KVANTIFIKACE REŽIMU PODZEMNÍCH VOD PŘI EXTRÉMNÍCH HYDROLOGICKÝCH SITUACÍCH

Miroslav Kněžek, Martina Krátká

Pro možnost hospodaření s podzemními vodami a stanovení jejich vodohospodářského významu je nezbytné kvantifikovat jejich režim. Na příkladech dvou vodoměrných profilů Metuje, Teplice n. M. (89 km^2) a Hronov (240 km^2) v křídové Polické pánvi (struktura s hlubokým oběhem a velkou akumulací) a profilu Divoké Orlice, Klášterec n. O. (155 km^2) v krystaliniku Orlických hor (struktura s mělkým oběhem podzemní vody) jsme stanovili velikosti aktivních zásob podzemní vody (objem podzemní vody nad úrovní příslušné erozní základny). Podle modelu hydrologické bilance byly určeny velikosti jejich zmenšování v obdobích poklesu, kdy je odtok z povodí tvořen výlučně dotací podzemních vod. Ukázalo se, že deficity aktivní zásoby jsou v pánevní struktuře za současných podmínek přijatelné i v extrémních případech, v krystaliniku horské oblasti však dochází až k jejímu úplnému vyčerpání. Je odvozen vztah změn zásob ke změnám hladiny podzemní vody v Polické pánvi, respektive ke změně vydatnosti pramenů v oblasti krystalinika. Podobné vyčíslování hydrologické bilance podzemních vod by mělo být postupně zavedeno ve Vodohospodářské bilanci.

Klíčová slova: základní odtok, zásoba podzemní vody, hydrologická bilance, vrt, pramen, Polická pánev, Orlické hory

Quantification of groundwater regime during extreme hydrological situations. *Proper management of groundwater resources depends on the knowledge how to calculate changes in groundwater quantity. Determination of the volume of active groundwater storage (storage above pertinent erosive base) is shown by examples of two different basins. The first type is a structure with deep circulation and huge accumulation (the Police Cretaceous basin), the second type is a structure with shallow circulation (the Eagle Mountains crystalline complex). Reduction of groundwater storage in decrease periods was computed by the SIMBA hydrological balance model. This study shows that deficits of the active storage in the basin structure are for the time being acceptable, but in the crystalline structure the active storage is often almost completely exhausted. Relation between change of groundwater storage and change of groundwater level in the Police basin was deduced, followed by another relation between change of groundwater storage and change of spring yield in the Eagle Mountains crystalline complex. Such numbering of groundwater balance should be gradually implemented in the Water Budget.*

Key words: baseflow, groundwater storage, hydrological balance, borehole, spring, the Police basin, the Eagle Mountains

---

Při předpokládaných změnách klimatu dojde k poklesu průtoků i základního odtoku, který charakterizuje odtok podzemních vod.

Pro možnost hospodaření se zdroji podzemních vod je nezbytné kvantifikovat jejich režim. ČHMÚ již vyčísluje v nejvýznamnějších hydrogeologických rajonech režim přírodních zdrojů podzemních vod ve formě průtokových ukazatelů. Připravuje další rozšíření tohoto zpracování.

