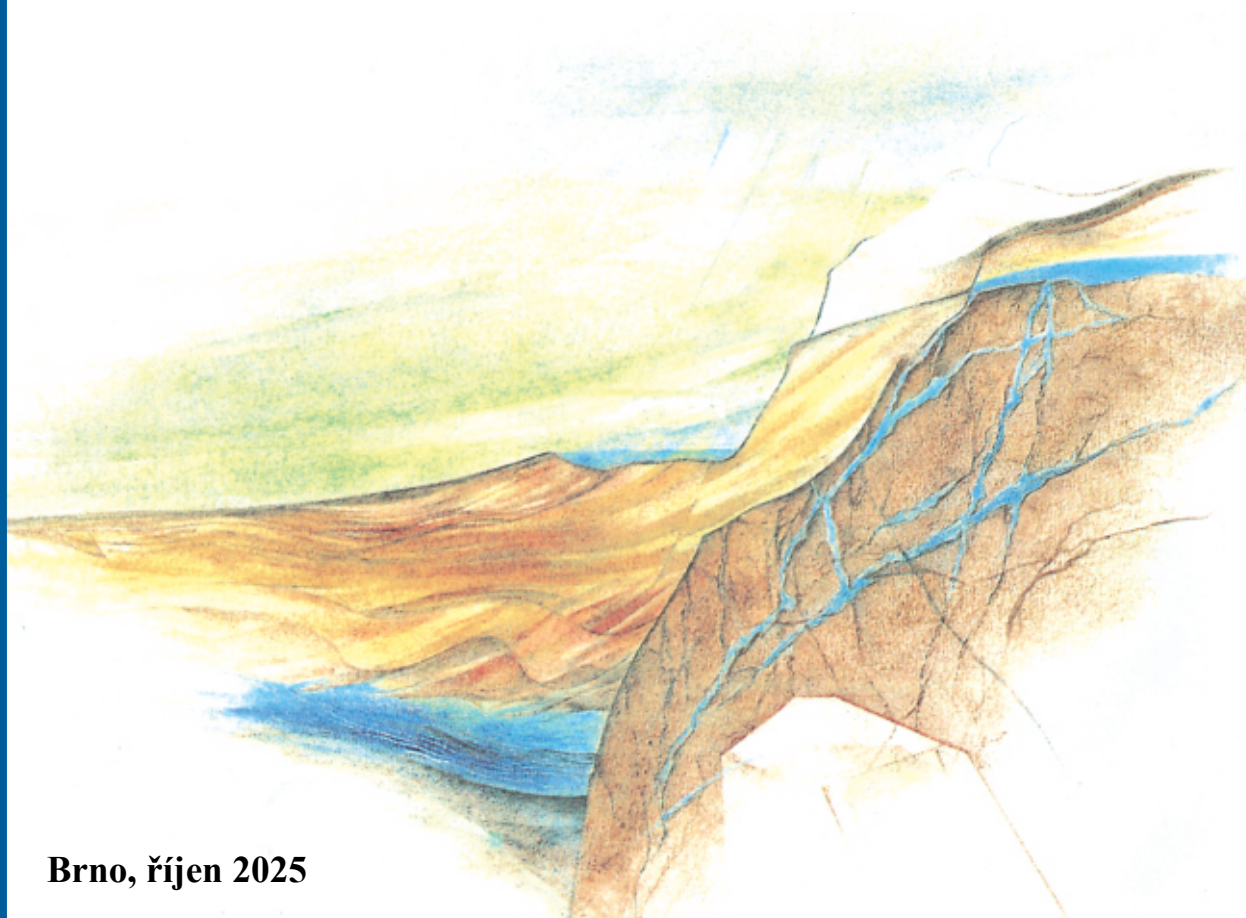


Olomouc – Holice

Hydraulický model exploatace HG struktury



Brno, říjen 2025

GEOtest, a.s.
Šmahova 1244/112, 627 00 Brno
IČ: 46344942 DIČ: CZ46344942

tel.: 548 125 111
e-mail: info@geotest.cz
datová schránka: axvp7bj

Geologické a sanační práce pro ochranu životního prostředí, geotechnický a hydrogeologický průzkum

Číslo a název zakázky: **25 7183 Olomouc – Holice, hydraulický model HG struktury**
Objednatel: Statutární město Olomouc, Horní náměstí 583, 779 11 Olomouc,
IČ: 00299308
Evidenční číslo ČGS: Neevidováno

Olomouc – Holice

Hydraulický model exploatace HG struktury

Zpracovali:

Ing. Marcela Valešová



Mgr. Radim Musil

Ing. Dominika Dzvínčuková

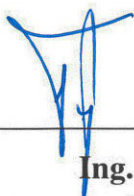


Mgr. Zuzana Šromová



Prověřil:

Mgr. Radim Musil



Ing. Vít Černý, PhD.

ředitel společnosti a předseda představenstva

Brno, říjen 2025

Výtisk č. 1

ROZDĚLOVNÍK

Výtisk č. 1: Statutární město Olomouc (elektronicky).
2: Archiv GEOTest, a.s. (elektronicky)

Matematický model proudění podzemní vody

Obsah

A.1	Úvod.....	3
A.2	Geologické a hydrogeologické poměry zájmové lokality.....	4
A.3	Stručná charakteristika použitého modelu (programu).....	6
A.4	Koncepce modelu proudění podzemní vody	8
A.5	Analýza vstupních dat do modelu	8
A.6	Sestavení modelu	10
A.7	Kalibrace modelu (skutečné čerpání).....	11
A.8	Simulace maximálních odběrů dle vydaných rozhodnutí	12
A.9	Simulace vypnutí odběrů (přirozený stav bez čerpání).....	12
A.10	Simulace čerpání z náhradních zdrojů za objekty H1, H2, H3.....	13
A.11	Nejistoty k verifikaci matematického modelu	16
A.12	Vyhodnocení vývoje chemismu podzemní vody	17
A.13	Závěr	18
A.14	Informace k možnému dalšímu postupu	21

A.1 Úvod

Vzhledem ke skutečnosti, že je lokalita Olomouc – Holice z hlediska využitelnosti zásob podzemní vody vysoce exponovaná, je požadováno ověření využitelného množství podzemní vody a celková bilance zájmového území.

Na základě Analýzy hydrogeologických poměrů v Olomouci a okolí pro účely možnosti vybudování záložního zdroje pro zásobování města Olomouce pitnou vodou (Musil, Vylamová, GEOtest, a.s., 2023) je pro ověření využitelného množství podzemní vody a celkovou bilanci území nutné sestavení detailního numerického modelu proudění podzemní vody s definicí stávajícího stavu hydrogeologické struktury a následného modelového řešení různých režimů exploatace. Bez kvalitního numerického modelu proudění podzemní vody nelze odpovědně stanovit definitivní využitelné množství podzemní vody zájmového území. Toto doporučení koresponduje i s doporučením studie, která byla pro tuto oblast zpracována Prof. Homolou v 90. letech.

Primárně má zpracovaný model definovat množství dynamických využitelných zásob podzemní vody a posoudit udržitelnost stávající exploatace, a to jak ve vztahu k exploataci reálné, tak k exploataci definované prostřednictvím vodoprávních povolení.

Vlastnímu sestavení hydraulického modelu proudění podzemní vody a definice různých stavů exploatace zájmové hydrogeologické struktury předcházela série rešeršních prací, terénních prací a zajištění dat od vlastníků/provozovatelů jímacích objektů (OLMA, a.s., ADM Olomouc, s.r.o.), průzkumných vrtů pro ŘSD a dat ČHMÚ. Předpokladem bylo, pracovat s datovými řadami minimálně 5 let, případně delšími, v závislosti na existenci dat a možnosti jejich získání. Jelikož nebylo možné získat data o exploataci podzemní vody ze zdrojů OLMA a.s. přímo od společnosti OLMA a.s. z důvodu nečinnosti ze strany vlastníka vodního zdroje, byla tato data získána od Povodí Moravy s.p.

Zájmová lokalita je součástí Hornomoravského úvalu, přičemž analyzujeme proudění podzemní vody v kvartérním štěrkopískovém kolektoru, kde podloží kvartérní zvodně tvoří neogenní jílové sedimenty.

Cílem prací je upřesnění směrů proudění podzemní vody kvartérního kolektoru, aktuální bilance modelované oblasti, určení rychlosti proudění podzemní vody, vztah řešeného kolektoru k řece Bystřici, případně k řece Moravě. Modelovanou oblast je nutno uvažovat v širším rozsahu, než je oblast zadaná pro posouzení zadaného úkolu.

Modelové řešení proudění podzemní vody je rozděleno do šesti částí:

1. definování koncepčního modelu,
2. analýza vstupních dat – geometrie modelu (plošné a vertikální omezení modelového území), hydraulická vodivost, pórovitost, srážky a podzemní odtok, měřené hladiny podzemní vody ve vrtech (sestavení mapy hydroizohyps), hladiny na povrchových tocích, aktuální známé bilance, zjištění aktuálních odběrů podzemní vody ze sledovaného kolektoru, analýza povrchového toku Bystřice (spojitost s řešeným kolektorem, propustnost koryta povrchového toku),
3. sestavení modelu – stanovení počtu modelových vrstev, počtu bloků, typu okrajových podmínek, načtení geometrie modelu, zadání infiltrace ze srážek, první zadání hydraulických parametrů (které se budou dále upravovat při kalibraci modelu), zadání odběru podzemní vody,
4. kalibrace a verifikace modelu – spočívá v nalezení vstupních dat modelu, které nejlépe zajišťují shodu s měřeními, pozorovanými či předpokládanými údaji (hladiny podzemní vody, odběry, infiltrace srážek, drenáže do toků či infiltrace z toků apod.),

5. Simulace navýšení odběru podzemní vody včetně simulace vypnutí odběru, simulace variant záložního odběru podzemní vody,
6. Interpretace výsledků modelového řešení (piezometrické výšky, rychlosti a doby proudění) včetně zhodnocení nejistot.

Informace o situačních, geologických, hydrogeologických poměrech, vrtných pracích v zájmovém území byly čerpány převážně z archivu společnosti GEOtest, a.s., tj. z výsledků hydrogeologických a hydrologických průzkumů, které byly realizovány od roku 1982 do roku 2025.

A.2 Geologické a hydrogeologické poměry zájmové lokality

Jak již bylo řečeno, zájmová lokalita je součástí Hornomoravského úvalu, kde pro účely modelování sledujeme kvartérní štěrkopískovou zvrstvení, která je vertikálně omezená neogenními jíly a shora povodňovými hlínami. Vznik a doplňování zásob podzemní vody v této hydrogeologické struktuře se děje především infiltrací atmosférických srážek. Celá struktura je odvodněna řekou Moravou. Směr proudění podzemní vody je totožný se sklonem terénu i nepropustného podloží. Řeka Bystřice plní pravděpodobně funkci převážně dotační.

Geologické prostředí zájmového území je tvořeno horninami paleozoika, neogénu a kvartéru.

Paleozoikum je reprezentováno jílovitými břidlicemi a drobnými spodnokarbonského moravického souvrství kulmu Nížkého Jeseníku.

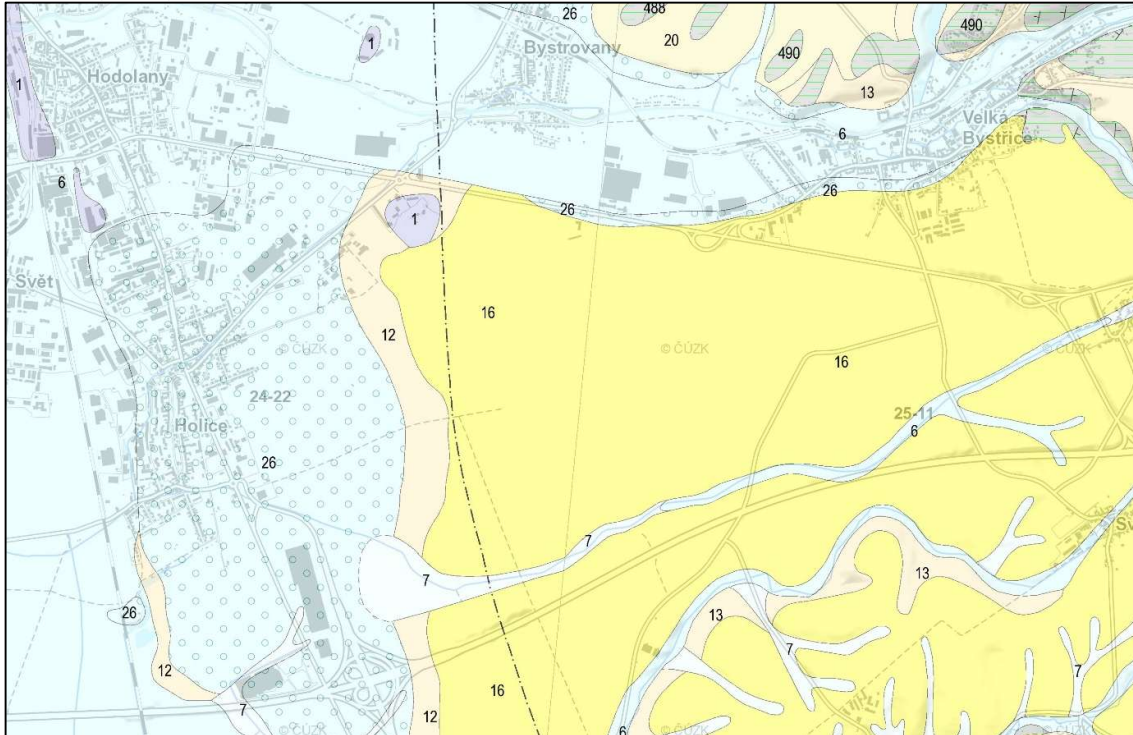
V jeho nadloží se vyskytují terciérní – spodnobádenské jíly s vložkami prachových až jemnozrnných písků, jakožto výplň karpatské předhlubně.

Pliopleistocénní a holocenní sedimenty překrývají téměř v celé ploše miocenní sedimenty. Nachází se zde řada genetických typů plioleistocénního a holocenního stáří. Jsou jimi především fluviální sedimenty údolní a hlavní terasy, pod nimiž se nacházejí místy i tzv. fluviální sedimenty v depresích. Fluviální sedimenty jsou mnohde kryty sprašemi, sprašovými hlínami a svahovými (deluviálními) sedimenty. Jejich podložím jsou hydrogeologicky zajímavé sedimenty plioleistocénního (křelovského) souvrství.

