

# THE REGIME OF GROUNDWATER IN THE AREA OF MASARYK TRAINING FOREST ENTERPRISE AT KRTINY

## REŽIM PODZEMNÍ VODY NA ÚZEMÍ ŠKOLNÍHO LESNÍHO PODNIKU MASARYKŮV LES KŘTINY

**Synková J., Kubová K., Tlapák V.**

Ústav tvorby a ochrany krajiny, Lesnická fakulta, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika.

E-mail: [synkova@mendelu.cz](mailto:synkova@mendelu.cz),

---

### ABSTRACT

The study of groundwater regime and the choice of suitable working and evaluation methods were based on the selection of wells and springs where the Czech Hydrometeorological Institute in Brno carried out systematic observations, measurements and recording of groundwater level heights and yields. For the analysis of short-time variations in fluctuations of groundwater level heights probability curves of exceeding were constructed on the basis of weekly time series of groundwater levels in wells and groundwater yields in springs. The probability of exceeding monthly precipitation was determined to evaluate the humidity of the years. Precipitation in the spring season usually contributes to the circumannual recharge of groundwater resources in the area of TFE MF at Křtiny. The time occurrence of monthly limit stages allowed to determine in what year seasons the absolute limit stages occurred and in what months the limit stages occur most frequently.

**Key words:** groundwater level height, well, spring, water yield, probability curve of exceeding, time series

## ÚVOD

V současnosti je režim podzemní vody subtilním jevem v naší okolní krajině, plně závislým na jednání a chování člověka. Dynamika podzemních vod souvisí se stavem půdní vody ovlivňující vitalitu a funkční účinnost krajinných zejména lesních ekosystémů, jež jsou často lidskou činností ohroženy (Vyskot et al, 2003).

Je důležité citlivě přistupovat při stavebních, zavlažovacích, melioračních aj. činnostech ohrožujících jednak a kvalitu jednak kvantitu podzemní vody. K dnešním častým problémům řešeným v rámci výzkumných záměrů, státních či evropských projektů grantových agentur, programů vědy a výzkumu patří rozsáhlé a finančně náročné studie a projekty zabývající se analýzami rizik kontaminace podzemní vody, sanacemi již vzniklých havárií a ekologických škod, monitorovacími pracemi, zajišťováním zásobování vodou, posuzováním kvality podzemní vody aj. vysoce závažných problémů. Aktuálně objem prací týkající se řešení likvidací ekologických zátěží je natolik značný, že převažuje a zastiňuje výzkum základní problematiky v oboru hydrogeologie. Často profituje z úspěchů minulé doby 50-60.let, kdy se obor hydrogeologie povznesl na mezinárodní úroveň především díky takovým osobám jako byli Ota Hynie, Oto Dub či Rostislav Netopil (Datel, 2005), jehož nové (v 50.letech) vypracování hodnocení režimu podzemních vod pomocí charakteristických úrovní hladin podzemní vody bylo základem pro zpracování dat při hodnocení režimu podzemní vody na území školního lesního podniku „Masarykův les“ Křtiny (dále ŠLP ML Křtiny). Cílem studie řešení režimu podzemní vody na území ŠLP ML Křtiny bylo hodnocení přirozené sezónní i víceleté variability plnění a prázdnění podzemních kolektorů, projevující se kolísáním úrovně hladiny či vydatnosti podzemní vody, hodnocení trvání určitých hodnot (dlouhodobé a krátkodobé výkyvy, mezní hodnoty), hodnocení vodnosti hydrologických roků, posouzení vlivu srážkových úhrnů na vydatnost pramenů a kolísání úrovně hladin podzemní vody ve vrtech, hodnocení procenta zabezpečení vydatnosti pramenů a hodnocení mezních měsíčních hodnot aj.

## MATERIÁL A METODIKA

Materiálem k vypracování režimu podzemních vod na území ŠLP ML Křtiny sloužily veškeré dostupné podklady z literatury, map (lokalizace pramenů a vrtů) a ostatních pramenů (archív ČHMÚ).

Pro vyhodnocení bylo použito především grafického zobrazení prvků režimu podzemní vody díky dobré čitelnosti a přehlednosti zaznamenaných dat a jednoduchých statistických výpočtů v programu MS Excel.

Důležitým zdrojem vstupních dat analýzy režimu podzemních vod na území ŠLP ML Křtiny se staly časové řady týdenních vydatností a teplot vody v pramenech PB 282, PB 302, PB 337, PB 349 a PB 488 a týdenní úrovně hladiny podzemních vod ve vrtech VB 282, VB 9800, VB 9806, VB 9807 a VB 9809 (**tabulka 1. Základní charakteristiky hydrogeologických objektů**), reprezentující hydrogeologický rajón 657 Krystalinikum brněnské jednotky a rajón 663 Moravský kras, poskytnutých ČHMÚ v Brně. Časová řada byla 15letá a začínala hydrologickým rokem 1991 a končila rokem 2004. Aby byly prameny a vrty

vybrány k analýze režimu podzemních vod musely splnit minimálně podmínku 10leté časové řady měření a lokalizace na území ŠLP ML Křtiny anebo se musely nacházet v těsné blízkosti hranic se ŠLP ML Křtiny. Dalšími vstupními daty byly měsíční srážkové úhrny a teploty ovzduší ze stanice Brno – Tuřany za období 1989-2004 ([www.chmu.cz](http://www.chmu.cz)). Po sběru výchozích dat byla měření zpracována do podoby vhodné pro počítačové zpracování, data byla uspořádána, tříděna a byly vytvořeny tabulky vhodné pro zpracování analýz. Dále následovalo samotné vlastní číselné a grafické zpracování a stanovení potřebných výstupů a výsledků.

