**Hydrologické sucho v podzemních a povrchových vodách na jižní Moravě**

*Ing. Eva Soukalová, CSc.*

*Český hydrometeorologický ústav P-Brno, Kroftova 43, 616 67 Brno*

**Abstrakt**

Vedle výskytu povodní jako hydrologického extrému je opačným extrémem sucho, kterému byla v minulosti věnována malá pozornost. V předloženém příspěvku jsou uvedeny zákonitosti režimu kolísání hladin podzemních vod se zřetelem na výskyt extrémně nízkých hladin, jejich sezónní a víceletá periodicita a možnosti prognóz minimálních hladin s využitím údajů monitoringu ČHMÚ jako podkladu pro přípravu rozhodnutí vodoprávních úřadů při řešení sucha jako mimořádné situace. Dále je uveden výskyt ročních minimálních průtoků na řece Moravě pro vodoměrnou stanici Strážnice a výhled.

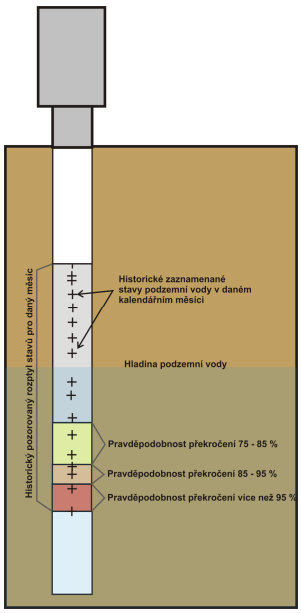
**Klíčová slova: periodicita, prognózy a režim hladin podzemní vody**

Apart from flood events as hydrological extremes, drought is the opposite extreme which was not paid so much attention in the past. In the submitted paper there are given natural relations of the groundwater regime respected occurence of the extremely low levels, seasonal and multi-year periodicity and possibility of the groundwater level forecasting using the monitored data of the Czech Hydrometeorological Institute. These data serve as sources in Institutes for Water Law and Policy for making decision during drought events as extraordinary situation. The occurence of the minimum annual mean discharges on the river Morava is given for the gauge station Strážnice.
**Keywords: periodicity, groundwater level forecasting, groundwater regime**

## Úvod

Výskyt povodňových stavů je dlouhodobě zařazen do krizových stavů a je řešen systematicky celou řadou legislativních a technických opatření. Opačný jev - výskyt sucha - se řeší nesystematicky, spíše okrajově, přičemž rizika výskytu sucha jsou značná. V důsledku sucha je ohroženo zásobování obyvatelstva pitnou vodou a dodávka vody pro průmysl, závlahy a další účely v požadovaném množství. Dále vznikají ekologická rizika jako pokles průtoků v povrchových tocích pod minimální zůstatkový průtok nebo ohrožení ekosystémů. Sucho není definováno legislativně a legislativní podpora pro řešení sucha je nedostatečná. Evropská komise se v posledních letech vážně zabývá dopady výskytu sucha. V technické zprávě z roku 2008 (EC 2007) označuje sucho jako klíčovou otázku pro hospodárné a účelné využívání vody a ochranu životního prostředí. Nepřiměřené hospodaření s vodou, včetně nadměrného využívání vodních zdrojů, znečištění vod a dopady změny klimatu na vznik sucha vedou k ohrožení životního prostředí a k negativním společenským dopadům. Vznik sucha může vést ke vzniku krizových situací vyvolaných interakcí životního prostředí a společnosti.