Kvartérní sedimenty, celkově cca 25-30 m mocné, které nasedají přímo na pliocenní jíly, jsou fluviálního původu a jsou složeny z proměnlivě jílovitých, jemně až hrubě zrnitých písků s polohami písčitých štěrků staršího pleistocénu (mindel) o mocnosti cca 20 m (index 6 v obrázku č. 1), na kterých jsou uloženy písčité hlíny až písky (bazální, nespojitá vrstva o mocnosti decimetrů až metru) a hlinité až písčité štěrky kralické terasy (riss) o mocnosti cca 8 m (index 26 v obrázku č. 1) a písčité štěrky až štěrky údolní terasy řeky Bystřice (würm). Od okraje zástavby v Olomouci – Holicích směrem k V je pak vyvinut pokryv deluviálních, převážně ronových hlín, ještě východněji pak souvislý pokryv spraší (na obr. 1 index 16). Povrch terénu je tvořen holocenními prachovito-písčítými hlínami, případně jílovitými o mocnosti okolo 0,5 m.

Výřez z geologické mapy

Obr. č. 1



Vysvětlivky: **1:** navážka, halda, výsypka, odval (antropogen); **6:** hlína, písek, štěrk; **7:** deluviofluviální sedimenty; **12:** deluviální sedimenty písčitohlinité až hlinitopísčité; **13:** deluviální sedimenty kamenité až hlinitokamenité; **16:** eolické sedimenty, spraš, sprašová hlína; **20:** deluvioeolické sedimenty; **26:** fluviální sedimenty, písek, štěrk (Riss hlavní terasa) (kvartér); **490:** jílovité břidlice, prachovce, droby moravického souvrství (kulm)

Hydrologicky je studovaná lokalita součástí povodí Moravy, dílčího povodí 4. řádu 4-10-03-1152 Hamerský náhon. Povrchové vody jsou z okolí odváděny řekou Bystřicí s Hamerským náhonem, který odebírá u Bystrovan část její vody, a zatímco Bystřice teče s. od zájmového území od V k Z a vlevo se do Moravy. Hamerský náhon směřuje přímo kolem ulice Hamerská od SV k JZ a přes Holice dále k řece Moravě, do které se vlevo sv. od Nemilan.

Podle hydrogeologické rajonizace Olmer et al. (2006) patří studované území do rajonu svrchní vrstvy č. 1622 Pliopelistocén Hornomoravského úvalu – jižní část. V podloží rajonu svrchní vrstvy č. 1622 je vyvinut ještě hydrogeologický kolektor základní vrstvy č. 2220 Hornomoravský úval.

Z pohledu odtoku podzemní vody (Krásný et al., 1982) je lokalita řazena výši dlouhodobého specifického odtoku do stupně IV, který je označován jako střední a má hodnotu 2–3 l/s/km. Současně tato hodnota charakterizuje i velikost infiltrace srážek do horninového prostředí na jednotku plochy za čas.

Zvodněným hydrogeologickým kolektorem s největším vodárenským významem jsou v zájmovém území kvartérní fluviální uloženiny mindelu, které nikde v okolí nevycházejí na povrch. Tyto fluviální písčité štěrky s mocností až 20 m mají průlinovou propustnost s koeficientem hydraulické vodivosti 1,1-8,4.10⁻⁴ m.s⁻¹ (Homola, 1987). Mindelská zvodeň souvisí hydraulicky jak s podložními pliocenními písčitymi uloženinami, tak s nadložní zvodní kralické terasy, která má menší propustnost a snad i se zvodní údolní terasy řeky Bystřičky (Burda, et al. 2017).

Vytváří se tak zde zvodněný systém různě uspořádaných, různě mocných a různě propustných vrstev, který je dotován částečně infiltrací, tedy vsakem atmosférických srážek, částečně vcezem povrchové vody z říčního koryta Bystřice a přítokem ze spodnokarbonských moravických vrstev.

Rozdílná propustnost jednotlivých poloh v tomto zvodněném systému a přítomnost vložek hlín, jílu nebo jemnozrnných písků ať už čočkovitého či jiného tvaru, komplikuje pohyb podzemní vody a způsobuje napjatost její hladiny, přičemž v nejvyšším zvodněném kolektoru kralické terasy je hladina podzemní vody volná.

Generelní směr proudění podzemní vody je v zájmové oblasti přibližně od V k Z, v nivě řeky Moravy se stáčí k J. Volná hladina ve zvodněném systému hydrogeologických kolektorů se nachází cca v hloubce kolem 9,0-12,0 m pod terénem. V detailním pohledu se pak vlivem exploatace vodárensky významné mindelské zvodně v několika jímacích územích (OLMA, ADM Olomouc) směr proudění změnil a vznikla tak plochá deprese s úklonem k Z. V těchto depresích se přirozeně směr proudění podzemní vody stáčí k jímacím objektům.

V zájmovém území se nachází ochranné pásmo vodního zdroje OLMA označované jako „Hamerský Mlýn“, které slouží jako zdroj pitné vody pro společnost OLMA, a.s. už od roku 1969, kdy zde byly po hydrogeologickém průzkumu realizovaném Potravinoprojektem Praha (Halva, 1964) pro Mlékárnu Olomouc vyhloubeny nejprve v roce 1966 ověřovací sondy, z nichž VS 2-VS 5 byly hluboké 24,60-31,70 m. Podle získaných poznatků pak byly realizovány definitivní jímací objekty H 1-H 3 hluboké 31,10 m, 30,55 m a 30,52 m (Kadula, 1969). Vrtly byly vystrojeny kameninovými rourami o průměru 400 mm.

Vodní zdroj tvoří 3 vrtly, ze kterých je povoleno čerpat Q_{max} 33,0 l/s, Q_{rok} 885 000 m³. V roce 2022 byl skutečný odběr $Q_{prům}$ 15 l/s, Q_{rok} 472 176 m³.

Od roku 1995 do roku 2022 bylo roční odebírané množství od 418 200 m³ (2010) do 528 600 m³ (1997), tj. 13,26-16,76 l/s, přičemž průměrný roční odběr z let 1997-2022 činí 471 115 m³ (14,94 l/s) podzemní vody. Od roku 1995 došlo dvakrát ke zvýšení maximálního ročního povoleného množství odebírané podzemní vody – v roce 2005 došlo ke zvýšení z 599 000 m³ na 666 000 m³ a v roce 2020 došlo k navýšení z 666 000 m³ na 885 000 m³. Od roku 2020 je odebíráno cca 53-55 % z maximálního povoleného množství.

Zdroj je chráněn ochranným pásmem 1. i 2. stupně. OP s číslem rozhodnutí SMOL/119842/2020/OZP/VH/Pos bylo MM Olomouc vyhlášeno 25.5.2020 a aktualizováno 5.11.2021.

5.1.2023 vydal magistrát města Olomouce sdělení „Oznámení o převodu vlastnického práva k pozemkům a stavbám v k.ú Holice u Olomouce“. Jedná se o 4 vodní díla, studny ST-1 až ST-4, které dříve zásobovaly areál společnosti MJM Litovel, později Sklady Olomouc s.r.o. a které přešly do vlastnického práva společnosti OLMA, a.s. Průměrný povolený odběr ze studní ST-1 až ST-4 je 6 l/s, maximální povolený odběr 20,0 l/s. $Q_{max/rok}$ 30 000 m³. V současné době se z těchto zdrojů podzemní voda neodebírá.

A.3 Stručná charakteristika použitého modelu (programu)

Hydraulický model je provozován pomocí standardního software Visual Modflow firmy WHI Inc. Kanada. Modflow umožňuje modelování proudění podzemní vody, které vychází z hydraulických rovnic pohybu podzemní vody (homogenní kapaliny s konstantní hustotou) v prostoru a čase, využívá metody konečných diferencí. Parciální diferenciální rovnici proudění lze napsat:

$$\delta/\delta x(k_{xx}\delta h/\delta x)+\delta/\delta y(k_{yy}\delta h/\delta y)+\delta/\delta z(k_{zz}\delta h/\delta z)=SS\delta h/\delta t \pm Q,$$

kde **h** je piezometrická výška, **k_{xx}**, **k_{yy}**, **k_{zz}** jsou členy tenzoru hydraulické vodivosti, **SS** je specifická zásobnost zvodnělé vrstvy, **Q** je měrný tok přítoku a odběru.

Při využití numerické metody konečných diferencí dochází k diskretizaci modelovaného prostoru (zvodněného prostředí) na bloky s konstantními hydraulickými parametry (koeficienty filtrace, storativity, pórovitost). Bloky mají pravoúhlý vertikální průmět a jsou ve výpočtu reprezentovány body (uzly) výpočetní sítě, situovanými v těžišti bloků. Proudění mezi bloky respektuje platnost Darcyho zákona $\mathbf{v} = \mathbf{k} \cdot \mathbf{dh}/\mathbf{dx}$ (kde filtrační rychlost \mathbf{v} se rovná součinu koeficientu filtrace a gradientu piezometrické výšky) a zákona kontinuity (přítok do bloku se rovná odtoku z bloku a změně akumulace vody v bloku).

Do kteréhokoliv bloku může být zavedena okrajová podmínka 1. typu (konstantní hladina – piezometrická tlaková výška), 2. typu (konstantní přítok) a 3. typu (podmínka smíšená, která slučuje mezní proudění a mezní tlakovou výšku hladiny). Podmínka 3. typu se nejčastěji používá pro vystižení spolupůsobení zvodněné vrstvy a povrchového toku, který je od zvodně oddělen polopropustnou vrstvou, nebo částečně proniká. Může být též použita pro tzv. „umělé hranice“, které tato podmínka lépe vystihuje v případě změn např. v odběrech (infiltracích) podzemní vody oproti kalibrovanému stavu. Okrajová podmínka 3. typu může být ve Visual Modflow interpretována jako (GHB – General Head Boundary), (RIVER) nebo (DRAIN), kdy se zadává do jednotlivých bloků úroveň hladiny, případně úroveň dna (řeky, drénu), propustnost dna, resp. propustnost (resistence) mezi okrajovou podmínkou a zvodní.

Modelové řešení zahrnuje dotace a odvodnění modelovaného prostoru, které mohou být buď plošné (infiltrace, evapotranspirace) nebo lokální (infiltrace do vrtů, odběry z vrtů, přesněji příslušných bloků, infiltrace z povrchových vodotečí nebo drenáže do povrchových vodotečí a drénů) – viz okrajová podmínka 1. a 3. typu. Proudění podzemní vody lze modelovat v ustáleném (stacionárním) nebo neustáleném (tranzientním) stavu.

Jednotlivé vrstvy bloků reprezentují geologické jednotky (zvodněné vrstvy oddělené poloizolátorem) nebo charakterizují odlišné hydraulické zóny jedné zvodněné vrstvy. V rámci jedné vrstvy se neuplatňují vertikální gradienty proudění. Vrstvy lze definovat s hladinou podzemní vody volnou, napjatou nebo smíšenou.

Výškové úrovně jednotlivých litologických vrstev jsou stanovovány interpolací dat získaných z provedených vrtných prací, tzn. na základě petrografických profilů jednotlivých vrtů, resp. dostupných geologických řezů zájmovým územím, případně jsou údaje korigovány pomocí různých metod a odhadem.

Základním výsledkem modelového řešení jsou hodnoty piezometrických výšek hladiny podzemní vody v uzlech sítě (těžišti bloků). Grafickým výstupem řešení jsou tedy mapy modelovaných ekvipotenciálních linií. Vedlejším výstupem je potom mapa trajektorií částic z libovolného bodu oblasti, dále směry a skutečné rychlosti proudění podzemní vody v libovolném bloku, včetně průtoku vody libovolným blokem.

Modelování proudění podzemní vody v zájmovém území spočívá v kalibraci modelu se skutečně naměřenými stavy hladiny podzemní vody, případně zjištěnými bilancemi. Pokud vstupní údaje chybí, kalibrujeme hypotetický stav.

Na základě rozboru přesnosti, množství a charakteru vstupních informací byl pro kalibraci modelované oblasti aplikován jednovrstevný model ve formě ustáleného proudění podzemní vody. Řešení proudění podzemní vody tedy simuluje ustálený režim, který bude dosažen po delší době za dlouhodobě průměrných podmínek. V případě potřeby, která by vyplynula v průběhu prací, mohou být též simulovány transienční varianty proudění na již kalibrovaném modelu.

Hladinu podzemní vody zvodně definujeme jako smíšenou (přechod volná – napjatá). V každém bloku zadáváme nadmořskou výšku nepropustného podloží, stropu zvodněného kolektoru, množství infiltrovaných srážek, z hydraulických parametrů (vzhledem k modelování ustáleného proudění) horizontální koeficient filtrace, dále efektivní pórovitost pro zjištění skutečných rychlostí podzemní vody. Tyto údaje byly převzaty z dostupných materiálů, dat zjištěných v rámci průzkumných prací a upřesňovány v průběhu kalibrace modelu.

A.4 Koncepce modelu proudění podzemní vody

Jak již bylo řečeno, je modelováno proudění podzemní vody v kvartérní zvodni, která je zespodu omezena neogenními sedimenty, převážně jíly. Zdrojem podzemní vody jsou infiltrované atmosférické srážky v ploše řešeného kolektoru. Množství infiltrovaných srážek bylo zvoleno dle mapy „Krásný, Odtok podzemní vody na území Československa, 1981“ a dále upřesňováno při kalibraci.

Pro sestavení a verifikaci modelu bylo nutné vzhledem k nastavení správné bilance uvažovat větší oblast, než je v zadání úkolu. Severní hranice byla zvolena v linii říčky Bystřice. Předpokládáme, že dalším možným zdrojem podzemní vody je tedy Bystřice, která má hladinu povrchové vody výše, než je hladina v okolních vrtech, jak v jižní, tak v severní oblasti. Nicméně vrtná prozkoumanost v blízkosti řeky Bystřice je omezená. Je tu též možnost, že hladina podzemní vody je místy pod korytem řeky a probíhá pouze konstantní vsak přes nenasurovanou zónu. Severně od Bystřice probíhá proudění ve směru sklonu podloží i terénu, a to k řece Moravě. Odvodnění severní oblasti (pravý břeh Bystřice) směrem k jihu se nepředpokládá díky hydraulickému vlivu Bystřice (7).

Západní hranice byla zvolena v linii řeky Moravy, která má funkci v globálu drenážní (odvodňovací).

Směrem k východu stoupá nepropustné podloží, rovněž je zde předpoklad nižší infiltrace ze srážek a nižší koeficienty filtrace, tudíž od východu lze očekávat pouze minimální, konstantní přítok.

Jižní hranice byla zvolena po předpokládané proudnici, tedy hranice bez proudění. Přítok od jihu vlivem zvýšení odběru nepředpokládáme.

A.5 Analýza vstupních dat do modelu

Mapa hydroizohyps (ekvipotenciálních linií)

Pro potřeby modelování proudění podzemní vody (podklad pro kalibraci modelu a volbu okrajových podmínek) je nutná mapa hydroizohyps = režimní měření stavu hladin na vrtech včetně zaměření úrovně povrchové vody na povrchových tocích, u kterých se předpokládá spolupůsobení s podzemní vodou příslušného kolektoru. Režimní měření by mělo být ideálně provedeno v co nejkratším časovém úseku za dlouhodobě konstantních srážkových i odběrových podmínek.

