatíženy i nejistotami vstupních parametrů (viz analýzy TOC a správné vymapování zdrojů kontaminace), které mají na výsledky modelů zásadní vliv.**

Přesto, že je prezentovaný numerický model zatížen značnými nejistotami (tak jako každý jiný model), nepodařilo se prokázat ohrožení JÚ, a to i při nejpesimističtější modelovém scénáři, který bral v úvahu nulovou těsnící schopnost PTS a malou retardaci modelových kontaminantů, způsobenou nízkou koncentrací organického uhlíku. Tyto závěry navíc podporují i historická pozorování na lokalitě, kdy v době neexistence PTS nebyla, i přes vysoké čerpané množství podzemních vod v JÚ, detekována kontaminace podzemních vod.

Na základě výsledků modelu a jeho doplnění bude mezi příjemce potenciálních rizik zahrnuta i řeka Morava jako součást ekosystému.

S ohledem na určité nejistoty vstupních dat, použitých v matematickém modelu, navrhujeme provést po ukončení sanačních prací závěrečnou aktualizaci modelu. Proto také, i když nebude docházet k šíření polutantů k JÚ Černovír, bylo by žádoucí před ukončením sanačních prací zjistit aktuální stav a životnost PTS.

2.3.4.3 Šíření znečištění povrchovými vodami

K šíření polutantů z areálu Farmaku do řeky Moravy podzemní vodou může docházet za předpokladu, že je podzemní voda proudící z areálu drénována povrchovým tokem. Hydraulická spojitost řeky Moravy s mělkým kvartérním kolektorem je posouzena v kapitole 1.2.4. Do řeky Moravy by se mohlo znečištění šířit. Touto možností se však archivní průzkumy nezabývaly s výjimkou průzkumu M. Kučery [19], při němž byly odebírány vzorky v řece Moravě v několika profilech. Přítomnost polutantů nebyla prokázána. Práce navržené v realizačním projektu sanace [25] sledování polutantů v řece Moravě nezahrnovaly.

V rámci sanačního monitoringu v letech 2007 až 2012 jsou sledovány obsahy polutantů v odběrových bodech nad a pod místem vypouštění přečištěných odpadních vod (příloha č. 4). Během 5 let trvajících monitoringu byly obsahy organických polutantů obvykle pod mezí stanovitelnosti, nikdy nebyly překročeny normy environmentální kvality stanovené nařízením vlády č. 61/2003 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Výjimkou jsou amonné ionty, které ve 2 případech byly nad normovou hodnotou, vždy v lednu, v době tání sněhové pokrývky a přínosu sloučenin dusíku splachy z polí do toku. V obou případech (leden 2009 a leden 2012) byly obsahy v odběrovém profilu „Morava nad“ vyšší než v místě profilu „Morava pod“ (situace profilů je vyznačena v příloze č. 4). Výsledky analýz aktuálních vzorků povrchové vody jsou uvedeny v tabulce 13. Jak vyplývá z přílohy č. 4 a z Obr. 11 až 20 v příloze č. 28, jsou odběrové profily na řece Moravě mimo tu část koryta řeky Moravy, do které může být drénována případná kontaminace organických polutantů. Ovšem šíření amonných iontů má jiný směr (Obr. 19 v příloze č. 28), nelze tedy jednoznačně konstatovat, že k šíření znečištění povrchovými vodami nedochází. Probíhající sanace snížila obsahy polutantů mimo areál Farmaku na relativně nízkou úroveň, takže v důsledku ředění s „čistou vodou“ v řece Moravě se jeví šíření znečištění

povrchovou vodou jako velmi nepravděpodobné. Doporučujeme tento předpoklad ověřit monitoringem povrchové vody v místě jz. od areálu Farmaku.

Podle matematického modelu se bude, po ukončení sanačních prací a ochranného sanačního čerpání, šířit zbytková kontaminace hydrogeologickým kolektorem směrem k toku. Uvažujeme-li nejméně příznivou variantu b) transportního modelu (Obr. 14 až 16 v příloze č. 28), přibližně po 20 letech od ukončení sanace již lze u řeky Moravy indikovat koncentrace organických polutantů na úrovni stávajících sanačních limitů, u amonných iontů již po 5 letech. Jak vyplývá z přílohy č. 27 (Obr. 13 a 14), během let koncentrace polutantů ve vodě drénované Moravou dále porostou až na 30 % z úrovně zbytkové kontaminace po 60 letech. To je konečná hodnota při ustálení rovnováhy mezi ředěním a dotací. Při modelování transportu polutantů v příloze č. 27 je uvažováno, že v celém areálu Farmaku bude obsah polutantů stále na úrovni zbytkové kontaminace (tedy koncentrace sanačních limitů). V nejméně příznivé variantě b) transportního modelu v příloze č. 28 je uvažováno s trvalou dotací podzemní vody polutanty na stávající úrovni, kdy po 30 letech by v omezených úsecích byl obsah toluenu až 10 000 µg/l. To je v podstatě velmi hypotetická varianta. Jak bylo uvedeno výše, nejrealnější je varianta a) transportního modelu (Obr. 11 až 13 v příloze č. 28), kdy by v podstatě koncentrace v podzemní vodě drénované Moravou odpovídala stávajícím sanačním limitům, u toluenu v omezených úsecích až 5 000 µg/l. Podle Obr. 14 až 16 v příloze č. 28 bude nejdelší profil toku dotčený šířením zbytkové kontaminace činit cca 500 m.

Pro výpočet přestupu kontaminace z podzemní vody do řeky Moravy jsme použili následující hodnoty:

V matematickém modelu je pro území mezi hranicí areálu Farmaku a řekou Moravou uvažován součinitel hydraulické vodivosti $K = 4 \times 10^{-5}$ až 5×10^{-4} m/s. Pro výpočet bude použita hodnota 1×10^{-4} m/s, což je nepatrně vyšší než průměr výše uvedených, neboť hydrodynamickými zkouškami in [19] byl stanoven $K = 5,3 \times 10^{-4}$ až $3,21 \times 10^{-3}$ m/s, ovšem z vrtů, situovaných východněji. Mocnost kolektoru byla stanovena průměrem z mocností vrtů, které jsou situovány nejbližší k řece Moravě a jejichž petrografické popisy byly k dispozici. Jedná se o objekty P-16, P-29, P-30 a P-45 [19], jejich situace je vyznačena v příloze č. 4. Mocnost kolektoru se v těchto vrtech pohybovala od 0,8 do 5,5 m, průměrná hodnota je 2,5 m. Pro výpočet je uvažováno zvodnění v celé mocnosti kolektoru.

Množství podzemní vody Q , které bude drénováno řekou Moravou (s výjimkou velmi vysokých vodních stavů v Moravě, kdy naopak bude voda z toku infiltrovat do horninového prostředí), je počítáno podle vztahu:

$$v = -K \times I$$

$$v_s = v / n_e$$

$$Q = v_s \times l \times h$$

kde:

- v – Darcyho filtrační rychlost proudění (m/s),
- K – součinitel hydraulické vodivosti – $1,0 \times 10^{-4}$ m/s (hodnoty z hydrodynamických zkoušek převzaté z archivního průzkumu M. Kučery [19]),
- I – hydraulický gradient; -0,0035, vypočten z měření ve vrtech FAR-11 a R-99 dne 28. 6. 2007,
- v_s – skutečná rychlost proudění (m/s),

- n_e – efektivní pórovitost (odborný odhad 10 %),
 l – profil území, kterým bude drénována zbytková kontaminace z podzemní vody do řeky Moravy (500 m),
 h – mocnost zvodnělé vrstvy (2,5 m).

Skutečná rychlost proudění podzemní vody v_s v blízkosti řeky Moravy je cca $3,5 \times 10^{-6}$ m/s. Množství vody, které bude drénováno řekou Moravou, činí 4,375 l/s. Z důvodu konzervativního přístupu (zvýšení míry bezpečnosti) není uvažováno s retardací při šíření polutantů.

Níže je na základě směšovací rovnice vypočtena maximální přípustná koncentrace pro jednotlivé polutanty, pokud uvažujeme 364denní průtok vody = 2,58 m³/s v řece Moravě v profilu Černovír – most (údaj poskytl ČHMÚ Ostrava). Aktuální koncentrace polutantů v řece Moravě je uvedena v tabulce 13, všechny s výjimkou toluenu a NH₄⁺ jsou pod mezí stanovitelnosti. Z důvodu bezpečnosti neuvažujeme koncentraci nulovou, ale v úrovni míry detekce (tabulka 34). Při monitoringu kvality vody v řece Moravě v letech 2007 až 2012 byly amonné ionty 2x nad limitem NEK-RP. Toluén byl několikrát nad mezí stanovitelnosti. Proto jsme vypočítali průměrné hodnoty ze všech koncentrací NH₄⁺ a toluenu, které byly stanoveny v průběhu sanace v profilech „Morava nad“ a „Morava pod“, a pro výpočet jsme použili tu méně příznivou hodnotu (tabulka 34).

Pro výpočet metodou směšovací rovnice platí vztah

$$Q_{\text{přítoku PV}} \cdot C_{\text{přítoku PV}} + Q_{\text{Morava}} \cdot C_{\text{Morava}} = Q_{\text{celk.}} \cdot C_{\text{celk. (NEK-RP)}}$$

kde jednotlivé členy rovnice vyjadřují:

$Q_{\text{přítoku PV}}$	množství vody, které bude drénováno řekou Moravou = 4,375 l/s (str. 87),
$C_{\text{přítoku PV}}$	maximální přípustná koncentrace polutantů v podzemní vodě při jejím přítoku ve výši 4,375 l/s do řeky Moravy,
Q_{Morava}	je počítáno pro 364denní průtok vody (2,58 m ³ /s = 2 580 l/s) v řece Moravě v profilu Černovír – most – údaj poskytl ČHMÚ Ostrava,
C_{Morava}	koncentrace jednotlivých polutantů v řece Moravě - u toluenu a NH ₄ ⁺ vypočten průměr ze všech laboratorních analýz vzorků vody odebraných během sanace, u ostatních, které byly vždy pod mezí stanovitelnosti je použita mez detekce,
$Q_{\text{celk.}}$	celkové množství vody protékající v řece Moravě za místem příronu kontaminované podzemní vody (2 580 + 4,375 = 2 584,4 l/s),
$C_{\text{celk.}}$	hodnota přípustného znečištění povrchových vod pro jednotlivé ukazatele stanovená nařízením vlády č. 61/2003 Sb., ve znění pozdějších předpisů (NEK-RP).

V tabulce 34 jsou uspořádány výsledky výpočtů příronu jednotlivých kontaminantů do řeky Moravy. Rozdíl mezi maximální přípustnou koncentrací u vinylchloridu, 1,2-cis-DCE a chlorbenzenu, pro něž je hodnota NEK-RP shodná, je dán odlišnou mezí detekce, která byla ve výpočtu použita.

Tabulka 34: Příron jednotlivých kontaminantů do řeky Moravy

Látka	Jednotka	Koncentrace v Moravě (mez detekce nebo Ø)	NEK-RP (příloha č. 3 nařízení vlády č. 61/2003 Sb.)	Maximální přípustná koncentrace při Q = 4,375 l/s
benzen	µg/l	0,09	10	5 854,1
toluen	µg/l	0,20	5	2 835,6
chlorbenzen	µg/l	0,07	1	549,4
vinylchlorid	µg/l	0,11	1	525,8
1,2-cis-DCE	µg/l	0,17	1	490,5
aceton*	µg/l	-	nestanoveno	2 835,6
metanol*	µg/l	-	nestanoveno	2 835,6
isopropanol*	µg/l	-	nestanoveno	2 835,6
psychofarmaka**	µg/l	-	nestanoveno	525,8
NH ₄ ⁺ ***	mg/l	0,16	0,29	77,0

* - pro orientační výpočet je uvažována stejná hodnota jako pro toluen, neboť z hlediska toxikologických charakteristik jsou si tyto látky blízké

** - pro orientační výpočet je uvažována odborným odhadem stejná hodnota jako pro vinylchlorid

*** - hodnota NH₄⁺ je přepočtena: v 1 mg NH₄⁺ = 0,7765 mg N

Poznámka: Mez detekce (LOD – limit of detection) - odpovídá koncentraci, pro kterou je analytický signál statisticky významně odlišný od šumu. Je to nejmenší množství analytu ve vzorku, které lze detekovat, ale které není nutně kvantifikovatelné jako exaktní hodnota (je nižší než mez stanovitelnosti). Každá laboratoř si stanovuje vlastní meze detekce a stanovitelnosti na základě přístrojového vybavení, meze detekce v tabulce 32 platí pro laboratoř společnosti AQUATEST a.s.

V tabulce 34 jsou uvedeny maximální koncentrace polutantů v podzemní vodě, drénované řekou Moravou, při nichž nedojde k překročení norem environmentální kvality v povrchové vodě. Jak bylo uvedeno výše, v době masivní kontaminace území mezi areálem Farmaku a řekou Moravou (v roce 1977) nebyly organické polutanty v řece Moravě detekovány. V kapitole 3.3 je potenciální ekologické riziko, vyplývající ze šíření znečištění povrchovou vodou, diskutováno.

2.3.4.4 Charakteristika vývoje znečištění z hlediska procesů přirozené atenuace

Přirozená atenuace je definována jako spolupůsobení procesů biodegradace, disperze, rozpouštění, sorpce, odtěkání nebo chemické a biologické stabilizace znečištění v horninovém prostředí a podzemní vodě (U.S. EPA, 1999). Hlavní složkou je přirozená biodegradace. Pro hodnocení procesu atenuace lze vzhledem k dostupným měřením použít podle H. van Liere et al. (in New Remedial Technologies in Practise, Praha, říjen 2000) 2 skupiny kritérií:

1. srovnání podílu mateřského (znečišťující látka) a dceřiných polutantů (produkty biodegradace);
2. posouzení oxidačně redukčního potenciálu (Eh) v saturované zóně.

Srovnání podílu mateřského a dceřiných polutantů

Pro posouzení procesů přirozené atenuace by měla být hodnocena historická data o vývoji kontaminace, která ukazují stabilizaci kontaminačního mraku nebo úbytek množství kontaminantu v čase a nárůst koncentrací dceřiných produktů. Protože byl v areálu Farmaku

proveden sanační zásah, nemohla být první část podmínky odpovídajícím způsobem hodnocena. Co se týče přítomnosti dceřiných produktů, hodnocení atenuace lze použít pro chlorované ethyleny. Pro ostatní polutanty chybí dostatek informací, produkty jejich biodegradace (viz kapitola 3.1.1) nebyly sledovány. Částečně byly produkty rozkladu toluenu a chlorbenzenu oxidačními činidly řešeny v závěrečné zprávě za STP [16]. Přítomnost látek, indikujících rozklad toluenu a chlorbenzenu vlivem Fentonova činidla a persulfátu, byla v podzemní vodě zanedbatelná. Situace na lokalitě je komplikovaná výskytem desítek organických sloučenin, u nichž není zřejmé, zda jsou primárního původu nebo produktem rozkladu jiných látek, navíc nejsou kvantitativně stanovovány. Proto předpokládáme, že pro posouzení procesů přirozené atenuace by mohl být dostatek dat před ukončením sanace, i když aplikace Fentonova činidla bude oxidačně redukční potenciál výrazně ovlivňovat.

K přirozené atenuaci Cl-Eth dochází nejčastěji při reduktivní dechloraci, tj. postupném odstranění chloru (chloridového iontu) substitucí vodíkového iontu v linii $\text{PCE} \rightarrow \text{TCE} \rightarrow 1,2\text{-cis-DCE} \rightarrow \text{VCE} \rightarrow \text{eten} \rightarrow \text{etan}$. Aby k reduktivní dechloraci došlo, musí být splněny následující podmínky:

- prostředí musí být anaerobní s nízkým redox potenciálem;
- musí existovat dostatečné množství fermentačních substrátů pro produkci rozpuštěného vodíku, který nahrazuje chloridový iont (například organický uhlík).

Proces přirozené atenuace Cl-Eth lze doložit výsledky laboratorních analýz, neboť v areálu Farmaku se téměř nevyskytuje PCE a TCE, které byly na lokalitě používány. Naopak ve větší míře se vyskytuje 1,2-cis-DCE a méně VCE, které jsou jednoznačným produktem rozkladu vyšších členů řady Cl-Eth. V příloze č. 21 v tabulce 2 jsou vypočítány procentuelní podíly jednotlivých členů řady Cl-Eth ve 3 vrtech v areálu Farmaku, v nichž je obsah chlorovaných ethylenů nejvyšší (FAR-10, P-32 a VV-1) v období let 2004 až 2012. Při vyhodnocování procentuelního zastoupení Cl-Eth je třeba brát v úvahu, že podíl jednotlivých členů řady se mění nejen degradací, ale i při změně jejich celkového obsahu, jak vyplývá z tabulky 2 v příloze 21. Ve vrtu FAR-10 nebyl PCE přítomen, obsah TCE postupně klesal z cca 30 % v roce 2004 na nulový podíl v letech 2009 až 2011. Dominantní je obsah DCE, který postupně rostl v letech 2009 až 2011 z cca 60 % na 90 %. Vinylchlorid má mírně nevyrovnaný vývoj s nejvyšším podílem v lednu 2008 (13 %). Po minimu v lednu 2010 (5 %) se jeho podíl začíná zvyšovat na 11 % v říjnu 2010. Vysoký podíl VCE v druhé polovině roku 2011 souvisí s řádovým poklesem celkového obsahu Cl-Eth. Ve vrtu P-32 je proces atenuace rychlejší, neboť podíl VCE činil v červenci 2010 cca 25 %, podíl DCE 76 % a TCE a PCE nebyly od července 2009, resp. října 2008 v podzemní vodě ve vrtu P-32 přítomny. Ve vrtu VV-1 byl vždy dominantní DCE, druhý nejvyšší podíl vykazoval VCE. Od roku 2010 byl obsah DCE cca 80 % a obsah VCE vzrostl na 15 až 30 %. Při posledním monitoringu v únoru 2012 byl analyzován ve vysokých koncentracích TCE, takže jeho podíl činil 63 %. Jak bylo uvedeno výše (str. 78), významný obsah TCE byl stanoven i ve vrtu SM-61 a pravděpodobně souvisí s aplikací Fentonova činidla do vrtů.

Z hlediska procesů přirozené atenuace lze konstatovat, že k rozkladu Cl-Eth dochází. Intenzita těchto procesů je však proměnlivá, přesto ke snížení koncentrací původních polutantů přispívají, ovšem procesy přirozené atenuace jsou neukončené.

2.3.5 Shrnutí šíření a vývoje znečištění

K hodnocení šíření a vývoje znečištění máme k dispozici značné množství dat za období let 2006 až 2012 a data z let 1977, 1997, 2002 a 2004. Ze získaných údajů lze šíření a vývoj kontaminace

v podzemní vodě v zájmovém území shrnout do následujících bodů, je však nutné vzít v úvahu, že **sanace stále pokračuje**:

- Během sanačních prací v letech 2006 až 2012 byla ověřena v areálu Farmaku masivní kontaminace ve formě volné fáze polutantů na hladině podzemní vody, která průzkumy v letech 2002 [4] a 2004 [23] zjištěna nebyla. Důvodem je pravděpodobně bodový charakter předchozích průzkumných prací, částečně podmíněný hustou sítí podzemních vedení.
- Výskyt volné fáze byl zjištěn v březnu 2010 v náhradním vrtu P-56, přestože v původním vrtu, vzdáleném cca 7 m v letech 2006 až 2009 fáze indikovaná nebyla. V prosinci 2011 byla detekována fáze až o mocnosti 0,2 m v nově vyhloubených vrtech SM-65 a SM-66. Celková plocha, na níž se během sanačních prací vyskytovala volná fáze, je odhadnuta na 1 350 m².
- Vysoká míra kontaminace podzemní vody, reprezentovaná širokou škálou organických sloučenin, způsobuje nehomogenitu kapalných vzorků a v důsledku toho rozdílné výsledky analýz. Proto jsou od května 2010 vzorky vody fixovány kyselinou dusičnou na pH 2.
- Během sanačních prací byly zjištěny vysoké koncentrace metanolu, isopropanolu a acetonu v podzemní vodě. Pro tyto látky nejsou stanoveny sanační limity.
- V podzemní vodě v areálu Farmaku, především v okolí objektů č. 31 a 31b je přítomna řada různých organických polárních i nepolárních látek doložitelných ukazateli NEL a EL, nejvíce ve vrtech SM-64 a SM-66.
- V podzemní vodě i v zemině se vyskytují i psychofarmaka, především v prostoru objektů č. 31 a 32. Maximální koncentrace Σ psychofarmak činila 864 $\mu\text{g/l}$ ve vrtu SM-45. Mimo areál Farmaku byly obsahy psychofarmak v jednotkách $\mu\text{g/l}$ ve vrtu SM-33.
- V sv. části areálu Farmaku byla v roce 2011 zjištěna kontaminace podzemní vody toluenem v desítkách tisíc $\mu\text{g/l}$.
- Přes odstranění 23,4 t organických látek a 5 t amonných iontů z horninového prostředí, je míra kontaminace podzemní vody v okolí objektu č. 31 velmi vysoká a plošně rozsáhlejší než bylo předpokládáno v sanačním doprůzkumu [23].
- V prostoru vrtů AT-103, AT-104, SM-11, a především v okolí vrtů FAR-2 a FAR-10, kde byla masivní kontaminace podzemní vody, byla tato sanačními pracemi odstraněna, sanační limity jsou v těchto vrtech dosahovány.
- Transport znečištění z míst masivní kontaminace se s největší pravděpodobností děje hlavně preferenčními cestami, kterými jsou podzemní inženýrské sítě a propustnější polohy ve šterkopísčitém kolektoru, jako např. v prostoru vrtů SM-36, SM-39 a „vrt 2“. Šířka preferenční zóny směrem k řece Moravě je cca 100 m.
- Efektivnost sanace je snižována migrací znečištění do podzemní vody z ohnisek v nesaturované zóně, jejichž odstranění je projektováno až v II. etapě sanačních prací, a rozpouštěním volné fáze polutantů na hladině podzemní vody.
- Pro areál Farmaku je charakteristický nárůst polutantů v některém z vrtů na dobu několika měsíců a následný pokles. Příčinou je pravděpodobně kontaminace v podzemních objektech – starých kanalizačních šachtách nebo jímkách. Kontaminace z těchto prostor se může šířit při kolísání hladiny podzemní vody nebo při zemních pracích spojených se zásahem do hlubší části nesaturované zóny.
- Karotážní měření ve vrtech prokázalo, že navzdory existenci stejných propustných poloh není rychlost ani režim proudění úplně stejný, což má vliv na vytváření tzv. preferenčních zón, kterými se kontaminace šíří rychleji.
- Z výpočtů rychlosti proudění podzemní vody v areálu Farmaku a okolí a retardačního faktoru odhadujeme, že se polutanty, pro něž jsou stanoveny cílové limity, šíří přibližně rychlostí cca 100 až 3 500 m/rok.

- Proces přirozené atenuace je prokázán u chlorovaných ethylenů, je však neukončený. Pro hodnocení procesu atenuace u ostatních polutantů chybí dostatek podkladů. Hodnocení by bylo zatíženo vysokou mírou nejistoty způsobenou přítomností řady organických sloučenin v podzemní vodě, o nichž není známo, zda byly surovinou pro výrobu, produktem rozkladu jiných látek nebo odpadní látkou.
- Masivní kontaminace byla v areálu Farmaku již v 70. letech 20. století před vybudování PTS a zahájením sanace. Přesto se do JÚ Černovír kontaminace nerozšířila, i když se vodárenské odběry pohybovaly od 150 do 200 l/s.
- Rozsáhlý průzkum v letech 1975 až 1977 zjistil v domovních studních, situovaných západně a jihozápadně od areálu, obsahy rozpuštěných organických látek ve stovkách tisíc $\mu\text{g/l}$.
- Šířka kontaminačního mraku, migrujícího z areálu Farmaku směrem k řece Moravě, se po vybudování PTS zmenšila z cca 500 m na cca 100 m.
- Existence kontaminace v nesaturované zóně i mimo 2 ohniska, která budou odstraněna v rámci II. etapy sanačních prací, byla prokázána nárůstem obsahu polutantů při plošném monitoringu v červenci 2010, po vzestupu hladiny podzemní vody na maximum v květnu a červnu 2010, a po vyplavení polutantů do podzemní vody.
- Vrtnými pracemi bylo zjištěno, že se v zeminách vyskytují organické látky nad limitními koncentracemi v místech, kde nebyla v I. ani v II. etapě prací sanace nesaturované zóny projektována. Nadlimitní kontaminace zemin byla ověřena i v podloží kvartérních štěrků, až v hloubce 11 m.
- Určitá část kontaminace v nesaturované zóně, i když nepříliš velká, se pravděpodobně nachází i mimo areál Farmaku, za jeho západní hranicí. Předpokládáme, že mohlo dojít k nasorbování polutantů na jílovité částice v době rozšíření masivního znečištění v 70. a 80. letech 20. století.
- Podle výsledků matematického modelu se po ukončení sanačního čerpání nebude zbytková kontaminace šířit směrem k JÚ Černovír, ale k řece Moravě.
- Doplněným matematickým modelem se nepodařilo prokázat ohrožení JÚ Černovír po ukončení sanačních prací a ponechání zbytkové kontaminace v areálu Farmaku, i při nejpesimističtějším modelovém scénáři, který bral v úvahu nulovou těsnicí schopnost PTS a minimální retardaci modelových kontaminantů, způsobenou nízkou koncentrací organického uhlíku.
- Při dočasném přerušení sanačních prací v místě největší kontaminace (okolí objektu č. 31) na dobu 6 měsíců byl prokázán nárůst koncentrací polutantů a jejich šíření ve směru proudění podzemní vody.
- Pokud by nebyla odstraněna stávající kontaminace podzemní vody, byla by ohrožena kvalita vody v domovních studních jz. od areálu Farmaku a především kvalita povrchové vody v řece Moravě.

2.3.6 Omezení a nejistoty

Hlavní nejistoty v průběhu posuzování šíření znečištění jsou následující:

- Použití empirických rovnic a hodnot založených na odborném odhadu.
- Prostorová omezení – umístění sanačních i monitorovacích vrtů je v nepravidelné síti v důsledku existence podzemních inženýrských sítí a budov v areálu Farmaku.
- V projektu sanačních prací nebyly navrženy žádné práce pro zpřesnění potřebných parametrů - stanovení K hydrodynamickými zkouškami, sledování fyzikálních parametrů podzemní vody pomocí trvale osazených sond ve vrtech, atd.
- Nedostatek podkladů pro hodnocení přirozené atenuace.