Průběhy kolísání úrovní hladin podzemní vody či vydatností pramenů můžeme rozdělit na sezónní a víceleté.

V rámci sezónního kolísání lze popsat i krátkodobé kolísání, za něž považujeme rozdíly v průběhu dne. Pro denní kolísání úrovně hladiny a vydatnosti je charakteristický poklesový trend pohybu úrovně hladiny od rána do odpoledne a vzestupný trend od večera do rána, což souvisí s denním kolísáním teploty a vlhkosti vzduchu. Sezónní výkyvy vydatností pramenů či úrovní hladin podzemních vod ve vrtech se vyznačují vzestupem úrovně hladin a vydatností od zimy po jarní maximum, které se nejčastěji vyskytuje v rozmezí března a května. Vydatnost a úroveň hladin dále klesají nejčastěji do podzimu, kdy nastane roční minimum. Pokles může být přerušen letním krátkým vzestupem, který rychle odezní a opět pokračuje sestupným trendem. Týdenní hodnoty vydatností a úrovní hladin podzemních vod, vyjadřující detailní sled časových změn, byly zpracovány pomocí pravděpodobnostních křivek překročení (Netopil, 1981, 1984). Při hodnocení čáry překročení vydatností a úrovní hladin podzemních vod vycházíme z představy, že kolísání vydatností a úrovní hladin jsou výsledkem úhrnného vlivu všech činitelů (přírodních i antropogenních), uplatňujících se v hydrogeologickém režimu podzemních vod. Období, kdy úroveň hladiny podzemních vod a vydatností pramenů vystoupí nad hodnotu překročenou 10% a zvláště pak, kdy poklesnou pod hodnotu překročenou 90 %, jsou velmi významné z hlediska jímání vod pro posouzení zásob nebo při posouzení míry rozkolísanosti stavů vydatnosti pramene. Hodnoty, které jsou překročeny středními 20%, tzn. 41-60%, jsou blízké hodnotě průměrné či obyčejné (medián) a proto je můžeme pokládat za průměrné. Z čar překročení byla zjištěna míra rozkolísanosti rozdílem absolutního maxima a minima a zaznamenány byly měsíc a rok jejich výskytu pro porovnání.

#### **Tabulka 2. Stupnice pro klasifikaci čar překročení (Netopil, 1981)**

Z týdenních hodnot byly pomocí aritmetického průměru vyhodnoceny průměrné měsíční a roční vydatnosti a úroveň hladiny podzemních vod. Hodnoty týdenních vydatností a úrovní hladin, odpovídající mediánu a modu byly porovnány s příslušnými aritmetickými průměry. Ze srovnání byly prameny a vrty rozděleny na statistické soubory s nesouměrným či souměrným (Gaussovým) rozdělením. Z rozdílů extrémních hodnot bylo vypočteno variační rozpětí a proměnlivost měsíčních hodnot byla posouzena směrodatnou odchylkou a variačním koeficientem (Muzikář, Soukalová, 1989). Jelikož zpracované statistické soubory pocházejí z relativně krátkého pozorovacího období 1989-2004, byly vypočítány chyby, kterých se mohlo dopustit při výpočtu aritmetického průměru a směrodatné odchylky. Směrodatná chyba

aritmetického průměru byla vypočítána ze vzorce:  $C_x = \frac{C_v}{\sqrt{n}}$  a průměrná chyba směrodatné

odchylky se zjistila ze vztahu:  $C_s = \frac{s}{\sqrt{2 \cdot n}}$  (Kříž, 1983). Správnost výpočtu aritmetického

průměru a variačního koeficientu byla ověřena graficky porovnáním čar překročení, sestrojených pomocí kumulovaných četností výskytu týdenních vydatností a úrovní hladin podzemních vod s teoretickými křivkami, konstruovanými jako binomická Pearsonova křivka III. typu, jelikož tato křivka nejlépe odpovídá zákonitostem výskytu hydrologických jevů. K sestrojení Pearsonových křivek byl vypočten koeficient asymetrie podle vzorce

$C_s = \frac{\sum (k_i - 1)^3}{(n - 1) \cdot C_v^3}$  (Krešl, 2001). Míra shody byla vyjádřena pomocí neparametrického

Kolmogorov-Smirnovova testu shody pro jeden výběr s pravděpodobností 0,05 (Drápela, Zach, 1999).

Změny zásob podzemní vody v průběhu roku lze vystihnout hodnotami dlouhodobých měsíčních průměrů, které vyjadřují hrubé změny v průběhu roku, umožňují poznat, v kterém měsíci či roční době lze očekávat vysoké nebo nízké hodnoty vydatnosti pramene, zdroj napájení podzemní vody, případně, kdy má vydatnost pramene tendenci vzestupnou nebo sestupnou. Dlouhodobá průměrná vydatnost pramene slouží jako základ pro odvozování jiných prvků režimu, k vzájemnému porovnávání, vážení a hodnocení všech ostatních hodnot. Mezní hodnoty (max, min) dovolují usuzovat na možný maximální a minimální vydatnost pramene či úroveň hladiny podzemní vody, třebaže nemusí být spolehlivé, jelikož režim měření nemusí odpovídat přesné době výskytu mezních hodnot. Proto se občas nahrazují obdobím souvislého trvání mimořádně vysokých a mimořádně nízkých vydatností pramene, které se nevyskytují v každém roce a trvají rozličně dlouhou dobu (Netopil, 1981). Navíc ukazují na dosažené ročního a absolutního rozpětí výškové polohy úrovně hladiny ve vrtech a rozpětí množství vody v pramenech. Charakterizují tedy zvodněný horizont v jeho rozkolísanosti (Netopil, 1981).