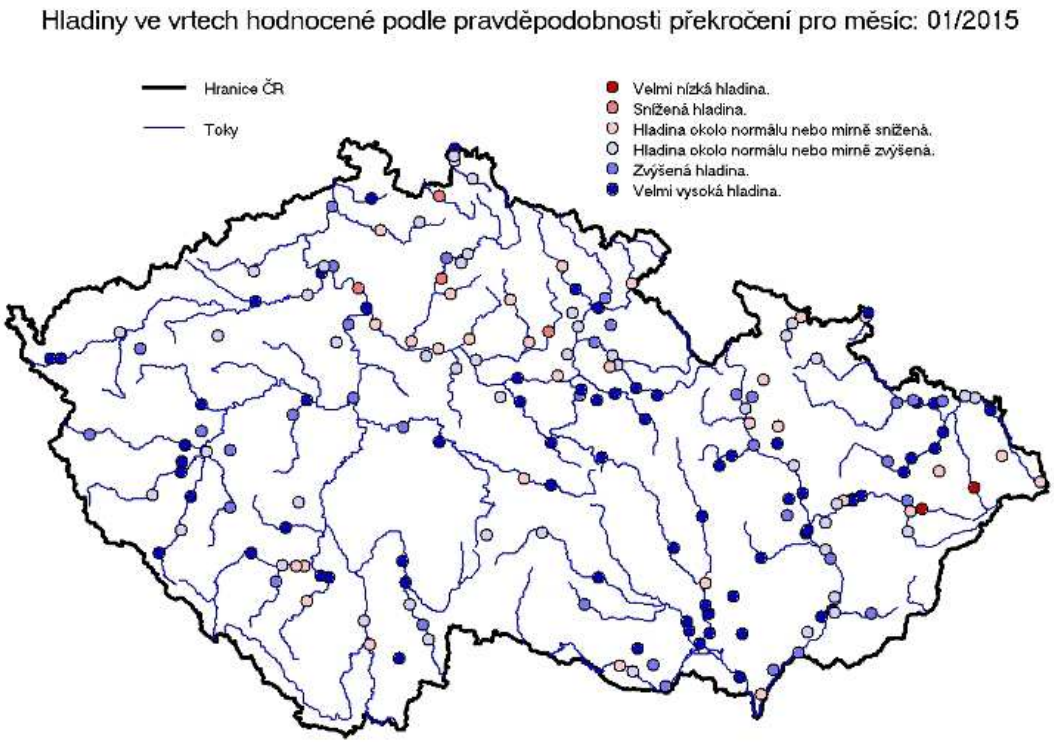
Sucho je extrémním přírodním jevem, který nastupuje pozvolna, dosahuje značné plochy a mívá dlouhé trvání. Yevjevich, V. et al. (1977) definuje sucho jako období s výskytem podprůměrných objemů vody v povrchových a podzemních vodách, jezerech a zeminách. Podle Castany, G. (1978) je sucho v podzemní vodě důsledkem deficitu efektivních srážek a vyčerpávání zásob podzemní vody. ~~snížení~~ Rozlišuje se sucho meteorologické, ovlivněné množstvím srážek, agronomické, způsobující vyčerpávání zásoby vody v půdě a hydrologické, které je charakterizováno poklesem průtoků v povrchových tocích pod dlouhodobé průměry a poklesem hladin podzemní vody pod dlouhodobé průměry. Jako mez charakterizující sucho je určen kvantil 85 % dlouhodobé měsíční křivky překročení. ~~-~~ Pro hodnocení významnosti sucha a nedostatku vody byly v souladu s technickou zprávou EC (2008) navrženy indikátory sucha (Mrkvičková, M., Vlnas, R., Beran, A., 2011). Z hlediska zásobování obyvatelstva vodou byl navržen indikátor nedostatku vody, který představuje podíl celkového ročního odběru vody k dlouhodobému ročnímu průměrnému množství celkového doplňování útvaru podzemní vody sníženému o dlouhodobé průměrné roční množství odtoku nutného pro zachování minimálního zůstatkového průtoku v povrchových tocích, které jsou v hydraulické spojitosti s příslušným zvodněným




kolektorem, a pro zachování suchozemských ekosystémů. Uvedené navržené indikátory sucha klasifikují sucho v době jeho výskytu nebo po jeho výskytu, což může být pro řešení krizových situací pozdě.