- Možné chyby v rámci analytických stanovení.
- Nehomogenita vzorků podzemní vody s vyšší kontaminací, projevující se změnami v koncentracích polutantů v čase, jak bylo laboratorně prokázáno.
- Matematický model je pouze jeden z nástrojů pro hodnocení území, jeho výsledky nelze chápat jako definitivně platné.
- Veškeré transportní modely jsou kromě nejistot spojených s proudovým modelem navíc zatíženy nejistotami transportního modelu (viz měření TOC a správné vymapování zdrojů kontaminace), které mají na výsledky modelů zásadní vliv.

3. HODNOCENÍ RIZIKA

3.1 IDENTIFIKACE RIZIK

3.1.1 Určení a zdůvodnění prioritních škodlivin a dalších rizikových faktorů

V analýze rizik z roku 2002 [4] byly do hodnocení zdravotních rizik, vyplývajících z kontaminované podzemní vody, zahrnuty VCE, 1,2-cis-DCE, TCE, PCE, benzen, toluen, chlorbenzen, krezoly a NH_4^+ . Výpočty rizik byly provedeny s použitím referenčních dávek (pro nekarcinogenní látky) a faktoru směrnice (pro karcinogenní látky) pro 1,2-cis-DCE, TCE, PCE, benzen, toluen, chlorbenzen a krezoly. Výpočty rizik nebyly provedeny pro ukazatel NEL, neboť se jedná o směs alifatických a aromatických uhlovodíků a podle [4] odstraňováním těchto uhlovodíků při sanaci podzemní vody bude snižován i obsah NEL. Dále nebyla počítána zdravotní rizika pro amonné ionty a VCE, neboť pro tyto látky nebyly k dispozici referenční dávky, případně faktor směrnice karcinogenity. Proto byla vypočtená míra rizika považována za podhodnocenou. Koncentrace polutantů, pro které byla rizika počítána, jsou uvedeny v příloze č. 26. Překročení přípustné míry nekarcinogenního rizika bylo stanoveno pro scénář inhalačního příjmu rizikové látky těkáním do ovzduší pro pracovníka provádějícího výkopové, stavební a sanační práce v prostoru areálu Farmaku a pro scénář nahodilého orálního příjmu rizikové látky z podzemní vody obyvatele obytné zóny. U posledně jmenovaného scénáře byla překročena i míra karcinogenního rizika (nahodilý orální příjem obyvatele obytné zóny).

Navržené sanační limity pro VCE, DCE, benzen, toluen, chlorbenzen a krezoly v podzemní vodě byly odvozeny tak, že byly vypočteny hodnoty rizik při obsahu polutantů v úrovni mezních koncentrací pro pitnou vodu podle tehdy platné vyhlášky č. 376/2000 Sb. (u krezolů byl použit limit kritéria B MP MŽP). Potom byl stanoven poměr ředění kontaminace z podílu maximálních koncentrací zjištěných uvnitř PTS a na výstupu podzemních vod z PTS. Touto hodnotou poměru byly vynásobeny mezní koncentrace pro pitnou vodu. Takto odvozené maximální koncentrace byly myšleny jako limitní hodnoty na ojedinělých dílech (vrtech). Pro stanovení přípustného koncentračního limitu – cílového limitu sanace v rámci celé plochy kontaminačního mraku (uvnitř PTS) byly pak navrženy poloviční koncentrace (viz příloha č. 26). Limit pro amonné ionty byl bez jakýchkoliv výpočtů stanoven ve výši 3-násobku kritéria C MP MŽP. Pro plochu vně PTS byly jako cílové limity sanace navrženy limity pro pitnou vodu a u krezolů limit kritéria B MP MŽP.

Při projednávání AR zúčastněnými stranami byl vznesen požadavek na dopracování cílových limitů sanace pro zeminy, půdní vzduch a stavební konstrukce. Pro všechny tyto substance byly navrženy limity v úrovni kritérií C MP MŽP! Zdůvodnění tohoto postupu je přijatelné pro

stavební konstrukce, neboť ty byly určeny k demolici a odvezení na příslušnou skládku. Pro zeminy bylo uvedeno: „po otevření a vytěžení zeminy při sanaci ohnisek kontaminace v místě stáčiště (plocha 11 na obr. č. 4) a při sanaci staré chemické kanalizace (plocha 10) dojde k okamžitému vytěžení kontaminujících látek ze zeminy. Vzhledem k litologickému charakteru šterkopískové fluvialní akumulace (převaha křemenných zrn) nepředpokládáme adsorpci kontaminantů na zeminu“. Pro půdní vzduch byl uveden předpoklad, že odstraněním kontaminace z podzemní vody bude přímo úměrně odstraněna kontaminace z půdního vzduchu, proto pro půdní vzduch byly také navrženy sanační limity v úrovni kritéria C MP MŽP. To bylo v rozporu s čl. 4 MP MŽP [43], v němž bylo uvedeno, že, vzhledem k nejistotám spojeným s atmogeochemickým měřením, je nutné získané hodnoty považovat za orientační a není možné pouze na jejich základě rozhodovat o nutnosti sanace, nebo stanovit hodnoty cílových parametrů sanace. Pro podzemní vodu bylo zpracovatelem AR upuštěno od limitů pro plochu „vně PTS“. V rozhodnutí ČIŽP OI Olomouc, č.j. 08/OV/03761/ 03/Sn ze dne 2. 5. 2003 byly takto navržené limity akceptovány. Pro podzemní vodu byly limity stanoveny pro oblast uvnitř PTS (tabulka 35). Oblast vně PTS (daná podle AR linií vrtů P-211, R-211 až R-214, FAR-3, P-67, AT-101 a P-200) nebyla v rozhodnutí řešena.

Demolice stavebních konstrukcí a odstranění kontaminované zeminy byly částečně uskutečněny v již provedených sanačních pracích, částečně budou realizovány během II. etapy sanace. Proto se revizí limitů těchto substancí nezabýváme. Pro půdní vzduch se cílové limity dlouhodobě nestanovují (viz čl. 4 v MP MŽP). Proměnlivost obsahů organických látek v půdním vzduchu se projevila i během probíhající sanace ventingem. Pokud bude odstraněna kontaminace z nenasycované zóny odtěžením zeminy a v podzemní vodě bude obsah polutantů snížen na cílové limity sanace, **jsou cílové limity pro půdní vzduch neúčelné, a proto navrhuje omezit jejich platnost.** Pro případnou revizi těchto limitů by musel být uvažován vliv zbytkové kontaminace v podzemní vodě (neboť nelze očekávat snížení polutantů na nulové koncentrace) na těkání do nenasycované zóny a vytváření rovnovážného stavu, který však bude velmi proměnlivý v závislosti na konkrétních fyzikálních podmínkách. Takové výpočty by byly zatíženy vysokou mírou nejistoty.

Tabulka 35: Cílové limity sanace stanovené v rozhodnutí ČIŽP OI Olomouc, č.j. 08/OV/03761/ 03/Sn ze dne 2. 5. 2003

Ukazatel znečištění	Podzemní voda (mg/l)	Půdní vzduch (mg/m ³)
vinylchlorid (VCE)	0,6	10
cis 1,2-dichlorethen (DCE)	3,0	10
1,1,2-trichlorethen (TCE)	0,5	10
1,1,2,2-tetrachlorethen (PCE)	0,2	10
benzen	0,03	10
toluen	1,8	10
chlorbenzen	0,17	-
krezoly	1,6	-
amonné ionty	7,2	-
NEL	-	20

Hodnocení rizika pro ekosystémy nebylo v AR provedeno, neboť bylo konstatováno, že ve srovnání s předchozími lety je situace podstatně lepší a že při provozu PTS je zhoršení kvality povrchové vody v řece Moravě vyloučeno. **Obsahy polutantů v řece Moravě však nebyly zjišťovány.**

Z prioritních škodlivin jsme, na základě výsledků analýz získaných při probíhající sanaci, **vyloučili krezoly, PCE, TCE**, neboť tyto látky jsou trvale pod cílovými limity sanace. Proto do výpočtů rizik nejsou zahrnuty. Obsahy krezolů jsou obvykle v jednotkách $\mu\text{g/l}$, relativně vyšší hodnoty jsou ve vrtech P-32 a P-56 - mírně nad $100 \mu\text{g/l}$. Ve srovnání se stávajícím sanačním limitem $1\,600 \mu\text{g/l}$ to je 10x méně. Podobně u PCE a TCE nejsou trvale sanační limity překračovány. PCE je ve většině vrtů pod mezí stanovitelnosti, nejvyšší koncentrace dosahují cca $117 \mu\text{g/l}$. TCE je také ve většině vrtů pod mezí stanovitelnosti. Ojediněle se vyskytne hodnota v nižších stovkách $\mu\text{g/l}$, jako např. ve vrtu SM-7 nebo AT-103. Od července 2009 do ledna 2012 nedošlo k překročení sanačního limitu pro TCE v žádném z vrtů s výjimkou obsahu TCE ve vrtu AT-103 v červenci 2010, kdy bylo stanoveno $603,0 \mu\text{g/l}$. Při kontrolním odběru v srpnu 2010 však bylo stanoveno $21,4 \mu\text{g/l}$, což odpovídá dlouhodobému trendu v tomto vrtu. V únoru 2012 však byl stanoven ve vrtech VV-1 a SM-61 obsah TCE 10x vyšší než sanační limit, což však může souviset s aplikací Fentonova činidla. Sledování ukazatele NEL v podzemní vodě nebylo vůbec v realizačním projektu navrženo. Nad rámec sanačních prací byly zhotovitelem obsahy ukazatele NEL stanoveny ve 17-ti vrtech včetně kvalitativních analýz, pohybovaly se vždy nad limitem C MP MŽP a byly v jednotkách nebo desítkách mg/l (tabulka 26 v příloze č. 19). Protože pro směs ropných uhlovodíků nelze rizika počítat, nejsou do prioritních škodlivin zařazeny. Pro jednotlivé látky, které byly kvalitativně v podzemní vodě identifikovány a které jsou uvedeny v tabulce 30 v příloze č. 19 a v kapitole 2.1.3, nejsou v literatuře dostupné parametry pro kvantifikaci rizika. Publikovány byly pouze pro cyklohexan, bromobenzen (uvedeny v tabulce 38), metylpropanol, benzyl-chlorid a n-butanol, ovšem v omezeném rozsahu. Navíc nebyly obsahy těchto látek stanoveny kvantitativně. Protože se však vyskytují v místě masivní kontaminace toluenem a chlorbenzenem, lze předpokládat, že při sanaci polutantů, pro něž jsou stanoveny cílové limity, budou odstraněny i výše zmíněné organické sloučeniny. Měly by však být dále alespoň orientačně sledovány včetně kvalitativních analýz.

Jak vyplynulo z průběhu sanačních prací, a především z realizace STP, v podzemní vodě jsou ve vysokých koncentracích přítomny i **metanol a isopropanol**. Tyto sloučeniny byly prokázány ve vysokých koncentracích v minulosti (tabulka 7 v příloze č. 19), při průzkumných pracích pro AR [4] ani pro sanační doprůzkum [23] však ověřovány nebyly. Do hodnocení rizik v rámci AAR jsou zahrnuty, neboť jejich obsah byl během STP v desítkách tisíc $\mu\text{g/l}$. Také byl na lokalitě přítomen v podzemní vodě ve vysokých koncentracích **aceton**, především v místě objektu č. 13a. Tento polutant nebyl do monitoringu kvality podzemní vody v realizačním projektu zahrnut. Na základě výsledků STP bylo sledování acetonu navrženo v rámci dodatečných prací a byl zařazen mezi látky potenciálního zájmu.

Produkty oxidace toluenu a chlorbenzenu, které mohou vznikat při aplikaci Fentonova činidla (acetofenon, benzaldehyd, brommetan, ethylester kyseliny octové, chloretan, chlormetan, isobenzofuranon, kyselina benzoová) byly před STP přítomny v nízkých koncentracích, a i během terénní zkoušky STP docházelo po prvotním nárůstu k poklesu jejich obsahů. Také dosud získané výsledky monitoringu aplikace Fentonova činidla neprokázaly jejich zvýšené obsahy, obvykle byly pod mezí stanovitelnosti. Proto je také nepovažujeme za látky potenciálního zájmu.

Níže uvádíme charakteristiky škodlivin, pro které byla počítána rizika. Podklady [67] a [68] jsou citovány v kapitole 6. Navíc uvádíme i charakteristiku psychofarmak, i když pro ně rizika nebyla počítána, neboť parametry pro kvantifikaci rizika nejsou publikovány (viz kapitola 3.2.1).

Benzen

Benzen je čirá, bezbarvá, nepolární kapalina s charakteristickým aromatickým zápachem. Je těkavý a hořlavý. Je dobře rozpustný ve většině organických rozpouštědel. Volně mísitelný s etanolem, éterem, acetonem a chloroformem. Používá se jako surovina pro výrobu chemických látek (barviva, detergenty, syntetická vlákna a tkaniny, pryskyřice, plastové hmoty, výbušniny, léčiva, insekticidy, přísady do maziv, nátěry a některé typy pryže). Benzen je velmi toxická látka. Benzen může vstupovat do těla převážně inhalačně nebo orálně. Průnik kůží není tak nebezpečný, protože se většina benzenu rychle odpaří. Po expozici se benzen distribuuje do celého těla. Nejvyšší koncentrace se nacházejí v kostní dřeni, v orgánech s vysokým zásobením krví (játra, ledviny) a v tkáních s vysokým obsahem tuků (mozek). Akutní toxicita je způsobena přímo benzenem, příčinou chronické toxicity jsou spíše jeho metabolity. IARC (International Agency for Research on Cancer) zařadila benzen do skupiny 1, tj. karcinogenní pro člověka, s možností vzniku leukémie, pozitivním mutagenem a potenciálním teratogenem. Benzen primárně poškozuje centrální nervovou soustavu, imunitní systém a krvetvorbu. Projevem otravy jsou závratě, bolesti hlavy, euforie a zmatenost. Může dojít až ke smrti z důvodu selhání dýchání a srdeční arytmie. Chronická expozice poškozuje červené i bílé krvinky a krevní destičky a může způsobit anemii. Projevuje se zvýšenou únavou, anorexií a krvácením z dásní, nosu, kůže a trávicího traktu. Chronická expozice také poškozuje kostní dřeň.

Toluen

Toluen je bezbarvá kapalina se sladkou vůní podobnou benzenu. Při pokojové teplotě je těkavý a hořlavý. Může se rozpouštět v tucích a dobře se rozpouští v organických rozpouštědlech. Přirozeně se vyskytuje v ropě. Benzín obsahuje 5 – 7 % toluenu. Toluen patří mezi těkavé organické látky. Používá se jako průmyslové rozpouštědlo, také při tiskařských pracích, barvení kůží a k výrobě benzenu a dalších chemikálií. Toluen se také používá jako výchozí surovina při výrobě polymerů, ze kterých se potom vyrábí nylon, plastové lahve a polyuretany. Mezi další využití patří výroba léčiv, barviv a laků na nehty. Primárním vstupem toluenu do těla je inhalace, vstřebává se 50 % vdechnutého toluenu. Může být absorbován také trávicím traktem nebo kontaktem s kůží. Toluen ovlivňuje hlavně centrální nervovou soustavu, dráždí dýchací orgány, kůži, oči, způsobuje srdeční arytmiu a poškozuje játra a ledviny. Akutní expozice způsobují bolesti hlavy, závratě, únavu, ztrátu koordinace a barevného vidění, zvracení a apatii. Chronická expozice způsobuje únavu, ztrátu soustředění a paměti, podrážděnost, trvalé bolesti hlavy a poškození mozečku. Ve většině případů jsou tyto příznaky (po ukončení expozice) dočasné. Z hlediska toxicity toluenu je významná hlavně profesionální chronická expozice. U koncentrace toluenu ve venkovním ovzduší není výrazné poškození zdraví nebo ekosystému pravděpodobné. Je potenciálním teratogenem. IARC zařadila toluen do skupiny 3, tj. mezi látky, které nelze klasifikovat na základě jejich karcinogenity pro člověka (IARC, 1999).

Chlorbenzen

Chlorbenzen je bezbarvá hořlavá kapalina s charakteristickým aromatickým zápachem. Je běžně používaným rozpouštědlem a také meziproduktem pro výrobu dalších chemikálií. Chlorbenzen je těkavý, jeho biodegradace v půdě a podzemní vodě je pomalá. Produkty biodegradace jsou 2 a 4 chlorfenoly. Abiotická degradace je také možná, protože chlorbenzen absorbuje světlo v rozsahu 290 - 310 nm. Stejně tak ve troposféře i v povrchových vodách tento proces přispívá k odbourávání. Produktem je monochlorbiphenyl. Chlorbenzen je toxický pro vodní organismy, může vyvolat dlouhodobé nepříznivé účinky ve vodním prostředí. Při kontaktu s chlorbenzenem

může dojít k podráždění kůže, očí. K nepříznivým účinkům na zdraví dochází při jeho inhalaci. Expozice velkému množství chlorbenzenu může mít nepříznivý vliv na nervovou soustavu a způsobit bolesti hlavy, ospalost, svalovou křeč, nepravidelný tep, zrychlené dýchání až bezvědomí. Nepříznivé účinky může mít inhalace chlorbenzenu také na kostní dřeň. Ostatní účinky na lidské zdraví spojené s dlouhodobou opakovanou expozicí malým dávkám chlorbenzenu nejsou známy. Chlorbenzen není zařazen v seznamu karcinogenních látek IARC. U.S. EPA jej zařadila do skupiny D, tj. není klasifikován jako karcinogen.

Vinylchlorid

Vinylchlorid (VCE) je bezbarvý plyn, lehce nasládlého zápachu, slabě rozpustný ve vodě, který snadno hoří a není příliš stabilní při vyšších teplotách. Může se vyskytovat i v kapalně formě, pokud je udržován pod vysokým tlakem nebo za nízké teploty. Vinylchlorid je mikrobiologický degradační produkt tetrachlorethylenu nebo trichlorethylenu, vyskytujících se v podzemní vodě, a tudíž může být v podzemní vodě detekován (ATSDR, 2004). Je využíván pro výrobu PVC (polyvinylchlorid) a plastových produktů. Akutní expozice vysoké úrovně vinylchloridu v ovzduší působí především na centrální nervový systém např. rozostřené vidění, závratě, nevolnost a bolesti hlavy. Chronická inhalační nebo orální expozice vinylchloridu může způsobovat např. ospalost, bolesti žaludku, ztrátu váhy, nevolnost a poškození jater (WHO, 1999). IARC zařadila vinylchlorid do skupiny 1, tj. karcinogenní pro člověka (IARC, 2012).

1,2-dichlorethylen

1,2-dichlorethylen (1,2-DCE) je hořlavá bezbarvá kapalina ostrého štiplavého zápachu. Je to průmyslově vyráběná sloučenina, která se používá zejména k výrobě rozpouštědel. V minulosti nebyl používán. Je meziproduktem rozpadu PCE a TCE. Existují dvě isoformy 1,2-dichlorethylenu: cis- a trans-1,2-dichlorethylen. Krátkodobá inhalace par 1,2-dichlorethylenu (vysoké koncentrace, do 10 mg/l) může vyvolat nevolnost, ospalost a únavu. Účinky na zdraví po dlouhodobé expozici nízkými koncentracemi nejsou známy (ATSDR, 1996). U.S. EPA (Americká agentura ochrany životního prostředí) zařadila cis-1,2-dichlorethylen do skupiny D, tj. neklasifikovatelná látka z hlediska karcinogenity člověka (U.S. EPA, 2005a). IARC nemá tuto látku zařazenou v seznamu látek klasifikovaných dle karcinogenity.

Isopropanol

Isopropanol (též 2-propanol, isopropylalkohol) je bezbarvá, hořlavá, silně páchnoucí kapalina. Páry isopropanolu jsou těžší než vzduch a jsou snadno zápalné v širokém rozsahu koncentrací. Směs se vzduchem nebo s jinou oxidující látkou je výbušná. Isopropanol rozpouští širokou škálu nepolárních sloučenin. Je relativně netoxický a rychle se odpařuje. Proto se široce používá jako rozpouštědlo a jako čisticí prostředek. Jako konzervant (pro biologické preparáty) isopropanol poskytuje alternativu k formaldehydu a jiným syntetickým konzervantům. Isopropanol je hlavní složkou aditiv pro odvodňování benzínu. Také se často používá ve spreji na odmrazování skel dopravních prostředků. Podle [67] se rychle absorbuje z gastrointestinálního traktu, 80 % je absorbováno během 30 minut a 100 % během 3 hodin. Oproti tomu absorpce kůží je pomalá. Metabolismus isopropanolu v těle probíhá skrze oxidaci alkoholdehydrogenázou v játrech na aceton. Aceton je vyloučen vydechováním vzduchu a močí a podléhá také další oxidaci na sůl kyseliny octové a mravenčí a nakonec na CO₂. Isopropanol má senzibilizační účinek, není však dráždivý pro kůži. Inhalace isopropanolu po dobu několika minut vyvolává podráždění očí a nosohltanu. Orální příjem nízkých dávek (2,6 – 6,4 mg/kg tělesné váhy) nemá vliv na krevní

buňky, sérum nebo moč a nevytváří žádné symptomy (IARC, 1977). Akutní inhalační expozice isopropanolu může způsobit útlum centrálního nervového systému, který může být ještě prodloužen acetonem, metabolitem isopropanolu. Letalita se vyskytuje u velmi malých a novorozenech dětí. IARC zařadila isopropanol do skupiny 3, tj. mezi látky, které nelze klasifikovat na základě jejich karcinogenity pro člověka (IARC, 1999).

Metanol

Metanol je průhledná, bezbarvá, alkoholicky páchnoucí kapalina, mísitelná s vodou a mnoha organickými rozpouštědly. Je těkavý, hořlavý a silně jedovatý. Přirozeně se vyskytuje u lidí, zvířat i rostlin. Je přirozenou součástí krve, moči, slin a vydechovaného vzduchu. Metanol vzniká v malém množství rozkladem organických látek působením některých mikroorganismů (např. oxidací metanu bakteriemi rodu *Methylococcus*), velice brzy se však ve vzduchu působením slunečního záření oxiduje na oxid uhličitý a vodu. Metanol má širokou škálu použití, mj. jako rozpouštědlo, přísada do nemrznoucích směsí, denaturační činidlo pro denuraci etanolu, přísada do pohonných látek nebo jako samostatná pohonná látka, jako surovina pro výrobu jiných organických látek (formaldehydu, kyseliny mravenčí, dimethyletheru). Metanol se metabolizuje především v játrech, a to pomocí enzymu alkoholdehydrogenázy na formaldehyd, který se dále přeměňuje na kyselinu mravenčí. Ta se pak oxiduje folátovou metabolickou dráhou na oxid uhličitý. Metanol se snadno vstřebává všemi cestami, tedy především z trávicího traktu, vdechováním nebo přes kůži. Již požití dávek 4 - 10 cm³ může způsobit trvalou slepotu. Toxicita metanolu nespočívá až tolik v působení této látky, jako v působení jejích metabolitů. Metanol samotný se metabolizuje zhruba poloviční rychlostí oproti etanolu. Celková eliminace metanolu je pomalá, odpovídá zhruba sedmině rychlosti pro etanol. Navíc má etanol asi dvacetkrát vyšší afinitu k alkoholdehydrogenáze než metanol, proto je preferovaným substrátem. To umožňuje podávat etanol jako antidotum při intoxikaci, protože se výrazně zpomalí metabolismus metanolu a podstatně se tak sníží jeho biochemické a klinické účinky. K časným příznakům otravy patří opilost a ospalost. Po 8 až 36 hodinách se přidávají bolesti hlavy, závratě, kóma, případně křeče. Zřítelnice jsou roztažené, s pomalou nebo žádnou reakcí na světlo. Zrak je zhoršený nebo rozmazaný, může zůstat na úrovni vnímání světla nebo může nastat úplná slepota. V akutní fázi je běžné překrvení čočky. Běžně se vyskytují bolesti břicha, občas akutní pankreatitida. Hlavním rizikem při intoxikaci metanolem je metabolická acidóza, která představuje přebytek kyselin v těle a může způsobit rozvrat mnoha buněčných funkcí. Je způsobena hromaděním kyseliny mravenčí a v pozdější fázi také kyseliny mléčné. Dochází k útlumu centrálního nervového systému, poškozuje se sítnice a může dojít k trvalé úplné slepotě. Metanol není zařazen IARC v seznamu látek klasifikovaných dle karcinogenity.

Aceton

Aceton je bezbarvá kapalina specifického zápachu. Bývá také nazýván propan 2 – on nebo dimethylketon. Je to hořlavá a s vodou neomezeně mísitelná látka. Směs par s kyslíkem je výbušná. Aceton je základní surovinou chemického průmyslu. Používá se jako rozpouštědlo organických látek. Využívá se na výrobu podpatků a podrážek či jiných gumových dílů obuvi. V přírodě se přirozeně vyskytuje v rostlinách, stromech nebo sopečných plynech. Průmyslové procesy přispívají větší mírou produkce acetonu do životního prostředí, než procesy přirozené. Aceton může vstupovat do těla převážně inhalační nebo orální cestou. Při běžném použití vykazuje zřejmě jen mírnou toxicitu a neexistují dostatečné důkazy pro chronické účinky na zdraví, dodržují-li se základní zásady. Při velmi vysokých koncentracích par je aceton dráždivý a podobně jako u mnoho jiných rozpouštědel působí tlumivě na centrální nervový systém. Při

požití způsobuje gastrointestinální poruchy a poškození ledvin a jater. Aceton není uveden na seznamu látek uvedených agenturou IARC (International Agency for Research on Cancer) a dle U.S. EPA údaj také není k dispozici.

Amonné ionty, amoniak

Amonné ionty (NH_4^+) jsou po chemické stránce formou rozpuštěného amoniaku. Ve vodním prostředí se ustavuje rovnováha mezi ionizovanou formou (NH_4^+) a rozpuštěným neionizovaným amoniakem (NH_3), poměr mezi ionizovanou a neionizovanou formou závisí především na pH vodního prostředí. Z terminologického hlediska je zapotřebí odlišovat (celkový) **amoniakální** dusík N ($\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$) od dusíku **amonného** (N-NH_4) a dusíku **amoniakového** (N-NH_3). Amoniakální dusík je jednou z hlavních forem anorganicky vázaného dusíku, tak jako dusitanový a dusičnanový dusík [41].

