DLOUHODOBÁ VARIABILITA HLADIN PODZEMNÍ VODY

Eva Soukalová, Pavel ježík

Abstrakt
Zásoby podzemních vod se mění jak v průběhu roku, tak vlivem dlouhodobých period. Analýza dlouhodobých časových řad podzemních vod umožňuje určit periodicitu a trendy v časových řadách, výskyt minimálních hladin a jejich vliv na životní prostředí. Článek se zabývá zákonitostmi oběhu podzemních vod s ohledem na extrémní nízké hladiny podzemních vod, výskytem minimálních hladin podzemních vod, metodami předpovědí hladin podzemních vod. Předpověď minimálních hladin podzemních vod může tvořit základ pro rozhodování vodoprávních úřadů v případě řešení sucha. V závěru jsou uvedena možná opatření při řešení nedostatku podzemních vod.

Long-term variability of groundwater levels
Groundwater recharge is irregular both seasonally and during long-term periods. An analysis of long-term observation of the groundwater level regime made it possible to establish cyclicity and trends, occurrence of minimal levels and their impact on the enviromental components. The paper deals with the regularities of groundwater circulation with respect to extremely low groundwater level occurrence, seasonal and multiannual periodicity and trends of groundwater levels, occurrence of minimal levels, methods of groundwater levels forecasts. The forecasts of the minimal groundwater levels can be used as the basis for the decision of water right institutes on solution of drought problem. In closing there are given measures for severe water shortages.

Klíčová slova: hydrologické sucho, předpověď hladin podzemní vody, periodicita, minimální hladiny podzemní vody, pozorovací vrt
Keywords: hydrological drought, groundwater level forecast, periodicity, minimal groundwater level, monitoring well

Úvod

Podzemní voda je významnou součástí přírodního prostředí a její zásoby představují složku, která stabilizuje odtok z území. Zejména v delších obdobích beze srážek jsou povrchové toky dotovány výhradně z podzemních vod a vzhledem k pozici našeho území jsou podzemní vody fenoménem, jehož účinek pro vyrovnání odtoků z území je významnější, než všechny existující nádrže. Hydrologické sucho vzniká následkem nedostatku srážek a projevuje se jako nedostatek zdrojů povrchových a podzemních vod (průtoky ve vodních tocích, hladiny jezer a nádrží, podzemní vody). Přitom vznik hydrologického sucha je ovlivněn i způsobem lidského užívání vody, proto je nutno na hydrologické sucho pohlížet jako na přírodní fenomén, který však může být prohlouben lidským působením.
Nedostatek srážek se v komponentách podzemní části hydrologického cyklu projevuje s určitým zpožděním. Hydrologické sucho je pak nezbytné pojímat jako výsledek působení procesů hydrologického cyklu a antropogenního ovlivnění v rámci celého povodí.

Materiál a metody

Zákonitosti oběhu podzemní vody v přírodě

Podkladem pro studium zákonitostí oběhu podzemní vody jsou výsledky systematického pozorování, zajišťovaného Českým hydrometeorologickým ústavem. Bylo zahájeno v trase projektovaného kanálu Dunaj - Odra - Labe na přelomu 30 a 40 let. Část těchto objektů byla zařazena do státní pozorovací sítě a je pozorována dosud. Celoplošná pozorovací síť vznikla postupně v letech 1957 až 1969, s výjimkou pozorovací sítě hlubších zvodní. V dalším období byla doplňována a upravována. Nejdelší doba pozorování v České republice je ve vrtu V 12, situovaném v infiltrační oblasti vodního zdroje Březová nad Svitavou v jižní části ústecké synklinály. Pozorování bylo zahájeno 6. 10. 1899, takže trvá 115 let a pozorování zajišťují Brněnské vodárny a kanalizace. Současný stav pozorovací sítě podzemních vod je proto výsledkem vývoje od konce padesátých let až do počátku let devadesátých,

kdy byla uskutečněna poslední významná změna, respektive doplnění pozorovaných objektů. Vlastní koncepce byla položena při úvahách již v počátku, kdy objekty byly rozděleny na:

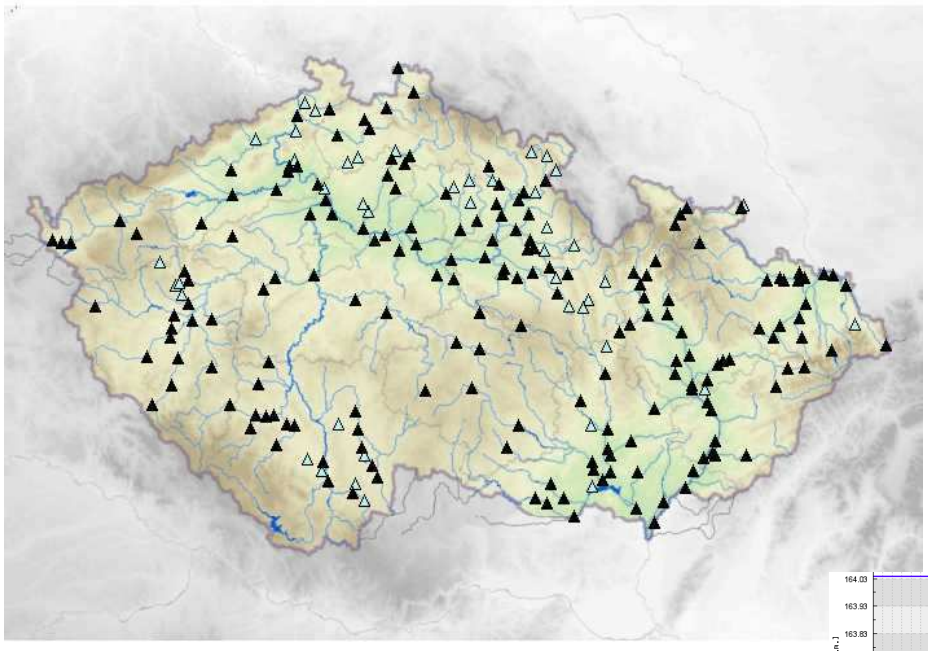
- pozorovací síť pramenů sledující vydatnosti a teploty vody pramenů, vybraných podle jednotné metodiky na základě celoplošného průzkumu.
- pozorovací síť mělkých zvodní, která byla situována do poříčních zón a přilehlých terasových stupňů vytvořenou podle projektů z počátku šedesátých let
- pozorovací síť hlubokých zvodní, která měla být podle původního záměru jedním z výsledků programu regionálního hydrogeologického průzkumu probíhajícího v období od šedesátých do devadesátých let

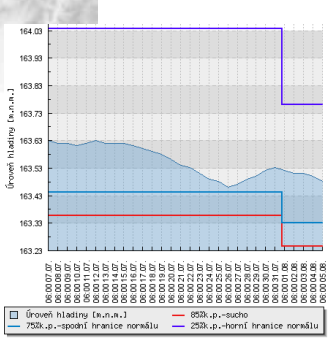
Rozsah pozorovací sítě se mění v souvislosti s jejím postupným budováním a úpravami. V současné době se pozoruje asi 2000 objektů podzemních vod.

Odběry podzemní vody tvoří 23 % z celkových odběrů vod, z toho odběry pro vodovody pro veřejnou potřebu představují 82 % z celkového množství odběrů podzemní vody. Druhým největším odběratelem je průmysl včetně dobývání nerostných surovin, který odebírá 9,2 % z celkového množství. Ostatní odběratelé podzemní vody jako zemědělství, ostatní včetně stavebnictví a energetika odebírají méně než 4,8 % z celkového odebíraného množství. Odběry podzemní vody pro vodovody tvoří 49 % z celkového množství vody odebírané pro vodovody. Vzhledem k tomu, že 93,8 % obyvatel je zásobováno z veřejných zdrojů, bude zbývajících 6,2 % obyvatel zásobováno z vlastních zdrojů tj. většinou z domovních studní, takže podíl odběrů podzemní vody pro zásobování pitnou vodou bude vyšší než 49 %.

Na území ČR je přibližně 80 % využitelných množství podzemních vod soustředěno na zhruba 30 % plochy.

Aktuální informace o stavu hladin podzemní vody jsou na http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_pzv.php.