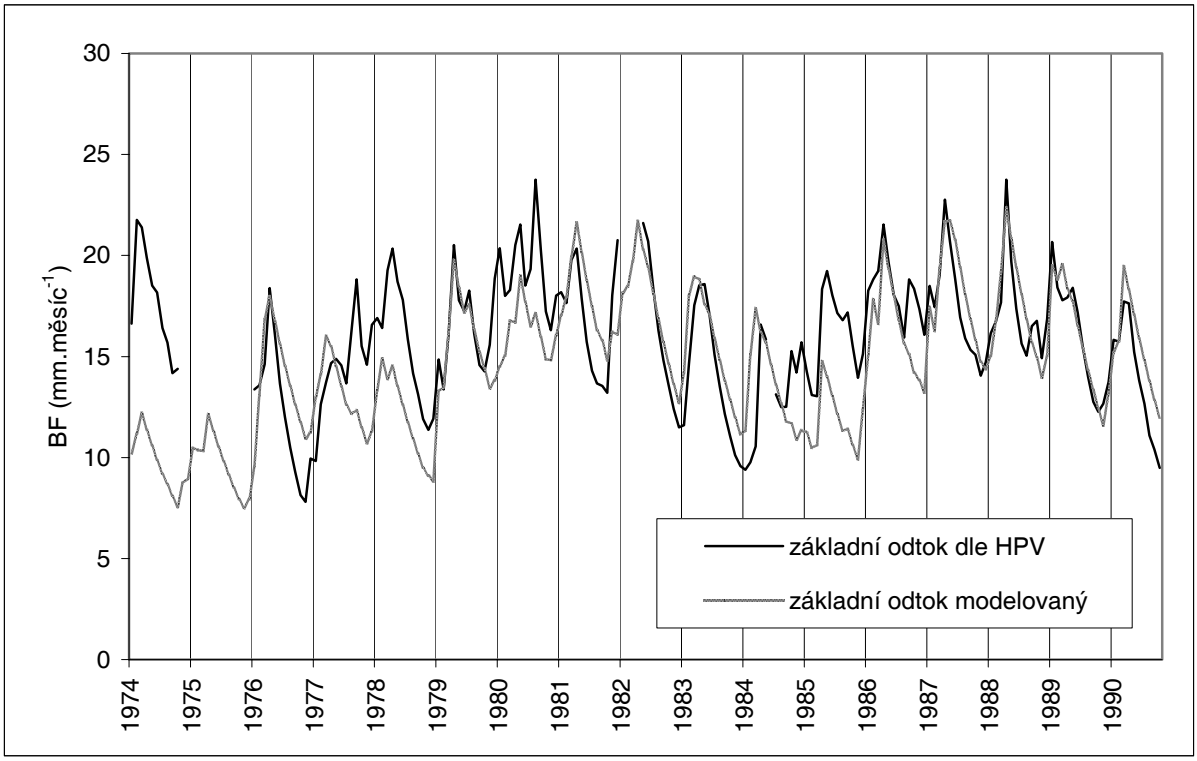
Chceme proto ukázat možnosti kvantitativního zpracování na příkladu hodnocení změn hydrologického režimu v Polické pánvi (povodí Metuje), jako oblasti s hlubokým oběhem podzemních vod a na příkladu vrcholového povodí Divoké Orlice po stanici Klášterec n. O., jako oblasti s relativně mělkým oběhem podzemní vody v krystalinické struktuře.

Polická pánev je hydrogeologicky uzavřeným křídovým rajonem o ploše 240 km^2 se třemi hlavními zvodněmi a mocností křídové výplně pánve až přes 200 m. Výpočty a modely hydrologické bilance jsou proto zcela korektní, bez nutnosti dopočítávání některého z hlavních ukazatelů režimu – v našem případě podzemního odtoku. Prakticky v jejím uzávěru je vodoměrný profil Metuje – Hronov. Její dílčí Adršpašsko-Teplická struktura je též hydrogeologicky uzavřená díky vzdouvací funkci Skalského zlomu. Z hlediska odtoku je uzavřena profilem Teplice nad Metují (M XII).

Abychom mohli použít výsledky hydrologické bilance zpracované modelem SIMBA (Kašpárek, 1998), porovnali jsme velikosti odtoku podzemních vod podle modelového řešení s jeho stanovením pomocí separace na základě vztahu režimu průtoků a hladin podzemních vod. Shoda výsledků byla tak dobrá, že pro další postup prací jsme mohli převzít údaje o změnách zásob podzemních vod z modelu (obr. 1, obr. 2). Jako zajímavost uvádíme, že z 5 vrtů použitých pro odvození separačního vztahu ukázal nejlepší výsledky vrt VS 3 Adršpach, ze struktury nad Skalským zlomem, pro oba vodoměrné profily. Pro profil Teplice n. M. to není překvapující. Pro profil Hronov však tvoří struktura nad Skalským zlomem jen 30 % plochy celého povodí. Dokládá to skutečnost, že vrt použitý k separaci odtoku, jako ukazatel režimu podzemní vody, nemusí reprezentovat skutečné kvantitativní velikosti rozkyvu hladin podzemní vody.

