

## ***Příloha 10***

### **Technická zpráva z vrtných prací**



## ANALÝZA RIZIK – BÝVALÝ AREÁL AVIA KUTNÁ HORA

### Technická zpráva z vrtných prací

(Zakázkové číslo: 8184 19 021)

Výtisk č. 1



Vodní zdroje Ekomonitor spol. s r.o.  
září 2019



*Vodní zdroje Ekomonitor spol. s.r.o., Píšťovy 820, 537 01 Chrudim*

---





Vodní zdroje Ekomonitor spol. s.r.o., Píšťovy 820, 537 01 Chrudim



<b>Rozdělovník:</b>
---------------------

Výtisk č. 1 – 2:

EKOSYSTEM spol. s.r.o.

Výtisk č. 3:

Vodní zdroje Ekomonitor spol. s r.o.



Vodní zdroje Ekomonitor spol. s r.o., Píšťovy 820, 537 01 Chrudim

**EKOMONITOR**

**Základní údaje:**

**Název akce:**

**Analýza rizik – bývalý areál AVIA Kutná Hora**

**Zakázkové číslo zhotovitele:**

**8184 19 021**

**Objednatel:**

**EKOSYSTEM spol. s r.o.  
Na Radosti 184/59  
155 21 Zlín**

**Odpovědný zástupce:**

**Mgr. Štěpán Horký**

**IČO:**

**44851804**

**Zhotovitel:**

**Vodní zdroje Ekomonitor spol. s r.o.  
Píšťovy 820, 537 01 Chrudim III.  
zapsaná v obchodním rejstříku ve vložce C  
č. 1036 Krajského soudu v Hradci Králové**

**IČO:**

**15053695**

**DIČ:**

**CZ15053695**

**Bankovní spojení:**

**ČSOB Chrudim**

**Číslo účtu:**

**272199033/0300**

**Odpovědný zástupce:**

**Mgr. Pavel Vančura, jednatel společnosti  
Ing. Josef Drahokoupil, jednatel společnosti  
Ing. Jiří Vala, jednatel společnosti**

**Odpovědný řešitel:**

**Mgr. Lucie Potočárová**

**Řešitel:**

**Mgr. Jan Šibor**

**Telefonní spojení společnosti:**

**+420 469 682 303-5**

**Faxové spojení společnosti:**

**+420 469 682 310**

**E-mail:**

**ekomonitor@ekomonitor.cz**

**Datum:**

**13.9.2019**

**Mgr. Jan Šibor  
řešitel**

**Mgr. Lucie  
odpovědný**

**Mgr. Pavel Vančura  
statutární zástupce**

*Analýza rizik kapitálu  
Vodní zdroje Ekomonitor spol. s r.o.*

## Úvod

V rámci akce „Analýza rizik – bývalý areál AVIA Kutná Hora“ došlo ke geologickému průzkumu kontaminace v areálu firmy, při které bylo zhotoveno 10 ks hydrogeologických monitorovacích vrtů řady HG do hloubky max. 11 m. V nesoudržných horninách byly hydrogeologické vrty hloubeny vrtnou soupravou Wirth B1A pod vedením vrtmistra Jana Dolníčka, jádrovým způsobem nasucho, jádrovákem s TK korunkou prům. 178 mm. Ve skalních horninách byly vrty hloubeny technologií rotačně příklepového vrtání ponorným kladivem se vzduchovým výplachem vrtným průměrem 155 mm. Vrty byly vystrojeny PVC výstrojí 125/2,7 mm, s perforací o šířce štěrbin 1 mm, uzavřené plným plastovým závitovým dnem. Zhlaví vrtů je pojezdové s úrovní povrchu terénu a přírubové zhlaví (ocelová chránička prům. 165 mm). Hydrogeologický vrt HG-7 byl proveden jako šikmý pod úhlem cca 35°

Dále bylo technologií rotačně jádrového vrtání vyhloubeno celkem 16 ks mělkých sond PS-1 až PS-16 v celkové metráži 112 bm. V nesoudržných horninách byly hloubeny vrtnou soupravou HVS-245 pod vedením vrtmistra Pavla Jílka, jádrovým způsobem nasucho, jádrovákem s TK korunkou prům. 178 mm a následně byly dočasně vystrojeny pro odběr vzorků podzemní vody PVC zárubnicí o průměru 125 mm. Vrtání bylo prováděno bez použití vrtného výplachu, tj. na sucho. Po odběrech vzorků a měřeních byla provedena likvidace sond prostým zásypem. K záhozům vrtů byl použit netříděný zásypový štěrkopísek. Základní technické údaje o vrtech jsou uvedeny níže v tabulce.

### Hydrogeologické vrty řady HG:

#### **Technické provedení monitorovacího vrtu HG-1**

Lokalizace vrtu:	viz příloha č. 1
Technologie vrtání:	kvarterní sediment - rotační jádrová Ø 178 mm skalní podloží - rotační příklepová Ø 155 mm
Hloubka vrtu:	11,0 m
Vrtné průměry:	kvarterní sediment – Ø 178 mm skalní podloží - Ø 155 mm
Výplach:	stlačený vzduch (od báze kvarterních sedimentů)
Výstroj:	0,0–4,0 m PVC 125/2,7 mm plná 4,0–11,0 m PVC 125/2,7 mm perforovaná Vystrojování dle technologického postupu. Perforace příčná štěrbinová šířky 1 mm, 10–15%.
Zaplášťové úpravy:	0,0–3,0 m zásyp odvrtaným materiálem 3,0–3,5 m cementace 3,5–4,0 m pískový přechod 4,0–11,0 m obsyp – štěrková drť – 4–8 mm frakce
Úprava zhlaví vrtu:	pojezdové (hydraulické) zhlaví
Vyčištění vrtů:	odkalení kalovým čerpadlem

#### Analýza rizik Kaplice

#### Technická zpráva z vrtných prací

## Technické provedení monitorovacího vrtu HG-2

Lokalizace vrtu:	viz příloha č. 1
Technologie vrtání:	kvarterní sediment - rotační jádrová Ø 178 mm skalní podloží - rotační příklepová Ø 155 mm
Hloubka vrtu:	11,0 m
Vrtné průměry:	kvarterní sediment – Ø 178 mm skalní podloží - Ø 155 mm
Výplach:	stlačený vzduch (od báze kvarterních sedimentů)
Výstroj:	0,0–4,0 m PVC 125/2,7 mm plná 4,0–11,0 m PVC 125/2,7 mm perforovaná Vystrojování dle technologického postupu. Perforace příčná štěrbinová šířky 1 mm, 10–15%.
Zaplášťové úpravy:	0,0–3,0 m zásyp odvrtaným materiálem 3,0–3,5 m cementace 3,5–4,0 m pískový přechod 4,0–11,0 m obsyp – šterková drť – 4–8 mm frakce
Úprava zhlaví vrtu:	pojezdové (hydrantové) zhlaví
Vyčištění vrtů:	odkalení kalovým čerpadlem

## Technické provedení monitorovacího vrtu HG-3

Lokalizace vrtu:	viz příloha č. 1
Technologie vrtání:	kvarterní sediment - rotační jádrová Ø 178 mm skalní podloží - rotační příklepová Ø 155 mm
Hloubka vrtu:	11,0 m
Vrtné průměry:	kvarterní sediment – Ø 178 mm skalní podloží - Ø 155 mm
Výplach:	stlačený vzduch (od báze kvarterních sedimentů)
Výstroj:	0,0–4,0 m PVC 125/2,7 mm plná 4,0–11,0 m PVC 125/2,7 mm perforovaná Vystrojování dle technologického postupu. Perforace příčná štěrbinová šířky 1 mm, 10–15%.
Zaplášťové úpravy:	0,0–3,0 m zásyp odvrtaným materiálem 3,0–3,5 m cementace 3,5–4,0 m pískový přechod 4,0–11,0 m obsyp – šterková drť – 4–8 mm frakce
Úprava zhlaví vrtu:	přírubové zhlaví (ocelová chránička prům. 165 mm)
Vyčištění vrtů:	odkalení kalovým čerpadlem

#### Technické provedení monitorovacího vrtu HG-4

Lokalizace vrtu:	viz příloha č. 1
Technologie vrtní:	kvarterní sediment - rotační jádrová Ø 178 mm skalní podloží - rotační příklepová Ø 155 mm
Hloubka vrtu:	11,0 m
Vrtné průměry:	kvarterní sediment – Ø 178 mm skalní podloží - Ø 155 mm
Výplach:	stlačený vzduch (od báze kvarterních sedimentů)
Výstroj:	0,0–4,0 m PVC 125/2,7 mm plná 4,0–11,0 m PVC 125/2,7 mm perforovaná Vystrojování dle technologického postupu. Perforace příčná štěrbinová šířky 1 mm, 10–15%.
Zaplášťové úpravy:	0,0–3,0 m zásyp odvrtaným materiálem 3,0–3,5 m cementace 3,5–4,0 m pískový přechod 4,0–11,0 m obsyp – štěrková drť – 4–8 mm frakce
Úprava zhlaví vrtu:	přírubové zhlaví (ocelová chránička prům. 165 mm)
Vyčištění vrtů:	odkalení kalovým čerpadlem

#### Technické provedení monitorovacího vrtu HG-5

Lokalizace vrtu:	viz příloha č. 1
Technologie vrtní:	kvarterní sediment - rotační jádrová Ø 178 mm skalní podloží - rotační příklepová Ø 155 mm
Hloubka vrtu:	11,0 m
Vrtné průměry:	kvarterní sediment – Ø 178 mm skalní podloží - Ø 155 mm
Výplach:	stlačený vzduch (od báze kvarterních sedimentů)
Výstroj:	0,0–4,0 m PVC 125/2,7 mm plná 4,0–11,0 m PVC 125/2,7 mm perforovaná Vystrojování dle technologického postupu. Perforace příčná štěrbinová šířky 1 mm, 10–15%.
Zaplášťové úpravy:	0,0–3,0 m zásyp odvrtaným materiálem 3,0–3,5 m cementace 3,5–4,0 m pískový přechod 4,0–11,0 m obsyp – štěrková drť – 4–8 mm frakce
Úprava zhlaví vrtu:	pojezdové (hydrantové) zhlaví
Vyčištění vrtů:	odkalení kalovým čerpadlem

### Technické provedení monitorovacího vrtu HG-6

Lokalizace vrtu:	viz příloha č. 1
Technologie vrtání:	kvarterní sediment - rotační jádrová Ø 178 mm
Hloubka vrtu:	11,0 m
Vrtné průměry:	kvarterní sediment – Ø 178 mm
Výplach:	stlačený vzduch (od báze kvarterních sedimentů)
Výstroj:	0,0–4,0 m PVC 125/2,7 mm plná 4,0–11,0 m PVC 125/2,7 mm perforovaná Vystrojování dle technologického postupu. Perforace příčná štěrbinová šířky 1 mm, 10–15%.
Zaplášťové úpravy:	0,0–3,0 m zásyp odvrtaným materiálem 3,0–3,5 m cementace 3,5–4,0 m pískový přechod 4,0–11,0 m obsyp – šterková drť – 4–8 mm frakce
Úprava zhlaví vrtu:	pojezdové (hydrantové) zhlaví
Vyčištění vrtů:	odkalení kalovým čerpadlem

### Technické provedení monitorovacího vrtu HG-7

Lokalizace vrtu:	viz příloha č. 1
Technologie vrtání:	kvarterní sediment - rotační jádrová Ø 178 mm
Hloubka vrtu:	11,0 m
Vrtné průměry:	kvarterní sediment – Ø 178 mm
Výplach:	stlačený vzduch (od báze kvarterních sedimentů)
Výstroj:	0,0–4,0 m PVC 125/2,7 mm plná 4,0–11,0 m PVC 125/2,7 mm perforovaná Vystrojování dle technologického postupu. Perforace příčná štěrbinová šířky 1 mm, 10–15%.
Zaplášťové úpravy:	0,0–3,0 m zásyp odvrtaným materiálem 3,0–3,5 m cementace 3,5–4,0 m pískový přechod 4,0–11,0 m obsyp – šterková drť – 4–8 mm frakce
Úprava zhlaví vrtu:	pojezdové (hydrantové) zhlaví
Vyčištění vrtů:	odkalení kalovým čerpadlem

### Technické provedení monitorovacího vrtu HG-8

Lokalizace vrtu:	viz příloha č. 1
Technologie vrtání:	kvarterní sediment - rotační jádrová Ø 178 mm skalní podloží - rotační příklepová Ø 155 mm
Hloubka vrtu:	11,0 m
Vrtné průměry:	kvarterní sediment – Ø 178 mm skalní podloží - Ø 155 mm

#### Analýza rizik Kaplice

Technická zpráva z vrtných prací

Výplach:	stlačený vzduch (od báze kvartérních sedimentů)
Výstroj:	0,0–4,0 m PVC 125/2,7 mm plná 4,0–11,0 m PVC 125/2,7 mm perforovaná Vystrojování dle technologického postupu. Perforace příčná štěrbinová šířky 1 mm, 10–15%.
Zaplášťové úpravy:	0,0–3,0 m zásyp odvrtným materiálem 3,0–3,5 m cementace 3,5–4,0 m pískový přechod 4,0–11,0 m obsyp – šterková drť – 4–8 mm frakce
Úprava zhlaví vrtu:	pojezdové (hydrantové) zhlaví
Vyčištění vrtů:	odkalení kalovým čerpadlem

### Technické provedení monitorovacího vrtu HG-9

Lokalizace vrtu:	viz příloha č. 1
Technologie vrtání:	kvartérní sediment - rotační jádrová Ø 178 mm skalní podloží - rotační příklepová Ø 155 mm
Hloubka vrtu:	11,0 m
Vrtné průměry:	kvartérní sediment – Ø 178 mm skalní podloží - Ø 155 mm
Výplach:	stlačený vzduch (od báze kvartérních sedimentů)
Výstroj:	0,0–4,0 m PVC 125/2,7 mm plná 4,0–11,0 m PVC 125/2,7 mm perforovaná Vystrojování dle technologického postupu. Perforace příčná štěrbinová šířky 1 mm, 10–15%.
Zaplášťové úpravy:	0,0–3,0 m zásyp odvrtným materiálem 3,0–3,5 m cementace 3,5–4,0 m pískový přechod 4,0–11,0 m obsyp – šterková drť – 4–8 mm frakce
Úprava zhlaví vrtu:	pojezdové (hydrantové) zhlaví
Vyčištění vrtů:	odkalení kalovým čerpadlem

### Technické provedení monitorovacího vrtu HG-10

Lokalizace vrtu:	viz příloha č. 1
Technologie vrtání:	kvartérní sediment - rotační jádrová Ø 178 mm skalní podloží - rotační příklepová Ø 155 mm
Hloubka vrtu:	11,0 m
Vrtné průměry:	kvartérní sediment – Ø 178 mm skalní podloží - Ø 155 mm
Výplach:	stlačený vzduch (od báze kvartérních sedimentů)
Výstroj:	0,0–4,0 m PVC 125/2,7 mm plná 4,0–11,0 m PVC 125/2,7 mm perforovaná

#### Analýza rizik Kaplice

Technická zpráva z vrtných prací

	Vystrojování dle technologického postupu. Perforace příčná štěrbinová šířky 1 mm, 10–15%.
Zaplášťové úpravy:	0,0–3,0 m zásyp odvrtaným materiálem 3,0–3,5 m cementace 3,5–4,0 m pískový přechod 4,0–11,0 m obsyp – štěrková drť – 4–8 mm frakce
Úprava zhlaví vrtu:	pojezdové (hydrantové) zhlaví
Vyčištění vrtů:	odkalení kalovým čerpadlem

### Provedení mělkých sond PS-1 až PS-5

Číslo vrtu	hloubka vrtu	vrtáno prům. 178 mm od - do
	/m/	/m/
PS-1	7	0 - 7
PS-2	7	0 - 7
PS-3	7	0 - 7
PS-4	7	0 - 7
PS-5	7	0 - 7
PS-6	7	0 - 7
PS-7	7	0 - 7
PS-8	7	0 - 7
PS-9	7	0 - 7
PS-10	7	0 - 7
PS-11	7	0 - 7
PS-12	7	0 - 7
PS-13	7	0 - 7
PS-14	7	0 - 7
PS-15	7	0 - 7
PS-16	7	0 - 7
<b>Celkem (m)</b>		

## ***Příloha 11***

### **Geodetická zpráva**



**GEODETICKÁ  
KANCELÁŘ  
KOLÍN**

Ing. Miloslav Kubín, Geodetická kancelář Kolín, Jaselská 60, Kolín III

tel.: 321 723 344, 777 278 760, iČO: 40006883, e-mail: [posta@geodet-kolin.cz](mailto:posta@geodet-kolin.cz), web: [www.geodet-kolin.cz](http://www.geodet-kolin.cz)

---

**Číslo zakázky: 112/2019**

**Objednatel: EKOSYSTEM s.r.o.**

**Katastrální území: KUTNÁ HORA**

## **GEODETICKÁ DOKUMENTACE SKUTEČNÉHO PROVEDENÍ PRŮZKUMNÉ VRTY V AREÁLU BÝVALÉ AVIE PROTOKOL č. 328/2019 TECHNICKÁ ZPRÁVA**

### **Podrobné měření**

Předmětem objednávky bylo zaměření skutečného provedení vrtů a dalších bodů v areálu a v jeho okolí dle požadavku objednatele a společné pochůzky s Mgr. Horkým.

Zaměření bylo provedeno dne 12.9.2019 ing. Miloslavem Kubínem z Geodetické kanceláře Kolín převážně polární metodou přístrojem Trimble S2 s připojením na pomocné měřické body určené metodou RTK aparaturou GNSS Trimble R2 s využitím služby Trimble VRS Now Czech.

Předmětem měření byly středy vrtů PS a HG, výšky u dvou studní a výšky hladiny říčky Vrchlice.

Celkem bylo zaměřeno 37 podrobných bodů.

### **Souřadnicové systémy**

Měření bylo provedeno:        -v souřadnicovém systému S-JTSK  
   -ve výškovém systému Bpv.

### **Přesnost výsledků měření**

Přesnost určených souřadnic je dána především možnou přesností určení středů vrtů, případně (ne)jednoznačností výšek terénu. Ve vrtech PS byly volně se pohybující plastové hadice, které neumožnili spolehlivější určení středů vrtů než  $\pm 0,05\text{m}$ . Přesnost použitých metod a přístrojů pro polohové určení souřadnic je vyšší než  $0,05\text{m}$ , přesnost v určení výšek technologií GNSS je  $\pm 0,05\text{m}$ . Připojení - měření technologií GNSS bylo provedeno 2x – opakovaně po 4 hodinách, výsledné hodnoty jsou průměrem ze dvou nezávislých určení.

### **Kancelářské zpracování**

Výpočetní a konstrukční práce byly provedeny programem Kokeš v. 13.70.

Výsledek je zobrazen ve výkresu ve vztahném měřítku 1:500 pro tisk ve formátu A1. Ve výkresu je také tabulka se souřadnicemi a výškami zaměřených bodů. Podkladem výkresu je výřez katastrální mapy, který je zobrazen šedou barvou.

## **Výsledná dokumentace**

Objednateli se předává balíček digitálně ověřených a podepsaných souborů, který obsahuje tuto technickou zprávu, seznam souřadnic měřených bodů v txt a výkres A1 ve formátu PDF a DXF.

