

# Hydrologické sucho v podzemních vodách

**EVA SOUKALOVÁ, RADOMÍR MUZIKÁŘ**

**Klíčová slova:** hydrologické sucho – periodicita – minimální hladiny podzemní vody – pozorovací vrt

## SOUHRN

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 krizovým situacím jak ve složkách životního prostředí, tak i v zásobování obyvatelstva pitnou vodou a v zemědělské výrobě. V předloženém příspěvku jsou uvedeny zákonitosti oběhu podzemních vod se zřetelem na výskyt extrémně nízkých hladin, jejich sezonní a víceletá periodicita a trendy, výskyt minimálních hladin a jejich dopady na složky životního prostředí. Jsou uvedeny i negativní antropogenní zásahy, podílející se na výskytu nízkých hladin. Dále jsou uvedeny možnosti prognóz minimálních hladin jako podkladu pro přípravu rozhodnutí při řešení sucha jako mimořádné situace a opatření pro řešení problematiky sucha.

## ÚVOD

Vedle výskytu povodní jako hydrologického extrému je opačným extrémem sucho, kterému byla v minulosti věnována malá pozornost. V předloženém příspěvku jsou uvedeny zákonitosti oběhu podzemních vod se zřetelem na výskyt extrémně nízkých hladin, jejich sezonní a víceletá periodicita a trendy, výskyt minimálních hladin a jejich dopady na složky životního prostředí, antropogenní zásahy a možnosti prognóz minimálních hladin s využitím údajů monitoringu ČHMÚ jako podkladu pro přípravu rozhodnutí vodoprávních úřadů při řešení sucha jako mimořádné situace. Na závěr jsou uvedena opatření pro řešení problematiky sucha.

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 je vznik hydrologického sucha 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.

## ZÁKONITOSTI OBĚHU PODZEMNÍ VODY V PŘÍRODĚ

Podzemní voda je velmi významnou složkou oběhu vod v přírodě. Je v interakci s povrchovými vodami, s nimiž se v důsledku morfologických, geologických a klimatických podmínek vzájemně ovlivňují. V minulosti se problematika obou řešila většinou odděleně. U povrchových vod byla pozornost zaměřena především na povodňové stavy a využívání vodní energie. Minimálním průtokům se

věnovala malá pozornost (Kněžek, 2013). U podzemních vod převládalo hodnocení jejich využitelnosti pro vodárenské využití. Podzemní vody rovněž ovlivňují terestrické ekosystémy a biologická společenství na vody vázaná. V posledních letech se v důsledku implementace Rámcové směrnice EU o vodách (ES, 2000) do českého zákona o vodách (zákon č. 254/2001 Sb.) hodnotí i stavy povrchových a podzemních vod. Dobrý stav povrchových a podzemních vod zahrnuje i kvalitativní a kvantitativní požadavky na využívání těchto vod i na potřeby biologických společenstev na vody vázaných, včetně terestrických ekosystémů.

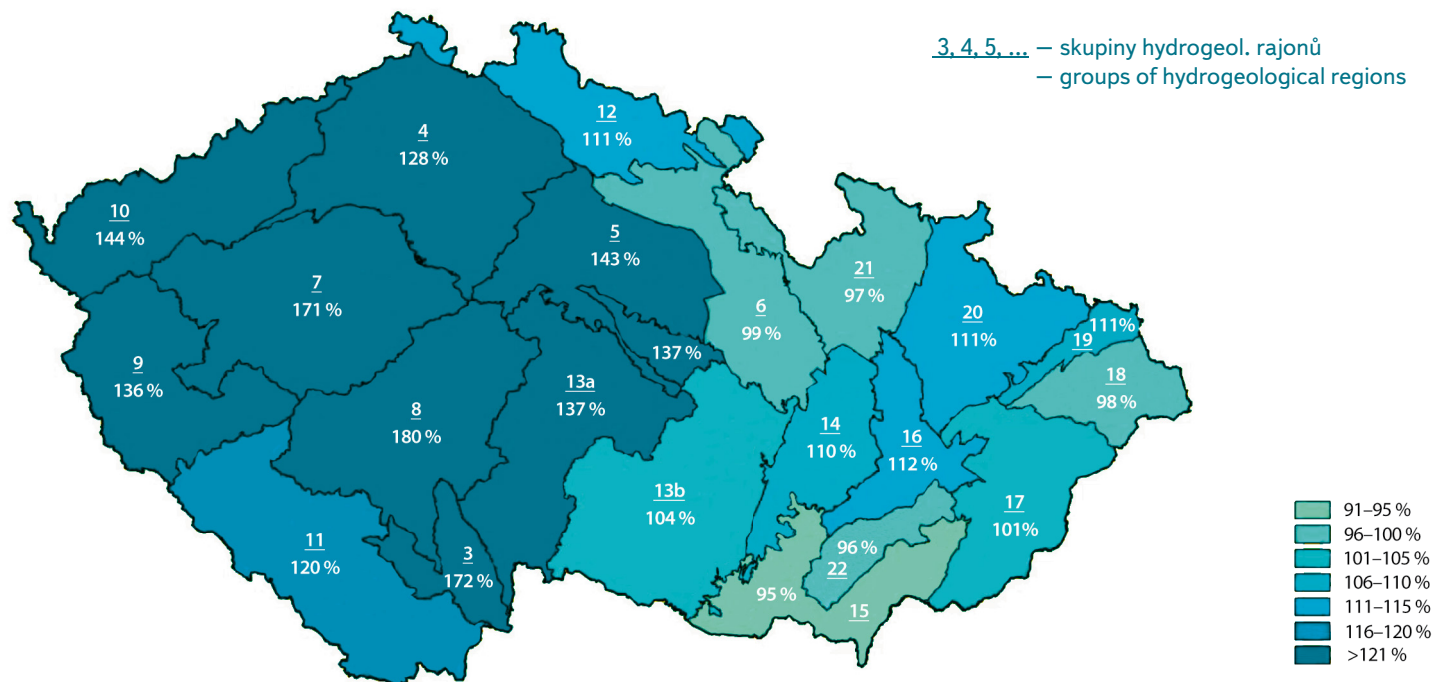
Podkladem pro studium zákonitostí oběhu podzemní vody jsou výsledky systematického pozorování, zajišťovaného Českým hydrometeorologickým ústavem. Bylo zahájeno v trase projektovaného kanálu Dunaj – Odra – Labe na přelomu 30. a 40. let 20. století. Část těchto objektů byla zařazena do státní pozorovací sítě a je sledována 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. Zajišťují jej 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 koncepcí 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 poričních 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 2 000 objektů podzemních vod.