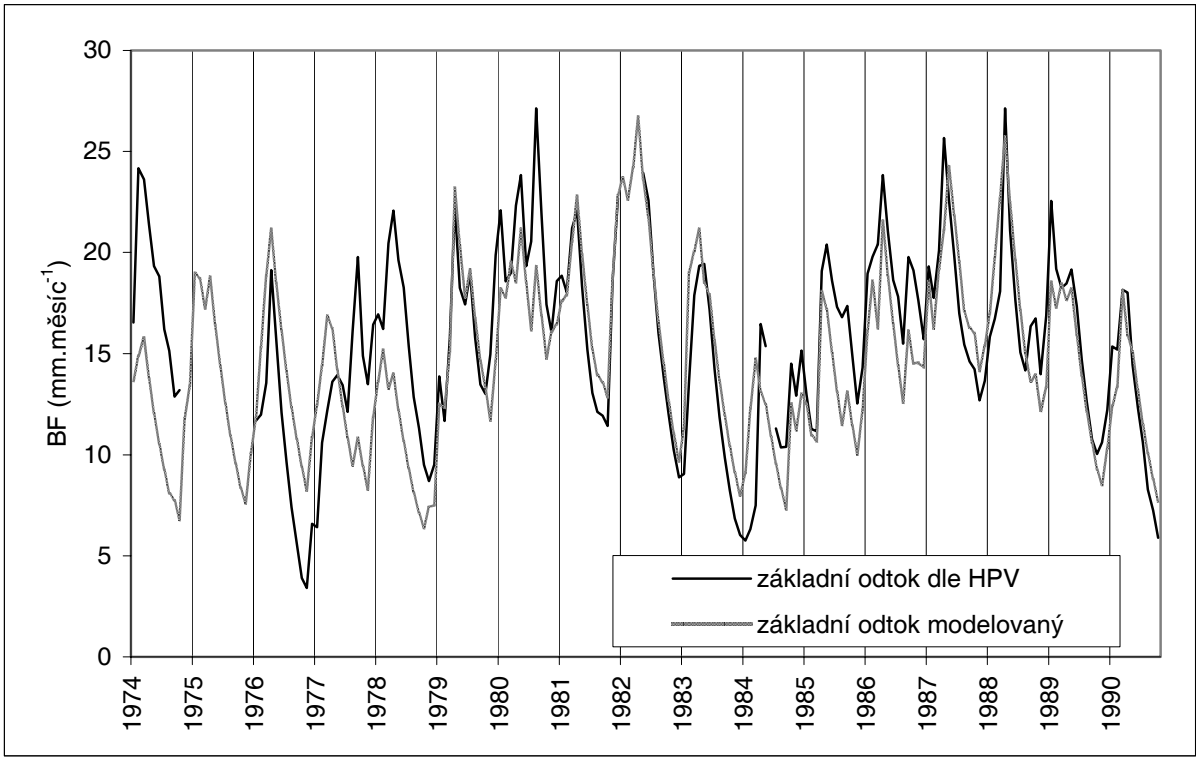
V dalším kroku jsme zpracovali vztah mezi změnou zásoby podzemních vod (velikostí odtoku podzemních vod) se změnou úrovní jejich hladiny. Abychom ověřili skutečné velikosti změn hladin podzemní vody v příslušných povodích, vybrali jsme pro vodoměrný profil Teplice n. M. (89 km^2) 8 vrtů a pro Hronov (240 km^2) dalších 10 vrtů, u nichž byla k dispozici relativně souvislá řada účelového pozorování od roku 1976 do 1990. (Uvedeny jsou plochy hydrogeologických povodí.)

Průměrné velikosti změn hladin v jednotlivých obdobích výrazných změn zásob podzemní vody umožnily odvození obecného vztahu mezi hladinami a zásobami podle modelu. Pro stanovení průměrné velikosti změn hladin jsme nebyli schopni stanovit jednotlivým vrtům rozdílné váhy významnosti podle velikosti příslušné plochy hydrogeologického ovlivnění. Dali jsme tedy pro počítání průměrů všem objektům stejnou váhu. Průměrné velikosti změn hladin v jednotlivých obdobích spolu se změnami zásoby podzemní vody jsou uvedeny v tab. l. Ukázalo se, že prakticky použitelný pro odhad deficitu zásoby podzemní vody je vztah k údajům vrtu VS 3 (obr. 3 a 4). Významné je to proto, že účelová pozorování u většiny ostatních vrtů již skončila.



Obr. 1 Základní odtok (měsíční) v profilu Teplice n. M. podle hladiny podzemní vody (HPV) ve vrtu VS 3 (Adršpach) a podle bilančního modelu, období 1974-1990

Fig. 1 Monthly baseflow in Teplice n. M. by groundwater level in the VS 3 Adršpach borehole and simulated by balance model, period 1974-1990



