

# Modelové simulace proudění podzemní vody – využití při stanovení zdrojů a využitelného množství podzemních vod

## MODELOVÉ ZHODNOCENÍ PÁNEVNÍHO HYDROGEOLOGICKÉHO RAJÓNU – Třeboňská pánev –severní část

Žďár n. Sázavou, 25.11.2009

RNDr. Martin Milický

Mgr. Ondřej Zeman

# Oceňování zdrojů podzemních vod – terminologie

- jsou definovány v příloze č.8 k vyhlášce č. 369/2004 Sb.
- **Zdroje podzemních vod jsou dynamickou (obnovitelnou) složkou podzemních vod, vyjádřenou v jednotkách objemového průtoku (objem za jednotku času).**
- **Zásoby podzemních vod tvoří objem** podzemní vody v hydrogeologickém kolektoru daný jeho efektivní porositou a pružnými vlastnostmi kolektorských hornin
- **Využitelné množství podzemních vod** - množství podzemní vody, které je možné racionálně využívat z hydrogeologického kolektoru nebo zvodněného systému, aniž nastane negativní ovlivnění podzemních vod anebo okolního životního prostředí
- **Klasifikace zásob a využitelného množství podzemních vod vodního útvaru – kategorie III. až I. (dle úrovně zpracovaného hodnocení)**

# Klasifikace využitelného množství podzemních vod vodního útvaru

- **kategorie III.** - využitelné množství podzemních vod vypočtené pomocí stacionárního hydraulického modelového řešení v podmínkách průměrné srážkové infiltrace,
- **kategorie II.** - využitelné množství podzemních vod vypočtené pomocí stacionárního a tranzientního hydraulického modelového řešení pomocí simulace dosavadního provozu jímání a souběžného režimního pozorování po dobu delší než 5 let. Do hydraulického modelového řešení vstupuje srážková infiltrace stanovená minimálně na úrovni přírodních zdrojů kategorie II. Hydraulický model se verifikuje pomocí hladinového a průtokového kritéria shody měřených a modelových hladin a průtoků.
- **Využitelné množství kategorie I.** Do kategorie I. se zařazuje využitelné množství podzemních vod vypočtené pomocí stacionárního a tranzientního hydraulického modelového řešení pomocí simulace dosavadního provozu jímání a souběžného režimního pozorování po dobu delší než 15 let.

# Hodnocení zdrojů podzemních vod

## Klasifikace území ČR z hlediska potřeby hodnocení zdrojů podzemních vod

- Zpracována RNDr. Herrmannem v roce 2008 pro MŽP
- Vychází z nové hydrogeologické rajonizace (VÚV TGM, 2005)
- Využívá hodnocení a klasifikací :
  - ◆ Sestavených vodohospodářských bilancí útvarů podzemních vod – porovnání evidovaných odběrů podzemní vody s přírodními zdroji podzemní vody - zpracovávají podniky povodí,
  - ◆ Stanovení přírodních zdrojů – ČHMÚ
  - ◆ Klasifikace vodních útvarů pro Plány oblastí povodí – útvary s nevyhovujícím či potenciálně nevyhovujícím stavem – zpracoval VÚV ze zdrojových dat
- Chybí podrobné hodnocení zdrojů podzemních vod na základě regionálního hydrogeologického průzkumu
- Hlavním výstupem - Stanovení potřeby a naléhavosti realizace hodnocení zdrojů – pořadí HGR

# Stanovení velikosti přírodních zdrojů podzemních vod

- Nezbytné v měsíčních průměrných hodnotách pro zavedené jednotné konjunktivní bilance povrchových a podzemních vod
- ČHMÚ ve spolupráci VÚV začal oceňovat přírodní zdroje podzemních vod ve vybraných rajónech na základě analýzy základních odtoků v měsíčním časovém kroku
- V pánevních strukturách s vrstevními kolektory je stanovení zdrojů pomocí analýzy základních odtoků velmi problematické
- Pánevní struktury jsou přitom vodárensky nejvýznamnější oblasti České republiky
- **NUTNOST POUŽITÍ HYDROLOGICKÝCH A HYDRAULICKÝCH MODELŮ**

# Klasifikace území ČR z hlediska potřeby hodnocení zdrojů podzemních vod – indikátory naléhavosti

- podklady pro stanovení velikosti zdrojů podzemních vod pro vodní bilanci v ČHMÚ
- významné odběry přesahující 1.106 m<sup>3</sup>/rok (32 l/s)
- bilančně napjaté rajony podle VHB 2006
- vodohospodářsky významné rajony podle VHB 2006
- rizikové útvary podzemních vod podle plánů oblasti povodí (POP)
- vodohospodářské problémy

HG R	Název rajonu 2005	Plocha km <sup>2</sup>	Podklady ČHMÚ	Odběr přes mil. m <sup>3</sup>	Napjatá bilance	Význa mné	Stav v POP	VH problé my	Suma	pořadí
4222	Podorlická křída v povodí Orlice	434	1	5	5	2	3	5	21	1
1621	Pliopleistocén Hornomoravského úvalu - severní část	357	5	5			3	5	18	2
1622	Pliopleistocén Hornomoravského úvalu - jižní část	289	5	5			3	5	18	3
1623	Pliopleistocén Blatý	100	5	5			3	5	18	4
2151	Třeboňská pánev - severní část	260	1	5		2	5	5	18	5
4232	Ústecká synklinála v povodí Svitavy	358	1	5	5	2	5		18	6
4231	Ústecká synklinála v povodí Orlice	176	1	5	5	2	3		16	7
4221	Podorlická křída v povodí Úpy a Metuje	253	5		5	2	3		15	8
4522	Křída Liběchovky a Pšovky	335	2	5		2		5	14	9
1122	Kvartér Labe po Pardubice	128	5	5			3		13	10

# Třeboňská pánev – severní část

- Hodnocena na 5. místě z hlediska nutnosti rebilance zdrojů podzemní vody
- Indikátor 5 (největší) v hodnocení –
  - ◆ **podle plánů oblasti povodí (POP)** - rizikové útvary podzemních vod, HGR **v nevyhovujícím stavu** : nižší spolehlivost při stanovení přírodních zdrojů, možnost přečerpávání zásob podzemní vody (nejsou zde indukované zdroje), zhoršená jakost podzemní vody (vysoká míra znečištění dusičnany), potenciální negativní vliv čerpání podzemních vod na terestrické ekosystémy mažická a borkovická blata
  - ◆ **vodohospodářské problémy** - problémová ochrana biotopu mažických a borkovických blat

# Metodické principy a **postupy** při stanovení velikosti přírodních zdrojů (Herrmann, 2008)

- Metodika podle typu útvaru podzemních vod (hydrogeologický masiv, pánevní struktury, kvartérní fluviální sedimenty).
- Systémový přístup (hranice systému, interakce s okolím).
- Sestavení hydrogeologické koncepčního modelu.
- Hydrologický model, dotace a drenáž podzemních vod.
- **Hydraulický model, strategie jímání, optimalizace odběrů a ekologických zájmů.**
- **identifikace bilancovaného kolektoru a sestavení hydrogeologického koncepčního modelu;**
- **stanovení přírodních zdrojů podzemních vod na základě hydrologických metod;**
- **ocenění kvality a upravitelnosti podzemních vod v rámci hydrochemických studií;**
- **vyčlenění využitelné kapacity zdrojů podzemní vody (využitelného množství) pomocí hydraulického modelu;**
- **sestavení závěreční zprávy úkolu, včetně zformátování výsledků do vhodné formy informačního systému GIS**



## Třeboňská pánev – severní část – měřená data a hodnocení

- přehled geologických a hydrogeologických poměrů pánve
- hydrologická a hydrometrická režimní měření
- současný stav a vývoj kontaminace dusičnany
- sestavení modelu – vstupní data, kalibrace
- výstupy modelových řešení - bilance zásob podzemních vod a jejich jakosti, prognóza vývoje
- návrh doplňujících prací pro zpřesnění řešení
- praktické využití výsledků simulací

# Základní situace HGR 2151 s hydrogeologickými objekty



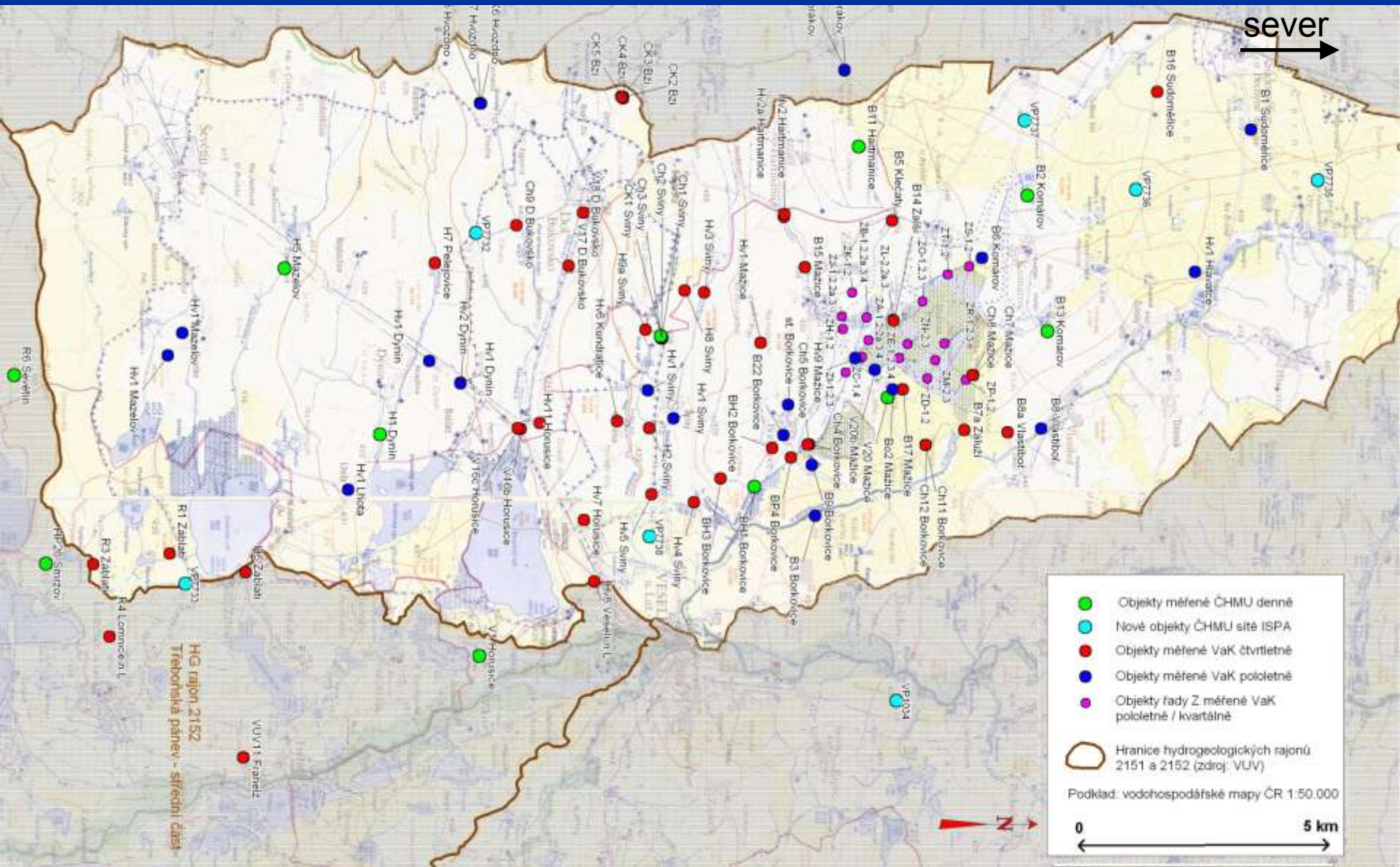
HGR 2151 – Třeboňská pánev – severní část (2005, VÚV)  
rozloha cca 260 km<sup>2</sup>, výšky 405 až 550 m n.m.