Kromě výkyvů během roku podléhá vydatnost a úroveň hladiny i dlouhodobým výkyvům. Ty lze zjistit z hodnot ročních průměrů, vyjadřujících průměrný stav zásob vody v daném roce. Tyto výkyvy jsou vyvolány dlouhodobými změnami účinku těch činitelů, které mají na režim vody největší vliv (Muzikář, Soukalová, 1989).

K účelu zjištění míry účinku srážek na kolísání úrovně hladiny podzemní vody či vydatnosti pramenů byly zpracovány roční množství srážek za hydrologický rok, množství srážek spadlých ve chladném a teplém půlroce pomocí základní statistiky, která umožnila charakterizovat vlhkost roků procentem pravděpodobnosti překročení ročních srážek. Na základě toho bylo možné klasifikovat jednotlivé hydrologické roky z hlediska jejich vodnosti. Nadprůměrnost nebo podprůměrnost jednotlivých let lze vyjádřit na základě pětičlenné klasifikační stupnice.

### **Tabulka 3. Klasifikace roku podle relativní četnosti průměrných ročních stavů úrovní hladin podzemní vody nebo vydatnosti pramenů (Netopil, 1984)**

Pro zjištění vlivu měsíčních srážkových úhrnů na vydatnost pramenů a na úroveň hladiny podzemní vody byl použit výpočet korelačního koeficientu (závisle proměnnou tvoří

vydatnosti a úrovně hladin podzemní vody a nezávisle proměnnou srážkové úhrny), který vyjadřuje těsnost vztahu vybraných dat. Významnost vypočteného koeficientu korelace byla posouzeno pomocí t-testu. T-testem byl porovnán vypočtený součinitel s kritickou hodnotou, pro kterou byl určen stupeň volnosti  $n-2$  a hladina významnosti  $P=0,05$ .

## VÝSLEDKY A DISKUZE

Režim podzemní vody na území ŠLP byl řešen na základě vstupních dat týkající se 5 pramenů a 5 vrtů, jež se nacházejí nepravidelně na území školního podniku či v jeho blízkém okolí a dat z klimatologické stanice Brno - Tuřany za období 1989-2004. Stanovení průměrné srážky na území nebylo provedeno jednak z důvodu rozdílných mezoklimat na rozsáhlém a morfologicky rozmanitém území, kdy ani použitím tohoto postupu by nedošlo k spolehlivým výsledkům, jednak z toho důvodu, že území je složené z velkého počtu dílčích povodí, s čímž souvisí vysoké nároky na počáteční data a jednak z důvodu výskytu *klimatologické stanice* automatické pouze v Brně-Žabovřeskách a Brno-Tuřany, *základní stanice* v Troubsku, Ivanovicích na Hané, v Úsuší, Čížky a Lhotě Rapotín a *srážkoměrné stanice* v Babicích n. Sv., Bukovince a Kuřimi či Blansku, kde se měří pouze srážky, sněhová pokrývka a atmosférické jevy.

Na doplňování zásob podzemních vod v průběhu roku na území ŠLP se zpravidla podílí srážky na jaře. Studované území je oblastí chudou na podzemní vody s výjimkou Moravského krasu, jehož plocha zasahuje do území školního lesního podniku z 1/3 a kde díky velkým podzemním prostorám dochází k průtokům velkého množství podzemních allochtonních vod. Hodnocené patnáctileté období bylo srážkově podnormální.

### **Tabulka 4. Porovnání dlouhodobého normálu měsíčních srážkových úhrnů (v mm) za období 1961-1990 a období 1989-2004 (srážkoměrná stanice Brno-Tuřany)**

Posouzení reprezentativnosti daného studovaného období z hlediska rozdělení odtoku nebylo možné provést z důvodu velkého množství povodí a tím nároků na požadovaná data, přičemž výzkum vlivu srážek na množství odtoku (podzemního, hypodermického a povrchového) o současném působení půdních poměrů, obsahu pórů v půdě, intenzity srážky a časového rozdělení, pojednává VZ MSM 6215648902 "Ověření protipovodňové ochrany v lesnatých povodích" v rámci dílčího VZ "Revitalizace horských lesních ekosystémů poškozených imisemi", jehož závěry budou zveřejněny až na konci roku 2007 (Tlapák at all., 2006). Pro posouzení vlivu srážkových úhrnů na vydatnosti pramenů bylo provedeno grafické znázornění a přehledná tabulka obsahující rozdělení srážek a jeho vyhodnocení z hlediska vlhkosti.

### **Tabulka 5. Klasifikační tabulka pro označení míry vlhkosti roku a rozdělení srážek v letním a chladném půlroce**

Pro statistickou analýzu byl použit výpočet korelačního koeficientu mezi měsíčními vydatnostmi a srážkami změřenými ve stanici Brno-Tuřany. Hodnota vypočteného součinitele korelace, posouzená t-testem, byla pro všechny prameny a vrty velmi nízká, pouze v případě vrtu VB0282 a VB9807 byl vypočítán korelační koeficient vyšší, tudíž byla u 8 z 10

zkoumaných objektů prokázána nulová hypotéza o nepůsobení srážkových úhrnech na vydatnost pramenů a zvýšení úrovně hladiny podzemní vody ve vrtech, což můžeme přičíst hrubému měsíčnímu rozdělení hodnot.

