Modelové hodnocení vlivu změn klimatu na poměry proudění podzemní vody a jeho využití ve vodárenské praxi

RNDr. Martin Milický, Ing. Jan Uhlík Ph.D.

PROGEO, s.r.o., Tiché údolí 113, Roztoky u Prahy, 252 63

tel. 233 910 935, e-mail: progeo@1progeo.cz

Abstrakt

Hydraulické modely umožňují předpovědět změny proudění podzemní vody v hodnocených hydrogeologických strukturách. Příčinou změn jsou obvykle antropogenní zásahy související nejčastěji se zásobováním pitnou vodou, úpravami a splavňováním toků, melioracemi, zavlažováním, nebo důlní činností. Kritické scénáře změny klimatu lze charakterizovat především poklesem velikosti srážek, změnou jejich distribuce v průběhu ročního období a nárůstem teplot. Vyvolaná vyšší evaporace a transpirace dále snižuje průsak srážek do podzemní vody (efektivní infiltraci).
Hydraulické modely umožňují pomocí stacionárních simulací z poklesu efektivní srážkové infiltrace stanovit výsledný pokles hladiny podzemní vody a výsledný pokles drenáže podzemí vody do říční sítě. Časový průběh změn zásob podzemní vody lze stanovit pomocí transientních simulací. Ty jsou obvykle realizovány v měsíčním výpočetním kroku s výhledem na desetiletí. Srážková infiltrace pro transientní simulaci je obvykle vypočtena externě na základě zvolených klimatických scénářů při využití modelů hydrologické bilance. Největší pokles hladiny podzemní vody by měl v hydrogeologických strukturách nastat v oblasti rozvodnic. Nejmenší naopak v blízkosti drenážních úseků říční sítě. Výslednou velikost poklesu hladiny podzemní vody mohou významně ovlivňovat lokální podmínky - průběh málo propustných poloh, hloubka nepropustného podloží, nebo typ propustnosti horninového masivu.

1. Úvod

Potřeba pitné vody je na území ČR přibližně z poloviny kryta ze zdrojů vody podzemní. Zbylé množství je zajišťováno úpravou vod povrchových. Očekávaná klimatická změna může ve výhledu několika desetiletí v některých regionech citelně snížit disponibilní (trvale obnovované) množství vody v krajině. Vedle poklesu srážek se na tomto trendu má podílet i zvýšená schopnost evapotranspirace v důsledku nárůstu teploty a prodloužení vegetačního období. Možné změny klimatu jsou předpovídány pomocí regionálních a globálních klimatických modelů v parametrech průměrné denní teploty, denního srážkového úhrnu, sumy globálního záření, průměrné rychlosti větru a relativní vlhkosti vzduchu (Pretel et al., 2011).

Hydraulické modely umožňují z dat poklesu efektivní srážkové infiltrace stanovit pokles hladiny a přítoku podzemní vody do říční sítě, nebo do vodárenských vrtů. Změna poměrů proudění podzemní vody nenastane skokově, ale pozvolně - v závislosti na skutečném scénáři vývoje klimatu a na schopnosti jednotlivých hydrogeologických struktur v reakci na probíhající změny uvolňovat statickou zásobu podzemní vody.

Studií (Horáček, Kašpárek et al., 2011) bylo prokázáno, že v povodí Rakovnického potoka zejména po roce 1980 dochází k synergii obou nepříznivých trendů klimatické změny (nárůst teplot doprovázený lokálním poklesem srážek). V části povodí s plochou 292 km^2 klesá odtok Q_{355} pouze k hodnotě 100 l.s^{-1} (0.34 l.s^{-1}.km^{-2}). Při pokračování trendu z posledních desetiletí hrozí, že povrchový odtok bude pouze periodický.

Problematika klimatické změny není pouze úzce spjata se zásobením pitnou vodou, ale dotýká se mnoha dalších oblastí fungování společnosti - především zemědělství.

2. Metodický postup

Výsledný dopad snížené infiltrace do podzemních vod lze pro jednotlivé hydrogeologické struktury stanovit pomocí stacionární simulace. Pro zhodnocení časového vývoje tohoto jevu je třeba v hydraulickém modelu zadat nestacionární (transientní) simulace proudění podzemní vody.