Na JV nově vydělený HGR 2152 – TS – střední část

Přírodní rezervace – Mažická blata, Borkovická blata

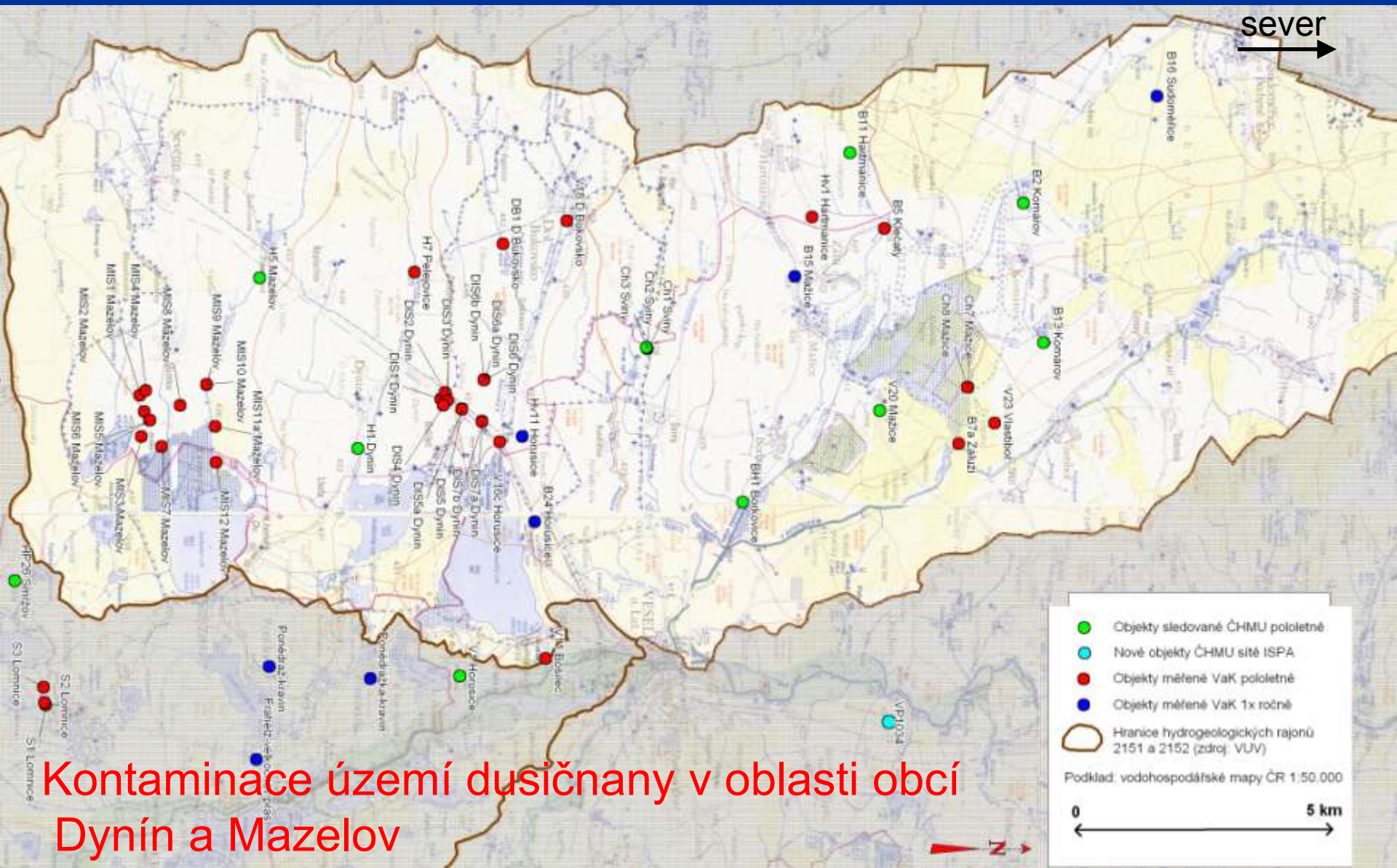


# Objekty režimního sledování hladin podzemní vody



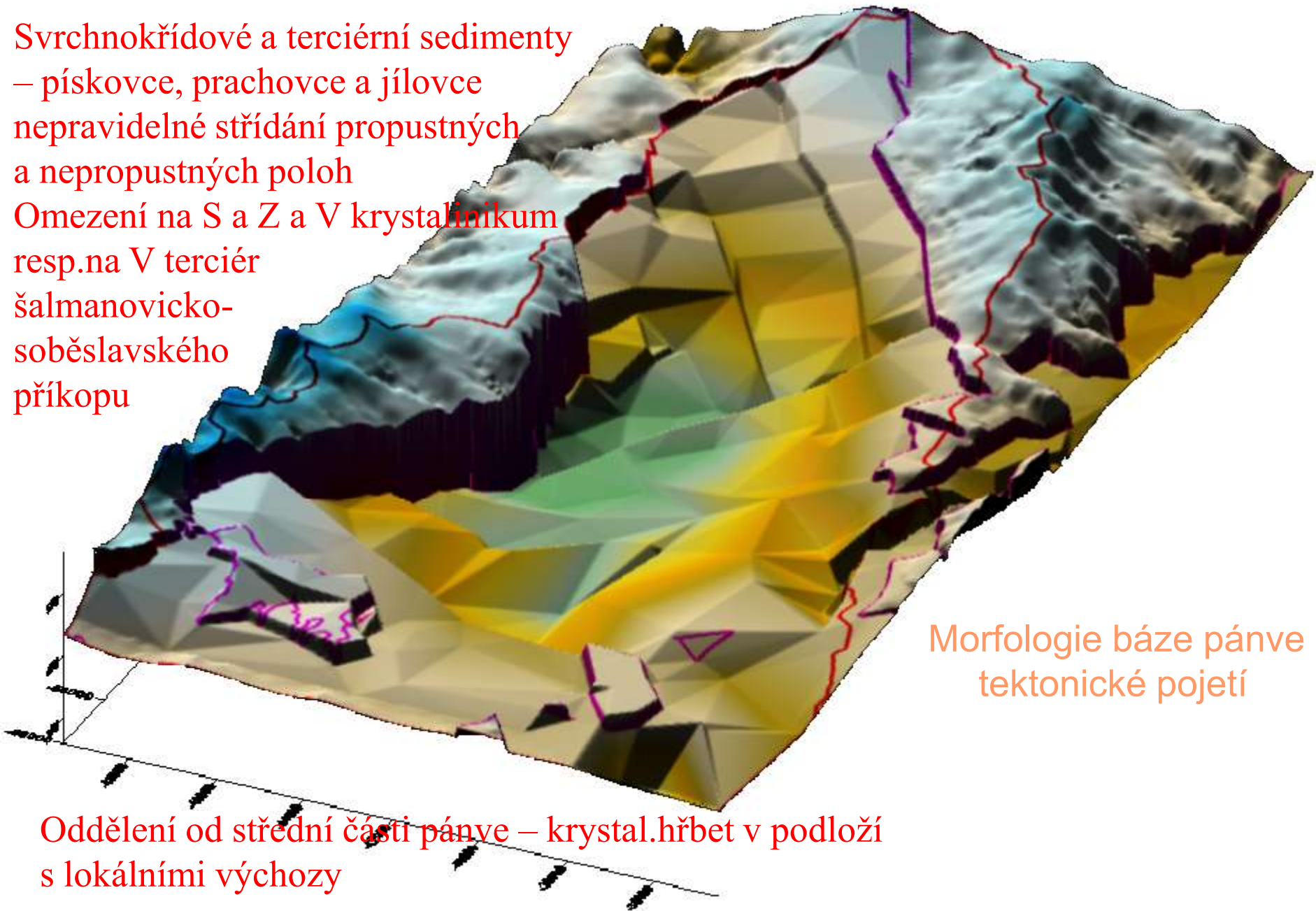


# Objekty režimního sledování jakosti podzemní vody



# Geologické poměry HGR 2151 Třeboňské pánve – severní část

Svrchnokřídové a terciární sedimenty  
– pískovce, prachovce a jílovce  
nepravidelné střídání propustných  
a nepropustných poloh  
Omezení na S a Z a V krystalinikum  
resp. na V terciér  
šalmanovicko-  
soběslavského  
příkopu



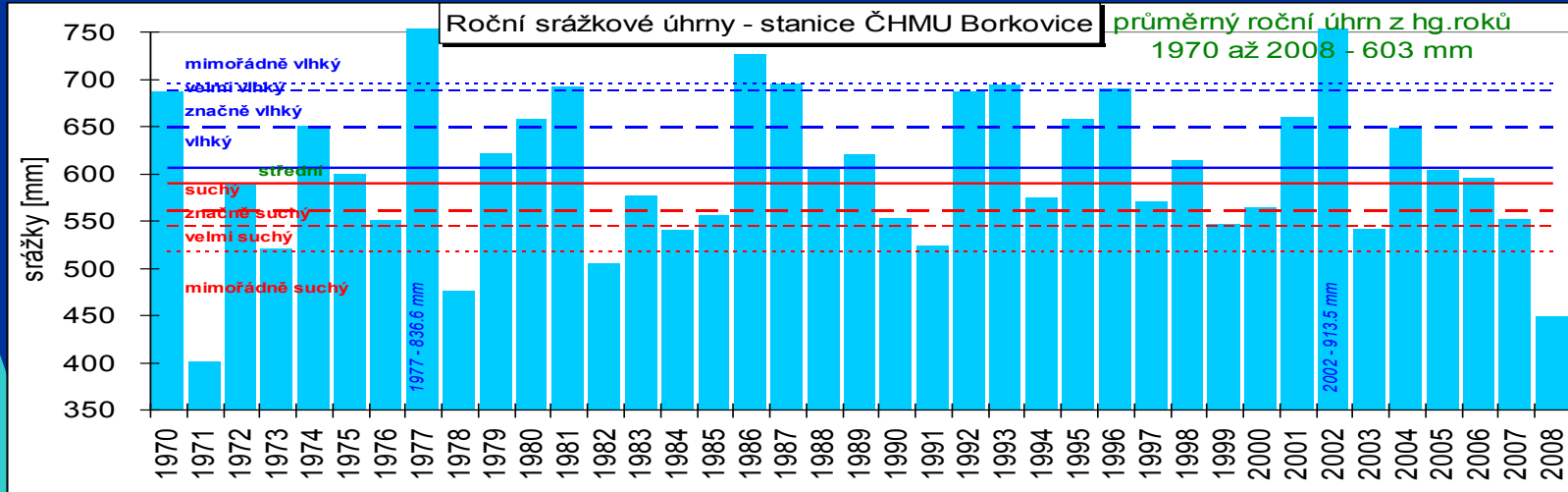
Morfologie báze pánve  
tektonické pojetí

