

Přírodovědecká fakulta
Univerzity Karlovy
Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užití geofyziky
Albertov 6, Praha 2, 128 43



Matematický model regionálního proudění podzemní vody v oblasti melechovského masivu

Diplomová práce

Tereza Dupalová

Vedoucí diplomové práce: Doc. RNDr. Jiří Mls, CSc.

Praha, květen 2006

Zadání diplomové práce

Pro: slečnu Terezu Dupalovou

Obor: aplikovaná geologie

Název tématu: Matematický model regionálního proudění podzemní vody v oblasti Melechovského masivu

Vedoucí diplomové práce: Doc. RNDr. Jiří Mls

Pokyny pro vypracování:

Pomocí počítačového programu FEFLOW sestavte stacionární model regionálního proudění podzemní vody v uvedené lokalitě. Použijte průměrné hodnoty z dlouhodobých datových řad. Určete rozložení hydraulických výšek v jednotlivých vrstvách a směry a velikosti vektoru objemové hustoty toku. Výsledky znázorněte graficky. Uveďte diskusi výsledků a formulujte závěry.

Podklady: Závěrečná zpráva projektu PADAMOT, archivní data ČGS, SÚRAO, Geofond, ČHMÚ

Datum zadání diplomové práce: květen 2005

Termín odevzdání diplomové práce: 5.5.2006

V Praze dne *21. 5. 2005*

.....
Dupalová
.....
diplomant

.....
J. Mls
.....
vedoucí diplomové práce

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: *Matematický model regionálního proudění podzemní vody v oblasti melechovského masivu* vypracovala samostatně a použila jen pramenů, které cituji a uvádím v příložené bibliografii.

V Praze, dne 3.5.2006

Tereza Dupalová

PODĚKOVÁNÍ

V úvodu své diplomové práce bych ráda poděkovala Doc. RNDr. J. Mlsovi, CSc. za všestrannou pomoc a rady, které mi poskytl v průběhu zpracování mé diplomové práce.

OBSAH

ABSTRAKT	3
ABSTRACT	4
1. Úvod	5
2. Metodika	7
3. Přírodní poměry	8
3.1 Morfologie.....	8
3.2 Klimatologie.....	9
3.3 Hydrografie a hydrologie	10
4. Geologické poměry	11
4.1 Geologický vývoj a charakteristika jednotek	11
4.2 Strukturní charakteristika	14
5. Hydrogeologie	15
5.1 Hydrogeologická charakteristika území.....	15
5.2 Hydraulické vlastnosti hornin.....	16
5.3 Režim podzemních vod.....	17
5.4 Typy podzemní vody	19
6. Koncepční model	19
6.1 Vymezení modelované oblasti	19
6.2 Popis modelových vrstev	21
6.3 Hydraulické vlastnosti	22
6.4 Srážky	24
6.5 Odpor vrstvy ve dně řek.....	24
7. Matematický model	25
7.1 Matematická formulace.....	25
7.2 Použitý software	26
7.3 Geometrie modelu	27
7.4 Topografie a vlastnosti slices	28
7.5 Okrajové podmínky a vstupní parametry	30
8. Kalibrace	32
9. Výsledky	34
10. Diskuse	36
11. Závěr	38
Literatura:	39

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA 1: TOPOGRAFICKÁ MAPA MODELOVANÉ OBLASTI	2
PŘÍLOHA 2: GEOLOGIE OBLASTI S VYZNAČENÝM GEOLOGICKÝM ŘEZEM	3
PŘÍLOHA 3: MAPA STRUKTURNÍCH PRVKŮ	4
PŘÍLOHA 4: DISTRIBUCE HYDRAULICKÝCH VÝŠEK	5
4.1 HYDRAULICKÉ VÝŠKY V PRVNÍ MODELOVÉ VRSTVĚ	5
4.2 HYDRAULICKÉ VÝŠKY VE DRUHÉ MODELOVÉ VRSTVĚ	6
4.3 HYDRAULICKÉ VÝŠKY VE TŘETÍ MODELOVÉ VRSTVĚ	7
4.4 HYDRAULICKÉ VÝŠKY VE ČTVRTÉ MODELOVÉ VRSTVĚ	8
4.5 HYDRAULICKÉ VÝŠKY V PÁTÉ MODELOVÉ VRSTVĚ	8
4.6 HYDRAULICKÉ VÝŠKY V ŠESTÉ MODELOVÉ VRSTVĚ	10
4.7 HYDRAULICKÉ VÝŠKY V SEDMÉ MODELOVÉ VRSTVĚ	11
PŘÍLOHA 5: SMĚRY A VELIKOSTI VEKTORU OBJEMOVÉ HUSTOTY TOK A HYDRAULICKÉ VÝŠKY	12
5.1 PRO PRVNÍ MODELOVOU VRSTVU	12
5.2 PRO DRUHOU MODELOVOU VRSTVU	13
5.3 PRO TŘETÍ MODELOVOU VRSTVU	14
5.4 PRO ČTVRTOU MODELOVOU VRSTVU	15
5.5 PRO PÁTOU MODELOVOU VRSTVU	16
5.6 PRO ŠESTOU MODELOVOU VRSTVU	17
5.7 PRO SEDMOU MODELOVOU VRSTVU	17
PŘÍLOHA 6: INFORMACE O POZOROVACÍCH OBJEKTECH POUŽITÝCH PŘI KALIBRACI	19
PŘÍLOHA 7: VÝSLEDKY JEDNOTLIVÝCH VARIANT	20
PŘÍLOHA 8: VELIKOSTI VEKTORU OBJEMOVÉ HUSTOTY TOKU – VARIANTA 10	23

ABSTRAKT

Úkolem diplomové práce bylo vytvořit matematický model regionálního proudění podzemní vody v oblasti melechovského masivu v hloubkách 1000 metrů pod terénem. Tento úkol byl řešen zde z toho důvodu, jelikož melechovský masiv byl vybrán Správou úložišť radioaktivních odpadů (SÚRAO) jako testovací lokalita. Na této lokalitě byly testovány různé metody, o kterých je uvažováno, že by mohly být použity při vyhledávání vhodné lokality pro úložiště vysoce radioaktivních odpadů. U těchto metod je podstatné, aby byly schopné ohodnotit vlastnosti horninového prostředí bez zásahu, který by dané prostředí porušil.

K modelování byl použit program FEFLOW firmy WASY.

Byl vytvořen sedmivrstevný stacionární model, který zahrnuje celou testovací lokalitu a přesahuje ji v míře nezbytně nutné ke spolehlivému stanovení okrajových podmínek úlohy. Model byl nastaven tak, aby se bilančně shodoval se známou skutečností a aby zahrnoval všechny známé hodnoty hydraulických parametrů. Zbývající parametry byly kalibrovány ve vztahu ke známým hydraulickým výškám.

ABSTRACT

The main aim of this thesis is to establish a mathematical model of groundwater flow in the Melechov massif. The investigated domain is 1000 meters deep. This objective was solved in at Melechov massif because it was selected by Radioactive Waste Repository Authority (RAWRA) as a test site. Various methods have been tested at this site to assess their fitness to identify a proper place for a repository of high radioactive waste. The ability to evaluate rock characteristics without corrupting the natural settings of geological environment is substantial for testing of these methods.

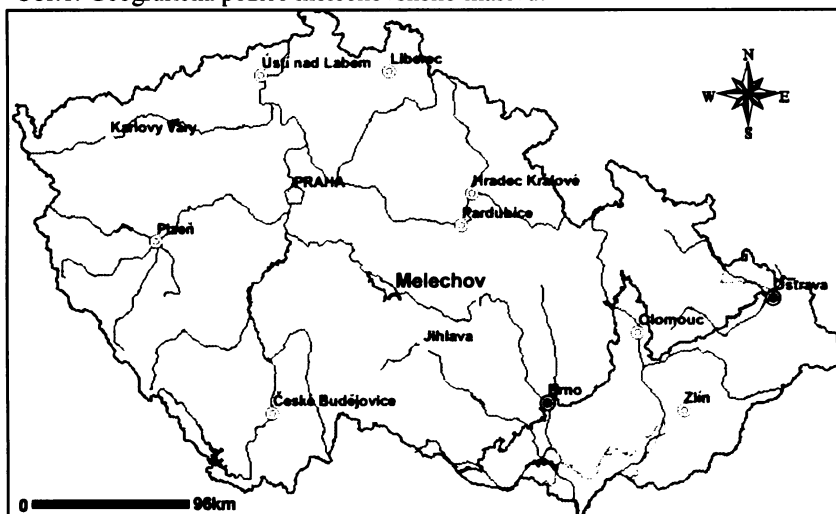
The numerical model was built and solved in FEFLOW, a groundwater flow modelling software developed by WASY.

A seven-layered stationary model has been developed. The model domain extends over the test site which is essentially necessary to determine the boundary conditions reliably. The model involves all known values of hydraulic parameters and it is set so that the groundwater increment agrees/accords with its real values in accord with known hydraulic parameters.

1.Úvod

Úkolem diplomové práce bylo vytvořit matematický model regionálního proudění podzemní vody v oblasti melechovského masivu.

Obr.1: Geografická pozice melechovského masivu.



Zdroj:<http://geoportal.cenia.cz/mapmaker/cenia/portal/> .

Měla jsem pomocí matematického modelu simulovat proudění podzemní vody až do hloubky jednoho kilometru. Dále jsem pomocí tohoto modelu měla určit hlavní oblasti infiltrace a drenáže.

Na této lokalitě byl model dělán z toho důvodu, že melechovský masiv byl zvolen Správou úložišť radioaktivních odpadů (SÚRAO), jako testovací lokalita.

Testovací lokalita je označení pro území, na kterém se nepředpokládá vybudování hlubinného úložiště, ale na kterém bude realizován orientovaný výzkum s cílem získat informace a poznatky nutné pro úspěšné pokračování programu hlubinného úložiště.(Procházka,2001)

Hlavním cílem prací na testovací lokalitě je vybrat potřebné metody a vypracovat

metodický postup. Není totiž možné realizovat metodické testy až při průzkumu potenciálně vhodných lokalit. Při průzkumu těchto lokalit je třeba použít jen nezbytně nutný objem metod, aby nebyly zbytečně narušovány izolační vlastnosti horninového prostředí.

Tato lokalita – melechovský masiv – byla vybrána Českým geologickým ústavem proto, že zde bylo provedeno značné množství geologických prací, ale hlavně proto, že jsou zde přítomny horniny, které jsou svým složením, geologickou pozicí a vývojem velmi blízké většině hornin zastoupených na studijních lokalitách, které se stanou objekty procesu vyhledávání hlubinného úložiště vysoce aktivních odpadů.

Pro budoucí jaderné úložiště je nezbytné vědět, zda v hloubkách okolo 600 metrů pod terénem (600 metrů je uvažovaná hloubka, v níž bude úložiště vysoce aktivních odpadů zřízeno.) existuje oběh podzemní vody a jakých objemů dosahuje. Toto je nutné vědět pro případ havárie, aby nedošlo k případnému vynesení uniklých nebezpečných látek k povrchu.

Zde v úvodu musím ještě poznamenat, že mé výsledky jsou získány na základě dosud známých dat. Vzhledem k záměrům bude dobré tyto výsledky dále zpřesňovat pomocí dat z vrtného průzkumu, jež má SÚRAO v plánu provést. Mělo by se jednat o vrty do cca 300 metrových hloubek (takovéto vrty v této lokalitě dosud chybí), z kterých bude zjišťován charakter rozpukání (změna četnosti puklin s hloubkou, zda se pukliny v hloubce uzavírají, nebo jsou stále otevřené) a hlavně by měly být zjištěny údaje o vývoji vodivosti melechovského masivu do hloubky. Tyto testovací práce jsou bohužel naplánovány až na rok 2008.

2. Metodika

Hranice modelovaného území byla stanovena s ohledem na nutnost definovat okrajové podmínky. Jako nejvhodnější se jevílo území, které je ohraničeno na severu řekou Sázavou, na východě Pstružným potokem, na západě vodní nádrží Švihov. Na jihu a severo-západně je oblast morfologicky omezena rozvodnicemi. Jedná se o rozvodnice povodí 4.řádu,. Na severo-západě rozvodnice přibližně prochází Ledčí nad Sázavou a vesnicí Kožlí. Na jihu prochází obcemi Vojslavice - Koberovice - Kaliště – Proseč – Kežžlice.

Aby bylo možné tyto hranice načíst do programu jako mapu se souřadnicemi, musí mít hranice podobu souboru typu např.: .lin, .ply, .shp, .dxf, .trp. Já jsem použila soubor typu .dxf, jelikož v tomto formátu jsem dostala vytvořené vodní toky oblasti. Tento soubor byl vytvořen pro potřeby projektu PADAMOT. Tento soubor bylo nutné upravit, aby odpovídal rozměrům vymezené lokality, ale hlavně bylo nutné do tohoto souboru přidat výše zmíněné rozvodnice.

Dále byla vytvořena síť, která byla vytvořena se zřetelem na vodní toky v oblasti. Kolem vodních toků byla síť zjemněna. K tomu byl znovu použit upravený soubor vodních toků ve formátu .dxf.

Aby bylo možné modelovat hloubkový vývoj propustnosti masivu, byl model vytvořen ze sedmi vrstev. Do první vrstvy (té nejsvrchnější) byl importován tvar reliéfu v podobě souboru .dat. Tento soubor obsahuje souřadnice a nadmořské výšky bodů. Na základě těchto dat program provedl regionalizaci. Tvar dalších tří vrstev vznikl upravením souboru použitého pro reliéf první vrstvy. Zbylé vrstvy jsou planární. Tento datový soubor, který byl následně upravován, byl rovněž vytvořen pro projekt PADAMOT.

Dále byly do modelu zadány okrajové podmínky. Do vodních toků byla zadána Newtonova okrajová podmínka. Nadmořské výšky hladin vodních toků byly zjištěny odečtením ze základních vodohospodářských map 1 : 50 000; úrovně hladin v menších tocích byly odečteny z podrobnějších map - topografické mapy 1 : 10 000. I tyto mapy mi byly

poskytnuty z materiálu shromážděného k projektu PADAMOT. Tato podmínka je zadána do prvních dvou svrchních slices. (Slice je plocha, která slouží k oddělení jednotlivých vrstev od sebe. Je jich vždy o jedno více než-li vrstev.) Do ostatních slices byla zadána Neumannova podmínka s nulovou pravou stranou. V první vrstvě byl ještě definován zdrojový člen v podobě srážek. Tyto bilanční údaje byly získány z Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMU).

Kromě těchto údajů byly do jednotlivých vrstev zadány materiálové charakteristiky – hydraulické vodivosti. Tyto údaje byly zčásti získány ze zprávy o hydrogeologickém výzkumu, Rukavičková (2001). Zbylé údaje, které nebylo možné dohledat, byly odhadnuty.

K řešení úkolu byl použit program FEFLOW 5.2, vyvinutý firmou WASY GmbH.. Tento program řeší řídicí rovnici pomocí metody konečných prvků.

Po získání prvotní verze modelového řešení, následovala kalibrace modelu. Modelové řešení bylo kalibrováno pomocí změny srážkové infiltrace a pomocí změn hydraulické vodivosti.

3. Přírodní poměry

3.1 Morfologie

Melechovský masiv náleží provincii České vysočiny-její podsoustavě Českomoravské vrchovině. Charakteristickým rysem Českomoravské vrchoviny, dodnes se projevujícím na reliéfu, je, že byla vždy souší a permanentně více či méně denudovaná. Ještě dnes – po tektonickém výzdvihu – připomíná celá vrchovina slabě vyklenutou parovinu. Její stavba je hluboce sbroušená. V povýzdvihové modelaci se uplatnila zejména zpětná eroze, která rozbrázдила zlomové okraje Českomoravské vrchoviny hluboce zaříznutými údolími - Želivka. Jak při zpětné erozi, tak při celkové denudaci vrchoviny se uplatňuje výrazně selektivní

zvětrávání hornin. Pleistocénní periglaciální podnebí způsobilo hluboké mrazové zvětrávání žul, jehož produkty byly smývány ronem a soliflukcí na úpatní svahy v mohutné deluviální plášti. Četná jsou kamenná moře, mrazové srázy a balvanové skupiny.

Nejvyšším bodem území je vrch Melechov s nadmořskou výškou 709 m. V místech, kde řeka Sázava opouští těleso melechovského masivu, se nachází nejnižší položené místo modelové oblasti. Jeho nadmořská výška je 360 m.

3.2 Klimatologie

Území Jihlavska je v mírně teplé oblasti, pouze nejvyšší místa spadají do chladné oblasti. Většina území je mírně vlhká s mírnou zimou, průměrná teplota vzduchu neklesá pod -3°C. Pahorkatiny v údolí řeky Želivky přecházejí do vrchoviny, která je vlhká. Průměrná teplota vzduchu se v nižších oblastech pohybuje okolo 7°C a ve vyšších partiích okolo 6°C (Pozorovací období 1931-1960).

Srážkové poměry

V nižších polohách okolo 700 mm, v blízkosti Melechova až okolo 800 mm.

Tab.1: Srážkové a odtokové poměry v širší zájmové oblasti.

<i>Databankové číslo stanice</i>	<i>Vodoměrná stanice</i>	<i>Řeka</i>	<i>Dlouhodobý průměrný roční úhrn srážek (mm)</i>	<i>Celkový odtok (mm)</i>	<i>Koeficient celkového odtoku (%)</i>
1590	Světlá nad Sázavou	Sázava	694	226	32,6
1610	Zruč nad Sázavou	Sázava	692	220	31,8
1625	Poříčí	Želivka	678	194	28,6
1626	Senožaty	Martinický p.	669	183	27,4
1627	Blažejovice	Blažejovický p.	667	176	26,4
1632	Soutice	Želivka	671	185	27,6
1650	Kácov	Sázava	689	200	29,0

Zdroj: Data byla získána z Českého hydrometeorologického ústavu.

3.3 Hydrografie a hydrologie

Vodní toky na území spadají do dvou hlavních povodí. Převážná část území patří do povodí Sázavy (1-09-01). Západní část spadá do povodí Želivky (1-09-02). Rozvodnice mezi těmito povodími vede přibližně po linii Kaliště – Podivický vrch – Spálenko - Kamenná Lhota – Malé Bojiště. Z menších vodních toků jsou pro melechovský masiv nejvýznamnější Pstružný, Koutecký a Meziklaský potok. Tyto toky protékají melechovským masivem od jihu na sever, kde se vlévají do Sázavy. Sázava rovněž tvoří hlavní erozní bázi oblasti.

Sázava se vyznačuje značnou rozkolísaností průtoků během roku - jaro maxima, léto a podzim minima.

Tab.2: Hodnoty průtoků na vybraných profilech za pozorovací období 1931-1960.

<i>Hydrologické číslo</i>	<i>Vodoměrná stanice</i>	<i>Specifický průtok (l/s/km²)</i>	<i>Průměrný průtok (m³/s)</i>
1-1-09-01-111-01	Světlá n. Sázavou	7,52	8,53
1-1-09-02-035-01	Želiv	6,39	2,76
1-1-09-02-071-01	Tuklety	6,5	5,15
1-1-09-02-088-01	Senožaty	5,25	0,597

Zdroj: Z Vysvětlivek k základní hydrogeologické mapě ČSSR 1:200 000, List 23 Jihlava – V.Myslil

Specifický podzemní odtok dosahuje v JV části území hodnot 3 – 5 l/s/km² a na zbytku území hodnot 2 – 3 l/s/km² (Krásný,1982).

Zelinka na základě svých režimních měření na Meziklaském potoce (1994-1999) určil hodnotu specifického podzemního odtoku na 1,9 l/s/km².

Od roku 1995 probíhá kontinuální měření průtoků na malém povodí Loukov (Fotová, 2000). Hodnoty určila mezi 2,3 a 3,5 l/s/km².

Pokud srovnáme specifický odtok podzemní vody s průměrnými ročními srážkami, zjistíme, že jen 9 až 14% vody ze srážek tvoří specifický podzemní odtok. Ze srovnání celkového odtoku a srážek je patrné, že cca 70% srážek připadá na evapotranspiraci, výpar a záchyt ve vodních nádržích.

4. Geologické poměry

Ze Zprávy o detailním geologickém mapování 1:10 000 lokality Dolní Město – Bedřich Mlčoch.

Melechovský granitový masiv je nejsevernějším výběžkem centrálního masívu Moldanubika. Je tvořen granitoidy variského stáří, s pláštěm pararul monotónní série moldanubika .

4.1 Geologický vývoj a charakteristika jednotek

Nejstarší geologickou jednotkou zájmového území jsou pararuly zastižené v plášti granitoidů melechovského masívu. Jsou nejméně středně proterozoického stáří.

Celé granitoidní těleso melechovského masívu je paleozoického stáří. Geologická stavba melechovského masívu má charakter koncentricky uspořádané intruze (Mitrenga et. al. 1979, Novotný 1980, 1985). Na základě podrobných výzkumů rozděluje Novotný (1980) tuto intruzi do tří časově oddělených fází. K nejstarší fázi patří drobnozrnné muskovit-biotitické granity, středně zrnité biotit-muskovitické granity a leukokratické muskovitické granity (typ Lipnice a Kouty). Do druhé intruzivní fáze řadí hrubozrnný biotit-muskovitický granit, který má s granity předchozí fáze ostré intruzivní kontakty (typ Melechov). K třetí a nejmladší intruzivní fázi patří nevýrazně porfyrický středně zrnitý biotit-muskovitický granit v centrální části melechovského masívu (typ Stvořidla).

Terciárního stáří jsou v modelované oblasti jen drobné ostrůvky odpovídající denudačním reliktvům údolních výplní větších toků, nebo jezerních pánví (u Ledče nad Sázavou).

Na úpatích strmějších svahů se objevují pleistocéní blokové a balvanité akumulace způsobené mrazovým větráním. Pleistocéního stáří jsou rovněž svahové sedimenty. Z holocénu jsou deluviofluviální a fluviální sedimenty.

PROTEROZOIKUM

Muskovit-biotitické pararuly patří k pararulám monotónní série moldanubika. V závislosti na vzdálenosti od kontaktu s melechovským masivem je dán stupeň jejich granitizace. Často je obtížné stanovit přesnou hranici plutonu a pláště s kontaminovanými usměrněnými granitoidy v endokontaktu a silně granitizovanými pararulami v exokontaktu plutonu,

Základní složení horniny tvoří biotit, plagioklas, křemen, muskovit, silimanit, cordierit a draselný živec.