#### **Tabulka 6. Přehled vypočtených korelačních koeficientů**

Roční chod podzemní vody se u většiny pramenů a vrtů vyznačuje celkovým snížením vydatností na počátku hydrologického roku, pomalým vzestupem či stagnací vydatností v jarním období a v letním období mírným či prudkým vzestupem, což lze vysvětlit jednak vysokými srážkami a jednak vysokými zásobami podzemních vod z období jara. V rámci dlouhodobého studovaného období (1989 - 2004) lze konstatovat, že u většiny pramenů byla vydatnost za období 1989 - 1996 stabilní, nebo se vyznačovala výskytem nižších vydatností (PB488, PB349, PB337, PB282) s výjimkou pramene PB302, jehož vydatnost byla nejvyšší za zmíněné období z celé studované doby měření. Období 1996 - 2000 se u všech pramenů s výjimkou PB302 vyznačovalo zvýšenou vydatností a v tomto období se naměřily absolutní maxima za období 1989 - 2004. Jako přelomový rok lze u všech hodnocených pramenů a vrtů považovat rok 1997, přičemž úhrn srážek v období letních měsíců nasýtil kolektory podzemní vody natolik, že trvalo cca jeden rok než úrovně hladin podzemní vody poklesly na úroveň před povodněmi a to v závislosti na velikosti a mocnosti zvodněného kolektoru. Jednoznačný trend poklesu následuje již od roku 2000 až do roku 2004, který byl posledním hodnoceným rokem. U většiny vrtů nebyl žádný trend poklesu či vzestupu v rámci studovaného období vymezen, úrovně hladin podzemních vod se vyznačovaly ročním kolísáním s tím, že strmým vzestupem v roce 1997 se vyznačily VB0282 a VB9807.

#### **Tabulka 7. Extrémní vydatnosti pramenů a úrovně hladin podzemní vod a největší a nejmenší měsíční průměry**

Statistickým zpracováním týdenních hodnot vydatností a úrovní hladin podzemní vody byly vypočteny hodnoty modů a mediánů a porovnány s příslušnými aritmetickými průměry, na jehož základě došlo k rozdělení statistických souborů na soubory se souměrným (Gaussovým) a nesouměrným rozdělením.

#### **Tabulka 8. Statistické výpočty**

Z rozdílů extrémních hodnot bylo zjištěno, že nejvíce rozkolísané byly průměrné vydatnosti pramene PB337 a úroveň hladiny podzemní vody ve vrtu VB 9806, nejméně proměnlivé byly vydatnosti pramene PB488 a úroveň hladiny ve vrtu VB9807, poměrně stálým byl i pramen PB302 a vrt VB9809. Míra spolehlivosti odhadu základních statistických charakteristik byla posuzována pomocí výpočtů chyby aritmetického průměru a průměrné chyby směrodatné odchylky.

#### **Tabulka 9. Tabulka výpočtu základních statistických charakteristik**

Ze sestrojených čar překročení týdenních vydatností pramenů bylo prokázáno, že z hlediska 95% zabezpečení vydatností pramenů, množství vody kleslo na absolutní minimální hodnotu v průměru o 60% oproti průměrné hodnotě (medián). Načež vydatnost

pramene PB 302 a PB 488 byla natolik nízká, že se nedoporučuje z tohoto hlediska navrhovat další úpravu pro využití vody.

Sestrojené čáry překročení byly porovnány s teoretickými křivkami, konstruovanými jako binomická Pearsonova křivka III. typu, jež byly sestaveny z důvodu nesouměrného rozdělení četností průměrných měsíčních vydatností pramenů a z důvodu nejlépe odpovídající křivky daným hydrologickým jevům. U všech studovaných pramenů lze s 95% pravděpodobností říci, že rozdíl mezi kumulovanými četnostmi zjištěnými a očekávanými není statisticky významný. Znamená to, že teoreticky určené křivky, vyjadřující pravděpodobnost překročení průměrných měsíčních vydatností pramenů a úrovně hladin podzemních vod ve vrtech, se dobře shodují s křivkami empirickými, což lze prokázat grafickým znázorněním na příkladu vrtu VB0282 a pramene PB282 (**obrázek 1. Pravděpodobnost překročení průměrných úrovní hladin podzemní vody ve vrtu VB0282, obrázek 2. Pravděpodobnost překročení průměrných měsíčních vydatností v prameni PB282**). Pro potvrzení této hypotézy byl použit test shody - Kolmogorovův-Smirnovův test pro jeden výběr, kterým byla dokázána shoda obou křivek na zvolené hladině významnosti 0,05.

#### **Tabulka 10. Statistická tabulka Kolmogoro-Smirnovova testu pro jeden výběr**

Test je neparametrický, méně přesný, ale porovnává obecně četnosti daných dat a není závislý na typu rozdělení. Je velmi pravděpodobné, že zkoumané řady měření pocházejí ze základního souboru s nesouměrným rozdělením a ukazuje, že tato měření lze považovat za dostatečně vyhovující pro spolehlivý odhad aritmetického průměru a směrodatné odchylky, odvozené z měsíčních vydatností studovaných pramenů.

#### **Tabulka 11. Výsledky výpočtů Kolmogoro-Smirnovova testu pro jeden výběr**

Všeobecně je třeba brát mezí hodnoty (maximální a minimální) s rezervou díky krátké řadě pozorování. Za studované období 1989 - 2004 u pramenů či u vrtů 1992 - 2004 dosáhly vydatnosti svého měsíčního maxima nejčastěji v dubnu, ale také v březnu a květnu, kdežto nejdešivější měsíc za stejné období byl červenec (stanice Brno-Tuřany). Stejně tak tomu je i u vrtů, kdy nejvyšší stavy úrovní hladin podzemních vod byly naměřeny v březnu, příp. dubnu (s výjimkou vrtu VB9800). Měsíčního minima dosáhly vydatnosti u pramenů nejčastěji v říjnu, ale i srpnu, září a prosinci, u vrtů byly naměřeny nejnižší stavy úrovní hladin podzemních vod v srpnu, září, říjnu i listopadu, kdežto nejnižšími měsíčními srážky za stejné sledované období naměřené ve stanici Brno-Tuřany se vyznačoval měsíc únor. Dlouhodobé měsíční maxima či minima nejsou shodné s nejvyššími či nejnižšími stavy srážkových úhrnů.