Oddělení od střední části pánve – krystal.hřbet v podloží  
s lokálními výchozy

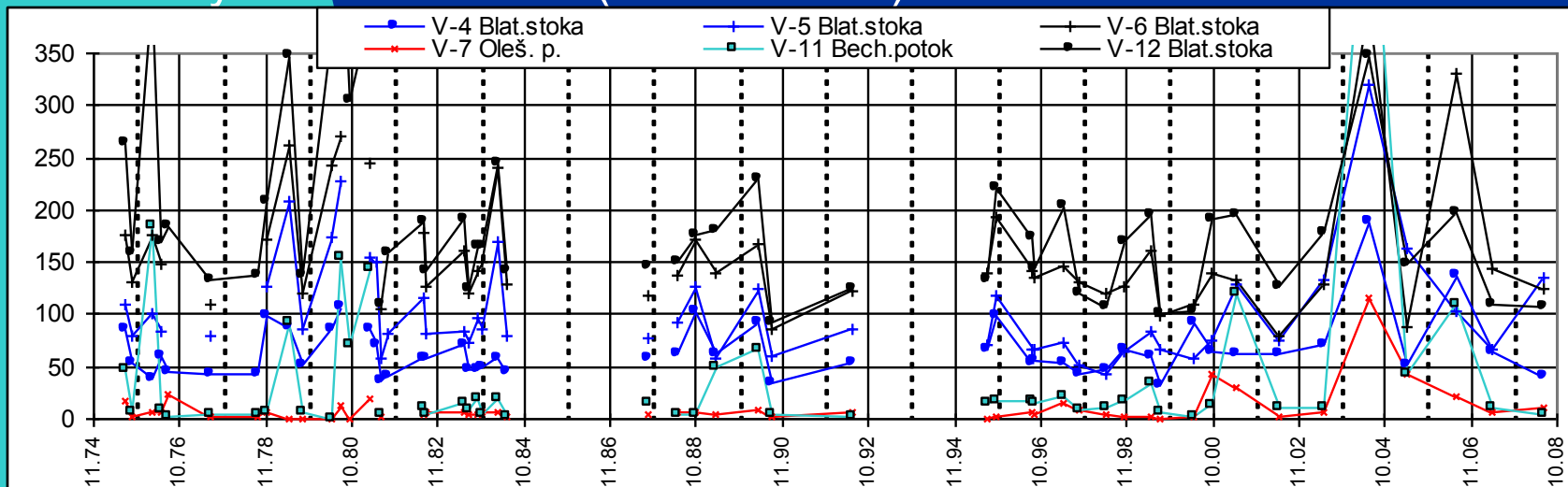


# Měřené veličiny – srážky, teploty a průtoky v toku

Srážkové úhrny (1970- 2008) :

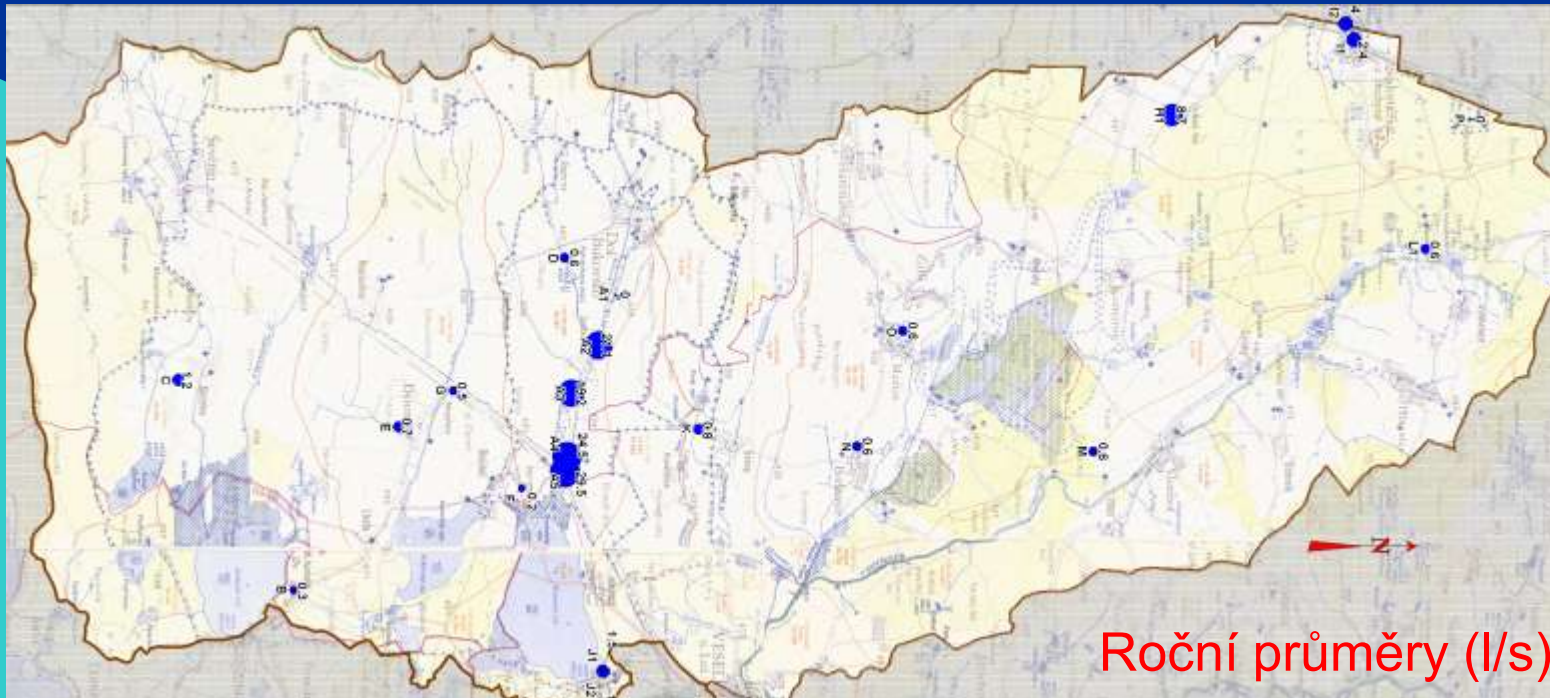


Průtoky v Blatské stoce (1975 – 2008) :

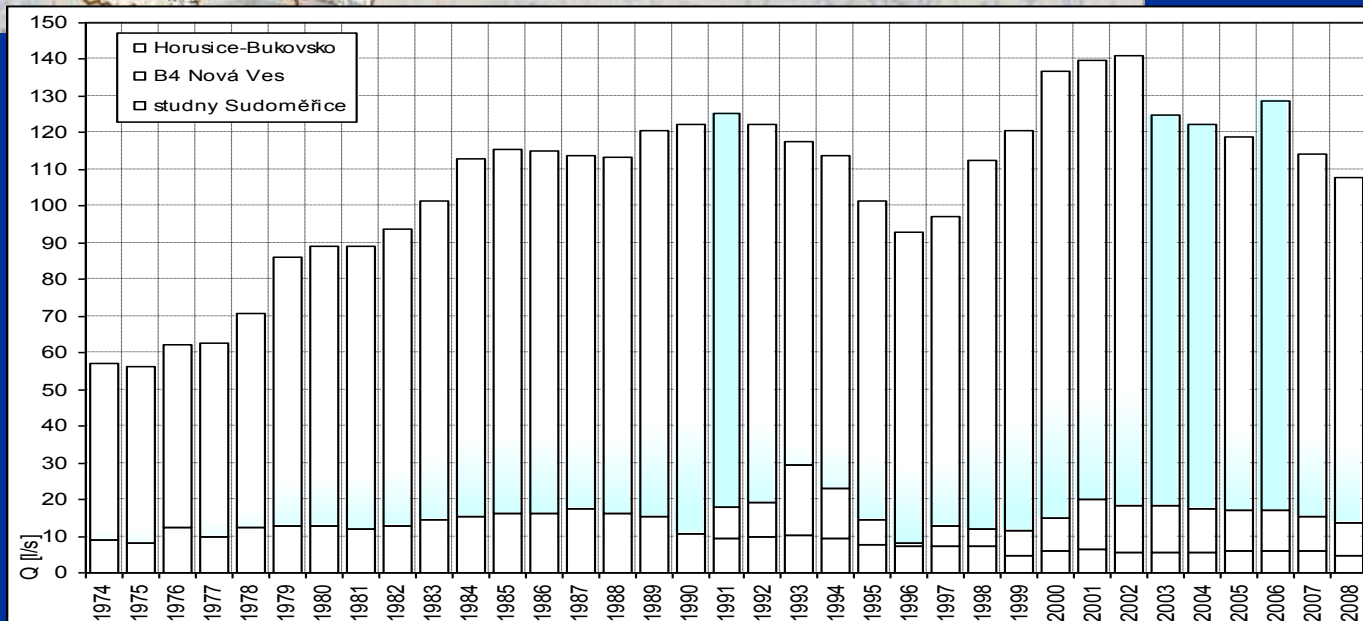


Od roku 2005 měří ČHMÚ vodní stavy v uzávěrovém profilu Blatské stoky V-12, problematické vyčíslování průtoků – zarůstání profilu

# Měřené veličiny – evidované odběry podzemní vody



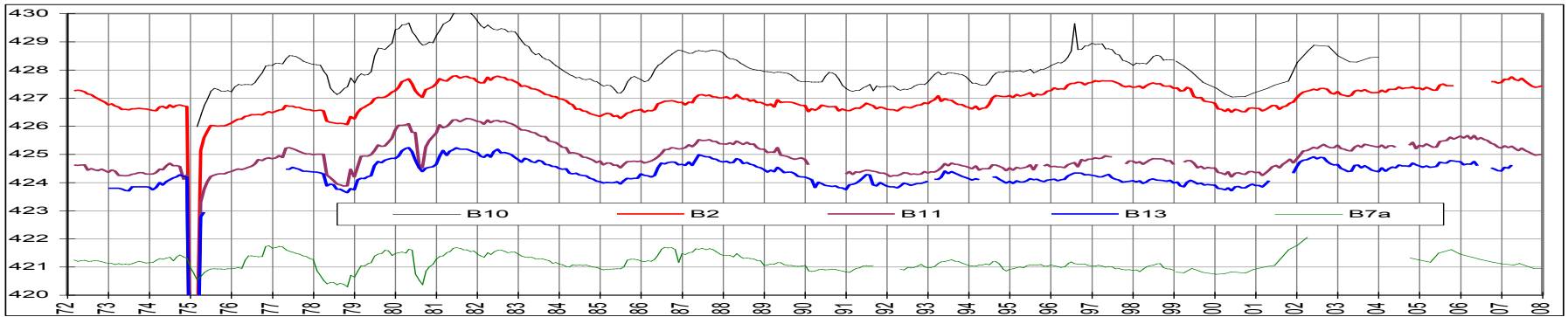
Dominantní  
odběr z linie  
Horusice -  
Bukovsko