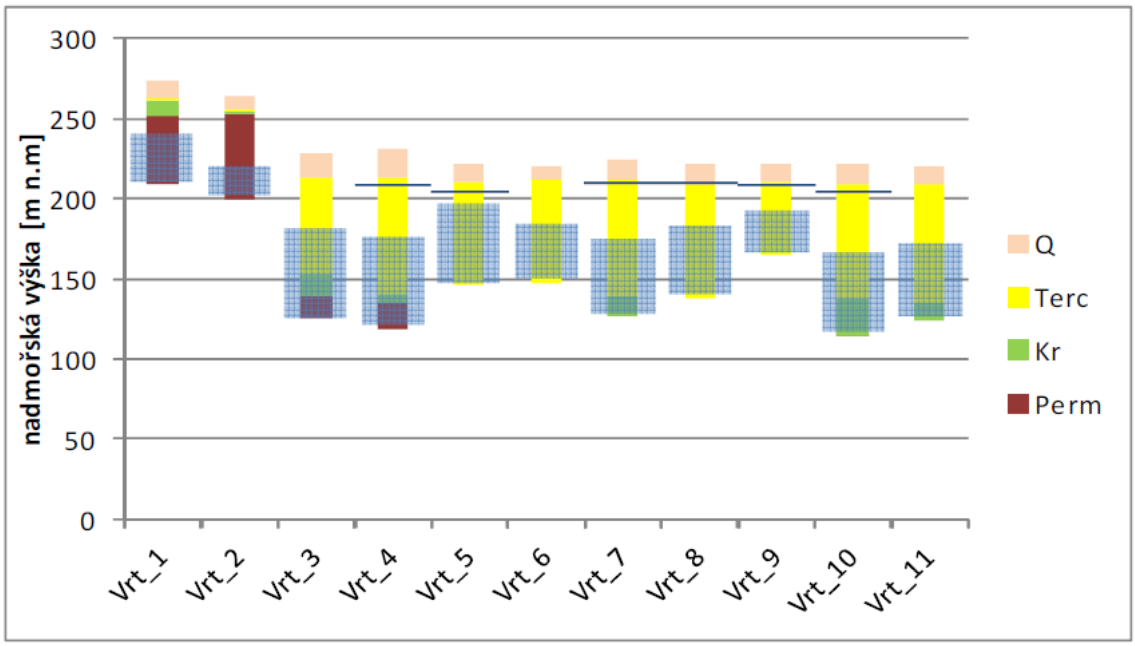
Problém spočívá ve stanovení efektivní srážkové infiltrace v prognózním období. V rámci spolupráce s kolegy z VÚV TGM, v.v.i. na projektech posouzení vlivu klimatické změny se osvědčilo propojení výsledků hydrologického a hydraulického modelu. Efektivní srážková infiltrace je pro prognózní období stanovena v hydrologickém modelu a následně je převzata v modelu hydraulickém.

Transientní simulace vývoje klimatické změny jsou řešeny obvykle s výpočetní periodou 1 měsíc. Podrobnější časové měřítko by vyžadovalo detailní vyčíslení proudění na rozhraní nasycené a nenasycené zóny následkem všech srážkových epizod. Výpočet proměnlivě nasyceného proudění enormně zvyšuje výpočetní nároky hydraulických modelů. Pro řešenou problematiku dlouhodobého výhledu vlivu klimatické změny by byl přínos zavedení detailního kroku výpočtu bez užitku.

Zpracováním výstupů transientní simulace hydraulického modelu lze kvantifikovat vliv klimatické změny v parametrech poklesu hladiny podzemní vody, úbytku drenáže podzemní vody do úseků říční sítě, posunu pramenních oblastí toků a úbytku přírodních zdrojů podzemní vody v hydraulickém dosahu vodárenských vrtů.

3. Jímací území Holedeč

Impulsem pro studii oblasti jímacího území byla dlouhodobě napjatá bilanční situace hydrogeologického rajonu 4550. Cílem prací bylo rovněž posouzení možnosti trvalého navýšení odběrů podzemní vody při uvážení stávajících klimatických podmínek a podmínek po uplatnění klimatické změny, vyjádřených poklesem srážkové infiltrace o 15% a 25%.