Obr. 1 Aktuální informace o stavu hladin PZV ve vybraných pozorovacích vrtech (VB0236 Rohatec)
Fig. 1 Current groundwater levels information in selected monitoring wells (VB0236 Rohatec)

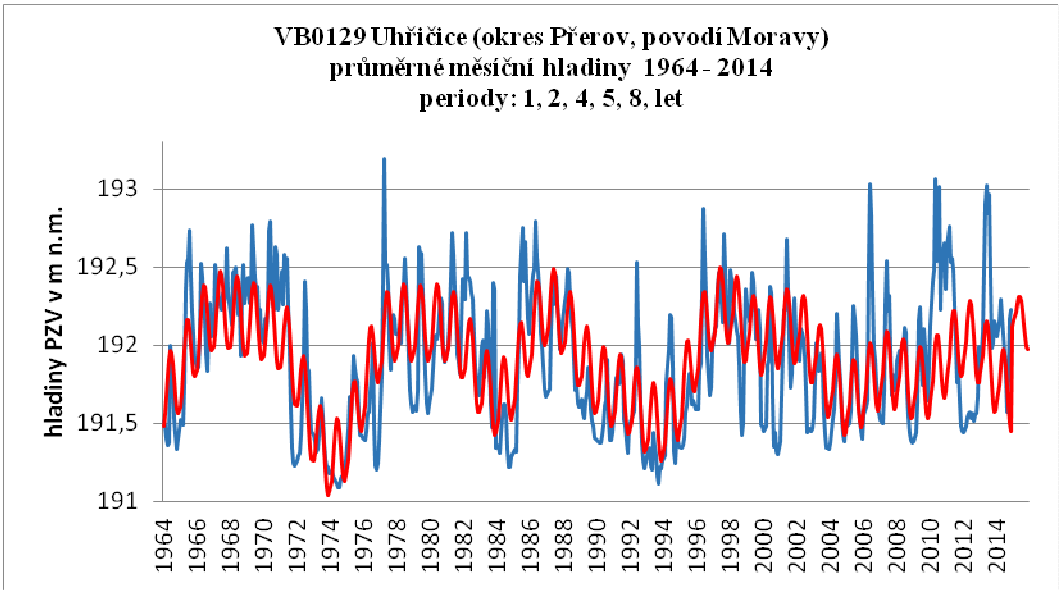
Hlavním faktorem pro velikost doplňování zásob podzemní vody jsou atmosférické srážky zmenšené o výpar. V našich podmínkách jsou dva typy doplňování zásob: s celoročním doplňováním zásob a se sezónním doplňováním zásob.

Výsledky

Periodicita a trendy hladin podzemní vody

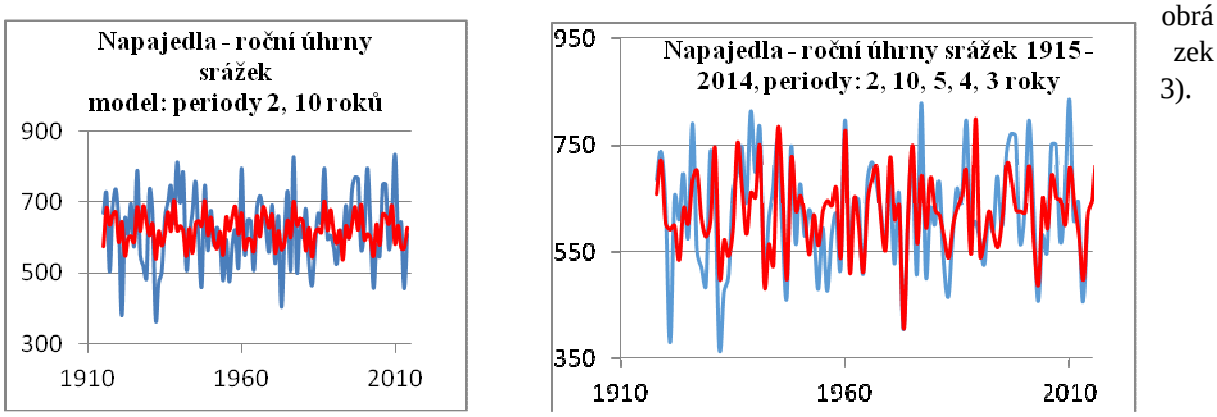
Pro studium periodicity, trendů a prognózy hladin podzemní vody se používají časové řady. Časová řada je chronologické uspořádání výsledků pozorování provedených v pravidelných časových intervalech. Hydrologickými časovými řadami jsou řady hladin podzemní vody, vydatnosti pramenů, velikosti podzemního odtoku atd. V případě minimálních hladin podzemní vody se jedná o řady minimálních ročních hladin. Analýza časové řady umožní identifikaci mechanismu její tvorby a na jejím základě předpovídání jejího budoucího chování – vytváření předpovědí. V hydrologických časových řadách je možno vyčlenit: trend, sezónní složku, cyklickou složku víceletou, složku náhodnou a složku katastrofální.
Trend představuje dlouhodobou systematickou změnu v časové řadě (Kisiel, 1969; Muzikář, Soukalová, 1988, Soukalová, Muzikář, 2015). Projevuje se jako dlouhodobý vzestup nebo pokles hladiny podzemní vody, resp. vydatnosti. Po identifikaci trendu testy náhodnosti se přistoupí k jeho aproximaci matematickými křivkami. Jako nejvhodnější se v hydrologii PZV jeví trend lineární. V případě umělého ovlivnění režimu podzemní vody (na příklad odběry podzemní vody) je nejvhodnější aproximace logaritmickou nebo exponenciální funkcí.