Nejvíce stoupla voda ve vrtu VB9809 (pouhých 63 cm v roce 1995 pod okraj pevného odměrného bodu) a ve vrtu VB0282 (83 cm pod okraj pevného odměrného bodu v roce 1997). Absolutní maximální stavy úrovní hladin se nejčastěji vyskytly v mimořádně vydatném roce 1997 (VB0282, VB9806) v červenci a srpnu, avšak absolutního maxima se dosáhlo taktéž v roce 1991 (VB9800) v listopadu, 1994 (VB9807) v dubnu a 1995 (VB9809) v červnu. Výskyt absolutních maxim je zřejmě spojen se srážkovými úhrny mnohem více jak s dobou ukončení

tání sněhu, přestože jarní měsíce jsou obdobím trvale vysoké hladiny podzemní vody, zimní měsíce obdobím se sníženou úrovní hladiny a konec léta obdobím sestupné tendence a poklesu úrovně hladiny podzemní vody. Zdůvodněním jsou měsíce výskytu absolutních minim, které se vyskytly v průměrném roce 1992 (VB0282) v září, v suchém roce 1993 (VB9807, VB9809) v únoru a srpnu, v suchém roce 1991 (VB9806) v listopadu a v mimořádně vydatném roce 1997 (VB9800) v dubnu, což můžeme označit jako výjimečnou a neobvyklou situaci.

Rozdíly mezi absolutními maximálními a minimálními stavy úrovní hladin v jednotlivých vrtech poukazuje na vysoký rozkyv v případě vrtu VB9806, který je neuvěřitelných 40 m, u ostatních vrtů nepřesahuje rozkyv 3,5 m. Vrt VB9806 vykazuje vysokou variabilitu i v rámci roku a možným zdůvodněním je jeho krasový režim, což je patrné i v případě vrtu VB9809, kde sice rozkyv mezi mezními hodnotami dosahuje 1,29, avšak rozkyv v rámci roku je taktéž vysoký. U vrtů VB9806 a VB9807 chybějící měsíční data z let 2000 a 2001 byla doplněna z rekonstruované čáry stavů úrovní hladin.

Změny úrovní hladin podzemní vody (jedná se zejména o vysoké rozkyvy úrovní hladin podzemní vody a o dobu po kterou nedochází k naplnění kolektorů podzemní vodou), se výrazně promítají do zásobování rostlinných ekosystémů vodou a kde právě rostliny bylinného charakteru a dřeviny s mělkým kořenovým systémem jsou ohroženy více díky povrchovému kořenovému systému na rozdíl od dřevinných ekosystémů s hlubokým kořenovým systémem (Vyskot et al, 2003)..

## **DISKUZE**

Základní problematickou částí řešení režimu podzemní vod na území ŠLP ML Křtiny byl nedostatek vstupních dat týkající se časových řad režimního měření vydatností a teplot vody v pramenech a úrovní hladin vody ve vrtech. Získaná data se týkala pouze 3 objektů nacházejících se na území ŠLP ML Křtiny, zbylých 7 z celkově vybraných 10 zkoumaných objektů se nachází v těsné blízkosti hranic se zkoumaným územím.

V rámci statisticky zpracovaných dat byly zjištěny závažné rozdíly mezi výsledky při nichž se použily hodnoty dlouhodobých měsíčních průměrů dosažených aritmetickým průměrem týdenních hodnot a mezi hodnotami týdenních měření u vydatností pramenů. Současně nevyšly rovnocenně výsledky z posouzení souměrnosti rozdělení díky Kolmogorov-Smirnovova testu a posouzení rozdělení díky porovnání modu, mediánu a aritmetického průměru. V rámci porovnání statistických hodnot (mediánu, modu a arit.průměru) byly blízké souměrnému rozdělení hodnoty v pramenech PB302, PB349 a vrtech VB0282, VB 9807. Naproti tomu při použití Kolmogorov-Smirnovova testu bylo zjištěno, že všechny prameny a vrty se svými empirickými křivkami blíží křivkám teoretickým Pearsonovým, které jsou charakteristické svým nesouměrným rozdělením, tudíž nesouměrným rozdělením se vyznačovaly všechny prameny a vrty (Krešl, 2001).

Nevysvětlenou otázkou zůstaly výsledky ze zkoumaného vrtu VB9800, který jako jediný ze zkoumaných objektů se vyznačoval postupným poklesem podzemní vody do roku 1997, kdy v létě roku 1997 dosáhla úroveň hladiny podzemní vody svého absolutního



minima, a následným postupným vzestupem úrovně hladiny, který kulminoval v roce 2004. Vrt VB9800 se nachází v neogenních sedimentech (miocén) Brněnského masívu, jehož infiltrační oblast je dosti vzdálena od vrtu, kolísání úrovně hladiny může mít velké zpoždění za srážkami, roční chod je tudíž nevýrazný a převažuje dlouhodobý chod vzhledem k rozsahu a struktuře neogénu. Druhým hypotetickým argumentem nesouladu výsledků s ostatními zkoumanými objekty je možný odběr vody, avšak tento závěr je pouze předpokládáný a nebyl doložen žádným důkazem.