Údaje o hladinách podzemních vod a vydatnostech pramenů představují velmi cenný zdroj informací pro všechny, kdo jakýmkoliv způsobem podzemní vody využívají. Jsou však důležité i při projektování staveb, zejména při ražbě tunelů a jiných rozsáhlých podzemních děl. Zpracované údaje jsou nepostradatelné při rozhodování o využívání a ochraně zdrojů vod, stejně jako pro ochranu životního a přírodního prostředí a jsou výchozím podkladem pro hydrologickou a vodo hospodářskou bilanci a zjišťování stavu podzemních vod.

Dalším zpracováním údajů lze stanovit množství podzemních vod, které je k dispozici a tvoří součást průtoku v povrchovém toku. Tento údaj se nazývá základní odtok (*obr. 1*). Stanovuje se pro desítky dílčích povodí, následně se převádí pro hydrogeologické rajony a slouží jako podklad pro využívání podzemních vod.



Obr. 1. Základní odtok v roce 2013 v % dlouhodobého průměru 1981–2010 (zdroj ČHMÚ)  
Fig. 1. Base flow in year 2012, percentage of 1981–2010 long-term average (source CHMI)

Uvedený rok 2013 byl výjimečný vysokými srážkami v letním období, kdy v povodí Vltavy a dolního Labe došlo až k padesátileté povodni. Po měsíci následovala další, poněkud menší. Toto období je v dlouhodobých normálech u podzemních vod za normálního stavu v oblasti minim, které byly takto podstatně zvýšeny.

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, stavebnictví či 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 ze zdrojů vlastních, tj. většinou z domovních studní, takže podíl odběrů podzemní vody pro zásobování pitnou vodou bude vyšší než 49 %.

Na území ČR je přibližně 80 % využitelného množství podzemních vod soustředěno na zhruba 30 % plochy. K nejvýznamnějším územím náleží část české křídové pánve (vymezená přibližně Jizerou, dolním tokem Labe a státní hranicí), východní Čechy na pomezí s Moravou a třeboňská a budějovická pánev na jihu Čech. Všechna tato území musí být chráněna proti znečištění a nadměrným odběrům podzemních vod a dalším činnostem, které by mohly ohrozit jejich množství nebo kvalitu. Aktuální informace o stavu hladin podzemní vody lze získat na [http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps\\_pzv.php](http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_pzv.php).

Podzemní voda proudí z oblasti infiltrace do oblasti odvodnění. Systémy podzemního odtoku z oblasti doplňování se liší velikostí a hloubkou, přičemž jeden systém může překrývat druhý. Režim podzemních vod mělkých zvodní je velmi dynamický a mezi nimi a povrchovými toky je největší výměna vody (Kněžek, 2013; Muzikář, 2014). V podloží mělkých zvodní se mohou vyskytovat další zvodně, v nichž probíhá oběh vody ve větších hloubkách a cirkulující podzemní voda se v nich zdrží podstatně déle než v mělkých

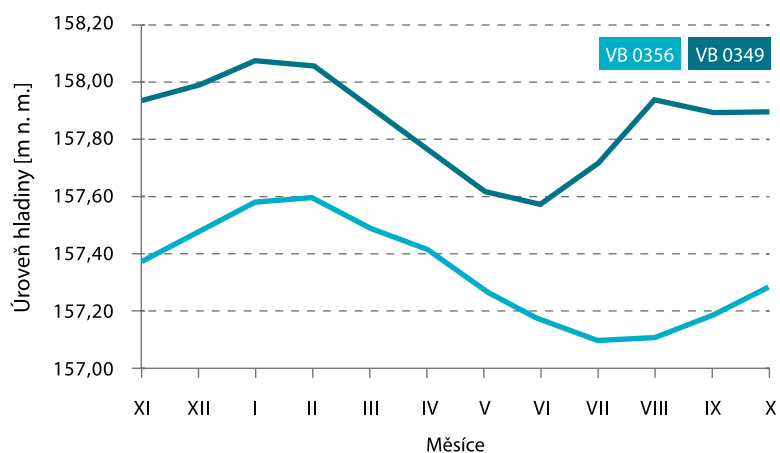
zvodních. Podzemní voda z hlubších zvodní je rovněž drénována povrchovými toky. Povrchové toky proto mohou drénovat více zvodní. Tato drenáž probíhá v různých úsecích vodního toku, které nemusí být shodné s úseky, v nichž se drénují mělké podzemní vody.

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 sezonním doplňováním zásob. Při sezonním doplňování zásob je převážnou část zimního období na území sněhová pokrývka (s celkovým počtem dní s výskytem sněhové pokrývky větším než 50 dní). Sezonní doplňování zásob je rozšířeno na větší části ČR. U obou typů režimu doplňování zásob je obecně známá výrazná sezonní periodicitu, charakteristická výskytem jarních, respektive letních maximálních hladin a podzimních, respektive zimních minimálních hladin. Sezonní trendy mají následující průběh: po výskytu maximálních hladin (většinou začátkem roku) nastává sestupný trend pohybu hladiny podzemní vody, který bývá v ojedinělých případech přerušován mírným vzestupem hladiny, způsobeným vysokým úhrnem srážek v letním období. Tento vzestup hladiny trvá jen krátce, zpravidla několik dní a po jeho odeznění pokračuje opět sestupný trend hladiny až do výskytu roční minimální hladiny, typické většinou pro konec léta. Velikost minimálních hladin velmi dobře koreluje s velikostí maximálních hladin (Muzikář a Soukalová, 1988; Soukalová a Muzikář, 2015). Po výskytu ročních minimálních hladin nastává mírný vzestup hladiny, způsobený podzimními srážkami při nízkém výparu, vyvrcholený vzestupem hladiny na jaře až do výskytu roční maximální hladiny.

