

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geologie
Studijní obor: Hospodaření s přírodními zdroji



Radka Kalinová

Krystalinikum Českomoravské vrchoviny – perspektivní zdroj podzemní vody pro místní zásobování

Crystalline complex of Bohemian-Moravian Highlands – promising groundwater resource for local supply

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Josef V. Datel, Ph.D.

Praha, 2011

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 13.12.2011

Podpis

Poděkování

Chtěla bych poděkovat vedoucímu mé práce, panu RNDr. Josefu V. Datlovi, Ph.D, za cenné rady a čas, který mi věnoval. Poděkování též patří Mgr. Tomáši Lipanskému za užitečné připomínky. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat panu Ing. Pavlu Richterovi z Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka, oddělení HEIS za pomoc s mapou nejvýznamnějších vodních toků většiny území Českomoravské vrchoviny.

Abstrakt

Cílem této práce je zhodnocení prostředí hornin krystalinika se zaměřením na oblast Českomoravské vrchoviny z hlediska zásob podzemní vody pro zásobování místních obyvatel. Největší význam má proto kapitola řešící současné využívání zdrojů podzemní vody a vyhlídky do následujících let. Pro správné zodpovězení otázky perspektivy podzemních zdrojů jsou popsány geomorfologické, hydrologické a klimatické poměry řešené oblasti a také geologické a hydrogeologické poměry. Práce obsahuje dále kapitolu o průzkumu a vyhledávání vody podzemní. Vyhodnocení vhodnosti využití zdrojů vody z krystalinických hornin Českomoravské vrchoviny je důležité pro ekonomické fungování oblasti, které se odráží i v ekonomice celého státu.

Summary

The aim of this thesis is to assess the crystalline rock environment with a focus on the Bohemian-Moravian Highlands in terms of groundwater reserves to supply the local population. The greatest importance has therefore chapter, which discusses the present use of groundwater resources and prospects for the coming years. For the correct answer to the question of perspektivity of groundwater resources geomorphological, hydrological and climatic conditions of the discussed area are described and also geological and hydrogeological conditions. The thesis also contains a chapter about the exploration and searching for groundwater. Evaluation of the appropriateness of the use of water resources from crystalline rocks of the Bohemian-Moravian Highlands, it is important for the economic functioning of the area, which is reflected in the economy of the entire country.

OBSAH

1. ÚVOD	1
2. METODIKA.....	2
3. PŘÍRODNÍ POMĚRY	2
3.1 Geomorfologické poměry.....	2
3.2 Hydrologické poměry	4
3.3 Klimatické poměry	6
4. GEOLOGICKÉ POMĚRY.....	8
5. HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY	10
5.1 Hydrogeologické rajóny krystalinika Českomoravské vrchoviny.....	12
5.2 Podzemní voda v horninách krystalinika se zaměřením na oblast Českomoravské vrchoviny... 16	
5.2.1 Propustnost a zvodnění hornin krystalinika.....	16
5.2.2 Zvodně a hydrodynamické zóny	18
5.2.3 Chemické a fyzikální vlastnosti podzemní vody krystalinika	19
6. PRŮZKUM A VYHLEDÁVÁNÍ PODZEMNÍ VODY	20
6.1 Vyhledávání podzemní vody v krystaliniku.....	20
6.2 Konkrétní příklad hydrogeologického průzkumu v oblasti Českomoravské vrchoviny	21
7. ZÁSOBOVÁNÍ VODOU NA ČESKOMORAVSKÉ VRCHOVINĚ	21
7.1 Popis stávajícího systému zásobení vodou v nejvýznamnějším kraji Českomoravské vrchoviny – v kraji Vysočina.....	21
7.2 Podzemní zdroje vody okresu největšího města Českomoravské vrchoviny – Jihlavy.....	22
7.3 Zásobování krystalinickou vodou na Českomoravské vrchovině	23
8. ZÁVĚR.....	25
PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY	26

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Mapa geomorfologického členění ČR.....	3
Obr. 2. Geomorfologické celky oblasti Českomoravské vrchoviny.....	3
Obr. 3. Nejvýznamnější vodní toky většiny území Českomoravské vrchoviny.....	5
Obr. 4. Mapa podnebných oblastí - výřez oblasti Českomoravské vrchoviny.....	6
Obr. 5. Observatoř Košetice.....	7
Obr. 6. Observatoř Košetice – průběh průměrné měsíční, průměrné maximální měsíční a průměrné minimální měsíční teploty vzduchu v roce 2010 ve srovnání s dlouhodobým průměrem 1961 - 1990.....	8
Obr. 7. Observatoř Košetice – průběh měsíčního úhrnu srážek a měsíčního počtu dní se srážkami alespoň 1 mm v roce 2010 ve srovnání s dlouhodobým průměrem 1961 – 1990.....	8
Obr. 8. Geologická mapa ČR 1: 500 000.....	10
Obr. 9. Výřez z hydrogeologické mapy ČSSR 1:1 000 000.....	11
Obr. 10. Hydrogeologická rajonizace oblasti Českomoravská vrchovina, 2005.....	15
Obr. 11. Graf vývoje odběrů v jednotlivých rajónech za období 1979 - 2010, jak je eviduje VÚV.....	16
Obr. 12. Schéma hydrodynamických zón.....	19

1. ÚVOD

Voda je nezbytnou součástí každodenního života všech živočichů na Zemi. Zásobování obyvatelstva vodou velmi úzce souvisí s její kvalitou a kvantitou. Každý z nás chce mít této pro život této zcela nezbytné tekutiny dostatek a každý také vyžaduje určitý standard její jakosti. Důležitý je také co neekonomičtější přístup. Aby byla voda, ať už podzemní nebo povrchová, v daném území co nejlépe využita pro místní zásobování, je nutné mít prostudovanou situaci v území, tedy znát například hydrologické poměry, klimatické poměry nebo geologické poměry. Jednotlivé oblasti se od sebe odlišují výhodami směřujícími k zásobování povrchovou nebo podzemní vodou. Někdy je v daném území nejvýhodnější kombinace vod z povrchu i z podzemí. Toto se jeví být asi nejčastějším případem. V budoucnu však bude možná větší pozornost věnována podzemním vodám, které jsou odolnější vůči klimatickým změnám.

Cílem této práce je zhodnotit prostředí hornin krystalinika s důrazem na oblast Českomoravské vrchoviny z hlediska využití místních podzemních vod pro zásobování pitnou vodou. Toto téma bylo vybráno z důvodu, že Českomoravská vrchovina je místem trvalého bydliště autorky a zásoby podzemní vody a jejich současné i budoucí využití je už delší dobu předmětem jejího zájmu.

2. METODIKA

Tato bakalářská práce hodnotí, jestli je možné větší využití podzemní vody krystalinika Českomoravské vrchoviny pro místní zásobování. Práce se skládá ze sedmi částí, z nichž nejvýznamnější je část pojednávající o perspektivě využití podzemní vody z řešené oblasti pro zásobování místního obyvatelstva.

V první části práce popisuje přírodní poměry Českomoravské vrchoviny, ve druhé části geologické poměry, třetí část je věnována hydrogeologii řešené oblasti, čtvrtá pojednává o průzkumu a vyhledávání podzemní vody a pátá je zaměřena na současný stav a perspektivu budoucího využití podzemních vod Českomoravské vrchoviny.

Literatura k této práci byla získána v knihovně geologické a geografické a knihovně Ústavu životního prostředí Přírodovědecké fakulty UK. Dále v Městské knihovně v Pelhřimově, kde byly taktéž vypůjčeny materiály s cennými informacemi. Teoretické poznatky byly získány i při návštěvě Observatoře Košetice (ukázka zpracování informací o klimatu). Další podklady pro práci poskytla Česká geologická služba se sídlem v Praze na Klárově a Česká geologická služba - Geofond. Mezi obrázky lze nalézt schéma hydrodynamických zón, jež byly nakresleny autorkou. Mapa vodních toků, vodních ploch a hydrologických povodí byla zpracována v HEIS pod dohledem Ing. Pavla Richtera z oddělení HEIS Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka. Autorkou je v práci také proveden orientační odhad zásob podzemní vody na území Českomoravské vrchoviny.

Tato práce, která má kompilační charakter, vznikla na základě čerpání z odborné literatury a webových stránek.

V závěru práce jsou shrnuty poznatky o současném zásobování podzemní vodou Českomoravské vrchoviny. Zhodnoceny jsou též perspektivy využití zásob podzemní vody v budoucnu.

3. PŘÍRODNÍ POMĚRY

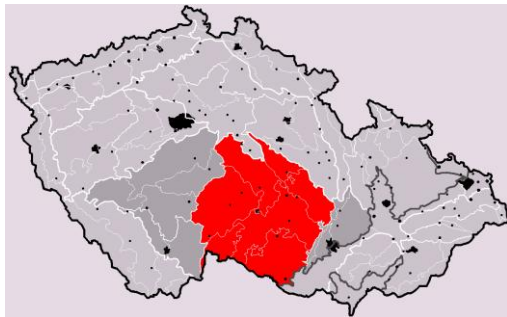
3.1 Geomorfologické poměry

Geomorfologicky se podsoustava Českomoravská vrchovina zařazuje následovně: Hercynský systém - Hercynská pohoří - Česká vysočina - Českomoravská soustava - Českomoravská vrchovina - Křemešnická vrchovina, Hornosázavská pahorkatina, Železné hory, Hornosvratecká vrchovina, Křižanovská vrchovina, Javořícká vrchovina a Jevišovická pahorkatina. Českomoravská vrchovina také částečně zasahuje do Rakouska, a to celkem Thaya Hochland (Myslil et al., 1986). Jednotlivé celky se dále dělí na podcelky. Křemešnická vrchovina má podcelky Jindřichohradeckou pahorkatinu, Pacovskou pahorkatinu, Želivskou pahorkatinu a Humpoleckou vrchovinu. Hornosázavskou pahorkatinu tvoří podcelky Kutnohorská plošina, Světelská pahorkatina, Havlíčkobrodská pahorkatina a Jihlavsko-sázavská brázda. Železné hory obsahují podcelky Chvaletickou pahorkatinu a Sečskou vrchovinu. Pod celek Hornosvratecká vrchovina spadají podcelky Žďárské vrchy a Nedvědicí vrchovina. Křižanovská vrchovina se skládá z Bítešské vrchoviny, Brtnické vrchoviny a Dačické kotliny. Pod Javoříckou vrchovinu se řadí podcelky Jihlavské vrchy a Novobystřická vrchovina. Jemnická kotlina, Bítovská pahorkatina, Jaroměřická kotlina a Znojemská pahorkatina jsou podcelky celku Jevišovická pahorkatina (Czudek et al., 1972).

Českomoravská vrchovina se nachází na česko-moravském pomezí a její rozloha činí 11 742 km². Centrální oblast má vrchovinný charakter, okrajové části jsou pahorkatinné. Nejvyššími vrcholy jsou Javořice (837 m) a Devět skal (836 m), střední nadmořská výška činí 512,5 m (Demek et al., 2006). Nejvyšší střední nadmořskou výšku má celek Javořícká vrchovina, a to 603,5 m (Czudek et al., 1972). Českomoravskou vrchovinu ohraničuje na jihovýchodě Boskovická brázda, na severovýchodě

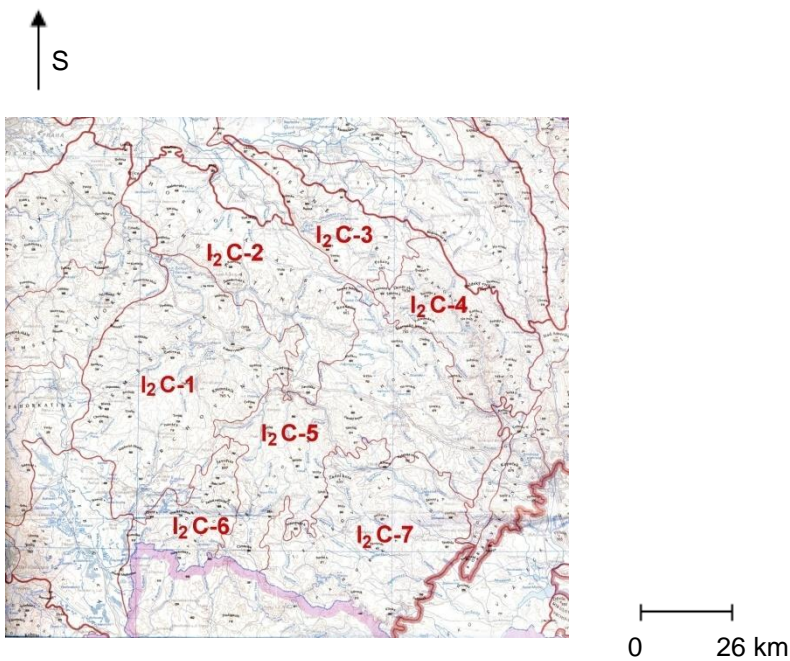
Východočeská tabule, na severozápadě Středočeská pahorkatina a na jihu přechází tato podsoustava do Rakouska (Mandys, 1986). Českomoravská vrchovina je vhodným místem pro život. Díky poměrně vysoké nadmořské výšce a málo kolísavému odtoku krystalických hornin se obyvatelé příliš nemusí obávat povodní (Trpková et al., 2008).

Geomorfologické členění ČR s barevně vyznačenou oblastí Českomoravské vrchoviny viz Obr. 1 a geomorfologické celky oblasti Českomoravské vrchoviny viz Obr. 2.



Česko-moravská subprovincie
 Českomoravská vrchovina

Obr. 1. Mapa geomorfologického členění ČR (Zdroj: <http://www.wikipedie.cz/>)



- I₂C – 1 Křemešnická vrchovina
- I₂C – 2 Hornosázavská pahorkatina
- I₂C – 3 Železné hory
- I₂C – 4 Hornosvratecká vrchovina
- I₂C – 5 Křižanovská vrchovina
- I₂C – 6 Javořická vrchovina
- I₂C – 7 Jevišovická pahorkatina

Obr. 2. Geomorfologické celky oblasti Českomoravské vrchoviny (Zdroj: Boháč, Kolář, 1996, upraveno)

3.2 Hydrologické poměry

Na území Českomoravské vrchoviny se nachází 5 povodí. Povodí Lužnice, Sázavy, Svratky, horní Dyje a horního Labe (Herink et al., 2005, 2006). Českomoravskou vrchovinou probíhá hlavní evropské rozvodí (Demek et al., 2006). Většina území patří k úmoří Černého moře (Oslava, Jihlava, Rokytá, Jevišovka, Dyje a Svratka), zbytek k úmoří Severního moře (Sázava, Doubrava, Chrudimka, Krounka) (Herink et al., 2005, 2006). Pro některé řeky je Českomoravská vrchovina prameništěm. Jedná se například o Žirovnici, Kamenici, Doubravu, Chrudimku, Sázavu, Svratku, Oslavu, Jihlavu nebo Moravskou Dyji (<http://www.vuv.cz/>).