V Kolíně dne 18. 9. 2019 vyhotovil ing. M. Kubín

*Náležitosti a přesnosti odpovídá  
právním předpisům a podmínkám  
dohodnutým s objednatelem*

Ověřil Ing. Miloslav Kubín  
č. ověření: 328/2019  
datum: 18. 9. 2019

**Seznam souřadnic bodů v systémech JTSK a Bpv - příloha k dokumentaci  
zak.č.112/2019 - vrty a sondy v areálu bývalé AVIE**

Název bodu	Y (m)	X (m)	Z (m) výška terénu nebo poklopu	Z(m) - výška zhlaví	Z-výška betonu kolem trubky	poznámka
HG-1	683593.93	1065481.60	221.20			šoupě
HG-2	683577.07	1065484.15	221.07			šoupě
HG-3	683521.11	1065482.23	221.23	221.92	221.33	trubka
HG-4	683546.38	1065487.71	221.46	221.46	221.00	trubka
HG-5	683567.58	1065509.00	220.96			šoupě
HG-6	683586.19	1065507.30	221.14			šoupě
HG-7	683651.73	1065505.84	221.39			šoupě
HG-8	683673.54	1065568.70	221.54			šoupě
HG-9	683654.66	1065584.18	221.19			šoupě
HG-10	683591.81	1065492.42	221.13			šoupě
PS-1	683551.71	1065441.10	221.17			terén v místě sondy
PS-2	683528.03	1065455.63	221.13			terén v místě sondy
PS-3	683589.42	1065465.08	221.25			terén v místě sondy
PS-4	683598.09	1065479.43	221.26			terén v místě sondy
PS-5	683567.09	1065492.06	220.93			terén v místě sondy
PS-6	683597.13	1065487.11	221.17			terén v místě sondy
PS-7	683591.63	1065488.52	221.15			terén v místě sondy
PS-8	683582.16	1065494.94	221.00			terén v místě sondy
PS-9	683585.37	1065499.42	221.10			terén v místě sondy
PS-10	683558.70	1065499.32	220.87			terén v místě sondy
PS-11	683635.47	1065546.17	221.28			terén v místě sondy
PS-12	683660.80	1065558.60	220.50			podlaha v místě sondy
PS-13	683656.46	1065554.28	220.51			podlaha v místě sondy
PS-14	683652.11	1065549.39	220.50			podlaha v místě sondy
PS-15	683678.53	1065534.67	220.53			podlaha v místě sondy
PS-16	683353.47	1065629.82	217.71			terén v místě sondy
ST 1	683580.43	1065503.59	221.66			vršek skruže studny
ST 1			221.10			terén u studny
HLA 1	683410.84	1065721.43	215.15			hladina vody Vrchlice
HLA 2	683358.60	1065689.91	215.06			hladina vody Vrchlice
HLA 3	683312.82	1065654.84	214.78			hladina vody Vrchlice
PODLAHA	683652.36	1065620.13	218.43			podlaha před dveřmi obezděné studny
SCHOD	683653.54	1065619.00	219.46			horní schod před vstupem ke studni

Vyhotovil a ověřil ing.M.Kubín 19.9.2019  
č.ověření: 328/2019



## ***Příloha 12***

### **Matematický model**

## Model proudění podzemní vody a transportu kontaminace v areálu bývalého podniku AVIA Kutná Hora



**Název zprávy:** Model proudění podzemní vody a transportu kontaminace  
v areálu bývalého podniku AVIA Kutná Hora

**Zadavatel :** EKOSYSTEM, spol. s r.o.  
Podkovářská 6  
190 00 Praha 9  
IČO: 44851804  
DIČ: CZ44851804



**Zhotovitel:** PROGEO, s.r.o.  
Tiché Údolí 113  
252 63 Roztoky u Prahy  
IČO: 49551019  
DIČ: CZ49551019  
tel.: [redacted] fax.: [redacted]  
e-mail: [redacted]  
<https://www.1progeo.cz>



**Odpovědný zpracovatel úkolu:** [redacted]

**Ředitel společnosti:** [redacted]

**Spolupracovali:** [redacted]

## Obsah:

<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>3</b>
<b>2 METODIKA ŘEŠENÍ ÚKOLU .....</b>	<b>3</b>
<b>3 VSTUPNÍ INFORMACE PRO ŘEŠENÍ ÚKOLU .....</b>	<b>4</b>
3.1 STRUČNÉ GEOLOGICKÉ POMĚRY (HORKÝ, 2018) .....	4
3.2 STRUČNÉ HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY .....	5
3.3 PODZEMNÍ ODTOK, INFILTRACE .....	5
3.4 ZÁMĚR HLADIN PODZEMNÍ VODY, POMĚRY PROUDĚNÍ .....	6
3.5 KONTAMINACE LOKALITY .....	7
3.6 VÝCHODISKA KONCEPČNÍHO MODELU .....	8
<b>4 MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ PROUDĚNÍ PODZEMNÍ VODY .....</b>	<b>10</b>
4.1 DISKRETIZACE ÚZEMÍ, OKRAJOVÉ PODMÍNKY, HYDRAULICKÉ A KAPACITNÍ PARAMETRY ..	10
4.2 STACIONÁRNÍ SIMULACE – KALIBRACE .....	11
4.3 STACIONÁRNÍ SIMULACE – PŘEHLED VÝSLEDKŮ .....	13
<b>5 MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ PROUDĚNÍ TRANSPORTU KONTAMINACE .....</b>	<b>13</b>
5.1 SORPCE VYBRANÝCH KONTAMINANTŮ .....	14
5.2 ROZPAD .....	14
5.3 SIMULACE TRANSPORTU C10-C40, VARIANTA V1, SOUČASNÉ ROZLOŽENÍ KONCENTRACÍ	15
5.3.1 <i>Predikce vývoje při odstranění zdrojů kontaminace, Varianta V1</i> .....	18
5.4 SIMULACE TRANSPORTU C10-C40, VARIANTA V2, SOUČASNÉ ROZLOŽENÍ KONCENTRACÍ	19
5.4.1 <i>Predikce vývoje při odstranění zdrojů kontaminace, Varianta V2</i> .....	21
5.5 SIMULACE TRANSPORTU PAU – BENZO(A) PYRENU, SOUČASNÉ ROZLOŽENÍ KONCENTRACÍ	23
5.5.1 <i>Predikce vývoje při odstranění zdrojů kontaminace</i> .....	25
<b>6 ZÁVĚR – PŘEHLED VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>26</b>
<b>7 POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>29</b>

### Seznam obrázků (a grafů) v textu:

Obr. 1 Okraj modelové sítě, aktivní plocha modelu .....	10
Obr. 2 Porovnání měřených a modelových hladin – rezidua .....	12
Obr. 3 Porovnání měřených a modelových hladin – absolutní hodnoty .....	12
Obr. 4 Vymezené zdroje kontaminace, transport C10-C40, varianta V1 .....	16
Obr. 5 Průběh koncentrací v průzkumných vrtech a sondách, transport C10-C40, varianta V1 .....	17
Obr. 6 Průběh koncentrací v průzkumných vrtech a sondách, transport C10-C40, varianta V1, odstranění zdroje v čase 40 let od začátku kontaminace .....	18
Obr. 7 Vymezené zdroje kontaminace, transport C10-C40, varianta V2 .....	20
Obr. 8 Průběh koncentrací v průzkumných vrtech a sondách, transport C10-C40, varianta V2 .....	20
Obr. 9 Vývoj celkové hmotnosti kontaminantu C10-C40 v kolektoru kvartéru, varianta V2 s odstraněním zdroje kontaminace 40 let po jejím začátku .....	22
Obr. 10 Průběh koncentrací v průzkumných vrtech a sondách, transport C10-C40, varianta V2, odstranění zdroje v čase 40 let od začátku kontaminace .....	22
Obr. 11 Vymezené zdroje kontaminace, transport benzo(a)pyrenu .....	23
Obr. 12 Průběh koncentrací v průzkumných vrtech a sondách, transport benzo(a)pyrenu .....	24
Obr. 13 Průběh koncentrací v průzkumných vrtech a sondách, transport benzo(a)pyren, odstranění zdroje v čase 40 let od začátku kontaminace .....	25

### Seznam tabulek v textu:

Tab. 1 Přehled simulovaných variant .....	4
Tab. 2 Měřené hladiny podzemní vody .....	6
Tab. 3 Měřené hladiny podzemní vody, vrty AHK rok 2008,2009 .....	7
Tab. 4 Kontaminace vybraných látek v průzkumných vrtech a sondách .....	8
Tab. 5 Základní parametry modelové výpočetní sítě v [m] .....	10
Tab. 6 Bilance stacionárního modelu proudění .....	13
Tab. 7 Transportní parametry simulace šíření C10-C40, varianta V1 .....	15
Tab. 8 Kumulativní a aktuální bilance kontaminantu C10-C40 v kolektoru po 40 letech šíření, varianta V1 .....	17
Tab. 9 Kumulativní a aktuální bilance kontaminantu C10-C40 v kolektoru po 45 letech šíření, varianta V1 při předpokladu odstranění zdroje po 40 letech .....	19
Tab. 10 Transportní parametry simulace šíření C10-C40, varianta V2 .....	19
Tab. 11 Kumulativní a aktuální bilance kontaminantu C10-C40 v kolektoru po 40 letech šíření, varianta V2 .....	21
Tab. 12 Kumulativní a aktuální bilance kontaminantu C10-C40 v kolektoru po 45 letech šíření, varianta V1 při předpokladu odstranění zdroje po 40 letech .....	21
Tab. 13 Transportní parametry simulace šíření benzo(a)pyrenu .....	23
Tab. 14 Kumulativní a aktuální bilance kontaminantu benzo(a)pyren v kolektoru po 40 letech šíření	25
Tab. 15 Kumulativní a aktuální bilance kontaminantu benzo(a)pyren v kolektoru po 45 letech šíření, při předpokladu odstranění zdroje po 40 letech .....	26

## 1 Úvod

Ve zprávě, zpracované na základě objednávky firmy EKOSYSTEM spol. s r.o., je dokumentováno zpracování a výsledky modelového řešení proudění podzemní vody a transportu kontaminace v prostoru areálu bývalého závodu AVIA v Kutné Hoře. Modelové řešení je realizováno v souvislosti s analýzou rizik ekologických zátěží v areálu. Předkládaný materiál vychází ze zadávací dokumentace poskytnuté objednatelem, která se skládá především z realizačního projektu analýzy rizika, archivních, a především aktuálních výsledků provedených průzkumných prací.

Předmětem modelového hodnocení je šíření kontaminace prostřednictvím podzemní vody ze dvou zdrojů znečištění vymezených provedenými průzkumnými pracemi. Vzhledem k výsledkům analýz byly zpracovány simulace šíření kontaminace ropnými uhlovodíky C10-C40 a kontaminace benzo(a)pyrenem (jako vybraného zástupce PAU přítomného v nadlimítní koncentraci).

Dokumentované práce zahrnují:

- Model proudění podzemní vody v širší oblasti areálu pro stanovení směru proudění podzemní vody a velikosti průtoku podzemní vody v oblasti kontaminovaného kolektoru.
- Transportní model, který obsahuje:
  - vymezení modelových zdrojů (ohnisek) kontaminace,
  - simulace s výpočtem "intenzity zdroje" a stávajícího rozsahu a bilance kontaminace,
  - simulace vývoje rozložení kontaminace v případě úplné eliminace jejího zdroje.

Zpráva je členěna na textovou část a na přílohovou část s mapovou dokumentací. Mapové výstupy jsou založeny na projekci S-JTSK/Křovák.

## 2 Metodika řešení úkolu

Matematický model proudění podzemní vody v širším okolí areálu bývalého závodu AVIA v Kutné Hoře byl zpracován v softwaru MODFLOW2005. Model transportu kontaminace byl zpracován v programu MT3DMS. Vzhledem ke geologické stavbě oblasti, hydrogeologickým charakteristikám a charakteru kontaminace (kap.3) bylo zvoleno jednovrstevné modelové řešení.

Zvolená oblast modelu (aktivní modelové území) pokrývá výrazně větší oblast, než je detailně zkoumaná oblast areálu bývalého podniku AVIA (Příloha 1.1). Cílem volby širšího rozsahu zadání modelu je analýza směrů a velikosti přítoku podzemní vody do prostoru kontaminovaného kolektoru v zájmovém průmyslovém areálu a transparentní zadání okrajových podmínek – veškeré simulované zdroje podzemní vody pochází ze zadané srážkové infiltrace v modelovém území. Přítok, ani odtok podzemní vody přes hranice modelu není simulován.

Kalibrace modelu proudění byla provedena na základě hladinového kritéria. V areálu Avia byly ke kalibraci využity údaje o úrovních hladin podzemní vody z aktuálního vrtného průzkumu a průzkumu, který byl realizován v letech 2008 a 2009 (Zýma, 2009). V širší oblasti východní poloviny modelového území byla při kalibraci použita data měřených úrovní hladin podzemní vody z vrtné databáze ČGS (Příloha 1.1). V západní polovině území nebyla ke kalibraci použita měřená data a kalibrace byla provedena pouze na předpokladu konformnosti hladiny podzemní vody v kvartérním kolektoru s terénem.

Výsledky kalibrace jsou doloženy především pomocí hladinového kritéria (porovnání měřených a modelových hladin při regionálních záměrech v letech 2012 a 2018). Bilanční kritérium je v modelu

uplatněno implicitně - při simulacích zrealizovaných variant odběrů byl použit kvalifikovaný odhad průměrné velikosti přírodních zdrojů (modelové infiltrace)  $1.5 - 1.7 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ . Pro explicitní uplatnění bilančního kritéria v podobě porovnání modelových a měřených příronů podzemní vody do toků nejsou k dispozici měřená data.

Situace objektů detailního zájmového území areálu bývalého podniku AVIA je vykreslena v příloze 1.2. Areál je situován v ploché oblasti (cca 215 až 222 m n.m.) dolní levobřežní části hydrologického povodí 1-04-01-033. Jedná se o drenážní oblast kvartérního kolektoru na levém břehu toku Vrchlice. Vzdálenost zdrojů kontaminace od toku je cca 300 m. Potenciální rozsah kontaminačního mraku v saturovaném prostředí je tak omezen na bezprostřední okolí zdrojové oblasti a prostor areálu bývalého závodu AVIA.

Modelové hodnocení je založeno na stacionární simulaci proudění podzemní vody a na simulacích transportu vybraných kontaminantů (Tab. 1). Kalibrace modelu proudění podzemní vody proběhla v rámci simulace současných poměrů proudění při aktuálním průzkumu. Drobné dílčí úpravy proběhly při analýze směrů proudění při simulaci transportu C10-C40. Transportní model je rozdělen na simulaci současného rozložení kontaminace s odhadem intenzity zdroje kontaminačního mraku a na prognózní simulace dalšího vývoje při úplném odstranění (sanaci) zdroje.

**Tab. 1 Přehled simulovaných variant**

Simulace	Zdroj kontaminace	Účel simulace	
Stacionární simulace	Současný stav	Současný stav proudění k roku 2019	Kalibrace stacionárního modelu proudění podzemní vody; archivní data a nové poznatky z průzkumu a měření provedených v rámci stávající AR
Transientní simulace		Současný stav rozšíření kontaminace k roku 2019	Modelový odhad intenzity zdroje kontaminace; modelový odhad množství rozpuštěného a sorbovaného kontaminantu a modelová interpretace zasažené plochy. Varianty V1 a V2
	Odstranění zdroje kontaminace	Prognóza stavu rozšíření kontaminace po deaktivaci zdroje	Modelový odhad množství rozpuštěného a sorbovaného kontaminantu a modelová interpretace zasažené plochy. Varianty V1 a V2

### 3 Vstupní informace pro řešení úkolu

#### 3.1 Stručné geologické poměry (Horký, 2018)

Z regionálně geologického hlediska je zájmové území řazeno ke Kutnohorskému krystaliniku. Skalní podloží je tvořeno metamorfovanými horninami, ortorulami a svorovými rulami. Dle orientačního výpisu z databáze ČGS (Geofond) se metamorfity krystalinika nacházejí od hloubky cca 17 až 30 m. Metamorfity jsou překryty křídovými sedimenty spodního turonu, zastoupenými šedými až šedookrovými slínovci a písčitými slínovci. V nadloží křídových sedimentů se nacházejí v různých mocnostech šterky, šterkopísky a písky, překryté černými jílovými hlínami (hnilokaly) o mocnosti 1-4

m. Tyto uloženiny jsou lokálně překryty sprašovými hlínami. Celková mocnost kvartérních sedimentů dosahuje 7,5 až 10,5 m (včetně recentních navážek). Dle dostupných informací se v prostoru zájmového území, resp. v jeho jižní a centrální části, nacházel rybník, který byl zasypán nesourodými, proměnlivě ulehými navážkami (tvořenými stavebním odpadem a zeminou) o mocnosti cca do 5 m.

### 3.2 Stručné hydrogeologické poměry

Kvartérní kolektor zájmového území je součástí hg. rájónu 434 – Čáslavská křída. V širší zájmové oblasti modelového území tvořeného levobřežní částí hydrologického povodí 1-04-01-033 je možné vyčlenit dva dílčí hydrogeologické kolektory. Jedná se o kolektor kvartérních, dominantně průlinově propustných, sedimentů tvořený směsí deluviálních, fluviálních, eolických a antropogenních sedimentů a dominantně puklinově propustný kolektor svrchní křídly tvořený v oblasti areálu bývalého závodu AVIA slínovci. Sedimenty svrchní křídly na rozhraní s kvartérním pokryvem představují díky svému petrografickému vývoji v prostoru areálu bazální izolátor (Horký, 2018).

Hladina v kvartérním kolektoru je podle předpokladů generelně volná, konformní s terénem. Podle údajů z archivních i nových vrtů s měřením hladiny se hladina podzemní vody nachází v hloubce cca 0.5 až 6 m pod terénem, přičemž u vrtů a sond realizovaných v rámci nově realizovaného průzkumu v areálu bývalého podniku AVIA se hladiny pohybují v rozsahu 3.4 až 5.8 m pod terénem. Hladina může být lokálně i mírně napjatá vlivem překrytí propustnějších zahliněných štěrků málo propustnými sprašovými hlínami. Podle dříve provedených orientačních hydrodynamických testů (Tyřš, 1994 a Zýma, 2008) se koeficienty hydraulické vodivosti kvartérního kolektoru v prostoru areálu pohybují v rozsahu  $6.10^{-6}$  až  $1.10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$ . Z omezeného souboru dat vrtné dokumentace v archivu ČGS (7 dalších vrtů s uvedenou hodnotou hydraulické vodivosti) je patrné, že vrt v jihozápadním a západním okolí areálu (ve vzdálenosti cca 500-1000 m) vykazovaly podobné hodnoty hydraulické vodivosti v rozsahu  $5.10^{-6}$  až  $4.10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$ . Generelní směr proudění podzemní vody je dán polohou a úrovní drenážní báze (kterou představuje Vrchlice s úrovní cca 214 m n.m.) a morfologií terénu v širším okolí zájmového území. Terén v severní a západní části vymezeného modelového území dosahuje nadmořské výšky nad 330 m n.m. a směrem k zájmovému areálu bývalého podniku AVIA (směrem k jihu a východu) klesá na úroveň cca 220 m n.m. (Příloha 1.3). Generelní směr proudění podzemní vody v kvartérním kolektoru areálu je tak od ZSZ k JVJ. K lokálním změnám směrů proudění může docházet vlivem existence preferenčních cest daných nehomogenitou a značným antropogenním ovlivněním kvartérního kolektoru v městské zástavbě.

V bezprostředním okolí areálu bývalého podniku AVIA nedochází podle databáze ISVS k žádnému evidovanému odběru podzemní vody. Cca 600m vzdušnou čarou jihovýchodně od zdrojové oblasti kontaminace na pravém břehu Vrchlice je evidován menší odběr u ČOV ( $0.34 \text{ l.s}^{-1}$ ). Cca 900 m VSV od zdroje kontaminace je evidováno čerpání  $0.21 \text{ l.s}^{-1}$  v areálu Philip Morris Kutná Hora. Vzhledem k hydrogeologické pozici evidovaných odběrů a oblastí zájmového areálu nelze předpokládat jakékoli vzájemné ovlivnění.

### 3.3 Podzemní odtok, infiltrace

Stanovení základního odtoku, který odpovídá efektivní srážkové infiltraci, v kvartérním kolektoru v zastavěné městské oblasti je obtížné. Infiltrace srážkové vody je v těchto oblastech znesnadněna a lokálně k ní přes zpevněné povrchy vůbec nedochází. Na druhou stranu netěsné vodovodní a kanalizační řady, trativody a umělé drenáže infiltraci lokálně uměle navyšují. Mapa odtoku podzemní vody na území Československa (Krásný et al., 1982) udává hodnotu  $1-2 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ . Tato přibližná hodnota

byla, vzhledem k nedostatku jakýchkoli dalších údajů o skutečné infiltraci nebo režimu průtoku ve Vrchlici použita jako výchozí hodnota pro kalibraci modelu.

### 3.4 Záměr hladin podzemní vody, poměry proudění

V rámci realizovaných technických prací byly v roce 2019 provedeny na průzkumných vrtech a sondách dva záměry ustálených hladin podzemní vody. Úrovně hladin z 10.9.2019 a 2.10.2019 jsou spolu s hloubkou hladiny naražené při vrtání dokumentovány v Tab. 2. Tyto záměry hladin představovaly základní údaje pro kalibraci modelu podle hladinového kritéria. Kromě údajů z nových vrtů a sond byly při kalibraci využity i měřené hladiny podzemní vody ve vrtech AHK-1 až AHK-10 z roku 2008 a 2009 (Zýma, 2009) a další údaje o měření hladiny podzemní vody z širšího okolí areálu převzaté z vrtné dokumentace ČGS. Při kalibraci byl brán ohled na časovou nesouslednost jednotlivých souborů měřených hladin při uvážení předpokladu přirozeného rozkvyu hladiny podzemní vody v řádu jednotek až prvních desítek centimetrů, který odpovídá obvyklým podmínkám v kvartérním kolektoru s velmi nízkým hydraulickým gradientem. Měřené objekty jsou zobrazeny v přílohách 1.1 a 1.2.