Na obr. 2 je graficky znázorněn roční chod hladin podzemní vody se sezonním doplňováním mělkých podzemních vod v povodí Dyje (vrt VB0349) a v povodí Moravy (vrt VB0356).

Vedle sezonního kolísání hladin podzemní vody (sezonní periodicity) existuje víceleté kolísání hladin podzemní vody, které se vyznačuje víceletou periodicitou (angl. secular periodicity). Pro stanovení víceleté periodicity se zpracovávají časové řady ročních charakteristik hladin podzemní vody (roční průměrné, maximální nebo minimální hladiny).

## Roční chod hladin PZV 1981–2010



Obr. 2. Roční chod hladin podzemních vod za období 1981–2010 ve vrtu VB0349 Charvatská Nová Ves a VB0356 Mikulčice

Fig. 2. Fluctuations of 1981–2010 average monthly groundwater levels in monitoring wells VB0349 Charvatská Nová Ves and VB0356 Mikulčice

## PERIODICITA A TRENDRY 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 předpovědi. V hydrologických časových řadách je možno vyčlenit: trend, sezonní složku, cyklickou složku víceletou, složku náhodnou a složku katastrofální.

Trend představuje dlouhodobou systematickou změnu v časové řadě (Kisiel, 1969; Muzikář a Soukalová, 1988; Soukalová a 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 podzemních vod jeví trend lineární. V případě umělého ovlivnění režimu podzemní vody (například odběry podzemní vody) je nejvhodnější aproximace logaritmickou nebo exponenciální funkcí.

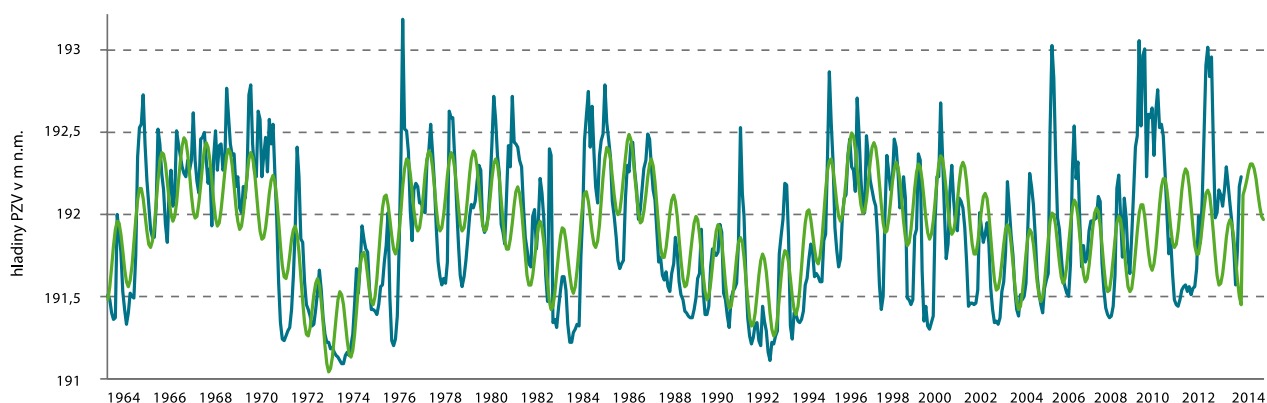
Nejvýznamnější periodou u většiny vrtů je dvanáctiměsíční perioda, která koresponduje se sezonním doplňováním podzemní vody. Druhá nejvýznamnější (platí pro povodí Moravy) je perioda pětiletá. Dvouletá a desetiletá perioda jsou třetí nejvýznamnější. U řad s šedesátiletou řadou pozorování se vyskytují rovněž statisticky významné třicetileté periody, odpovídající tzv. Brücknerově periodě (34leté), známé při popisu přírodních jevů. Na obr. 3 je vyznačen průběh modelových hodnot měsíčních hladin podzemních vod mělkých zvodni stanovených harmonickou analýzou. Délka period v časových řadách ročních minimálních hladin a ročních průměrných hladin je analogická (viz dále).

Periodicita se vyskytuje velmi často s nestejnou délkou amplitud a perioda a je někdy málo výrazná. Proto je vhodnější uvažovat spíše o tendenci k periodicitě nebo o kvaziperiodicitě. 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 a 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 sezonním 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 a 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). Podstata periodicity nebyla dosud spolehlivě vysvětlena. Většina badatelů se přiklání k vlivu heliogeofyzikálních faktorů. Kvaziperiodicitu je možno přičíst interferenci různých heliogeofyzikálních faktorů, které se přenášejí přes atmosféru na zemskou kůru a hrají úlohu „filtru“ (Kovalevskij, 1976, 1983). Pro kolísání hladin podzemní vody jsou rozhodující srážky. Významnou roli hraje inerční schopnost zvodněného kolektoru. Roční charakteristiky ovlivňuje úhrn srážek za předcházejících několik let (Kovalevskij, 1976, 1983; Marine, 1963; Muzikář a Soukalová, 1988). Příklady zjištěných period hladin podzemní vody uvádí dále Ramón (1978), Zalcberg (1976, 1980) a Zaporozec (1980).

Periodicita ročních úhrnů srážek, které jsou rozhodujícím faktorem pro tvorbu podzemních vod, koresponduje s periodami v časových řadách

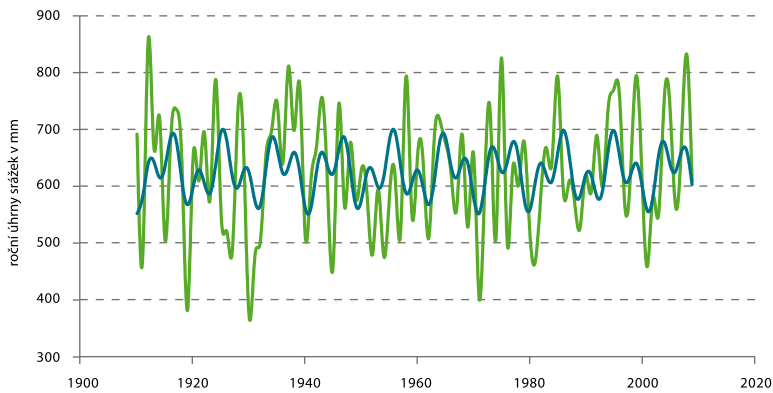
## VB0129 Uřičice (okres Přerov, povodí Moravy), průměrné měsíční hladiny 1964–2014, periody 1, 2, 4, 5, 8 let



