

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, 21.08.2011

Podpis

Poděkování

Chtěla bych poděkovat vedoucímu mé práce, panu RNDr. Josefu V. Datlovi Ph.D, za cenné rady a čas, který mi věnoval.

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 asi kapitola řešící současné využívání zdrojů podzemní vody a vyhlídky do následujících let. Pro správné zodpovězení otázky perspektivity podzemních zdrojů jsou popsány geomorfologické, hydrologické a klimatické poměry řešené oblasti a také geologické a hydrogeologické poměry. Práce obsahuje dále kapitulu o vyhledávání vody podzemní, zásady její ochrany a popisuje upravitelnost vod. Vyhodnocení vhodnosti 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 sources are described geomorphological, hydrological and climatic conditions of the discuss area and also the geological and hydrogeological conditions. The thesis also contains a chapter about the searching for underground water, the principles of water conservation and describes modifiability of water. Assessment of suitability of water sources 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..... | 3 |
| 3.3 Klimatické poměry..... | 7 |
| 4. Geologické poměry..... | 10 |
| 5. Hydrogeologické poměry..... | 13 |
| 5.1 Vymezení pojmu podzemní voda..... | 13 |
| 5.2 Původ podzemní vody..... | 13 |
| 5.3 Výskyt a pohyb podzemní vody..... | 13 |
| 5.4 Původ a rozdělení puklin..... | 14 |
| 5.5 Propustnost a zvodnění hornin krystalinika..... | 16 |
| 5.6 Zvodně..... | 18 |
| 5.7 Hydrodynamické zóny..... | 18 |
| 5.8 Chemické a fyzikální vlastnosti podzemní vody krystalinika..... | 19 |
| 6. Průzkum a vyhledávání podzemní vody..... | 20 |
| 6.1 Vyhledávání podzemní vody v krystaliniku..... | 21 |
| 7. Zásobování podzemní vodou..... | 21 |
| 7.1 Zásobování vodou z krystalinika..... | 22 |
| 8. Zásady ochrany podzemní vody..... | 23 |
| 9. Upravitelnost..... | 23 |
| 10. Závěr..... | 25 |
| 11. Použitá literatura..... | 26 |

Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obr. 1. Mapa geomorfologického členění ČR..... | 3 |
| Obr. 2. Charakteristická mírně zvlněná krajina Českomoravské vrchoviny poblíž Nového Města na Moravě..... | 3 |
| Obr. 3. Nežárka / splnutím říček Kamenice a Žirovnice u Jarošova nad Nežárkou vzniká Nežárka..... | 4 |
| Obr. 4. Sázava / pramenný úsek jedné z našich nejkrásnějších řek, Sázavy, u rybníka Malé Dářko..... | 5 |
| Obr. 5. Svratka..... | 6 |
| Obr. 6. Dyje..... | 6 |
| Obr. 7. Labe..... | 7 |
| Obr. 8. Observatoř Košetice..... | 8 |
| Obr. 9. Observatoř Košetice – průběh průměrné měsíční, průměrné maximální měsíční a průměrné minimální měsíční teploty vzduchu v roce 2010 ve srovnání s dlouhodobým průměrem 1961 – 1990..... | 9 |
| Obr. 10. Observatoř Košetice – měsíční počet mrazových, ledových, letních a tropických dní v roce 2010 ve srovnání s dlouhodobým průměrem 1961 – 1990..... | 9 |
| Obr. 11. 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..... | 10 |
| Obr. 12. Geologická mapa ČR..... | 11 |
| Obr. 13. Výřez z hydrogeologické mapy 1:1 000 000..... | 12 |
| Obr. 14. Schéma hydrodynamických zón..... | 19 |

1. ÚVOD

Voda je nezbytnou součástí každodenního života každého živočicha na Zemi. Zásobování obyvatelstva vodou velmi úzce souvisí s termíny kvalita a kvantita vody. Každý z nás chce mít této pro život zcela nezbytné tekutiny dostatek a každý také vyžaduje určitý standard její jakosti. Důležitý je také co nejekonomičtější 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, geologické poměry a podobně. 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 na klimatické změny a extrémy (sucho, povodně apod.).

Cílem mé práce je zhodnotit prostředí krystalinických hornin s důrazem na oblast Českomoravské vrchoviny z hlediska využití místních podzemních vod pro zásobování pitnou vodou. Toto téma jsem si vybrala z důvodu, že Českomoravská vrchovina je místo mého trvalého bydliště, a tak mě zajímá, jak je na tom s podzemní vodou a jejím využitím dnes a jaké jsou vize do budoucna.

2. METODIKA

Tato bakalářská práce hodnotí, jestli je možné využití podzemní vody krystalinika Českomoravské vrchoviny pro místní zásobování. Skládá se ze sedmi částí, z nichž nejvýznamnější je část spekulující o perspektivnosti využití podzemní vody z řešené oblasti pro zásobování.

V první části popisují přírodní poměry Českomoravské vrchoviny, ve druhé části geologické poměry, třetí část je věnována hydrogeologii řešené oblasti, čtvrtá pojednává o průzkumu a vyhledávání podzemní vody, pátá je zaměřena na současný stav a perspektivnost budoucího využití podzemních vod Českomoravské vrchoviny, šestá přináší informace, jak chránit vodu, aby ji bylo možné využívat a poslední, sedmá se zabývá upravitelností vody.

Pro vznik této práce jsem navštívila knihovny geologickou, geografickou a knihovnu ústavu životního prostředí Přírodovědecké fakulty UK a také městskou knihovnu v Pelhřimově, kde jsem si vypůjčila materiály s cennými informacemi. Byla jsem se také podívat v meteorologické stanici v Košetcích, kde mi bylo ukázáno zpracování informací o klimatu. Mezi obrázky lze najít schéma hydrodynamických zón, které jsem nakreslila.

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

V závěru své práce shrnuji poznatky o současném zásobování podzemní vodou Českomoravské vrchoviny a hodnotím perspektivnost využití v budoucnu.

3. PŘÍRODNÍ POMĚRY

3.1 Geomorfologické poměry

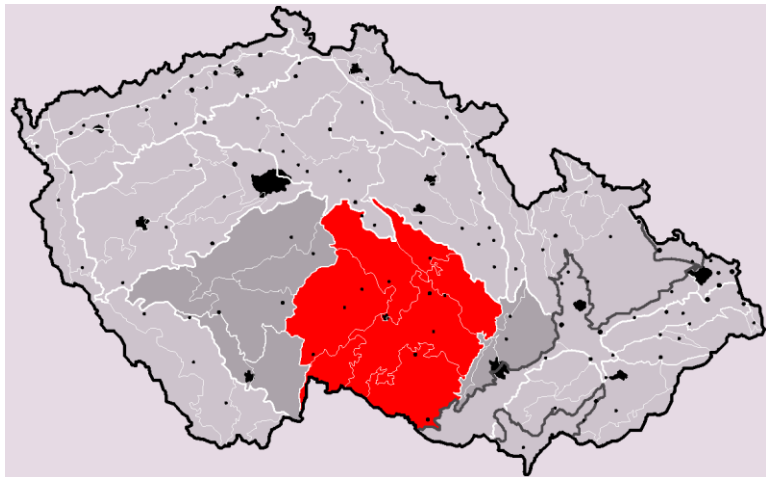
Geomorfologicky by se podsoustava Českomoravská vrchovina zařadila následovně: Hercynský systém – Hercynská pohoří – Česká vysočina – Českomoravská soustava – Českomoravská vrchovina - Křemešnická vrchovina, Hornosázavská pahorkatina, Železné hory, Hornosvratecká vrchovina, Křižanovská vrchovina, Javořická vrchovina a Jevišovická pahorkatina. Českomoravská vrchovina také částečně zasahuje do Rakouska. Tam bychom našli celek Thaya Hochland. (Myslil et al, 1986)



Českomoravská vrchovina patří k těm krajinám České republiky, které mají za sebou nejdelší geologický vývoj. Je součástí Českého masívu, jehož počátky lze klást do doby před 1 miliardou let. V době předprvohorní v něm proběhlo assyntské vrásnění, poslední a zároveň nejdůležitější horotvorné pohyby jej utvářely asi před 300 milióny let. Na konci prvohor došlo hercynským vrásněním ke vzniku vysokého horstva. Tehdy také došlo k posledním výlevům hlubinných vyvřelin, které pomohly zpevnit masív. (Mandys, 1986) Ten byl od té doby vystaven působení nejrůznějších exogenních činitelů, například tekoucí vody, větru a podobně (Šilar, 2003). Výška horstva se snižovala, povrch byl zarovnáván a začínal nabývat vzhledu paroviny, jak ji známe právě z rozlehlých centrálních oblastí Českomoravské vrchoviny. 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. Těmito pohyby došlo ke zmlazení povrchu, zvláště okrajových částí vrchoviny a jim tedy vděčíme za hluboká a skalnatá údolí některých řek. Jedná se například o řeku Doubravu, Chrudimku, Jihlavu, Oslavu, Svratku, Moravskou Dyji, Želivku a další. (Mandys, 1986) Zlomová tektonika se v malé míře projevila i uvnitř území, několika příkopy a hráštěmi. 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 a nejstarším blokem Českomoravské vrchoviny, je součást krystalického jádra Českého masívu, moldanubikum (Mandys, 1986). Vzhledem k tomu, že se v Českomoravské vrchovině nikdy nenalezly

žádné pozůstatky mořské fauny či flóry, předpokládá se, že byla vždy souší (Myslil et al, 1986). Nejvyššími vrcholy jsou Javořice (837 m) a Devět skal (836 m), střední nadmořská výška je 512 m. Českomoravskou vrchovinu ohraničuje na jihovýchodě Boskovická brázda, na severovýchodě Východočeská tabule, na severozápadě Středočeská pahorkatina a na jihu přechází 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. (Trpkošová, et al, 2008)

Geomorfologické členění ČR s barevně vyznačenou oblastí Českomoravské vrchoviny ukazuje Obr.1.