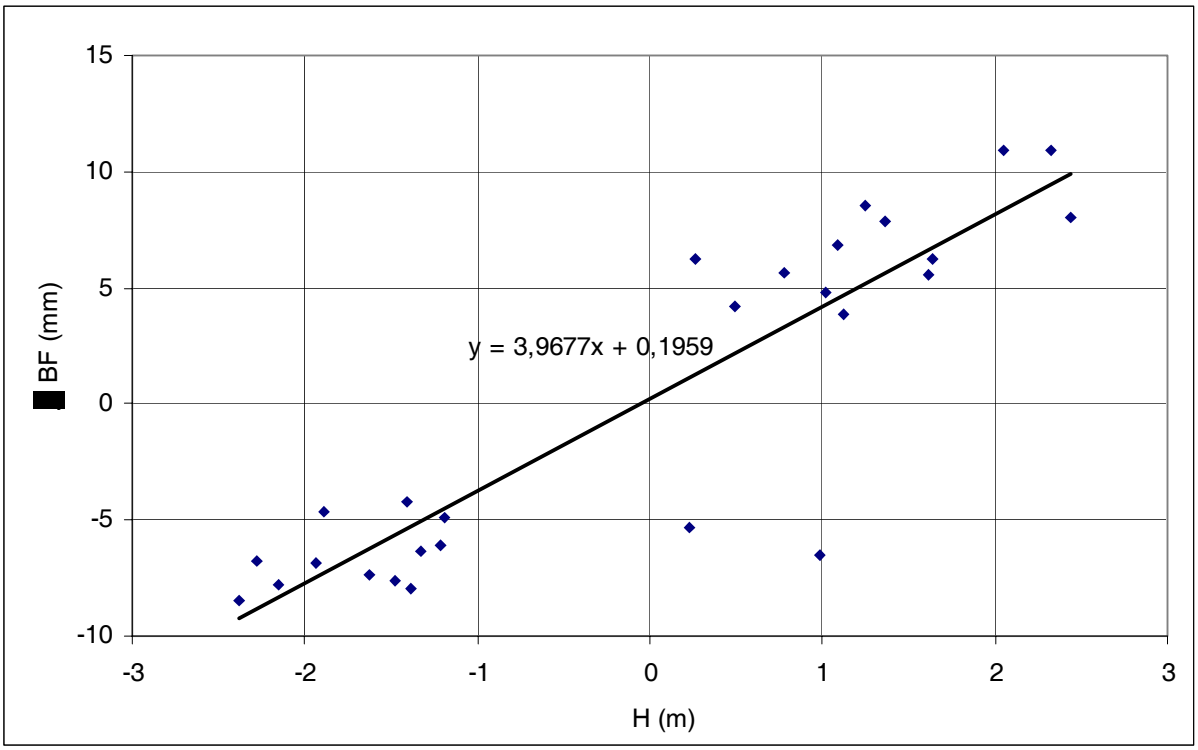
Obr. 2 Základní odtok (měsíční) v profilu Hronov podle hladiny podzemní vody (HPV) ve vrtu VS 3 (Adršpach) a podle bilančního modelu, období 1974-1990

Fig. 2 Monthly baseflow in Hronov by groundwater level in the VS 3 Adršpach borehole and simulated by balance model, period 1974-1990

Tab. 1 Vztah mezi změnou zásoby vody v povodí Δ BF a průměrnou změnou hladiny podzemní vody Δ H, pro profily Teplice n. M. a Hronov, (pro porovnání změny hladiny ve vrtu VS 3).

