Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta,
Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užité geofyziky

Vliv klimatických změn na transmisivitu malého povodí Na Lizu

Diplomová práce

Emílie Nedvědová

Vedoucí diplomové práce: Doc. RNDr. Zbyněk Hrkal, CSc.

Praha 2006

Poděkování:

Chtěla bych poděkovat především svému vedoucímu práce Doc. RNDr. Zbyňku Hrkalovi CSs. za trpělivost a vedení při práci.

Dále bych ráda poděkovala Mgr. Jiřímu Bruthansovi a Mgr. Zdeňku Vilhelmovi za cenné rady a připomínky, Mgr. Tomáši Ondovčinovi a Doc. RNDr. Jiřímu Mlsovi za pomoc při zpracování hydraulického modelu.

Dále bych ráda poděkovala Ing. Miroslavu Tesařovi CSc. z Ústavu hydrodynamiky ČSAV za poskytnutí dat monitoringu odtoku a srážek povodí Na Lizu a také RNDr. Janu Doležalovi a RNDr. Evě Novotné z Českého hydrometeorologického ústavu Praha za pomoc při výběru a poskytnutí hydrometeorologických dat.

Abstrakt

Dopad klimatických změn na podmínky životního prostředí je jednou z nejdiskutovanějších otázek dnešní doby. Projekt KLIMAHYD se zabývá otázkou těchto změn na hydraulické parametry v prostředí krystalinika. Diplomová se jako součást projektu zabývá podmínkami malého povodí Na Lizu v oblasti Šumava. V období prosinec 2004 - březen 2006 zde byla soustavně měřena piezometrická výška a teplota na 4 pozorovacích vrtech, po dvou umístěných v oblasti drenážní a infiltrační.

Konkrétní hodnoty transmisivity a koeficientu filtrace byly stanoveny na základě vyhodnocení čerpacích a stoupacích zkoušek provedených na jaře 2006. Hodnoty parametrů byly použity při kalibraci a tvoření hydraulického modelu. Výsledky modelu potvrzují předpoklad: Na snížení průměrného ročního množství srážek reagují vrty umístěné v oblasti infiltrační silným poklesem průměrné roční úrovně hladiny podzemní vody, zatímco v oblasti drenážní se hladiny snižují velmi pomalu. Důsledkem je snížení hydraulického gradientu a transmisivity.

Abstract

Effect of climate changes on environmental is one of the most disputable actual issues. Project KLIMAHYD focused on the effect of hydraulic parameters changes in Hardrock. This theses, as a part of mentioned project, describes the conditions of small catchment Na Lizu, situated in Southern part of Czech republic in Šumava Mts. Piezometric level and temperature has been measured since december 2004 in 4 observation boreholes(2 deep, 2 shallow), in drainage and infiltration area. Values of hydraulic parameters were assessing from pumping tests (spring 2006).

These values were used for hydraulic model calibration. Model results proof first hypothesis: Water level in boreholes located in infiltration area react more extremely after decrease of recharge then water level in infiltration zone. The decrease of hydraulic gradient between infiltration and dreanige area and change in value of transmissivity represents the additional effect.

OBSAH

1. Úvod.....7

1.1. Projekt KLIMAHYD.....8

1.2. Způsob řešení a cíle diplomové práce.....10

1.2.1. Rešeršní část.....10

1.2.2. Praktická část.....11

2. Problematika klimatických změn.....12

2.1. Metody vytváření regionálních scénářů klimatické změny.....12

2.1.1.Klimatický scénář.....12

2.1.2. Klimatické modely.....13

2.1.3. Projekce budoucího klimatu.....16

2.2. Scénáře změny klimatu pro ČR.....16

2.2.1 Sledované parametry a jejich zdroje.....17

2.2.2. Porovnání dat.....18

2.2.3. Výsledky dat.....19

2.3. Dosavadní simulace odtoku podle předpokládaných scénářů změny klimatu...20

2.3.1. Princip řešení.....22

2.3.2. Popis modelů.....23

2.3.3. Výsledky modelů.....23

2.4. Změny u zdrojů povrchových vod.....26

2.5. Změny zdrojů podzemních vod.....27

2.5.1. Závěr.....28

3. Hardrock, transmisivita.....30

3.1. Hardrock.....30

3.2. Transmisivita a její klasifikace.....33

3.2.1. Transmisivita v podmínkách HardRock.....33

3.2.2. Zdroje podzemní vody v Hardrock.....36

4. Charakteristika území.....37
4.1. Hledisko geografické a topografické.....37
4.2. Hledisko geologické.....38
4.3. Hledisko hydrogeologické.....38
4.4. Hledisko prozkoumanosti z již dříve dělaných projektů.....40
5. Metodika prací.....42
5.1. Terénní práce.....42
5.1.1. Informace o vrtech.....42
5.1.2. Sledované veličiny a k tomu sloužící měřící přístroje.....43
5.1.3. Hydrodynamické zkoušky.....44
5.1.3.1. Čerpací a stoupací zkoušky.....44
5.1.3.2. Infiltrační zkoušky.....45
5.2. Metodika statistické a modelové části.....46
5.2.1.Model topografický 3D a jeho význam.....46
5.2.2 Model hydraulický.....47
5.2.2.1. Konceptuální model.....47
5.2.2.2. Model FEFLOW.....48
6. Výstupy měřených parametrů.....50
6.1. Průběh hladin pozorovaných ve vrtech.....50
6.2. Průběh teplot.....53
7. Průběh a výstupy hydrodynamických zkoušek.....55
7.1. Čerpací a stoupací zkoušky.....55
7.1.1. Čerpací a stoupací zkouška 4-6. května 2006.....55
7.1.2. Čerpací a stoupací zkouška 12-14. května 2006.....57
7.1.3. Čerpací a stoupací zkouška 2-4. června 2006.....59
7.2. Infiltrační zkoušky.....61
7.2.1. Infiltrační zkoušky 2-4. května 2006.....61
7.2.2. Infiltrační zkoušky 12-14. května 2006.....63
7.2.3. Infiltrační zkoušky 2-4. června 2006.....64

8. Korelace s již měřenými daty CHMU.....65
8.1. Dlouhodobý trend hladiny podzemní vody vs. rok 2005.....65
8.2. Dlouhodobý trend úhrnu srážek vs. rok 2005.....67
8.3. Dlouhodobý trend teploty vs. rok 2005.....68
9. Výstupy hydraulického modelu.....69
9.1. Tvorba hydraulického modelu.....69
9.2. Kalibrace hydraulického modelu.....70
9.3. Výstupy hydraulického modelu.....71
9.4. Simulace klimatických anomálií.....73
10. Diskuse.....74
11. Závěr.....76
12. Použitá literatura.....77

1. Úvod

K jednomu z nejčastějších témat dnešní moderní doby patří bezesporu otázka životního prostředí, kvality přirozených zdrojů Země, ke kterým v neposlední řadě patří i zdroje podzemní vody. Se zdroji podzemní vody úzce souvisí také problematika globálního oteplování. Vzhledem k povodním v roce 2002 ve střední Evropě a následně extrémně suchému roku 2003 se touto otázkou začala důkladněji zabývat i Česká republika. Sucho v roce 2003 způsobilo vážné vodohospodářské problémy v celé republice. Mezi nejvíce postižené oblasti patří území krystalinika, které představuje takřka ¾ rozlohy Čech.

Specifickým rysem této oblasti, které je převážně tvořeno morfologicky členitým horským prostředím, je tvorba a proudění podzemní vody jen v poměrně mělkém kolektoru zvětralin a rozpojení puklin, jehož mocnost se většinou pohybuje jen v prvních desítkách metrů. Za normálních klimatických podmínek vyšší srážkové úhrny a vysoké hydraulické gradienty způsobené členitou morfologií způsobují značnou dynamiku proudění podzemní vody. Velikost podzemního odtoku v hornatých oblastech krystalinika se velmi často pohybuje v rozmezí 10 až 15 l/s.km^2 (Krásný et al . 1982).

Nicméně takovéto prostředí s menšími akumulačními možnostmi hydrogeologických kolektorů je na dlouhodobý pokles srážek výrazně citlivější než na hlubší pánevní oběh a tato jeho vlastnost se projeví rychlým poklesem využitelných vydatností. Navíc dochází k nižší tvorbě podzemního odtoku, na němž jsou v delších bezdeštných obdobích zcela závislé průtoky povrchových vodních toků. Tyto skutečnosti se v nedávné minulosti v plné míře projevily na rozsáhlých územích České republiky.

Touto otázkou se začal zabývat IAH(International Association of hydrogeologists), kde v roce 1994 vznikla samostatná pracovní skupina zaměřená na tzv. Hardrocks. V rámci této skupiny jsou řešeny kvantitativní i kvalitativní problémy tzv. zpevněných (puklinově porézních) hornin a výsledky jsou reprezentovány a publikovány na pravidelných workshopech.

Vyvrcholením dosavadní aktivity této skupiny byla mezinárodní konference IAH Groundwater in Fractured Rocks, kterou za účasti více než 200 odborníků z celého světa organizoval v září 2003 řešitelský tým projektu KLIMAHYD. Z příspěvků přednesených na této konferenci jasně vyplynul celosvětový trend akcentující význam

krystalinika, jako významného zdroje podzemních vod, ale současně zdůrazňující i problémy spojené s dopady klimatických změn.

Tato diplomová práce je součástí projektu KLIMAHYD. Jejím úkolem je zpracování jeho úvodních etap. Pro správné pochopení obsahu diplomové práce, jsou v následující kapitole uvedeny základní myšlenky a principy řešení celého projektu. Text následující kapitoly je převzat ze zadání projektu KLIMAHYD.

1.1.Projekt KLIMAHYD

Projekt KLIMAHYD vznikl a je pokračováním předchozích projektů, zabývajících se problematikou podzemního odtoku a transmisivity krystalinika. Jedná se o projekty LOWGREP a Modellhafte geowissenschaftliche Untresuchungen in Raum VohenstrauB (Hrkal et al. 2004). Cílem těchto projektů byla snaha o zohlednění extrémně nízkých srážkových úhrnů v roce 2003. Tím byly odkryty nové možnosti řešení dané problematiky. Výsledkem projektů bylo kromě jiného úspěšné testování metody stanovení podzemního odtoku podzemní vody v mělkém připovrchovém kolektoru krystalinika z morfometrických charakteristik.(Krásný, Kněžek, 1977). Tohoto metodického postupu využívající předností Geografického informačního systému (Buchtele et al., 2003) je podmíněno splněním tří faktorů:

1) Hladina PV se nachází v úrovni prvních metrů pod terénem a je víceméně konformní se sklonem terénu
2) K proudění podzemní vody dochází především v mělké připovrchové zóně zvětralin a rozpojení puklin
3) Jako zóny drenáže podzemních vod fungují místní vodní toky.

Jedná se v podstatě o modifikaci Darcyho zákona.

$$\mathbf{Q = k.I.F \text{ resp. } Q = T.I.l} \qquad (1.1)$$

I- hydraulický gradient je nahrazen sklonem terénu

l - délka profilu představuje délka drenážní sítě místních vodních toků

F- průtočný profil, k- koeficient hydraulické vodivosti

T- transmisivita – součin koeficientu filtrace a mocnosti kolektoru

Podzemní voda přitéká do toku z obou stran údolí, proto je přítok podzemní vody do úseku toku o délce l dvojnásobný oproti rovnici (1.1)

$$\mathbf{Q = 2T.I.l} \qquad (1.2)$$

Schematizovaně potom: $\mathbf{Qsum = 2.T\_.I\_lsum}$ (1.3)

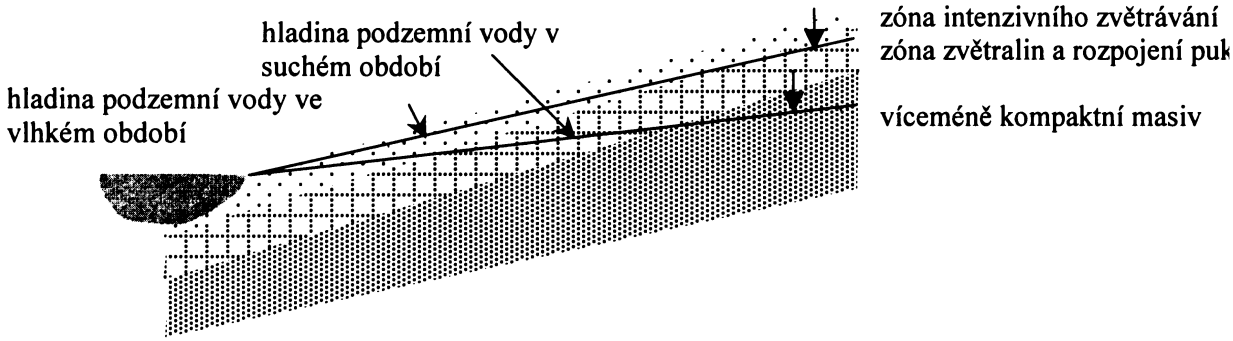
Qsum- celkový přítok, Isum- celková délka úseků toků

T_- průměrná transmisivita, I_- průměrný hydraulický gradient

Popsaný metodický postup charakterizuje horní limit velikosti podzemního odtoku, to znamená hodnotu, která odpovídá období s dostatkem atmosférických srážek. Tehdy je splněna jedna z hlavních podmínek použitelnosti dané metody - hladina podzemní vody je konformní s terénem. V období déletrvajícího sucha se však situace mění, zatímco v drenážní oblasti zůstává hladina podzemní vody v úrovni hladiny ve vodním toku, na svazích v oblasti infiltrace hladina podzemní vody postupně zaklesává. Tím dochází ke změně hydraulického gradientu.

Pokles hladiny podzemní vody má však ještě další důsledek. Použitá hodnota transmisivity v modelovém řešení představuje určitou schematizaci. Předpokládá totiž, že transmisivita je ve vertikálním profilu připovrchové zóny homogenní. Transmisivita však ve skutečnosti představuje součet transmisivit různě propustných zvodněných poloh – součinů jejich mocnosti a odpovídajících hydraulických vodivostí.

Charakteristickým rysem krystalinika je pokles propustnosti s hloubkou. Zaklesávání hladiny podzemní vody proto nejen mění hydraulický gradient, mocnost saturované zóny a tím také velikosti transmisivity, ale jeho důsledkem je i pokles průměrné hodnoty koeficientu filtrace celého zvoněného profilu a tedy další zmenšování transmisivity.



Obr. 1.1. Schéma změn vyvolaných poklesem hladiny podzemní vody v připovrchové zóně krystalinika

Dosavadní výstupy, které nezohledňovaly problematiku změn hydraulického gradientu tedy vyjadřovaly maximální hodnoty podzemního odtoku při nejvyšších stavech hladiny. Použitá metodika je však schopna připravit a mapově prezentovat i scénáře vývoje v případě suchých období.

Překážkou pro řešení zadaného problému je v současné době absence dat o změnách piezometrického napětí v připovrchovém kolektoru v infiltrační a v drenážní oblasti v závislosti na změnách infiltrace. Jako optimální se jeví získání těchto dat na menším experimentálním povodí, které poskytne kompletní obraz o všech faktorech ovlivňujících odtokové poměry podzemní vody.

1.2. Způsob řešení a cíle diplomové práce

1.2.1. Rešeršní část

Obsahem diplomové práce je zkoumání vlivu klimatických změn na transmisivitu prostředí podzemních vod krystalinika. Vzhledem k této skutečnosti se rešeršní část diplomové práce soustředí na objasnění pojmů a principů, které posloužili jako podklad při řešení práce. V kapitole 2.1. bude vysvětlen pojem „ klimatická změna“ s přechodem ke stručné charakteristice České republiky, jak z hlediska geografického tak i hydrologického. Následující část si klade za cíl nastínit postupy při vytváření klimatických scénářů za pomoci klimatických modelů a jejich výběr pro účely České republiky. Závěr kapitoly obsahuje informace o aplikaci scénářů na odtokové podmínky České republiky a na předpověď jejich změn . Text se opírá především o poznatky získané v programu “ Územní studie změny klimatu České republiky”.

Kapitola 3. podává základní charakteristiku pojmu “transmisivita“ a její chování v prostředí Hardrock.

1.2.2. Praktická část

Jak již bylo řečeno na konci kapitoly 1.1., překážkou pro řešení projektu KLIMAHYD je absence dat. Právě tuto část projektu si klade za cíl vyřešit praktická část mé diplomové práce. V předchozích projektech se do řešení dosazovaly regionální odhady transmisivity a modelové hladiny odvozené z morfologie terénu.

Nyní jsem tato data získala dlouhodobým měřením přímo na experimentálním povodí Na Lizu na Šumavě, které je součástí sítě GEOMON, koordinované Českou geologickou službou.

Praktická část diplomové práce si klade za cíl zpracování a srovnání takto získaných dat s ostatními hydrometeorologickými charakteristikami. Hlavním cílem praktické části je pomocí hydraulického modelu dokázat a popsat chování hladin a transmisivity za nepříznivých klimatických podmínek podle předpokladu uvedeného v kapitole 1.1. povodí Na Lizu.

2. Problematika klimatických změn

Mezi nejzávažnější ekologickou hrozbu současnosti patří bezesporu změna klimatu vyvolaná lidskou činností, zejména spalováním velkého množství fosilních paliv. Od předindustriálního období(tj. asi od roku 1750) vyvolává růst koncentrace atmosférických skleníkových plynů pozitivní radiační zátěž (jednoduchá charakteristika mechanizmu možné změny klimatu - energetická bilance soustavy Země- atmosféra vyjádřená ve $W.m^{-2}$) klimatu, jejímž následkem je tendence k oteplování zemského povrchu a k dalším změnám klimatu. Jedná se především o koncentrace CO_2, CH_4, N_2O. Většina skleníkových plynů setrvává v atmosféře po dlouho dobu (CO_2 a N_2O po několik desetiletí až století) a proto způsobují dlouhodobou radiační zátěž.(Kalvová, 1995)

Zápornou radiační zátěž vyvolávají antropogenní aerosoly, které vznikají spalováním fosilních paliv a biomasy. Vliv aerosolu může být v určitých lokalitách tak velký, že může překompenzovat pozitivní radiační zátěž vyvolanou skleníkovými plyny. (Moldan, Sobíšek a kol,1996). Jakýkoli vliv člověka na klima se prolíná se „ šumem"pozadí, tj. s přirozenou proměnlivostí klimatu, která je závislá jak na vnitřních fluktuacích klimatického systému tak na vnějších vlivech, jakými jsou např. změny sluneční aktivity nebo vulkanické erupce. IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) vypracoval řadu scénářů budoucího vývoje emisí skleníkových plynů a prekurzorů aerosolů v období 1990-2100 založených na odhadech demografického ekonomického vývoje, změn ve využívání půd, změn v technologiích a v používaných palivech.

2.1. Metody vytváření regionálních scénářů klimatické změny

2.1.1.Klimatický scénář

= souhrn klimatologických informací definující jeden možný vývoj, popř. stav klimatického systému, ucelený a vnitřně konzistentní, prostorově kompatibilní, vhodný jako vstup do impaktních modelů.

= odpověď na otázku: co se s klimatickým systémem může stát, narušíme-li jeho radiační rovnováhu růstem koncentrací skleníkových plynů v atmosféře.

Metody k vytváření regionálních scénářů klimatických změn:

1) Analýza skutečných podmínek realizovaných v minulosti(tzv. empirické metody)
   - zachyceny přístrojovým pozorováním nebo např. proxy daty
2) Výstupy klimatických modelů, především globálních nebo polokulových modelů všeobecné cirkulace atmosféry(ACGM) spojených s jednoduchým modelem oceánu.

Tyto cirkulační modely se běžně označují zkratkou GCM(General Circulation Model).

2.1.2. Klimatické modely

Ideální klimatický model :

1) by měl vycházet z 3D popisu atmosférických a oceánických dějů
2) je schopen zachytit vznik a vývoj oblačných systémů
3) je schopen zachytit interakce mezi atmosférou a oceány
4) je schopen zachytit dynamiku sněhu, ledu v polární oblasti, vlivy biosféry atd.

Tento stav je však dosud nedosažitelný, nejvíce se k němu blíží trojrozměrné cirkulační klimatické modely. Atmosférickou složku těchto modelů tvoří trojrozměrný model atmosférické cirkulace (AGCM).

AGCM jsou postaveny na základních rovnicích (pohybové rovnice, zákony zachování energie, termodynamické rovnice), které je nutno numericky integrovat. Rovnice jsou časově integrovány (atmosféra - 20-30minut, oceán 3hod)(Kalvová a spol., 1995). Po určitém čase se modelovaný systém dostává do téměř rovnovážného stavu, několikaleté simulace v tomto kvasistacionárním stavu pak představují tzv. kontrolní klima. Většinou se jedná o simulace probíhající 10-20 modelových let.

Pro popsání nejrozličnějších procesů probíhajících v atmosféře, na rozhraní atmosféra-země, atmosféra-oceán apod. jejichž měřítko je menší než krok početní sítě bodů je nutné použít parametrizaci.

a) Sluneční radiace a radiační vliv oblačnosti
b) Tepelný tok
c) Korektní oblačnost
d) Půdní vlhkost

Jeden z nejzávažnějších problémů spočívá v propojení AGCM s oceánem.

Z tohoto důvodu dělíme klimatické modely, které uvažují interakce mezi atmosférou a:

1) Směšovací vrstvou oceánu- v úvahu pouze izotermická horní vrstva oceánů (30-70m), hlubší vrstvy zanedbány
2) Oceánem i v hlubších částech
   a) výměna tepla- mezi směšovací vrstvou + s hlubinami oceánu
   b) tzv."coupled"-komplexní model oceánické cirkulace(OGCM)

Z hlediska interpretace výsledků GCM pro konstrukci scénářů klimatické změny je nutno odlišit od sebe tzv.

1) Rovnovážné studie

- Výpočet s tzv. současnou koncentrací (300,300ppm)
- Následuje výpočet kontrolního klimatu, označované 1x CO_2 (simulace, klima, nebo samostatně)
- Opakovaný výpočet se zvýšenou koncentrací CO_2, obvykle na 2x CO_2
- Rozdíl představuje modelovou odezvu klimatického systému na radiační poruchu způsobenou nárůstem CO_2 v atmosféře
- Prováděny v současné době především s modely se směšovací vrstvou.
- Díky okamžitému nárůstu CO_2 na dvojnásobek nelze od rovnovážných studií očekávat simulaci vývoje klimatu při zvyšování postupném
- Radiační porucha vyvolaná růstem koncentrací skleníkových plynů v atmosféře se posud vyjadřuje jako efektivní CO_2- je to taková koncentrace CO_2, která by měla stejné radiační účinky jako koncentrace základních skleníkových plynů dohromady

2) Přechodové –transientní studie

- Experimenty prováděné se zdvojenými GCM a modely uvažující i hlubinné části oceánu
- Pro obnovení rovnováhy je zapotřebí dlouhého časového úseku, což činí tento experiment finančně náročný. Z tohoto důvodu může nastat skutečnost, že během omezené doby pozorování k rovnováze nestačí dojít a tudíž se nejedná o model „rovnovážný"
- Výsledná časová řada vykazuje pouze určitý trend

Rozdílná stavba GCM (různé parametrizace hydrologického cyklu, procesů v atmosféře, oceánu apod.) má za následek, že rovnovážná odezva jednotlivých modelů

na zdvojené koncentrace CO_2 v atmosféře je různá. Modely mají tzv. různou citlivost. S největší pravděpodobností lze očekávat rovnovážnou reakci teploty na zdvojnásobení obsahu CO_2 v atmosféře v rozmezí 1,5°C – 4,5°C, přičemž žádné z hodnot tohoto intervalu nelze připsat vyšší pravděpodobnosti (Houghton at. al., 1990)

Pro vyhodnocování dopadů klimatické změny zvolili experti pracovní skupiny IPCC za nejlepší odhad 2,5°C. (Houghton at. al., 1990). Světový oceán díky své obrovské tepelné kapacitě bude zpomalovat reálný průběh oteplování, po dlouhou dobu tzv. realizované oteplení bude dosahovat pouze části hodnoty rovnovážné, speciálně pokud je počítána klimatickým modelem s jednoduchým modelem oceánu. Na druhé straně, růst teploty bude pokračovat i po stabilizaci působící síly. Realizovaná hodnota oteplení závisí na citlivosti modelu (Hougton et al.1992, Haoughton et al. 1990). U modelů s vysokou citlivostí (kolem 4,5°C) představuje realizovaný vzestup teploty při dosažení dvojnásobné koncentrace CO_2 cca. 50-60% hodnoty rovnovážného vzestupu, u středně citlivých modelů asi 70% a při citlivosti modelu cca 1,5° C kolem 80%.

Podle způsobu numerické integrace se modely dělí do dvou skupin:

1) Gridové (GISS) - výpočty prováděny na diskrétní horizontální síti specificky rozložených uzlových bodů
2) Spektrální(CCCT32)- řešením je forma předepsaného počtu spektrálních vln

S rostoucím spektrálním číslem modelu roste jeho rozlišení. Vertikální souřadnice je pro obě skupiny modelů diskrétní. Charakteristický krok horizontální sítě je pro GCM 300-1000km, počet vertikálních hladin bývá v rozmezí 2-19.

Důležitými okrajovými podmínkami pro integraci AGCM jsou zejména sluneční energie na horní hranici atmosféry a její změny, orografie zemského povrchu a rozložení oceánů a pevnin, Albeno zemského povrchu, drsnost zemského povrchu, charakteristiky vegetace.

Na pracovním semináři organizovaném v rámci programu územních studií Spojených států ve Washingtonu, D. C, ve dnech 31.1.-4.2.1994 poskytli experti CSMT na disketách výstupy ze čtyř klimatických modelů a software umožňující jednoduchou manipulaci s těmito daty. Jednalo se o výstupy ze 3 rovnovážných klimatických cirkulačních modelů(GISS, CCCM, GFD30) a jednoho transientního modelu (GFD01).

2.1.3. Projekce budoucího klimatu

Pomocí modelů klimatických změn lze pak získat projekce budoucího klimatu:

1) Ze všech scénářů (rozčleněny podle předpokládaného množství emisí skleníkových plynů a aerosolů)- s odkazem na hodnotu citlivosti klimatu a koncentrace aerosolů vyšlo rozpětí změny teploty o 1-3,5°C k roku 2100 vzhledem k 1990. Ve všech případech bude průměrná rychlost pravděpodobně vyšší než byla v posledních 10 000letech. (Moldan, Sobíšek a kol,1996).
2) Všechny modelové situace předpokládají větší oteplení povrchu pevnin než moří v zimním období, největší oteplení povrchu ve vysokých zeměpisných šířkách v zimě, malé oteplení nad Antarktidou v létě, zesílení průměrného zemského hydrologického cyklu, vzrůst množství srážek a půdní vlhkosti ve vysokých zeměpisných šířkách v zimě
3) Očekává se, že celkové oteplení může vést k zesílení změn hydrologického cyklu. Na některých místech lze proto očekávat intenzivnější sucha, resp. povodně, na jiných místech naopak mírnější sucha i povodně. Z některých modelů vycházejí nárůsty intenzity srážek s možností zvýšení extremity dešťů.

2.2. Scénáře změny klimatu pro ČR

Otázkou aplikace výše zmíněných modelů na klimatickou situaci v ČR se blíže zabývala skupina pracující na projektu Element 2. Jelikož cílem této kapitoly není detailní popis postupu prací projektu Element 2, v následujících kapitolách se budu zabývat pouze základními informacemi a především jeho výsledky. (Kalvová, 1995)

Cílem části projektu bylo získat nezbytné informace o stavu klimatu v období 1961–1990(referenční období). Toto období představuje tzv. současný stav a je podle WMO(World Meteorological Organization) také posledním standardním obdobím.
Dalším krokem bylo umožnit porovnání výstupů modelů s klimatickými charakteristikami na území ČR. Zdrojem údajů byl ČHMÚ v Praze,který poskytl jednorázově řady měsíčních průměrů teploty vzduchu, měsíčních úhrnů srážek, ve dvou zásadních oblastech pak také denní průměry, maxima a minima teplot,
denní úhrny srážek a denní sumy globálního záření.

Data byla korelována, chybějící údaje doplněny (např. nepřímými metodami u chybějících, nepřesných údajů, u atmosférických srážek metodou vícenásobné lineární regrese aj.) Z těchto dat dále umožnit aplikaci navrženého scénáře klimatické změny v oblasti ČR a poskytnout údaje pro zjišťování citlivosti vybraných sektorů na výkyvy a změny klimatu.

2.2.1 Sledované parametry a jejich zdroje

a) Teploty vzduchu

Údaje byly poskytnuty z ČHMÚ celkem na 57 klimatologických stanicích. Průměrná nadmořská výška použitých stanic je 479 m.n.m. V pásmu od 180-300m leží 29% stanic. Od 301 do 500m leží 35%, od 501-800m 18% a ve výškách nad 800m leží 18% stanic. (Kalvová, 1995)

b) Atmosférické srážky

Údaje byly poskytnuty na celkem 92 srážkoměrných stanicích. Ty byly vybrány tak, aby podle možnosti staniční sítě ČHMU umožňovaly analýzu srážkových úhrnů na orograficky velmi členitém území ČR. Především v horských oblastech však může dostupná síť měření stěží vyčerpávajícím způsobem popsat složité srážkové poměry, které lze předpokládat. Aby data byla srovnatelná, na 24 stanicích bylo nutno provést odhad chybějících hodnot. (Kalvová, 1995)

c) Globální záření

Pro vyhodnocování dopadů klimatických změn na zemědělství bylo nutno pro vybrané stanice v oblasti středních Čech a jižní Moravy získat datové soubory denních sum globálního záření za referenčí období 1961-1990. Pouze 2 z těchto stanic jsou zařazeny do radiační sítě ČHMU(Hradec Králové a Kuchařovice), na kterých se provádějí přímá měření globálního záření. Radiační síť vytvořená z 11 profesionálních stanic začala fungovat od 1.1.1984. Proto se pro vybrané stanice radiační sítě rekonstruovala řada sum globálního záření zpětně do roku 1964. Pomocí těchto údajů a výsledků předchozího výzkumu prostorového rozložení globálního záření v ČSSR vytvořit statistickými postupy datové soubory pro ty stanice, které byly do zmíněné studie zahrnuty a pro zbývající stanice odvodit údaje pomocí prostorové interpolace. (Kalvová, 1995)

2.2.2. Porovnání dat

Data k porovnání vhodnosti použití klimatických scénářů pro ČR byla dodána výstupy modelů zmíněných v předchozí kapitole. Z výše zmíněných modelů byly k dispozice pouze měsíční průměry teplot (°C), průměrné úhrny srážek v daném měsíci(mm/den) a hodnoty globálního záření (W/m^2), vše ve formě průměrných hodnot pro jednotlivé měsíce roku za celé modelové kontrolní klima.Součástí databáze byl i soubor hodnot klimatologických údajů obsahující reálná data z meteorologických stanic transformovaná do sítě uzlových bodů. Tento soubor hodnot je označován jako CLIM.

U teplot nejlepší výsledky dávaly modely CCCM a GISS, u polí srážek(oblast západní a střední Evropy) model GFD30. Model GISS relativně vyhovoval u obou klimatických charakteristik, proto byl nakonec zvolen jako základní varianta pro scénář klimatické změny pro ČR. Druhým modelem byl zvolen CCCM. (Kalvová, 1995)
V tabulce 2.1. jsou uvedeny základní charakteristiky obou modelů.

Parametr	CCCM	GISS
Model	Spektrální model se 32 vlnami	diferenční
Oceán	Směšovací vrstva průměr 50m hluboká, závislé na roční době a poloze, zahrnut transport tepla, konvergence tepla pod ledovci, tok je parametrizován tak, aby rozložení ledovců v kontrolním klimatu odpovídalo skutečnosti	Směšovací vrstva- průměr 65m hluboká, hloubka se mění v závislosti na roční době a zeměpisné šířce, transport tepla je zahrnut
Současná koncentrace CO2	330 ppm	315 ppm
Denní chod	ano	ano
Globální změna teploty	3,5°C	4,2°C
Globální změna srážek	+3,8%	+11%

Tab.2.1.. Základní charakteristiky klimatických modelů(Kalvová 1995)

V jisté míře tak GISS hraje ve scénáři roli horního odhadu změn a CCCM spodního odhadu. Rozpětí hodnot je však malé. Součástí řešení byla také prostorová proměnlivost modelových hodnot na základě rozdílů hodnot v gridových bodech ležících v ČR, nebo jejím okolí a také ročního chodu veličin hodnotami CLIM v nejbližších bodech (viz. obr 2.1.)