Na Obr. 2 je zaznamenána charakteristicky mírně zvlněná krajina Českomoravské vrchoviny.



-  Česko-moravská subprovincie
-  Českomoravská vrchovina

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



Obr. 2. Charakteristická mírně zvlněná krajina Českomoravské vrchoviny poblíž Nového Města na Moravě (Zdroj: Holeček, 2003)

3.2 Hydrologické poměry

Na území Českomoravské vrchoviny se vyskytuje 5 povodí. Povodí Lužnice, povodí Sázavy, povodí Svratky, povodí horní Dyje a povodí horního Labe. (Herink, Kastner et al, 2005, 2006)

Českomoravskou vrchovinou probíhá hlavní evropské rozvodí (Holeček, 2003). Většina území patří k úmoří Černého moře (Oslava, Jihlava, Rokytná, Jevišovka, Dyje a Svratka), zbytek k úmoří Severního moře (Sázava, Doubrava, Chrudimka, Krounka) (Herink, Kastner 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 je pravý přítok Lužnice, číslo povodí je HLGP_ID = 1-07-03-001/0 až 1-07-03-079/2 (HLGP_ID je zkratka pro hranici povodí používaná v digitální bázi vodohospodářských dat, v tzv. DIBAVODU, je to devítimístný identifikátor), délka toku 56,04 km a průměrný průtok v ústí 11,8 m³/s. Nežárka 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). Nežárka byla podle ČSN 75 7221 v letech 2003 – 2004 zařazena mezi silně znečištěné toky. Základní klasifikace ČSN (Českého normalizačního institutu) 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 29,9 km a průměrný průtok v ústí je 1,03 m³/s. Kamenice má délku toku 27,8 km a průměrný průtok v ústí 1,17 m³/s. Žirovnice i Kamenice pramení v Českomoravské vrchovině. Všechny tři řeky je možné si prohlédnout na Obr. 3.



Obr. 3. Nežárka / splynutím říček Kamenice a Žirovnice u Jarošova nad Nežárkou vzniká Nežárka (Zdroj: Švorc, Švorcová, 2006)

Dalším povodím je povodí řeky Sázavy. Patří sem Sázava, Želivka, od pramene k ústí Jankovského potoka nazývaná Hejlovka nebo také Hejlovský potok, Trnava, Martinický potok a Šlapanka. Sázava je pravý přítok Vltavy s délkou toku 224,6 km. Plocha celého jejího povodí je 4349,2 km². (Švorc, Švorcová, 2006) Sázava pramení na Českomoravské vrchovině v nadmořské výšce 757,37 m severně od Žďáru nad Sázavou. Číslo povodí je HLGP_ID = 1-09-01-001/0 až 1-09-03-181/0. (<http://www.vuv.cz/>) 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, u nichž účinek podpoří značné regenerační schopnosti tohoto toku způsobené přejetými úseky. (Myslil et al, 1986) Sázava byla v letech 2003 – 2004 podle ČSN 75 7221 takřka na celé délce toku vyhodnocena jen jako znečištěná řeka (Blažek et al, 2006). Průměrný průtok v ústí je asi 25,2 m³/s. Želivka je levý přítok Sázavy, jehož délka je 99,2 km a průměrný průtok v ústí 7,20 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) V letech 2003 – 2004 byla voda v Želivce zařazována do 2. třídy (Blažek et al, 2006). Z přítoků přijímá Želivka zleva Trnavu a Martinický potok. Trnava má délku

toku 53,8 km a průměrný průtok v ústí 2,29 m³/s. Martinický potok 36,2 km a 0,61 m³/s je jeho průměrný průtok v ústí. A posledním tokem tohoto povodí, zasahujícím na území vrchoviny je Šlapanka. Šlapanka je levý přítok Sázavy, jenž do ní ústí u Havlíčkova Brodu. Délka toku je 35 km a průměrný průtok v ústí 1,80 m³/s. (Švorc, Švorcová, 2006) Tento tok zatěžují odpadní vody z Polné a škrobárny (Myslil et al, 1986). Nejvýznamnější řeku tohoto povodí, Sázavu, ukazuje Obr. 4.



Obr. 4. Sázava / pramenný úsek jedné z našich nejkrásnějších řek, Sázavy, u rybníka Malé Dářko (Zdroj: Švorc, Švorcová, 2006)

Povodí Svratky zahrnuje Svratku, Jihlavu, Oslavu a Rokytnou. Číslo povodí Svratky je HLGP_ID = 4-15-01-001/0 až 4-16-04-026/0, délka toku 168,49 km, plocha celého jejího povodí 7115,60 km² a jedná se o levostranný přítok Dyje. Pramení na Českomoravské vrchovině pod Žákovou horou v nadmořské výšce 771,93 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 180,80 km a je pravostranný přítok Svratky (<http://www.vuv.cz/>). Pramení na Českomoravské vrchovině u Počátek v nadmořské výšce 665,98 m a je poměrně málo znečištěná, jakost je zhoršena jen vlivem odpadních vod ze škrobárny (Myslil et al, 1986). V letech 2003 – 2004 byla podle ČSN 75 7221 na většině toku silně znečištěná (Blažek et al, 2006). Největším přítokem je Oslava. Jihlavě i Oslavě zvyšují průtoky četné rybníky v jejich blízkosti. (Myslil et al, 1986) Oslava má délku toku 99,24 km a pramení v severní části Českomoravské vrchoviny asi 4 km jihozápadně od Žďáru nad Sázavou v nadmořské výšce 566,94 m (<http://www.vuv.cz/>). Je spíše málo znečištěným tokem. Za další méně znečištěný tok by se dala považovat Rokytná, ale tam kvalitu vody trochu zhoršuje odpad z mlékárenského průmyslu a také městské odpadní vody. (Myslil et al, 1986) Rokytná byla v letech 2003 – 2004 považována za silně znečištěnou vodu (Blažek et al, 2006). Nejvýznamnější řeka tohoto povodí je vyobrazena na

Obr. 5.



Obr. 5. Svratka (Zdroj: <http://www.obrazky.cz/>)

Součástí povodí horní Dyje jsou řeky Dyje, Moravská Dyje, Želetavka a Jevišovka. Číslo povodí Dyje je HLGP_ID = 4-11-01-001/0 až 4-11-02-072/2, délka toku 196,22 km a plocha jejího celého povodí 11160,80 km². Dyje začíná v Rakousku soutokem Moravské Dyje a Rakouské Dyje. Největším přítokem je Svratka. (<http://www.vuv.cz/>) Je to 3. nejdelší řeka České republiky (Herink, Kastner et al, 2005, 2006). Její výhodou je relativně čistá voda (Myslil et al, 1986). Podle ČSN 75 7221 byla roku 2003 a 2004 stanovena jakost její vody na znečištěnou (Blažek et al, 2006). Moravská Dyje má délku toku 55,56 km a pramenní na Českomoravské vrchovině asi 3 km jihovýchodně od Třešti na Jihlavsku v nadmořské výšce 656,71 m (<http://www.vuv.cz/>). Je to méně znečištěný tok. Malé znečištění vykazují také Želetavka a Jevišovka. (Myslil et al, 1986) Dyji je možné si prohlédnout na Obr. 6.



Obr. 6. Dyje (Zdroj: (<http://www.obrazky.cz/>))

Posledním povodím řešeného území je povodí horního Labe, kam patří Labe, Klejnárka, Doubrava, Chrudimka a Krounka. Číslo povodí Labe je HLGP_ID = 1-01-01-001/0 až 1-15-05-020/0, délka toku 1154 km a průměrný průtok v ústí bývá kolem 308 m³/s. (Švorc, Švorcová, 2006) Takřka po celé délce toku byla jakost jeho vody v letech 2003 – 2004 zařazována do II. třídy Do třetí třídy by se dal zařazovat snad jen úsek mezi Brandýsem nad Labem a Neratovicemi. (Blažek et al, 2006). Klejnárka

je levý přítok Labe s délkou toku 38,1 km a průměrným průtokem v ústí 1,32 m³/s. Doubrava, někdy nazývaná také Doubravka je také levý přítok Labe. Délka toku je 29,3 km a průměrný průtok v ústí 0,53 m³/s. Pro tuto řeku je Českomoravská vrchovina prameništěm. (Švorc, Švorcová, 2006) Řeka je zatížena odpadními vodami z koželužny a dále slévárny ve Starém Ransku (Myslil et al, 1986). Poslední řekou tohoto povodí je také levý přítok Labe, řeka Chrudimka. Délka toku je 104,4 km a průměrný průtok v ústí 7,68 m³/s. Podobně jako Doubrava i Chrudimka pramení v Českomoravské vrchovině. (Švorc, Švorcová, 2006) Labe viz Obr. 7.



