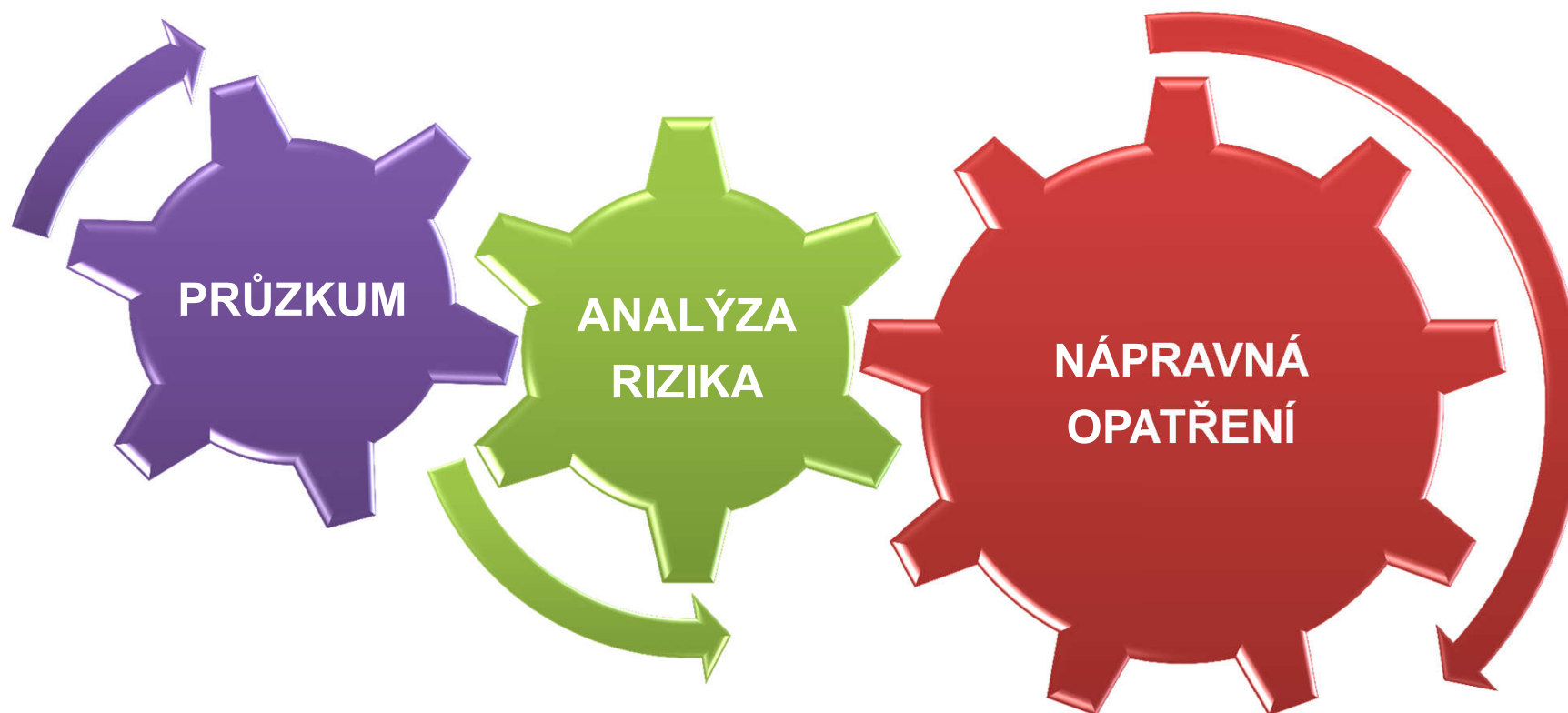


VYUŽITÍ MATEMATICKÝCH MODELŮ PRO EFEKTIVNÍ REMEDIACI ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

*Mgr. Zdeněk Vilhelm, Mgr. Jiří Vaněk, Mgr. Jiří Kamas, Ph.D.,
Ing. Karel Horák, Ing. Miroslav Minařík*



- a) Pokud je lokalita „jednoduchá“, je možné ji popsat analyticky (empirické vzorce)
- b) Pokud je lokalita složitá, je možné s ní pracovat jedině iterativně (postupné kroky, etapovitost – někdy i pokus/omyl)



- a) Pokud je lokalita „jednoduchá“, je možné ji popsat analyticky (empirické vzorce)
- b) Pokud je lokalita složitá, je možné s ní pracovat jedině iterativně (postupné kroky, etapovitost – někdy i pokus/omyl)



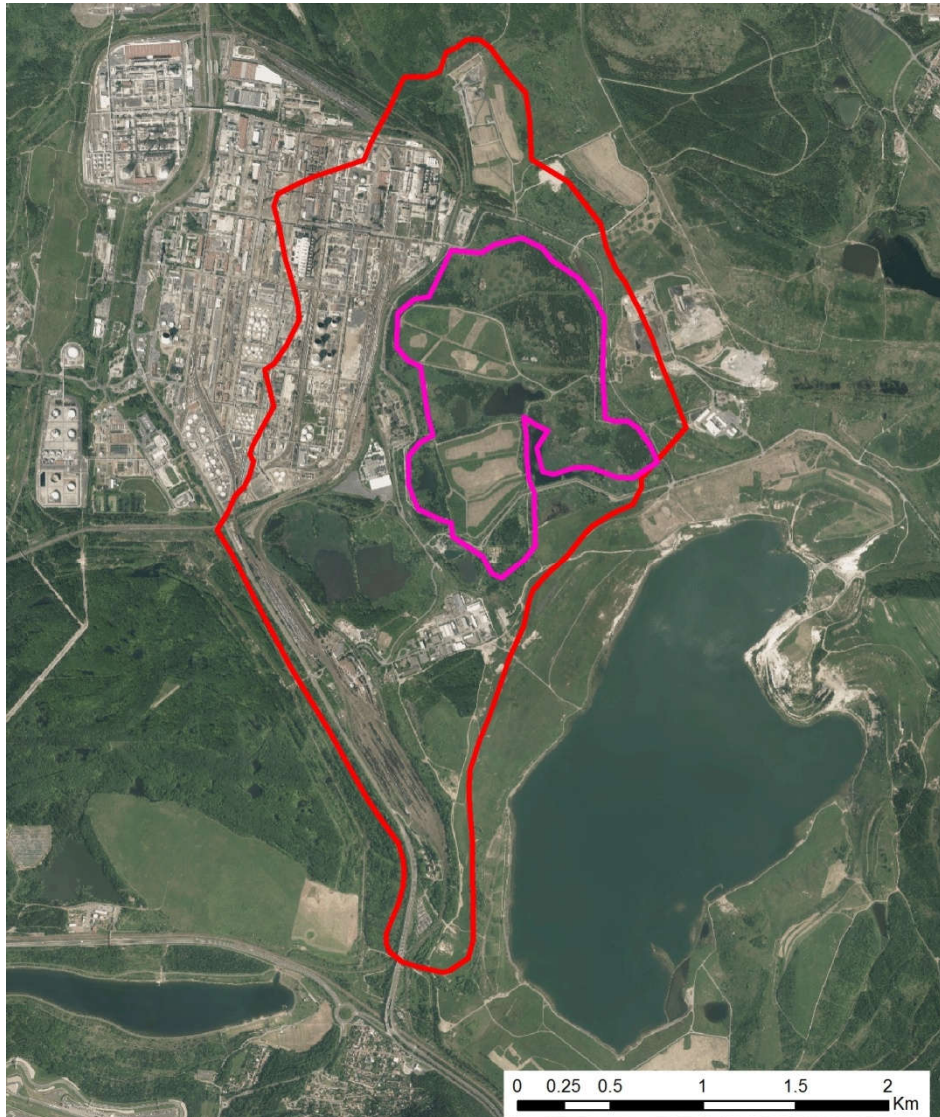
Pokud lokalitu nebudete řešit, tak ji pravděpodobně nevyřešíte.

- Jaká je bilance kontaminantu?
- V jaké míře dochází k šíření znečištění?
- Jaká je rizikovost daného znečištění?
- Jaký efekt bude mít navrhované nápravné opatření?
(K jakému cílovému stavu směřovat?)