Pro inhalaci i pro příjem pitnou vodou je stanoven limit, referenční dávky a koncentrace pro amoniak. Tato skutečnost je v souladu s vlastnostmi amoniaku, jak jsou popsány v encyklopedii Wikipedia (http://cs.wikipedia.org/wiki/Hydroxid_amonn%C3%BD):

„Amoniak se velmi dobře rozpouští ve vodě, a to při 0 °C 1148 cm³ v 1 cm³ vody, za vzniku zásaditého roztoku, který se nazývá čpavek. Výsledný roztok je silně zásaditý a nazývá se taky „hydroxid amonný“. Tohle označení je však poněkud nesprávné, jelikož molekula „NH₄OH“ neexistuje. Neexistence molekuly „NH₄OH“ je v souladu s faktem, že amoniak je Brønstedtova, nikoli Arrheniova zásada. Zásaditý charakter amoniaku je tudíž podmíněn jeho schopností vázat proton vodíku H⁺, a ne tvořením hydroxidových iontů OH⁻ v průběhu reakce $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ (dle této reakce reagují pouze 4 z 1000 molekul amoniaku). Správné označení vodního roztoku amoniaku je tudíž $\text{NH}_3(\text{aq})$ nebo $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.“

Z uvedeného je zřejmé, že ionizovaná forma NH_4^+ se vyskytuje pouze ve vodním prostředí a je tvořena pouze disociovanou frakcí NH_3 , která vstupuje do interakce s molekulami vody. Tato disociace není kvantitativní (100 %) a rovnováha mezi disociovaným a nedisociovaným podílem NH_3 se ustavuje podle aktuálních podmínek prostředí. Přestup této škodliviny z vodního prostředí ovlivňuje, případně vylučuje přítomnost amoniaku (NH_3) ve formě amonného iontu (NH_4^+). Pro expozici inhalací připadá jako aktivní sloučenina amoniak a i jeho ve vodě rozpuštěná část přechází mezi disociovanou a nedisociovanou formou (včetně vnitřního prostředí exponovaného organismu). Jako základní chemické individuum je proto hodnocen amoniak, který při expozici působí na cílový organismus.

Amoniak je bezbarvý, hořlavý plyn, intenzivně štiplavého zápachu, který lze cítit již v koncentraci 5 ppm. V životním prostředí se vytváří jako produkt metabolických procesů v zemědělství, industriální činnosti a z plošně disperzních zdrojů např. z dezinfekce chloraminem. Přirozeně se amoniak vyskytuje v atmosféře, v půdě a v povrchových vodách. Amoniak je významným komponentem metabolismu savců. Vlivem katabolických procesů a rozkladu neživé organické hmoty je amoniak spolu se zápachem považován za hlavní složku kontaminace ovzduší vlivem zemědělských provozů. Vyšší koncentrace amoniaku indikuje riziko na fekální znečištění vody. Problémy s chutí a zápachem vody mohou nastat v případě obsahu vyššího obsahu amoniaku v pitné vodě. Přítomnost amoniaku v pitné vodě může být následkem desinfekce vody chloraminem. Amoniak se používá jako umělé průmyslové hnojivo, v produkci potravy pro zvířata, na výrobu plastů, výbušnin, papíru, tkanin a gumových produktů. Další využití je v koksárenském průmyslu, ve výrobě kovů a jako startovací produkt pro mnoho

sloučenin obsahujících dusík. Amoniak a amonné soli se využívají jako čisticí a přídatné látky do potravin. Amoniak má toxické účinky na lidské zdraví jenom v případě vyššího příjmu než je kapacita těla k jeho detoxifikaci. Při pokusech na zvířatech pro akutní orální expozici amonným solím byla stanovena letální dávka LD₅₀ v rozmezí 350 - 750 mg/kg váhy. Při jednorázové dávce různých amonných solí 200 - 500 mg/kg váhy mají vliv na plicní edémy, dysfunkci nervového systému, acidózu a poškození ledvin ([http://www.who.int/docstore/water sanitation health](http://www.who.int/docstore/water_sanitation_health), 2004). Uvedené riziko pro veřejné zdraví prostřednictvím kontaminace vody, je nutno vzít v úvahu jako možné následné vlivy kontaminace prostředí v důsledku masivního vstupu plynného amoniaku do atmosféry během havarijního stavu technologie jeho výroby, skladování, manipulace, biogenních emisí, případně dalších vlivů. Vstupní cestou expozice plynného amoniaku jsou sliznice dýchací soustavy a exponovaná část kůže. Zdravotně bezpečná referenční koncentrace ve volném ovzduší je dle U.S. IRIS stanovena při použití modifikujícího faktoru a faktoru nejistoty na RFC_i = 100 µg/m³ pro chronickou inhalační expozici. Pro orální expozici nebyly v roce 2010 stanoveny referenční dávky této škodliviny vzhledem k jejímu masivnímu výskytu v prostředí i vlivem běžných biogenních procesů a vzhledem k chemickým přeměnám jednotlivých forem dusíku, které zahrnují i hodnocenou škodlivinu. Vysoké koncentrace amoniaku způsobují zástavu dechu. Nečastěji je to zástava přechodná, může však dojít i k velmi rychlé smrti. Hlavním nebezpečím je při delším pobytu ve vyšších koncentracích možnost vzniku edému plic. Při inhalaci amoniaku může dojít také i dráždění ústředního nervstva až křečím, mohou být poškozeny ledviny, u žen může dojít ke krvácení z rodidel, u těhotných k potratu. Chronické působení nižších koncentrací vede k poškození obdobnému jako u jiných dráždivých látek: nepříjemnosti s podrážděnými spojivkami, dráždění sliznice nosohltanu a průdušek kašel a možnost vzniku rozedmy plic se všemi vážnými důsledky. Smrtící koncentrace pro člověka při inhalaci trvající 5 minut = 30 000 ppm, což představuje 20 850 mg/m³ (příloha č. 29). Podle nařízení vlády č. 361/2007 Sb., ve znění pozdějších předpisů, jsou stanoveny v pracovním prostředí jako nejvyšší přípustné koncentrace NPK=36 mg/m³, přípustný expoziční limit PEL=14 mg/m³. Amoniak je typickou systémovou škodlivinou, v případě vyšších koncentrací působí i jako lokální škodlivina. Čichový práh v ovzduší byl zjištěn (Nauš, 1982) 1,5 mg/m³ (detekční) a 35 mg/m³ (rekognoskační).

Psychofarmaka

Dostupné jsou pouze údaje ke 3 níže uvedeným látkám (z celkového počtu 9 analyzovaných psychofarmak).

Amitriptylin hydrochlorid

Amitriptylin hydrochlorid se vyskytuje ve formě prášku. Jedná se o silné oxidační činidlo, které je stabilní za doporučených skladovacích podmínek. Dráždí oči, dýchací cesty a kůži. Patří mezi látky s podezřením na poškození reprodukční schopnosti nebo plodu v těle matky. Z farmaceutického hlediska můžeme Amitriptylin zařadit mezi látky s antidepresivními účinky. Podle agentury IARC (International Agency for Research on Cancer) se nejedná o možný ani o potvrzený karcinogen.

Chlorprothixen báze

Chlorprothixen báze je bílý nebo slabě nažloutlý krystalický prášek, bez zápachu. Je rozpustný v etanolu, etheru a chloroformu. Látka je používána jako neuroleptikum, má antipsychotické účinky. Při požití je toxická. Způsobuje podráždění kůže, očí, sliznic a horních cest dýchacích.

Při vdechování může být škodlivá. Způsobuje rovněž ekzémy a při dlouhodobém kontaktu s kůží může mít senzibilizující účinky. Masivní nebo opakovaná expozice může postihnout orgány krvetvorby a centrální nervový systém, může mít za následek výskyt mikrobiální infekce, opoždění hojení a krvácení z dásní. V databázích IARC a U.S. EPA není Chlorprothixen báze klasifikován.

Thiepinon

Thiepinon se vyskytuje ve formě bílé až slabě nažloutlé krystalické látky, bez zápachu. Jedná se o hořlavou organickou látku, která není výbušná. Thiepinon je málo rozpustný v etanolu a dobře rozpustný v toluenu, ve vodě je rozpustný. Používá se jako meziprodukt. Při jednorázové expozici může prach způsobit podráždění dýchacích orgánů, kůže a očí. Údaje o vlivu na životní prostředí nejsou známy. Žádné údaje o karcinogenních vlastnostech této látky nejsou v databázích IARC a U.S. EPA k dispozici.

3.1.2 Základní charakteristika příjemců rizik

Charakteristika podmínek expozice

- V areálu Farmaku byla a jsou prováděna následující sanační opatření:
 - odstranění 2 ohnisek kontaminace v nesaturované zóně (část staré chemické kanalizace a objekt č. 32a) znečištěných různými organickými látkami - realizováno;
 - sanace nesaturované zóny horninového prostředí ventingem - probíhá;
 - sanační čerpání podzemní vody - probíhá;
 - in-situ chemická oxidace horninového prostředí Fentonovým činidlem - probíhá;
 - plošný monitoring znečištění podzemní vody ve směru jejího proudění na hranici a za hranicí areálu Farmaku a ve směru k JÚ Černovír - probíhá.
- Cílových limitů stanovených rozhodnutím ČIŽP v podzemní vodě nebylo dosud dosaženo.
- Byly zjištěny nové skutečnosti, které mají významný vliv na účinnost sanačních prací – výskyt volné fáze polutantů na hladině podzemní vody, existence starých podzemních jímek, nádrží a staré chemické kanalizace a výskyt toluenu v dříve vyloučených částech areálu.
- Dosud nebyla odstraněna všechna ohniska kontaminované zeminy v nesaturované zóně – bude provedeno v rámci II. etapy sanačních prací, zahájení je plánováno na II. polovinu roku 2012.
- Ve směru otevřené části PTS a proudění podzemní vody se nachází řada domovních studní, které jsou využívány jako zdroje vody pro zálivku, v některých případech jako voda pro sociální zařízení. Řada studní je vybudována v zahrádkářské kolonii, jsou využívány na zálivku. Studny jsou oficiálně evidované. Pitná voda v obytné zóně je dodávána z veřejného vodovodu.
- Podzemní voda ve sledovaných domovních studních situovaných ve směru jejího proudění od areálu Farmaku obsahovala v některých případech koncentrace překračující limitní hodnoty dané vyhláškou č. 252/2004 Sb., ve znění pozdějších předpisů, která stanoví požadavky na pitnou vodu a rozsah a četnost její kontroly, ve znění pozdějších předpisů.
- V případě, že podzemní voda v obytné zóně vykazuje senzoricky zápach (všechny studny vzorkované dne 15. 9. 2010), obyvatelé používají vodu ze studní pouze na zálivku, ne na sociální účely.
- Z hlediska výskytu obytných zón v okolí areálu Farmaku:

- jihozápadním a západním směrem od Farmaku, za areály škol, se nachází v prostoru ulice Jablonského obytná zóna s jednopodlažními a dvojpodlažními rodinnými domky se zahradami a zahrádkářská kolonie.
- Ve vzdálenosti cca 380 až 580 m západně a jihozápadně od areálu Farmaku protéká řeka Morava.
- Za podzemní těsnicí stěnou se ve vzdálenosti 800 m od sv. okraje areálu Farmaku nachází JÚ Černovír zásobující pitnou vodou veřejný vodovod.
- Směr proudění podzemní vody:
 - je ovlivněn existencí funkční podzemní těsnicí stěny,
 - z areálu Farmaku směřuje k západu až jihozápadu,
 - rozvodnice v důsledku vodárenských odběrů v JÚ Černovír se vytváří v. a sv. od hranice areálu Farmaku.
- Na základě osobních zkušeností, získaných při provádění sanace v letech 2006 až 2012, vylučujeme, že by mohlo docházet ke kontaminaci horninového prostředí chemickými látkami používanými v areálu Farmaku, a tím by byl ovlivněn průběh sanačních prací.
- V areálu Farmaku je větší část plochy (60,5 %) zatravněná.

Charakteristika ohrožitelných subjektů

Osoby

- Zaměstnanci Farmaku nebo zaměstnanci externích firem – mohou být ohroženi např. při výkopových pracích při budování nových objektů v areálu objednatele

Jako potenciálně exponovaná populace jsou uvažováni pracovníci provádějící výkopové práce. Jejich počet je max. 10 osob v pracovním prostředí.

- Obyvatelé místních částí Černovír a Klášterní Hradisko žijící v rodinných domcích nebo majitelé zahrádek situovaných ve směru proudění podzemní vody – mohou být ohroženi při používání podzemní vody jímáné z domovních studní

Počet obytných domů se zahradami v této oblasti je 62 (obrázek č. 18), uvažuje se průměrné osídlení 4 osoby/dům, tj. 248 osob. Předpokládáme, že zálivku budou provádět 2 osoby, obývajících každý dům. Početnost této potenciálně exponované populace je 124 osob, věkové složení není známo. Počet zahrádek v zahrádkářské kolonii v této oblasti je 30, předpokládá se obvyklý režim využívání zahrádkářské osady s výskytem pouze v letní sezóně (duben – říjen, tj. 7 měsíců/rok) s frekvencí průměrně 2x týdně, počet osob byl odhadnut na 2 osoby/zahrádku. Početnost této populace je za uvedeného předpokladu 184 osob. Jak vyplývá z tabulky 27 v příloze č. 19, ne všechny domovní studny jsou kontaminovány. Také v monitorovacích vrtech v obytné zóně obvykle není kontaminace přítomna (s výjimkou vrtů SM-36, SM-39 a „vrt 2“). Proto pro hodnocení rizik uvažujeme cca 50 % studní za ohrožených a tedy cca 100 osob.

- Studenti, učitelé a zaměstnanci Střední školy zemědělské

Potenciálně exponovanou populací jsou studenti, kteří na pozemku provádějí praktická cvičení. Počet studentů, kteří provádějí praktická cvičení ze zemědělské praxe je 60, jejich věk je 15 až 19 let. Demonstrační metoda výuky však podstatně omezuje riziko expozice studentů. Vzhledem k odpařování NH_4^+ do volného ovzduší připadá v úvahu prakticky pouze expozice během zalévání pozemků. Zalévání provádí pouze pověřená osoba – zahradník – max. 1 osoba

s výskytem 9 měsíců/rok (10x/měsíc) po dobu max. 6 hod/týden (2,5 hod/den). V tomto areálu probíhá i výuka jiných oborů, avšak tito studenti vzhledem k zaměření jejich výuky nepatří mezi potenciálně exponovanou populaci. Potenciální expozice reálně připadá v úvahu pouze u zahradníka (1 osoba). Výpěstky (ovoce, zelenina) nejsou podle sdělení ředitele školy konzumovány.

- Správce sportoviště v areálu Střední školy logistiky a chemie

Sportoviště (zatravněný ovál a antukové dráhy) je využíváno pro studenty 2 škol:

- Střední škola logistiky a chemie, U Hradiska 29 – 330 žáků (stav k 30. 9. 2011)
- Střední škola stavební – HORSTAV, U Hradiska 4 (84 žáků, stav k 30. 9. 2011).

Celkem se jedná o 414 studentů. Počet žáků celkem využívajících tuto plochu je 414, sportoviště je využíváno po dobu 9 měsíců/rok (mimo prázdniny). Tenisové kurty jsou využívány studenty Střední školy logistiky a chemie (1 kurt) a veřejností (2 kurty). Odhad početnosti této populace je max. 50 osob po dobu 9 měsíců/rok. Údržbu hřiště provádí zaměstnanec školy (celkem cca 1 osoba), kropení provádí 1 osoba po dobu 5 měsíců/rok s frekvencí 3x týdně po dobu 1,5 hodin, obvykle večer. Hadice na kropení jsou rozvedeny v zemi, údržbář tuto hadici nedrží a kropení je ovládáno dálkově. Během sportovních aktivit údržba sportoviště neprobíhá. Tenisové kurty obhospodařuje samostatný správce, který provádí kropení 3 kurtů pomocí hadice (manuální kropení). Období kropení je rozloženo na dobu od května do září podle potřeby. Obvyklá frekvence kropení je 2x týdně mimo hrací dobu, tj. brzy ráno nebo pozdě večer, po dobu 1,5 hodiny.

K expozici může docházet v důsledku aplikace kontaminované vody na plochu sportoviště. Při kropení sportoviště je přítomnost sportovců – žáků a mimoškolních uživatelů vyloučena.

Lokalizace výše uvedených příjemců zdravotních rizik je znázorněna na obrázku č. 18.

Ekosystémy

- Ekosystémy potenciálně ovlivněné kontaminací v zájmovém území jsou ekosystémy vázané na povrchové vody – řeku Moravu.

3.1.3 Shrnutí transportních cest a přehled reálných scénářů expozice

Na základě aktuálních informací o míře a rozsahu kontaminace byl aktualizován koncepční model (tabulka 36). Při aktualizaci modelu byly zohledněny reálné mechanismy migrace, ze kterých vyplynuly nejdůležitější transportní cesty kontaminace. Pro přehlednost uvádíme porovnání scénářů, pro něž byla počítána rizika v rámci AR, a těch, která jsou uvažována v předkládané AAR (tabulka 37). V této tabulce je také rozlišeno, zda je do výpočtů zahrnut i amoniakální dusík, neboť pro tuto látku byly v roce 2010 referenční dávky pouze pro inhalaci.

Při stanovení jednotlivých scénářů byl zohledněn požadavek na výběr pouze reálných expozičních scénářů. Volby scénářů a výpočty rizik byly ovlivněny existencí referenčních dávek pro jednotlivé typy příjmu u každého polutantu, jak je vysvětleno v tabulce 37.

Tabulka 36: Aktualizovaný koncepční model

Možná expozice obyvatel	Expoziční cesta		Scénář vybrán pro kvantifikaci a jeho označení	Důvod pro výběr nebo vyloučení
On-site				
Pracovníci (externí) – provádějící výkopové práce v areálu Farmaku	podzemní voda	dermální kontakt s kontaminovanou podzemní vodou při výkopových pracích	ano/1a	Neovlivněná hladina může být i 2,0 m p.t. Bereme-li do úvahy maximální hloubku výkopu 3 metry, dermální kontakt s kontaminovanou vodou může nastat při manipulaci s vodou při odčerpávání. Ve větší hloubce budou použity strojní mechanismy pro výkopové práce.
		nahodilá perorální expozice při manipulaci s vodou ve výkopu	ano/1b	Neovlivněná hladina může být i 2,0 m p.t. Bereme-li do úvahy maximální hloubku výkopu 3 metry, budou muset pracovníci např. odčerpávat kontaminovanou vodu z výkopu.
	zemina	ingesce zeminy hodnocené jako příspěvek škodliviny v pitné vodě	ano, pouze pro NH ₄ ⁺ (příloha č. 29)	Pro NH ₄ ⁺ není stanovena RfD pro orální expozici, proto je tento scénář volen jako náhradní.

Možná expozice obyvatel	Expoziční cesta		Scénář vybrán pro kvantifikaci a jeho označení	Důvod pro výběr nebo vyloučení
Off-site				
Střední škola zemědělská – personál (zahradník)	výpary	inhalace par z kontaminované podzemní vody při zalévání demonstračních pozemků	ano, pouze pro NH ₄ ⁺ (příloha č. 29)	Výpočet bude proveden jen pro NH ₄ ⁺ , neboť organické polutanty jsou přítomny v minimálních koncentracích. Pro organické polutanty bude pro stejný scénář proveden výpočet u zálivky z domovních studní, kdy je míra expozice i obsah polutantů podstatně vyšší.
Střední škola logistiky a chemie – správce sportoviště	výpary	inhalace par z kontaminované podzemní vody při kropení sportoviště	ano, pouze pro NH ₄ ⁺ (příloha č. 29)	Výpočet bude proveden jen pro NH ₄ ⁺ , neboť organické polutanty jsou přítomny v minimálních koncentracích. Pro organické polutanty bude pro stejný scénář proveden výpočet u zálivky z domovních studní, kdy je míra expozice i obsah polutantů podstatně vyšší.

Možná expozice obyvatel	Expoziční cesta		Scénář vybrán pro kvantifikaci a jeho označení	Důvod pro výběr nebo vyloučení
Off-site				
obyvatelé žijící v obytné zóně ve směru proudění podzemní vody a zahrádkáři	podzemní voda	dermální kontakt při zalévání zahrady	ano/2a	Kontaminace podzemní vody zjištěna, v lokalitě je řada domovních studní a studní v zahrádkářské kolonii.
		nahodilá perorální expozice při zalévání zahrady	ano/2b	Kontaminace podzemní vody zjištěna, v lokalitě je řada domovních studní a studní v zahrádkářské kolonii.
	výpary	inhalace par při kontaktu s kontaminovanou podzemní vodou při zalévání zahrady	ano/2c	Kontaminace podzemní vody zjištěna, v lokalitě je řada domovních studní a studní v zahrádkářské kolonii, polutanty jsou těkavé organické látky.
	ovoce a zelenina	konzumace vlastní produkce	ne	Kontaminace podzemní vody využívané na zálivku zjištěna. Jedná se o těkavé organické látky, které při zalévání vytékají (využívá se v sanační technologii stripování). Amonné ionty jsou pěstovanými plodinami v zahrádkách využívány jako součást biologicky dostupných živin obsahujících dusík. V ČSN 75 7143 Jakost vody pro závlahu není žádný z polutantů, pro něž jsou rizika počítána, uveden.
obyvatelé žijící v obytné zóně ve směru proudění podzemní vody	podzemní voda	dermální kontakt při sprchování kontaminovanou podzemní vodou	ano, podmíněně/3a	Kontaminace podzemní vody zjištěna, v lokalitě je domovní studna, u níž je povoleno využití jako pitné vody (St-Gajdovi). Výpočet bude pouze orientační, neboť domácnost je napojena na veřejný vodovod. Studna povolená k zásobování zahradního bazénu (p. č. 154/4 k. ú. Černovír, leží mimo kontaminaci).
	výpary	inhalace par při sprchování kontaminovanou podzemní vodou	ano, podmíněně/3b	Kontaminace podzemní vody zjištěna, v lokalitě je domovní studna, u níž je povoleno využití jako pitné vody (St-Gajdovi). Výpočet bude pouze orientační, neboť domácnost je napojena na veřejný vodovod. Studna povolená k zásobování zahradního bazénu (p. č. 154/4 k. ú. Černovír, leží mimo kontaminaci).

Tabulka 37: Porovnání reálných scénářů uvažovaných v AR [4] a v AAR

Možná expozice obyvatel	Kontaminant (platí pro AAR)	Expoziční cesta	
On-site			
pracovníci externí firmy – výkopové práce v areálu Farmaku	benzen, toluen, chlorbenzen, VCE, DCE, metanol, aceton, amoniak	podzemní voda	Dermální kontakt s kontaminovanou podzemní vodou při výkopových pracích. Nahodilá perorální expozice při manipulaci s vodou ve výkopu. Pro isopropanol nejsou stanoveny RfD, pro aceton a amoniak nejsou stanoveny příslušné konstanty pro dermální kontakt.
		výpary	Inhalace par z kontaminované podzemní vody při pobytu ve výkopové jámě. Tento scénář je nereálný, neboť pracovník nebude stát v jámě s vodou, nad jámou na volném prostranství dojde k rozptýlení těkavých polutantů do ovzduší.
	NH ₄ ⁺	zemina	Ingesce zeminy při výkopových pracích (pouze NH ₄ ⁺). Pro NH ₄ ⁺ není stanovena RfD pro orální expozici, proto je tento scénář volen jako náhradní.
Off-site			
Střední škola zemědělská – zahradník (personál)	NH ₄ ⁺	výpary	Inhalace par při kontaktu s kontaminovanou podzemní vodou při zalévání školní zahrady. Organické polutanty nebyly v podzemní vodě ze studny zjištěny.
Střední škola logistiky a chemie - správce sportoviště	NH ₄ ⁺	výpary	Inhalace par při kontaktu s kontaminovanou podzemní vodou při kropení tenisového kurtu. Organické polutanty nebyly v podzemní vodě ze studny zjištěny.
obyvatelé žijící v obytné zóně ve směru proudění podzemní vody a zahrádkáři	benzen, toluen, chlorbenzen, VCE, DCE, metanol, aceton, amoniak	podzemní voda	Dermální kontakt a nahodilá perorální expozice při zálivce při využití vody z domovních studní. Pro isopropanol nejsou stanoveny RfD, pro aceton a amoniak nejsou stanoveny příslušné konstanty pro dermální kontakt.
	benzen, toluen, chlorbenzen, VCE, DCE, isopropanol, aceton, metanol, NH ₃ , NH ₄ ⁺	výpary	Inhalace par při kontaktu s kontaminovanou podzemní vodou při zalévání zahrad.
obyvatelé žijící v obytné zóně ve směru proudění podzemní vody – pitná voda	benzen, toluen, chlorbenzen, VCE, DCE, metanol, aceton, amoniak	podzemní voda	Dermální kontakt při sprchování vodou z domovních studní. Orální expozice při individuálním zásobování pitnou vodou. Pro isopropanol nejsou stanoveny RfD, pro aceton a amoniak nejsou stanoveny příslušné konstanty pro dermální kontakt.
	benzen, toluen, chlorbenzen, VCE, DCE, isopropanol, aceton, metanol, NH ₃ , NH ₄ ⁺	výpary	Inhalace par při kontaktu s kontaminovanou podzemní vodou při sprchování.

Vysvětlivky:

červený text – nebylo v AR z 2002 [4] a bude v AAR, modrý text – bylo v AR z 2002 [4] a nebude v AAR, černý text – bylo v AR z 2002 [4] a bude v AAR.

Z tabulky 36 je zřejmé, že nejpravděpodobnějším expozičním scénářem je transport kontaminace podzemní vodou a přímý kontakt obyvatel a zahrádkářů s podzemní vodou. Šíření kontaminace představuje potenciální riziko pro ekosystémy povrchových vod a pro obyvatele v okolí, kteří využívají podzemní vodu. Scénář využití vody z domovních studní pro sprchování je zařazen do reálných scénářů pouze podmíněně, neboť všechny obytné domy jsou napojeny na veřejný vodovod. Výsledky rizik z tohoto scénáře budou mít pouze informativní charakter, neboť pro pitnou vodu (tedy i tu, která je používána pro sprchování) platí limity dané vyhláškou č. 252/2004 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Vzhledem k vysoké kontaminaci, zjištěné v domovních studních v 70. letech 20. století, nelze v blízké době očekávat snížení polutantů pod tyto limity. Ovšem jak ukázalo vzorkování studní v září 2010, ne všechny studny jsou kontaminovány. Používání vody ze studní je záležitostí jejich vlastníků, česká legislativa jakost vody z individuálních studní neřeší.