Nejvýznamnější periodou u většiny vrtů je dvanáctiměsíční perioda, která koresponduje se sezónním doplňováním podzemní vody. Druhá nejvýznamnější (platí pro povodí Moravy) je perioda pětiletá. Dvouletá a desetiletá perioda jsou třetí nejvýznamnější. U řad s šedesátiletou řadou pozorování se vyskytují rovněž statisticky významné 30-leté periody, odpovídající tzv. Brücknerově periodě (34 leté) známé při popisu přírodních jevů. Na obr. č. 2 je vyznačen průběh modelových hodnot měsíčních hladin podzemních vod mělkých zvodní stanovených harmonickou analýzou. Délka period v časových řadách ročních minimálních hladin a ročních průměrných hladin je analogická (viz dále).



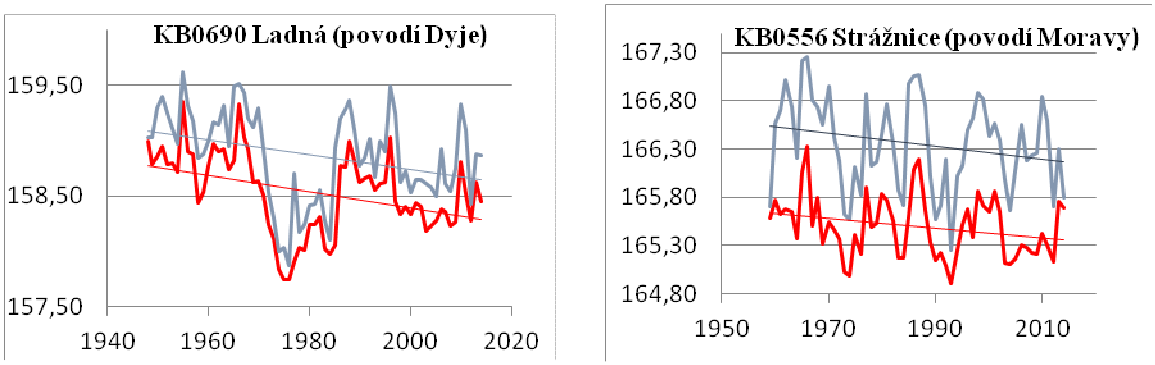
Obr. 2 Modelové a naměřené průměrné měsíční hladiny ve vrtu VB0129 Uhřičice
Fig. 2 Modelled and measured averaged monthly groundwater levels in monitorining well VB0129 Uhřičice

Periodicita se vyskytuje velmi často s nestejnou délkou amplitud a period a je někdy málo výrazná. Proto je vhodnější uvažovat spíše o tendenci k periodicitě nebo o kvaziperidicitě. Ve víceletém chodu ročních charakteristik se vyskytují seskupení několika za sebou jdoucích let s vysokými hladinami nebo nízkými hladinami. Mezi nimi je sestupný nebo vzestupný trend hladiny (Castany, 1978; Cílek, 2011; Kovalevskij, 1976, 1983; Muzikář, Soukalová, 1988). Opačné extrémy se mohou vyskytnout v sousedních letech pouze v krasu nebo v horských zvodních (infiltrační oblasti) a v časových řadách s krátkou dobou monitorování (do 7 - 10 let). V sezónním i mnohaletém kolísání hladiny podzemní vody se neprojevuje výrazný vliv aktuálních srážek, nýbrž akumulace srážek z předcházejícího období. Doba akumulace srážek roste se vzdáleností posuzovaného místa od infiltrační oblasti a je nepřímo závislá na rychlosti proudění podzemní vody. U víceletého kolísání hladin to může dosáhnout až 5 - 7 let (Kovalevskij,1976; Marine, 1963; Muzikář, Soukalová, 1988, Brázdil, 2015).
Periodicita byla pozorována i v minulosti u výskytu srážek. Popsal ji Dr. F. Augustin v roce 1894 (Cílek, 2011). Byla uvedena i tzv. Brücknerova perioda pro srážky a průtoky v povrchových vodách ve Švýcarsku v délce 33 - 36 let (Brückner, 1890). Periodicita ročních úhrnů srážek, které jsou rozhodujícím faktorem pro tvorbu podzemních vod, koresponduje s periodami v časových řadách hladin podzemních vod. To dokládá časová řada ročních úhrnů srážek ve stanici Napajedla za období 1915 – 2014. Nejvýznamnější periody jsou 2 a 10 let (viz obrázek 3).