**Tab. 2 Měřené hladiny podzemní vody**

Označení vrtu/sondy	Xkr	Ykr	Naražená hladina (m p.t.)	Ustálená hladina 10.9.2019 (m od OB)	Ustálená hladina 2.10.2019 (m od OB)	Hladina naražená (m n.m.)	Hladina 10.9.2019 (m n.m.)	Hladina 2.10.2019 (m n.m.)
HG-1	-683593.93	-1065481.60	5.3	4.85	4.94	215.9	216.35	216.26
HG-2	-683577.07	-1065484.15	4.95	4.68	4.85	216.12	216.39	216.22
HG-3	-683521.11	-1065482.23	6.25	5.66		214.98	216.26	
HG-4	-683546.38	-1065487.71	6.1	5.06		215.36	216.4	
HG-5	-683567.58	-1065509.00	7.2	5.01		213.76	215.95	
HG-6	-683586.19	-1065507.30	5.45		5.16	215.69		215.98
HG-7	-683651.73	-1065505.84	5.3	3.37	3.5	216.09	218.02	217.89
HG-8	-683673.54	-1065568.70	5.2	4.96	5.02	216.34	216.58	216.52
HG-9	-683654.66	-1065584.18	5.15	4.62	4.79	216.04	216.57	216.4
HG-10	-683591.81	-1065492.42	6.4	4.98	5.03	214.73	216.15	216.1
PS-1	-683551.71	-1065441.10	5.7	5.23		215.47	216.24	
PS-2	-683528.03	-1065455.63	5	5.26		216.13	216.22	
PS-3	-683589.42	-1065465.08	6.3	4.9	5.01	214.95	216.35	216.24
PS-4	-683598.09	-1065479.43	5.55	5.4	5.49	215.71	216.76	216.67
PS-5	-683567.09	-1065492.06	5.05	5.05	5.19	215.88	216.38	216.24
PS-6	-683597.13	-1065487.11	5.35	5.1	5.26	215.82	216.52	216.36
PS-7	-683591.63	-1065488.52	4.95	5.65	5.76	216.2	216	215.89
PS-8	-683582.16	-1065494.94	5.15			215.85		
PS-9	-683585.37	-1065499.42	5.5	4.82	4.95	215.6	216.88	216.75
PS-10	-683558.70	-1065499.32	6.4	4.98	5.1	214.47	216.39	216.27
PS-11	-683635.47	-1065546.17	5.5	4.76	4.55	215.78	216.52	216.73
PS-12	-683660.80	-1065558.60	4.7	4	4.07	215.8	216.5	216.43
PS-13	-683656.46	-1065554.28	4.6	4.06	4.15	215.91	216.45	216.36
PS-14	-683652.11	-1065549.39	4.75	4.12	4.18	215.75	216.38	216.32
PS-15	-683678.53	-1065534.67	4.7			215.83		
PS-16	-683353.47	-1065629.82	6.8	4.2	4.28	210.91	215.16	215.08

Tab. 3 Měřené hladiny podzemní vody, vrty AHK rok 2008,2009

Označení vrtu	Xkr	Ykr	Hladina ustálená (m)	Hladina ustálená (m n.m.)
AKH-1	-683590	-1065478	4.9	216.23*
AKH-2	-683567	-1065614	2.68	215.92*
AKH-3	-683328	-1065619	2.74	215.99*
AKH-4	-683331	-1065515	3.44	214.64*
AKH-5	-683584.49	-1065504.4	4.85	216.49
AKH-6	-683658.19	-1065569.8	4.88	216.49
AKH-7	-683574.25	-1065576.2	4.67	217.27
AKH-8	-683551.72	-1065666.2	1.4	215.54
AKH-9	-683341.65	-1065501.6	3.3	215.34
AKH-10	-683513	-1065520	4.3	216.23

\* Odměrný bod a souřadnice odečteny z mapy a digitálního modelu terénu

### 3.5 Kontaminace lokality

Předpokládané hlavní zdroje kontaminace, na které je zaměřena stávající analýza rizika, byly vymezeny provedeným vrtným průzkumem a následnou analýzou vzorků vody a zeminy. Průzkum byl zaměřen na prostor haly bývalé automatárny a prostor bývalého šrotiště (Příloha 1.4). V některých realizovaných průzkumných vrtech a sondách byla zastižena volná fáze znečištění ropnými látkami lehčími než voda ve formě volné fáze na hladině podzemní vody (Tab. 4). Ve všech nově realizovaných průzkumných objektech byly odebrány vzorky a analyzovány koncentrace organických uhlovodíků ve formě stanovení sumy C10 až C40. Ve většině vrtů byly stanoveny koncentrace vyšší než je stanovený indikátor znečištění 0.5 mg.l<sup>-1</sup> (MP MŽP 2014). Na vzorcích z vrtů PS-6, HG-6 a HG-10 byla provedena analýza jednotlivých frakcí a bylo stanoveno, že majoritně je v podzemní vodě zastoupena těžší frakce C21-C38 (68% v PS-6 a 85% v HG-6 a HG-10). Majoritně se tedy jedná o těžší minerální oleje doplněné těžkou frakcí C35-C40 (7-9%) a lehkou frakcí (7-25% C10-C20). V literatuře je rozpustnost a mobilita v podzemní vodě v závislostech na parametrech konkrétní lokality obvykle popisována jako velmi nízká. V Zýma (2009) je uvedena laboratorně stanovená mezní rozpustnost ropných uhlovodíků ve stejné zdrojové oblasti 1.5 mg.l<sup>-1</sup>. Při aktuálním průzkumu byla maximální koncentrace stanovena v sondě PS-13, kde bylo v analyzovaném vzorku měřeno 99.2 mg.l<sup>-1</sup> C10-C40. I v dalších 14 objektech byla koncentrace stanovena nad limitem rozpustnosti z roku 2009. V prostoru bývalého šrotiště dosahují koncentrace hodnot 27.8 mg.l<sup>-1</sup>. Protože laboratoř nepotvrdila ve vzorcích přítomnost fáze nebo oddělené emulze, a zároveň nebyl limit rozpustnosti ropných látek při současném průzkumu stanoven, byla v rámci modelových prací realizována i varianta s předpokladem, že limit rozpustnosti je vyšší než rozbor stanovene nejvyšší koncentrace. Tento předpoklad má ale výrazný vliv na celkovou bilanci kontaminantu v podzemní vodě. Zároveň vlivem nejednoznačně definované maximální saturace roztoku se zvyšuje stupeň volnosti modelového řešení a snižuje se objektivní míra jistoty. Jako druhá byla realizována varianta transportu, ve které byl ve stejné zdrojové oblasti uplatněn limit rozpustnosti 1.5 mg.l<sup>-1</sup>.

Kromě ropných uhlovodíků byly ve 4 dalších objektech (PS-8, PS-12, HG-4 a HG-10) stanoveny polyaromatických uhlovodíků (PAU). Ve všech 4 analyzovaných vzorcích byl překročen indikátor znečištění pro benzo(a)pyren (0.018 až 0.355 µg.l<sup>-1</sup>). V odborné literatuře je maximální rozpustnost

této látky uváděna v rozsahu 0.1 až 6.2  $\mu\text{g.l}^{-1}$ . Přestože vzhledem k malému množství stanovení není možné vymezit zdrojovou oblast PAU, byl i pro tento kontaminant zpracován orientační transportní model.

**Tab. 4 Kontaminace vybraných látek v průzkumných vrtech a sondách**

Označení vrtu/sondy	Xkr	Ykr	Koncentrace C10-C40 (mg/l)	Mocnost fáze RL 10.9.2019 (mm)	Mocnost fáze RL 2.10.2019 (mm)	Koncentrace Benzo(a)pyren ( $\mu\text{g/l}$ )
HG-1	-683593.9	-1065481.6	1.28	0	0	-
HG-2	-683577.1	-1065484.2	2.71	0	2	-
HG-3	-683521.1	-1065482.2	<0.05	0	0	-
HG-4	-683546.4	-1065487.7	2.22	50	50	-
HG-5	-683567.6	-1065509	0.78	0	0	-
HG-6	-683586.2	-1065507.3	27.8	100	100	-
HG-7	-683651.7	-1065505.8	0.637	0	0	-
HG-8	-683673.5	-1065568.7	0.607	50	60	0.355
HG-9	-683654.7	-1065584.2	1.11	200	200	-
HG-10	-683591.8	-1065492.4	19.5	0	0	-
PS-1	-683551.7	-1065441.1	1.05	0	0	0.071
PS-2	-683528	-1065455.6	0.614	0	0	-
PS-3	-683589.4	-1065465.1	15.4	0	15	-
PS-4	-683598.1	-1065479.4	27	0	0	-
PS-5	-683567.1	-1065492.1	1.77	0	0	-
PS-6	-683597.1	-1065487.1	13.9	0	0	-
PS-7	-683591.6	-1065488.5	5.54	7	0	-
PS-8	-683582.2	-1065494.9	25.6	0	0	-
PS-9	-683585.4	-1065499.4	15	0	0	0.018
PS-10	-683558.7	-1065499.3	1.25	0	0	-
PS-11	-683635.5	-1065546.2	0.761	10	10	-
PS-12	-683660.8	-1065558.6	14.1	0	0	-
PS-13	-683656.5	-1065554.3	99.2	0	0	-
PS-14	-683652.1	-1065549.4	<0.05	0	0	-
PS-15	-683678.5	-1065534.7	<0.05	250	250	0.351
PS-16	-683353.5	-1065629.8	<0.05	0	0	-
AKH-6	-683658.2	-1065569.8	3.19	0	0	-

### 3.6 Východiska koncepčního modelu

Koncepce matematického modelu proudění podzemní vody a transportu kontaminace je založena na následujících informacích a předpokladech:

- Kolektor je v modelovém území zdola omezen bází kvartérních sedimentů. Veškeré proudění se odehrává pouze v tomto kolektoru.
- Tok Vrchlice představuje drenážní bází proudění podzemních vody v modelové oblasti.
- K dotaci podzemní vody v modelu dochází prostřednictvím efektivní srážkové infiltrace v celé ploše modelu. Srážková infiltrace v hustě zastavěných oblastech města je mírně nižší než v oblastech s méně hustou nebo žádnou zástavbou.

- V modelovém území není žádný evidovaný odběr podzemní vody, který by ovlivňoval režim proudění, transportu nebo bilanční poměry v širším prostoru předpokládaného transportu kontaminace.
- Nezdokumentované odběry z domovních studní nejsou v modelu uvažovány. Jejich potenciální význam je pouze lokální a dané objekty neovlivnily hlavní směry šíření kontaminace.
- V oblasti areálu bývalého závodu AVIA byly nejčastěji stanoveny koeficienty hydraulické vodivosti v řádu  $10^{-5}$  až  $10^{-4}$  m.s<sup>-1</sup>. Koeficienty byly stanoveny pouze orientačními hydrodynamickými testy (slug/bail testy), které poskytují informaci o hydraulické vodivosti pouze pro bezprostřední okolí vrtů.
- Pórovitost kolektoru byla pro všechny simulace stanovena na 10%.
- Aktuálním průzkumem byly vymezeny dvě zdrojové oblasti kontaminace. Jedná se o halu bývalé automatárny a prostor bývalého šrotiště.
- Ke kontaminaci ropnými látkami (vyjádřenými v rozbořích sumou koncentrace C10-C40) docházelo na povrchu. Po gravitačním transportu přes nenasycenou zónu došlo k akumulaci ropné fáze v prostoru kapilární třásně, proměnlivého nasycení a na hladině podzemní vody. Z tohoto prostoru se ropné látky v možnostech jejich omezené rozpustnosti ve vodě dostávají do podzemní vody a jsou předmětem advekčně-disperzního transportu saturevanou zónou.
- Limit rozpustnosti směsi C10-C40 nebyl při aktuálním průzkumu stanoven, a je tedy v první modelové variantě (V1) předpokládán minimálně na úrovni nejvyšší stanovené koncentrace.
- Limit rozpustnosti směsi C10-C40 byl na této lokalitě stanoven v roce 2009 na 1.5 mg.l<sup>-1</sup> (Zýma, 2009), ve druhé modelové variantě (V2) je pro stejnou zdrojovou oblast předpokládán stanovený limit rozpustnosti.
- Zdroj vymezený přítomností fáze ropných látek na hladině podzemní vody je vzhledem k jejich vlastnostem, charakteru kolektoru (vysoké TOC) a zvodně (s minimálním sklonem hladiny) zcela nebo jen velmi omezeně mobilní. Současná poloha zdroje kontaminace C10-C40 je víceméně shodná s polohou původního zdroje.
- V areálu jsou i další, dílčí a méně významné zdroje kontaminace, které nejsou současným průzkumem podchyceny a není možné je v modelu zohlednit.
- Rozsah transportních parametrů určujících mobilitu kontaminace pro směs ropných uhlovodíků (s převahou těžších minerálních olejů) je velmi široký. Simulace byly realizovány s ohledem na vyšší bezpečnost, což znamená, že byla předpokládána vyšší mobilita a nižší přirozená biodegradace, než je obvykle uváděno v literatuře a před tabelárními hodnotami byly upřednostněny hodnoty stanovené kalibrací výpočtu.
- Pro transport benzo(a)pyrenu nebylo možné na základě průzkumu (pouze 4 analyzované objekty) stanovit zdrojové oblasti. V modelu proto bylo předpokládáno, že zdrojová oblast benzo(a)pyrenu je přibližně shodná s rozsahem zdrojů uhlovodíků C10-C40.
- Model předpokládá, že současný rozsah kontaminace saturevané zóny v zájmové lokalitě je výsledkem dlouhodobého uvolňování kontaminantů ze zdroje (v modelu bylo zvolena doba přítomnosti kontaminace na lokalitě 40 let).

#### 4 Matematické modelování proudění podzemní vody

##### 4.1 Diskretizace území, okrajové podmínky, hydraulické a kapacitní parametry

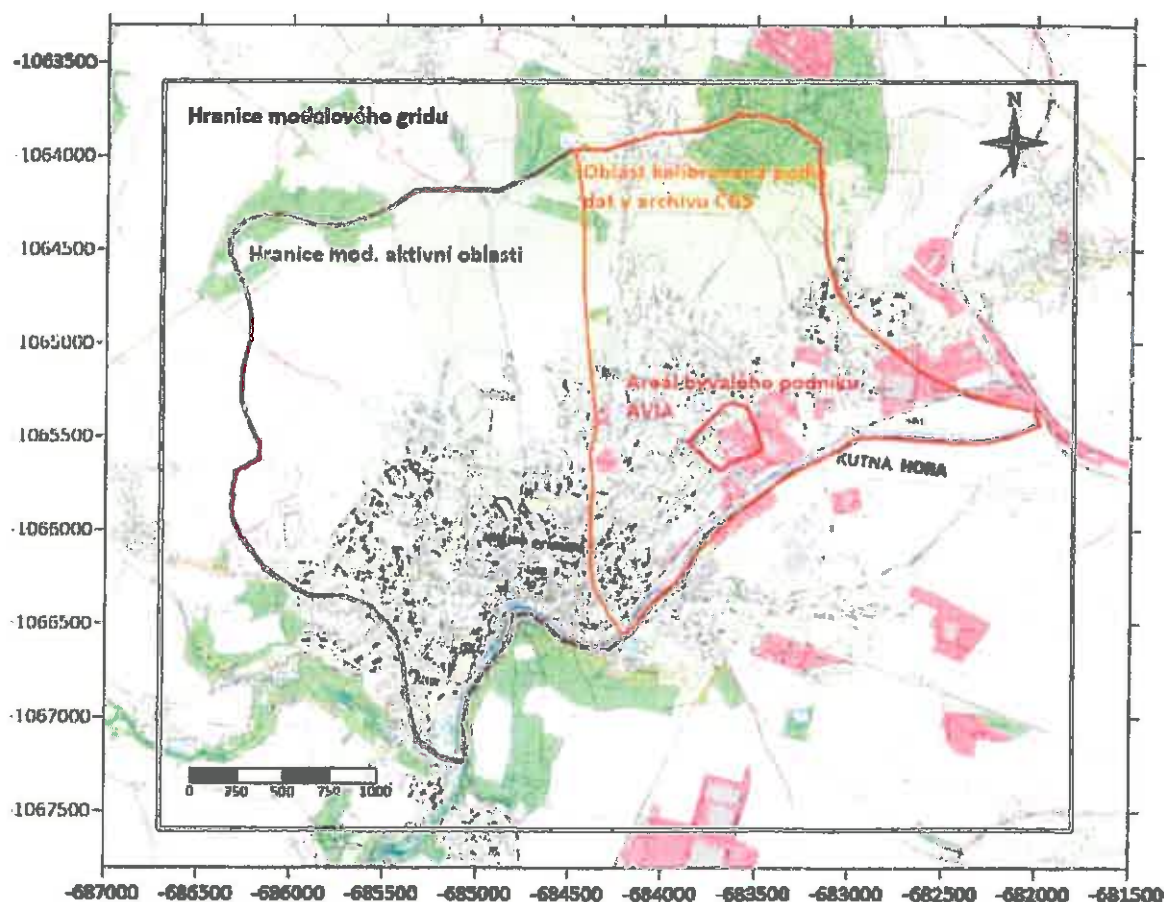
**Tab. 5 Základní parametry modelové výpočetní sítě v [m]**

	mín	max	dX	dY	sloupců	řádek
X <sub>kr</sub>	-686700	-681800	4900		980	
Y <sub>kr</sub>	-1067600	-1063600		4000		800

Hranice modelového řešení proudění podzemní vody (aktivní oblast modelu) je vykreslena v příloze 1.1 a na Obr. 1. Zájmové území obdélníkového tvaru o délce stran  $4.9 \times 4.0$  km ( $19.6$  km<sup>2</sup>) je pokryto pravidelnou výpočetní sítí, tvořenou čtvercovými elementy o straně 5 m. Výpočetní síť sestává z 800 řádek a 980 sloupců. Aktivní plocha modelu má velikost  $\approx 7.62$  km<sup>2</sup>.

Hranice modelového území je mimo jihovýchodní část vedena po rozvodnici povodí 1-04-01-033. Jihovýchodní část hranice modelu tvoří tok Vrchlice.

**Obr. 1 Okraj modelové sítě, aktivní plocha modelu**



Vertikálně prostor modelu tvoří jedna modelová vrstva reprezentující kolektor kvartéru. Podloží vrstva je v modelu pokládána za nepropustnou. Báze modelu byla sestrojena na základě interpolace údajů o úrovni báze kvartéru z nově realizovaných vrtů a sond a dat získaných z databáze vrtné prozkoumanosti ČGS. Pro konstrukci báze kolektoru bylo použito 719 údajů z databáze ČGS. Kritérium minimální mocnosti kolektoru bylo v místech s nedostatkem dat z vrtných prací nastaveno na 5 m od úrovně digitálního modelu terénu (DMR 4G).

Modelová hranice je z hlediska okrajových podmínek numerického řešení rozdělena na dvě části. Část hranice po hydrologické rozvodnici je definována homogenní okrajovou podmínkou 2. typu (nulového průtoku ve směru kolmém na hranici). Část hranice kopírující tok Vrchlice je popsána nelineární okrajovou podmínkou 3. typu, na které je velikost průtoku přes hranici dána odporovým parametrem okrajové podmínky (dna toku) a rozdílem hydraulické výšky hladiny vody v toku a v kolektoru. Okrajová podmínka byla definována tak, aby ve výpočtu umožňovala pouze drenáž podzemní vody. Vrchlice proto v modelu nepředstavuje indukovaný zdroj. Okrajové podmínky pro simulaci proudění doplňuje okrajová podmínka konstantního toku (2. typu) zadaná na celou aktivního plochu modelového území. Tato podmínka představuje plošnou infiltraci vody do kvartérní zvodně a je v modelu simulována hodnotou  $1.7 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$  v prostoru bez husté zástavby, v prostoru města byla infiltrace mírně snížena na hodnotu  $1.5 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ .

Transportní okrajová podmínka byla v místech stanovených zdrojů kontaminace zadána ve formě toku kontaminace přes hranici podzemní vody (okrajová podmínka 2. typu) a byla odladěna při kalibraci transportního modelu.

Výchozí parametry pro kalibraci odporových parametrů prostředí představovaly hlavně údaje o hydraulických vodivostech vrtů AKH (Zýma, 2009) spolu s údaji z databáze vrtné prozkoumanosti ČGS (pouze 7 dalších vrtů). Rozsah vstupních hodnot koeficientu hydraulické vodivosti se pohyboval v rozsahu řádů  $10^{-6}$  až  $10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$ . Rozsah byl při kalibraci rozšířen na celkový rozsah  $8 \cdot 10^{-7} \text{ m.s}^{-1}$  (na západní hranici oblasti modelu) až  $5 \cdot 10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$  (v nivě Vrchlice).

#### 4.2 Stacionární simulace – kalibrace

Stacionární simulace proudění podzemní vody je realizována pro stav odpovídající průzkumu v roce 2019. Stacionární simulace uvažují průměrné podmínky proudění podzemní vody v lokalitě (průměrnou infiltraci a drenáž do toku).

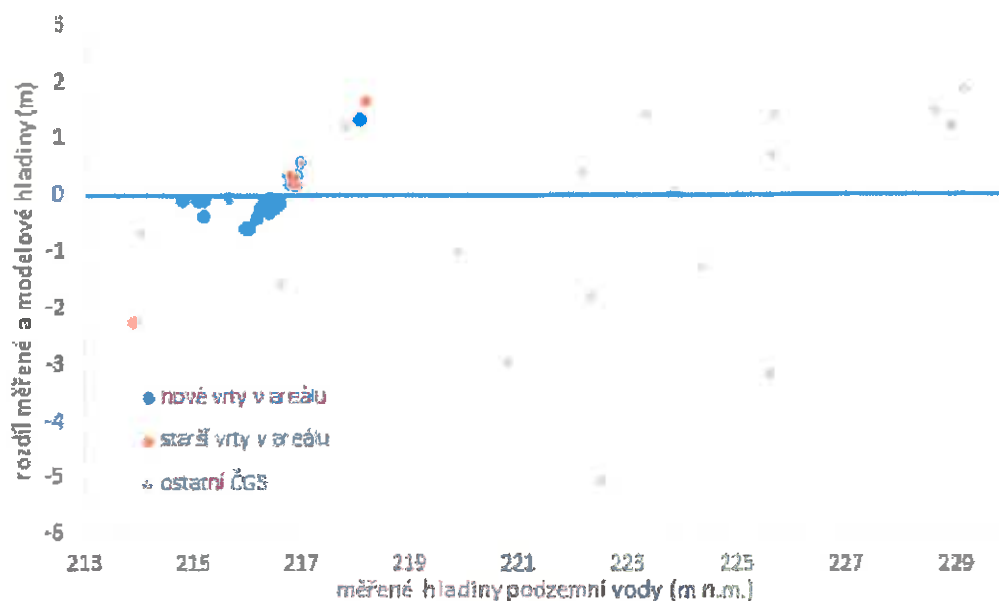
Proces kalibrace proběhl pomocí změn koeficientu hydraulické vodivosti. Hydraulické vodivosti jsou v modelu zadány v zónách s konstantní hodnotou parametru shodnou ve všech směrech. Kritériem úspěšnosti kalibrace byla minimalizace rozdílů měřených a modelových hladin podzemní vody v kalibračních bodech (vrtech a sondách s měřenou úrovní hladiny). Při kalibraci byly použity tři soubory měřených hladin:

- nové objekty v Areálu AVIA,
- starší objekty v areálu AVIA,
- údaje z databáze vrtné prozkoumanosti ČGS.