- Jaká je bilance kontaminantu?
- V jaké míře dochází k šíření znečištění?
- Jaká je rizikovost daného znečištění?
- Jaký efekt bude mít navrhované nápravné opatření?
- **Jak provést sanaci v co nejkratším čase a s co nejmenšími náklady?**

- **umožňuje činit správná rozhodnutí v reálném čase**
 - **zvyšuje účinnost a zkracuje dobu projekce nápravného opatření**
 - **zvyšuje účinnost a zkracuje dobu provádění nápravného opatření**
- **šetří náklady managementu EZ**

- Popelové skládky bývalého podniku Chemopetrol, Litvínov



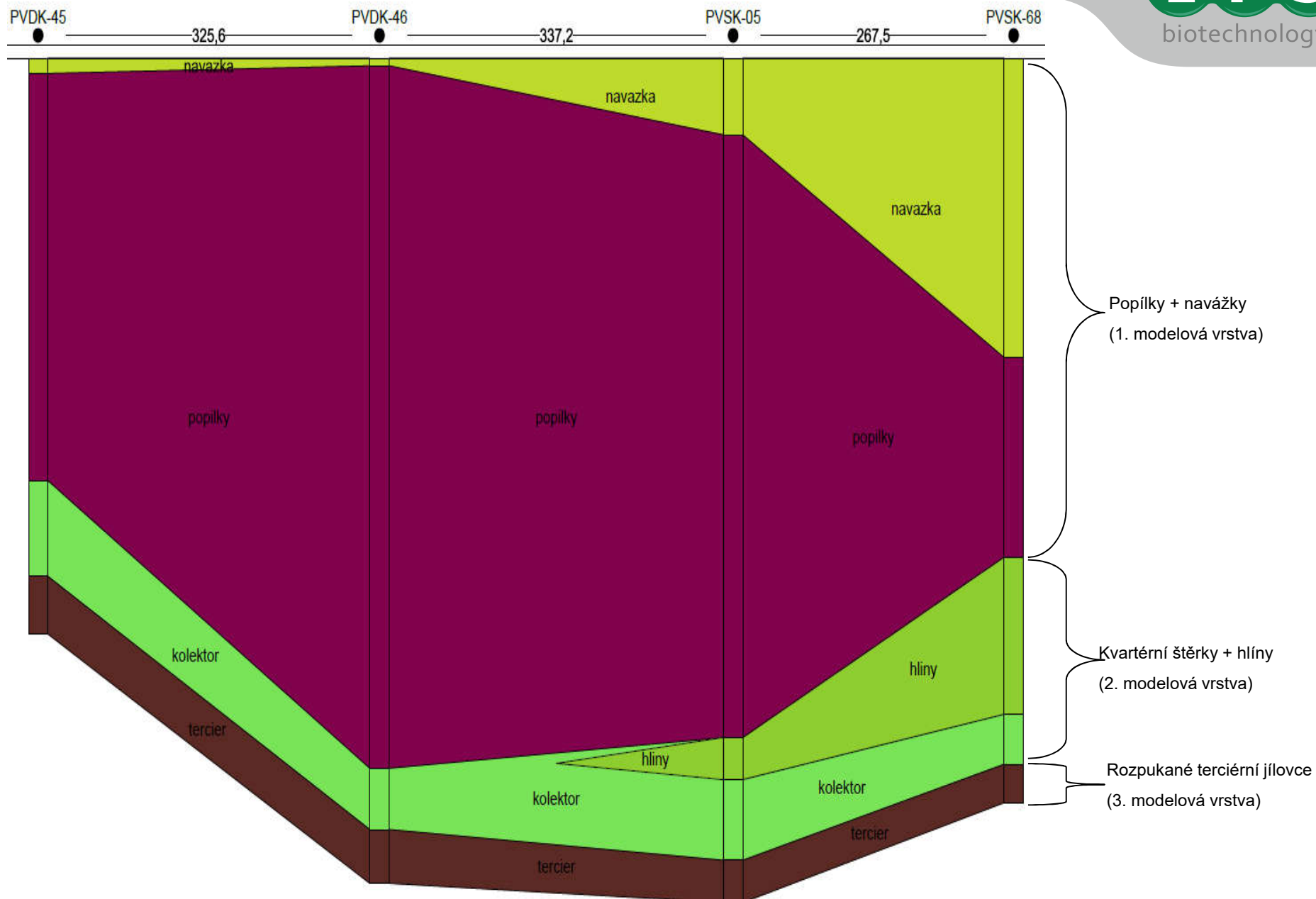
- hrazená odkaliště směsného odpadu chemické výroby, 40.- 80. léta 20. století,

- až přes 20 m mocnosti

- Winklerův nedopalek, dehty, havarijní úniky RL, vápenné kaly, fenolové vody, sulfidové louhy, čpavkové vody, ropné kaly, teplárenské popílký