Výskyt sucha je mimořádnou situací, která může omezit nebo znemožnit povolené odběry a s důsledkem ohrožení veřejného zájmu (Zákon o vodách § 109, odst. 2). Vodoprávní úřad má v takových případech povinnost zajistit po projednání s příslušnými orgány opatření k nápravě. Při výskytu sucha výrazně narůstá střet zájmů ochrany přírody a zásobování obyvatelstva pitnou vodou veřejnými vodovody.
Na pomoc pro řešení problematiky sucha jsou dále uvedeny zákonitosti režimu podzemních vod se zdůrazněním výskytu nízkých hladin podzemní vody, údaje o sezónní a víceleté periodicitě nízkých hladin a prognózy minimálních hladin podzemní vody.

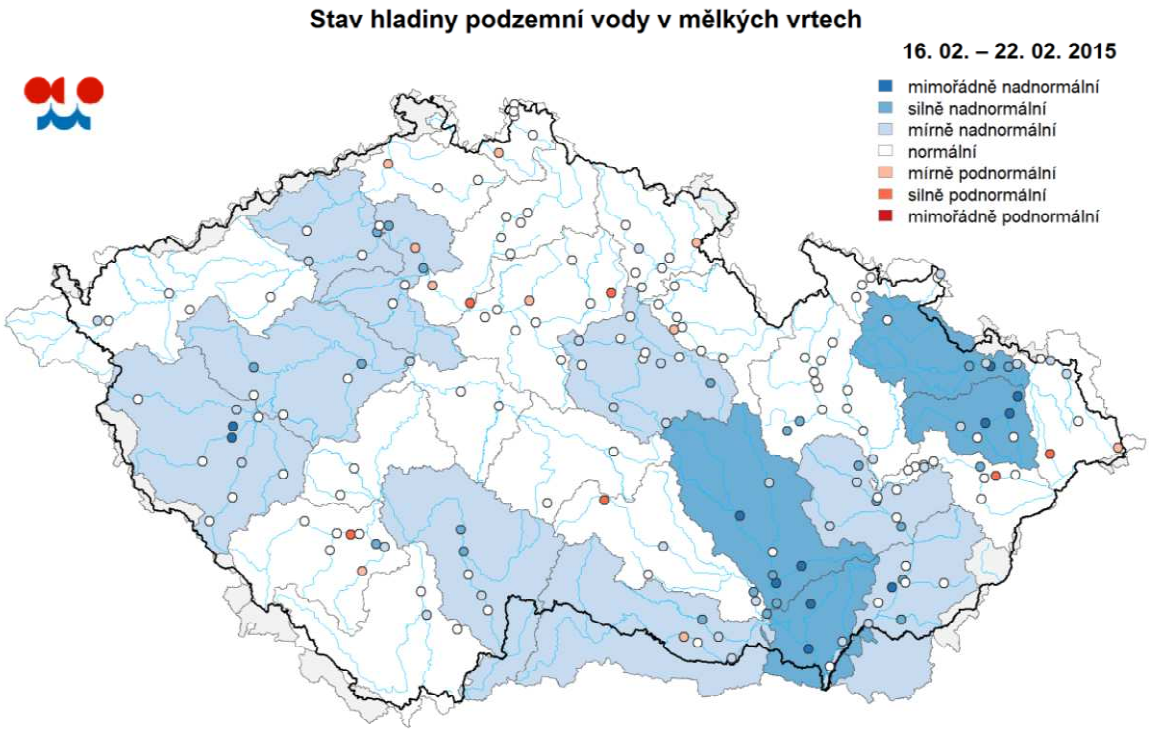
**Aktuální stav podzemních vod ve vrtech na jižní Moravě**




*Obr. 1 Nárůst nebo pokles hladin ve vrtech v měsíci 01/2015*

Růžovou až červenou barvou jsou znázorněny vrty, kde průměrná měsíční hladina podzemní vody v měsíci lednu výrazně poklesla ve srovnání se stejným měsícem roku 2014.