PALEOZOIKUM

Variské granity melechovského masivu:

Drobnozrný muskovit-biotitický granit, **typ Lipnice** tvoří prakticky celou východní část masívu. Patří ke starší fázi intruze a tvoří bezprostřední kontakt s pláštěm. Ještě hluboko ve svém endokontaktu obsahuje uzavřeniny pararul

Hlavními součástmi horniny jsou křemen, draselný živec, plagioklas, biotit a muskovit. Akcesoricky jsou zastoupeny apatit, silimanit a zirkon.

Středně zrnitý biotit-muskovitický granit, **typ Kouty** je spojen pozvolnými přechody s granitem typu Lipnice. Od předchozího granitu se kromě zrnitosti liší většinou vyšším podílem muskovitu nad biotitem a místy i převahou plagioklasu nad draselným živcem a menším podílem křemene.

Hrubozrný, místy porfyrický biotit-muskovitický granit, **typ Melechov** tvoří morfologicky nejvyšší část území. Vůči předchozím typům je ostře omezen a mimo občasné nahloučeniny biotitu se u něj neprojevuje žádná variabilita. Kromě zrnitosti, porfyrické striktury se od drobnozrného, lipnického typu liší ve složení poněkud vyšším podílem křemene a neobsahuje uzavřeniny pláště ani žíly pegmatitu.

Středně zrnitý porfyrický biotit-muskovitický granit, **typ Stvořidla** vystupuje v centrální části tělesa melechovského typu granitu a byl původně interpretován jako tektonicky zakleslá kra lipnického typu (Suk et. al., 1974, Mitrenga et. al. 1979). Poslední výzkum (Novotný

1980,1986) však ukázal některé jeho odlišné znaky. Použitá gama spektrometrie prokázala oproti lipnickému typu rozdílné obsahy U a Th . Kromě toho obsahuje uzavřeniny hrubozrnného melechovského typu, s nímž má ostrou hranici. Lze tedy předpokládat, že patří třetí, závěrečné fázi intruze.

TERCIÉR

Neogén (Pravděpodobně, autor si není úplně jist (Mlčoch,1994))

Písčité až hrubozrnné štěrky, místy s železitým tmelem patrně neogenního stáří se zachovaly v podobě menších reliktnů v oblasti mezi Světlou nad Sázavou a Dolním Městem. Výškově jsou vázány přibližně na rozmezí 450-460m n. m. Jejich mocnost se řádově pohybuje jen v několika metrech.

KVARTÉR

Pleistocén

Spraše a sprašové hlíny jsou ve větším rozsahu zastoupeny pouze mezi obcemi Kežžlice a Malý Budíkov, kde byly dříve těženy v nyní již opuštěné cihelně.

Blokové balvanité sutě, jako produkt mrazového větrání, jsou zde zastoupeny sporadicky a v nevelkém rozsahu. Většinou se jedná o bloky a balvany vzniklé balvanitým rozpadem a větráním granitů a obnažených současnou vodotečí, a často pak leží na vlastním skalním podkladu nebo eluviu.

Holocén

Deluviofluviální písčité hlíny tvoří výplně úzkých depresí většiny menších toků. Jsou zde zahrnuty i sedimenty umělých vodních nádrží.

Fluviální sedimenty, písky, štěrky tvoří výraznější akumulace v případě větších toků, kde vytváří širší nivy. Jedná se většinou o písky a písčité štěrky s proplásky povodňových hlín, které rovněž převládají ve svrchním horizontu.

Antropogenní uloženiny, navážky mají vzhledem k malé stavební činnosti ve zdejší oblasti

podružný význam. Podstatě se omezují na odvaly v okolí žulových lomů.

4.2 Strukturní charakteristika

Melechovský masiv podobně jako celý centrální moldanubický pluton společně s pláštěm tvoří antiklinální strukturu s plochými rameny upadajícími pod úhlem 25-30°. Těmto hodnotám odpovídají i vzájemné kontakty mezi jednotlivými typy granitů. Granitizované pararuly na kontaktu s granitem jsou velmi intenzivně provrásněny.

Již samotná orientace plutonu, vrásová stavba metamorfitů ukazuje na základní strukturní směr SSV-JJZ. Tomuto směru odpovídá i starší disjunktivní systém. Na tento systém jsou vázány i žíly pegmatitů a křemene. Podél východního okraje melechovského masivu byla zjištěna poruchová pásma tohoto směru, doprovázená mylonitizací a drcením hornin.

Podle Novotného (1980) je mladší systém zlomů směru SZ-JV výraznější a projevuje se horizontální i vertikální složkou pohybu.

Nejvýznamnější poruchou oblasti je melechovský zlom omezující na jihu melechovský masiv. Tato zóna je doprovázena paralelními zlomy s převládající vertikální složkou relativních pohybů. Stejněho směru je i poruchová pásma východně od Lipnice nad Sázavou, doprovázené žilným křemenem. Systém zlomů stejného směru se výrazně projevuje i na severním okraji melechovského masivu, kde je místy využíván tokem Sázavy. Tektonická predispozice toku Sázavy západně od Světlé nad Sázavou byla potvrzena i geofyzikálním měřením (Vrba 1973).

Z gravimetrických měření, které provedla Geofyzika Brno a.s., vyplývá, že hloubkový dosah melechovského masivu se pohybuje v rozmezí 12 až 16 km, v závislosti na hustotě modelovaných těles, ale rozhodně melechovský masiv přesahuje hloubkovou úroveň 10 km.

Z regionálního geofyzikálního profilu, který byl veden SV-JZ směrem, je patrné, že některé tektonické linie a pásma mají hloubkový dosah minimálně jednotky kilometrů.

Pukliny a poruchová pásma hrají významnou roli v oběhu podzemní vody, kromě zóny zvětralin oblast neobsahuje horniny s průlinovou propustností, tudíž veškerý pohyb podzemní vody je vázán na tektonické linie. Bohužel nebyl v oblasti dělán žádný detailní průzkum puklinové sítě do hloubky. Není tedy známo zda se do hloubky uzavírají, nebo jsou dobře propustné v celém rozsahu.

V příloze číslo 3 je přiložena mapa strukturních prvků.

5. Hydrogeologie

5.1 Hydrogeologická charakteristika území

Horniny krystalinika jsou všeobecně málo propustné horninové komplexy, s relativně lepší propustností pouze v dosahu zvětralinového pláště a kvartérního pokryvu, v zóně podpovrchového rozpojení hornin a v tektonicky porušených zónách.

Hydrodynamické zóny:

- svrchní zóna oživeného oběhu podzemní vody, zahrnující skupinu mělkých zvodní v úrovni nebo nad úrovní místní erozní báze. Jedná se o kolektor kvartérních fluviálních sedimentů, v oblasti je omezen jen na úzký pruh okolo Sázavy a kolektor ve zvětralinovém plášti krystalických hornin.
- střední zónu zpomaleného oběhu, zahrnující kolektory uložené pod místní nebo regionální erozní bází. Jedná se o puklinové kolektory; jejich propustnost je závislá na charakteru matečné horniny, v puklinovém kolektoru pararul bývají pukliny druhotně utěsněny zvětralinovým materiálem, v kolektoru tvořeného granitem k druhotnému utěsnění nedochází (zvětralinový materiál u těchto hornin má písčité a drobně šterkovitý charakter)

- jen velmi omezená je spodní zóna velmi pomalého oběhu až stagnace podzemních vod - hluboké krystalinikum

Během terénních prací byly zjištěny rozdíly v charakteru oběhu podzemních vod v různých typech granitů, které tvoří připovrchovou zónu melechovského masivu. Oblast masivu byla proto rozčleněna do tří dílčích kolektorů podle jejich geologického složení (Rukavičková, 2001). :

- kolektor tvořený granity **typu Melechov a Stvořidla** - vyznačuje se mělkým a rychlým oběhem podzemní vody v zvětralinovém plášti; dotace hlubších partií masivu vodami ze srážek bude minimální.
- kolektor tvořený granitem **typu Lipnice** – nižší objem podzemní vody ve zvětralinách u tohoto typu kolektoru je způsoben vyšší propustností puklin.
- kolektor tvořený **koutským typem** granitu – je přechodným typem mezi výše zmíněnými typy kolektorů.

Rozdíly v oběhu podzemních vod jsou způsobeny zejména morfologií a rozdílným stářím jednotlivých typů granitů.

5.2 Hydraulické vlastnosti hornin

Hydraulické parametry byly stanoveny z čerpacích zkoušek, které byly prováděny na 34 objektech. Z tohoto počtu vrtů je 16 vrtů hlubších než 6 metrů a 23 jich je do 6 metrů.

Přesnost stanovení hydraulických parametrů pro pět horninových typů na základě takto nízkého počtu měření není příliš vysoká. Zvláště když vrty nejsou rovnoměrně zastoupeny ve všech horninových typech. Pro příklad 11 ze 16 hlubších vrtů je situováno pouze do míst s granitem Koutského typu. Nejsou tudíž téměř žádná měření, která by popisovala hydraulické charakteristiky ostatních typů hornin. Ale i u koutského typu se zjištěné parametry vztahují jen

k zóně do 50 metrů.

Jsou dva názory na hodnoty hydraulické vodivosti v zóně zvětralin. Krásný (2004) ve své práci píše, že hydraulická vodivost je v řádu $10^{-6} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Rukavičková (2001) pro stejnou oblast stanovila na základě výsledků z čerpacích zkoušek hodnotu hydraulické vodivosti o řád vyšší $3,77 \cdot 10^{-5} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Propustnost zvětralinového pláště je více závislá na morfologické pozici a mocnosti než výchozím typu granitu.

Hodnoty hydraulické vodivosti masivu v hloubkách stovek metrů odhadl Krásný (2004) na základě analogií s jinými lokalitami na 10^{-7} nebo $10^{-8} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Dále ve své práci píše, že je možná lokální změna vodivosti v tektonicky porušených oblastech. V těchto zónách předpokládá změnu vodivosti až o tři čtyři řády.

Pro pásmo rozpojení puklin stanovila Rukavičková hodnotu hydraulické vodivosti jen u Koutského typu (jen zde měla informace z vrtů). Tato průměrná hodnota je $1,18 \cdot 10^{-6} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. K tomu však doplňuje, že tato hodnota by byla o řád nižší v oblastech bez poruchových zón.

Zelinka (1995) píše, že pokud srovnáme základní hydraulické parametry puklinového kolektoru granitů a pararul podle hloubek, je patrné že, hloubková úroveň, kde jsou nejvyšší průměrné hodnoty vodivosti, se u puklinového kolektoru granitů a pararul liší. V okolí hloubek 30 - 60 m je vodivost pararul oproti granitům nižší, je to dáno tím, že pukliny jsou druhotně utěsněné zvětralinovým materiálem, který je jílovitého charakteru na rozdíl od eluvia granitoidů, které je převážně písčitého charakteru. V hlubších partiích komplexu pararul se již tento efekt příliš neprojevuje.

5.3 Režim podzemních vod

Infiltrace v oblasti probíhá v celé ploše území s drenáží v úrovni místní erozní báze. V rozvětralé a přípovrchové rozpojené zóně proudí voda ve smíšeném průlinovo-puklinovém prostředí, které do hloubky přechází v prostředí ryze puklinové. V hlubších zónách, kde je zvodnění vázáno na tektonické zóny a lokální rozpukání hornin, je proudění výhradně puklinové. Pohyb podzemní vody v tomto puklinovém prostředí je převážně vertikální v

dosahu tektonického porušení hornin v závislosti na propustnosti výplně puklin (Zelinka, 1995).

Ve zvětralinovém pokrývném plášti krystalinických hornin (pararul a granitů atd.) je vyvinut mělký průlinový kolektor. Který je vyvinut maximálně do hloubky 10 m. Na dotaci zvodnění tohoto kolektoru se podílí zejména atmosferické srážky a místně infiltrace povrchových vod z místních vodotečí.

Převážná část těchto infiltrovaných srážek zůstává v mělkém kolektoru a zúčastňuje se vzhledem ke značně členitému reliéfu melechovského masivu poměrně rychlého oběhu podzemních vod.

Jen menší část vody proniká dále do pásma rozpojení puklin a pohybuje se po jednotlivých puklinách nebo po tektonických liniích k místní erozní bázi, nebo v místech výchozu tektonických zón k povrchu vyvěrá většinou skrytě do zvětralinového pláště.

Hladina podzemní vody v přípovrchové zvodni melechovského masivu sleduje převážně terén. Hloubka hladiny pod terénem podle terénních měření kolísá od 0 do 19 metrů. Průměrná hodnota je 3 metry. V terénních depresích se hladina podzemní vody přibližuje k zemskému povrchu a dosahuje hloubek maximálně 5 metrů pod terénem, v terénních elevacích je možné zastihnout hladinu podzemní vody až v 15 metrové hloubce. Výjimku tvoří horní hrana svahu ostře zaříznutého údolí řeky Sázavy, zde jsou hydrogeologické vrty s hladinou podzemní vody pod dvacetimetrovou hranicí.

Významný je vliv tektoniky na hladinu podzemní vody. Na základě pozorování pramenů bylo zjištěno, že v místech, kde vychází poruchové pásmo až k povrchu, dochází k zvýšení hladiny podzemní vody ve zvětralinovém plášti.

Režimní měření podzemní vody v přípovrchové zvodni melechovského masivu v letech 1994 -1999 (Zelinka 2000) potvrdila poměrně rychlou reakci hladiny podzemní vody na srážky. Sledované objekty ale vesměs zastihly jen zvětralinový plášť masivu. Maximální stavy se vyskytují v jarních měsících (březen, duben), minima pak v září a říjnu. Kolísání hladiny podzemní vody ve zvětralinách nepřesahuje jeden metr.

5.4 Typy podzemní vody

(Rukavičková, 2001)

V přípovrchové zvodni je vyvinuta vertikální hydrochemická zonálnost.

Ve zvětralinovém plášti s rychlým oběhem podzemní vody je dominantní typ Ca-SO_4 . Z kationů zcela převládá vápník, méně je v této zóně sodíku a hořčíku. Mezi anionty jednoznačně převládají ionty síranové a vzhledem k mělkému oběhu jsou často hojně zastoupeny i ionty dusičnanové.

Mineralizace těchto vod se pohybuje v rozmezí 90 - 450 mg/l, přičemž mineralizace vyšší než 250 mg/l je způsobena antropogenním znečištěním.

V pásmu rozpojení puklin převládá typ Ca-HCO_3 . Mezi kationy převládá vápník a také sodík. Pro tuto zónu je příznačná dominance uhličitánových iontů.

Mineralizace nepřesahuje 300mg/l.

Hodnota pH s hloubkou mírně stoupá. V obou zónách kolísá mezi 5 a 7.

6. Konceptní model

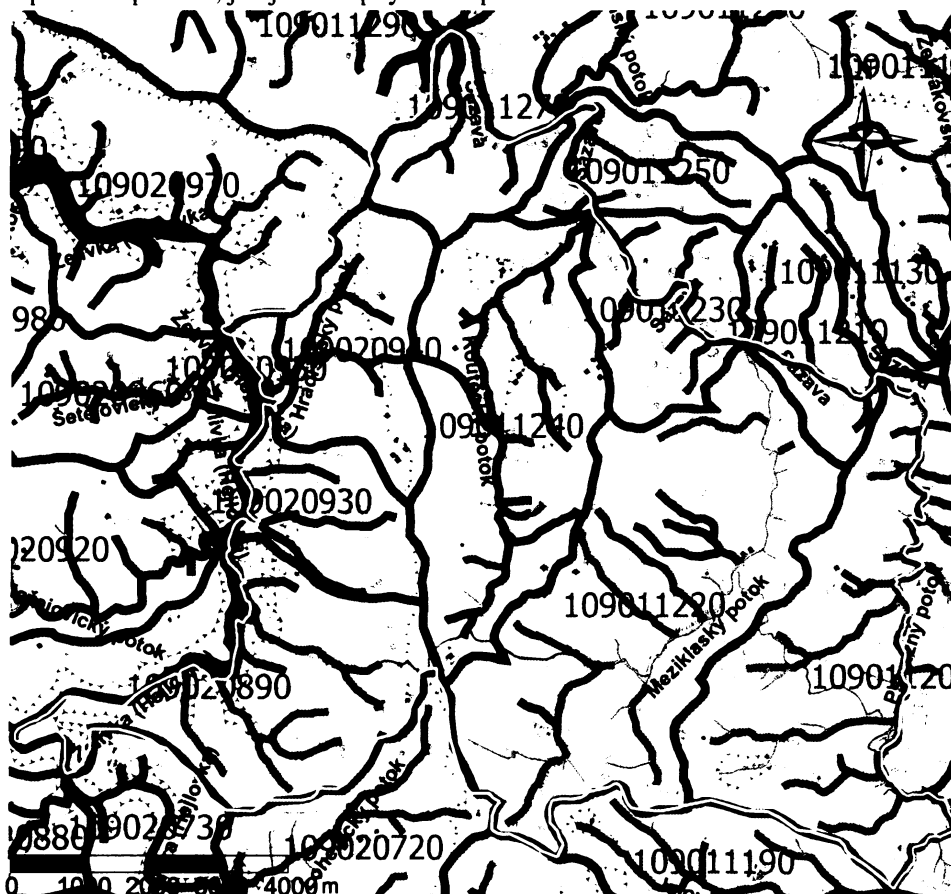
6.1 Vymezení modelované oblasti

Hranice zájmové oblasti na severu, východě a západě je tvořena vodními toky. Na severu je hraničním tokem řeka Sázava, na východě tvoří hranici Pstružný potok a na západě je to vodní nádrž Švihov. Zbývající hranice, na severo-východě a na jihu, jsou morfologické – rozvodnice. Jedná se o rozvodnice povodí 4.řádu,. Na severo-západě jsou to rozvodnice mezi

povodími 109011290 - 109011270, 109020970 - 109011270, 109020970 - 109020940 a 109020950 - 109020940. (Bráno od severu k jihu, první z dvojice je vždy povodí nalevo od rozvodnice.) Na jihu se jedná o rozvodnice mezi těmito povodími 109020890 - 109020730, 109020890 - 109020720, 109011240 - 109020720, 109011220 - 109020720, 109011220 - 109011150, 109011220 - 109011190, 109011200 - 109011190 (Bráno od západu k východu, první povodí z dvojice je to nad rozvodnicí). Pro lepší prostorovou představu přikládám mapu (Obr.2).

Obr.2: Mapa rozvodnic v zájmové lokalitě.

Žlutou čarou je vymezena hranice modelované oblasti, jinak je obrázek ponechán v původní podobě, jak je dostupný na mapovém serveru.



Zdroj: Mapový server Výzkumného ústavu vodohospodářského T.G. Masaryka.

Hranice tvořené vodními toky, jsou v modelu vyjádřeny prostřednictvím Newtonovy podmínky. Místo Dirichletovy podmínky jsem ji zvolila proto, jelikož prostřednictvím

Newtonovy podmínky, je možné vyjádřit případnou kolmataci říčního dna. Stejná, Newtonova podmínka byla také použita pro vyjádření říční sítě uvnitř modelované oblasti.

Na hranicích tvořených rozvodnicemi byla zadána Neumannova podmínka s nulovou pravou stranou.

Ve druhé vrstvě byly okrajové podmínky zadány stejným způsobem jako do první. Z důvodu definování plochy, ve které dochází k proudění skrz vrstvu se sníženou vodivostí (vrstva ve dnu koryta řeky).

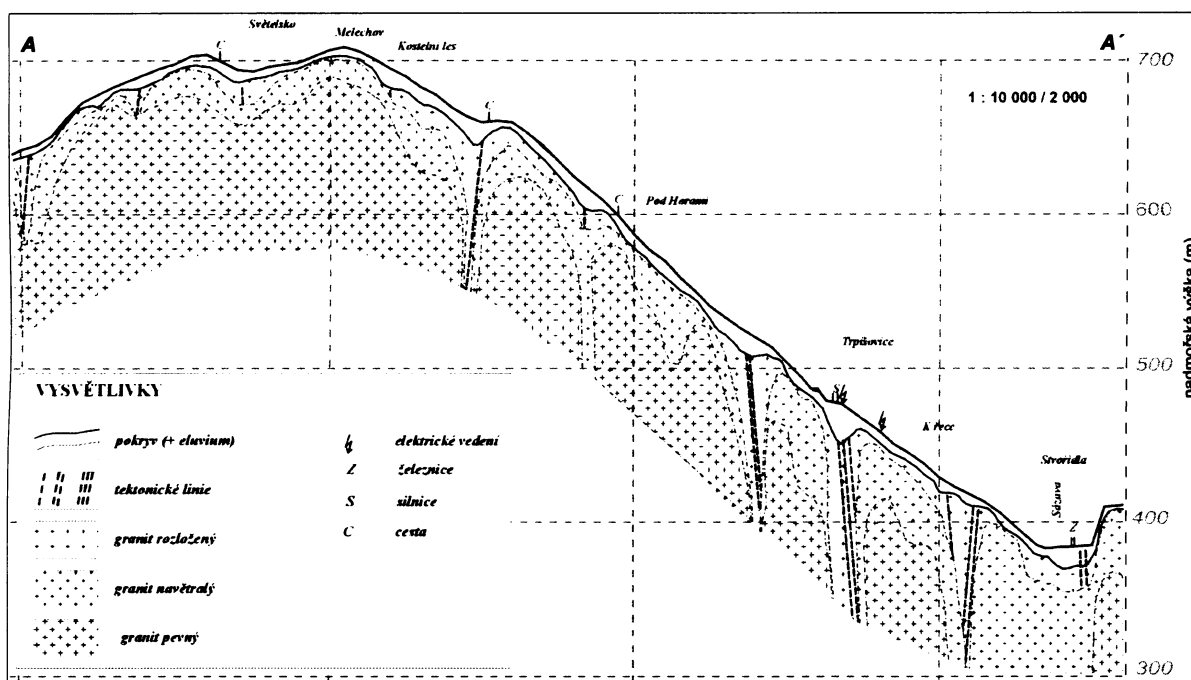
Ve zbylých vrstvách byla použita Neumannovu podmínku s nulovou pravou stranou. Hranice s nulovým průtokem byla volena podle situace platné pro svrchní vrstvu - rozvodnice. Předpokládáme, že přibližně totéž platí i pro hlouběji situované vrstvy. Případná odchylka od tohoto konceptu by neměla mít vliv na výsledek vzhledem k tomu, že převážná část oběhu probíhá v přípovrchových vrstvách. Stejně zadaná Neumannova podmínka byla použita i pro hranice v první vrstvě tvořené Newtonovou podmínkou, nedá se předpokládat, že by hydraulické výška v hlubších částech masivu odpovídala hladinám povrchových toků.

