

Metodika stanovení využitelného množství podzemních vod na příkladě zhodnocení povodí Ploučnice, Kamenice a Křinice v severočeské křídě

JARMILA JETELOVÁ* — PAVEL URBÁNEK**

Méthode de détermination de la quantité exploitable d'eaux souterraines par l'évaluation du bassin versant de Ploučnice, Kamenice et Křinice situé dans le Crétacé de la Bohème du Nord

Sur la base des résultats de la prospection hydrogéologique régionale exécutée dans le bassin versant d'âge crétacé de Ploučnice, Kamenice et Křinice, on a évalué la quantité exploitable d'eaux souterraines en catégories C₂, B—C₁ par la méthode hydrologique, hydraulique (à l'aide de l'analyse structurale des modèles) et hydrodynamique en tenant compte de technique contemporaine de prise d'eau.

Метод становления используемого количества подземных вод на основании оценки долин рек Плуучицы, Каменицы и Кржиницы в северочешском меле

На основании результатов региональной гидрогеологической разведки в долинах рек Плуучицы, Каменицы и Кржиницы в Чешском меле для оценки используемого количества подземных вод категории C. B—C были применены гидравлические и гидродинамические методы с учетом современных технических возможностей задерживания.

Nejvydatnější zdroje podzemních vod v Čechách jsou vázány na českou křídovou pánev, a to především na lužickou faciální oblast, jejíž příznivý litologický vývoj umožňuje vytváření zvodní o značném rozsahu a mocnosti. Nejrozsáhlejší částí této oblasti je území náležící povodí řek Ploučnice, Kamenice a Křinice, které jsou pravostrannými přítoky Labe. Celková plocha území činí 1461,10 km². V letech 1967—1972 zde proběhl základní hydrogeologický průzkum, v jehož rámci byly provedeny hydrogeologické vrtý s přítokovými zkouškami, hydrogeologická měření, režimní sledování hladiny podzemní vody a hydrochemický průzkum, podle jejichž výsledků bylo stanoveno využitelné množství podzemních vod.

Přehled hydrogeologických poměrů

Vrstevní sled svrchnokřídových hornin a jejich podloží se podle hydrogeologické funkce člení na hydrogeologické kolektory, které umožňují pohyb vody horninou a hydrogeologické izolátory, které jsou ve srovnání se sousedícími kolektory řádově méně propustné. Podloží křídý tvořen

* Prom. geol. Jarmila Jetelová, CSc, Stavební geologie, n. p., Praha

** Ing. Pavel Urbánek, Stavební geologie, n. p., Praha

krystalinikem nebo permokarbonskými horninami má převážně funkci izolátoru. Na ně nasedají conomanské pískovce, které představují kolektorský komplex. Spodnoturonské pelitické sedimenty mají funkci izolátorů, oddělujících cenomanské kolektory od kolektorů středního, popřípadě spodního a středního turonu. Pelity svrchního turonu jsou izolátory. Horniny coniacu až santonu se projevují jako komplex s přechodnou hydrogeologickou funkcí. Dvě hlavní zvodně zájmového území se vytvořily v kolektorech cenomanu a středního turonu. Cenomanská zvodně má v celém území hladinu napjatou, její mocnost se pohybuje od 40 do 100 m; turowská zvodně má v pokleslých tektonických krácích (se stratigrafickým sledem hornin od cenomanu do coniacu, popříp. santonu) hladinu napjatou a její mocnost zde dosahuje až 450 m. V území, kde je zachován stratigrafický sled svrchnokřídových sedimentů od cenomanu po střední turon, má turowská zvodně hladinu volnou. Její celková mocnost činí několik desítek až sto metrů. V coniacu se vytváří několik menších zvodní lokálnějšího rozsahu, zatímco turowská a cenomanská zvodně jsou rozšířeny po celé ploše území.

V centrální části území jsou coniacke zvodně prostřednictvím netěsného artéského stropu v hydraulické spojitosti s turowskou zvodní.

Přehled průměrných regionálních hodnot hydraulických parametrů je uveden v tabulce 1.