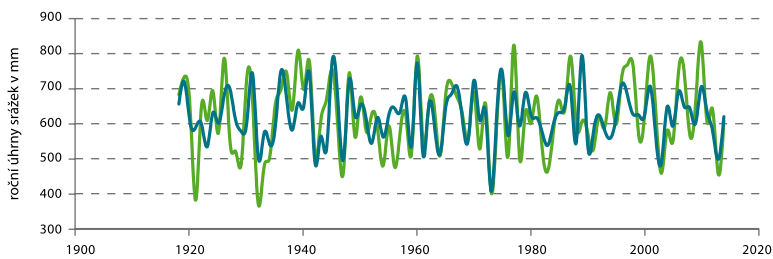
Obr. 3. Modelové a naměřené průměrné měsíční hladiny ve vrtu VB0129 Uřičice  
Fig. 3. Modelled and measured average monthly groundwater levels in the monitoring well VB0129 Uřičice

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 obr. 4).

#### Napajedla – roční úhrny srážek, model: periody: 2, 10 let



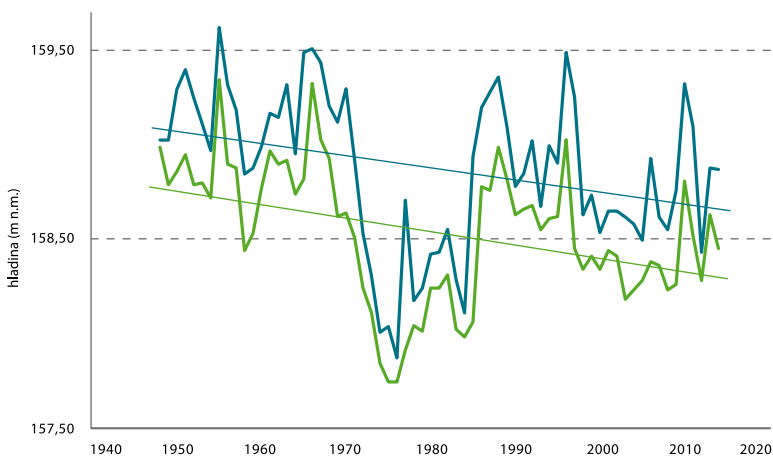
#### Napajedla – roční úhrny srážek 1915–2014, periody: 2, 10, 5, 4, 3 roky



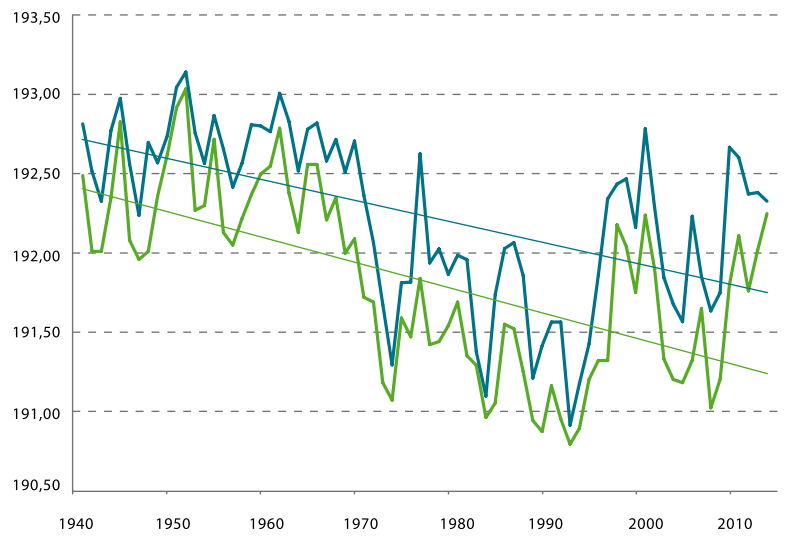
Obr. 4. Významné periody v časové řadě ročních úhrnů srážek ze srážkoměrné stanice Napajedla  
Fig. 4. Significant periods in time series of annual precipitations sums from precipitation station Napajedla

Příklady významných trendů ročních průměrných a ročních minimálních hladin v povodí Moravy, Dyje a Jihlavy jsou uvedeny na obr. 5. Ve všech vrtech je patrný sestupný lineární trend.

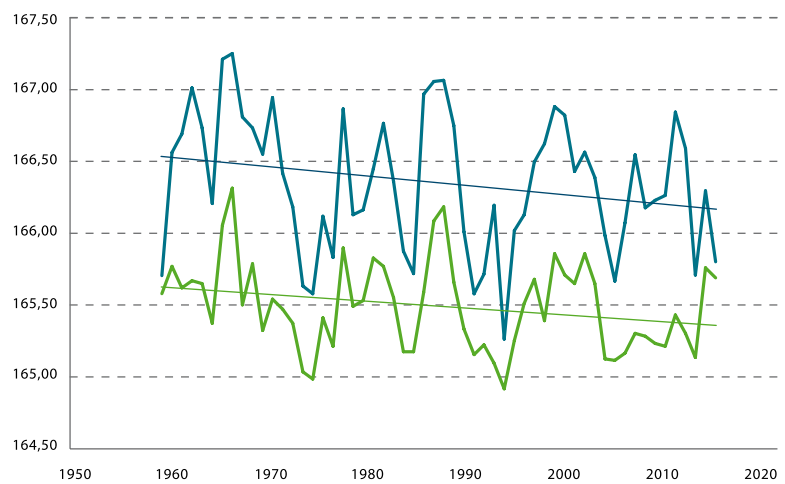
#### KB0690 Ladná (povodí Dyje) 1948–2014