Obr. 7. Labe (Zdroj: <http://www.obrazky.cz/>)

V území Českomoravské vrchoviny je možné nalézt velké množství vodních nádrží. Převážně vodárenský účel má například vodní nádrž Vír, nacházející se na Svatce, Švihov (na Želivce), Mostiště (na Oslavě), Hamry (na Chrudimce) a Znojmo, které je na Dyji. Převážně hydroenergetický význam má Seč (na Chrudimce), Brno (na Svatce), Dalešice a Mohelno, nacházející se na Jihlavě, Vranov (na Dyji), Sedlice (na Martinickém potoce) a Křižanovice (na Chrudimce). Ochrannou funkci plní Trnávka (na Trnavě), Pařížov (na Doubravě) a Jevišovice (na Jevišovce). Kvůli závlahám byla postavena vodní nádrž Výrovce na Jevišovce. (Herink, Kastner et al, 2005, 2006)

3.3 Klimatické poměry

Klima Českomoravské vrchoviny je oproti jiným částem republiky drsnějšího typu (Holeček, 2003).

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 nebo rovna -0,1°C) kolem 110 - 160 a ledových dnů (max. teplota menší nebo rovna -0,1°C) bývá 40 – 50. Průměrná teplota v lednu se pohybuje od -2 do -5°C, průměrná červencová 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. 60 až 100 dnů v roce mívá sněhovou pokrývku.

Ve vyšších výškách je možné najít 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 -3 až -6°C, teplota v červenci od 14 do 16°C. Průměrný počet dnů se srážkami 1 mm a více 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 100 – 140.

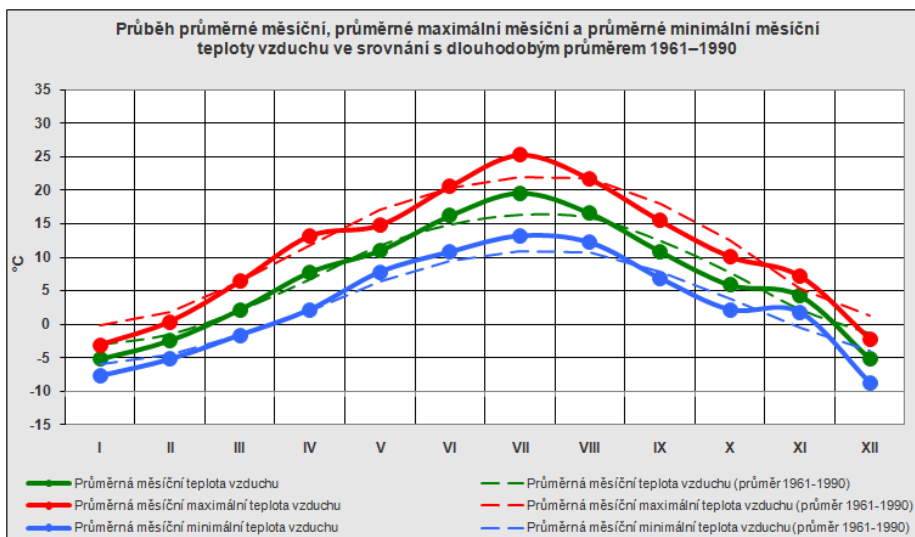
Na východě Českomoravské vrchoviny bychom našli mírně teplé podnebné oblasti, s počtem letních dnů až kolem 40 – 50, počtem mrazových dnů 110 – 130 a počtem ledových dnů 30 – 40. Průměrná teplota v lednu nebývá nižší než -4°C, průměrná teplota v červenci sahá až k 18°C. Průměrný počet dnů se srážkami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

Na území Českomoravské vrchoviny jsou nejvýznamnější tyto klimatologické stanice: Kostelní Myslová, Kuchařovice, Svatouch, Velké Meziříčí a Košetice (<http://www.chmi.cz/>). Stanici v Košetích jsem navštívila, proto jsem si ji vybrala pro důkladnější popis. Tato stanice se nachází v povodí řeky Želivky v zemědělské krajině mimo souvislé osídlení v nadmořské výšce 534 metrů nad mořem. (Skeřil, Čech, 2008) Stanici je možné si prohlédnout na Obr. 8. Pro ukázkou klimatických poměrů v okolí stanice jsem vybrala nejaktuálnější rok - rok 2010. Obr. 9. ukazuje průběh průměrné měsíční, průměrné maximální měsíční a průměrné minimální měsíční teploty vzduchu ve srovnání s dlouhodobým průměrem 1961 - 1990. Na Obr. 10. je možné si prohlédnout měsíční počet mrazových, ledových, letních a tropických dní ve srovnání s dlouhodobým průměrem 1961-1990. A Obr. 11. zachycuje průběh měsíčního úhrnu srážek a měsíčního počtu dní se srážkami alespoň 1 mm ve srovnání s dlouhodobým průměrem 1961 - 1990.

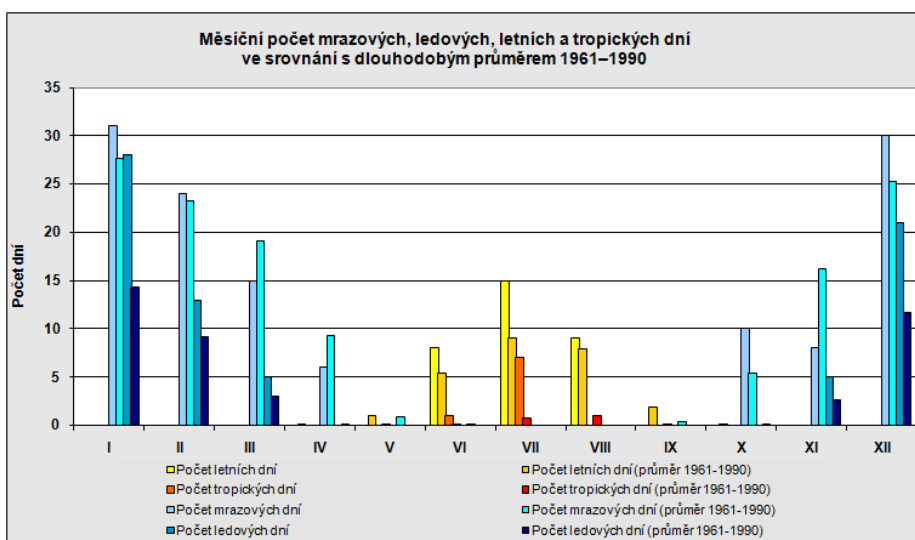
Postupně dochází ke klimatickým změnám. Ve střední Evropě se začínají projevovat nedostatkem srážek v období letních měsíců. V období zimních měsíců dochází k dočasné akumulaci vody v podobě sněhu. (Hrkal et al, 2009)



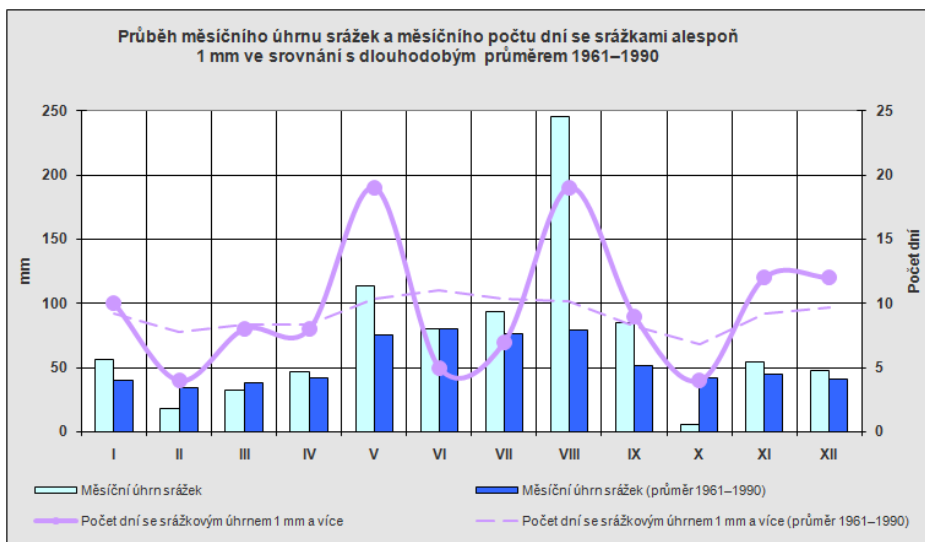
Obr. 8. Observatoř Košetice (Zdroj: <http://www.chmi.cz/>)



Obr. 9. 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. 10. Observatoř Košetice - měsíční počet mrazových, ledových, letních a tropických dní v roce 2010 ve srovnání s dlouhodobým průměrem 1961 - 1990 (Zdroj: <http://www.chmi.cz/>)



Obr. 11. 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

Z geologického hlediska patří Českomoravská vrchovina převážnou částí pod jednotku nazývanou jako moldanubikum. Moldanubikum je pravděpodobně předkambrického stáří. Bylo postiženo intenzivní předpaleozoickou metamorfózou a později prostoupeno četnými tělesy variských magmatitů. Tato jednotka je tedy charakteristická výskytem metamorfovaných a magmatických hornin. (Svoboda et al, 1964)