Obr. 1 Stratigrafie otevřeného úseku vrtů jímacího území Holedeč

V jímacím území se vyskytují horniny permského, křídového, terciérního a kvartérního stáří. Otevřené úseky vrtů hloubených v jímacím území jsou nejčastěji v sedimentech terciéru a křídy. Hladina podzemní vody se v jímacím území při odběru 33 $l.s^{-1}$ nachází v blízkosti stropu terciérních sedimentů a je zakleslá několik metrů pod úroveň toku Blšanky.

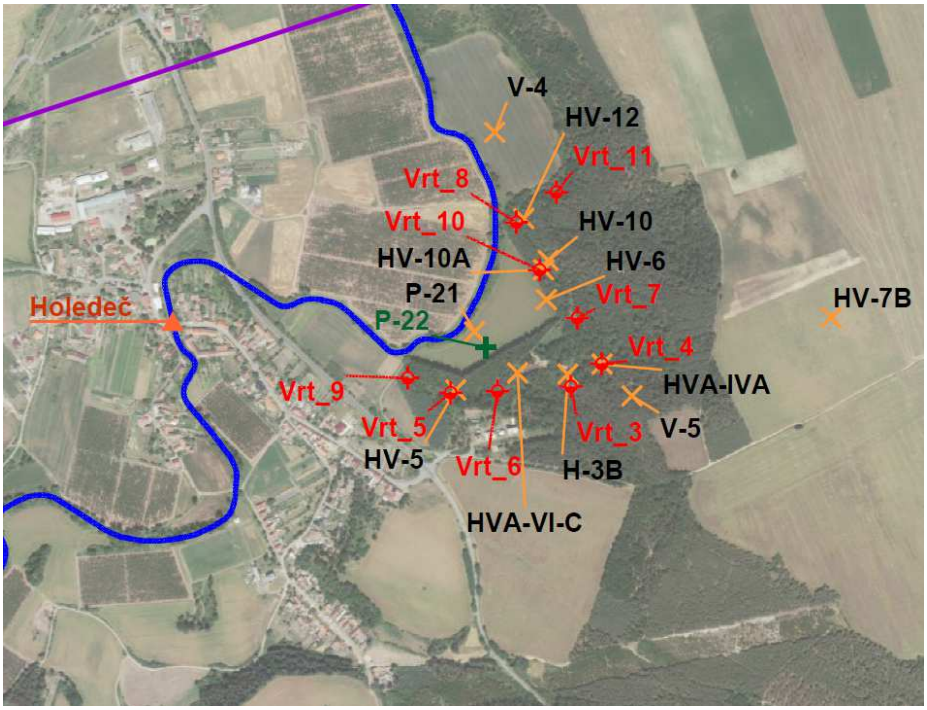
Jižní hranice rajonu Holedeč je volena podle okraje sedimentů křídy. Rajon má rozlohu pouze 28 km^2 a nejedná se o bilančně uzavřené území. V celé délce jižní hranice dochází k přítoku podzemní vody na území rajonu.

V rámci zpracování vodohospodářské bilance pro rok 2012 vycházeli Poledníček a Jetelská (2012) ze vstupního údaje průměrných přírodních zdrojů rajonu Holedeč 14.5 $l.s^{-1}$. Podle závazné metodiky výpočtu dosáhl vyčíslený podíl maximálního měsíčního odběru (36.5 $l.s^{-1}$) a minimální měsíční hodnoty přírodních zdrojů pro rok 2012 (4 $l.s^{-1}$, ČHMÚ) 912.5%. Bilance rajonu Holedeč vyšla z vodohospodářské bilance "pasivní".

3. Model proudění podzemí vody

Jako hlavní nástroj pro analýzu poměrů proudění v oblasti hydrogeologického rajonu Holedeč byl zvolen hydraulický model proudění podzemní vody. Míra stávajícího antropogenního ovlivnění struktury odběry podzemní vody byla stanovena z rozdílu výsledků stacionárních simulací neovlivněného a stávajícího proudění. Současně byl model v rámci těchto simulací zkalibrován. Vliv klimatické změny byl prognózován na podkladě modelových rozdílů simulací proudění v podmínkách bez snížené a při snížené infiltraci.