6.2 Popis modelových vrstev

Modelovaná oblast je vertikálně rozdělena do sedmi vrstev. Mocnost jednotlivých vrstev se směrem k povrchu snižuje. První dvě horní vrstvy korespondují se zónou zvětralin a se silně porušenou částí zóny přípovrchového rozpojení puklin. První vrstva zasahuje do hloubky 1m pod terén. Tato vrstva slouží k vyjádření vlivu říční sítě v oblasti na hladinu podzemní vody. Druhá vrstva zasahuje do hloubky 30m. Mocnost této vrstvy je velice obtížně stanovitelná, jelikož mocnost navětralého granitu je velice variabilní (Obr.3). Mocnost třetí vrstvy, v zóně přípovrchového rozvolnění puklin, je 100 metrů. Rozhraní mezi čtvrtou a pátou vrstvou je v hloubce 200 m n. m.. Hloubková úroveň tohoto rozhraní odpovídá předělu mezi zónou přípovrchového rozpojení puklin a spíše celistvým masivem (Je porušen ve značně menší míře). Spodní tři vrstvy jsou stejné mocnosti. Jejich mocnosti jsou 200 metrů. Poslední, sedmá, vrstva má svou spodní hranici v hloubkové úrovni 400 m p.m.. Mocnost modelované

oblasti se tedy pohybuje mezi 760 – 1109 metry.

Obr.3: Výřez z regionálního geofyzikálního profilu RGP2 Melechovský masív. (Lokalizace tohoto profilu je znázorněna v příloze č.2 – geologická mapa oblasti.)



Zdroj: Regionální geofyzikální profilová měření na lokalitě melechovský masív – Karous M. et.al.,(2004).

6.3 Hydraulické vlastnosti

Hydraulická vodivost prvních dvou vrstev byla zadána totožně – hydraulicky tyto dvě vrstvy beru jako vrstvu jedinou. Hydraulická vodivost těchto vrstev byla odvozena ze znalosti hodnoty hydraulické vodivosti pro zónu zvětralin $3,77 \cdot 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$ (Rukavičková, 2001) a z toho, že jejich celková mocnost je větší než mocnost zóny zvětralin, zasahují i do zóny rozvolnění puklin. Svrchní část zóny rozvolnění puklin, která je pod zónou zvětralin je sice také velice propustná, ale ne v takové míře jako zóna zvětralin. Hodnota hydraulické vodivosti v první vrstvě je tedy nižší než $3,77 \cdot 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$. Hodnotu odpovídající zvětralinám jsem snížila o půl řádu – $7,54 \cdot 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$.

Puklinová propustnost v následujících vrstvách byla nahrazena propustností

průlinovou, toto zjednodušení je možné provést pokud je modelovaná oblast dostatečně velká a pokud pukliny v oblasti tvoří síť, která je dostatečně hustá a pravidelná.

Následující dvě vrstvy svou pozicí odpovídají zóně přípovrchového rozvolnění puklin.

Díky nízké vrtné prozkoumanosti území je velmi obtížné stanovit hodnoty hydraulické vodivosti ve větších hloubkách. Pouze u kolektoru typu Kouty je známá hodnota hydraulické vodivosti pro zónu rozpojení puklin (11 objektů) – $1,18 \cdot 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$.

Při určování hydraulické vodivosti pro ostatní typy hornin jsem vycházela z charakteru oběhu podzemních vod, který byl zjištěn během terénních prací, které provedla Rukavičková (Rozdělila oblast do kolektorů na základě horninového typu - viz. kapitola 5.1). Dále jsem při určování hydraulické vodivosti hornin využila faktu, který uvádí O. Hynie (1961); píše, že propustnost hornin klesá s mírou jejich uspořádání – více uspořádané horniny jsou méně propustné, než ty bez výrazného uspořádání. Tedy že hlubinné vyvěřeliny (žuly) jsou více propustné než horniny metamorfované (pararuly). Kromě těchto údajů jsem vycházela z toho, že melechovský masiv vykazuje v regionálním měřítku značnou prostorovou izotropii. Jedna hodnota hydraulické vodivosti je schopná popsat propustnost prostředí ve všech směrech.

Na tomto základě jsem stanovila hodnoty hydraulické vodivosti pro ostatní typy kolektorů. Hydraulickou vodivost u kolektoru typu Melechov i u kolektoru typu Stvořidla jsem stanovila shodně $1 \cdot 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$. Hydraulická vodivost kolektoru typu Lipnice je $1,3 \cdot 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$ a pararul $9,8 \cdot 10^{-7} \text{ m s}^{-1}$.

Tyto hodnoty jsou shodně zadány do obou vrstev v zóně přípovrchového rozvolnění puklin (vrstva 3 a 4) – předpokládám, že charakter puklinové sítě se s hloubkou nemění (nedochází s hloubkou k jejich uzavírání).

Hodnoty hydraulických vodivostí v ostatních vrstvách jsou snižovány v závislosti na hloubkové úrovni jednotlivých vrstev – s každou následující vrstvou je vodivost snížena o půl řádu (od vrstvy čtyři). Hydraulické vodivosti pro jednotlivé vrstvy jsou uvedeny v Tab. 3.

Tab.3: Hydraulické vodivosti v jednotlivých vrstvách

Číslo vrstvy	Hloubková úroveň vrstvy pod terénem (m)	Typ kolektoru ($m s^{-1}$)			
		Melechov	Lipnice	Kouty	pararuly
1	0 - 1	7,54E-06	7,54E-06	7,54E-06	7,54E-06
2	1 - 30	7,54E-06	7,54E-06	7,54E-06	7,54E-06
3	30 - 130	1,00E-06	1,30E-06	1,18E-06	9,80E-07
4	130 – cca 200	1,00E-06	1,30E-06	1,18E-06	9,80E-07
5	cca 200 - cca 400	2,00E-07	2,60E-07	2,36E-07	1,96E-07
6	cca 400 – cca 600	4,00E-08	5,20E-08	4,72E-08	3,92E-08
7	cca 600 – cca 800	8,00E-09	1,04E-08	9,44E-09	7,84E-09

6.4 Srážky

Průměrný roční úhrn srážek v oblasti jsem určila jako průměrnou hodnotu z dlouhodobých ročních průměrných hodnot úhrnů srážek na vodoměrných stanicích z kapitoly 4.2 (Tab.1). Výsledná hodnota je 680 mm/rok. Procento srážek, které infiltruje v oblasti jsem určila na základě znalosti podzemního odtoku (viz. kapitola 4.3) . Ztotožnila jsem infiltrované množství s podzemním odtokem – 3 l/s/km². Maximální infiltrované množství ze srážek je cca 14 %. Výsledná hodnota je 2,592·10⁻⁴ m/d.

6.5 Odpor vrstvy ve dně řek

Odpor vrstvy ve dně koryta řeky se zadává zvlášť pro proudění vody z oblasti do řeky a z řeky do oblasti. Odpor vrstvy ve dně řeky tedy může být v obou směrech rozdílný. Mocnost této vrstvy jsem určila jeden metr. Z důvodu simulace regionální hladiny podzemní vody jsem stanovila pro všechny toky v oblasti pouze jednu hodnotu. Rovněž jsem ponechala stejnou hodnotu odporu pro oba směry jak pro směr z řeky do oblasti tak i z oblasti do řeky.

Nedá se předpokládat, že by koryta řek měli výrazně nižší hydraulickou vodivost, jelikož zvětraliny granitů bývají dobře propustné (většinou neobsahují jílovou složku). Počáteční hodnota hydraulické vodivosti vrstvy ve dně koryt řek odpovídá hydraulické vodivosti první vrstvy – $7,54 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

7. Matematický model

7.1 Matematická formulace

Základní řídicí rovnice proudění, která vyjadřuje tří-dimenzionální pohyb podzemní vody konstantní hustoty v porézním heterogenním anizotropním.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

k_{xx} , k_{yy} a k_{zz} (x,y,z,...) hydraulické vodivosti (L/t),

h (x,y,z,t) hydraulická výška (L),

W (x,y,z,t) infiltrace a evapotranspirace (1/t),

S_s (x,y,z,...) specifická storativita (1/L),

t čas (T),

x, y, z souřadnicové osy.

V mém případě má rovnice (1) jednodušší tvar. Zadanou úlohu řeším jako stacionární problém, tudíž nedochází ke změně hydraulické výšky v čase. A dále koeficient infiltrace není směrově závislý.

Rovnici proudění lze tedy psát ve tvaru.

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = -\frac{W}{k}$$

7.2 Použitý software

FEFLOW je interaktivní simulační systém používající metodu konečných prvků k simulaci proudění a transportních procesů v saturované a /nebo v nesaturované zóně, ve třech nebo ve dvou dimenzích. FEFLOW je schopen simulovat úlohy stacionární i nestacionární, dokáže simulovat proudění kapalin o různé hustotě, transport i směsi kontaminantů, transport tepla, také dovede pracovat s diskrétními prvky pro simulaci puklin.

Jako primární výstup FEFLOW poskytuje distribuci hydraulické výšky, tlaku, rychlostí, koncentrace kontaminantu.

Rovnice pro modelování, které byly použity, jsou následující ($ij = 1, 2, 3$):

$$h = \frac{p^f}{\rho_o^f g} + x_i \quad K_{ij} = \frac{k_{ij} \rho_o^f g}{\mu_o^f}$$

- h hydraulická výška (L),
- ρ_o^f referenční hustota kapaliny (ML^{-3}),
- K_{ij} tensor hydraulické vodivosti (LT^{-1}),
- k_{ij} tensor permeability (L^2),
- μ_o^f referenční dynamická viskozita kapaliny ($ML^{-1}T^{-1}$),
- g gravitační zrychlení (LT^{-2}),
- p^f tlak kapalin ($ML^{-1}T^{-2}$),
- x_i výška; kártézska souřadnice ve směru gravitace (L)

Modelová síť může být tvořena z trojbokých nebo čtyřbokých prvků. Kromě těchto typů prvků existují jejich modifikace, kdy do středů úseček podstav základních typů prvků jsou vloženy další uzlové body.

Díky tomu, že prvky jsou i tříboké, může mít síť libovolný tvar. Rozměr prvků ve všech směrech je přesně takový, aby odpovídal geometrii modelovaného území - průběhu geologických rozhraní nebo říční síti.

Modelové parametry se zadávají jednak do jednotlivých uzlů. Parametry, které se zadávají do uzlů, jsou hydraulická vodivost, transmisivita a storativita.

Okrajové podmínky se zadávají do slices. Slice je plocha, která slouží k ohraničení jednotlivých vrstev (je jich tedy o jednoho více než vrstev). Kromě toho, že do slices vkládáme určité parametry, má každý slice (pokud se ovšem jedná o saturované proudění v aquiferu s volnou hladinou, což je můj případ) svoji specifickou vlastnost. Můžeme zadat vlastnost *free&movable* (je možné použít pouze u prvního (= svrchního) slice). Takto zadaný slice bude simulovat pohyb volné hladiny podzemní vody (i změny v její vertikální pozici). Také označením slice jako *phreatic* je možné simulovat volnou hladinu podzemní vody, ale slice se nebude vertikálně pohybovat, jen v závislosti na pohybu hladiny podzemní vody může dojít k tomu, že některé prvky takto zadaného slice budou částečně nesaturované. Přisoudit tuto vlastnost je vhodné tehdy, pokud ve vrstvě, kterou slice kryje, očekáváme hladinu dalšího aquiferu. Vlastnost *fixed* je vhodné použít, pro slice, který kopíruje nějaké geologické rozhraní. Poslední možností, kterou můžeme do slice zadat je *unspecified*. Takový slice se automaticky přizpůsobí – pokud je nad ním zadaný slice *free&movable*, může se i on pohybovat podle úrovně podzemní vody, pokud je nad ním *phreatic* slice, může se stejně jako tento *phreatic* stát částečně nesaturovaným. Pro poslední slice je přednastavena vlastnost *fixed*.

7.3 Geometrie modelu

Souřadnice x relativního Křovákova souřadnicového systému nabývá v oblasti hodnot

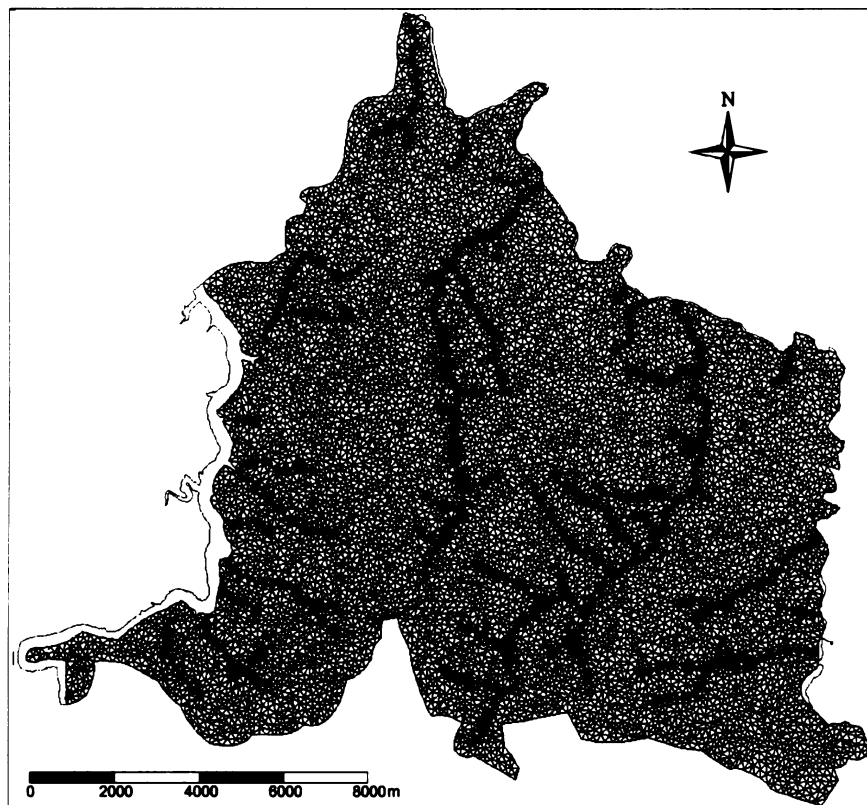
od -693 728 do -679 839. Souřadnice y je v rozmezí od -1 106 912 do -1 094 232. Maximální šířka modelované oblasti ve směru západ východ je 13 890 metrů, ve směru sever jih 12 680 metrů. Maximální hloubkový dosah je 1109 metrů.

Celková plocha modelovaného území je 85,406 km².

Hustota horizontálního dělení sítě je větší v místech přítomnosti říční sítě – viz.Obr.4. Prostřednictvím takto navržené sítě je možné sledovat jaký je vliv říční sítě na proudění podzemní vody.

Výsledný počet elementů v síti je 148 218 a uzlových bodů je 86 616.

Obr.4: Modelová síť.



7.4 Topografie a vlastnosti slices

Topografie jednotlivých vrstev byla načtena do programu ve formátu .dat. Z těchto dat je FEFLOW schopen generovat prostorovou síť. K výpočtu této sítě je možné použít tři

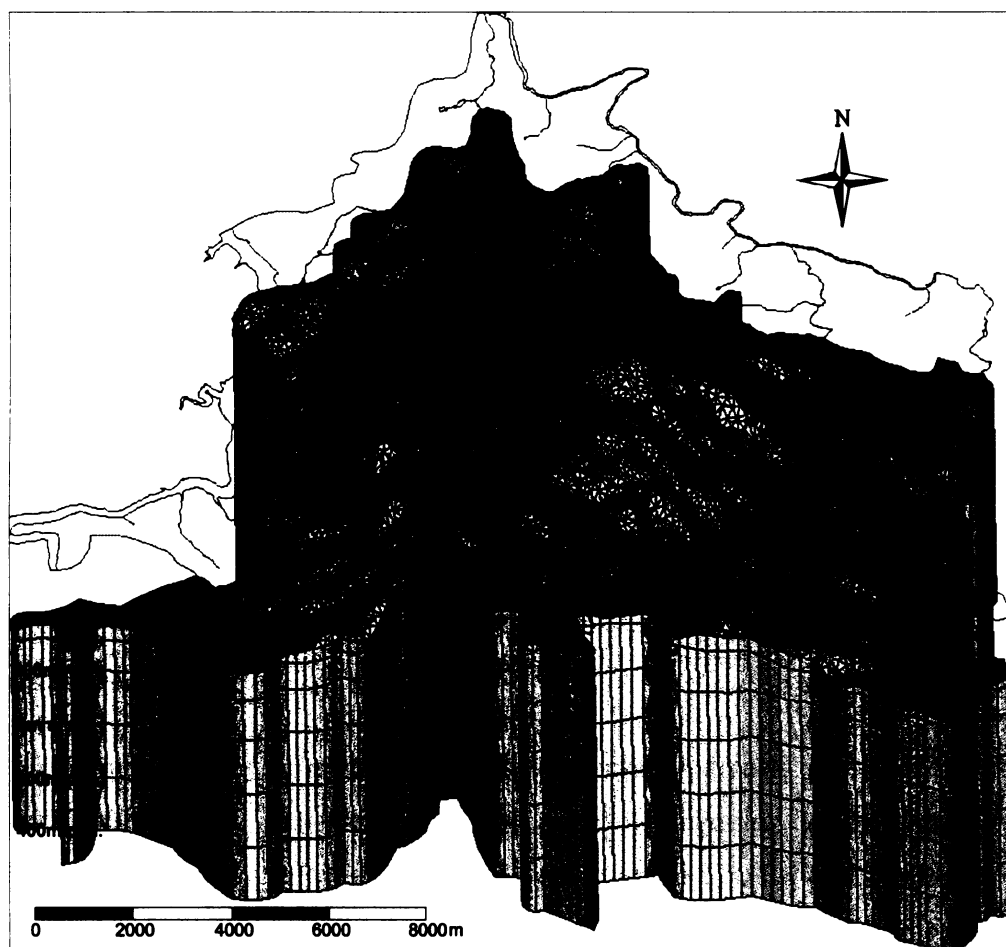
metody- kriging, akima iter/extrapolace a inverse distance weighting. Já jsem k výpočtu sítě použila metodu kriging.

Výchozí datový soubor s nadmořskými výškami terénu byl modifikován v programu Surfer. Surfer umožňuje jednoduchými operacemi upravit tento soubor pro potřeby zbylých vrstev.

První tři modelové vrstvy kopírují tvar zemského terénu. Tvar čtvrté je již mírně zhlazený oproti předešlým vrstvám. Zbylé vrstvy jsou zcela planární.

Co se týče vlastností slices, pro první svrchní slice byla použita vlastnost fixed, aby zůstal zachován tvar povrchu. Do třetího slice byla zadána vlastnost phreatic; tento slice simuluje volnou hladinu podzemní vody. Ostatní slices, kromě posledního, nemají zadanou žádnou konkrétní vlastnost. Poslední jak jsem se již zmínila je nastaven jako fixed.

Obr.5: 3D znázornění topografie a tvaru modelových vrstev.



7.5 Okrajové podmínky a vstupní parametry

Proto, aby bylo možné řešit rovnici proudění podzemní vody je nutné definovat podmínky na hranici modelované oblasti.

FEFLOW umí pracovat se všemi třemi typy okrajových podmínek.

Prvním typem podmínky je podmínka Dirichletova. Touto podmínkou můžeme definovat hydraulickou výšku na hranici. Podmínkou druhého typu je podmínka Neumannova, kterou je možné předepstat průtok přes hranici. Třetí typ podmínky je Newtonova podmínka, tato podmínka definuje vztah mezi hydraulickou výškou a průtokem.

V prvním slice byla pro říční síť použita Newtonova podmínka. Do řek byly zadány výšky jejich hladin plus byly zadány hodnoty odporu způsobeného vrstvou ve dně říčních koryt. Stejně zadanou Newtonovu podmínku je nutné zadat i do sousedního (druhého) slice – tímto způsobem je definovaná plocha, ve které dochází k proudění skrz vrstvu ve dně koryta řeky. Výšky hladin vody v říční síti byly odečteny z vodohospodářské mapy 1:50 000. Hladiny menších toků byly odečteny z map 1:10 000. Pro snadnější zadávání Newtonovy podmínky do hraničních toků a říční sítě uvnitř modelované oblasti byl vytvořen soubor typu .dat se souřadnicemi x, y a výškou hladiny, který je možné do FEFLOW načíst a pomocí statistické metody (já použila metodu inverse distance weighting) zadat výšky hladin do ostatních bodů ležících na vodním toku.