Metamorfované neboli přeměněné horniny vznikají v důsledku metamorfózy. V případě moldanubika se jedná o vysoký stupeň. (Petránek, 1993) Metamorfózou označujeme soubor procesů (fyzikálních, chemických, mineralogických a strukturních), kterými dochází k přeměně původních hornin. Mezi nejvýznamnější procesy patří: vznik nových minerálů, rekrystalizace minerálů, které byly zastoupeny již v původní hornině (zvětšení velikosti zrn, změna jejich původního tvaru) a strukturní přestavba horniny. Teplota je nejvýznamnějším faktorem ovlivňujícím metamorfní procesy, proto k metamorfním přeměnám dochází v místech, kde je anomální tepelný tok, tedy zejména v tektonicky aktivních oblastech. Mezi nejvýznamnější horninotvorné minerály metamorfovaných hornin patří: křemen, plagioklasy, draselný živec, muskovit, biotit, cordierit, granáty, andalusit, sillimanit, kyanit, staurolit, chlority, serpentin, epidot, kalcit, amfiboly a pyroxeny. Metamorfované horniny je možné rozčlenit do několika skupin, z nichž uvedu jen ty nejvýznamnější. Jedná se o skupinu přeměněných kyselých vyvřelin, mezi ty patří například ortorula nebo granulit, dále se jedná o přeměněné bazické vyvřeliny, jako je například amfibolit a eklogit, další skupinou jsou regionálně metamorfované pelitické sedimenty, ke kterým se dá přiřadit fylit, svor, pararula a migmatit a konečně ostatní regionálně metamorfované sedimenty, do kterých patří kvarcit, metakonglomerát a mramor. (Kachlík, 2005)

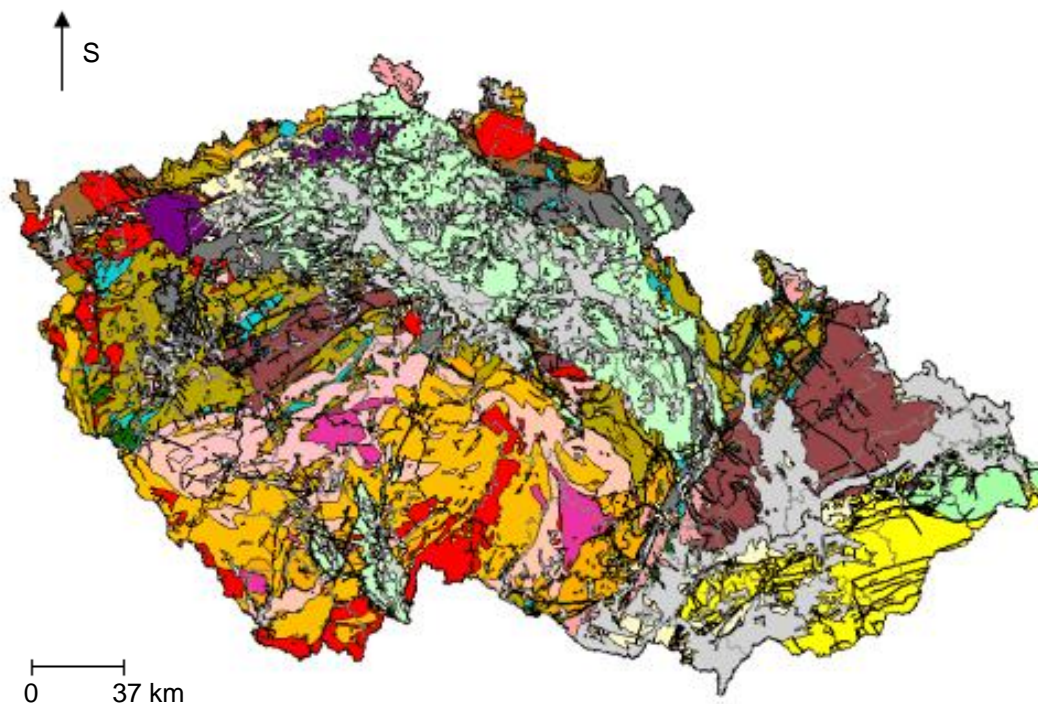
Pro oblast moldanubika je z metamorfovaných hornin typický výskyt hlavně pararul. Rozeznávají se dvě hlavní jednotky: starší, spodní, která se nazývá jednotvárná, někdy se užívá termínu monotónní nebo také bezvločková a svrchní, pestrá neboli také vločková. Jednotvárná, která zaujímá v moldanubiku největší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

Magmatické neboli vyvřelé horniny vznikají krystalizací z magmatu. Krystalizací označujeme proces postupné tvorby krystalů z magmatu. Tyto krystaly se začnou tvořit, když dojde k poklesu teploty
























magmatu. Minerály, ze kterých se potom skládají horniny, krystalizují v zákonitém pořadí, které poprvé popsal americký petrograf Bowen. Podle Bowenova krystalizačního schématu jako první z magmatu vypadnou horniny gabro a bazalt, protože ty obsahují nejméně křemenu, který krystalizuje až jako poslední, další v pořadí by byly diorit a andezit a až nakonec žula a její výlevný ekvivalent rula. S obsahem křemene souvisí i rozdělení vyvřelin na kyselé, s největším množstvím křemene, intermediální, bazické a ultrabazické, s nejmenším obsahem křemene. Vyvřelé horniny je možné také rozdělit do tří kategorií podle hloubky tuhnutí a s tím související rychlosti chladnutí na hlubinné, žilné a výlevné. Hlubinné vyvřeliny utuhly v největších hloubkách a relativně pomalu, řádově se jedná o několik milionů let. Zástupcem této kategorie by byly například horniny gabro, žula diorit nebo peridotit. Žilné vyvřeliny jsou zpravidla deskovitá tělesa, tuhnoucí mělce pod povrchem. A poslední kategorií jsou výlevné vyvřeliny, které tuhnou až na zemském povrchu a za jejichž zástupce lze považovat ryolit, andezit nebo bazalt. Kromě výše uvedeného křemene za zmínku stojí ještě další horninotvorné minerály magmatitů, jimiž jsou ze světlých neboli salických například draselný živec, plagioklasy, foidy a muskovit a z tmavých neboli mafických olivín, pyroxeny, amfiboly a biotit. (Kachlík, 2005)

Variská pozdně orogenní eruptiva moldanubika Českomoravské vrchoviny náleží k tělesu moldanubického plutonu. Tento pluton tvoří intruze nepravidelného tvaru, vázané často na antiklinální struktury. Typická je převaha kyselejších hornin. Kyselá povaha se projevuje i v žilném doprovodu, ve kterém převládají žilné žuly až aplity. Intermediální a bazické žíly se vyskytují jen v menší míře, vzácně byly zjištěny i žíly alkalických hornin. (Svoboda et al, 1964) Dalším plutonem je třebešsko-meziříčský masív, ve kterém převládají syenity, což jsou hlubinné magmatity intermediálního složení. K moldanubiku bývá také řazena svratecká antiklinála, kde dominují krystalické břidlice. Směrem k severovýchodu na ni navazuje polišské krystalinikum s žulorulami a směrem k jihozápadu ranský masív s větším množstvím bazických vyvřelin. (Mandys, 1986)

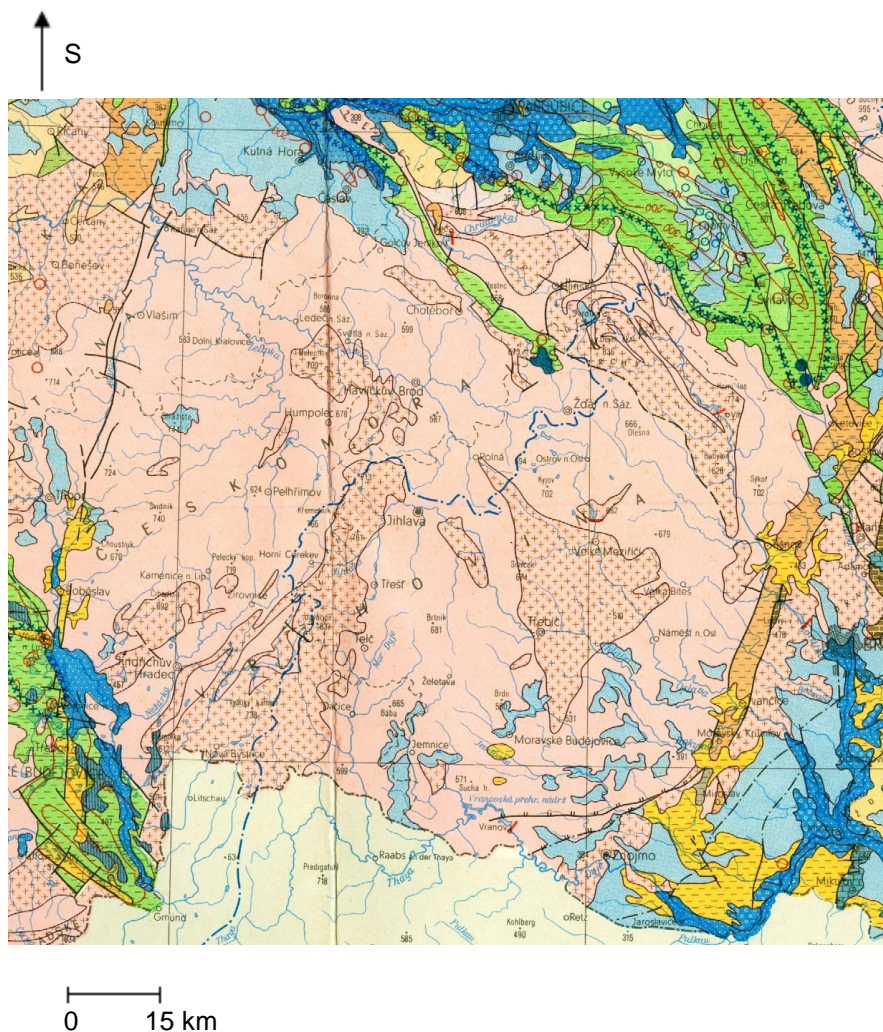
Geologické poměry celé České republiky ukazuje Obr. 12.