- recipienty: řeka Bílina, jezero Most, drenáže v závodu UNIPETROL, důlní vody

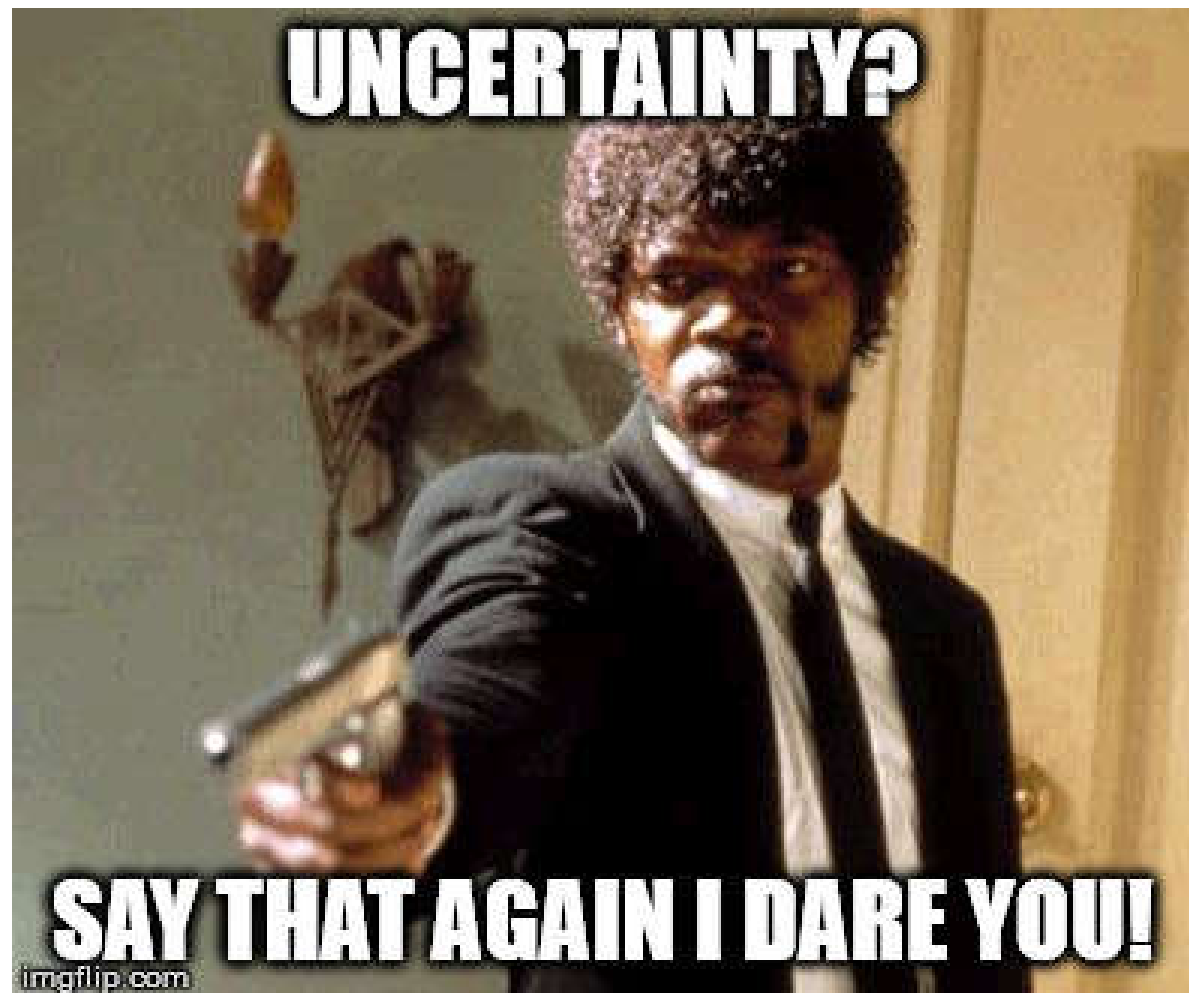
Case study



- 1994: Hydrogeologický průzkum, AR – prvotní numerický model proudění (pouze areál závodu)
- 1996: AAR zaměřená na hodnocení rizik – prvotní transportní model (pouze areál závodu)
- 1999: AAR s průběžnými výsledky sanačních prací, bez modelu
- v mezidobí provedeno překrytí či odštetování dílčích lokalit
- 2007: Studie pro rozhodování o postupu a rozsahu sanačních prací; transportní model amonného dusíku
- 2011: Upřesnění hydraulické části modelu
- 2015: Numerický transportní model v širší oblasti předpolí jezera Most
- 2016: Dopřezkum – bilance, sorpce ve spolupráci s AQUATEST a.s.
- **2017 Aktualizace hydraulické části transportního modelu**
- **2018 Aktualizace transportního modelu N_{amon}**
- **2019 AAR skládkových oblastí**

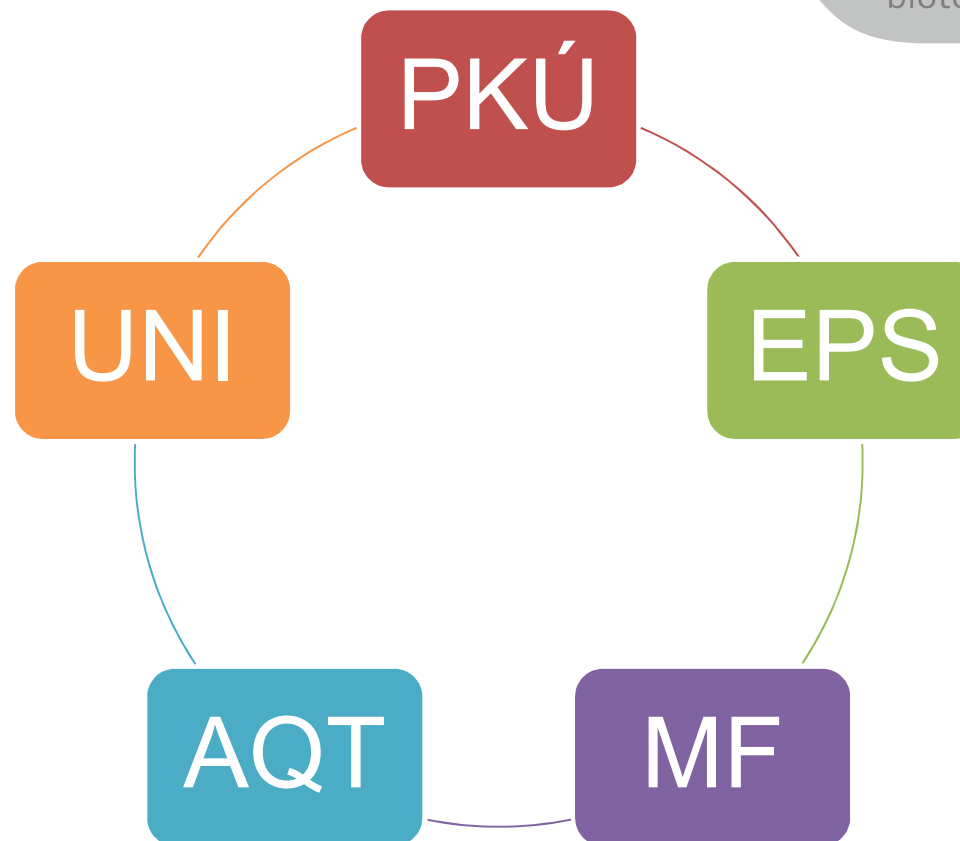
ZASE DALŠÍ MODEL??!

... spočívá v analýz nejistot



- a) předpověď šíření znečištění amoniakálním dusíkem v horizontu vyšších desítek let
- b) analýza a předpověď vývoje bilance znečištění v čase
- c) vztah vývoje znečištění vůči podzemní těsnící stěně
- d) ověření optimální kóty čerpání na Nové vodě střed
- e) odhad vlivu plánovaného sanačního čerpání na skládce K4a
- f) prověření možnosti komunikace znečištěných vod se stařinovou zvodní
- g) vliv přiblížení hrany uhelného řezu lomu Bílina na hydrogeologické podmínky na lokalitě

- PKÚ
- EPS
- UNIPETROL
- AQUQTEST
- MF



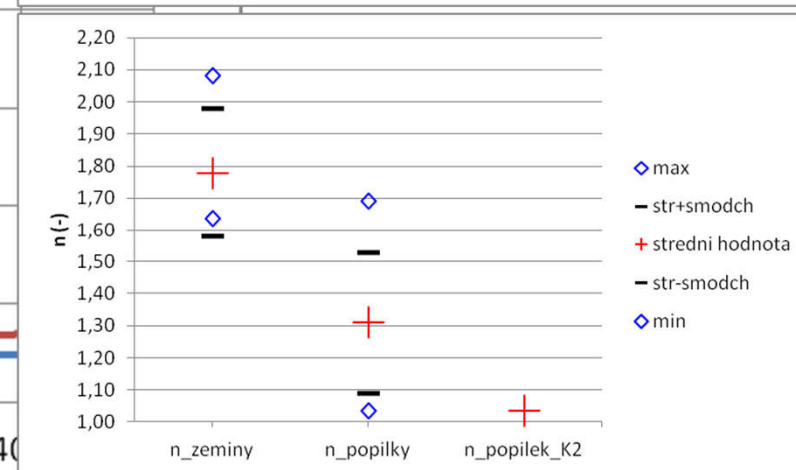
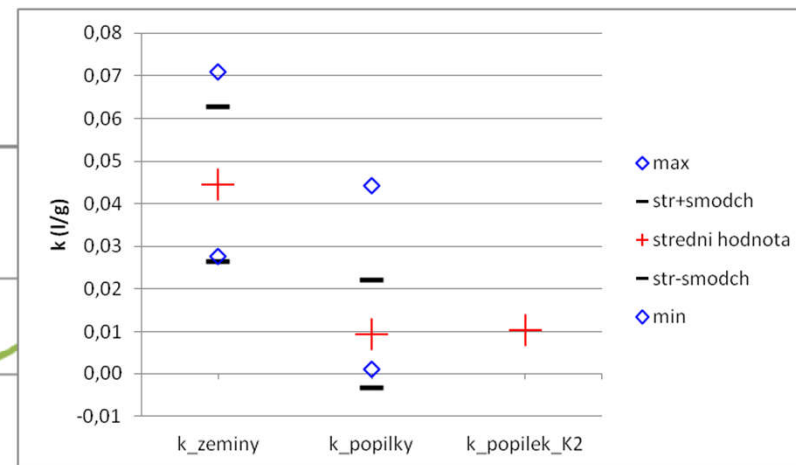
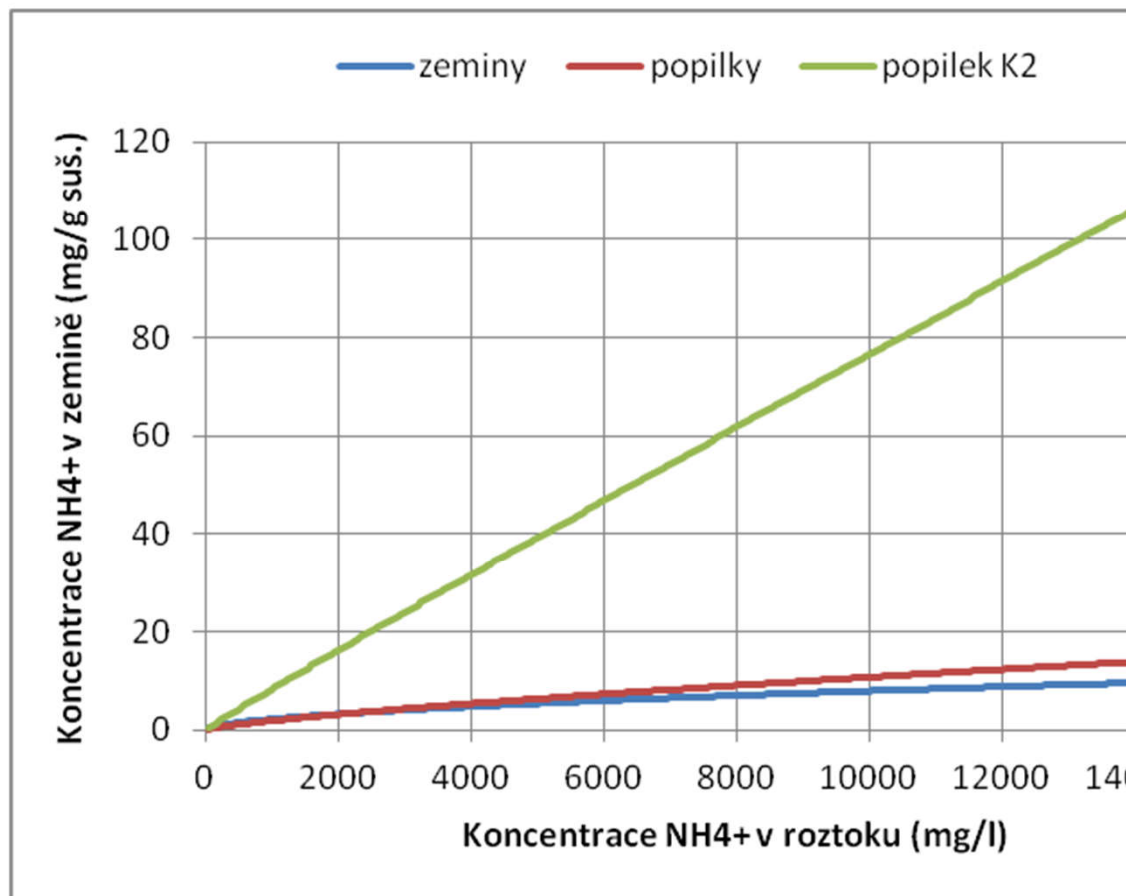
- Stav k 2. polovině roku 2018
- Podklad pro Analýzu rizika skládkových oblastí bývalého Chemopetrolu