Při výpočtu rizik jednotlivých expozičních scénářů bylo postupováno následovně:

- Byly vypočteny průměrné a maximální koncentrace polutantů pro možné 4 expozice (areál Farmaku, obyvatelé a zahrádkáři, Střední škola zemědělská a Střední škola logistiky a chemie), které jsou uvedeny v příloze č. 30. Pro výpočet byly použity koncentrace polutantů zjištěné při sanačním a plošném monitoringu v období říjen 2006 až červenec 2010.
- Pro průměrné a maximální koncentrace polutantů u toluenu, benzenu, metanolu a isopropanolu byla vypočtena rizika podle výše uvedených scénářů. Výsledky jsou uvedeny v příloze č. 30.

Protože pro tyto koncentrace byla u mnoha polutantů míra rizika nepřijatelná, byl proveden výpočet rizik pro koncentrace stávajících sanačních limitů u VCE a DCE, pro dvojnásobek sanačních limitů pro benzen, toluen, chlorbenzen a amonné ionty a pro koncentrace zjištěné na lokalitě pro metanol, isopropanol a aceton v konkrétních vrtech tak, jak je uvedeno v tabulce 39. U VCE byla použita hodnota cílového limitu, protože v původní AR nebyla pro VCE rizika počítána. Obsah VCE >600 µg/l nebyl během sanace mimo areál Farmaku nikdy stanoven, v areálu pak jen ojediněle. U DCE byla zvolena hodnota cílového limitu, protože byla relativně vysoká. Níže uvedené scénáře byly kvantifikovány jako nejpravděpodobnější expozice (most likely exposure - MLE), kdy se předpokládalo, že jedinec se vyskytuje v dané lokalitě nahodile, tj. expozice může být nízká i vysoká, a během výpočtů rizik byly použity průměrné hodnoty parametrů.

Expoziční scénář č. 1 – pracovníci provádějící výkopové práce v areálu Farmaku

Odhad zdravotních rizik byl proveden pro případ, že by byly v areálu Farmaku prováděny zemní práce a pracovníci, provádějící tyto práce, by přišli do dermálního kontaktu s kontaminovanou vodou při manipulaci s vodou ve výkopu – např. odčerpávání (scénář č. 1a), nebo náhodně požili cca 1 cl kontaminované vody (scénář č. 1b), neboť hladina podzemní vody se pohybuje v hloubce cca 2 až 4 m p.t. Počet pracovníků je max. 10 osob v pracovním prostředí. Koncentrace látek použitých pro výpočet expozice jsou uvedeny v tabulce 39. Jsou uvažovány nárazové výkopové práce trvající 20 dní v roce po dobu 8 hod/den.

Pro hodnocení zdravotního rizika amonných iontů pro pracovníky provádějící výkopové práce, byl zvolen expoziční scénář náhodné ingesce zvržené zeminy vstupující do organismu v množství max. 1 g/den. Tento příjem byl vyhodnocen jako příspěvek škodliviny v pitné vodě. Hodnocení zdravotního rizika amonných iontů je uvedeno v příloze č. 29.

Vzorec pro výpočet expozičního scénáře č. 1a:**Dermální kontakt s kontaminovanou vodou při výkopových pracích**

V případě *chronických* účinků lze denní příjem kontaminantu dermálním kontaktem s podzemní vodou odhadnout pomocí následující rovnice:

$$\text{DAD} / \text{LADD} = \frac{\text{DA}_{\text{ev}} \times \text{EV} \times \text{ED} \times \text{EF} \times \text{SA}}{\text{BW} \times \text{AT}}$$

Absorbovaná dávka při jednom případě (DA_{ev}) se odvozuje buď pro krátkodobé působení (jestliže $T_{\text{ev}} \leq T_{\text{st}}$) nebo pro dlouhodobé působení (jestliže $T_{\text{ev}} > T_{\text{st}}$). V tomto případě platí pro všechny hodnocené kontaminanty, že $T_{\text{ev}} > T_{\text{st}}$ a byl tedy použit výpočet DA_{ev} pro dlouhodobé působení:

$$\text{DA}_{\text{ev}} = \text{FA} \times \text{Kp} \times \text{CW} \times \text{CF} \times \left[\frac{T_{\text{ev}}}{1 + B} + 2 \tau \left(\frac{1 + 3B + 3B^2}{(1 + B)^2} \right) \right]$$

kde:

DAD	dermální absorbovaná dávka [mg/kg/den],
LADD	celoživotní denní absorbovaná dávka [mg/kg/den],
DA_{ev}	absorbovaná dávka při jednom případě [mg/cm ² /případ],
EV	počet případů za den [případ/den]; 5 (teoretický odhad),
EF	frekvence expozice [den/rok]; 20 dní/rok,
ED	trvání expozice [rok]; 0,05 roku, celoživotní expozice 70 let,
SA	plocha exponovaného povrchu kůže [cm ²]; lze předpokládat, že dermální expozici budou vystaveny ruce, potom se dle MP MŽP (2011) uvažuje cca 1 000 cm ² pro dospělého muže,
BW	váha těla [kg]; 70 kg,
AT	doba průměrování [den]; pro nekarcinogenní účinky $\text{AT} = \text{ED} \times 365$ dní/rok, pro karcinogenní účinky $\text{AT} = 70$ let $\times 365$ dní/rok,
FA	absorbovaný podíl [-]; 1,
Kp	koeficient permeability průniku kůží [cm/hod]; tento parametr je pro každou látku specifický, viz tabulka 38 (data převzata z [54]),
CW	koncentrace kontaminantu v podzemní vodě [mg/l],
CF	konverzní faktor 0,001 [l/cm ³],
T_{ev}	trvání případu [hod/případ]; $T_{\text{ev}} = \text{ET} / \text{EV}$,
ET	doba expozice [hod/den]; 8 hod/den,
τ	doba zpoždění [hod/případ]; pro každou látku specifický (data převzata z [54]),
T_{st}	čas potřebný k dosažení rovnovážného stavu [hod]; $T_{\text{st}} = 2,4 \tau$,
B	poměr Kp pro průchod zrohovatělou částí a živými buňkami pokožky [-]; $B = \text{Kp} \times \sqrt{\text{MW}} / 2,6$
MW	molekulová váha [g/mol].

Vzorec pro výpočet expozičního scénáře č. 1b:

Nahodilá perorální expozice kontaminované podzemní vody při manipulaci s vodou ve výkopu

$$CDI = \frac{CW \times CR \times ET \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

kde:

CDI	chronický denní příjem [mg/kg/den],
CW	koncentrace kontaminantu v podzemní vodě [mg/l],
CR	množství požití vody [l/hod]; 1 cl/den = 0,00125 l/hod,
ET	doba expozice [hod/den]; 8 hod/den,
EF	frekvence expozice [den/rok]; 20 dní/rok,
ED	trvání expozice [rok]; 0,05 roku, celoživotní expozice 70 let,
BW	váha těla [kg]; 70 kg,
AT	doba průměrování [den]; pro nekarcinogenní účinky $AT = ED \times 365$ dní/rok, pro karcinogenní účinky $AT = 70 \text{ let} \times 365$ dní/rok.

Expoziční scénář č. 2 – obyvatelé žijící v obytné zóně ve směru proudění podzemní vody a zahrádkáři

Ve směru proudění podzemní vody se nachází obytná zóna a zahrádkářská kolonie. Počet obytných objektů se zahradami v této oblasti je 62, uvažuje se průměrné osídlení 4 osoby/dům, tj. 248 osob. Předpokládáme, že závlahu budou provádět 2 osoby, obývající každý dům. Početnost této potenciálně exponované populace je 124 osob, věkové složení není známo. Počet zahrádek v zahrádkářské kolonii v této oblasti je 30, předpokládá se obvyklý režim využívání zahrádkářské osady s výskytem pouze v letní sezóně (duben – říjen – 7 měsíců/rok) s frekvencí průměrně 2x týdně, počet osob byl odhadnut na 2 osoby/zahrádku. Početnost této populace je za uvedeného předpokladu 184 osob.

Nepředpokládá se záměrné používání této vody jako vody pitné. Trvalá obydlí mají zabezpečenou dodávku pitné vody z veřejného vodovodního systému a nepředpokládá se ani používání této vody k pití zahrádkáři. Kontaminovaná voda je však používána v celé oblasti k zavlažování, přičemž může dojít k dermálnímu kontaktu s vodou (scénář č. 2a), jejímu nahodilému požití (scénář č. 2b), případně inhalaci par uvolňovaných z podzemní vody při zalévání (scénář č. 2c). Při náhodném požití vody je expozice realizována přenosem z potřísněných rukou, případně náhodným rozstříkem. Množství takto přijaté vody bylo odhadnuto max. do 0,1 l/den. Expozice inhalační byla uvažována v rozsahu obvyklého zalévání zahrady – 10 konví/den (objem 15 l) během 8 měsíců intenzivního zalévání. Délka zalévání byla odhadnuta na 2 hodiny/den, frekvence 3x týdně.

Vzorec pro výpočet expozičního scénáře č. 2a:**Dermální kontakt s kontaminovanou vodou při zalévání zahrady**

V případě *chronických* účinků lze denní příjem kontaminantu dermálním kontaktem s podzemní vodou odhadnout pomocí následující rovnice:

$$\text{DAD} / \text{LADD} = \frac{\text{DA}_{\text{ev}} \times \text{EV} \times \text{ED} \times \text{EF} \times \text{SA}}{\text{BW} \times \text{AT}}$$

Absorbovaná dávka při jednom případě (DA_{ev}) je pro všechny hodnocené látky s výjimkou metanolu odvozena pro krátkodobé působení, protože platí, že $T_{\text{ev}} \leq T_{\text{st}}$ a tedy:

$$\text{DA}_{\text{ev}} = 2\text{FA} \times \text{Kp} \times \text{CW} \times \text{CF} \times (6\tau \times T_{\text{ev}} / \pi)^{1/2}$$

Pro metanol platí, že $T_{\text{ev}} > T_{\text{st}}$, jedná se tedy o dlouhodobé působení a pro výpočet byl použit následující vzorec:

$$\text{DA}_{\text{ev}} = \text{FA} \times \text{Kp} \times \text{CW} \times \text{CF} \times \left[\frac{T_{\text{ev}}}{1 + B} + 2\tau \left(\frac{1 + 3B + 3B^2}{(1 + B)^2} \right) \right]$$

kde:

DAD	dermální absorbovaná dávka [mg/kg/den],
LADD	celoživotní denní absorbovaná dávka [mg/kg/den],
DA_{ev}	absorbovaná dávka při jednom případě [mg/cm ² /případ],
EV	počet případů za den [případ/den]; 5 (teoretický odhad),
EF	frekvence expozice [den/rok]; 105 dní/rok,
ED	trvání expozice [rok]; max. doba pobytu na jedné lokalitě 30 let, celoživotní expozice 70 let,
SA	plocha exponovaného povrchu kůže [cm ²]; uvažujeme-li ruce a předloktí - 2 000 cm ² (MP MŽP, 2011),
BW	váha těla [kg]; 70 kg,
AT	doba průměrování [den]; pro nekarcinogenní účinky $\text{AT} = \text{ED} \times 365$ dní/rok, pro karcinogenní účinky $\text{AT} = 70$ let $\times 365$ dní/rok,
FA	absorbovaný podíl [-]; 1,
Kp	koeficient permeability průniku kůží [cm/hod], viz tabulka 38,
CW	koncentrace kontaminantu v podzemní vodě [mg/l],
CF	konverzní faktor 0,001 [l/cm ³],
T_{ev}	trvání případu [hod/případ]; $T_{\text{ev}} = \text{ET} / \text{EV}$,
ET	doba expozice [hod/den]; 2 hod/den,
τ	doba zpoždění [hod/případ], pro každou látku specifický (data převzata z [54]),
T_{st}	čas potřebný k dosažení rovnovážného stavu [hod]; $T_{\text{st}} = 2,4 \tau$,
B	poměr Kp pro průchod zrohovatělou částí a živými buňkami pokožky [-]; $B = \text{Kp} \times \sqrt{\text{MW}} / 2,6$
MW	molekulová váha [g/mol],
π	Ludolfovo číslo, tj. 3,14.

Vzorec pro výpočet expozičního scénáře č. 2b:

Nahodilá perorální expozice kontaminované podzemní vody při zalévání zahrady

$$\text{CDI} = \frac{\text{CW} \times \text{CR} \times \text{ET} \times \text{EF} \times \text{ED}}{\text{BW} \times \text{AT}}$$

CDI	chronický denní příjem [mg/kg/den],
CW	koncentrace kontaminantu v podzemní vodě [mg/l],
CR	množství požití vody [l/hod]; 1 dl/den = 0,05 l/hod,
ET	doba expozice [hod/den]; 2 hod/den,
EF	frekvence expozice [den/rok]; 105 dní/rok,
ED	trvání expozice [rok]; max. doba pobytu na jedné lokalitě 30 let, celoživotní expozice 70 let,
BW	váha těla [kg]; 70 kg,
AT	doba průměrování [den]; pro nekarcinogenní účinky AT = ED × 365 dní/rok, pro karcinogenní účinky AT = 70 let × 365 dní/rok.

Vzorce pro výpočet expozičního scénáře č. 2c:

Inhalace par při kontaktu s kontaminovanou podzemní vodou při zalévání zahrady:

$$EC = CA \times ET \times EF \times ED / AT$$

$$CA = ((2/\pi)^{1/2}) \times (X^{(1-b)} / (a \times (1-b))) \times (Q/u)$$

$$Q = (CW \times f \times FI) / (X^2 \times 3\,600 \text{ s/hod})$$

kde:

EC	expoziční koncentrace [mg/m ³],
CA	koncentrace kontaminantu ve vzduchu [mg/m ³],
ET	obvyklá doba expozice [hod/den]; 2 hod/den,
EF	frekvence expozice [den/rok]; 105 dní/rok,
ED	trvání expozice [rok]; max. doba pobytu na jedné lokalitě 30 let, celoživotní expozice 70 let,
AT	doba průměrování [hod] – nekarcinogenní účinek = trvání expozice (ED) v rocích x 365 dní/rok x 24 hod/den, karcinogenní účinek = 70 let x 365 dní/rok x 24 hod/den,
Q	vydatnost zdroje [mg/s/m ²],
CW	koncentrace kontaminantu ve vodě [mg/l],
*f	frakce uvolnitelného kontaminantu [-]; 0,5,
FI	průtok zavlažovací vody [l/hod]; 75 l/hod,
π	Ludolfovo číslo, tj. 3,14,
X	strana čtvercové zavlažované plochy [m]; uvažována průměrná hodnota 10 m,
*a, b	konstanty vztahující se k vertikální disperzi stability atmosféry; a = 0,15, b = 0,75,
*u	připovrchová rychlost větru [m/s]; tj. 2 m/s.
* = hodnoty převzaté z Metodického pokynu MŽP č. 3/2011	

Expoziční scénář č. 3 – obyvatelé žijící v obytné zóně ve směru proudění podzemní vody

Uvažován je hypotetický scénář, při kterém by někteří obyvatelé obytné zóny ve směru proudění podzemní vody (počet obyvatel a domů viz expoziční scénář č. 2) využívali kontaminovanou podzemní vodu ke sprchování, při kterém by došlo k dermálnímu kontaktu s kontaminovanou

vodou (scénář č. 3a) a inhalaci par uvolňovaných z rozstříkované vody (scénář č. 3b). Uvažované využití kontaminované vody pro sprchování předpokládá frekvenci 7 dní týdně a délku sprchování 10 minut. Při předpokladu, že několik dní v roce stráví obyvatel mimo domov, je odhadovaná frekvence expozice 350 dní/rok (dle MP MŽP, 2011). Pro současné poměry v ČR je uvažována spotřeba vody 80 l na každé sprchování. Tato voda tvoří aerosol, který je do určité míry vdechován. Množství vdechnutého vzduchu 0,6 m³ bylo převzato z MP MŽP (2011).

Vzorec pro výpočet expozičního scénáře č. 3a:

Dermální kontakt s kontaminovanou vodou při sprchování

V případě *chronických* účinků lze denní příjem kontaminantu dermálním kontaktem s podzemní vodou odhadnout pomocí následující rovnice:

$$\text{DAD} / \text{LADD} = \frac{\text{DA}_{\text{ev}} \times \text{EV} \times \text{ED} \times \text{EF} \times \text{SA}}{\text{BW} \times \text{AT}}$$

Absorbovaná dávka při jednom případě (DA_{ev}) je odvozena pro krátkodobé působení, pro všechny látky platí vztah T_{ev} ≤ T_{st}.

$$\text{DA}_{\text{ev}} = 2\text{FA} \times \text{Kp} \times \text{CW} \times \text{CF} \times (6\tau \times \text{T}_{\text{ev}} / \pi)^{1/2}$$

kde:

DAD	dermální absorbovaná dávka [mg/kg/den],
LADD	celoživotní denní absorbovaná dávka [mg/kg/den],
DA _{ev}	absorbovaná dávka při jednom případě [mg/cm ² /případ],
EV	počet případů za den [případ/den]; 1 (teoretický odhad),
EF	frekvence expozice [den/rok]; 350 dní/rok,
ED	trvání expozice [rok]; max. doba pobytu na jedné lokalitě 30 let, celoživotní expozice 70 let,
SA	plocha exponovaného povrchu kůže [cm ²]; 18 000 cm ² (dle MP MŽP, 2011),
BW	váha těla [kg]; 70 kg,
AT	doba průměrování [den]; pro nekarcinogenní účinky AT = ED × 365 dní/rok, pro karcinogenní účinky AT = 70 let × 365 dní/rok,
FA	absorbovaný podíl [-]; 1,
Kp	koeficient permeability průniku kůží [cm/hod], viz tabulka 38,
CW	koncentrace kontaminantu v podzemní vodě [mg/l],
CF	konverzní faktor 0,001 [l/cm ³],
T _{ev}	trvání případu [hod/případ]; T _{ev} = ET / EV,
ET	doba expozice [hod/den]; 0,25 hod/den,
τ	doba zpoždění [hod/případ], pro každou látku specifický (data převzata z [54]),
T _{st}	čas potřebný k dosažení rovnovážného stavu [hod]; T _{st} = 2,4 τ,
π	Ludolfovo číslo, tj. 3,14.

Vzorce pro výpočet expozičního scénáře č. 3b:**Inhalace par** při kontaktu s kontaminovanou podzemní vodou při sprchování:

$$EC = CA \times ET \times EF \times ED / AT$$

$$CA = (CW \times f \times F \times t) / V/2$$

kde:

EC	expoziční koncentrace [mg/m ³],
CA	koncentrace kontaminantu ve vzduchu [mg/m ³],
ET	doba expozice [hod/den]; 0,25 hod/den,
EF	frekvence expozice [den/rok]; 350 dní/rok,
ED	trvání expozice [rok]; max. doba pobytu na jedné lokalitě 30 let, celoživotní expozice 70 let,
AT	doba průměrování [hod] – nekarcinogenní účinek = trvání expozice (ED) v rocích x 365 dní/rok x 24 hod/den, karcinogenní účinek = 70 let x 365 dní/rok x 24 hod/den,
CW	koncentrace kontaminantu ve vodě [mg/l],
*f	frakce uvolnitelného kontaminantu [bezrozměrný]; 0,75,
F	průtok vody [l/hod]; 480 l/hod,
π	Ludolfovo číslo, tj. 3,14,
t	délka sprchování [hod]; 10 minut = 0,166 hod,
*V	objem koupelny [m ³]; 9 m ³ ,
* = hodnoty převzaté z Metodického pokynu MŽP č. 3/2011	

3.2 HODNOCENÍ ZDRAVOTNÍCH RIZIK**3.2.1 Hodnocení expozice**

Hodnocení vztahu dávka - účinek je postup, při kterém se kvantitativně popisuje vztah mezi dávkou a rozsahem škodlivého účinku. Cílem je získání základních parametrů pro kvantifikaci rizika, přičemž existují dva typy účinků: prahový (nekarcinogenní) a bezprahový (karcinogenní). Pro hodnocení zdravotních rizik byla použita metodika U.S. EPA.

V případě chemických látek, které se vyznačují jiným než karcinogenním účinkem, se předpokládá existence prahové dávky. Referenční hodnotou pro prahový účinek je tzv. referenční dávka (RfD). **Referenční dávka** je odhad (s přesností možná jednoho řádu) každodenní expozice lidské populace (včetně citlivých populačních skupin), která velmi pravděpodobně nepředstavuje žádné riziko nepříznivých účinků, ani když trvá po celý život jedince. Pro dermální expozici byly použity orální referenční dávky upravené podle následujícího vztahu (U.S. EPA, 2004) a jsou uvedeny v tabulce 38:

$$RfD_d = RfD_o \times ABS_{GI}$$

kde:

RfD_d = dermální referenční dávka (mg/kg/den),

RfD_o = orální referenční dávka (mg/kg/den),

ABS_{GI} = gastrointestinální absorpce (-), viz tabulka 38.

V současnosti je pro inhalační expoziční scénáře používána místo RfD tzv. **referenční koncentrace** RfC (mg/m³). Pro přepočítání RfC na RfD může být použita následující rovnice: RfD = RfC × IR/BW.

Účinek karcinogenních látek je považován za bezprahový, tzn. že neexistuje dávka, která by nebyla spojována s rizikem vzniku zhoubného novotvaru. Referenční hodnotou pro bezprahový účinek je tzv. **faktor směrnice** (CSF), kterým se obecně rozumí biologicky možný horní okraj odhadu pravděpodobnosti vzniku zhoubného novotvaru vztažený na jednotku průměrné denní dávky přijímané po celý život. Referenční koncentrace pro inhalační expozici (RfC) a riziko inhalační jednotky pro inhalační expozici (IUR) byly převzaty z U.S. EPA a jsou uvedeny v tabulce 38. Pro dermální expozici byly použity orální faktory směrnice upravené podle následujícího vztahu (U.S. EPA, 2004) a jsou rovněž uvedeny v tabulce 38:

$$CSF_d = \frac{CSF_o}{ABS_{GI}}$$

kde:

CSF_d = faktor směrnice pro dermální expozici (mg/kg/den)⁻¹

CSF_o = faktor směrnice pro orální expozici (mg/kg/den)⁻¹

ABS_{GI} = frakce kontaminantu absorbovaná v gastrointestinálním traktu (-), viz tabulka 38.

Referenční dávky pro psychofarmaka nejsou v dostupných chemických databázích uvedeny. Toxikologické informační středisko Praha eviduje pouze hladiny léčiv, při kterých došlo k intoxikaci organismu. Fakultní nemocnice Olomouc, Ústav farmakologie poskytla k látkám, které jsou registrovány jako léčiva, terapeutické dávky. Podle informací pracovníka ústavu Doc. MUDr. Karla Urbánka, Ph.D. lze zdravotní rizika počítat pro orální expozici (psychofarmaka jsou většinou přijímány perorálně ve formě tablet). Pro výpočet zdravotních rizik vyplývajících z příjmu psychofarmak ingescí však nejsou k dispozici některé vstupní parametry (orální faktor směrnice), a proto nelze zdravotní rizika vypočítat.

Psychofarmakum	Terapeutická dávka
	(mg/kg/den)
Chlorprothixen báze	8,57
Thiepinon	NS
Citronan butamirát	1,20
Karbinol melitracen	0,71
2 – Chlorthioxan – thon	NS
Prothiaden hydrochlorid	6,42
Karbinol isokumaronu	NS
Karbinol prothiaden	6,42
Amitriptylin hydrochlorid	4,28

Poznámka:

V tabulce jsou uvedeny horní limity používaných terapeutických dávek.

NS = není stanovena (nejde o léčiva, zřejmě prekursori).