V oblasti jímacího území byla zvolena podrobnost sítě hydraulického výpočtu hladin 10 m, při okrajích modelového území až 250 m. Simulace byly zpracovány v šesti modelových vrstvách tak, aby bylo možné zohlednit vertikální změny koeficientu hydraulické vodivosti. Existence zlomů neumožnila pro jednotlivé stratigrafické jednotky vytvořit samostatné modelové vrstvy. Hodnoty koeficientu hydraulické vodivosti byly stanoveny na základě prostorové analýzy průběhu stratigrafických jednotek a modelové výpočetní sítě.



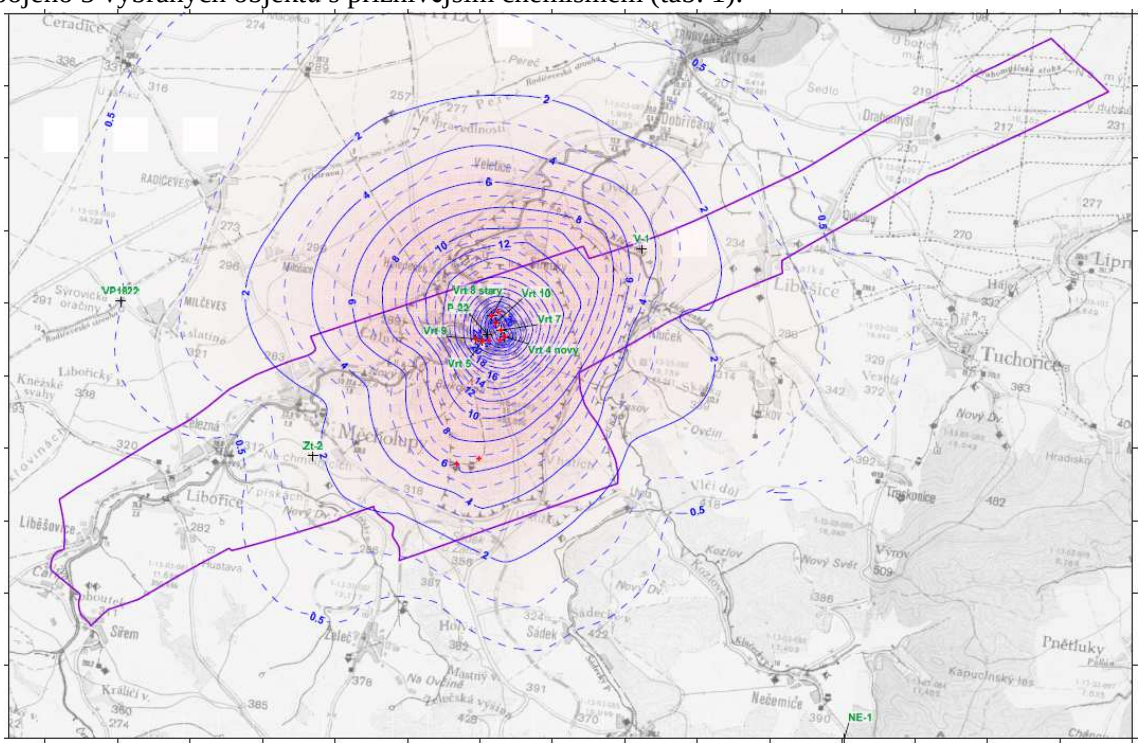
Obr. 2 Situace vrtů jímacího území Holedeč

Zpětně hodnotící simulace byly zadány při hodnotě infiltrace 1.06 $l.s^{-1}$, která odpovídá průměrné hodnotě přírodních zdrojů zájmového území. V rámci prognózních simulací byla modelová infiltrace úměrně snížena.