Režimní měření bylo provedeno dne 25. 6. 2025, na všech dostupných objektech v zájmové oblasti, viz následující tabulka č. 1. Nebyla změřena hladina podzemní vody v jímacích objektech OLMA (H-1, H-2, H-3, ST-1, ST-2, ST-3, ST-4) z důvodu nesusoučinnosti vlastníka těchto objektů.

Dále byla změřena hladina a průtok v Hamerském náhonu za účelem ověření hydraulické spojitosti náhonu s hydrogeologickým kolektorem.

Tabulka č. 1 Stav hladiny podzemní vody v zájmovém území

objekt	souřadnice		OB	OB	Hloubka	HPV	HPV
	X	Y	(m n. m.)	(m n. t.)	(m od OB)	(m od OB)	(m n. m.)
						25.06.2025	25.06.2025
HV-OL1	-542483,91	-1123186,30	229,42	1,23	26,65	14,01	215,41
HV-OL2	-542437,82	-1123223,72	229,82	1,20	25,00	14,37	215,45
HV-OL3	-542448,72	-1123138,22	229,23	1,17	25,50	13,83	215,40
HV-OL4	-542592,99	-1123374,81	227,42	0,41	26,28	12,02	215,40
HV-OL5	-542516,10	-1123467,67	227,94	0,48	23,70	12,42	215,52
HV-OL6	-542938,36	-1123562,06	224,26	0,48	23,48	9,08	215,18
HV-OL7	-542981,01	-1123641,04	223,97	0,41	24,30	8,82	215,15
HV-OL8A	-541686,31	-1123065,72	235,40	0,42	40,00	17,14	218,26
HV-OL9	-541709,05	-1123112,31	234,53	0,46	40,00	16,21	218,32
Vrt Harazinovi	-541621,61	-1122725,86	233,41	0,72	27,00	17,94	215,47

objekt	souřadnice		OB	OB	Hloubka	HPV	HPV
	X	Y	(m n. m.)	(m n. t.)	(m od OB)	(m od OB)	(m n. m.)
						25.06.2025	25.06.2025
ADM1	-543227,23	-1122916,16	224,31	0,38	21,38	9,62	214,69
ADM2	-543222,64	-1122966,86	224,30	0,37	20,37	9,49	214,81
ADM3	-543241,73	-1123020,94	224,06	0,39	20,39	9,24	214,82
ADM4	-543237,24	-1122939,00	224,23	0,33	19,33	9,47	214,76
ADM5	-543167,64	-1122938,71	224,98	0,48	20,48	10,23	214,75

Mapa lokálních hydroizohyps na základě měření in situ je obsahem přílohy č. 1.1. Z mapy je patrné, že povrchová voda v náhonu hydraulicky nesouvisí se zvodní, možný je pouze však přes nesaturovanou zónu. Hladina v místě HN1 odpovídá hladině na povrchovém toku Bystřice.

Tyto známé hladiny byly doplněny měřenými hladinami z vrtů z širšího okolí z jiných období a doplněny ustálenými hladinami z vrtů, které byly získané při vrtání. Dále byly doplněny body, které reprezentují povrchovou vodu na tocích Bystřice a Moravy včetně jezů. Tyto body byly odečteny z mapy (www.cuzk.cz). Je nutno zmínit, že hladina ve vrtech H1 až H3, HR1 – HR10 neodpovídá stavu ze dne 25. 6. 2025, proto nebyla brána v úvahu pro kalibraci modelu. Mapa předpokládaných hydroizohyps z širšího okolí je obsahem přílohy č. 1.2.

Body na Moravě (odečtené z mapy) neodpovídaly v jižní části modelu skutečnosti, byly proto interpretovány spíše dle dostupného měření hladin v těchto oblastech z dřívějších let. Moravu není potřeba interpretovat detailně přesně, hranice je od sledovaného území dost daleko a má v modelu menší vliv.

Plošné omezení modelu

Jak již bylo řečeno je modelované území ohraničeno ze severu řekou Bystřicí, od západu řekou Moravou, od východu výstupem nepropustného podloží (cca na předpokládané izolínii 235 m n. m.), jižní hranice je vedena cca v úrovni dálnice D35 po spádnicí předpokládaných hydroizohyps (hranice bez proudění).

Vertikální omezení modelu

Podloží kvartérní zvodně je tvořeno neogenními jíly, strop zvodně je tvořen převážně hlínami. Strop zvodně se do výpočtu zapojuje pouze tehdy, když piezometrická výška podzemní vody dosáhne úrovně stropu. Tyto hodnoty byly zjištěny na základě údajů z vrtů zájmové lokality z předchozích zpráv od roku 1982 do roku 2025, dále na základě údajů z vrtů z webu ČGS.

https://mapy.geology.cz/vrtna_prozkoumanost/

Vykreslení (interpolace) jednotlivých litologických rozhraní modelovaných vrstev (báze a stropu sledované zvodně) bylo zpracováno programem Surfer. Mapa nepropustného podloží sledovaného kolektoru je obsahem přílohy č. 2., mapa stropu kvartérní zvodně je obsahem přílohy č. 3. Data použitá pro konstrukci příloh č. 1 až 3 jsou obsahem tabulek č. 1 a 2.

Hydraulické parametry

Koeficienty hydraulické vodivosti byly vypočteny na základě výsledků hydrodynamických zkoušek realizovaných v rámci archivních průzkumných prací dále upřesňovány při kalibraci modelu. Předpokládáme hydraulické vodivosti řádově od $2 \cdot 10^{-3}$ m/s v blízkosti Moravy, $2 \cdot 10^{-4}$ m/s v oblasti jímacích vrtů až po $1,5 \cdot 10^{-5}$ m/s ve východní části území. Celkem bylo k dispozici pro oblast modelu 20 vrtů s koeficienty hydraulické vodivosti (viz tabulka č. 1 v přílohové části), z toho dva vrty mimo oblast.

Srážky, bilance a další vstupní údaje

Dle mapy (Krásný, 1982) činí pro danou lokalitu specifický podzemní odtok z povodí 2–3 l/s na km², ve východní části území 1–2 l/s, což je v přepočtu 64–96 mm infiltrovaných srážek, ve východní části

území 32–64 mm. Do modelu bylo zvoleno průměrné množství z těchto dat, tedy 79 mm a pro menší východní část 47 mm a 32 mm. Toto množství bylo dále upřesňováno při kalibraci modelu.

Model kalibrujeme na ustálený režim proudění podzemní vody, řešení tedy simuluje ustálený režim, který bude dosažen po delší době za dlouhodobě průměrných podmínek. Uvažujeme tedy pro model trvalý odběr podzemní vody, který je dlouhodobě průměrný (alespoň jeden rok), což je odběr z následujících objektů:

ADM Olomouc	7,055 l/s
OLMA H1 až H3	14,274 l/s
OLMA ST1 až ST4	0,000 l/s
STAVES	0,006 l/s
STRABAG	0,032 l/s
Celkem	21,367 l/s

Trvalý odběr ze studny Harazinovi neuvažujeme.

Na Hamerském náhonu byl zjištěn únik povrchové vody mezi body HN1 a HN2 2,6 l/s, mezi body HN2 a HN3 0,2 l/s a mezi body HN3 a HN4 2,2 l/s, celkem 5 l/s. Jde pouze o jedno měření, přičemž není jasné, jestli povrchová voda uniká do zvodně. Pro kalibraci ustáleného proudění by bylo vhodné mít k dispozici dlouhodobější řadu dat, min. 12 měsíců. Z tohoto důvodu nebyl případný únik při kalibraci brán v úvahu.

A.6 Sestavení modelu

Sestavení výpočetní sítě, diskretizace zvodně

Po analýze vstupních údajů byla zvodně diskretizována jednou vrstvou bloků se čtvercovým vertikálním průmětem 25×25 m, která obsahuje 250 sloupců a 350 řádků. Síť bloků je natočena ve směru S–J, Z–V. Aktivní plocha modelu má rozlohu cca 23 km². Hladinu podzemní vody kolektoru definujeme jako smíšenou (přechod volná napjatá), ale je převážně volná.

Do takto sestavené sítě byla naimportována mapa se zakreslenou modelovanou oblastí, která má funkci vizuální. Pomáhá při zadávání okrajových podmínek, koeficientů hydraulické vodivosti apod.

V dalším kroku byly naimportovány grd soubory báze a stropu řešeného kolektoru, které byly připraveny (interpolovány) programem Surfer. V každém bloku tedy zadáváme nadmořskou výšku nepropustného podloží, stropu zvodně, infiltrované množství srážek, z hydraulických parametrů horizontální koeficient hydraulické vodivosti, efektivní pórovitost

V následném kroku byly do modelu naimportovány vybrané pozorovací vrtý s měřenou hladinou, která bude sloužit při verifikaci modelu (porovnávání měřených a modelovaných hladin).

Volba okrajových podmínek a odběrů

Severní hranice byla volena po linii řeky Bystřice, západní hranice byla volena po linii řeky Moravy, kde byla zadána okrajová podmínka 1. typu - konstantní hladina ve spádu. Úroveň povrchové vody byly zjištěny přibližně z map (www.cuzk.cz), přihlíželo se i k přítomným jezům.

Východní hranice byla zvolena průběhem izolinie nepropustného podloží v úrovni 235 m n. m., kde byla zadána hydroizohypsa 237 m n. m. jako umělá okrajová podmínka 1. typu – konstantní hladina.

Jižní hranice byla zvolena po předpokládané proudnici cca v místě dálnice D35 (hranice bez proudění). Zde průběh hladiny podzemní vody pouze odhadujeme, nejsou tu měřené objekty.

Odběr z vrtů a objektů (výše popsanych) zadáváme jako odběr z příslušných bloků, celkem se odebírá v průměru 21,367 l/s. Z vrtů H1, H2, H3 se odebírá $3 \times 4,758 = 14,274$ l/s.

Zadání hydraulických parametrů

Jak již bylo výše zmíněno, vycházelo se z koeficientů hydraulické vodivosti, vypočtené na základě výsledků hydrodynamických zkoušek na vrtech. Kolmatace koryt povrchových toků se zadávala pomocí bloků s nižší propustností.

Efektivní pórovitost byla uvažována hodnotou 0,1, konstantní pro celý model. Má vliv na skutečnou rychlost proudění

Síť modelu včetně zakreslení okrajových podmínek je obsahem přílohy č. 4. Znamé hydraulické vodivosti jsou v tabulce č. 1.

A.7 Kalibrace modelu (skutečné čerpání)

Simulace skutečného čerpání podzemní vody ve vztahu k přírodním zásobám.

Podstata kalibrace modelu na skutečný stav úrovní hladin podzemní vody spočívá v postupném opravování neznámých nebo nepřesných vstupních parametrů v jednotlivých blocích (hlavně koeficientů hydraulické vodivosti) do té doby, dokud se stav modelovaných úrovní hladin neshoduje se stavem skutečně naměřeným (či stavem předpokládaným), případně se známými bilancemi.

V průběhu mnoha přiblížení (výpočtů ustáleného stavu proudění podzemní vody), kdy byly upřesňovány horizontální hydraulické vodivosti, množství infiltrovaných srážek, kolmatace koryt povrchových toků byl model nastaven do stavu, který se shoduje s naměřeným (předpokládaným) stavem.

Modelované hydroizohypsy jsou obsahem přílohy č. 5 včetně vykreslení trajektorií částic podzemní vody (proudnic) a řezu modelem. Z mapy je vidět, jakou oblast „sanují“ čerpané objekty. Trajektorie jsou označeny šipkami po 365 dnech (rok). Rychlost proudění závisí na volbě efektivní pórovitosti. Pokud budeme uvažovat efektivní pórovitost 2x nižší, bude rychlost proudění 2x vyšší. Řezy mají koeficient převýšení =10 (10x vyšší).

Koeficienty hydraulické vodivosti byly stanoveny v modelu v rozsahu $k=1,5 \cdot 10^{-5} - 2 \cdot 10^{-3}$ m/s,

- přičemž nejvyšší byly zjištěny v oblasti u řeky Moravy $k=1 - 2 \cdot 10^{-3}$ m/s
- ve větší oblasti včetně jímacího území bylo zadáváno $k=2 \cdot 10^{-4}$ m/s,
- ve východní části bylo zadáváno $k=1,9 \cdot 10^{-5}$ m/s,
- do linie toku Bystřice byla zadána poměrně nízká hydraulická vodivost $k=8 \cdot 10^{-7}$ m/s, která simuluje kolmataci koryta.

Porovnání modelovaných úrovní hladin podzemní vody s hodnotami měřenými na objektech ukazuje graf, který je obsahem přílohy č. 5. Bohužel pro graf bylo možné zadat jen méně vrtů, průměr RMS pod 10% byl ale dodržen.

Celková bilance kalibrovaného skutečného stavu je následující.

Modelem protéká celkem 73,335 l/s,

- z toho zdroj z infiltrovaných srážek v ploše modelu je 52,381 l/s,
- přes severní hranici (z Bystřice) přitéká celkem 19,706 l/s,
- přes východní hranici přitéká 1,248 l/s

- Morava drénuje 51,977 l/s
- odběr je celkem 21,367 l/s

Odběry podzemní vody z jednotlivých objektů jsou popsány v kapitole výše.

Z modelu je zjevné, že stávající zdroj vody pro ADM Olomouc situovaný v blízkosti řeky Bystřice je převážně podzemní voda původem z Bystřice.

A.8 Simulace maximálních odběrů dle vydaných rozhodnutí

Simulace maximálního množství čerpané podzemní vody dle vodoprávních povolení ve vztahu k přírodním zásobám.

Následně byly na kalibrovaném stavu simulovány maximální odběry dle integrovaného povolení. Jelikož modelujeme ustálený stav proudění podzemní vody, zadáváme do jednotlivých čerpaných objektů povolené množství za rok, přepočítané na l/s. Krátkodobé povolené maximální odběry nejsou pro modelování vhodné.

Do jednotlivých čerpaných objektů zadáváme následující maximální vydatnosti:

ADM Olomouc	11,100 l/s
OLMA H1 až H3	28,060 l/s
OLMA ST1 až ST4	0,950 l/s
STAVES	0,034 l/s
STRABAG	0,063 l/s
Celkem	40,207 l/s

Trvalý odběr ze studny Harazinovi neuvažujeme.

Mapa hydroizohyps včetně řezu modelem je rovněž obsahem přílohy č. 5. Z mapy je vidět, že „sanovaná“ oblast se zvětšila, dochází k vysychání jihovýchodní části modelu. Jižní část modelu je postavena na odhadovaných datech, je nicméně zřejmé, že odběr je již příliš vysoký, model hůře konverguje. Dá se říct, že tyto odběry se dají chápat jako limitní, i když samozřejmě záleží na umístění čerpaných objektů (blíže k řece). Model neumožňuje řešit velký pokles hladiny, který způsobuje větší vysychání nepropustného podloží (diverguje), přestože ve zvodni in situ je ještě nějaké množství podzemní vody k dispozici.