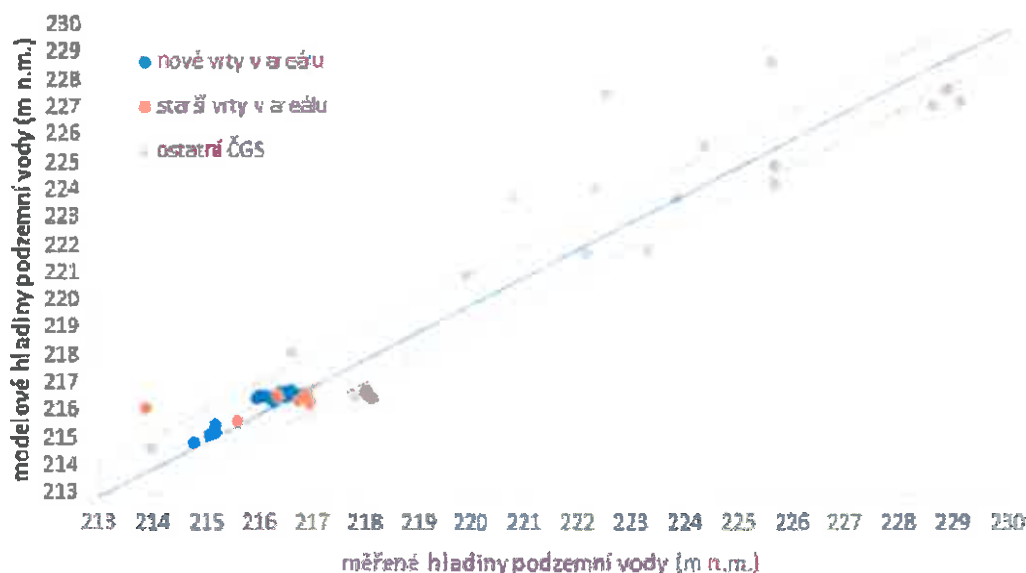
Většina rozdílů měřené a modelové hladiny podzemní vody je menších než  $\pm 0,5 \text{ m}$  (Obr. 2 a Obr. 3). Stav kalibrace považujeme za vyhovující. V ideálním případě by rozdíly měření a modelu byly nulové. Příčina rozdílů měřených a modelových hladin souvisí s:

- časovou nesouslednost měřených hladin (stacionární model je kalibrován na průměrný stav a hladiny jsou měřeny v různých obdobích),
- nepřesným modelovým popisem hydraulických vodivostí konceptem dílčích homogenních, izotropních zón,
- diskretizací modelového prostoru pomocí elementů o velikosti strany  $5 \times 5 \text{ m}$ .

**Obr. 2 Porovnání měřených a modelových hladin – rezidua**



**Obr. 3 Porovnání měřených a modelových hladin – absolutní hodnoty**



Izolinie hladiny a směry proudění podzemní vody pro stávající poměry proudění jsou dokumentovány v příloze 2.1 pro celé modelové území a v příloze 2.2 pro oblast areálu bývalého podniku AVIA. V příloze 2.2 jsou uvedeny pro jednotlivé kalibrační body v areálu AVIA hodnoty rezidua kalibrace (rozdíl mezi modelovou a měřenou hladinou podzemní vody). V příloze 2.2 jsou dále pro oblasti předpokládaného zdroje kontaminace dokumentovány vypočtené zóny doby zdržení proudění podzemní vody. Pro vodu odtékající z prostorů provedeného průzkumu byly pomocí metody particle tracking (v programu MODPATH) vypočteny trajektorie dokumentující směr a rychlost advekčního proudění (bez zohlednění hydrodynamické disperze v reálném porézním prostředí). Pro tyto trajektorie byly zkonstruovány zóny doby zdržení 50 a 100 dní při předpokladu pórovitosti kolektoru 10%.

### 4.3 Stacionární simulace – přehled výsledků

Generelní směry proudění podzemní vody v širším modelovém území jsou patrné z přílohy 2.1. Podzemní voda infiltrovaná v oblasti rozvodnic stéká kvartérním kolektorem do údolní nivy Vrchlice. Hladina podzemní vody do značné míry kopíruje terén. Generelní směr proudění v kolektoru je dán morfologií terénu. Podzemní voda ze západní části modelového území proudí východním až jihovýchodním směrem. Vrchlice je v západní části více zařízlá a její drenážní funkce je díky generálnímu sklonu terénu v severní části území méně výrazná. Dále k východu, kde je terén kolem toku výrazněji rovinatého charakteru, dochází k částečnému stáčení směru proudění podzemní vody podél toku vlivem předpokládané vyšší hydraulické vodivosti nivy. Ve východní část území je převládající směr proudění k jihu až jihovýchodu. V plochém území, jehož součástí je i areál bývalého podniku AVIA, je hydraulický gradient velmi mírný a proudění směřuje k jihovýchodu až východojihovýchodu. Z konstruovaných zón dob zdržení podzemní vody (Příloha 3.2) je patrné, že v modelové simulaci proudí podzemní voda z prostoru zdroje kontaminace VJV směrem a následně se stáčí více k jihovýchodu. Při předpokládané pórovitosti 10% je doba zdržení mezi zdrojovou oblastí a drenáží do Vrchlice vypočtena na 130 až 170 dnů.

Zdrojem podzemní vody v zájmovém území je podle přijaté koncepce, volby rozsahu modelu a okrajových podmínek pouze plošná infiltrace (srážková infiltrace, možný přetok z podloží, plošně distribuované úniky z vodovodních a kanalizačních řadů v městské zástavbě). Celkem je do modelu infiltrováno  $12.2 \text{ l.s}^{-1}$ . Veškerá voda infiltrovaná v ploše modelu je v modelové oblasti drénována do Vrchlice. Jednoduchá modelová bilance je uvedena v Tab. 6.

Tab. 6 Bilance stacionárního modelu proudění

	přítok do modelu (l/s)	odtok z modelu (l/s)
infiltrace	12.16	
drenáž do toku		12.16

Prostorem areálu bývalého závodu AVIA protéká, vzhledem k jeho poloze blízko drenážní báze zájmového území, přibližně  $8 \text{ l.s}^{-1}$  podzemní vody, samotným územím aktuálního průzkumu znečištění v západní části areálu je to přibližně  $2.4 \text{ l.s}^{-1}$ .

## 5 Matematické modelování proudění transportu kontaminace

Model transportu vychází z výsledků modelu proudění podzemní vody a předpokladů zavedených v modelovém konceptu. Transportní model byl zpracován pro dva kontaminanty – rozpuštěné ropné látky definované sumou koncentrací uhlovodíků C10–C40 a polycyklický uhlovodík Benzo(a)pyren.

Zdroj kontaminace je v modelu zadán pomocí okrajové podmínky konstantního koncentračního toku, jehož velikost je kalibrována tak, aby ve vymezených zdrojových oblastech dosahovaly vypočtená koncentrace požadovaných hodnot.

V modelu byla při simulaci transportu vzhledem k měřítku úlohy použita hodnota podélné disperzivity 5 m, příčná disperzivity byla zadána hodnotou 0.5 m. Modelová efektivní pórovitost byla ve všech variantách simulace zadána hodnotou 10%.

### 5.1 Sorpce vybraných kontaminantů

V případě obou látek (C10-C40, Benzo(a)pyren) se jedná o kontaminanty s nízkou mobilitou v podzemní vodě. Tyto látky mají omezenou rozpustnost ve vodě a mají tendenci k sorpci na organický uhlík obsažený v horninovém prostředí.

V případě sumy uhlovodíků C10-C40 je stanovení ekvivalentního distribučního koeficientu komplikováno faktem, že se jedná o poměrně širokou skupinu látek s rozdílnými chemickými vlastnostmi, a navíc stanovené koncentrace ve vzorcích překračují obvykle tabelárně uváděné rozpustnosti pro stanovené frakce. Rozsah rozdělovacího koeficientu  $K_{oc}$  pro alifatické uhlovodíky uváděný v odborné literatuře se pohybuje od  $2,5 \cdot 10^5 \text{ l.kg}^{-1}$  pro skupinu C10-C12 (CLAIRE, 2017) po  $1 \cdot 10^{18} \text{ l.kg}^{-1}$  (Gustafson, 1997) pro frakci těžší než C34. Nižší hodnota  $K_{oc}$  indikuje vyšší mobilitu kontaminantu. Obecně tendence sorpce na organickou hmotu u alifatických uhlovodíků s počtem molekul uhlíku ve vzorci vzrůstá. Pro majoritně zastoupenou frakci C21-C34 (těžší minerální oleje kategorie F3) jsou uváděny hodnoty v rozsahu  $1 \cdot 10^9$  až  $1 \cdot 10^{13} \text{ l.kg}^{-1}$ . Tyto hodnoty indikují velmi silnou tendenci se sorbovat a na jejich podkladu lze předpokládat prakticky nulovou mobilitu kontaminace minerálními oleji. Ekvivalentní distribuční koeficient  $K_d$ , používaný pro modelové řešení sorpce pomocí lineární sorpční isothermy, odpovídá hodnotě součinu  $K_{oc}$  a obsahu organického uhlíku v prostředí, nejobecněji vyjádřenému hodnotou TOC (*Total Organic Carbon*). Na lokalitě byly pro tři průzkumné objekty stanoveny hodnoty TOC (PS-6 1.43%, PS-8 0.38% a HG-6 1.34%). V případě dvou stanovení podílu celkového organického uhlíku v zemině nad úrovní 1% se jedná o prostředí, které je pro sorpci ropných uhlovodíků příhodné.

Reálná míra sorpce v návaznosti na formu organického uhlíku je v praxi ovlivněna více faktory (Pignatello, 1998) a je obecně variabilní dle typu půdního/horninového prostředí. Protože zároveň nelze vyloučit přítomnost i výrazně mobilnějších složek ve směsi představující zdroj kontaminace, byla při simulaci hodnota distribučního koeficientu  $K_d$  odhadena na základě rozložení zjištěných koncentrací z vrtného průzkumu a polohy vrtů a sond, ve kterých byla ověřena přítomnost volné fáze.

Pro variantu simulace V1 (bez limitu rozpustnosti C10-C40) byla kalibrační modelová hodnota distribučního koeficientu  $K_d$  celé skupiny C10-C40 stanovena na relativně nízkou hodnotu (vzhledem k údajům v literatuře)  $10 \text{ l.kg}^{-1}$ , což by při průměrné hodnotě TOC stanovené z průzkumu představovalo velikost koeficientu  $K_{oc}$   $1 \cdot 10^3 \text{ l.kg}^{-1}$ .

Pro variantu simulace V2 (s limitem rozpustnosti C10-C40 na úrovni 1.5 mg/l) byla kalibrační modelová hodnota distribučního koeficientu  $K_d$  celé skupiny C10-C40 stanovena hodnota  $5 \text{ l.kg}^{-1}$ , což by při průměrné hodnotě TOC stanovené z průzkumu představovalo velikost koeficientu  $K_{oc}$   $500 \text{ l.kg}^{-1}$ .

Hodnota distribučního koeficientu  $K_{oc}$  (rozdělovací koeficient organický uhlík-voda) pro Benzo(a)pyren byla pro počáteční simulaci převzata z katalogu chemických vlastností látek, kde je uvedeno  $1,02 \cdot 10^6 \text{ l.kg}^{-1}$ . Protože při této hodnotě prakticky nedochází k jakémukoli šíření kontaminace, byla při orientační kalibraci (orientační vzhledem k malému počtu kalibračních hodnot) hodnota snížena až na  $3200 \text{ l.kg}^{-1}$ .

### 5.2 Rozpad

Kromě sorpce ovlivňují potencionální mobilitu obou polutantů, pro které byl zpracován transportní model, procesy jejich přirozené degradace. Obecně platí, že se jedná o sloučeniny, které podléhají velmi snadné degradaci v závislosti na konkrétních přírodních podmínkách, hlavně na přístupu kyslíku, přítomnosti vhodných bakterií a typu zeminy.

Pro uhlovodíky C10-C40 lze v literatuře dohledat široké spektrum hodnot pro konkrétní případy. Obecně platí, že těžší frakce mají delší poločas rozpadu a ten se výrazně prodlužuje v závislosti na

nasycení. V případě kumulace fáze v půdě probíhá proces degradace rychleji na okrajích kontaminované domény a v centru akumulace se tento proces téměř zastaví (Eastcott et al., 1989). Podobně biodegradací procesy probíhají na okrajích kontaminačního mraku ve vodě, ale v centru mraku, kde jsou koncentrace vyšší, je proces biodegradace pomalejší (Borden et al., 1986). V Kuráň a kol. (2013) je uvedena hodnota poločasu rozpadu pro látky C10-C40 v půdě 450 dnů. V modelové simulaci transportu realizované v roce 2009 na této lokalitě (Žýma, 2009) je použita hodnota poločasu rozpadu odladěná na 367 dnů.

V modelové variantě V1 byla při kalibraci s ohledem na vyšší míru bezpečnosti stanovena hodnota poločasu rozpadu ropných uhlovodíků C10-C40 ve vodě na 500 dnů. V modelové variantě V2 byla tato hodnota odladěna na 1000 dnů.

Obvyklá hodnota poločasu rozpadu benzo(a) pyrenu ve vodě je udávána hodnotou přibližně 65 dní (WHO Guidelines for drinking-water quality). V závislosti na přítomnosti/nepřítomnosti vhodných biodegradacních složek se ale poločas rozpadu může výrazně lišit, a to obzvláště u sorbované složky v horninovém prostředí, kde může dosahovat od jednotek měsíců až po první roky (např. Włodarczyk-Makula, 2012 uvádí až 2048 dní). V modelové simulaci byly pro zvýšení bezpečnosti při neznalosti rozložení zdrojů kontaminace zadány hodnoty poločasu rozpadu  $T/2=500$  dnů pro kontaminant v roztoku a  $T/2=1000$  dnů pro kontaminant sorbovaný na pevné fázi.

### 5.3 Simulace transportu C10-C40, Varianta V1, současné rozložení koncentrací

Aktuální rozložení koncentrací kontaminace C10-C40 bylo simulováno transportním modelem, kdy byly při zadáních parametrech simulace (diskutovaných výše a uvedených v Tab. 7) laděny parametry – rozsah a intenzita – zdrojů kontaminace tak, aby se měřené a modelové koncentrace v realizovaných vrtech a sondách v co největší míře shodovaly. Byly simulovány dva oddělené zdroje kontaminace, které se liší svým rozsahem i stanoveným koncentračním tokem. Je to dáno rozdílnou maximální koncentrací měřenou ve dvou dílčích oblastech, různou pozicí a jiným režimem infiltrace. Zdroj v prostoru haly bývalé automatárny je označen A, zdroj v prostoru bývalého šrotiště S.

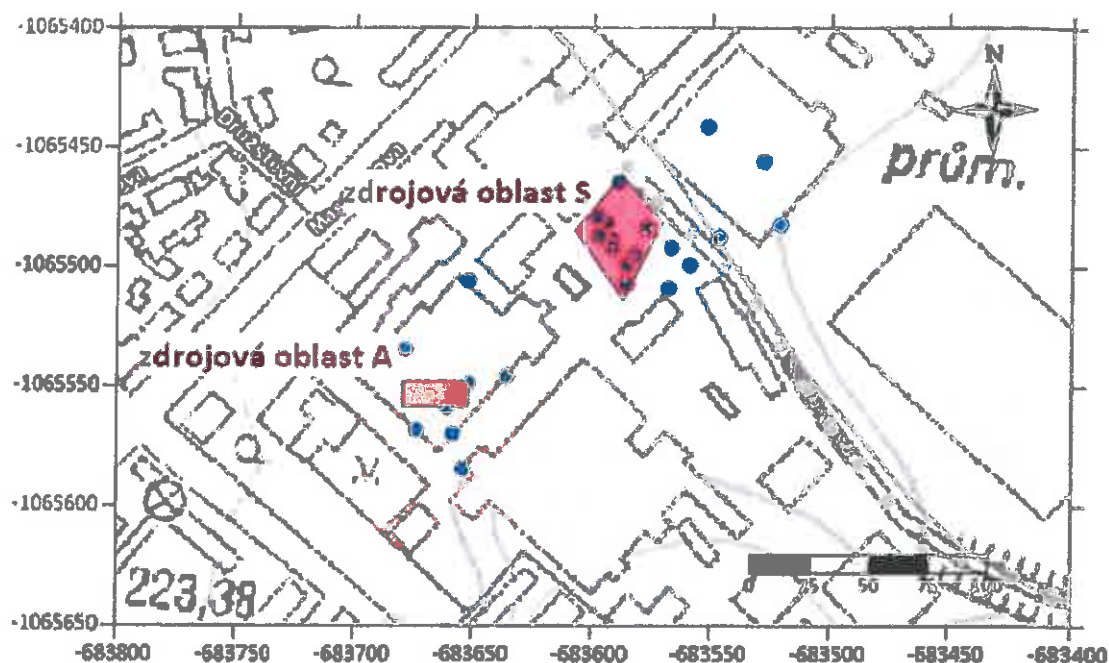
Tab. 7 Transportní parametry simulace šíření C10-C40, varianta V1

pórovitost	-	0.1
disperzivita podélná	m	5
disperzivita příčná	m	0.5
$K_{oc}$	l/kg	1000
$f_{oc}$	-	0.01
poločas rozpadu	den	500

Zdrojová oblast A byla vymezena s ohledem na přítomnost fáze a vysoké koncentrace C10-C40 (99 mg/l) ve vrtu PS-13. Tvar oblasti byl stanoven simulací 40 letého období předpokládané kontaminace oblasti, kdy cílem bylo dosáhnout ve vrtu PS-13 měřené vysoké koncentrace a zároveň dosáhnout přijatelné shody koncentrace kontaminantu v okolních vrtech. Těmto požadavkům odpovídají stanovené transportní parametry.

Zdrojová oblast S byla vymezena rozsahem oblastí s dokumentovanou ropnou fází na hladině podzemní vody a stanovenými vysokými koncentracemi kontaminace C10-C40 v odebraných vzorcích. Oblast a velikost koncentračního toku kontaminace do zvodně byla stanovena tak, aby po 40 letech simulace uvolňování kontaminace bylo modelové rozložení kontaminace v co nejvyšší míře podobné hodnotám stanoveným pro jednotlivé průzkumné objekty laboratorní analýzou. Poloha a rozsah obou zdrojových oblastí je uvedena v Obr. 4.

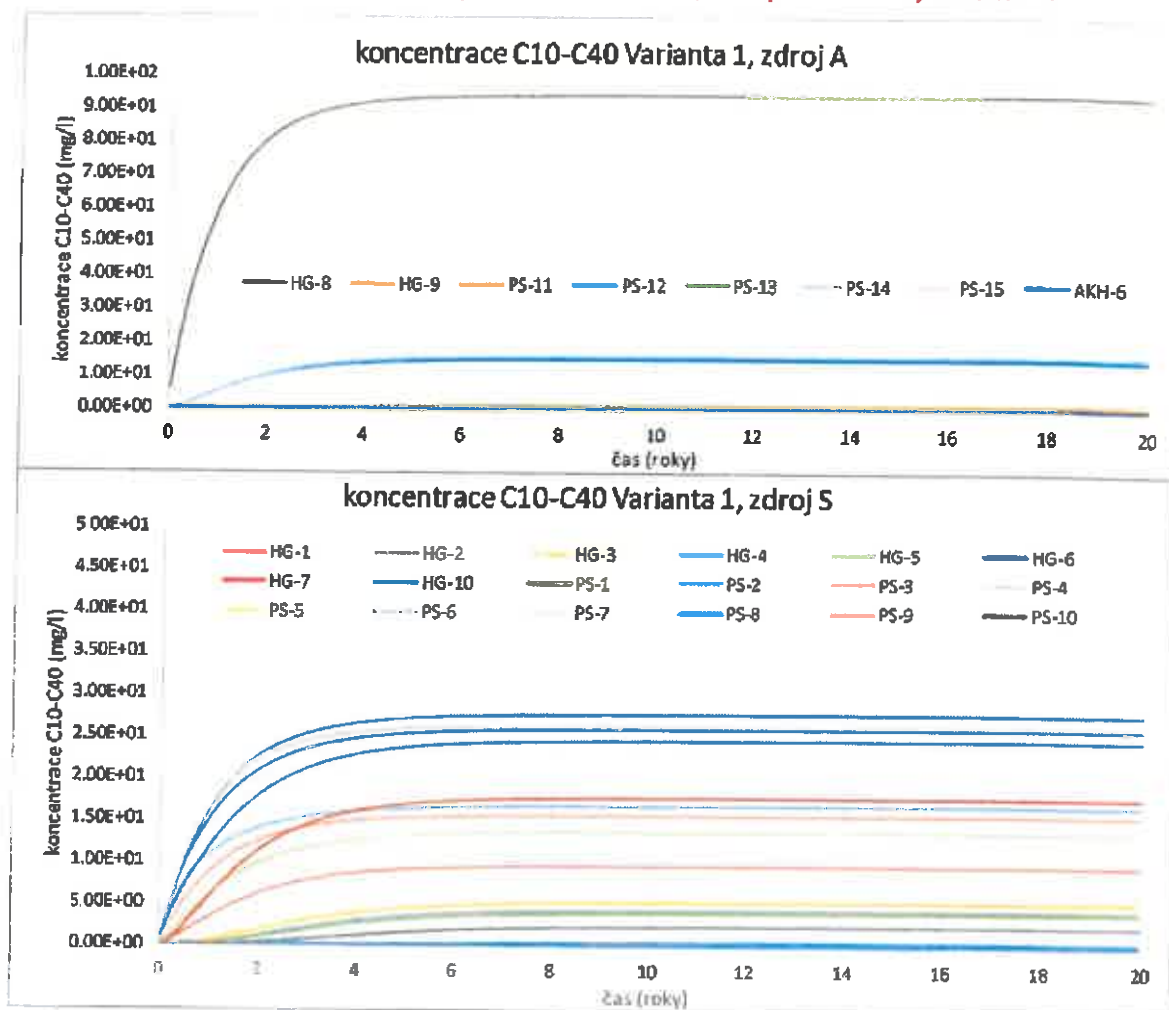
Obr. 4 Vymezené zdroje kontaminace, transport C10–C40, varianta V1



Distribuce rozpuštěného kontaminantu v kolektoru po 40 letech šíření ze zdrojových oblastí je uvedena v příloze 3.1. Vzhledem k relativně vysoké sorpci (nízké vzhledem k tabulkovým hodnotám, ale vysoké vzhledem k mobilitě kontaminantu) a procesu přírodní atenuace (biodegradace reprezentované ve výpočtu rozpádovou konstantou 1. řádu) je rozsah kontaminačního mraku relativně malý. Jeho rozsah, stejně jako koncentrace kontaminantu v monitorovacích bodech (umístěných do pozic průzkumných vrtů a sond) se ustálil relativně rychle, 8 let po začátku uvolňování kontaminantu do podzemní vody (Obr. 5).