Obr. 3 Významné periody v časové řadě ročních úhrnech srážek ze srážkoměrné stanice Napajedla
Fig. 3 Significant periods in time series of annual precipitations sums from precipitation station Napajedla

Příklady významných trendů ročních průměrných a ročních minimálních hladin v povodí Moravy a Dyje jsou uvedeny na obrázku 4. Ve všech vrtech je patrný sestupný lineární trend.
Sestupné trendy mohou být způsobeny klimatickými změnami a prostorovým rozložením srážek během roku. V ČR se zatím větší změny v celkovém objemu srážek nepotvrdily - pomalu se ovšem začíná projevovat změna v rozložení srážek v průběhu roku – více srážek v zimě, méně na jaře. Dalším indikátorem klimatických změn je patrně nárůst počtu a intenzity extrémních srážek (více než 150 mm/den). Přívalové srážky rychle odtečou a sníží velikost doplňování zásob podzemní vody.



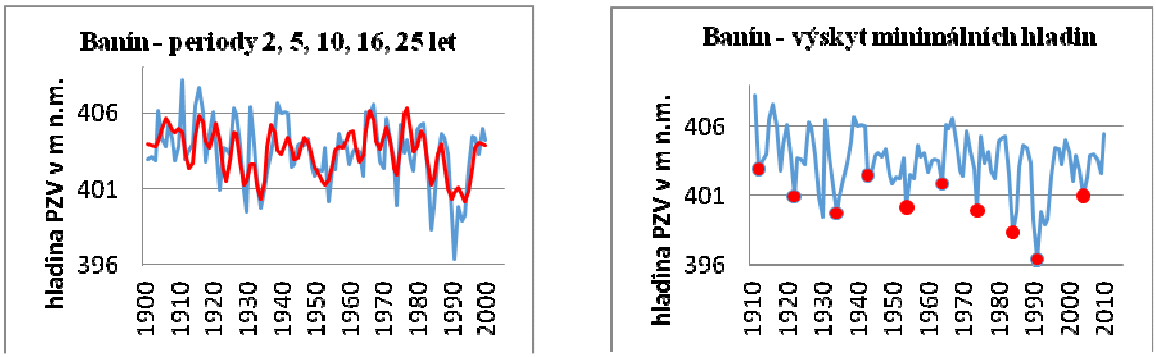
Obr. 4 Významné trendy ročních průměrných a minimálních hladin podzemních vod
Fig. 4 Significant trends in average annual and minimum annual groundwater levels

Výskyt minimálních hladin a dopady výskytu minimálních hladin

Minimálních hladiny se vyskytují s přibližně 10letou periodou. Jako málo vodné se z hlediska podzemních vod jevily roky 1934, 1944, 1954, 1964, 1974, 1984 a 1993, 2003 a 2012. V povodí Moravy byly dosaženy minimální hladiny převážně v letech 1974, 1993 a 1984, v povodí Jihlavy většinou v letech 1995 a 1983, v povodí Svratky v letech 1973 – 74 a v povodí Dyje v letech 1974, 1983 a 2003.

Příklad výskytu minimálních hladin je uveden ve vrtu V 12 s nejdelší dobou pozorování v České republice v infiltrační oblasti vodního zdroje Březová nad Svitavou. Časová řada průměrných ročních hladin má mírně sestupný trend. Příčinou je vliv srážek, a dále trvalý odběr podzemní vody pro brněnský vodovod. V časové řadě se vyskytuje statisticky významná 25letá perioda. Další významné periody jsou o délce 2, 5, 10 a 16 let. Tyto periody také byly vybrány pro modelování pohybu hladin podzemní vody harmonickou analýzou – obr. 5.