Do povodí Lužnice patří z toků zasahujících na území Českomoravské vrchoviny Nežárka, Žirovnice a Kamenice. Nežárka má délku toku 56 km a průměrný průtok v ústí 11,8 m³/s. Vzniká soutokem Kamenice a Žirovnice a odvodňuje jihozápadní část Českomoravské vrchoviny (Švorc, Švorcová, 2006). Nežárku zatěžují odpadní vody hlavně z potravinářského průmyslu (Myslil et al., 1986). Podle ČSN 75 7221 byla v letech 2003 – 2004 zařazena mezi silně znečištěné toky. Základní klasifikace ČSN (České státní normy) 75 7221: I. a II. třída - neznečištěná a mírně znečištěná voda, III. třída - znečištěná voda, IV. - silně znečištěná voda a V. třída – velmi silně znečištěná voda (Blažek et al., 2006). Žirovnice má délku toku 30 km a průměrný průtok v ústí je 1,0 m³/s. Kamenice má délku toku 28 km a průměrný průtok v ústí 1,2 m³/s. Žirovnice i Kamenice pramení na území Českomoravské vrchoviny (Švorc, Švorcová, 2006).

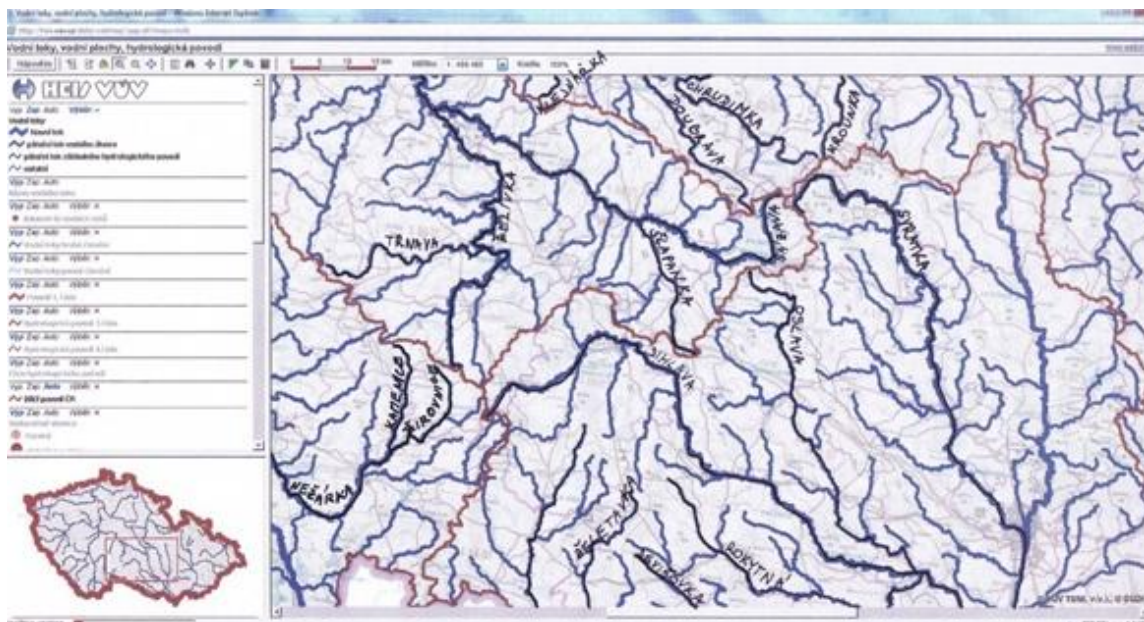
Dalším povodím je povodí řeky Sázavy. Patří sem Sázava, Želivka, Trnava, Martinický potok a Šlapanka. Sázava má délku toku 225 km a plocha celého jejího povodí je 4349 km² (Švorc, Švorcová, 2006). Sázava pramení na Českomoravské vrchovině v nadmořské výšce 757 m severně od Žďáru nad Sázavou. Kvalita vody je negativně ovlivněna především odpadními vodami ze Žďáru nad Sázavou, Světlé nad Sázavou a odpadem z podniků potravinářského průmyslu. Pro omezení znečištění z potravinářství jsou stavěny čistírny, jejichž účinek podporuje značné regenerační schopnosti tohoto toku způsobené přejezdnými úseky (Myslil et al., 1986). Sázava byla v letech 2003 - 2004 podle ČSN 75 7221 takřka na celé délce toku vyhodnocena jako znečištěná řeka (Blažek et al., 2006). Průměrný průtok v ústí je asi 25,2 m³/s. Želivka má délku 99 km a průměrný průtok v ústí 7,2 m³/s. Čtyři kilometry od ústí do Sázavy na ní byla díky čistotě vody vybudována v letech 1965 až 1976 přehradní nádrž Švihov (Želivka), která zásobuje Prahu a část okresu Benešov a Kutná Hora pitnou vodou. Tato přehrada je největší vodárenskou nádrží ve střední Evropě (Švorc, Švorcová, 2006). Z přítoků přijímá Želivka zleva Trnavu a Martinický potok. Trnava má délku toku 54 km a průměrný průtok v ústí 2,3 m³/s. Martinický potok dlouhý 36 km má průměrný průtok v ústí 0,6 m³/s. Posledním tokem tohoto povodí, zasahujícím na území vrchoviny je Šlapanka. Šlapanka ústí do Sázavy u Havlíčkova Brodu. Délka toku je 35 km a průměrný průtok v ústí 1,8 m³/s (Švorc, Švorcová, 2006). Tento tok zatěžují odpadní vody z Polné a škrobárny (Myslil et al., 1986).

Povodí Svratky zahrnuje Svratku, Jihlavu, Oslavu a Rokytou. Délka toku Svratky je 168 km, plocha celého jejího povodí 7116 km² a jedná se o levostranný přítok Dyje. Pramení na Českomoravské vrchovině pod Žákovou horou v nadmořské výšce 772 m (<http://www.vuv.cz/>). Podle ČSN 75 7221 byla v letech 2003 – 2004 jakost této řeky na úrovni druhé třídy (Blažek et al., 2006). Jihlava má délku toku 181 km a je pravostranný přítok Svratky (<http://www.vuv.cz/>). Pramení na Českomoravské vrchovině u Počátek v nadmořské výšce 666 m a je poměrně málo znečištěná, jakost je zhoršena jen vlivem odpadních vod ze škrobárny (Myslil et al., 1986). Postupně se kvalita vody zhoršuje. V regionální surovinové studii z roku 1992 už je uváděno, že je výrazně znečištěna pod Batelovem vlivem odpadních vod ze škrobárny a zejména pod Jihlavou, kde je zatížena městskými i průmyslovými odpadními vodami (Hájek, Zielina, 1992). V letech 2003 – 2004 byla podle ČSN 75 7221 na většině toku silně znečištěná (Blažek et al., 2006). Největším přítokem Jihlavy je Oslava. Jihlavě i Oslavě zvyšují průtoky četné rybníky v jejich blízkosti (Myslil et al., 1986). Oslava má délku toku 99 km a pramení v severní části Českomoravské vrchoviny asi 4 km jihozápadně

od Žďáru nad Sázavou v nadmořské výšce 567 m (<http://www.vuv.cz/>). Je spíše málo znečištěným tokem. Za další méně znečištěný tok by se dala považovat Rokytná, kde ale kvalitu vody zhoršuje odpad z mlékárenského průmyslu a také městské odpadní vody (Myslil et al., 1986). Jakost vody v toku se postupně zhoršuje. V letech 2003 – 2004 je Rokytná považována za silně znečištěný tok (Blažek et al., 2006).

Součástí povodí horní Dyje jsou řeky Dyje, Moravská Dyje, Želetavka a Jevišovka. Délka toku Dyje je 196 km a plocha jejího celého povodí 11161 km². Začíná v Rakousku soutokem Moravské Dyje a Rakouské Dyje. Největším přítokem je Svratka (<http://www.vuv.cz/>). Je to 3. nejdelší řeka ČR (Herink et al., 2005, 2006). Její výhodou je její čistota (Myslil et al., 1986). Kvalita vody se od roku 1986 zhoršila. Podle ČSN 75 7221 byla roku 2003 a 2004 její voda znečištěná (Blažek et al., 2006). Moravská Dyje má délku toku 56 km a pramení na Českomoravské vrchovině asi 3 km jihovýchodně od Třešti na Jihlavsku v nadmořské výšce 657 m (<http://www.vuv.cz/>). Je to méně znečištěný tok. Malé znečištění vykazují také Želetavka a Jevišovka (Myslil et al., 1986).

Posledním povodím řešeného území je povodí horního Labe, kam patří Labe, Klejnárka, Doubrava, Chrudimka a Krounka. Délka toku Labe je 1154 km a průměrný průtok v ústí je 308,0 m³/s (Švorc, Švorcová, 2006). Takřka po celé její délce byla jakost vody v letech 2003 – 2004 zařazována do druhé třídy. Do třetí třídy by se dal zařazovat jen úsek mezi Brandýsem nad Labem a Neratovicemi (Blažek et al., 2006). Klejnárka má délku toku 38,1 km a průměrný průtok v ústí 1,3 m³/s. Doubrava, někdy nazývaná také Doubravka, má délku 29 km a průměrný průtok v ústí 0,5 m³/s. Pro tuto řeku je Českomoravská vrchovina prameništěm (Švorc, Švorcová, 2006). Tato řeka je zatížena odpadními vodami z koželužny a dále slévárny ve Starém Ransku (Myslil et al., 1986). Chrudimka má délku toku 104 km a průměrný průtok v ústí 7,7 m³/s. Podobně jako Doubrava i Chrudimka pramení na Českomoravské vrchovině (Švorc, Švorcová, 2006). Nejvýznamnější toky většiny území Českomoravské vrchoviny viz Obr. 3.



0 17 km

Obr. 3. Nejvýznamnější vodní toky většiny území Českomoravské vrchoviny (<http://heis.vuv.cz/>)

Na území Českomoravské vrchoviny se nachází velké množství vodních nádrží. Převážně vodárenský účel má například vodní nádrž Vír na Svatce, Švihov (Želivka), Mostiště (Oslava), Hamry (Chrudimka) a Znojmo, které je na Dyji. Převážně hydroenergetický význam má Seč (Chrudimka), Brno (Svatka), Dalešice a Mohelno, nacházející se na Jihlavě, Vranov (Dyje), Sedlice (Martinický potok), Křižanovice (Chrudimka). Ochrannou funkci plní Trnávka (Trnava), Pařížov (Doubrava) a Jevišovice (Jevišovka). Kvůli závlahám byla postavena vodní nádrž Výrovce na Jevišovce (Herink et al., 2005, 2006).

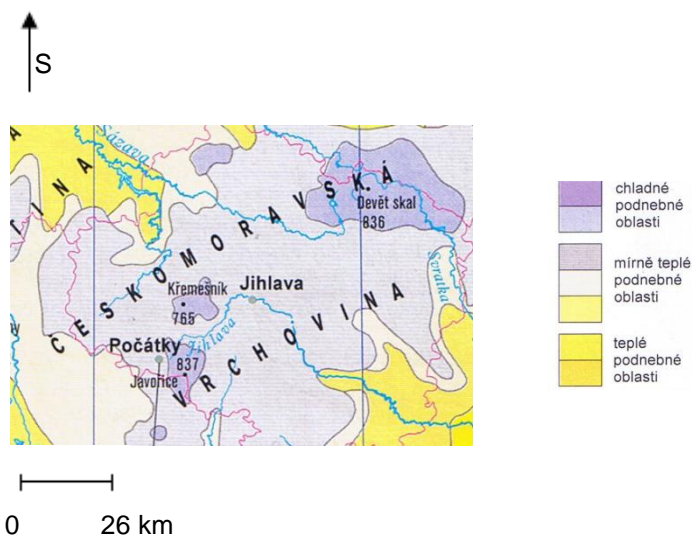
3.3 Klimatické poměry

Většina Českomoravské vrchoviny patří do mírně teplé podnebné oblasti s průměrnou teplotou 6 - 8 °C a se srážkami kolem 600 mm (Mandys, 1986). Počet letních dnů (maximální teplota větší nebo rovna 25 °C) bývá kolem 20 - 40, počet mrazových dnů (min. teplota menší než 0 °C) se pohybuje v intervalu 110 - 160 a ledových dnů (max. teplota menší než 0 °C) bývá 40 - 50 (Tolasz et al., 2007). Průměrná teplota v lednu se pohybuje od -2 do -5 °C, průměrná červencová teplota od 16 do 17 °C. Dnů se srážkami 1 mm a více bývá 100 - 120. Srážkový úhrn ve vegetačním období je 350 až 500 mm a srážkový úhrn v zimním období je 250 až 300 mm (Herink et al., 2005, 2006). 60 až 100 dnů v roce je se sněhovou pokrývkou (Tolasz et al., 2007).

Ve vyšších nadmořských výškách se vyskytují ostrůvky chladných oblastí s počtem letních dnů kolem 10 - 30, počtem mrazových dnů 140 - 180 a počtem ledových dnů 40 - 70. Průměrná teplota v lednu se pohybuje od -3 až -6 °C, teplota v červenci od 14 do 16 °C. Průměrný počet dnů se srážkami 1 mm a více bývá obvykle 120 - 140. Srážkový úhrn ve vegetačním období bývá od 500 do 700 mm, srážkový úhrn zimního období 300 až 500 mm. Počet dnů se sněhovou pokrývkou je 100 - 140 (Herink et al., 2005, 2006).

Na severozápadě a jihovýchodě Českomoravské vrchoviny bychom našli mírně teplé podnebné oblasti s počtem letních dnů až kolem 40 - 50, počtem mrazových dnů 110 - 130 a počtem ledových dnů 30 - 40. Průměrná teplota v lednu nebývá nižší než -4 °C, průměrná teplota v červenci sahá až k 18°C. Průměrný počet dnů se srážkami 1 mm a více bývá obvykle 90 - 120. Srážkový úhrn ve vegetačním období bývá od 350 do 450 mm, v zimním období 200 až 300 mm. Počet dnů se sněhovou pokrývkou je maximálně jen 70 (Herink et al., 2005, 2006).