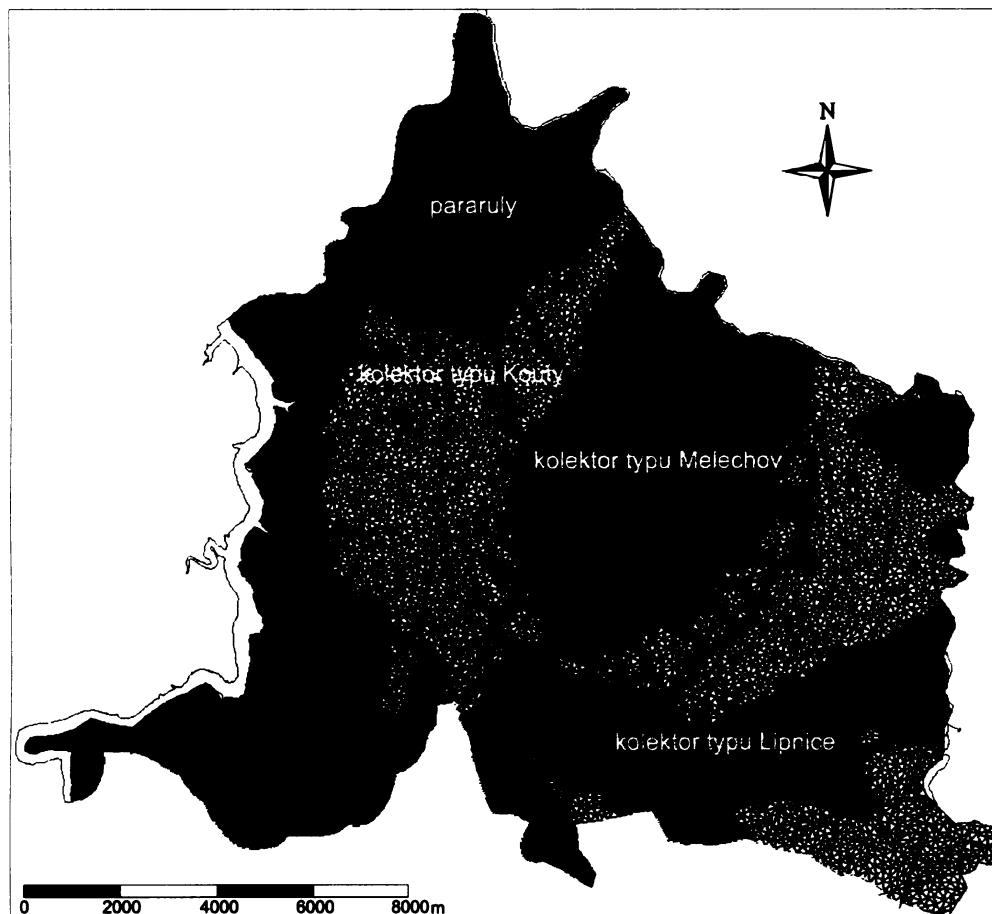
Pro část hranice, kde je modelovaná oblast ohraničena hydrologickou rozvodnicí, byla použita podmínka Neumannova s nulovou hodnotou. Stejná Neumannova podmínka, byla použita i pro zbývající slices (3 až 7).

Hydraulické vodivosti

K tomu, aby bylo možné zadat hydraulické vodivosti přesně do jednotlivých horninových typů, byla vytvořena databáze pomocí programu Surfer. Tento soubor se souřadnicemi a s příslušnými hydraulickými vodivostmi byl načten do FEFLOW a pomocí metody inverse distace weighting byla provedena regionalizace. Výchozí soubor byl pro

potřeby ostatních vrstev upravován pomocí programu Surfer.

Obr.6: Způsob distribuce hydraulických vodivostí v 2. – 6. vrstvě.



Srážky

Množství infiltrovaných srážek se do programu zadává formou zdrojového členu. Do programu je možné zadat zdrojový člen do horního nebo do spodního slice. V mém případě byl zadán zdrojový člen pouze do horního slice. Nutné je hodnotu tohoto zdrojového členu zadat v m/d.

Odpor vrstvy ve dně řek

Odpor vrstvy je nutné zadat ve d^{-1} . $6,51 \cdot 10^{-3} d^{-1}$ je hodnota, kterou jsem zadala a která vychází z hydraulické vodivosti a mocnosti vrstvy ve dně koryta řeky - viz. kapitola 7.5.

8. Kalibrace

Ke kalibraci byly použity studny s hladinou podzemní vody ve výškách mezi 400 a 500 metrů nad mořem (u některých je hladina i nad 500m). Hydraulické výšky ve studnách v oblasti se pohybují mezi 380m až 613m n. m., pro kalibraci jsem použila ty study, jejíž hladina podzemní vody se pohybuje okolo středu tohoto rozmezí. Tyto střední hodnoty byly použity z důvodu simulace regionální hladiny podzemní vody. Tato práce si nekladla za cíl simulovat lokální změny hydraulických výšek.

Model byl kalibrován pomocí změn hydraulické vodivosti. Změny hydraulické vodivosti byly provedeny i ve vrstvě ve dně koryt řek..

Dále jsem při kalibraci využila rozdílného názoru jednotlivých autorů na velikost specifického odtoku v oblasti – viz. kapitola 4.3. Jelikož jsem ztotožnila specifický odtok s infiltrovaným množstvím ze srážek, pohybuje se možné infiltrované množství mezi hodnotami – $1,728 \cdot 10^{-4}$ a $2,592 \cdot 10^{-4}$ m/d.

Kalibraci modelu nebylo možné provést podle množství podzemní vody drénované říčními toky. Jelikož nejsou dostupné informace o průtocích na říčních tocích uvnitř oblasti.

Celková správnost modelu byla kontrolována pomocí celkové vodní bilance. Jelikož úloha byla řešena jako stacionární, musí si vzájemně odpovídat množství vody do modelu vstupující a vystupující. Případná disbalance znamená chybu modelu.

Na základě několika variant jsem stanovila nejvíce vyhovující nastavení parametrů.

Varianta 1: Nastavení této varianty odpovídá koncepčnímu modelu.

Varianta 2: Od koncepčního modelu se liší jen v hydraulické vodivosti vrstvy ve dně koryt řek. Hydraulickou vodivost této vrstvy jsem zvýšila z $7,54 \cdot 10^{-6}$ m·s⁻¹ na

$3,77 \cdot 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$. Tato vrstva je mocná pouze jeden metr, nezasahuje tedy do přípovrchového rozvolnění puklin, které by snižovalo její vodivost (jako u vrstvy jedna). Hydraulická vodivost $3,77 \cdot 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$ odpovídá hydraulické vodivosti zvětralin, kterou stanovila Rukavičková (2001).

Varianta 3: Ponechala jsem nastavení hydraulické vrstvy v korytě řeky z varianty 2. V této variantě jsem změnila hydraulickou vodivost poslední 7. vrstvy. Hydraulickou vodivost této vrstvy jsem snížila o jeden řád. Chtěla jsem zjistit jaký způsobem změna vodivosti v takovéto hloubce ovlivní výšku hladiny ve studnách.

Varianta 4: V této variantě jsem naopak zvýšila hydraulickou vodivost 7. vrstvy o jeden řád. Na základě srovnání s variantou 3 jsem chtěla zjistit, jak velký je vliv změny hydraulické vodivosti na množství vody v této vrstvě.

Varianta 5: Zde jsem snížila o půl řádu hydraulickou vodivost u třech spodních vrstev. Tyto vrstvy odpovídají celistvému masivu.

Varianta 6: Pro srovnání s variantou 5 jsem provedla stejné snížení hydraulické vodivosti u svrchních čtyřech vrstev. Tyto vrstvy odpovídají zóně zvětralin a zóně rozvolnění puklin.

Varianta 7: Provedla jsem celkové snížení hydraulické vodivosti o půl řádu.

Varianta 8: Celkové snížení hydraulické vodivosti o $\frac{3}{4}$ řádu.

Varianta 9: Hydraulické vodivosti u 5. až 7. vrstvy se podle koncepčního modelu snižují s každou následující vrstvou o půl řádu (výchozí hodnoty jsou ve vrstvě čtyři). V této variantě je pokles hydraulické vodivosti mezi jednotlivými vrstvami o jeden řád.

Varianta 10: V této variantě jsem vyšla z varianty 7. Zvýšila jsem množství infiltrovaných srážek v JV části masivu. Množství odpovídá specifickému odtoku 4 l/s/km^2 . Krásný (1982) pro tuto část melechovského masivu hodnotu specifického odtoku mezi $3 - 5 \text{ l/s/km}^2$.

9. Výsledky

Výsledkem modelování je prostorová distribuce hydraulických výšek v horizontální rovině se studnami a pozorovacími body (Příloha č. 4).

V každém slice je 10 pozorovacích bodů (kromě 8. bazálního slice). Tyto body slouží k určení hustoty toku v jednotlivých hloubkových úrovních (Příloha 8).

První slice kromě těchto deseti bodů obsahuje ještě 31 studní, podle který byla prováděna kalibrace modelu.

Dalším výsledkem modelování je grafické znázornění směrů a velikostí vektorů objemové hustoty tok v jednotlivých vrstvách + pomocí škály barev jsou znovu znázorněny hydraulické výšky (Příloha č. 5).

Přílohy č. 4 a 5 se vztahují k variantě 10.

Výsledky jednotlivých variant (viz. Kapitola 8) (Příloha č. 7).

Kromě tohoto byl proveden odhad množství a směru pohybu podzemní vody proudící skrz jednotlivé slices ve vertikálním směru. Převažující pohyb skrz slice je vypočten jako rozdíl mezi množstvím podzemní vody proudícím směrem nahoru a množstvím podzemní vody proudícím směrem dolů (Tab.4).

K tomuto odhadu je nutné poznamenat, že tento odhad má značná omezení. Metoda konečných prvků má několik slabých míst, která tento odhad zkreslují. Jednou z nevýhod metody konečných prvků je, že rychlost vypočtená touto metodou je na hranicích elementů nespojitá. Další nevýhodou je, že tato metoda nezaručuje lokální zachování hmoty.

K výpočtu byl použit nástroj Fluid Flux Analyzer. K výpočtu množství vody protékající určitou plochou používá darcyovskou rychlost, jejíž obecný směr převádí na směr kolmý k ploše, a velikost této plochy. Přesnost výsledku nemůže být zaručena, jelikož již jedna ze složek, z níž je množství proteklé vody počítáno, není přesně stanovitelná. Odhad

množství vody proleklého určitou plochou pomocí Fluid Flux Analyzer je tím přesnějším, čím je tato plocha více kolmá k proudnicím a čím je prostředí více homogenní.

Jelikož v mém případě prostředí není dostatečně homogenní a ani jednotlivé slices nejsou vždy kolmé k proudnicím, nedá se tento odhad považovat za příliš přesný. Dá se považovat za odhad orientační pomocí něhož můžeme odhadnout, ve kterých hloubkových úrovních je nejvíce vody, jak velký je pokles množství vody směrem do hloubky a jakým směrem by asi mohla proudit podzemní voda v jednotlivých úrovních

Tab.4: Pohyb podzemní vody na základě rozdílu objemů ve variantě 10

<i>Pohyb vody v jednotlivých vrstvách ve vertikálním směru (m³/d)</i>			
<i>Číslo vrstvy</i>	<i>Směrem nahoru</i>	<i>Směrem dolů</i>	<i>Výsledný pohyb vody</i>
1	14 506,313	-29 152,591	-14 646,279
2	23 936,165	-27 782,673	-3 846,508
3	21 408,242	-21 355,784	52,458
4	9 118,521	-8 993,537	124,984
5	3 023,405	-3 391,594	-368,189
6	632,186	-626,654	5,532
7	101,227	-100,793	0,434

10. Diskuse

Ukázalo se, že hydraulická výška vypočtená lépe odpovídá úrovni hladin ve studnách, pokud se zvýší hydraulická vodivost vrstvy v korytě řek – viz varianta 1 a 2.

Ze srovnání variant 3 a 4 vyplývá, že změna hydraulické vodivosti poslední vrstvy o jeden řád nahoru nebo dolů se projeví pouze ve dvou posledních vrstvách. V poslední vrstvě je rozdíl v hydraulických výškách mezi variantou 3 a 4 2 metry v předposlední 1 metr, dále už téměř k žádné změně nedochází (centimetry). Co se týče objemu vody ve variantě 3 proudí vzhůru $0,933 \text{ m}^3/\text{d}$ a ve variantě $2,8 \text{ m}^3/\text{d}$.

Obecně vliv změny hydraulické vodivosti ve spodních vrstvách (vrstvy v nezářalém granitu) na hladiny vody ve studnách je téměř mizivý. (varianta 5,6)

Nejlepších výsledků lze dosáhnout celkovým snížením vodivosti (ve všech vrstvách). Průměrná hodnota odchylky hydraulické výšky vypočtené od změřené je nejmenší u varianty 8, ale u řady studen je hydraulická výška nad terénem, proto jako nejvíce vyhovující jsem zvolila variantu 7.

Zvýšení poklesu vodivosti mezi jednotlivými vrstvami z půl řádu na jeden řád nemělo příliš velký účinek, jelikož tato změna se týkala především spodních vrstev, které na celkové proudění vody nemají příliš velký vliv (varianta 9).

Zvýšení infiltrovaného množství vody ze srážek v JV masivu, zmenšilo odchylku varianty 7. Tato varianta je nejvíce vyhovující (varianta 10).

Úrovně hladin v pozorovacích objektech v modelu a ve skutečnosti se liší. Tato nesrovnalost je dána tím, že model simuluje regionální proudění podzemní vody a není proto schopen postihnout lokální změny proudění.

Výsledné modelové řešení je ve značné shodě s model, který byl na této lokalitě dělán V.Frydrychem (Cortés et.al., 2005). Tento model byl dělán pomocí programu Groundwater

Vistas. Rozdíl je ve vrcholových partiích oblasti (vrch Melechov), kde hydraulické výšky v mém řešení jsou vyšší.

Z distribuce hydraulických výšek v modelu je patrné (příloha 4), že hlavní infiltrační oblast je téměř ve středu zájmové lokality. Do této oblasti spadá i vrch Melechov. Z tohoto místa ve středu oblasti podzemní voda proudí téměř do všech směrů. Podzemní voda neproudí z této oblasti pouze jižním směrem. Na okrajích zájmové oblasti je podzemní voda drénována říčními toky tvořícími hranici modelované oblasti. Kromě těchto hlavních drenážních linií je v oblasti řada menších toků, které rovněž mají převážně drenážní funkci. Nejvýznamnější drenážní linií v oblasti je řeka Sázava. Druhým významným tokem v oblasti, co se drenážní funkce týče, je řeka Želivka.

Proudění podzemní vody ve vertikálním směru je ve svrchních dvou vrstvách směrem dolů k erozní bázi. Ve třetí a čtvrté vrstvě – v zóně rozvolnění puklin – voda proudí směrem nahoru. Ve čtvrté vrstvě značně ubývá množství přítomné vody. Tato vrstva je sice ještě v zóně přípovrchového rozvolnění puklin, ale bezprostředně sousedí s vrstvou, která je již tvořená pevným nezvětralým granitem. V páté vrstvě je obsah vody již jen třetinový oproti vrstvě čtvrté, převládající proudění je směrem dolů.

V posledních dvou vrstvách je převládající proudění směrem nahoru, ale objem proudící vody je velice malý.

Potvrdilo se, že opravdu největší objem podzemní vody je v nejsvrchnějších vrstvách, kde rychlost proudění podzemní vody nabývá nejvyšších hodnot. Směrem do hloubky ubývá ve vrstvách množství vody a také ubývá velikost hustoty toku. Pokles hustoty toku je o více než dva řády (viz. Příloha č.8).

11. Závěr

Byl vytvořen sedmivrstevný stacionární matematický model regionálního proudění podzemní vody. Modelem vypočtená regionální hladina podzemní vody nedokáže zcela postihnout lokální změny hydraulických výšek, které se projevují v úrovních hladin vody ve studních.

Matematický model potvrdil, že většina vody ze srážkové infiltrace zůstává ve svrchních zónách (zóna zvětralin a přípovrchové rozvolnění puklin) a jen malá část vody se dostává do spodních částí melechovského masivu.

Hlavní infiltrační oblastí melechovského masivu jsou nejvýše položené partie (vrch Melechov), nejvýznamnější drenážní linií oblasti je řeka Sázava.

Jen změny hydraulické vodivosti ve svrchních vrstvách mají vliv na úroveň hladiny vody v pozorovacích objektech, změny hydraulických vodivostí ve spodních vrstvách na hladiny podzemní vody v pozorovacích objektech vliv nemají.

Na základě výsledků dosažených realizovanou modelovou simulací je patrné, že v hloubkách 600 metrů pod povrchem (600 metrů je uvažovaná hloubka, v níž by mělo být zřízeno úložiště vysoce aktivních odpadů.) je objem podzemní vody velice malý a objemové hustoty toku proudění podzemní vody velice nízké, že by při vybudování a provozu úložiště vysoce aktivních odpadů nemělo dojít k žádným potížím spojených s prouděním podzemní vody. Toto tvrzení platí pro tento model, ve kterém nejsou brána v úvahu poruchová pásma. Skutečná rychlost proudění podzemní vody bude vyšší.

V rámci dalšího zpřesňování modelu by bylo dobré provést hydrometrování na říčních tocích uvnitř zájmové oblasti. Aby mohla být provedena kalibrace na základě množství vody drénované říčními toky uvnitř oblasti. Tento způsob kalibrace modelu by při hledání optimálního nastavení hydraulických parametrů mohl být užitečný.

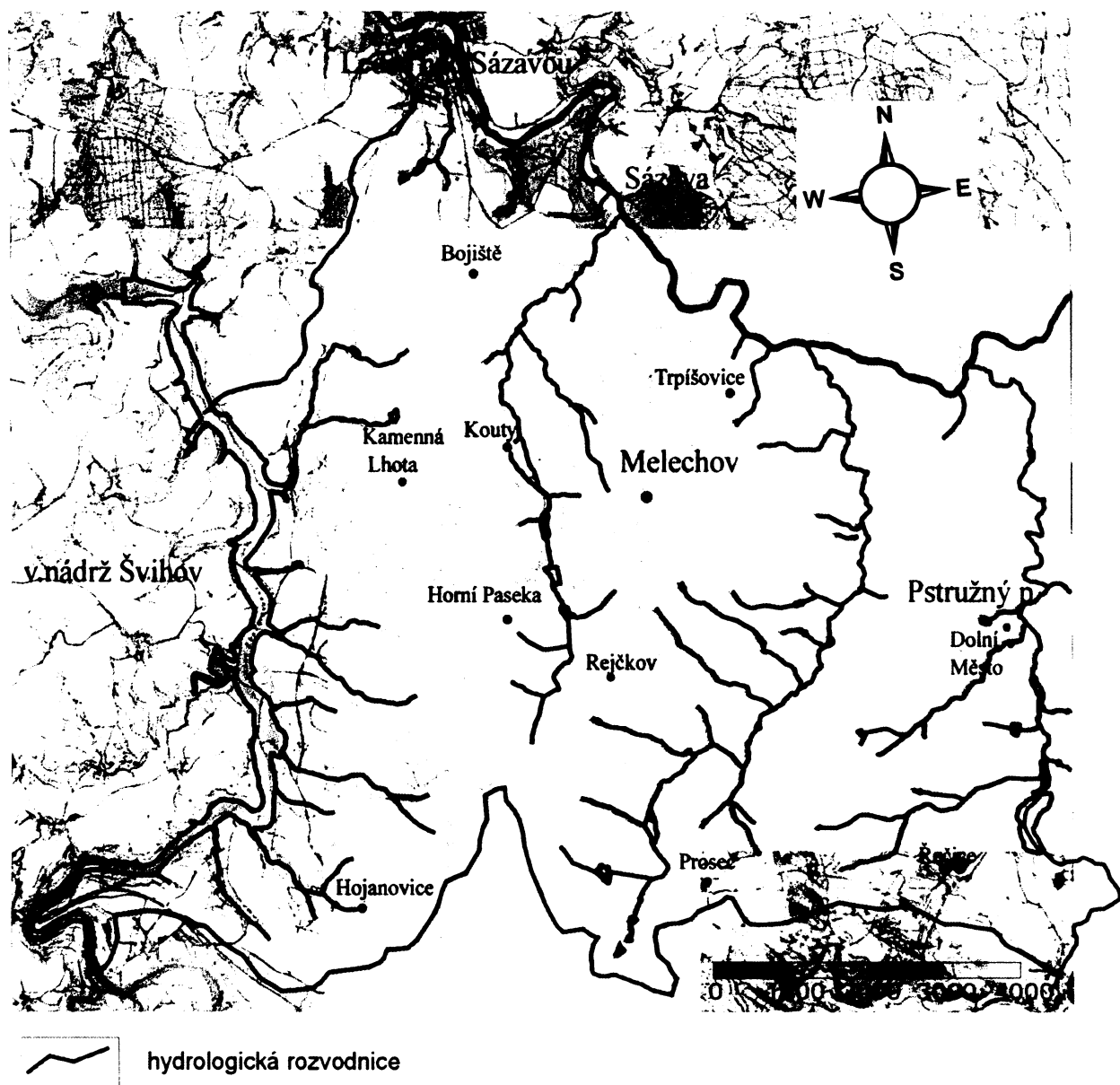
Literatura:

- Cortés Ruiz A. and Bath A.(EDITORS) (2005): Interpretative Modelling of Palaeohydrogeological Data: Final Report, *PADAMOT Project Technical Report WP4*.
- Diersch H.-J.G., (2005): User's Manual, WASY Software FEFLOW 5.2, Berlin.
- Diersch H.-J.G., (2005): Reference Manual, WASY Software FEFLOW, Berlin.
- Hynie O., (1961): Hydrogeologie ČSSR I. Podzemní vody, ČSAV, Praha.
- Karous M., Gutter R., Nikl P., (2004): Regionální gofyzikální profilová měření na lokalitě melechovský masív, MS ČGU, Praha.
- Krásný J., (2004): Hydrogeologic setting of the Melechov massif region: Considerations on deep repositories possibilities, MS SÚRAO, Praha
- Lysenko V., (2004): Vyhodnocení puklinové sítě z leteckých snímků v okolí Melechova, MS ČGÚ, Praha.
- Milodowski A.E., Tullborg E.-L., Buil B., Gómez P., Turrero M.-J., Haszeldine S., England G., Gillespie M., Torres T., Ortiz J., Zchariáš J., Šilar J., Chvátal M., Strnad L., Šebek O., Bouch J., Chenery S., Chenery C., Shepherd T., Mckerverey J., (2005): Application of Mineralogical, Petrological and Geochemical Tools for Evaluating the Palaeohydrogeological Evolution of the PADAMOT Study Sites, *PADAMOT Project Technical Report WP2*.
- Mitrenga P., Rejl L., Weiss J., (1979): Geologie širšího okolí Humpolce, Sborník příspěvků ke geologickému výzkumu jz. části Českomoravské vrchoviny, Jihočeské muzeum České Budějovice.