Absolutní minimální roční hladina se vyskytla ve vrtu v Baníně v roce 1993. Nízké hladiny podzemní vody byly i v letech 1990 - 1992, kdy bylo území České republiky postižené suchem, jehož bezprostřední příčinou byl značný deficit srážek. Nedostatek srážek nastal na celém území, nejvíce se projevil ve středních, východních a jižních Čechách a na jižní Moravě.



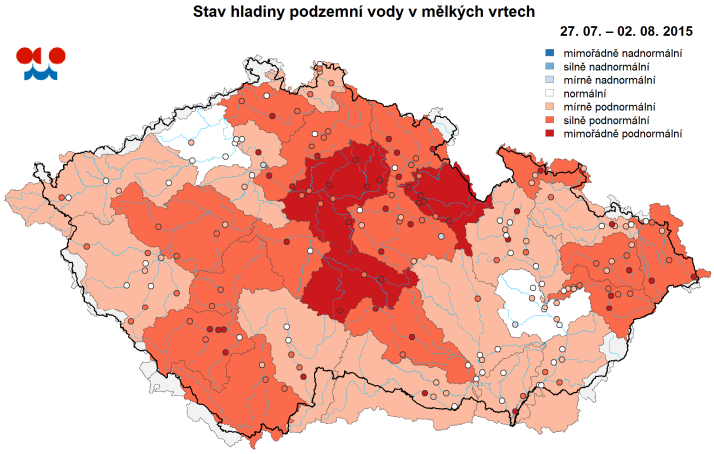
Obr. 5 Periody v časové řadě hladin podzemní vovody ve vrtu v Baníně a výskyt minimálních ročních hladin
Fig. 5 Periods in the time series of average annual groundwater levels in monitoring well Banín and occurrence of minimum annual groundwater levels

Při sledování dopadu klimatické změny na území našeho státu se ukázalo, že s velkou pravděpodobností nedochází k poklesu ročního souhrnu srážek, mění se však jejich rozložení, mírně se zvýšil zimní úhrn a v letním období se změnil jejich charakter, převažují intenzivnější srážky. Podstatný vliv však má nárůst teploty, která mírně stoupá již od 1980. K roku 2010 byl její vzestup řádově o jeden stupeň celsia. Tato velikost se zdá malá, zvýšila však velikost územního výparu přibližně o 20%. To se na některých povodích (Blšanka, Metuje v Polické pánvi) projevilo znatelným zmenšením základního odtoku až kolem 1/3.

V důsledku výskytu nízkých hladin podzemní vody vzniká významné ovlivnění složek životního prostředí. Malé průtoky v povrchových tocích jsou tvořeny podzemní složkou odtoku, takže při nízkých hladinách podzemní vody ve zvodních, které jsou v hydraulické spojitosti s podzemními vodami, mohou poklesnout průtoky pod hodnotu minimálního zůstatkového průtoku, který umožňuje obecné nakládání s povrchovými vodami a ekologické funkce vodního toku
Stav sucha v podzemních vodách je hodnocen podle pravděpodobnosti překročení hladiny ve vrtu v příslušném kalendářním měsíci. Stav sucha je charakterizován třemi kategoriemi závažnosti

odvozenými za referenční období 1981– 2010. Jako mírné sucho jsou označeny stavy mírně podnormální s pravděpodobností překročení 75 – 85 %, jako silné sucho stavy silně podnormální s pravděpodobností překročení 85 – 95 % a jako mimořádné sucho jsou označeny mimořádně podnormální stavy, které odpovídají nejnižším 5 % pozorování. Analogicky znamená pravděpodobnost překročení 15 – 25 % mírně nadnormální stav hladiny, pravděpodobnost překročení 5 – 15 % silně nadnormální stav hladiny a jako mimořádně nadnormální jsou označeny stavy, které odpovídají nejvyšším 5 % pozorování. Hodnocení je prováděno jak pro jednotlivé objekty, tak souhrnně pro definované oblasti povodí.