Tabulka 38: Základní parametry pro kvantifikaci rizika

Chemická látka	RfD		RfC	SF		IUR	Kp*	ABS _{GI}	Karcinogenita	
	Orální	Dermální	Inhalační	Orální	Dermální	Inhalační			U.S. EPA	IARC
	(mg.kg ⁻¹ .den ⁻¹)		(mg/m ³)	(mg.kg ⁻¹ .den ⁻¹) ⁻¹		(mg/m ³) ⁻¹				
benzen	4,00 × 10 ⁻³	4,00 × 10 ⁻³	3,00 × 10 ⁻²	1,5 × 10 ⁻²	1,5 × 10 ⁻²	7,8 × 10 ⁻⁹	1,50 × 10 ⁻²	1,0	A	1
toluen	8,00 × 10 ⁻²	8,00 × 10 ⁻²	5,00 × 10 ⁰	-	-	-	3,10 × 10 ⁻²	1,0	D	3
chlorbenzen	2,00 × 10 ⁻²	2,00 × 10 ⁻²	5,00 × 10 ⁻²	-	-	-	2,80 × 10 ⁻²	1,0	D	N
vinylchlorid	3,00 × 10 ⁻³	3,00 × 10 ⁻³	1,00 × 10 ⁻¹	7,2 × 10 ⁻¹	7,2 × 10 ⁻¹	8,8 × 10 ⁻⁹	5,60 × 10 ⁻³	1,0	A	1
1,2-cis-DCE	2,00 × 10 ⁻³	2,00 × 10 ⁻³	-	-	-	-	1,10 × 10 ⁻²	1,0	D	N
metanol	5,00 × 10 ⁻¹	5,00 × 10 ⁻¹	4,00 × 10 ⁰	-	-	-	3,20 × 10 ⁻⁴	1,0	NA	N
isopropanol	-	-	7,00 × 10 ⁰	-	-	-	-	1,0	NA	3
amoniak	3,40 × 10 ¹	3,40 × 10 ¹	1,00 × 10 ⁻¹	-	-	-	-	1,0	NA	N
aceton	9,00 × 10 ⁻¹	9,00 × 10 ⁻¹	3,09 × 10 ¹	-	-	-	-	1,0	NA	N
cyklohexan	-	-	6,00 × 10 ⁰	-	-	-	-	1,0	NA	N
bromobenzen	8,00 × 10 ⁻³	8,00 × 10 ⁻³	6,00 × 10 ⁻²	-	-	-	-	1,0	NA	N

Zdroj: databáze U.S. EPA IRIS, The Risk Assessment Information System (RAIS), International Agency for Research on Cancer (IARC), data uvedená k 8. 12. 2011
 California EPA (OEHHA Toxicity Criteria Database), * převzato z [54]

Vysvětlivky:

Kp - koeficient permeability průniku kůží (cm/hod)

ABS_{GI} - frakce kontaminantu absorbovaná v gastrointestinálním traktu (-)

Klasifikace karcinogenity dle U.S. EPA:

- A – prokázaný lidský karcinogen
- B1 – pravděpodobný karcinogen pro člověka; omezené množství průkazných dat v případě studií u člověka
- B2 – pravděpodobný karcinogen pro člověka; prokázáno u zvířat v případě člověka chybí data
- C – možný lidský karcinogen
- D – není klasifikován jako karcinogen
- NA – údaj není k dispozici

Klasifikace karcinogenity IARC:

- 1 – látky prokazatelně karcinogenní pro člověka
- 2 – látky pravděpodobně karcinogenní pro člověka
- 2A – látky s aspoň omezenou průkazností karcinogenity pro člověka a dostačujícím důkazem karcinogenity pro zvířata
- 2B – látky s nedostatečně doloženou karcinogenitou pro člověka a s dostatečně doloženou karcinogenitou pro zvířata
- 3 – látky, které nelze klasifikovat na základě jejich karcinogenity pro člověka
- N – látka není uvedena v seznamu

Vyhodnocení expozice je proces posouzení intenzity, četnosti a trvání možné expozice (kontakt organismu s danou látkou). Posouzení spočívá především ve vytipování možných expozičních cest, velikosti a složení exponované populace, expozičních scénářů a kvantifikaci expozice. Kontaminace benzenem, toluenem, chlorbenzenem, vinylchloridem, 1,2-cis-DCE, amonnými ionty, acetonem, metanolem a isopropanolem na posuzovaném území přetrvává v podzemní vodě, proto tomuto faktu byly přizpůsobeny i expoziční scénáře. Odhad zdravotních rizik pro jednotlivé expoziční scénáře byl proveden nejprve pro maximální a průměrné koncentrace polutantů, zjištěné z vrtů nebo studní situovaných nejbližší příjemci rizik (příloha č. 30). Výsledné hodnoty rizik byly velmi proměnlivé, často byly překročeny míry rizik. Všechny výpočty jsou uloženy v archivu zhotovitele, vybrané výsledky tvoří přílohu č. 30. Protože na lokalitě je skupina polutantů s různými toxikologickými vlastnostmi, je obtížné přiřadit každému polutantu odpovídající váhu (pro multikriteriální analýzu). Proto byl proveden výpočet rizik pro dvojnásobek stávajících sanačních limitů u benzenu, toluenu, chlorbenzenu a amonných iontů, pro stávající sanační limity u vinylchloridu a 1,2-cis-DCE. Pro metanol a isopropanol byly použity koncentrace ověřené v areálu Farmaku v konkrétních objektech, které odpovídají průměrným koncentracím zjištěným na lokalitě. Pro aceton byla použita nejvyšší koncentrace zjištěná v nově vyhloubených vrtech v prostoru objektu č. 31 (vrt SMŠ-69). Absolutně nejvyšší koncentrace (23 900 mg/l), jednorázově ověřená v podzemní vodě při odtěžování zeminy v objektu 13a, nebyla uvažována, neboť nebyla následnými analýzami potvrzena. Obsahy hodnocených chemických látek použité při výpočtech rizik jsou uvedeny v tabulce 39.

Tabulka 39: Koncentrace hodnocených chemických látek použité při výpočtech (μg/l)

Chemická látka	Koncentrace (μg/l)	Poznámka
benzen	60	dvojnásobek platného sanačního limitu
toluen	3 600	
chlorbenzen	340	
vinylchlorid	600	platný sanační limit
1,2-cis-DCE	3 000	
metanol	1 470	koncentrace ve vrtu SM-18 ze dne 11.12.2008
isopropanol	8 110	koncentrace ve vrtu SM-42 ze dne 11.12.2008
amonné ionty	14 400	dvojnásobek platného sanačního limitu
aceton	2 930	koncentrace ve vrtu SMŠ-69 ze dne 4.8.2011

3.2.2 Odhad zdravotních rizik

Účelem charakterizace rizika je shrnout všechny dostupné údaje a informace získané v předchozích krocích hodnocení, které mohou přispět k posouzení míry a rozsahu rizika. Za měřítko rizika **nekarcinogenního účinku** látky pro zdraví člověka se považuje kvocient nebezpečnosti HQ, popřípadě součet kvocientů nebezpečnosti jako sumárního indexu nebezpečnosti HI u látek se stejnými nebo obdobnými účinky. Kvocient nebezpečnosti lze získat vydělením vypočtené průměrné denní dávky (expozice) referenční dávkou RfD. Zvýšené zdravotní riziko toxického nekarcinogenního účinku nastává při hodnotě HQ (HI) > 1.

$$HQ = DAD / RfD \quad \text{nebo} \quad HQ = CDI / RfD$$

V případě inhalační expozice lze kvocient nebezpečnosti získat porovnáním zjištěné, resp. vypočtené koncentrace kontaminantu ve vzduchu při kontinuální inhalační expozici s referenční koncentrací. Pro inhalační expozici platí následující vztah.

$$HQ = CA / (RfC \times 1\,000) \quad \text{nebo} \quad HQ = EC / (RfC \times 1\,000)$$

Míra rizika **karcinogenního účinku** se stanoví výpočtem celoživotního vzestupu pravděpodobnosti vzniku nádorů u jednotlivce exponované populace v důsledku expozice hodnocené dávce (ELCR – Individual Lifetime Cancer Risk). Tento ukazatel rizika lze získat vynásobením expozice faktorem směrnice karcinogenního rizika (CSF). Měřítkem rizika karcinogenního účinku látky je vzestup celoživotní pravděpodobnosti vzniku nádorového onemocnění nad všeobecný průměr.

$$ELCR = LADD \times CSF \quad \text{nebo} \quad ELCR = CDI \times CSF$$

Pro inhalační expozici se adekvátně násobí zjištěná, resp. vypočtená expoziční koncentrace kontaminantu ve vzduchu a IUR (riziko inhalační jednotky).

$$ELCR = CA \times IUR \quad \text{nebo} \quad ELCR = EC \times IUR$$

Za přijatelnou míru rizika jsou považovány podle [44] pro danou lokalitu tyto hodnoty ELCR:

- 1×10^{-6} – obvykle nad 100 ohrožených osob (hodnocení regionálních vlivů),
- 1×10^{-5} – řádově mezi 10 a 100 ohroženými osobami (hodnocení lokálních vlivů),
- 1×10^{-4} – při hodnocení jednotlivců do 10 osob (hodnocení jednotlivců).

Při možném současném působení více kontaminantů je pak, obdobně jako u nekarinogenních účinků, nutné počítat s jejich synergickým účinkem a tento fakt zohlednit při hodnocení rizik. Výsledné hodnoty HI a ELCR pro jednotlivé expoziční scénáře jsou uvedeny v tabulce 40.

Tabulka 40: Hodnoty výpočtů HQ, HI a ELCR sledovaných škodlivin vypočtené pro jednotlivé expoziční scénáře

Možná expozice obyvatel	Expoziční cesta		Kontaminant	HQ	ELCR
On-site					
Pracovníci – výkopové práce v areálu Farmaku	podzemní voda	Dermální kontakt s kontaminovanou podzemní vodou při výkopových pracích	benzen	$1,88 \times 10^{-3}$	$8,05 \times 10^{-11}$
			toluen	$1,21 \times 10^{-2}$	-
			chlorbenzen	$4,58 \times 10^{-3}$	-
			vinylchlorid	$9,04 \times 10^{-3}$	$1,39 \times 10^{-8}$
			1,2-cis-DCE	$1,49 \times 10^{-1}$	-
			metanol	$7,07 \times 10^{-6}$	-
			aceton	-	-
			amoniak	-	-
HI = $1,77 \times 10^{-1}$					

Možná expozice obyvatel	Expoziční cesta		Kontaminant	HQ	ELCR
Pracovníci – výkopové práce v areálu Farmaku	podzemní voda	Nahodilá perorální expozice při manipulaci s vodou ve výkopu HI = $1,40 \times 10^{-2}$	benzen	$1,17 \times 10^{-4}$	$5,03 \times 10^{-12}$
			toluen	$3,52 \times 10^{-4}$	-
			chlorbenzen	$1,33 \times 10^{-4}$	-
			vinylchlorid	$1,57 \times 10^{-3}$	$2,42 \times 10^{-9}$
			1,2-cis-DCE	$1,17 \times 10^{-2}$	-
			metanol	$2,30 \times 10^{-5}$	-
			aceton	$2,55 \times 10^{-5}$	-
			amoniak	$3,32 \times 10^{-6}$	-
	zemina	Ingesce zeminy hodnocené jako příspěvek škodliviny v pitné vodě HI = $1,30 \times 10^{-3}$	NH_4^+	$1,30 \times 10^{-3}$	-
Off-site					
Obyvatelé žijící v obytné zóně ve směru proudění podzemní vody a zahrádkáři	podzemní voda	Dermální kontakt při zalévání zahrady HI = $8,52 \times 10^{-1}$	benzen	$8,71 \times 10^{-3}$	$2,24 \times 10^{-7}$
			toluen	$5,93 \times 10^{-2}$	-
			chlorbenzen	$2,32 \times 10^{-2}$	-
			vinylchlorid	$3,94 \times 10^{-2}$	$3,65 \times 10^{-5}$
			1,2-cis-DCE	$7,21 \times 10^{-1}$	-
			metanol	$2,78 \times 10^{-5}$	-
			aceton	-	-
			amoniak	-	-
		Nahodilá perorální expozice při zalévání zahrady HI = $7,33 \times 10^{-1}$	benzen	$6,16 \times 10^{-3}$	$1,59 \times 10^{-7}$
			toluen	$1,85 \times 10^{-2}$	-
			chlorbenzen	$6,99 \times 10^{-3}$	-
			vinylchlorid	$8,22 \times 10^{-2}$	$7,61 \times 10^{-5}$
			1,2-cis-DCE	$6,16 \times 10^{-1}$	-
			metanol	$1,21 \times 10^{-3}$	-
			aceton	$1,34 \times 10^{-3}$	-
			amoniak	$1,74 \times 10^{-4}$	-
	Výpary	Inhalace par při kontaktu s kontaminovanou podzemní vodou při zalévání zahrady HI = $1,00 \times 10^{-1}$	benzen	$9,45 \times 10^{-8}$	$9,48 \times 10^{-15}$
			toluen	$3,40 \times 10^{-8}$	-
			chlorbenzen	$3,21 \times 10^{-7}$	-
			vinylchlorid	$2,83 \times 10^{-7}$	$1,07 \times 10^{-13}$
			1,2-cis-DCE	-	-
			metanol	$1,74 \times 10^{-8}$	-
			isopropanol	$5,47 \times 10^{-8}$	-
			aceton	$4,48 \times 10^{-9}$	-
			amoniak	$6,80 \times 10^{-6}$	-
			NH_4^+	$1,00 \times 10^{-1}$	-

Možná expozice obyvatel	Expoziční cesta		Kontaminant	HQ	ELCR
Obyvatelé žijící v obytné zóně ve směru proudění podzemní vody	podzemní voda	Dermální kontakt při sprchování kontaminovanou podzemní vodou HI = $4,04 \times 10^0$	benzen	$4,13 \times 10^{-2}$	$1,06 \times 10^{-6}$
			toluen	$2,81 \times 10^{-1}$	-
			chlorbenzen	$1,10 \times 10^{-1}$	-
			vinylchlorid	$1,87 \times 10^{-1}$	$1,73 \times 10^{-4}$
			1,2-cis-DCE	$3,42 \times 10^0$	-
			metanol	$1,28 \times 10^{-4}$	-
			aceton	-	-
			amoniak	-	-
	výpary	Inhalace par při sprchování kontaminovanou podzemní vodou HI = $5,09 \times 10^0$	benzen	$6,63 \times 10^{-5}$	$6,65 \times 10^{-12}$
			toluen	$2,39 \times 10^{-5}$	-
			chlorbenzen	$2,26 \times 10^{-4}$	-
			vinylchlorid	$1,99 \times 10^{-4}$	$7,50 \times 10^{-11}$
			1,2-cis-DCE	-	-
			metanol	$1,22 \times 10^{-5}$	-
			isopropanol	$3,84 \times 10^{-5}$	-
			aceton	$3,14 \times 10^{-6}$	-
			amoniak	$4,78 \times 10^{-3}$	-
			NH ₄ ⁺	$5,08 \times 10^0$	-

V tabulce 40 jsou zahrnuta i rizika vyplývající z expozice amoniakálnímu dusíku v jednotlivých scénářích, která byla počítána samostatně RNDr. A. Skácelem. Výpočet těchto rizik tvoří přílohu č. 29.

3.3 HODNOCENÍ EKOLOGICKÝCH RIZIK

Z hlediska jednotlivých složek životního prostředí by mohly být ohroženy v hodnocené lokalitě fauna a flóra. Charakteristika aktuálního stavu flóry a fauny v zájmovém území nebyla zpracována. Stávající keře a stromy v areálu závodu ani v okolí nevykazují žádné zjevné poškození.

Také interakční prvky nacházející se ve vzdálenějším okolí, jako například aleje dřevin podél cest, nevykazují žádné zjevné poškození. Mimo areál je zeleň u rodinných domků umístěna ve směru proudění podzemní vody, také je v těsné blízkosti areál Střední školy zemědělské, jehož součástí jsou pozemky pro demonstrační pěstování zeleniny, ovocných stromů, keřů a květin. Ani v tomto případě nebylo zaznamenáno poškození flóry. Vzhledem k výše uvedenému se nepředpokládá výskyt rizik pro tyto prvky.

Z fauny lze uvažovat výskyt volně žijících ptáků, kteří jsou lehce zjistitelní v oblasti městské zástavby a průmyslových komplexů. Jsou to např. zvonohlík zahradní, hrdlička zahradní, kos černý a doprovodné druhy: stehlík obecný, konopka obecná, pěnkava obecná, drozd zpěvný, vrabec polní, špaček obecný.

Vzhledem k tomu, že v areálu Farmaku se nenachází žádné rozsáhlé přírodní (zelené) prostředí a podzemní voda je v dostatečné hloubce pod terénem, nepředpokládáme ohrožení uvedené fauny kontaminovanou podzemní vodou.

Jiné ekosystémy, potenciálně ovlivněné kontaminací na lokalitě, jsou ekosystémy vázané na povrchové vody. Protože nebyl aktuálně ověřován obsah polutantů v místech, kde může být podzemní voda drénována řekou Moravou, nelze riziko takto posoudit. Proto byly využity testy ekotoxicity, jako prokazatelný důkaz vyloučení environmentálních rizik, které byly uskutečněny v rámci terénní zkoušky STP na vzorcích kontaminované podzemní vody z vrtů AT-107, SM-18 a SM-42 v letech 2008 a 2009, tedy v případě SM-18 a SM-42 z objektů s výskytem volné fáze polutantů, resp. jejího filmu na hladině podzemní vody. Zkoušky byly uskutečněny jak na vzorcích vody odebraných před aplikací oxidačních činidel, tak po jejich infiltraci do vrtů s tím, že byly sledovány i účinky produktů rozkladu primárních polutantů. Výsledky testů jsou zpracovány v tabulce 25 v příloze č. 19 včetně podrobného hodnocení. Protokoly testů jsou součástí závěrečné zprávy za STP [16], z níž je hodnocení testů převzato. Důležitý je fakt, že ani na jednom vzorku podzemní vody nebyla prokázána dle vyhlášky č. 376/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů, nebezpečná vlastnost H14 Ekotoxita, tzn. že hodnoty LC (EC, IC) 50 se zdaleka nepřiblížily k limitní koncentraci 10,0 ml/l. Riziko pro povrchové vody tedy nenastane.

Z matematického modelu však vyplynulo, že po ukončení sanačního čerpání podzemní vody se bude zbytková kontaminace šířit ve směru proudění podzemní vody k řece Moravě. Pro povrchové toky platí normy environmentální kvality, vyjádřené jako celoroční průměrná hodnota jednotlivých ukazatelů stanovené v příloze č. 3 k nařízení vlády č. 61/2003 Sb., ve znění pozdějších předpisů. V kapitole 2.3.4 byly vypočítány maximální přípustné koncentrace polutantů, které mohou být obsaženy v podzemní vodě drénované řekou Moravou (tabulka 34) a při nichž ani při průtoku Q_{364} nedojde k překročení norem environmentální kvality.

3.4 SHRUTÍ CELKOVÉHO RIZIKA

Shrnutí celkového rizika je uvažováno pro koncentrace uvedené v **tabulce 39**. Obecně je za přijatelné karcinogenní riziko pro hodnocení lokálních vlivů, což platí pro areál Farmaku a jeho okolí, považována hodnota 1×10^{-5} . Nebezpečnost konkrétní expozice HQ je signalizována hodnotami $HQ > 1$.

Dermální kontakt s kontaminovanou podzemní vodou a nahodilá perorální expozice při výkopových pracích v areálu Farmaku – expoziční scénář č. 1

Při dlouhodobých expozicích námi zvoleného expozičního scénáře byla průměrná míra zdravotního rizika pro nekarcinogenní účinky sledovaných škodlivin (HQ) odhadnuta v řádech 10^{-6} až 10^{-1} . Z výše uvedených hodnot je zřejmé, že hodnota $HI = 1$ nebude při uvažování expozičního scénáře č. 1 překročena, i při zahrnutí rizika z expozice amoniakálním dusíkem, a tudíž lze konstatovat, že **zdravotní riziko chronických účinků navolených expozic uvažovanými polutanty bude pravděpodobně přijatelné.**

Při expozici námi zvoleného expozičního scénáře se maximální míra rizika vyjádřená individuálním karcinogenním rizikem (ELCR) pohybovala v řádech 10^{-12} až 10^{-8} . Obecně je za přijatelné karcinogenní riziko považována hodnota 1×10^{-5} . **Obecně přijatelná míra karcinogenního rizika při námi uvažovaném expozičním scénáři překročena nebyla, a tudíž lze konstatovat, že karcinogenní riziko z dermálního kontaktu s kontaminovanou podzemní**

vodu a z nahodilé perorální expozice sledovanými škodlivinami z vody při výkopových pracích v areálu Farmaku lze považovat za nevýznamné.

Dermální kontakt, nahodilá perorální expozice a inhalace par při zalévání vodou z domovních studní v obytné zóně – expoziční scénář č. 2

Při dlouhodobých expozicích je průměrná míra zdravotního rizika pro nekarcinogenní účinky sledovaných škodlivin (HQ) odhadnuta v řádech 10^{-9} až 10^{-1} při uvažování expozice koncentracím uvedeným v **tabulce 39**. Z výše uvedených hodnot je zřejmé, že hodnota $HI = 1$ nebude při uvažování expozičních scénářů č. 2a, 2b a 2c překročena. Z provedených odhadů vyplývá, že zdravotní riziko **chronických účinků kontaminované vodě uvažovanými polutanty při námi zvolenými expozičními scénáři bude pravděpodobně přijatelné.**

Pro karcinogenní účinky je maximální míra rizika vyjádřena individuálním karcinogenním rizikem (ELCR) v řádech 10^{-15} až 10^{-5} . Obecně je za přijatelné karcinogenní riziko v daném případě považována hodnota 1×10^{-5} . **Míra karcinogenního rizika při námi uvažovaném expozičním scénáři pro dermální kontakt s vodou a pro nahodilou perorální expozici při zalévání se pohybovala pro VCE v řádu nepřijatelné míry, a tudíž lze karcinogenní riziko z dermální a perorální expozice sledovaným škodlivinám v podzemní vodě považovat za významné.**

Dermální expozice a inhalace par při sprchování vodou z domovních studní v obytné zóně – expoziční scénář č. 3 – podmíněný (nereálný)

Při dlouhodobých expozicích je průměrná míra zdravotního rizika pro nekarcinogenní účinky sledovaných škodlivin (HQ) odhadnuta v řádech 10^{-6} až 10^0 při uvažování expozice koncentracím uvedeným v **tabulce 39**. Z výše uvedených hodnot je zřejmé, že hodnota $HI = 1$ bude při uvažování expozičních scénářů č. 3a a 3b překročena. Z provedených odhadů vyplývá, že zdravotní riziko **chronických účinků kontaminované vodě uvažovanými polutanty při námi zvoleném expozičním scénáři dermálního kontaktu a inhalací par při sprchování vodou z domovních studní bude pravděpodobně nepřijatelné.**

Pro karcinogenní účinky je maximální míra rizika vyjádřena individuálním karcinogenním rizikem (ELCR) v řádech 10^{-12} až 10^{-4} . Obecně je za přijatelné karcinogenní riziko v daném případě považována hodnota 1×10^{-5} . **Míra karcinogenního rizika při námi uvažovaném expozičním scénáři se pohybovala pro VCE v řádu nepřijatelné míry karcinogenního rizika pro dermální kontakt, a tudíž lze karcinogenní riziko z dermální expozice sledovaným škodlivinám v podzemní vodě považovat za významné.**

Jak bylo uvedeno výše, je scénář č. 3 uvažován jako podmíněný (nereálný), v dalším hodnocení nebude brán v úvahu. **Voda z domovních studní nesmí být používána jako pitná, tedy ke konzumaci, pro sprchování a umývání.**

Ekosystémy, potenciálně ovlivněné kontaminací na lokalitě, jsou ekosystémy vázané na povrchové vody. Ekotoxikologickými testy na vzorcích podzemní vody nebyla prokázána nebezpečná vlastnost ekotoxicitu, **riziko pro povrchovou vodu v řece Moravě, do níž je podzemní voda drénována tedy nenastane.** Ovšem podle matematického modelu, pokud by se kontaminace v areálu Farmaku neodstranila, došlo by během 30 let k migraci polutantů do povrchové vod a překračování norem environmentální kvality. Proto byly vypočítány maximální

přípustné koncentrace polutantů, které mohou být obsaženy v podzemní vodě drénované řekou Moravou (tabulka 34) a při nichž ani při průtoku Q_{364} nedojde k překročení norem environmentální kvality. Tyto koncentrace pak byly zohledněny při revizi sanačních limitů pro podzemní vodu.

3.5 OMEZENÍ A NEJISTOTY

- Koncentrace sledovaných polutantů mohou být ovlivněny nehomogenitou vzorků podzemní vody.
- Chybí dostatečné časové řady analýz vzorků vody z domovních studní.
- Přijatelná míra karcinogenního rizika je hodnocena pro lokální vlivy, přesný počet uživatelů studní není znám.
- Vzhledem k dlouhodobé kontaminaci zájmového území nejsou studny podle výsledků terénního šetření příliš využívány, v současné době především z důvodu zápachu.
- U parametru „skutečný čas přímé expozice s vodou při zalévání“ byl přístup na straně bezpečnosti.
- Do výpočtu rizik nebyly zahrnuty TCE, PCE a krezoly, takže celkové HI může být nepatrně vyšší.

4. DOPORUČENÍ NÁPRAVNÝCH OPATŘENÍ

4.1 DOPORUČENÍ CÍLOVÝCH PARAMETRŮ NÁPRAVNÝCH OPATŘENÍ

4.1.1 Doporučení cílových parametrů pro podzemní vodu

Při hodnocení zdravotních rizik bylo zjištěno pro používání vody z domovních studní při sprchování pro expoziční cesty dermální kontakt a inhalace par nepřijatelné riziko. Protože jsou všechny rodinné domy připojeny na veřejný vodovod, není tento scénář při návrhu cílových parametrů zohledněn. Kvalita vody jímá z domovních studní není českou legislativou řešena, limity dané vyhláškou č. 252/2004 Sb., ve znění pozdějších předpisů, platí pro hromadné zásobování. Ale z hlediska zdravotních rizik je zřejmé, že by měla tato voda, pokud by byla používána ke sprchování, teoreticky také splňovat limity dané citovanou vyhláškou. To je však pro tuto lokalitu nereálné. Navíc ne pro všechny polutanty v podzemní vodě v zájmovém území jsou stanoveny ve vyhlášce limitní hodnoty (tabulka 41). **Dále tedy se scénářem č. 3 není uvažováno, za podmínky, že voda ze studní nebude používána ke sprchování, mytí, konzumaci, případně k napouštění bazénů.**

Tabulka 41: Srovnání platných limitů ČIŽP s limity danými vyhláškou č. 252/2004 Sb.