Shoda modelových a měřených koncentrací kontaminantu je pro jednotlivé vrty velmi dobrá. Vysoké koncentrace v centrech zdrojových oblastí s fází na hladině podzemní vody velmi rychle klesají k okrajům kontaminačního mraku. V oblasti jsou v některých vrtech mimo modelový kontaminační mrak měřeny vyšší koncentrace kontaminantu. U těchto vrtů předpokládáme, že znečištění patrně pochází z jiných menších neidentifikovaných zdrojů v nesaturované zóně. Strmý koncentrační gradient je dosažen relativně vysokou hodnotou sorpce a relativně krátkým poločasem rozpadu. Toto nastavení transportních parametrů spolu s potřebou dosažení relativně vysokých koncentrací ve zdrojových oblastech bez omezení limitem rozpustnosti má za následek vysoký tok kontaminantu do podzemní vody a dosažení velkých sorbovaných množství v saturované zóně. Vlivem poločasu rozpadu pak biodegradací v modelové simulaci během 40 let trvání kontaminace dojde k úbytku (rozpadu) 81 000 kg kontaminace.

Obr. 5 Průběh koncentrací v průzkumných vrtech a sondách, transport C10-C40, varianta V1



Bilance kontaminantu pro variantu V1 je uvedena v Tab. 8. Z uvedených hodnot se zdá, že nastavení maximálního limitu rozpustnosti podle maximálních koncentrací v každém zdroji patrně není reálné. Lze se domnívat, že v analyzovaných vzorcích byl kromě kontaminantu v roztoku společně stanoven i kontaminant v emulgované podobě.

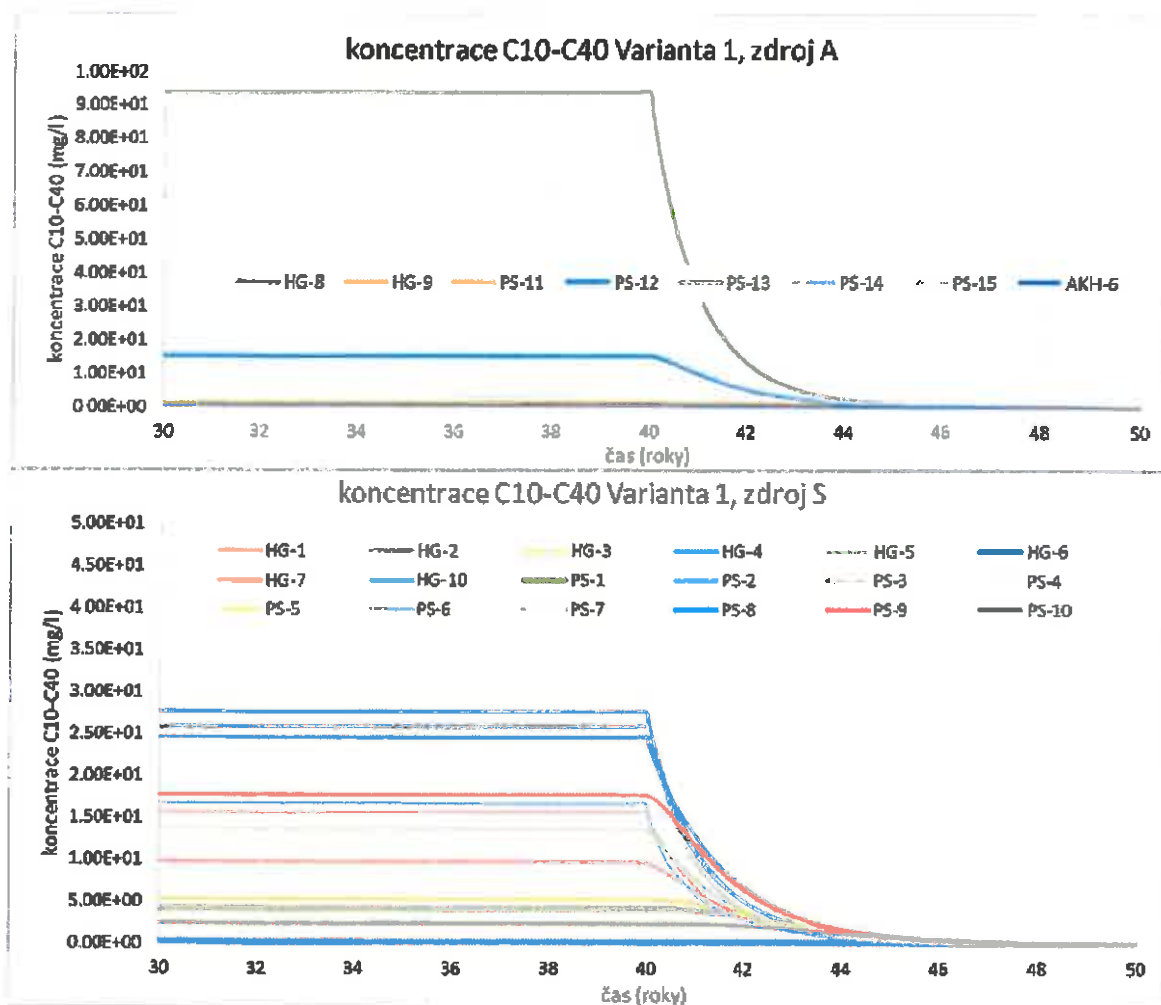
Tab. 8 Kumulativní a aktuální bilance kontaminantu C10-C40 v kolektoru po 40 letech šíření, varianta V1

kumulativní bilance kontaminantu C10-C40 po 40 letech šíření - Varianta 1			
celková vydatnost zdrojů (infiltrace)	celkové množství v roztoku	celkové sorbované množství	celkový rozpad kontaminantu v kolektoru
kg	kg	kg	kg
85237.56	27.88	4181.75	81028.05
aktuální bilance kontaminantu C10-C40 po 40 letech šíření - Varianta 1			
celkové množství v roztoku		celkové sorbované množství	
kg		kg	
27.87		4180.42	

### 5.3.1 Predikce vývoje při odstranění zdrojů kontaminace, Varianta V1

Vzhledem k ustálení velikosti kontaminačního mraku v současnosti (při předpokladu stacionárního proudového pole) bude při neodstranění zdroje kontaminace v nenasycené zóně pokračovat proces rozpouštění ropných látek a k jejich postupné biodegradaci v kolektoru až do úplného vyčerpání zdroje v nenasycované vrstvě. Predikční simulace vývoje je tak zaměřena na situaci, kdy by při sanačním zásahu došlo k úplnému odstranění kontaminantu z nenasycované zóny. V příloze 3.2 je dokumentován rozsah kontaminačního mraku v době 5 let po odstranění zdrojů kontaminace. Velmi rychlý pokles koncentrace po odstranění zdroje kontaminace je patrný v Obr. 6.

*Obr. 6 Průběh koncentrací v průzkumných vrtech a sondách, transport C10-C40, varianta V1, odstranění zdroje v čase 40 let od začátku kontaminace*



V Tab. 9 je uvedena kumulativní bilance kontaminantu C10-C40 v kolektoru a aktuální hodnota rozpuštěného a sorbovaného množství po 45 letech od začátku kontaminace a 5 let po odstranění jejího zdroje.

**Tab. 9 Kumulativní a aktuální bilance kontaminantu C10-C40 v kolektoru po 45 letech šíření, varianta V1 při předpokladu odstranění zdroje po 40 letech**

kumulativní bilance kontaminantu C10-C40 po 5 letech po odstranění zdroje - Varianta 1			
celková vydatnost zdrojů + desorpce + storativita (za 45 let)	celkové množství v roztoku (maximální za 45 let)	celkové sorbované množství	celkový rozpad kontaminantu v kolektoru (za 45 let)
kg	kg	kg	kg
89091.27	27.88	4183.15	84878.98
aktuální bilance kontaminantu C10-C40 po 5 letech po odstranění zdroje - Varianta 1			
celkové množství v roztoku		celkové sorbované množství	
kg		kg	
2.37		354.96	

#### 5.4 Simulace transportu C10-C40, Varianta V2, současné rozložení koncentrací

Aktuální rozložení koncentrací kontaminace C10-C40 ve variantě V2 bylo simulováno transportním modelem stejným způsobem jako v případě varianty V1. Transportní parametry simulace jsou uvedeny v Tab. 10.

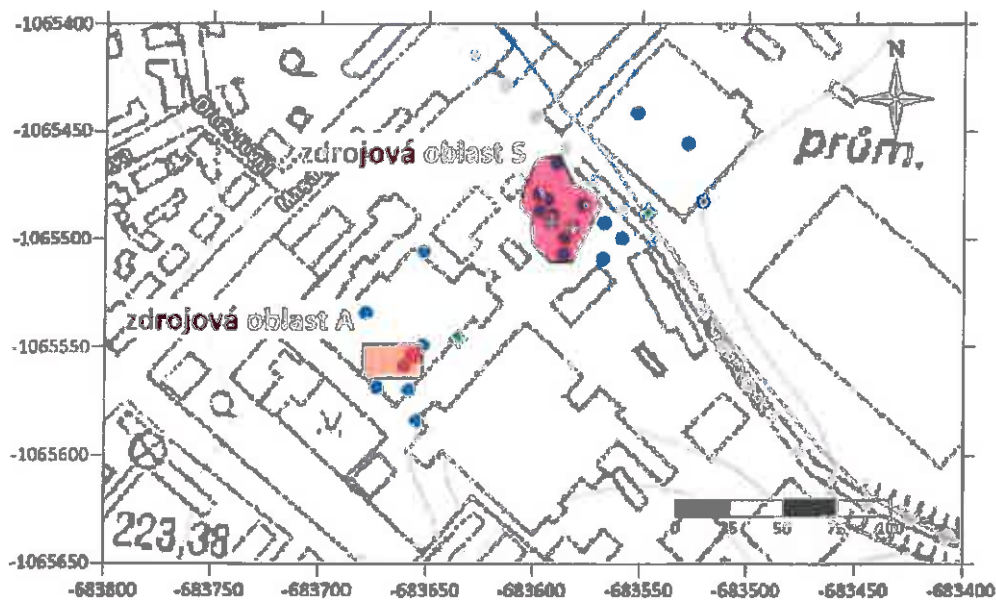
**Tab. 10 Transportní parametry simulace šíření C10-C40, varianta V2**

pórovitost	-	0.1
disperzivita podélná	m	5
disperzivita příčná	m	0.5
$K_{oc}$	l/kg	500
$f_{oc}$	-	0.01
poločas rozpadu	den	1000

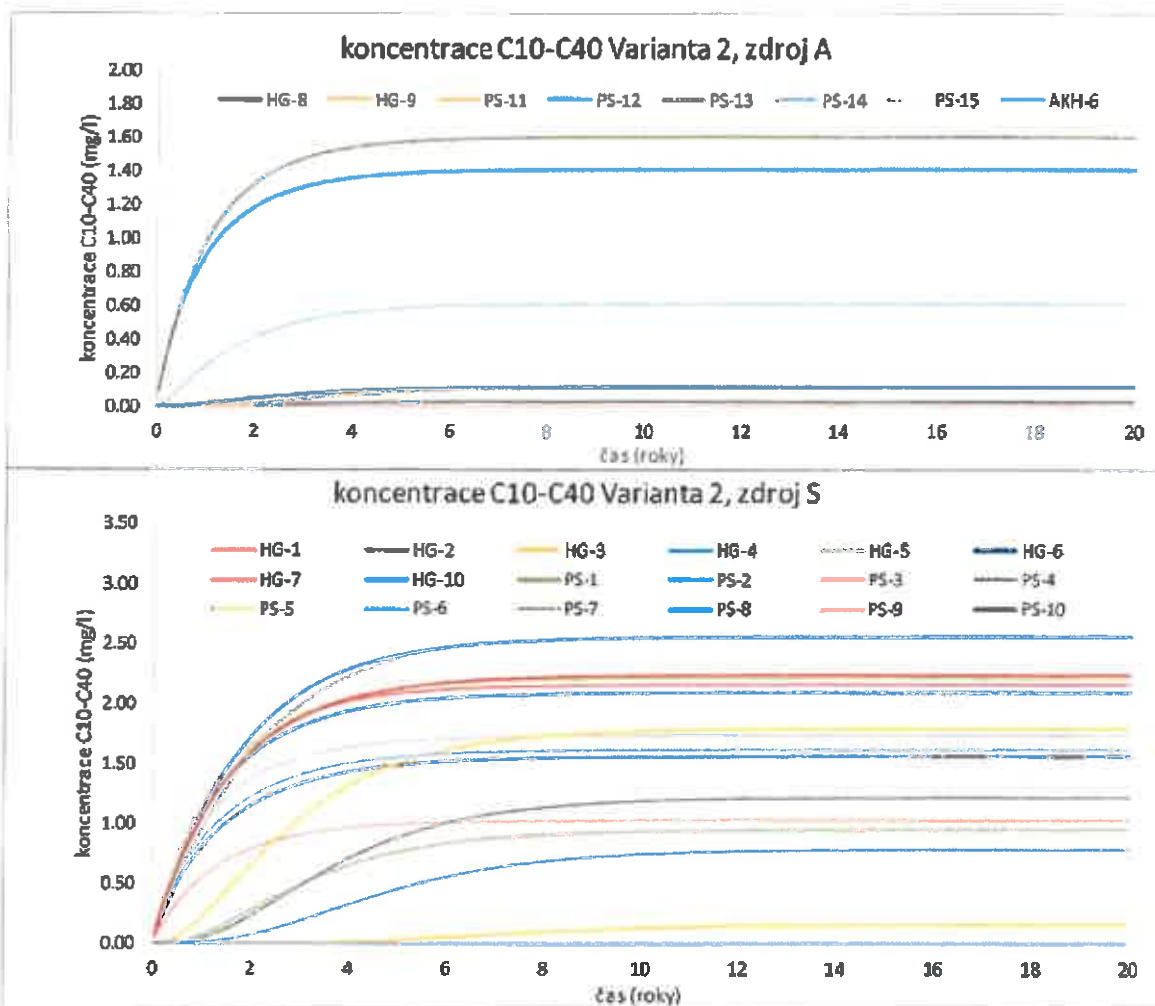
Rozsah a intenzita zdrojů kontaminace byla tentokrát ovlivněna přijatým limitem rozpustnosti a rozsahem oblastí s měřenými velmi vysokými koncentracemi (předpoklad emulgované fáze). V některých místech zdrojových oblastí byl stanovený limit rozpustnosti překročen (max. 2x) vlivem metodiky zadání okrajové podmínky konstantním tokem kontaminantu (dochází ke kumulaci v sousedních buňkách se zadanou okrajovou podmínkou). Opět byly simulovány dva oddělené zdroje kontaminace, které se liší svým rozsahem, ale stanovený koncentrační tok je shodný. Stanovené zdrojové oblasti mají oproti simulaci varianty V1 mírně větší plochu (Obr. 7).

Distribuce rozpuštěného kontaminantu v kolektoru po 40 letech šíření ze zdrojových oblastí je uvedena v příloze 4.1. Díky jiným transportním parametrům, vycházejícím ze snížení koncentračního gradientu ze zdrojových oblastí ke krajům kontaminačního mraku, je vypočtená mobilita kontaminantu oproti variantě V1 vyšší. Kontaminační mrak dosahuje (byť v minimálních koncentracích pod mezí detekce laboratorních metod) až k toku Vrchlice. Rozsah kontaminačního mraku a rozložení koncentrací v oblasti se, stejně jako u varianty V1, ustálilo relativně rychle, cca 10 let po začátku uvolňování kontaminantu do podzemní vody (Obr. 8).

Obr. 7 Vymezené zdroje kontaminace, transport C10-C40, varianta V2



Obr. 8 Průběh koncentrací v průzkumných vrtech a sondách, transport C10-C40, varianta V2



Shoda modelových a měřených koncentrací kontaminantu je pro jednotlivé vrty s měřenou koncentrací pod limitem maximální rozpustnosti dobrá. Omezení maximální rozpustnosti kontaminantu C10-C40 má za následek výrazné snížení koncentračního toku kontaminace do zvodně. Snížení parametru sorpce a zpomalení biodegradace má rovněž za následek rozdílné poměrové rozložení mezi množstvím rozpuštěné a sorbované složky a celkovým množstvím degradovaného kontaminantu. Vlivem biodegradace v modelové simulaci varianty V2 dojde během 40 let od vzniku kontaminace k úbytku (rozpadu) 2 900 kg kontaminace a maximální dosažená hmotnost rozpuštěného kontaminantu nepřesáhne 4.2 kg. Bilance pro variantu V2 je uvedena v Tab. 11.

**Tab. 11 Kumulativní a aktuální bilance kontaminantu C10-C40 v kolektoru po 40 letech šíření, varianta V2**

kumulativní bilance kontaminantu C10-C40 po 40 letech šíření - Varianta 2			
celková vydatnost zdrojů	celkové množství v roztoku	celkové sorbované množství	celkový rozpad kontaminantu v kolektoru
kg	kg	kg	kg
<b>3222.33</b>	<b>4.18</b>	<b>313.59</b>	<b>2902.67</b>
aktuální bilance kontaminantu C10-C40 po 40 letech šíření - Varianta 1			
celkové množství v roztoku		celkové sorbované množství	
kg		kg	
<b>4.18</b>		<b>313.52</b>	

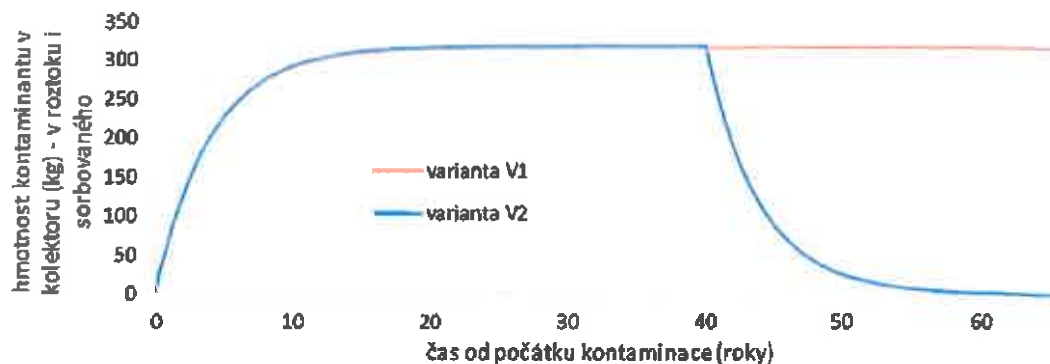
#### 5.4.1 Predikce vývoje při odstranění zdrojů kontaminace, Varianta V2

Výsledek predikční simulace vývoje kontaminace po provedení sanace, která by vedla k úplnému odstranění zdroje kontaminace, je uvedena v příloze 4.2. Dokumentován je rozsah kontaminačního mraku a vypočtené koncentrace kontaminantu C10-C40 v době 5 let od odstranění zdroje kontaminace (celkově 45 let od začátku kontaminace kolektoru). Z přílohy je patrné, že dojde k mírnému snížení plošného rozsahu kontaminace a výraznému snížení koncentrací dosahovaných ve zdrojových oblastech. Zdrojem kontaminace pro podzemní vodu se po odstranění zdroje stává hlavně sorbovaná složka.

**Tab. 12 Kumulativní a aktuální bilance kontaminantu C10-C40 v kolektoru po 45 letech šíření, varianta V1 při předpokladu odstranění zdroje po 40 letech**

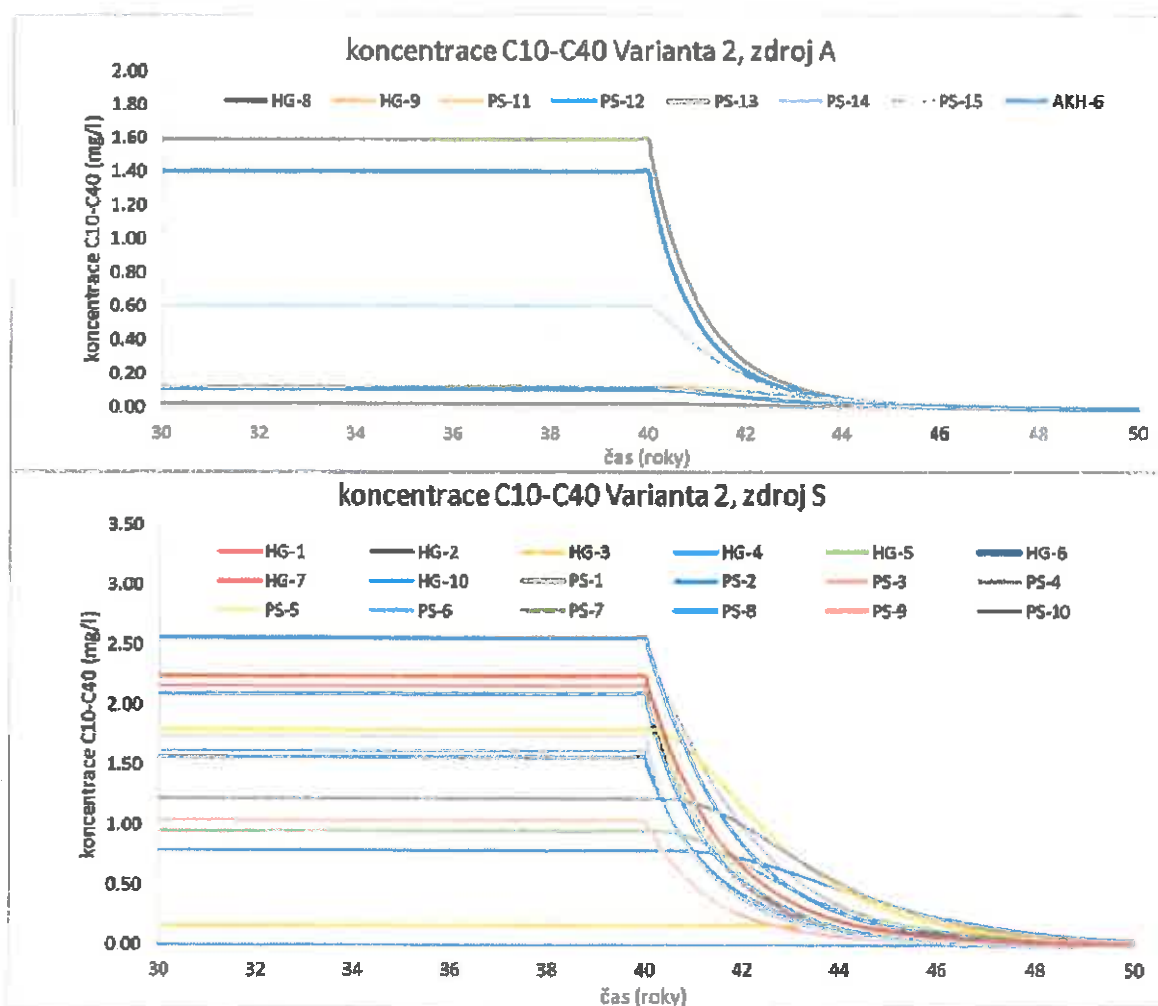
kumulativní bilance kontaminantu C10-C40 po 5 letech po odstranění zdroje - Varianta 1			
celková vydatnost zdrojů + desorpce + storativita (za 45 let)	celkové množství v roztoku (maximální za 45 let)	celkové sorbované množství	celkový rozpad kontaminantu v kolektoru (za 45 let)
kg	kg	kg	kg
<b>3449.29</b>	<b>4.18</b>	<b>313.60</b>	<b>3129.08</b>
aktuální bilance kontaminantu C10-C40 po 5 letech po odstranění zdroje - Varianta 1			
celkové množství v roztoku		celkové sorbované množství	
kg		kg	
<b>1.20</b>		<b>89.63</b>	

**Obr. 9 Vývoj celkové hmotnosti kontaminantu C10-C40 v kolektoru kvartéru, varianta V2 s odstraněním zdroje kontaminace 40 let po jejím začátku**



V Tab. 12 je uvedena kumulativní bilance kontaminantu C10-C40 v kolektoru a aktuální hodnota rozpuštěného a sorbovaného množství. Rychlý pokles koncentrace po odstranění zdroje kontaminace, obzvláště ve zdrojových oblastech, je patrný v Obr. 10. Pokles celkového množství hmoty kontaminantu v simulovaném kolektoru kvartéru je dokumentován v Obr. 9.