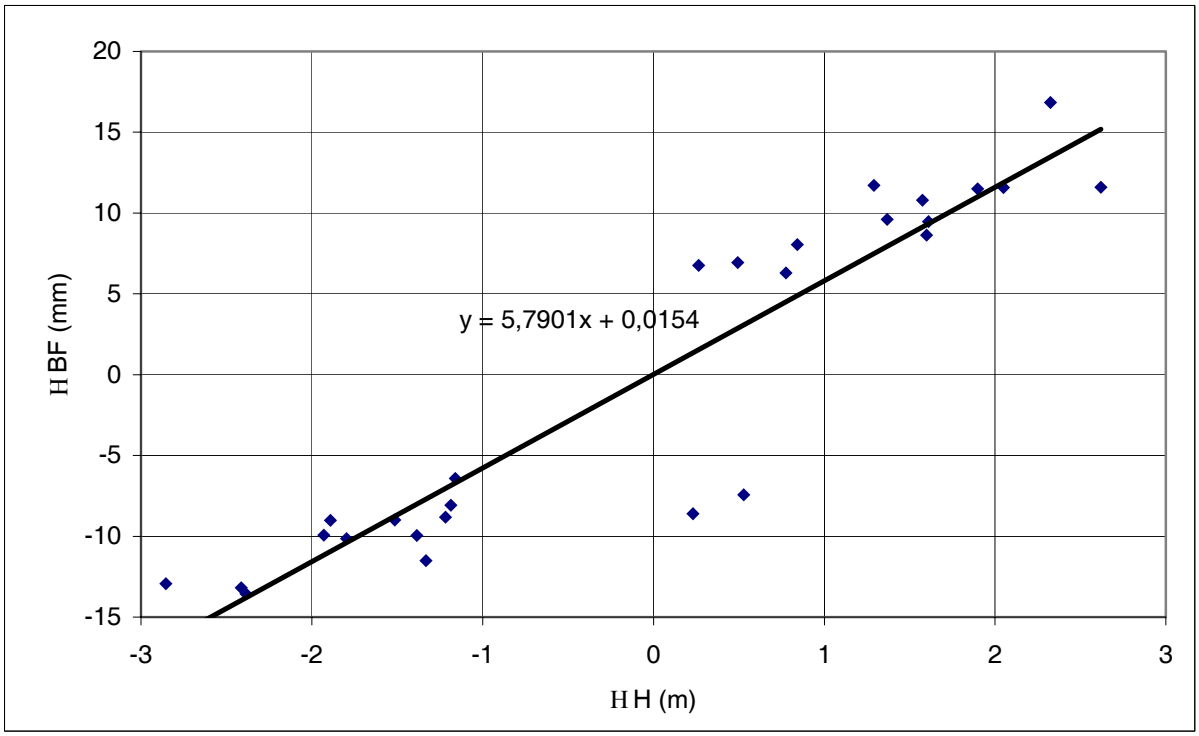
Tab. 1 Relation between change of groundwater storage Δ BF and average change of groundwater level Δ H; profiles Teplice n. M. and Hronov, (for comparison: change of groundwater level in VS 3 borehole)

P. č.	Období	Δ BF (mm)		Δ H (m)		Δ H (m)
		Teplice n. M.	Hronov	Teplice n. M.	Hronov	VS 3
1	4.76–11.76	-6,76	-12,93	-1,83	-2,05	-2,60
2	3.77-11.77	-5,31	-8,59	-1,82	-2,15	-1,60
3	2.78-12.78	-6,08	-8,82	-1,53	-1,88	-1,55
4	12.78-4.79	10,95	16,83	2,86	3,79	2,82
5	4.81-10.81	-6,82	-9,94	-1,98	-2,45	-2,45
6	4.82-12.82	-9,00	-17,04	-2,53	-3,17	-2,90
7	12.82-3.83	6,26	11,49	1,72	2,32	2,42
8	3.83-12,83	-7,80	-13,19	-1,56	-2,19	-2,70
9	3.84-11.84	-6,50	-7,44	-1,05	-1,28	-2,25
10	11.85-4.86	10,88	11,56	2,41	1,65	3,26
11	4.86-12.86	-7,58	-9,00	-1,06	-1,23	-
12	12.86-5.87	8,54	11,70	2,67	2,81	2,50
13	5.87-12.87	-7,36	-10,14	-2,41	-2,84	-2,84
14	12.87-4.88	7,99	11,60	2,25	2,73	2,65
15	4.88-11.88	-8,43	-13,56	-3,05	-3,76	-3,05
16	3.89-11.89	-7,98	-9,94	-1,80	-2,36	-2,50
17	11.89-3.90	7,88	9,60	1,45	1,70	2,34



Obr. 3 Vztah mezi změnou výšky hladiny ve vrtu VS 3 (Adršpach) a změnou zásob (základního odtoku modelovaného) v profilu Teplice na Metuji, 1974–1990

Fig. 3 Relation between change of groundwater level in the VS 3 Adršpach borehole and change of groundwater storage (simulated baseflow of Metuje River in Teplice n. M.), period 1974-1990



Obr. 4 Vztah mezi změnou výšky hladiny ve vrtu VS 3 (Adršpach) a změnou zásob (základního odtoku modelovaného) v profilu Hronov na Metuji, 1974–1990