# Měření veličiny - hladiny podzemní vody (1972-2008)

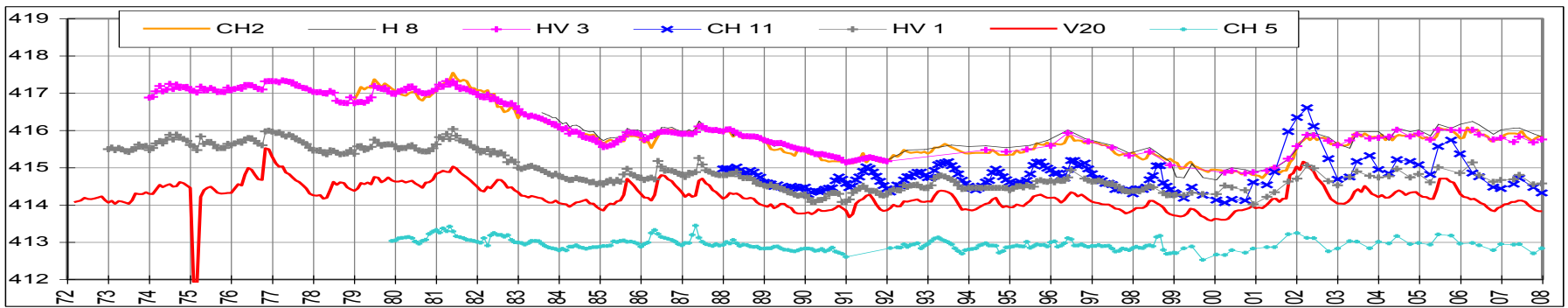
oblast nad mažickým zlomem

málo zřetelné ovlivnění odběrem v jímací oblasti Nová Ves



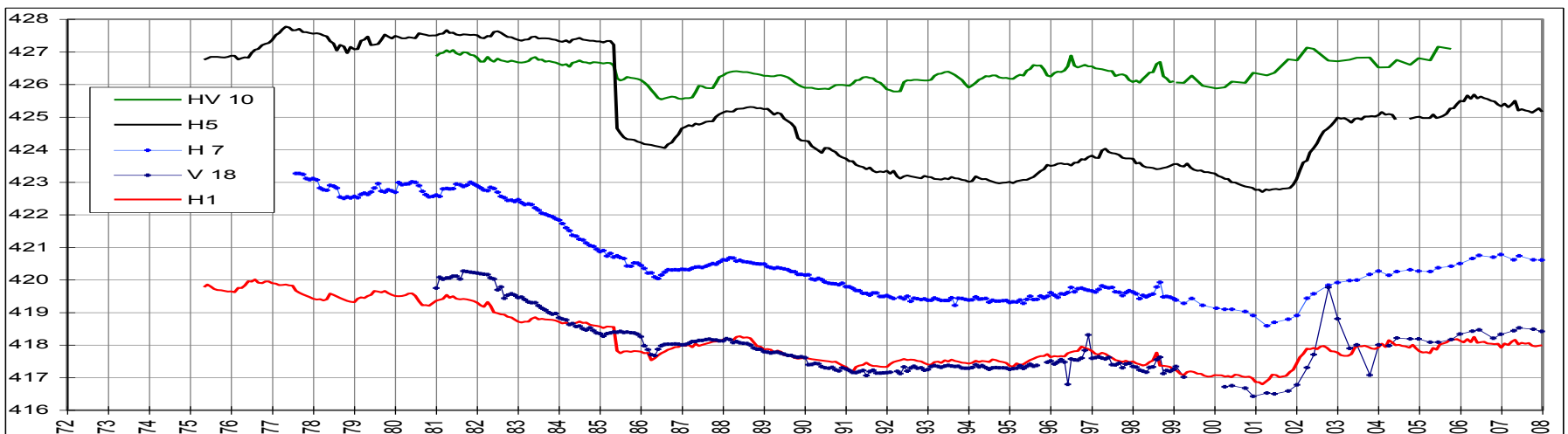
oblast mezi mažickým zlomem a horusickou linií

zřetelné ovlivnění odběry z horusické jímací linie



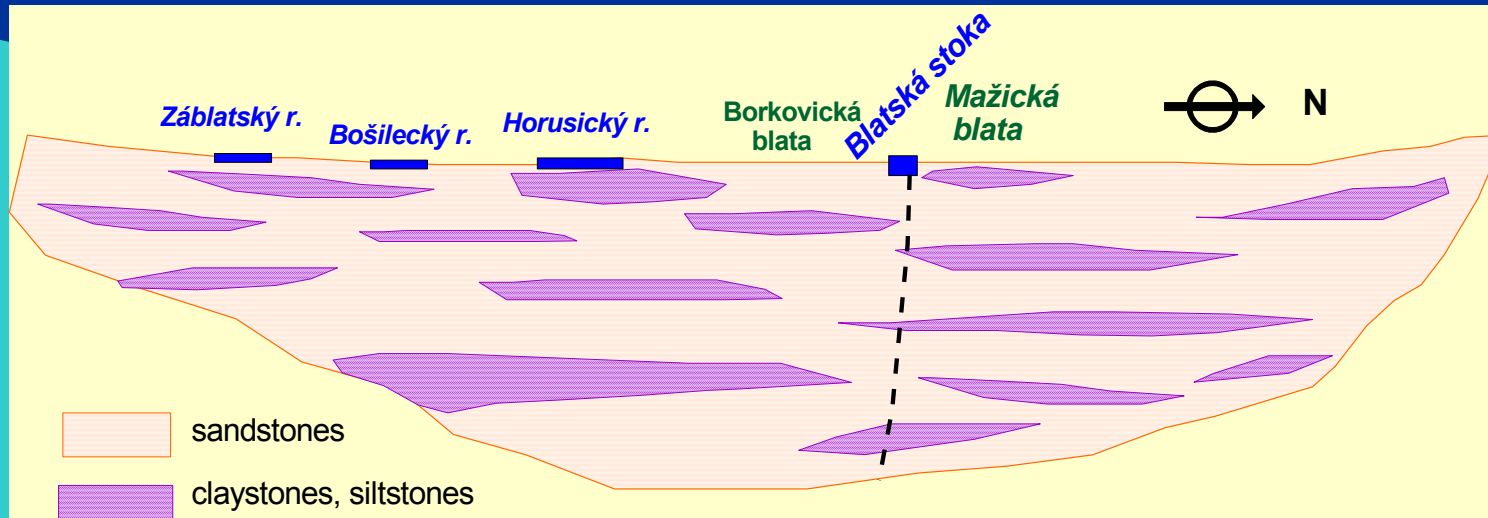
oblast jižně od horusické jímací linie

zřetelné ovlivnění odběry z horusické jímací linie





# Hydrogeologické poměry HGR 2151 Třeboňské pánve – severní část



Schema :  
řez J – S

Konceptní  
model :

Nepravidelné střídání kolektorů (pískovce) a izolátorů (jílovce, prachovce),

Jeden kolektor s rozdílnou vertikální a horizontální propustností a

odlišnými tlakovými poměry v závislosti na hloubce,

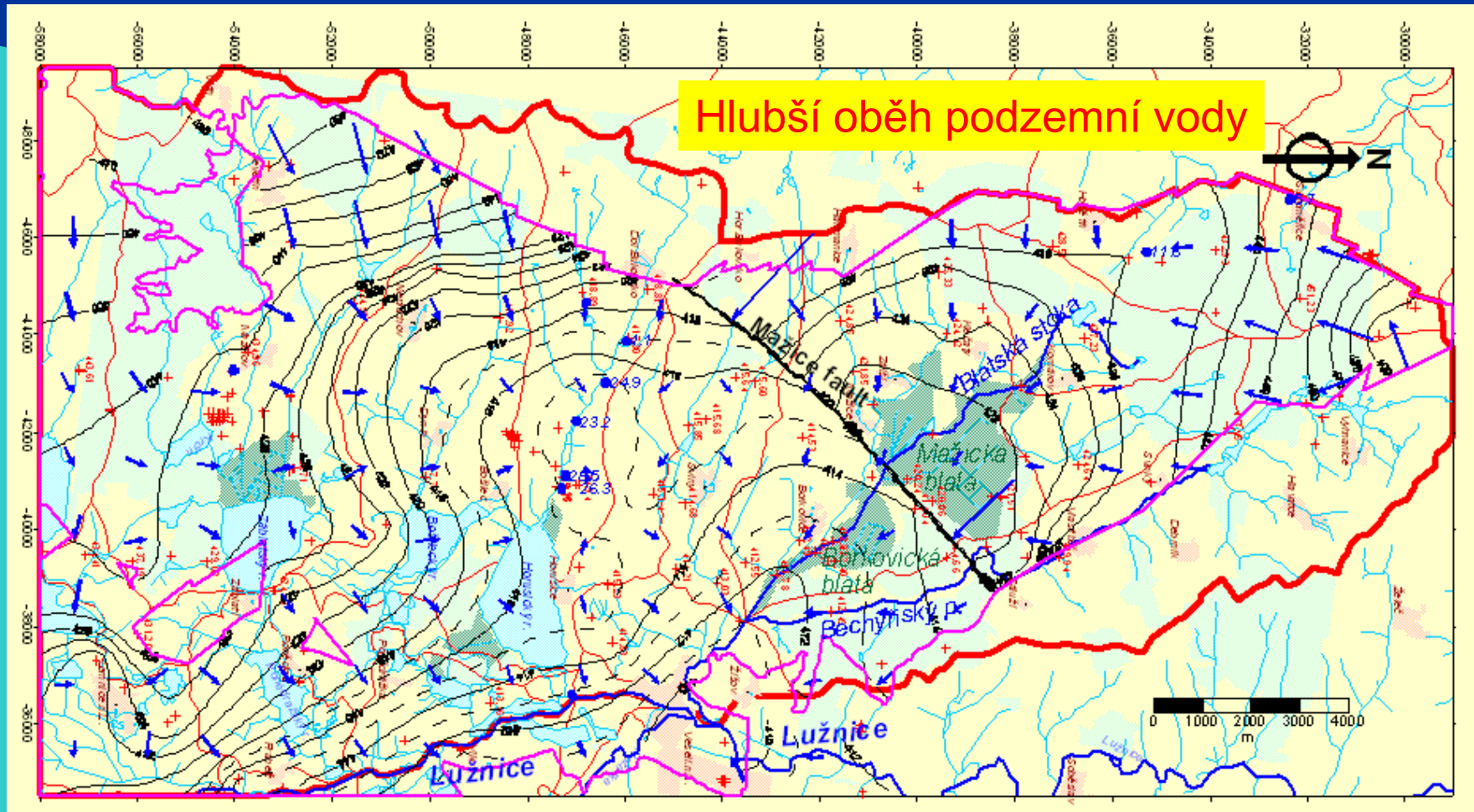
Nádrž podzemní vody s objemem 600 mil m<sup>3</sup> (při 5% pórovitosti)

Dotace podzemní vody : ze srážek v celé ploše pánve a při tektonických okrajích přítok vody z přilehlých oblastí krystalinika

Mělký a hlubší oběh podzemní vody – mělký drénován do nejbližších toků a rybníků, hlubší oběh – 2 proudy (od S a od J)

Mažický zlom (čárkovaná čára) – není vymapován geologicky, významný pro proudění podzemní vody – rozdílné tlaky v S a J části pánve