*Tabulka 1. Základní charakteristiky hydrogeologických objektů*

DB číslo	Hydrogeol. rajón	lokalita	okres	nadm. výška (m.n.m.)	hydrogeologické povodí	sledované období	pozn.	X	Y	Y_JTSK	X_JTSK
<b>PB 282</b>	657 Krystalinikum brněnské jednotky	Brno Řečkovice	Brno město	287	Povodí 3 – 4 – 15 – 01 – 154 – 014 Svratka	od 1.11.1989 do 31.10.2004	Dřevěný přeliv s troj. výřezem	3614268	5459454	1153676	600324
<b>PB 302</b>	657 Krystalinikum brněnské jednotky	Útěchov	Brno venkov	410	Povodí 3 – 4 – 15 – 02 - 106 – 001	od 1.11.1989 do 31.10.2004	Kamenná studánka	3618870	5461777	1151964	595463
<b>PB 337</b>	657 Krystalinikum brněnské jednotky	Ochoz	Brno venkov	324	Povodí 4-15-03 Svratka od Svitavy po Jihlavu	od 1.11.1989 do 31.10.2004	Dřevěný přeliv s troj. výřezem	3626575	5458240	1156461	588279
<b>PB 349</b>	663 Moravský kras	Bukovina	Brno venkov	420	Povodí 3 – 4 – 15 – 03 – 092 – 005 Svratka	od 1.11.1989 do 31.10.2004	Dřev. přeliv s troj. výřezem	3633117	5462227	1153350	581280
<b>PB 488</b>	657 Krystalinikum brněnské jednotky	Řícmanice	Brno město	330	Povodí 3 – 4 – 15 – 02 – 105 – 011 Svitava	od 7.11.1990 do 31.10.2004	Kamenná studánka	3622498	5458406	1155773	592299
<b>VB 0282</b>	657 Krystalinikum brněnské jednotky	Dolní Lhota	Blansko	280	Povodí 4-15-02 Svitava	od 1.11.1989 do 31.10.2004		3618809	5474100	1139739	593938
<b>VB 9800</b>	657 Krystalinikum brněnské jednotky	Jinačovice	Brno město	287,7	Povodí 4 – 15 – 01 – 143	od 1.11.1991 do 31.10.2004	Hloubka 74,0 m	3611460	5459420	1153348	603112
<b>VB 9806</b>	663 Moravský kras	Vavřinec	Blansko	454	Povodí 4-15-02-80	od 1.11.1991 do 31.10.2004	Hloubka 38,99 m	3625879	5475901	1138863	586698
<b>VB 9807</b>	663 Moravský kras	Josefov	Blansko	304,9	Povodí 4 – 15 – 02- 102	od 1.11.1991 do 31.10.2004	Hloubka 113,0 m	3623120	5465390	1148929	590785
<b>VB 9809</b>	663 Moravský kras	Líšeň	Brno město	248,7	Povodí 4-15-03 Svratka od Svitavy po Jihlavu	od 15.1.1992 do 31.10.2004		3625028	5454362	1160107	590311

*Tabulka 2. Stupnice pro klasifikaci čár překročení (Netopil, 1981)*

<b>Překročení %</b>	<b>Počet dnů</b>	<b>Označení úrovně</b>
0-10	30	mimořádně vysoká
11-40	31-150	vysoká
41-60	150-211	průměrná
61-90	211-330	nízká
více jak 90	více jak 330	mimořádně nízká

*Tabulka 3. Klasifikace roku podle relativní četnosti průměrných ročních stavů úrovní hladin podzemní vody nebo vydatnosti pramenů (Netopil, 1984)*

<b>Překročení %</b>	<b>Označení roku</b>	<b>Symbolické označení</b>
pod 11	mimořádně vodný	VV
11-40	vodný	V
41-60	průměrně vodný	O
61-90	suchý	M
nad 90	mimořádně suchý	MM

*Tabulka 4. Porovnání dlouhodobého normálu měsíčních srážkových úhrnů (v mm) za období 1961-1990 a období 1989-2004 (srážkoměrná stanice Brno-Tuřany)*

<b>období</b>	<b>leden</b>	<b>únor</b>	<b>březen</b>	<b>duben</b>	<b>květen</b>	<b>červen</b>	<b>červenec</b>	<b>srpen</b>	<b>září</b>	<b>říjen</b>	<b>listopad</b>	<b>prosinec</b>	<b>rok</b>
1961-1990	30	30	29	38	65	75	64	61	41	34	42	33	543
1989-2004	18,1	18,7	26,9	31,3	50,3	70,2	65	50,4	50,3	37,2	37,6	32,5	489

*Tabulka 5. Klasifikační tabulka pro označení míry vlhkosti roku a rozdělení srážek v letním a chladném půlroce*

rok	letní půlrok IV - IX	chladný půlrok I-III a X-XII	P%	rozdělení	roční srážky	označení míry vlhkosti roku	symbol
1989	293,9	95,40	95,73	91 - 100	389,3	mimořádně suchý	MS
1990	317,0	175,3	40,85	11 - 40	492,3	vlhký	V
1991	272,6	161,8	89,63	61 - 90	434,4	suchý	S
1992	254,6	207,6	53,05	41 - 60	462,2	průměrný	O
1993	290,0	165,2	65,24	61 - 90	455,2	suchý	S
1994	310,1	129,1	83,54	61 - 90	439,2	suchý	S
1995	365,2	146,4	58,66	11 - 40	511,6	vlhký	V
1996	354,6	182,8	22,56	11 - 40	537,4	vlhký	V
1997	416,5	196,7	4,27	0 - 10	613,2	mimořádně vlhký	MV
1998	383,1	126,1	34,76	11 - 40	509,2	vlhký	V
1999	306,8	147,4	71,34	61 - 90	454,2	suchý	S
2000	245,6	214,1	59,15	41 - 60	459,7	průměrný	O
2001	408,5	157,2	10,37	0 - 10	565,7	mimořádně vlhký	MV
2002	344,5	216,5	16,46	11 - 40	561,0	vlhký	V
2003	302,4	180,2	46,95	41 - 60	482,6	průměrný	O
2004	215,4	235,8	77,44	61 - 90	451,2	suchý	S