Mapa podnebných oblastí Českomoravské vrchoviny viz Obr. 4.



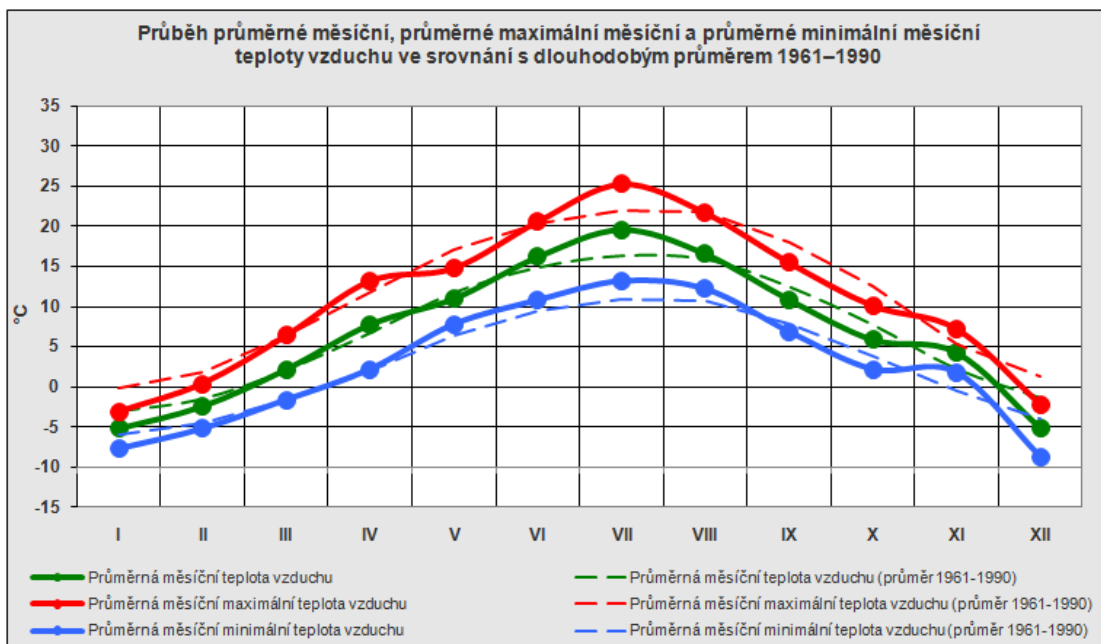
Obr. 4. Mapa podnebných oblastí – výřez oblasti Českomoravské vrchoviny (Herink et al., 2005, 2006, upraveno).

Postupně dochází ke klimatickým změnám. Ve střední Evropě se začínají projevovat nedostatkem srážek v období letních měsíců (Hrkal et al., 2009). V období zimních měsíců má srážek naopak přibývat. Změny mají probíhat také v souvislosti s teplotou, která se má zvyšovat (Dubánek et al., 2007). Názor o snížení množství srážek v létě a přibývání v zimě a nárůst průměrné roční teploty ve střední Evropě je také zaznamenán ve 4. zprávě IPCC (Metelka, Tolasz, 2009).

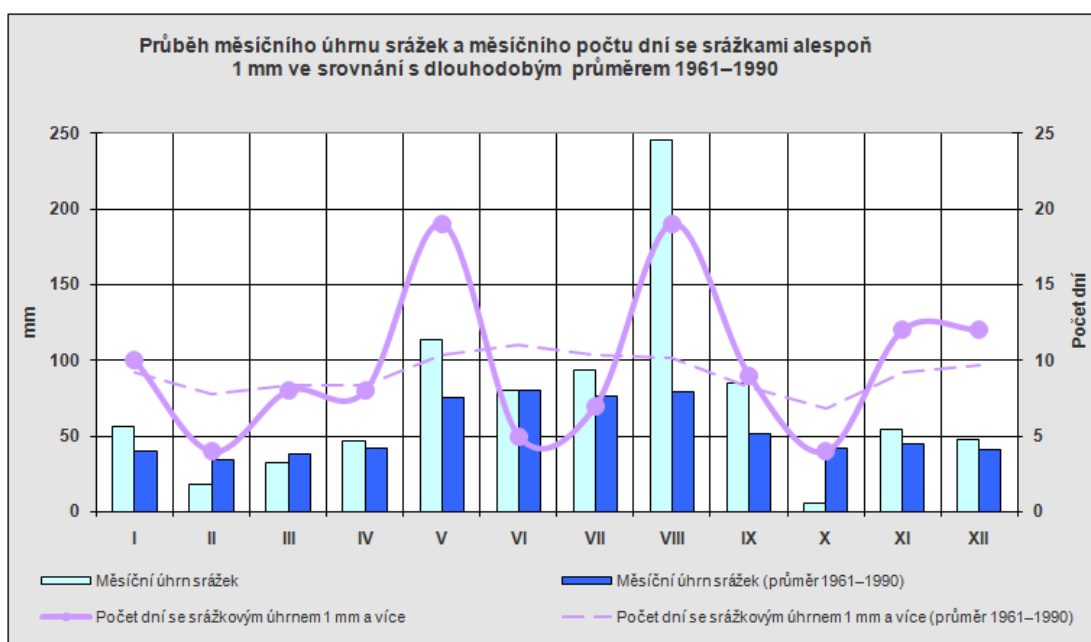
Na území Českomoravské vrchoviny jsou nejvýznamnější tyto klimatologické stanice: Kostelní Myslová, Kuchařovice, Příbyslav, Svatouch, Velké Meziříčí a Košetice (<http://www.chmi.cz/>). Stanice v Košetících byla autorkou navštívena, proto byla vybrána pro důkladnější popis. Tato stanice se nachází v povodí řeky Želivky v zemědělské krajině mimo souvislé osídlení v nadmořské výšce 534 m n. m. (Skeřil, Čech, 2008). Stanici je možné si prohlédnout na Obr. 5. Pro ukázkou klimatických poměrů v okolí stanice byl vybrán nejaktuálnější rok - rok 2010. Obr. 6. ukazuje průběh průměrné měsíční, průměrné maximální měsíční a průměrné minimální měsíční teploty vzduchu ve srovnání s dlouhodobým průměrem 1961 - 1990. Z grafu je patrné poměrně výrazné zvýšení průměrné teploty vzduchu (včetně průměrných minimálních i maximálních teplot) roku 2010 v letních měsících oproti dlouhodobému průměru. Obr. 7. zachycuje průběh měsíčního úhrnu srážek a měsíčního počtu dní se srážkami alespoň 1 mm ve srovnání s dlouhodobým průměrem 1961 - 1990. Z tohoto obrázku můžeme vyčíst, že roku 2010 v zimním období (kromě února) spadlo větší množství srážek, než je dlouhodobý průměr. Obdobné je to ale i v případě letních měsíců – v tomto případě tedy graf neukazuje předpokládaný trend klimatické změny. Rok 2010 byl celkově deštivější, než dlouhodobý průměr roků 1961 – 1990.



Obr. 5. Observatoř Košetice (Zdroj: <http://www.chmi.cz/>)



Obr. 6. Observatoř Košetice - průběh průměrné měsíční, průměrné maximální měsíční a průměrné minimální měsíční teploty vzduchu v roce 2010 ve srovnání s dlouhodobým průměrem 1961 - 1990 (Zdroj: <http://www.chmi.cz/>)



Obr. 7. Observatoř Košetice - průběh měsíčního úhrnu srážek a měsíčního počtu dní se srážkami alespoň 1 mm v roce 2010 ve srovnání s dlouhodobým průměrem 1961 - 1990 (Zdroj: <http://www.chmi.cz/>)

4. GEOLOGICKÉ POMĚRY

Českomoravská vrchovina patří k oblastem České republiky s nejdelším geologickým vývojem. Je součástí Českého masívu, jehož počátky lze klást do doby před 1 miliardou let. Na konci paleozoika došlo hercynským vrásněním ke vzniku vysokého horstva. Tehdy také došlo k posledním výlevům

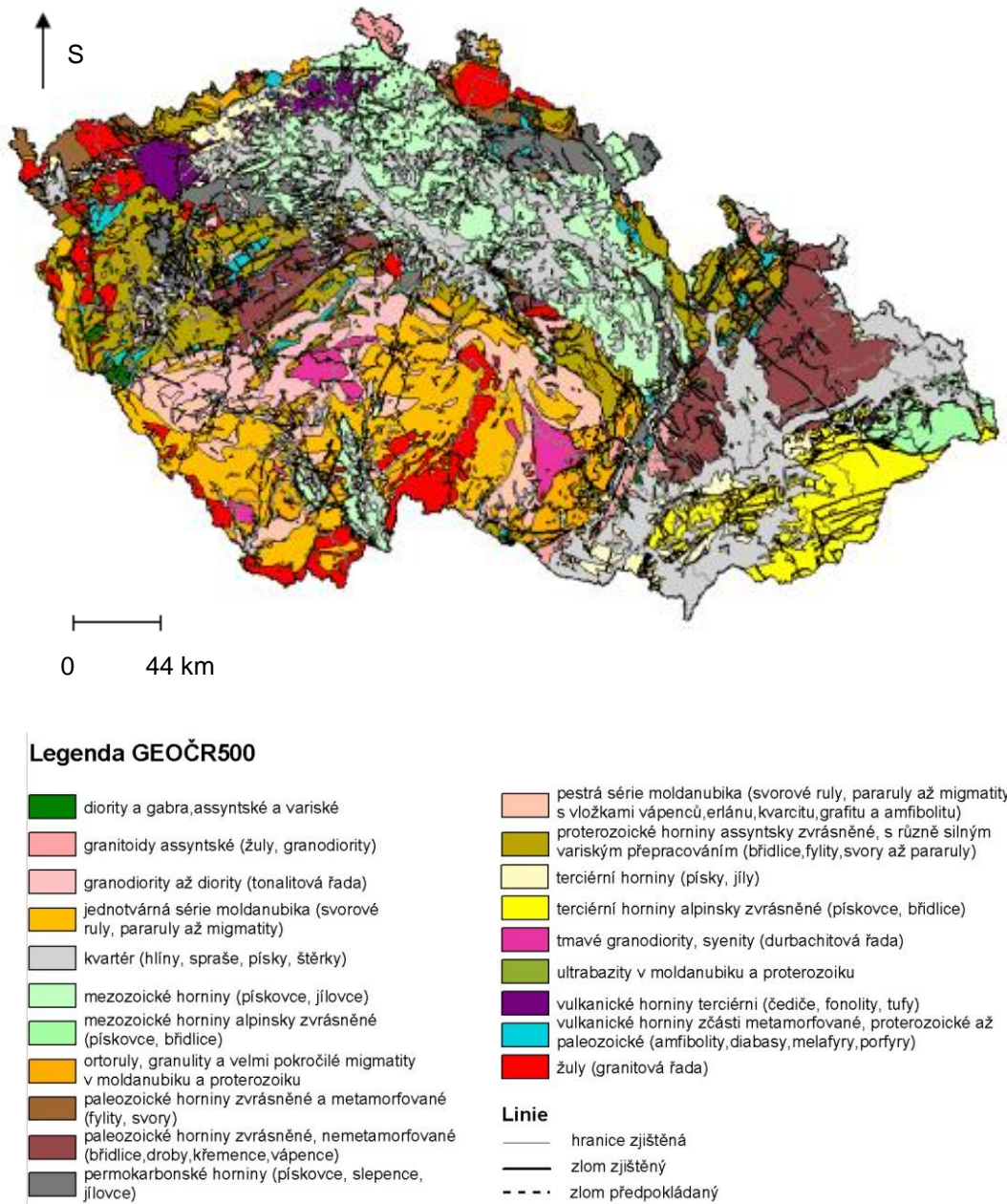
hlubinných vyvřelin, které pomohly zpevnit masív (Chlupáč et al., 2011). Ten byl od té doby vystaven působení nejrůznějších exogenních činitelů, například tekoucí vody, větru a podobně (Šilar, 2003). Český masív se stal pevnou krou, kterou již nepostihlo třetihorní vrásnění sousedních Alp a Karpat. Boční tlaky alpinského vrásnění způsobily v Českém masívu jen zlomy, podél nichž některé oblasti poklesly a naopak jiné, jako například Českomoravská vrchovina, vystoupily (Chlupáč et al., 2011). Zlomová tektonika se v malé míře projevila i uvnitř území Českomoravské vrchoviny několika příkopy a hrástěmi. Jako elevace se uplatňují křemence, křemité a jinak odolné žuly, amfibolity a cordieritické ruly, deprese naopak vznikly v měkkých a rozpadavých horninách (Myslil et al., 1986).

Hlavním, nejrozsáhlejším blokem Českomoravské vrchoviny je součást krystalického jádra Českého masívu – moldanubikum (Chlupáč et al., 2011). Vzhledem ke skutečnosti, že bylo postiženo intenzivní předpaleozoickou metamorfózou vysokého stupně a později prostoupeno četnými tělesy variských magmatitů, je tato jednotka charakteristická výskytem metamorfovaných a magmatických hornin (Svoboda et al., 1964).

Pro oblast moldanubika je z metamorfovaných hornin typický výskyt hlavně pararul. Rozeznávají se dvě hlavní jednotky: starší, spodní, která se nazývá jednotvárná, někdy se užívá termínu monotónní nebo také bezvložková a svrchní a pestrá neboli také vložková. Jednotvárná, která zaujímá v moldanubiku největší plochu, je složena z biotitických pararul, v nichž je převaha plagioklasu nad draselným živcem a nedostatek granátu. V pestré jednotce pararuly obsahují větší množství vložek krystalických vápenců, amfibolitů a kvarcitů (Petránek, 1993).

Variská pozdně orogenní eruptiva moldanubika Českomoravské vrchoviny náleží k tělesu moldanubického plutonu (Svoboda et al., 1964). Povrchové výskyty tohoto plutonu tvoří dvě větve - východnější větev českou a západnější větev bavorskou. Na území Českomoravské vrchoviny zasahuje větev česká, vyplňující jádro antiklinální struktury (Chlupáč et al., 2011). Typická je převaha kyselějších hornin. Kyselá povaha se projevuje i v žilném doprovodu, ve kterém převládají žilné žuly až aplity. Intermediální a bazické žily se vyskytují jen v menší míře. (Svoboda et al., 1964). Dalším plutonem je třebíčsko-meziríčský masív, ve kterém převládají syenity. K moldanubiku bývá také řazena svratecká antiklinála. Směrem k severovýchodu na ni navazuje poličské krystalinikum s žulorulami a směrem k jihozápadu ranský masív s větším množstvím bazických vyvřelin (Mandys, 1986).