Všemu vládne Freundlichova izoterma (doprůzkum 2016)

$$a = k \cdot c^{\frac{1}{n}}$$

- a je adsorbované množství NH_4^+ (mg/g suš.),
- k je adsorpční koeficient (l/g),
- n je adsorpční koeficient,
- c je koncentrace NH_4^+ v roztoku (mg/l).

- Doprůzkum 2016:



Je známa bilance kontaminantu
(tak se na ni pojd'eme v modelu zaměřit)

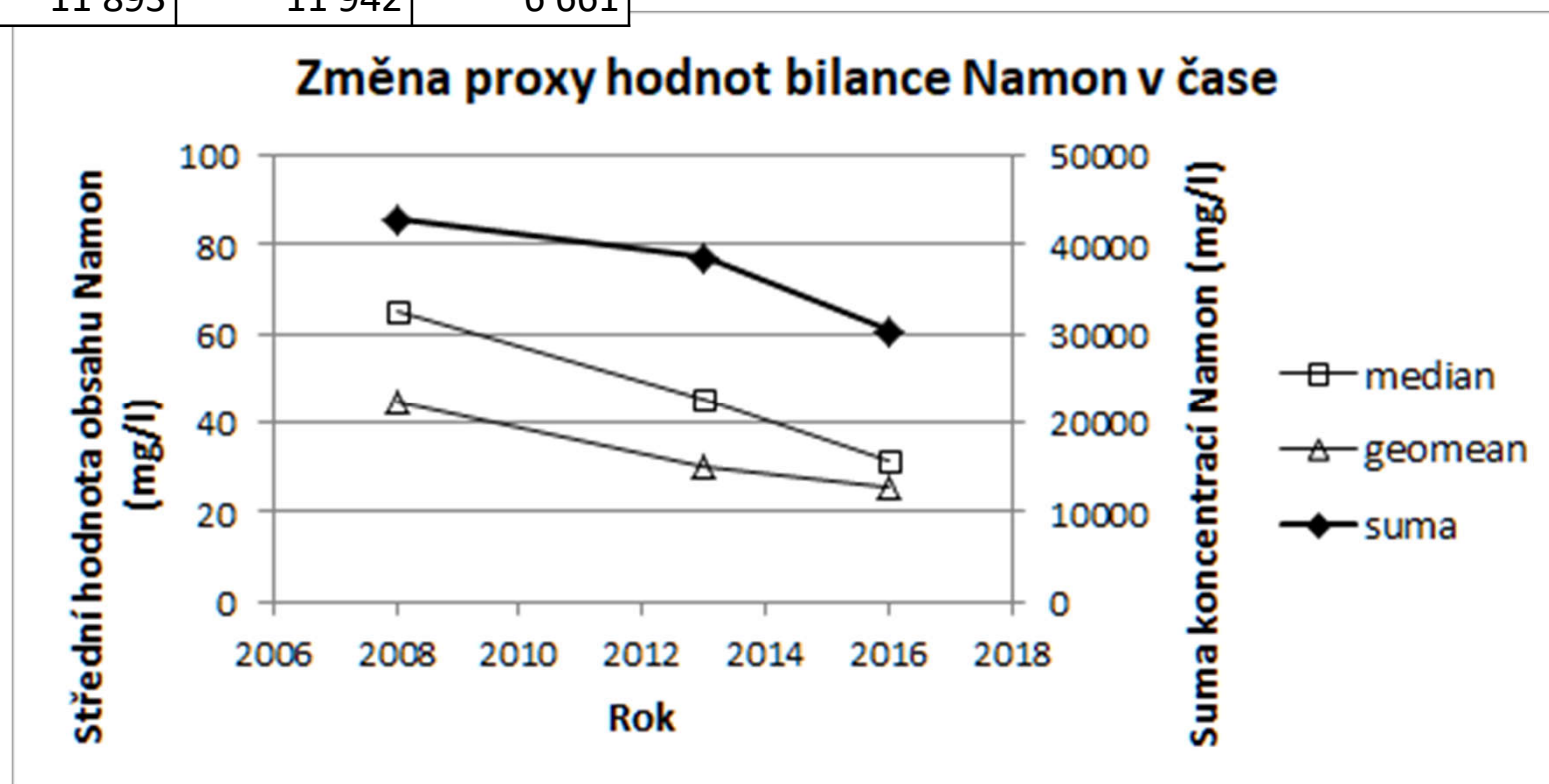
| Matrice | Objem matrice (m³) | Množství N_{amon} (t) |
|---|--|--|
| saturovaná zóna – voda | 1 879 537 | 576 |
| saturovaná zóna – popílky | 6 950 674 | 8 338 |
| saturovaná zóna – ostatní zeminy | 8 712 136 | 8 578 |
| nesaturovaná zóna – popílky | 10 131 011 | 3 926* |
| Celkem | | 21 418 |

Poznámka: V případě nesaturované zóny se patrně pro nedostatek údajů o koncentraci kontaminantu v zeminách jedná o mírně nadhodnocený odhad (Zamrazilová 2016).

| | 2008 | 2013 | 2016 |
|----------------|---------------|---------------|---------------|
| suma | 42 869 | 38 599 | 30 344 |
| median | 65,3 | 45,2 | 31,4 |
| geomean | 44,5 | 30,4 | 25,9 |
| p5 | 0,4 | 0,1 | 0,1 |
| p25 | 8,3 | 5,5 | 2,9 |
| p75 | 361,6 | 350,9 | 298,0 |
| p95 | 1 143,5 | 955,8 | 1 033,8 |
| maximum | 11 893 | 11 942 | 6 661 |