	Holedeč studna č. 1	Holedeč studna č. 2	Holedeč studna č. 3	Holedeč studna č. 4	Holedeč studna č. 5	Holedeč studna č. 6	Holedeč studna č. 7	Holedeč studna č. 8	Holedeč studna č. 9	Holedeč studna č. 10	Holedeč studna č. 11	celkem
průměr 2012 (l/s)	0.00	0.00	0.00	8.28	3.49	0.00	0.00	0.00	6.29	13.90	5.53	37.49
průměr 2011 (l/s)	0.00	0.00	0.00	10.39	1.94	0.00	0.00	0.00	7.78	10.81	6.38	37.31
září 2012 (l/s)	0.00	0.00	0.00	11.96	1.74	0.00	0.00	0.00	0.00	13.38	5.77	32.85

Tab 1 Simulované odběry podzemí vody (září 2012)

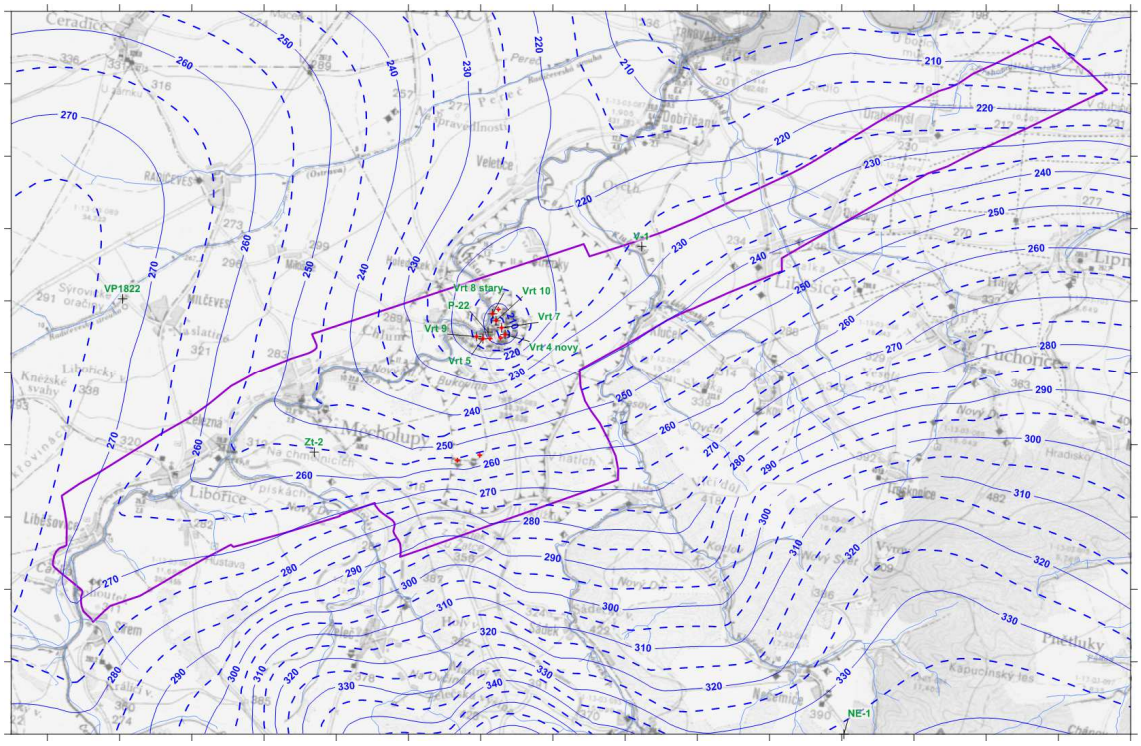
S cílem minimalizovat množství železa v jímané podzemní vodě je v jímacím území zapojeno 5 vybraných objektů s příznivějším chemismem (tab. 1).



Obr. 2 Snížení hladiny podzemní vody vlivem odběru 32.85 $l.s^{-1}$

V posledních letech realizovaný odběr o velikosti 33 $l.s^{-1}$ lokálně snižuje hladinu podzemní vody až o 20 m (obr. 2). Hydraulická deprese přesahuje hranice rajonu Holedeč (fialová linie na Obr. 2). Zaklesnutím hladiny podzemní vody pod úroveň Blšanky vznikají podmínky pro vcez povrchové vody z toku do horninového prostředí. Velikost vcezu ovlivňuje kolmatační vrstva ve dně toku a méně propustné polohy v terciérních sedimentech, ve kterých je Blšanka zahloubena. Na základě kombinace údajů opakovaného hydrometrování se dotace podzemních vod z toku Blšanky v oblasti jímacího území pravděpodobně pohybuje v rozmezí jednotek $l.s^{-1}$ a tvoří cca až 1/5 stávajícího odebíraného množství.