Geologické poměry celé České republiky ukazuje Obr. 8.

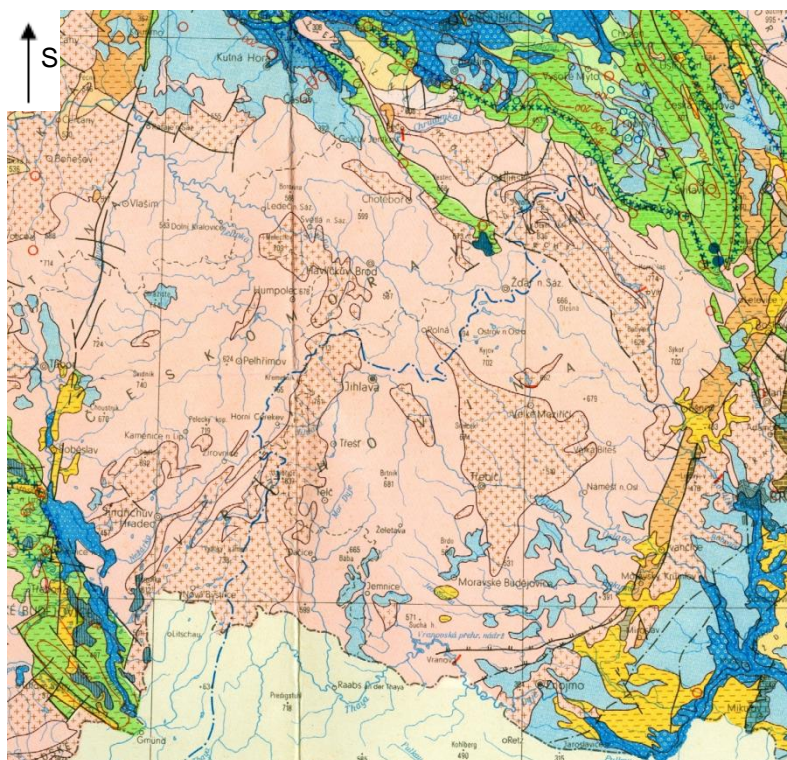


Obr. 8. Geologická mapa ČR 1: 500 000 (Zdroj: <http://www.geology.cz/>)

5. HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY






V horninách krystalinika se setkáváme především s puklinovou podzemní vodou. Pro regionální oběh jsou důležité propustné zlomy a další tektonické struktury, na nichž se soustřeďuje proudění podzemní vody. Pro místní zásobování mohou být lokálně důležité i některé kvartérní fluvialní sedimenty či písčité větrající zvětralinový plášť krystalických hornin (Šilar et al., 1983).

Hydrogeologická charakteristika hornin Českomoravské vrchoviny je zaznamenána na Obr. 9.



0 16 km




KVARTÉR

-  písky a štěrky – propustnost dobrá až velmi dobrá
-  písky a štěrky teras – propustnost slabá až dobrá
-  písky, převážně váté – propustnost slabá až dobrá
-  rašeliny a slatiny – propustnost velmi slabá
-  převážně hlíny a spraše – nepropustné






TERCIÉR

-  jíly a písky – propustnost průlinová, zčásti puklinová, slabá až dobrá

MEZOZOIKUM

-  pískovce – propustnost velmi dobrá, puklinová i průlinová
-  písčité slínovce a vápnité pískovce, těž písky a jíly – propustnost dobrá, puklinová
-  vápence (krinoidové, písčité, brekciovité) – propustnost slabá až dobrá, puklinově krasová



PALEOZOIKUM

-  střídání pískovců a jílovců – propustnost slabá až dobrá
-  pískovce a arkózy – propustnost dobrá, puklinová, částečně průlinová
-  vápence – propustnost dobrá, puklinově krasová
-  břidlice, pískovce a křemence – propustnost slabá, puklinová
-  paleozoikum vcelku, převážně břidlice – převážně nepropustné

PROTEROZOIKUM

-  proterozoikum vcelku (převážně břidlice) – prakticky nepropustné

Krystalinikum

-  převážně granitoidy a jiné písčité větrající horniny – propustnost slabá až dobrá, puklinová
-  ostatní krystalinikum – propustnost slabá, puklinová

Obr. 9. Výřez z hydrogeologické mapy ČSSR 1: 1 000 000 (Zdroj: Myslil, 1966, upraveno)

5.1 Hydrogeologické rajóny krystalinika Českomoravské vrchoviny

Kde není uvedeno jinak je kapitola zpracována podle knih Hydrogeologické rajóny (Olmer et al., 1990) a Hydrogeologické rajóny ČSR - svazek 2 - Povodí Moravy a Odry (Michlíček et al., 1986) a aktualizována podle knihy Hydrogeologická rajonizace České republiky (Olmer et al., 2006).

Hydrogeologická rajonizace oblasti Českomoravská vrchovina, 2005 viz Obr. 10.

Hydrogeologické rajóny jsou vodním zákonem definovány jako území s obdobnými hydrogeologickými poměry, typem zvodnění a oběhem podzemní vody (<http://heis.vuvv.cz/>).

Rajón 6510 Krystalinikum v povodí Lužnice

Rajón má rozlohu 1534 km² (<http://voda.chmi.cz/opzv/>). Vystupují v něm granitoidy moldanubického plutonu a metamorfity pláště. Granitoidy tvoří Novobystřickou vrchovinu a Jihlavské vrchy v jihovýchodní části rajónu. Četnými výběžky zasahují do Jindřichohradecké a Pacovské pahorkatiny, které jsou ale jinak tvořeny převážně metamorfity. Největší plošný rozsah mají cordieritické migmatitizované ruly. Při severozápadním okraji rajónu se vyskytují biotitické pararuly. V menší míře rajón obsahuje i biotitické ortoruly, ojedinělý je granulit v blízkosti Nové Včelnice (Olmer et al., 1990).

V přípovrchové zóně sekundárního rozpojení hornin se uplatňuje puklinová propustnost. Transmisivita je nízká s pozitivními anomáliemi v místech většího rozpukání a na tektonických dislokacích. Rajón je odvodňován hlavně Nežárkou. Území tvorby a oběhu podzemních vod je shodné s povodím toku, do něhož se odvodňují zdroje podzemních vod. Mělký kolektor poskytuje v krystaliniku především jen zdroje s malou vydatností. Je snadno ovlivnitelný chemickými látkami, které jsou používány v zemědělství a kyselým spadem způsobeným průmyslovými podniky. Zdroje mělkého kolektoru jsou rozptýlené a mají malou vydatnost. Uváděny jsou desetiny až jednotky l.s⁻¹. Jímány jsou pomocí zářezů, studnami a mělkými vrty. (Olmer et al., 1990).

Rajón 6520 Krystalinikum v povodí Sázavy

Rajón 6520 zaujímá plochu 2677 km² (<http://voda.chmi.cz/opzv/>). Pokrývá území Českomoravské vrchoviny v oblasti povodí Želivky a povodí Sázavy po Zruč nad Sázavou, s výjimkou pramenné oblasti Sázavy. Z jihu zasahuje centrální masív moldanubického plutonu, který je tvořen převážně dvojslídovým granitem. Směrem od centrálního plutonu klesá metamorfóza okolních krystalinických hornin, zastoupených především pararulami. Plášť plutonu tvoří metamorfované horniny s cordieritem a intenzivní migmatitizací. Východní část rajónu tvoří krystalinické horniny převážně pestré skupiny s hojnými ultrabazickými tělesy, v západní části se více vyskytují horniny jednotvárné skupiny. V řešeném území lze nalézt také karbonátové horniny (Olmer et al., 1990).

Horniny rajónu mají většinou sníženou puklinovou propustnost, která v dosahu zvětrávacích procesů závisí nejvíce na charakteru zvětralin, lepší puklinovou propustnost mají snad jen granitoidy moldanubického plutonu. Z kvartérních sedimentů mají větší hydrogeologický význam fluviální akumulace sedimentů údolních niv, nacházející se například v okolí Havlíčkova Brodu a některá mocnější písčité eluvia. Pro dané území jsou charakteristické mělké zvodně vázané na povrchovou zónu kvartérních uloženin, zónu zvětrávání nebo zónu přípovrchového rozpojení hornin. Oběh má většinou lokální charakter a k infiltraci dochází v celé ploše kolektoru v závislosti na propustnosti zvětralinového pláště. K odvodňování dochází v úrovni nebo nad úrovní místní erozní báze. Mělké podzemní vody krystalinika představují základní typ vody kalcium-bikarbonátový a mineralizace obvykle není vyšší než 0,3 g.l⁻¹. Mineralizace podzemních vod fluviálních uloženin může být lokálně zvýšená, jejich chemismus se od chemismu okolních puklinových vod neodlišuje. Území je charakterizováno individuální ochranou zdrojů podzemní vody. Kontaminace hrozí snad jen kolektorům podzemních vod s krasovou propustností okolo Ledče nad Sázavou. Zdroje podzemních vod se uplatňují pouze pro individuální zásobování v lokálně příznivých podmínkách. Mají omezenou

vydatnost. Soustředěná jímání jsou pouze z kvartérních fluvialních uloženin nebo v kombinaci s upravovanou vodou z povrchového toku (Olmer et al., 1990).

6531 Kutnohorské krystalinikum a 6532 Krystalinikum Železných hor

Tyto dva rajóny dříve tvořily jeden rajón – 653 Kutnohorské krystalinikum a Železné hory. Jeho souvislou plochu dělil výskyt křídý Dlouhé meze na východní část, tvořenou hlavně krystalinikem Železných hor, a západní část, krystalinikum kutnohorské, podle toho došlo při rajonizaci 2005 k rozdělení na dva rajóny (Olmer et al., 1990). Rajón 6531 má rozlohu 817 km² a rajón 6532 rozlohu 726 km² (<http://voda.chmi.cz/opzv/>). V obou rajónech je možné nalézt hlavně svory, svorové ruly, ortoruly a migmatity. Zvětralinový plášť bývá mocný do 10 metrů, nad 10 metrů jen výjimečně (Olmer et al., 1990).

Horniny rajónů jsou málo propustné. Lepší propustnost má zvětralinový plášť, zóna přípovrchového rozpojení hornin, kvartérní pokryv a některé tektonicky porušené zóny. Propustnost závisí převážně na charakteru zvětralin a na hustotě, rozevření a výplni puklin. Nejdůležitějším faktorem ovlivňujícím transmisivitu a propustnost v jímacích oblastech je morfologická pozice. Vrty v údolích mají v průměru větší vydatnost než vrty mimo ně. Tato skutečnost je většinou podmíněna větší mocností kvartérních sedimentů a také tektonicky. Takřka celé plochy obou rajónů jsou infiltračními oblastmi. K proudění podzemní vody dochází především ve zvětralinovém plášti a pásmu přípovrchového rozpojení. Hlubší dosah výraznějšího proudění lze předpokládat v plošně omezených výskytech krystalinických vápenců. Proudění je převážně lokální a odvodňování nastává nejčastěji v úrovních místních erozních bází pozvolnými výrony do povrchových toků. Hladina bývá volná a mělce pod povrchem. Charakteristické jsou zejména drobné a rozptýlené zdroje podzemní vody. Zachycení pramenů a využití podzemních vod kopanými studněmi nebo jímacími zářezy poskytuje takřka vždy možnost získání vody pro místní zásobování. V malé míře je jímána voda z důlních děl. Vody jsou typu Ca-HCO₃ nebo Ca-SO₄. Průměrná mineralizace je 450 mg.l⁻¹. Po běžné úpravě jsou vhodné pro využití (Olmer et al., 1990).

Rajóny 6540 Krystalinikum v povodí Dyje, 6550 Krystalinikum v povodí Jihlavy a 6560 Krystalinikum v povodí Svatky

Rajón 6540 má rozlohu 1823 km², rajón 6550 rozlohu 2569 km² a rajón 6560 rozlohu 1608 km² (<http://voda.chmi.cz/opzv/>). Jejich západní omezení je dáno hlavní rozvodnicí povodí Dunaje a Labe, jižním omezením je státní hranice České republiky a Rakouska a severní a východní hranice je dána geologicky. Převážná část území hydrogeologických rajónů západomoravského krystalinika Českomoravské vrchoviny je budována migmatitizovanými pararulami, migmatity a v menší míře také krystalickými vápenci. V území jsou z metamorfovaných hornin k nalezení dále amfibolity, ortoruly, pararuly, granulity, svory a kvarcity. Vyvěřelé horniny jsou zastoupeny hlavně durbachity Třebíčského a Jihlavského masívu a dále křemennými diority a granity. Východní a jihovýchodní okraj hodnoceného území tvoří fylity, svory, granity a v menší míře také kvarcity a karbonáty (Michlíček et al., 1986).