Legenda GEOČR500

| | | | |
|---|--|---|---|
|  | diority a gabra, assyntské a variské |  | pestrá série moldanubika (svorové ruly, pararuly až migmatity s vložkami vápenců, erlánu, kvarcitu, grafitu a amfibolitu) |
|  | granitoidy assyntské (žuly, granodiority) |  | proterozoické horniny assyntsky zvrášené, s různě silným variským přepracováním (břidlice, fylity, svory až pararuly) |
|  | granodiority až diority (tonalitová řada) |  | terciérní horniny (písky, jíly) |
|  | jednotvárná série moldanubika (svorové ruly, pararuly až migmatity) |  | terciérní horniny alpsky zvrášené (pískovce, břidlice) |
|  | kvartér (hlíny, spraše, písky, štěrky) |  | tmavé granodiority, syenity (durbachitová řada) |
|  | mezozoické horniny (pískovce, jílovce) |  | ultrabazity v moldanubiku a proterozoiku |
|  | mezozoické horniny alpsky zvrášené (pískovce, břidlice) |  | vulkanické horniny terciérní (čediče, fonolity, tufy) |
|  | ortoruly, granulity a velmi pokročilé migmatity v moldanubiku a proterozoiku |  | vulkanické horniny zčásti metamorfované, proterozoické až paleozoické (amfibolity, diabasy, melafyry, porfyry) |
|  | paleozoické horniny zvrášené a metamorfované (fylity, svory) |  | žuly (granitová řada) |
|  | paleozoické horniny zvrášené, nemetamorfované (břidlice, droby, křemence, vápence) | | |
|  | permokarbonské horniny (pískovce, slepence, jílovce) | | |
| | | Linie | |
| | |  | hranice zjištěná |
| | |  | zlom zjištěný |
| | |  | zlom předpokládaný |

Obr. 12. Geologická mapa ČR 1: 500 000 (Zdroj: <http://www.geology.cz/>)



Obr. 13. Výřez z hydrogeologické mapy 1: 1 000 000 (Zdroj: Myslíl, 1966) Vysvětlivky lze nalézt na <http://www.geology.cz/>

5. HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY

5.1 Vymezení pojmu podzemní voda

Podzemními vodami se nazývají vody, které se přirozeně vyskytují pod zemským povrchem v pásmu nasycení v přímém styku s horninami, dále vody protékající podzemními drenážními systémy a také vody, nacházející se ve studních. (Parlament České republiky, 2001)

5.2 Původ podzemní vody

Převážná část podzemní vody je meteorického původu, tedy pochází z atmosférických srážek. Vzniká vsakem atmosférických srážek do zemské kůry, dále vsakem povrchové vody toků a nádrží do zemské kůry a také kondenzací atmosférické vlhkosti v dutinách hornin a pórech půdy. (Šilar et al, 1983)

Podzemní voda ale může také pocházet z hlubin zemské kůry. Z tuhnoucí žhavé hmoty se uvolňuje vodík a kyslík, jejichž molekuly se při vysokém tlaku a teplotě slučují, a tak dochází ke vzniku juvenilní vody ve skupenství vodní páry, která přechází v chladnějších vrstvách zemské kůry v kapalný stav. (Netopil et al, 1984)

5.3 Výskyt a pohyb podzemní vody

Výskyt podzemní vody je podmíněn existencí takové horniny, která má schopnost pojmout a také předávání vody. Část zemské kůry, v jejímž rozsahu se voda může vyskytovat, tvoří podzemní hydrosféru a voda v ní se vyměňuje s vodou povrchové hydrosféry. Míra výměny ovlivňuje vlastnosti podzemní vody. Horniny vhodné pro výskyt vody jsou ze sypkých písky, štěrkopísky, štěrky, sutě, ze zpevněných pískovce, slepence, sopečné tufy, tufity a z pevných pórzní lávy a všechny rozpukané, rozdrčené a mechanicky zvětralé pevné horniny, s hustou sítí volných puklin. (Netopil et al, 1984)

Obvykle bývá výskyt podzemní vody přínosem, existují ale i případy, kdy to může být ke škodě. Takovým případem je například výskyt nadbytečného množství mělkých podzemních vod, které zamokřují půdu, na které se potom nedá nic vypěstovat a ani nic postavit. Na druhou stranu na mělké podzemní vody mohou být vázány přírodovědně cenné mokřadní lokality s množstvím chráněné flóry a fauny. (Chábera et al, 1985)

Podle geologického původu a současně podle hydraulických vlastností rozlišujeme tři základní typy prostor v horninách, významných pro výskyt a pohyb podzemní vody. Různé typy těchto dutin jsou charakteristické pro různé horniny. Jedná se o průliny neboli póry mezi zrny zpevněných i nezpevněných klastických sedimentů, krasové dutiny v rozpustných horninách a lánové kanály, a konečně pukliny různého původu, které vznikají ve zpevněných horninách, a to působením napětí vyvolaných tektonickými silami, smršťováním a v důsledku chladnutí, vysychání, větráním a nebo také gravitací. (Šilar et al, 1983)

Vodě vyskytující se v průlinách se říká voda průlinová, té v krasových dutinách, voda krasová a voda v puklinách je puklinovou vodou (Šilar, 1975).

Dutiny všech tří výše uvedených typů mohou být nejrůznější velikosti a v podstatě v každém každém typu může nastat jak laminární, tak turbulentní proudění vody. Záleží na velikosti dutiny a rychlosti proudění. Obvykle však v přírodních podmínkách převládá v průlinách proudění laminární a v krasových dutinách proudění turbulentní. V puklinách to není ujasněné. Někdy se jedná o proudění laminární a jindy zase o proudění turbulentní. Laminární proudění lze charakterizovat jako pomalejší a klidnější, turbulentní má větší unášecí schopnost. Přechod z laminárního pohybu do pohybu turbulentního nastává při přestoupení Reynoldsova čísla, které je dané vztahem (1)

$$Re = Q_{vd} / \mu (1)$$

kde Q je hustota kapaliny

v je rychlost proudění kapaliny

d je rozměr dutiny, kterou kapalina proudí

μ je dynamická vazkost (viskozita) kapaliny

Přechod z laminárního do turbulentního pohybu může nastat buď zvýšením rychlosti nebo zvětšením průtočného profilu nebo snížením viskozity nebo různými těmito vlivy současně.

Podle typu dutin se rozlišují také tři hlavní typy propustnosti hornin. Horniny s propustností průlinovou, krasovou a puklinovou. Příklady hornin s průlinovou propustností jsou nezaplněné písčité sedimenty, krasovou propustnost mají vápence, sádrovce a horniny s obsahem solí a puklinovou mají vyvěřeliny. U některých hornin může dojít k kombinování dvou typů propustnosti. Například rozpukané zkrasovělé vápence mají puklinovou i krasovou propustnost. (Šilar et al, 1983)

Na podzemní vodu, obsaženou v prostorách hornin, působí vnější síly. Jsou to: vlastní tíha vody, tlak hornin okolního prostředí, tlak plynů vylučovaných z vody, osmotické napětí následkem rozdílného chemického složení vod v různých částech horninového prostředí, hygroskopické síly na povrchu horninových částic a kapilární síly v prostorách, ve kterých je voda obsažena. Jsou-li všechny tyto síly v rovnováze, je podzemní voda v klidu. Nejsou-li v rovnováze, začne se voda pohybovat. Za pohybu na ni potom působí ještě další síly, a to vnitřní tření následkem viskozity vody a tření o povrch částic hornin, s kterými se proudící voda dostává do kontaktu. (Šilar, 1975)

Pohyby podzemní vody jsou centimetry až desítky centimetrů za den. Nevelké rychlosti jsou způsobeny obtížemi spojenými s průchodem vody jemnými póry a puklinami hornin. V krasových dutinách a zejících puklinách však může být rychlost i mnohem vyšší, naopak v jemně zrnitých jílovitých sedimentech mohou být rychlosti proudění i výrazně nižší. Rychlost proudění podzemní vody ovlivňuje zejména pórovitost hornin, propustnost neboli permeabilita a hydraulický gradient. (Kachlík, 2005)

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

5.4 Původ a rozdělení puklin

Podzemní voda se v horninách krystalinika nachází převážně v síti puklin. Pod pojmem pukliny rozumíme jakékoliv plochy diskontinuity, které prostupují horninu. Vznikají působením napětí.

Mohou být původu endogenního nebo exogenního. Pukliny endogenního původu vznikly působením vnitřních geologických činitelů, například magmatickou, vulkanickou nebo tektonickou činností. Pukliny exogenního původu vznikly působením vnějších geologických činitelů, například gravitací na úrodních svazích, činností vody nebo větráním.

Dále jde pukliny rozdělit na primární a sekundární.

Primární pukliny vznikly současně s horninou. Obvykle bývají uzavřené a nemají tak význam pro oběh podzemních vod. Propustnější bývají jen otevřené pukliny v lávových příkrovech, vzniklé prudkým ochlazením tekuté lávy. Propustnost může být zvětšena druhotným otevřením puklin, větráním, rozvolněním působením mrazu,... Primární pukliny lze rozdělit na dva druhy. Na plochy odlučnosti vyvěřelin, vzniklé smršťováním při tuhnutí. Podle těchto puklin vzniká například sloupcovitá, deskovitá nebo balvanitá odlučnost výlevných vyvěřelin. A na vrstevní spáry neboli plochy vrstevnatosti sedimentů.