Přes jižní hranici rajonu dochází k proudění podzemní vody z přilehlých hydrogeologických rajonů Rakovnická pánev a Ohárecká křída. V západní a centrální oblasti rajonu proud podzemní vody napájí tok Blšanky a vrty jímacího území. Východní oblast rajonu Holedeč, kde se již nevyskytuje tok Blšanky, je proudem podzemní vody protékána (obr. 3).



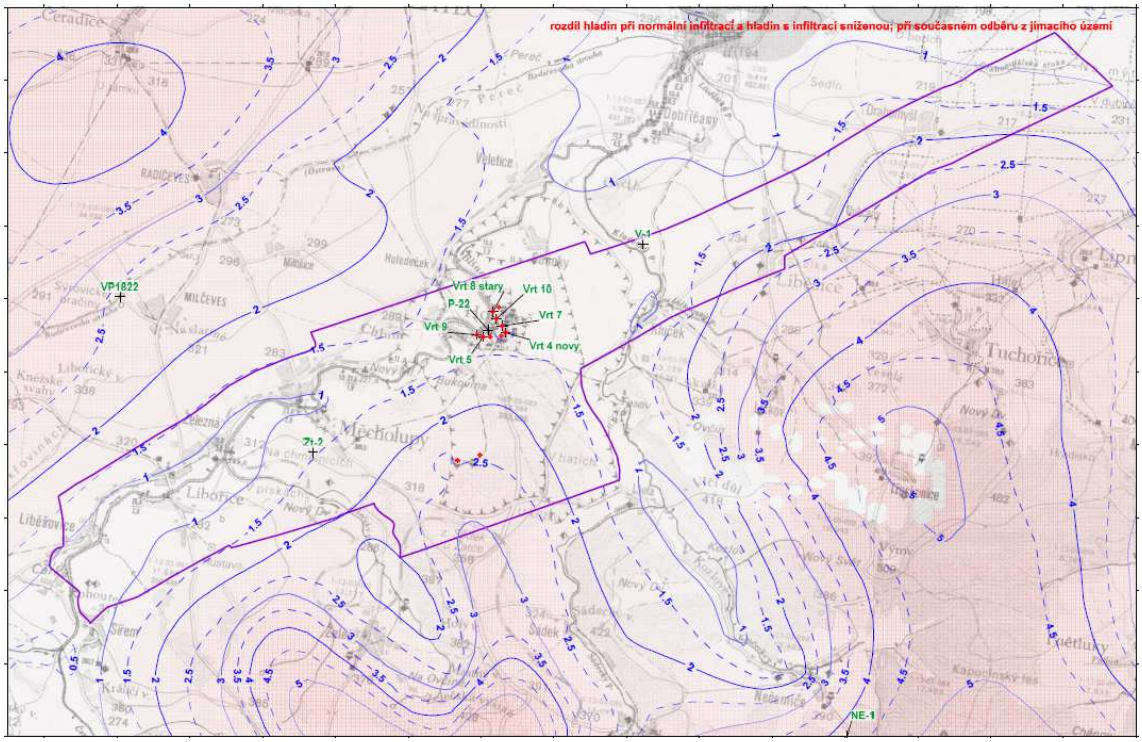
Obr. 3 Izolinie hladiny podzemní vody v oblasti rajonu Holedeč

Pravostranné přítoky Blšanky ovlivňují hladinu podzemní vody a směry proudění pouze částečně. Až tok Blšanky reprezentuje regionální drenážní bází.

Maximální hodnota dlouhodobého odběru (46 $l.s^{-1}$) byla modelem pro dosavadní infiltraci stanovena z kritéria velikosti poklesu hladiny podzemní vody v jímacím území - při respektování stávajícího rozložení a rozdělení odběrů.

4. Klimatická změna

Povodí Blšanky je místem s blízkými hodnotami srážek a výparu. Tomuto faktu odpovídá i stanovená nízká hodnota přírodních zdrojů podzemní vody v podobě srážkové infiltrace na úrovni specifika 1 $l.s^{-1}.km^{-2}$ (31.6 mm/rok). Jen zdánlivě nevýznamný pokles srážek, relativně mírný vzestup evapotranspirace, nebo nepříznivé přerozdělení srážek mezi jednotlivými měsíci může odtok a tvorbu přírodních zdrojů podzemní vody značně nepříznivě ovlivnit, jak se tomu děje v sousedním povodí Rakovnického potoka.