**Obr. 10 Průběh koncentrací v průzkumných vrtech a sondách, transport C10-C40, varianta V2, odstranění zdroje v čase 40 let od začátku kontaminace**



### 5.5 Simulace transportu PAU – Benzo(a) pyrenu, současné rozložení koncentrací

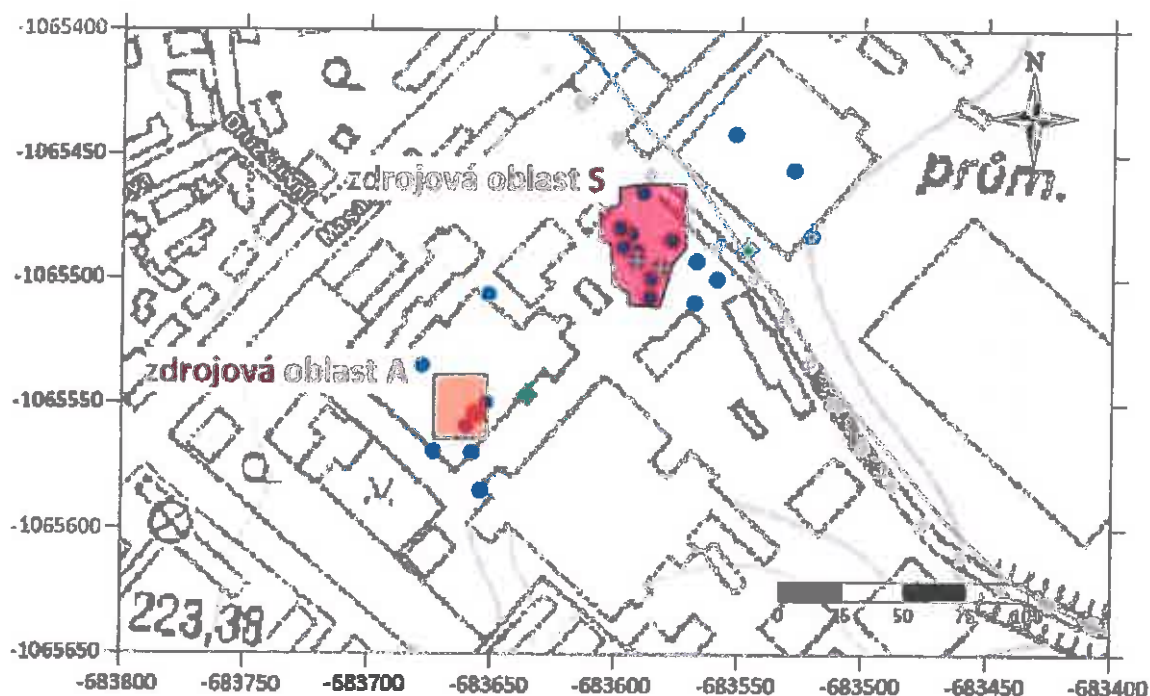
Pro simulaci transportu benzo(a)pyrenu je k dispozici jen velmi málo dat, kdy kontaminant byl analyzován pouze ve 4 vrtech. Dva z těchto vrtů leží mimo předpokládané zdrojové oblasti pro znečištění kontaminací ropných látek. Při předpokladu obecně nízké mobility benzo(a)pyrenu vlivem vysoké sorpce a zároveň vzhledem k jeho předpokládané nízké rozpustnosti v podzemní vodě, lze dovozovat, že zdroj kontaminace PAU se svým plošným rozsahem se zdrojem C10-C40 zcela neshoduje. Předpokládáme ale, že zdrojové oblasti obou kontaminantů jsou podobné. Vzhledem k nedostatku jakýchkoli jiných dat než 4 měřené hodnoty, byla provedena pouze orientační simulace transportu, ve které byly použity transportní parametry (Tab. 13) zohledňující vyšší míru bezpečnosti. Rozsah, umístění zdrojové oblasti i tok kontaminantu PAU do kolektoru je třeba brát spíše jako ilustraci předpokládaného chování tohoto typu kontaminace s vysokou mírou nejistoty konkrétních hodnot.

Tab. 13 Transportní parametry simulace šíření benzo(a)pyrenu

pórovitost	-	0.1
disperzivita podélná	m	5
disperzivita příčná	m	0.5
$K_{oc}$	l/kg	3200
$f_{oc}$	-	0.01
poločas rozpadu v roztoku	den	500
poločas rozpadu sorbatu	den	1000

Byly simulovány dva oddělené zdroje kontaminace, které se liší svým rozsahem, ale se shodným koncentračním tokem. Koncentrace ve zdroji byla omezena přibližně hodnotou maximální analyzované koncentrace zaokrouhlené na desetiny mikrogramu, tedy hodnotou  $0.4 \mu\text{g.l}^{-1}$ . Orientačně stanovené zdrojové oblasti jsou dokumentovány na Obr. 11.

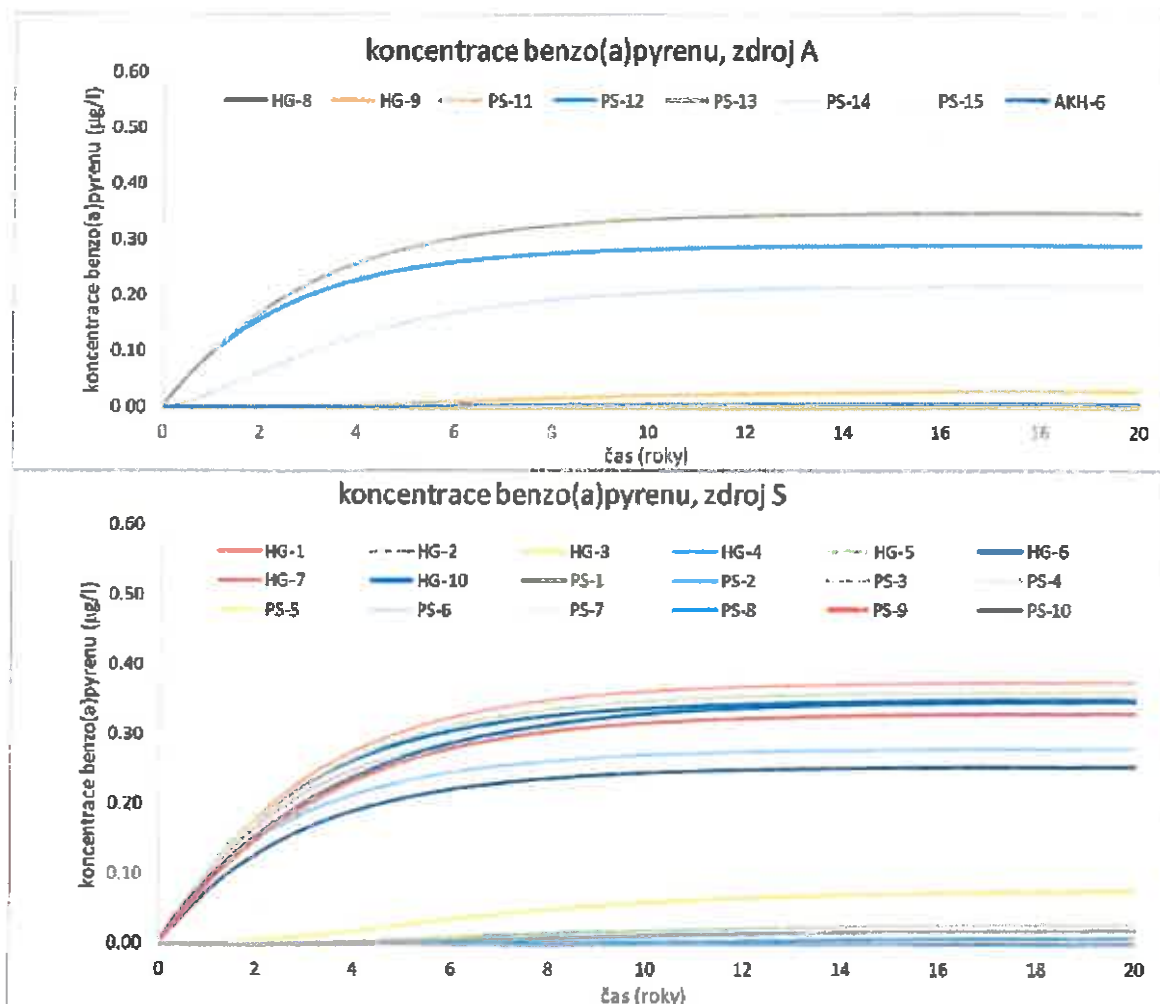
Obr. 11 Vymezené zdroje kontaminace, transport benzo(a)pyrenu



Distribuce rozpuštěného kontaminantu v kolektoru po 40 letech šíření ze zdrojových oblastí je dokumentována v mapě plošného rozsahu kontaminačního mraku v příloze 5.1. Rozsah kontaminace je omezen na bezprostřední okolí zdrojových oblastí a jeho rozšíření ve směru advekčního proudění je omezené na cca 80 m od centra obou zdrojových oblastí. Šíření kontaminace na vzdálenosti prvních desítek metrů proti směru proudění je dáno hodnotou zadané podélné disperze. Na základě výsledků simulací lze předpokládat, že reálná disperze bude oproti modelové o něco nižší (nelze ověřit kvůli poloze průzkumných objektů). Rozsah kontaminačního mraku a rozložení koncentrací v oblasti se oproti simulacím transportu C10-C40 ustavuje déle, cca 30 let po začátku uvolňování kontaminantu do podzemní vody se koncentrace v průzkumných objektech vyrovnají. Již po 20 letech kontaminace kolektoru jsou ale změny v koncentracích ve vrtech minimální (Obr. 12).

Shoda modelových a měřených koncentrací kontaminantu je pro vrty s měřenými hodnotami dobrá. Vlivem biodegradace dojde během 40 let od vzniku kontaminace k úbytku (rozpadu) cca 2 kg kontaminantu a maximální dosažená hmotnost rozpuštěného kontaminantu dosahuje 420 mg. Bilance je uvedena v Tab. 14.

**Obr. 12 Průběh koncentrací v průzkumných vrtech a sondách, transport benzo(a)pyrenu**



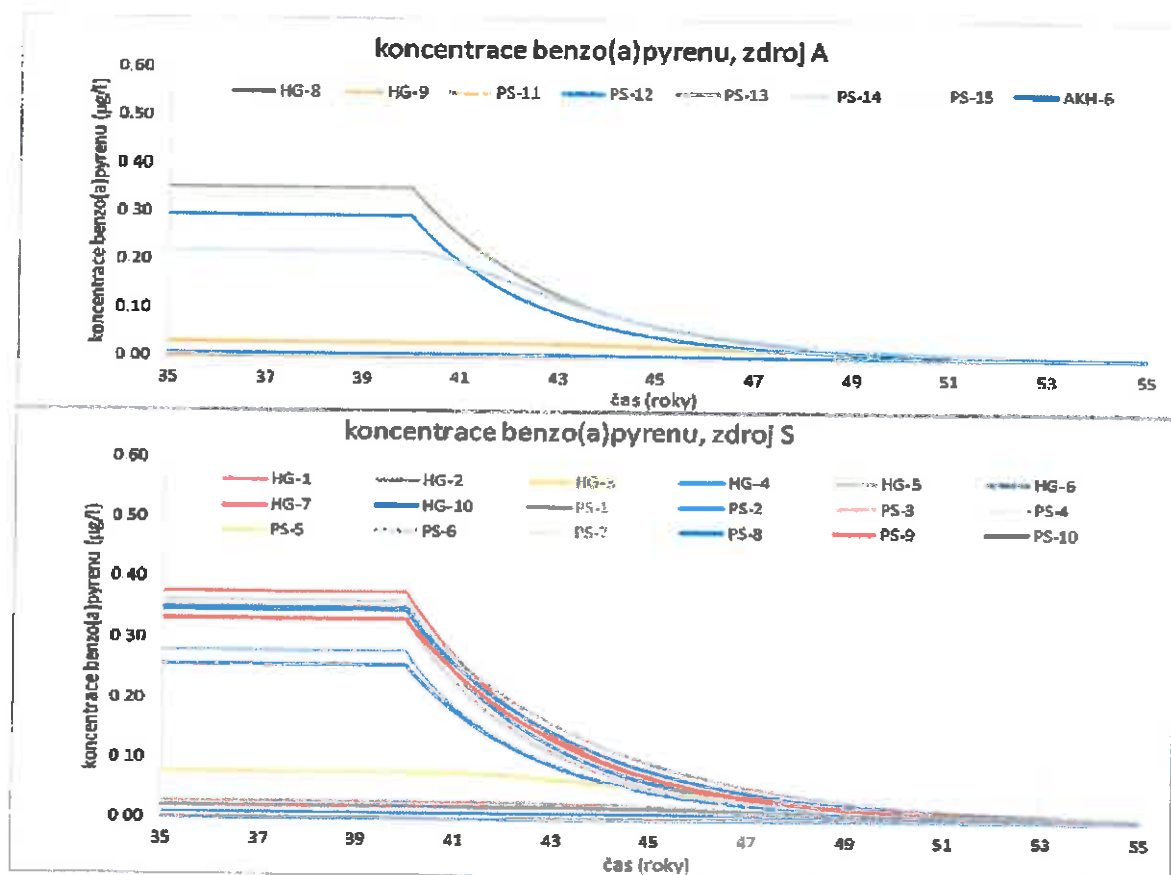
Tab. 14 Kumulativní a aktuální bilance kontaminantu benzo(a)pyren v kolektoru po 40 letech šíření

kumulativní bilance kontaminantu benzo(a)pyren po 40 letech šíření			
celková vydatnost zdrojů (infiltrace)	celkové množství v roztoku	celkové sorbované množství	celkový rozpad kontaminantu v kolektoru
g	g	g	g
2181.31	0.45	214.55	1966.44
aktuální bilance kontaminantu benzo(a) pyrenu po 40 letech šíření			
celkové množství v roztoku		celkové sorbované množství	
g		g	
0.45		214.49	

### 5.5.1 Predikce vývoje při odstranění zdrojů kontaminace

Stejně jako v případě kontaminace ropnými látkami, byla i pro transportní model benzo(a)pyrenu zpracována varianta simulace s úplným odstraněním zdrojů tohoto kontaminantu po 40 letech od začátku jeho uvolňování do podzemní vody. Výsledné vypočtené rozložení koncentrací kontaminace 5 let po provedené úplné sanaci zdroje, je uveden v příloze 5.2. Z přílohy je patrné, že za 5 let nedojde ke snížení plošného rozsahu kontaminačního mraku, ale výrazně poklesnou koncentrace ve zdrojových oblastech. Zdrojem kontaminace pro podzemní vodu se po odstranění zdroje stává hlavně sorbovaná složka, u které je v modelové simulaci předpokládán pomalejší proces biodegradace. Pokles koncentrace po odstranění zdroje kontaminace je patrný v Obr. 13.

Obr. 13 Průběh koncentrací v průzkumných vrtech a sondách, transport benzo(a)pyren, odstranění zdroje v čase 40 let od začátku kontaminace



Model předpokládá, že 17 let po odstranění zdroje kontaminace klesnou koncentrace benzo(a)pyrenu v oblasti zasažené současným znečištěním prakticky na nulové hodnoty (pod úroveň indikátoru znečištění MP MŽP 2014).

V Tab. 15 je uvedena kumulativní bilance kontaminantu v kolektoru a aktuální hodnota rozpuštěného a sorbovaného množství.

*Tab. 15 Kumulativní a aktuální bilance kontaminantu benzo(a)pyren v kolektoru po 45 letech šíření, při předpokladu odstranění zdroje po 40 letech*

kumulativní bilance kontaminantu benzo(a)pyren po 5 letech po odstranění zdroje			
celková vydatnost zdrojů + desorpce + storativita (za 45 let)	celkové množství v roztoku (maximální za 45 let)	celkové sorbované množství	celkový rozpad kontaminantu v kolektoru (za 45 let)
g	g	g	g
<b>2334.89</b>	<b>0.45</b>	<b>214.60</b>	<b>2119.90</b>
aktuální bilance kontaminantu benzo(a)pyren po 5 letech po odstranění zdroje			
celkové množství v roztoku		celkové sorbované množství	
g		g	
<b>0.13</b>		<b>61.30</b>	

## 6 Závěr – přehled výsledků

- Byl zpracován model stacionárního proudění v přípovrchovém kolektoru v širším okolí bývalého areálu AVIA v Kutné Hoře.
- V plochém území, jehož součástí je i areál bývalého podniku AVIA, je hydraulický gradient velmi mírný a proudění směřuje k jihovýchodu až východojihovýchodu.
- Při předpokládané pórovitosti 10% je doba zdržení mezi zdrojovou oblastí a drenáží do Vrchlice vypočtena 130 až 170 dnů.
- Celkem je do modelu infiltrováno  $12.2 \text{ l.s}^{-1}$ . Veškerá voda infiltrovaná v ploše modelu je v modelové koncepci drénována do Vrchlice.
- Prostorem areálu bývalého závodu AVIA protéká přibližně  $8 \text{ l.s}^{-1}$ , samotným územím aktuálního průzkumu znečištění v západní části areálu je to pak přibližně  $2.4 \text{ l.s}^{-1}$ .
- Dle dodaných podkladů byly vymezeny dvě hlavní zdrojové oblasti kontaminace ropnými uhlovodíky C10-C40, které jsou označené A a S.
- Transport kontaminace ropných látek byl řešen pro dvě varianty modelu:
  - Varianta V1 – bez limitu rozpustnosti, kdy byla intenzita zdroje odladěna podle maximální koncentrace stanovené rozbořem pro jednotlivé vrty a sondy samostatně ve zdrojových oblastech A a S.
  - Varianta 2 – s limitem koncentrace přibližně na hodnotě  $1.5 \text{ mg/l}$ , který byl stanoven v předchozím průzkumu v areálu (Žýma, 2009).
- Ve variantě V1 byly pro transport odladěny hodnoty  $K_{oc}=1000 \text{ g.l}^{-1}$  a  $T/2=500$  dní. Ve variantě V2 byly, s ohledem na nižší koncentrační spád daný limitem rozpustnosti, kalibrací stanoveny hodnoty  $K_{oc}=500 \text{ g.l}^{-1}$  a  $T/2=1000$  dní.
- Ve variantě V1 dojde k ustálení (rovnováze) koncentrací v kontaminačním mraku po cca 8 letech od počátku kontaminace. Rozsah kontaminačního mraku je dokumentován v příloze 3.1. Maximální množství rozpuštěné ve vodě bylo vypočteno na 28 kg a maximální sorbované množství

- v kolektoru na 4182 kg. Po 40 letech dotace dojde při zadaných parametrech v kolektoru k degradaci celkového množství 81 t kontaminantu.
- Ve variantě V2 dojde k ustálení (rovnováze) koncentrací v kontaminačním mraku po cca 10 letech od počátku kontaminace. Rozsah kontaminačního mraku je dokumentován v příloze 4.1. Maximální množství rozpuštěné ve vodě bylo vypočteno na 4.2 kg a maximální sorbované množství v kolektoru na 313 kg. Po 40 letech dotace dojde při zadaných parametrech v kolektoru k degradaci celkového množství 2.9 t kontaminantu.
- V obou variantách dojde po odstranění zdroje kontaminace k velmi rychlému poklesu množství kontaminantu v kolektoru. Ve variantě V1 bude v kolektoru zbývat minimum kontaminace po přibližně 8 letech od sanace, ve variantě V2 po cca 10 letech.
- Z hlediska bilance pokládáme variantu V2 za věrohodnější a lze předpokládat, že limit rozpustnosti ropných látek je nižší, než laboratorně stanovené koncentrace.
- Výsledky modelů dokládají, že výskyt znečištění povrchové vody, které bylo v oblasti bezprostředně sousedící s areálem AVIA dokumentováno ve Vrchlici (Příloha 1.4), nepochází ze zdrojů v prostoru bývalé automatárny a šrotiště.
- Pro simulaci transportu benzo(a)pyrenu je k dispozici jen minimum údajů.
- Při simulaci transportu benzo(a)pyrenu byla mobilita této látky oproti tabulkovým údajům nadhodnocena, výsledky simulace jsou tak spíše orientační.
- Při simulaci transportu benzo(a)pyrenu dojde k ustálení koncentrací v kolektoru po cca 30 letech kontaminace. Rozsah kontaminačního mraku je dokumentován v příloze 5.1. Maximální množství rozpuštěné ve vodě bylo vypočteno na 0.45 g a maximální sorbované množství v kolektoru na 214 g. Po 40 letech dotace dojde při zadaných parametrech v kolektoru k degradaci celkového množství 2 kg kontaminantu.
- Po odstranění zdroje benzo(a)pyrenu dojde k postupnému poklesu množství kontaminantu v kolektoru vlivem biodegradace. K úplnému odbourání kontaminace dojde cca 17 let po úplném odstranění zdroje (koncentrace ve všech průzkumných objektech poklesne pod hodnotu indikátoru znečištění MP MŽP 2014).