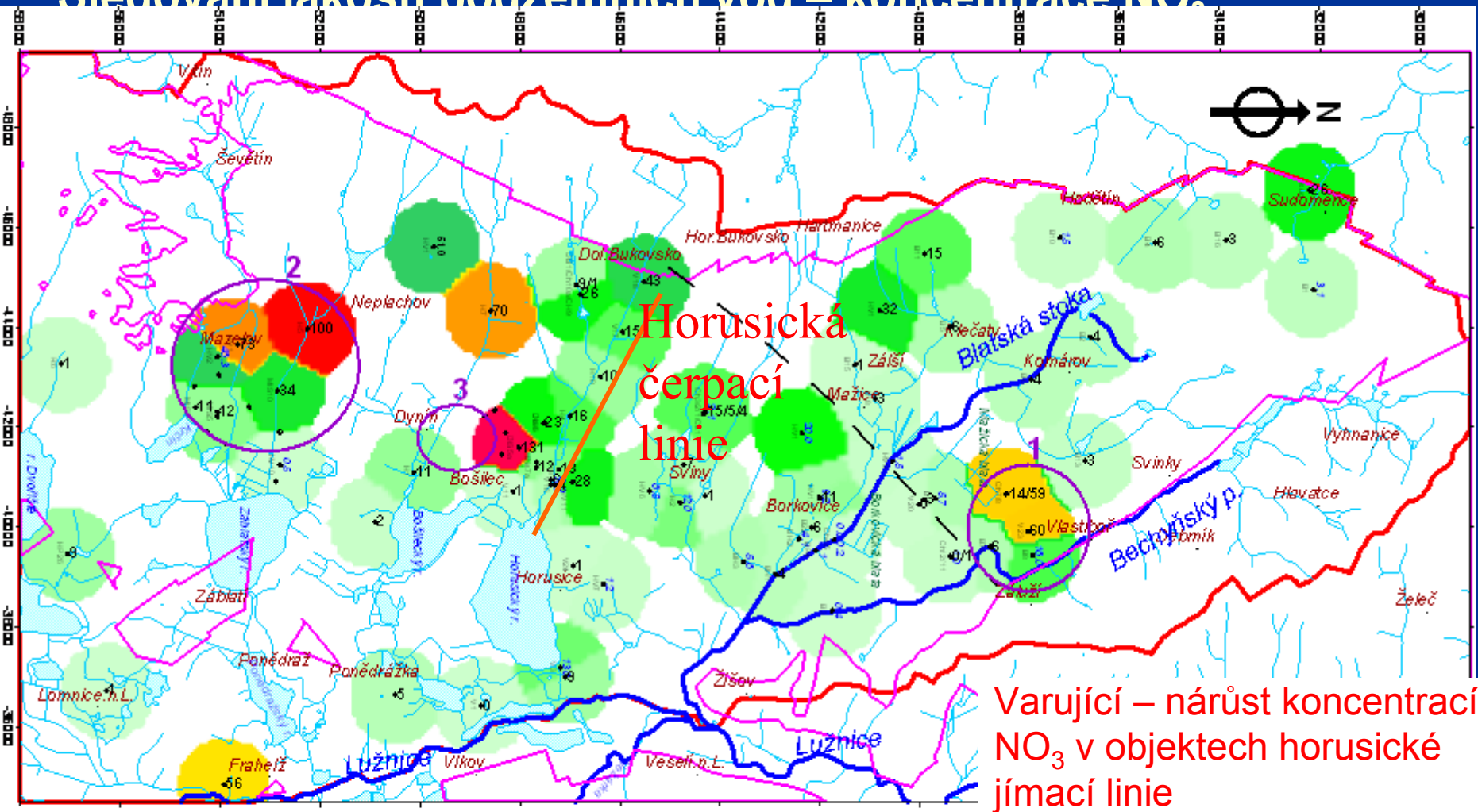
# Hydrogeologické poměry - směry proudění podzemní vody



## Hlubší oběh – dva proudy

- 1. proud od SZ s částečným odvodněním do mažických blat vlivem nepropustné funkce mažického zlomu (drenážní oblast Mažice)
- 2. Proud od J odvodněný do Blatské stoky a omezeně též přes málo propustné terciární sedimenty šalmanovicko-soběslavského příkopu do Lužnice

# Sledování jakosti podzemních vod – koncentrace $\text{NO}_3^-$

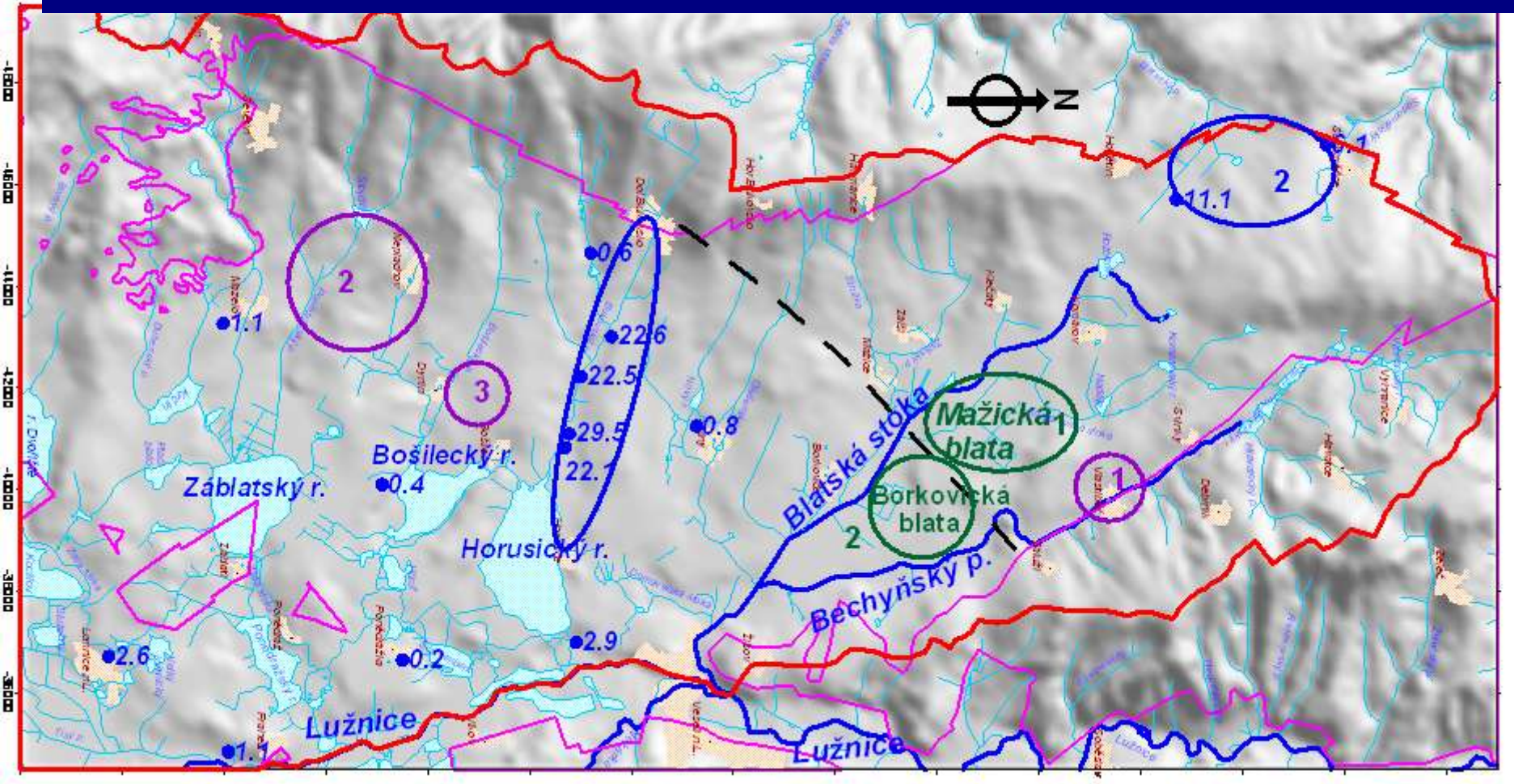


2. oblast Dynín – sklad umělých hnojiv- současná zátěž

3. oblast Mazelov – Neplachov – aplikace kejdy – současná zátěž

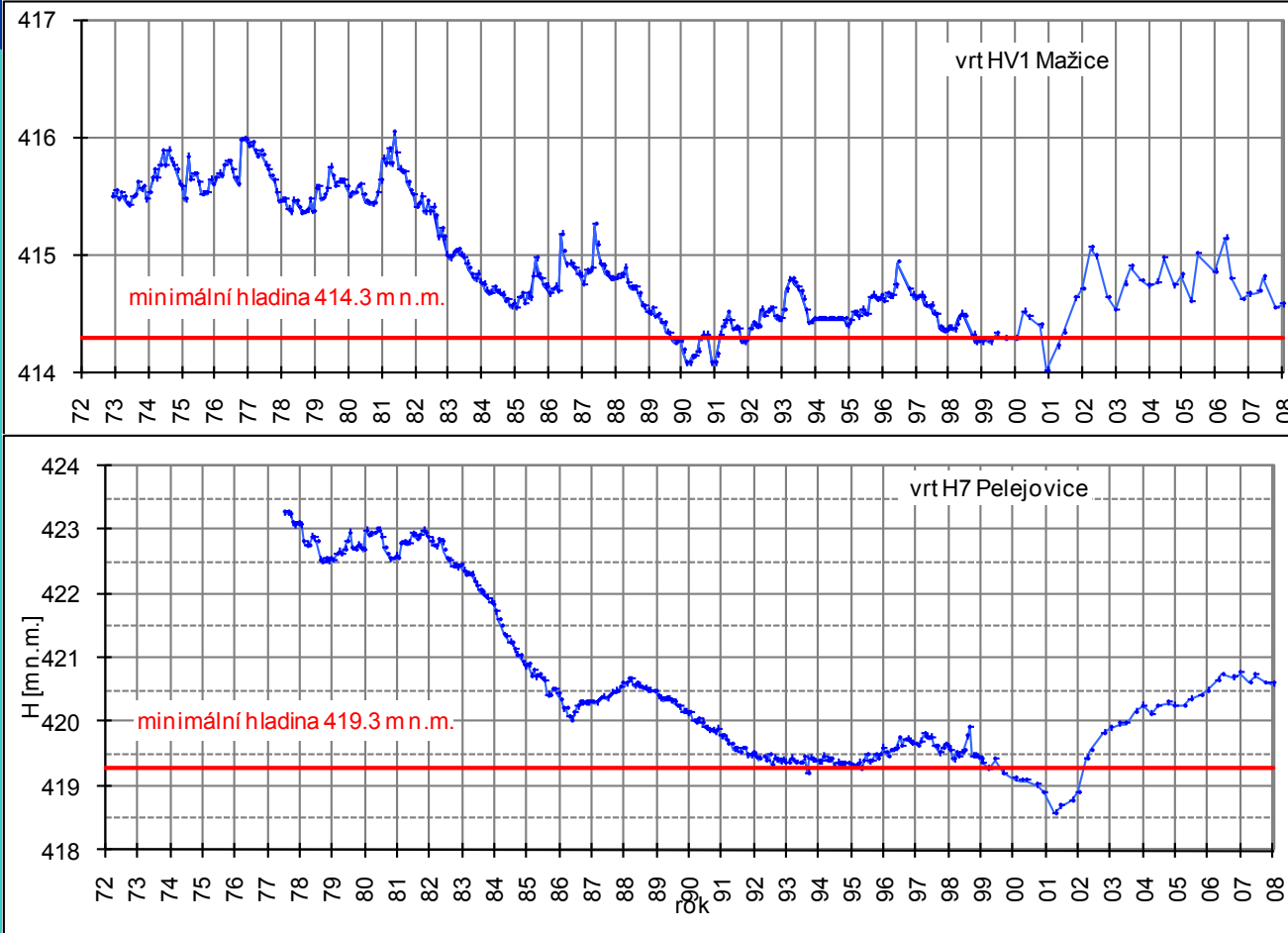


# Vodohospodářské „problémy“



Regionálně významná oblast jímání podzemních vod (cca 130 až 150 l/s),  
požadavky na zvýšení odběrů,  
Intenzivní zemědělská činnost – hnojení (kejda), vliv na kvalitu podzemní vody  
Významná chráněná území – PR, Natura 2000