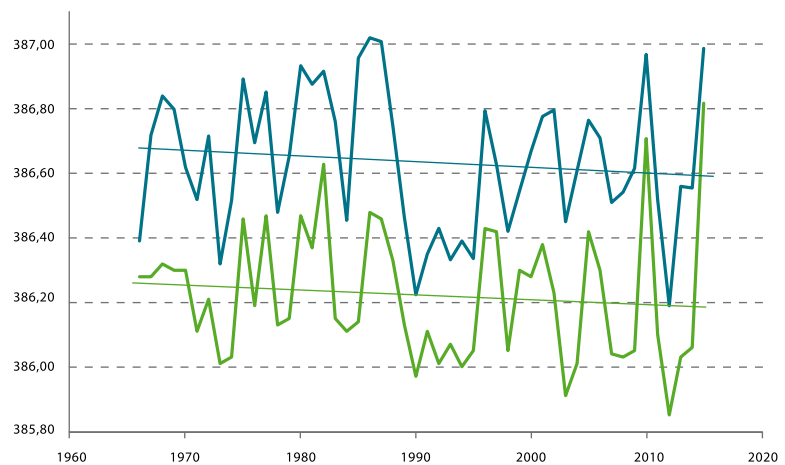
#### KB0189 Břest– Kyselovice (povodí Moravy) 1941–2014



#### KB0556 Strážnice (povodí Moravy) 1959–2014



#### VB0305 Vladislav (povodí Jihlavy) 1966–2014



Obr. 5. Významné trendy ročních průměrných a minimálních hladin podzemních vod  
Fig. 5. Significant trends in average annual and minimum annual groundwater levels

Sestupné trendy mohou být způsobeny klimatickými změnami a prostoro-  
vým rozložením srážek během roku. V ČR se zatím větší změny v celkovém  
objemu srážek nepotvrdily – pomalu se ovšem začíná projevovat změna v rozlo-  
žení 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). Přívalem srážky rychle odtečou a sníží velikost doplňování zásob  
podzemní vody.

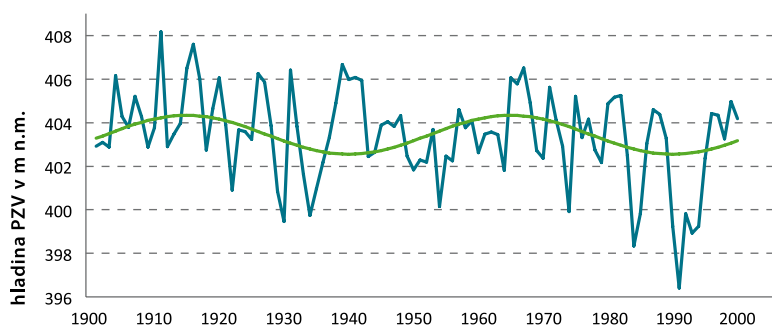
## VÝSKYT MINIMÁLNÍCH HLADIN A DOPADY VÝSKYTU MINIMÁLNÍCH HLADIN

Minimální hladiny se vyskytují s přibližně desetiletou periodou. Jako málo  
vodné se z hlediska podzemních vod jeví roky 1934, 1944, 1954, 1964, 1974, 1984,  
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 1973–1974 a v povodí Dyje v letech 1974, 1983 a 2003. V roce 2012  
se hladiny podzemních vod přiblížily nebo překročily absolutní minimální hla-  
diny v horním povodí Jihlavy a v povodí Dyje.

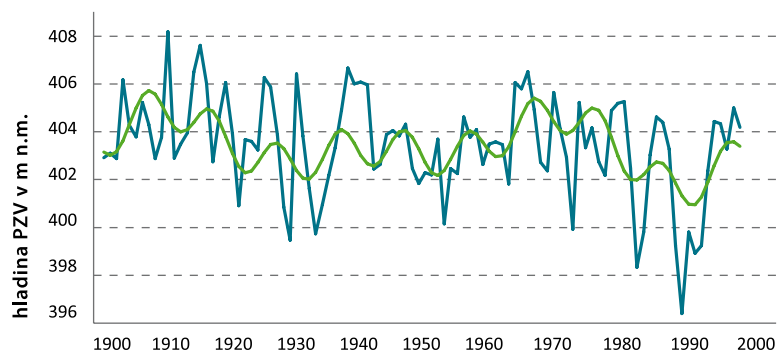
Příklad výskytu minimálních hladin je uveden ve vrtu V 12 s nejděší dobou  
pozorování v České republice v infiltrační oblasti vodního zdroje Březová nad  
Svitavou. Časová řada průměrných ročních hladin má mírně sestupný trend.  
Příčinou je vliv srážek a dále trvalý odběr podzemní vody pro brněnský vodo-  
vod. V časové řadě se vyskytuje statisticky významná 25letá perioda. Další  
významné periody jsou o délce 2, 5, 10 a 16 let. Tyto periody byly také vybrány  
pro modelování pohybu hladin podzemní vody harmonickou analýzou (obr. 6).

Absolutní minimální roční hladina se vyskytla ve vrtu v Baníně v roce 1993.  
Nízké hladiny podzemní vody byla 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 střed-  
ních, východních a jižních Čechách a na jižní Moravě.

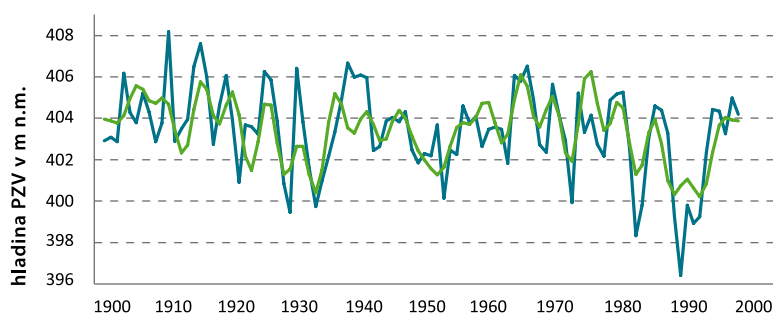
### Banín – 25letá perioda



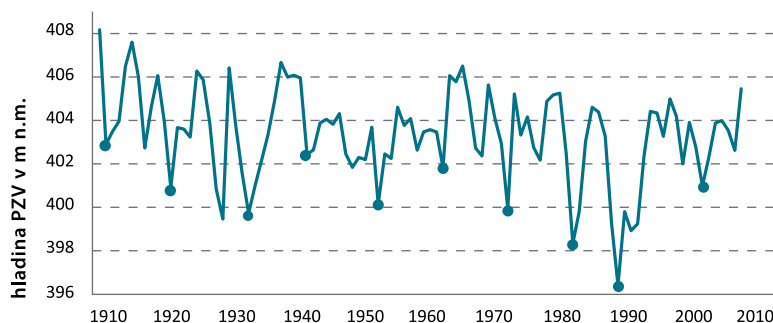
### Banín – periody 5, 16, 25 let



### Banín – periody 2, 5, 10, 16, 25 let



### Banín – výskyt minimálních hladin



Obr. 6. Periody v časové řadě hladin podzemní vody ve vrtu v Baníně a výskyt minimálních ročních hladin

Fig. 6. Periods in the time series of average annual groundwater levels in the Banín monitoring well 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.