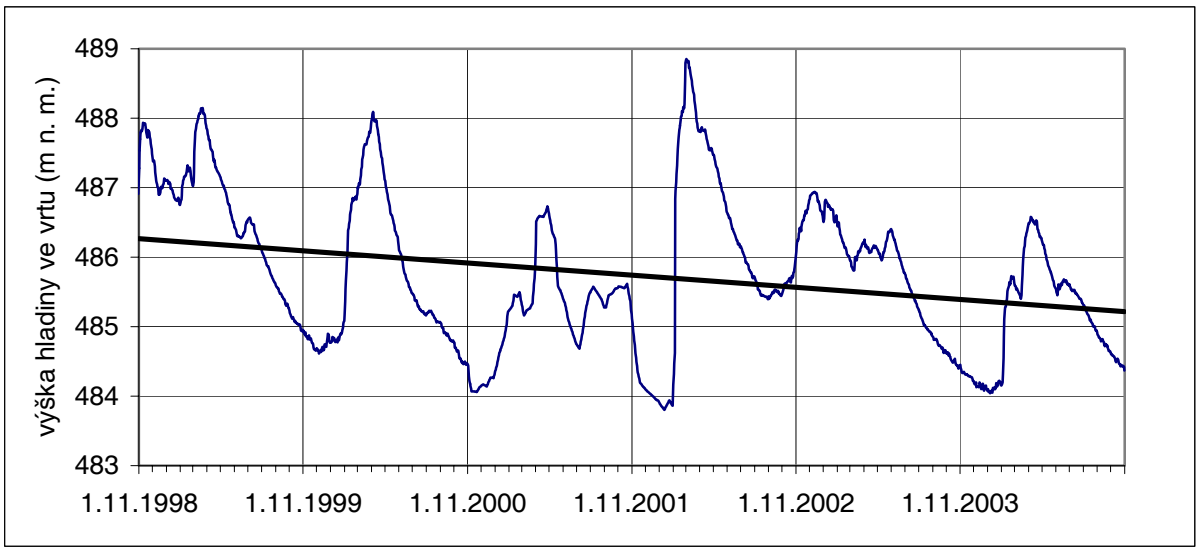
Fig. 4 Relation between change of groundwater level in the VS 3 Adršpach borehole and change of groundwater storage (simulated baseflow of Metuje River in Hronov), period 1974-1990

Výsledky jsme následně srovnávali se skutečnými aktivními přírodními zásobami podzemní vody (objem podzemní vody nad úrovní příslušné erozní základny) v povodích, vyčíslenými podle výsledků matematického modelu, zpracovaného Milickým a Uhlíkem (2001). Ty jsou pro profil Teplice n. M. 24.10^6 m^3, pro Hronov 79.10^6 m^3.

Největší pokles zásob podzemní vody podle modelové bilance byl v hodnoceném období pro profil Teplice n. M. 9,0 mm, tj. $0{,}80.10^6$ m^3. Odpovídající průměrný plošný pokles hladin ΔH byl 2,21 m. Obdobné výsledky pro profil Hronov jsou 17,04 mm – $4{,}09.10^6$ m^3, ΔH 2,94 m.

Porovnáme-li tyto poklesy zásob s velikostí aktivních zásob, vidíme, že u profilu Teplice n. M. – díky velké zásobě v Adršpašsko-Teplické struktuře – tvoří největší pokles z celého hodnoceného období jen 3,3 % aktivní zásoby. U profilu Hronov je to 5,2 %.

K hodnocenému období 1976-1990 jsme pro srovnání přiřadili výsledky z hydrologického roku 2004. Pokles zásob podzemní vody byl pro profil Teplice n. M. $6{,}48.10^6$ m^3, tj. 27 % celkové průměrné aktivní zásoby, pro Hronov 29,44. 10^6 m^3, tj. 37 % celkové průměrné aktivní zásoby. Pokles pokračoval i další měsíc, ne však již výrazně. Na obr. 5 je vidět, že úrovně hladiny podzemní vody na začátku odtoku ze struktury byly v posledních letech stále nižší, v roce 2004 o 2,26 m než v roce 2002. To na jedné straně sice zhruba odpovídá velikosti roční dotace odtoku podzemními vodami, na druhé straně to však je přibližně 5 % celkové aktivní zásoby. Za dosavadních klimatických podmínek tedy nedochází ke kritické situaci. (Jak se ukázalo, hladiny v dubnu 2005 o 15 cm přesáhly jejich maximum v roce 2004.) Pokud by se však stal trend posledních tří až pěti let normálním, při prognózované klimatické změně, byla by to varující skutečnost.