*Tabulka 6. Přehled vypočtených korelačních koeficientů*

Hydrog. objekt	korel.koef.	T	T <sub>krit</sub>	
PB 282	0,019399	0,258819	1,973231	T < T <sub>krit</sub>
PB 302	0,013176	0,175790	1,973231	T < T <sub>krit</sub>
PB 337	0,104293	1,391438	1,973231	T < T <sub>krit</sub>
PB 349	0,015937	0,212624	1,973231	T < T <sub>krit</sub>
PB 488	0,027275	0,338475	1,975286	T < T <sub>krit</sub>
VB 0282	0,220000	2,928861	1,973231	T > T <sub>krit</sub>
VB 9800	-0,054000	-0,669000	1,975286	T < T <sub>krit</sub>
VB 9806	0,050482	0,626462	1,975286	T < T <sub>krit</sub>
VB 9807	0,193317	2,399001	1,975286	T > T <sub>krit</sub>
VB 9809	-0,058000	-0,724000	1,975286	T < T <sub>krit</sub>

**Tabulka 7. Extrémní vydatnosti pramenů a hladin podzemní vod a největší a nejmenší měsíční průměry**

objekty	abs. ext. vydat. (1xtýdně)		datum výskytu		rozkolísanost	měsíční průměry		měsíc výskytu	
	max	min	max	min		max	min	max	min
PB 282	1,110	0,414	VII.97	IX.04	0,70	0,717	0,661	březen	srpen
PB 302	0,310	0,060	IX.91	II.91	0,25	0,168	0,147	duben	prosinec
PB 337	2,020	0,360	VII.97	IX.04	1,66	1,135	0,772	březen	září
PB 349	1,430	0,530	IV.96	X.04	0,90	1,061	0,958	květen	říjen
PB 488	0,200	0,020	XI.98	X.92	0,18	0,121	0,101	duben	říjen
VB 0282	279,14	275,75	1997	1992	3,39	276,43	276,09	březen	září
VB 9800	268,68	266,14	1991	1997	2,54	267,22	267,14	listopad	říjen
VB 9806	439,04	398,35	1997	1991	40,69	425,51	410,44	duben	listopad
VB 9807	303,68	302,57	1994	1993	1,11	302,87	302,74	březen	srpen
VB 9809	248,02	246,73	1995	1993	1,29	247,55	247,13	březen	srpen

**Tabulka 8. Statistické výpočty**

objekt	median	modus	arit. průměr	
<b>PB 282</b>	0,64	0,62	0,68	rozdělení nesouměrné
<b>PB 302</b>	0,15	0,15	0,16	blízké normálnímu Gaussovu rozdělení
<b>PB 337</b>	0,86	0,70	0,90	rozdělení nesouměrné
<b>PB 349</b>	0,11	0,11	0,11	blízké normálnímu Gaussovu rozdělení
<b>PB 488</b>	1,06	1,09	1,00	rozdělení nesouměrné
<b>VB 0282</b>	276,18	276,14	276,21	blízké normálnímu Gaussovu rozdělení
<b>VB 9800</b>	267,22	266,50	267,19	rozdělení nesouměrné
<b>VB 9806</b>	416,37	424,97	415,93	rozdělení nesouměrné
<b>VB 9807</b>	302,77	302,71	302,79	blízké normálnímu Gaussovu rozdělení
<b>VB 9809</b>	247,38	247,69	247,36	rozdělení nesouměrné

**Tabulka 9. Tabulka výpočtu základních statistických charakteristik**

objekt	R - variační rozpětí	S - směrodatná odchylka	Cr % - variační koeficient	Cx - prům. chyba aritm.prům	Cs - prům. chyba směr.odchylky	koeficient asymetrie
<b>PB 282</b>	0,696	0,138	20,095	1,498	0,007	0,884
<b>PB 302</b>	0,250	0,046	28,945	2,157	0,002	0,873
<b>PB 337</b>	1,660	0,215	23,851	1,778	0,011	0,829
<b>PB 349</b>	0,900	0,178	17,658	1,316	0,009	-0,748
<b>PB 488</b>	0,180	0,035	31,475	2,520	0,002	0,315
<b>VB 0282</b>	3,390	0,255	0,086	0,006	0,014	2,181
<b>VB 9800</b>	2,540	0,545	0,189	0,015	0,031	0,630
<b>VB 9806</b>	40,69	9,484	2,079	0,166	0,537	0,401
<b>VB 9807</b>	1,110	0,084	0,026	0,002	0,005	1,946
<b>VB 9809</b>	1,290	0,199	0,074	0,006	0,011	-0,893

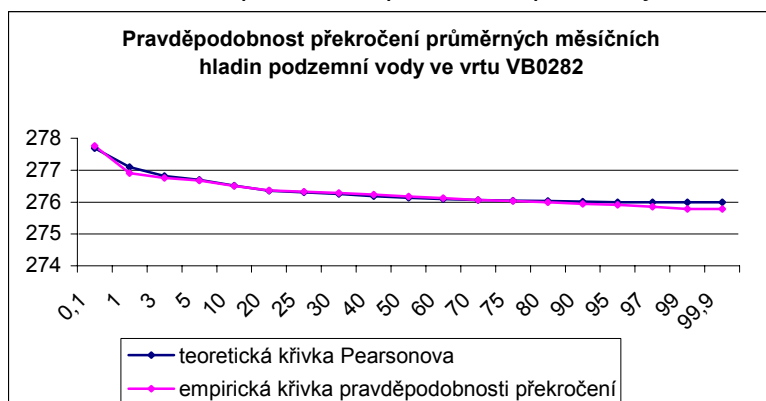
Tabulka 10. Statistická tabulka Kolmogoro-Smirnovova testu pro jeden výběr