Vyhodnocení podzemních vod ukazuje, že u 91 % mělkých vrtů je aktuální stav ve srovnání s dlouhodobými hodnotami pro toto období normální až mimořádně nadnormální, u 3 % mělkých vrtů se tento stav pohybuje na úrovni silného sucha.




*Obr. 2 Stavy hladin podzemní vody v mělkých vrtech – únor 2015*

Celkově více, než jedna třetina území hodnocena jako mírně nadnormální, silně nadnormální je část jižní Moravy a povodí Odry a Opavy. Vrty, u nichž bylo dosaženo mírně až mimořádně nadnormální úrovně hladiny, představují 36 % všech objektů, u 56 % vrtů je hladina v mezích normálu.
Počet vrtů, u kterých bylo dosaženo silně podnormální úrovně hladiny tj. silného sucha, tvoří 3 % všech objektů. Vrty, u kterých bylo dosaženo silně podnormální úrovně hladiny tj. silného sucha, se vyskytují pouze výjimečně v povodí Olše a Ostravice, Bečvy a Labe od Orlice po Doubravu, Jizery, Otavy a Jihlavy. Mimořádně podnormálních úrovní hladiny tj. mimořádného sucha nebylo na vrtech dosaženo.
Celkově se stav podzemních vod v rámci ČR pohybuje se na normální úrovni.

**Režim podzemních vod**

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. Při sezónním doplňování zásob je převážnou část zimního období na území sněhová pokrývka (s celkovým počtem dní s výskytem sněhové pokrývky větším než 50 dní). Sezónní doplňování zásob je rozšířeno na větší části ČR. U obou typů režimu doplňování zásob je obecně známá výrazná sezónní periodicita, charakteristická výskytem jarních respektive letních maximálních hladin a podzemních respektive zimních minimálních hladin. Sezónní trendy mají následující průběh: po výskytu maximálních hladin (většinou v březnu až květnu respektive počátkem června) nastává sestupný trend pohybu hladiny podzemní vody, který bývá v ojedinělých případech přerušen 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, který se vyskytuje většinou v září až listopadu (ojediněle v červenci až srpnu) nebo i v prosinci až únoru (zejména u sezónního doplňování zásob). Velikost podzimních minimálních hladin velmi dobře koreluje s velikostí jarních maximálních hladin. Po výskytu ročních minimálních hladin nastává mírný vzestup hladiny, způsobený podzimními srážkami při nízkém výparu, vyvrcholený prudkým vzestupem hladiny na jaře až do výskytu roční maximální hladiny.

Vedle sezónního kolísání hladin podzemní vody (sezónní periodicity) existuje víceleté kolísání hladin podzemní vody, které se vyznačuje víceletou periodicitou (angl. secular periodicity). Pro stanovení víceleté periodicity se zpracovávají časové řady průměrných ročních hladin podzemní vody. V případě sucha ročních minimálních hladin se používají hladiny zbavené nahodilých extrémů (na příklad 90 % hladiny nebo častěji minimální průměrné měsíční hladiny). Periodicita se vyskytuje velmi často s nestejnou délkou amplitud a period, někdy je 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, G. 1978, Cílek, V. 2011, Kovalevskij, V.S., 1976,1983, Muzikář, R., Soukalová, E. 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, V.S.,1976, Marine, W, 1963, Muzikář, R., Soukalová, E. 1988).

Periodicita byla pozorována i v minulosti u výskytu srážek. Popsal ji Dr. F. Augustin v roce 1894 (Cílek,V., 2011). Byla uvedena i tzv. Brücknerova perioda pro srážky a průtoky v povrchových vodách ve Švýcarsku v délce 33 - 36 let. Podstata periodicity nebyla dosud spolehlivě vysvětlena. Většina badatelů se přiklání ke vlivu heliogeofyzikálních faktorů. Kvaziperiodicitu je možno přičíst interferenci různých heliogeofyzikálních faktorů, které se přenáší přes atmosféru na zemskou kůru, která hraji úlohu „filtru“ (Kovalevskij, V.S., 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 (Kovalavskij, V.S., 1976, 1983, Marine, W. 1963, Muzikář, R., Soukalová, E., 1988).