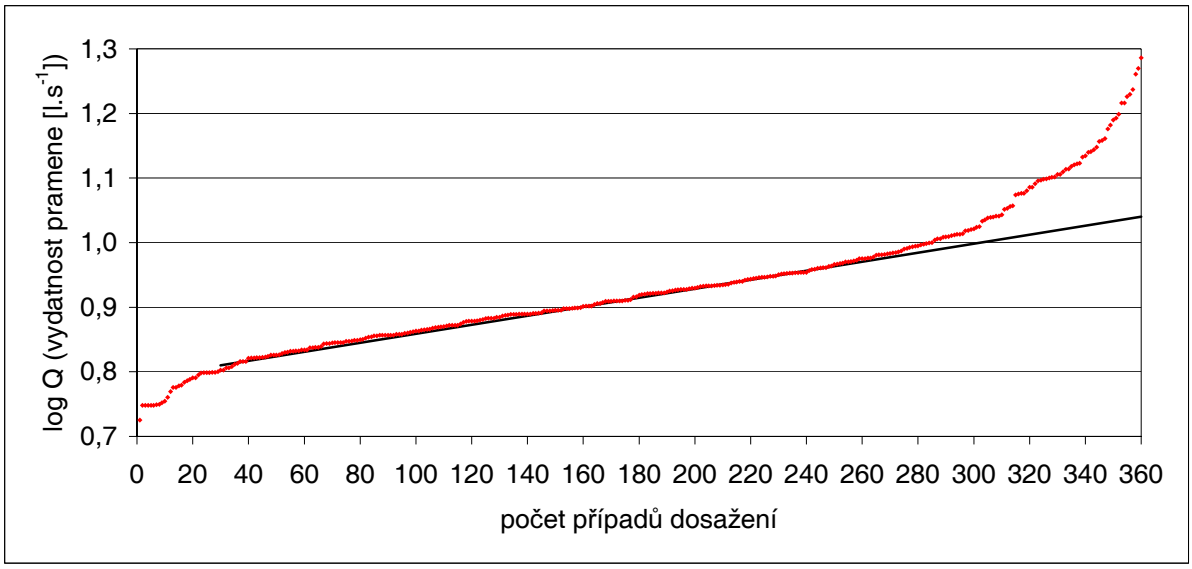
Obr. 5 Průběh výšky hladiny podzemní vody ve vrtu VS 3 Adršpach, období 1999-2004

Fig. 5 Trend of groundwater level in the VS 3 Adršpach borehole, period 1999-2004

Povodí Divoké Orlice po Klášterec n. O. odpovídá řádově svou velikostí 155 km^2 velikosti povodí Metuje v Polické pánvi, je však tvořené krystalickými horninami a z hydrogeologického hlediska je jeho protikladem. Je to převážně horské povodí, kde zejména velikost srážek (roční úhrn více než 1100 mm - Polická pánev 732 mm) umožňuje relativně pravidelné doplňování zásob podzemních vod. Jejich maximální akumulace je přibližně 40 až 50.10^6 m^3, vlivem velkých sklonů k místním erozním základnám je skutečně využitelná akumulace odhadována zhruba na 10 % maximální hodnoty.

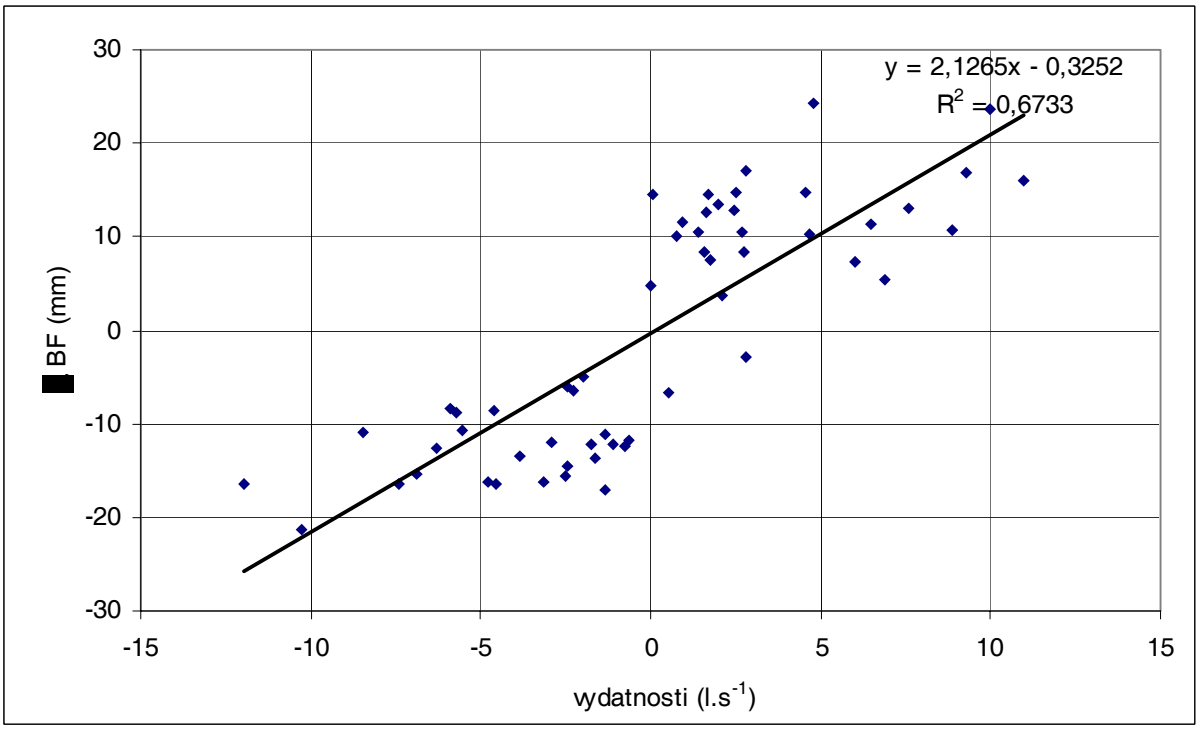
Pro posouzení přirozených akumulačních možností tohoto povodí jsme zpracovali vztahy mezi poklesem zásob podzemní vody (podle bilančního modelu) a poklesem vydatnosti tří pozorovaných pramenů.