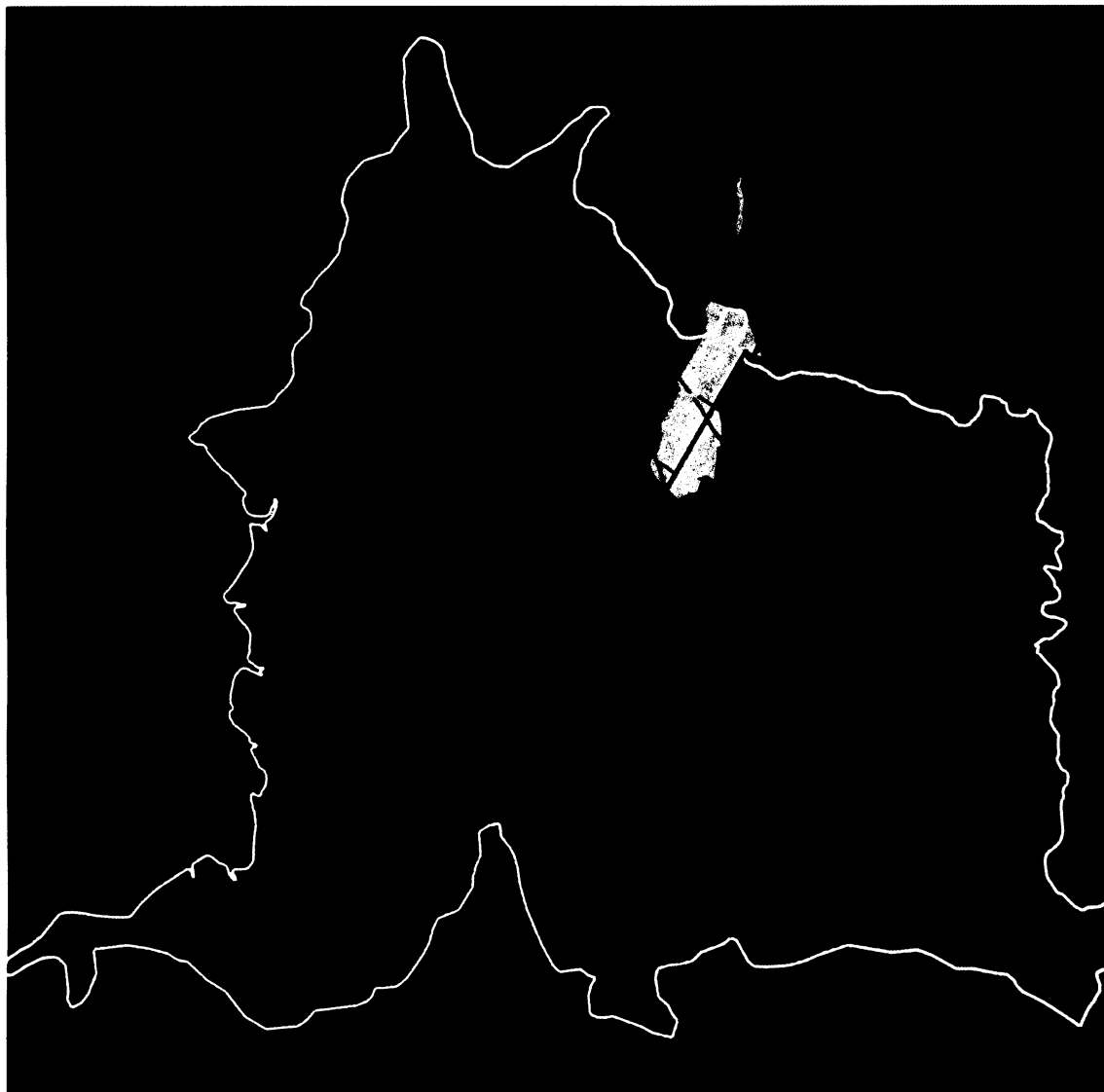
- Mlčoch B., (1994): Zpráva o detailním geologickém mapování 1 : 10 000 lokality Dolní Město, MS ČGÚ, Praha.
- Myslil V. et. al., (1986): Vysvětlivky k základní hydrogeologické mapě ČSSR 1:200 000 list 23 Jihlava, ÚÚG Praha.
- Novotný M., (1980): Geologie a petrografie centrálního moldanubického plutonu mezi Melechovem a Světlou n. Sázavou, MS ČGU, Praha.
- Novotný M., (1985): Peraluminické granity melechovského masívu, Zpráva o geologickém výzkumu v r. 1984, ÚÚG, Praha.
- Novotný M., (1986): Výsledky polní gamaspektrometrie melechovského masívu, MS ČGU, Praha.
- Procházka J., (2001): Vymezení ploch perspektivních pro 2. etapu výběru testovacích polygon v prostoru melechovského masívu (souborná zpráva projektu), ČGÚ, MS SÚRAO, Praha.
- Rajlich, P. (2001): Strukturně geologické mapování pro lokalizaci testovacích polygonů v oblasti Melechovského masívu, MS ČGÚ, Praha.
- Rukavičková L., (2001): Účelová hydrogeologická mapa melechovského masívu (zpráva hydrogeologickém výzkumu), ČGÚ, MS SÚRAO, Praha.
- Zelinka Z.,(1995): Vysvětlující text k hydrogeologické mapě ČR 1:50 000, list 23-12 Ledeč nad Sázavou, MS ČGÚ, Praha.
- Zelinka Z.,(1996): Vysvětlující text k hydrogeologické mapě ČR 1:50 000, list 23-21 Havlíčkův Brod, MS ČGÚ, Praha.
- Zelinka Z.,(2000): Melechovský masiv – hydrogeologický výzkum, MS ČGÚ, Praha.


Přílohy

Příloha 1: Topografická mapa modelované oblasti




Příloha 2: Geologie oblasti s vyznačeným geologickým řezem



 drobnozrný biotit-muskovitický granit, typ Stvořidla

 hrubozrný biotit-muskovitický granit, typ melechovský

 drobně až středně zrnitý biotit-muskovitický granit, typ koutský

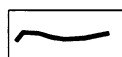
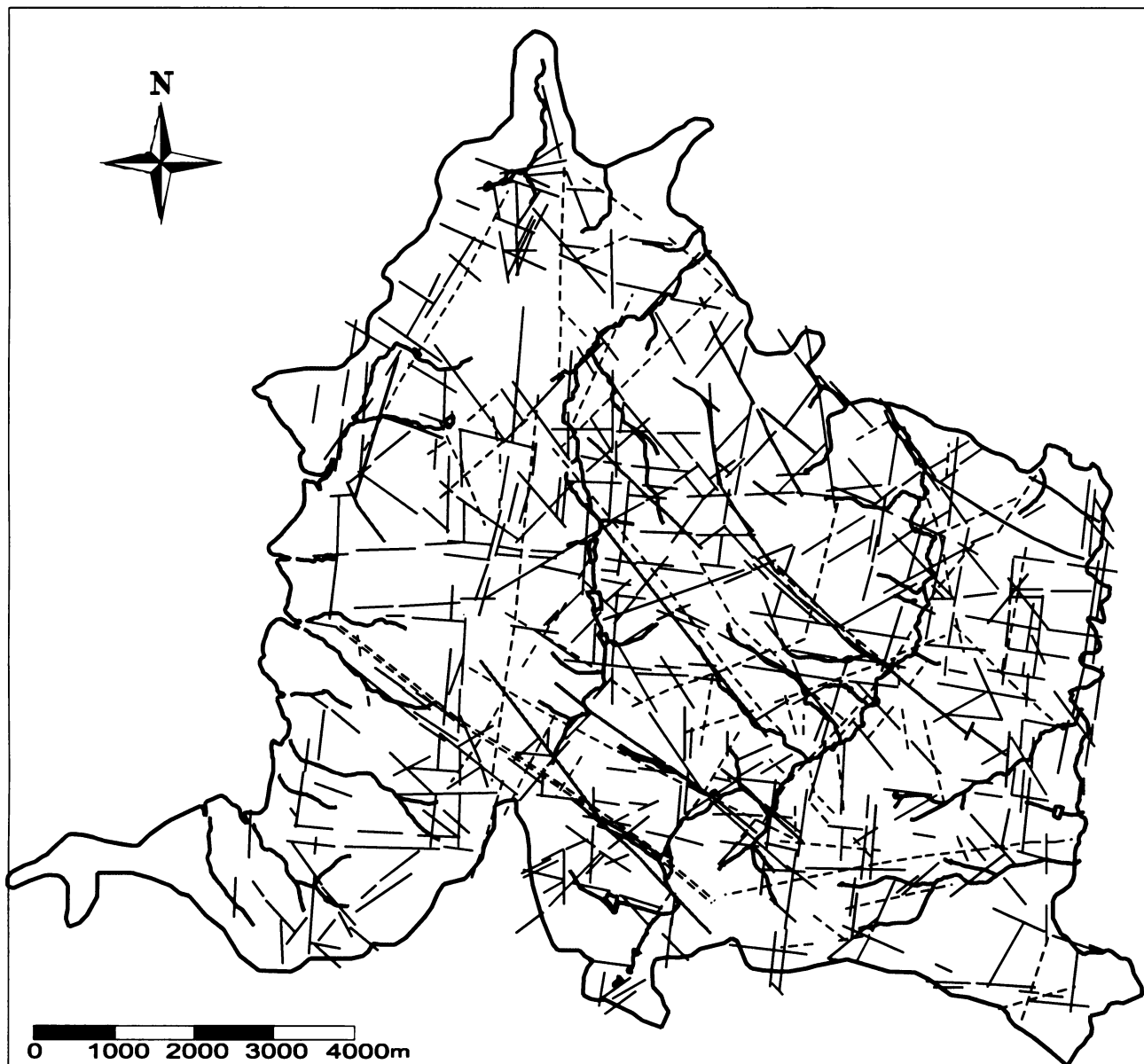
 drobnozrnitý muskovi-biotitický granit, typ lipnický

 moldanubikum, pararuly

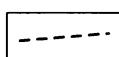
 hlavní tektonické linie

 geologický profil

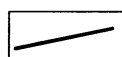
Příloha 3: Mapa strukturních prvků



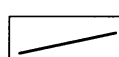
hranice oblasti



soubor lineací (P. Rajlich (2001))



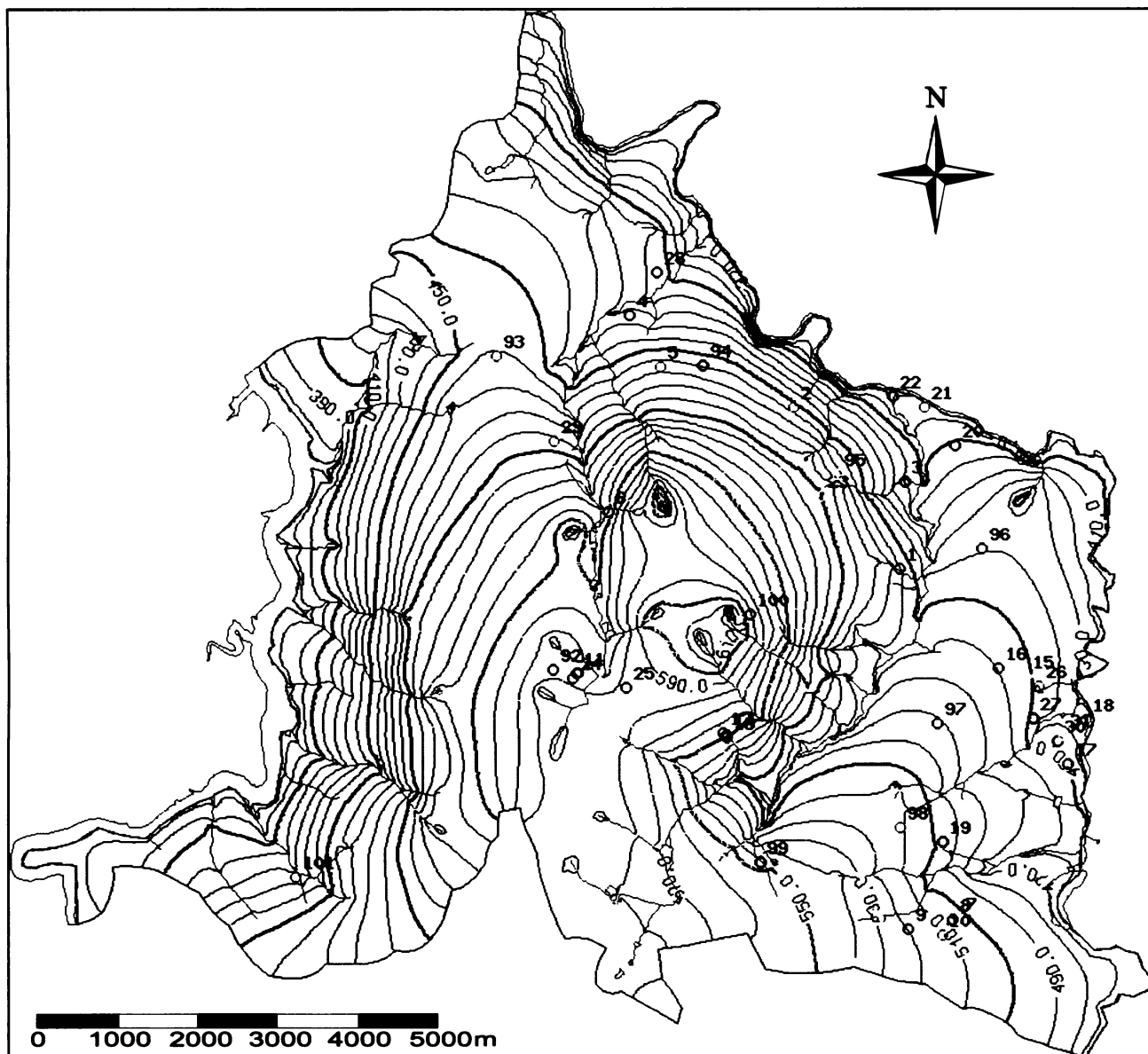
hlavní tektonické linie



soubor lineací (V. Lysenko (2004))

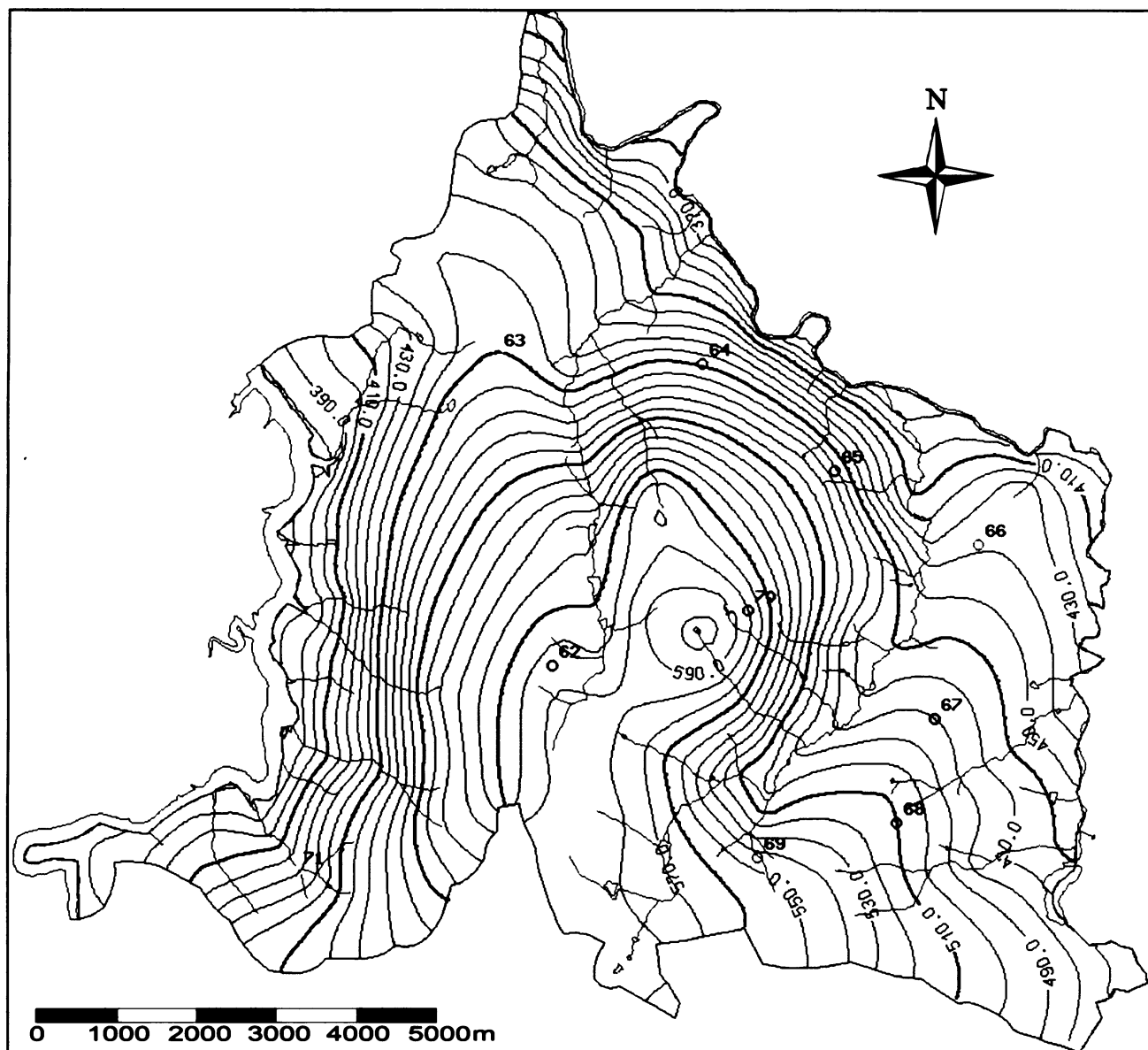
Příloha 4: Distribuce hydraulických výšek

4.1 Hydraulické výšky v první modelové vrstvě



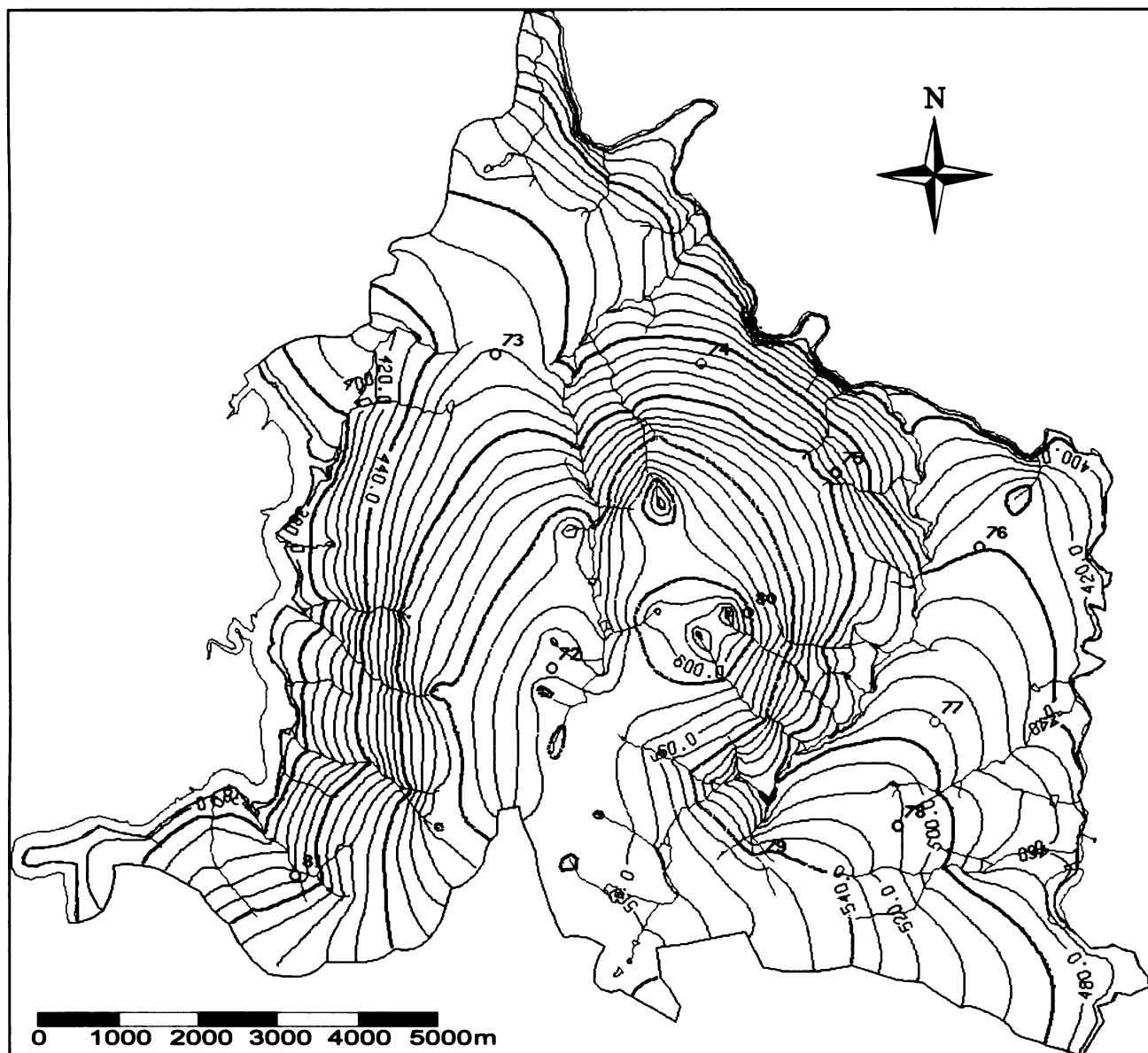
Barevné kroužky s čísly na obrázku jsou pozorovací objekty. Objekty od 1 do 31 jsou studny, podle kterých byla provedena kalibrace. Ostatní pozorovací objekty slouží k určení průměrné hodnoty hustoty toku.