Sekundární pukliny vznikly v hotové hornině, a to působením endogenních a exogenních sil.

Endogenními silami, čímž rozumíme tektonické pochody, vznikly jednak tektonické pukliny a jednak dislokace.

Tektonické pukliny se dají rozdělit na tahové, tlakové, smykové a torsní.

Tahové pukliny vzniknou, když dojde k překročení pevnosti horniny v tahu při tektonických pohybech. Jsou to zejména pukliny, které vznikly při vrásnění nebo vyklenutí rovnoběžně s osou vrás ve vrcholech antiklinál. Tyto pukliny bývají otevřené a jsou významné pro oběh podzemní vody.

Tlakové pukliny jsou kolmé na směr působícího tlaku. Tlakem nastává usměrnění minerálů nebo jejich přeměna a rozpukání horniny kolmo ke směru tlaku. Hornina tak získává břidličnatost. Tlakové pukliny jsou primárně sevřené a nepropustné, takže pro oběh podzemní vody nemají význam. Mechanickým větráním se ale někdy druhotně otvírají, čímž se stávají propustnými. Tato propustnost má však velmi omezený hloubkový dosah, který odpovídá hloubce větrání.

Poslední skupinkou jsou smykové a torsní pukliny. Ty vznikají porušením hornin ve směrech diagonálních ke směru tlaku. Často jsou otevřenější než tlakové pukliny, tedy i jejich propustnost bývá větší. O nižší propustnost se jedná jen v případě, že jsou druhotně vyplněny. Jejich propustnost se uplatňuje jen lokálně, neboť nemají velký rozsah.

Dislokace vznikly porušením souvislosti zemské kůry při tektonických pochodech a podle orientace ke směru tlaku se dělí na: dislokace podélné neboli směrné a dislokace příčné.

Dislokace podélné jsou rovnoběžné se směrem vrás a vrstev a současně kolmé na směr působení tlaku. Bývají velmi rozsáhlé a sahají do velkých hloubek. Mají význam pro hluboký oběh podzemní vody. Jestliže vznikly tahovými nebo radiálními silami, bývají otevřené, jestliže vznikly tangenciálním tlakem, bývají uzavřenější. V obou případech jejich propustnost závisí na jejich výplni. Velmi propustné bývají například dislokace vyplněné brekcii a velmi nepropustné dislokace s jílovitou výplní. Do podélných dislokací se řadí směrné zlomy, vrásové přesmyky, kerné přesmyky a plochy nasunutí příkrovů.

Dislokace příčné jsou kolmé nebo diagonální ke směru působení tlaku. Bývají mělké, ale rozevřenější a díky tomu i propustnější než podélné. Jsou významné pro vznik vývěrů podzemních vod a pro jejich intenzivní oběh v malých hloubkách. Příkladem příčných dislokací by byly příčné zlomy.

Jak podélné, tak příčné dislokace bývají doprovázeny systémem puklin rovnoběžných směrů. Dislokace příčné porušují obvykle souvislost dislokací podélných a i když náležejí ke stejné tektonické fázi, bývají mladší.

Z exogenních sil se při vzniku puklin nejvíce uplatňuje gravitace, zvětrávání, odlehčení napětí v horninách při erosi, smršťování pelitických hornin a lidská činnost.

Pukliny vzniklé gravitací, vznikají na údolních svazích, kde působením gravitace nastává uvolňování bloků hornin a vznikají široké trhliny. Tyto trhliny jsou rovnoběžné s osou údolí a nazývají se pukliny uvolňovací. Přesto, že tyto pukliny většinou neprobíhají na velkou vzdálenost a ve vztahu k podzemní vodě mají tedy jen lokální význam, je třeba s nimi počítat, například při stavbě údolních přehrad, neboť jsou velmi propustné.

Mechanickým větráním hornin při mrznutí vody, obsažené v horninách, vznikají pukliny zvětrávací. Obvykle jsou predisponovány jinými puklinami, například břidličnatostmi. Pukliny, které byly původně nepropustné, se tak rozšiřují a stávají propustnými. Zvětrávací 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.

Pukliny vzniklé odlehčením napětí v horninách a vytlačováním podloží vznikají ve stlačených horninách, když se lokálně uvolní napětí a jestliže v hornině pomine pružná deformace napětím

způsobená. Dále se nacházejí například v hlubokých erozních údolích, jejichž dno sahá do hornin, které jsou plastické, tedy například do jílu, slínů,... V odlehčeném údolním dně dochází působením tlaku okolních hornin k antiklinálnímu vyklenutí, které je rovnoběžné s osou údolí. Toto vyklenutí je spojeno se vznikem zejících puklin, které probíhají pod údolním dnem rovnoběžně s jeho osou a dosahují do hloubek až několika desítek metrů pod údolní dno. Pukliny jsou značně propustné. Přesto, že obvykle nemají význam jako zdroje využitelné podzemní vody, je nutné jejich propustnost ověřit, například při zabezpečování přehradních míst proti ztrátám vody.

Pukliny smršťovací se vytvářejí smršťováním pelitických hornin, například jílu a slínů, a to i jsou-li diageneticky zpevněny v jílovce nebo slínovce. Význam mají v zemědělství, jako dočasně propustné pukliny, které umožňují napájení vyschlých pelitických hornin vodou. Provlhčením a nabobtnáním horniny se opět uzavírají a hornina se stává nepropustnou. Smršťovací pukliny jsou typické v aridních oblastech, kde jsou široké a sahají až několik metrů hluboko. Protože se po dešti uzavírají a ztrácejí tak svou propustnost, pro získání podzemní vody význam nemají.

Příkladem puklin vzniklých lidskou činností jsou například pukliny, které vznikají při trhacích pracích při rozpojování hornin na inženýrských stavbách a v lomech, dále zálomové pukliny, které vznikají porušením stability hornin zemními pracemi nebo díky důlním pracím. Tyto pukliny bývají velmi propustné. Pro získání podzemní vody význam nemají, přesto mohou někdy vážným způsobem narušit režim podzemních vod již využívaných.

Systémy puklin bývají velmi pravidelné, zejména u puklin tektonického původu a u dislokací.

Objasnění původu puklinových systémů, charakteru puklin a jejich prostorové orientace je velmi významné zejména pro návrh vrtů na vodu. (Šilar, 1975)

V krystaliniku asi převládají pukliny vzniklé jako důsledek povrchového zvětrávání (Chábera et al, 1985).

5.5 Propustnost a zvodnění hornin krystalinika

Propustnost je schopnost hornin propouštět vodu. Relativně propustné vrstvy hornin se nazývají kolektory. Opakem kolektorů jsou izolátory, tedy relativně nepropustné vrstvy. (Šilar, 1975)

Propustnost i zvodnění jsou hydrogeologické vlastnosti hornin, které závisí na jejich složení a fyzikálních vlastnostech (Šilar et al, 1983).

Horniny krystalinika mají obvykle puklinovou propustnost, která závisí především na charakteru zvětralin a na hustotě, rozevření a výplni puklin (Myslil et al, 1986). K určování rozevřenosti puklin lze využít dálkového snímání. Sledováním otevřenosti puklin na určitém místě lze získat vzor, který potom platí na rozsáhlejší území. (Rao, 2003) 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.

Jeden z nejdůležitějších aspektů, které ovlivňují zvodnění, je petrologické složení hornin, neboť to ovlivňuje například hustotu puklin, jejich otevření, jejich výplň,... Všeobecně lze říci, že puklinová síť je tím hustější, čím výraznější je foliace. (Šilar et al, 1983) Foliace je negenetické označení systémů paralelních strukturních ploch, podle kterých se hornina lupenitě až břidličnatě rozpadá (Petránek, 1993). 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 vyvěřelých hornin závisí propustnost hlavně na tom, jak byly horniny vystavěny 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 rozpukání a větrání plyne, že granitoidní horniny bývají obvykle propustnější než horniny bazické.

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. Podklady z hydrogeologických průzkumů mělkých vrstev hornin krystalinika poskytují následující údaje: Jedná-li se o pararuly, hloubka vrtů a studní se pohybuje od 5 do 30 metrů, v případě kopaných studní kolem 7 metrů. Zvětralinový pokryv je většinou kolem 5 metrů a pásmo podpovrchového rozpojení hornin bylo zastiženo v hloubkovém rozmezí 3 – 20 m, vyjímečně až do 30 metrů. U rul je hloubka vrtů a studní od 6 – 30 metrů, hlubší jsou jen ve vyjímečných případech. Zvětralinový plášť je často více suťový a písčitéjší a také většina studní končí v silně rozpukáných horninách, již méně zvětralých. Žuly mají vhodné složení zvětralin, puklinový systém je otevřený, nezatěsněný a s hlavně písčitou výplní. Hloubky vrtů jsou obvykle do 30 metrů. Kolem žulových masívů moldanubika se dají nalézt migmatity. V posledních 20 – 30 letech rychle stoupá podíl vrtů hlubokých 30 – 60 m, které využívají většinu profilu s živějším oběhem podzemní vody. (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.

Mechanické větrání přispělo i k otevření původně sevřených puklin krystalických břidlic a hlubinných vyvřelin 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.