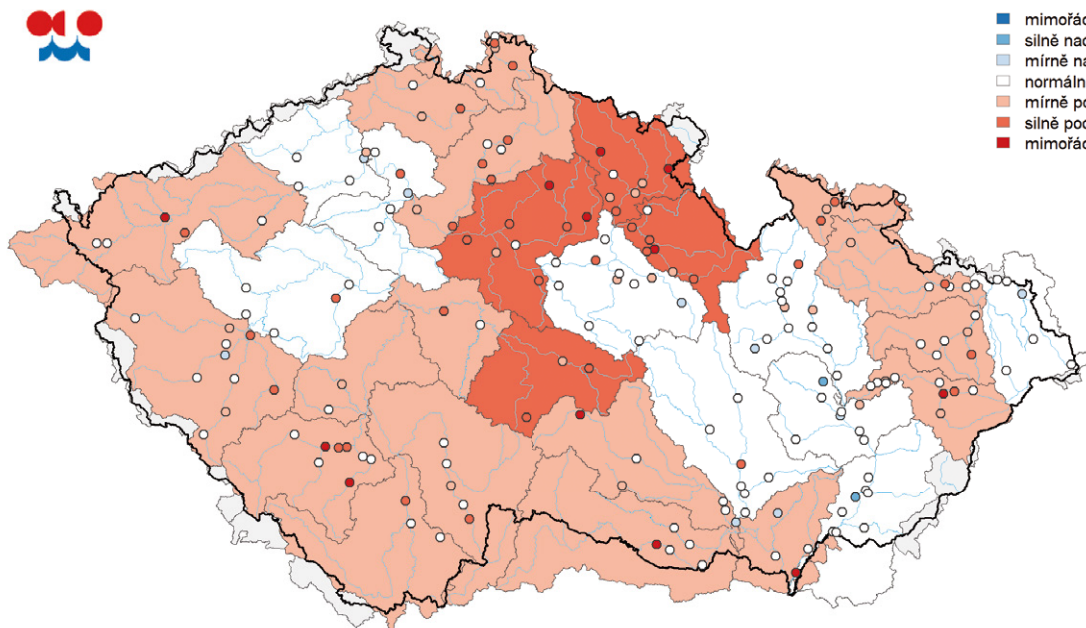
Podstatný vliv však má nárůst teploty, která mírně stoupá již od roku 1980.  
K roku 2010 byl její vzestup řádově o jeden stupeň celsia. Tato velikost se zdá  
malá, zvýšila však velikost územního výparu přibližně o 20%. To se na někte-  
rých povodích (Blšanka, Metuje v polické pánvi) projevilo znatelným zmenše-  
ním základního odtoku přibližně o jednu třetinu.

V důsledku výskytu nízkých hladin podzemní vody vzniká významné ovliv-  
nění složek životního prostředí. Malé průtoky v povrchových tocích jsou tvo-  
řeny 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, jenž  
umožňuje obecné nakládání s povrchovými vodami a ekologické funkce vod-  
ního toku. Ekosystém je vzájemný vztah živých organismů a jejich prostředí, tj.  
geologického prostředí. Geologické prostředí zahrnuje horniny a půdu, pod-  
zemní vodu, půdní vzduch a mikroorganismy. Všechny jsou ve vzájemné sou-  
vislosti. Organismy se přizpůsobují určitým podmínkám. Po změně podmínek  
se buď novým podmínkám přizpůsobí, nebo zahynou. V různých klimatických  
podmínkách jsou rostliny geobotanickými indikátory určitých podmínek. Mezi  
podmínky, které ovlivňují růst rostlin, patří kvalita půdy, půdní vlhkost a její veli-  
kost. Půdní vlhkost závisí kromě režimu srážek i na hloubce hladiny podzemní  
vody. Citelným zásahem do ekosystémů je snížení nebo zvýšení hladiny pod-  
zemní vody a s ním často i změna půdní vlhkosti zemin nesaturované zóny.  
Snížením půdní vlhkosti hynou mokřadní rostliny a vzniká většinou zjedno-  
dušený ekologický systém. Vysoké výnosy zemědělských plodin jsou pod-  
míněny dostatečným provzdušňováním půdy a optimální vlhkostí půdy. Pro



8. 6. – 14. 6. 2015

- mimořádně nadnormální
- silně nadnormální
- mírně nadnormální
- normální
- mírně podnormální
- silně podnormální
- mimořádně podnormální



Obr. 7. Stav hladiny podzemní vody v mělkých vrtech – týdenní zpráva ČHMÚ  
Fig. 7. Groundwater levels in shallow monitoring wells – CHMI weekly report

vyjádření optimální vlhkosti byla zavedena optimální úroveň hladiny podzemní vody v závislosti na typech půdy a typech plodin. Podle výzkumů Petrasovice je například v lehkých půdách optimální úroveň hladiny podzemní vody pro mělce kořenicí vegetaci v hloubce 0,4 m pod terénem. Při hloubce hladiny 0,2 m pod terénem poklesne výnos na 50 % výnosu při optimální hladině a při hloubce hladiny 0,9 m na 60 % (Holý, 1984).

Výskyt minimálních hladin podzemní vody vyvolává suchu v podzemních vodách. Podle Castany (1978) je sucho v podzemní vodě důsledkem deficitu efektivních srážek a vyčerpávání zásob podzemní vody a podle technické zprávy EU (EC, 2008) se sucho projevuje jako významný pokles průměrného dostupného množství vody při výrazném poklesu průměrných hladin podzemní vody. Přes význam podzemních vod bylo doposud řešení dopadů sucha v podzemních vodách věnováno málo pozornosti.