Koeficienty filtrace byly vypočteny metodami vycházejícími z ustáleného a neustáleného proudění k vrtu. Účinná pórovitost byla stanovena na základě hodnocení laboratorních měření distribuce pórů. Z hodnot účinné pórovitosti byly odvozeny pravděpodobné hodnoty koeficientu hladinových změn a koeficient tlakové vodivosti (J. JETELOVÁ 1972).

Směry proudění v turowské zvodni jsou v přímé souvislosti s říční sítí. Podzemní voda sestupuje od lužické poruchy směrem do pánve, kde se směry proudění stáčí podél vodních toků, takže vytváří soustředěný proud podzemní vody v údolích hlavních vodotečí. Směry proudění v cenomanské zvodni nejsou již bezprostředně ovlivňovány sítí povrchových toků, i když hlavní směry proudění, t. j. spád od lužické poruchy generálně k Labi, zůstávají zachovány.

Vody v kolektorských horninách turonu jsou převážně typu kalcium-bikarbonátového a náleží typu $C_{II}Ca$ v klasifikaci O. A. ALEKINA (1948), charakteristickém pro zóny s oživeným oběhem podzemních vod. Celková mineralizace nepřesahuje obvykle 300 mg/l rozpuštěných látek. Svými vlastnostmi vyhovují vody kritériím ČSN pro pitné vody. Vody cenomanu jsou stejného typu, avšak v některých oblastech mají zvýšenou radioaktivitu v rozmezí 10–30 p Ci/l.

Stanovení využitelného množství podzemních vod

Využitelná množství podzemních vod pro centrální velké odběry jsou vázána především na turowskou zvodně, popřípadě na zvodně coniacu-turowskou. Cenomanská zvodně je pokládána vzhledem k zvýšené radioaktivitě za nebilanční. Při hodnocení využitelného množství byla nejprve stanovena hydraulickou metodou velikosti přírodních zdrojů. Poté byla v jednotlivých povodích stanovena využitelná množství podzemních vod s ohledem na ekonomické možnosti jímání, vyplývající z přírodních hydrogeologických poměrů zvodní.

Přírodní zdroje jsou dány napájením obzoru, jsou v čase proměnné; před povrchovým odvodněním (nebo odběrem) tvoří trvalý průtok horninou.

Stanovení přírodních zdrojů bylo provedeno vzhledem k rozsáhlosti zkoumaného území a charakteru zvodnění hydrologickou metodou, doplněnou při hodnocení dílčích, hydrogeologicky neuza-
vřených povodích, výpočtem průtoku podzemní vody Darcyho rovnice $Q = F \cdot k \cdot I$. Byly sestaveny zkrácené bilanční rovnice ve tvaru:

$$s = (O_1 + O_2) + O_3 - P_{12} - P_3 + S_p + ET$$

kde s srážkový úhrn

$(O_1 + O_2)$ povrchový odtok (včetně podzemní vody, která se povrchově odvodňuje do vodoteče)

O_2 podzemní odtok povrchově se odvodňující do vodoteče,

O_3 průtok podzemní vody,

P_{12} povrchový přítok (včetně podzemní vody povrchově se odvodňující do vodoteče),

P_3 přítok podzemní vody (průtok podzemní vody)

s_p spotřeba podzemní vody

ET celkový výpar

Tabulka 1

hydraulické parametry	turon			cenoman		
koeficient filtrace (m/s)	celé území $2,5 \cdot 10^{-5}$			povodí Ploučnice a horní Kamenice $9,3 \cdot 10^{-6}$	povodí dolní Kamenice $2,2 \cdot 10^{-5}$	povodí Křinice $4,1 \cdot 10^{-6}$
účinná pórovitost %	celé území 0,17			celé území 0,21		
koeficient storativity S	povodí Ploučnice a horní Kamenice $1 \cdot 10^{-3}$			celé území $1,8 \cdot 10^{-4}$		
koeficient pružné kapacity $\beta^*)$ (m^2/kp)	povodí Ploučnice a horní Kamenice $2,9 \cdot 10^{-9}$			celé území $3 \cdot 10^{-9}$		
koeficient hladinových změn (m^2/s) a	povodí Ploučnice $1,5 \cdot 10^{-3}$ $9,56 \cdot 10^{-1}$	povodí dol. Kamenice $2,5 \cdot 10^{-2}$	povodí Křinice $1,5 \cdot 10^{-2}$			
koeficient tlakové vodivosti α (m^2/s)	povodí Ploučnice a horní Kamenice 10			povodí Ploučnice a horní Kamenice 0,5	povodí dolní Kamenice 1,2	povodí Křinice 0,2

*) Koeficient filtrace spodnoturonských izolátorů se pohybuje v hodnotách řádu 10^{-8} m/s.