V oblastech tvořených horninami, náchylnými při větrání ke vzniku jílových minerálů, bývá starý povrch pokryt jílovitými nepropustnými zvětralinami. Obdobné je to v granitoidních systémech, na jejichž povrchu chemickým větráním nastala kaolinizace živců. Nepropustné jílovité zvětraliny v takových územích snižují infiltraci srážek. (Šilar et al, 1983)

Vyplňuje-li puklinová voda pukliny zčásti, pohybuje se účinkem gravitace, vyplňuje-li pukliny zcela, pak se pohybuje účinkem hydrostatického tlaku. Ten vzniká v kapalině, která se vyskytuje v gravitačním poli, její tíhou. Pakliže jsou pukliny vyplněny úlomky horniny, případně pískem, proudí v nich voda podle zákonitostí vody průlinové. Ve volných puklinách je rychlost proudění vyšší než při filtraci. Závisí také na sklonu hladiny a tvaru pukliny. (Netopil et al, 1984)

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

5.6 Zvodně

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

V krystaliniku jdou vymežit dvě základní skupiny zvodní: skupinu mělkých zvodní a skupinu 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. Mělké zvodnění se vytváří například na povrchu pásma cementace se sníženou propustností. Nejběžnějším způsobem odvodnění mělkého oběhu podzemních vod je skrytý příron do uložení 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.

Časté místní zdroje vody jsou v krystaliniku také pokryvné útvary, tedy údolní nivы, svahoviny a podobně. 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)

5.7 Hydrodynamické zóny

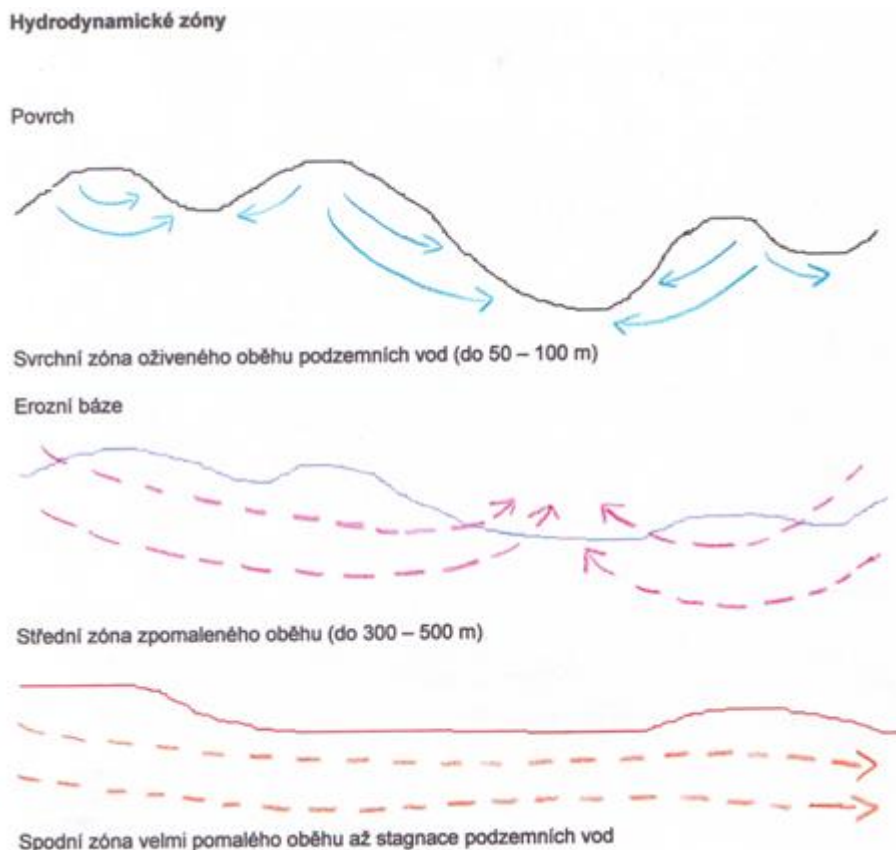
V návaznosti na zvodně můžeme ve vertikálním směru vymežit hydrodynamické zóny (Krásný, 2003).

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 zpomalně, což podmiňuje silnější mineralizaci. Často se zde setkáváme s přítomností síranů. Tato zóna má hloubkový dosah 300 až 500 metrů.

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. 13.



Obr. 14. Schéma hydrodynamických zón

5.8 Chemické a fyzikální vlastnosti podzemní vody krystalinika

Podzemní vody se v přírodě nevyskytují úplně čisté, ale jako zředěné roztoky různých minerálních a jiných látek (Chábera et al, 1985). 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 naleznout jen v domovních studních nebo vrtech. Vrty a studny mají totiž pomalejší a hlubší oběh podzemní vody, než prameny. Dominantní složkou podzemní vody krystalinika je kationt vápník, z dalších složek obsahuje sodík, draslík, hořčík, chloridy, sírany a hydrogenuhličitany. (Myslil et al, 1986) V případě, že se do sítě puklin dostane

znečištěná voda, tak se při protékání jimi nezbaví ani rozptýlených ani některých rozpuštěných látek a může tak z puklin na povrch vytékat jako závadná. Jen protékají-li puklinové vody složitým systémem puklin na velké vzdálenosti a ve velkých hloubkách pod povrchem, mohou vytékat na povrch jako čisté. (Netopil et al, 1984) 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)

Roku 1970 rozlišil J. Jetel dvě základní hydrogeochemické zóny. Svrchní neboli bikarbonátovou zónu, kde převažují bikarbonáty nad chloridy a která odpovídá zóně oživeného a zóně zpomaleného oběhu podzemních vod. A spodní zónu neboli chloridovou, kde naopak převažují chloridy nad bikarbonáty a která odpovídá zóně s velmi pomalým oběhem až stagnací podzemních vod. (Myslil et al, 1986)

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. 10 – 12 g/l do více než 1, 0. 10 – 10 g/l. (Myslil et al, 1986) Na vině v tomto případě není člověk, ale geologická stavba území (Holeček, 2003).

6. PRŮZKUM A VYHLEDÁVÁNÍ PODZEMNÍ VODY

Poznatky o poměrech výskytu podzemních vod se získávají hydrogeologickým průzkumem.

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, stavebně-investorské skupiny apod.

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, vrtní 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

To, že se v nějaké lokalitě nachází krystalinická podzemní voda nám nejčastěji prozradí podmáčená půda. V takových případech mluvíme o skrytých výronech podzemní vody. K soustředěným pramenním 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 pramenními výrony, je jejich vyhledávání celkem obtížné. Je značně náročné 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 průběžnými velkými puklinami. Pak-li, že máme v úmyslu zřídit nákladnou studnu na jímání podzemní vody z hlubinného puklinového proudění, měli bychom si výskyt této vody důkladně ověřit.

Při vyhledávání vody v krystalických oblastech se obvykle soustředíme na mělké oběhy. Je třeba rozeznávat zamáčení půdy z důvodu skrytých výronů mělké podzemní vody od zadržování povrchové vody nepropustnými vrstvami krystalinika. (Hynie, 1961)

7. ZÁSOBOVÁNÍ PODZEMNÍ VODOU

Na začátek popíši situaci s odběry podzemních vod v obecnějším pojetí, v rámci České republiky. Od roku 1989 je v České republice sledován sestupný trend v odběrech podzemní vody. Jedním z důvodů bylo pravděpodobně například zpoplatnění odběrů podzemních vod po roce 2001. Pokles byl zaznamenán ve všech kategoriích (například odběry pro úpravu a rozvod pitné vody poklesly asi o 5%), s výjimkou odběrů pro zemědělství, kde je od roku 2004 do roku 2006 zaznamenán mírný nárůst. Většina objemu celkových odběrů podzemních vod spadá do kategorie veřejné vodovody a kanalizace, jedná se o 84,2%. (Dubánek et al, 2007) Naopak zcela zanedbatelný (méně než 1%) je odběr podzemní vody pro energetiku. Energetika je dominantním odběratelem povrchových vod. Snahou je, zmiňovaný pokles v odběrech podzemních vod, co nejdříve zastavit. Zastavení je možné dotacemi směřovanými k revitalizaci dnes již technicky a provozně nevyhovujících jímacích území podzemní vody ve vybraných oblastech.

Jednou z předností podzemních vod je menší zranitelnost než u vod povrchových. Zranitelnost zdrojů je míra rizika zasažení vod škodlivými látkami nebo procesy, jež negativně ovlivní jejich jakost nebo množství do té míry, že budou dále nepoužitelné k úpravě na vodu pitnou. Nižší zranitelnost podzemních vod je dána jejich hydrogeologickou pozicí, kdy jsou zdroje chráněny přirozeným půdním pokryvem. Nižší zranitelnost podzemních vod se zejména projevuje při katastrofách, například při povodních. Také stálejší vydatnost je výhodou, například když nastane suché období. Tedy mají podzemní vody oproti vodám na povrchu výhodu ve kvantitativní zranitelnosti. Další výhodou spočívá v upravitelnosti. K úpravě na vodu pitnou je technologicky snazší a tedy ekonomicky výhodnější využívat vod podzemních. Jakost a upravitelnost povrchových vod je v porovnání s vodami podzemními horší. Zatímco parametr upravitelnosti u podzemních vod se obvykle pohybuje v relativně stabilním časovém režimu obvykle zvládnutelném navrženou technologií, u vod povrchových je upravitelnost často nepříznivě ovlivněna hydrologickými nebo klimatickými parametry. I přes použití nejlepší technologie se tak povrchová voda může snadno stát vodou v daném časovém úseku technologicky neupravitelnou. Také větší rozptýlenost zdrojů podzemních vod je výhodou. Zdroje, které byly postiženy suchem, ekologickou havárií a podobně, je snadnější nahradit než v případě výpadku velkého povrchového zdroje. (Dubánek et al, 2007)

7.1 Zásobování vodou z krystalinika

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 oblastí, kde by byla podzemní voda významným zdrojem vodních zásob a to i přesto, že se na jejím území nachází velké množství pramenů.