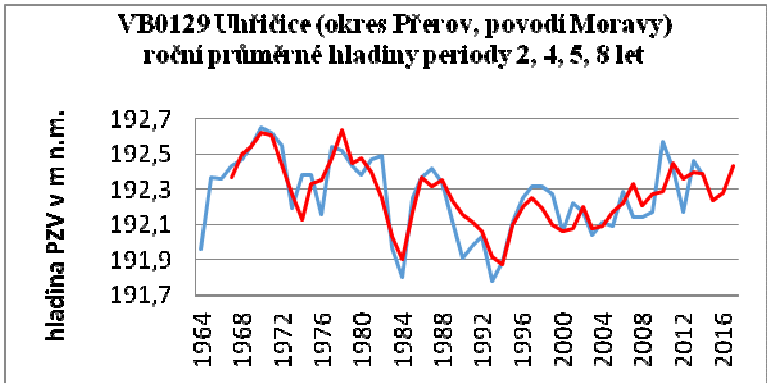
Popis aktuální situace stavu sucha v rámci hydrometeorologické situace je pravidelně publikován v Týdenní zprávě o hydrometeorologické situaci a suchu na území ČR (obr. 6)
(http://portal.chmi.cz)



br. 6 Stav hladiny podzemní vody v mělkých vrtech – týdenní zpráva ČHMÚ
Fig. 6 Groundwater levels in shallow monitoring wells – CHMI weekly report

Předpovědi hladin podzemní vody

Předpovědi hladin podzemní vody vychází nejčastěji z časových řad průměrných měsíčních hladin podzemních vod, z nichž je možno provádět středně dlouhé (sezonní) předpovědi. Prognózy ročních minimálních hladin se mohou stanovit korelační analýzou na základě regresní rovnice měsíčních průměrných hladin (na příklad průměrná měsíční hladina v březnu jako nezávisle proměnná a průměrná měsíční hladina v září jako závisle proměnná) Pro dlouhodobé předpovědi nejlépe slouží časové řady ročních průměrných hladin s aplikací harmonické analýzy a autoregresního modelu.
Na obr. č. 8 jsou vyznačeny modelové hodnoty průměrných ročních hladin podzemních vod spočítané harmonickou analýzou s prognózou hladin.



Obr. 8 Modelové a naměřené roční průměrné hladiny ve vrtu VB0129 Uhřičice

Fig. 8 Modelled and measured average annual groundwater levels in the monitoring well VB0129 Uhřičice

Opatření pro řešení problematiky sucha

Pro řešení problematiky sucha doporučilo Ministerstvo životního kromě dlouhodobějších opatření i opatření operativní obdobně jako u povodní: zavedení tří stupňů aktivit – bdělost, pohotovost a nebezpečí. Zpracovává se návrh indikátorů pro sucho a typové plány pro „dlouhodobé sucho“. Pro přípravu opatření při stavech bdělosti, pohotovosti a nebezpečí bude nutno zpracovávat prognózy minimálních hladin podzemní vody a zaměřit se i na plošnou extrapolaci prognóz. Z pohledu dlouhodobých poklesů hladin podzemních vod a jejich dopadu na využívané zdroje podzemních vod zastihuje v současnosti stav „pohotovost“ pravděpodobně 10 % obyvatel. Výskyt sucha a následné ohrožení zásobování pitnou vodou vyvolávají mimořádné situace, které musí řešit vodoprávní úřady. Mezi opatření při mimořádných situacích mohou vodoprávní úřady omezit nebo zakázat na nezbytně nutnou dobu nakládání s vodami podle platného povolení k odběru vody z vodního zdroje.

Velmi dobrým příkladem jsou stupně mimořádných stavů sucha v podzemních vodách, zpracované pro jímací území Litá (Finfrlová, P., 2009). Stupně mimořádných stavů sucha zpracovali hydrogeologové, pracovníci ČHMÚ a Vodovodů a kanalizací. Indikační hladinou je hladina v neovlivněném vrtu státní monitorovací sítě. Pro mimořádné stavy sucha v podzemních vodách byla navržena následující opatření:

- Normální stav: 60% překročení hladiny
- Bdělost: 80% překročení hladiny
  Zmenšení intervalu měření hladin podzemní vody a hodnocení měsíčních předpovědí počasí
- Pohotovost: 90% překročení hladiny
  Částečné omezení spotřebitelů (výzvy k šetření), aktivace komise pro řešení nedostatku vody a příprava nouzového stavu
- Nouze: Informování krizových složek, omezení spotřebitelů, neplatí omezení čerpání uvedená v rozhodnutí o nakládání s vodami z hlediska ochrany přírody

Opatření pro zmírnění dopadů sucha v podzemní vodě zahrnují rovněž zlepšení retenčních schopností krajiny spojené s revitalizací krajiny a efektivnější hospodaření se srážkovými vodami.