V oblasti hydrogeologických rajónů 6540, 6550 a 6560 lze vymezit svrchní zvodeň, vázanou především na kvartérní pokryv, zónu zvětrávání a podpovrchového rozpojení hornin a spodní zvodeň, vázanou na propustné tektonické zóny v hlubších částech krystalinika. Většina podkladů hydrogeologické prozkoumanosti charakterizuje propustnost hornin a oběh podzemních vod v dosahu zvětrávacích procesů. Hloubka oběhu je dána úrovní místní erozní báze. Hladina podzemní vody je většinou volná a sleduje terén. K infiltraci dochází takřka v celé ploše rozšíření hornin krystalinika, v závislosti na míře propustnosti zvětralinového pláště a kvartérního pokryvu. Nejčastějším způsobem odvodnění mělkého oběhu je skrytý příron do uloženin údolních niv nebo přímo do vodotečí, méně časté jsou suťové nebo puklinové vývěry v úrovni a nad úrovní místních erozních bází. Průlinovo-puklinový oběh podzemních vod je silně rozkolísaný a nepravidelný, s lokální závislostí na tektonické

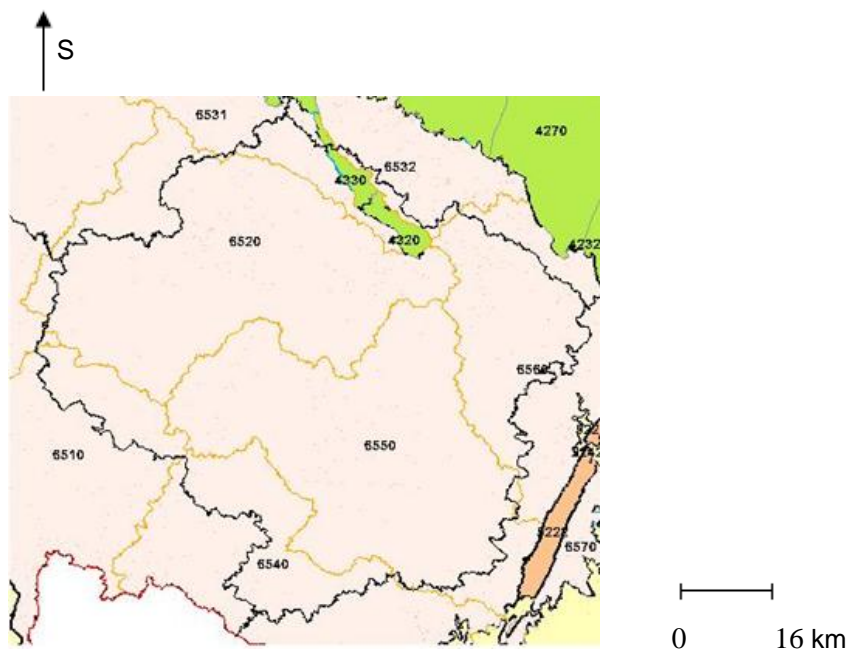
predisponovanosti, petrografickém složení a charakteru čtvrtohorních pokryvných útvarů. Na území krystalinika východní části Českomoravské vrchoviny jsou nejpříznivější podmínky pro oběh podzemní vody ve fluvialních uloženinách významnějších toků. Mělké podzemní vody krystalinika hodnocených rajónů jsou převážně kalcium-hydrogenuhlíčanového nebo kalcium-sulfátového typu. Při jižním okraji území je častý typ magnesium-hydrogenuhlíčanový. Zatímco v severní a východní části území je celková mineralizace podzemních vod velmi nízká a pohybuje se nejčastěji v hodnotách $0,1 - 0,3 \text{ g.l}^{-1}$, ve střední, jihozápadní a jižní části je celková mineralizace relativně vyšší, většinou v rozmezí $0,3 - 0,6 \text{ g.l}^{-1}$. Mineralizace podzemních vod fluvialních uloženin je ve srovnání s mineralizací vod okolního prostředí většinou vyšší. Z vodárenského hlediska je skupina hydrogeologických rajónů krystalinika Českomoravské vrchoviny považována za deficitní. Zdroje podzemních vod jsou v této oblasti zajišťovány obvykle kopanými studněmi a jímacími zářezy, vázanými na zvodně mělkých podzemních vod zvětralinového pláště a kvartérního pokryvu. Méně často jsou pro místní zásobování využívány vydatnější suťové nebo puklinové prameny, podchycené pramenními jímkami. Ojedinele jsou využívány podzemní vody výtoku ze štol opuštěných důlních děl. Z vodárenského hlediska významný je pramenní vývěr u Heroltic s průměrným odběrem 10 l.s^{-1} . Z orientačních výpočtů zásob podzemních vod byla zjištěna hodnota 66 l.s^{-1} z větší části vodárensky využitelných zásob podzemních vod území. Vzhledem k nedostatku zdrojů podzemní vody, jejichž využitelná vydatnost většinou nepřesahuje 1 l.s^{-1} je krytí stále rostoucí potřeby pitné a užitkové vody řešené odběrem z povrchových toků a vodárenských nádrží. Kvalita podzemní vody je negativně ovlivňována antropogenními vlivy. Znečištění způsobují především odpadní produkty sídlišť a zemědělské a průmyslové objekty (Michlíček et al., 1986).

Rajón 6570 Krystalinikum brněnské jednotky

Hydrogeologický rajón brněnské jednotky se nachází v území mezi Brnem, Boskovicemi a Miroslaví (Michlíček et al., 1986). Jeho plošný rozsah je 501 km^2 (<http://voda.chmi.cz/opzv/>). Rajón je součástí podsoustavy Brněnská vrchovina a geomorfologických celků Bobravská vrchovina a Adamovská vrchovina. Petrograficky a stratigraficky lze rozdělit brněnský masív na dvě základní části, magmatity a krystalinický plášť. Zástupci magmatitů jsou zde granitoidní horniny. Krystalinický obal má podstatně menší rozšíření a náleží k němu intruziva dioritů a různé metamorfity. V území lze nalézt v menší míře také křídové uloženiny. Na východě transgredují přes krystalinikum brněnského masívu sedimenty devonu a spodního karbonu (Michlíček et al., 1986).

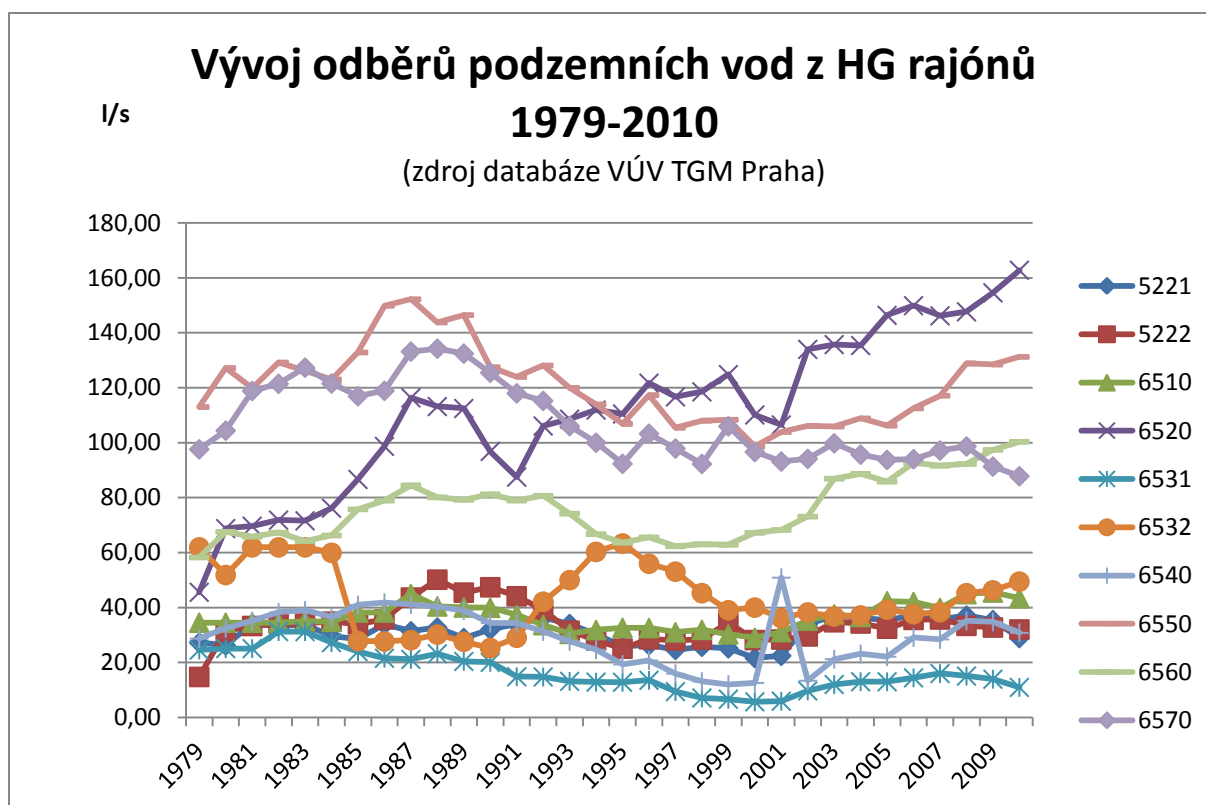
Řešené území má nevelkou plošně nerovnoměrnou prozkoumanost, s chybějícími hydrogeologickými vrti, které by umožnily posoudit hydrogeologické podmínky hlubší zóny oběhu. Vzhledem k tektonické predisponovanosti území je možno předpokládat existenci hlubšího puklinového oběhu, vázaného na propustné poruchové zóny. Podle výsledků mělkých hydrogeologických vrtů a kopaných studní, charakterizujících oběh podzemních vod v kvartérním pokryvu a zóně zvětrávání se specifická vydatnost pohybuje v rozmezí $1,10^{-2} \text{ l.s}^{-1}$ až $2,10^{-1} \text{ l.s}^{-1}$. Chemismus vod tohoto rajónu je charakterizován velkou převahou kalcium-hydrogenuhlíčanového typu vod. Výjimečně se vyskytují typy kalcium-sulfátový a magnesium-hydrogenuhlíčanový. Celková mineralizace podzemních vod je nízká a pohybuje se obvykle v rozmezí $0,3 - 0,8 \text{ g.l}^{-1}$. Vodárenský význam tohoto hydrogeologického rajónu je malý a dosavadní využívané zdroje pouze lokálně kryjí potřeby místního zásobování. Z vodárenského hlediska významnější jsou odběry z křídových uloženin (Michlíček et al., 1986).

Graf vývoje odběrů v jednotlivých rajónech za období 1979 - 2010, jak je eviduje VÚV viz Obr. 11.



- 6510 Krystalinikum v povodí Lužnice
- 6520 Krystalinikum v povodí Sázavy
- 6531 Kutnohorské krystalinikum
- 6532 Krystalinikum Železných hor
- 6540 Krystalinikum v povodí Dyje
- 6550 Krystalinikum v povodí Jihlavy
- 6560 Krystalinikum v povodí Svratky
- 6570 Krystalinikum brněnské jednotky

Obr. 10. Hydrogeologická rajonizace oblasti Českomoravská vrchovina, 2005 (Zdroj: <http://www.geology.cz/extranet/geodata/mapservers>, upraveno)



Obr. 11. Graf vývoje odběrů v jednotlivých rajónech za období 1979 - 2010, jak je eviduje VÚV (<http://heis.vuv.cz/>)

Z grafu je patrné, že dlouhodobě největší odběry podzemní vody byly do roku 1995 zaznamenávány v rajónu 6550 Krystalinikum v povodí Jihlavy. Největší odběr byl roku 1988, a to více než $150 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Roku 1995 byl rajón 6550 v odběrech podzemní vody překonán rajónem 6520 Krystalinikum v povodí Sázavy, kde odběry nadále vzrůstají, roku 2010 byl odběr přes $160 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Oba rajóny jsou z hlediska rozlohy největšími rajóny krystalinika Českomoravské vrchoviny, tedy výše odběru je úměrná plošnému rozsahu. Větší odběry podzemní vody vykazují dále rajóny 6560 Krystalinikum v povodí Svratky, rajón 6570 Krystalinikum brněnské jednotky a rajón 6532 Krystalinikum Železných hor. U čtvrtého největšího rajónu, rajónu 6560, má dlouhodobý trend vzestupnou tendenci. U rajónu 6570 má dlouhodobý trend spíše sestupnou tendenci, přesto ho vzhledem k jeho rozloze 501 km^2 , což je ze všech rajónů krystalinika Českomoravské vrchoviny nejméně, lze pokládat z hlediska odběru podzemní vody za velmi významný. Také druhý nejmenší rajón, rajón 6532, má na svou rozlohu velký odběr. V grafu jsou oproti popisu v textu navíc rajóny 5221 a 5222 – Boskovická brázda. Jedná se o rajóny sousedící se zpracovávaným územím a jsou zde uvedeny pro srovnání.

5.2 Podzemní voda v horninách krystalinika se zaměřením na oblast Českomoravské vrchoviny

5.2.1 Propustnost a zvodnění hornin krystalinika

Pro výskyt a pohyb podzemní vody v oblastech krystalinika, hrají významnou roli pukliny, trhliny, tektonické linie, někdy i žilná tělesa hornin (Rao, 2003).

V krystaliniku převládají pukliny vzniklé jako důsledek povrchového zvětrávání (Chábera et al., 1985). Zvětrávací pukliny vznikají mechanickým větráním hornin při mrznutí vody obsažené v horninách. Tyto pukliny sahají do malých hloubek, maximálně několik metrů. Význam mají

pro vsakování povrchových a srážkových vod pod zemský povrch a pro získání podzemní vody v menším množství (Šilar, 1975).

Horniny krystalinika mají obvykle puklinovou propustnost, která závisí především na charakteru zvětralin a na hustotě, rozevření a výplni puklin (Myslil et al., 1986). Propustnost krystalinika bývá vysoká hlavně v puklinových systémech podél poruch vzniklých v mladých tektonických fázích. Pukliny starších fází bývají často sekundárně vyplněny křemenem, kalcitem, případně dalšími minerály (Šilar et al., 1983).

Jeden z nejdůležitějších aspektů, které ovlivňují zvodnění, je petrologické složení hornin, neboť to ovlivňuje například hustotu puklin, jejich otevření nebo jejich výplň. Všeobecně lze říci, že puklinová síť je tím hustější, čím výraznější je foliace. Čím je síť puklin řidší, tím silnější je tendence k tvorbě puklin otevřených. Tedy například plutony jsou více zvodněné, než jejich pláště z krystalických břidlic, i přesto, že je síť puklin krystalických břidlic zpravidla hustší (Šilar et al., 1983).

U vyvřelých hornin závisí propustnost hlavně na tom, jak byly horniny vystaveny tektonickému napětí. Křehké a tvrdé horniny bohaté křemenem obsahují obvykle více otevřených propustných puklin než bazické horniny, které více odolávají tektonickým napětím. Také větrání má významný vliv. Horniny s velkým obsahem křemene bývají náchylné k mechanickému větrání, bazické horniny zvětrávají spíše chemicky. Ze způsobu rozpuštění a větrání plyne, že granitoidní horniny bývají obvykle propustnější než horniny bazické (Šilar et al., 1983).

Metamorfované horniny bývají podobně jako hlubinné vyvřeliny propustné jen v otevřených tektonických puklinách. Mimo to obsahují hodně ploch břidličnatosti, které bývají sevřené a tedy nepropustné a které se teprve větráním stávají pro vodu propustné. Pukliny metamorfovaných rul bývají otevřenější a propustnější, než pukliny fylitů nebo svorů (Šilar, 1975).

V Českém masívu mají magmatické horniny větší propustnost v mělkých částech, kde jsou otevřené pukliny. S hloubkou se u nich propustnost náhle snižuje, neboť se zvětšující hloubkou dochází k spínání puklin účinkem horninového tlaku. U metamorfovaných hornin se propustnost s hloubkou snižuje pomaleji (Chambel et al., 2003).

V případě krystalických břidlic se pukliny stávají takřka nepropustnými již v hloubkách několika desítek metrů. Také jejich často málo propustná výplň je důvodem jejich nízkého specifického zvodnění. Zvláštní postavení mají ve zvodnění souborů krystalických břidlic vložky krystalických vápenců a kvarcitů s podstatně volnějším oběhem podzemních vod, neboť mají drenážní účinek na podzemní vody okolních, méně propustných hornin (Myslil et al., 1986).