4.2 Hydraulické výšky ve druhé modelové vrstvě



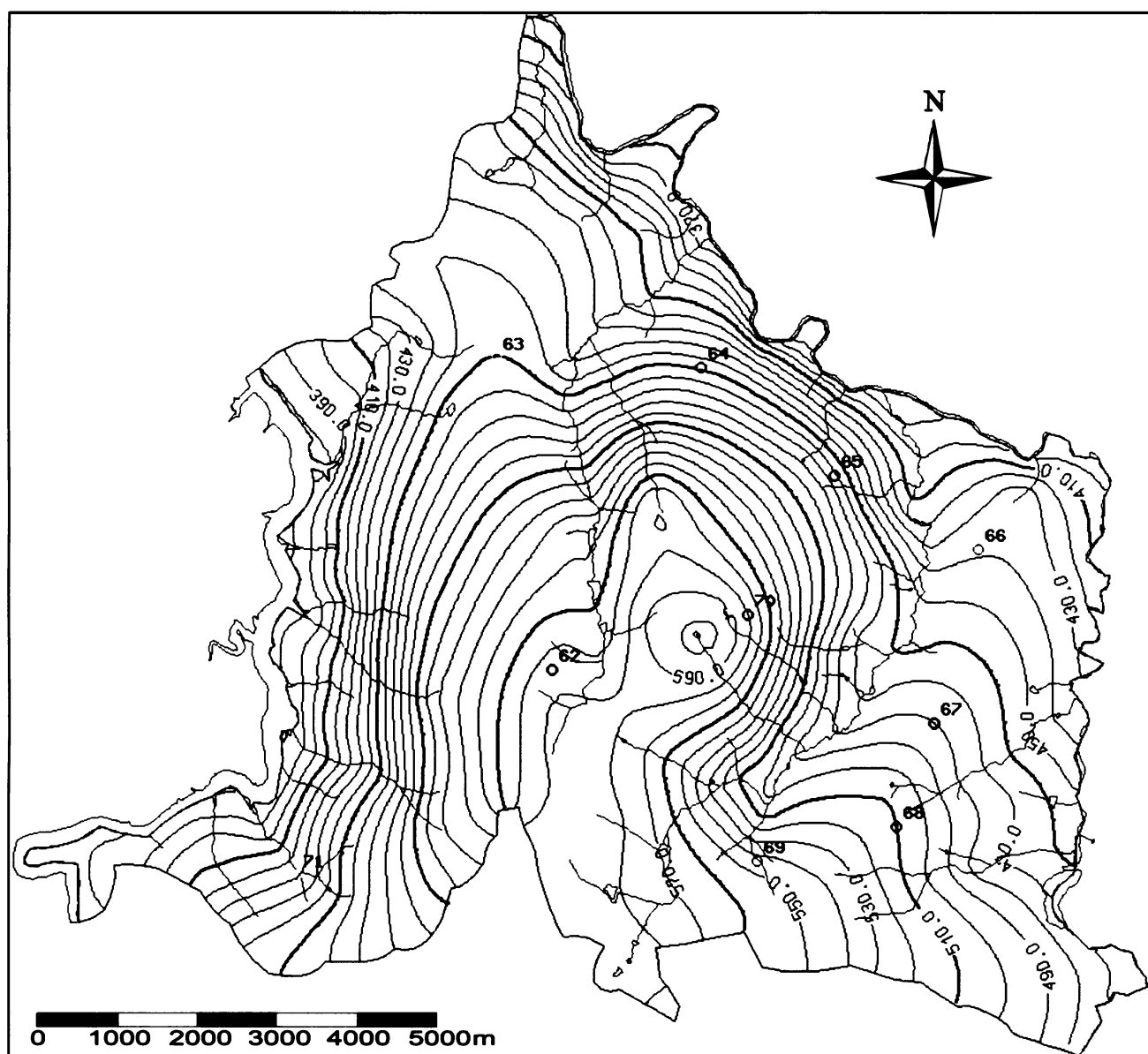
Barevné kroužky s čísly na obrázku jsou pozorovací objekty. Byly použity k určení průměrné hodnoty hustoty toku.

4.3 Hydraulické výšky ve třetí modelové vrstvě



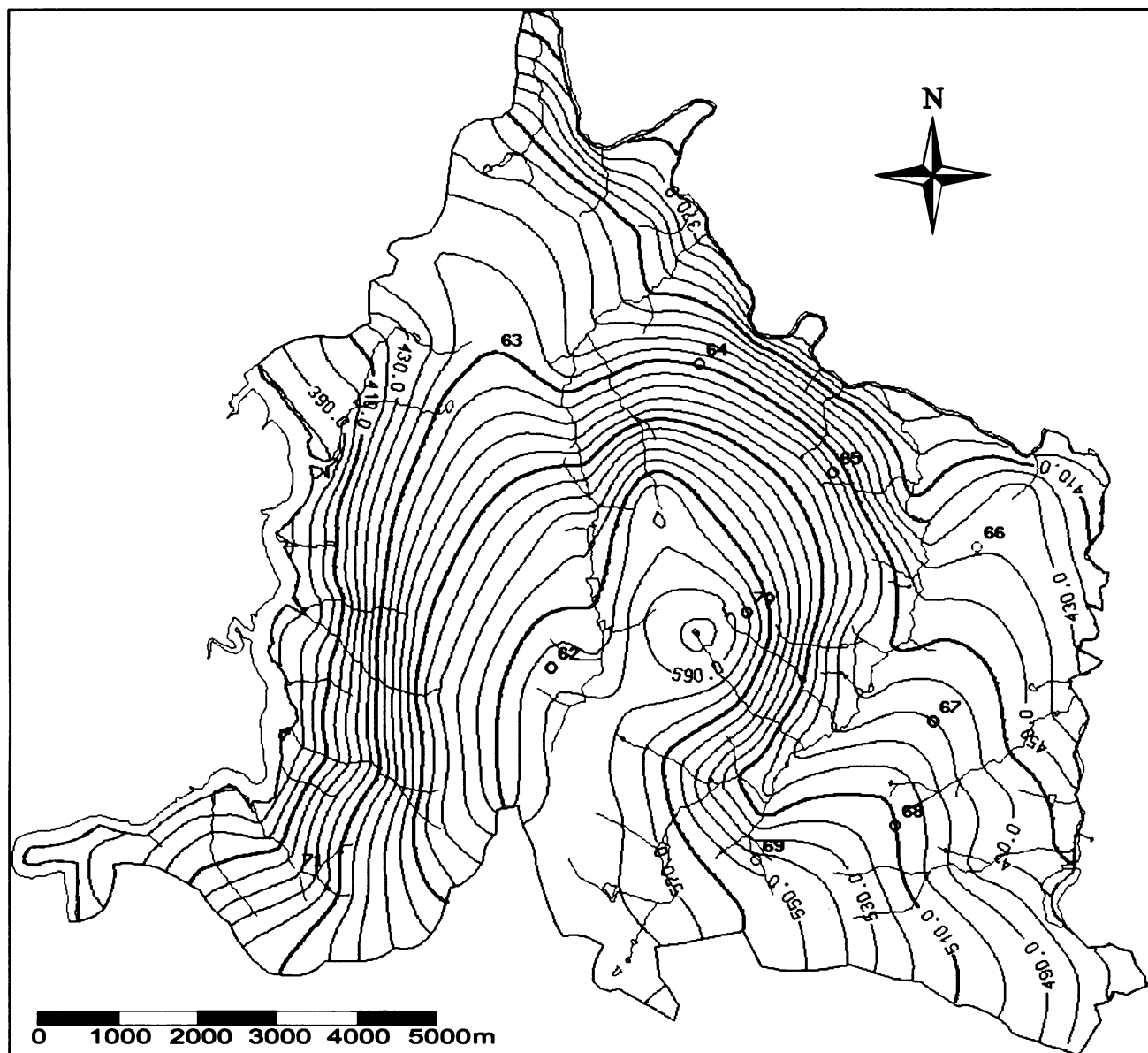
Barevné kroužky s čísly na obrázku jsou pozorovací objekty. Byly použity k určení průměrné hodnoty hustoty toku.

4.4 Hydraulické výšky ve čtvrté modelové vrstvě



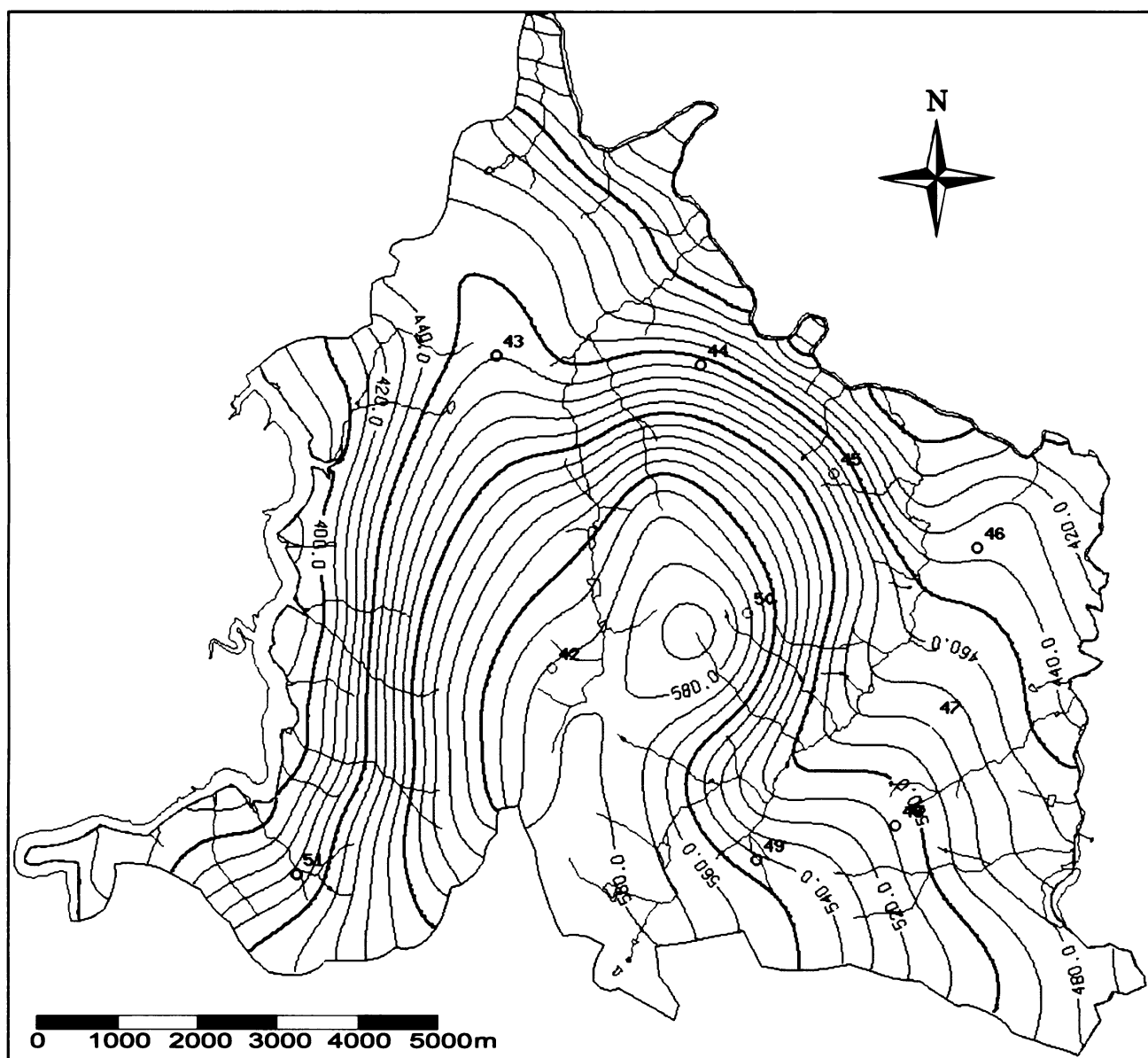
Barevné kroužky s čísly na obrázku jsou pozorovací objekty. Byly použity k určení průměrné hodnoty hustoty toku.

4.5 Hydraulické výšky v páté modelové vrstvě



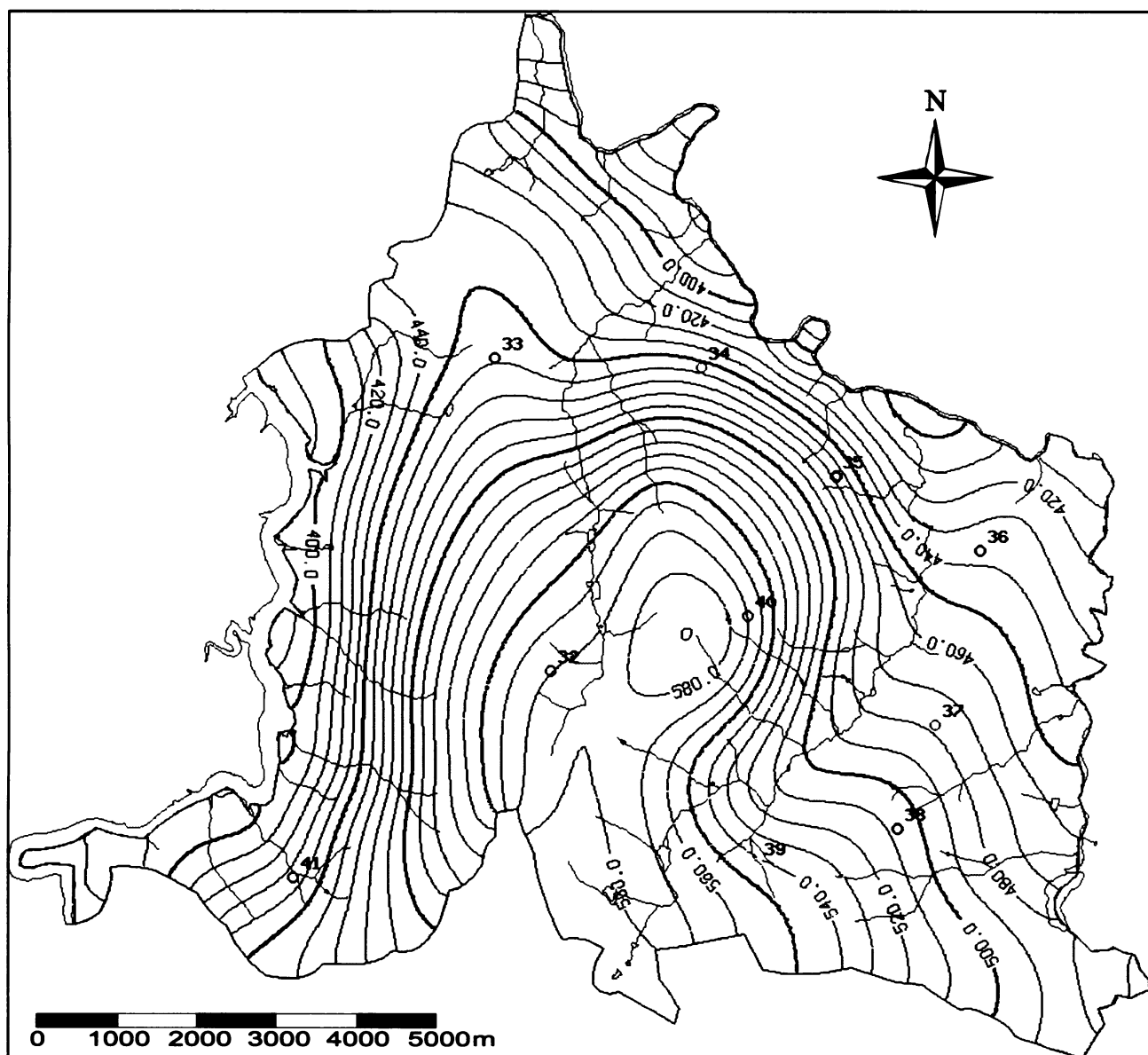
Barevné kroužky s čísly na obrázku jsou pozorovací objekty. Byly použity k určení průměrné hodnoty hustoty toku.

4.6 Hydraulické výšky v šesté modelové vrstvě



Barevné kroužky s čísly na obrázku jsou pozorovací objekty. Byly použity k určení průměrné hodnoty hustoty toku.

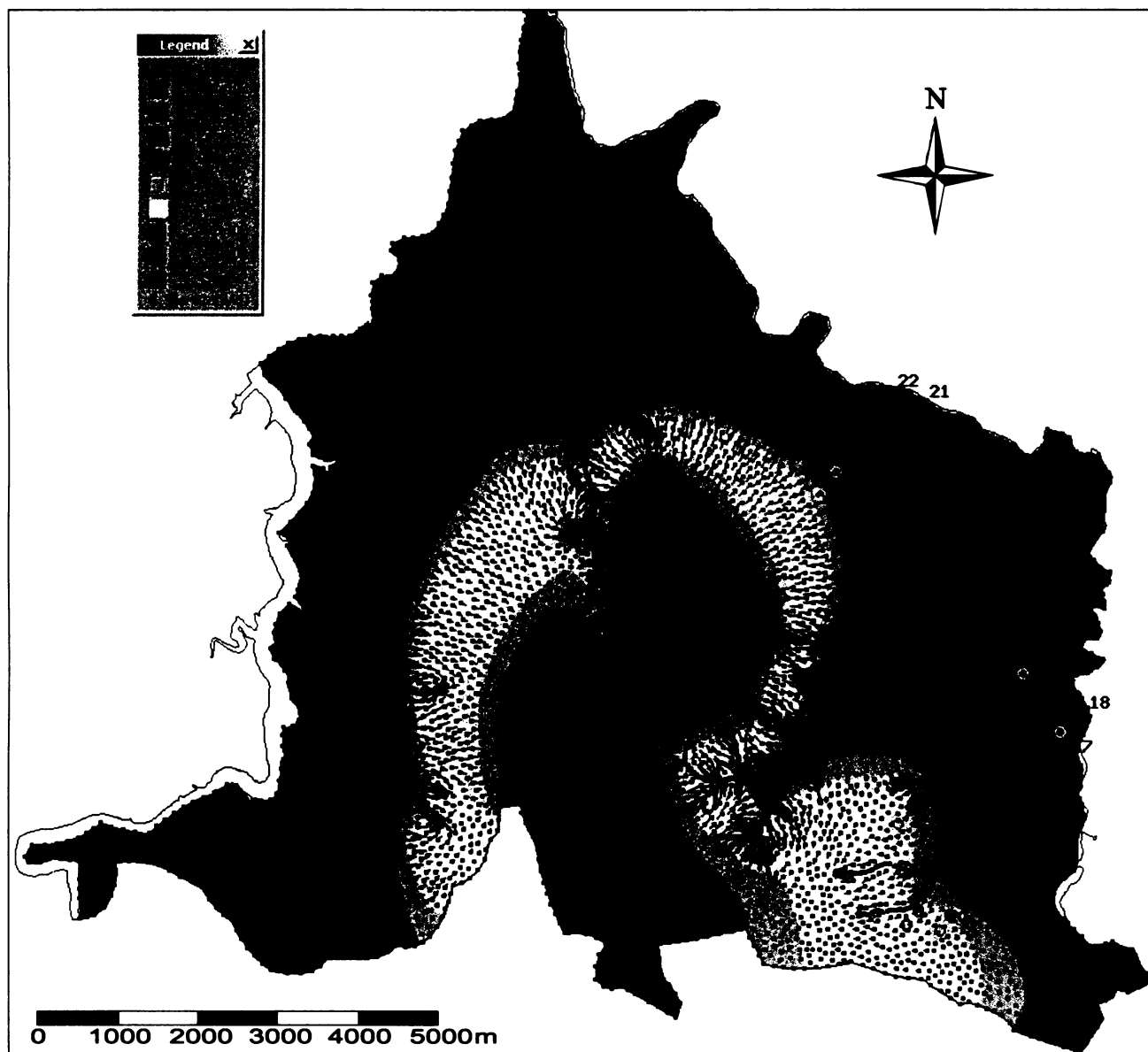
4.7 Hydraulické výšky v sedmé modelové vrstvě



Barevné kroužky s čísly na obrázku jsou pozorovací objekty. Byly použity k určení průměrné hodnoty hustoty toku.