Plošné rozložení srážek (s) v zájmovém území bylo vyšetřeno stanovením ročních úhrnů srážek za jednotlivé hydrologické roky období 1961—1971 a průměrného ročního srážkového úhrnu za třicetiletí 1931—1960 polygonovou metodou a výsledky byly korigovány $0 + 4\%$ s ohledem na vliv větru.

Určení podzemního odtoku (O_2) + odtoku celkového ($O_1 + O_2$) bylo provedeno separací hydrogramu v profilech vodoměrných stanic základní pozorovací sítě HMÚ, doplněné účelovými vodoměrnými stanicemi provozovanými v rámci řešení tohoto úkolu. Separace hydrogramu vycházela z průměrných denních průtoků za období 1961—1971 v povodí Ploučnice a za období 1963—1971 v povodí Kamenice.

Průtok podzemní vody (O_3 , P_3) a povrchový přítok (P_{12}) byl stanovován jen pro bilancování hydrologicky neuzavřených povodí.

Údaje o spotřebě podzemní vody (S_p) v jednotlivých povodích a mezipovodích byly sestaveny na základě soupisu odběrů podzemní vody.

Celkový výpar (ET) byl pro kontrolu počítán podle vzorce Turcova.

Na základě sestavených zkrácených bilančních rovnic byly zjištěny hodnoty infiltrace (infiltračního součinitele), představující množství srážkové vody, která se po zasáknutí zúčastňuje oběhu podzemní vody. Získané hodnoty uvádíme v tabulce 2.

Tab. 2

místo, povodí	k_{inf}	období použité pro výpočet
Stráž pod Ralskem-Ploučnice	0,28	1961—1971
Benešov n. Pl. — Ploučnice	0,20	1961—1971
Hřensko—Kamenice	0,33	1963—1971

Stanovených hodnot k_{inf} bylo použito pro odvození dlouhodobých průměrných hodnot přírodních zdrojů podzemních vod. Vycházeli jsme přitom z předpokladu, že koeficient infiltrace atmosférických srážek je v použitých obdobích stejný (1961—1971, 1963—1971, 1931—1960). Výsledky jsou uvedeny v tabulce 3, spolu s dalšími potřebnými údaji.

Hodnoty z výše uvedené tabulky byly pak výchozími údaji pro stanovení využitelného množství podzemních vod. Přírodní zdroje v celém území činí 7500 l/s. Využitelné množství podzemních vod

Dlouhodobé průměrné hodnoty přírodních zdrojů podzemní vody (období 1931—1960)

Tab. 3

oblast, povodí	plocha	k_{inf}	srážkový úhrn 1931—1960		odvezené hodnoty přírodních zdrojů podzemní vody
	km ²		1,00	1,04	
			mm		m ³ /s
Ploučnice	1155,93	0,20	687	714	5,156
horní Kamenice coniak	120,96	0,33	857	891	1,127
dolní Kamenice turon	96,23	0,33	757	787	0,793
Kamenice (celá)	217,19	0,33	813	846	1,920
Křínice-turon	48,61	0,33	796	828	0,421