Obr. 2.1. Rozložení gridových bodů jednotlivých modelů(Kalvová 1995)
G1,GC - GISS (SRN- Eienach, PL –Olsztyn)
C1,C2,C3 - CCCM (SRN – Sonnenberg, ČR- Nymburk, Pl – Katowice)

Výběr nejvhodnějších gridových bodů vyplynul z porovnání mezi výstupy GCM a průměrnými teplotními a srážkovými poměry ČR. U modelu GISS byly zařazeny průměry z bodů G1 a G2. U modelu CCCM potom hodnoty z bodu C2(leží uvnitř ČR). Posledním krokem bylo hlazení hodnot. Jedním z důvodů byl například nevyrovnaný chod teplotních diferencí u všech modelů, kde u sousedních bodů docházelo ke skoku až o 3°C. (Kalvová, 1995)

Na křivce nového průměrného ročního chodu tak docházelo k obtížně vysvětlitelným zlomům. Hlazení se týkalo pouze teplotních chodů a nikoli srážkových. Hodnoty globálního záření byly použity pouze při vyhodnocování dopadů klimatické změny v zemědělství

2.2.3. Výsledky dat

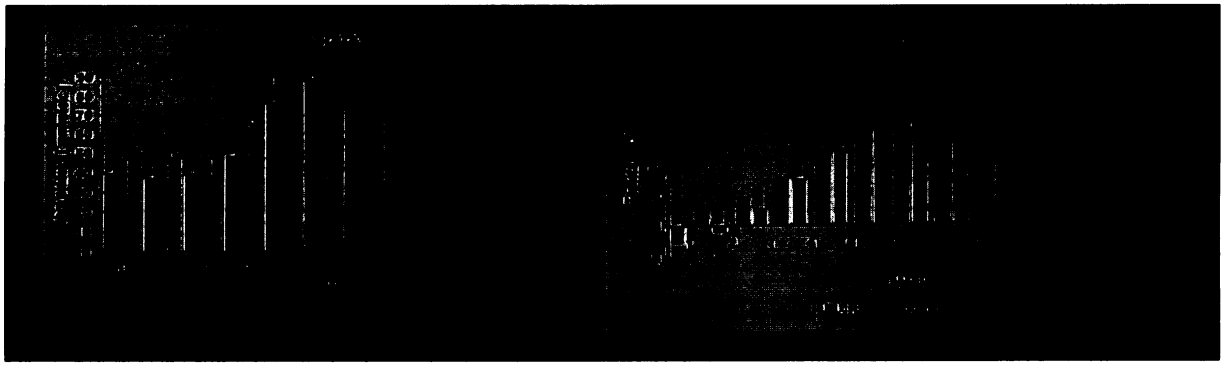
Scénář klimatické změny obsahuje 2 varianty:

1) založena na modelu GISS
2) založena na modelu CCCM

V tabulce 2.2. jsou vedeny modelové změny hodnot ročního průměru teplot a úhrnu srážek v letech 2010, 2030a 2075(Kalvová, 1995)

Parametr	Rok	Varianta scénáře	
		GISS	CCCM
Změna ročního průměru teploty[°C]	2010	0,98	0,72
	2030	1,96	1,44
	2075	4,2	3,1
Změna ročního úhrnu srážek[%]	2010	1,038	1,016
	2030	1,075	1,033
	2075	1,16	1,07

tab2.2. Scénář změn teploty a srážek pro rok 2010,2030 a 2075((Kalvová, 1995)



Obr.2.2.Aplikace scénářů GISS a CCCM na průměrné teploty a srážky v ČR (Kalvová, 1995)

Jak vyplývá z obr. 2.2., varianta GISS předpokládá větší oteplení v zimě (cca o 41%) a menší v létě (cca o 35%) (Kalvová, 1994).

Choulostivým místem těchto scénářů klimatických změn a odhadů jejich dopadů je skutečnost, že scénáře obsahují většinou pouze odhady změn průměrných hodnot primárních charakteristik, přičemž daleko větší vliv mohou mít změny četnosti výskytu extremních jevů.

2.3. Dosavadní simulace odtoku podle předpokládaných scénářů změny klimatu

Otázkou dopadů možných klimatických změn na hydrologii a vodní zdroje v České republice se stejně jako v předchozí kapitole zabýval projekt "Územní studie změny klimatu pro českou republiku, Element 2". V následujícím textu budou objasněny postupy při řešení této skupiny a také výsledky projektu.

Pro úvahy o vlivu předpokládané klimatické změny na hydrologický režim a vodní zdroje bylo potřebná zpracování založit buď na podrobné analýze dat z celého státního území, anebo na datových souborech z jeho reprezentativních dílčích oblastí. Pro tyto účely byla vybrána 3 povodí v ČR s předpokladem, že výsledky lze extrapolovat pro území s obdobnými klimatickými a hydrogeologickými podmínkami.

Byl zvolen postup kombinující výsledky z největšího povodí v ČR- povodí Labe po Děčín s výsledky několika menších povodí, u kterých byla k dispozici data a která mohou sloužit jako typy některých hydrologických režimů, viz. Tab. 2.3a a 2.3b. Dostupnost dat ovlivnila i délku užitých řad.

Povodí	Charakter hydrologického režimu
Želivka	Povodí v pahorkatině, v krystaliniku, střední úhrn srážek, podzemní vody bez velké akumulace
Úpa	Horské povodí, bohaté na srážky, významná akumulace vody ve sněhu
Metuje	Povodí s velmi významnou složkou podzemního odtoku

Tab.2.3a Povodí vybraná pro reprezentaci různých typů hydrologického režimu(Kalvová, 1995)

Povodí	Plocha po profil (km2)	Období	Průměrná teplota	Průměry bilančních veličin(mm)		
				srážka	odtok	Potenc. Evapotr.
Labe po Děčín	50 761,7	1961-1990	7,22	683	197	597
Želivka po Soužíce	1 188,6	1931-1990	6,92	673	186	580
Úpa po Českou Skalici	460,69	1931-1972	5,83	938	460	509
Metuje po Maršov	93,92	1961-1990	5,83	813	352	523

Tab.2.3b. Základní charakteristiky vybraných povodí(Kalvová, 1995)

Povodí Želivky po Soutice leží ve středních nadmořských výškách a je tedy představitelem odtokových poměrů v pahorkatině. K jeho výběru přispěla skutečnost, že z nádrže v jeho dolní části je zásobována Praha pitnou vodou. Použitá odtoková řada je složena z úseku založeného na přímém pozorování v Dolních Kralovicích a z úseku, který byl sestaven rekonstrukcí bilance objemů vody v nádrži Soutice(po jejím uvedení do provozu).

Povodí Úpy po Českou Skalici zasahuje svou horní částí do nejvyšší oblasti České republiky, Krkonoš. Bylo proto vybráno jako reprezentant odtoku v horských a podhorských podmínkách. I zde k volbě přispěla skutečnost, že v závěru povodí je voda převáděna do nádrže Rozkoš.

Povodí Metuje po Maršov bylo zvoleno vzhledem k tomu, že je jedním z případů, kdy podstatnou část celkového odtoku tvoří podzemní odtok z křídové pánve. V povodí jsou situovány a plánovány významné odběry podzemní vody.

Základním důvodem pro takový postup bylo, že v uzavřeném povodí lze lépe zkoumat obecně platné faktory, které jsou rozhodující pro hydrologickou bilanci a její změny. To umožňuje také modelovat povodí jako systém, jehož vstupy jsou

atmosférické srážky, teploty vzduchu i další meteorologické veličiny významně ovlivňující územní výpar a výstupem je pak odtok z povodí.

2.3.1. Princip řešení

Vlastní model povodí je tvořen strukturou vztahů, které popisují rozdělování srážek mezi výpar, různé typy akumulace vody v povodí a základní složky odtoku. Tyto vztahy vycházejí ze schematizace reálných fyzikálních procesů a obsahují vždy určitý počet volných parametrů. Ty jsou při aplikaci modelu na konkrétní povodí obvykle určovány optimalizací tak, aby se modelovaný výstup pro pozorované řady vstupních veličin co nejvíce blížil pozorovanému průběhu odtoku.

Při řešení daného problému byly vybrány a použity hydrologické modely BILAN (původem z ČR),CLIRUN(Polsko) a SAC-SMA(USA(Hladný, 1996). Jejich aplikace se opírá o názor, že změna klimatu bezprostředně nezmění podstatné vlastnosti povrchu povodí
(např. způsob využití půdy). Tento předpoklad je oprávněný jen pro omezenou délku období, v němž změna bude působit. Dlouhodobě, patrně však až v měřítcích desetiletí, by se trvalá změna klimatu projevila i změnami struktury povodí. Vzhledem k dosud používanému přístupu k odhadu vlivu změny klimatu pro zvolené úrovně nárůstu CO_2, či odpovídající, z hlediska proměny povodí nepříliš vzdálené časové úrovně, lze uvedený předpoklad považovat za přijatelný. Model SAC-SMA uvažuje i změny evapotranspirace související se změnou vegetačního krytu povodí.

Pro odhad vlivu změny klimatu, uvažovaného podle zvoleného scénáře klimatických změn, lze použít tento postup výpočtů: (Hladný, 1996)

- pro zvolené povodí na základě pozorovaných řad se optimalizací určí parametry modelu
- při aplikaci těchto parametrů se provede výpočet hydrologické bilance pro pozorované řady teplot vzduchu a srážek, upravené o změny uvažované scénářem
- vyhodnotí se účinek změn klimatických veličin na zvolenou hydrologickou veličinu, která může být buď výstupem modelu(např. odtok) , nebo modelovou stavovou veličinou(např. zásoba podzemní vody)

2.3.2. Popis modelů

BILAN

Slouží k výpočtu hydrologické bilance povodí v měsíčním kroku výpočtu. Vstupními hodnotami jsou řady měsíčních srážek na povodí, řady měsíčních teplot vzduchu a relativních vlhkostí vzduchu. Výpočtem se simuluje zejména odtok, územní výpar, zásoby vody v půdě a zásoby podzemní vody. Odtok je modelován jako součet tří složek: přímého odtoku, hypodermického odtoku a základního odtoku. Poslední z nich lze považovat za odhad podzemního odtoku z povodí protékající závěrovým profilem. Pro určení parametrů modelu v profilech s vodoměrným pozorováním se používá optimalizační program, který minimalizuje hodnoty zvoleného kritéria. Rozdílu výstupu modelu a pozorovaných dat. Postup celého výpočtu je uveden v kapitole 6.2.1 NKP č.20. (Hladný, 1996)

SACRAMENTO

Model je vyvinut Národní povětrnostní službou USA a hydrologickém předpovědním centru v Sacramentu. Model představuje povodí jako soustavu vertikálně a horizontálně uspořádaných zón, resp. nádrží. V nich je voda zadržována a pak buď odčerpávána vegetací anebo postupuje infiltrací do hlubších zón. Celkový odtok je v souhrnu vytvářen šesti složkami: přímý odtok, odtok z nepropustných zón, povrchový odtok, podpovrchový odtok, dodatkový podzemní odtok a primární podzemní odtok. (Hladný, 1996)

CLIRUN

Dvě základní varianty nazvané "Model pro simulaci vodní bilance" a "Stochastický model vodních zásob v povodí". Pro účely studie byl použit model bilanční(optimalizační a simulační). Výstupem modelu jsou řady modelovaného odtoku, skutečné evapotranspirace a zásob vody v povodí. (Hladný, 1996)

2.3.3. Výsledky modelů (Hladný, 1996)

BILAN

- podle inkrementálních scénářů

a) vliv rozdělení změn teplot- ukázalo se, že roční chod odtoku se v případě rovnoměrného zvýšení teplot liší jen velmi málo od ročního chodu odtoku odpovídajícího variantě výpočtu s uvažovaným rozdělením změn teplot dle modelu GISS.

b) Vliv rozdělení změn srážek- za předpokladu nerovnoměrného rozdělení změn srážek je odtok od prosince do dubna větší než při rozdělení rovnoměrném. Od května do listopadu se většinou oba průběhy zásadně neliší.

c) Posouzení řad z hlediska průměru odtokové výšky- platí, že čím menší je odtok, tím nepříznivější následky lze očekávat na všech úsecích využívání vody.

- podle scénářů GISS, CCCM a GFD

a) Podstatou změny ročního chodu odtoku je u všech modelů podstatné zvýšení odtoku v lednu a únoru, zmenšením v březnu, dubnu a říjnu

b) V souhrnu se výsledky zásadně neodlišují, období zvětšených jarních odtoků se přesunuje do zimních měsíců

c) V případě nulových změn srážek se podstatně nezmenšují jen odtoky v zimnících měsících pro časovou úroveň 2030, zatímco všechny ostatní odtoky klesají významně

SAC- SMA

Z vybraných povodí užitých pro simulace odtoku byly modelem SCA-SMA uskutečněny modelové výpočty pro tři povodí. Pro Labe byly využity údaje z období 1895-1954, tj. do výstavby Vltavské kaskády.

Pro ostatní povodí tj. Metuje a Úpy byla užito období kratší, a to 30 roků resp. 12 roků. Pro všechna povodí byly do modelu použity scénáře inkrementální a GISS.

Z toho modelu vychází skutečnost, že zvýšení teploty bude znamenat posun v ročním odtokovém cyklu, tzn. zvýšení zimních odtoků a prohloubení letních a podzimních minim.

Další jednoznačné a konkrétní poznatky lze shrnout takto:

- ani případné zvýšení srážek v rozmezí +5% až +10% nekompenzuje plně ztráty na odtocích v letním a podzimním období.
- dosavadní jarní odtoková maxima se přesouvají u menších povodí ve vyšších polohách z období březen- duben do období prosinec- únor a jsou zpravidla nižší vzhledem k odtokovému procesu probíhajícímu zpravidla bez existence významných sněhových zásob. U velikého povodí s rovinatými oblastmi, jako je Labe, dochází sice rovněž k výraznému zploštění jarních maxim, ale jejich sezónní posun je již méně zřetelný.

- role evapotranspirace je nejvýznamnější pro absolutní hodnoty změn odtoků během období dostatku vláhy, tj. v zimních a jarních měsících. Postupným vyčerpáváním zásob během léta a podzimu se simulované odtoky i při různých inscenovaných hodnotách evapotranspirace sbližují.

CLIRUM

Verze modelu CLIRUN , která byla dispozici, neobsahovala výpočet potenciální evapotranspirace a nebyla uzpůsobena modelovat zimní režim, tzn. akumulaci vody ve sněhových zásobách a následně tání. Jako vstupy modelu CLIRUN byly proto použity řady potenciální evapotranspirace a řady srážek transformované simulovanou akumulací a táním na modelu BILAN.(Hladný, 1996)

V tabulce 2.4a,b jsou výstupy a závěry jednotlivých modelů (Hladný, 1996)

Povodí	Labe	Želivka	Úpa	Metuje
BILAN	- Roční chod odtoku vystihl poměrně věrně. - nadhodnocuje v lednu a říjnu - podhodnocuje	- v prosinci až březnu není dostatečně věrný - výstižnější než CLIRUN	- v období listopad až březen nepříliš věrný	- lépe vystihuje než CLIRUN - velká odchylka v březnu
CLIRUN	- dobré výsledky od března po červenec - velmi nadhodnocen v září a říjnu	-nadhodnocení září a říjen	- listopad až březen značně rozkolísané	- od ledna do března velké odchylky

Tab. 2.4a .Porovnání mezi modely pro původní stav klimatu(Hladný, 1996)

	Labe	Želivka	Úpa	Metuje
BILAN	- při zvýšení o 2C - +5% a +10% - nedostatečná schopnost vyjádřit skutečný průběh v zimě	Průběhy obou modelů podobné	-listopad až červen podobné výsledky jako CLIRUN	
CLIRUN	-září a říjen vždy nadhodnoceny	Průběhy obou modelů podobné	nadhodnocení z podzimních měsících	nadhodnocení hodnot pro únor
SCA-SMA Denní krok	- 3 varianty inkrementálních scénářů - U všech variant se objevuje poněkud nečekaný posun maximální hodnoty odtoku z března do dubna	----------	---------- --	- ze všech variant poměrně malý a v průběhu roku téměř konstantní rozdíl mezi variantami modelu SCA-SMA, které se liší o změně evapotranspirace

Tab.2.4b..Porovnání simulovaných odtoků pro inkrementální scénáře(Hladný, 1996)

2.4. Změny u zdrojů povrchových vod

Podstatnou se ukázala volba typu scénářů, ze kterých se při odhadu těchto změn vychází. Scénáře použité pro ČR jsou uvedeny a popsány v předchozích kapitolách

Podle scénáře Inkrementální

- rovnoměrné srážky v celém období roku v rozmezí -5% až +5% a s nerovnoměrnými teplotami jednotlivých měsíců v průběhu roku, přičemž scénář pro teploty byl převzat z GISS. (Hladný, 1996)
- největším vlivem na odtok byla prokázána změna ročního chodu srážek a ne teplot.(Hladný ,1996)
- vzhledem k nejasné předpovědi změn průběhu srážek byla zvolena varianta scénářů „ změny srážek rovnoměrné".

Zvýšení teploty (°C)	Změna srážek (%)	Povodí			
		Labe	Želivka	Úpa	Metuje
2	-5	69,5	66,9	78,2	75,2
	0	78,5	77,1	86,7	84,2
	+5	88,6	87,9	95,5	93,5
4	-5	58,4	54,9	68,3	63,9
	0	66,7	64,2	76,4	72,3
	+5	75,4	74,3	84,9	80,9
Průměrný roční odtok modelovaný(mm)		194,6	185,2	459,3	342,4
Pozorovaný(mm)		197,0	185,7	459,7	352,6

Tab. 2.5 . Změněné průměrné roční odtoky v procentech původních hodnot(Hladný, 1996)

Podle změněných ročních odtokových výšek (viz. Tab.2.5.) lze usuzovat , že vliv klimatických změn se výrazněji projeví na povodích s menšími úhrny srážek.

- při oteplení o 2°C a nezměněných srážkách klesá odtok na méně než 80% původní hodnoty
- při oteplení o 4°C na méně než 70%
- pokles srážek o -5% by se projevil dalším zmenšením odtoku řádově asi o 10%
- při nejméně příznivém z uvažovaných scénářů by odtoky i na středně vodných povodích klesaly téměř až k polovině původních hodnot.
- zvýšením srážek o 5% by při oteplení o 2°C omezilo pokles odtoku u vodných povodí do rozmezí 5 až 10%, u povodí se středními srážkami by odtoky klesly pod 90% původních hodnot

- při oteplení o 4°C by takové zvýšení srážek nebylo schopné kompenzovat vliv zvýšení teploty a odtoky by poklesly na středně vodných povodích až do blízkosti 70% původních hodnot. (Hladný, 1996)

V souvislosti s úvahami o vlivu možné klimatické změny na základní odtok nelze opomenout ani současně probíhající poklesový trend tvorby podzemních vod. Byl zjištěn prakticky u všech pozorovaných objektů s měřením hladiny zvodní či vydatnosti pramenů. K poklesu dochází vlivem nadměrného jímání vod s podmínkami pro infiltraci srážek zhoršeným výrazným zhutněním podorniční vrstvy na zemědělských pozemcích.

Podle scénáře GISS,CCCM a GFD

Model	Povodí			
	Labe	Želivka	Úpa	Metuje
GISS	86,1	91,9	92,0	87,7
GFD	80,1	85,2	70,0	101,6
CCCM	88,6	91,6	80,1	94,3

Tab. 2.6. Změněné průměrné roční odtoky v procentech původních hodnot(Hladný, 1996)

Na všech povodích vedl k největšímu zmenšení průměrných ročních odtoků na povodí Metuje GFD. Největší snížení odtoků je v dubnu u v šech modelů. (Hladný, 1996)

Zvýšení srážek , které tyto modely předpokládají, zejména GISS(16%) a GFD(18%) je tak velké, že do značné míry kompenzuje vliv oteplení. Spolehlivost předpovědi je však velmi malá, a proto se doporučuje ve strategických úvahách dávat přednost inkrementálním scénářům.

2.5. Změny zdrojů podzemních vod

Vzhledem k tomu, že pomocí modelu hydrologické bilance byl posuzován vliv změn klimatu na celkový odtok z povodí, byl zahrnut do odhadů i podzemní odtok, který je často významnou složkou celkového odtoku.

Jednou ze základních otázek je způsob uplatnění zvýšených hodnot evapotranspirace při uvažovaných změnách tvorby zásob podzemních vod v důsledku zvýšení teploty. Na územích, kde již v současných podmínkách nejsou ve vegetačním období podzemní vody ze srážek doplňovány, se dá předpokládat, že nedojde ani při zvýšení evapotranspirace ke zhoršení tohoto stavu.

V oblastech, kde se nacházejí zvodně ve větší hloubce pod terénem, nemá hladina podzemní vody vliv na doplňování potřebné velikosti evapotranspirace, V těchto poměrech by došlo k podstatnému zmenšení půdní vlhkosti případně až do vysušení půdního profilu, ale bez většího vlivu na zásoby podzemních vod. Bylo by proto zapotřebí posoudit plošný rozsah takovýchto situací v rámci jednotlivých hydrogeologických typů povodí.

Naopak v období tvorby podzemní vody, tj. převáženě v nevegetačním období, by vlivem globálního oteplení měly být lepší podmínky pro infiltraci zimních srážek. V bilančních modelech signalizované zvětšení odtoku v zimních měsících(leden , únor) by se mohlo projevit zvýšenou dotací podzemní vody.

Ve strukturách s významnou akumulací podzemní vody by tedy mohlo dojít ke zvýšení nebo alespoň k většímu vyrovnávání základního odtoku.
Podstatně menší vliv tohoto aspektu by mohl nastat u struktur s puklinovým oběhem (převážně krystalinické horniny, které mají akumulační schopnost, vzhledem k relativně velkým hydraulickým sklonům oproti pánevním strukturám, vyrovnávat základní odtoky jen po dobu několika(3-5) měsíců. V těchto podmínkách vyrovnanost základních odtoků bývá závislá na relativně pravidelné srážkové dotaci(horská povodí). Za opačných okolností by se projevila zvýšená rozkolísanost i u základních odtoků.

V kvartérních strukturách by se mohly negativně uplatňovat faktory mělké polohy zvodní při zvýšené evapotranspiraci, pokles infiltrace z toků při menších průtocích i zmenšení přítoků podzemních vod ze svahů. Při poměrně malém rozsahu přírodních zásob podzemních vod by to mělo výrazně negativní důsledky na vydatnost těchto zdrojů.

2.5.1. Závěr

Toto jsou závěry, které vyplynuly z klimatologické studie „Územní studie změny klimatu České republiky“ z roku 1996. Průměrná teplota se zvýší v roce 2010 o 0,7-1,0°C, v roce 2030 o 1,4-2°C a v roce 2075 o 3-4,2°C. Větší oteplení se předpokládá v zimě a menší v létě ve srovnání se změnou průměru teploty. Vzroste rovněž roční úhrn srážek: v roce 2010 o 2-4%, v roce 2030 o 3-8% a v roce 2075 o 7-16% a to hlavně v zimním období(Moldan, Sobíšek et al. 1996)

Lze říci, že při oteplení o 2°C a nezměněných srážkách by se zmenšovala původní hodnota odtoku zhruba o 10-25% a při oteplení o 4°C o 25-30% v závislosti na

hydrologickém charakteru povodí. V případě nejméně příznivého scénáře, tj. souběžného zvyšování teploty a snižování srážek o 5% by poklesy dosahovaly 30-50% původní hodnoty. V období sucha nelze vyloučit u odtokových depresí poklesy ještě hlubší. Při této variantě lze u podzemních vod předpokládat, že při oteplení o 2° C a tím více o 4°C, by uvažované zvětšení srážek o 5% nebylo schopné zachovat podzemní odtok na původní úrovni. Při nezměněných srážkách nebo jejich poklesu by se výrazně zmenšil podzemní odtok i v povodí s významnou akumulací podzemních vod. Kritická situace by nastávala zejména v obdobích déle trvajícího sucha.

V souhrnu lze tedy s velkou pravděpodobností tvrdit, že vliv předpokládané změny klimatu na podzemní vody by se zásadně neodlišoval od jeho působení na celkový odtok z povodí.

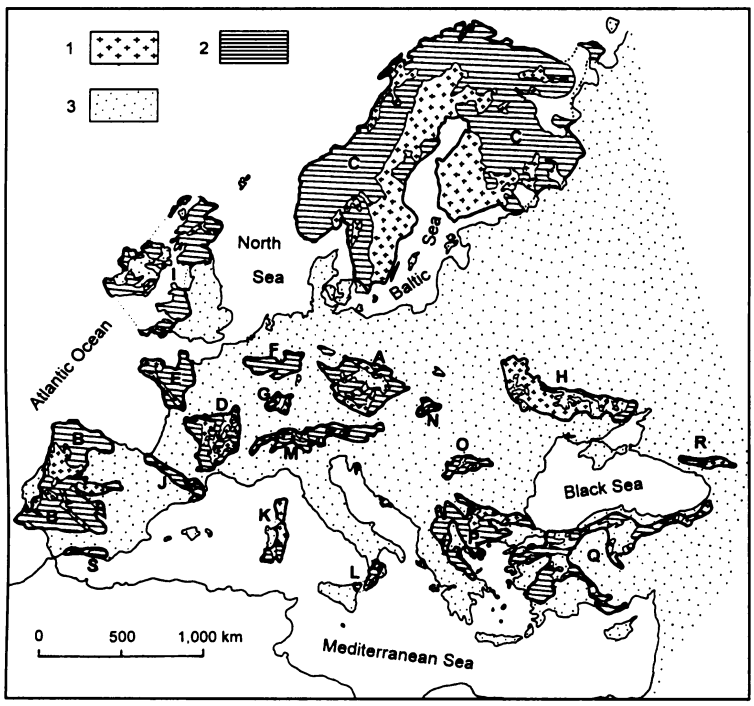
3. Hardrock, transmisivita

3.1. Hardrock

Dosud není jednoznačně vymezeno, které horniny spadají pod tento termín

- v užším slova smyslu se jedná o krystalinické horniny, tj. vyvřelé a metamorfované horniny
- Larson et al. (1987) definoval „hard rocks" jako vyvřelé a metamorfované, nevulkanické a nekarbonátové horniny

Ale i jiné výrazně zpevněné horniny (flyš) vykazují prakticky stejný charakter. Soubor takto pojmenovaných hornin nyní zabírá asi 20% zemského povrchu což je zhruba 30 mil km^2. Na obrázku 3.1.je znázorněno rozložení Hardrock na území Evropy.



Obr.3.1. Výskyty hardrock v Evropě (Krásný, 1999)
1 - igneous rocks, 2 - metamorphic and/or intensively folded sedimentary (mainly clastic) rocks, 3 - other rock types: carbonate rocks and flysh zone in orogenic belts, sediments in hydrogeologic basins etc.
Main hardrock occurrences: *Massifs or shields* (A-H): **A - Bohemian Massif, B - Iberian area, C - Nordic area (Baltic shield), D - Massif Central, E - Massif Armoricain in France, F - Ardenne-Rhine area, G - Vosges and Black Forest, H - Ukraine shield, I - Occurrences in UK and in Ireland.**
Cores of Mesozoic and Cenozoic orogenic belts (J-S):
J - Pyrenees, K - Corsica and Sardinia, L - Calabria and Sicily, M - Alps, N - West Carpathians, O - South Carpathians, P - South Balkan, Q - Anatolia, R - Caucasus, S - Betic zone.

Dlouhou dobu byla tato geologická jednotka považována z hlediska zásob podzemní vody za ztrátovou. Přes tento fakt tvořil hlavní zdroj vody a to především v aridních a semiaridních oblastech. Teorie nevyužitelnosti z hlediska vodních zdrojů se začala bortit s přibývajícími možnostmi a technologiemi, sloužící hydrogeologickým potřebám. Zdroje podzemní vody, zejména v horských oblastech, se tak staly a jsou důležitou otázkou mnoha projektů.

Český masiv

Zastoupení hornin typu hardrock, jak vyplývá z obrázku 3.2. reprezentují na území ČR části Českého masivu. Ten pokrývá zhruba 84% plochy České republiky. Jednotlivé útvary jsou znázorněny na obr 3.2.

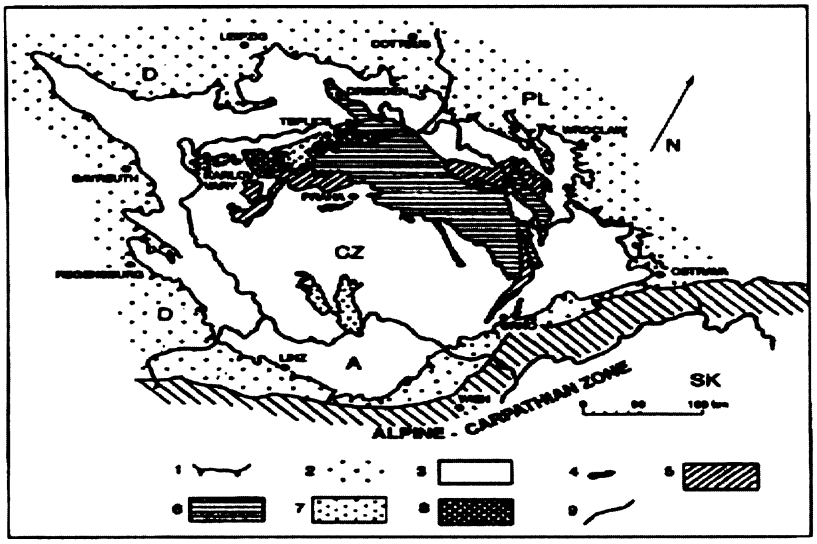


Fig. 2.- Geological location of the Bohemian Massif in Central Europe (after Krásný, 1996a).
1 - Surficial boundaries of the Bohemian Massif, 2 - Post-Variscan deposits outside the surficial boundaries of the Bohemian Massif, 3-4 - Basement of the Bohemian Massif intensely folded by Variscan tectonism: 3 - Crystalline, Precambrian and Palaeozoic mostly clastic ("hard") rocks, 4 - Silurian and/or Devonian karst limestone; 5-8 - Post-Variscan cover of the Bohemian Massif: 5 - Permo-Carboniferous basins, 6 - Bohemian Cretaceous Basin, 7 - Tertiary basins (mostly Neogene, including Cretaceous deposits of southern Bohemia), 8 - Tertiary volcanic rocks; 9 - State boundaries.

Obr. 3.2.. Geologické útvary na území ČR (Krásný, 1996a)

Část jižní a východní okrajové části ČR náleží jednotce Karpatské. Obě jednotky jsou odděleny JZ-SV hranicí mezi Brnem a Ostravou, rozdílné stářím, morfologií, strukturou a tektonikou. Ovlivněno je především vrásněním Prekambrickým, Kaledonským a Variským.

Hardrock z hlediska hydrogeologie

Poloha hydrogeologických jednotek (kolektory, izolátory) není na rozdíl od jiných geologických útvarů závislá na stratigrafii a z části ani na litologii. To je patrné právě v podmínkách Hardrock.

Gustafson (1993) navrhl, aby termín „hard rock" z hlediska HG zahrnoval všechny horniny, které mají zanedbatelnou primární porozitu a hydraulickou vodivost pro přijatelné čerpání podzemních vod.

Termín „hard rock“ by z HG hlediska měl mít širší význam. Kromě krystalických hornin sem spadají i silně cementované anebo zvrásněné horniny

Hydrogeologické prostředí HARDROCK (hydrogeologický masiv)však vykazuje tři základní vlastnosti (Krásný, 1999)

1) horniny nemají průlinovou propustnost a to kromě nejsvrchnější zóny zvětralin či kvartérních uloženin
2) nevyskytují se vrstevné kolektory s výjimkou málo rozsáhlých čoček krystalických vápenců
3) typická je vertikální zonálnost se třemi zónami, typickými velmi odlišným typem prostředí

Vertikální zonálnost

Nejsvrchnější zóna

pokryvná hornina či kvartérní pokryv s převládající průlinovou porozitou

Střední zóna

zóna připovrchového rozpukání s převládající puklinovou propustností

Spodní zóna

masivní hornina charakterizována hlubokým pohybem vody často v doprovodu termálních vod

Právě v prvních dvou vrstvách se formují kolektory víceméně konformní se zemským povrchem. Mocnost a vlastnosti kolektoru se liší důsledkem odlišností systémů puklin a zlomů, petrografii hornin, zvětráváním, morfologií a klimatem. Většinou se jedná o první desítky metrů a propustnost v generelu s hloubkou klesá.

Připovrchové kolektory hrají důležitou roli jak v charakteru regionálního podzemního odtoku tak i z hlediska zdrojů podzemní vody. Nevýhodou tohoto prostředí s převládající puklinovou propustností je silná heterogenita. Ta způsobuje problémy se zachycením puklin významných pro proudění podzemní vody s pomocí vrtů, což se může významně projevit při sledovaní pohybu kontaminace apod.

3.2. Transmisivita a její klasifikace

Transmisivita(průtočnost) vyjadřuje schopnost čerpat podzemní vodu. Pro homogenní kolektor je roven součinu hydraulické vodivosti k a mocnosti kolektoru M.

$$T = k*M \ [m^2s^{-1}] \qquad (3.1)$$

U heterogenního kolektoru platí, že $T = \int kdz$, kde integrujeme od podloží k hladině podzemní vody. Statistická data transmisivity obvykle zpracováváme z hydrodynamických zkoušek.

Je definováno 6 tříd velikosti transmisivity od velmi vysoké (I třída - přes 1,000 m^2/den) po zanedbatelnou transmisivitu (*VI* třída - pod 0.1 m2/den).(Krásný, 1993a)

V ČR se využívá index transmissivity vyjádřený vztahem:

Index Y = log (10^6 q) , *kde q = specifická vydatnost* ($l.\ s^{-1}.m^{-1}$) *(3.2.)*

Y	3	4	5	6	7	8
q (l/s.m)	0,001	0,01	0,1	1	10	100
T(m^2/den)	0,1	1	10	100	1000	10000

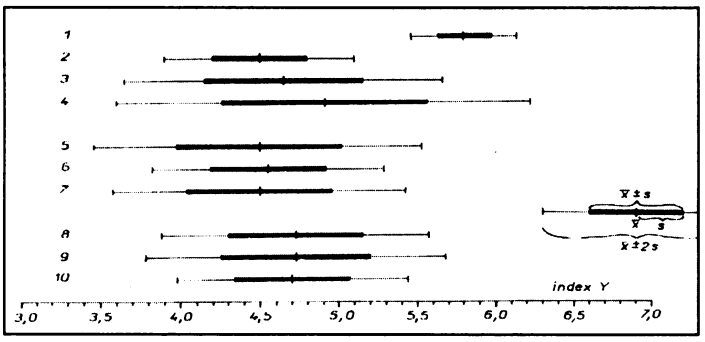
Tab.3.1. Vyjádření transmisivity různými veličinami (Krásný, 1993a)

Existuje také klasifikace 6 tříd variability od a-f na základě standardní odchylky transmisivity souboru hodnot. Variabilita transmisivity obecně vyjadřuje charakter HG prostředí a stupeň jeho hydraulické heterogenity. Krok variability je vždy 0,2 tzn. třída a má standardní odchylku menší než 0,2, b od 0,2-0,4 a nejvyšší f potom větší než 1,0.

3.2.1. Transmisivita v podmínkách HardRock

Hodnoty transmisivity získané hydrodynamickými zkouškami poukázaly na fakt, že různé horniny mají podobnou transmisivitu. Většinou se jedná o třídu V-III. Změny HG parametrů na relativně blízkých vrtech odráží přítomnost množství zlomů a puklin a také rozdílnost mocnosti zvětralé zóny. V Hardrock v Českém masivu můžeme nalézt tyto horninové typy: vyvřelé kyselé a bazické horniny, metamorfované horniny jako ruly, migmatity, slídy, granulity apod. Sedimentární horniny pak reprezentují droby,

pískovce a konglomeráty. V generelu platí, že petrografie nemá viditelný vliv na změny permeability a transmisivitu, ale jsou velmi často způsobeny jinými faktory.