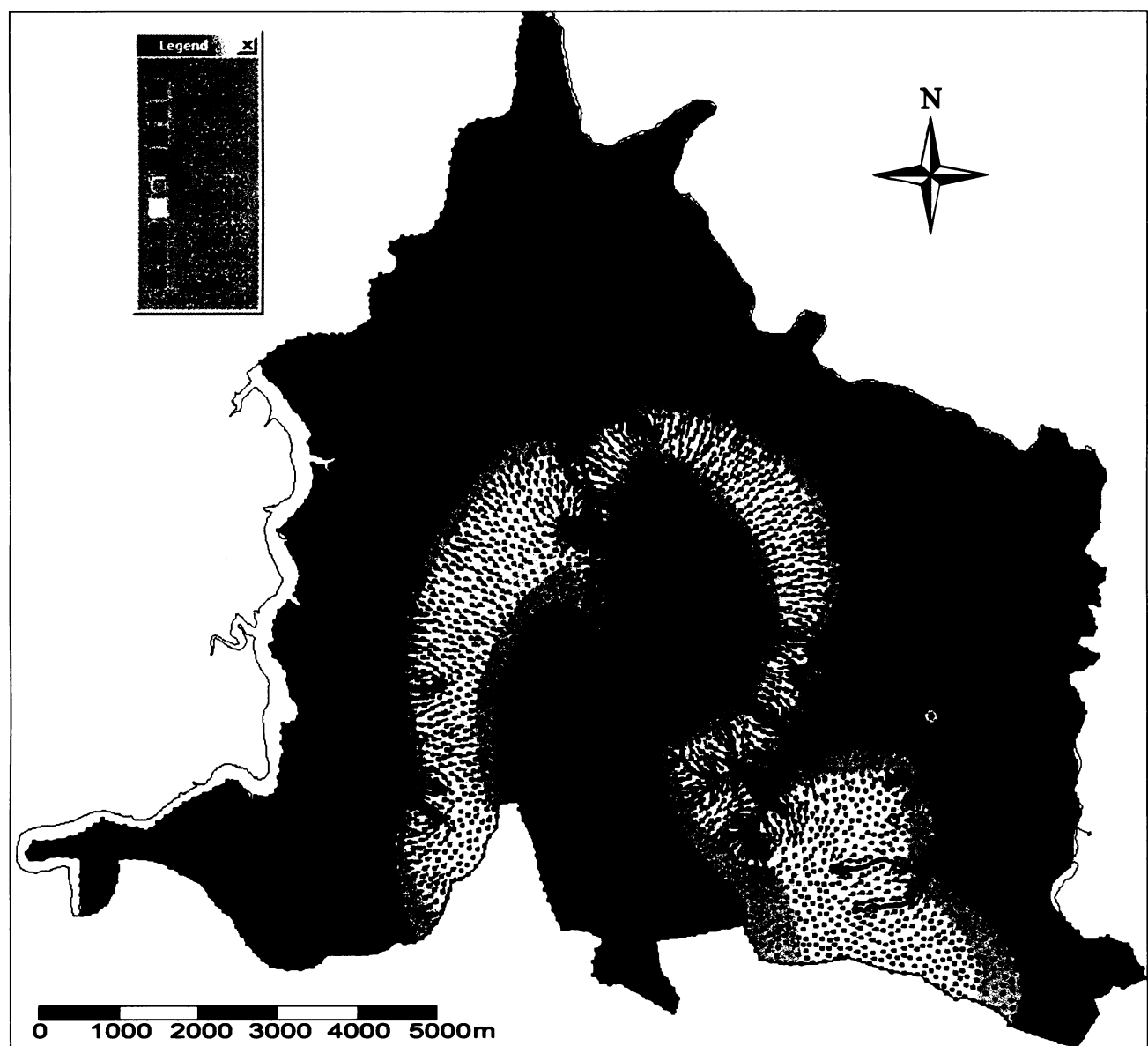
Příloha 5: Směry a velikosti vektoru objemové hustoty tok a hydraulické výšky

5.1 Pro první modelovou vrstvu



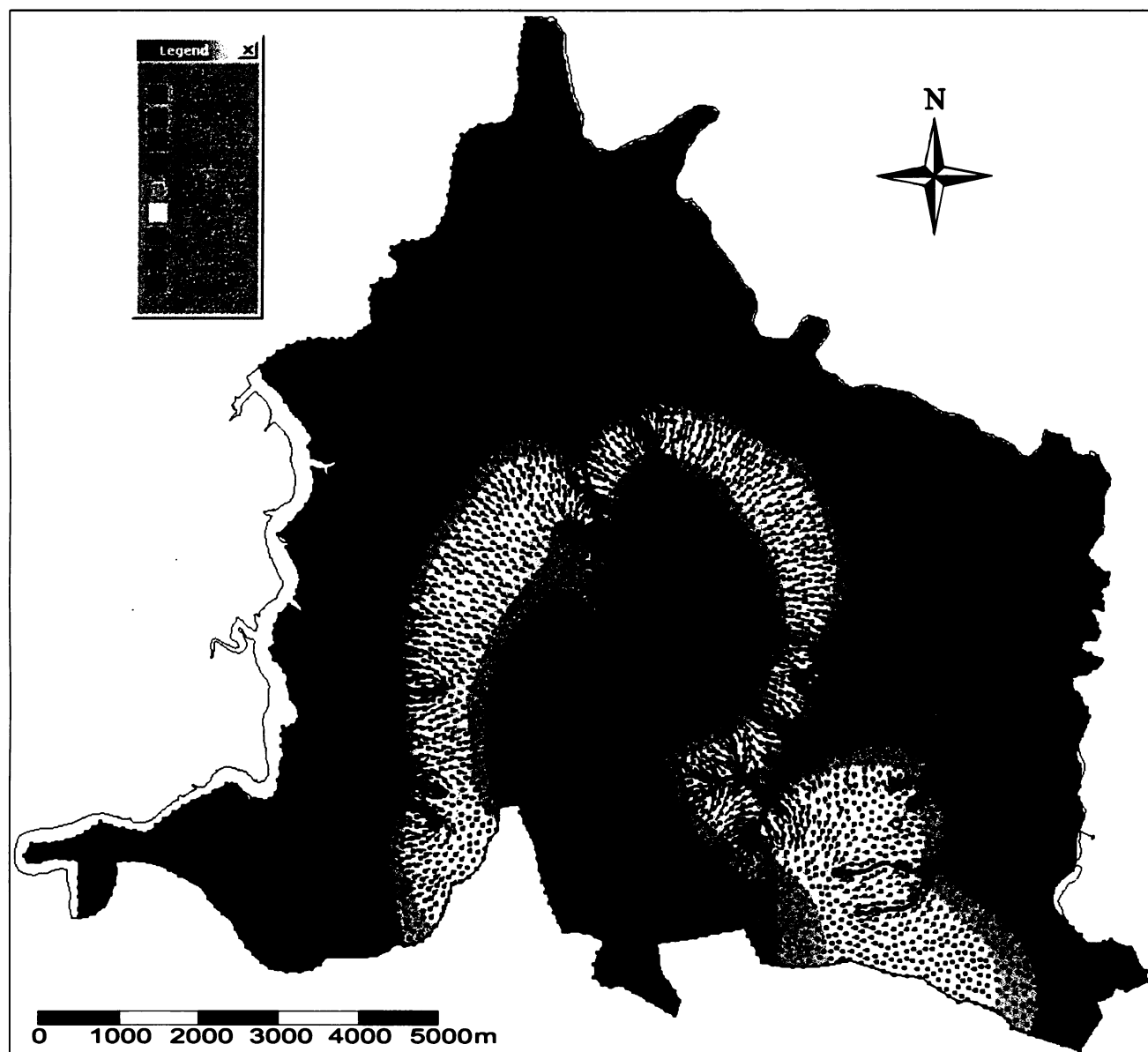
Barevné kroužky s čísly na obrázku jsou pozorovací objekty. Objekty od 1 do 31 jsou studny, podle kterých byla dělána kalibrace. Ostatní pozorovací objekty slouží k určení průměrné hodnoty hustoty toku.

5.2 Pro druhou modelovou vrstvou



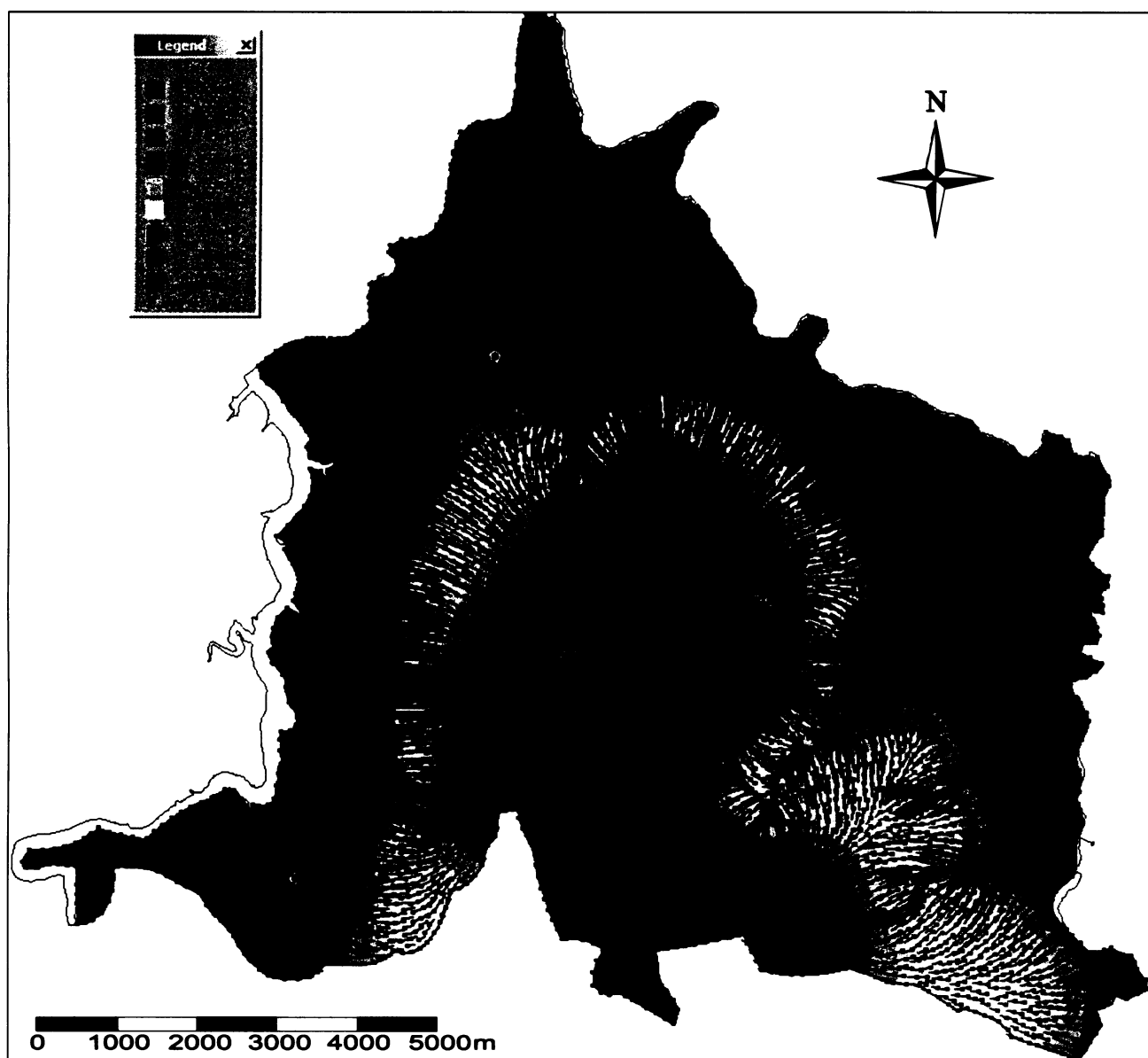
Barevné kroužky s čísly na obrázku jsou pozorovací objekty. Byly použity k určení průměrné hodnoty hustoty toku.

5.3 Pro třetí modelovou vrstvu



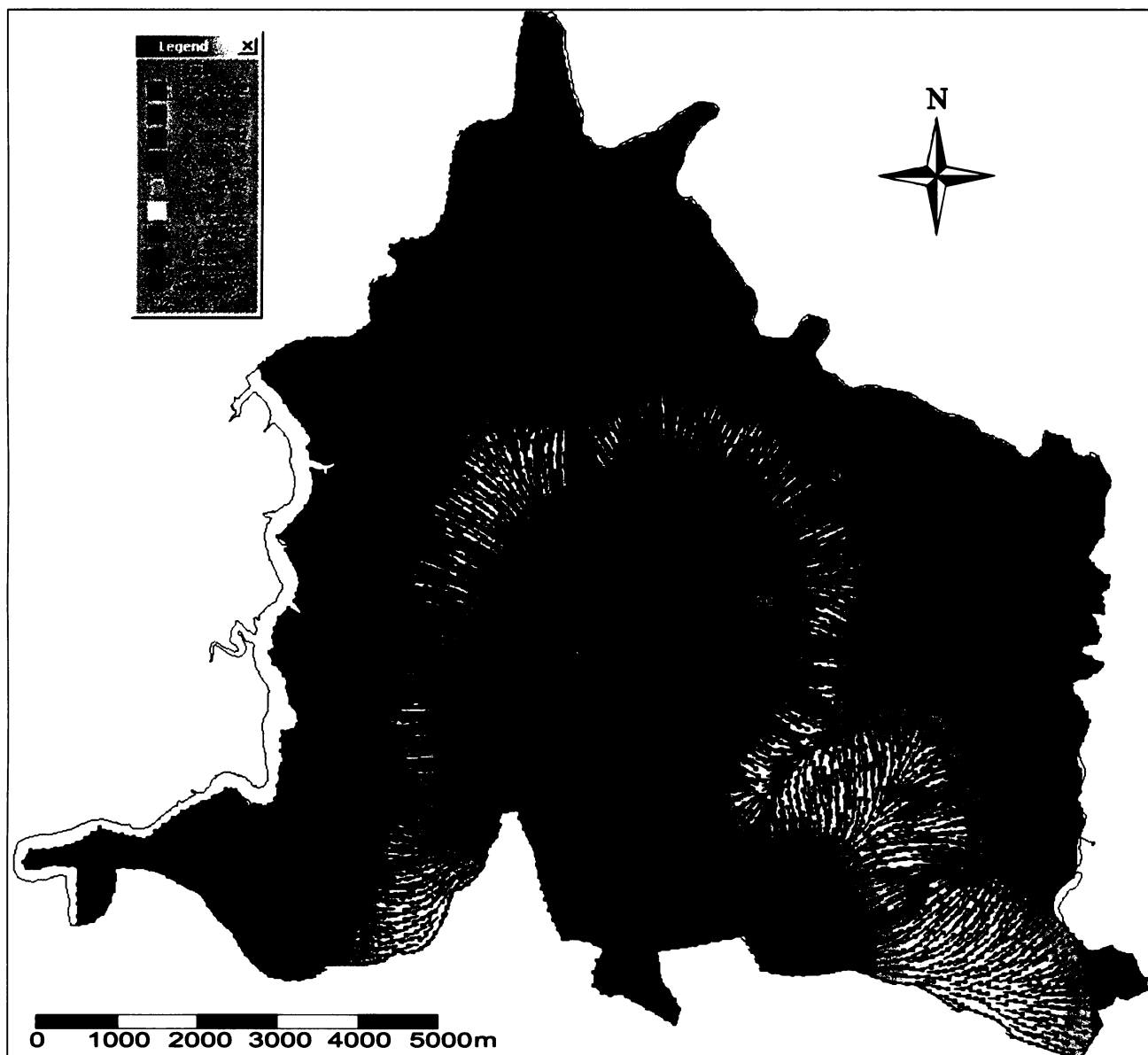
Barevné kroužky s čísly na obrázku jsou pozorovací objekty. Byly použity k určení průměrné hodnoty hustoty toku.

5.4 Pro čtvrtou modelovou vrstvu



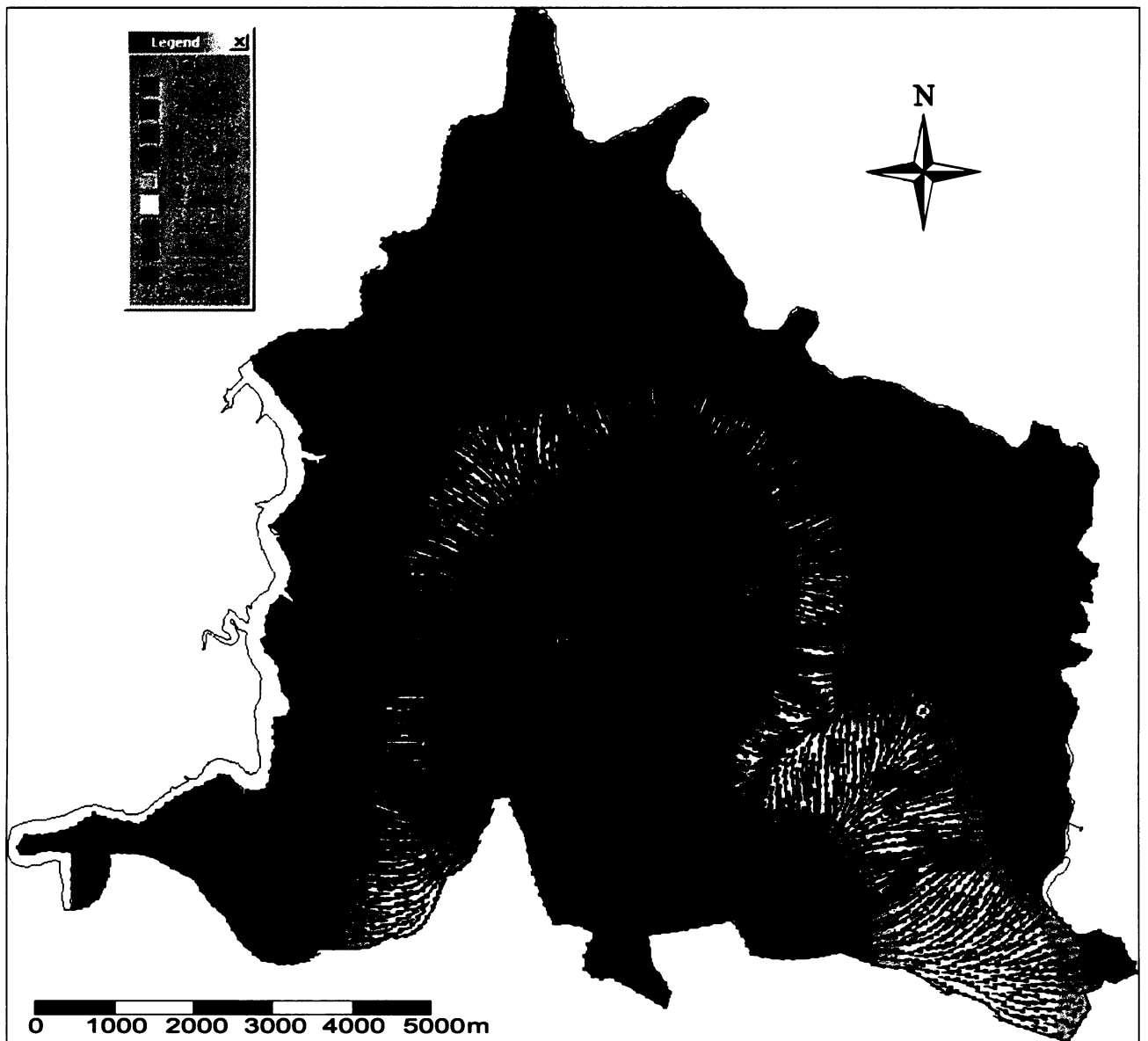
Barevné kroužky s čísly na obrázku jsou pozorovací objekty. Byly použity k určení průměrné hodnoty hustoty toku.

5.5 Pro pátou modelovou vrstvou



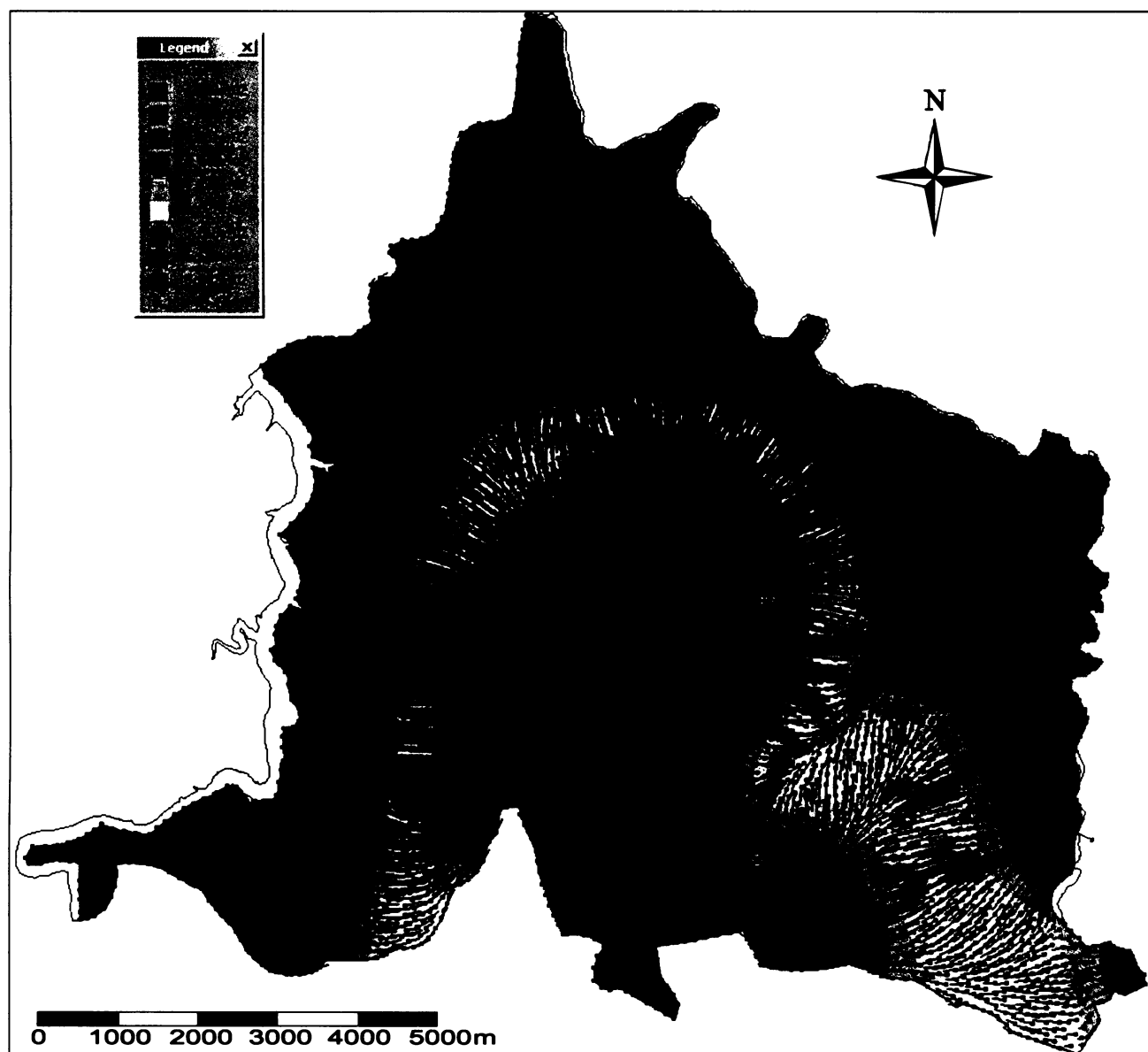
Barevné kroužky s čísly na obrázku jsou pozorovací objekty. Byly použity k určení průměrné hodnoty hustoty toku.

5.6 Pro šestou modelovou vrstvu



Barevné kroužky s čísly na obrázku jsou pozorovací objekty. Byly použity k určení průměrné hodnoty hustoty toku.

5.7 Pro sedmou modelovou vrstvou



Barevné kroužky s čísly na obrázku jsou pozorovací objekty. Byly použity k určení průměrné hodnoty hustoty toku.