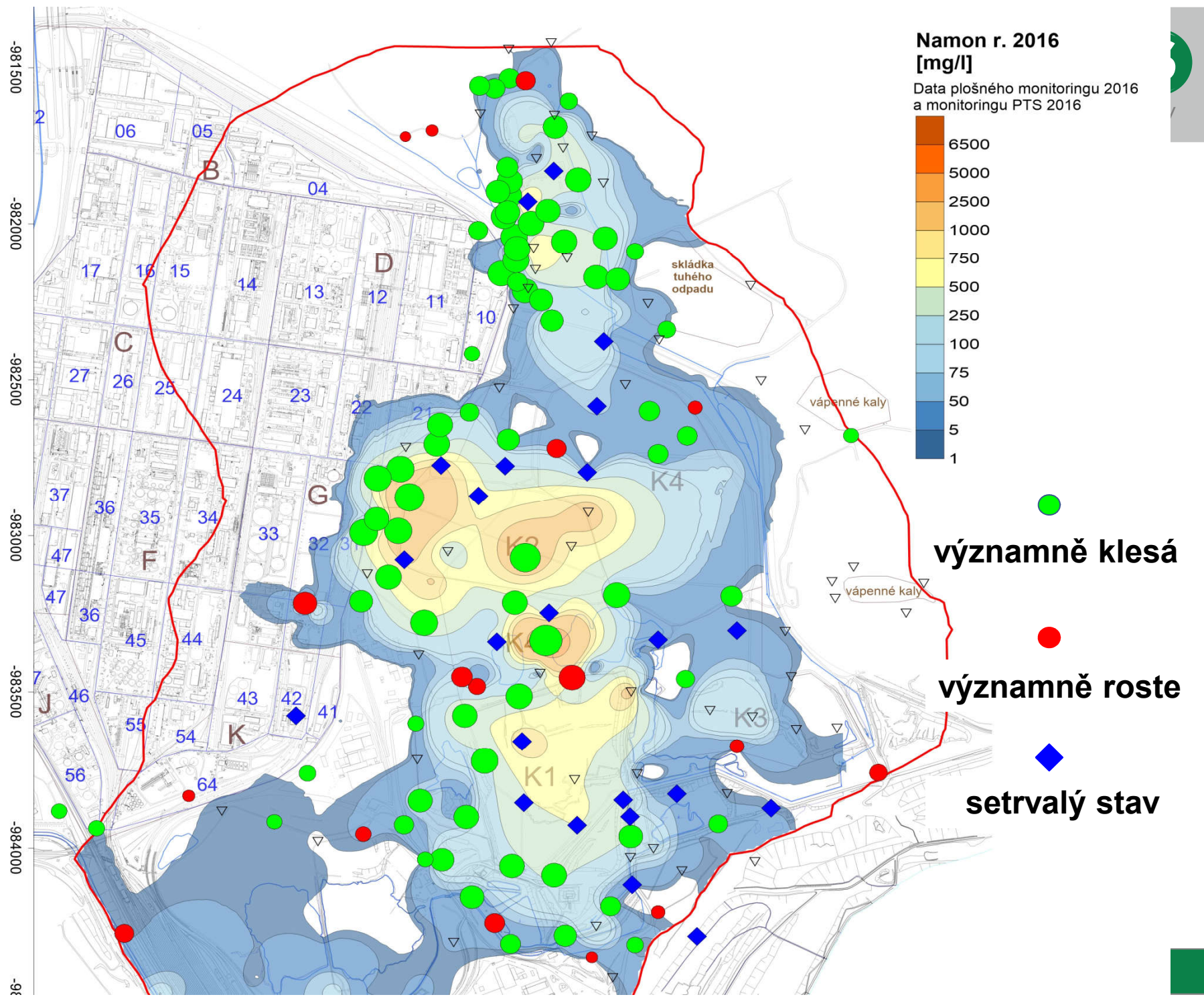
• A přece to klesá!

J. „Galileo“ Vaněk



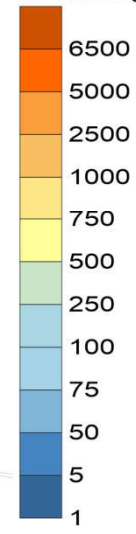
- a) vrty s významně rostoucí koncentrací N_{amon} (17 objektů),
- b) vrty s významně klesající koncentrací N_{amon} (75 objektů),
- c) vrty s nedostatečně významnou změnou koncentrace N_{amon} (setrvalý stav, 23 objektů)

Vrty se setrvalým trendem byly soustředěny z většiny v oblastech skládky K2 a K1. *Tato distribuce koreluje s plochou překrytí skládek izolační vrstvou*



**Namon r. 2016
[mg/l]**

Data plošného monitoringu 2016
a monitoringu PTS 2016



- významně klesá
- významně roste
- ◆ setrvalý stav

skládka
tuhého
odpadu

vápenné kaly

vápenné kaly

K4

K2

K4

K1

K3

-981500
-982000
-982500
-983000
-983500
-984000
-984500

2
06 05
04
17 16 15
14 13 12 11 10
27 26 25 24 23 22 21
37 36 35 34
47 47 36 45 44
46 55 54 43 42 41
56 64