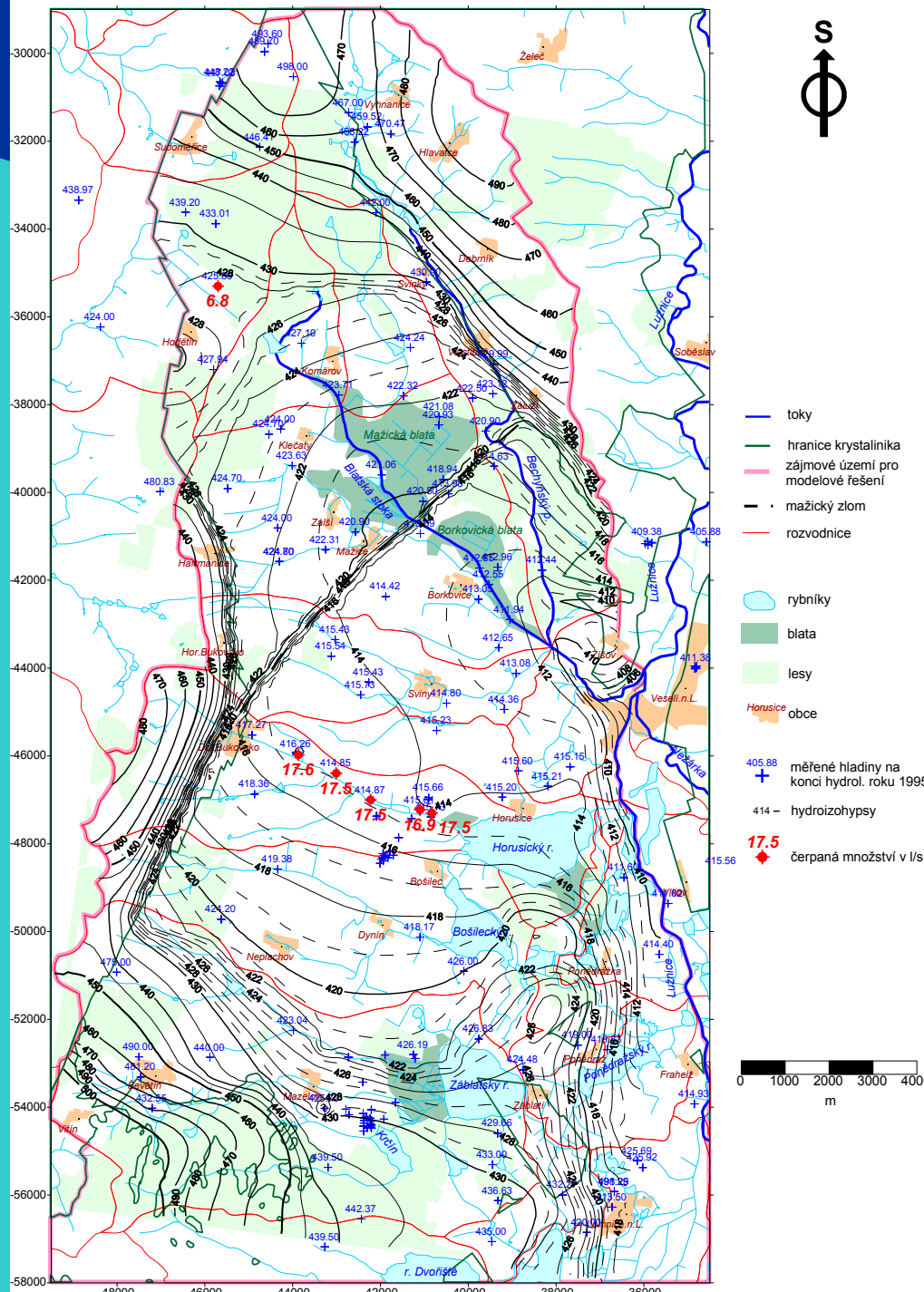
# Řízení odběrů podzemní vody v současnosti



Pro odběr z horusické jímací linie je stanoven institut minimální hladiny (pro 2 vrty S a J od linie) a institut minimálního průtoku (pro profil V-12)

**Splnění institutu minimálního průtoku v profilu Bechyňského potoka V-12 Veselí n.L. nebylo možné v hydrologickém roce 2008 spolehlivě vyhodnotit - vyčíslené průtoky mohou být zatíženy značnou chybou (problémy se zarůstáním profilu).**





# Simulace ustáleného (stacionárního) proudění podzemní vody

Průměrné hodnoty infiltrace srážek  
Průměrné odběry podzemní vody

- Diskretizace území :
  - Horizontálně – el. 100\*100 m
  - Vertikálně - 4 modelové vrstvy – geometrické dělení

- Odladění hydraulických parametrů

## Výstupy :

- úrovně hladiny podzemní vody,
- drenáž podzemní vody do toků,
- směry proudění podzemní vody,
- skutečné rychlosti proudění,
- vzájemné ovlivnění jímacích území,

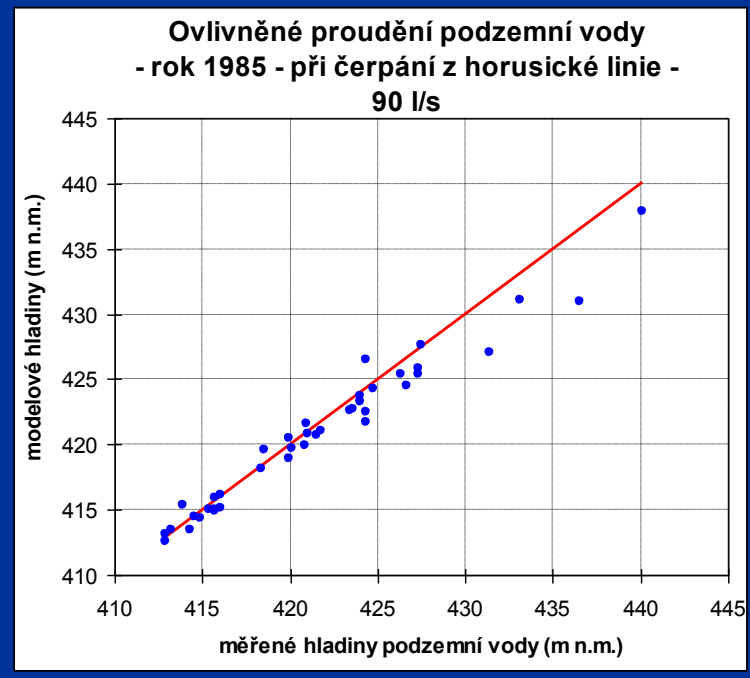
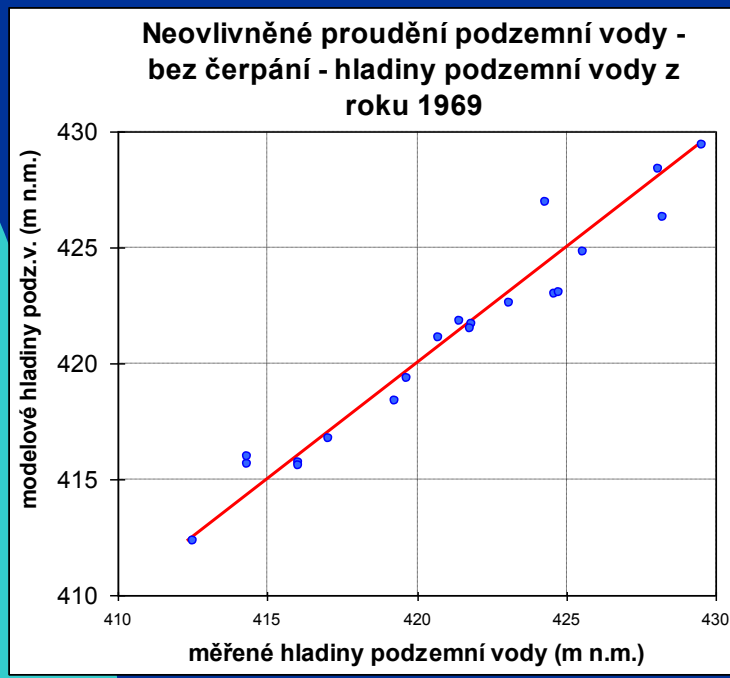
## Věrohodnost modelu :

Porovnání měřených a modelových hodnot (hladiny, průtoky)