Celková bilance modelu se simulovaným maximálním odběrem je následující:

Modelem protéká celkem 83,890 l/s,

- z toho zdroj z infiltrovaných srážek v ploše modelu je 52,212 l/s (mínus vyschnutá místa),
- přes severní hranici (z Bystřice) přitéká celkem 30,412 l/s,
- přes východní hranici přitéká 1,266 l/s

- Morava drénuje 43,683 l/s
- celkový odběr je 40,207 l/s

Ve srovnání s kalibrovaným skutečným stavem se zvýšil přítok ze severní hranice (Bystřice) o 10,706 l/s, přítok od východu se udržel cca stejný, což by mělo odpovídat geologickým poměrům.

A.9 Simulace vypnutí odběrů (přirozený stav bez čerpání)

Dále byla provedena simulace vypnutí veškerých odběrů. Mapa hydroizohyps včetně řezu modelem je rovněž obsahem přílohy č. 5.

Celková bilance modelu se simulovaným s vypnutým odběrem je následující:

Modelem protéká celkem 61,484 l/s,

- z toho zdroj z infiltrovaných srážek v ploše modelu je 52,387 l/s,
- přes severní hranici (z Bystřice) přitéká celkem 7,880 l/s,
- přes východní hranici přitéká 1,217 l/s

- Morava drénuje 61,484 l/s
- odběr je 0 l/s

Ve srovnání s kalibrovaným skutečným stavem se snížil přítok ze severní hranice (Bystřice) o 11,826 l/s, přítok od východu se udržel cca stejný, což by mělo odpovídat geologickým poměrům.

A.10 Simulace čerpání z náhradních zdrojů za objekty H1, H2, H3

Simulace čerpání z vrtů HV-OL1, HV-OL2, HV-OL3, HV-OL6, HVO-L7, HVO-L8A, HV-OL9, které byly vybudovány jako potenciální náhradní zdroje za vrty H-1 až H-3, s cílem ověřit, zda potenciální náhradní zdroje dokážou zajistit množství vody v takovém množství, které je možné odebírat vrty H-1 až H-3.

Závěrem byl simulován odběr podzemní vody z potencionálních náhradních objektů. Tyto potencionální náhradní objekty byly vybudovány v rámci průzkumných prací v roce 2016 a 2020. Bylo vybráno 7 objektů: HV-OL1, HV-OL2, HV-OL3, HV-OL6, HVO-L7, HVO-L8A, HV-OL9. Simulace proběhla na stávajícím stavu (původní čerpaná množství z objektů mimo H1 až H3) a taktéž na maximálním stavu (maximální povolená množství z objektů mimo H1 až H3). Čerpané množství z náhradních zdrojů bylo voleno jako „využitelné množství vody vypočtené na základě průzkumných prací“.

Simulace na stávajícím stavu ve třech variantách:

V první variantě byly jako náhradní čerpány 3 vrty HVOL1 až HVOL3.

ADM Olomouc	7,055 l/s
OLMA HVOL1	4,250 l/s
OLMA HVOL2	4,250 l/s
OLMA HVOL3	4,250 l/s
OLMA ST1 až ST4	0,000 l/s
STAVES	0,006 l/s
STRABAG	0,032 l/s
Celkem	19,843 l/s

Bilance je následující:

Modelem protéká celkem 71,800 l/s,

- z toho zdroj z infiltrovaných srážek v ploše modelu je 52,378 l/s,
 - přes severní hranici (z Bystřice) přítéká celkem 18,167 l/s,
 - přes východní hranici přítéká 1,255 l/s
- Morava drénuje 51,957 l/s
 - odběr je celkem 19,843 l/s (z náhradních zdrojů je odběr 12,75 l/s)

Ve druhé variantě byly jako náhradní čerpány 4 vrty HVOL6 až HVOL9.

ADM Olomouc	7,055 l/s
OLMA HVOL6	3,000 l/s
OLMA HVOL7	1,000 l/s

OLMA HVOL8A	2,500 l/s
OLMA HVOL9	2,500 l/s
OLMA ST1 až ST4	0,000 l/s
STAVES	0,006 l/s
STRABAG	0,032 l/s
Celkem	16,093 l/s

Bilance je následující:

Modelem protéká celkem 69,780 l/s,

- z toho zdroj z infiltrovaných srážek v ploše modelu je 52,346 l/s,
- přes severní hranici (z Bystřice) přitéká celkem 16,173 l/s,
- přes východní hranici přitéká 1,261 l/s

- Morava drénuje 53,687 l/s
- odběr je celkem 16,093 l/s (z náhradních zdrojů je odběr 9,0 l/s)

Ve třetí variantě bylo čerpáno všech 7 náhradních objektů, přičemž odbírané množství z vrtů HVOL1 až HVOL3 bylo nutné trochu snížit, jelikož již docházelo ke špatné konvergenci řešení vlivem vysychání jižních oblastí.

ADM Olomouc	7,055 l/s
OLMA HVOL1	3,000 l/s
OLMA HVOL2	3,000 l/s
OLMA HVOL3	3,000 l/s
OLMA HVOL6	3,000 l/s
OLMA HVOL7	1,000 l/s
OLMA HVOL8A	2,500 l/s
OLMA HVOL9	2,500 l/s
OLMA ST1 až ST4	0,000 l/s
STAVES	0,006 l/s
STRABAG	0,032 l/s
Celkem	25,093 l/s

Bilance je následující:

Modelem protéká celkem 74,000 l/s,

- z toho zdroj z infiltrovaných srážek v ploše modelu je 52,213 l/s,
- přes severní hranici (z Bystřice) přitéká celkem 20,518 l/s,
- přes východní hranici přitéká 1,269 l/s

- Morava drénuje 48,907 l/s
- odběr je celkem 25,093 l/s (z náhradních zdrojů je odběr 18,00 l/s)

Z těchto tří simulací je zjevné, že nové záložní vrty (jejich umístění a parametry zvodně) nejsou tak vydatné jako původní vrty H1 až H3, které jsou situovány do velké deprese v podloží a jsou blíže

Bystřici, nicméně jako záložní vrty budou mít uplatnění, nejspíš ale s nižším povoleným odběrem vody, pokud bude dlouhodobě čerpáno ze všech sedmi vrtů. Simulace včetně vykreslení převýšených řezů (10x) jsou obsahem přílohy č. 5.

Simulace na maximálním stavu (povolených odběrů) ve třech variantách:

V první variantě byly jako náhradní čerpány 3 vrty HVOL1 až HVOL3.

ADM Olomouc	11,100 l/s
OLMA HVOL1	4,250 l/s
OLMA HVOL2	4,250 l/s
OLMA HVOL3	4,250 l/s
OLMA ST1 až ST4	0,950 l/s
STAVES	0,034 l/s
STRABAG	0,063 l/s
Celkem	24,897 l/s

Bilance je následující:

Modelem protéká celkem 74,500 l/s,

- z toho zdroj z infiltrovaných srážek v ploše modelu je 51,801 l/s,
- přes severní hranici (z Bystřice) přitéká celkem 21,450 l/s,
- přes východní hranici přitéká 1,249 l/s

- Morava drénuje 49,603 l/s
- odběr je celkem 24,897 l/s (z náhradních zdrojů je odběr 12,75 l/s)

Ve druhé variantě byly jako náhradní čerpány 4 vrty HVOL6 až HVOL9.

ADM Olomouc	11,100 l/s
OLMA HVOL6	3,000 l/s
OLMA HVOL7	1,000 l/s
OLMA HVOL8A	2,500 l/s
OLMA HVOL9	2,500 l/s
OLMA ST1 až ST4	0,950 l/s
STAVES	0,034 l/s
STRABAG	0,063 l/s
Celkem	21,147 l/s

Bilance je následující:

Modelem protéká celkem 72,865 l/s,

- z toho zdroj z infiltrovaných srážek v ploše modelu je 52,359 l/s,
- přes severní hranici (z Bystřice) přitéká celkem 19,241 l/s,
- přes východní hranici přitéká 1,265 l/s

- Morava drénuje 51,718 l/s
- odběr je celkem 21,147 l/s (z náhradních zdrojů je odběr 9,0 l/s)

Ve třetí variantě bylo čerpáno všech 7 náhradních objektů, přičemž celkové odebírané množství podzemní vody bylo nutné snížit tak, aby řešení konvergovalo. Výsledek je popsán níže.

ADM Olomouc	11,100 l/s
OLMA HVOL1	3,000 l/s
OLMA HVOL2	3,000 l/s
OLMA HVOL3	3,000 l/s
OLMA HVOL6	1,000 l/s
OLMA HVOL7	1,000 l/s
OLMA HVOL8A	1,500 l/s
OLMA HVOL9	1,500 l/s
OLMA ST1 až ST4	0,950 l/s
STAVES	0,034 l/s
STRABAG	0,063 l/s
Celkem	26,147 l/s

Bilance je následující:

Modelem protéká celkem 74,70 l/s,

- z toho zdroj z infiltrovaných srážek v ploše modelu je 51,421 l/s,
- přes severní hranici (z Bystřice) přitéká celkem 22,037 l/s,
- přes východní hranici přitéká 1,242 l/s
- Morava drénuje 48,553 l/s
- odběr je celkem 26,147 l/s (z náhradních zdrojů je odběr 14,0 l/s)

Při této variantě, kdy je odebíráno ze sedmi náhradních zdrojů 14 l/s, je již patrna zhoršená konvergence modelu a vysychání jižních i východních oblastí. Pro námi nastavený (kalibrováný) model jde o navrhované maximální dlouhodobé odběry z náhradních zdrojů.

Simulace včetně vykreslení převýšených řezů (10x) jsou rovněž obsahem přílohy č. 5.

A.11 Nejistoty k verifikaci matematického modelu

Přesnost verifikovaného hydraulického modelu je adekvátní množství a kvalitě vstupních údajů. Exploatace vody v zájmovém území si vyžaduje průzkum a modelování většího území, než je pro tento úkol k dispozici. Nicméně spousta dat se dá vyčíst z map a dostupných webů - množství infiltrovaných srážek, cca úrovně hladin na povrchových tocích včetně jezů, průběh nepropustného podloží.

Vstupní data, která byla k dispozici

Hladiny podzemní vody měřené na ovlivněných vrtech

Jde celkem o 14 vrtů, 1 využívanou studnu Harazinovi a jeden záměr na náhonu NH1, který pravděpodobně odpovídá hladině povrchové vody v Bystřici v tom místě.

Koeficienty hydraulické vodivosti

Byly vypočtené na základě hydrodynamických zkoušek na 14 vrtech, na kterých byly změřeny hladiny. Některé koeficienty vykazují u sousedních vrtů velký rozdíl, jedná se o nehomogenní oblast (východní část sledované lokality). Dále byly dohledány koeficienty hydraulické vodivosti na vrtech u řeky Moravy (Olomouc – Nové Sady). Ve zbývajících oblastech byly tyto parametry odhadovány.

Průběh nepropustného podloží byl vytvořen z údajů z vrtů, kde byla měřena hladina (14 vrtů), přičemž některé vrty nebyly dovrženy do nepropustného podloží. K těmto údajům byly přidány hodnoty odečtené z webu ČGS, tedy pouze z těch vrtů, které zastihly nepropustné podloží.

Množství infiltrovaných srážek bylo zvoleno dle mapy „Krásný, Odtok podzemní vody na území Československa, 1981“ tak, že byla brána průměrná hodnota pro zkoumanou lokalitu. Tuto hodnotu není možné zjistit přesně. Infiltrace se většinou upřesňuje při kalibraci, jsou-li známy jiné vstupy. Tato hodnota ale nevykazuje velký výkyv, proto byla v tomto případě brána jako známý vstup.

Vstupní data nepřesná

Úrovně povrchové vody na Bystřici a na Moravě byly odečteny velice přibližně z webu (www.cuzk.cz) i s uvažováním jezů. Řeka Morava je poměrně daleko od sledovaného území. Při modelování bylo zjištěno, že úprava úrovní povrchové vody v jižní části měla malý vliv.

Největším problémem se jeví neznámá hydraulická spojitost podzemní vody s řekou Bystřicí. Není jisté, jestli po celé sledované délce toku je Bystřice hydraulicky spojitá, či se pouze povrchová voda vsakuje přes nesaturovanou zónu a tvoří elevační val podzemní vody. V modelu byla Bystřice brána jako hydraulicky spojitá se zadaným odporem, který charakterizuje kolmataci koryta. Řeka Morava je poměrně daleko od sledovaného území

Ve zprávě (7) bylo řešeno hydraulické působení zvodně s Bystřicí a možnost stahování podzemní vody do jímacích vrtů ze severu (severně od Bystřice) byla vyhodnocena jako velice málo pravděpodobná. Předpokládá se tedy minimálně vsak z Bystřice, pokud nejde přímo o tlakovou spojitost.

Další neznámou je možnost vsaku povrchové vody z Hamerského náhonu. Při měření průtoků byla zjištěna ztráta 5 l/s. Měření bylo pouze jedno a není jisté, jestli voda skutečně vsakuje do zvodně. Případný vsak z náhonu by naopak vylepšil stav ve zvodni při zvyšování odběrů. Průtoky v povrchových tocích obecně velmi kolísají, proto není možné stavět na jednom měření. Únik vody z Hamerského náhonu tedy nebyl při kalibraci brán v úvahu.

A.12 Vyhodnocení vývoje chemismu podzemní vody

Od počátku zahájení exploatace mindelské zvodně v okolí lokality Hamerský mlýn v 70. letech až do dnešních dnů byla čerpaná podzemní voda vhodná k pitným účelům vždy bez úpravy, i když v posledních letech lze sledovat určitý vzrůst koncentrací některých složek, jako je například vápník, dusičnany nebo chloridy.

Obsah dusičnanů byl od roku 1969 do roku 1999 11,3 - 16,41 mg/l, i když např. v roce 1978 byly už 26,5 mg/l. Od roku 2002 do roku 2022 byl obsah dusičnanů 12-34,4 mg/l, průměrně 23,98 mg/l).

Obsah chloridů se od roku 1969 do roku 1999 pohyboval od 11,9 mg/l do 27,19 mg/l, zvýšila se i celková mineralizace. Od roku 2002 do roku 2022 byl obsah chloridů 16,80-56,80 mg/l, průměrně 37,18 mg/l). Tyto hodnoty kolísají v závislosti na vlhkosti období a množství hnojení či posypů. Vezmeme-li v úvahu, že je využíván už přes 50 let, jsou tato mírná zvýšení zanedbatelná, exploatovaná podzemní voda plně vyhovuje vyhlášce pro pitnou vodu i ve všech ostatních parametrech.

Čerpaná podzemní voda je tedy vápenato-hydrogenuhličitanového typu (Ca-HCO₃), slaběji mineralizovaná (300 mg/l) s nízkými obsahy železa, amonných iontů, chloridů, síranů i dusičnanů a bez známek znečištění organickými látkami.