Dle sestupného pořadí podle zvodnění a propustnosti se z oblasti Českého masívu uvádí křemenný porfyr a pak žula, syenit, diorit a gabro. Obecně tedy křemenný porfyr a potom hrubozrnné a za nimi jemnozrnné, kyselé a za nimi basičtější hlubinné vyvřeliny (Hynie, 1961). Náhlý je úbytek puklinové propustnosti při přechodu z pararul do fylitů. Na konci jsou v pořadí puklinové propustnosti plastických puklinových břidlic s přechody do břidlic nemetamorfovaných (Šilar et al., 1983).

Většina podkladů z hydrogeologické prozkoumanosti charakterizuje propustnost hornin do deseti metrů pod povrchem, tedy zhruba v dosahu zvětrávacích procesů. O propustnosti hornin hlubší zóny nemáme moc informací (vrtná prozkoumanost má malou plošnou hustotu), je možné jen obecně konstatovat, že výrazné zlepšení puklinové propustnosti nastává s růstem migmatizace, dále v křemitých horninách (například v kvarcitech nebo křemitých rulách), v granulitových masívech, v ortorulách a v karbonátových horninách (Myslil et al., 1986).

V rozsáhlých oblastech krystalinika působilo na jeho povrchu mechanické větrání, které způsobilo přeměnu původních hornin na eluvium, které na kyselých horninách bývá písčité, pórovité a propustné. Tak vznikají mělké kolektory podzemní vody (Šilar et al., 1983).

Mechanické větrání přispělo i k otevření původně sevřených puklin krystalických břidlic a hlubinných vyvělin a tedy i k jejich lepší propustnosti. Nadložní písčité eluvium podle okolností přispívá ke zvodnění tohoto mělkého puklinového systému. Dochází k vytvoření hydrogeologických struktur vyvinutých jako mělké kolektory průlinové vody v eluviu odvodňované propustným puklinovým systémem. Využity jsou na mnoha místech jako drobné, avšak významné vodní zdroje studněmi, vrty a pramenními jímkami (Šilar et al., 1983).

Propustnost přidělená rozpukaným krystalickým horninám je velmi různorodá, a proto jsou tokové systémy v rozpukaných horninách složité k popisu (Loew, 2003).

5.2.2 Zvodně a hydrodynamické zóny

Zvodeň je vodní těleso, které vyplňuje kolektor, neboli relativně propustnou vrstvu hornin, schopnou shromažďovat vodu a dále ji vést (Šilar, 1975). Stratigrafie hornin krystalinika neurčuje prostorové uspořádání kolektorů (Krásný, 1997). Horní povrch zvodně je hladina podzemní vody (Šilar, 1975).

V krystaliniku se vymezují dvě základní skupiny zvodní: skupina mělkých zvodní a skupina hlubších zvodní (Myslil et al., 1986).

Skupina mělkých zvodní v krystaliniku převažuje (Šilar, 2003). Tyto zvodně se vyznačují intenzivní výměnou vody (Netopil et al., 1984). Vyskytují se při povrchu a jsou vázány především na kvartérní pokryv, zónu zvětrávání a podpovrchového rozpojení hornin. Hladina podzemní vody je převážně volná a lemují terén. Oběh podzemní vody je lokální a odvodňování nastává v úrovni nebo nad úrovní místní erozní báze. K infiltraci dochází obvykle v celé ploše rozšíření hornin krystalinika, v závislosti na míře propustnosti pokryvu a zvětralinového pláště (Myslil et al., 1986). Mělký oběh se vytváří zpravidla v oblastech krystalinika, postižených běžným povrchovým větráním a na povrchu se obvykle projevuje vznikem mnoha drobných pramenních vývěrů. Nejběžnějším způsobem odvodnění mělkého oběhu podzemních vod je skrytý příron do uloženin údolních niv, případně přímo do vodotečí (Šilar et al., 1983).

Oběh podzemních vod krystalinických hornin hlubší puklinové zvodně je značně nepravidelný, závislý na petrografickém složení, predisponovanosti tektonické činnosti a charakteru pokryvu (Myslil et al., 1986). Skupina hlubších zvodní se v komplexu krystalických hornin vyskytuje jen ojediněle (Šilar, 2003).

Časté místní zdroje vody jsou v krystaliniku také vázány na pokryvné útvary, tedy například údolní nivy nebo svahoviny. Sice nejsou vázány na krystalinické horniny, ale jsou v tomto území a hrají důležitou roli ve vodním režimu krajiny a doplňování či odvodňování hlubších puklinových vod (Šilar, 2003).

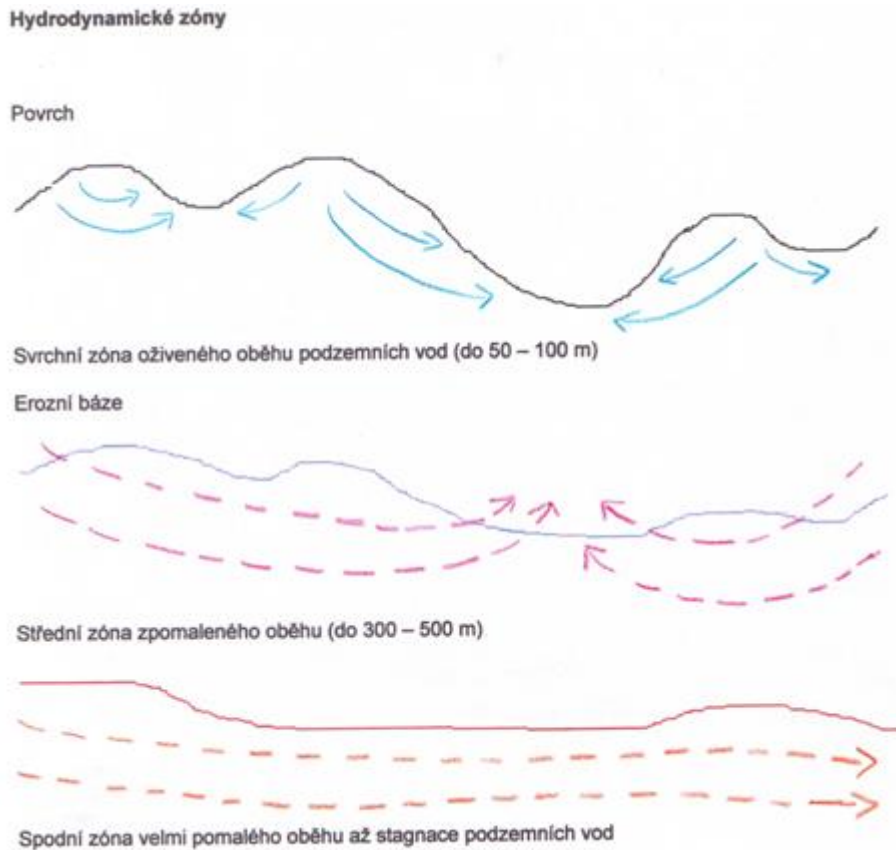
V návaznosti na zvodně se ve vertikálním směru vymezují hydrodynamické zóny (Krásný, 2003).

První zónou je svrchní zóna oživeného oběhu podzemních vod, která zahrnuje skupinu mělkých zvodní v úrovni nebo nad úrovní místní erozní báze (Myslil et al., 1986). V té dochází k intenzivní výměně vody povrchové a podzemní hydrosféry a obsahuje vodu převážně sladkou a slabě mineralizovanou. Tato zóna dosahuje do hloubek 50 až 100 metrů a v krystaliniku převažuje (Netopil et al., 1984).

Kolektory uložené pod místní nebo regionální erozní bází zahrnuje střední zóna zpomaleného oběhu (Myslil et al., 1986). V té výměna vody probíhá zpomalene, což podmiňuje silnější mineralizaci. Často se zde setkáváme s přítomností síranů. Tato zóna má hloubkový dosah 300 až 500 metrů (Netopil et al., 1984).

Poslední vymezenou zónou je spodní zóna velmi pomalého oběhu až stagnace podzemních vod. Je to oblast velmi zpomalené výměny vody, která podmiňuje silnou mineralizaci. Vody v této zóně bývají slané. Patří sem horniny hlubokého krystalinika. Hloubkový dosah této zóny je větší než půl kilometru (Netopil et al., 1984).

Schéma hydrodynamických zón viz Obr. 12.



Obr. 12. Schéma hydrodynamických zón

5.2.3 Chemické a fyzikální vlastnosti podzemní vody krystalinika

Podzemní voda se protékáním puklinovým prostředím krystalinika málo mineralizuje, a proto je považovaná nejčastěji za vodu měkkou, řidčeji za velmi měkkou (Netopil et al., 1984). Na většině území Českomoravské vrchoviny se hodnoty mineralizace pohybují od 0,1 do 0,3 g/l, vyšší mineralizace, někdy až 1 g/l, se dá nalézt jen u jímání vody z hlubšího oběhu (vzestupné puklinové prameny, hlubší vrty a studny). Prameny mělkého oběhu a mělké studny obsahují většinou vodu méně mineralizovanou. Dominantní složkou podzemní vody krystalinika je kationt vápník. Z dalších složek obsahuje sodík, draslík, hořčík, chloridy, sírany a hydrogenuhličitan. Na území Českomoravské vrchoviny se vyskytují převážně vody typu $C^{Ca}_{II-IIIa}$ nebo typu $S^{Ca}_{II-IIIa}$ (Myslil et al., 1986). Chemický typ vody se definuje na základě podílu hlavních iontů. Těmito ionty jsou Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} a Cl^- (Bláha, 2010).

Mezi fyzikální vlastnosti patří například teplota nebo radioaktivita. Protékají-li puklinové vody ve velkých hloubkách pod povrchem, mohou na povrch vytékat jako teplé prameny se stálou teplotou v průběhu roku. Protéká-li puklinová voda v menších hloubkách, pak je amplituda její teploty dost velká. Nejnižší teplotu má od začátku zimy do jara, kdy proniká do podzemí voda z tající sněhové pokrývky, nejvyšší teploty dosahuje v letních měsících po dešťových srážkách, kdy se voda nejvíce

prohřívá při styku se svrchní proteplenou vrstvou hornin (Netopil et al., 1984). V okolí Polné u Jihlavy je možné se setkat s radioaktivními vodami. Obsahy radia jsou v rozpětí od $3,0 \cdot 10^{-12}$ g/l do více než $1,0 \cdot 10^{-10}$ g/l (Myslil et al., 1986).

6. PRŮZKUM A VYHLEDÁVÁNÍ PODZEMNÍ VODY

Poznatky o poměrech výskytu podzemních vod se získávají hydrogeologickým průzkumem (Šilar et al., 1983).

Podle věcné náplně se rozděluje hydrogeologický průzkum na tři druhy, které by na sebe měly navazovat a které se v praxi různě překrývají. Jedná se o základní průzkum, regionální průzkum a účelový průzkum. Hlavním účelem základního průzkumu je stanovení základních hydrogeologických charakteristik zkoumané struktury. Regionální hydrogeologický průzkum je zaměřený na ocenění využitelných zásob podzemní vody v různých kategoriích. O podrobnější ověření využitelnosti zdrojů podzemní vody a dokumentaci staveb, popřípadě řízení provozu se stará účelový průzkum. Rozsah akcí se obvykle omezuje na vlastní jímací území. Do účelového průzkumu obvykle spadá také provádění jímacích objektů. Akce účelového průzkumu zadávají investorské organizace, které často zajišťují i výstavbu navazujícího vodárenského zařízení. Mezi tyto organizace patří například vodárenské společnosti nebo stavebně-investorské skupiny (Šilar et al., 1983).

Hydrogeologický průzkum se provádí v etapách. Těmito etapami jsou: průzkum vyhledávací, průzkum předběžný a průzkum podrobný. Jejich náplň podrobně uvádí zákon o geologických pracích č. 62/1988 Sb. v platném znění. Ve všech těchto etapách se vychází ze studia literárních a archivních podkladů a výsledků dřívějších etap, navrhuje se potřebné terénní a laboratorní práce a hodnotí se jejich výsledky. Mezi tyto práce patří například hydrogeologické mapování, studium klimatických poměrů, čerpací a další hydrodynamické zkoušky, odběry a chemické analýzy vzorků, hydrologické měření, vrtné práce a podobně. Podíl jednotlivých druhů prací se liší podle etapy průzkumu. Pro doplnění nebo upřesnění výsledků podrobného průzkumu se provádí ještě doplňkový průzkum (Šilar et al., 1983).

6.1 Vyhledávání podzemní vody v krystaliniku

Kapitola je zpracována podle knihy Hydrogeologie ČSSR I Prosté vody (Hynie, 1961).

Výskyt podzemní vody krystalinika mělce pod terénem nám nejčastěji prozradí podmáčená půda. V takových případech mluvíme o skrytých výronech podzemní vody. K soustředěným pramenným výronům dochází většinou jen z volných oběhů na otevřených zlomových trhlinách nebo na jiných význačných diskontinuitách ve zvodnění krystalinika.

Pokud se neprozradí puklinové proudění v krystaliniku pramennými výrony, je jejich vyhledávání celkem nesnadné. Je velmi obtížné zastihnout hlubší studnou vydatnější puklinové oběhy, a to hlavně z důvodu, že na puklinách a zlomech neobíhá voda na celých jejich plochách, ale jen určitými cestami promytými na těchto poruchách. Důkazem toho jsou negativní studny vyvrtné do velkých hloubek i v oblastech prokázaných průběžných velkými puklinami. Pakliže máme v úmyslu zřídit nákladnou studnu na jímání podzemní vody z hlubinného puklinového proudění, měli bychom si výskyt vody důkladně ověřit. V tomto ohledu je velmi vhodné využívat metod geofyzikálního průzkumu (především metod geoelektrických), které jsou schopny vymapovat propustné vodivé zóny v horninovém prostředí, na nichž se soustřeďuje proudění podzemní vody.

Vyhledávání vody v krystalických oblastech se obvykle soustřeďuje na mělké oběhy. Je třeba rozeznávat zamáčení půdy z důvodu skrytých výronů mělké podzemní vody od zadržování povrchové vody nepropustnými přípovrchovými polohami zvětralin krystalinika.

6.2 Konkrétní příklad hydrogeologického průzkumu v oblasti Českomoravské vrchoviny

Kapitola je zpracována podle Zprávy o provedení hydrogeologického průzkumu na lokalitě Brtnice, okres Jihlava (Biben, 1990).