je podstatně nižší, neboť morfologické, geologické a hydrogeologické poměry neumožňují větší využití. V oblastech, kde je křídový útvar zastoupen od cenomanu po střední turon, je při okrajích pánve malá zvodnělá mocnost a nižší koeficienty filtrace, takže k získání větších množství podzemní vody jsou vhodnější střední části pánve, kde je vyšší propustnost a mocný proud podzemní vody. Pro větší centrální odběry z turonské zvodně jsou prozatím vyloučeny oblasti, kde střední turon je kryt 200–300 m mocnými mladšími křídovými sedimenty. V těchto oblastech by bylo nutno jímát vodu vrty hlubokými až 300 m; navíc má voda v turonských kolektorech těchto oblastí teplotu zvýšenou nad 12 °C, takže není vhodná k pitným účelům. Dále jsou z jímání vyloučeny oblasti, kde je hladina podzemní vody zakleslá hluboko (80–100 m) pod terén, jako např. v povodí Kamenice. Při výběru jímacích oblastí byla tedy soustředěna pozornost na údolí vodních toků a terénní deprese, kde hladina turonské zvodně dosahuje terénu nebo je pod ním mělce zakleslá. Vzhledem k ekonomičnosti odběru byla jako jímací oblasti brána v úvahu pouze ta místa, kde je možno situovat řady vrtů, kde jedním vrtem lze odebírat aspoň 20 l/s při maximálním snížení do 40 m pod terén. Tak bylo v zájmovém území vyčleněno celkem 14 jímacích oblastí s celkovým návrhem na odběr 2150 l/s, z toho v kategorii B—C₁ 355 l/s, v kategorii C₁ — C₂ 1175 l/s a v kategorii C₂ 620 l/s.

Do kategorie B — C₁ je zahrnuto využitelné množství, které bylo ověřeno modelovou zkouškou (J. MUCHA et al. 1972) (jímací oblasti v povodí Křínice a dolní Kamenice). Do kategorie C₁—C₂ bylo zařazeno množství vody, vypočtené v jednotlivých jímacích oblastech v povodí Ploučnice podle počtu vrtů a odběrovým množstvím z nich zabezpečené dostačujícími přírodními zdroji, vypočtenými hydrologickou metodou pro každou jímací oblast. Do kategorie C₂ jsou pro větší faciální rozmanitost svrchní křídly a tím nižší stupeň znalostí geologických poměrů zahrnuty odběry z jímacích oblastí z povodí horní Kamenice. Dále do kategorie C₂ náleží přírodní zásoby vypočtené na základě hodnot účinné pórovitosti pro objem horniny depresního kužele, vypočteného při modelové zkoušce v povodí Křínice a dolní Kamenice. Vztah navrhaného využitelného množství k velikosti vypočtených přírodních zdrojů dokumentuje tabulka 4.

Tab. 4

	povodí Ploučnice	povodí horního toku Kamenice	povodí dolní Kamenice a Křínice
vypočtené přírodní zdroje	5 16 l/s	1 130 l/s	1 210 l/s
využitelné množství přírodních zdrojů včetně stávajících odběrů	1 470 l/s	350 l/s	546 l/s
percento využití přírodních zdrojů	28 %	31 %	45 %

Při výpočtech do vyšších kategorií se zvyší využitelné množství o přírodní (statické) zásoby v každé konkrétní jímací oblasti.

Režimní změny hladin, projevující se v jejich kolísání v rozpětí 1 m, nemají při 100–300 m mocnostech turonské zvodně na uvedené výpočty využitelného množství žádný vliv.

Závěr

Stanovení velikosti přírodních zdrojů a využitelného množství podzemních vod jsou dva samostatné problémy. Určení procenta využitelnosti přírodních zdrojů bez podrobnějších úvah o technických a přírodních podmínkách odběru, jak se někdy dříve objevovalo v závěrečných hodnoceních, není postačující. V zájmové oblasti byla proto věnována pozornost územím s mělce zakleslými hladinami podzemní vody v prostředí s dobrou propustností, které umožní, aby jedním vrtem bylo odebíráno aspoň 20 l/s. Celkový odběr vody z jednotlivých jímacích oblastí pak musí být v souladu s přírodními zdroji, které jsou v jímací oblasti k dispozici.

Doručené 18. 3. 1974

Odpověděl V. Hanzel

- ALEKIN, O. A. 1948: Obščaja gidrochimija. Leningrad, Gidrometeoizdat, 120 s.
 JETELOVÁ, J. 1972: Závěrečná zpráva o regionálním hydrogeologickém průzkumu v povodí Ploučnice, Kamenice a Křínice. Praha, 200 s.
 MUCHA, J. — KŘÍŠTOFIČ, E. — PAVELEK, R. 1972: Modelovanie v oblasti Kamenice. Manuskript — Geologický ústav PF UK Bratislava, 32 s.