Mírně zhoršené kvality je podzemní voda v nadložní zvodni kralické terasy, kde, jak uvádí Ormandy (1999), obsahy síranů a amonných iontů překračují limit pro pitnou vodu, což dává za vinu zemědělskému obhospodařování přilehlých pozemků. Obdobně hovoří i Homola (1987), který při posuzování vodního zdroje MILO Olomouc zjistil v kralické zvodni kolísavě zvýšené obsahy chloridů, síranů, dusičnanů a někdy i amonných iontů a přičítá to také používání přírodních i umělých hnojiv při intenzivním obhospodařování polností.

Výraznější změna nastala v obsahu dusičnanů, v roce 1969 byl zjištěn obsah 11,3 mg/l, v roce 1978 byl zjištěn obsah 26,5 mg/l v letech 2002–2022 12,0 – 38,40 mg/l. Dalším zvyšujícím se aniontem jsou chloridy. V roce 1969 byl obsah chloridů 11,9 mg/l, v letech 2002–2022 pak 16,80–56,80 mg/l.

Navýšení obsahů dusičnanů i chloridů je dáno nárůstem chemizace prostředí – aplikací dusíkatých hnojiv a zimní údržbou silnic. I když nárůst je dvojnásobný, podzemní voda stále splňuje požadavky na pitnou vodu. Tyto skutečnosti svědčí o izolační funkci svrchních vrstev, které brání významnějšímu průniku kontaminantů do vodárensky exploatované zvodně.

A.13 Závěr

1) POSOUZENÍ UDRŽITELNOSTI SOUČASNÝCH ODBĚRŮ PODZEMNÍ VODY

Ve zvodni je detekováno i při dlouhodobém průměrném odběru 21,367 l/s (ze všech objektů) poměrně zakleslá hladina podzemní vody v jižní části modelu. Například potoky v jižní části modelu nebyly do modelu zavedeny (jako drény), protože byly vysoko nad předpokládanou (modelovanou) hladinou podzemní vody.

Jako **1. varianta** byl simulován reálný odběr podzemní vody ze stávajících vodních zdrojů – OLMA, ADM Olomouc + menší odběry ze zdrojů STAVES, STRABAG. Reálný dlouhodobý odběr je v průměru 21,367 l/s, přičemž modelem protéká 73,35 l/s, z toho je cca 52 l/s jako zdroj z infiltrovaných srážek a 19,70 l/s z řeky Bystřice. Poměrně zanedbatelný přítok 1,25 l/s přitéká od východu. Při současném reálném průměrném odběru podzemní vody z vodních zdrojů pokrývají tyto odběry přírodní zásoby, přičemž na dotaci vody do jímacího území OLMA se podílí přítok podzemní vody směrem ze severu od řeky Bystřice. Horninové prostředí a s tím spojený hydrogeologický kolektor je v zájmovém území nehomogenní, stávající vodní zdroje H1 až H3 jsou situovány do velké deprese z geologického pohledu a jsou blíže Bystřici, která se výrazněji podílí na dotaci podzemní vody k těmto zdrojům.

Jako **2. varianta** byly na kalibrovaném stavu modelu simulovány maximální odběry dle vodoprávních povolení. Jelikož modelujeme ustálený stav proudění podzemní vody, zadáváme do jednotlivých čerpaných objektů povolené množství za rok, přepočítané na l/s. Krátkodobé povolené maximální odběry nejsou pro modelování vhodné. Celkový maximální odběr je 40,20 l/s, přičemž modelem protéká 83,89 l/s, z toho je cca 52 l/s jako zdroj z infiltrovaných srážek a poměrně zanedbatelný přítok 1,25 l/s přitéká od východu. To je stejný stav jako při variantě 1. Rozdíl je, že při zvýšení čerpaného množství zejména v oblasti zdrojů H1 až H3 dojde ke zvýšení přítoku podzemní vody ze severní části od řeky Bystřice, a to o téměř 11 l/s. Zjednodušeně lze říct, že čím více vody je odebíráno z prostoru deprese v místě vrtů H1 až H3, tím více vody se „natahuje“ ze severní strany od řeky Bystřice. Jak již bylo popsáno výše, zájmové území je z geologického a hydrogeologického hlediska nehomogenní, vrty H1 až H3 jsou situovány do deprese vyplněné propustnými štěrky a jejich vydatnost je poměrně vyšší než u ostatních zdrojů. Při simulaci maximálních odběrů ovšem dochází k vysychání jihovýchodní části modelu a je zřejmé, že odběr je již příliš vysoký, model hůře konverguje.

Jako **3. varianta** byla provedena simulace vypnutí veškerých odběrů podzemní vody. Modelem protéká celkem 61,484 l/s, z toho zdroj z infiltrovaných srážek v ploše modelu je 52,387 l/s, přes severní hranici (z Bystřice) přitéká celkem 7,880 l/s, přes východní hranici přitéká 1,217 l/s.

Jako **4. varianta** byl simulován odběr podzemní vody z potencionálních náhradních objektů. Tyto potencionální náhradní objekty byly vybudovány v rámci průzkumných prací v roce 2016 a 2020. Bylo vybráno 7 objektů: HV-OL1, HV-OL2, HV-OL3, HV-OL6, HVO-L7, HVO-L8A, HV-OL9. Simulace proběhla na stávajícím stavu (původní čerpaná množství z objektů mimo H1 až H3) a taktéž na maximálním stavu (maximální povolená množství z objektů mimo H1 až H3).

Čerpané množství z náhradních zdrojů bylo voleno jako „využitelné množství vody vypočtené na základě průzkumných prací“.

2) POSOUZENÍ MOŽNOSTI NÁHRADNÍCH ZDROJŮ

Simulace stávajícího stavu ve třech variantách:

- V případě, že by byly jako náhradní zdroje čerpány pouze vrty HV-OL1, HV-OL2 a HV-OL3, bylo modelem ověřeno využitelné množství 12,75 l/s oproti vrtům H1, H2, H3, kde je vydatnost 19,84 l/s.
- V případě, že by byly jako náhradní zdroje čerpány pouze vrty HV-OL6, HV-OL7, HV-OL8A a HV-OL9, bylo modelem ověřeno využitelné množství 9,0 l/s.
- V případě čerpání ze všech 7 potencionálně náhradních zdrojů bylo nutné snížit čerpané množství z vrtů HV-OL1 až HV-OL3, jelikož již docházelo ke špatné konvergenci řešení vlivem vysychání jižních oblastí. Využitelný odběr z těchto 7 zdrojů by byl 18,0 l/s.

Z těchto tří simulací je zjevné, že záložní vrty (jejich umístění a parametry zvodně) nejsou tak vydatné jako původní vrty H1 až H3, které jsou situovány do výraznější deprese v podloží a jsou blíže k řece Bystřici, nicméně jako záložní vrty mohou mít uplatnění, ale je nutné počítat s nižším odběrem vody, pokud bude dlouhodobě čerpáno ze všech sedmi vrtů.

3) POSOUZENÍ MAXIMÁLNÍ MNOŽSTVÍ ČERPANÉ PODZEMNÍ VODY DLE VODOPRÁVNÍCH POVOLENÍ VE VZTAHU K PŘÍRODNÍM ZÁSOBÁM

Simulace na maximálním stavu (povolených odběrů) ve třech variantách:

- V případě, že by byly jako náhradní zdroje čerpány pouze vrty HV-OL1, HV-OL2 a HV-OL3, bylo modelem ověřeno využitelné množství 12,75 l/s oproti vrtům H1, H2, H3, kde je odběr 24,90 l/s.
- V případě, že by byly jako náhradní zdroje čerpány pouze vrty HV-OL6, HV-OL7, HV-OL8A a HV-OL9, bylo modelem ověřeno využitelné množství 9,0 l/s oproti vrtům H1, H2, H3, kde je odběr 21,15 l/s.
- V případě čerpání ze všech 7 potencionálně náhradních zdrojů bylo nutné volit čerpané množství tak, aby modelové řešení konvergovalo. Využitelný odběr z těchto 7 zdrojů by byl 14,0 l/s.

Při této variantě, kdy je odebíráno ze sedmi náhradních zdrojů 14 l/s, je již patrna zhoršená konvergence modelu a vysychání jižních i východních oblastí. Pro námi nastavený (kalibrováný) model jde o navrhované maximální dlouhodobé odběry z náhradních zdrojů.

Maximální povolený odběr (dlouhodobý) 40,207 l/s u všech stávajících vodárensky využívaných objektů již vykazuje velký úbytek vody. Model je na hranici, kdy ještě konverguje.

Náhradní zdroje (za H1 až H3) vykazují nižší vydatnost než zdroje původní, které jsou umístěny v depresi podloží a blíže k Bystřici. Maximální dlouhodobý odběr ze všech objektů včetně náhradních (mimo H1 až H3) je 26,147 l/s.

Pokud by bylo zvoleno infiltrované množství srážek na dolní nebo horní hranici, měl by celý model k dispozici mínus nebo plus 11,5 l/s, přičemž větší část srážek, které infiltrují v ploše modelu, odtéká do Moravy (viz směry proudění).

Sestavený model udává dobrou představu o možném proudění podzemní vody v dané struktuře včetně směrů proudění, přičemž v kapitole A.13 je uveden soubor činností vedoucí k zpřesnění výsledků modelu.

SHRNUTÍ ZÁVĚRŮ

Reálný dlouhodobý odběr je v průměru 21,367 l/s, přičemž při současném reálném průměrném odběru podzemní vody z vodních zdrojů pokrývají tyto odběry přírodní zásoby, přičemž na dotaci vody do jímacího území OLMA se podílí přítok podzemní vody směrem ze severu od řeky Bystřice. Horninové prostředí a s tím spojený hydrogeologický kolektor je v zájmovém území nehomogenní, stávající vodní zdroje H1 až H3 jsou situovány do velké deprese z geologického pohledu a jsou blíže Bystřici, která se výrazněji podílí na dotaci podzemní vody k těmto zdrojům.

Při teoretickém odběru podzemní vody v maximálním množství dle vodoprávního povolení lze zjednodušeně říct, že při simulaci maximálních odběrů ovšem dochází k vysychání jihovýchodní části modelu a je zřejmé, že odběr je již příliš vysoký a nepokryje přírodní zásoby.

V případě využití náhradních zdrojů vody – průzkumné vrty HV-OL1, HV-OL2, HV-OL3, HV-OL6, HV-OL7, HV-OL8A a HV-OL9 je dle modelové simulace zjevné, že nové záložní vrty nejsou tak vydatné jako vrty H1 až H3, které jsou situovány do výraznější deprese v podloží a jsou blíže k řece Bystřici. Je možné je využít jako záložní vrty, ale je nutné počítat s nižším odběrem vody než je možné odebírat z vrtů H1 až H3.

Od počátku zahájení exploatace mindelské zvodně v okolí lokality Hamerský mlýn v 70. letech až do dnešních dnů byla čerpaná podzemní voda vhodná k pitným účelům vždy bez úpravy, i když v posledních letech lze sledovat určitý vzrůst koncentrací některých složek, jako je například vápník, dusičnany nebo chloridy. Navýšení obsahů dusičnanů i chloridů je dáno nárůstem chemizace prostředí – aplikací dusíkatých hnojiv a zimní údržbou silnic. I když nárůst je dvojnásobný, podzemní voda stále splňuje požadavky na pitnou vodu. Tyto skutečnosti svědčí o izolační funkci svrchních vrstev, které brání významnějšímu průniku kontaminantů do vodárensky exploatované zvodně.

Co se týče stavby samotné plánované komunikace I/46 Olomouc – východní tangenta, domníváme se, že z hydrogeologického hlediska lze záměr uskutečnit v případě stanovení takového technologického postupu stavby, aby byl eliminován vsak vody vzniklé na vozovce. Lze konstatovat, že provoz na stávající komunikaci vedoucí po ulici Hamerská je v současné době velmi výrazný a negativní vliv na chemismus podzemních vod nebyl zaznamenán, i v souvislosti s výše uvedenou zvýšenou chemizací prostředí.

Zpracované modelové řešení vycházelo z dostupných dat ze stávajících hydrogeologických objektů. Za účelem zpřesnění hydraulického modelu by bylo vhodné zahustit síť vrtů v širší oblasti a zaměřit se také na úsek řeky Bystřice. Blíže viz kapitola A.14.

A.14 Informace k možnému dalšímu postupu

Za účelem zpřesnění hydraulického modelu by bylo vhodné zahustit síť vrtů (cca 3 vrty) v širší oblasti, například blíže k D35, Holicím, dále vybudovat cca dva vrty v blízkosti Bystřice, severně od jímacího území, kvůli zjištění hydraulické spojitosti s řekou. Vrty by měly být realizovány jako hydraulicky úplné, tj. do předkvartérního podloží. Na těchto vrtech, spolu se stávajícími objekty, by bylo vhodné realizovat režimní měření pohybu hladiny podzemní vody alespoň po dobu 1 hydrologického roku. Rovněž by bylo vhodné mít data o pohybu hladiny podzemní vody ze zdrojů jímacího území OLMA a.s.

Důležitým parametrem je i řeka Bystřice, kde by bylo vhodné zaměřit úsek Bystřice – úroveň dna koryta a úroveň povrchové vody včetně jezů. Současně s monitoringem pohybu hladiny na vrtech by bylo provedeno i měření hladiny povrchové vody v Bystřici a hydrometrování Hamerského náhonu kvůli zjištění případného úniku vody.

Orientační náklady za přípravné, průzkumné, monitorovací a vyhodnocovací práce odhadujeme na cca 1,5-2,0 mil. Kč.

V Brně 31. 10. 2025

Za GEOtest a.s.