D1 (p) pro jeden výběr		
N/p	0,05	0,01
19	0,310	0,361

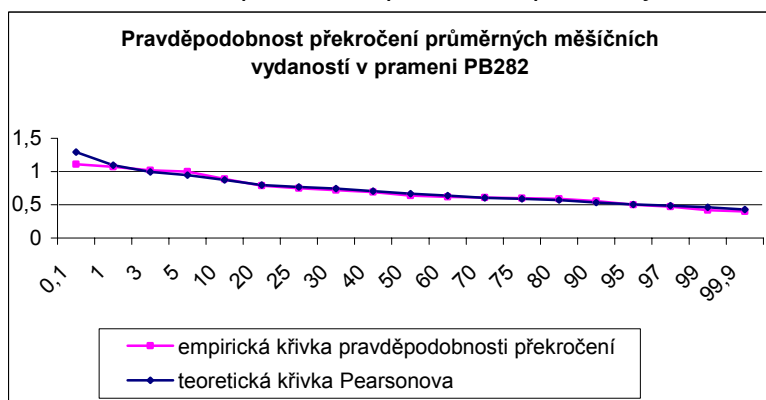
Tabulka 11. Výsledky výpočtů Kolmogoro-Sirminovova testu pro jeden výběr (Hypotéza:  $H_0$ = křivky se sobě rovnají, jelikož  $D_1$  je větší  $D_{1,0,05}$ )

objekt	$D_1$	$D_{1,0,05}$		
PB 282	0,160	0,31	$D_1 > D_{1,0,05}$	$H_0$ přijata
PB 302	0,210	0,31	$D_1 > D_{1,0,05}$	$H_0$ přijata
PB 337	0,000	0,31	$D_1 > D_{1,0,05}$	$H_0$ přijata
PB 349	0,105	0,31	$D_1 > D_{1,0,05}$	$H_0$ přijata
PB 488	0,105	0,31	$D_1 > D_{1,0,05}$	$H_0$ přijata
VB 0282	0,160	0,31	$D_1 > D_{1,0,05}$	$H_0$ přijata
VB 9800	0,105	0,31	$D_1 > D_{1,0,05}$	$H_0$ přijata
VB 9806	0,160	0,31	$D_1 > D_{1,0,05}$	$H_0$ přijata
VB 9807	0,160	0,31	$D_1 > D_{1,0,05}$	$H_0$ přijata
VB 9809	0,210	0,31	$D_1 > D_{1,0,05}$	$H_0$ přijata

Obrázek 1. Pravděpodobnost překročení průměrných hladin podzemní vody ve vrtu VB0282



Obrázek 2. Pravděpodobnost překročení průměrných měsíčních vydatností v prameni PB282



## ZÁVĚR

Z hlediska posouzení režimu podzemních vod se stalo poslední diskutabilní otázkou nepotvrzení významnosti korelace u většiny zkoumaných objektů mezi srážkovými úhrny a vydatnostmi pramenů, potažmo úrovněmi hladin podzemních vod, čímž vznikla otázka: "Jakými jinými možnými přírodními podmínkami je možné ovlivnit více vydatnost pramenů než právě srážkovými úhrny v rámci přírodních faktorů?" Možnou odpovědí je použití hrubých měsíčních dat, které nemusí dobře vystihovat variabilitu a možnou korelaci mezi srážkovými úhrny a vydatnostmi pramenů. Vyvozené konstatování je opět nepodložené jakýmkoli důkazem, jelikož týdenní hodnoty srážkových úhrnů nebyly součástí použitých dat a tudíž navrhuji aby v dalším výzkumu byly výpočty korelačního koeficientu aktualizovány kratší časovou řadou než jsou měsíční měření.

V závěru lze zhodnotit, že došlo k naplnění všech vytčených cílů, třebaže některé výsledky nenaplnily všechna očekávání v rámci obecně zažitých procesů režimu podzemních vod.

*Probíhající výzkumné aktivity jsou podporovány Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy ČR v rámci výzkumného záměru MSM6215648902 „Les a dřevo – podpora funkčně integrovaného lesního hospodářství a využívání dřeva jako obnovitelné suroviny“, etapy 02: Zásady hospodaření a optimalizace druhové skladby lesů v antropicky se měnících podmínkách pahorkatin a vysočin. Pod názvem úkolu: Revitalizační opatření vodních toků, niv a pramenných vývěrů*

## LITERATURA

- Datel J., 2005. Současnost a budoucnost české hydrogeologie, České Budějovice, XII.národní hydrogeologický kongres: 130.
- Drápela K., Zach J., 1999. Statistické metody I., MZLU:132.
- Krešl J.,2001. Hydrologie, MZLU:105.
- Kříž H.,1983. Hydrologie podzemních vod,Praha:261.
- Muzikář R., Soukalová E., 1989. Sborník prací ČHMÚ, svazek 36, Praha:103.
- Netopil R.,1981. Fyzická geografie I, Praha:180.
- Netopil R., 1984. Fyzická geografie, Praha:272.
- Tlapák V., Synková J.,Hubačíková V.,Koutný L., Kubová K., Skoupil J. Černek I.,2006. Ověření protipovodňové ochrany v lesnatých povodích, Český Krumlov, Magdeburský seminář o ochraně vod:221.
- Vyskot I. et all., 2003. Quantification and Evaluation of Forest Functions on the example of the Czech Republic. Ministry of Environment of the CR, Praha:194.