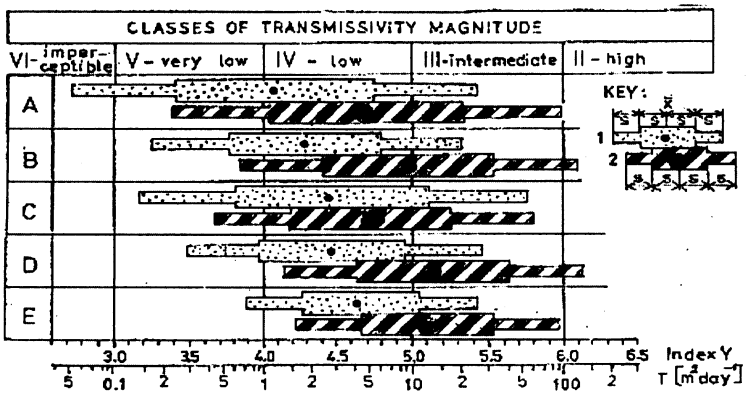
Obr 3.3. Ttransmisivita různých hornin jižní části Českého masiv(Krásný,1996c)

1- zvětralé ruly,2-4 – ruly a migmatity, 5-7 granity, 8,9 ortoruly, 10-žilné granity

x- *aritmetický průměr, s – standardní odchylka*

Vyšší permeabilitu vykazují vložky krystalických vápenců doprovázené množstvím pramenů. Stejné vlastnosti také nacházíme v oblastech bazických vyvřelých hornin a určitého typu granitů. Menší hodnoty pak představují výskyty fylitu. Téměř žádné regionální rozdíly nebyly zpozorovány u granitů a vyšších metamorfovaných hornin. Permeabilita klesá s hloubkou mnohem rychleji u granitů než u metasedimentů (Krásný 1975).

U svrchní a střední zóny se však vlastnosti velmi podobají a to jak z hlediska transmisivity tak i zdrojů podzemní vody(Krásný et al., 1981,1982).V hlubších partiích jsou granitické horniny více náchylnější ke vzniku zlomů. Nejvyšších hodnot T dosahuje prostředí s vyšším stupněm zvětrání spolu s kvartérním pokryvem, hlavně v údolích.



Obr.3.4. Vztah transmismivity hardrock a geomorfologickými/hydrogeologickými podmínkami

1- vrty v infiltrační oblasti, 2- vrty v drenážní oblasti(Krásný,1996c)

A-D vrtané studny, A- Jižní Čechy, B-Kutná Hora, C-granitické horniny Středních Čech, D- Českomoravská vrchovina, E- kopané studny na Českomoravské vrchovině

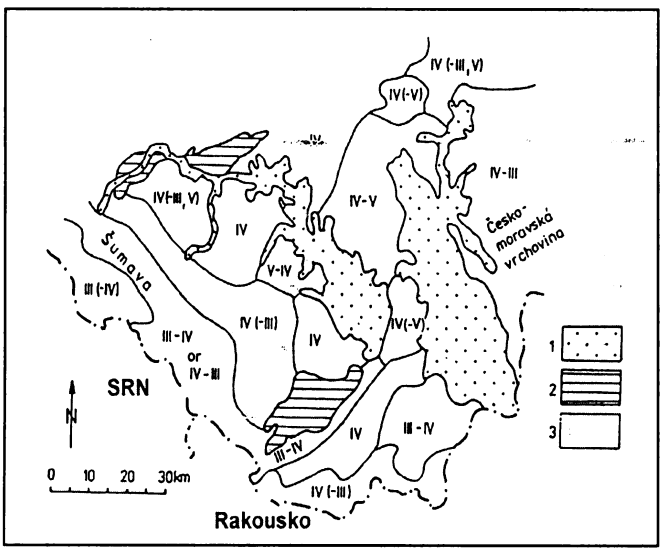
Další důležitou vlastností transmisivity je její závislost na geomorfologii terénu. Hodnoty v oblasti drenáže jsou 2 – 4,5 krát větší než v oblasti infiltrace

(Krásný,1974). Důvodem je pravděpodobně přítomnost vodivějších vrstev, které kopírují údolí.

Existuje také přímá úměra mezi hodnotou transmisivity a intenzitou neotektonické aktivity.

Z hlediska heterogenity lze říci:

1) svrchní zóna a kvartérní pokryv se projevují nejmenším rozptylem hodnot. hydraulických parametrů
2) Rozpukaná střední zóna se vyznačuje rozptylem hodnot třídy III-IV
3) Variabilita transmisivity se liší v závislosti na velikosti zkoumané plochy. Na územích velikostí prvních km je mnohem vyšší a to především silným vlivem lokálního výskytu heterogenit, jakými jsou zlomové zóny, vrsty s vyšší vodivostí podél údolí. V globálním hledisku se však těmto heterogenitám dodává menšího významu a proto se na větších územích (stovky km) variabilita transmisivity snižuje.



Obr.3.5. Oblastní trend transmisivity jižních Čech

(Krásný, 1996c)

1-křídové, terciérní a kvartérní uloženiny jihočeských pánví a kvartérních říčních údolí

2-pestrá skupiny krystalických hornin s vložkami vápenců

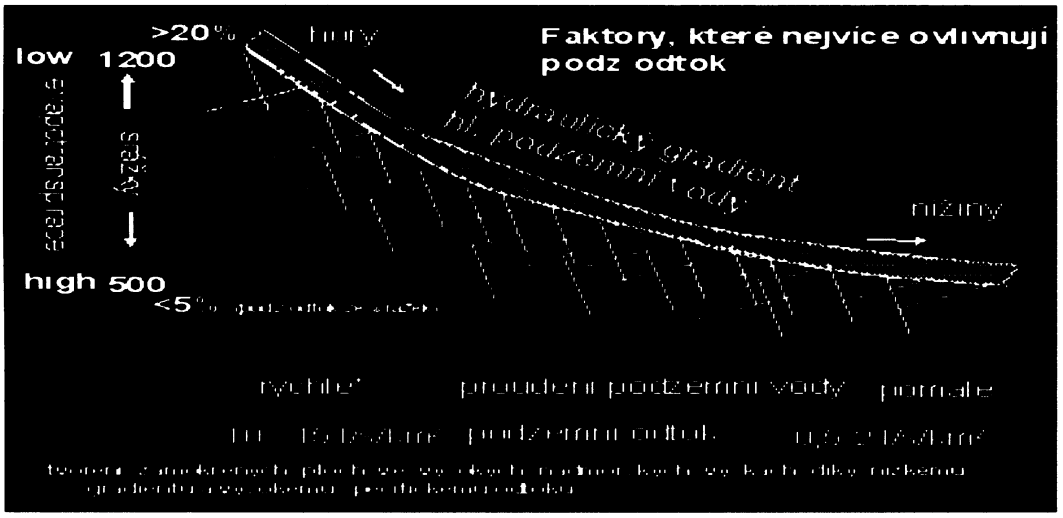
(vyšší transmisivita)

3- monotónní skupina různých typů krystalických hornin.

V-III třída hodnot transmisivity

3.2.2. Zdroje podzemní vody v Hardrock

Kriteriem pro posouzení zdrojů podzemní vody je tzv. podzemní odtok (l/s.km^2). Faktory které nejvíce ovlivňují jeho velikost jsou znázorněny na obr.3.6.



Obr.3.6. Kriteria rozhodující o velikosti podzemního odtoku(Krásný, 1996a)

Morfologie	Nadmořská výška(m.n.m)	Průměrný roční úhrn srážek(mm)	Průměrný roční úhrn evapotranspirace (mm)	Podzemní odtok (l/s.km^2)
Horská oblast	1200-1600	1000-1200	450	10-15
	800-1200	800-1000		7-10
Podhorská oblast	300-800	600-800		3-7
nížiny	< 300	500-600	650	1-3

Tab.3.2. Znázornění závislosti podzemního odtoku na klimatických a morfologii terénu(Krásný, 1996a)

Jak vyplývá z tab.3.2.největší přírodní zdroje podzemní vody Hardrock se nacházejí v horských oblastech. Je to způsobeno příznivějšími klimatickými a geomorfologickými podmínkami. V nejvíce položených oblastech Českého masivu, představuje dlouhodobý průměr asi 10l/s.km^2, na některých místech dosahuje i hodnot větších než 15l/s.km^2.

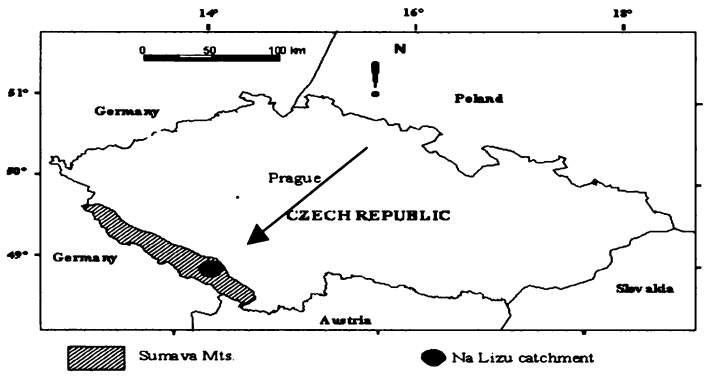
S klesající nadmořskou výškou a menším hydraulickém gradientu klesá hodnota odtoku až na 1-2l/s/km^2 . Vzhledem k možnostem čerpání podzemní vody z tohoto horninového celku pokrývají zdroje potřeby malých obcí, výjimečně menších měst. Velké zdroje v horských oblastech mohou tvořit významné dotace řek v obdobích sucha.

4. Charakteristika území

Povodí Na Lizu je součástí sítě Geomon. Ačkoli toto území patří mezi experimentální povodí, z hlediska hydrogeologického je zatím na počátku průzkumu. Vzhledem k tomuto faktu jsou informace o tomto území velmi kusé. Z hlediska geologické prozkoumanosti na tom nejsou o mnoho lépe. Největším zdrojem informací se proto stal soubor geologických a hydrogeologických map v měřítku 1: 50 000 spolu s jejich vysvětlivkami, oboje vydané Českým geologickým ústavem Praha 1996. Podrobnější mapy se bohužel nepodařilo najít, v geofondu není ani zmínka o jejich vytvoření. V archivu geofondu se nenachází bohužel ani žádné dokumenty, týkající se provedených geologických či jiných prací na tomto území, které by mi mohly poskytnout další údaje.

4.1. Hledisko geografické a topografické

Povodí na Lizu se nachází na území mapového listu 22-34, Vimperk, který ze správního hlediska náleží převážně k okresu Prachatice, menší části pak k okresům Klatovy a Strakonice. Spadá pod katastr Zdíkov (viz. příloha č.1,2) Podle regionálního členění reliéfu leží na území v Šumavské soustavě. Z jejích dílčích celků zaujímají největší plochu vrchoviny Bavorovská a Vimperská, ke které náleží i námi sledované povodí Na lizu. Terén je velmi členitý. Nejvyšším vrcholem v prostoru a našemu území velmi blízký je jižně od Zdíkova Hrb (1075m.n.m. Nejníže leží údolí Volyňky v místech, kde řeka opouští mapy(430 m.n.m). Ve výškách kolem 750 m jsou místy zachovány zbytky terciérního peneplénu, svažujícího se zvolna k V na úroveň kolem 500 m.n.m.



Obr 4.1. Lokalizace experimentálního povodí Na Lizu(Hrkal et al., 2002)

4.2. Hledisko geologické

Podle regionálně geologického členění Českého masivu náleží území do dílčí jednotky moldanubika Šumavy a Jižních Čech . Přestože je v území hojnost přirozených skalních výchozů, podstatná část plochy je zakryta rozsáhlými soliflukovanými svahovinami, znesnadňujícími přesnější vymezení horninových rozhraní. Ve srovnání s okolními mapovými edicemi 1 : 50 000 je geologický obraz listu Vimperk poněkud zjednodušen vzhledem k tomu, že mapování nebylo vždy v celé ploše rovnoměrně provázeno podrobnějším petrografickým studiem.(viz. příloha č.3)

4.3. Hledisko hydrogeologické

Povodí Na Lizu se skládá z dvou částí , horní je tvořena ramenem, které pramení zhruba v 900 m.n.m. V 800 m.n.m se připojuje ještě jedno rameno a celý tok nadále postupuje směrem k severozápadu k obci Zdíkov.

První etapa toku se celá až k soutoku nachází v paleozoických horninách, které reprezentují biotitické migmatity. Ty jsou leukokrátního vzhledu, páskovaná, často strukturně neutříděná. V minerálním složení převažuje křemen nad draselným živcem a plagioklasem. Dále je hojný biotit, někdy muskovit.(viz. příloha č. 4)

V druhé části je koryto řeky provázeno holocenními deluviofluviálními hlínami a písčitými štěrky. Na pravé části po směru toku jsou převážně deluviální hlinitopísčité a hlinitokamenité sedimenty a soliflukcí přemístěná eluvia pleistocenního stáří. Z hlediska tektoniky nezasahuje na území Lizu žádná významná tektonická linie.

Podle hydrogeologické rajonizace se území řadí k rajonu 631- Krystalinikum v povodí Horní Vltavy a Úhlavy. S klesající nadmořskou výškou krajiny od JZ k SV se mění klimatické poměry na mapovém území od chladné oblasti CH7(patří povodí Na lizu) k mírně teplé oblasti MT5. CH7 je charakteristická mírně chladným a vlhkým, velmi krátkým až krátkým létem. Přechodné období je dlouhé s mírně chladným jarem a mírným podzimem. Zima je dlouhá, mírná, mírně vlhká, s dlouhou sněhovou pokrývkou. Průměrná roční teplota vzduchu v nadmořské výšce nad 900 m je okolo 5°C, v nižších polohách 7.2°C

Území celého mapového listu tvoří převážně metamorfity moldanubika zastoupené různými druhy rul a migmatitů, z nichž vystupuje řada plošně malých i

větších těles magmatitů. Tento soubor hornin vytváří hydrogeologický masiv, jehož významným kolektorem je připovrchová zóna rozvolnění a rozpukání hornin spolu se zvětralinovým pláštěm. Je charakteristická průlinovo- puklinovou porozitou.

V povodí Na Lizu se jedná o pararuly s transmisivitou $1,1*10^{-5}$- $1,3*10^{-4}m^2/s$,

Sy= 0,53.

V místě přítoku druhého ramene zhruba v 800m.m.m se nachází pramenní vývěr s

Q= 0,1 až 1 l/s.

Zhruba 500 m směrem na sever je v mapě vyznačena oblast s výskytem podzemní vody vyžadující složitější úpravu(voda II. Kategorie) s kritickou složkou Ca- Vápník (Ca^{2+} + Mg^{2+}) menší než 1mmol/l a celkovou mineralizaci pod menší než 0,1g/l)

Experimentální povodí Na Lizu

Rok založení povodí	1975
Zeměpisné souřadnice – délka,šířka	13°41´03´´ v.d., 49°04´01´´ s.š.
Fyzickogeografické zařazení	Česká vysočina - hornatina
Geomorfologická jednotka	Šumava
Plocha povodí (km2)	0,99 km^2
Průměrný sklon(%)	17
Délka povodí (km)	1,45
Délka vodních toků (km)	1,43
Rozmezí nadmořských výšek (m.n.m)	828 - 1024 m n.m.
Hydrologické číslo sledovaného vodního toku	1-08-02-013
Název toků od sledovaného k hlavnímu	Zdíkovský potok-Stašský potok-Spůlka-Volyňka-Otava-Vltava
Vegetační kryt a využití území	les 71 % - smrk, buk (do 120 let, část holiny)
Geologická charakteristika	moldanubické krystalinikum, pararuly
Půdní typ	hnědá půda silně kyselá
Průměrná roční teplota vzduchu	4,9°C
Průměrná teplota vzduchu v lednu	-3,4°C
Průměrná teplota vzduchu v červenci	13,6°C
Průměrný roční srážkový úhrn	825 mm
Průměrný roční počet dnů sněhové pokrývky	92 dnů
Provozovatel povodí	Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, Podbabská 13, 160 00 Praha 6

Tab.4.1. Základní charakteristiky experimentálního povodí(Ústav pro hydrodynamiku AV ČR)

4.4. Hledisko prozkoumanosti z již dříve provedených projektů

Na povodí jsou již dlouhou dobu sledovány a měřeny zejména hydrologické parametry jakými jsou např. odtoky povrchových toků či množství srážek. Na samotném území se také nachází menší meteorologická stanice.

Byla provedena řada studií a projektů, zejména na téma srážkovo-odtokové a evapotranspirační poměry.

Touto otázkou se zabývá Tesař et al., 2004.

Tento článek poukázal na dvě základní složky tvořící odtok:

1) srážky se vsakují skrz půdní horizont až na drenážní vrstvu(vertikální pohyb)

2) průtok skrz půdu a dále po nepropustné vrstvě do pramene

Poměr jednotlivých typů závisí na právě probíhající fází půdního režimu:

1) fáze infiltrace(přes půdu, vrstvu až do pramene okamžitě po srážkách)

- křivka hydrografu náhle vzroste ale její průběh je velmi krátký- v závislosti na vertikální rychlosti vsakování.vody půdou na velmi propustnou vrstvu- způsobené přeplněním nadložní půdy srážkami
- to záleží na faktorech jakými jsou porozita půdy, intenzita dešťů, průběh a celkový objem.
- největší hodnoty půdní vlhkosti jsou patrné během srážek paralelně s „ instability driven flow“

2) fáze akumulační- voda se akumuluje v půdě a neodtéká dále až na vrstvu

Odtok klesá v závislosti na poklesu obsahu vody v drenážní vrstvě.

Při největší hodnotě dosahuje 10% srážek a zdrojové území zaujímá 25% celkové plochy povodí a délka jednotlivých kanálů asi 90m. Během vegetační sezóny je 50% srážek spotřebována pro účely rostlin, 25% tvoří odtok a 25% zůstává v drenážní vrstvě. Z toho vyplývá jak důležitou úlohu v srážkovo- odtokových poměrech hraje půdní pokryv a vegetace.A to například při hrozbě povodní.

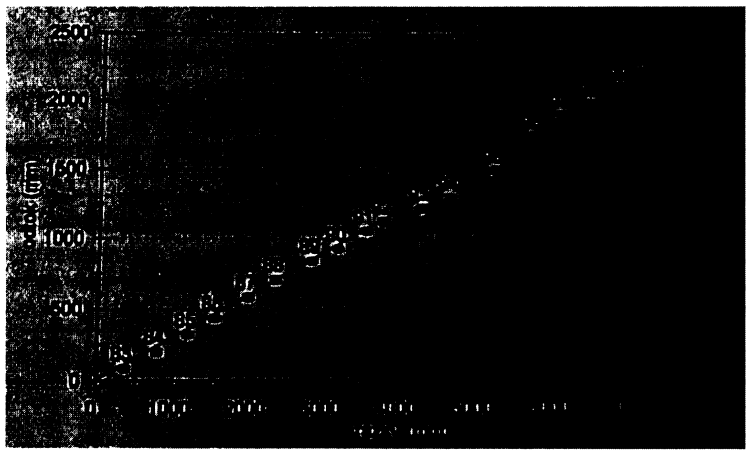
S tím úzce souvisí také otázka vlivu transpirující vegetace na daném území. Jejím vlivem na stabilizaci odtokových poměrů ploše povodí se zabýval projekt :

„Stabilita extremalizace hydrologického cyklu pramenných oblastí(Eliáš, tesař et al.)

Z hlediska kvality podzemní vody byla provedena studie zabývající se rolí podzemní vody vzhledem k acidifikaci hydrosféry.(Hrkal et al., 2002). Jak se ukázalo

stupeň zabezpečení kolektoru před acidifikací záleží na mnoha faktorech. Mezi ně patří půdní složení(stupeň nevětrání, pufrační schopnost), vzdálenosti mezi sledovaným povodím a zdrojem znečištění. Některé látky(SO^2, NO^2) se kumulují ve smrcích, kde se oxidují na nebezpečnější formy. Posledním faktorem se ukázala rychlost reakce půdy na kyselé srážky. (Hrkal at al,2002)

Z hlediska klimatických změn zde byla v roce 2004 provedena studie "Projev klimatické anomálie 1992 – 1996 v odtokových poměrech na povodí Liz"(Šír et al. 2002). Hlavní otázkou bylo objasnit jakou odezvu měl v letech 1992-1996 anomální chod klimatu na podmínky na povodí.Příčinou anomálie byla výrazná externí příčina a to nejspíše výbuch sopky Mount Pinatubo na Filipínách 15.16.1991(Šír et al. 2004). Množstvím uvolněných sopečných hmot do atmosféry byla ovlivněna globální cirkulace na celé planetě. Na území ČR se projevila tuho zimou v roce 1991/1992 a abnormálně horkým a suchým létem 1992. Tato anomálie se projevila ve všech zkoumaných povodích pouze ve vegetačním období, což poukazuje na již zmíněnou regulační roli transpirujících rostlin v hydrologickém cyklu(viz. předchozí text). Anomálie se projevuje na dvojité součtové čáře sezónního úhrnu srážek a odtoku a to v letech 1992-1996. V roce 1997 se vrací poměr obou veličin k hodnotě v roce 1992.
Na obr 4.2.je tato anomálie znázorněna jako výchylka na součtové čáře srážek a odtoku.



Obr.4.2. Dvojitá součtová čára srážek a odtoků v sezónách 1983-1999 na povodí Liz (Šír, et.al 2002)

5. Metodika prací

Cílem této kapitoly je seznámení s postupy, které byly použity během praktické části diplomové práce. Jedná se o terénní postupy zahrnující realizaci vrtů, jejich popis, výstroj včetně měřících přístrojů a sledovaných veličin. Pro lepší představu o hydraulických podmínkách prostředí byly také provedeny hydrodynamické terénní zkoušky, jejichž provedení je popsáno v kapitole 5.1.3. Následující kapitola 5.2. se věnuje popisu metodiky statistické a modelové části prací.

5.1. Terénní práce

5.1.1. Informace o vrtech

Jak bylo zmíněno v úvodu, jedním z cílů diplomové práce bylo získaní dat piezometrických výšek. V oblasti na Lizu byly pro tento účel vybudovány 4 pozorovací vrty. Jedná se o 2 vrty vyhloubené v roce 2000 pro účely projektu EU LOWRGREP. Jsou to vrty HV-2 v infiltrační oblasti a HV-1 v oblasti drenáže. Důvody pro umístění ve výše zmíněných polohách byly zdůvodněny v kapitole 1. Výstavba vrtů HV-3 a HV-4 byla realizována v říjnu 2004. (Příloha č.1)

Parametr	Označení vrtu			
	HV – 1	HV - 2	HV - 3	HV – 4
Oblast umístění	Drenážní	infiltrační	drenážní	Infiltrační
Nadmořská výška (m.n.m)	835	985	835	985
Hloubka vrtu pod terénem(m)	9,9	12,78	25,15	25,6
Výška odměrného bodu(cm)	70	70	40	40
Hloubka perforace (m.p.t)	2 – 9,9	2- 12,78	17 - 21	19 – 23

Tab. 5.1. Parametry vrtů na povodí Na Lizu

Jak je patrné z tab. 5.1., jedná se vždy o dvojici vrtů různých hloubek a umístění. Vrtné profily všech vrtů jsou součástí příloh (Přílohy č.4 a 5). Vrtání bylo prováděno rotačně příklepovým bezjádrovým způsobem. Pouze úvod u vrtů 3 a 4 probíhal jádrově.

Profily zachycují kromě nejsvrchnější hlinité vrstvy, zejména vrstvu rozvětralého skalního masivu. Různé hloubky vrtů byly předpokladem pro zachycení vertikální zonálnosti hardrock (kapitola 1.1.2) až na pevnou skalní horninu.

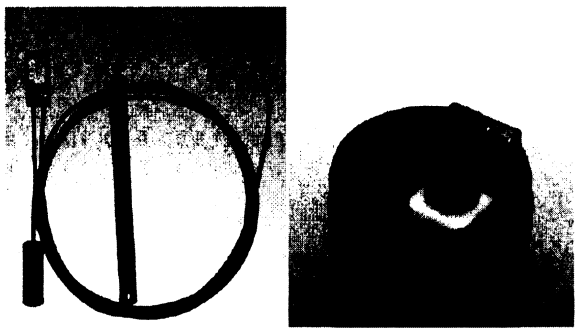
5.1.2. Sledované veličiny a k tomu sloužící měřící přístroje

Hlavním účelem pozorovacích vrtů bylo zajištění podmínek pro sledování chování podzemní vody a to především její hladiny. Další sledovanou hodnotou po celou dobu realizace byla teplota. Projekt KLIMAHYD má k dispozici 4 měřící přístroje, schopné zajistit toto pozorování. Jedná se přístroje typu LGR 2 (obr. 5.2).

Dne 31.11.2004 byly všechny vrty osazeny právě těmito zařízeními. Jedná se o měřič piezometrické výšky a teploty s vestavěným záznamníkem naměřených dat. Nespornou výhodou tohoto přístroje je samostatné měření bez potřeby osobní přítomnosti u chodu, na relativně dlouhý časový úsek.

Dataloger LGR 2

Účel přístroje spočívá v měření hydrostatického tlaku vody s automatickou kompenzací změn atmosférického tlaku. Je vybaven tlakovým čidlem americké firmy Lucas. Měření je v nastavitelných časových intervalech ukládáno do vnitřní paměti počítače. Intervaly měření jsou nastavitelné od 10s až po 60min.



obr.5.2. Přístroj LGR

Pro potřeby mého pozorování jsem frekvence měření hladiny a teploty stanovila na 60min. U tohoto přístroje existuje také možnost vypnout měření teploty, čímž se zdvojnásobí kapacita volného datového místa. K této variantě jsem přistoupila pouze v případě provádění čerpacích a stoupacích zkoušek. (viz. dále)

Kapacita paměti se pohybuje v rozmezí 4000 – 16000 datových polí měření. Při intervalu měření 1hod lze tedy nechat pracovat přístroj zhruba 86 dní. Po této době se kapacita naplní a přístroj začne přemazávat nejstarší hodnoty. LGR 2 se také liší rozsahem měření tlaku, a to od 100 do 700KPa. Zvolení konkrétního typu záleží především na hloubce vrtu a předpokládané hloubce hladiny. Sledované vrty, jak už bylo řečeno dříve, jsou hluboké zhruba 2 x 25m a 2 x 10m. Proto jsme použila přístroje

s měřením tlaku 100kPa a 200kPa. Data naměřená přístrojem se řídí podle vnitřních hodin v absolutním čase. Nejdůležitější je ale okamžik spojení přístroje s počítačem. Přístroj zaznamená čas v počítači a odpočítá zpětně časy měření. Proto je důležité, aby čas v počítači byl správný. Přístroj také změří v okamžiku spojení jednorázově hodnotu pro ověření stavu hladiny vody. Tato hodnota se nazývá falešná a její hodnotu dále nevyužívám.

Přístroj je napájen 9V baterií typu 6F-22 Ke stahování dat jsem používala starší laptop, tzn. že přístroj nemá velké požadavky na technické vlastnosti počítače. Počítač musí obsahovat jeden volný sériový port (Com1 nebo Com2), procesor minimálně 286, paměť 1MB a cca 100kb volného prostoru pro ovládací program.

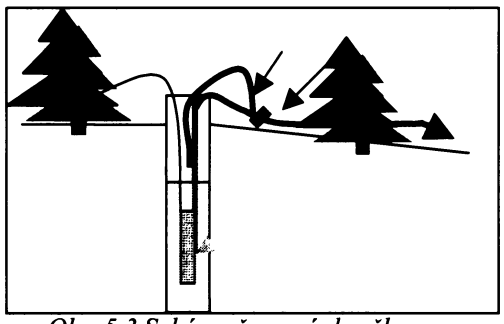
Aby program pracoval správně, je nutné vytvořit databázi LGR, kde jsou uvedeny údaje o jednotlivých čidlech(hloubka čidla, nadmořská výška apod.)

5.1.3. Hydrodynamické zkoušky

5.1.3.1. Čerpací a stoupací zkoušky

Mimo dlouhodobého měření piezometrické úrovně a teplot byly na většině vrtů provedeny také čerpací a stoupací zkoušky. Jejich cílem bylo určit transmisivitu a koeficient hydraulické vodivosti pro účely dalšího použití jako vstupních hodnot do modelu hydraulického.

První čerpací zkouška proběhla na obou hlubokých vrtech v říjnu 2005. Jednalo se o krátkodobou čerpací zkoušku (v rámci minut). V průběhu jarních a letních měsíců 2006 (V.a VI.) byly provedeny opětovné čerpací zkoušky, tentokrát na 3 vrtech. Šlo o 2-3 denní zkoušky. Všechny čerpací zkoušky byly provedeny na základě konstantního průtoku s několika depresemi vlivem změny čerpaného množství. Schéma čerpací zkoušky je znázorněno na obr.5.3. Čerpané množství bylo přeměřováno pomocí 5l nádoby a hladina PV pomocí hydraulické píšťaly. Výsledky a podrobný popis bude diskutován v kapitole 6.



Obr. 5.3 Schéma čerpací zkoušky

5.1.3.2. Infiltrační zkoušky

Souběžně s čerpacími zkouškami se prováděly na území také zkoušky infiltrační Důvody pro zkoumání této zóny jsou:

1) Při nízké vertikální propustností půd a zvětralin lze očekávat nižší hodnoty infiltrace a tedy i negativní vliv na velikost podzemního odtoku z území.
2) Nízká propustnost pokryvných útvarů zvyšuje podíl povrchového odtoku. V takovém prostředí je vyšší pravděpodobnost povodní a dochází k intenzivnějším erozním jevům.
3) Vertikální propustnost půdní a nesaturované zóny rozhoduje o míře zranitelnosti níže ležící zvodně znečištěním.(Bruthans in Hrkal et al. 2004)

Metoda se zpravidla používá jako systém dvou kovových prstenců naplněných vodou. Vnější naplněný prstenec slouží jako hydraulická bariéra nutící k vertikálnímu pohybu v prstenci vnitřním. V tomto případě byla metoda modifikována pouze na použití jednoho prstence. Byly použity válce s břitem o průměru 200(199).

Na každém měřeném bodě bylo provedeno 10 opakování. Vždy se sledováním času poklesu hladiny ve válci o 1cm.

Pokles hladiny ve válci po ustálení odpovídá vertikální hydraulické propustnosti:

$$k_z = v \cdot I = v \quad (I \approx 1),$$

k_z (m/s) vertikální koeficient hydraulické vodivosti

I (bezrozměrný) hydraulický gradient (je považován za rovný jedné, neboť se jedná o vertikální samovolné proudění)(Bruthans in Hrkal et al. 2004)

v (m/s) pokles hladiny ve vnitřním prstenci měřený v mm.

Válec byl zakopán a vtlačen do půdy do prvních desítek cm. Nutné bylo zajistit dobré utěsnění kolem válce, aby nedocházelo k průsaku vody stěnami válce.

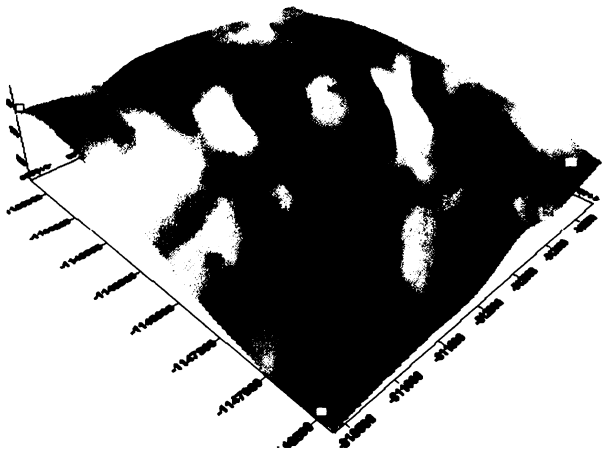
K zabránění kolmatace půdy se používaly kameny umístěné na bázi válce. Jak ukázaly dřívější pokusy, unikání vody do stran vnáší do měření chybu pouze desítek % což je při řádových rozdílech koeficientu filtrace chyba zanedbatelná.(Bruthans in Hrkal et al. 2004)

Celkem byli provedeny tři série infiltračních zkoušek, 1 v oblasti drenážní a 2 v infiltrační. Celkově bylo provedeno 17 infiltračních zkoušek. Jejich výstupy budou probrány v kapitole 6.

5.2. Metodika statistické a modelové části

5.2.1.Model topografický 3D a jeho význam

Jedním z nezbytných vstupů při tvorbě 3D hydraulického modelu bylo vytvoření matematického modelu terénu. Model byl zpracován na základě mapy 1:25000 s krokem 10m po vrstevnicích. Digitalizaci mapy jsem provedla v programu MAPINFO a následně aplikovala zobrazení 3D v programu SURFER. Kromě digitalizace terénu jsem provedla také digitalizaci povodí a vodních toků. (viz. obr. 5.4.)

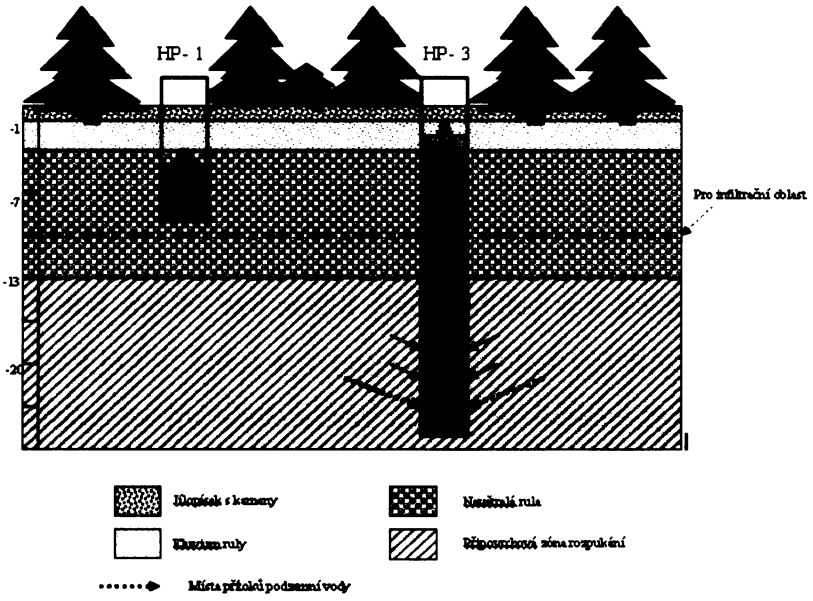


Obr.5 4. Výstup 3D modelu v programu Surfer

5.2.2. Model hydraulický

5.2.2.1. Konceptuální model

Pro úspěšnou realizaci hydraulického modelu, bylo nutné vytvořit představu o geometrii z geologického hlediska a to především ve vertikálním směru. K této představě přispěly data získaná při realizaci vrtů a výsledky karotážního měření.