Hydrogeologický průzkum – Brtnice, okres Jihlava, posudek číslo: GFP0P66055

SNAHA, kožedělné družstvo Jihlava požádala závod Vodních zdrojů o provedení dvou kopaných sond a vrtného průzkumu 1-2 vrty na lokalitě Brtnice, okres Jihlava. Cílem bylo ověření možnosti získání zdroje podzemní vody pro technologické účely. Terénní práce sestávaly z provedení sond BR-1 a BR-3, provedení vrtů BT-1 a BT-2 do 80 metrů a přítokových zkoušek ze sond BR-1,2,3 a vrtů BT-1 a BT-2. Na vyhodnocení spolupracovaly laboratoře Vodních zdrojů Bylany a Vodních zdrojů Praha.

Geomorfologicky patří území k celku Křižanovská vrchovina a podcelku Brtnická vrchovina. Klimaticky patří území do mírně teplé oblasti. Zájmová oblast je odvodňována říčkou Brtnicí (pravostranný přítok Jihlavy) a jejími přítoky. Z geologického hlediska je území lokality budováno krystalickými břidlicemi moldanubika a kvartérními útvary. Zvodnění je v území vázáno na poruchová pásma, kde otevřené tektonické linie mohou působit jako rozsáhlý drenážní systém s význačnějšími akumulacemi podzemních vod. Z hlediska hydrogeologické rajonizace lze podzemní vody řešené oblasti zařadit do rajónu 655 (později 6550) – Krystalinikum v povodí Jihlavy. Jedná se o podzemní vody se sezónním doplňováním zásob, s maximálními průměrnými stavy hladin a vydatností v březnu a dubnu, s minimálními v červenci a srpnu.

Z vrtu BT-1 bylo doporučeno pro vodárenské využití množství $1,7 \text{ l.s}^{-1}$ při provozním snížení hladiny ve vrtu maximálně 37 m pod terén. U vrtu BT-2 bylo navrženo pro vodárenské využití množství $0,5 \text{ l.s}^{-1}$, které by v extrémně suchých obdobích v souvislosti s mělčím oběhem zastiženým tímto vrtem mohlo být dočasně zeslabeno. Maximální provozní snížení hladiny vody ve vrtu je doporučeno 38 m pod terén. Vrt je třeba dovystrojit ocelovými zárubnicemi o průměru 219 mm. U jediné využitelné studny BR-2 je možné pro vodárenské účely čerpat 1 l.s^{-1} při provozním snížení 6,9 m pod terén.

Kvalita jímané vody byla ověřována odběry vzorků vody na fyzikálně-chemické, radiochemické a bakteriologické rozborů. Kdyby měla být voda z vrtů BT-1 a BT-2 využívána k pitným účelům, bylo by nutné ji upravit. Voda je znehodnocena vyššími koncentracemi například železa, manganu nebo dusičnanů. V případě studny BR-2 je voda znehodnocena například dusičnany nebo železem. I voda toho objektu by v případě použití k pitným účelům musela být nejprve upravena. Pokud by vybudované zdroje byly využívány i pro zásobování pitnou vodou, bylo by také nezbytné zajistit ochranu prameniště před kvalitativním a kvantitativním ohrožením formou ochranných pásem vodního zdroje.

Prezentovaný průzkum je typickým příkladem hydrogeologických poměrů Vysočiny, kdy se ani vrty hlubokými až 80 metrů nedaří získat větší vydatnosti, které se běžně pohybují v desetinách l.s^{-1} až maximálně $1-2 \text{ l.s}^{-1}$. Příklad dokumentuje i typickou kvalitu vody, podzemní vody krystalinika jsou poměrně zranitelné vůči znečištění z povrchu (dusičnany) a často mají přirozeně zvýšené obsahy železa, případně dalších kovů (mangan apod.).

7. ZÁSOBOVÁNÍ VODOU NA ČESKOMORAVSKÉ VRCHOVINĚ

7.1 Popis stávajícího systému zásobení vodou v nejvýznamnějším kraji Českomoravské vrchoviny – v kraji Vysočina

Kapitola je zpracována podle Plánu rozvoje vodovodů a kanalizací kraje Vysočina (<http://prvk.kr-vysocina.cz/prvk>) a obsahuje informace k roku 2004.

Na území kraje Vysočina je z veřejných vodovodů zásobeno přes 89 % obyvatel. Do budoucna se předpokládá nárůst počtu obyvatel zásobených z veřejných vodovodů a klesá počet obyvatel zásobených ze zdrojů individuálních.

Na území řešeného kraje se v současnosti nacházejí tyto velké vodovodní systémy:

1. Vodárenská soustava jihozápadní Moravy, nacházející se na území Žďáru nad Sázavou, Třebíče a zasahující i do Jihomoravského kraje. Zdroji pitné vody pro vodárenskou soustavu jsou zejména vodní nádrže Vír, Mostiště a Vranov. Napojeny jsou i drobné zdroje podzemní vody. Z této soustavy jsou zásobena všechna města na územním celku Třebíč a Žďár nad Sázavou a také obce podél přivaděčů.
2. Oblastní vodovod Jihlavsko. Tato vodárenská soustava tvoří severo-jižně situovanou páteř územního celku Jihlava. Nejdůležitějšími zdroji jsou vodní nádrže Hubenov a Nová Říše. Do systému je dále připojeno několik menších zdrojů podzemní i povrchové vody. Oblastní vodovod Jihlavsko zásobuje všechna města územního celku Jihlava a obce podél přivaděčů.
3. Skupinový vodovod Želivka - Podmoklany. Zdroji vody jsou vodárenská soustava Želivka a rozsáhlá oblast zdrojů podzemních vod, nacházející se severovýchodně od Chotěboře. Vodovod zásobuje všechna města a další obce Havlíčkovobrodská.
4. Skupinový vodovod Golčův Jeníkov - Čáslav. Vodou ze skupinového vodovodu je zásoben Golčův Jeníkov, Vilémov, další obce v oblasti a město Čáslav, které se nalézá na území Středočeského kraje.
5. Skupinový vodovod Humpolec - Pelhřimov - Pacov (Hu-Pe-Pa), jehož zdrojem pitné vody je vodárenská soustava Želivka, zásobuje město Humpolec, Pelhřimov, Pacov a obce podél přivaděčů.
6. Vířský oblastní vodovod. Ačkoliv se zdroj vody (nádrž Vír) a příslušná úpravná vody (Švařec) nacházejí na území kraje Vysočina, je jeho význam v této lokalitě velmi malý. Rozhodující spotřebiště se nacházejí na území Jihomoravského kraje.

Se zdroji podzemní vody je počítáno především v nouzovém zásobení pitnou vodou.

7.2 Podzemní zdroje vody okresu největšího města Českomoravské vrchoviny – Jihlavy

Kde není uvedeno jinak je kapitola zpracována podle Hydrogeologických poměrů České republiky (Michlíček et al., 1998 in Heklová, 2011) a aktualizována podle Plánu rozvoje vodovodů a kanalizací Kraje Vysočina (<http://prvk.kr-vysocina.cz/prvk>).

Důležitým zdrojem pitné vody je prameniště Řásná, které zásobuje Telč. Další zdroj je lokalita Rytířsko, jejíž vodou je zásobován Velký Beranov, Luka nad Jihlavou, Kozlov, Bradlo a Jeclov. Jímací území Mrákotín zásobuje pitnou vodou Mrákotín, Dobrou vodu a Krahulčí. Prameniště Bezděčín a Rácov napájejí vodovod Batelov-Bezděčín a jímací území Brtnice je jedním ze zdrojů vody pro město Brtnice. Obec Puklici zásobuje pitnou vodou jímací území se stejným jménem. Skládá se ze dvou studní a jednoho vrtu. Voda ze studní nemá dostatečnou kvalitu, tak je využíván jen vrt. Dalšími významnými zdroji podzemní vody jsou jímací území Dušejov a Větrný Jeníkov a také prameniště nacházející se severně od obce Bílý Kámen.

Zdroje podzemní vody nejsou dostačující, a tak je nutný odběr povrchové vody z toku či nádrže. Odběry povrchové vody na okrese převládají. Zdroje povrchové vody jsou například přehrada u Hubenova, dále také Velký pařezitý rybník poblíž obce Řásná nebo Pístovské rybníky (Hájek, Zielina, 1992). Konkrétně město Jihlava je zásobováno vodou z vodárenské nádrže u Hubenova, vodárenských rybníků u Pístova, z řeky Jihlavy a z vodárenské nádrže u Nové Říše (Veselá et al., 1989).

7.3 Zásobování krystalinickou vodou na Českomoravské vrchovině

Většina rozpukaných hornin je propustná jen v porušených zónách (Kresic, 2009). I přes tuto skutečnost jsou v mnoha oblastech, díky jejich obvykle velkému rozsahu, spolehlivým zdrojem vodních zásob (Banks et al., 1996).

Českomoravská vrchovina zatím není příkladem oblasti, kde by byla podzemní voda významným zdrojem vodních zásob. Jako první důvod bývá uváděn široký rozptýl pramenů. Když jsou prameny rozptýlené, jejich spojení s potrubím je příliš nákladné a druhým důvodem je nižší vydatnost pramenů. Jen málo pramenů má větší vydatnost než 1 l.s^{-1} (Hynie, 1961).

Postavení podzemních zdrojů vody Českomoravské vrchoviny by se ale mělo v následujících letech zlepšit. Hlavním důvodem jsou očekávané změny klimatu, které budou mít pravděpodobně vliv mimo jiné i na vodní hospodářství a zdroje pitných vod v celé České republice. Nejdůležitější možné důsledky změny klimatu na vodní hospodářství a zdroje pitných vod v České republice jsou (Dubánek et al., 2007):

1. Horší jakost povrchových vod způsobená především zvýšením teploty a snížením průtoků (Novický et al., 2009). Tento důsledek se z hlediska upravitelnosti na vodu pitnou promítá v potenciálním riziku ekonomicky neudržitelného trvalého využívání některých zdrojů povrchových vod (Dubánek et al., 2007).
2. Pokles srážkového úhrnu v letních měsících ve spojení s nárůstem teplot sníží v období léta množství povrchové vody (Vizina, Horáček, 2009).
3. Snížení tvorby zásob podzemních vod v nížinách (Dubánek et al., 2007).
4. V důsledku zkrácení doby zámru a zvýšení objemu srážek v zimních mimovegetačních měsících s nízkou evapotranspirací očekáváme zlepšení podmínek pro tvorbu zásob podzemních vod mělkého eventuálně hlubokého oběhu v regionech s vyšší nadmořskou výškou a příznivými odtokovými podmínkami, tedy mimo jiné i v oblastech Českomoravské vrchoviny (Dubánek et al., 2007). Výrazné snížení doby zámru na Českomoravské vrchovině předpokládá také regionální scénář klimatické změny z roku 2005 HIRHAM, jež byl zpracován podle výsledků projektu Evropské komise PRUDENCE Matematicko-fyzikální fakultou UK (katedra meteorologie a ochrany ovzduší). Tento model také predikuje zvýšení srážkového úhrnu pro celou oblast Českomoravské vrchoviny v zimě a úbytek srážek v letním období (Vizina, 2008).

V současné době se vytváří pilotní projekt vodárenského využití krystalinika. Navržený projekt řeší alternativní vodárenské využití hydrogeologických rajónů krystalinika České republiky při poklesu zásob pitné vody v důsledku očekávaných klimatických změn. Bude sestaven program rozvoje a revitalizace zdrojů podzemních vod určených pro místní zásobování pitnou vodou. Pracovní název projektu je „Vodárenské využití hydrogeologických rajónů krystalinika - program posílení rozvoje zdrojů podzemních vod pro místní zásobování obcí v obdobích očekávaných klimatických změn“. Projekt je zaměřen zejména na vyhodnocení bilance využitelného množství pitných vod v zájmových hydrogeologických rajónech ve vazbě na možné varianty klimatických změn, lokalizaci stávajících zdrojů v uvedených rajónech vhodných k revitalizaci a vymezení oblastí krystalinika příznivých pro vytváření nových jímacích území v souladu s technicko-ekonomickými podklady (Dubánek et al., 2007).

Podrobné bilanční zhodnocení hydrogeologických rajónů krystalinika zatím nebylo provedeno. Pouze byly orientačně stanoveny velikosti přírodních zdrojů jihlavského a třebského masívu a jeho pláště. Celkové přírodní zdroje z této oblasti činí asi 1550 l.s^{-1} , z toho využitelné zásoby jsou 530 l.s^{-1} (Hájek, Zielina, 1992). Pro představu celkových zásob oblasti Českomoravské vrchoviny byl autorkou proveden orientační výpočet. Českomoravská vrchovina má rozlohu $11\,742 \text{ km}^2$ (Demek et al., 2006). Průměrný specifický odtok podzemní vody je v řešené oblasti kolem $2,5 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (Daňková et al.,

1981). Vynásobením rozlohy s průměrným specifickým odtokem podzemní vody je získána hodnota $29\,355\text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Tato číselná hodnota představuje s velkou nepřesností maximální celkové přírodní zdroje podzemních vod v řešené oblasti.

Odtok podzemní vody v našich klimatických podmínkách regionálně charakterizuje množství podzemní vody v průměru každoročně obnovované a také velikost infiltrace v dlouhodobém průměru. Nelze z něho však přímo odvozovat využitelné množství podzemních vod, pokud není brán v úvahu komplex dalších kritérií, zvláště hydrologických, hydrogeologických, ekonomických a technologických. Většina podzemního odtoku je součástí celkového odtoku vody z daného území a významně se podílí na vydatnosti povrchových toků odtékajících z oblasti Vysočiny na různé strany (viz kapitola Hydrologické poměry). Podzemní odtok tak plní i významnou ekologickou funkci - udržuje minimální průtoky v povrchových tocích a tím zajišťuje životní podmínky mnohdy chráněných vodních ekosystémů. (Krásný et al., 1982).

Podzemní voda je v posuzované oblasti využívána pro individuální zásobování obyvatel pitnou vodou, dále potom pro menší průmyslové a zemědělské objekty (Hájek, Zielina, 1992).