Na základě dostupných dat byl sestaven stacionární model proudění podzemní vody v širším okolí zájmové oblasti areálu bývalého podniku AVIA v Kutné Hoře. Míru nejistoty modelu proudění zvyšuje především obtížně stanovitelná velikost přírodních zdrojů kvartérní zvodně v oblasti s městskou zástavbou. Pro odstranění této nejistoty by bylo vhodné provést měření průtoků Vrchlice a stanovení základního odtoku ze zájmové oblasti.

Model transportu kontaminace C10-C40 byl zpracován pro dvě varianty limitní rozpustnosti ropných látek ve vodě. Nejistota v tomto parametru zvyšuje nejistotu modelového řešení a znesnadňuje stanovení dalších transportních parametrů simulace. Z hlediska výsledné hmotové bilance simulací pokládáme za pravděpodobnější variantu V2 s parametrem maximální rozpustnosti 1.5 mg.l<sup>-1</sup>, převzaté ze Zýma (2009). V případě transportu obou vybraných kontaminantů byla přijata vyšší míra bezpečnosti řešení, a proto byla předpokládána vyšší mobilita kontaminantů v saturovaném prostředí kvartérního kolektoru, než je uváděno v literatuře.

Ve variantách současného rozložení kontaminace byly zadány transportní parametry kontaminantů (tabulkové), pro které je současná distribuce kontaminace v kolektoru stabilní. V případě, že by nedošlo k žádnému sanačnímu zásahu, zůstala by situace rozložení kontaminantu v kolektoru obdobná

a současná rovnováha mezi tokem kontaminantu z nenasycené zóny a sorpcí a rozpadem v kolektoru by zůstala zachována až do vyčerpání zdroje kontaminace.

Transportním modelem byla rovněž simulována varianta úplné sanace (odstranění zdroje). Po odstranění kontaminace ze stavebních konstrukcí, nenasycené zóny a fáze na hladině podzemní vody, by klesl koncentrační tok do kolektoru na nulovou hodnotu a v kolektoru by došlo postupně ke snižování množství kontaminace vlivem biodegradace.

Modelem nebyla simulována varianta, kdy by současné zdroje kontaminace byly shora překryty stavební konstrukcí, která by zabránila infiltraci srážkové vody do kolektoru a snížila intenzitu promývání nenasycené zóny. U této varianty lze jen obtížně kvantifikovat koncentrační tok a celkovou vydatnost zdroje. Lze předpokládat, že ke kontaminaci podzemní vody by docházelo podobnou (jen mírně menší) měrou, jako v současné době až do vyčerpání kontaminantu, který je na hladině podzemní vody v podobě fáze a kontaminantu v nenasycené zóně, který může k hladině podzemní vody sestoupit vlivem gravitačního pohybu. Po vyčerpání této části zdroje by při pohybech úrovně hladiny podzemní vody a změnách mocnosti kapilární třásně mohlo docházet k dílčí, dočasné aktivaci zdroje ovlivněné limitem a rychlostí rozpustnosti kontaminace v proměnlivě nasyceném prostředí.

Podle modelových simulací transportu z vymezených zdrojů buď kontaminace vůbec nedosáhne (C10-C40 varianta V1 a benzo(a)pyren) toku Vrchlice, nebo ho dosáhne ve velmi malých koncentracích (pod úrovní limitu detekce laboratorní metody, varianta V2). Pro potřeby monitoringu i možného neočekávaného vývoje kontaminačního mraku v podmínkách jakéhokoli typu a rozsahu sanace zdrojů (včetně nulové varianty) by bylo vhodné umístit monitorovací vrt/vrty do oblasti současného okraje kontaminačního mraku (ne přímo do zdroje kontaminace ani zcela mimo mrak). Podle výsledků simulací se jako vhodné jeví přibližně lokalizace dříve realizovaných vrtů AHK-10 (kontaminační mrak ze zdroje S – šrotiště) a AHK-7 (kontaminační mrak ze zdroje A – automatárna). Frekvenci odběrů a analýzy vzorků z monitorovacích vrtů navrhujeme v první fázi realizace (cca 2 roky) monitoringu čtyřikrát za rok. V případě vyhodnocení stability stanovených koncentrací nebo jejich očekávaného vývoje by tato frekvence mohla být snížena na dvakrát ročně.

*V Rostokách, dne 7.11.2019*

*Michal Polák*

## 7 Použitá literatura

Zýma, Z. kol. (2009) AVIA Kutná Hora, a.s. v konkurzu. Analýza rizika. G-servis Praha, s.r.o.

Horký, Š. (2018) Bývalý areál AVIA Kutná Hora. Realizační projekt analýzy rizika ekologických zátěží. Ekosystem spol s.r.o.

Brewer, R., J. Nagashima, M. Kelley, M. Heskett, M. Rigby., 2013. *Evaluation of Total Petroleum Hydrocarbons in Vapor Intrusion Studies* Int. J. Environ. Res. Public Health 10: 2441-2467.

CL:AIRE, 2017. *Petroleum Hydrocarbons in Groundwater: Guidance on assessing petroleum hydrocarbons using existing hydrogeological risk assessment methodologies*. CL:AIRE, London. ISBN

Chemical Properties for Calculation of Impact to Ground Water Soil Remediation Standards, 2008. New Jersey Department of Environmental Protection. Přístupné z <https://doi.org/doi:10.7282/T3Z0385G>

Johnson, A., I., 1961. *Specific Yield – Compilation of specific yields for various materials*. U.S. Geological Survey Open-File Report.

Krásný, J., 1981. Mapa odtoku podzemní vody ČSSR 1:1 000 000. Český hydrometeorologický ústav.

Pignatello, J. J., 1998. Soil organic matter as a nanoporous sorbent of organic pollutants.. *Advances in Colloid and Interface Science*, pp. 445-467.

[https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwg/chemicals/polyaromahydrocarbons.pdf](https://www.who.int/water_sanitation_health/dwg/chemicals/polyaromahydrocarbons.pdf)  
[WHO/SDE/WSH/03.04/59](https://www.who.int/water_sanitation_health/dwg/chemicals/polyaromahydrocarbons.pdf) Polynuclear aromatic hydrocarbons in Drinking-water Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality

Eastcott L, Shiu WY, Mackay D. 1989. Modeling petroleum products in soils. In: Petroleum contaminated soils, Vol. 1. Chelsea, MI: Lewis Publishers, Inc., 63-80.

Borden RC, Bedient PB, Lee MD, et al. 1986. Transport of dissolved hydrocarbons influenced by oxygen-limited biodegradation: 2. Field application. *Water Resources Research* Vol 22(13):1983-1990.

Kuráň, P. a kol. (2014) Biodegradation of Spilled Diesel Fuel In Agricultural Soil: Effect of Humates, Zeolite, and Bioaugmentation, *The Scientific World Journal* 2014(24):642427

Włodarczyk-Makla, M. (2012) Half-Life of Carcinogenic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Stored Sewage Sludge, *Archives of Environmental Protection* 38(2)

## **Seznam příloh**

**Příloha 1.1 Situace modelového území**

**Příloha 1.2 Situace objektů v areálu bývalého podniku AVIA**

**Příloha 1.3 Morfologie modelového území**

**Příloha 1.4 Koncentrace kontaminantů C10-C40 a benzo(a)pyren**

**Příloha 2.1 Modelová hladina podzemní vody**

**Příloha 2.2 Modelová hladina podzemní vody v prostoru bývalého podniku AVIA**

**Příloha 3.1 Modelové koncentrace kontaminace C10-C40 - současný stav, po 40 letech šíření, varianta V1 – bez limitu rozpustnosti**

**Příloha 3.2 Prognóza vývoje kontaminace C10-C40, 5 let po odstranění zdroje kontaminace, varianta V1 – bez limitu rozpustnosti**

**Příloha 4.1 Modelové koncentrace kontaminace C10-C40 - současný stav, po 40 letech šíření, varianta V2 – limit rozpustnosti 1.5 mg/l**

**Příloha 4.2 Prognóza vývoje kontaminace C10-C40, 5 let po odstranění zdroje kontaminace, varianta V2 – limit rozpustnosti 1.5 mg/l**

**Příloha 5.1 Modelové koncentrace kontaminace benzo(a)pyrenem – současný stav, po 40 letech šíření, limit rozpustnosti 1.5 µg/l**

**Příloha 5.2 Prognóza vývoje kontaminace benzo(a)pyrenem, 5 let po odstranění zdroje kontaminace, limit rozpustnosti 1.5 mg/l**

# **Příloha 1.1**

## **Situace modelového území**

 Přibližné vymezení areálu bývalého závodu AVIA

 Modelové území

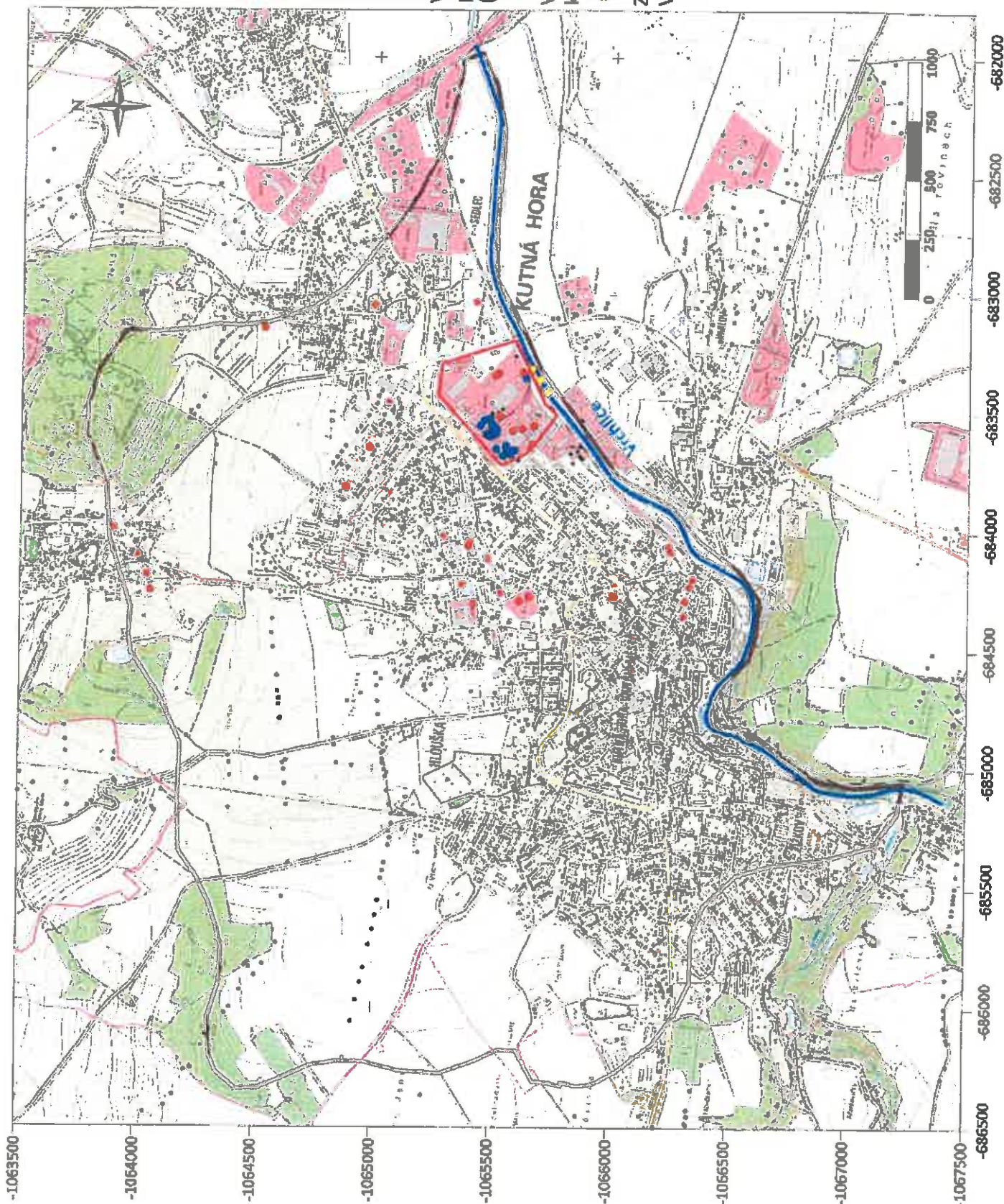
 Vrtý a sondy realizované při aktuálním průzkumu (nové vrtý)

 Vrtý s údajem o hladině podzemní vody pro kalibraci (mimo nové vrtý)

 Vrtý s údajem úrovně báze kvartéru - databáze ČGS

 Záměr hladiny toku Vrchlice





1:22 000

## Příloha 1.2

Situace objektů v areálu  
bývalého podniku AVIA

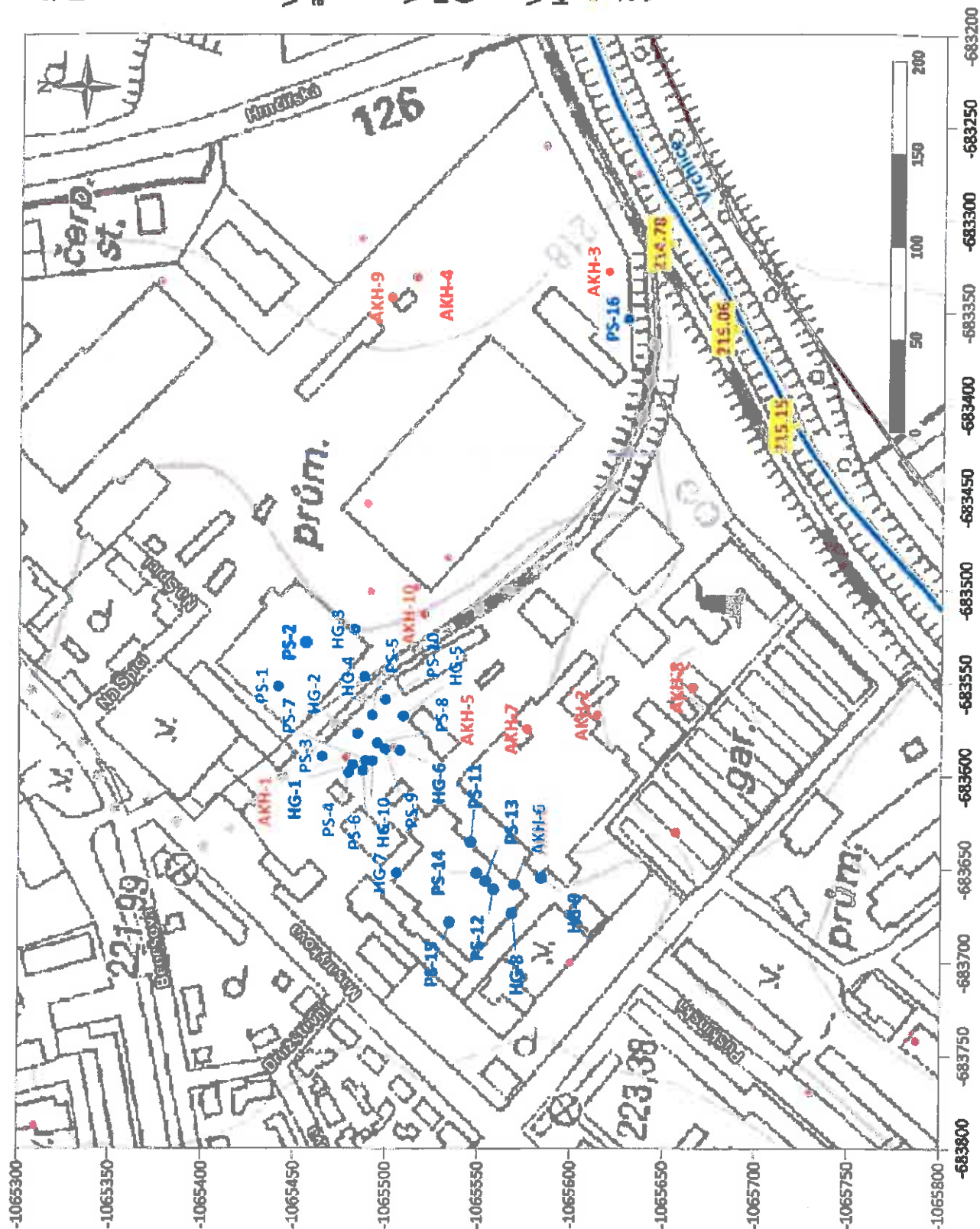
● Vrtý a sondy realizované při  
aktuálním průzkumu (nové vrtý)

● Vrtý s údajem o hladině  
podzemní vody pro kalibraci  
(mimo nové vrtý)

● Vrtý s údajem úrovně báze  
kvartéru - databáze ČGS

● Záměr hladiny toku  
Vrchlice

1:3 000



# Příloha 1.3

## Morfologie modelového území

Přibližné vymezení areálu bývalého závodu AVIA

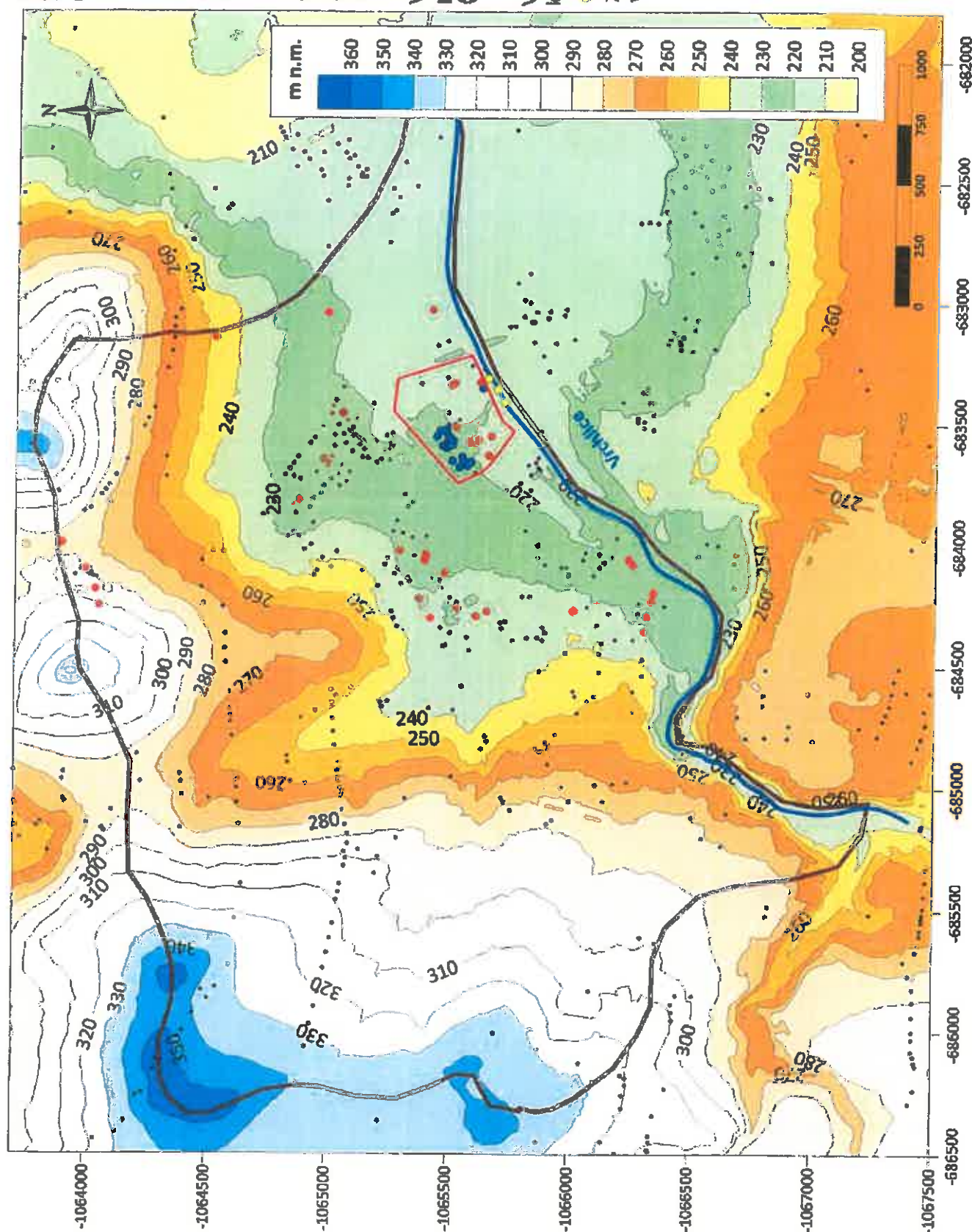
Modelové území

Vrty a sondy realizované při aktuálním průzkumu (nové vrty)

Vrty s údajem o hladině podzemní vody pro kalibraci (mimo nové vrty)