Ing. Marcela Valešová

Mgr. Radim Musil

Tabulky

1. Dodané údaje o vrtech pro vytvoření geometrie pro model a map hydroizohyps
2. Údaje o vrtech z širšího okolí, odečtené na webu ČGS

Grafy:

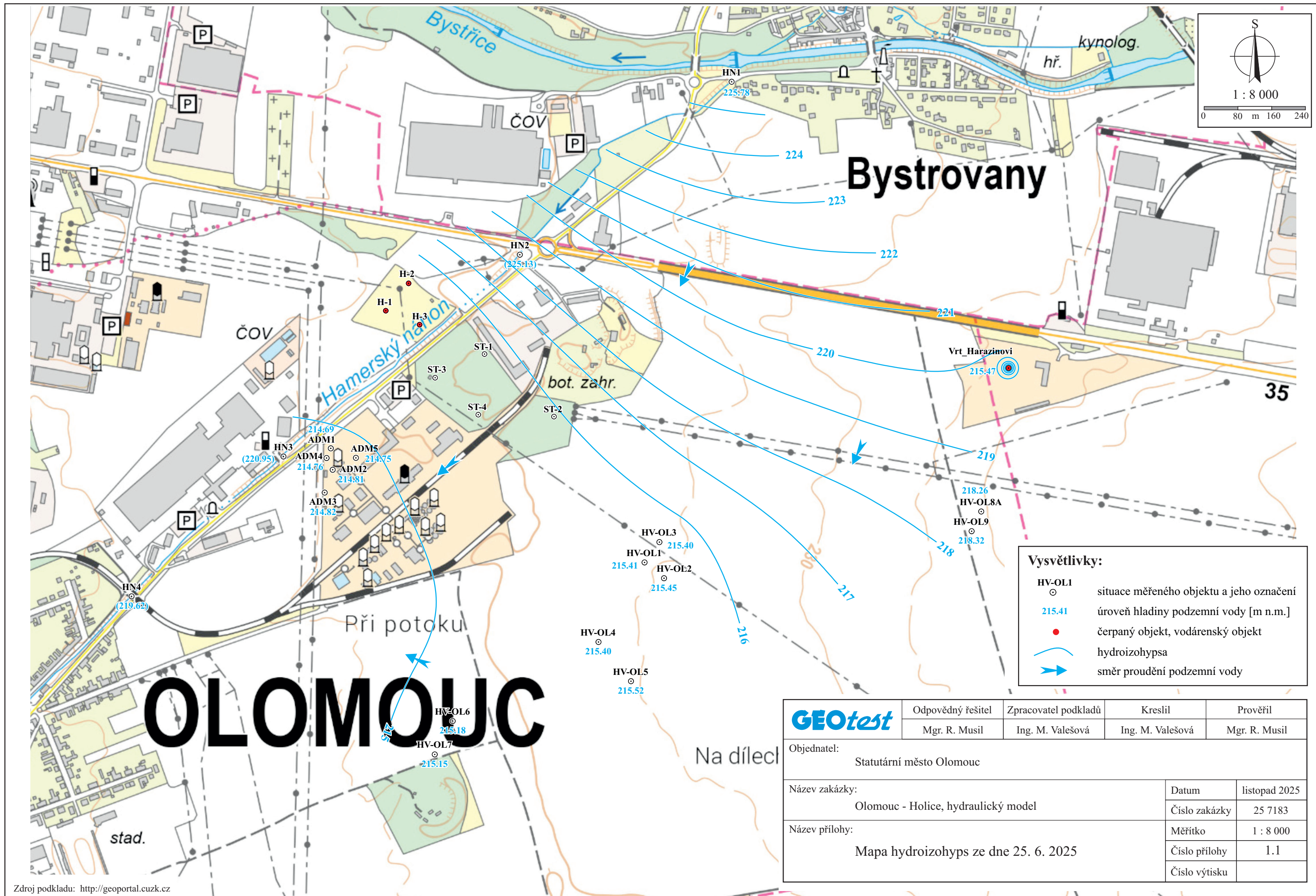
1. Graf porovnání modelovaných a měřených hladin (v příloze 5)

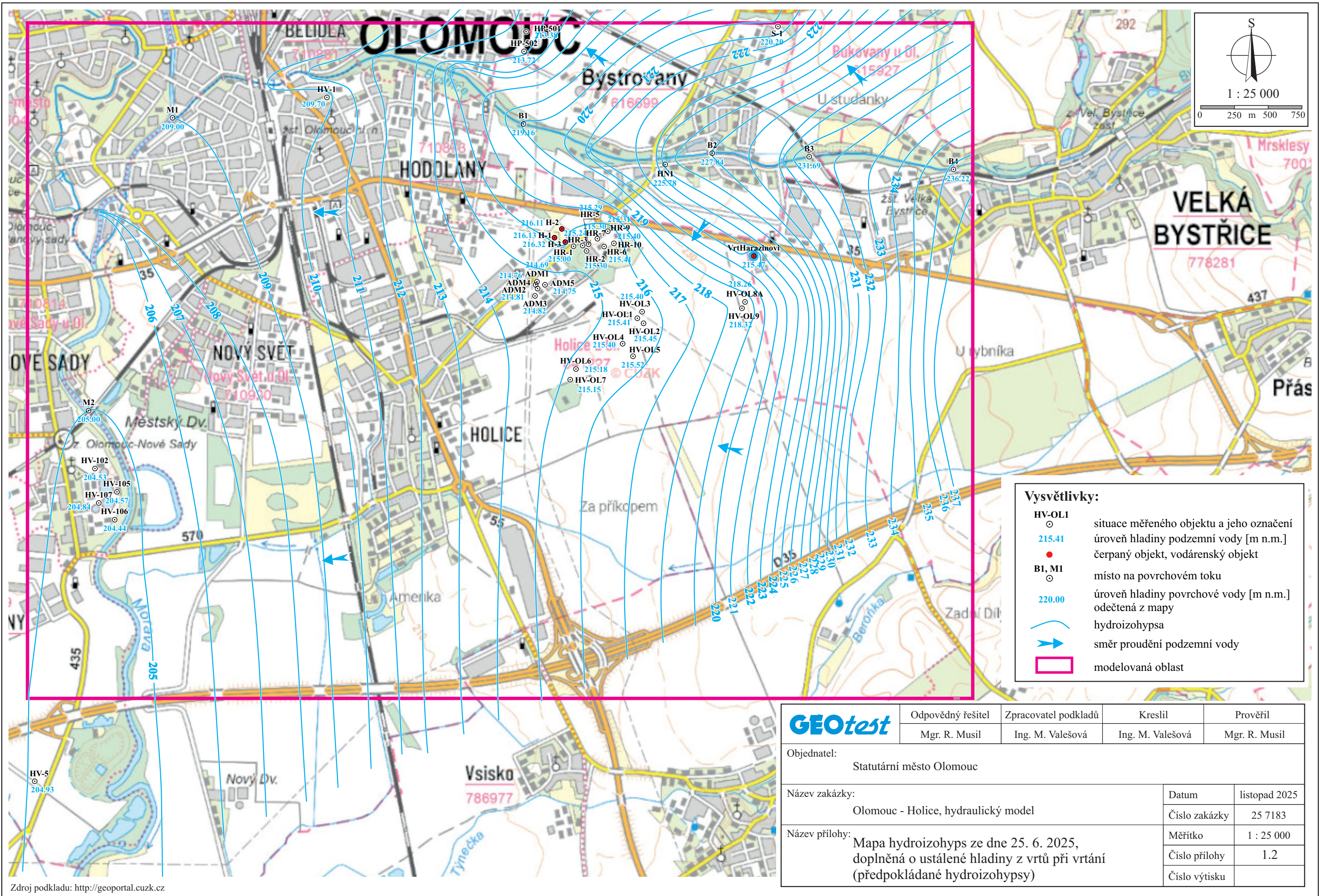
Přílohy:

1. Mapy hydroizohyps včetně situace hydrogeologických objektů, 1: 25 000, 1 :8 000
2. Mapa izolinií nepropustného podloží kvartérní zvodně, 1: 25 000
3. Mapa izolinií stropu kvartérní zvodně, 1: 25 000
4. Síť modelu, okrajové podmínky
5. Mapy modelovaných hydroizohyps včetně vykreslení trajektorií

Seznam podkladů, literatury:

- (1) Kazda, I.: Proudění podzemní vody. MS (1983).
- (2) Krásný J., Kněžek M. (1982): Odtok podzemní vody na území ČSSR. Čs. HMÚ Praha.
- (3) Visual MODFLOW Pro User's Manual.
- (4) Kučera M.: Olomouc – HOLICE, OPV, GEOtest a.s., 1982
- (5) Krčmářová J.: Olomouc – ČOV – hg průzkum, GEOtest a.s., 1990
- (6) Průša J.: Olomouc – Bystrovany, SA, GEOtest a.s., 1991
- (7) Čáslavský M.: Olomouc – Bystrovany, SA, doplňkový průzkum, GEOtest a.s., 1992
- (8) Čáslavský M.: Olomouc – Bystrovany – MO, HG průzkum, GEOtest a.s., 2008
- (9) Musil R., Burda P.: I/46 Olomouc – Hamerský Mlýn, revize OPVZ OLMA, GEOtest a.s., 2017
- (10) Musil R.: Olomouc – záložní zdroje, hg studie, GEOtest, a.s., 2023

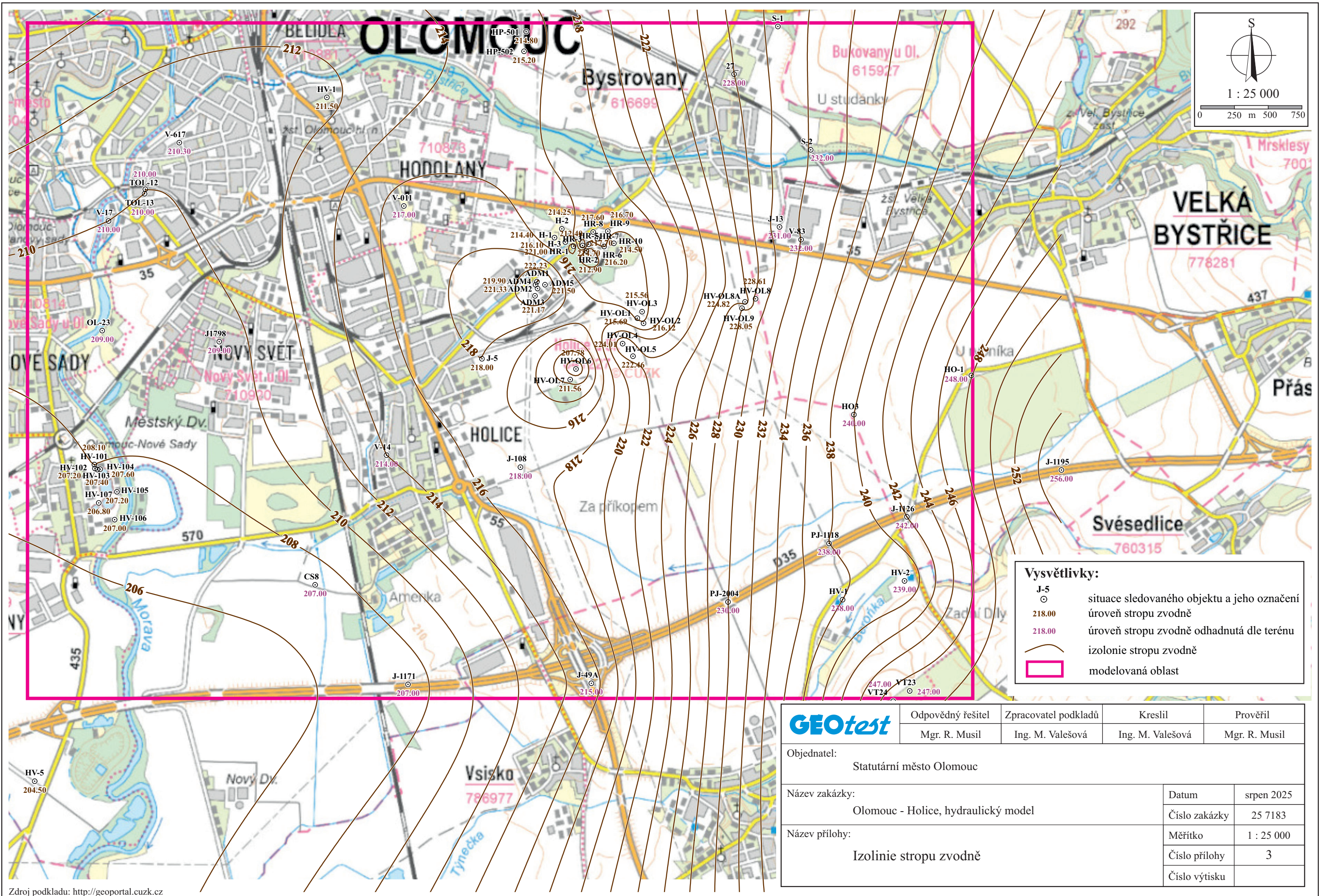




Vysvětlivky:

HV-OL1	○	situace měřeného objektu a jeho označení
215.41	○	úroveň hladiny podzemní vody [m n.m.]
●		čerpaný objekt, vodárenský objekt
B1, M1	○	místo na povrchovém toku
220.00	○	úroveň hladiny povrchové vody [m n.m.] odečtená z mapy
—		hydroizohypsa
→		směr proudění podzemní vody
□		modelovaná oblast

GEOtest	Odpovědný řešitel	Zpracovatel podkladů	Kreslil	Prověřil
	Mgr. R. Musil	Ing. M. Valešová	Ing. M. Valešová	Mgr. R. Musil
Objednatel: Statutární město Olomouc				
Název zakázky: Olomouc - Holice, hydraulický model			Datum	listopad 2025
			Číslo zakázky	25 7183
Název přílohy: Mapa hydroizohyps ze dne 25. 6. 2025, doplněná o ustálené hladiny z vrtů při vrtání (předpokládané hydroizohypsy)			Měřítko	1 : 25 000
			Číslo přílohy	1.2
			Číslo výtisku	








Vysvětlivky:

J-5	○	situace sledovaného objektu a jeho označení
218.00		úroveň stropu zvodně
218.00		úroveň stropu zvodně odhadnutá dle terénu
	—	izolonie stropu zvodně
	□	modelovaná oblast








GEOtest	Odpovědný řešitel	Zpracovatel podkladů	Kreslil	Prověřil
	Mgr. R. Musil	Ing. M. Valešová	Ing. M. Valešová	Mgr. R. Musil
Objednatel: Statutární město Olomouc				
Název zakázky: Olomouc - Holice, hydraulický model			Datum	srpen 2025
Název přílohy: Izolinie stropu zvodně			Číslo zakázky	25 7183
			Měřítko	1 : 25 000
			Číslo přílohy	3
			Číslo výtisku	


Vysvětlivky:

-  blok bez proudění
-  blok s okrajovou podmínkou 1. typu konstantní hladina
-  modelovaný pozorovací, hydrogeologický objekt
-  modelovaný čerpaný (infiltrační) objekt

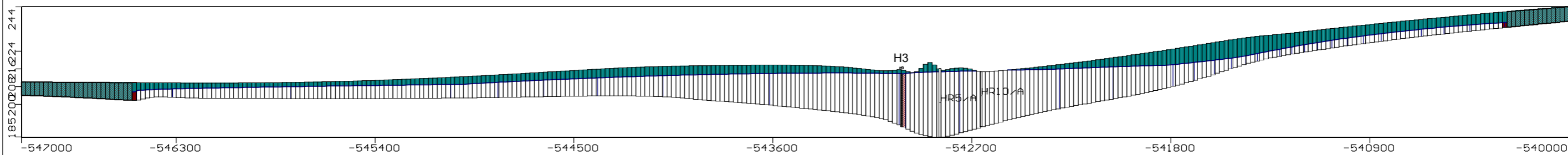
	Vedoucí týmu	Zpracovatel podkladů	Kreslil	Prověřil
	Mgr. R. Musil	Ing. M. Valešová	Ing. M. Valešová	Mgr. R. Musil
Objednatel: Statutární město Olomouc				
Název zakázky: Olomouc - Holice, hydraulický model			Datum	listopad 2025
			Číslo zakázky	25 7183
Název přílohy: Síť modelu s vyznačením okrajových podmínek			Měřítko	viz. mapa
			Číslo přílohy	4
			Číslo výtisku	

Vysvětlivky:

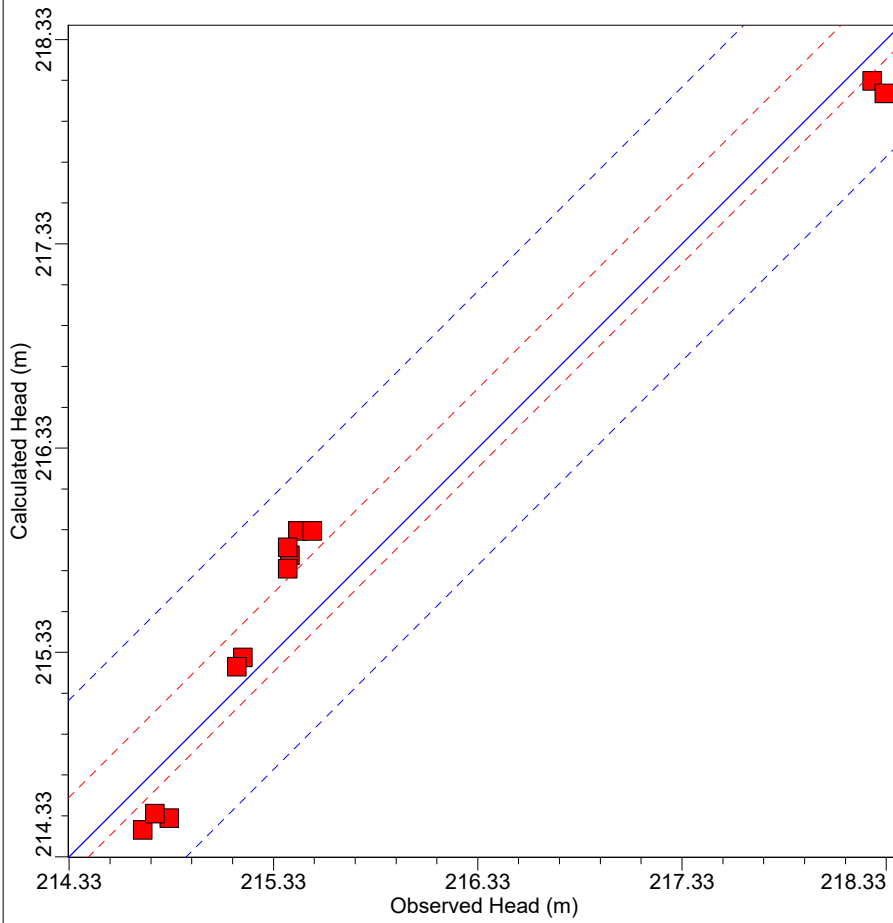
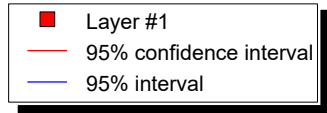
-  blok bez proudění
-  blok s okrajovou podmínkou 1. typu konstantní hladina
-  modelovaný pozorovací, hydrogeologický objekt
-  modelovaný čerpaný (infiltrační) objekt
-  modelovaná hydroizohypsa
-  modelovaná trajektorie částice podzemní vody (šipky po 365 dnech)
-  suché místo

	Vedoucí týmu	Zpracovatel podkladů	Kreslil	Prověřil
	Mgr. R. Musil	Ing. M. Valešová	Ing. M. Valešová	Mgr. R. Musil
Objednatel:	Statutární město Olomouc			
Název zakázky: Olomouc - Holice, hydraulický model	Datum	listopad 2025		
	Číslo zakázky	25 7183		
Název přílohy: Mapy modelovaných hydroizohyps včetně vykreslení řezů modelem	Měřítko	viz. mapa		
	Číslo přílohy	5		
	Číslo výtisku			

řez modelem (vrt H3) - kalibrovaný stávající stav



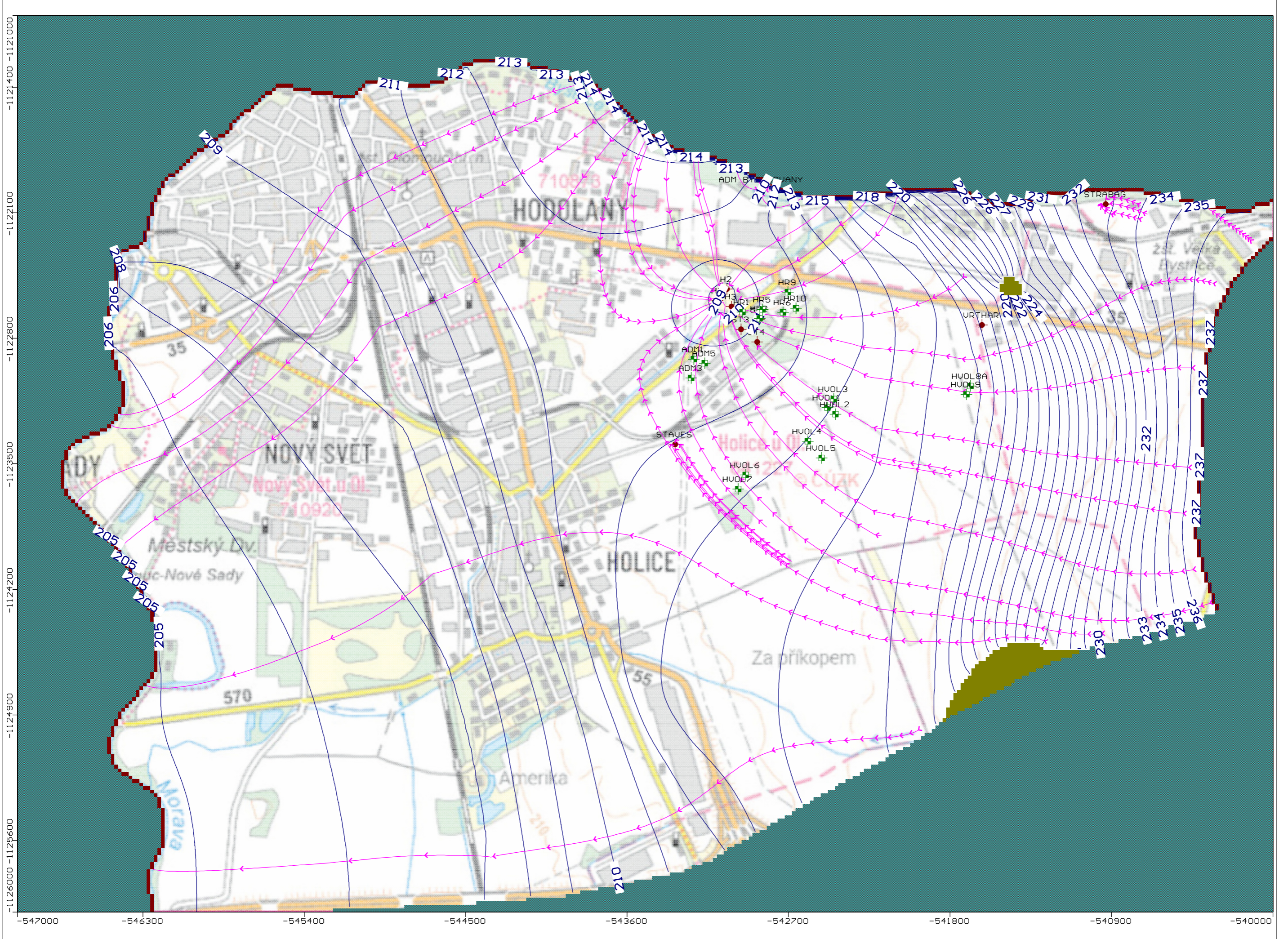
Calculated vs. Observed Head : Steady state



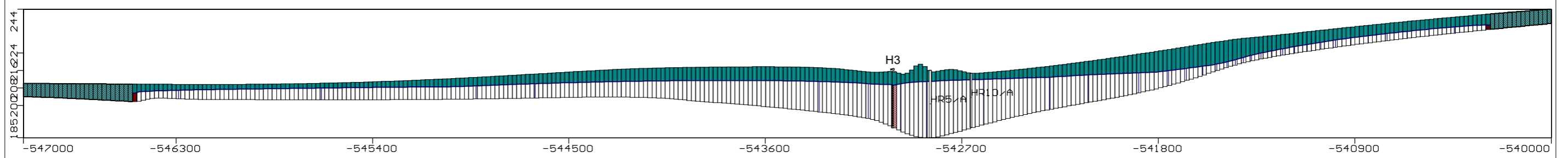
Max. Residual: 0.475 (m) at HVOL2/A
Min. Residual: 0.11 (m) at HVOL7/A
Residual Mean : 0.097 (m)
Abs. Residual Mean : 0.285 (m)

Num. of Data Points : 12
Standard Error of the Estimate : 0.089 (m)
Root Mean Squared : 0.31 (m)
Normalized RMS : 8.546 (%)
Correlation Coefficient : 0.969

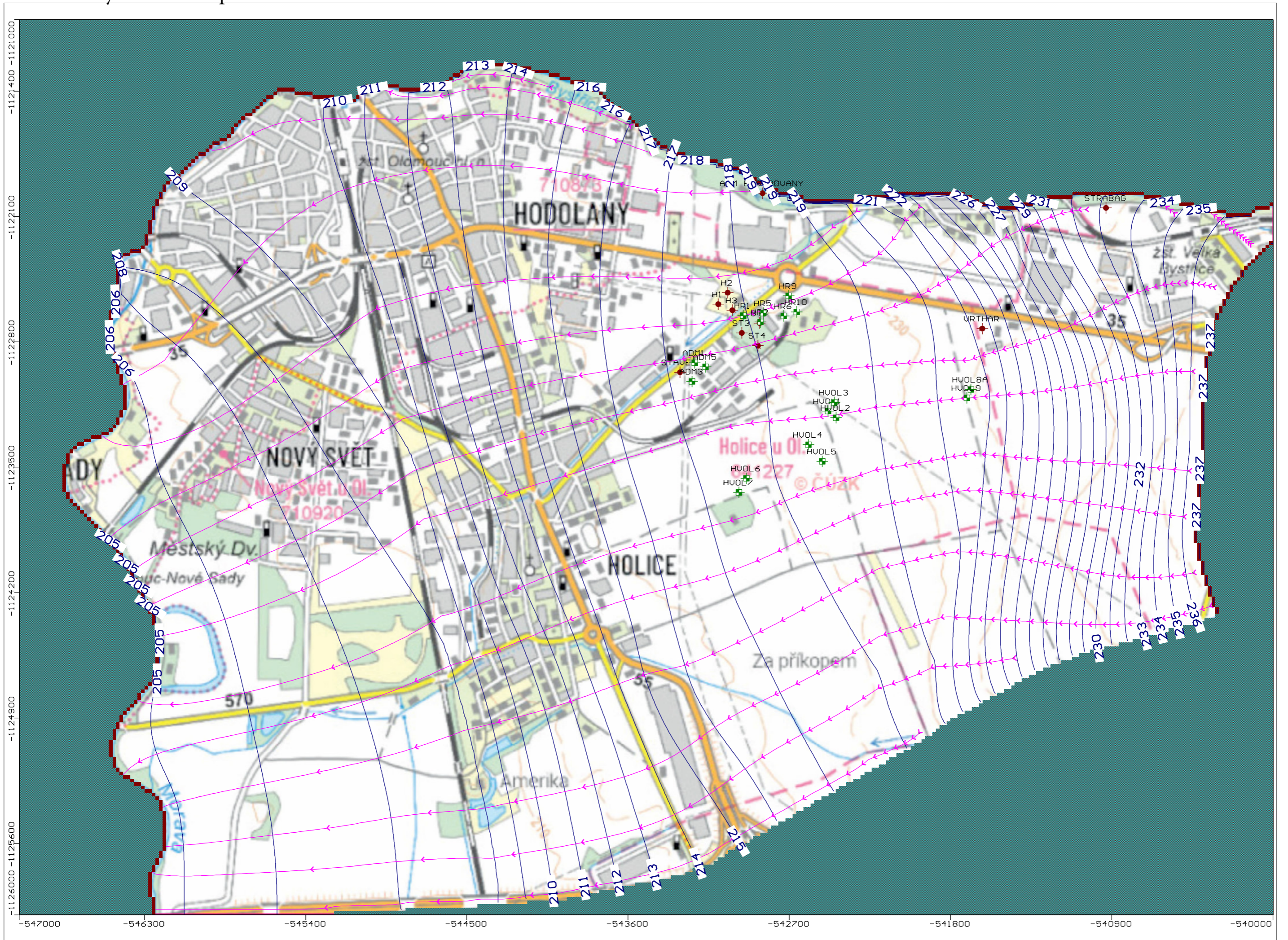
simulovaný stav - maximální povolený odběr 40,207 l/s