# Simulace ustáleného (stacionárního) proudění podzemní vody

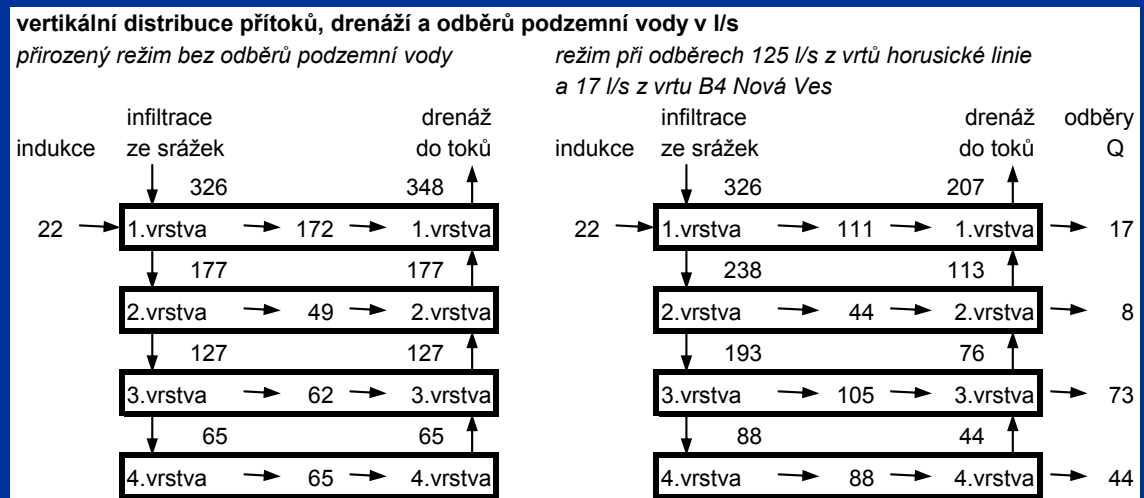
## Kalibrace hydraulických parametrů

### Věrohodnost modelu: Porovnání měřených a modelových hodnot (hladiny průtoky)



**Výstup:**

- bilance podzemní vody



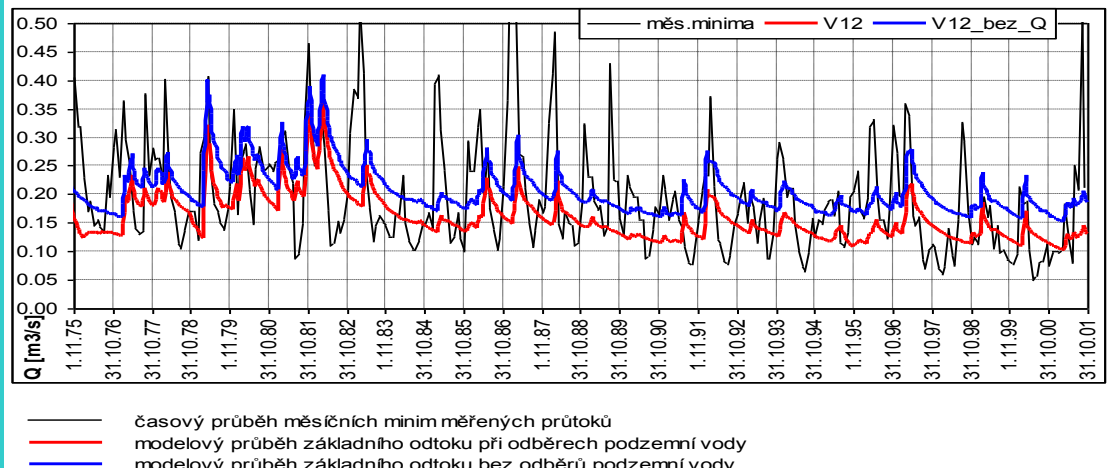
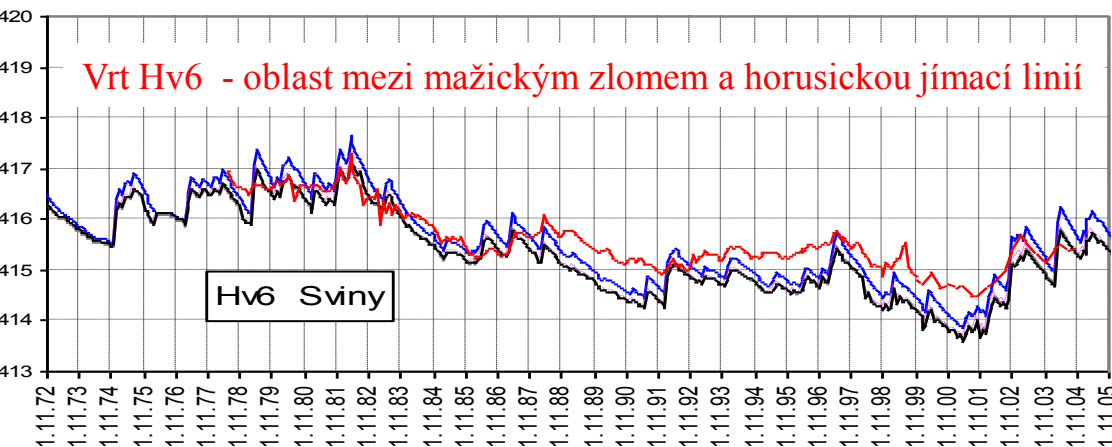
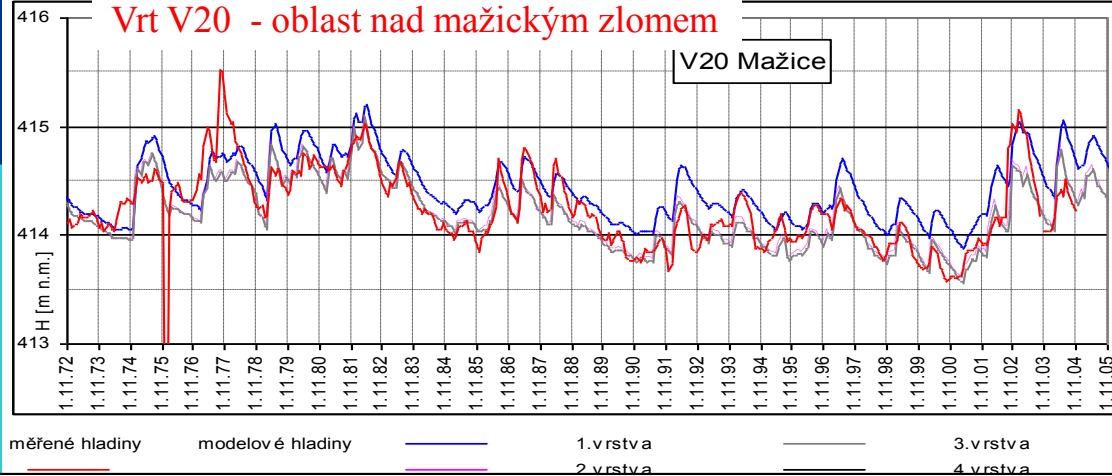
# Transientní simulace proudění podzemní vody (1972 – 2004) :

Proměnlivá srážková infiltrace  
 Proměnlivé odběry – **měsíční časový krok**

Výstupy :

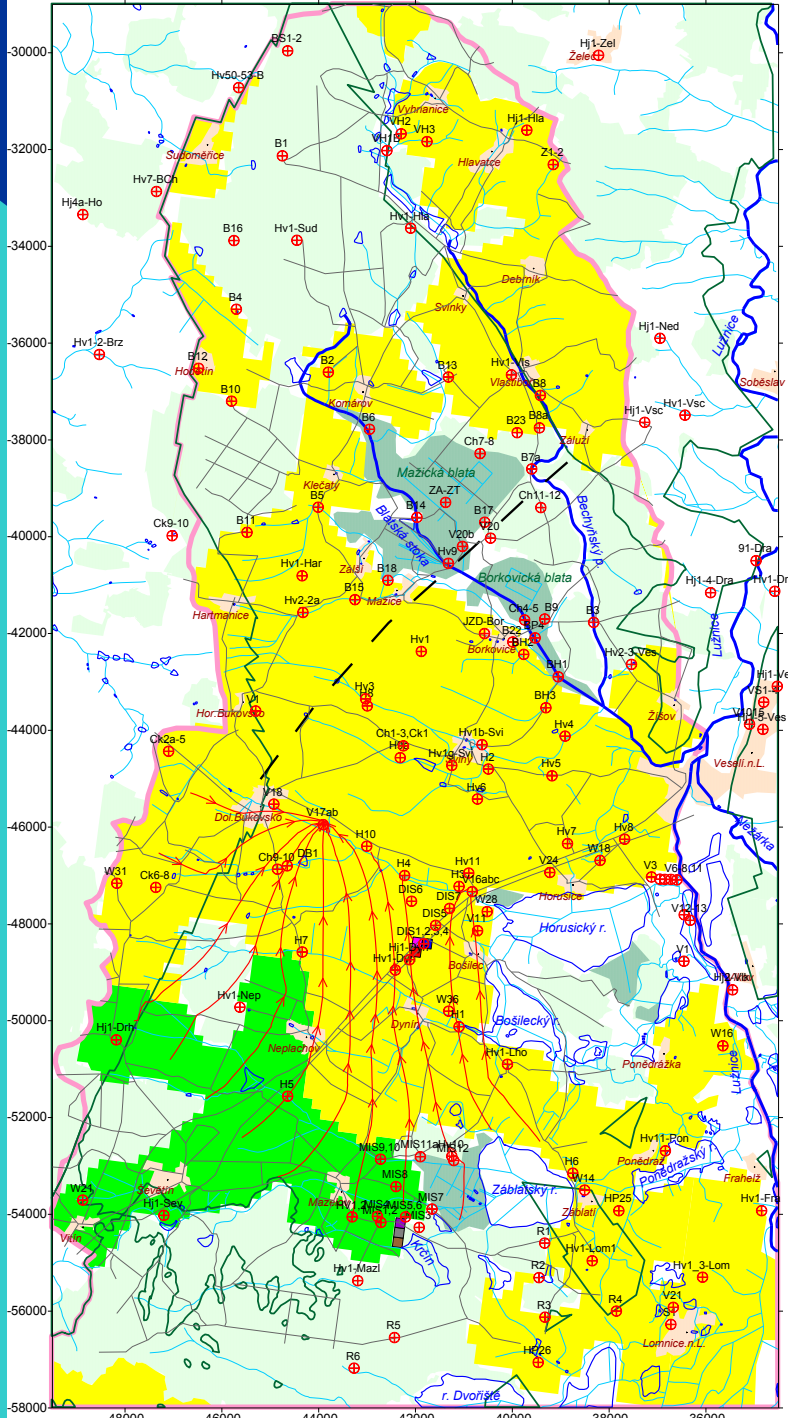
- hladiny p.v.
- průtoky v tocích
- časový průběh bilance zásob p.v.

Hydrologické modely pro stanovení infiltrace





# Modelové hodnocení jakosti podzemní vody - simulace transportu kontaminace NO<sub>3</sub>

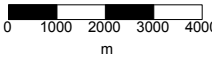


- toky
- hranice krystalinika
- zájmové území pro modelové řešení
- mažický zlom
- silnice
- rybníky
- blata
- lesy
- Horušice obce
- Hv1 hydrogeologické objekty
- Oblasti kontaminace**
- oblast základní kontaminace
- oblast zvětšené kontaminace
- Dynín obl. 7  
obl. 8  
obl. 9
- Mazelov obl. 10  
obl. 11  
obl. 12
- proudnice a doby zdržení (vzdálenost po čáře mezi šipkami = 10 let zdržení)

Oblasti plošné kontaminace, proudnice a doby zdržení podzemní vody

- 2.modelová vrstva
- Vodárenské odběry : 105 l/s – horušická linie

Doba dotoku z oblastí zvýšené kontaminace (zeleně, Mazelov-Neplachov) k jímacím objektům v horušické linii je cca 25 až 50 let (podle oblasti)





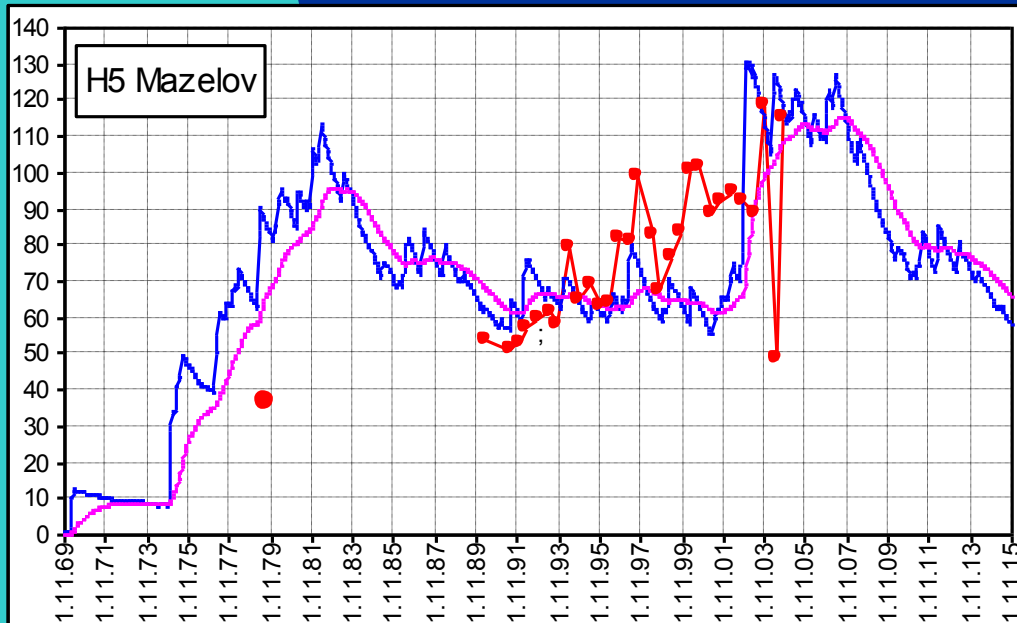
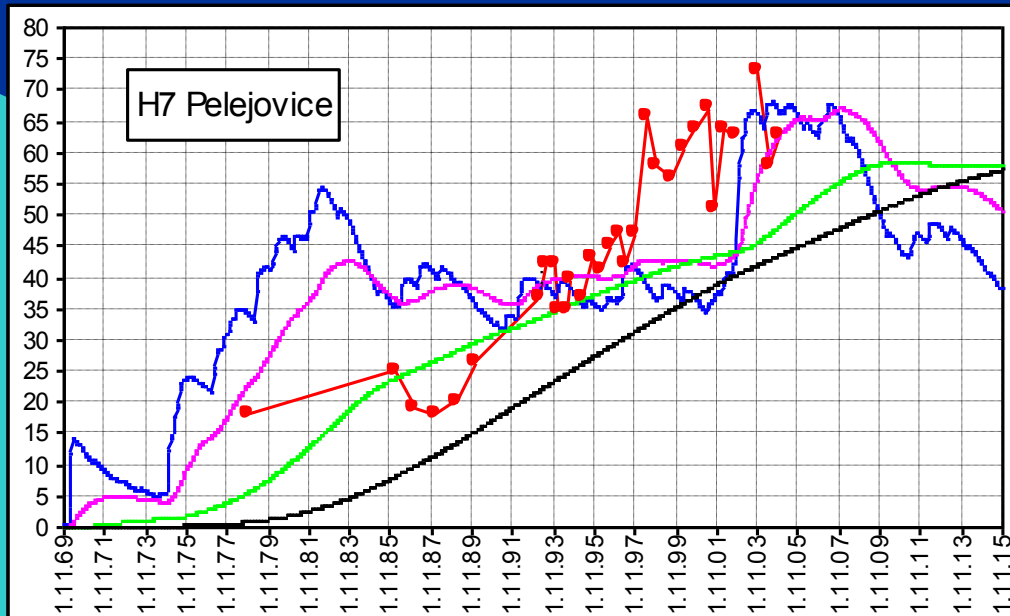
# Simulace transportu kontaminace $\text{NO}_3$