Methods for the determination of exploitable groundwater resources in the basins of rivers Ploučnice, Kamenice and Křínice in the Cretaceous of North Bohemia

The most abundant groundwater resources in Bohemia occur in the Bohemian Cretaceous Basin, especially in the Lusatian region where groundwater bodies of considerable extent and thickness are developed owing to favourable lithology.

In the basins of the rivers Ploučnice, Kamenice and Křínice (total area: 1,461 km²) in North Bohemia, basic hydrogeologic exploration with boreholes, pumping tests, hydrologic measurements and periodical observations of water levels and water chemism has been carried out. The Upper Cretaceous pelitic-psammitic complex, underlain by the crystalline basement or by the Permocarbo-niferous, is dissected to many tectonic blocks of different throw. Main groundwater bodies forms Cenomanian and Middle Turonian aquifers. The Cenomanian groundwater body of a thick-ness of 40—100 m is confined (artesian). In the sunken blocks, the Turonian groundwater body is also confined and its thickness reaches up to 450 m. In other blocks, the Turonian water body is unconfined. The mean hydraulic conductivity is 2.5×10^{-5} m/s in the Turonian sandstones and 1.2×10^{-5} m/s in the Cenomanian sandstones. The hydraulic conductivity of the Lower Turonian aquitards is approximately of the order of magnitude of 10^{-8} m/s.

The groundwater in the Cenomanian and Turonian aquifer is of calcium-bicarbonate type, with increased radioactivity (10—30 pCi/l), in the Cenomanian.

The groundwater resources exploitable by large centralized withdrawal systems are linked with the Turonian and Coniacian-Turonian groundwater bodies. The exploitable resource evaluation started by the determination of the natural resources (natural groundwater runoff). The exploitable resources in individual basins have then been determined with regard to the economic conditions of exploitation resulting from hydrogeologic conditions. In view of the extent and the hydrogeology of the studied region, a hydrologic method for the determination of the natural resources has been used. The evaluation in hydrogeologically unclosed areas was complemented by groundwater flow determination using the Darcys equation

$$Q = k \times I \times F$$

(Q = groundwater flow, k = hydraulic conductivity, I = hydraulic gradient, F = cross — section).

Areal distribution of precipitations, groundwater runoff separated from streamflow hydrograph, groundwater flow rate, groundwater consumption and total evapotranspiration have been examined to express the groundwater budget by simplified equations. Based on these equations, the values of infiltration coefficient k_{inf} (the proportion of precipitation contributing to the groundwater runoff) have been established. These values were used to estimate the long-term mean values of groundwater natural resources (assuming that the infiltration coefficient is constant during the studied periods: in the basin of Ploučnice $k_{inf} = 0.20$, in the basin of Kamenice $k_{inf} = 0.33$). The long-term mean of groundwater resources in the whole region amounts to 7,500 l/s.

The waters in the Cenomanian aquifer as well as the waters in such parts of the Turonian aquifer where the thickness of impermeable cover exceeds 200—300 m are to be excluded from resource evaluation owing to their increased radioactivity.

During the location of production — well systems, our attention has been focused to the surface depressions where the water level of the Turonian groundwater body attains the land surface. With respect to the economy, only such areas have been selected where linear systems of wells producing at least 20 l/s per well, at maximum drawdown 40 m below land surface could be located. According to these criteria, 14 areas with total potential productivity of 2,150 l/s have been delimited.

As to the evaluation reliability, the amount of 355 l/s verified by an analog model was classified as resource of category B—C₁. The amount of 1,175 l/s calculated in individual exploitation areas according to the possible number of wells and their productivity and secured by natural resources in each area has been classified to category C₁—C₂. The resource category C₂ includes 620 l/s from the areas where the geologic data are less detailed and, in addition, the natural reserves that have been calculated from the effective porosities taking into account the results of the analog modelling.