Typ limitu	NH ₄ ⁺	Benzen	Toluen	VCE	1,2-cis-DCE	TCE	PCE	Chlorbenzen	Krezoly
	(mg/l)	(μg/l)							
platný limit ČIŽP	7,20	30,0	1 800,0	600,0	3 000,0	500,0	200,0	170,0	1 600,0
vyhl. č. 252/2004 Sb.	0,50	1,0	-	0,5	-	10,0*		-	-

* - součet TCE a PCE nesmí překročit 10,0 μg/l

Při revizi sanačních limitů pro lokalitu areálu Farmaku a okolí byly zohledněny tyto skutečnosti:

- nebyla překročena rizika pro žádný zvolený reálný scénář on-site i off-site u nekarcinogenního rizika - měřítko $HI > 1$ → cílové parametry nemusí být tak přísné;
- pro zvolený scénář off-site zalévání zahrádek byla překročena rizika pro VCE při dermálním kontaktu a nahodilé perorální expozici s vodou z domovních studní u karcinogenního rizika $ELCR > 1 \times 10^{-5}$ → cílové parametry je třeba rozlišit pro areál Farmaku a pro obytnou zónu (území vně PTS směrem k řece Moravě);
- využití procesu přirozené atenuace, kdy došlo téměř k vymizení především PCE a TCE → cílové parametry pro TCE a PCE nejsou řešeny;
- závěry aktualizace matematického modelu a jeho doplnění – podle modelu bude postupně docházet k šíření zbytkové kontaminace směrem k řece Moravě, kterou bude podzemní voda při nízkých a středních stavech v Moravě drénována → cílové limity musí zohlednit dodržení norem environmentální kvality daných nařízením vlády č. 61/2003 Sb., ve znění pozdějších předpisů, v řece Moravě;
- JÚ Černovír nebude podle matematického modelu šířením zbytkové kontaminace ohroženo ani při odběru 250 l/s a nefunkční PTS → z důvodu bezpečnosti budou vně areálu PTS směrem k JÚ doporučeny stejné limity jako pro plochu „vně PTS - směrem k řece Moravě“;
- dosavadní průběh sanačních prací, prokazující z technického hlediska velmi obtížné odstraňování kontaminace především z důvodu existence volné fáze polutantů na hladině podzemní vody a zastavěnosti areálu Farmaku → měly by být navrženy zvláštní cílové limity pro místa s výskytem volné fáze;
- míra kontaminace zjištěná v 70. letech 20. století jak v areálu Farmaku, tak i mimo areál byla extrémně vysoká, z výsledků laboratorních analýz bylo možno usuzovat na plošné rozšíření volné fáze polutantů;
- přestože bylo ochranným sanačním čerpáním, provozovaným od 80. let 20. století do doby zahájení sanace v červenci 2007, odstraněno množství polutantů ve stovkách tun, je přetrvávající kontaminace v některých částech areálu Farmaku stále značná (prostor kolem objektů č. 13a, 31, 31a, 31b, 32a, okolí vrtů AT-107, P-32, P-56);
- toxikologické vlastnosti jednotlivých polutantů – nejvíce nebezpečný je VCE (spolu s benzenem), pro který v AR z roku 2002 nebyla rizika počítána → z aktuálního hodnocení rizik vyplývá, že musí být v obytné zóně zpřísněn limit;
- porovnání metodiky výpočtů zdravotních rizik v AR a AAR – změnily se částečně parametry pro kvantifikaci rizika, v AR nebyla rizika pro VCE a amonné ionty počítána;
- způsob využívání podzemní vody v areálu Farmaku a v obytné zóně → je třeba rozdělit cílové limity pro areál závodu a okolí;
- hranici pro plochu „uvnitř PTS“ ponechat podle návrhu z AR, pouze nahradit vrt P-67, který je poškozen, a vrt AT-101, který příliš zasahuje do areálu Farmaku za vrt SM-12, takže hranice by byla tvořena vrty P-211, R-211 až R-214, FAR-3, SM-12 a P-200;
- přístup na straně bezpečnosti při navrhování koncentrací sanačních limitů.

Na základě zhodnocení průběhu a efektivnosti sanačních prací, s ohledem na výpočty rizik provedené v AR a v AAR a na aktuální obsahy látek v podzemní vodě, byla navržena úprava cílových limitů sanace pro polutanty v podzemní vodě tak, jak je uvedeno v tabulce 42.

Podmínkou pro akceptaci doporučené úpravy sanačních limitů je:

- voda z domovních studní v obytné zóně nebude používána jako pitná, tedy ke konzumaci, pro sprchování a umývání;

- realizace všech prací navržených v kapitole 4.2.

Pro případ, že budou doporučené sanační limity schváleny a vydány ve formě rozhodnutí ČIŽP OI Olomouc, je v kapitole 4.1.4 zpracována metodika prokázání splnění cílových limitů sanace, neboť stávající způsob prokazování, uvedený v realizačním projektu [25], by byl nevyhovující.

Tabulka 42: Doporučené sanační limity pro lokalitu areálu Farmaku a okolí v Olomouci

Kontaminant	Platný limit	Nově navržené limity		
		uvnitř PTS	místa výskytu volné fáze	vně PTS – směrem k řece Moravě a JÚ
	µg/l			
vinylchlorid	600	600	800	30
DCE	3 000	1 600	4 000	200
TCE	500	neřešeno v AAR		
PCE	200	neřešeno v AAR		
benzen	30	100	300	40
toluen	1 800	3 600	7 000	1 800
chlorbenzen	170	450	1 500	340
kresoly	1 600	neřešeno v AAR		
amonné ionty	7 200	20 000	20 000	10 000
metanol	-	2 000	4 000	600
isopropanol	-	2 500	4 000	750
aceton	-	3 000	6 000	900

Liníí mezi plochami „uvnitř PTS“ a „vně PTS“ je těleso podzemní těsnící stěny, v místě, kde je otevřená, to jsou vrty P-211, R-211, R-212, R-213, R-214, FAR-3, SM-12 a P-200. Pro tyto vrty budou platit limity uvnitř PTS.

Místem výskytu volné fáze je každý vrt, v němž byla volná fáze na hladině podzemní vody zjištěna přístroji pro měření fáze nebo byla stanovena laboratorně z odebraného vzorku média z hladiny vody ve vrtu. Za místo výskytu volné fáze je uvažována i detekce filmu na hladině, tedy mocnost 0 až 1 mm. Jedná se o vrty uvedené v příloze č. 32, případně o další vrty, v nichž bude ověřena volná fáze během právě probíhajících sanačních prací.

Zdůvodnění doporučených sanačních limitů

U kontaminantů, u kterých bylo v reálném expozičním scénáři prokázáno překročení přijatelné míry rizik, se používá odvození cílových parametrů tzv. obrácenou úlohou. To se týká VCE pro karcinogenní riziko u scénářů č. 2a a 2b.

Cílové koncentrace v rámci nápravných opatření (RGO) jsou obsahy jednotlivých chemických sloučenin odpovídající cílovému riziku ($TR = 1 \times 10^{-6}$ pro karcinogenní látky a $HQ \leq 1$ pro nekarcinogenní látky (U.S. EPA, 1991). RGO jsou obvykle počítány pro jednotlivé expoziční scénáře v rámci nápravných opatření v posuzovaném území. Pro výpočet RGO lze použít metodu

U.S. EPA (1995) založenou na expozičních datech v posuzovaném území. Tato metoda užívá poměr mezi cílovým rizikem a vypočteným rizikem pro jednotlivé chemické sloučeniny v daném médiu:

$$RGO_i = C_i \cdot \frac{TR}{CR_i}$$

kde:

RGO_i = cílové koncentrace v rámci nápravných opatření pro chemickou sloučeninu i ,

C_i = koncentrace chemické sloučeniny i ,

TR = cílové riziko (target risk),

CR_i = vypočtené riziko (calculated risk) pro chemickou sloučeninu i .

Jak bylo uvedeno výše v kapitole 3.4, lze považovat za přijatelnou míru karcinogenního rizika na lokalitě hodnotu $ELCR = 1 \times 10^{-5}$, proto je výpočet proveden pro tuto míru rizika. Uvažujeme-li, že ve scénářích č. 2a a 2b byla pro karcinogenní látky hodnota 1×10^{-5} překročena u VCE, pak můžeme pro navržení cílového limitu sanace výpočet podle uvedené metody použít. Po dosazení příslušných hodnot vychází RGO_i pro VCE v podzemní vodě následovně:

scénář č. 2a – dermální kontakt s vodou při zalévání zahrady	164,4 µg/l;
scénář č. 2b – nahodilá perorální expozice vodou při zalévání zahrady	78,8 µg/l.

Z důvodu synergického efektu působení vinylchloridu jak při dermálním kontaktu, tak při nahodilé perorální expozici a z důvodu zvýšení míry bezpečnosti navrhuje pro obytnou zónu limit pro VCE ve výši **30 µg/l**.

Druhým aspektem, který musí být zohledněn při návrhu sanačních limitů, je drénování zbytkové kontaminace, přítomné v podzemní vodě, řekou Moravou, které bylo predikováno matematickým modelem. Podle transportního modelu šíření zbytkového znečištění porostou koncentrace polutantů v podzemní vodě, která bude drénována Moravou během let, až na 30 % úroveň zbytkové kontaminace, tj. hodnotu sanačních limitů uvnitř PTS. V tabulce 32 byl vypočten maximálně možný přírůstek polutantů při očekávaném množství podzemní vody, která bude Moravou drénována (4,375 l/s). V tabulce 43 jsou porovnány maximální přípustné koncentrace polutantů s 30% hodnotami navržených sanačních limitů.

Tabulka 43: Úroveň 30% hodnot zbytkové koncentrace znečištění v podzemní vodě drénované řekou Moravou

Látka	Jednotka	Maximální přípustná koncentrace při $Q = 4,375 \text{ l/s}$	Navržený sanační limit uvnitř PTS	30 % sanačního limitu
vinylchlorid	µg/l	525,8	600,0	180,0
1,2-cis-DCE	µg/l	490,5	1 600,0	480,0
benzen	µg/l	5 854,1	100,0	30,0
toluen	µg/l	2 835,6	3 600,0	1 080,0
chlorbenzen	µg/l	549,4	450,0	135,0
NH_4^+	mg/l	77,0	20,0	6,0
metanol*	µg/l	2 835,6	2 000,0	600,0
isopropanol*	µg/l	2 835,6	2 500,0	750,0
aceton*	µg/l	2 835,6	3 000,0	900,0

* - pro orientační výpočet je uvažována stejná hodnota jako pro toluen, neboť z hlediska toxikologických vlastností jsou si tyto látky blízké

Pokud by uvnitř PTS zůstal cílový limit pro DCE 3 000 µg/l, pak by 30% koncentrace činila 900 µg/l, což je nepřipustná hodnota pro řeku Moravu. Proto byl sanační limit uvnitř PTS pro 1,2-cis-DCE snížen na 1 600 µg/l.

Diskuze k návrhu rozdělení sanačních limitů z hlediska území

Vzhledem k tomu, že se bude kontaminace šířit přes obytnou zónu k řece Moravě, jsou pro tuto oblast (vně PTS – směrem k řece Moravě) doporučeny sanační limity na základě výpočtu zdravotních rizik. Jejich splnění však může být obtížně realizovatelné, protože **sanace je vázána pouze na oblast uvnitř PTS** (areál Farmaku a linie vrtů R-211 až R-214). Nelze ji tedy rozšiřovat do obytné zóny. To by bylo z technického i ekonomického hlediska neproveditelné, neboť obsahy polutantů (benzenu, chlorbenzenu a amonných iontů), vyšší než jsou doporučené limity uvedené v tabulce 42, se sice vyskytují v určitém pásu vázaném na preferenční cesty šíření kontaminace (vrty SM-36, SM-39 a „vrt 2“), ovšem, jak vyplynulo ze vzorkování domovních studní, byly zjištěny ojedinělé nadlimitní koncentrace i mimo tuto oblast.

Ve výše uvedené oblasti došlo od poloviny roku 2009 do dubna 2010 k poklesu polutantů pod stávající sanační limity. V důsledku vysoké úrovně hladiny podzemní vody (od května 2010) však byl dokumentován jejich nárůst. To lze hodnotit jako určitou rozkolísanost, kterou nelze sanačními pracemi výrazně ovlivnit. Jedná se o zbytkovou kontaminaci masivního znečištění (viz tabulka 7 v příloze č. 19), které zasahovalo celé území mezi hranicí areálu Farmaku a řekou Moravou v pásu širokém cca 500 m. Proto také v minulosti probíhalo sanační čerpání ve vrtech podél řeky Moravy, čímž mohlo dojít i k určitému „rozvlečení“ kontaminace (pro zhodnocení účinnosti tohoto čerpání není dostatek podkladů). Lze očekávat, s vysokou pravděpodobností, dodržení navržených sanačních limitů pro oblast „vně PTS“ směrem k řece Moravě. Ovšem pokud budou ojediněle překračovány, neměl by to být důvod k následným sanačním pracím. Tento požadavek bude zohledněn při zpracování způsobu hodnocení dosažení cílů nápravných opatření - sanačních limitů.

Pro oblast vně PTS - směrem k JÚ tyto limity budou závazné, protože pokud by došlo k jejich překročení, signalizovalo by to odchylku od závěrů matematického modelu a tato situace, i když nepředpokládána, by musela být řešena.

V případě překračování limitů, uvedených v tabulce 42 pro území „vně PTS – směrem k řece Moravě“, nesmí být voda používána ani na zálivku. Oblast obytné zóny by musela být dostatečně monitorována, v rámci postsanačního monitoringu by byly sledovány i vybrané domovní studny v počtu 10 objektů (určení konkrétních studní by bylo navrženo v metodice prokázání dosažení cílových limitů sanace, která bude zpracována v případě akceptace revize stávajících sanačních limitů).

Navržení limitů pro aceton, metanol a isopropanol

Pro výpočet rizik vyplývajících z expozice acetonem, metanolem a isopropanolem v průměrných koncentracích zjištěných na lokalitě (2 930 µg/l, 1 470 µg/l a 8 110 µg/l) byla míra rizika zanedbatelná. Ale i při použití maximálních koncentrací metanolu a isopropanolu zjištěných na lokalitě před aplikací oxidačního činidla (32 500 a 15 600 µg/l) nebyla rizika pro scénáře č. 1 a 2

překročena. Při použití maximální koncentrace acetonu zjištěné na lokalitě (23 900 mg/l) by riziko bylo překročeno 10x. Pak bychom mohli navrhnout limitní hodnoty v desítkách tisíc $\mu\text{g/l}$, což vzhledem k možnému ohrožení řeky Moravy nelze připustit. Z porovnání toxikologických parametrů a referenčních dávek vyplývá, že jsou tyto tři polutanty blízké toluenu, navíc byly detekovány v desítkách tisících $\mu\text{g/l}$, tedy podobně jako toluen. Proto jsme při navrhování sanačních limitů pro tyto látky vycházeli z jejich parametrů pro kvantifikaci rizika a z limitních koncentrací navrhovaných pro toluen. Současně jsme však vzali v úvahu, že je žádoucí minimalizovat zbytkovou kontaminaci v podzemní vodě.

4.1.2 Doporučení cílových parametrů pro půdní vzduch

Cílové limity pro půdní vzduch považujeme za neúčelné a **navrhujeme omezit jejich platnost** na základě níže uvedených důvodů:

a) Podle Zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě zdravotní rizika z těkání organických látek do ovzduší nevznikají. Tento přístup je dokumentován ve zprávě vydané Zdravotním ústavem v Ostravě „Hodnocení zdravotních rizik jako součást aktualizované analýzy rizika podle Metodického pokynu MŽP č. 12/2005. Evidenční č. 02/2007. Odstranění staré ekologické zátěže na lokalitě závodů společnosti Visteon - Autopal, s.r.o. v Novém Jičíně“ (V. Maderská, J. Schieleová, 2007), která tvoří přílohu č. 29 závěrečné zprávy aktualizace analýzy rizik vydané společností AQUATEST a.s. (H. Koppová, 2007):

Inhalace par uvolňovaných při zemních pracích byla vyloučena, neboť se předpokládá práce ve venkovním prostředí, a tedy díky fyzikálním vlivům (tj. povětrnostní podmínky, teplota vzduchu a těkavost sledovaných škodlivin) a celkové době provádění prací, atd., že budou páry uvolňující se z vody a zeminy rozptýleny ve volném prostředí. Expozice pracovníků, volně se pohybujících po areálu firmy případně provádějících běžné venkovní údržbářské práce, těkavým polutantům vyskytujícím se v zemině a podzemní vodě v areálu hodnoceného podniku byla uvažována za nerelevantní, vzhledem k tomu, že se nepředpokládá vykonávání činností, při kterých by pracovník provádějící běžné údržbářské práce přišel do kontaktu s kontaminovanou podzemní vodou nebo zeminou, a tudíž nebyl ani proveden odhad zdravotních rizik z takového expozičního scénáře.

b) Během sanačních prací byly zjištěny nové skutečnosti, které jsou neoddělitelné od stávající kontaminace a výrazně ovlivňují přítomnost polutantů v půdním vzduchu. Jedná se o výskyt volné fáze toluenu na hladině podzemní vody. Celková plocha, na níž se během sanačních prací vyskytovala fáze, je odhadnuta na 1 350 m². Na území s volnou fází toluenu lze očekávat vyšší obsahy toluenu než je sanační limit.

c) Při sanační technologii používané na lokalitě od roku 2011 - aplikaci Fentonova činidla do horninového prostředí - přechází značná část těkavých organických látek do plynného skupenství. I když jsou bezprostředně ventingem odstraňovány, může být v některých místech zbytková kontaminace vyšší, než jsou stávající sanační limity pro půdní vzduch.

d) V původní AR nebyly cílové limity pro půdní vzduch počítány na základě zdravotních rizik, ale pouze stanoveny jako násobek tehdy platných limitů kritéria C pro půdní vzduch. V předkládané AAR byla zbytková kontaminace polutantů v podzemní vodě stanovena na základě hodnocení rizik. Zdravotní rizika z inhalace par uvolňovaných z horninového prostředí v areálu Farmaku jsou považována za nerelevantní.

e) Stanovování cílových limitů pro půdní vzduch není již delší dobu v České republice praktikováno, v souladu s čl. 4 MP MŽP [43], který však byl v únoru 2012 zrušen a nahrazen Metodickým pokynem MŽP Indikátory znečištění [70]. Pro těkavé látky jsou stanoveny indikátory znečištění půdního vzduchu. Pro informaci níže uvádíme porovnání hodnot indikátorů a dosud platných cílových limitů:

Ukazatel znečištění	Půdní vzduch (mg/m ³)	
	hodnota indikátoru	platný cílový limit
vinylchlorid (VCE)	2,8	10
cis 1,2-dichlorethen (DCE)	-	10
1,1,2-trichlorethen (TCE)	6,1	10
1,1,2,2-tetrachlorethen (PCE)	2,1	10
benzen	1,6	10
toluen	22 000	10
chlorbenzen	220	-
krezoly	2 600	-
amonné ionty	-	-
NEL	-	20

Pro hlavní polutant - toluen je hodnota indikátoru o 3 řády vyšší než je platný cílový limit, pro druhý nejvýraznější polutant - ukazatel NEL není indikátor stanoven.

Pokud bude odstraněna kontaminace z nesaturované zóny odtěžením zeminy a v podzemní vodě bude obsah polutantů snížen na cílové limity sanace, jsou cílové limity pro půdní vzduch neúčelné, a proto navrhuje omezit jejich platnost.

4.1.3 Doporučení cílových parametrů pro zeminy a stavební konstrukce

Nebylo předmětem AAR. Doporučujeme cílové parametry ponechat tak, jak byly navrženy rozhodnutím ČIŽP OI Olomouc č. j. 08/OV/03761/03/Sn ze dne 2. 5. 2003. Kontaminace zemin v saturované i nesaturované zóně v místě aplikačních vrtů bude odstraněna působením Fentonova činidla.

4.1.4 Metodika průkazu splnění sanačních limitů pro podzemní vodu

Vzhledem k navržené změně koncentrací sanačních limitů pro podzemní vodu, vyplývající z nově zjištěných skutečností, je stávající způsob prokázání dosažení sanačních limitů, který je uveden v Realizačním projektu [11] v kapitolách č. 7.2. a 14., nevyhovující. V projektu bylo navrženo provádět, po ukončení aktivního sanačního zásahu, monitorování 43 vrtů v areálu Farmaku a 17 vrtů mimo areál Farmaku 1x za tři měsíce po dobu dvou let. Konkrétní vrty měly být upřesněny před ukončením sanačního čerpání podle aktuální situace. Sanace měla být považována za ukončenou, pokud v rámci postsanačního monitoringu dvě po sobě následující čtvrtletí aritmetický průměr koncentrací ze všech odebraných vzorků nepřekročí sanační limit navýšený o % nejistoty stanovení.

V současné době neexistuje závazná metodika pro způsob prokázání dosažení sanačních limitů. Pouze byl v listopadu 2008 ČAH vypracován návrh metodického pokynu MŽP „Způsob

prokázání dosažení cílových parametrů sanace“, který však nebyl definitivně schválen. Níže doporučený způsob prokázání dosažení sanačních limitů vychází částečně z tohoto návrhu, především však ze zkušeností společnosti AQUATEST a.s. při realizaci sanačních prací na jiných lokalitách.

4.1.4.1. Definice používaných pojmů

Parametr: kontaminant s určeným sanačním limitem (vinylchlorid, 1,2-cis-dichlorethylen, benzen, toluen, chlorbenzen, amonné ionty, 1,1,2-trichlorethylen, 1,1,2,2-tetrachlorethylen, krezoly, aceton, metanol, isopropanol), v lokalitě Farmak je 12 parametrů.

Stanovení: analyticky stanovená koncentrace jednoho parametru na jednom objektu v jedné odběrové periodě.

Sanační limit: cílová koncentrace parametru v podzemní vodě v oblastech zájmového prostoru, která je stanovena ČIŽP.

Nejvyšší přípustná koncentrace parametru: koncentrace kontaminantu, která nesmí být v regulérním stanovení parametru v průkazném souboru překročena. V daném případě je rovna hodnotě **sanačního limitu** pro jednotlivé kontaminanty.

Přípustný počet překročení: počet stanovení, ve kterém mohou koncentrace parametrů převyšovat sanační limit daných kontaminantů.

Objekt: objekt vybraný pro průkaz splnění sanačních limitů v oblasti.

Období průkazu: období, ve kterém bude prokazováno splnění sanačních limitů.

4.1.4.2. Přehled oblastí pro průkaz splnění sanačních limitů

V předkládané AAR jsou sanační limity kontaminantů navrženy v různých koncentracích pro 3 vymezené oblasti (plochy) - **místa s výskytem volné fáze**, oblast „**uvnitř PTS**“ a oblast „**vně PTS**“. Oblast „vně PTS“ **je rozdělena** na území situované západně od PTS a od linie vrtů P-211, R-211, R-212, R-213, R-214, FAR-3, SM-12 a P-200, tedy ve směru proudění podzemní vody - **směrem k řece Moravě** a na území situované východně od PTS - **směrem k JÚ Černovír**, celkem jsou tedy stanoveny **4 oblasti** pro průkaz splnění sanačních limitů.

4.1.4.3. Výběr objektů pro průkaz splnění sanačních limitů

Při výběru počtu a situování objektů (vrtů a studní) v jednotlivých oblastech, které budou použity pro prokázání splnění sanačních limitů, tedy pro postsanační monitoring, byly zohledněny tyto skutečnosti:

Oblast místa s výskytem volné fáze v areálu Farmaku - počet objektů 12

- výskyt volné fáze je dosud zjištěn uvnitř areálu Farmaku,
- jako volná fáze je uvažován i film polutantů na hladině podzemní vody,
- do monitoringu jsou zahrnuty všechny vrty, v nichž byla dosud identifikována volná fáze polutantů (P-32, P-56, SM-18, SM-42, SM-43, SM-44, SM-45, SM-60, SM-65, SM-66, SM-68, SMŠ-6), dále budou zahrnuty všechny další vrty, v nichž se vyskytne volná fáze do doby ukončení sanačních prací,
- protože v nově vyhloubeném vrtu VV-1 (původní vrt s výskytem fáze byl poškozen při sanaci objektu č. 32a) již volná fáze nebyla identifikována, nebude do postsanačního monitoringu pro místa s výskytem volné fáze zahrnut.

Oblast „uvnitř PTS“ - počet objektů 28

- do monitoringu jsou zahrnuty vrty tvořící linii mezi plochami „uvnitř PTS“ a „vně PTS“ v místě, kde je stěna otevřená - P-211, R-211, R-212, R-213, R-214, FAR-3, SM-12, P-200, neboť náleží do oblasti uvnitř „PTS“,
- do monitoringu jsou zahrnuty všechny vrty, které byly v průběhu sanace čerpány a nevyskytla se v nich volná fáze (AT-103, AT-106, AT-107, FAR-2, FAR-10, SM-9, SM-11, VV-1) s výjimkou vrtu AT-104, který bude v důsledku výstavby skladu zlikvidován a v němž byly sanační limity trvale dosaženy již v prosinci 2007,
- do monitoringu jsou zahrnuty vybrané vrty situované podél východní a západní linie PTS,
- vrty situované uvnitř PTS, ale severně od areálu Farmaku, v nichž nebyla kontaminace v průběhu sanačních prací nikdy zjištěna, nejsou do monitoringu zahrnuty,
- do monitoringu je zahrnut i vrt SM-7, situovaný mimo oblast sanačního čerpání podzemní vody, ovšem s kolísavým výskytem polutantů,
- do monitoringu je zahrnut i nově vyhloubený vrt SM-74, situovaný mimo oblast sanačního čerpání podzemní vody, v němž byly stanoveny velmi vysoké obsahy polutantů.

Oblast „vně PTS - plocha směrem k řece Moravě“ - počet objektů 14

- do monitoringu jsou vybrány vrty a studny situované ve směru proudění podzemní vody na výstupu z areálu Farmaku na ploše předpokládaného šíření zbytkové kontaminace stanovené matematickým modelem a vyznačené na Obr. 14 v příloze č. 27.

Oblast „vně PTS - území směrem k JÚ Černovír“ - počet objektů 6

- oblast zahrnuje území mezi východní částí tělesa PTS a studnami v JÚ Černovír,
- do monitoringu jsou zahrnuty vrty HV-111, HV-114, HV-402, HV-403, P-12, P-21, v nichž byl již v rámci zpracování AAR opakovaně ověřován výskyt kontaminantů a které jsou situovány tak, že plošně postihují celé území mezi PTS a JÚ Černovír.

Monitorovací objekty, v nichž bude ověřován obsah polutantů v jednotlivých oblastech, jsou uvedeny v tabulce 44 a vyznačeny na obrázku č. 19. V případě, že bude některý z vrtů, určených pro postsanační monitoring a situovaných vně areálu Farmaku, poškozen, bude nahrazen nejbližším stávajícím vrtem.

Tabulka 44: Přehled monitorovacích objektů navržených pro průkaz splnění sanačních limitů v jednotlivých oblastech

Poř. č.	Oblast	Počet objektů	Monitorované objekty
1	místa s výskytem volné fáze	12	P-32, P-56, SM-18, SM-42, SM-43, SM-44, SM-45, SM-60, SM-65, SM-66, SM-68, SMŠ-6
2	uvnitř PTS	28	AT-103, AT-106, AT-107, FAR-2, FAR-3, FAR-10, FAR-12, P-200, P-201, P-209, P-211, R-211, R-212, R-213, R-214, R-217, SM-7, SM-9, SM-11, SM-12, SM-13, SM-14, SM-15, SM-25, SM-29, SM-30, SM-74, VV-1
3	vně PTS - k řece Moravě	14	FAR-6, R-96, R-97, R-99, R-101, SM-27, SM-36, SM-37, SM-39, SM-40, SM-41, St-Polívkovi p. č. 42/9, St-Blatňákov p. č. 46/38, St-SŠZ Olomouc p. č. 44
4	vně PTS - k JÚ Černovír	6	HV-111, HV-114, HV-402, HV-403, P-12, P-21

4.1.4.4. Způsob prokázání dosažení sanačních limitů a sledované parametry

Dosažení sanačních limitů bude kontrolováno postsanačním monitoringem, který bude sestávat z odběru vzorků podzemní vody a laboratorních analýz.