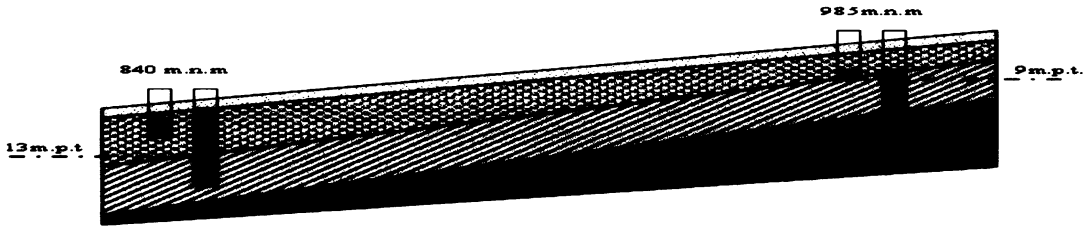


Obr. 5.5. Konceptuální model- pohled na situaci drenážní oblasti

Situace znázorněná na obr. 5.5. je výslednou představou o stavbě a rozdělení v oblasti drenážní. Úroveň hladiny podzemní vody byly získány mechanickým měřením hydraulickou píšťalou. Rozhraní jednotlivých vrstev je určeno výsledky karotážních měření(Kobr, 2004). Z těch vyplývá zvyšující se četnost puklin zhruba od 13m a to zvyšujícími se přírony vody do vrtu. Největší předpokládané pukliny jsou znázorněny šipkami, hlavní potom šipkou tečkovanou. Hloubce tohoto rozhraní také odpovídá vrtný profil z realizace vrtů, kde se v podobné hloubce začíná měnit litologie hornin. Tyto data jsou však relativní vzhledem k bezjádrovému typu ražení. Půdní horizont a nejsvrchnější vrstva se opírá také o data z hloubení vrtů, jejichž část byla hloubena jádrově.

Jak bylo řečeno v textu, tato situace odpovídá oblasti drenážní. Bylo proto nutné vytvořit obdobu pro oblast infiltrační. Bohužel zde nebyla provedena karotáž, a jak již bylo řečeno opírat se pouze o vrtný profil bylo nevhodné. Pro předpoklad zvýšené

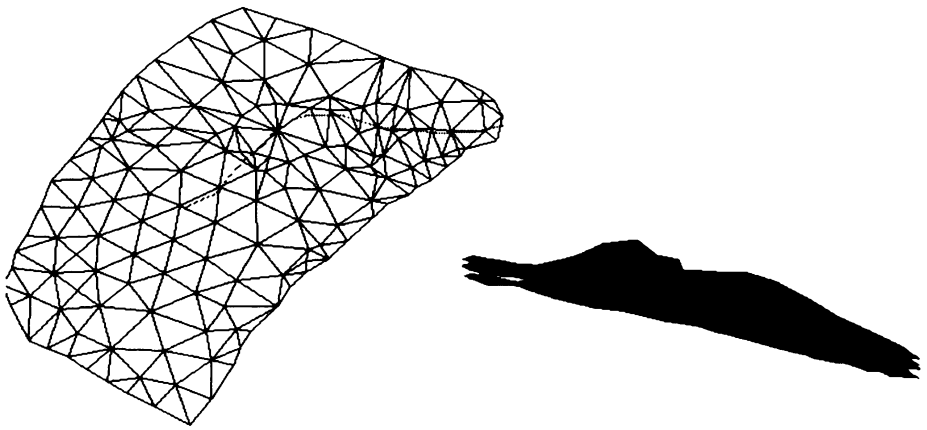
mocnosti zvětralé zóny v drenážní oblasti(úst. sdělení Doc.Hrkal), jsem stanovila rozhraní mezi spodními vrstvami v oblasti infiltrační zhruba v 9 m pod terénem.
Na obrázku 5.5. znázorněno silnou tečkovanou čárou. Vertikální řez povodí je znázorněn na obr. 5.6. Vysvětlivky viz. obrázek 5.5..



Obr. 5.6. Schéma vertikálního řezu povodí- hodnoty v rámečcích udávají nadmořskou výšku v místech vrtů a hloubku jednotlivých vrstev pod terénem

5.2.2.2. Model FEFLOW

Tento konceptuální model byl použit jako podklad pro zpracování výsledného modelu v programu FEFLOW. Jedná se o program simulující hydrogeologické poměry, proudění podzemní vody, možné kontaminace aj. Prvním krokem bylo dát modelu tvar, rozměr v prostoru. K tomuto účelu posloužila data z digitalizace mapy(viz. předchozí kapitola). Omezila jsem se pouze na samotný tvar povodí, vrstevnic a také na lokalizaci vodních toků, které obsahuje. Vzhled modelu po těchto úpravách je na obr.5.7.



Obr. 5.7. Schematika plochy(vlevo) a3D pohled na jednotlivé vrstvy prostředí povodí v programu FEFLOW

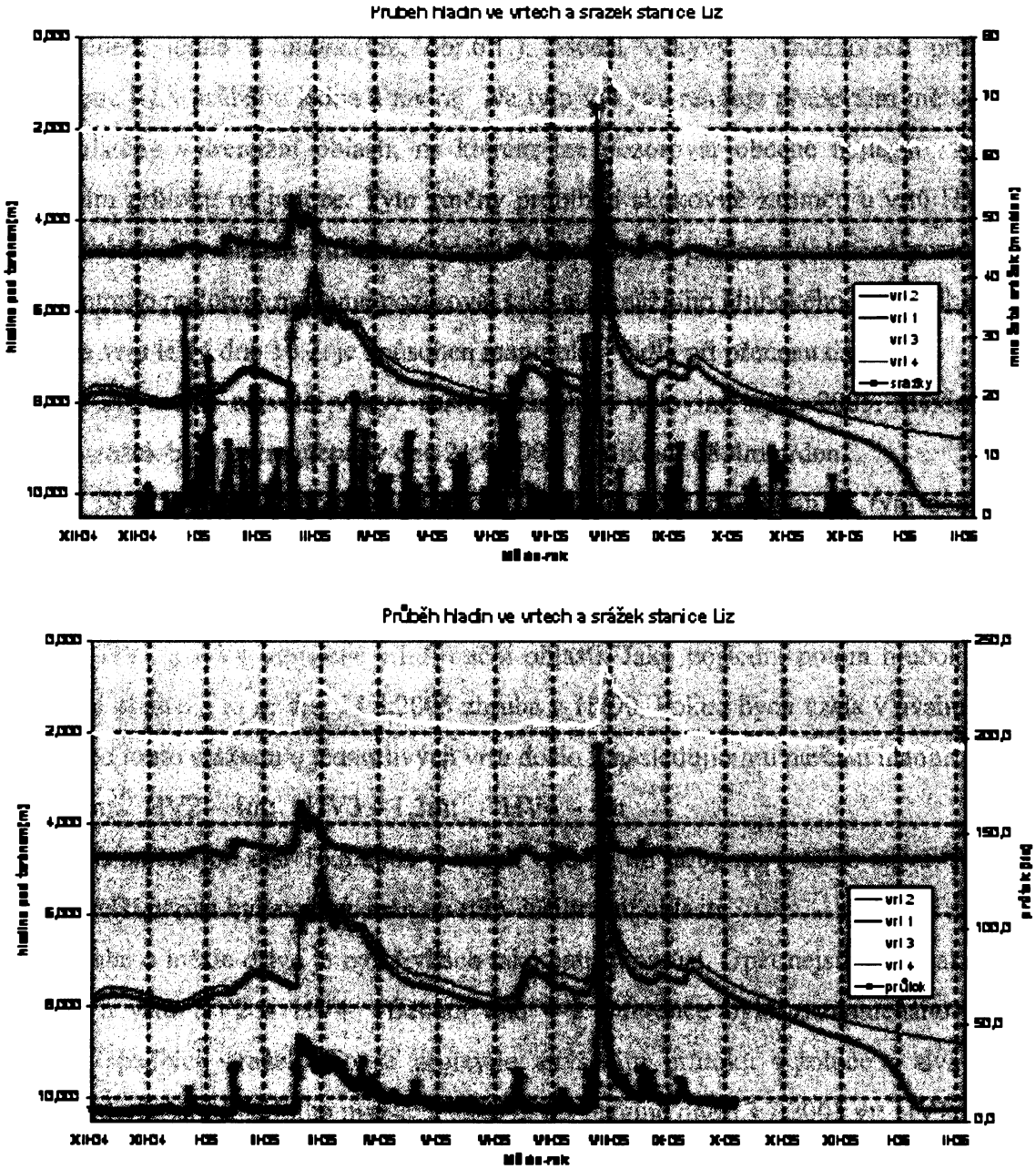
Pro zjednodušení úlohy jsem do výsledného modelu použila pouze dvě hlavní vrstvy- zóna zvětrání a rozpukání. Jejich rozhraní jsem korelovala s nadmořskou výškou jednotlivých oblastí(drenážní a infiltrační). Každá vrstva se odlišuje hydraulickými vlastnostmi T a k. Vrty v modelu nahrazují pozorovací body.

Cílem kalibrace modelu bylo vytvořit takové parametry prostředí, aby se vymodelované hladiny v těchto pozorovacích objektech a jejich průběh co nejvíce přiblížil reálnému stavu. K dispozici jsem měla hodnoty srážek během celého studovaného období, odtoky, a kontrolní měření hladin. K odhadu parametrů transmisivity a k-hydraulické vodivosti posloužily výsledky čerpacích a stoupacích zkoušek. Jednotlivé okrajové podmínky a výstupy modelu budou uvedeny v kapitole 9.

6. Výstupy měřených parametrů

6.1. Průběh hladin pozorovaných ve vrtech

Jak již bylo předesláno v předchozí kapitole na 4 pozorovacích vrtech umístěných v povodí Na Lizu je od prosince roku 2004 zajišťováno souvislé měření piezometrické výšky a teploty. V rámci diplomové práce se budu zabývat převážně rokem 2005. Z tohoto roku mi byla poskytnuta RNDr. Tesařem také data denních srážkových úhrnů a denních průměrných odtoků měřených na uzávěrovém profilu povodí.



Obr. 6.1. Průběhy hladin, denních srážkových úhrnů a průtoku na povodí Na Lizu

V grafech.6.1.jsou znázorněny průběhy hladin během sledovaného období spolu s:
1) denními úhrny srážek za rok 2005
2) denními průměrnými průtoky za hydrologický rok 2005

Během roku 2005 došlo na křivce k dvěma významnějším nárůstům. První odpovídá období od poloviny března do dubna 2005. Ve stejném období dochází také k nárůstu v hodnotách průtoku. Zatímco na mělkém drenážním vrtu dochází k okamžité reakci srovnatelné s reakcí průtoku, ostatní křivky se dostávají na vrcholnou část až o pár dní později v době, kdy se průtok již snižuje. Příčinou tohoto vzestupu na všech křivkách je pravděpodobně tání sněhové pokrývky spolu se zvýšenými srážkovými úhrny během ledna a února.(viz. obr.6.1.). Menší výkyvy v hodnotách průtoku pozorujeme již v průběhu ledna a února. Na tyto výkyvy reaguje především mělký vrt HV1 umístěný v drenážní oblasti, na kterém lze pozorovat obecně nejlepší shodu s chováním průtoku na potoce. Tyto změny probíhají skokovitě zatímco u vrtů HV2 a HV4 umístěných v oblasti infiltrační dochází k nárůstu či poklesu víceméně postupně. Průběh tomuto podobný můžeme pozorovat také u drenážního hlubokého vrtu. Zubovitý pokles na vrtu HV4 dne 10.2. je způsoben manipulací čidla při přenosu dat.

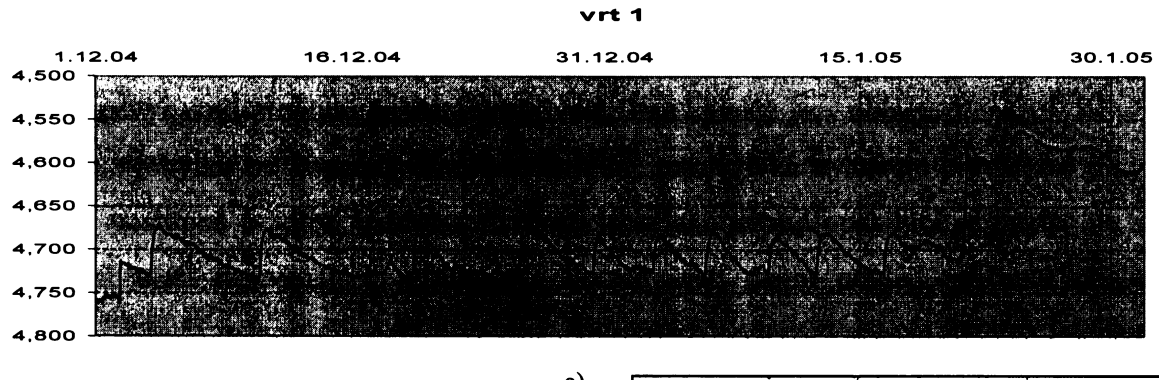
Druhý a také největší výkyv nastává zhruba v polovině srpna 2005. Maximální hodnoty srážek byly zaznamenány dne 21.8.2005 velikostí 68,4mm/den.
Maxima 195,7 l/s průtoku bylo dosaženo 22.8.20006. Reakce hladin na tyto podněty byla následná. Jako první reaguje podle očekávání vrt HV1, který svého maxima dosahuje již 22.8.2005 v 19:00. Následujícího dne 23.8.2005 dosahují svého maxima také vrty HV2 a HV4 umístěné v infiltrační oblasti. Jako poslední potom hluboký vrt v drenážní oblasti a to až dne 24.8.2005 zhruba v 18:00. Pokud bych vzala v úvahu stav hladin před touto srážkou u jednotlivých vrtů došlo k následujícímu nárůstu hladin:
HV1 – 2m; HV2 – 4m; HV3 – 1,3m; HV4 – 4m
Jedná se o změnu od dne 16.8.2005 u všech vrtů až do doby nejvyššího stavu. Jak je vidět největší nárůst byl zaznamenán u vrtů v infiltrační oblasti.

Zhruba o měsíc dříve je na křivkách také patrný nárůst. Opět nejsilnější reakce je viditelná u vrtů HV2 a HV4. Během dnů 4-9. července bylo zaznamenáno větší množství spadlých srážek. To se projevilo zvýšením průtoku v potoce o dva dny později, kdy dosáhl lokálního maxima. Jako první reaguje dne 13.7.2005 vrt HV1. Vrty HV2 a HV4 se dostávají na maximum až o týden později 19.7.2005. Stejně tak vrt HV3.

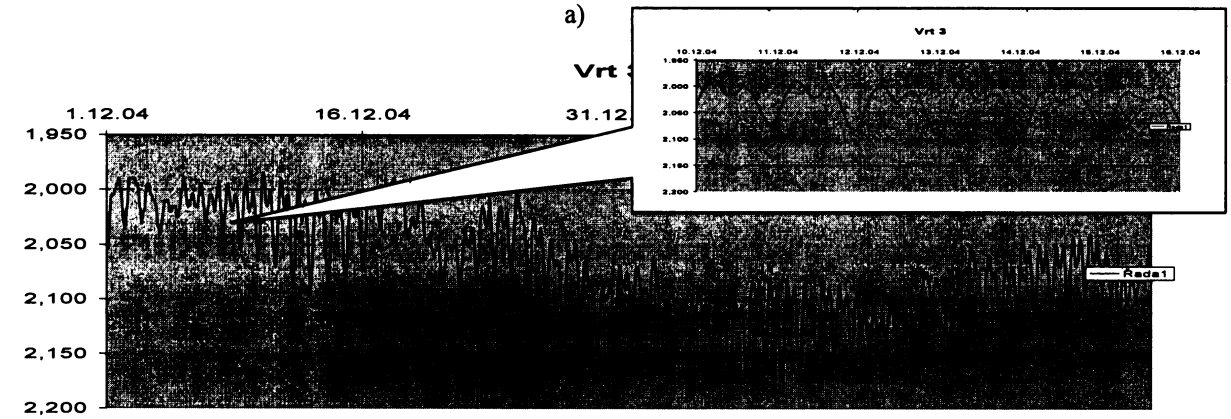
Velký rozdíl mezi jednotlivými vrty také pozoruji v reakci hladin po dosažení maxima. Zatímco hladiny u vrtů HV1,2 a 4 se vrací rychle k původní hodnotě, hladina u vrtu HV3 klesá mnohem pomaleji.

Zajímavý průběh se také projevuje na konci roku 2005. U vrtů v drenážní oblasti se zdánlivě neděje žádná změna. U vrtů v infiltrační oblasti však dochází k pozvolnému poklesu, který pokračuje dále až do stahování dat v březnu 2006. Zatímco v drenážní oblasti tvořila sněhová pokrývka max. 70 cm v oblasti infiltrační se v té době hodnota vyšplhala až k 1,5 m. Vrty byli kompletně pokryty vrstvou sněhu. Toto období by se tedy dalo nazvat obdobím beze srážek a tudíž i jako teoretická klimatická anomálie.

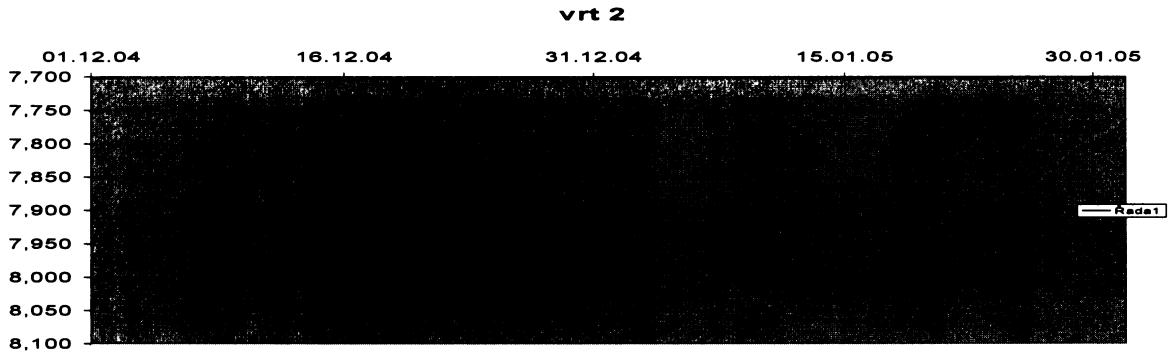
Při detailnějším pohledu na graf v počáteční a koncové části, zhruba v období prosinec/leden, jsou na křivce vrtu HV1 vidět drobné sinusoidní tvary. Rozhodla jsem se proto podívat na detail tohoto úseku u všech vrtů. Vybrala jsem období 1.1.2004-1.2.2005. Vzhledem k celému období není v tomto úseku zaznamenán zvýšený průtok na potoce ani srážky. Předpokládám tedy, že se jedná o úsek, kdy hladiny nejsou příliš ovlivňovány místními vlivy (srážky). U všech grafů jsem se dostala na rozlišení 0,050m. Osa x je časovou osou , na y je vyjádřen stav hladiny pod terénem v m.



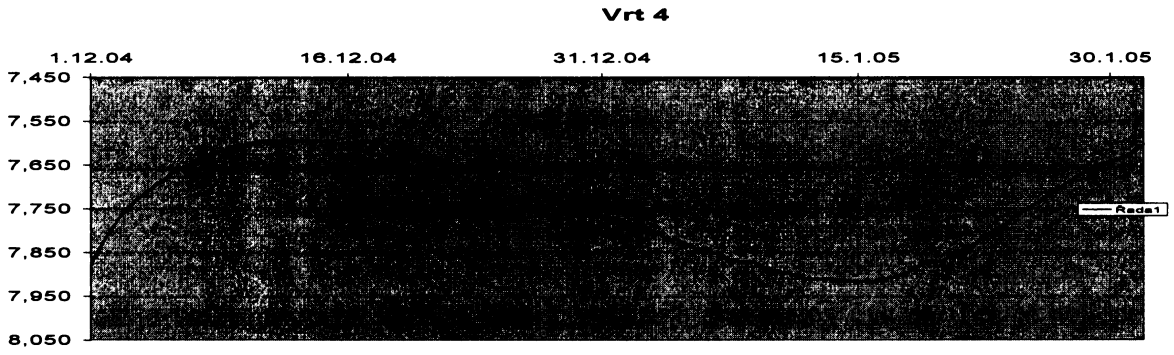
a)



b)



c)



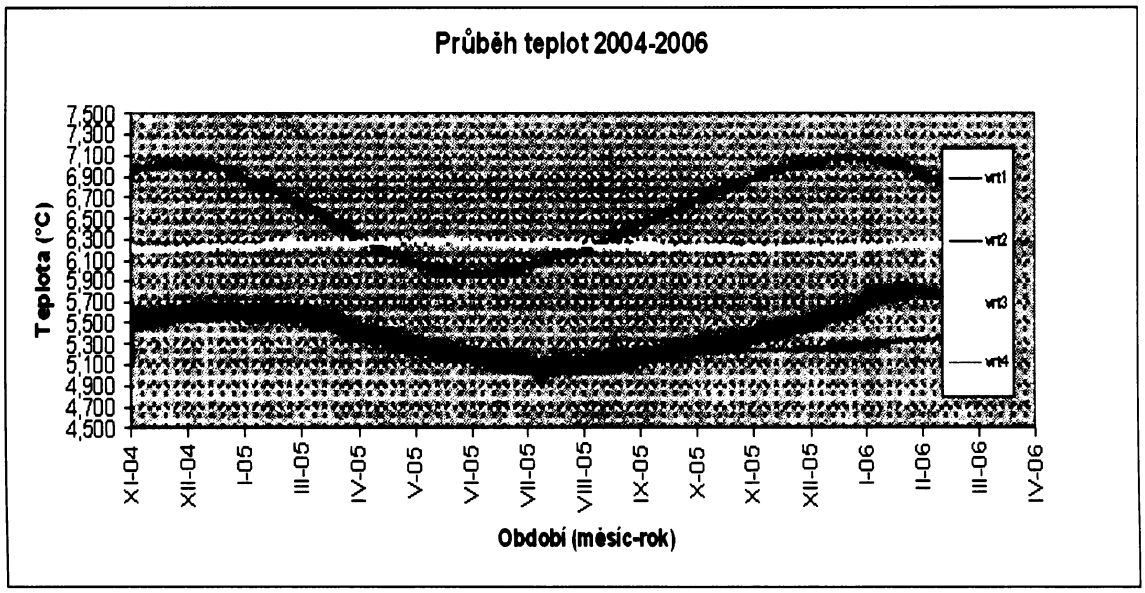
d)

Obr. 6.2 a-d. Detailní znázornění průběhu hladin ve vrtech HV1-4 v období 1.12.2004- 30.1.2005

Pro lepší orientaci jsou u sebe vždy oba vrty z drenážní a infiltrační oblasti. Jak je vidět u vrtů HV2 a HV4, vykazují téměř shodný trend a na stejné rozlišovací úrovni nevykazují zřejmou zvýšenou citlivost. Jiná situace je v oblasti drenážní. Když pominu výchylku na konečné části u vrtu HV1, tato křivka vykazuje pravidelné píky v cyklu postupně 6-3dny. U hlubokého vrtu jsou také patrné opakující se cykly, ale s mnohem větší frekvencí. U grafu je zobrazen šesti denní pohled, přičemž svisle tečkované čáry znázorňují jednotlivé dny. Nejnižších hodnot dosahuje hladina logicky vždy na začátku a konci dne(noc).Pravidelně kolem poledne hladina mírně klesne a opět stoupne. Tyto výkyvy jsou způsobeny vlivem slapových jevů, které dokáží zachytit pouze napjaté kolektory(úst. sdělení Mgr. Ondovčin, Doc. Mls).

6.2. Průběh teplot

Dalším sledovaným parametrem byla teplota. Kromě výjimečných situací jakými jsou například čerpací zkoušky, bylo jejich měření zajištěno nepřetržitě po celé období. Křivky teplot jednotlivých vrtů jsou znázorněny v grafu 6.3.



6.3. Grafické znázornění průběhu teplot na vrtech HV1-HV4

Jak je vidět na grafu, většina křivek vykazuje pravidelný cyklus. Ten je nejlépe patrný u vrtu HV1 a HV2-mělkých v drenážní a infiltrační oblasti. Vrt HV4 vykazuje počátečný sinusoidní tvar, ale od října 2005 spíše stagnuje. Minima u vrtů HV1,2 a 4 nastávají v letních obdobích, přičemž vrty v infiltračním území jsou oproti drenáži zhruba o měsíc zpožděny. Je to dáno nadmořskou výškou a s tím související teplotou a jejím opožděným vzrůstem oproti nížině. Jak jsem již řekla jedná se o minima. Tato minima pravděpodobně odpovídají podmínkám zimního období předchozího roku - 2004. Toto půlroční zpoždění je způsobeno kondukcí tepla skrz nadložní horninu. Stejný způsobem lze vysvětlit i maxima ke konci roku příslušející létu 2005. (Bundschuh, J., 1997).

Poněkud jiný trend však vykazuje teplota ve vrtu 3. Jedná se o hluboký vrt v infiltrační oblasti. Nejvyšších změn v teplotě dosahuje povrch země. Směrem do hloubky velikost změn teplot během roku exponenciálně klesá. V hloubce 10 m již amplituda dosahuje pod 1°C (Přibyl, 1992). V hloubkách okolo 20 metrů se již teplota během roku nemění. Při větším detailu lze pozorovat mírný vrcholek v červnu, kdy ostatní vrty nabývají minima. Toto maximum náleží zřejmě situaci v létě roku 2004. Jelikož se jedná o téměř roční amplitudu, křivka je silně shlazená a změny nejsou příliš patrné. Stejně jako u ostatních vrtů přisuzuji tuto skutečnost kondukci tepla horninovým prostředím.

7. Průběh a výstupy hydrodynamických zkoušek

Mimo dlouhodobého měření piezometrické úrovně a teplot byly na většině vrtů provedeny také čerpací, stoupací a v blízkém okolí také infiltrační zkoušky. Výjimku tvořil vrt HV-1 na kterém nebyla provedena dlouhodobá čerpací zkouška z důvodu velmi nízké vydatnosti, vyhodnocené na základě zkoušek na podzim 2005. Cílem hydrodynamických zkoušek bylo určit transmisivitu a koeficient hydraulické vodivosti pro účely dalšího použití jako vstupních hodnot do modelu hydraulického.

7.1. Čerpací a stoupací zkoušky

7.1.1. Čerpací a stoupací zkouška 4-6. května 2006

Čerpací zkouška

První zkouška proběhla v drenážní oblasti na hlubokém vrtu HV3. Celý průběh čerpací zkoušky je znázorněn na grafu(viz. příloha č.12,13). Před samotnou zkouškou byl na dataloggeru nastaven interval měření 10s. Také byl vypnut kanál měřící teplotu pro uvolnění datového místa. Čerpadlo bylo umístěno v hloubce 11m pod O.B. Ve 23:37 dne 4.5.2006 bylo spuštěno čerpání. Hladina před počátkem byla 2,1 m pod O.B. Čerpané množství bylo kontrolně změřeno v 23:41 a rovnalo se 0,2l/s. V 0:05 následujícího dne bylo čerpání přerušeno, což se na křivce projevuje jako náhlý pík. Po opětovném spuštění bylo naměřeno stejné čerpané množství, 0,2l/s. Další krátkodobé zvýšení je způsobeno dolitím benzínu do čerpadla. Poté bylo čerpané množství sníženo na 0,1l/s a udrženo až do 9:01, kdy bylo čerpání opět přerušeno. V následující fázi se po menších výkyvech vrátila hodnota zpět na cca 0,1l/s. Tento stav byl udržen až do 8:15 dne 6.května 2006, kdy byl opět dolit benzín. Čerpací zkouška byla ukončena dne 6.května v 17:40.

Výsledky

Čerpací zkoušku jsem vyhodnotila na základě celkového snížení od začátku čerpací zkoušky v závislosti na čerpaném množství před koncem čerpací zkoušky v relativně ustáleném úseku. Přepočty parametrů jsem provedla podle tab.3.1. Poslední změna čerpaného množství byla uskutečněna v 15:30, do té doby se hodnota držela na

cca 0,096l/s. Po tomto čase se na křivce objevují větší výkyvy. Z tohoto důvodu jsem tento čas a Q použila jako řešení.

K získání výsledných hodnot jsem použila tab. 3.1. (Krásný 1993a)

Q= 0,096l/s,. Hladina nad čidlem = 7,595m, Hladina na počátku 14,865m

S= 7,27m.

Z toho pak: Specifická vydatnost $q = Q/S = 0,014$ l/s/m

Index transmisivity $Y= \log(10^6 q) = 4,14$

Transmisivita $T = 1,03$ m^2/den $= 1,2*10^{-5}$ m^2/s

Koeficient hydraulické vodivosti $k = 5,2*10^{-7}$m/s...při sloupci 23m

Stoupací zkouška

Stoupací zkouška byla vyhodnocena na základě měřených dat přístrojem LGR. Data byla vyhodnocena postupem zbytkového snížení dle metody Jacoba.(Domenico, 1997). Čerpání bylo ukončeno 7. května v 17:40 min. Od této doby byla sledována zkouška stoupací. Celý průběh zkoušky je znázorněn v grafu (viz. příloha č. 12, 14). Interval měření během stoupací zkoušky byl nastaven na 5min. Data byla stažena při další čerpací zkoušce 13.5.2006. V tu chvíli se hodnota odlišovala od hladiny před čerpací zkouškou o 10cm. Jak je vidět na grafu tuto hodnotu lze brát za již ustálenou hodnotu.

Parametry potřebné k vyhodnocení:

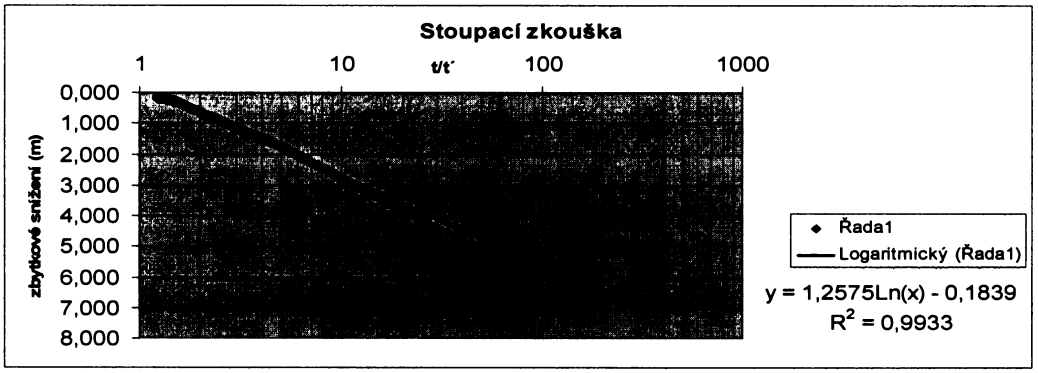
t´.....čas od konce čerpací zkoušky(hod:min)

t.....čas od začátku čerpací zkoušky(hod:min)

h_0.....hladina před počátkem čerpací zkoušky (m) = 14,865(nad čidlem)

h.....hladina během stoupací zkoušky (m)

Q(l/s).....čerpané množství (m^3/s)



7.1. Grafické znázornění stoupací zkoušky 4-6. května 2006

Z naměřených údajů bylo vypočteno snížení $\Delta s' = h_o - h$ a poměr t/t'.

Tyto veličiny jsem vynesla do grafu v logaritmickém měřítku. Vzniklá křivka je proložena přímkou, vyjádřenou rovnicí pro účely dopočtu s v logaritmickém měřítku:

Pak platí:

$\Delta s' = (1{,}2575 Ln(10) - 0{,}1839) - (1{,}2575 Ln(1) - 0{,}1839)$

Tento výsledek jsem dále použila jako vstup pro výpočet.

$T = 2{,}3Q/4\pi\Delta s' = 2{,}3*1{,}04*10^{-4}/4\pi*2{,}9 = 6{,}59*10^{-6}\ m^2/s$

$k = 2{,}87*10^{-7}$ m/s při sloupci 23m

Výsledky jednotlivých zkoušek tedy jsou:

Vyhodnocení čerpací zkoušky: $T = 1{,}03\ m^2/den = 1{,}2*10^{-5}\ m^2/s$

Vyhodnocení stoupací zkoušky: $T = 0{,}57\ m^2/den = 6{,}59*10^{-6}\ m^2/s$

7.1.2. Čerpací a stoupací zkouška 12-14. května 2006

Čerpací zkouška

Druhá zkouška proběhla v infiltrační oblasti na mělkém vrtu HV2. Celý průběh čerpací zkoušky je znázorněn v grafu(viz. příloha č.15, 16). Před zkouškou byla stažena data z LGR a přepnutí intervalu měření z 60min na 10s. Také byl vypnut kanál měřící teplotu pro uvolnění datového místa. Čerpadlo bylo umístěno v hloubce 10m pod O.B. a přibližně 9,60m pod terénem. Ve 22:57 dne 12.5.2006 bylo spuštěno čerpání. Hladina před počátkem byla 7,67 m pod O.B. Množství čerpaného množství bylo kontrolně změřeno v 23:15 hodnotou 0,14l/s. Toto množství bylo záhy sníženo na 0,17l/s a udrženo až do 7:25 následujícího dne. V 9:37 byla stažena získaná data a interval prodloužen na 30s.Tím se vytvořila mírná cca 4minutová mezera v měření a malý pík směrem vzhůru. Následně v 9:57 musela být vyměněna baterie dataloggeru. Zhruba v této době křivka grafu čerpací zkoušky prudce klesla a následně zase stoupla pravděpodobně v důsledku těchto operací. Tento výkyv je znázorněn v koncové části.