Vrty s údajem úrovně báze kvartéru - databáze ČGS

Záměr hladiny toku Vrchlice



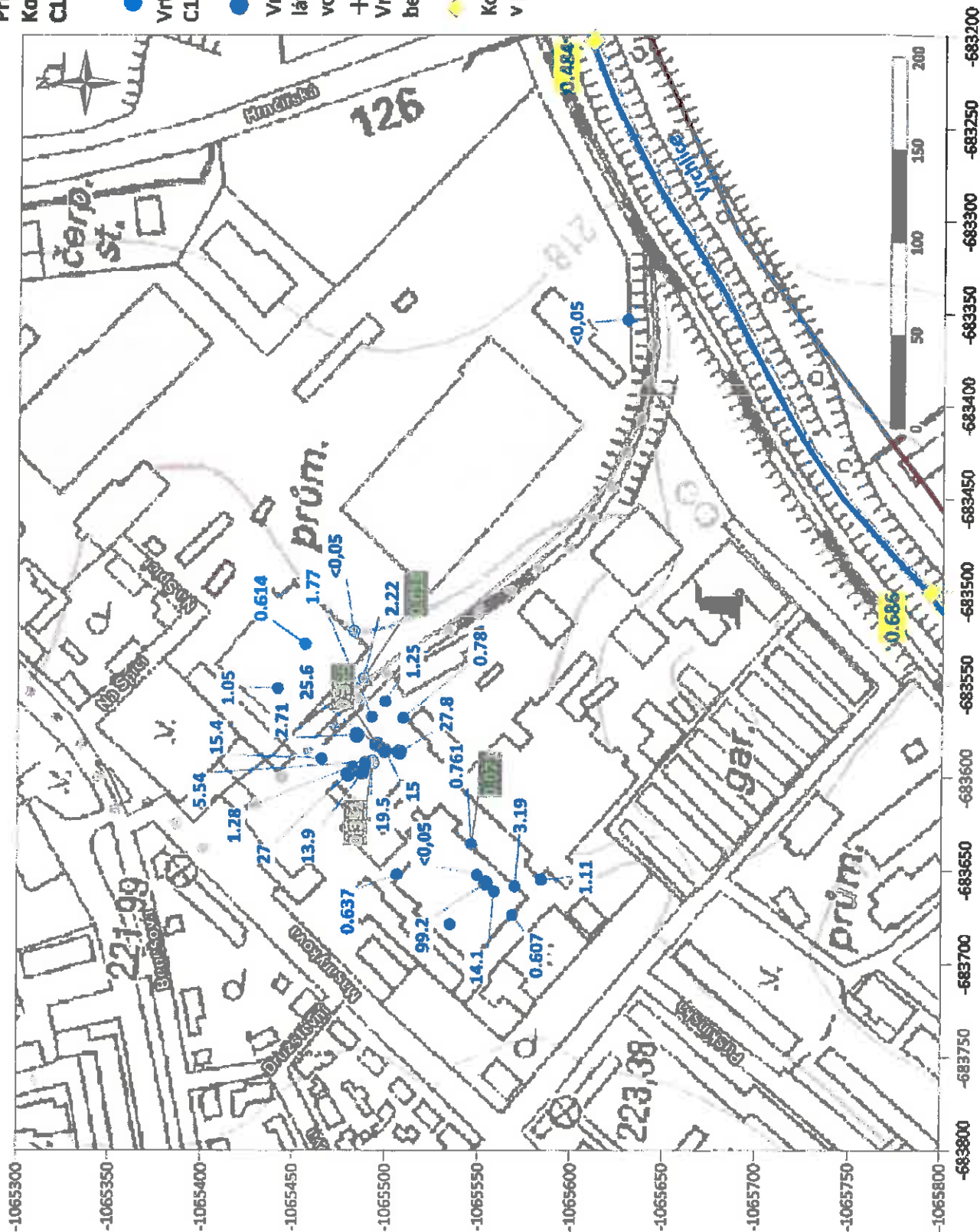
1:22 000

# Příloha 1.4

## Koncentrace kontaminantů C10-C40 a benzo(a)pyren

- Vrtý a sondy s měřenou koncentrací  
C10 - C40 (mg/l)
- Vrtý a sondy s fází ropných  
látek na hladině podzemní  
vody +
- Vrtý a sondy s měřenou koncentrací  
benzo(a)pyrenu (µg/l)
- Koncentrace C10 - C40 (mg/l)  
v povrchové vodě Vrchlice

1:3 000



**Příloha 2.1**  
**Modelová hladina**  
**podzemní vody**

Přibližné vymezení areálu  
bývalého závodu AVIA

Modelové území



Vrty a sondy realizované při  
aktuálním průzkumu (nové vrty)



Vrty s údajem o hladině  
podzemní vody pro kalibraci  
(mimo nové vrty)



Záměr hladiny toku  
Vrchlice

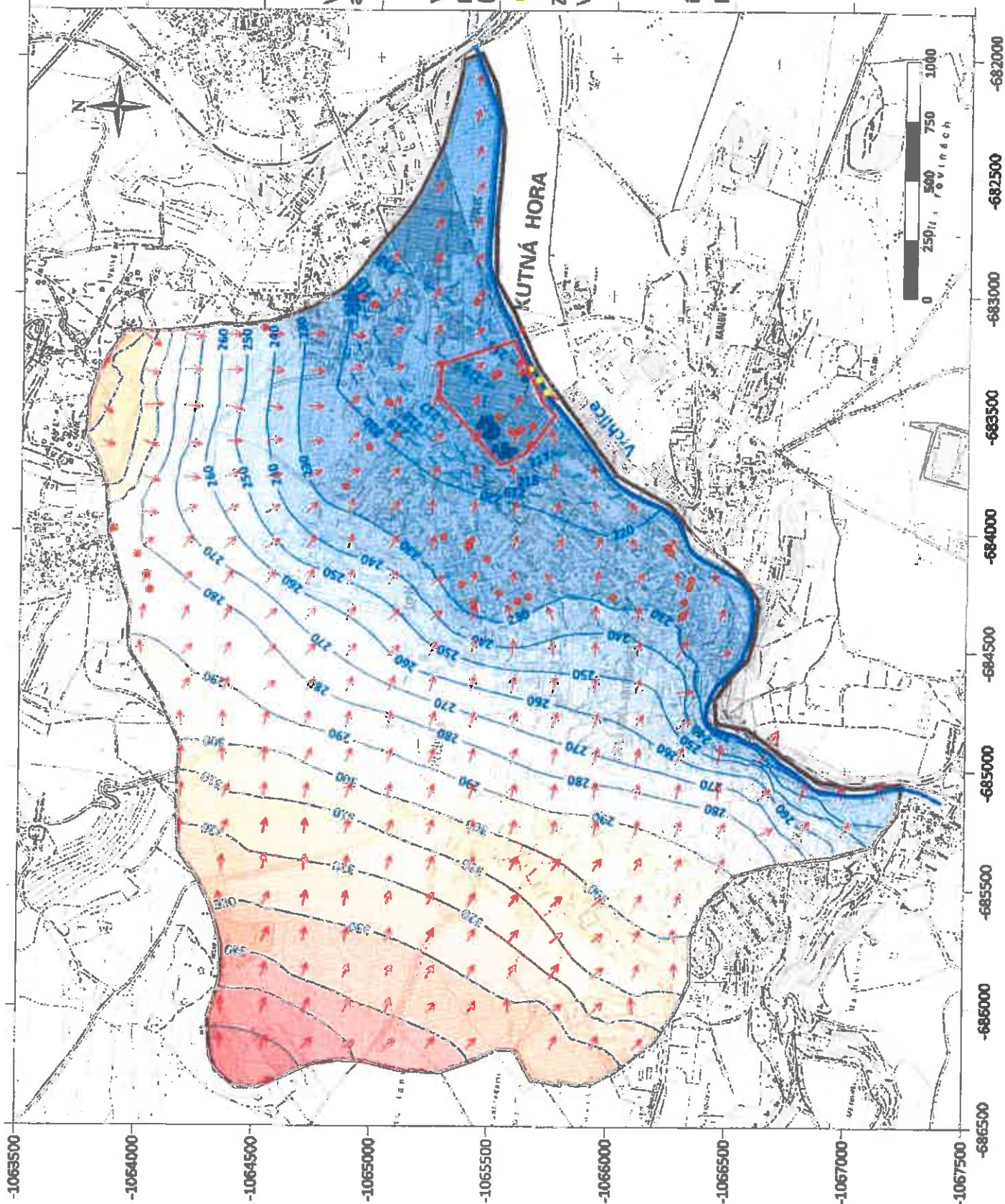


izolinie modelové hladiny  
podzemní vody (m n.m.)



směry proudění  
podzemní vody

1:22 000



## Příloha 2.2

### Modelová hladina podzemní vody v prostoru bývalého podniku AVIA



### Příloha 3.1

#### Modelové koncentrace

kontaminace C10-C40

- současný stav

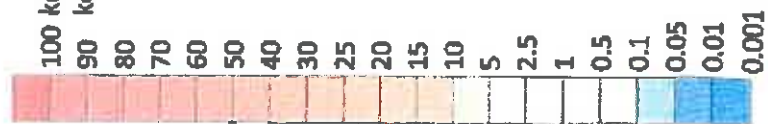
po 40 letech šíření

varianta V1 -

bez limitu rozpustnosti



Vrty a sondy realizované při  
aktuálním průzkumu (nové vrty)



1:2 500



### Příloha 3.2

Prognóza vývoje kontaminace

C10 - C40

5 let po odstranění  
zdroje kontaminace

**varianta V1 –**

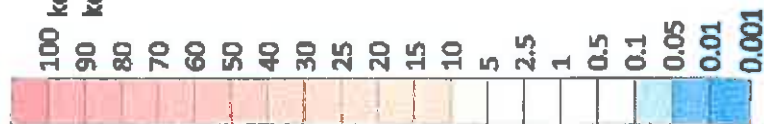
**bez limítu rozpustnosti**



Vrty a sondy realizované při  
aktuálním průzkumu (nové vrty)

100  
90  
80  
70  
60  
50  
40  
30  
25  
20  
15  
10  
5  
2.5  
1  
0.5  
0.1  
0.05  
0.01  
0.001

koncentrace  
kontaminantu (mg/l)



1:2 500





#### Příloha 4.1

### Modelové koncentrace kontaminace C10-C40

- současný stav

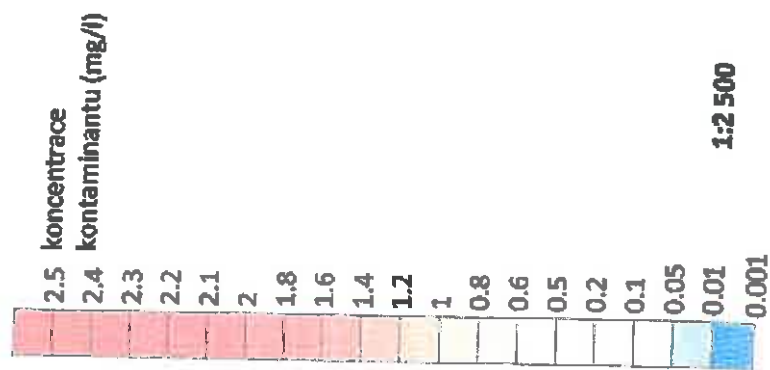
po 40 letech šíření

varianta V2 -

limit rozpustnosti 1.5 mg/l



Vrty a sondy realizované při aktuálním průzkumu (nové vrty)



1:2 500

# Příloha 4.2

Prognóza vývoje kontaminace  
C10 - C40

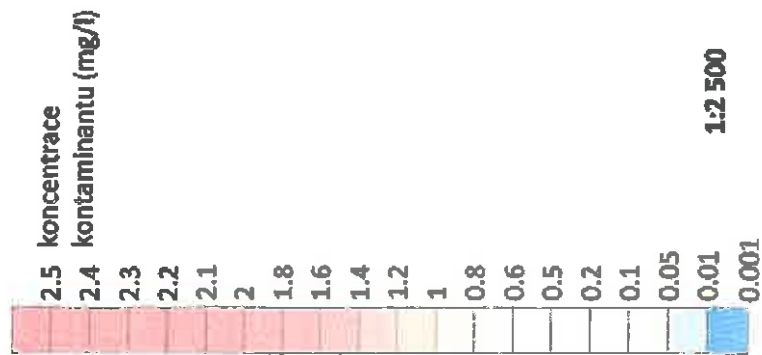
5 let po odstranění  
zdroje kontaminace

varianta V2 -

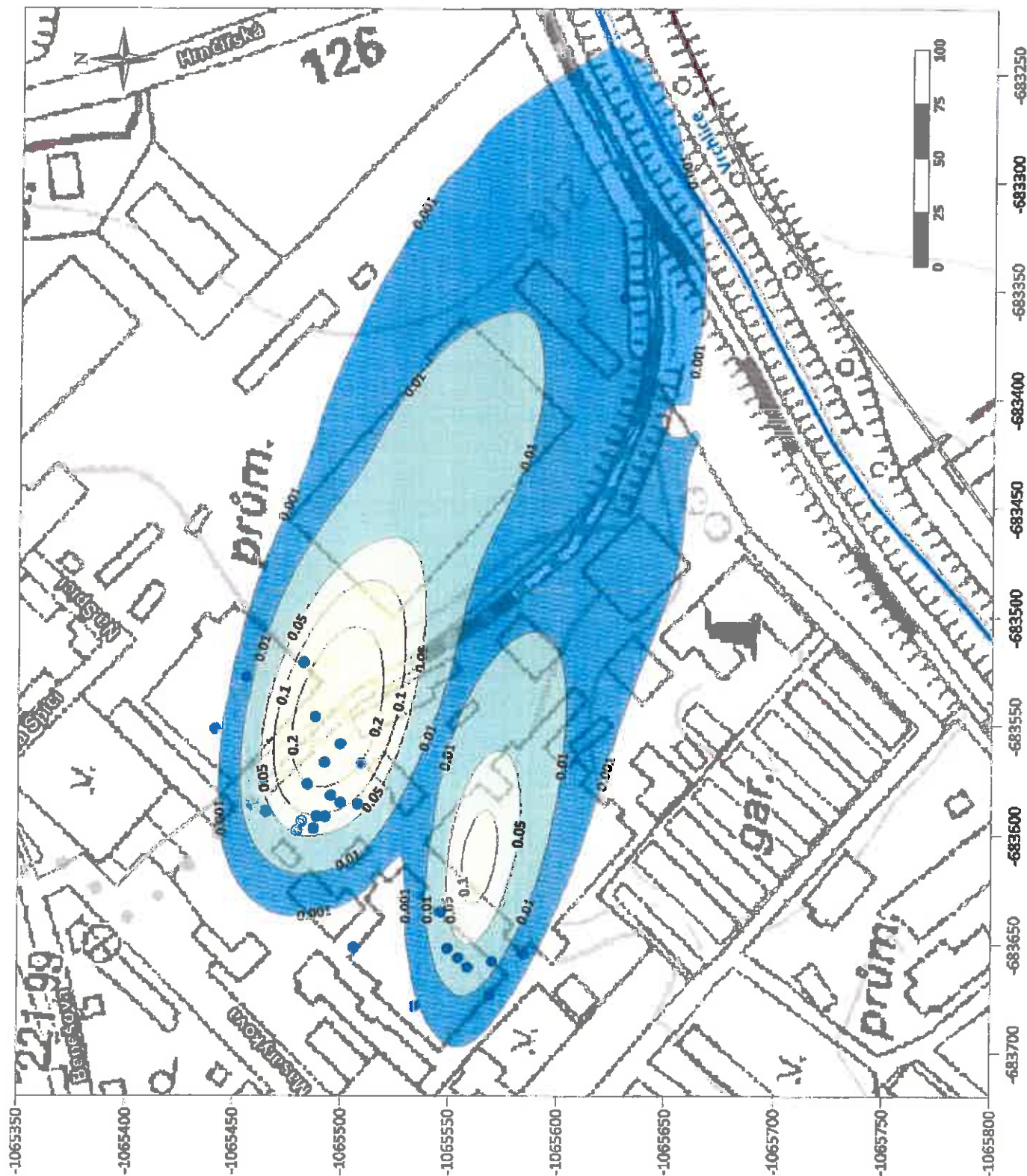
limit rozpustnosti 1.5 mg/l

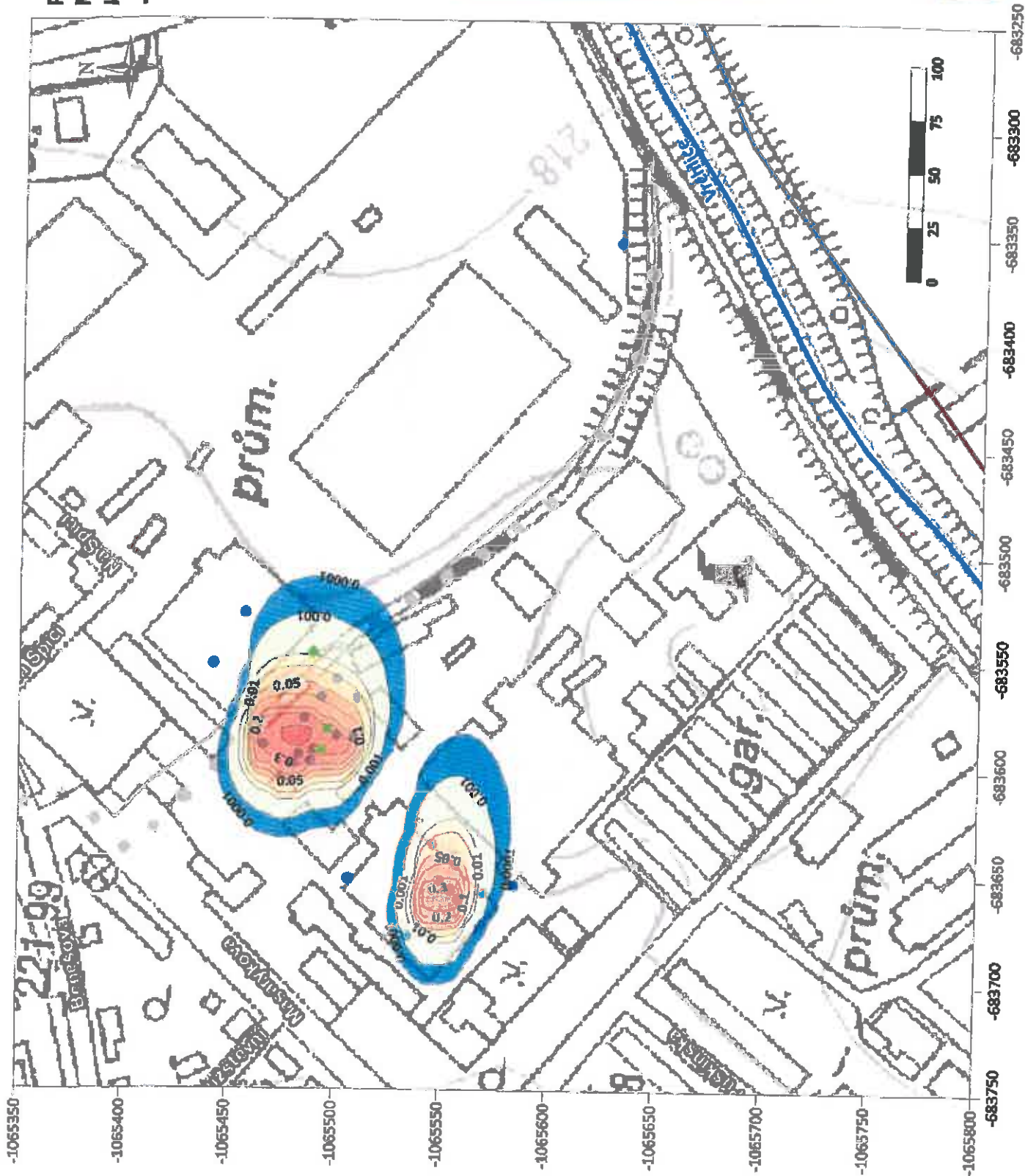


Vrty a sondy realizované při  
aktuálním průzkumu (nové vrty)



1:2 500





**Příloha 5.1**

**Modelové koncentrace  
kontaminace benzo(a)pyrenem  
- současný stav**

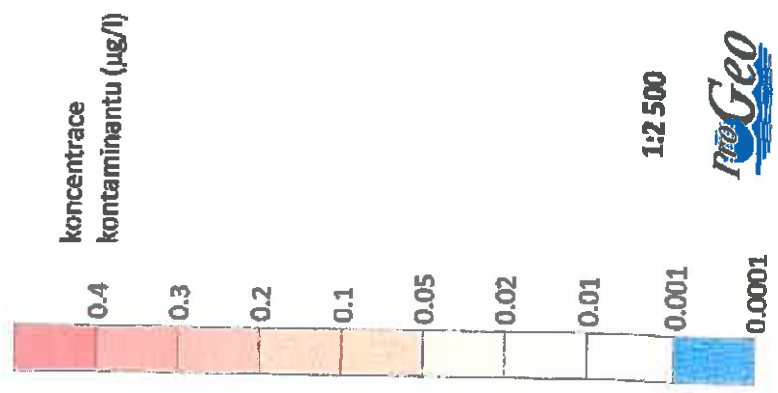
**po 40 letech šíření**

**limit rozpustnosti  
0.4 µg/l**



Vrty a sondy realizované při  
aktuálním průzkumu (nové vrty) +

Vrty a sondy se stanovenou  
koncentrací benzo(a)pyrenu



1:2 500



2019

## Příloha 5.2

Prognóza vývoje kontaminace  
benzo(a)pyrenem

5 let po odstranění  
zdroje kontaminace

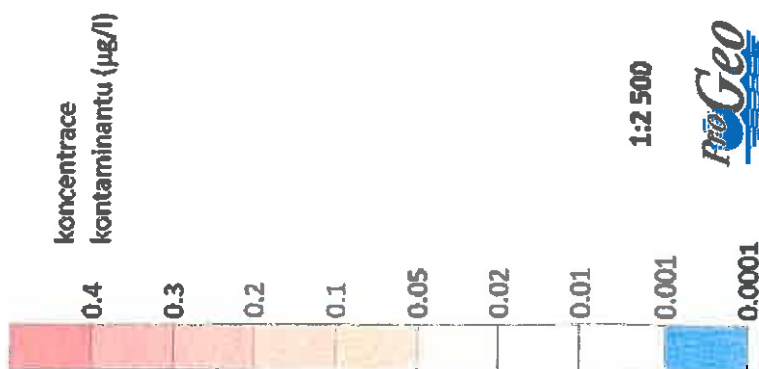
limit rozpustnosti  
0.4 µg/l



Vrty a sondy realizované při  
aktuálním průzkumu (nové vrty)



Vrty a sondy se stanovenou  
koncentrací benzo(a)pyrenu



1:2 500