Obr. 4 Izolinie poklesu hladiny podzemní vody v oblasti rajonu Holedeč vlivem poklesu efektivní infiltrace o 15%

V důsledku snížení efektivní infiltrace (klimatické změny) zaklesne hladina podzemní vody především v oblasti rozvodnic. Pokles hladin v oblasti drenáže je výrazně menší, protože hladina je "fixována" drenážní úrovní říční sítě.

5. Závěr

Hydraulické modely jsou vhodným nástrojem pro studium vlivu klimatické změny na hydrogeologické struktury. Zásadními výhodami jsou predikční schopnost, kvantifikace v čase a prostoru, nebo vizualizace dotčené problematiky. Určitou nevýhodou je náročnost hydraulických modelů na komplexní vstupní data.

Z existujících map specifického odtoku podzemní vody lze výběrem nejnižších hodnot identifikovat území ČR potenciálně nejohroženější klimatickým suchem. Patří k nim především jižní Morava a Podkrušnohoří. V těchto oblastech lze očekávat nejdramatičtější dopad změny klimatu, protože i při relativně malém poklesu srážek a nárůstu teploty mohou nastat nepravidelnosti v dosud každoroční obnově přírodních zdrojů podzemních vod.

Hydrogeologický rajon Holedeč je plošně málo významná jednotka s velmi ztíženou možností stanovení bilance přírodních zdrojů. Existující odběr podzemní vody v jímacím území je kryt z přírodních zdrojů vzniklých v rajonu Holedeč, dále z přírodních zdrojů vzniklých na území okolních rajonů Rakovnické a Mostecké pánve a z indukovaných zdrojů daných vcezem povrchové vody z Blšanky k jímacím vrtům. Do aktuálních pravidel výpočtu vodohospodářské bilance tyto skutečnosti nelze vtěsnat. Proto v dané konfiguraci parametrů rajon Holedeč vyjde vždy bilančně pasivní.

V rámci hydraulických výpočtů vlivu snížené infiltrace v důsledku klimatické změny bylo zjištěno, že pokles srážkové infiltrace o 25% by znemožnil při stávajícím rozložení čerpaných vrtů navyšovat odběr nad aktuální hodnotu 33 $l.s^{-1}$. Možnost trvalého navýšení odběru podzemní vody je v jímacím území vzhledem k očekávané klimatické změně nejistá.

Jímací území jsou v souvislosti s klimatickou změnou ohrožena především poklesem dostupného množství podzemní vody v hydraulickém dosahu jímacích vrtů, méně poklesem hladiny podzemní vody. Naopak oblasti rozvodnic jsou nejvíce náchylné k významnému zaklesnutí hladiny podzemní vody.

Ing. Jan Uhlík Ph.D., RNDr. Martin Milický, PROGEO, s.r.o., Tiché údolí 113, Roztoky u Prahy, 252 63, tel. 233 910 935, e-mail:progeo@1progeo.cz

Literatura:

Horáček S., Kašpárek L. et al.: Možnosti zmírnění současných důsledků klimatické změny zlepšením akumulační schopnosti v povodí Rakovnického potoka, VÚV TGM, v.v.i. (2011)

Poledníček P., Jetenská E., Pail T.: Vodohospodářská bilance v oblasti povodí Ohře a dolního Labe, hodnocení minulého kalendářního roku 2012, Textová část (2013)

Pretel J., Metelka L., Novický O., Daňhelka J., Rožnovský J., Janouš D. et al.: Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření, TECHNICKÉ SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ PROJEKTU v letech 2007 – 2011, (2011)

Uhlík J., Černý M., Chaloupková M.: Hydraulické a hydrologické zhodnocení hydrogeologického rajonu 4550 a jímacího území Holedeč, PROGEO, s.r.o. (2012)

Mrkvičková M., Kožín R., Hanel M., Beran A., Brabec J., Novický O., Fridrichová R.: Navrhování adaptačních opatření pro snižování dopadů klimatické změny na hydrologickou bilanci v ČR, VÚV TGM, v.v.i. (2012)