Závěr

Výskyt sucha v podzemních vodách, které jsou významnou složkou oběhu vody v přírodě a jsou v interakci s povrchovými vodami a dalšími složkami životního prostředí, může vést ke krizový situacím, jak ve složkách životního prostředí, tak i v zásobování obyvatelstva pitnou vodou a v zemědělské výrobě. Z toho důvodu je nezbytné zpracovat dlouhodobá opatření pro řešení problematiky sucha, včetně prognóz minimálních hladin a zlepšování retenčních schopností krajiny a efektivnější hospodaření se srážkovými vodami.

Literatura:

Brückner, E. (1890): Klimatische Schwankungen seit 1700. Geographische Abhandlungen, Vol. 14, 325 s.

Castany, G. (1978): Effets de la sécheresse sur les eaux souterrines. Vulnérabilité a la sécheresse des nappes. Bulletin du B.R.G.M. (deuxiéme série).Section III, n° 3, 225-227.

Cílek, V. (2011): Po mokrých letech přicházejí sucha. Vodní hospodářství, 61, 8, 316.

EC. (2008): Drought Management Plan Report Including Agricultural Drought Indicators and Climate Change Aspects. Water Scarcity and Drought Expert Network, European Commission Technical Report-2008-028. (http://ec.europa.eu/environment/water/quantity/pdf/dmp_report.pdf)

Holý, M., Dvořák, P., Hálek, V., Šoltész, J. (1984): Odvodňovací stavby. Praha, SNTL, 472.

Kněžek, M. (2013): Jednota hydrologie. In: Krátké úvahy o vodě. ČHMÚ, Praha, 2013, 32-39.

Kovalevskij, V. S. (1983): Mnogoletnjaja izměnčivosť resursov podzemnych vod. Moskva, Nauka, 206.

Marine, W. (1963): Correlation of Water-Level Fluctuations with Climatic Cycles in the Oklahoma Panhanndle. Contributions to the Hydrology of the United States, Geological Survey Water-Supply Paper 1669 - K, 10.

Muzikář, R., Soukalová, E. (1988): Prognózy režimu podzemních vod pomocí stochastických modelů. Praha, Sborník prací ČHMÚ, sv. 36, 112 .

Muzikář, R., 2014. Interakce podzemní a povrchové vody. Vodní hospodářství , 8, 64, 18-21.

Soukalová, E., Muzikář, R. (2013): Hydrologické sucho a příprava opatření pro zásobování obyvatelstva podzemní vodou v období sucha. In: Sborník ze semináře ČVTVHS: Podzemní voda ve vodoprávním řízení X. 9. října 2013. Praha: ČVTHS. s. 31–38. ISBN 978-80-02-02487-3.

Soukalová, E., Muzikář, R. (2013):. Periodicita a předpovědi výskytu sucha v podzemních vodách. In: Sborník ze semináře ČVTVHS: Podzemní voda ve vodoprávním řízení X. 9. října 2013. Praha: ČVTHS. s. 31–38. ISBN 978-80-02-02487-3.

Soukalová, E., Muzikář, R. (2015): In: Brázdil, R., Trnka M. (2015): Sucho v českých zemích_minulost, současnost, budoucnost. Centrum výzkumu globální změny akademie věd ČR, v. v. i. Brno. 2015 (v tisku).

Yevjevich, V. et al.(1977): Drought research needs. In Proceedings of Conference on Drought Research Needs, December 12-15, 1977, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 276 s.

Zalcberg, E. A. (1976): Statističeskie metody prognóza estesvennogo režima gruntovych vod. Leningrad, Nědra, 101.

Zalcberg, E. A. (1980): Režim i balans gruntovych vod zony izbytnogo uvlažnija. Leningrad, Nědra, 207.

Související právní předpisy:

ES. 2000. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/ES ze dne 23. října 2000 ustanovující rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky (Rámcová směrnice o vodě)

ZÁKON 254/2001 Sb.: Zákon o vodách a o změnách některých zákonů (vodní zákon). Úplné znění zákona uveřejněného ve Sbírce zákonů pod č. 273/2010, v částce 101.

Informace o autorech

Eva Soukalová, Ing., CSc.
Pavel Ježík, Ing.
Český hydrometeorologický ústav P-Brno
Kroftova 43
616 67 Brno
eva.soukalova@chmi.cz, tel.: +420 541421022
pavel.jezik@chmi.cz tel.: +420 541421037