Výsledky laboratorních analýz budou porovnávány se sanačními limity navrženými v předkládané AAR pro vinylchlorid, 1,2-cis-dichlorethylen, benzen, toluen, chlorbenzen, amonné ionty, metanol, isopropanol a aceton a se sanačními limity uvedenými v Rozhodnutí ČIŽP OI Olomouc č.j. 08/OV/03761/03/Sn ze dne 2. 5. 2003 pro 1,1,2-trichlorethylen, 1,1,2,2-tetrachlorethylen a krezoly.

Vzorky podzemní vody budou odebírány v dynamickém režimu po ustálení fyzikálně chemických parametrů. Vlastní odběr vzorku vody bude proveden na konci vzorkovacího čerpání sacím košem čerpadla z úrovně 2 m nad bází kolektoru.

Metodika vzorkování a kontrola kvality bude v souladu s Metodickým pokynem MŽP z prosince 2006 „Vzorkovací práce v sanační geologii“ [66]. Podrobný postup byl uveden v Realizačním projektu [11] a tímto na něho odkazujeme. Laboratorní rozborů budou provedeny v akreditované laboratoři podle platných norem, metodik a laboratorních postupů. Kvalita vzorkovacích a analytických prací bude také ověřována odběrem kontrolních duplicitních vzorků supervizí v rozsahu cca 3 % celkového počtu vzorků.

4.1.4.5. Období průkazu dosažení sanačních limitů

Délka postsanačního monitoringu je stanovena na 2 roky od ukončení sanačních prací. Vzorkování bude prováděno 1x za tři měsíce, celkem tedy bude realizováno 8 kol postsanačního monitoringu. V každém kole monitoringu budou vzorkovány všechny objekty uvedené v tabulce 44.

V tabulce 45 je uveden rozsah postsanačního monitoringu. Během postsanačního monitoringu bude odebráno celkem 480 vzorků podzemní vody (60 objektů x 8 kol).

Tabulka 45: Rozsah postsanačního monitoringu po dobu 2 let od ukončení sanačních prací

Poř. č.	Oblast	Počet objektů	Četnost	Druh analýz	Celkem počet vzorků
1	místa s výskytem volné fáze	12	čtvrtletně	vinylchlorid, 1,2-cis-dichlorethylen, 1,1,2-trichlorethylen, 1,1,2,2-tetrachlorethylen, benzen, toluen, chlorbenzen, amonné ionty, krezoly, metanol, isopropanol a aceton	96
2	uvnitř PTS	28	čtvrtletně		224
3	vně PTS - k řece Moravě	14	čtvrtletně		112
4	vně PTS - k JÚ Černovír	6	čtvrtletně		48

Vysvětlivky:

kurzívou psané analýzy budou stanoveny jen ve vybraných kolech monitoringu

Ve srovnání s původními sanačními limity došlo k rozšíření o 3 parametry (aceton, metanol a isopropanol), náklady na postsanační monitoring jsou však dány rozpočtem RP [11] a nelze je navýšit. Vzhledem k tomu, že krezoly byly v průběhu sanačních prací v 98 % případů pod sanačními limity a nově navržené parametry (aceton, metanol a isopropanol) se vyskytují pouze lokálně, budou tyto parametry sledovány jen ve vybraných kolech monitoringu (tabulka 46).

V posledních dvou kolech monitoringu, která jsou pro průkaz dosažení cílových limitů rozhodující, budou sledovány všechny parametry.

Tabulka 46: Počet stanovovaných parametrů v jednotlivých kolech monitoringu

Poř. č.	Oblast	Kolo monitoringu							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	místa s výskytem volné fáze	12	8	8	8	8	8	12	12
2	uvnitř PTS	12	8	8	8	8	8	12	12
3	vně PTS - k řece Moravě	12	8	8	8	8	8	12	12
4	vně PTS - k JÚ Černovír	12	8	12	8	12	12	12	12

Vysvětlivky:

12 - počet stanovených parametrů v daném kole monitoringu (vinylchlorid, 1,2-cis-dichlorethylen, benzen, toluen, chlorbenzen, amonné ionty, 1,1,2-trichlorethylen, 1,1,2,2-tetrachlorethylen, krezoly, aceton, metanol, isopropanol),

8 - počet stanovených parametrů v daném kole monitoringu (vinylchlorid, 1,2-cis-dichlorethylen, benzen, toluen, chlorbenzen, amonné ionty, 1,1,2-trichlorethylen, 1,1,2,2-tetrachlorethylen).

4.1.4.6. Počet stanovení v jednotlivých kolech monitoringu a přípustný počet překročení

Počet stanovení pro jednotlivé oblasti v daném kole monitoringu definujeme jako celkový počet stanovení parametrů na všech průkazných objektech v období průkazu, tj.

počet objektů × počet provedených parametrů.

Přípustný počet překročení, tedy počet stanovení parametrů, ve kterém mohou koncentrace parametrů převyšovat sanační limit parametru je převzat z přílohy č. 5 k nařízení vlády č. 61/2003 Sb., ve znění pozdějších předpisů, pro oblasti č. 1, 2 a 3. Pro oblast č. 4 „vně PTS - k JÚ Černovír“ musí být ve všech objektech všechny parametry pod sanačním limitem.

Přehled počtu stanovení a přípustného počtu překročení pro jednotlivé oblasti v jednotlivých kolech monitoringu je uveden v tabulce 47.

Tabulka 47: Přehled počtu stanovení a přípustný počet překročení v jednotlivých kolech monitoringu

Poř. č.	Oblast	Počet objektů	Soubor stanovení/přípustný počet překročení v daném kole monitoringu							
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	místa s výskytem volné fáze	12	144/12	96/9	96/9	96/9	96/9	96/9	144/12	144/12
2	uvnitř PTS	28	336/24	224/17	224/17	224/17	224/17	224/17	336/24	336/24
3	vně PTS - k řece Moravě	14	168/13	112/10	112/10	112/10	112/10	112/10	168/13	168/13
4	vně PTS - k JÚ Černovír	6	72/0	48/0	72/0	48/0	72/0	72/0	72/0	72/0

4.1.4.7. Způsob průkazu dosažení sanačních limitů

Splnění sanačních limitů v podzemní vodě bude v konkrétní oblasti prokázáno, pokud budou splněny následující podmínky:

- **splněním sanačního limitu bude laboratorně stanovený obsah kontaminantů nižší nebo roven hodnotě sanačního limitu pro daný parametr, překročením bude laboratorně stanovený obsah kontaminantů vyšší než hodnota sanačního limitu pro daný parametr,**
- **celkový počet stanovení překračující nejvyšší přípustné koncentrace příslušných parametrů (tj. sanační limity) nepřesáhne hodnotu přípustného počtu překročení podle tabulky 47,**
- **v žádném z vrtů nebude přítomna na hladině podzemní vody volná fáze polutantů.**

Sanace bude považována za ukončenou, pokud v posledních dvou kolech postsanačního monitoringu celkový počet překročení nepřesáhne hodnoty přípustného počtu překročení v jednotlivých oblastech sanace tak, jak je uvedeno v tabulce 47 a pokud se na hladině podzemní vody nebude vyskytovat volná fáze polutantů.

4.1.4.8. Stanovení postupu pro případy překročení limitních hodnot sledovaných parametrů

V případě, že v průběhu postsanačního monitoringu nebudou v jednotlivých kolech sanační limity dodrženy, zajistí zhotovitel prací do 14 dnů od obdržení protokolů laboratorních analýz projednání zjištěného stavu se zúčastněnými stranami a dočištění lokality aplikací Fentonova činidla v množství 150 kg na 1 objekt do vybraných vrtů v areálu Farmaku. Počet vybraných vrtů bude roven počtu stanovení, překračujících přípustný počet překročení v daném kole monitoringu. Vybrány budou vrty s nejvyššími obsahy kontaminantů. Následně budou po 7 dnech od aplikace odebrány vzorky vody. Nevyhoví-li opakovaně odebraný vzorek sanačním limitům, bude aplikace Fentonova činidla opakována až do doby snížení obsahu kontaminantů pod sanační limit. V případě výskytu volné fáze polutantů na hladině podzemní vody v některém z vrtů v areálu Farmaku, bude tato odčerpávána až do jejího úplného odstranění.

Příklad 1: Ve III. kole monitoringu bude v oblasti č. 1 překročen sanační limit v 13 stanoveních (povoleno je 9 stanovení). Budou tedy vybrány 4 vrty s nejvyšším obsahem kontaminantů v areálu Farmaku, do nichž bude aplikováno Fentonovo činidlo.

Příklad 2: V VI. kole monitoringu bude v oblasti č. 1 překročen sanační limit ve 13 stanoveních (povoleno je 9 stanovení), v oblasti č. 2 v 19 stanoveních (povoleno je 17) a v oblasti č. 3 v 11 stanoveních (povoleno je 10 stanovení). Bude tedy vybráno 7 vrtů v areálu Farmaku s nejvyšším obsahem kontaminantů, do nichž bude aplikováno Fentonovo činidlo.

4.2 DOPORUČENÍ POSTUPU NÁPRAVNÝCH OPATŘENÍ

Pro pokračování sanačních prací v rámci I. etapy jsou nápravná opatření navržena následovně:

1. Dokončit práce navržené v RP sanačních prací [11] a v realizačním projektu dodatečných prací [18b] v tomto rozsahu:

1) Odčerpávání volné fáze polutantů z hladiny podzemní vody ve stávajících a nově vyhloubených vrtech na lokalitě

- sledování výskytu volné fáze polutantů na hladině podzemní vody ve všech sanačních vrtech na lokalitě,
- odčerpávání volné fáze polutantů v případě zjištění jejího výskytu,
- likvidace odčerpaného média ve spalovně.

2) In-situ chemická oxidace horninového prostředí Fentonovým činidlem

- aplikace Fentonova činidla do vrtů podle aktuálních koncentrací polutantů,
- sledování účinnosti in-situ chemické oxidace,
- provádění monitoringu vlivu in-situ chemické oxidace na podzemní vodu,
- měření hladiny podzemní vody v čerpaných i pozorovacích vrtech.

3) Pokračování v sanaci čerpáním kontaminované podzemní vody a ventingem

- čerpání kontaminované podzemní vody z jednotlivých vrtů, řízené podle průběhu aplikace Fentonova činidla, zapojování a odpojování jednotlivých vrtů do systému podle potřeby,
- odsávání půdního vzduchu bude prováděno v místech s poloprovozní aplikací Fentonova činidla do vrtů.

2. Rozšířit závěrečné kolo provozního monitoringu:

Z důvodu kontroly stavu zbytkové úrovně kontaminace ve směru k JÚ Černovír navrhujeme ověřit, v rámci posledního kola provozního monitoringu před ukončením sanačních prací, v 6-ti stávajících vrtech situovaných za PTS obsah ukazatelů, pro něž platí cílové limity (benzen, toluen, chlorbenzen, krezoly, VCE, DCE, TCE, PCE, amonné ionty), a pro aceton, metanol a isopropanol (tabulka 48). Situování vrtů navržených pro monitoring je vyznačeno v příloze č. 7.

Tabulka 48: Návrh nápravných opatření – monitoring kvality podzemní vody směrem k JÚ Černovír

Objekt	Četnost monitoringu	Druh analýz*	Druh objektu
HV-111	jednorázově	B, T, CB, Cl-Eth, krezoly, A, M, I, NH_4^+	stávající
HV-114	jednorázově	B, T, CB, Cl-Eth, krezoly, A, M, I, NH_4^+	stávající
HV-402	jednorázově	B, T, CB, Cl-Eth, krezoly, A, M, I, NH_4^+	stávající
HV-403	jednorázově	B, T, CB, Cl-Eth, krezoly, A, M, I, NH_4^+	stávající
P-12	jednorázově	B, T, CB, Cl-Eth, krezoly, A, M, I, NH_4^+	stávající
P-21	jednorázově	B, T, CB, Cl-Eth, krezoly, A, M, I, NH_4^+	stávající

Vysvětlivky:

* - druh analýz je uveden v odstavci nad tabulkou 48, v tabulce jsou uvedeny jejich zkratky

Dále navrhujeme ve vybraných 10-ti vrtech v areálu Farmaku a nejbližším okolí ověřit, v rámci posledního kola provozního monitoringu před ukončením sanačních prací, obsah NEL včetně kvalitativní analýzy v rozsahu uvedeném v tabulce 49.

Tabulka 49: Návrh nápravných opatření – monitoring obsahu NEL v podzemní vodě v areálu Farmaku

Objekt	Četnost monitoringu	Druh analýz	Druh objektu
AT-106	jednorázově	NEL kvalita + kvantita	stávající
FAR-10	jednorázově	NEL kvalita + kvantita	stávající
HP-4	jednorázově	NEL kvalita + kvantita	stávající
P-32	jednorázově	NEL kvalita + kvantita	stávající
P-56	jednorázově	NEL kvalita + kvantita	stávající
R-213	jednorázově	NEL kvalita + kvantita	stávající
SM-9	jednorázově	NEL kvalita + kvantita	stávající
SM-18	jednorázově	NEL kvalita + kvantita	stávající
SM-43	jednorázově	NEL kvalita + kvantita	stávající
VV-1	jednorázově	NEL kvalita + kvantita	stávající

3. Zpracovat Dodatek k AAR:

V závěru sanačních prací doporučujeme zpracovat dodatek k AAR, v němž bude aktualizován matematický model možného šíření zbytkové kontaminace směrem k JÚ Černovír a k řece Moravě, bude vyhodnocen proces atenuace u Cl-Eth, a v případě, že budou sledovány produkty biodegradace ostatních polutantů, tak i u ostatních organických látek. Dále bude ověřen možný vliv staré skládky u soutoku Trusovického potoka a řeky Moravy na JÚ Černovír. Také by bylo žádoucí před ukončením sanačních prací zjistit aktuální stav a životnost PTS.

4. Provést doprůzkum ve vybraných částech areálu Farmaku

V případě, že stávajícími sanačními pracemi nebudou splněny navržené cílové limity, musí být na základě vyhodnocení průběhu sanačních prací a závěrů dodatku AAR zpracován realizační projekt pro doplňující průzkum především severovýchodní části areálu Farmaku, prostoru podél všech větví staré chemické kanalizace, území podél přírodního potrubí mezi objekty č. 31d a 32a, okolí a podloží starých jímek a podzemních nádrží v areálu Farmaku, které nejsou používány. Podle výsledků doplňujícího průzkumu bude zpracován realizační projekt III. etapy sanačních prací.

5. ZÁVĚR A DOPORUČENÍ

Z předkládané aktualizace analýzy rizik vyplývají následující závěry a doporučení:

Výsledky prací realizovaných během sanace v letech 2007 až 2012:

- doposud provedené sanační práce (I. etapa) významně snížily úroveň a rozsah znečištění horninového prostředí a podzemní vody jak v areálu závodu, tak ve směru proudění podzemní vody k řece Moravě;
- v prostoru vrtů AT-103, AT-104, SM-11, a především v okolí vrtů FAR-2 a FAR-10, kde byla původně masivní kontaminace podzemní vody, byla tato sanačními pracemi odstraněna, sanační limity jsou v těchto vrtech plněny;

- přesto se stále objevuje na některých místech v areálu Farmaku na hladině podzemní vody volná fáze polutantů, celková plocha, na niž se během sanačních prací vyskytovala fáze, je odhadnuta na 1 350 m²;
- obsah polutantů vně PTS směrem k JÚ Černovír se pohybuje na úrovni mezi stanovitelnosti nebo v jednotkách µg/l;
- transport kontaminace v saturované zóně je významně ovlivňován různými hodnotami součinitele hydraulické vodivosti ve stejném litologickém profilu;
- šíření kontaminace může nastávat preferenčními cestami především podél podzemních inženýrských sítí, depresemi v kvartérním podloží a vlivem odlišných hydraulických parametrů;
- pokud by se sanační práce v místě největšího znečištění kontaminace (okolí objektu č. 31, prostor vrtů P-32 a P-56) přerušily, došlo by v horizontu měsíců až let k rozšíření kontaminace nad stávající sanační limity mimo areál Farmaku do obytné zóny a následně do řeky Moravy;
- účinnost sanačních prací je snižována v důsledku opoždění II. etapy sanačních prací;
- k 29. 2. 2012 bylo sanačními pracemi odstraněno 23 465 kg organických polutantů (tj. 1,7x více než bylo uvedeno v RP) a 5 004 kg amonných iontů (tj. 1,2x více oproti RP);
- v průběhu realizace sanačních prací byly zjištěny nové skutečnosti, **které mají podstatný vliv na účinnost sanačních prací a které jsou neoddělitelné** od stávající kontaminace horninového prostředí.

Na základě výše uvedených faktů a poznatků je nutné konstatovat, že současný rozsah prací neumožní odstranění kontaminace tak, aby byly splněny platné cílové limity sanace. Považujeme za nezbytné po ukončení I. a II. etapy prací zhodnotit míru zbytkové kontaminace ve formě dodatku AAR a navrhnout a realizovat další, III. etapu sanačních prací. Této III. etapě musí ovšem předcházet podrobný průzkum lokality, především severovýchodní části areálu Farmaku, území podél přívodního potrubí mezi objekty č. 31d a 32a, okolí a podloží všech dosud existujících avšak nevyužívaných podzemních jímek a nádrží a prostoru podél všech větví staré chemické kanalizace. Náklady na tyto práce odhadujeme v nižších desítkách milionů Kč.

Shrnutí celkového rizika:

- z výpočtů zdravotních rizik pro jednotlivé **reálné** expoziční scénáře vyplývá, že nebyla překročena pro nekarcinogenní účinky sledovaných škodlivin hodnota indexu nebezpečnosti HI = 1;
- z výpočtů zdravotních rizik pro jednotlivé **reálné** expoziční scénáře vyplývá, že byla pro karcinogenní účinky hodnota individuálního karcinogenního rizika ELCR = 1×10^{-5} překročena pro vinylchlorid pro scénáře dermální kontakt a nahodilá perorální expozice při zalévání vodou z domovních studní;
- rizika pro ekosystémy byla hodnocena pomocí testů ekotoxicity, nebyla identifikována;
- pro případ drénování podzemní vody se zbytkovou kontaminací řekou Moravou byly vypočteny maximální přípustné koncentrace v podzemní vodě, přitékající z areálu Farmaku k řece Moravě.

Doporučení cílových parametrů nápravných opatření:

- Na základě rozporuplných výsledků z monitoringu polutantů ve vzdušnině a z kontroly účinnosti ventingu a protože jsou zdravotní rizika z inhalace par uvolňovaných

z horninového prostředí v areálu Farmaku považována za nerelevantní, doporučujeme zrušit platnost cílových limitů pro půdní vzduch.

- Na základě zhodnocení průběhu a efektivnosti I. etapy sanačních prací, s ohledem na výpočty rizik provedené v AR a v AAR a s ohledem na aktuální koncentrace polutantů v podzemní vodě, byla navržena úprava cílových limitů sanace pro VCE, 1,2-cis-DCE, toluen, benzen, chlorbenzen a amonné ionty a zavedení nových limitů pro metanol, isopropanol a aceton tak, jak je uvedeno níže.
- Lze očekávat, s vysokou pravděpodobností, dodržení navržených sanačních limitů pro oblast „vně PTS“ směrem k řece Moravě. Ovšem pokud budou ojediněle překračovány, neměl by to být důvod k následným sanačním pracím. Voda z domovních studní v takovém případě nesmí být používána ani na zálivku.
- Stanovení sanačních limitů ve výše uvedených koncentracích je možné pouze za těchto podmínek:
 - budou realizovány práce doporučené v kapitole 4.2;
 - voda z domovních studní v obytné zóně nesmí být během sanačních prací používána jako pitná, tedy ke konzumaci, pro sprchování a umývání;
 - v případě, že budou překračovány sanační limity pro podzemní vodu v obytné zóně (vně PTS - směrem k řece Moravě), nesmí být tato používána ani pro zálivku;
 - před ukončením sanace bude zpracován dodatek k AAR, v němž bude aktualizován matematický model možného šíření zbytkové kontaminace směrem k JÚ Černovír a k řece Moravě, bude vyhodnocen proces atenuace a bude ověřen možný vliv staré skládky u soutoku Trusovického potoka a řeky Moravy na JÚ Černovír.

Doporučené cílové parametry nápravných opatření

Kontaminant	Platný limit	Nově navržené limity		
		uvnitř PTS	místa výskytu volné fáze	vně PTS – směrem k řece Moravě a JÚ
		µg/l		
vinylchlorid	600	600	800	30
DCE	3 000	1 600	4 000	200
TCE	500	neřešeno v AAR		
PCE	200	neřešeno v AAR		
benzen	30	100	300	40
toluen	1 800	3 600	7 000	1 800
chlorbenzen	170	450	1 500	340
kresoly	1 600	neřešeno v AAR		
amonné ionty	7 200	20 000	20 000	10 000
metanol	-	2 000	4 000	600
isopropanol	-	2 500	4 000	750
aceton	-	3 000	6 000	900

Liníí mezi plochami „uvnitř PTS“ a „vně PTS“ jsou vrty P-211, R-211 až R-214, FAR-3, SM-12 a P-200.

Místem výskytu volné fáze je každý vrt, v němž byla volná fáze na hladině podzemní vody zjištěna přístroji pro měření fáze nebo byla stanovena laboratorně z odebraného vzorku média z hladiny vody ve vrtu. Za místo výskytu volné fáze je uvažována i detekce filmu na hladině, tedy mocnost 0 až 1 mm.

V Olomouci 30. 4. 2012, doplněno 16. 11. 2012
RNDr. Hana Koppová

6. POUŽITÁ LITERATURA

Použité závěrečné zprávy a projekty:

- [1] Černík, M. (2007): Farmak Olomouc - laboratorní testy účinku činidel pro in-situ oxidaci a redukci. Technická univerzita v Liberci. Liberec.
- [2] Černík, M. (2007): Matematické modelování areálu FARMAK, a.s. – návrh sanačního systému. Aktualizace modelu. AQUATEST a.s. Praha.
- [3] Davidová, M. (2005): Systém ochrany podzemních vod před kontaminací rok 2004. Farmak, a.s. Olomouc.
- [4] Hodný, V. (2002): Olomouc – FARMAK, a.s., Analýza rizika. GHE, a.s., Ostrava.
- [5] Hodný, V. (2002): Doplněk č. 1 k analýze rizika. GHE, a.s.
- [6] Hodný, V. (2003): Doplněk č. 2 k analýze rizika. GHE, a.s.
- [7] Hrabák, P., Koppová, H., Kapinus, A., Černík, M., Kakosová, E. (2009): Pilotní aplikace Fentonova činidla v prostředí se směsnou kontaminací. Technická univerzita v Liberci. Liberec.
- [8] Kalous, J. (1997): Závazky Farmaku a.s. Olomouc z hlediska ochrany životního prostředí, doplněk k ekologickému auditu. SEPARA spol. s r.o., Brno.
- [9] Kalous, J. (1998): Posouzení hydrogeologické účinnosti sanačního čerpání vrtů III. Linie hydraulické clony v a.s. Farmak Olomouc. SEPARA spol. s r.o., Brno.
- [10] Kol. autorů (1992): Vyhodnocení závazků s.p. FARMAKON OLOMOUC z hlediska ochrany životního prostředí (ekologický audit podniku). Ústav pro životní prostředí přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy. Praha.
- [11] Koppová, H. (2006): Realizace sanačních opatření vedoucích k nápravě starých ekologických zátěží vzniklých před privatizací ve společnosti FARMAK, a.s. v Olomouci - Realizační projekt. Sdružení „SANACE FARMAKU OLOMOUC“. Olomouc.
- [12] Koppová, H. (2007): Olomouc – Farmak – posudek. Posudek na zvýšení čerpání podzemní vody z vrtů R-217 a R-218. AQUATEST a.s. Praha.
- [13] Koppová, H. (2008): Realizace sanačních opatření vedoucích k nápravě starých ekologických zátěží vzniklých před privatizací ve společnosti FARMAK, a.s. v Olomouci - Studie technické proveditelnosti - Terénní zkoušky in-situ oxidace - Projekt prací. Sdružení „SANACE FARMAKU OLOMOUC“. Olomouc.
- [14] Koppová, H. (2008): Roční zpráva za rok 2007. Sdružení „SANACE FARMAKU OLOMOUC“. Olomouc.
- [15] Koppová, H. (2009): Roční zpráva za rok 2008. Sdružení „SANACE FARMAKU OLOMOUC“. Olomouc.

- [16] Koppová, H., Kapinus A. (2009): Studie technické proveditelnosti. Terénní zkoušky in-situ chemické oxidace. Závěrečná zpráva. Sdružení „SANACE FARMAKU OLOMOUC“. Olomouc.
- [17] Koppová, H. (2010): Doplněk č. 1 k Realizačnímu projektu Sdružení „SANACE FARMAKU OLOMOUC“. Olomouc.
- [18] Koppová, H. (2010b): Roční zpráva za rok 2009. Sdružení „SANACE FARMAKU OLOMOUC“. Olomouc.
- [18a] Koppová, H. (2011): Roční zpráva za rok 2010. Sdružení „SANACE FARMAKU OLOMOUC“. Olomouc.
- [18b] Koppová, H. (2011b): Realizace sanačních opatření vedoucích k nápravě starých ekologických zátěží vzniklých před privatizací ve společnosti FARMAK, a.s. v Olomouci - FARAMAK, a.s. - dodatečné služby. Realizační projekt. Sdružení „SANACE FARMAKU OLOMOUC“. Olomouc.
- [18c] Koppová, H. (2011c): OLOMOUC - FARMAK - DOPLNĚK AAR. Prováděcí projekt. AQUATEST a.s. Praha.
- [18d] Koppová, H. (2012): Roční zpráva za rok 2011. Sdružení „SANACE FARMAKU OLOMOUC“. Olomouc.
- [19] Kučera, M., Švanda, J., Valeš, V. (1977): Zpráva o výsledku průzkumu rozsahu znečištění podzemních vod chemikáliemi v okolí n.p. Farmakon Olomouc ve vztahu k jímacímu území v Olomouci - Černovíru. GEOtest Brno, n. p., Brno.
- [20] Matelová, I. (2009): Dílčí zpráva o vývoji stavů hladiny podzemní vody a její kvality v jímacím území u Černovíru. Hydrogeologie, s.r.o., Bruntál.
- [21] Pelikán, V. (1982): Posouzení bezpečnosti ochrany podzemních vod v okolí n.p. Farmakon ve vztahu k jímacímu území vodárny Černovír. Znalecký posudek č. 4/1/82.
- [22] Pelikán, V. (1983): Návrh trasy vrtů hydraulické ochrany podzemních vod pro vybudování nepropustné podzemní stěny okolo n.p. Farmakon. Výzkumný ústav geologického inženýrství, Brno.
- [23] Slivková, A. (2004): FARMAK, a.s. OLOMOUC – sanace staré ekologické zátěže. Závěrečná zpráva sanačního doprůzkumu. TALPA – RPF, s.r.o., Ostrava - Kunčičky.
- [24] Slivková, A. (2004): FARMAK, a.s. OLOMOUC – sanace staré ekologické zátěže. Doplněk k závěrečné zprávě sanačního doprůzkumu. TALPA – RPF, s.r.o., Ostrava - Kunčičky.
- [25] Slivková, A. (2004): FARMAK, a.s. OLOMOUC – sanace staré ekologické zátěže. Realizační projekt sanace. TALPA – RPF, s.r.o., Ostrava - Kunčičky.
- [26] Slivková, A. (2005): FARMAK, a.s. OLOMOUC – sanace staré ekologické zátěže. Realizační projekt sanace – Doplněk č. 1. TALPA – RPF, s.r.o., Ostrava - Kunčičky.