B

D

C

G

F

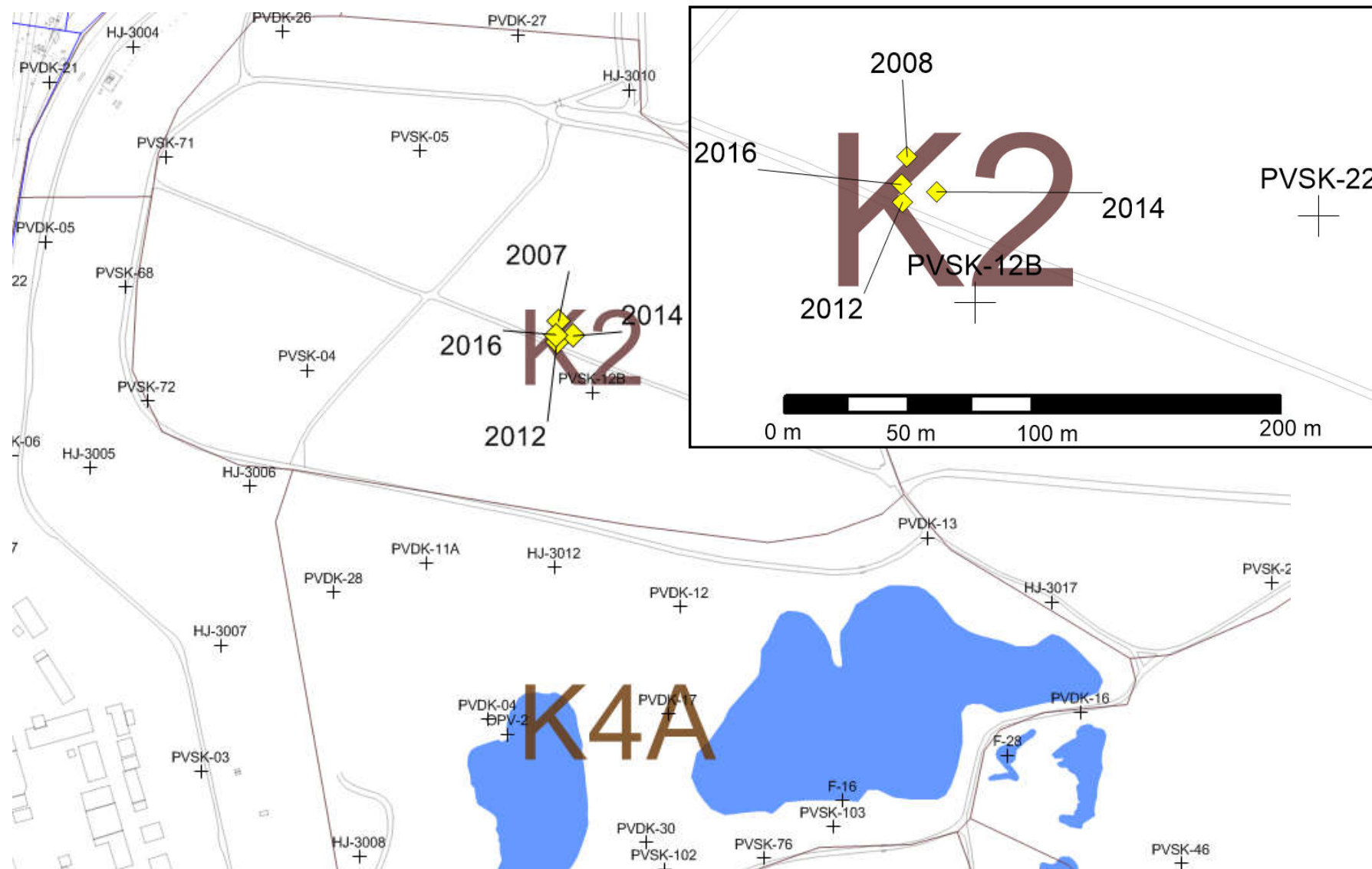
J

K



- Doložený pokles znečištění dobře odpovídal exponenciálnímu poklesu s hodnotou poločasu rozpadu 9347 dní, tedy 25,608 roku. (Doba, za kterou klesne úhrn znečištění o polovinu)
- *Termín „poločas rozpadu“ přísluší matematickému popisu děje a nijak nesouvisí s mechanismem úbytku kontaminantu na lokalitě.*
- Patrně jde o únik do atmosféry
- Neplatí koncept „vymývání zdroje v nesaturované zóně“

Těžiště kontaminačního mrak se nepohybuje...



SCÉNÁŘ 1 (2008-2016)

Kalibrace na dokumentovaný vývoj znečištění a dění na lokalitě.



SCÉNÁŘ 2 (2016-7/2019)

Přechodné období



SCÉNÁŘ 3 (2019-7/2024)

Čerpání NVS + K4a



SCÉNÁŘ 4

(7/2024-7/2034)

Navazující čerpání
K4a

SCÉNÁŘ 5a

(7/2024-
2084)

Zastavení
čerpání
K4a,
čerpání
NVS

SCÉNÁŘ 5b

(7/2024-
2084)

Zastavení
čerpání
K4a,
bez čerp.
NVS

SCÉNÁŘ 6a

(7/2024-
2084)

Překrytí
skládek
K4a, K4,
K3,
čerpání
NVS

SCÉNÁŘ 6b

(7/2024-
2084)

Překrytí
skládek
K4a, K4,
K3,
čerpání
K4a

SCÉNÁŘ 6c

(7/2024-
2084)

Překrytí
skládek
K4a, K4,
K3, bez
následnéh
o čerpání

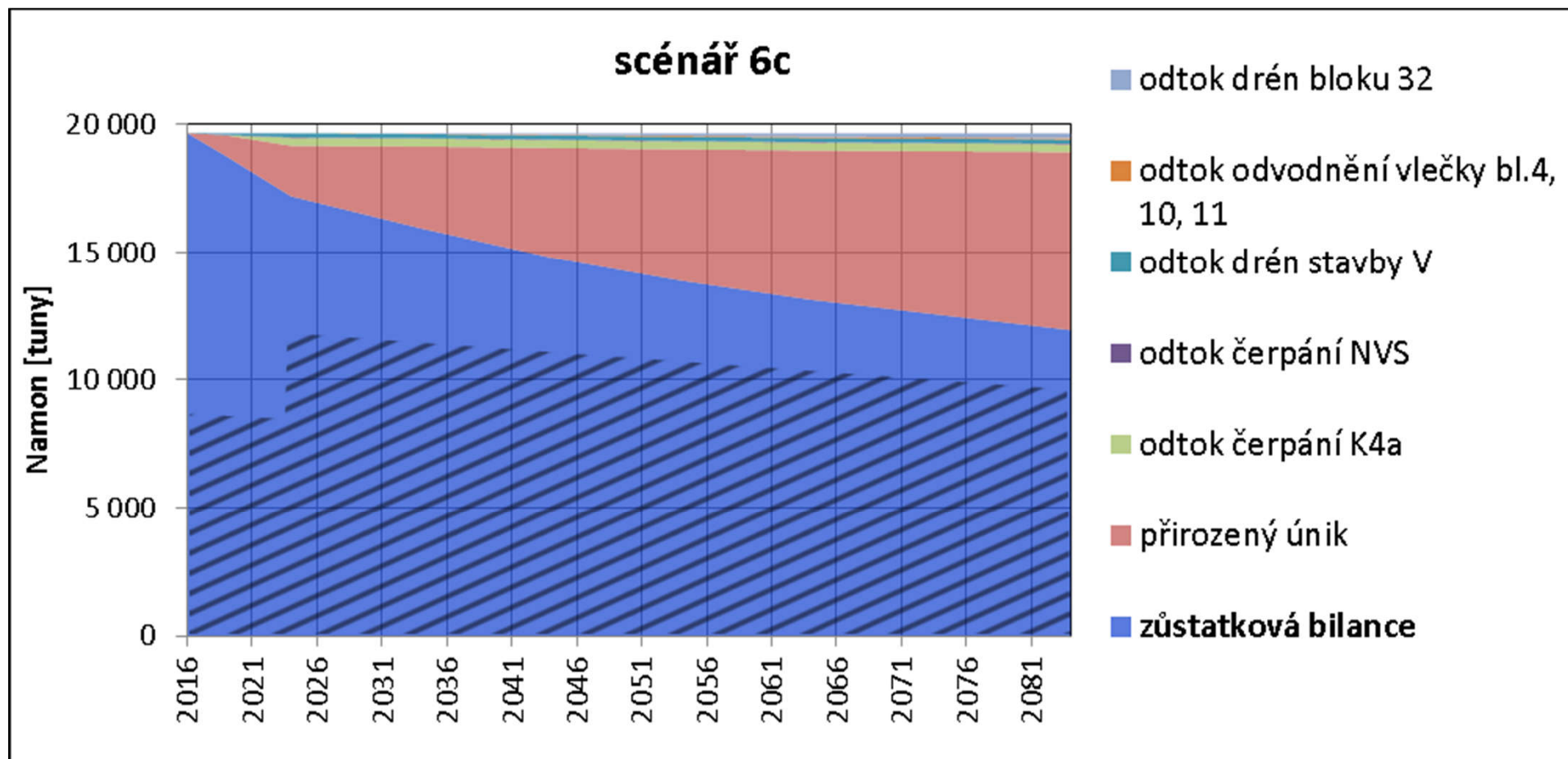


| | | | | | |
|--|---|---|--|--|---|
| <p>SCÉNÁŘ 4 (7/2024-7/2034) Navazující čerpání K4a</p> | <p>SCÉNÁŘ 5a (7/2024-2084) Zastavení čerpání K4a, čerpání NVS</p> | <p>SCÉNÁŘ 5b (7/2024-2084) Zastavení čerpání K4a, bez čerp. NVS</p> | <p>SCÉNÁŘ 6a (7/2024-2084) Překrytí skládek K4a, K4, K3, čerpání NVS</p> | <p>SCÉNÁŘ 6b (7/2024-2084) Překrytí skládek K4a, K4, K3, čerpání K4a</p> | <p>SCÉNÁŘ 6c (7/2024-2084) Překrytí skládek K4a, K4, K3, bez následného čerpání</p> |
|--|---|---|--|--|---|



| | |
|---|---|
| <p>SCÉNÁŘ 4a (7/2034-2084) Zastavení čerpání K4a, čerpání NVS</p> | <p>SCÉNÁŘ 4b (7/2034-2084) Zastavení čerpání K4a, bez čerp. NVS</p> |
|---|---|