Další 2 výkyvy jsou způsobeny vypnutím a dolitím benzínu v 10:46 a stahováním dat v 11:45. Zhruba v 18:07 došlo k opětovnému stažení dat. Po tomto okamžiku se na křivce objevuje prudký pokles a velká časová prodlevě způsobená pravděpodobně chybou LGR. Z tohoto důvodu bylo v 19:39 zapuštěno nové čidlo vyjmuté z HV1 do hloubky 8,54m pod. O.B. Ve 23:37 došlo opět k doplnění benzínu, čímž se křivka

hladin opět prudce zvedá. Ve 23:57 bylo náhle zvýšeno čerpané množství na 0,4l/s, ale toto zvýšení trvalo pouze krátkou dobu a v 0:30 bylo ustáleno na hodnotě 0,29l/s. Přibližně na této hodnotě zůstalo až do konce čerpací zkoušky. K poslednímu výraznému nárůstu hladiny dochází v 13:18 dolitím benzínu. Čerpání bylo ukončeno v 15:30 a následovala zkouška stoupací.

Výsledky

Čerpací zkoušku jsem řešila na stejném principu jako v kap. 7.1.1. Na základě instalace nového čidla a tedy nepřesnosti rozdílu mezi jednotlivými hloubkami jsem se rozhodla pro hodnotu snížení na základě měření hydraulické píšťaly na začátku a konci čerpání.(z důvodu nepřesnosti přístrojově měřených dat)

Q= 0,29l/s,. Hladina pod O.B. = 8,97m, Hladina na počátku 7,67

S= 1,30m.

Z toho pak:	Specifická vydatnost	$q = Q/S = 0{,}226$ l/s/m
	Index transmisivity	$Y = \log(10^6 q) = 5{,}34$
	Transmisivita	$T = 10{,}45$ m^2/den $= 1{,}2 * 10^{-4}$ m^2/s
	Koeficient hydraulické vodivosti při 4,5 m vodního sloupce	$k = 2{,}67 * 10^{-5}$m/s

Stoupací zkouška

Stoupací zkouška byla vyhodnocena na základě měřených dat přístrojem LGR. Jak bylo napsáno v předchozím odstavci čerpání bylo ukončeno 14. května v 15:30 min. Od této chvíle byla sledována zkouška stoupací. Celý průběh zkoušky je znázorněn v grafu.(viz. příloha č. 15,17)Interval měření během stoupací zkoušky byl 10 min. Čas potřebný k návratu na původní hladinu jsem stanovila na cca 32 hodin, což je pravděpodobně mírně nadsazená hodnota. Další kolísání hladiny je již způsobeno běžným režimem.

Parametry potřebné k vyhodnocení:

t´.....čas od konce čerpací zkoušky(hod:min)

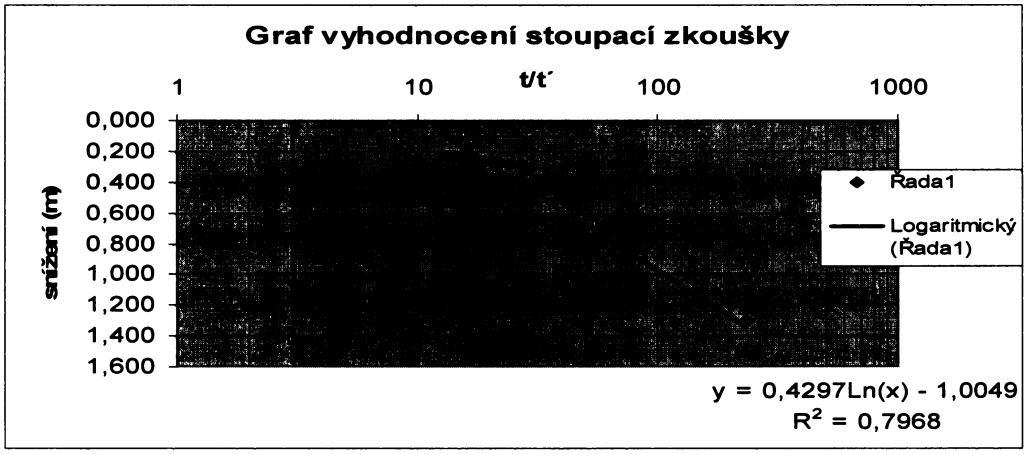
t.....čas od začátku čerpací zkoušky(hod:min)

h_o.....hladina před počátkem čerpací zkoušky (m) = 1,845m(nad čidlem)

h.....hladina během stoupací zkoušky (m)

Q(l/s)...čerpané množství= 0,28

Z těchto parametrů jsem sestrojila graf závislosti t/t´-Δs´. Tento graf je znázorněn na obr. 7.2.



7.2. Grafické znázornění stoupací zkoušky 12-14. května 2006

Z naměřených údajů jsem vypočetla snížení $\Delta s' = h_0 - h$ a poměr t/t´.
Tyto veličiny jsem vynesla do grafu v logaritmickém měřítku. Vzniklá křivka je proložena přímkou, vyjádřenou rovnicí pro účely dopočtu s v logaritmickém měřítku:
Pak platí:

$\Delta s' = (0{,}4297 \ln(10) - 1{,}0049) - (0{,}4297 \ln(1) - 1{,}0049)$

Tento výsledek jsem dále použila jako vstup pro výpočet.

$T = 2{,}3Q/4\pi\Delta s' = 2{,}3*2{,}10*10^{-4}/4\pi*0{,}99 = 5{,}14*10^{-5}\ m^2/s$
$k = 1{,}14*10^{-5}$ m/s při vodním sloupci 4,5m

Výsledky jednotlivých zkoušek tedy jsou:
Vyhodnocení čerpací zkoušky: $T = 10{,}45\ m^2/den = 1{,}2*10^{-4}\ m^2/s$
Vyhodnocení stoupací zkoušky: $T = 4{,}44\ m^2/den = 5{,}14*10^{-5}\ m^2/s$

7.1.3. Čerpací a stoupací zkouška 2-4. června 2006

Čerpací zkouška

Poslední zkouška proběhla na vrtu HV4-hluboký vrt v infiltrační oblasti. Průběh celé čerpací zkoušky je znázorněn v grafu(viz. příloha. 18,19).Po stažení dat byl interval nastaven na 30s. Také byl vypnut kanál měřící teplotu pro uvolnění datového místa. Čerpadlo bylo spuštěno do hloubky 15m pod. O.B a zapnuto v 23:16 dne 2.6.2006.

Hladina před počátkem byla 7,97 m pod O.B. Množství čerpaného množství bylo kontrolně změřeno pomocí5l nádoby a to v 23:22 hodnotou 0,063l/s.

Tento stav byl změněn ventilem až v 0:28 následujícího dne a to na 0,13l/s a v 00:54 ustáleno na hodnotě 0,082l/s. V 8:17 bylo čerpané množství 0,1l/s.

V následujícím úseku dochází ke dvěma výrazným výchylkám.

První zhruba v 11:30 je způsobena dolíváním benzínu do čerpadla, čímž se prudce snížilo čerpané množství. Náhlý pokles křivky hladiny byl způsoben porušením na hadicích odvádějících vodu z vrtu a došlo k sání vzduchu a tím i zvýšení čerpaného množství což není v průběhu Q opět patrné (dlouhý interval měření). Test čerpaného množství byl proveden až v 17:12 a stanoven na 0,1l/s a na této hodnotě byl přibližně udržen až do konce čerpací zkoušky. V 19:40 došlo ke stažení dat a změně intervalu na 10min. Zkoušky byla ukončena 4.června.2006 v 15:50.

Výsledky

Čerpací zkoušku jsem řešila stejně jako v předešlých případech. Potom:

Q = 0,098l/s,. Hladina nad čidlem = 3,895 m, Hladina na počátku 8,975m

S = 5,085m

Z toho pak: Specifická vydatnost $q = Q/S = 0,019$ l/s/m

Index transmisivity $Y = \log(10^6 q) = 4,29$

Transmisivita $T = 1,07$ m^2/den $= 1,24*10^{-5}$ m^2/s

Koeficient hydraulické vodivosti $k = 7,29*10^{-7}$m/s při 17 metrech sloupce

Stoupací zkouška

Stoupací zkouška byla vyhodnocena na základě měřených dat přístrojem LGR stejně jako zkoušky předchozí. Celý průběh zkoušky je znázorněn v grafu.(viz. příloha č.18,20). Interval měření během stoupací zkoušky byl 10 min. Jak je vidět na grafu hladina se dostala na původní hodnotu za velmi krátký časový úsek, zhruba 2 hod. Od původní hladiny se v tomto okamžiku odlišovala pouze o méně než 6 cm což je již způsobeno běžným režimem.

Parametry potřebné k vyhodnocení:

t´.....čas od konce čerpací zkoušky(hod:min)

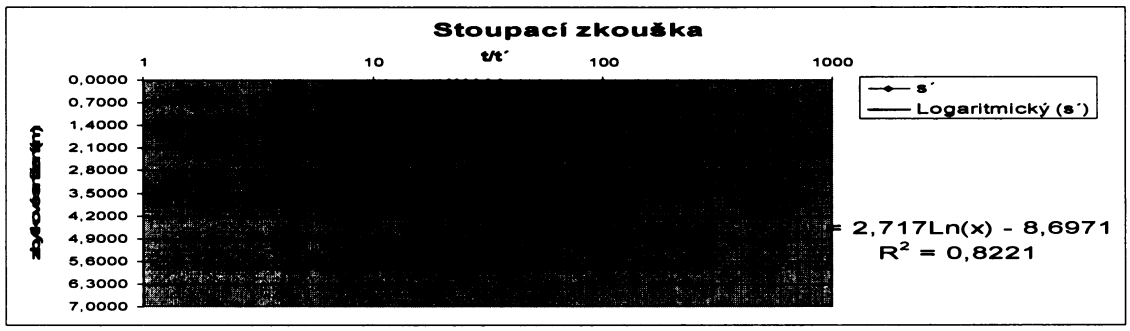
t.....čas od začátku čerpací zkoušky(hod:min)

h_o.....hladina před počátkem čerpací zkoušky (m) = 1,845m(nad čidlem)

h.....hladina během stoupací zkoušky (m)

Q(l/s)...čerpané množství= 0,3

Z těchto parametrů jsem sestrojila graf závislosti t/t´-Δs´. Tento graf je znázorněn na obr. 7.3.



Obr. 7.3. Grafické znázornění stoupací zkoušky 2-4.června 2006

Z naměřených údajů jsem vypočetla snížení $\Delta s' = h_0-h$ a poměr t/t´.

Tyto veličiny jsou vyneseny do grafu v logaritmickém měřítku. Vzniklá křivka je proložena přímkou, vyjádřenou rovnicí pro účely dopočtu s v logaritmickém měřítku:

Pak platí:

$$\Delta s'=(0,4297\ln(10)-1,0049)-(0,4297\ln(1)-1,0049)$$

Tento výsledek jsem dále použila jako vstup pro výpočet.

$T = 2,3Q/4\pi\Delta s' = 2,3*9,8*10^{-5}/4\pi*6,26 = 2,87*10^{-6}\ m^2/s$
$k = 1,69*10^{-7}$m/s při sloupci 17m.

Výsledky jednotlivých zkoušek tedy jsou:

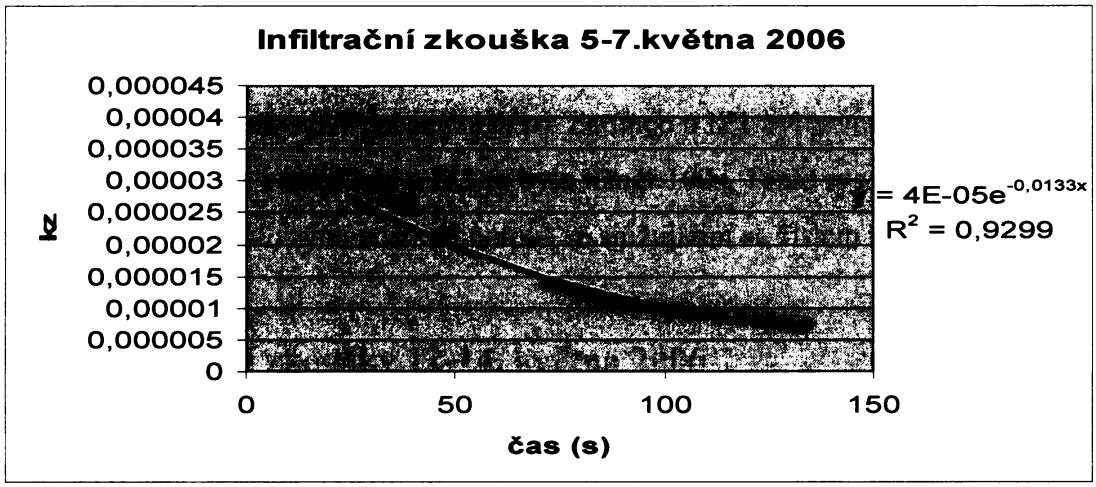
Vyhodnocení čerpací zkoušky: $T = 1,07\ m^2/den = 1,24*10^{-5}\ m^2/s$

Vyhodnocení stoupací zkoušky: $T = 0,25\ m^2/den = 2,87*10^{-6}\ m^2/s$

7.2. Infiltrační zkoušky

7.2.1. Infiltrační zkoušky 2-4. května 2006

První infiltrační zkoušky byly provedeny v drenážní oblasti a to celkem 3x. Na všech pozicích byl odstraněn pouze listnatý pokryv bez zásahu do půdního profilu. Pokles hladiny o 1cm byl pozorován a časově měřen.Toto měření zachycovalo průměrně celkový pokles o 5cm: Po tomto úseku byla dolita voda a měření se opakovalo. Vzhledem k rozdílnému intervalu (cm), tudíž nejasným pauzám mezi dolíváním jsem vykreslila výsledky k_z jako funkci času pouze pro 1cm Příklad křivky IZ1 je znázorněn na obr 7.4.



Obr. 7.4. Grafické znázornění infiltrační zkoušky bodu IZ1 2-4.května 2006

Osa x znázorňuje čas potřebný k poklesu hladiny ve válci právě o 1cm, nejedná se tudíž o kumulativní hodnoty.

Na ose y je znázorněn vertikální koeficient propustnosti(m/s). Jak je vidět na křivce její koncová část se ustaluje a dále se mění jen pomalu. Proto poslední hodnotu měření můžeme brát jako modelovou hodnotu pro saturovanou zónu.

$k_z = 7{,}87*10^{-6}$m/s

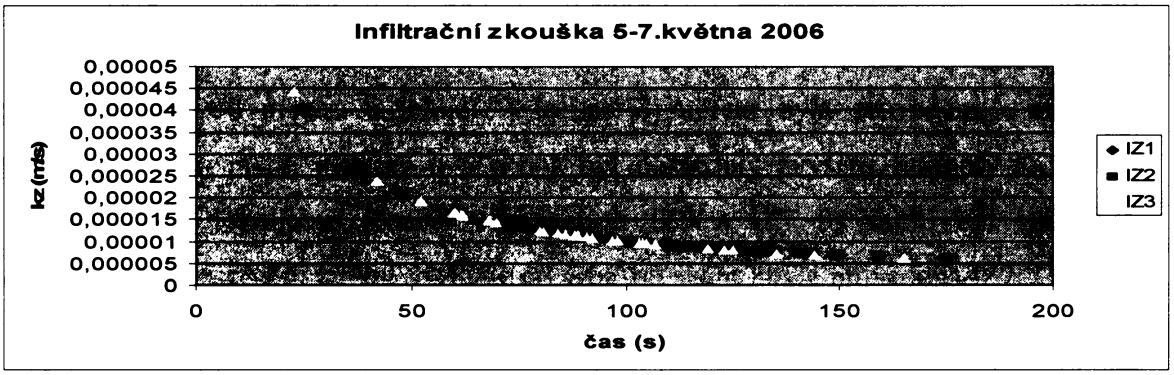
Podobný průběh vykazovala i křivka z druhého měřeného místa **IZ2**. Výsledkem této zkoušky je poslední hodnota:

$k_z = 6{,}06*10^{-6}$m/s

Poslední místo měření **IZ3** se nacházelo v blízkosti Zdíkovského potoka. Toto místo bylo již před začátkem zkoušky promáčeno. Na vyhodnocené křivce je patrný neustálý pokles hodnot k_z a to i na konci měření. V tomto případě nelze určit ani přibližnou hodnotu ale pouze předpoklad že:

$k_z < 6{,}29*10^{-6}$m/s

V následujícím grafu jsou znázorněny všechny zkoušky pro jejich porovnání.

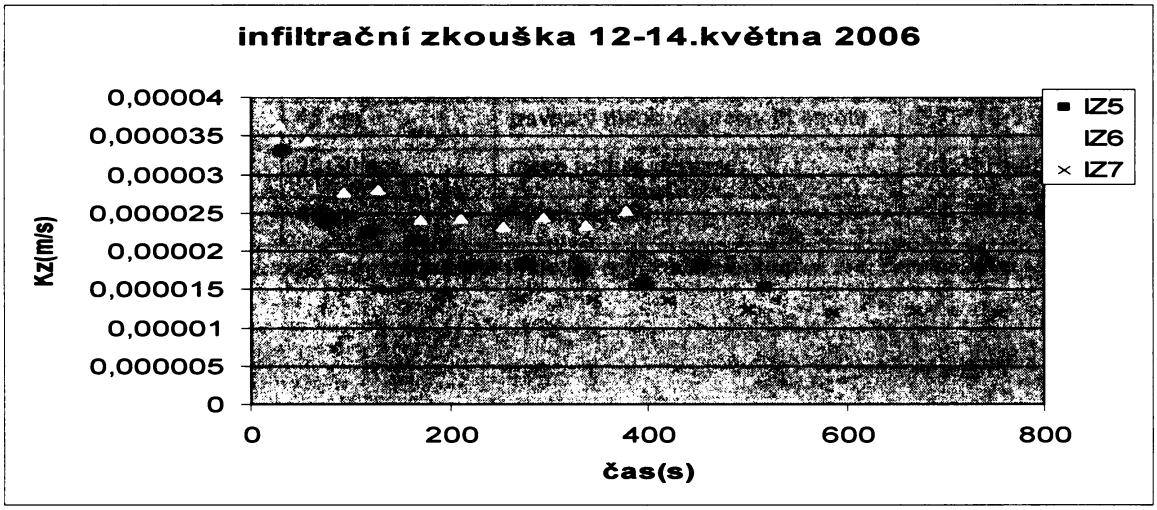


Obr. 7.5. Grafické znázornění infiltračních zkoušek 2-4.května 2006

Jak je vidět z grafu, všechny zkoušky se +/- shodují v v koncové části křivky. Výrazné rozdíly nastávají v počáteční části. Zatímco u IZ1 byl první čas potřebný k poklesu hladiny o 1 cm 22,5s u IZ3 to bylo téměř 100s. Tento rys pravděpodobně souvisí se vzrůstající vzdáleností od potoka se snižujícím se číslem zkoušky.

7.2.2. Infiltrační zkoušky 12-14. května 2006

Druhé kolo infiltračních zkoušek proběhlo v infiltrační oblasti a celkem se jednalo o 4 měření. Většinou bylo prováděno po odkopání prvních cm povrchu, tzn. jehličnatém či mechovém porostu a slabé vrstvy světlé půdy. U této série jsem však použila jiný způsob vykreslení. Měření probíhalo jako kontinuální pozorování poklesu hladiny ve válci o celých 10cm s dílčími časy po poklesu o 1 cm. Proto osa x znázorňuje kumulativní čas.



Obr. 7.6. Grafické znázornění infiltračních zkoušek 12-14.května 2006

Z terénního deníku není bohužel zřejmé v jakých hloubkách přesně byla měření prováděna. Jak ale vyplývá všechny zkoušky byly provedeny na místech prvotně pokrytých vrstvou mechu a jehličí. Všechna 3 měření byla provedena v mělkých depresích z nich méně výrazná u IZ6 což byl dokládaly zvýšené hodnoty K_z oproti ostatním dvou lokalitám. Rozdíl v hodnotách IZ5 a IZ7 by mohl být způsoben vzdáleností po svažitém terénu. Nejdále od vrtu(po svahu) byla provedena IZ7.

Při určování Kz pro saturovanou zónu jsem postupovala stejně jako u zkoušek z 5-7.května 2006.

IZ 5 **kz = 1,53*10^{-5} m/s**

IZ 6 **kz = 2,53*10^{-5} m/s**

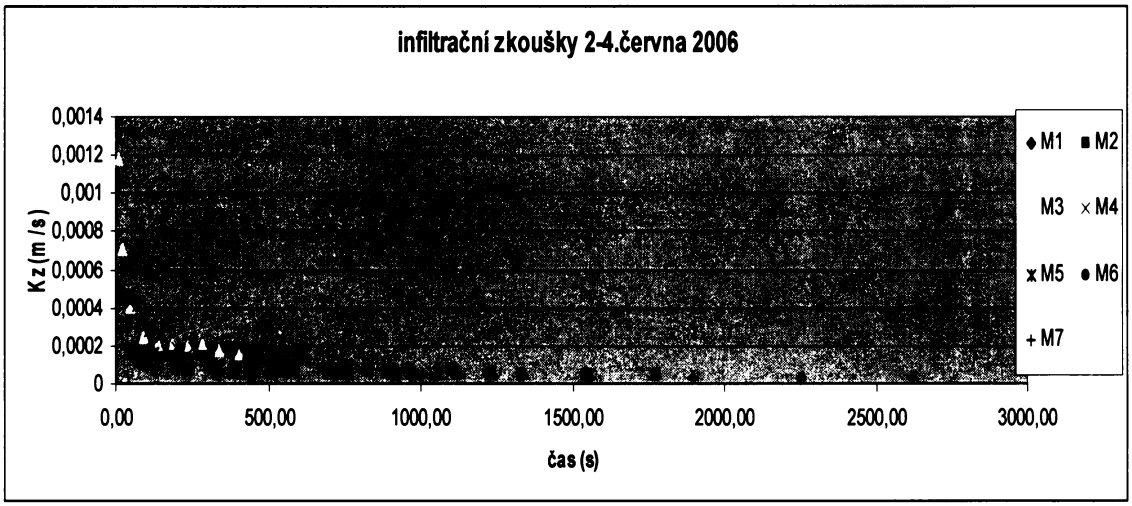
IZ7 **kz = 1,16*10^{-5}m/s**

7.2.3. Infiltrační zkoušky 2-4. června 2006

Poslední série zkoušek byla provedena opět v infiltračním oblasti. Celkem bylo provedeno 10 zkoušek na různých vzdálenostech od vrtů, víceméně vyhloubených do cca 40cm hloubky. V této hloubce se v převážné většině případů nacházela světlá jílovitá hlína. Některé zkoušky probíhaly v mírných depresích. Výsledky zkoušek- určení Kz, základní charakteristiky jsou uvedeny v tabulce 7.1.

Označení	hloubka	Pokryv	Kz(m/s)
M1	30 cm	mech, jehličí, báze jílovitá hlína	<1,52 * 10-4
M2	30cm	mírná deprese, mech méně,kořeny	4,41*10-5
M3	30cm	travnatý porost, jehličí, humus	1,59*10-4
M4	20 cm	travnatý porost, jehličí,humus	1,6*10-4
M5	30 cm	travnatý porost + mech	< 5,7*10-5
M6	40 cm	travnatý mech, báze jílovitá hlína	< 7,04*10-5
M7	45 cm	travnatý mech, deprese, jíl.hmota	2.72*10-5
E1	20-30 cm	mech,jehličí, deprese	< 1,3*10-4
E2	40cm	Mech, jehličí	< 1,25*10-4

Tab. 7.1. Základní charakteristiky a výsledky infiltračních zkoušek 2-4. června 2006.



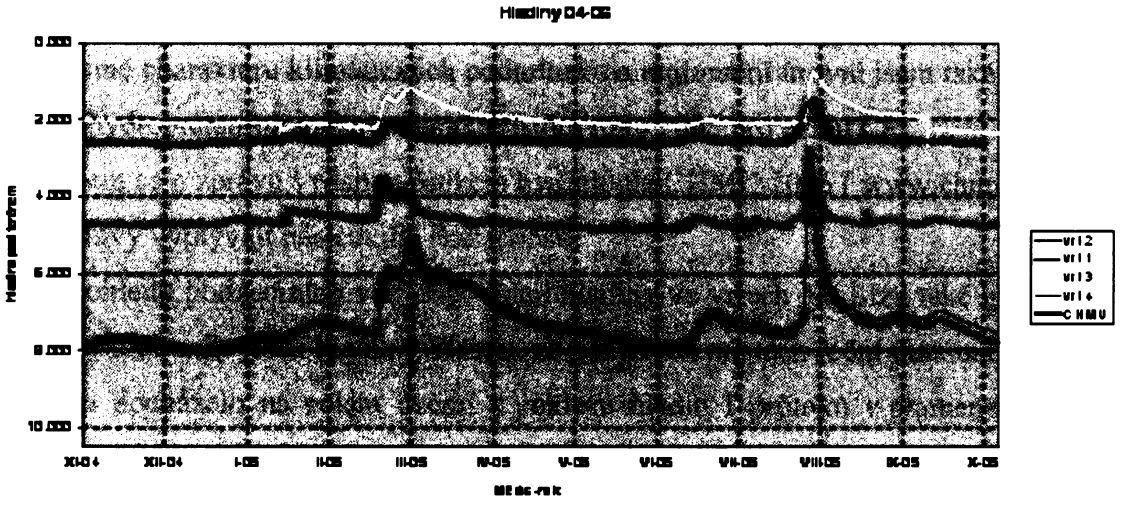
Obr. 7.7. Grafické znázornění výsledků infiltračních zkoušek 2-4.června 2006

8. Korelace s již měřenými daty CHMU

Myšlenkou diplomové práce bylo mimo jiné definovat roli a kvalitu aquiferu na malém povodí Na Lizu a to hlavně v extremních klimatických podmínkách. Jestli toto období během realizace diplomové práce nastalo či jestli se vymykalo dlouhodobému trendu jsem se rozhodla vyřešit pomocí dat zajišťovaných CHMÚ
(Hydrometeorologický ústav). Snažila jsem se vyhledat v okolí hluboký vrt, jehož trend je víceméně neměnný a není příliš ovlivněn povrchovými jevy. Bohužel se tyto vrty v okolí lokality nevyskytují. Přistoupila jsem proto k použití mělkých okolních vrtů s podobným průběhem hladin během sledovaného období. Také jsem použila data z nejblíže položených pramenů.

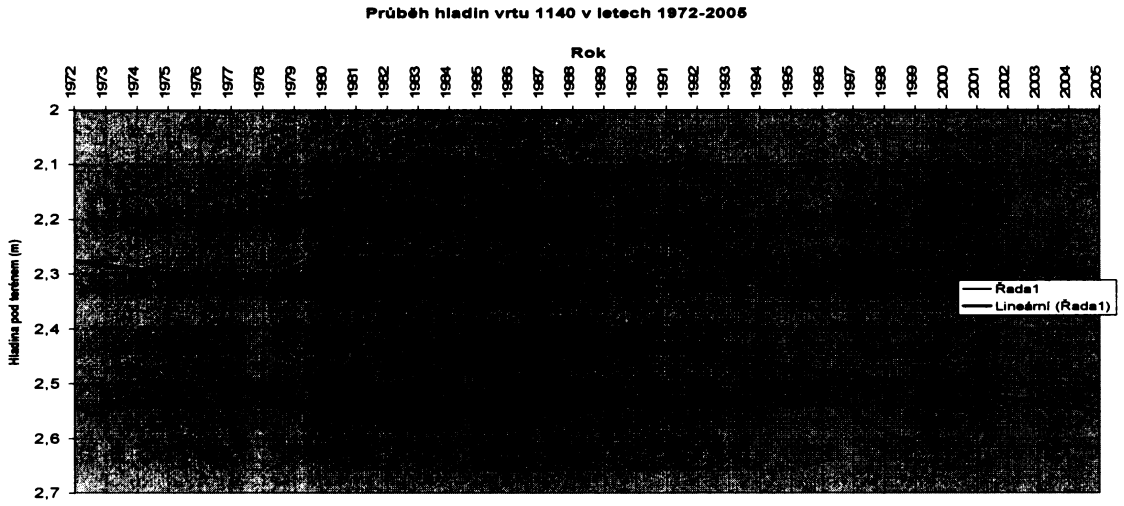
8.1. Dlouhodobý trend hladiny podzemní vody vs. rok 2005

Po konzultaci s RNDr. Novotnou z CHMÚ, která se zabývá hydrologickou bilancí právě v této oblasti jsme vybraly jako nejlépe reprezentativní vrt VP1140. Důvodem byl víceméně neměnný trend po dobu celého období 2004-2005. V grafu je znázorněn průběh hladin (týdenní interval) vrtu databáze CHMÚ spolu s průběhy hladiny(60 min) na mnou pozorovaných vrtech.



Obr. 8.1. Grafické zobrazení průběhu hladin v monitorovacích vrtech a vrtu CHMÚ

Jak je vidět podmínku podobného průběhu vrt CHMU splňuje. Jedná se o vrt umístěný v nadmořské výšce 551,7 m v katastrálním území Bohumilice patřící moldanubické jednotce. Hluboký 6,56 m s podložím biotitických rul.
Dále jsem do grafu vykreslila průběh průměrných ročních hodnot z let 1972 - 2005.



Obr. 8.2. Graf průběhu průměrných ročních stavů hladiny vrt VP 1140 v letech 1971-2005

Křivku jsem proložila lineárním trendem. Ten dokazuje to, co je patrné na první pohled a to trvalý pokles. Nárůst v roce 2002 je způsoben celorepublikovými povodněmi. Jak je vidět rok 2005 se jeví vzhledem k dlouhodobému trendu jako podprůměrný. Vzhledem k blízkosti povodí Na Lizu, stejnému průběhu hladin jako v monitorovacích vrtech Na Lizu, lze tento trend považovat za podobný až totožný.

Kromě charakteru klimatických podmínek na regionální úrovni jsem také nastínila obecnou hydrometeorologickou charakteristiku roku 2005 pro celou ČR.
Opřela jsem se o zprávu vydanou úsekem hydrologie CHMU 2006 (www.chmi.cz)
Z této zprávy vyplývají následující skutečnosti:

Z pohledu podzemních vod odpovídají hladiny ve vrtech Na Lizu také globálním charakteristikám. Zvýšení hladin v březnu, na některých místech roční maxima. Po jarní kulminaci docházelo na celém území k poklesu hladin i průtoků v pramenech. Tyto poklesové trendy však byly na některých místech narušeny letními srážkami, což je případ i mnou sledovaných vrtů. U nich se objevilo roční maximum hladiny v polovině srpna 2005. Naopak nejmenších stavů nabývaly hladiny od října 2005 a tyto stavy dále pokračovaly Na Lizu až do začátku roku 2006. Celkově lze proto říci, že rok 2005 nelze

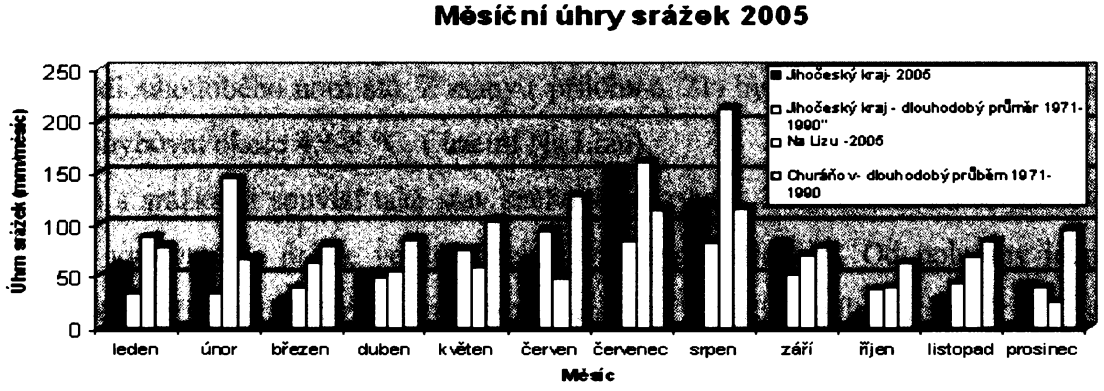
považovat za klimaticky abnormální a data z něho naměřená nelze použít jako data pořízená za extremních podmínek.

Stejně normální se jeví rok 2005 také v odtokových charakteristikách. Roční minima se objevují na začátku léta a na podzim, v celorepublikovém měřítku potom nejméně vodným měsícem se stal červen. V červenci se také projevily prudké přívalové deště, z hlediska povodňové aktivity však pouze lokální a málo významné.

8.2. Dlouhodobý trend úhrnu srážek vs. rok 2005

Stejně jako v předchozí kapitole jsem se opřela o výsledky zprávy CHMU (www.chmi.cz):

Z hlediska srážek se jedná o rok průměrný. Nadprůměrných hodnot dosahuje v lednu a červenci, naopak silně podprůměrný byl celý říjen. Obě tyto skutečnosti naprosto souhlasí s naměřenými daty ve vrtech Na Lizu, kde se maxima objevují taktéž v lednu, únoru a červenci a od října potom hladina hlavně v infiltrační oblasti prudce klesá. Jelikož jsem měla úhrn srážek za celý rok k dispozici pokusila jsem se o jejich srovnání s daty z nejblíže položené meteorologické stanice. Jedná se o stanici Churáňov (1118m.n.m.) Jedná se o stanici, jejíž poloha je však oproti poloze Na Lizu vyšší a lze tedy očekávat vyšší úhrny. Proto jsem se také zaměřila na průměrné úhrny v celém jihočeském kraji vs. Dlouhodobý průměr 1971-1990 v této oblasti. Porovnání všech těchto parametrů je znázorněno v grafu 8.3.