Jako první důvod bývá uváděn široký rozptyl pramenů. Když jsou prameny rozptýlené, jejich spojení s potrubím je příliš nákladné. Druhým důvodem je údajně malá vydatnost pramenů. Jen málo pramenů má větší vydatnost než 1 l/s. Nejvydatnější výrony jsou ze žul a cordieritických rul, a to v květnu a červnu. (Hynie, 1961)

Situace s podzemními zdroji vody pro místní zásobování by se ale měla v následujících letech změnit. 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. Potenciálními důsledky změny klimatu na vodní hospodářství a zdroje pitných vod v České republice jsou například (Dubánek, et al, 2007):

1. U vodotečí by mělo dojít ke snížení průtoků, k poklesu biodiverzity, vzestupu teploty, ke snížení samočisticího efektu, k zhoršování jakosti vod.
2. U vodárenských nádrží by měl nastat nevyrovnaný režim, měla by vzrůst teplota, což by mohlo vyvolat nepříznivé změny ve složení a charakteru vody, mělo by dojít k poklesu obsahu kyslíku, většímu rozvoji sinic a řas.
3. Očekávaná horší jakost povrchových vod z hlediska upravitelnosti a zdravotní nezávadnosti se promítá v potenciálním riziku ekonomicky neudržitelného trvalého využívání některých zdrojů povrchových vod.
4. Mělo by dojít ke snížení tvorby zásob podzemních vod v nížinách.
5. 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.

Z výše uvedeného vyplývá, že do budoucna bude tedy nejlepší, využití podzemních vod, a to ideálně krystalinika vyšších nadmořských výšek. Například tedy krystalinikum Českomoravské vrchoviny, se střední nadmořskou výškou 512 m a hodnotami základního odtoku nad $5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$, se jeví jako vyloženě perspektivní oblast. (Dubánek, et al, 2007)

Pro možnost využití do budoucna výhodných oblastí k využívání zdrojů podzemní vody, 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 vhodných k vytváření nových jímacích území v souladu s technicko-ekonomickými podklady. (Dubánek, et al, 2007)

Pravděpodobné budoucí využití podzemní vody na území Českomoravské vrchoviny je výhodné také z důvodu, že pramenitá voda krystalinika je vždy velmi dobrá pitná voda (Hynie, 1961).

8. ZÁSADY OCHRANY PODZEMNÍ VODY

Aby mohla být podzemní voda využívána pro zásobování, je nutné ji chránit.

Mezi základní preventivní opatření patří tato:

Nově budované průmyslové stavby, všechny velké inženýrské stavby, zemědělská zařízení a sklady a čerpadla pohonných hmot musejí být zabezpečeny proti unikání škodlivin. Jejich projekty musejí být doloženy posouzením, jak se jejich činnost projeví ve stavu životního prostředí.

Odpady lidské činnosti je třeba zneškodnit, případně bezpečně uložit dříve, nežli se dostanou do životního prostředí. Zásadou účinného nakládání s odpady je jejich třídění, recyklace těch, kterých lze opětovně využít a bezpečné odstranění zbývajících.

Je třeba zamezit aktivitám, které by mohly podzemní vodu nějak znehodnotit nebo narušit její hydrologický režim, případně hydraulické poměry.

Tuhé komunální odpady lze ukládat pouze na řízených skládkách opatřených v podloží nepropustným těsněním, které znemožní pronikání škodlivin, vzniklých vyluhováním vsakující srážkovou vodou do podzemní vody.

Sklady syntetických hnojiv a jiných zemědělských chemikálií lze zřizovat jedině tehdy, je-li zabráněno jejich vyluhování a šíření výluhů do okolí, tedy v geologicky vhodném terénu, kde nehrozí znečištění podzemní vody, nebo po zabezpečení nepropustnou vrstvou v podloží.

V zemědělství je snahou snížit používání syntetických hnojiv, jejichž nadbytek je z hnojených pozemků bez užítku vymýván do podzemní vody.

Je třeba zamezit vyvážení kejdy a skladování organického hnoje na propustném podloží.

Na ochranu podzemní vody byla zřízena ochranná pásma. První neboli vnitřní chrání bezprostřední okolí vodního zdroje a jímacího zařízení. Druhé neboli vnější chrání širší okolí vodního zdroje před narušením a poškozením tvorby a oběhových cest podzemní vody.

Do preventivních opatření patří také informační a osvětová činnost u správních orgánů a na veřejnosti, aby si uvědomovaly důsledky své činnosti ve vztahu k podzemní vodě a aby věděly, jak se mají zachovat při haváriích. (Šilar, 1996)

9. UPRAVITELNOST

Z provozně-technologického hlediska jde jakost surové vody určené pro výrobu vody pitné rozdělit do tří základních skupin (Dubánek et al, 2007):

- surová voda nevyžadující technologickou úpravu pouze hygienické zabezpečení
- surová voda vyžadující technologickou úpravu dle zavedených kategorií A1 - A3
- surová voda neupravitelná nejlepší dostupnou technologií

Kategorizace upravitelnosti povrchových a podzemních vod :

A-1 Jednoduchá fyzikální úprava a dezinfekce, například rychlá filtrace a dezinfekce nebo prostá písková filtrace, chemické odkyselení nebo mechanické odkyselení či provzdušňováním odstranění plynných složek,

A-2 Běžná fyzikální úprava, koagulační filtrace, chemická úprava a desinfekce, pomalá biologická filtrace, infiltrace, flokulace, usazování, filtrace, desinfekce (konečné chlorování), odželezňování a odmanganování,

A-3 Intenzivní fyzikální a chemická úprava, rozšířená úprava a desinfekce, například chlorování do bodu zlomu, flokulace, koagulace, usazování, filtrace, desinfekce (ozón, konečné chlorování), adsorpce. Kombinace fyzikálně-chemické a mikrobiologické a biologické úpravy.

Pro podzemní vody krystalinika, až na výjimky vod ovlivněných antropogenním znečištěním, je typická celkově dobrá upravitelnost nejčastěji spadající do kategorie A-1, výjimečně A-2. I z tohoto pohledu vodárenské upravitelnosti lze doporučit podzemní vody krystalinika pro širší místní zásobování pitnou vodou, jejich upravitelnost je většinou jednodušší než upravitelnost povrchové vody. (Dubánek et al, 2007)

10. ZÁVĚR

I když v současné době ještě místní zásobování obyvatel Českomoravské vrchoviny neprobíhá jen ze zdrojů podzemní vody, vize do budoucna jsou podle všeho více než dobré. K lepšímu využití krystalinických vod by měly přispět hlavně klimatické změny, díky nimž bude využití povrchových vod méně výhodné. Již dnes je možné sledovat řadu výhod podzemních vod oproti povrchovým. Například nižší zranitelnost, lepší kvalitu a podobně. Do budoucna by se negativa povrchových vod měly dále prohlubovat. Čím dál větší výhoda v zásobování podzemní vodou by měla odstartovat vlnu investic na technologie spojené s jímáním této vody. Vypadá to, že by se dokonce nemuselo jednat jen o místní zásobování, nýbrž kvalitní krystalinická voda by se mohla rozvážet i do oblastí například nížin s kvarténními zdroji, kde se změnami klimatu má přijít zhoršení i podzemních vod.

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, září 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.
- 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., Nietscheová 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.
- 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.
- Herink J., Kastner J., Červinka P., Krajíček L., Šefrna L., Rudolský J., Tomášek M., 2005, 2006. *Školní atlas České republiky*. Kartografie Praha, a. s., ISBN 80-7011-657-9, 32 str.
- Holeček M., Červinka P., Havrlant M., Jančák V., Jeřábek M., Krajíček L., Kubeš J., Novotná M., Řehák S., Valenta V., Vítek J., Votýpka J., Voženílek V., Herink J., Dzik P., Holan O., Chromý P., Ševčík J., Petřík I., Tichý I., 2003. *Zeměpis České republiky – učebnice pro střední školy*. Nakladatelství České geografické společnosti, s. r. o., Praha, ISBN 80-86034-53-4, 96 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.
- Kachlík V., 2005. *Základy geologie*. Nakladatelství Karolinum, Praha, ISBN 978-80-246-0212-7, 297 str.
- Krásný J., 1997. *Transmissivity and permeability distribution in hard rocks environment: a regional approach*. Hard Rock Hydrosystems, Proceedings of Rabat Symposium, 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.

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.

Parlament České republiky, 2001. *Zákon č. 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)*. Část první – zákon o vodách (vodní zákon) – hlava I – úvodní ustanovení - § 2 – Vymezení pojmů.

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.

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., 1996. *Hydrologie v životním prostředí*. Vydala Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava ve spolupráci s Ministerstvem životního prostředí ČR a Centrem pro otázky životního prostředí UK v Praze, ISBN 80-7078-361-3, 136 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.

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

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

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.wikipedie.cz/>, heslo Českomoravská vrchovina, 3.3.2011

<http://www.obrazky.cz/>, heslo Svratka, Dyje, Labe, 12.7. 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