Prognóza vývoje koncentrací  $\text{NO}_3$  do roku 2015

Na základě transienční simulace proudění podzemní vody

**Věrohodnost simulace :**

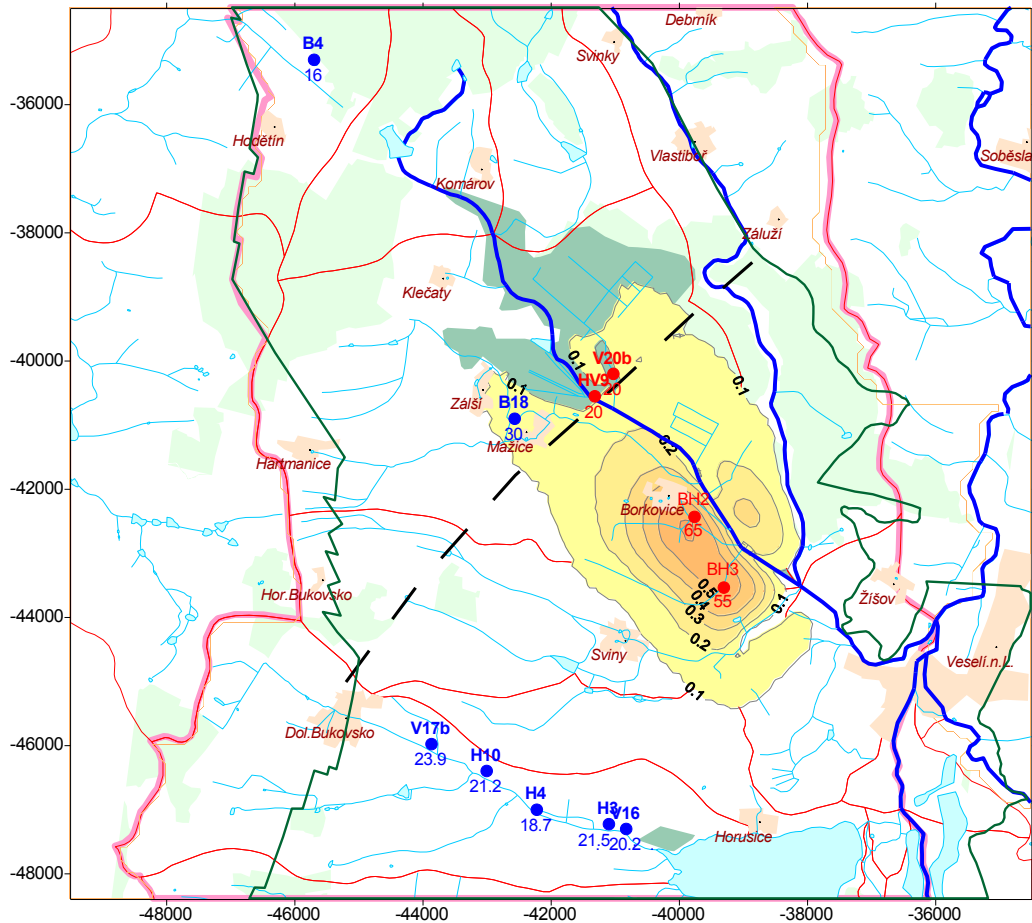
Porovnání měřených a modelových koncentrací v současnosti



# Další možnosti praktického využití modelových simulací

Posouzení možnosti zvýšení odběru pro krizové zásobování  
– čerpání 160 l/s ze 4 vrtů po omezenou dobu 90 dní

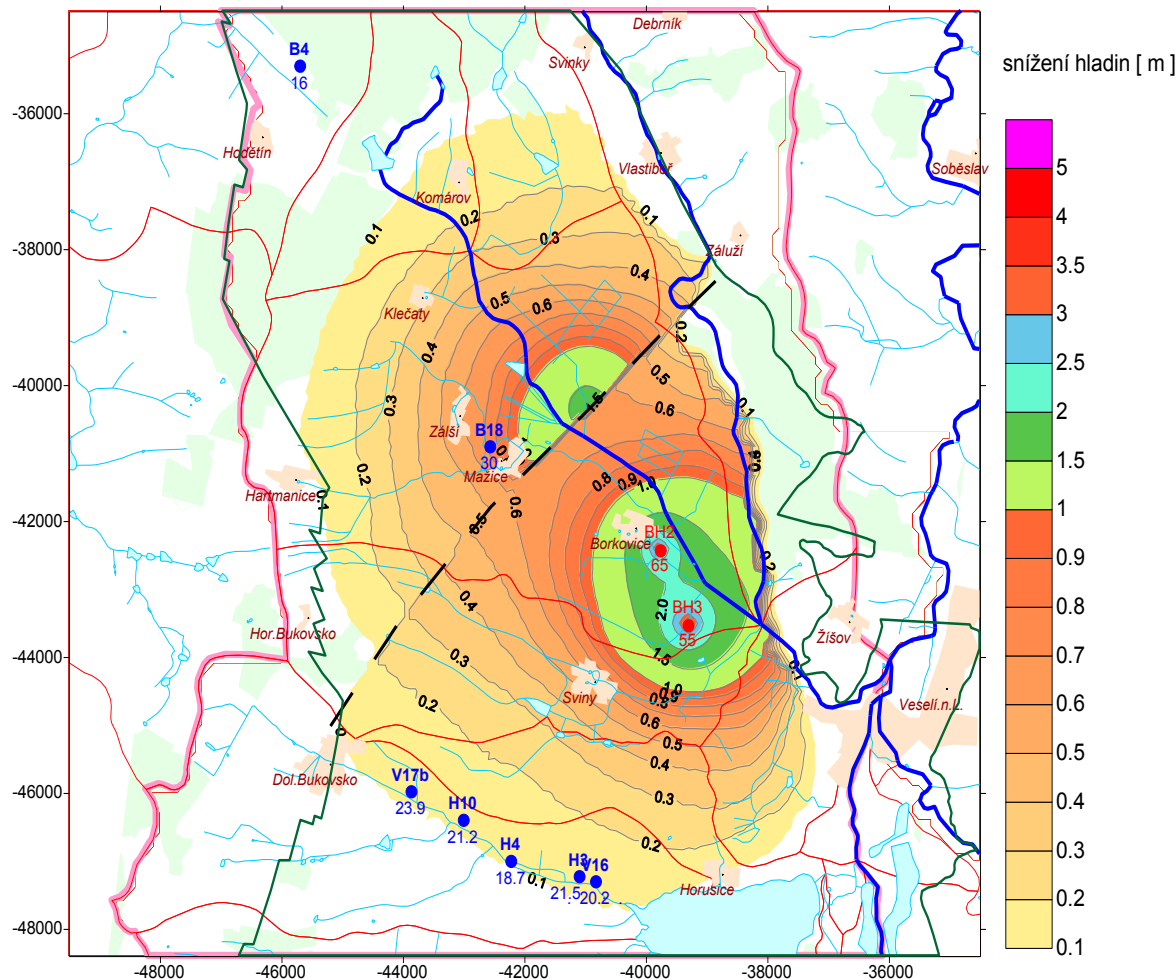
## 1. modelová vrstva



**V oblasti zvýšeného odběrů dochází ke zvětšení deprese hladin podzemní vody o 0.1 m až 0.6 m na konci odběru**

# Další možnosti praktického využití modelových simulací

Posouzení možnosti zvýšení odběru pro krizové zásobování –  
čerpání 160 l/s ze 4 vrtů po omezenou dobu 90 dní



## 2. modelová vrstva

**V oblasti zvýšeného odběrů dochází ke zvětšení deprese hladin podzemní vody o 1.5 m až 3 m na konci odběru pro krizové zásobování**

**Po 1 roce od ukončení odběru je zbytkové snížení způsobené zvýšeným odběrem zanedbatelné**



# Návrh prací pro zpřesnění hodnocení zdrojů a zásob podzemní vody a odstranění nejistot

- V HGR Třeboňská pánev – severní část – relativně velké množství měřených dat, přesto je nutné doplnit monitoring v oblastech :
  - ◆ měření hladin a znečištění v objektech monitorujících „mělký“ oběh (případně tyto objekty vybudovat),
  - ◆ měření průtoků vody – upravit měrné profily pro získání věrohodných informací o drenáži podzemních vod (min. vyhodnotitelných),
  - ◆ revidovat a případně doplnit monitoring chráněných území – blat (i z pohledu „ochranářského),
- **Problematika získávání dat ze „zemědělské“ činnosti**
- Data jsou hodnocena pro bilanci i pomocí modelových řešení proudění, přesto v rámci hodnocení zdrojů a zásob podzemních vod v HGR je nutné doplnit hodnocení :
  - ◆ o hydrologický model,
  - ◆ o aktualizaci stávajícího modelu proudění podzemní vody a transportu dusičnanů,
  - ◆ o podrobnější hodnocení chráněných území – blat (vliv drenážních kanálů, nepropustnost podloží, interakci podzemní a povrchové vody v prostoru blat apod.)

# Nutnost aplikace modelového řešení proudění podzemní vody a při hodnocení zdrojů a zásob podzemní vody

- Především při hodnocení složitějších HGR - pánevních HGR, i v HGR kvartérních a významnějších krystalinika
- Přináší **syntézu** údajů z oborů klimatologie, hydrologie, geologie, hydrogeologie, geochemie a kartografie => **vyšší stupeň poznání zájmového území**
- **Umožňuje Hodnocení a Prognózu**
  - ◆ zásob podzemní vody - bilance,
  - ◆ hladin a směrů proudění podzemní vody,
  - ◆ vlivu odběrů na hladiny,
  - ◆ dob a oblastí dotoku kontaminantů
  - ◆ koncentrací kontaminantu

Pravidelně aktualizovaný model – umožní řešení převážné části problémů spojených s jímáním podzemní vody a zabezpečením její jakosti