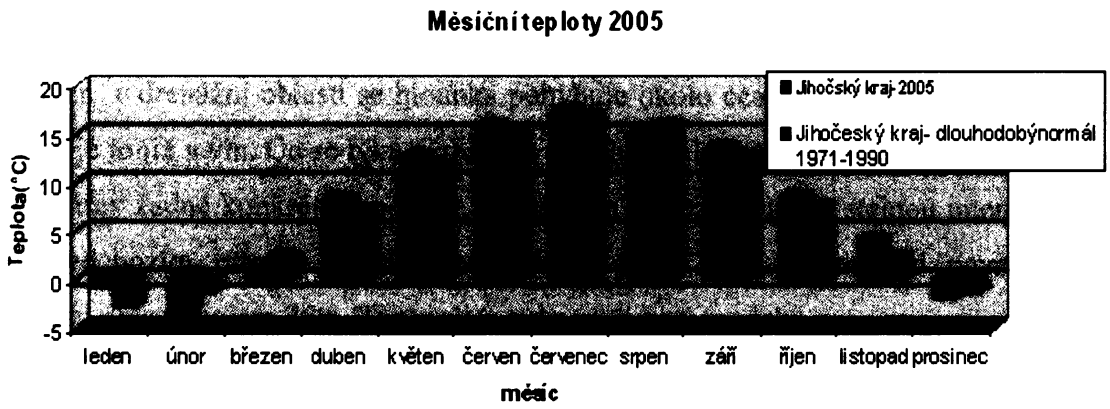


Obr. 8.3. Grafické porovnání měsíčních úhrnů srážek povodí Na Lizu, Jihočeským kraj, dlouhodobým průměrem Stanice Churáňov a dlouhodobým průměrem Jihočeského kraje

V příloze č. 21,22 jsou také zobrazeny mapy ČR dlouhodobých normálů srážek a teplot. Území Na Lizu odpovídá hodnota 801-1000mm/rok. S úhrnem 940,5mm za rok 2005 tak patří k roku průměrnému.

8.3. Dlouhodobý trend teploty vs. rok 2005

Z hlediska teploty byl rok 2005 normální, opět s kladnou anomálií na začátku roku a zápornou v koncové části. Teploty měřené přímo na území Na Lizu jsem bohužel neměla k dispozici. Proto jsem stejně jako u hladin srovnala hodnoty za rok 2005 a dlouhodobý průměr pro celý Jihočeský kraj.



Obr. 8.4.Grafické znázornění měsíčních průměrných teplot za rok 2005 jihočeského kraje a dlouhodobého trendu jihočeského kraje

V jihočeském kraji byl rok 2005 z hlediska teploty ročním průměrem navýšen o 0,1°C od dlouhodobého normálu. Z mapy (příloha č. 21) by se měla normální hodnota teploty pohybovat okolo 4,1-5 °C. (území Na Lizu)

S teplotou a srážkami souvisí také stav sněhové pokrývky. Začátkem roku se sněhová pokrývka vyskytovala pouze ve středních a vysokých polohách. Od poloviny ledna začíná sněhu přibývat. Od poloviny března dochází v nižších polohách již k tání, ve vyšších sníh vydržel v menším množství až do dubna. Co se týká konce roku 2005, pokrývka se začala tvořit od poloviny listopadu.

9. Výstupy hydraulického modelu

9.1. Tvorba hydraulického modelu

Podle navrženého konceptuálního modelu(viz. kap.5.2.2.), jsem začala tvořit model v samotném programu FEFLOW. Model je zjednodušen a počítá pouze se saturovanou zónou. Druhým zjednodušením je stacionarita procesu.

Zvolila jsem si 2 vrstvy, první reprezentující zónu zvětrání a druhá zónu rozpukání. Tento model pracuje vždy s x+1 slice, plochou ohraničují vrstvu.

Bodům nejsvrchnější vrstvy jsem přiřadila souřadnice x,y,z, takže se dále nejednalo o plošné , ale prostorové zobrazení. Souřadnice uložené v upraveném textovém souboru s koncovkou trp. jsem importovala do první plochy pomocí příkazu 3D- slice elevation. Pro rozhraní mezi vrstvami jsem si zavedla vztah mezi nadmořskou výškou a hloubkou rozhraní, za známe hodnoty jsem vzala místa vrtů, kde je rozhraní známé. Tzn. v drenážní oblasti se hloubka pohybuje okolo cca 13 m, zatímco v oblasti infiltrační je to již v 9m. Co se týká rozhraní s pevnou skalní horninou, pro toto rozhraní nebyly známy žádné konkrétní hodnoty. Proto jsem se rozhodla pro stejnou interpolaci jako v předchozím případě. V místě vrtů HV1 a HV3 na 29 m pod povrchem, v infiltrační oblasti kolem 25m. Tento slice tedy tvoří bázi modelu.

Pro pozorování změn hladin ve vrtech jsem do modelu zavedla pozorovací body. Pro lepší posuzování shody s reálnými parametry jsem body umístila do dna každého vrtu. Jelikož hloubky vrtů nesouhlasí s rozhraním mezi vrstvami, bylo potřeba rozdělit vrstvy tak, aby zde vznikl slice , který je ve stejné úrovni jako dno vrtu.

První mezivrstva slouží pro umístění pozorovacího bodu1(vrt HV1), který se nachází v hloubce 9m pod terénem. Hloubku vrstvy jsem však s ohledem na proměnlivost rozhraní v prostoru modelu umístila 3 m pod terénem a v místě vrtu změnila pouze bodově nadmořskou výšku. Stejně jsem postupovala i v případě ostatních vrtů.

Model jsem tvořila ve verzi, která neumožňuje ukládání ani zobrazení přesných výsledků při počtu buněk větším než 500. Pozorovací body jsem proto vložila do nejblíže položených uzlů vzhledem k vrtům. V následující tabulce jsou vypsány jednotlivé pozorovací objekty a jejich geografické charakteristiky. Čísla pozorovacích bodů odpovídají číslům vrtů. Např. pozorovací bod 1= HV1.

	1	2	3	4
Nadmořská výška terénu (m.n.m)	835,94	988,18	835,94	988,18
Nadmořská výška bodu(m.n.m)	826,94	976,18	810,94	963,18

Tab. 9.1. Charakteristika pozorovacích bodů

9.2. Kalibrace hydraulického modelu

V této fázi byla vytvořena neaktivní forma modelu. Dalším krokem bylo zadat modelu jednotlivé hydraulické a hydrologické parametry a model kalibrovat.

Jak bylo řečeno v předchozích kapitolách, k dispozici jsem měla denní úhrny srážek a průtoku na uzávěru povodí a v neposlední řadě měřené hladiny na pozorovacích vrtech. Nejdelší období, ke kterému byly k dispozici všechny hodnoty bylo leden – říjen 2005. S ohledem na čerpací zkoušky v říjnu 2005 jsem však počítala pouze s obdobím leden- září 2005.

Průměrné hodnoty za celé zmíněné období:

Q = 12,4 l/s , Srážky = 3,35 mm/den

Vrt1 = 4,63 ; Vrt2 = 7,44 ; Vrt3 = 2,05 ; Vrt4 = 7,25 hladina pod terénem (m)

Okrajové podmínky:

1) První okrajovou podmínku (Dirichletova) konstantní hladiny jsem stanovila na několika bodech protékajícího potoka v místech uzlů modelu. Bohužel nebyla k dispozici data charakteristik potoka, proto jsem hladiny stanovila souhlasně s nadmořskou výškou bodů. Tuto podmínku jsem také stanovila na hranici modelu s nejnižší výškou, tzn. v místě, kde potok opouští model. Hranice je dlouhá přibližně 300m. Tyto podmínky byly shodně stanoveny pro všechny vrstvy. Na této hranici lze pozorovat změny průtoku skrz všechny vrstvy.
2) Podmínku 2. typu (Neumannova) jsem stanovila po zbytku okraje povodí. Povodí tvoří hydrologické rozvodí, proto zde nepředpokládám žádny přítok či odtok.

Dále bylo nutné zavést množství vody (m/den) jež vstupuje do modelu.Tento vstupní parametr jsem zavedla jako odečet srážek a odtoku z povodí potokem v závislosti na ploše povodí (0,99 km^2)

Tato hodnota byla výsledně = **$2{,}096*10^{-3}$ m/den**.

Poslední nezbytnou součástí bylo dosazení hydraulických vodivostí pro jednotlivé vrstvy.

Čerpací zkoušky byly provedeny celkem na 3 vrtech. Tyto hodnoty jsem dosadila do modelu a měnila postupně tak dlouho až hladiny ve vrtech souhlasily s reálně naměřenými hodnotami.

Během této fáze se však ukázalo jako nezbytně nutné zavést parametr vysvětlující původ napjaté hladiny v drenážní oblasti spodní vrstvy. Po odborné konzultaci s Doc. Jiřím Mlsem jsem se rozhodla pro zavedení přetoku na bázi celé spodní vrstvy. Jedná se pravděpodobně o přítok pocházející z vyšších nadmořských výšek (díky odlišnosti hydrologické a hydrogeologické rozvodnici) , které vystupují z podloží po puklinových systémech. Reálnost této hypotézy dokládají výsledky karotáže. Stejného výsledku lze také dosáhnout zavedením nepropustné vrstvičky nad spodní zónou zejména v drenážní oblasti. Při zavedení této vrstvy, alespoň 1m široké o hydraulické vodivosti k menší než $1*10^{-12}$m/s v drenážní oblasti model simuloval totožné výsledky jako v případě přetoku na hranici spodní vrstvy. Tato varianta se nám však nezdála příliš pravděpodobná.

9.3. Výstupy hydraulického modelu

V následujících tabulkách jsou zobrazeny výsledky hydrodynamických zkoušek a modelových hodnot. Odchylky měřených a dosažených hladin činily max. 20cm.

	Vrt 1	Vrt 2	Vrt 3	Vrt 4
k (m/s) - Model	$5{,}1*10^{-5}$	$3*10^{-5}$	$8*10^{-8}$	$6*10^{-7}$
k (m/s)- Čerpací zkouška	----------	$2{,}67*10^{-5}$	$5{,}2*10^{-7}$	$7{,}29*10^{-7}$
k (m/s) - Stoupací zkouška	----------	$1{,}14*10^{-5}$	$2{,}87*10^{-7}$	$1{,}69*10^{-7}$

Tab. 9.2. Porovnání výsledků hydraulické vodivosti modelu a hydrodynamických zkoušek

.	Vrt 1	Vrt 2	Vrt 3	Vrt 4
Vodní sloupec	4,46	4,52	23,06	17,92
T (m^2/s) - Model	$2{,}27*10^{-4}$	$2{,}04*10^{-4}$	$1{,}84*10^{-6}$	$1{,}07*10^{-5}$
T (m^2/s) - Čerpací zkouška	----------	$1{,}2*10^{-4}$	$1{,}2*10^{-5}$	$1{,}3*10^{-5}$
T (m^2/s) - Stoupací zkouška	----------	$5{,}2*10^{-5}$	$6{,}6*10^{-6}$	$2{,}99*10^{-6}$

Tab. 9.3. Porovnání výsledků transmisivity modelu a hydrodynamických zkoušek

Jak je vidět z první tabulky, měřené a modelové hodnoty hydraulické vodivost vykazují velkou shodu, přičemž nejlépe modelové hodnoty odpovídají výsledkům čerpacích zkoušek. Stejné výsledky lze pozorovat i v tabulce 9.3.. Pouze modelové hodnoty vrtu HV3 se v obou případech přibližují spíše výsledkům stoupacích zkoušek.

Na hranici, kde je nastavena okrajová podmínka konstantní hladiny lze také sledovat průtok z modelu.

Hranice je dlouhá 354,55m a průtok skrz tuto hranici činí **$4{,}24*10^3 m^3$/den.**

Pro kontrolu jsem tuto hodnotu vypočítala jako množství spadlých srážek násobených plochou povodí.Od této hodnoty jsem odečetla průtok měřený v potoce. K celkové hodnotě jsem také přičetla přetok ze spodní vrtsvy(opět přenásobený plochou)

Schematizovaně potom:

$$(E * S - Q_o) - Q_p = Q_{pod}$$

$$(3{,}3*10^{-3}) * (0{,}99*10^6) - (1192{,}3) + (2253{,}24) = 4{,}33*10^3\ m^3/den$$

E.....množství srážek(m/den)

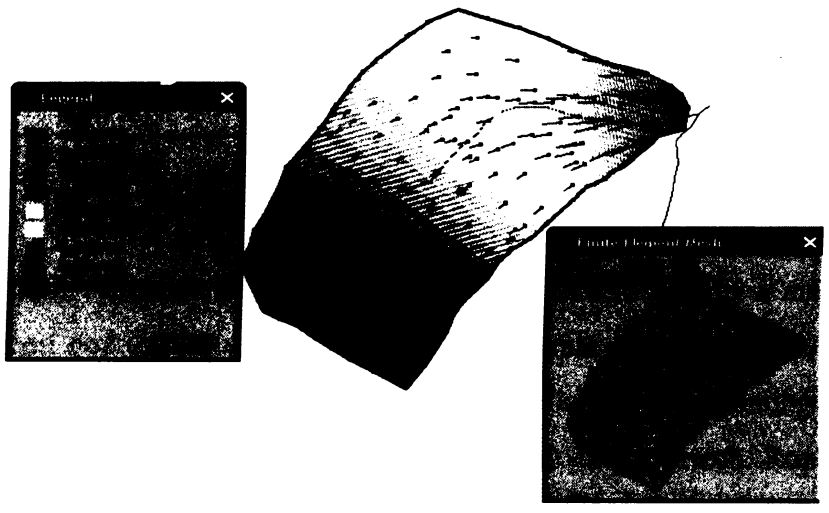
S.....plocha povodí (m^2)

Q_o.....průtok potokem(m^3/den)

Q_{pod}.....celkový odtok z povodí (m^3/den)

Q_p.....přetok do spodní vrstvy (m^3/den)

Rozdíl mezi vypočteným a modelovým průtokem je potom 90 m^3/den. Tato hodnota představuje rozdíl zhruba - 1,5 %. Tento výsledek lze brát za uspokojivý a s modelem lze dále pracovat.



Obr. 9.1. Výstup modelu po kalibraci. Situace v nejsvrchnější vrstvě

9.4. Simulace klimatických anomálií

Po kalibraci modelu jsem se soustředila na simulaci extrémních klimatických podmínek, především období sucha. Jelikož jsem jako vstup do modelu nepoužívala srážky jako takové, ale korelované s odtokem na potoce, tento vztah i nadále zachovám. Při kalibraci modelu jsem dosazovala hodnotu vstupu do modelu: **$2{,}096*10^{-3}$ m/den.** Tuto hodnotu jsem postupně snižovala po 10% hodnoty. Stejným způsobem jsem snižovala i přetok do spodní vrstvy, ale se zpožděním 1 kroku, tzn. nerovnoměrně.

Původní stav – vstupní hodnota 100% = $2{,}096*10^{-3}$

	Vrt 1	Vrt 2	Vrt 3	Vrt 4
Hladina(m.n.m)	831,4	980,7	834	981,1
Výška vodního sloupce(m)	4,46	4,52	23,06	17,92
T (m^2/s)	$2{,}27*10^{-4}$	$2{,}04*10^{-4}$	$1{,}84*10^{-6}$	$1{,}07*10^{-5}$
T(m^2/den)	19,6	17,6	0,16	0,92

Tab. 9.4. Výsledky simulace modelu při snižování srážek o 10%

Situace 1 - hodnota 90% = $1{,}89*10^{-3}$

	Vrt 1	Vrt 2	Vrt 3	Vrt 4
Hladina(m.n.m)	830,7	966,9	833,1	967,3
Výška vodního sloupce(m)	4,06	-2,88	22,66	10,52
T (m2/s)	$2{,}07*10^{-4}$	----------	$1{,}81*10^{-6}$	$6{,}31*10^{-6}$
T(m^2/den)	17,8	----------	0,156	0,55

Tab. 9.4. Výsledky simulace modelu při snižování srážek o 20%

Situace 2 - hodnota 80% = $1{,}68*10^{-3}$

	Vrt 1	Vrt 3	Vrt 4
Hladina(m.n.m)	830,1	832,2	952,4
Výška vodního sloupce(m)	3,49	21,89	-6
T (m^2/s)	$1{,}78*10^{-4}$	$1{,}75*10^{-6}$	----------
T(m^2/den)	15,4	0,15	----------

Tab. 9.4. Výsledky simulace modelu při snižování srážek o 30%

Již při snížení vstupních hodnot o 10 % došlo k poklesu hladiny v mělkém vrtu infiltračního území pod dno vrtu. Stejná situace se odehrála při snížení o 80 % také u hlubokého vrtu stejné oblasti. U vrtů drenážní části se hladiny mění mnohem mírněji. Při snížení parametrů o 80 % klesla hladina o cca 1,5 m v obou vrtech. Rozbor těchto výsledku bude diskutován v kapitole 10.

10. Diskuse

Vyvrcholením této diplomové práce byla simulace nepříznivých klimatických podmínek, zejména dlouhotrvající sucha, a pozorování reakce podzemních vod v prostředí krystalinika. Konkrétněji se jedná o oblast Šumavy, malého experimentálního povodí Na Lizu. K tomuto účelu byl vytvořen hydraulický model v programu FEFLOW. Základními vstupními parametry byla především data získaná hydrodynamickými zkouškami provedenými v květnu a červnu 2006. Čerpací zkoušky probíhaly celkově bez problémů.

Stoupací zkouška dávala v generelu o polovinu nižší hodnoty nežli zkouška čerpací. Podle obr.3.4 v kapitole 3 jsou hodnoty indexu transmisivity v jižních Čechách v oblasti infiltrační zhruba 4(do 1 m^2/den) zatímco v oblasti drenážní 4,5(do 10 m^2/den). Podle Krásný 1999, lze větší hodnoty transmisivity předpokládat v oblastech s vyšším stupněm navětrání horniny či propustným kvartérním pokryvem.

Z hydrodynamických zkoušek byla stanovena průměrná hodnota transmisivity pro
Infiltrační oblast: 7,4 m^2/den – svrchní kolektor
0,66 m^2/den- spodní kolektor
Drenážní oblast: 0,9 m^2/den – spodní kolektor
Data ze svrchního kolektoru nebyla použitím hydrodynamických zkoušek získána.

Na základě těchto dat byl vytvořen hydraulický model, jehož hlavním úkolem bylo simulovat nepříznivé klimatické podmínky. Podle předpokladu uvedeného v kapitole 1.1. měly hladiny v infiltrační oblasti reagovat na změnu prudkým zaklesáváním hladiny zatímco v oblasti infiltrační měly hladiny klesat jen velmi pomalu. Výsledky uvedené v tabulkách 9.4.-9.6. tuto hypotézu potvrzují. Již při snížení o 10% průměrných ročních srážek klesla hladina mělkého vrtu v infiltrační oblasti pod úroveň dna vrtu.

Tím se také změnila hodnota transmisivity prostředí. Nejvíce se s ohledem na pokles hladiny snižují hodnoty ve vrtech infiltrační oblasti. Nejmenšími výkyvy se projevuje hluboký vrt drenážní oblasti. Jak již bylo řečeno v kapitole 9, při kalibraci modelu bylo nutné zavést parametr charakterizující napjatou hladinu spodního kolektoru. V modelu ji simuluje tlak(množství) vody proudící na bázi spodní vrstvy. V rámci kalibrace modelu jsem se pokoušela tuto hodnotu snižovat na minimum, avšak v takovém případě jsem musela prudce snižovat vodivost spodní vrstvy v uzávěru

povodí. Abych se co nejvíce přiblížila hodnotám naměřeným čerpacími zkouškami, hodnotu přetoku jsem stanovila na $2,3*10^{-3}$ m/ den. Právě tato hodnota pravděpodobně silně ovlivňuje nově vzniklé hodnoty. Pokud byla tato hodnota zachována při postupném snižování srážek do modelu, hladiny ve vrtech vykazovaly stejný trend, ovšem s menším skokem snížení u vrtů v infiltračním území, zato mírné zvýšení rozdílu ve stavu hladin oblasti infiltrační.

Další nevýhodou nadefinovaného modelu, je silné zjednodušení představy o horninovém prostředí. V rámci modelu jsem sice rozlišovala oblast drenážní a infiltrační, ale samotné horninového prostředí jsem považovala za homogenní, izotropní. Vzhledem k obecným charakteristikám lze prostředí Hardrock považovat za silně heterogenní a tudíž je možnost homogenity silně popřena. V rámci geologie krystalinika se objevuje množství puklinových systému, které mimo jiné dokazuje i karotážní zpráva z hlubokého vrtu drenážní oblasti. Zde jsou největší přítoky do vrtu zaznamenány v hloubce 23m pod terénem. Je také možné, že vrt zasáhl lokální diskontinuitu, která ovšem není platná pro zbytek území.

Podobným problémem se může jevit také rozdělení modelu pouze na dvě horizontálně uložené vrstvy. Přechod pravděpodobně nevzniká najednou, ale parametry se postupně mění. Proto by bylo vhodné rozdělit vrstvy na několik dílčích a parametry směrem do hloubky měnit. S tím souvisí také problematika geometrie vrstev, která se může od zvoleného rozhraní odlišovat.

Dalším zjednodušením je absence nesaturované zóny v modelu. Doba zdržení vody v této zóně může být značná. Voda je nasávána mikropóry a díky kapilárním silám zabraňuje odtoku většími póry. K tomu dochází až při větších srážkách či nasycení prostředí vodou, kdy jsou již kapilární síly překonány. (ústní sdělení Mgr. Bruthans). Na tuto skutečnost poukazuje také graf 6.1. , kde je jasný nárůst hladin až při extrémně vysoké hodnotě srážek(srpen05), či po déle trvajícím nadprůměrném množství srážek(březen05).

11. Závěr

Cílem mé diplomové práce bylo charakterizovat hydrogeologické poměry malého experimentálního povodí Na Lizu s ohledem na možné klimatické změny. Hlavní výsledky práce lze charakterizovat v následujících bodech:

- Dlouhodobé sledování hladin na monitorovací síti čtyřech vrtů v drenážní a v infiltrační oblasti prokázalo značné rozdíly v kolísání hladin v závislosti na srážkách.
- Zatímco v drenážní oblasti byl rozdíl mezi maximální a minimální hladinou cca 2m v infiltrační oblasti to bylo až 7m.
- Na variace srážek byly více citlivější vrty v infiltrační oblasti
- Zatímco na hlubokých vrtech byla teplota podzemní vody víceméně konstantní, mělké vykazovaly sezónní kolísání. Zajímavou skutečností byla významná časová retardace. Teplotní maxima byla zaznamenána až v zimních měsících, naopak nízké teploty byly registrovány v létě. Absolutní rozdíl mezi maximem a minimem byl přibližně 1°C.
- Kalibrovaný matematický model proudění umožnil simulovat změny hodnot transmisivity v závislosti na nižších srážkových úhrnech.
- Hlavním výstupem diplomové práce byla kvantifikace změn kolísání hladin na povodí v závislosti na srážkách a důkaz, že transmisivita je v krystaliniku časově variabilní faktor. V dalších studiích by se tato skutečnost měla zohledňovat.

12. Použitá a citovaná literatura

Barnet I., Batík P., Kadlecová R., Manová M., Miller V., Rajchrt M., Šamanský K., (1999) : Vysvětlivky k souboru geologických a ekologických map přírodních zdrojů v měřítku 1 : 50 000, List 22-34 Vimperk, Český geologický ústav, Praha

Beneš K., Holubec J., Surňaková R., Zeman J., (1983) : Geologická stavba šumavského moldanubika,In Rozpravy Československé akademie věd, Ročník 93/1983 – sešit 7, Academia

Bruthans in Hrkal et al. (2004): Modellhafte geowissenschaftliche Untersuchungen in Raum Vohenstrauß (TK50 L6340 und Nordteil TK50 L6540), Schlussbericht (TK50 L6340 und TK50 L6540).- MS Karlova Universita Praha

Buchtele J., Čurda S., Hrkal Z., Krásný J. (2003): New approach to using GIS in groudnwater runoff assesment: The Krušné Mts., Czech Republic. – In: Krásný J., Hrkal Z., Bruthans J. (eds.): Proceedings – Internat. Conference on Groundwater in fractured rocks", Sept. 15-19, 2003. Prague. 135-136, IHP – VI. Series on groudnwater 7. UNESCO

Bundschuh, J. (1997): Temporal variations of spring water temperatures in relation to the extents of heat transport modes occuring in the karstified lower Gypsum-Keuper aquifer (Karnian, southern Germany).- 6th Conference on Limestone Hydrology nad Fissured Media. Proceedings of the 12th international Congress of Speleology: 129-132,Volume 2, Switzerland.

Domenico P., Schwarz W. (1997): Physical hydrogeology- sekond edition, New York, Chapter 6- Hydraulic Trstiny: Models, Methods, and Applications

Hladný J. et al.(1996): Dopady možné změny klimatu na hydrologii a vodní zdroje v České republice- Český hydrometeor. Úst. Praha, 50 pp.

Geologická knihovna - Praha

Houghton, J. T., Callander, B. A., Varney, S. K.(1992): Climate Change. The Supplemetary REPORT TO THE ipcc Scientific Assessment. IPCC, WMO, UNEP. Cambridge University Press, 1992. 200 s.

Houghton, J T., Jenkins G.J., Ephraums J.J., eds.:(1990): Climate Change: The IPCC Scientific Assesment. Cambridge, New York, Port Chester, Melbourne, Sydney, Cambridge University Press 1990. 365 s.

Hrkal, Z. et al. (2004): Modellhafte geowissenschaftliche Untersuchungen in Raum Vohenstrauß (TK50 L6340 und Nordteil TK50 L6540).- MS Karlova Universita Přírodovědecká fakulta. Praha

Hrkal Z., Buchtele J., Tikkanen J., Kapyaho E., Santrucek J., (2002): The role of groundwater in the acidification of hydrosphere- wxamples from small catchment in the Bohemian Massif. In: Norges geologiske undersokelse Bulletin. 439. Trondheim. P. 99-105

Kalvová J. et al.(1995): Scénáře změny klimatu pro Českou republiku- Český hydrometeor. Úst. Praha. 50 pp.

Kobr M. (2004): Zpráva o karotážním měření ve vrtu Zdíkov u Vimperka

Krásný J. (1974) : Les differences de la transmissivite, statistiquement significatives, dans les zines de ifiltration et du drenaige. Mém. De IAH., 20, 1. Communic., Montpellier, 204-211.

Krásný J. (1975) : Variation in transmissivity of crystalline rocks in southern Bohemia. Vest. Ústr. Úst.geol. Praha, 50, 4, 207-216

Krásný J. (1993a) : Classification of transmissivity magnitude and variantion. Ground Water, 31, 2 230-236

Krásný J. (1993b) : Prevailing transmissivity of hard rock in the Czech part of Krkonoše and Jizerske hory Mts.- In Poprawski L., Bochenska T.(eds.)-Sb. Sympozia " Wspolczesne problemz hzdrogeologii VI. Polanica Zdroj, 79-86

Krásný J. (1996) : State of the art of hydrogeological investigations in hard rocks: The Czech Republic. – In: Krásný J., Mls J.(eds)(1996)- First workshop on Hardrock hydrogeology of Bohemian Massif 1994. Acta Universita Caroline Geologica, Praha, 40, 2, 89-101

Krásný J. (1996a): State-of-the-art of yhdrogeological investigation in hard rock : The Czech republic .- IN: Krásný J., Mls J.(eds.)(1996)- First Workshop on " Hardrock hydrogeology of the Bohemian Massif "1994. Acta Univ. Carolinae Geologova Praha 40,2,89-101.

Krásný J. (1996b): Hydrogeological Environment in hard rock: an attempt at its schamtizatizing a terminologicaly considerations.- In: Krásný J., Mls J.(eds)(1996)- First workshop onHardrock hydrogeology of Bohemian Massif 1994. Acta Universita Caroline Geologica, Praha, 40, 2, 123-133

Krásný J. (1996c) : Scale effect in transmissivity data ditribution.- In: Krásný J., Mls J.(eds)(1996)- First workshop onHardrock hydrogeology of Bohemian Massif 1994. Acta Universita Caroline Geologica, Praha, 40, 2, 115-122

Krásný, J. (1999): Hard-rock hydrogeology in the Czech Republic. – Hydrogéologie, 2, 25-38. Éditions BRGM. Orléans.

Krásný J. (2002): Quantitative hardrock hydrogeology in a regional scale. - *In:* Rohr-Torp E. and Roberts D. (eds.) Hardrock hydrogeology – Proceedings of a Nordic Workshop, Oslo 14.-16.8.2001. Bull. of Geol. Surv. of Norway (NGU-Bull) 439, 7-14. Trondheim.

Krásný, J., Kněžek, M. (1977): Regional estimate of groundwater run-off from fissured rocks on using transmissivity coefficient and geomorphologic characteristics. *Journal Hydrological Sciences, 4,* 2, 149-159. Warszawa.

Krásný J., Kněžek M., Šubová A., Daňková H., Matuška M., Hanzel V. (1982) - Odtok podzemní vody na území Československa (in Czech: Groundwater runoff in the territory of Czechoslovakia). - Český hydrometeor. Úst. Praha. 50 pp.

Moldan B., Sobíšek B. et al.(1996): Územní studie změny klimatu České republiky- Český hydrometeor. Úst. Praha. 50 pp.

Přenosilová E.(1994): Důsledky klimatických změn na hospodaření s vodou v nádržích- Český hydrometeor. Úst. Praha. 50 pp.

Přibyl J., Ložek V., Kučera B. [aj.](1992): Základy karsologie a speleologie. Praha : Academia, 1992. -- 354 s.