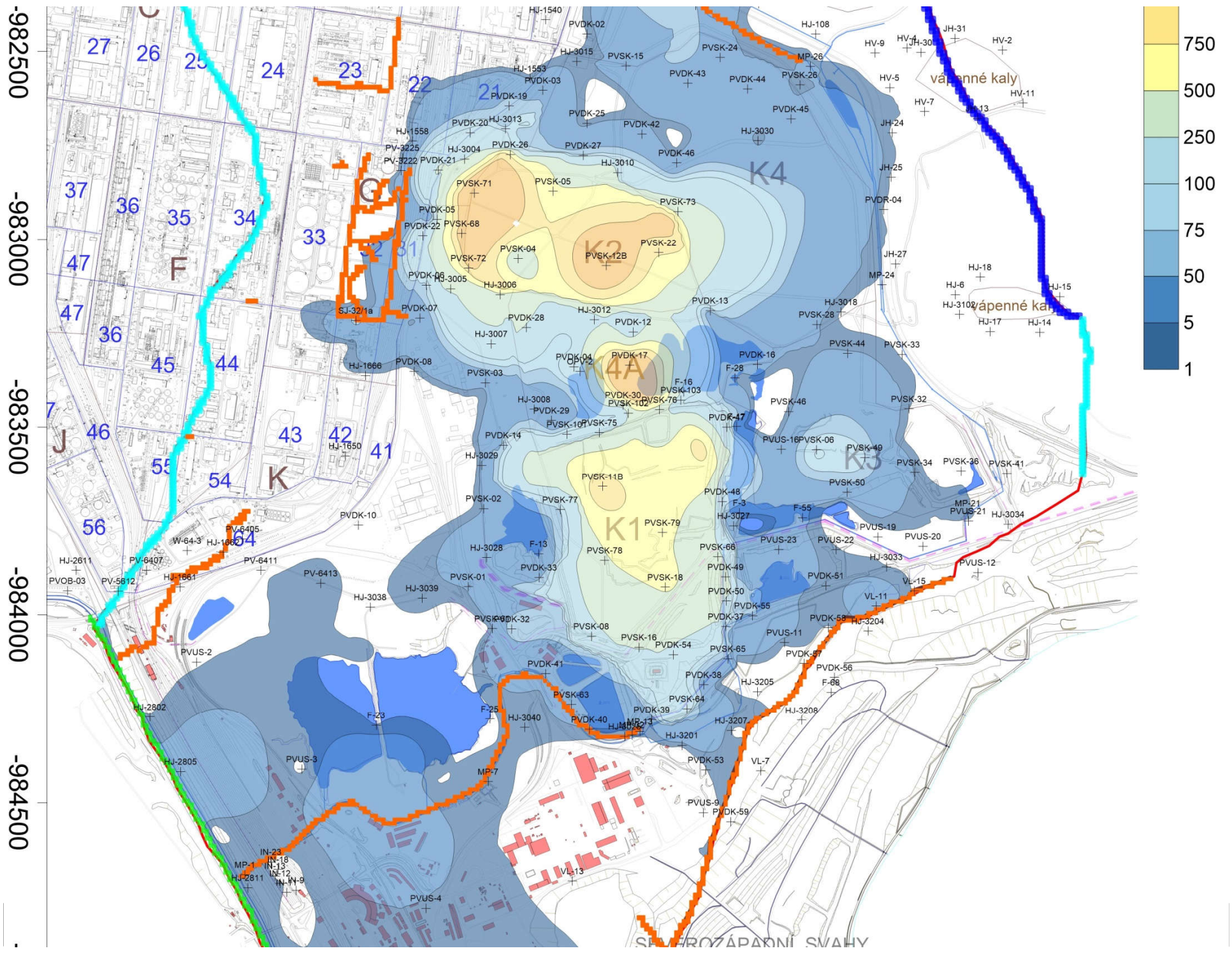




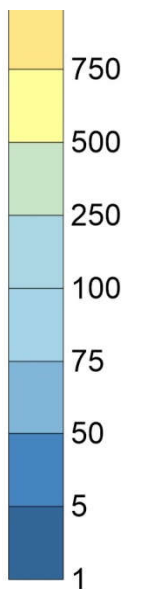
Graf modelové kumulativní bilance Namon, scénář 6c – překrytí skládek K3, K4 a K4a v roce 2024, ukončení čerpání NVS i K4a v r. 2024; černou šrafovou vyznačen vázaný podíl kontaminantu v oblastech překrytých skládek, kde patrně nedochází k jeho úniku

Statistická distribuce koncentrací kontaminantu jako vodítka k posouzení věrnosti simulací

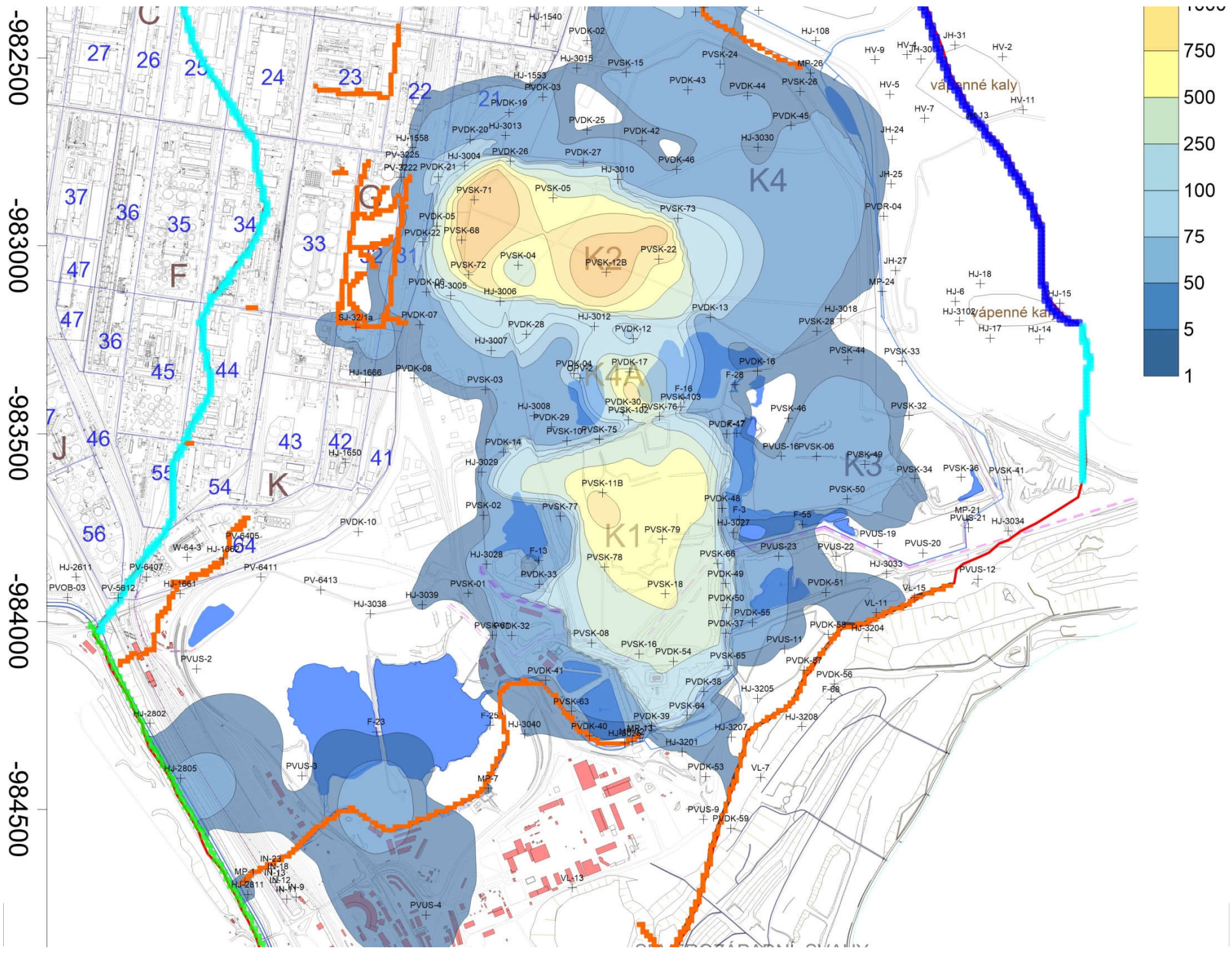
| Koncentrace N_{amon} [mg/l] | | |
|-------------------------------|------------------------|-------------------------|
| | Plošný monitoring 2016 | Modelová předpověď 2016 |
| SUMA koncentrací | 30 342,9 | 32 563,8 |
| median | 33,3 | 78,6 |
| geomean | 28,1 | 65,4 |
| p_{05} | 0,2 | 1,4 |
| p_{25} | 3,5 | 17,2 |
| p_{75} | 301,7 | 383,9 |
| p_{95} | 1 034,1 | 1 026,9 |
| min | 0,1 | 0,7 |
| max | 6 661,3 | 6 683,7 |