Výskyt minimálních hladin podzemní vody výrazně ovlivňují kromě přírodních faktorů i antropogenní zásahy. Trvalé snížení hladiny podzemní vody nastává účinkem odběrů podzemní vody, odvodňováním ložisek, provozem hydraulických bariér při sanaci kontaminované podzemní vody, trvalým snižováním hladin pod základy staveb v městských aglomeracích a u dopravních staveb, u nichž je niveleta vedena v zářezu pod hladinou podzemní vody a při nichž odebírané množství podzemní vody není vyvážené doplňováním zásob podzemní vody a normami environmentální kvality (tj. dobrý stav podzemních vod). Snižování hladiny podzemní vody vyvolávají i úpravy toků (napřimování meandrů). Podzemní stavby a podzemní sítě (vodovodní a kanalizační potrubí, produktovody) situované pod hladinou podzemní vody mají rovněž drenážní účinek. Zemědělská výroba se rovněž podílí za určitých podmínek na snižování hladiny podzemní vody, například nevhodnými osevními postupy, technologickou nekázní při nasazení těžké techniky na rozbahněných pozemcích a podobně. S výstavbou nových objektů narůstají nepropustné plochy, které snižují velikost infiltrace srážkových vod.

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. 7) <http://portal.chmi.cz>.

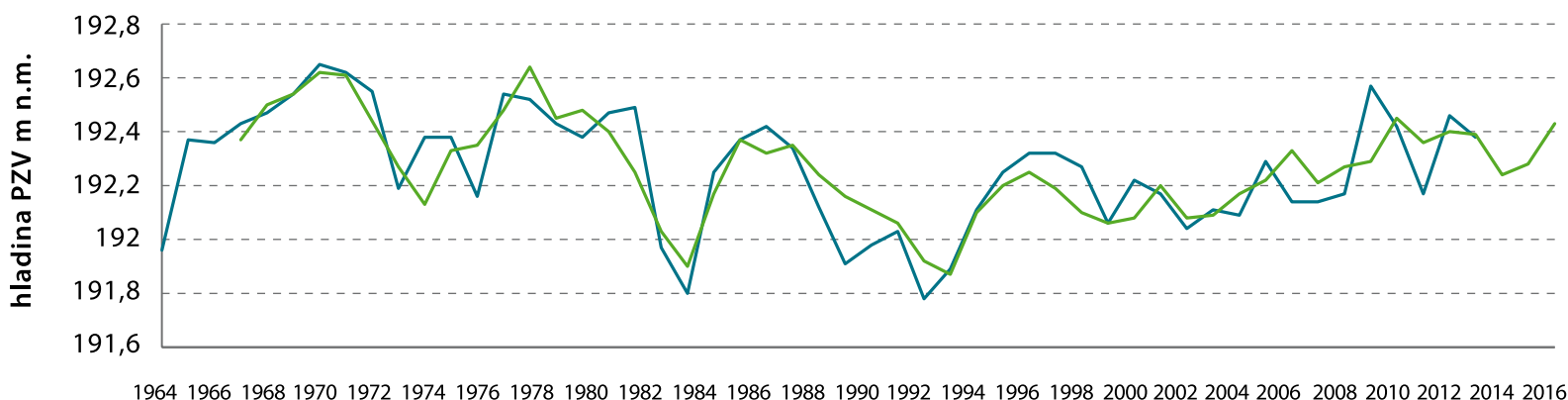
## PŘEDPOVĚDI HLADIN PODZEMNÍ VODY

Předpovědi hladin podzemní vody vycházejí 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 (například 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. 8 jsou vyznačeny modelové hodnoty průměrných ročních hladin podzemních vod spočítané harmonickou analýzou s prognózou hladin.

Každá předpověď je zatížena chybou předpovědi, tj. rozdílem mezi skutečnou a předpovídanou hodnotou. Stanovuje se přípustná chyba předpovědi  $\delta_p = 0,674 s$ , kde  $s$  je směrodatná odchylka naměřených hodnot. Předpověď se považuje za přijatelnou, jestliže 80 % předpovídaných hodnot má chybu předpovědi nižší než je přípustná chyba předpovědi  $\delta_p$ . Dále se může provést klasifikace předpovědního modelu. To je podíl směrodatných odchylek předpovídaných hodnot  $sp$  a směrodatných odchylek pozorovaných hodnot  $s$ . Předpověď může být dobrá ( $sp / s = 0,4$ ), uspokojivá (0,6), slabá (0,8) a neuspokojivá.

## VB0129 Uhřičice (okres Přerov, povodí Moravy), roční průměrné hladiny, periody 2, 4, 5, 8 let



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

V povodí Moravy byla provedena prognóza minimálních hladin mělkých zvodní v roce 2013 korelační analýzou ve 33 monitorovacích vrtech hlásné sítě základní mělké sítě podzemních vod. Nezávisle proměnnou byly průměrné měsíční hladiny v březnu a závisle proměnnou byly průměrné měsíční hladiny v září. V posuzovaném období poklesly průměrné měsíční hladiny o 0,05–0,95 m (průměr 0,34 m). Celkem 85 % předpovídaných hodnot mělo chybu předpovědi nižší, než byla přípustná chyba předpovědi  $\delta_p$ , tzn., že předpověď byla přijatelná.

Uvedené prognózy hladin podzemní vody se vztahují k monitorovanému vrtu. Pro praktickou aplikaci prognóz je nutná plošná extrapolace, pro niž je nutno zvolit indikační vrt. Indikační vrt musí být situován v blízkosti míst, pro něž se má prognóza extrapolovat a nesmí být ovlivněn odběry podzemní vody. Musí mít analogické podmínky jako monitorovací vrt, v němž byla provedena prognóza. Jedná se o hydrogeologické podmínky pro tvorbu zásob podzemní vody, odtok podzemní vody, litologii a mocnost nenasycené a nasycené zóny, jejich propustnost, geomorfologické podmínky a zejména sezonní synchronii kolísání hladin atd. (Muzikář a Soukalová, 1988; Rétháti, 1983; Zalberg, 1980). V indikačním vrtu se musí měřit hladiny podzemní vody alespoň po dobu dvou let souběžně s monitorovacím vrtem, pro něž byla provedena prognóza a v němž probíhá dlouhodobý monitoring. Pro měsíční průměrné hladiny v obou vrtech se stanoví korelační závislost. Z regresní rovnice se dopočítá prognózní hladina v indikačním vrtu. Z korelačních závislostí vrtů s dlouhodobým monitoringem a s dvouletým monitoringem v povodí Dyje vyplynulo, že v krátkodobě monitorovaných vrtech je možno spolehlivě stanovit 90 % a přesněji 80 % hladiny (Muzikář a Soukalová, 1988).