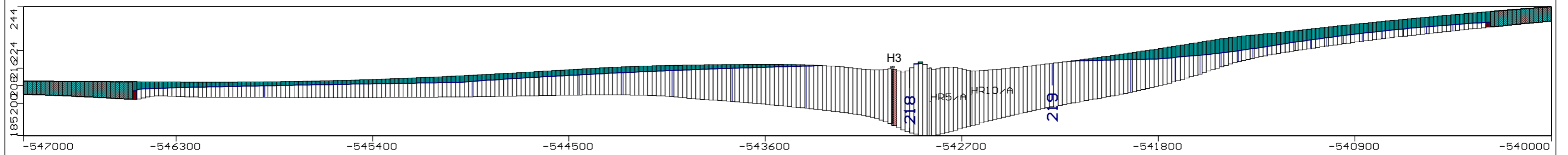
řez modelem (vrt H3) - maximální povolený odběr



simulovaný stav bez čerpání

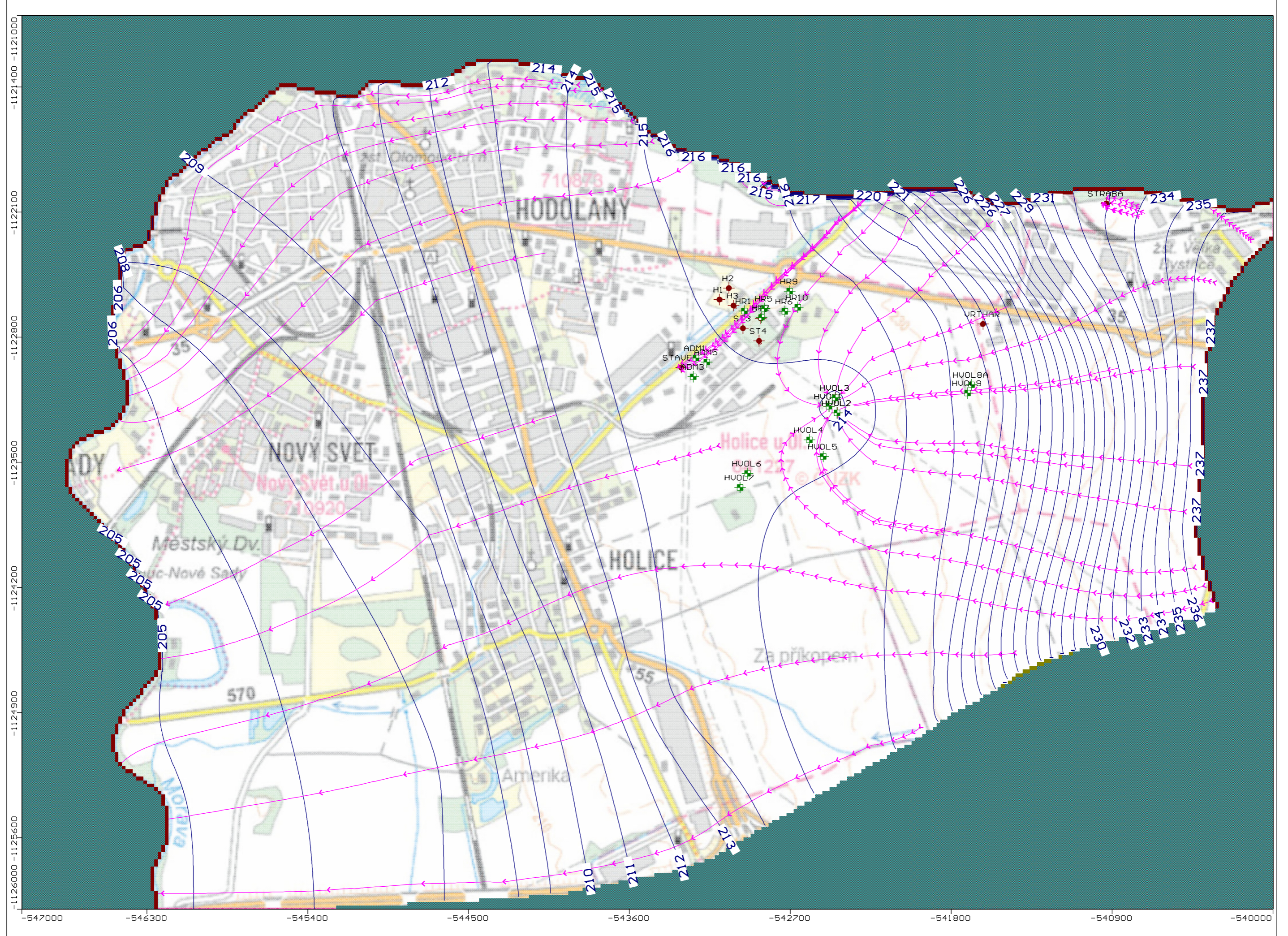


řez modelem (vrt H3) - přirozený stav bez čerpání

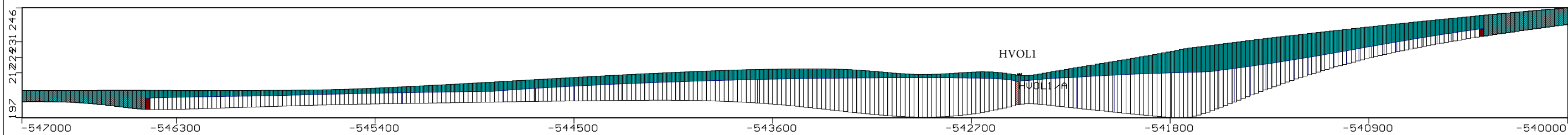


Náhradní zdroje za H1, H2, H3

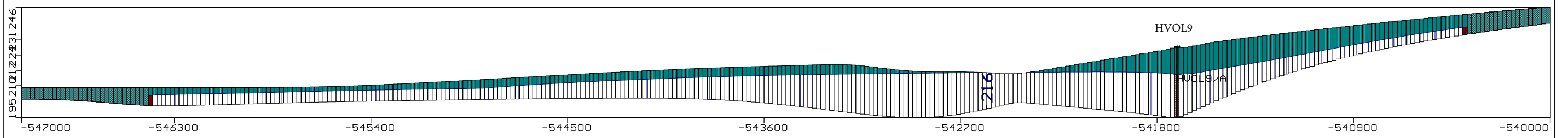
náhradní zdroje HVOL1 až HVOL3 - simulace na skutečném stavu - odběr celkem 19,843 l/s



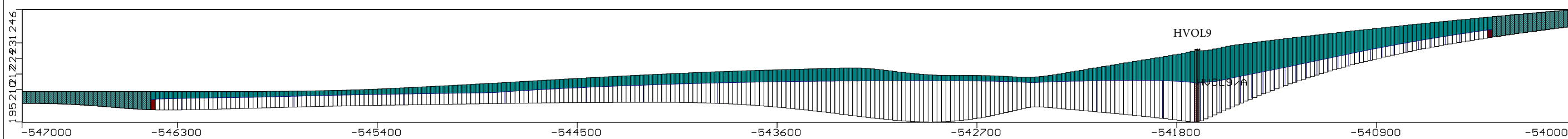
řez modelem (vrt HVOL1) - simulace na skutečném stavu - náhradní zdroje HVOL1 až HVOL3



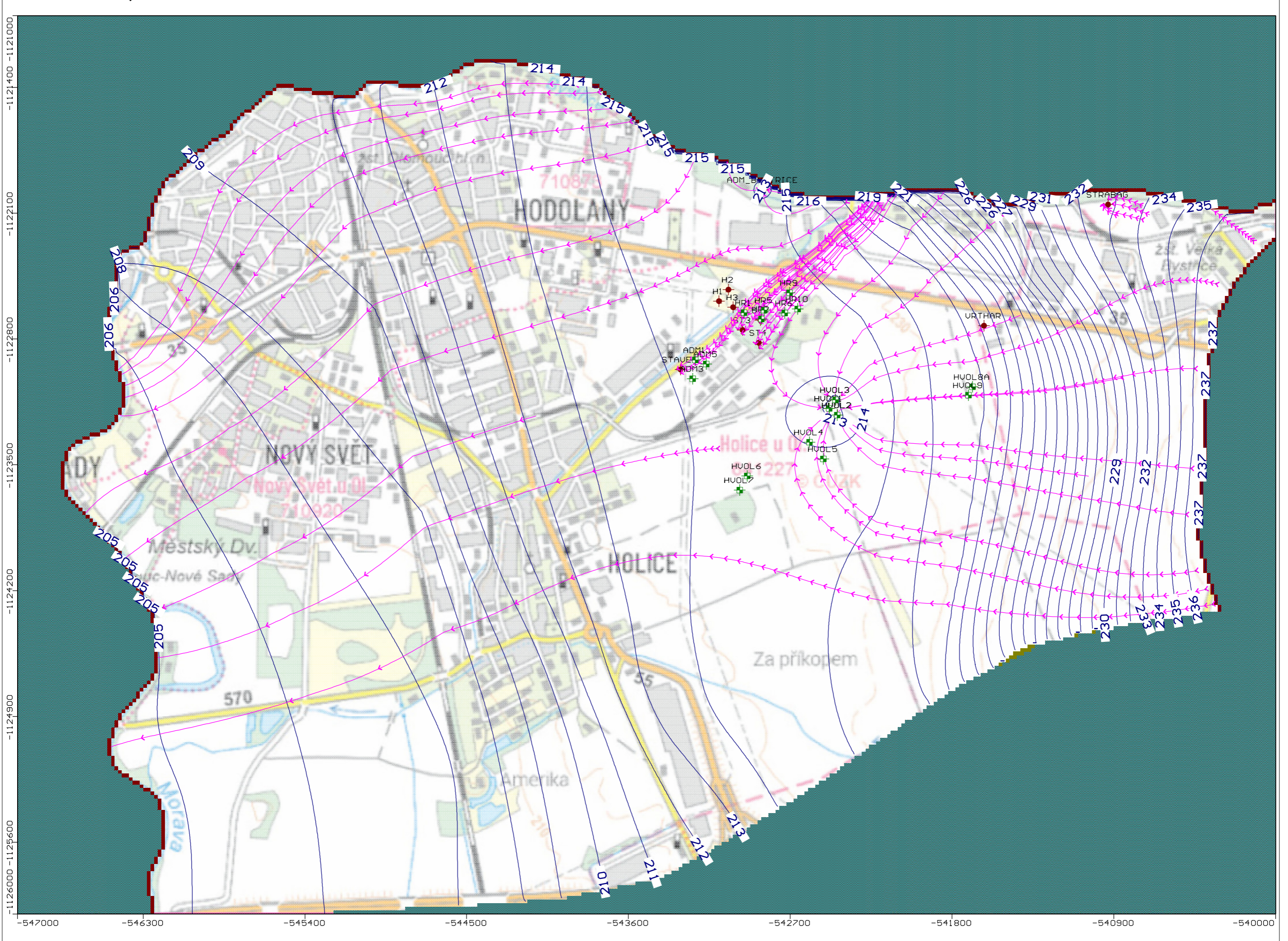
řez modelem (vrt HVOL9) - simulace na skutečném stavu - náhradní zdroje HVOL6 až HVOL9



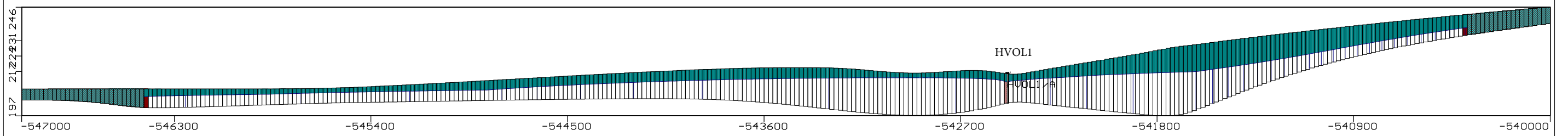
řez modelem (vrt HVOL9)- simulace na skutečném stavu - náhradní zdroje HVOL1 až HVOL3, HVOL6 až HVOL9



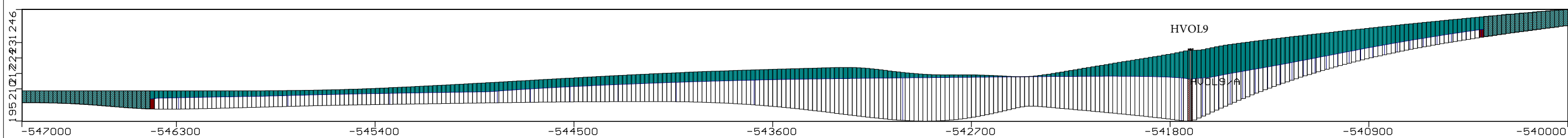
náhradní zdroje HVOL1 až HVOL3 - simulace na maximálním stavu - odběr celkem 24,897 l/s



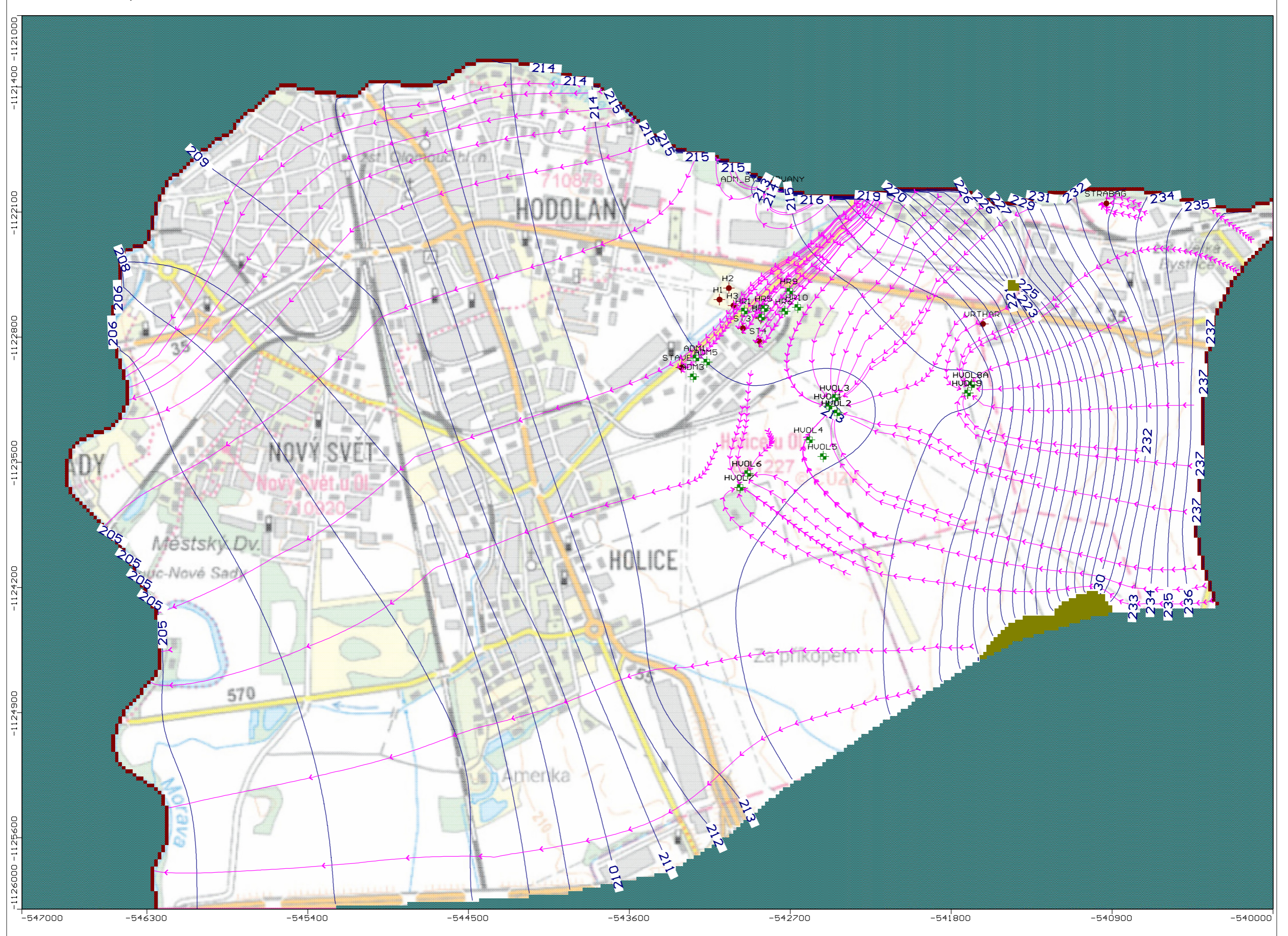
řez modelem (vrt HVOL1) - simulace na maximálním stavu - náhradní zdroje HVOL1 až HVOL3



řez modelem (vrt HVOL9) - simulace na maximálním stavu - náhradní zdroje HVOL6 až HVOL9



náhradní zdroje HVOL1, HVOL2, HVOL3, HVOL6, HVOL7, HVOL8A, HVOL9 - simulace na maximálním stavu - odběr celkem 26,147 l/s



řez modelem (vrt HVOL9)- simulace na maximálním stavu - náhradní zdroje HVOL1 až HVOL3, HVOL6 až HVOL9