Příloha 6: Informace o pozorovacích objektech použitých při kalibraci

Číslo studny	Lokalita	č. mapy 1:10 000	Relativní souřadnice S-JTSK		Nadmořská výška m n. m.	Hloubka objektu	Výška odměrného bodu nad terénem (m)	Hloubka hladiny od o.b. (m)
			Y	X				
1	Meziklasí	23-21-06	-682945	-1100966,1	469,5	4,1	0,7	3,3
2	Trpíšovice č.p. 15	23-21-06	-684245	-1099009,5	460,0	3,5	1,2	1,4
3	Koňkovice Remuta	23-21-06	-682892	-1099910,6	408,0	3,4	2,4	2,4
4	Mstislavice	23-12-10	-686264	-1097893,8	430,5	2,9	0,4	0,9
5	Mstislavice	23-12-10	-685892	-1098505,4	462,5	2,9	0,8	1,9
6	Kouty č.p. 66	23-12-10	-686533	-1100266,8	537,0	4,4	1,1	1,1
7	Řečice	23-21-16	-682223	-1105203,7	503,0	2,4	0,4	1,4
8	Řečice	23-21-16	-682286	-1105216,4	506,0	2,6	0,3	1,7
9	Řečice	23-21-16	-682849	-1105328,1	526,0	2,6	0,4	1,4
10	Řečice	23-21-16	-682420	-1105407	510,0	2,6	0,6	1,4
11	Horní Paseky	23-12-15	-686927	-1102224	576,0	1,7	0,6	0,6
12	Dobrá Voda	23-12-15	-685122	-1102953,9	563,0	3,9	0,3	3,6
13	Dobrá Voda	23-12-15	-685077	-1103011,5	555,0	1,8	0,1	1,3
14	Dobrá Voda	23-12-15	-685076	-1102977	557,0	1,4	0,4	0,7
15	Dolní Město	23-21-11	-681392	-1102263,7	456,0	3,8	0,4	3,4
16	Dolní Město	23-21-11	-681722	-1102168,1	461,0	3,0	0,7	1,0
17	Dolní Město	23-21-11	-680865	-1103333	447,0	2,6	0,4	1,0
18	Dolní Město	23-21-11	-680659	-1102794,1	431,0	3,7	0,4	3,2
19	Bystré	23-21-11	-682421	-1104269,8	502,0	2,5	0,8	1,5
20	Smrčná chata č 101	23-21-06	-682262	-1099467,6	416,0	8,5	0,5	5,3
21	Smrčná č.p. 5	23-21-06	-682640	-1099003,2	386,0	6,7	0,6	3,1
22	Smrčná č.p. 7	23-21-06	-683026	-1098881	385,0	6,4	0,3	5,3
23	Koňkovice č.p. 19	23-21-06	-683925	-1100084,9	514,0	5,9	-0,5	5,1
24	Horní Paseky	23-12-15	-686971	-1102287,6	588,0	5,9	0,3	5,0
25	Rejčkov	23-12-15	-686314	-1102405,2	596,0	5,7	0,6	5,5
26	Dolní Město	23-21-11	-681233	-1102380,3	446,0	7,0	0,3	4,8
27	Dolní Město č.p.209	23-21-11	-681311	-1102776,7	449,0	6,6	0,0	1,5
28	Veliká	23-12-10	-685936	-1097366,9	421,0	13,3	0,4	5,3
29	Kouty	23-12-10	-687202	-1099412,3	497,0	12,0	0,5	10,0
30	Dolní Město č.p.239	23-21-11	-680995	-1103046,2	446,0	16,0	0,5	6,4
31	Dolní Město	23-21-11	-680926	-1102985,3	441,0	24,0	0,5	2,9

Příloha 7: Výsledky jednotlivých variant

Číslo studny v modelu	Změřené hodnoty (m)	Varianta 1		Varianta 2		Varianta 3		Varianta 4	
1	466,9	456,3	-10,6	457,2	-9,7	457,2	-9,7	457,2	-9,7
2	459,8	443,2	-16,5	444,4	-15,4	444,4	-15,4	444,4	-15,4
3	408	409,3	1,3	408,8	0,8	408,8	0,8	408,9	0,9
4	430	422,2	-7,8	421,8	-8,2	421,8	-8,2	421,8	-8,2
5	461,4	455,2	-6,2	455,6	-5,8	455,6	-5,8	455,5	-5,9
6	537	539,3	2,3	539,0	2,0	539,0	2,0	539,0	2,0
7	502	492,7	-9,3	492,6	-9,4	492,6	-9,4	492,5	-9,5
8	504,6	494,5	-10,1	494,5	-10,1	494,5	-10,1	494,5	-10,1
9	525	511,6	-13,4	512,2	-12,8	512,2	-12,8	512,1	-12,9
10	509,2	499,7	-9,5	499,9	-9,3	499,9	-9,3	499,9	-9,3
11	576	571,7	-4,3	572,9	-3,1	572,9	-3,1	572,8	-3,2
12	559,7	548,5	-11,2	549,8	-9,9	549,8	-9,9	549,7	-10,0
13	553,8	546,1	-7,7	548,5	-5,3	548,5	-5,3	548,5	-5,3
14	556,7	547,1	-9,6	549,0	-7,7	549,1	-7,6	549,0	-7,7
15	453	441,3	-11,7	441,2	-11,8	441,2	-11,8	441,3	-11,7
16	460,7	446,6	-14,1	446,8	-13,9	446,8	-13,9	446,9	-13,8
17	446,4	445,5	-0,9	445,0	-1,4	445,0	-1,4	445,0	-1,4
18	428,3	432,4	4,1	431,9	3,6	431,9	3,6	431,9	3,6
19	501,3	491,6	-9,7	492,6	-8,7	492,6	-8,7	492,5	-8,8
20	411,2	397,5	-13,7	397,1	-14,1	397,1	-14,1	397,3	-13,9
21	383,5	383,3	-0,2	382,4	-1,1	382,4	-1,1	382,5	-1,0
22	380	380,3	0,3	379,8	-0,2	379,8	-0,2	379,8	-0,2
23	508,4	489,3	-19,1	492,8	-15,6	492,8	-15,6	492,6	-15,8
24	583,3	573,0	-10,3	574,5	-8,8	574,5	-8,8	574,4	-8,9
25	591,1	575,1	-16,0	576,4	-14,7	576,5	-14,6	576,2	-14,9
26	441,5	439,3	-2,2	439,1	-2,4	439,1	-2,4	439,2	-2,3
27	447,5	442,6	-4,9	442,3	-5,2	442,3	-5,2	442,3	-5,2
28	416,1	402,1	-13,9	402,6	-13,7	402,4	-13,7	402,4	-13,7
29	487,5	485,0	-2,5	485,3	-2,2	485,3	-2,2	485,2	-2,3
30	440,1	442,3	2,2	441,9	1,8	441,9	1,8	442,0	1,9
31	438,6	440,1	1,5	439,7	1,1	439,7	1,1	439,7	1,1
Chyba¹ (m³/d)		2,7		-3,3		4,65		-3,58	
Průměrná hodnota (m)			-7,21939		-6,82004		-6,8193		-6,82652

¹ Plusové hodnoty znamenají větší vstup vody do modelu než výstup, záporné znamenají opak.

Číslo studny v modelu	Změřené hodnoty (m)	Varianta 5		Varianta 6		Varianta 7	
1	466,9	457,2	-9,7	458,7	-8,2	458,7	-8,2
2	459,8	444,8	-15,0	450,5	-9,3	452,3	-7,5
3	408	408,8	0,8	409,0	1,0	408,9	0,9
4	430	421,7	-8,3	424,4	-5,6	423,6	-6,4
5	461,4	455,9	-5,5	461,7	0,3	463,5	2,1
6	537	539,0	2,0	538,9	1,9	539,1	2,1
7	502	492,7	-9,3	500,5	-1,5	501,9	-0,1
8	504,6	494,7	-9,9	502,2	-2,4	503,7	-1,0
9	525	512,5	-12,5	516,9	-8,1	518,5	-6,5
10	509,2	500,2	-9,0	508,4	-0,8	510,7	1,5
11	576	573,2	-2,8	574,1	-1,9	575,2	-0,8
12	559,7	550,0	-9,7	552,3	-7,4	553,0	-6,7
13	553,8	548,6	-5,2	551,4	-2,4	551,1	-2,7
14	556,7	549,2	-7,5	551,7	-5,0	551,8	-4,9
15	453	441,1	-11,9	450,0	-3,0	450,6	-2,4
16	460,7	446,8	-13,9	456,6	-4,1	457,8	-2,9
17	446,4	444,8	-1,6	447,6	1,2	446,7	0,3
18	428,3	431,8	3,5	433,0	4,7	432,5	4,2
19	501,3	492,7	-8,6	495,2	-6,1	495,3	-6,0
20	411,2	396,6	-14,6	403,4	-7,8	401,1	-10,1
21	383,5	382,2	-1,	383,6	0,1	382,9	-0,6
22	380	379,6	-0,4	380,5	0,5	380,0	-0,0
23	508,4	493,6	-14,8	497,3	-11,1	500,2	-8,2
24	583,3	574,8	-8,5	576,1	-7,2	577,4	-5,9
25	591,1	577,0	-14,1	579,2	-11,9	581,8	-9,3
26	441,5	438,9	-2,6	446,5	5,0	446,5	5,04
27	447,5	442,2	-5,3	446,1	-1,4	446,0	-1,5
28	416,1	402,4	-13,7	405,2	-10,9	405,1	-11,0
29	487,5	485,4	-2,1	490,6	3,1	491,8	4,3
30	440,1	441,7	1,6	444,8	4,7	443,8	3,7
31	438,6	439,4	0,8	442,5	3,9	441,4	2,8
Chyba (m³/d)		1,46		5,02·10⁻¹		-9,88·10⁻¹	
Průměrná hodnota (m)			-6,74619		-2,90473		-2,45182

Číslo studny v modelu	Změřené hodnoty (m)	varianta 8		varianta 9		varianta 10	
1	466,9	459,5	-7,4	457,2	-9,7	458,7	-8,2
2	459,8	456,9	-2,9	444,7	-15,1	452,3	-7,5
3	408	409,0	1,0	408,8	0,8	408,9	0,9
4	430	424,7	-5,3	421,7	-8,3	423,6	-6,4
5	461,4	468,3	6,9	455,8	-5,6	463,5	2,1
6	537	539,2	2,2	539,0	2,0	539,1	2,1
7	502	507,8	5,8	492,7	-9,3	502,2	0,2
8	504,6	509,3	4,8	494,6	-10	504,0	-0,6
9	525	522,3	-2,7	512,4	-12,6	518,9	-6,0
10	509,2	517,3	8,1	500,1	-9,1	511,0	1,8
11	576	576,3	0,4	573,1	-2,9	575,2	-0,8
12	559,7	554,7	-5,0	549,9	-9,8	553,8	-5,9
13	553,8	551,9	-1,9	548,6	-5,2	551,4	-2,4
14	556,7	553,0	-3,7	549,2	-7,5	552,4	-4,3
15	453	456,4	3,4	441,1	-11,9	451,5	-1,5
16	460,7	464,5	3,8	446,8	-13,9	458,8	-1,9
17	446,4	447,9	1,5	444,9	-1,5	447,4	1,0
18	428,3	432,9	4,6	431,8	3,5	432,7	4,4
19	501,3	496,7	-4,6	492,6	-8,7	496,1	-5,2
20	411,2	403,5	-7,7	396,7	-14,5	401,1	-10,1
21	383,5	383,3	-0,2	382,3	-1,2	382,9	-0,6
22	380	380,1	0,1	379,7	-0,3	380,0	-0,0
23	508,4	503,9	-4,5	493,3	-15,1	500,2	-8,2
24	583,3	578,9	-4,4	574,7	-8,6	577,4	-5,9
25	591,1	584,9	-6,2	576,8	-14,3	582,0	-9,1
26	441,5	451,1	9,6	439,0	-2,5	447,3	5,8
27	447,5	448,3	0,8	442,2	-5,3	446,8	-0,7
28	416,1	406,7	-9,4	402,4	-13,7	405,1	-11,0
29	487,5	495,7	8,2	485,4	-2,1	491,8	4,3
30	440,1	445,	5,0	441,8	1,6	444,5	4,4
31	438,6	442,5	3,9	439,5	0,9	442,1	3,5
Chyba (m³/d)		-4,67·10⁻²		-9,64·10⁻¹		2,5·10⁻¹	
Průměrná hodnota (m)			0,131494		-6,77184		-2,12895

Příloha 8: Velikosti vektoru objemové hustoty toku – varianta 10

Číslo slice	Číslo pozorovacího bodu v modelu	Hydraulická výška (m)	v_x (m/ d)	v_y (m/ d)	v_z (m/ d)	v (m/ d)	v (m/ rok)	v (m/100 let)	v (m/100 000 let)
7	32	5,69E+02	-7,20E-06	7,52E-06	-2,71E-06	1,08E-05	3,93E-03	3,93E-01	3,93E+02
	33	4,58E+02	-9,62E-07	7,41E-06	-1,02E-06	7,54E-06	2,75E-03	2,75E-01	2,75E+02
	34	4,54E+02	7,25E-06	2,75E-05	-1,80E-06	2,85E-05	1,04E-02	1,04E+00	1,04E+03
	35	4,66E+02	2,64E-05	1,77E-05	-2,79E-06	3,19E-05	1,17E-02	1,17E+00	1,17E+03
	36	4,38E+02	-1,62E-06	9,75E-06	-1,46E-06	9,99E-06	3,65E-03	3,65E-01	3,65E+02
	37	4,81E+02	5,89E-06	7,95E-06	-2,09E-06	1,01E-05	3,69E-03	3,69E-01	3,69E+02
	38	5,08E+02	1,22E-05	6,18E-06	-2,08E-06	1,38E-05	5,04E-03	5,04E-01	5,04E+02
	39	5,43E+02	8,83E-06	1,87E-05	-2,92E-07	2,07E-05	7,55E-03	7,55E-01	7,55E+02
	40	5,70E+02	2,14E-05	4,22E-06	-6,29E-06	2,27E-05	8,30E-03	8,30E-01	8,30E+02
	41	4,34E+02	-1,53E-05	1,21E-05	3,16E-06	1,98E-05	7,21E-03	7,21E-01	7,21E+02
				průměr	1,76E-05	6,42E-03	6,42E-01	6,42E+02	
6	42	5,71E+02	-3,18E-05	3,96E-05	-1,79E-05	5,39E-05	1,97E-02	1,97E+00	1,97E+03
	43	4,59E+02	-3,49E-06	3,66E-05	-6,58E-06	3,73E-05	1,36E-02	1,36E+00	1,36E+03
	44	4,55E+02	3,59E-05	1,39E-04	-1,11E-05	1,44E-04	5,24E-02	5,24E+00	5,24E+03
	45	4,68E+02	1,39E-04	8,99E-05	-1,88E-05	1,66E-04	6,07E-02	6,07E+00	6,07E+03
	46	4,38E+02	-1,26E-05	4,71E-05	-8,84E-06	4,95E-05	1,81E-02	1,81E+00	1,81E+03
	47	4,82E+02	2,95E-05	3,97E-05	-1,32E-05	5,11E-05	1,87E-02	1,87E+00	1,87E+03
	48	5,09E+02	6,20E-05	2,63E-05	-1,37E-05	6,87E-05	2,51E-02	2,51E+00	2,51E+03
	49	5,43E+02	4,18E-05	1,06E-04	-2,39E-06	1,14E-04	4,14E-02	4,14E+00	4,14E+03
	50	5,73E+02	1,12E-04	2,79E-05	-3,81E-05	1,21E-04	4,43E-02	4,43E+00	4,43E+03
	51	4,32E+02	-7,22E-05	6,48E-05	2,65E-05	1,01E-04	3,67E-02	3,67E+00	3,67E+03
				průměr	9,06E-05	3,31E-02	3,31E+00	3,31E+03	
5	52	5,72E+02	-1,31E-04	2,08E-04	-1,02E-04	2,66E-04	9,73E-02	9,73E+00	9,73E+03
	53	4,60E+02	-1,00E-05	1,79E-04	-2,94E-05	1,82E-04	6,64E-02	6,64E+00	6,64E+03
	54	4,56E+02	1,73E-04	6,98E-04	-4,47E-05	7,21E-04	2,63E-01	2,63E+01	2,63E+04
	55	4,69E+02	7,33E-04	4,79E-04	-9,59E-05	8,81E-04	3,22E-01	3,22E+01	3,22E+04
	56	4,39E+02	-7,42E-05	2,28E-04	-3,91E-05	2,43E-04	8,88E-02	8,88E+00	8,88E+03
	57	4,83E+02	1,48E-04	1,97E-04	-7,05E-05	2,56E-04	9,35E-02	9,35E+00	9,35E+03
	58	5,10E+02	3,12E-04	1,02E-04	-7,73E-05	3,38E-04	1,23E-01	1,23E+01	1,23E+04
	59	5,43E+02	1,83E-04	6,11E-04	-2,86E-05	6,39E-04	2,33E-01	2,33E+01	2,33E+04
	60	5,77E+02	6,06E-04	1,95E-04	-2,21E-04	6,74E-04	2,46E-01	2,46E+01	2,46E+04
	61	4,30E+02	-3,61E-04	3,40E-04	1,59E-04	5,21E-04	1,90E-01	1,90E+01	1,90E+04
				průměr	4,72E-04	1,72E-01	1,72E+01	1,72E+04	
4	62	5,74E+02	-1,82E-04	3,47E-04	-2,52E-04	4,66E-04	1,70E-01	1,70E+01	1,70E+04
	63	4,60E+02	-6,95E-06	2,93E-04	-7,10E-05	3,02E-04	1,10E-01	1,10E+01	1,10E+04
	64	4,57E+02	2,73E-04	1,17E-03	-8,26E-05	1,21E-03	4,40E-01	4,40E+01	4,40E+04
	65	4,71E+02	1,27E-03	8,79E-04	-1,70E-04	1,56E-03	5,68E-01	5,68E+01	5,68E+04
	66	4,39E+02	-1,25E-04	3,76E-04	-9,61E-05	4,07E-04	1,49E-01	1,49E+01	1,49E+04
	67	4,84E+02	2,44E-04	3,22E-04	-1,75E-04	4,40E-04	1,61E-01	1,61E+01	1,61E+04
	68	5,11E+02	5,18E-04	1,25E-04	-1,96E-04	5,68E-04	2,07E-01	2,07E+01	2,07E+04
	69	5,44E+02	7,74E-05	1,15E-03	5,79E-06	1,15E-03	4,20E-01	4,20E+01	4,20E+04
	70	5,80E+02	1,20E-03	4,40E-04	-6,00E-04	1,41E-03	5,16E-01	5,16E+01	5,16E+04
	71	4,28E+02	-3,56E-04	7,10E-04	5,38E-04	9,59E-04	3,50E-01	3,50E+01	3,50E+04
				průměr	8,47E-04	3,09E-01	3,09E+01	3,09E+04	

Číslo slice	Číslo pozorovacího bodu v modelu	Hydraulická výška (m)	v_x (m/ d)	v_y (m/ d)	v_z (m/ d)	v (m/ d)	v (m/ rok)	v (m/100let)	v (m/100 000 let)
3	72	5,77E+02	-5,16E-04	1,22E-03	-3,03E-04	1,36E-03	4,95E-01	4,95E+01	4,95E+04
	73	4,61E+02	4,06E-05	1,24E-03	-1,52E-04	1,25E-03	4,57E-01	4,57E+01	4,57E+04
	74	4,57E+02	1,07E-03	5,08E-03	-4,27E-04	5,21E-03	1,90E+00	1,90E+02	1,90E+05
	75	4,72E+02	5,56E-03	4,18E-03	-6,04E-04	6,98E-03	2,55E+00	2,55E+02	2,55E+05
	76	4,40E+02	-4,43E-04	1,35E-03	-1,70E-04	1,43E-03	5,22E-01	5,22E+01	5,22E+04
	77	4,85E+02	9,10E-04	1,16E-03	-2,75E-04	1,50E-03	5,48E-01	5,48E+01	5,48E+04
	78	5,13E+02	1,76E-03	2,41E-04	-3,82E-04	1,82E-03	6,64E-01	6,64E+01	6,64E+04
	79	5,43E+02	-1,08E-03	4,64E-03	1,21E-03	4,92E-03	1,79E+00	1,79E+02	1,79E+05
	80	5,91E+02	7,42E-03	2,82E-03	-1,31E-03	8,04E-03	2,94E+00	2,94E+02	2,94E+05
	81	4,23E+02	2,25E-03	4,99E-03	7,70E-04	5,53E-03	2,02E+00	2,02E+02	2,02E+05
				průměr	3,80E-03	1,39E+00	1,39E+02	1,39E+05	
2	82	5,77E+02	-8,83E-04	2,10E-03	-2,75E-04	2,29E-03	8,37E-01	8,37E+01	8,37E+04
	83	4,61E+02	7,89E-05	2,20E-03	-2,36E-04	2,21E-03	8,08E-01	8,08E+01	8,08E+04
	84	4,57E+02	1,84E-03	9,00E-03	-6,47E-04	9,21E-03	3,36E+00	3,36E+02	3,36E+05
	85	4,72E+02	9,94E-03	7,26E-03	-9,19E-04	1,23E-02	4,50E+00	4,50E+02	4,50E+05
	86	4,40E+02	-7,67E-04	2,33E-03	-2,42E-04	2,46E-03	8,99E-01	8,99E+01	8,99E+04
	87	4,85E+02	1,58E-03	2,01E-03	-3,39E-04	2,58E-03	9,40E-01	9,40E+01	9,40E+04
	88	5,13E+02	3,01E-03	3,81E-04	-5,23E-04	3,08E-03	1,12E+00	1,12E+02	1,12E+05
	89	5,42E+02	-1,58E-03	7,94E-03	2,70E-03	8,53E-03	3,11E+00	3,11E+02	3,11E+05
	90	5,91E+02	1,33E-02	5,02E-03	-1,86E-03	1,44E-02	5,25E+00	5,25E+02	5,25E+05
	91	4,23E+02	4,87E-03	9,60E-03	-5,13E-04	1,08E-02	3,93E+00	3,93E+02	3,93E+05
				průměr	6,79E-03	2,48E+00	2,48E+02	2,48E+05	
1	92	5,77E+02	-8,83E-04	2,10E-03	-2,65E-04	2,29E-03	8,36E-01	8,36E+01	8,36E+04
	93	4,61E+02	7,95E-05	2,20E-03	-2,71E-04	2,22E-03	8,09E-01	8,09E+01	8,09E+04
	94	4,57E+02	1,80E-03	9,02E-03	-3,83E-04	9,21E-03	3,36E+00	3,36E+02	3,36E+05
	95	4,72E+02	9,94E-03	7,23E-03	-9,77E-04	1,23E-02	4,50E+00	4,50E+02	4,50E+05
	96	4,40E+02	-7,85E-04	2,33E-03	-2,90E-04	2,47E-03	9,00E-01	9,00E+01	9,00E+04
	97	4,85E+02	1,58E-03	2,01E-03	-3,48E-04	2,58E-03	9,40E-01	9,40E+01	9,40E+04
	98	5,13E+02	3,01E-03	3,77E-04	-5,61E-04	3,08E-03	1,12E+00	1,12E+02	1,12E+05
	99	5,42E+02	-1,55E-03	7,95E-03	3,13E-03	8,69E-03	3,17E+00	3,17E+02	3,17E+05
	100	5,91E+02	1,33E-02	5,03E-03	-2,05E-03	1,44E-02	5,25E+00	5,25E+02	5,25E+05
	101	4,23E+02	5,10E-03	9,71E-03	-1,31E-03	1,10E-02	4,03E+00	4,03E+02	4,03E+05
					průměr	6,83E-03	2,49E+00	2,49E+02	2,49E+05