Prognózní metodiky uvádí dále Heinrichsdorf (1969), Rétháti (1983) či Zalberg (1976, 1980).

## OPATŘENÍ PRO ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY SUCHA

Pro řešení problematiky sucha doporučilo Ministerstvo životního prostředí 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. Jako opatření při mimořádných situacích mohou například 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, 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 tato 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.

Pro návrh mimořádných stavů sucha v podzemních vodách by bylo vhodné stanovit pro indikační vrt dříve uvedené prognózy minimálních hladin. Řešení dodávky vody a ekologických rizik při výskytu sucha vede ke střetu zájmů, při kterých se přednostně řeší zájmy ochrany přírody. Naše legislativa by měla vést k řešení problematiky rozumnými kompromisy, při nichž bude dosažena rovnováha mezi ekologickými, sociálními i ekonomickými hledisky.

V důsledku vzájemného ovlivňování podzemních a povrchových vod a pro dosažení jejich dobrého stavu při jejich využívání je nutný integrovaný přístup, tzv. integrovaný management vodních zdrojů (water resources management) – UNESCO 2012.

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 krizovým situacím jak ve složkách životního prostředí, tak i v zásobování obyvatelstva pitnou vodou a v zemědělské výrobě. Z tohoto důvodu je nezbytné zpracovat dlouhodobá opatření pro řešení problematiky sucha, včetně prognóz minimálních hladin a zlepšování retenčních schopností krajiny a efektivnějšího 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 souterraines. Vulnérabilité a la sécheresse des nappes. *Bulletin du B.R.G.M.* (deuxième série). Section III, no 3, p. 225–227.
- Cílek, V. (2011) Po mokřých letech přicházejí sucha. *Vodní hospodářství*, roč. 61, č. 8, s. 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. Dostupné z: [http://ec.europa.eu/environment/water/quantity/pdf/dmp\\_report.pdf](http://ec.europa.eu/environment/water/quantity/pdf/dmp_report.pdf).
- Heinrichsdorf, F. (1969) Die Mittelfristige Vorhersage des Grundwasserstandes mit Hilfe Regressionsanalyse. *Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen*, Jg. 13, H.G., s. 142–152.
- Holý, M., Dvořák, P., Hálek, V. a Šoltész, J. (1984) Odvodňovací stavby. Praha: SNTL, 472 s.
- Kisiel, Ch.C. (1969) Time series analysis of hydrologic data. New York, London: Academic Press (ruský překlad, Leningrad: Gidrometeoizdat, 1972, 140 s.)
- Kněžek, M. (2013) Jednota hydrologie. In: *Krátké úvahy o vodě*. Praha: ČHMÚ, s. 32–39.
- Kovalevskij, V.S. (1976) Mnogoletnie kolebania urovnej podzemnych vod i podzemnogo stoka. Moskva: Nauka, 276 s.
- Kovalevskij, V.S. (1983) Mnogoletnjaja izměnčivost' resursov podzemnych vod. Moskva: Nauka, 206 s.
- Marine, W. (1963) Correlation of Water-Level Fluctuations with Climatic Cycles in the Oklahoma Panhandle. Contributions to the Hydrology of the United States, Geological Survey Water-Supply Paper 1669 - K, 10 p.
- Muzikář, R. a Soukalová, E. (1988) Prognózy režimu podzemních vod pomocí stochastických modelů. Praha, Sborník prací ČHMÚ, sv. 36, 112 s.
- Muzikář, R. (2014) Interakce podzemní a povrchové vody. *Vodní hospodářství*, roč. 64, č. 8, s. 18–21.
- Ramón, S. (1978) La prévision des niveaux piézométriques. Trois remarques sur une longue série d'observations. *Bull. du B.R.G.M.* (deuxième série) Sec. III, no. 3, p. 239–245.
- Rétháti, L. (1983) Groundwater in Civil Engineering. Budapešť: Akadémiai Kiadó, p. 430.
- Soukalová, E. a 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: ČVTVHS. s. 31–38. ISBN 978-80-02-02487-3.
- Soukalová, E. a 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: ČVTVHS. s. 31–38. ISBN 978-80-02-02487-3.
- Soukalová, E. a Muzikář, R. (2015) In: Brázdil, R. a 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 p.
- Zalcborg, E.A. (1976) Statističeskí metody prognoza estesvennogo režima gruntovych vod. Leningrad: Nėdra, 101 s.
- Zalcborg, E.A. (1980) Režim i balans gruntovych vod zony izbytnogo uvlažnja. Leningrad: Nėdra, 207 s.
- Zaporozec, A. (1980) Drought and groundwater levels in northern Wisconsin. *Geoscience Wisconsin*, Vol. 5, June, University of Wisconsin: Madison, 92 p.

### 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 č. 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.

## Autoři

**Ing. Eva Soukalová, CSc.<sup>1</sup>**

✉ [eva.soukalova@chmi.cz](mailto:eva.soukalova@chmi.cz)

**Ing. Radomír Muzikář, CSc.**

✉ [radomir.muzikar@karneval.cz](mailto:radomir.muzikar@karneval.cz)

<sup>1</sup> Český hydrometeorologický ústav, Brno

Příspěvek prošel lektorským řízením.

## HYDROLOGICAL GROUNDWATER DROUGHT

**SOUKALOVA, Eva<sup>1</sup>; MUZIKAR, Radomir**

<sup>1</sup> Czech Hydrometeorological Institute

**Key words:** hydrological drought — periodicity — minimal groundwater level — monitoring well

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 and their impact on the environmental components, 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 the closing, measures for severe water shortages are given.