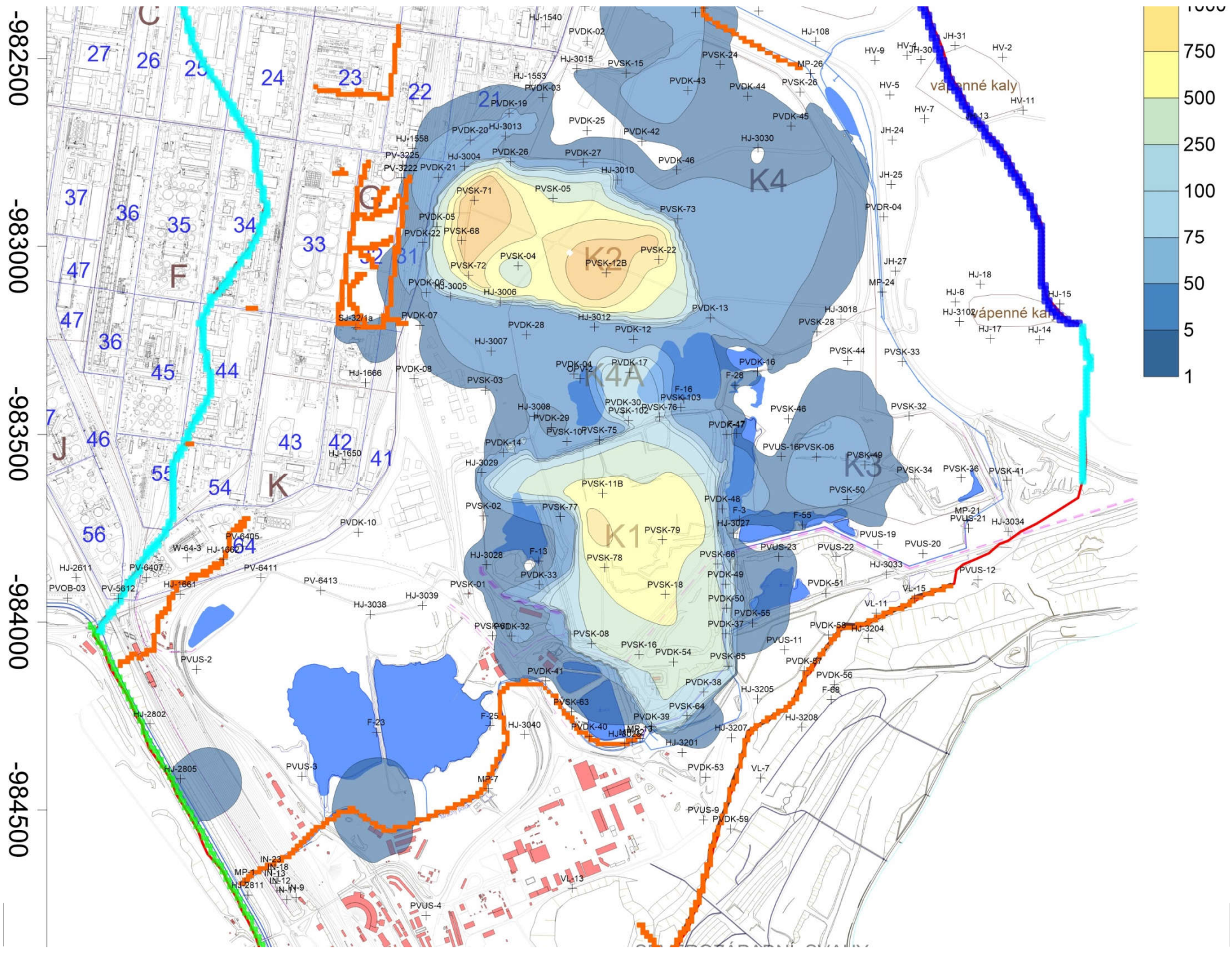


-982500
-983000
-983500
-984000
-984500



SH. FROZÁPAKNI SVAHY



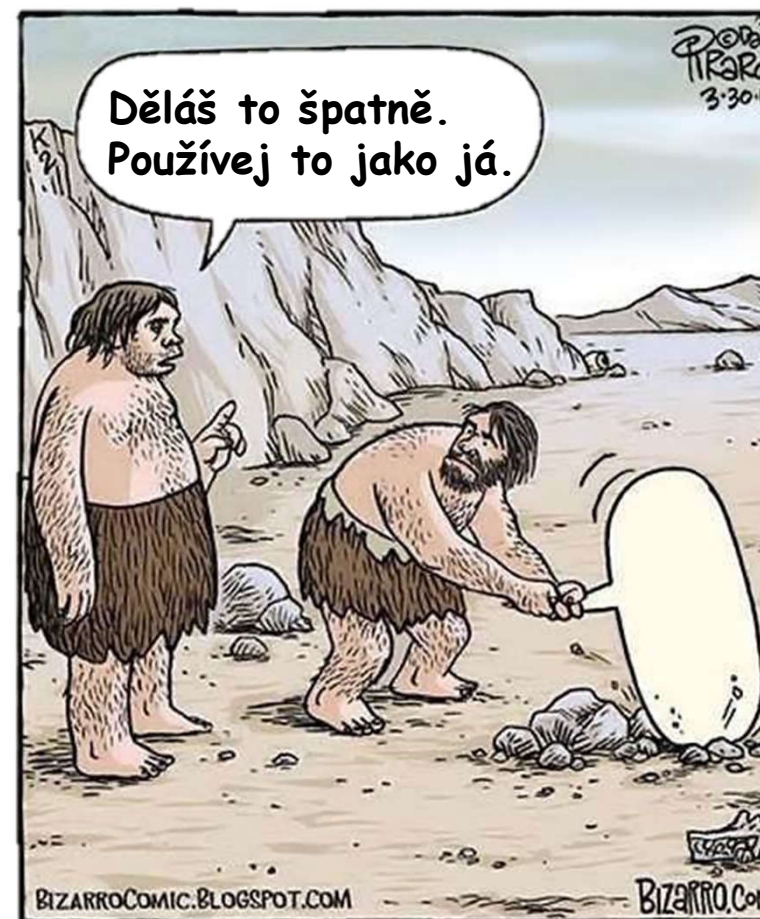


- **transportní model poskytl aktuální syntetické zpracování problematiky šíření znečištění N_{amon}**
- **paradoxně se nemusíme tolik obávat ohnisek (přinejmenším máme čas)**
- **je na místě relevantně řešit toky do jednotlivých recipientů**

- **patrně klesá priorita N_{amon} – co ostatní kontaminanty?**
- **je možné nalezený mechanismus úniku kontaminantu do atmosféry podpořit a zvýšit tak rychlost úbytku znečištění N_{amon} ?**

- výsledek jakéhokoliv způsobu pracování dat (analýza, syntéza, numerické nástroje, ...) je vždy odrazem aktuálního stavu poznání lokality
- nejistoty nejsou nedostatkem či slabostí, opak je pravdou
- přiznání existence nejistot, schopnost kvantifikace / kvalifikace jejich vlivu na výsledek a návrh opatření pro minimalizaci jejich vlivu jsou kruciálními součástmi předpovědních modelů. Jen tak je možné se posunout v úrovni poznání a významně zvýšit přesnost predikcí.
- etapovitost je nevyhnutelná

- *Skutečný postup prací:*
 - 1996 – 2000 průzkumy, AR
 - 2007: Transportní model amonného dusíku
 - 2011: Dopřůzkum a upřesnění hydraulické části modelu
 - 2015: Dopřůzkum a numerický transportní model v širší oblasti předpolí jezera Most
 - 2016: Dopřůzkum – bilance, sorpce
 - 2018: Aktualizace hydraulického i transportního modelu
 - 2019 AAR
 - **Hurá! Můžeme začít navrhovat nápravná opatření !**



To be continued

...