Tesař M., Šír M., Pražák J., Lichner L.,(2004): Instabiliy driven flow and runoff formation in a small catchment., In: Geologova Acta, Vol. 2, s. 147-156

TOPGEO Brno, spol. s.r.o.(2000): Technická zpráva o provedení vrt HP - 2

TOPGEO Brno, spol. s.r.o.(2000): Technická zpráva o provedení vrt HP - 1

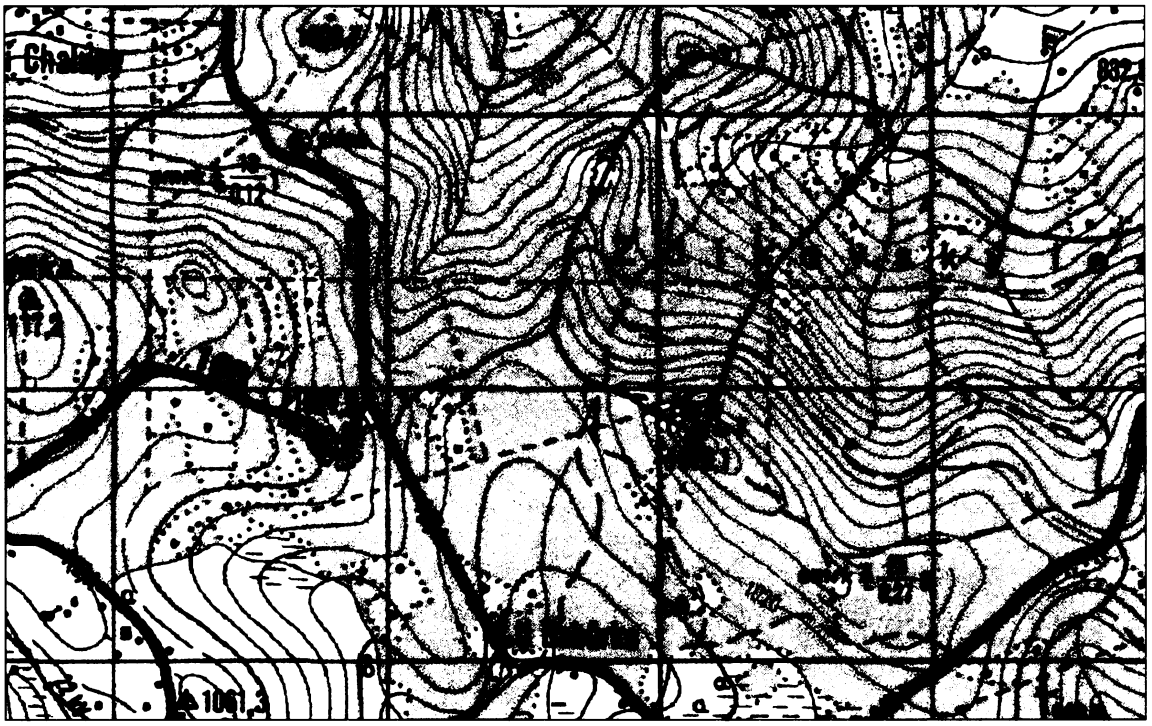
Vodní zdroje, a.s, Dvořák V,.(2004): Technická zpráva o provedení vrt S – 2

Vodní zdroje, a.s.,Dvořák V., (2004): Technická zpráva o provedení vrt S –1

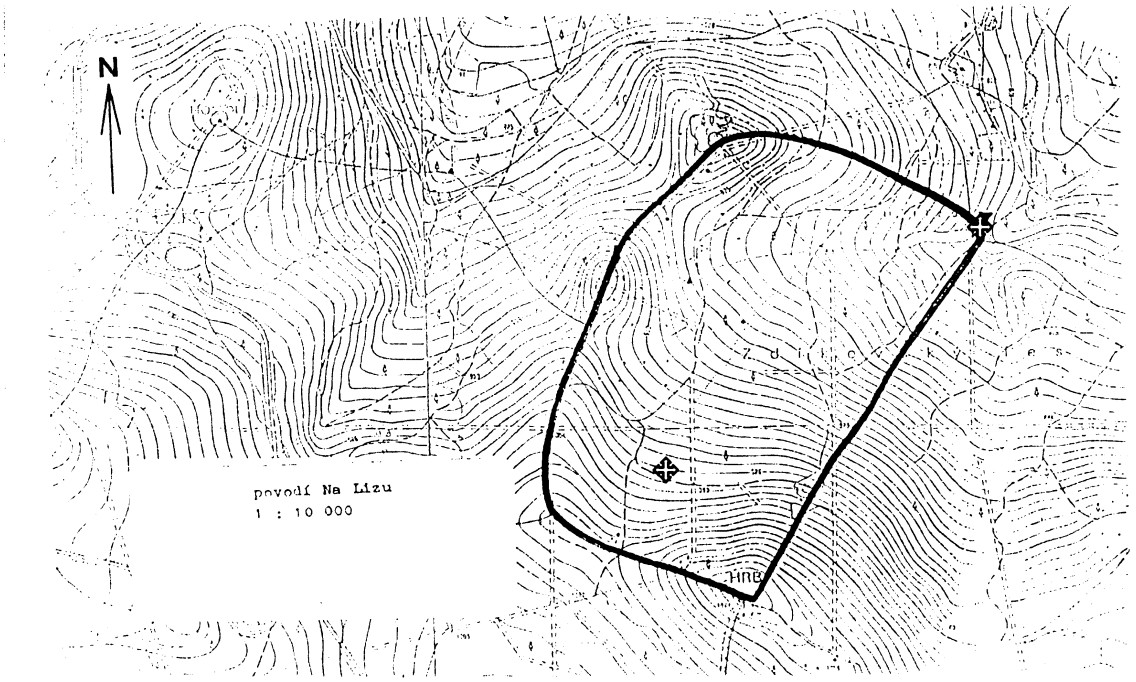
Šír, M., Tesař, M. , Lichner, Ľ., Syrovátka, O.(2002): Projev klimatické anomálie 1992-1996 v odtokových poměrech na povodí Liz. In: Journal of Hydrology and Hydromechanic, **54** [2] 108-114

Internetové stránky : http:// www.chmi.cz

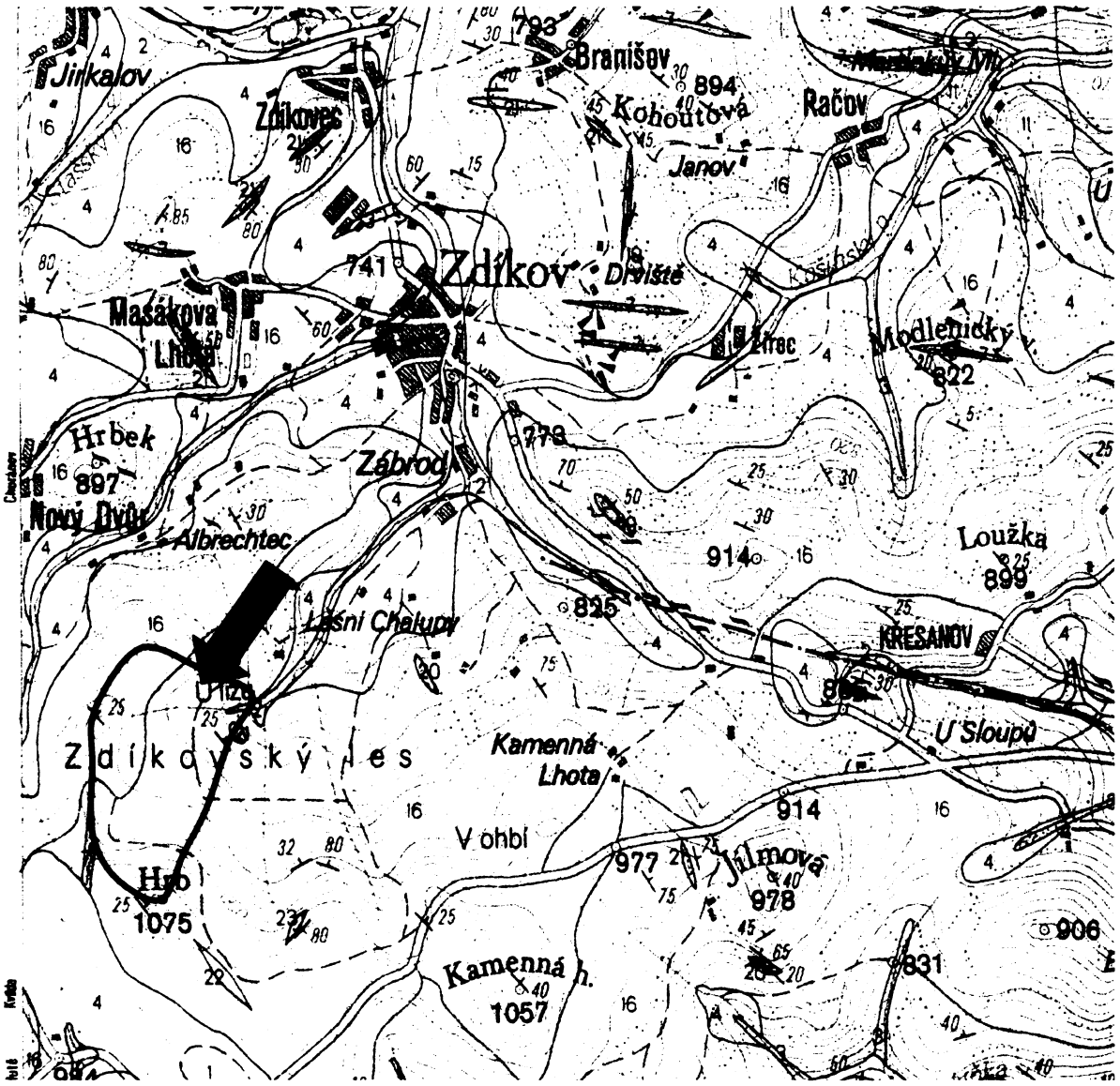
13. Přílohy

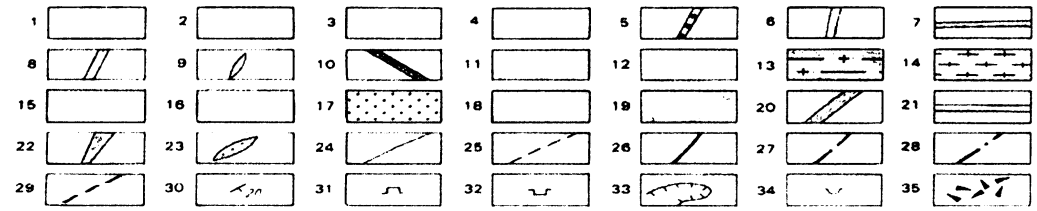


Příloha č.1: Část mapového listu 22-33-C-d 1: 25 000 s vyznačením umístění vrtů



Příloha č.2: Grafické znázornění povodí na Lizu v mapě 1: 10 000 s vyznačením umístění vrtů

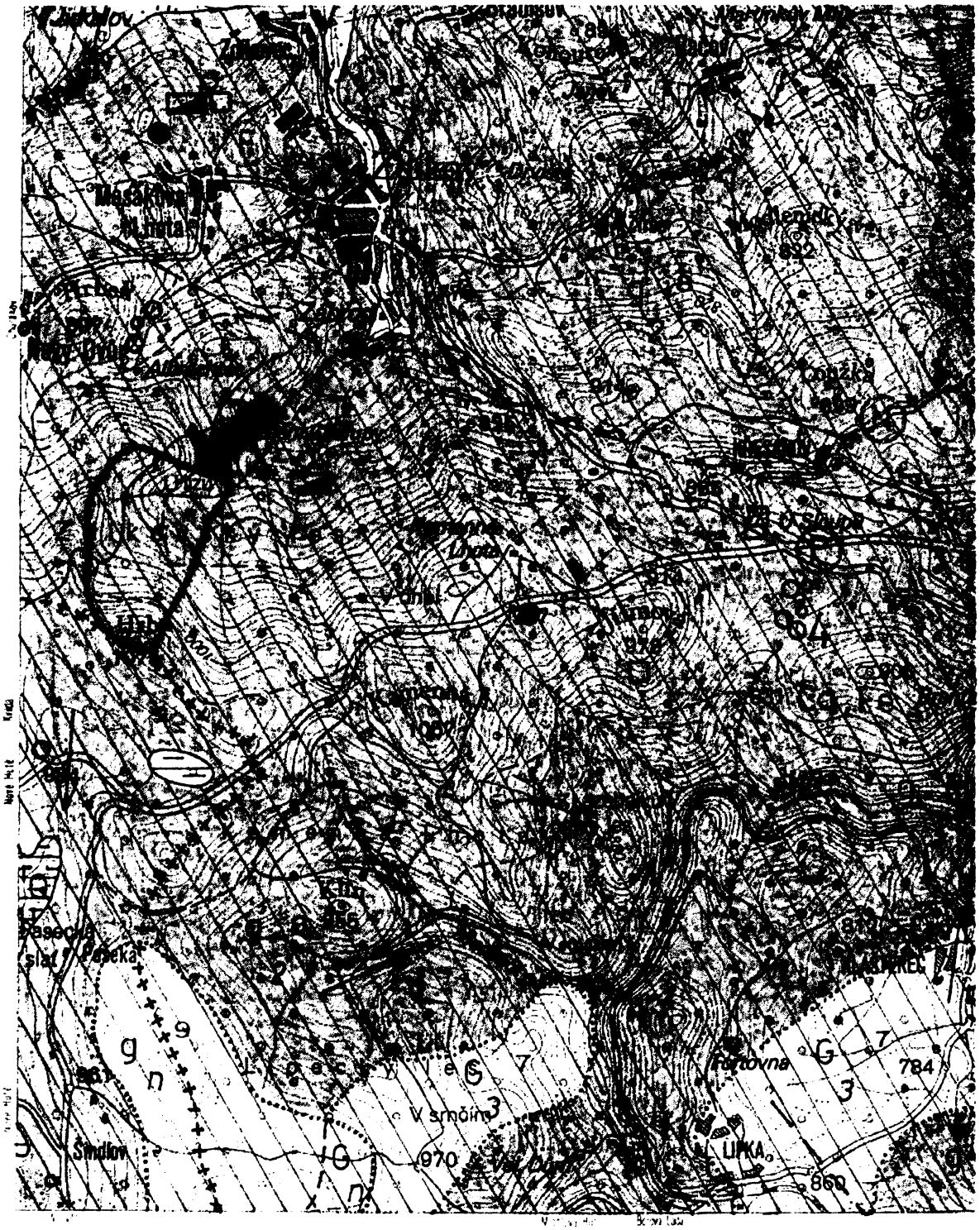




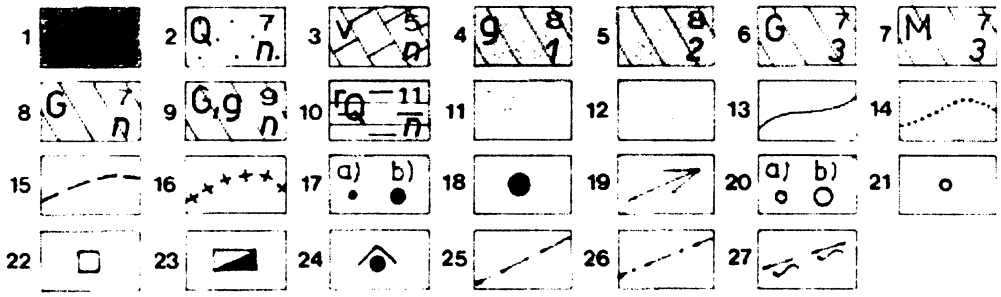
KVARTÉR, holocén: 1 – rašeliny; 2 – fluviální hlinité písky a štěrky; 3 – deluviofluviální hlíny a písčité štěrky; **pleistocén:** 4 – deluviální hlinitopísčité a hlinitokamenité sedimenty a soliflukcí přemístěná eluvia; **PALEOZOIKUM, magmatity:** 5 – žilný křemen; 6 – aplit a pegmatit; 7 – amfibol-biotitický syenitový porfyr; 8 – granodioritový porfyr (Laziště); 9 – dioritový porfyrit (Veselka); 10 – mineta; 11 – biotitický granit; **PALEOZOIKUM - PROTEROZOIKUM, moldanubikum:** 12 – granulit; 13 – amfibolický metagranit (Putkov); 14 – biotitická ortorula; 15 – biotitický migmatit; 16 – biotitická a sillimanit-biotitická plagioklasová pararula; 17 – biotitická rula (perlová); 18 – cordierit-biotitická silně migmatitizovaná pararula až migmatit; 19 – krystalický vápenec; 20 – erlan; 21 – kvarcit; 22 – amfibolit; 23 – metagabro;

24 – zjištěná hranice hornin; **25** – pravděpodobná, přesně nezjištěná hranice hornin; **26** – zlom ověřený; **27** – zlom předpokládaný; **28** – zlom zakrytý mladšími útvary; **29** – mylonitová zóna a zóna drcení; **30** – foliace a velikost sklonu metamorfitů; **31** – lom v provozu; **32** – lom opuštěný; **33** – přibližný rozsah těžby v r. 1995; **34** – hliniště opuštěné; **35** – kamenná moře.

Příloha č.3: Část geologické mapy list 22-34 Vimperk(Český geologický ústav) + vysvětlivky s vyznačením povodí



Příloha č.4 a) Část hydrogeologické mapy list 22-34 (Český geologický ústav) + vysvětlivky s vyznačením povodí



TYP HYDROGEOLOGICKÉHO PROSTŘEDÍ A JEHO KVANTITATIVNÍ CHARAKTERISTIKA: Na mapě jsou podkladovou sítí znázorněny typy hydrogeologického prostředí a směrem podkladové šrafy způsob jejich uložení. Barva v pose zobrazuje základní kvantitativní charakteristiku zvodněného kolektoru. Transmisivitu (propustnost), která vyjadřuje schopnost zvodněného kolektoru propouštět určité množství podzemní vody a při různé také naznačuje jeho vodohospodářskou využitelnost. Transmisivita je vyjádřena barvou vyplývající z odhadnuté (podle indexu transmisivity Y) a méně zřídka převládající hodnoty koeficientu transmisivity T m² s⁻¹. V mapě použité barvy a jim odpovídající velikost převládající transmisivity vymezují území s různými předpoklady pro vodohospodářské využití podzemních vod (viz tabulka legendy). Plošná proměnlivost transmisivity je vyjádřena odstínem barvy, který se řídí velikostí směrodatné odchylky indexu transmisivity s. Hodnota směrodatné odchylky s je vyjádřena černými číselnými indexy 1 až 4: případně n: s<0,3 index 1: s=0,3–0,6 index 2: s=0,6–0,9 index 3: s>0,9 index 4: s nelze stanovit; index n. Snazší rozlišení barev a jejich odstínů umožňují červené číselné indexy 1 až 12, z nichž sudé označují silnější odstín (kolektory s nízkou variabilitou transmisivity), černé indexy 1 a 2 a lehce slabší odstín (kolektory s vysokou nebo neznámou variabilitou transmisivity). Černé indexy 3 a 4 nebo n). Stratigrafická příslušnost hydrogeologického prostředí nebo jeho převládající petrografický typ jsou vyznačeny zjednodušenými indexy.

Průlinový kolektor: 1 – fluviální hlinité písky až štěrkovité písky Volyňky mezi Černěticemi a Prachovicemi (Q); T 3,5 *10⁻³ – 3,5 *10⁻² m² s⁻¹; s=0,3 2 – fluviální sedimenty Volyňky mezi Malenicemi, Okyní a Bohumilicemi (Q); T (odhad) 5.10⁻⁴ – 2 *10⁻³ m² s⁻¹; s nelze stanovit; b – ostatní fluviální sedimenty (Q); T (odhad) 1 *10⁻⁴ – 1 *10⁻³ m² s⁻¹; s nelze stanovit.

krasovo-puklinový kolektor: 3 – drobné výskyty vápenců v krystalických horninách (vl.); T (odhad) 5.10⁻⁴ – 3 *10⁻³ m² s⁻¹; s nelze stanovit.

puklinový kolektor se zvýšenou propustností v přípovrchové zóně zvětrání: 4 – paruly a migmatity okolí Hlinska a mezi Svržcem a Újezdcem (gr); T 3,2 *10⁻⁴ – 1,2 *10⁻³ m² s⁻¹; s=0,29; 5 – ruly a migmatity na ostatním území (gr); T 1,1 *10⁻⁴ – 3,6 *10⁻³ m² s⁻¹; s=0,53; ruly migmatity (Mg); T 1,3 *10⁻⁴ – 1,7 *10⁻³ m² s⁻¹; s=0,55; ruly perlové (MG); T 1,1 *10⁻⁴ – 5,9 *10⁻³ m² s⁻¹; s=0,45; ruly granulity (gr); T 1,7 *10⁻⁴ – 9,5 *10⁻³ m² s⁻¹; s=0,38; migmatitizované paruly až migmatity mezi Strašicem a Malcem (Mg); T (podle listu 22-32 Strakonice) 1,7 *10⁻⁴ – 2,8 *10⁻³ m² s⁻¹; s=0,6; granulity; T (podle listu 22-43 Vodňany) 4,1 *10⁻⁴ – 6,2 *10⁻³ m² s⁻¹; s=0,59; **6** – ortoruly (G); T (podle listu 32-12 Volary) 4,8 *10⁻⁴ – 3,5 *10⁻³ m² s⁻¹; s=0,84; **7** – migmatity (M); T (podle listu 22-43 Vodňany) 1 *10⁻⁴ – 1,7 *10⁻³ m² s⁻¹; s=0,62; **8** – ortoruly (G); T 1 *10⁻⁴ – 1,10⁻³ m² s⁻¹; s nelze stanovit; **9** – paruly a ortoruly (gr, G); T (odhad pro vrchlové partie) řádu *10⁻⁴ m² s⁻¹; s nelze stanovit.

území bez kolektorů: 10 – usazeniny (Q); T (odhad) < 1.10⁻⁴ m² s⁻¹; s nelze stanovit.

KVALITA PODZEMNÍ VODY Z HLEDISKA VYUŽITELNOSTI PRO ZÁSOBOVÁNÍ PITNOU VODOU je vyjádřena v kategoriích jakosti I až III a s přihlédnutím k ukazatelům ČSN 757111. Území s vyhovující kvalitou podzemní vody (I. kategorie) nevyžadující kromě desinfekce úpravu je bez oranžového rastru. V území s vodami I. a II. kategorie vyznačených oranžovým rastrem je symboly znázorněna regionální přítomnost kritických složek podmiňujících zhoršenou kvalitu podzemní vody. Ojedinělá přítomnost jedné z kritických složek, která působí pouze lokálně zhoršuje stupeň vymezenou kvalitu vody je vyznačena jen oranžovým symbolem. Hlavními kriterii pro vyčlenění území s vodami I. a II. kategorie jsou tyto koncentrace rozhodujících složek (upraveno podle Žáčka 1981): II. kategorie: $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ <1 mmol l⁻¹ nebo 3,5–9 mmol l⁻¹; Fe 0,3–30 mg l⁻¹; Mn^{2+} 0,1–1 mg l⁻¹; NH_4^+ 0,1–1 mg l⁻¹; NO_3^- 15–50 mg l⁻¹; NO_2^- 0,1–3 mg l⁻¹; SO_4^{2-} 250–500 mg; celková mineralizace >0,1 g l⁻¹ nebo 0,6–1 g; HCO_3^- >0,5 mmol nebo 5,5–8 mmol; HPO_4^{2-} 0,1–1 mg l⁻¹; celková objemová aktivita alfa 0,1–1 Bq l⁻¹, Rn 10–200 Bq l⁻¹; U 0,05–0,3 mg; oxidovatelnost 3–15 mg O_2 l⁻¹; Al >0,2 mg l⁻¹; železo 0,003–0,05 mg l⁻¹. III. kategorie: $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ >9 mmol; Fe >30 mg; Mn^{2+} >10 mg l⁻¹; NH_4^+ >1 mg; NO_3^- >50 mg; NO_2^- >3 mg; SO_4^{2-} >500 mg; celková mineralizace >1 g l⁻¹; HCO_3^- >8 mmol l⁻¹; HPO_4^{2-} >1 mg l⁻¹; celková objemová aktivita alfa >1 Bq l⁻¹; Rn >200 Bq l⁻¹; U >0,5 mg; **11** – území s výskytem podzemní vody vyžadující složitější úpravu vody – kategorie je symbolem kritické složky podmiňující zhoršenou kvalitu podzemní vody v regionálním měřítku: Fe pro $Fe^{2+}+Mn^{2+}$, Ca pro $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ mmol l⁻¹; N pro NH_4^+ nebo NO_3^- nebo NO_2^-; C pro HCO_3^- >0,5 mmol; a M pro celkovou mineralizaci >0,1 g l⁻¹; **12** – symbol kritické složky lokálně zhoršující o stupeň vymezenou kvalitu podzemní vody (Mn – manganistvý, Al – hlinitý, P pro fosforečnany, O pro fenoly).

HYDROGEOLOGICKÉ HRANICE: 13 – hranice typu hydrogeologického prostředí; 14 – hranice území s různou velikostí transmisivity nebo s různým stupněm variability transmisivity; 15 – hranice litostratigrafických jednotek; 16 – hlavní rozvodnice podzemních vod.

PRAMENNÍ VÝVĚRY s orientačním znázorněním rozlišení podle průměrné vydatnosti Q l s⁻¹: 17 – a) Q do 0,1; b) Q 0,1 až 1; 18 – Q 1 až *10.

DYNAMIKA PODZEMNÍCH VOD: 19 – předpokládaný směr proudění podzemní vody.

UMĚLÉ HYDROGEOLOGICKÉ OBJEKTY: hydrogeologické vrty s provedenými přítokovými zkouškami jsou rozlišeny podle jednotkové specifické vydatnosti q l s⁻¹ m⁻¹: **20** – **a)** q do 0,1; **b)** 0,1 až 1 (číslice u značky vrtu 16) označuje výtlačný vrt; jeho základní parametry jsou uvedeny v tabulce vysvětlujícího textu; **21** – vrt, který zaskýtá pouze informaci o úrovni statické hladiny podzemní vody; **22** – významná studna s hydrogeologickými údaji; **23** – jímací zářez; **24** – pramen zachycený jímkou.

STRUKTURNĚ-TEKTONICKÉ PRVKY: 25 – zlom přikrývkami; 26 – zlom zakrytý; 27 – zlom doprovázený hydrotermální činností.

Příloha č.4 b) Popisky k hydrogeologické mapě list 22-34 Vimperk(Český geologický ústav)

KLASIFIKACE HORNIN PODLE TRANSMISIVITY (upraveno podle Krásného 1986, 1990)

Třída	Koeficient transmisivity T		Odběry dle [illegible]		Charakteristika	Význam pro hospodářský rozvoj, využití podzemní vody	Hranice vydatnosti [illegible]
	max.	min.	specifická vydatnost q	interval hodnot q			
1	6.10⁻²	5.10⁻³	5,0	4,7	velmi vysoká	velké soustředěné odběry regionálního významu, velké skupinové vodovody	> 25
3	5.10⁻³	10⁻³	1,0	5,0	vysoká	soustředěné odběry menšího regionálního významu, menší skupinové vodovody	5–25
5	10⁻³	10⁻⁴	0,1	5,0	střední	větší odběry pro místní zásobování, závodní vodovody	0,5–5
7	10⁻⁴	10⁻⁵	0,01	4,0	nízká	menší odběry pro místní zásobování, individuální domy	0,05–0,5
9	10⁻⁵	10⁻⁶	0,001	3,0	velmi nízká nízká	individuální malé odběry pro místní jednotlivá zásobování při omezené spotřebě	0,005–0,05
11	12				nepatrná	zdroje pro individuální zásobování obyvatelstva při velmi omezené spotřebě	< 0,005

VYSVĚTLIVKY K HYDROGEOLOGICKÝM A IZOLINIOVÝM MAPÁM

HYDROGEOLOGICKÁ MAPA ČR, List 22 – 34 Vimperk
Měřítko 1 : 50 000. Sestavil a vydal Český geologický ústav Praha. Redaktor [illegible] Kačura. Spolupráce Z. Tesařová. Redaktor řady J. Čurda, vedoucí výzkumného [illegible] P. 086. Koordinátor I. Černá. Redakční uzávěrka duben 1996. Vydán první. Grafická úprava M. Čtrnáctá. Technická redakce J. Rutinský. Reprodukce a zpracování: REPROCENTRUM Benešmal s.r.o. Kutná Hora. Tisk: ARTEL spol. s r.o. Kutná Hora 1997.

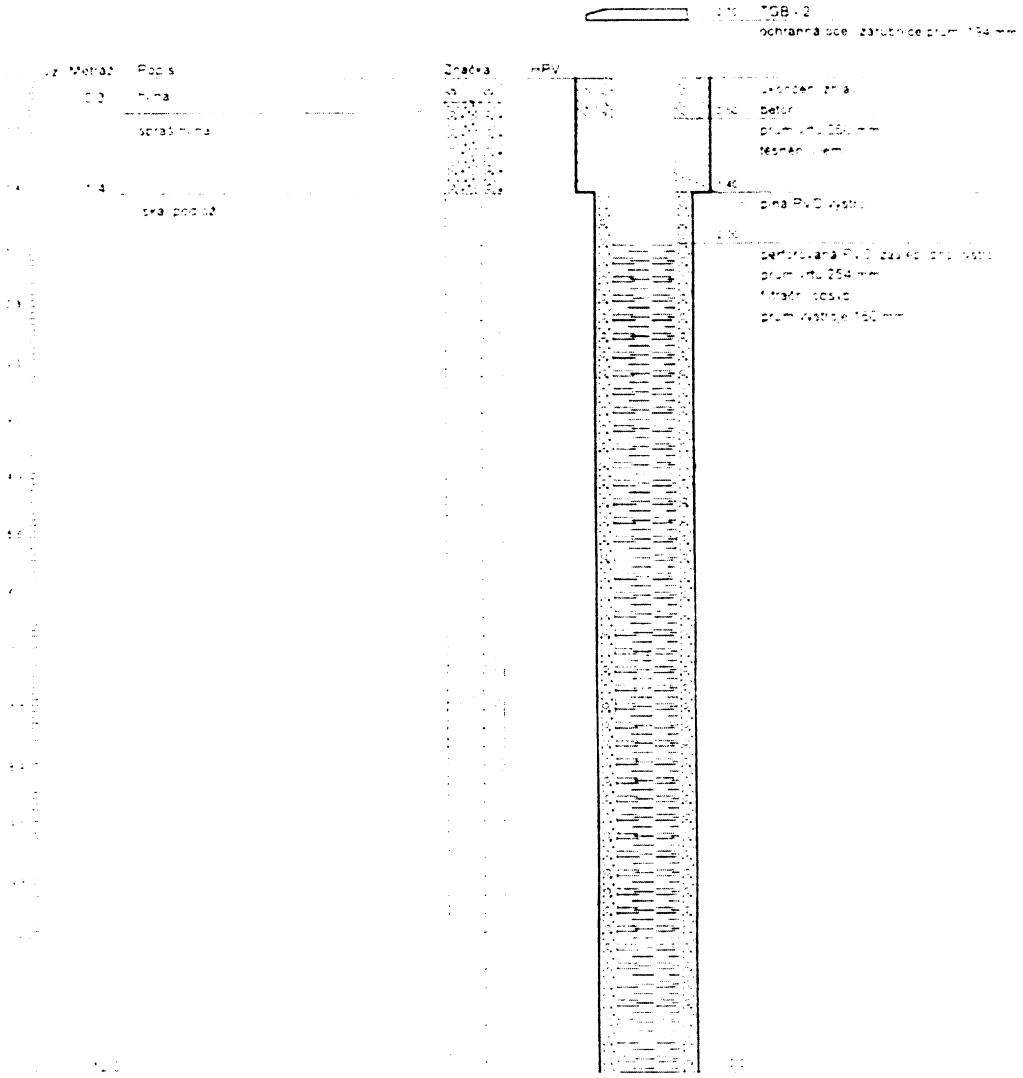
Obsah topografického podkladu © Český úřad geodetický a kartografický, 1977
Souhlas č. [illegible] 1995

Tematický obsah © Český geologický ústav 1997

Tato mapa je chráněna autorským právem. Kopírování je povoleno jen se souhlasem vydavatele. Za kopie se považují: fotokopie, mikrofishe, digitalizace, skenování a ukládání na média.

Příloha č.4c) Popisky k hydrogeologické mapě list 22-34 Vimperk(Český geologický ústav)

Vrt HV-2

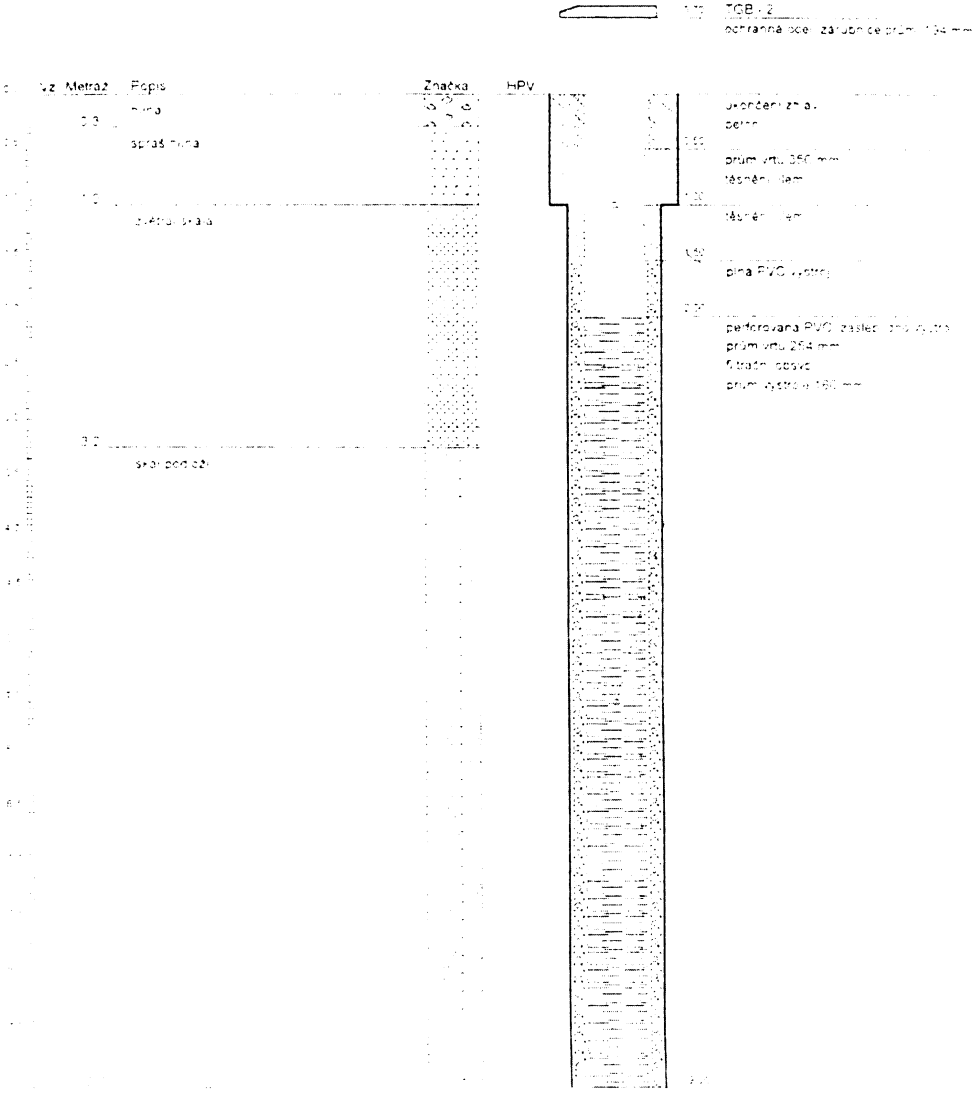


TOPGEO Brno, spol. s r.o.

Název zakázky	[illegible]	Technik úkolu	[illegible]
Číslo zakázky	[illegible]	Předák	[illegible]
Objednatel	Univerzita Karlova v Praze	Typ vrtné soupr.	[illegible]
Řešitel úkolu	[illegible]	Doba realizace	[illegible]
Lokalita	[illegible]	Poznámka	
Číslo vrtu	[illegible]	Měřítko 1:15 : 70	Příloha číslo [illegible]
Souřadnice			

Příloha č.5 Vrtný profil vrtu HV 2- mělký infiltrační oblast

Vrt HV-1



TOPGEO Brno, spol. s r.o.

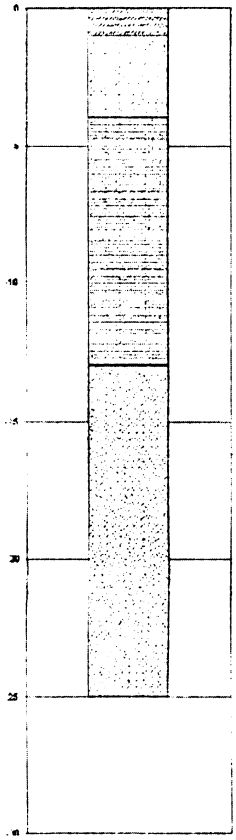
Název zakázky	Lenora - Rohanov u Prachatic HG	Technik úkolu	p. Pavel Halm
Číslo zakázky	000527	Předák	p. Jan Spevár
Objednatel	Univerzita Karlova v Praze	Typ vrtné soupr.	WIRTH B1A
Řešitel úkolu	provozní akce	Doba realizace	od 26.10.00 do 26.10.00
Lokalita	Rohanov	Poznámka	
Číslo vrtu	HP - 2	Měřítko 1:15 / 50	Příloha č. 6
Souřadnice			

Příloha č.6 Vrtný profil vrtu HV1- mělký drenážní oblast

Vrt HV-3

Lokalita:	ZDÍKOV
Objednatel:	UK Přírodovědecká fakulta, Praha 2
č.zak.:	040433
manažer zakázky:	Dvořák Vl.

Petrografický profil



Petrografie:	od	do	popis:
	0	1	ilopísek s kameny
	1	4	eluvium žuly
	4	13	navětralá žula
	13	25	šedá žula pevná

VODNÍ ZDROJE
AKCIOVÁ SPOLEČNOST

Komunardů 309/5, Praha 7 Holešovice, 170 00

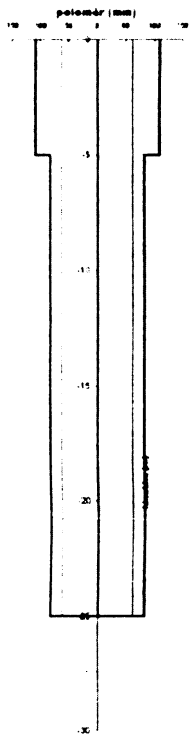
VODNÍ ZDROJE, a.s.
Komunardů 309/5, 170 00 Praha 7
IČ: 45274428, DIČ: 007-45274428
-10-

Příloha č.7a) Vrtný profil vrtu HV3- hluboký drenážní oblast

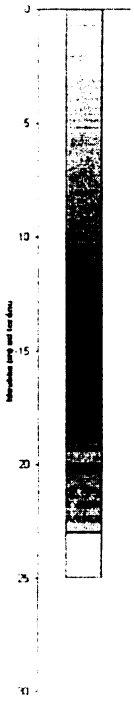
Vrt HV-3

Lokalita:	ZDÍKOV
Objednatel:	UK Přírodovědecká fakulta, Praha 2
č.zak.:	040433
manažer zakázky:	Dvořák Vl.