8. ZÁVĚR

V současné době se zdroje podzemní vody na území Českomoravské vrchoviny na místním zásobování podílí jen v malé míře, především ve formě zdrojů pro individuální zásobování na venkově nebo malých zdrojů pro průmyslové a zemědělské podniky. K většímu využívání podzemních vod krystalinika by měly přispět hlavně klimatické změny, kvůli nimž bude užití povrchových vod méně výhodné (především pro větší kolísavost průtoků i kvality povrchové vody). Již dnes je možné sledovat nižší kvalitativní a kvantitativní zranitelnost podzemních vod oproti vodám povrchovým. Tato skutečnost by měla být díky změnám klimatu ještě patrnější. Stále větší výhoda v zásobování podzemní vodou by měla odstartovat vlnu investic na technologie spojené s jímáním vody podzemní. Nemuselo by se dokonce jednat jen o místní zásobování, nýbrž kvalitní podzemní voda z krystalinika by se mohla rozvádět i do okolních oblastí, například nížin s kvarténními zdroji, kde s klimatickými změnami má přijít zhoršení situace i u podzemních vod. Tato možnost širšího využití by vyžadovala pečlivé hydrogeologické průzkumy za účelem nalezení preferenčních zón regionálního proudění podzemních vod v krystaliniku a zajištění tak vydatnějších zdrojů podzemních vod pro vodárenské zásobování.

Krystalinikum Českomoravské vrchoviny se jeví být perspektivní zdroj podzemní vody pro místní zásobování.

Cíl práce byl splněn, práce zhodnotila prostředí krystalinických hornin s důrazem na oblast Českomoravské vrchoviny z hlediska využití místních podzemních vod pro zásobování pitnou vodou.

Praha, prosinec 2011

Radka Kalinová

PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY

Banks D., Odling N. E., Skarphagen H., Rohr-Torp E., 1996. *Permeability and stress in crystalline rocks*. Terra Nova, 8: 223-235.

Biben M., 1990. *Zpráva o provedení hydrogeologickém průzkumu na lokalitě Brtnice, okres Jihlava*. Vodní zdroje n. p., Praha, závod 02 Bylany u Chrudimě, posudek číslo: GFP0P66055, Česká geologická služba - Geofond.

Bláha K., Kočabová P., Gruntorád J., Bárta J., Charvát T., Dostál D., 2010. *Základní principy hydrogeologie*. Metodická příručka MŽP, 37 str.

Blažek V., Cílek V., Ehrlich P., Frank D., Gergel J., Hladný J., Hofmeister T., Janský B., Kakos V., Kender J., Kopp J., Král M., Krátká M., Krátký M., Kvítek T., Lídlová D., Langhammer J., Maníček J., Matoušek V., Matoušková M., Nesměrák I., Němec J., Nietzscheová J., Plesník J., Pokorný D., Punčochář P., Řádek T., Satrapa L., Šámalová Z., Šťastný B., Vrabec M., Vylita T., Zeman O., 2006. *Voda v České republice*. Pro Ministerstvo zemědělství vydal Consult Praha, ISBN 80-903482-1-1, 253 str.

Boháč P., Kolář J., 1996. *Vyšší geomorfologické jednotky České republiky*. Český úřad zeměměřický a katastrální, Praha, 1. vydání

Czudek T., Balatka B., Demek J., Ivan A., Kousal J., Loučková J., Sládek J., Stehlík O., Štelcl O., Borský J., Kudrnovská O., 1972. *Geomorfologické členění ČSR*. Československá akademie věd - Geografický ústav Brno, 137 str.

Daňková H., Hanzel V., Kněžek M., Krásný J., Matuška M., Šuba J., 1981. *Mapa odtoku podzemní vody ČSSR*. Český hydrometeorologický ústav a Kartografie, Praha.

Demek J., Mackovčín P., Balatka B., Buček A., Cibulková P., Culek M., Čermák P., Dobiáš D., Havlíček M., Hrádek M., Kirchner K., Lacina J., Pávek T., Slavík P., Vašátko J., 2006. *Zeměpisný lexikon - Hory a nížiny*. Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, Brno, ISBN 80-86064-99-9.

Dubánek V., Datel J.V., Hrkal Z., 2007. *Aktuální potřeba restrukturalizace zdrojů pitné vody v České republice – adaptačních opatření k omezení nepříznivých dopadů očekávaných klimatických změn na zdroje pitných vod ČR*. Vodohospodářská studie, ministerstvo životního prostředí, Praha, 36 str.

Hájek J., Zielina J., 1992. *Regionální surovinová studie okresu Jihlava*. Ministerstvo hospodářství ČR, Národní informační středisko – středisko Geofond, zpracovatelská organizace: GMS a. s. Praha, oblast Jihlava, 109 str.

Herink J., Kastner J., Červinka P., Krajiček L., Šefrna L., Rudolský J., Tomášek M., 2005, 2006. *Školní atlas České republiky*. Kartografie Praha, a. s., ISBN 80-7011-657-9, 32 str.

Hrkal Z., Milický M., Tesař M., 2009. *Climate change in Central Europe and the sensitivity of the hard rock aquifer in the Bohemian Massif to decline of recharge case study from the Bohemian Massif*. Environmental Earth Sciences, volume 59, number 3.

Hynie O., 1961. *Hydrogeologie ČSSR I Prosté vody*. Československá akademie věd, sekce geologicko-geografická, Praha, 564 str.

Chábera S., Demek J., Hlaváč V., Kříž H., Malecha A., Novák V., Odehnal L., Suk M., Tomášek M., Zuska V., 1985. *Jihočeská vlastivěda - neživá příroda*. Řada A, Jihočeské nakladatelství České Budějovice, 269 str.

- Chambel A., Krásný J., Sastre Merlín A., Duque J., 2003. *Comparing transmissivity classes of hard-rock aquifers in the of Iberian area and the Bohemian Massif*. International Conference on groundwater in fractured rocks 15. - 19.9.2003 - Prague Czech republic, page 39.
- Chlupáč I., Brzobohatý R., Kovanda J., Stráník Z., 2011. *Geologická minulost České republiky*. Vydalo Nakladatelství Academia Praha, ISBN 978-80-200-1961-5, 436 str.
- Krásný J., Kněžek M., Šubová A., Daňková H., Matuška M., Hanzel V., 1982. *Odtok podzemní vody na území Československa*. Český hydrometeorologický ústav, vydalo SNTL – Nakladatelství technické literatury ve středisku interních publikací, Praha, 52 str.
- Krásný J., 1997. *Transmissivity and permeability distribution in hard rocks environment: a regional approach*. Hard Rock Hydrosystems, Proceedings of Rabat Simposium, publish by International Association of hydrological Sciences, page 81.
- Krásný J., 2003. *Important role of deep-seated hard rocks in a global groundwater flow: possible consequences*. International Conference on groundwater in fractured rocks 15. - 19.9.2003 - Prague Czech republic, page 147.
- Kresic N., 2009. *Groundwater resources – Sustainability, Management, and Restoration*. ISBN 978-0-07-149273-7.
- Loew S., 2003. *Anthropogenic effects on flow systems in fractured rocks*. International Conference on groundwater in fractured rocks 15. - 19.9.2003 - Prague Czech republic, page 11.
- Mandys F., 1986. *Českomoravská vrchovina*. Olympia Praha, 323 str.
- Metelka L., Tolasz R., 2009. *Klimatické změny: fakta bez mýtů*. Univerzita Karlova v Praze, Centrum pro otázky životního prostředí, ISBN 878-80-87076-13-2, 35 str.
- Michlíček E., Olmer M., Kessl J. et al, 1986. *Hydrogeologické rajóny ČSR – svazek 2 – Povodí Moravy a Odry*. Výzkumný ústav vodohospodářský a Český hydrometeorologický ústav, GEOTEST Brno
- Michlíček, E. et al., 1998. *Hydrogeologické poměry okresu Jihlava: Regionální surovinové studie - II. etapa tematický blok B Hydrogeologické poměry České republiky*. GEOTest Brno, a.s., 24 str. in Heklová Z., 2011. *Vybrané vodní zdroje v kraji Vysočina*. Bakalářská práce, Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity v Brně.
- Myslil V., 1966. *Hydrogeologická mapa ČSSR 1: 1 000 000*. Vydal Ústřední ústav geologický, Praha
- Myslil V., Daňková H., Kačura G., Kněžek M., Krásný J., Kulhánek V., Šebesta J., Štych J., Trefná E., 1986 – *Vysvětlivky k základní hydrogeologické mapě ČSSR – list 23 Jihlava*. Vydal Ústřední ústav geologický, Praha, 101 str.
- Netopil R., Brázdil R., Demek J., Prošek P., 1984. *Fyzická geografie I*. Státní pedagogické nakladatelství, 272 str.
- Novický O., Treml P., Kašpárek L., Horáček S., 2009. *Možné zvýšení teploty vody na území České republiky*. VTEI (Vodohospodářské technicko-ekonomické informace), mimořádné číslo 2009, ročník 51 – Možné dopady klimatické změny na vodní zdroje, ISSN 0322-8916.
- Olmer M., Kessl J., Prchalová H., Holíková M., Pavlíková D., Anýž D., Jiroudková M., Novák V., Šiftař Z., Nakládal V., Herrmann Z., Řezáč B., 1990. *Hydrogeologické rajóny*. Vydal Výzkumný ústav vodohospodářský ve spolupráci s Českým hydrometeorologickým ústavem ve Státním zemědělském nakladatelství Praha, ISBN 80-209-0114-0, 154 str.

Olmer, M., Herrmann Z., Kadlecová R., Prchalová H. et al, 2006. *Hydrogeologická rajonizace České republiky*. Sborník geologických věd – Hydrogeologie, inženýrská geologie, 23, Vydala Česká geologická služba, ISBN 80-7075-660-8, ISSN 0036-5289, 32 str.

Rao S. Y., 2003. *Analysis of fractures for groundwater resources identification and its management: an integrated approach using RS and GIS*. International Conference on groundwater in fractured rocks 15. - 19.9.2003 - Prague Czech republic, page 91.

Skeřil R., Čech J., 2008. *Ochrana ovzduší, 4/2008*

Svoboda J., Beneš K., Dudek A., Holubec J., Chaloupský J., Kodým O. ml., Malkovský M., Odehnal L., Polák A., Pouba Z., Sattran V., Škvor V., Weiss J., 1964. *Regionální geologie ČSSR – díl 1 Český masív – svazek 1 krystalinikum*. Vydal Ústřední ústav geologický v Nakladatelství Československé akademie věd, Praha, 380 str.

Šilar J., 1975. *Základy hydrogeologie, inženýrské geologie a geologie životního prostředí*. Přírodovědecká fakulta University Karlovy, 64 str.

Šilar J., Pačes T., Dovolil M., Sarga K., 1983. *Všeobecná hydrogeologie*. Státní pedagogické nakladatelství Praha, 177 str.

Šilar J., 2003. *Groundwater residence time in crystalline rocks*. International Conference on groundwater in fractured rocks 15. - 19.9.2003 - Prague Czech republic, page 177.

Švorc L., Švorcová V., 2006. *České řeky a říčky*. Vydala Knihovna Jana Drdy v Příbrami, ISBN 80-86937-11-9, 265 str.

Tolasz R., Míková T., Valeriánová A., Voženílek V., Stříž M., Srněnský R., Brázdil R., Bulíř O., Dobrovolný P., Dubrovský M., Hájková L., Halásová O., Hostýnek J., Janouch M., Kohut M., Krška K., Křivancová S., Květoň V., Lepka Z., Lipina P., Macková J., Metelka L., Mrkvica Z., Možný Z., Nekovář J., Němec L., Pokorný J., Reitschläger J. D., Richterová D., Rožnovský J., Řepka M., Semerádová D., Sosna V., Stříž M., Šercl P., Škáchová H., Štěpánek P., Štěpánková P., Trnka M., Valter J., Vaníček K., Vavruška F., Voženílek V., Vráblík T., Vysoudil M., Zahradníček J., Zusková I., Žák M., Žalud Z., Baštýřová Z., Blažek Z., Brhel R., Elleder L., Franz J., Galandák M., Holtan M., Kain I., Ondruch V., Ployhar J., Reischig J., Setvák M., Skalák P., Smolíková Z., Smutný V., Šálek M., Šrejber J., Šuvarinová O., Tolaszová P., Valerián H., Valeriánová D., Valeriánová V., Vilhelmová Z., Záruba J., 2007. *Atlas podnebí Česka*. Vydal Český hydrometeorologický ústav v koedici s Univerzitou Palackého v Olomouci, ISBN 978-80-86690-26-1 (ČHMÚ), ISBN 978-80-244-1626-7 (UP), 255 str.

Trpkošová D., Krásný J., Pavlíková D., 2008. *Differences in runoff conditions of crystalline and flysh regions in Moravia and Silesia*. Journal of hydrology and hydromechanics, volume 56, issue 3, pages 201-210.

Veselá M., Hrádek M., Chrobok J., Šalanský K., 1989. *Vysvětlivky k základní geologické mapě ČSSR 1:25000 23-234 Jahlava*. Vydal Ústřední ústav geologický, 68 str.

Vizina A., Horáček S., 2009. *Zpřesnění dopadů klimatické změny na vodní zdroje s využitím scénářů založených na simulacích modelem ALADIN-CLIMATE/CZ.VTEI (Vodohospodářské technicko-ekonomické informace)*, mimořádné číslo 2009, ročník 51 – Možné dopady klimatické změny na vodní zdroje, ISSN 0322-8916.

Vizina A., 2008. *Hydrologická studie dopadů změny klimatu na průtoky v povodí Berounky*. Diplomová práce, Česká zemědělská univerzita v Praze, 100 str.

Webové stránky:

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, <http://www.vuv.cz/>, <http://www.dibavod.cz/>, 28.6.2011

Český hydrometeorologický ústav, <http://www.chmi.cz/>, Historická data, 18.7.2011

Petránek J., 1993. *On-line Geologická encyklopedie*, <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl>, 5.4.2011

Wikipedie, <http://www.wikipedia.cz/>, heslo Českomoravská vrchovina, 3.3.2011

Český hydrometeorologický ústav, <http://www.chmi.cz/>, <http://old.chmi.cz/uoco/struct/odd/ook/index.htm>, 13.8.2011

Česká geologická služba, <http://www.geology.cz/>, http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show_map.php?mapa=g500&y=670000&x=1070000&r=250000&s=0, 20.7.2011

Juráňová M., Machala M., Uhmánová T., 2004. *Plán rozvoje vodovodů a kanalizací kraje Vysočina*, <http://prvk.kr-vysocina.cz/prvk>, 27.9.2011

HEIS – hydroekologický informační systém, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, <http://heis.vuv.cz/>, 12.10.2011

Mapový server České geologické služby, <http://www.geology.cz/extranet/geodata/mapserver>, 16.10.2011

Český hydrometeorologický ústav – Hydrologie – oddělení podzemních vod, <http://voda.chmi.cz/opzv/>, http://voda.chmi.cz/opzv/hg_rajony/hg_rajony_2005.htm, 2.11.2011