- [27] Starobová, M. (1983a): Hydrogeologické podklady pro stanovení pásem hygienické ochrany jímacího území veřejného vodovodu města Olomouce. GEOtest Brno, n. p., Brno.
- [28] Starobová, M. (1983b): Závěrečná zpráva o podrobném hydrogeologickém průzkumu pro preventivní ochranu mělké podzemní vody proti znečištění. GEOtest Brno, n. p., Brno.
- [29] Suchna, M. (2007): Doplněk analýzy rizika lokality „stará kotelna“ společnosti FARMAK, a.s. ENVI-AQUA, s.r.o.
- [30] Šeda, S. (2008): Štěpánov, Moravská Huzová, Chomoutov, Černovír. Revize ochranných pásem vodního zdroje. OHGS s.r.o., Ústí nad Orlicí.
- [31] Urík, J. (2008): Karotážní měření pro zjištění hydrodynamických poměrů ve vrtech a televizní prohlídka vrtů. AQUATEST a.s., Praha.
- [31a] Vrbová, J. (2011): Černovír. Rekonstrukce prameniště. Zpráva o provedení prací v jímacím území. OHGS s.r.o. Ústí nad Orlicí.
- [32] Vyhodnocení závazků s.p. Farmakon Olomouc z hlediska ochrany životního prostředí (ekologický audit podniku), (1992), UK, Praha.

Použité publikace a podklady:

- [33] Čurda J. in: Hrubeš M. et al. (2007): Základní geologická mapa České republiky 1 : 25 000 s Vysvětlivkami list 24 - 224 Olomouc. ČGS Praha.
- [34] Demek, J. et al. (1987): Zeměpisný lexikon ČSR. Hory a nížiny. Academia, Praha.
- [35] HMÚ Praha (1970): Hydrologické poměry ČSSR, I. a III. díl.
- [36] Jetel, J. (1973): Logický systém pojmů - základní podmínka formalizace a matematizace v hydrogeologii. Geologický průzkum 15,1, str. 13 - 17, Praha.
- [37] Krásný, J. et al. (1981): Mapa odtoku podzemní vody ČSSR. ČHMÚ. Praha.
- [38] Kouřil, Z. (1970): Podzemní vody údolí řeky Moravy. Geografický ústav ČSAV, Brno.
- [39] Montgomery, J. H. (1991): Groundwater chemicals field guide. Lewis Publisher, Inc., pp. 271. ISBN 0-87371-554-3.
- [40] Moravec, D., Votýpka, J. (1998): Klimatická regionalizace České republiky. Karolinum – nakladatelství Univerzity Karlovy, vydání 1, 87 s.
- [41] Mýl, J. (2009): Metodický postup. Zpracování Analýzy rizika pro potřeby ČD a.s. s komentářem. Verze 4.3. CWE a.s. Praha.
- [42] Myslík, V. et al. (1985): Vysvětlivky k základní hydrogeologické mapě ČSSR 1 : 200 000 list 24, Brno. ÚÚG, Praha.
- [43] MŽP ČR (1996): Metodický pokyn odboru pro ekologické škody MŽP - Postup zpracování analýzy rizika, Kritéria znečištění zemin a podzemní vody. Věstník MŽP ČR ze dne 15. září 1996, ISSN 0862-9013.

- [44] MŽP ČR (2011): Metodický pokyn odboru ekologických škod MŽP - Analýza rizik kontaminovaného území. Věstník MŽP ČR, březen 2011, částka 3.
- [45] MŽP ČR (2007): Metodický pokyn odboru odpadů ke stanovení ekotoxicity odpadů. Věstník MŽP ČR, duben 2007, částka 4.
- [46] MŽP ČR (2008): Metodický pokyn k řešení problematiky stanovení indikátoru možného znečištění ropnými látkami při sanacích kontaminovaných míst. Věstník MŽP ČR, březen 2008, částka 3.
- [47] Olmer, M. et al. (2006): Hydrogeologická rajonizace České republiky. Sborník geologických věd 23. Česká geologická služba. Praha.
- [48] Paustenbach, D. J. (1987): Assessing the Potential Environmental and Human Health Risks of Contaminated Soil. *Comments Toxicol.* 1:185-220.
- [49] Pitter, P. (2009): Hydrochemie. VŠCHT. Praha.
- [50] Quitt E. (1971): Klimatické oblasti Československa. *Studia Geographica* 16, ČSAV Brno.
- [51] U.S. EPA (1998): Field Applications of In Situ Remediation Technologies: Chemical Oxidation. EPA 542-R-98-008.
- [52] U.S. EPA (1989): U.S. Environmental Protection Agency: Risk Assessment Guidance for Superfund, Volume 1. Human Health Evaluation Manual (Part A), Interim Final. Office of Emergency and Remedial Response. Washington DC. EPA/540/1-89/002.
- [53] U.S. EPA (1992): Dermal Exposure Assessment: Principles and Applications. EPA/600/8-91/011B.
- [54] U.S. EPA (2004): Risk Assessment Guidance for Superfund. Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment). Final.
- [55] FRTR (2002): Federal Remediation Technologies Roundtable. Abstracts of Remediation Case Studies, Vol. 6. EPA-542-R-02-006.
- [56] FRTR (2003): Federal Remediation Technologies Roundtable. Abstracts of Remediation Case Studies, Vol. 7. EPA - 542-R-03-011.
- [57] Obecně závazná vyhláška č. 7/2006 Statutárního města Olomouce, kterou se vyhláší závazná část územního plánu sídelního útvaru Olomouc ze dne 11. 12. 2006.
- [58] Vyhláška č. 376/2001 Sb., o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů, ve znění pozdějších předpisů.
- [59] Vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, ve znění pozdějších předpisů.
- [60] Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů.
- [61] ČSN 75 7221 (1998): Jakost vod – Klasifikace jakosti povrchových vod. Český normalizační institut.

- [62] Havarijní plán pro případ úniku závadných látek při provádění sanačních prací sdružením „SANACE FARMAKU OLOMOUČ“ vydaný 26. 4. 2011, schválený KÚ Olomouckého kraje dne 26. 7. 2011.
- [63] Vyhodnocení zkušebního provozu stavby. Vnější ochrana prameniště v době od 1. 10. 1987 do 30. 9. 1988. FARMAKON, n. p. Olomouc, únor 1989.
- [64] Vyhodnocení zkušebního provozu stavby. Vnější ochrana prameniště v době od 1. 10. 1988 do 30. 4. 1990. FARMAKON, n. p. Olomouc, červenec 1990.
- [65] Návrh definitivního provozně manipulačního řádu systému ochrany podzemních vod před kontaminací z areálu s.p. Farmakon Olomouc. Geotest n.p. Brno. 1990.
- [66] Vzorkovací práce v sanační geologii. Metodický pokyn MŽP. Věstník MŽP, č. 2, Příloha 2, únor 2007.
- [67] IARC (1977): IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Man, Vol. 15, Some Fumigants, the Herbicides 2,4-D and 2,4,5-T, Chlorinated Dibenzodioxins and Miscellaneous Industrial Chemicals, Lyon, pp. 223–243.
- [68] International Programme on Chemical Safety (1997): Metanol. Environmental Criteria 196.
- [69] Vyhláška č. 5/2011 Sb., o vymezení hydrogeologických rajonů a útvarů podzemních vod, způsobu hodnocení stavu podzemních vod a náležitostech programů zjišťování a hodnocení stavu podzemních vod.
- [70] MŽP ČR (2012): Metodický pokyn MŽP - Indikátory znečištění. Věstník MŽP ČR, únor 2012, částka 2.

Podklady z internetu:

California Environmental Protection Agency, Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHH), <http://www.oehha.ca.gov/risk/ChemicalDB/index.asp>

Hydrogeologický informační systém VÚV T.G.M., <http://heis.vuv.cz/>

Informační server statutárního města Olomouce, <http://www.olomouc.eu/>

Integrated Risk Information System (IRIS), <http://www.epa.gov/ncea/iris/>

International Agency for Research on Cancer (IARC), <http://www.iarc.fr/>

International Programme on Chemical Safety (IPCS INCHEM), <http://www.inchem.org/>

Internetové stránky Agentury ochrany přírody a krajiny ČR, <http://drusop.nature.cz/>

Internetové stránky společnosti MORAVSKÁ VODÁRENSKÁ, a.s., <http://www.smv.cz/>

Internetový portál Povodí Moravy, s.p., <http://www.pmo.cz/>

Portál MŽP Systém evidence kontaminovaných míst, <http://sekm.cenia.cz/portal/>

The Risk Assessment Information System (RAIS), <http://rais.ornl.gov/>

United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA), <http://www.epa.gov/>

Územní plán sídelního útvaru Olomouc, <http://www.3dmapy.cz:2082/>

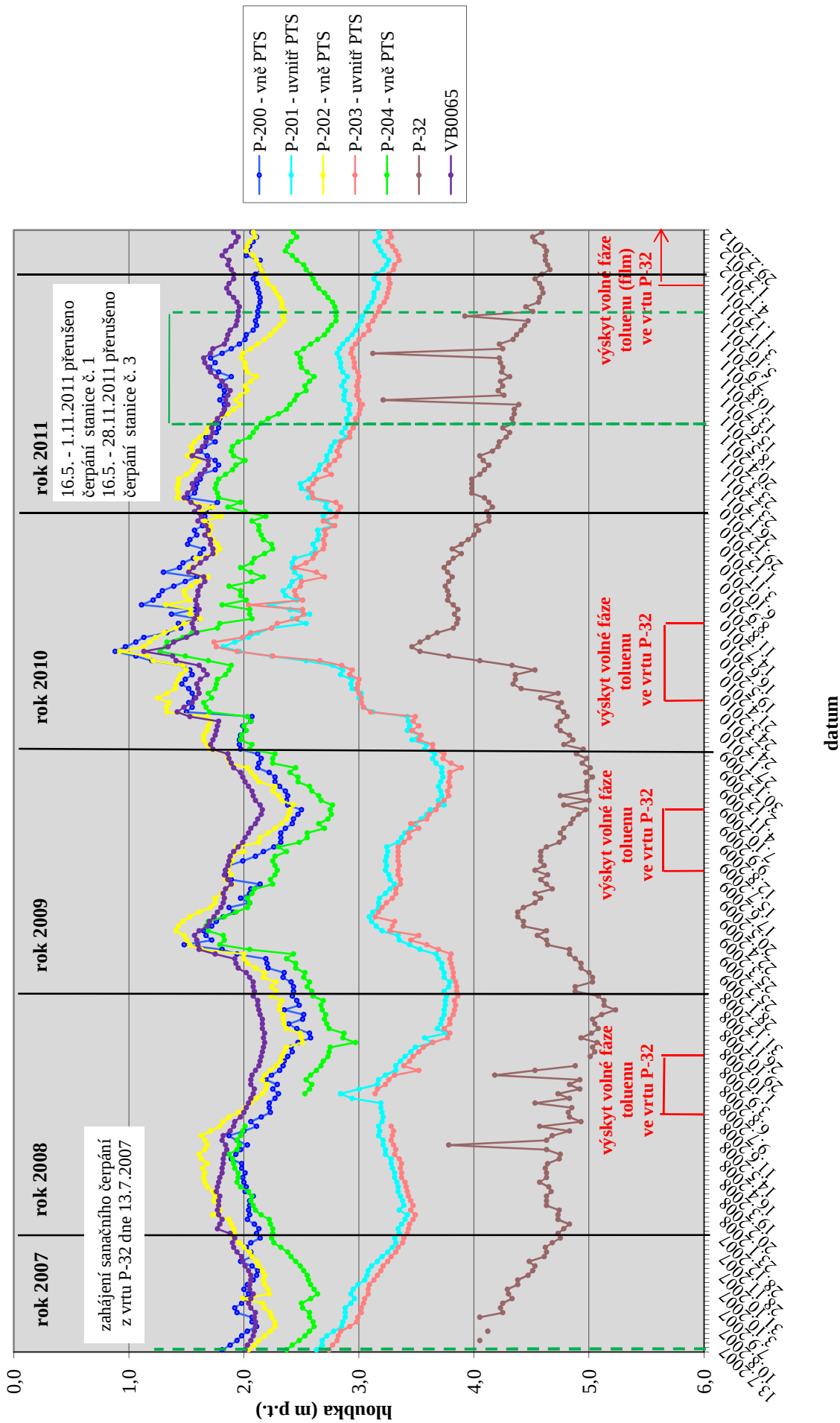
Veřejná databáze ČSÚ, <http://vdb.czso.cz/vdb/>

Wikipedie, <http://cs.wikipedia.org/wiki/Metanol>

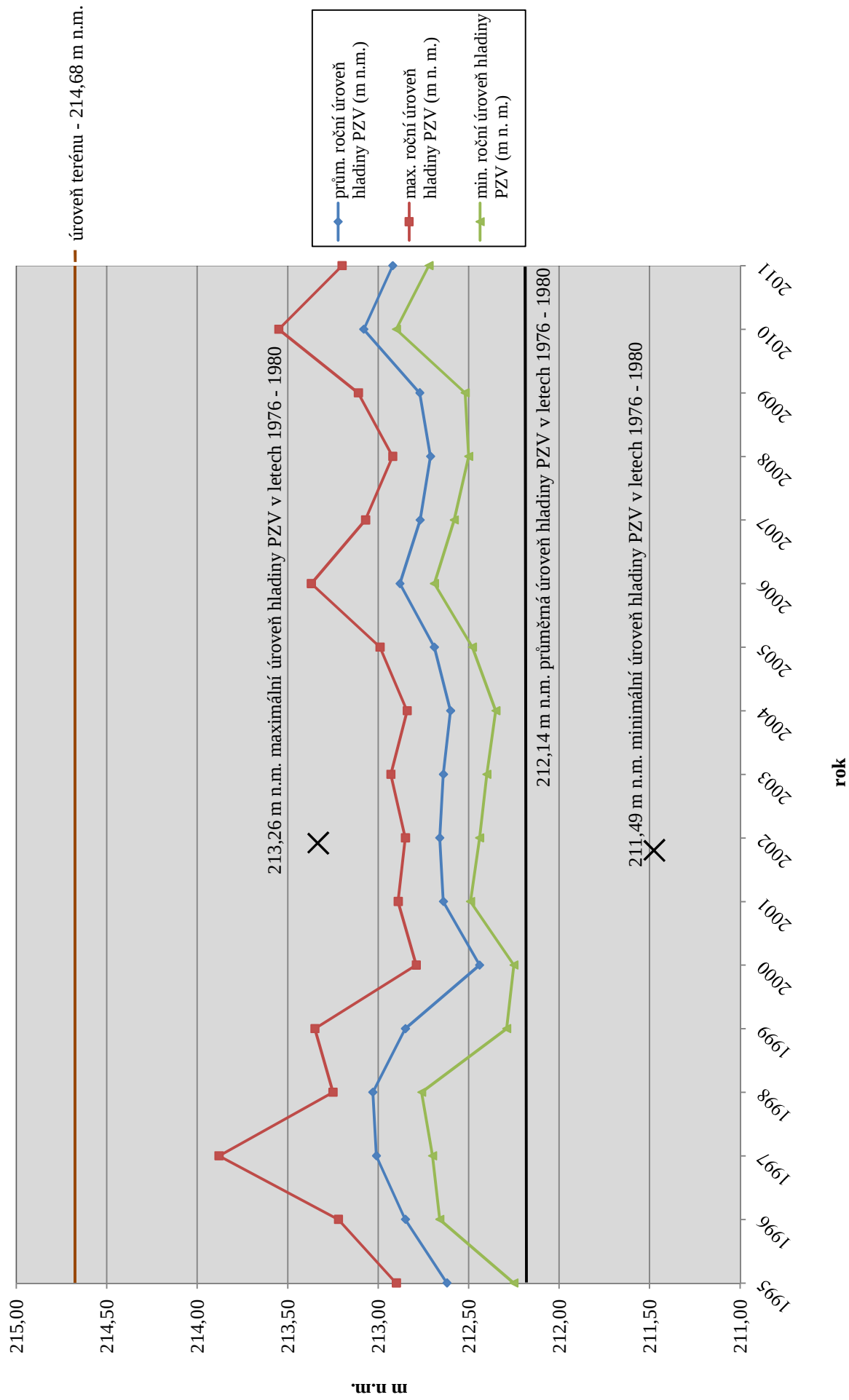
Wikipedie, http://cs.wikipedia.org/wiki/Hydroxid_amonn%C3%BD

Pro přílohy č. 1 a 2 byly jako podklad použity zakoupené výtisky map. Podle sdělení Zeměměřického úřadu není třeba zpoplatňovat užití zakoupeného výtisku map, protože bude výsledná zpráva předána pouze jednomu klientovi – Ministerstvu financí České republiky.

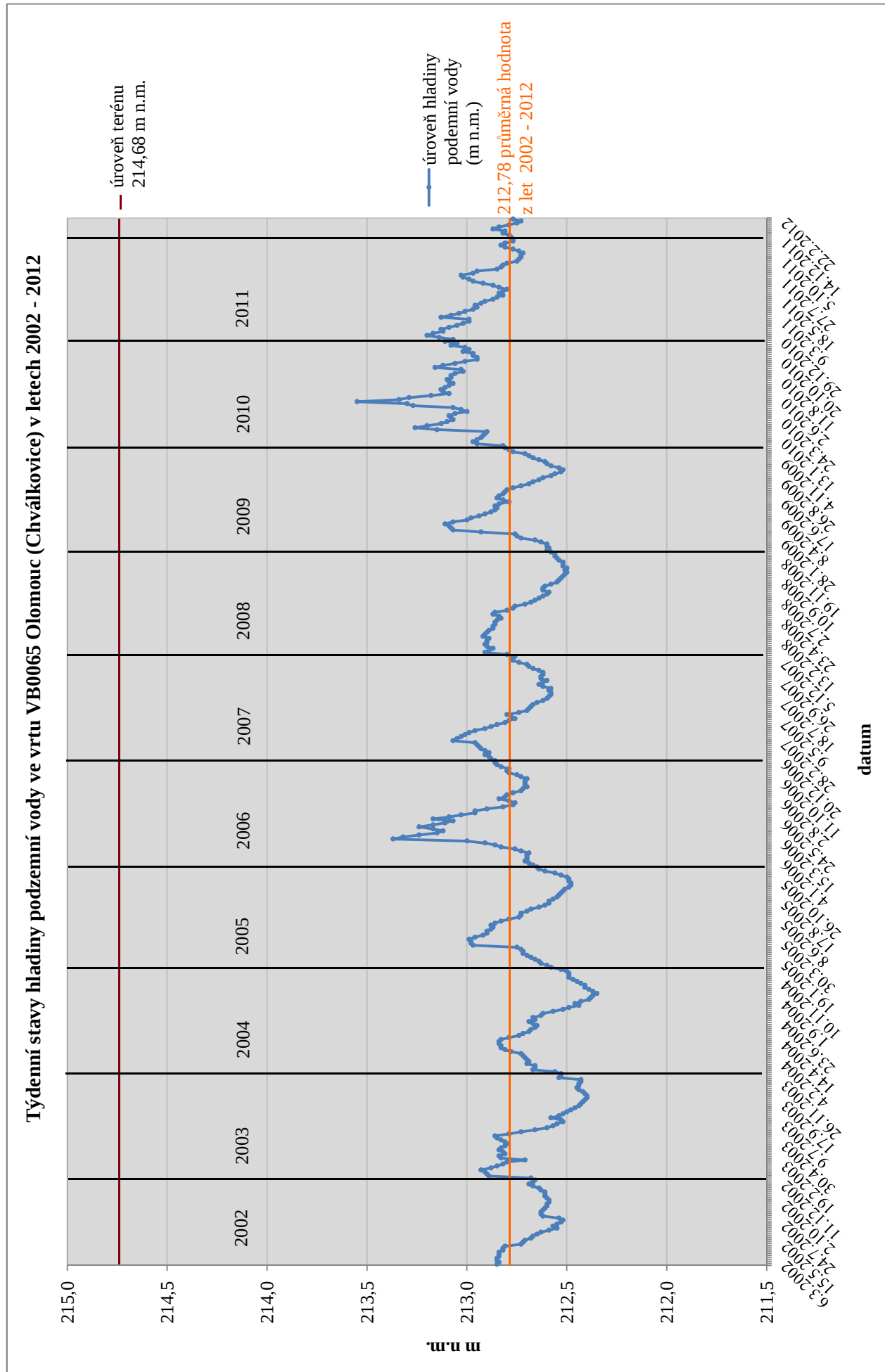
Vývoj hladiny podzemní vody ve vrtech vně a uvnitř podzemní těsnící stěny (PTS)
a ve vrtu P-32 během sanačního čerpání podzemní vody



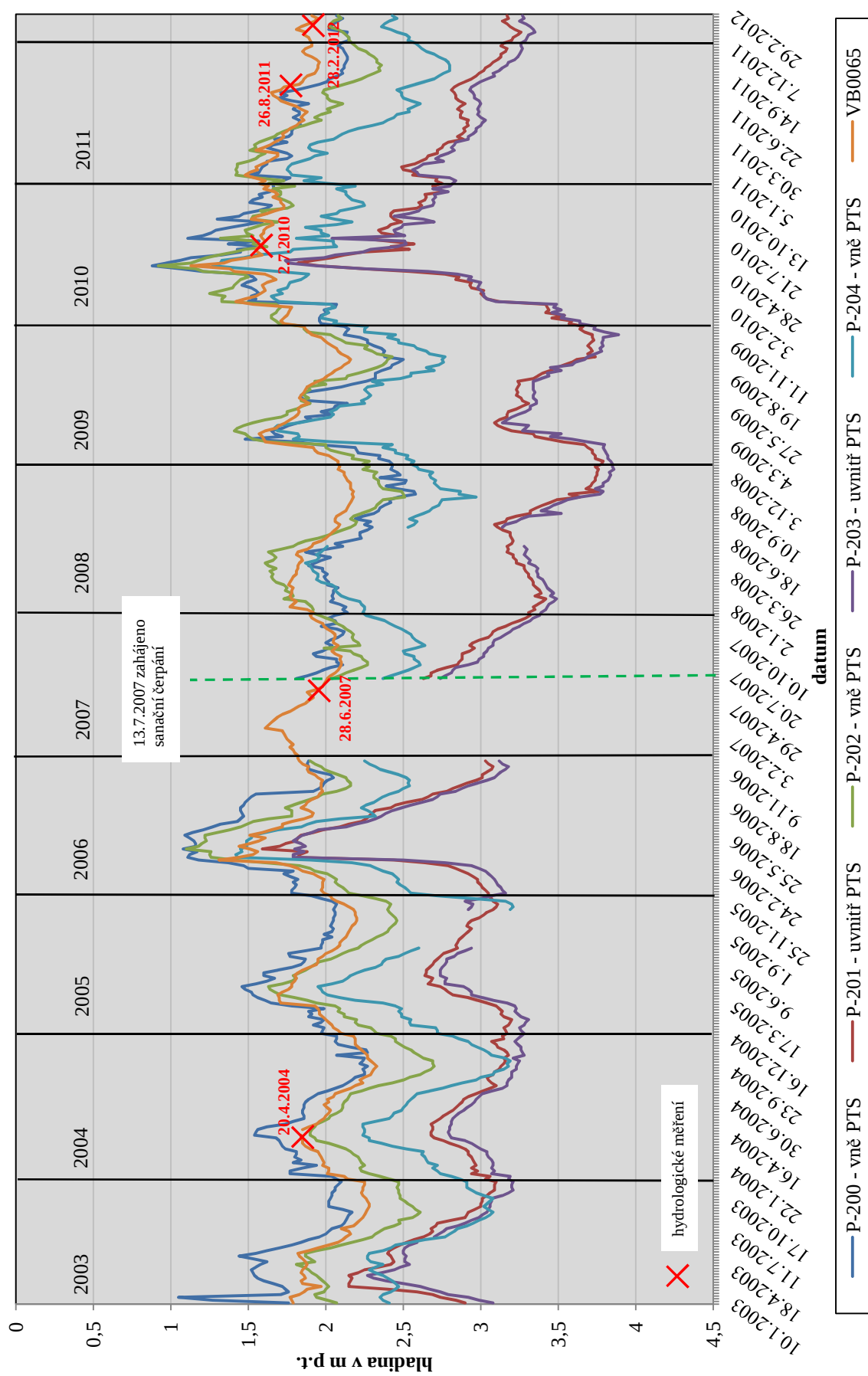
Vývoj hladiny podzemní vody ve vrtu VB0065 Olomouc (Chválkovice) v letech 1995 - 2011



Graf č. 4



Vývoj hladiny podzemní vody ve vrtech vně a uvnitř podzemní těsnicí stěny
v letech 2003 - 2012



Vývoj hladiny podzemní vody ve vrtech vně a uvnitř podzemní těsnící stěny (PTS)
a množství čerpané podzemní vody ve Farmaku