Vzhledem k tomu, že horské prameny jsou ovlivňovány ve svých maximálních hodnotách povrchovým a hypodermickým stokem, očistili jsme pozorované hodnoty od tohoto vlivu Killeho metodou (obr. 6). Očištěné vydatnosti pramenů umožnily praktickou použitelnost vztahu mezi vydatností pramene a poklesem zásoby podzemní vody (obr. 7).



Obr. 6 Separace základního odtoku z vydatnosti pramene dle Killeho, Klášterec n. O., pramen PP0043, měsíční hodnoty, 1971–2000

Fig. 6 Separation of baseflow from spring yield (Kille method); Klášterec n. O. – spring no. PP0043; monthly values from the period 1971-2000



Obr. 7 Vztah mezi změnou vydatnosti pramene PP0043 a změnou zásob (základního odtoku modelovaného) v profilu Klášterec na Divoké Orlici, 1971–2000

Fig. 7 Relation between change of spring yield (spring no. PP0043) and change of groundwater storage (simulated baseflow of Divoká Orlice River in Klášterec n. O.); period 1971-2000

Maximální pokles zásoby za modelované období 1971–2000 byl 22 mm, čemuž odpovídá množství podzemních vod $3{,}41.10^6$ m^3.

Pro zajímavost uvádíme, že při nejnižším dosaženém stavu zásob byl modelový průtok 0,42 m^3/s (2,7 $l/s/km^2$), což jsou hodnoty dobře odpovídající údajům podle Hydrologických poměrů ČSR (Q_{355} = 0,44 m^3/s). Pro porovnání uvádíme, že průměrná velikost podzemního odtoku podle bilančního modelu i odvození podle vztahu k vydatnosti pramenu je 1,05 m^3/s (6,8 $l/s/km^2$), což je 33 % odtoku celkového. Rovněž tyto údaje velmi dobře odpovídají dlouhodobým charakteristikám (ČHMÚ, 1982). Porovnáme-li max. pokles zásoby v řešeném období o $3{,}41.10^6$ m^3 s odhadovanou disponibilní zásobou 4 až 5 . 10^6 m^3, vidíme, že dotační možnosti tohoto povodí jsou prakticky vyčerpány již za současných poměrů a nelze počítat s vyrovnávacím účinkem podzemní akumulace při změně klimatických poměrů.

Změny v režimu přírůstku podzemních vod – změny odtoku podzemních vod – je obecně možno prognózovat podle výtokových čar, u nichž bychom začátek snížili úměrně poklesu hladiny podzemní vody odvozenému předloženým postupem.

Literatura

Kašpárek L. (1998): Regional Study on Impacts of Climate Change on Hydrological Conditions in the Czech Republic. Práce a studie, sešit 193, T.G.M. Water Research Institute, Praha.

Kolektiv autorů (1982): Odtok podzemní vody na území Československa, ČHMÚ, Praha.

Milický M., Uhlík J., Kryza J. (2001): Vnitrosudetská deprese – hydrogeologické a hydrologické hodnocení, modelové řešení proudění podzemní vody. Progeo s.r.o., Praha.

Autoři

Ing. Miroslav Kněžek, CSc. – Hydrologie, Armádní 848, 165 00 Praha 6 - Suchdol

Ing. Martina Krátká – Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.M., Podbabská 30, 160 62 Praha 6, martina_kratka@vuv.cz