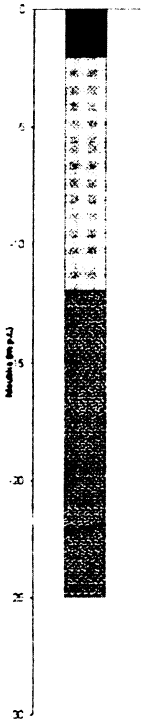
Profil vrtu vrtné průměry



Výstroj vrtu



Těsnění vrtu



Technická data vrtu S - 1

vrtání			
vrtný profil mm	od (m)	do (m)	
219	0	5	
165	5	25	
	120		
výstroj (mm):	od	do	PVC - 125/3 mm
125	0,6	19	plná
125	19	23	perforovaná
125	23	25	plná

Poznámky:			
Pracovní pažení po vystrojení odpaženo. Výstroj s můstkovou perforací šíře 1 mm			
Zapažení	ocel 219 mm + 0,2 - 5,0 m		
Uzávěr vrtu:	Kapě na 125 mm		
Těsnění vrtu:	od	do	typ:
	0	2	zához
	2	12	cement
	12	25	obsyp 1,6 -4 mm
Hladina podzemní vody			
naražená (m p.t.)	22		
ustálená (m p.t.)	5,5		
vydatnost při vrtání	2 l/s		
přítoky do vrtu (m)	23, 24		

VODNÍ ZDROJE
ANCIENA & POLECNOST
Komunardů 309/6, Praha 7 Holešovice, 170 00

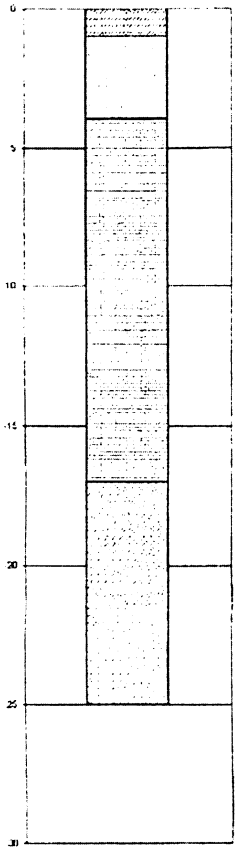
VODNÍ ZDROJE, a.s.
Komunardů 309/6, 170 00 Praha 7
IČ: 45274428, DIČ: 007-45274428
-10-

Příloha č.7b) Vrtný profil vrtu HV3- hluboký drenážní oblast

Vrt HV-4

Lokalita:	ZDÍKOV
Objednatel:	UK Přírodovědecká fakulta, Praha 2
č.zak.:	040433
manažer zakázky:	Dvořák Vl.

Petrografický profil



Petrografie:	od	do	popis:
	0	1	hlinité písky
	1	4	eluvium žuly
	4	17	navětralá žula
	17	25	šedá žula pevná

VODNÍ ZDROJE AKCIOVÁ SPOLEČNOST

Komenského 389/6, Praha 7 - Holešovice, 170 00

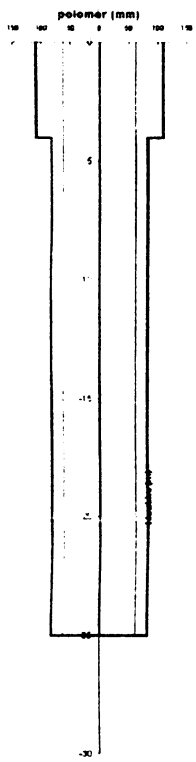
VODNÍ ZDROJE, a.s.
Komunardů 389/6, 170 00 Praha 7
IČ: 45274428, DIČ: 007-45274428

Příloha č. 8a) Vrtný profil vrtu HV4- hluboký infiltrační oblast

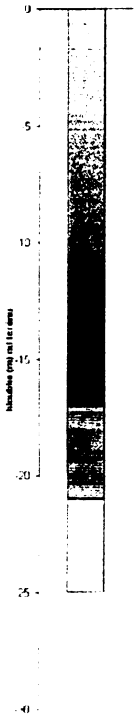
Vrt HV-4

Lokalita:	ZDÍKOV
Objednatel:	UK Přírodovědecká fakulta, Praha 2
č.zak.:	040433
manažer zakázky:	Dvořák VI

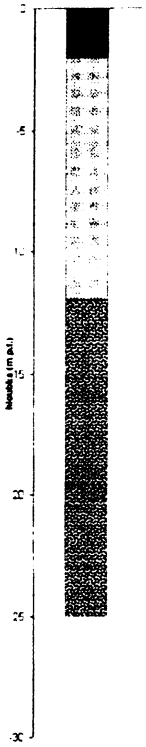
Profil vrtu vrtné průměry



Výstroj vrtu



Těsnění vrtu



Technická data vrtu S - 2

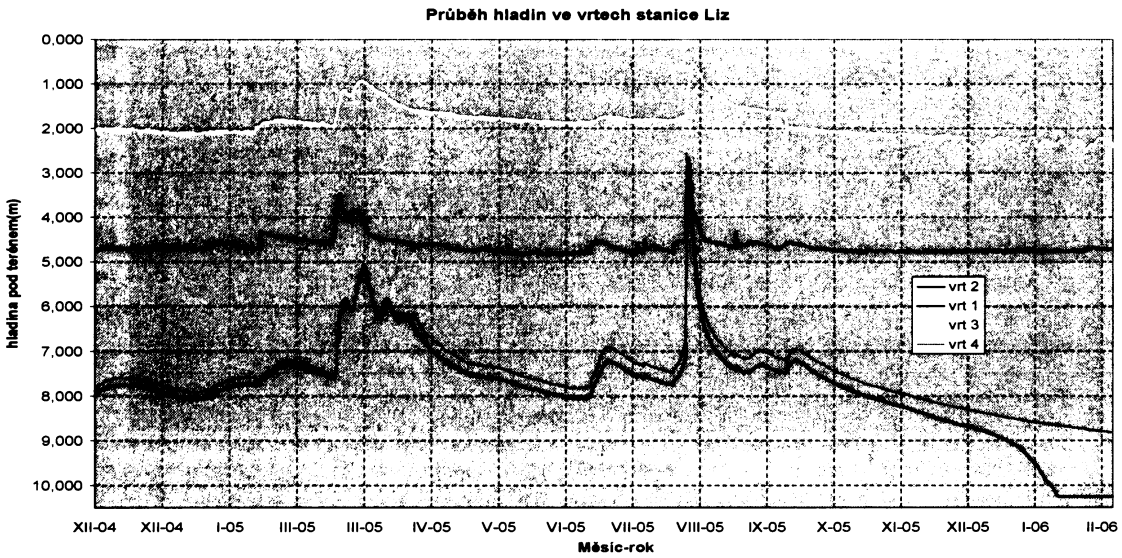
vrtání			
vrtný profil mm	od (m)	do (m)	
219	0	4	
165	4	25	
	120		
výstroj (mm):	od	do	PVC - 125/3 mm
125	0,6	17	plná
125	17	21	perforovaná
125	21	25	plná

Poznámky:			
Pracovní pažení po vystrojení odpaženo. Výstroj s můstkovou perforací šíře 1 mm			
Zapažení	ocel 219 mm + 0,2 - 4,0 m		
Uzávěr vrtu:	Kápě na 125 mm		
Těsnění vrtu:	od	do	typ:
	0	2	zához
	2	12	cement
	12	25	obsyp 1,6 -4 mm
Hladina podzemní vody			
naražená (m p.t.)	19		
ustálená (m p.t.)	18		
vydatnost při vrtání	0,1 l/s		
přítoky do vrtu (m)	19, 21		

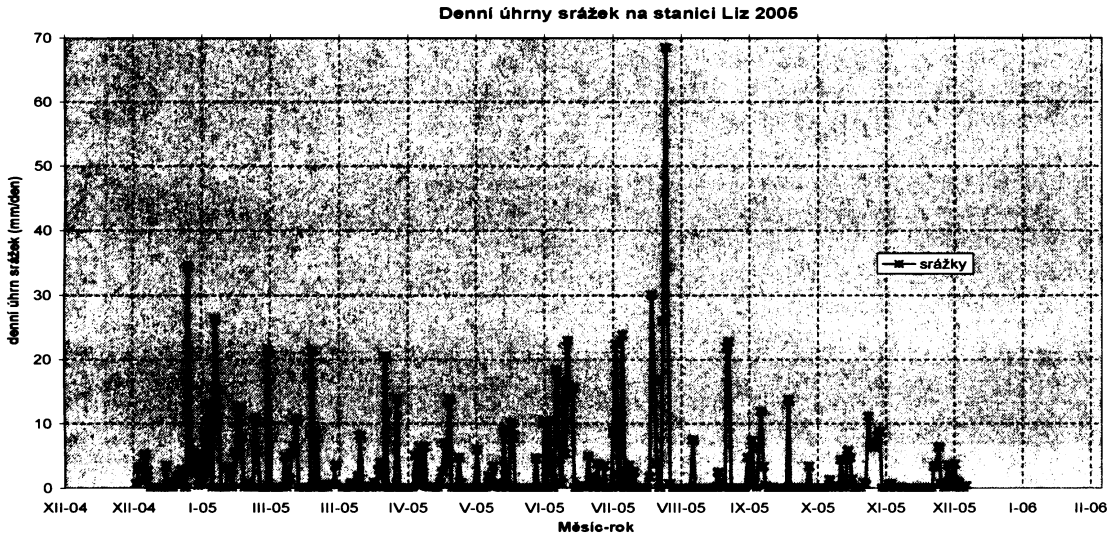
VODNÍ ZDROJE
ANGIOVA & POLEČNOST
Komunardů 309/6, Praha 7 Holešovice, 170 00

VODNÍ ZDROJE, a.s.
Komunardů 309/6, 170 00 Praha 7
IČ: 45274428, DIČ: 007-45274428

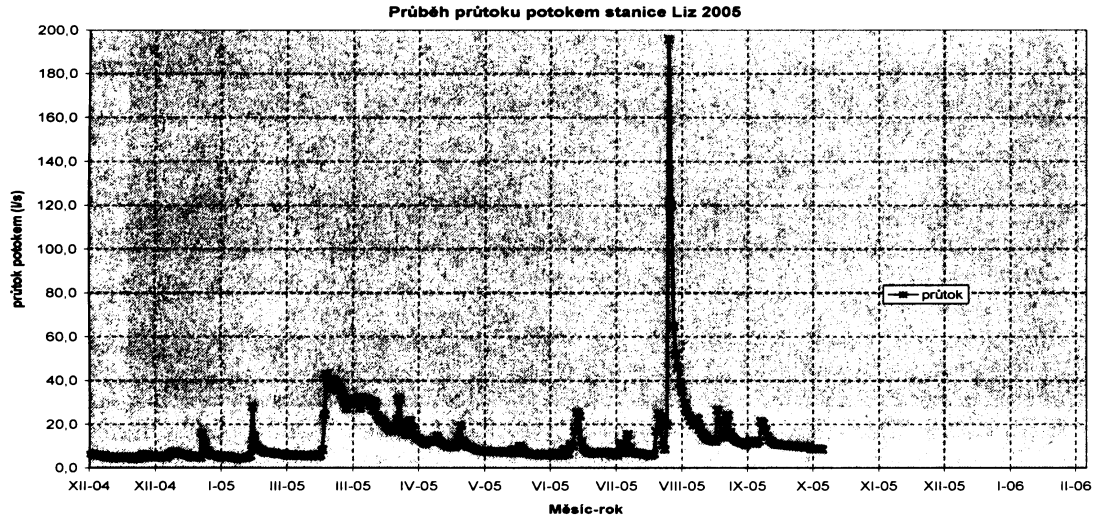
Příloha č. 8b) Vrtný profil vrtu HV4- hluboký infiltrační oblast



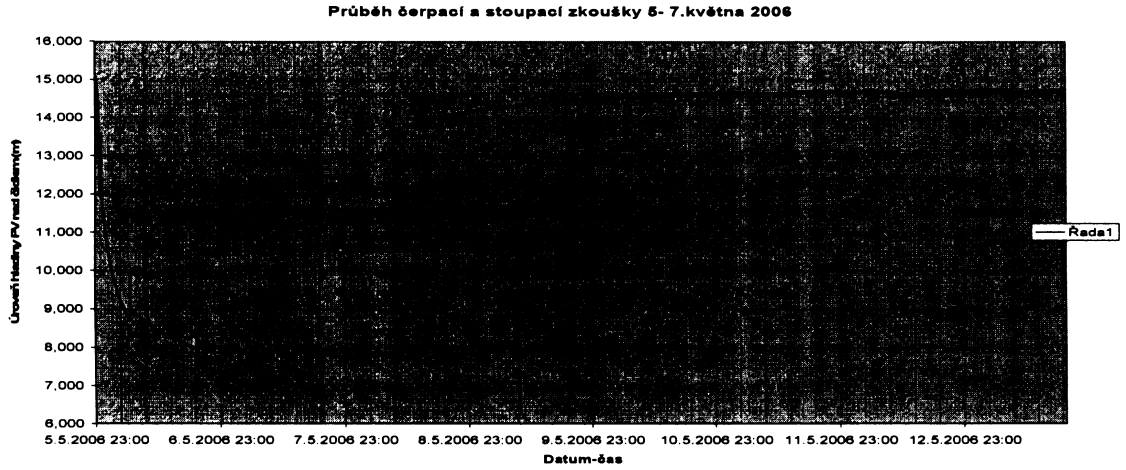
Příloha č.9 Průběh stavu hladin v povodí Na Lizu 2004-2006



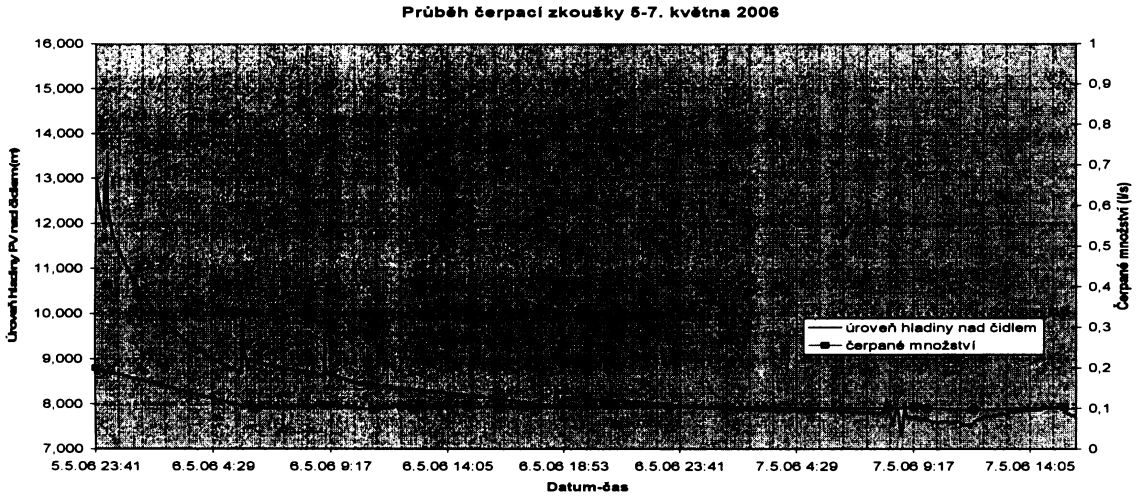
Příloha č.10 Průběh denních úhrnů srážek 2005 na povodí Na Lizu



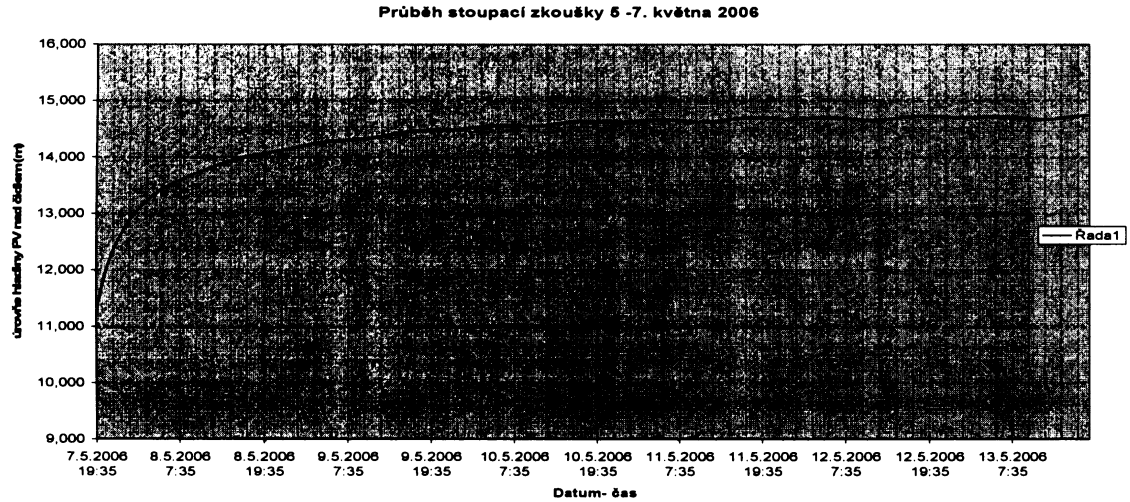
Příloha č.11 Průběh denních průměrných průtoků 2005 z povodí Na Lizu



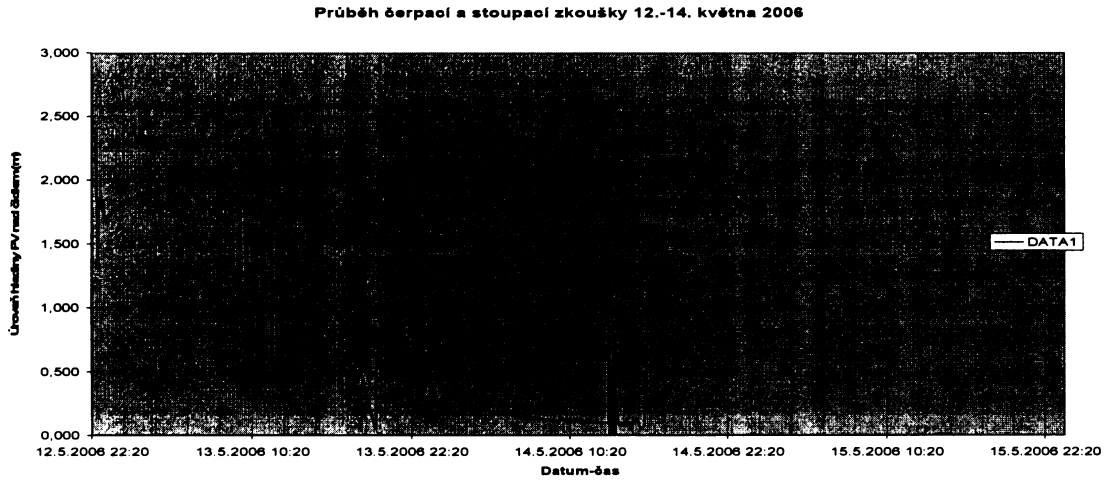
Příloha č. 12. Průběh čerpací a stoupací zkoušky ze dne 5-7. května 2006



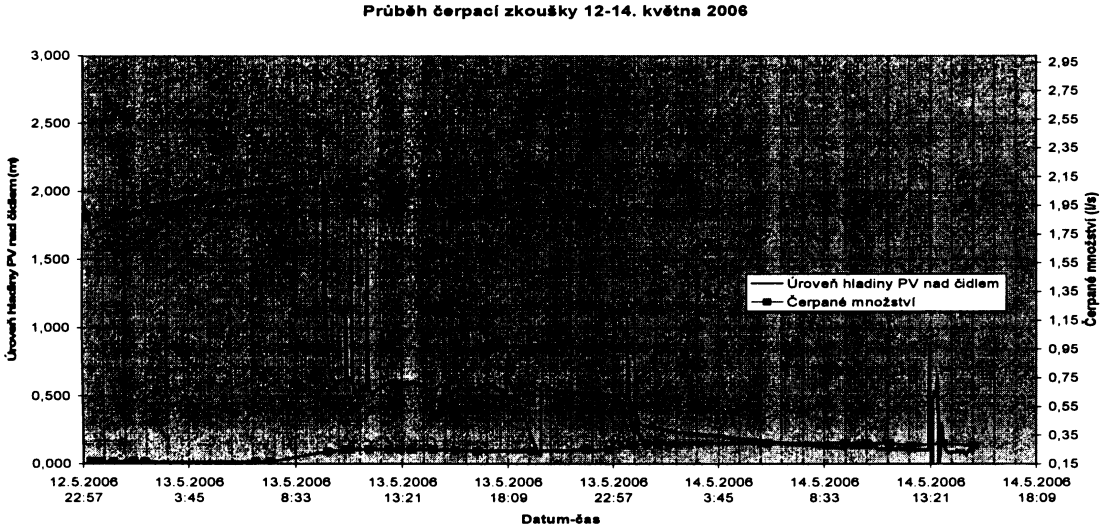
Příloha č. 13. Průběh čerpací zkoušky ze dne 5-7. května 2006



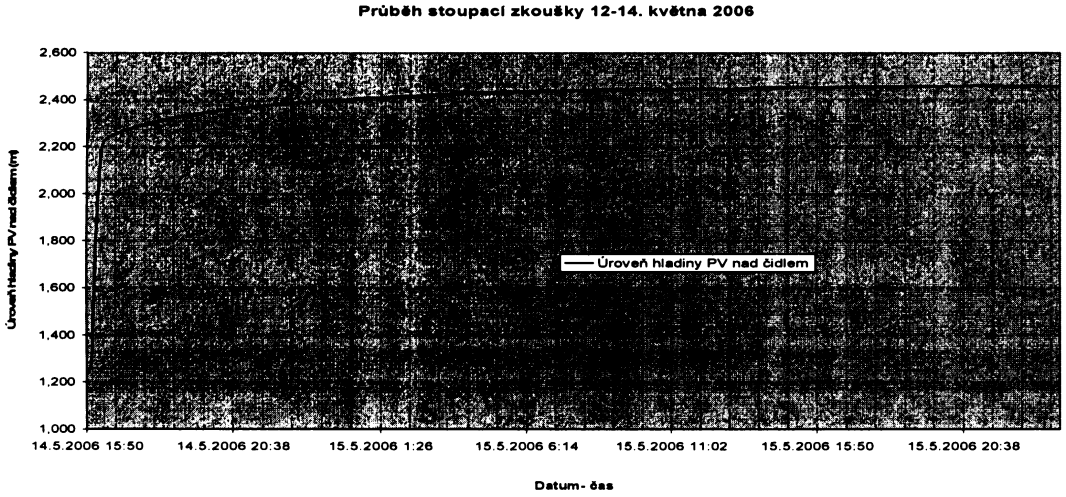
Příloha č. 14. Průběh stoupací zkoušky ze dne 5-7. května 2006



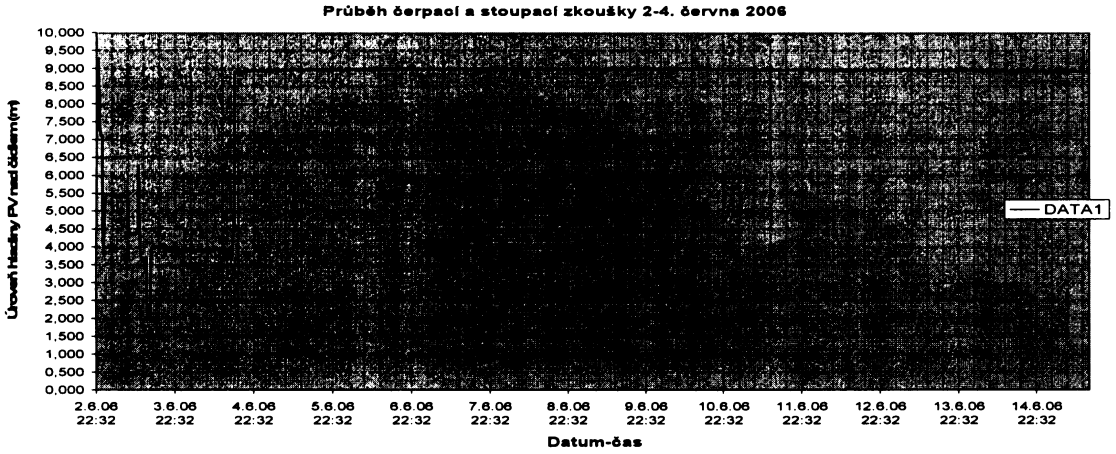
Příloha č. 15. Průběh čerpací a stoupací zkoušky ze dne 12-14. května 2006



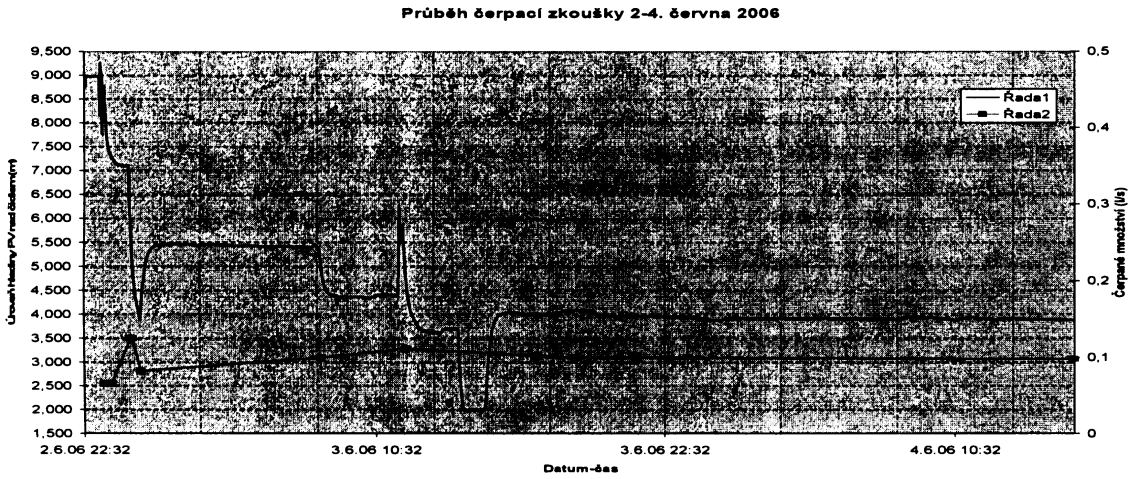
Příloha č. 16. Průběh čerpací zkoušky ze dne 12-14. května 2006



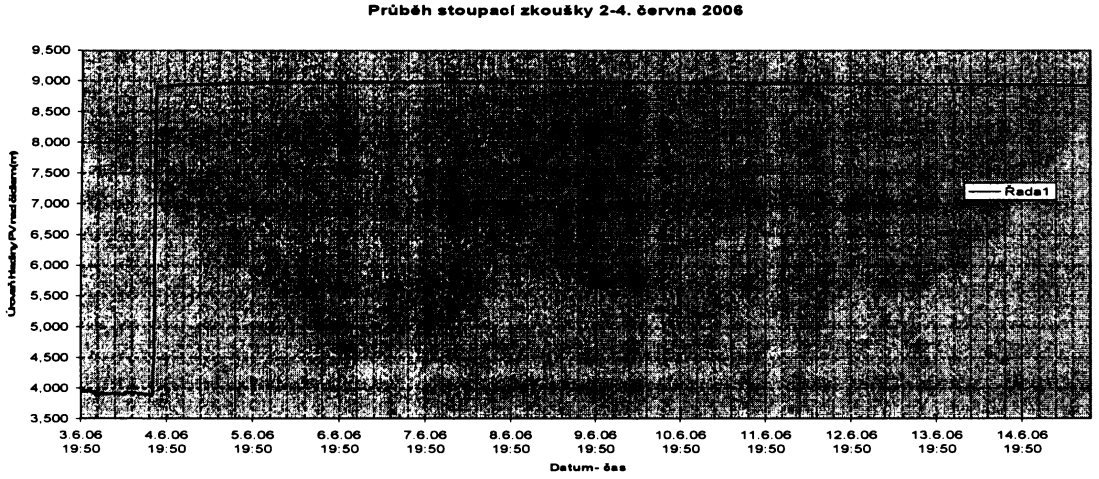
Příloha č. 17. Průběh stoupací zkoušky ze dne 12-14. května 2006



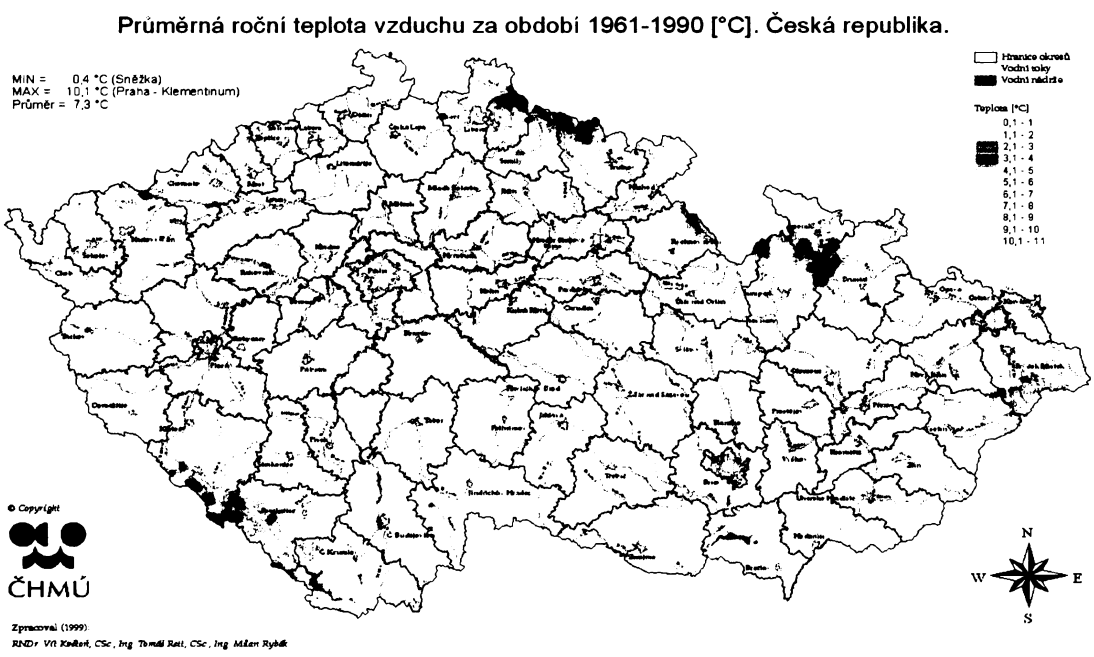
Příloha č. 18. Průběh čerpací a stoupací zkoušky ze dne 2-4. června 2006



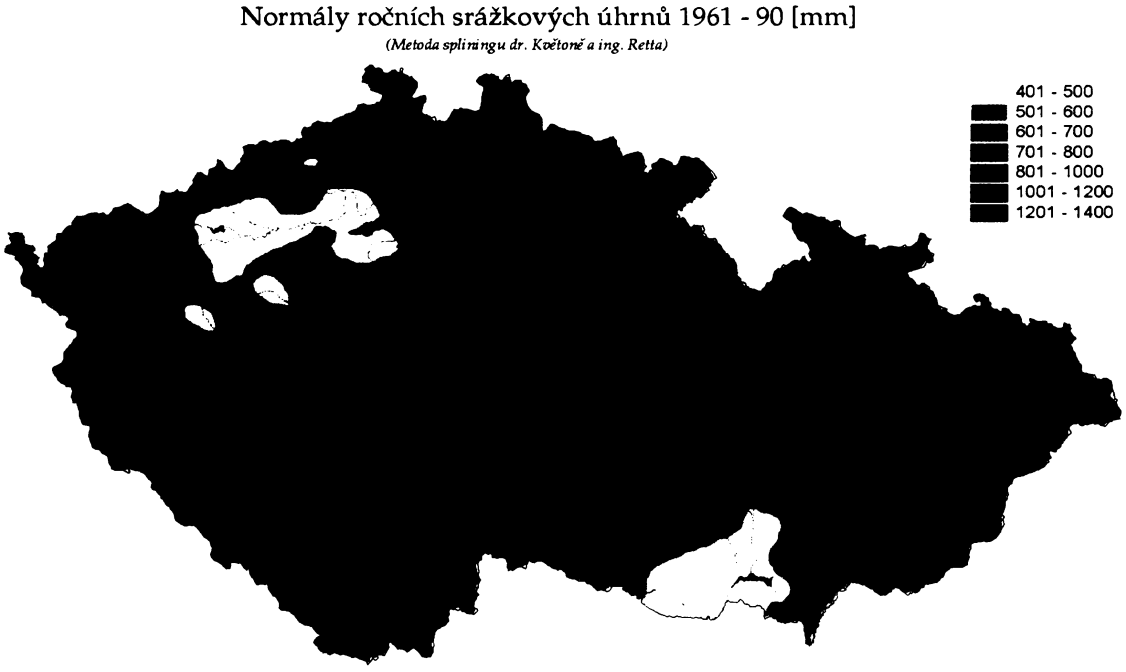
Příloha č. 19. Průběh čerpací zkoušky ze dne 2-4.června 2006



Příloha č. 20. Průběh stoupací zkoušky ze dne 2-4.června 2006



Příloha č. 21. Mapa průměrné roční teploty vzduchu pro Českou republiku 1961-1990 (www.chmi.cz)



Příloha č. 22. Mapa průměrných ročních úhrnů srážek pro Českou republiku 1961-1990 (www.chmi.cz)

Geologická knihovna Přírodovědecká fakulty Univerzity Karlovy v Praze