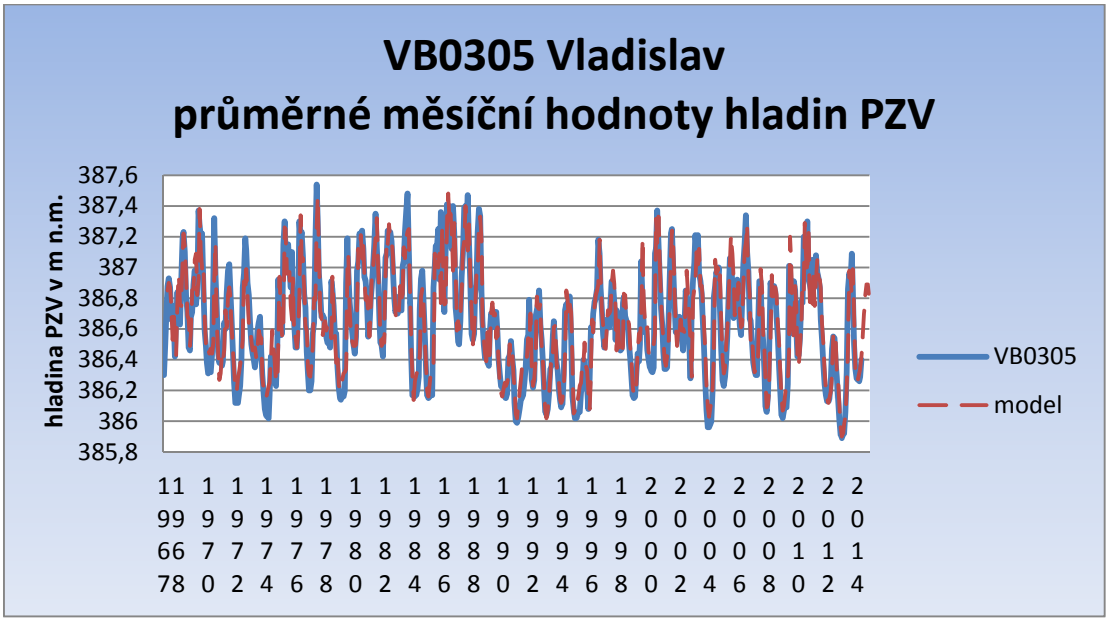
Příklady zjištěné periodicity sucha na našem území jsou uvedeny a možnosti prognóz minimálních hladin jsou uvedeny dále.

**Periodicita a prognózy hladin podzemní vody**

Zjištěné periodicity a prognózy hladin podzemní vody uvedeme na pozorovacích vrtech mělké zvodně podzemních vod Českého meteorologického ústavu ~~monitorovacích vrtech - ČHMÚ~~ v povodí Moravy. Všechny prezentované monitorovací vrty byly vyhloubeny v kvartérních sedimentech. Pro zjišťování periodicity hladin podzemní vody a jejich prognózy se výsledky monitoringu zpracovávají z časových řad. Časová řada je chronologické uspořádání výsledků monitoringu provedených v pravidelných časových intervalech. Pro měsíční předpovědi hladin podzemní vody se zpracovávají nejčastěji časové řady průměrných měsíčních hladin podzemních vod, aby se eliminovaly nahodilé excesy. Z nich se provádí středně dlouhé (sezónní) předpovědi. ~~i~~Pro dlouhodobé předpovědi hladin podzemních vod se zpracovávají časové řady ročních průměrných hladin podzemní vody. V našem případě se zaměříme na předpovědi ~~nízkých~~ minimálních hladin podzemní vody.

V časových řadách je možno identifikovat periody o délce poloviny monitorovaných let. V případě vrtů v povodí Moravy, v němž probíhá monitoring hladin podzemní vody od let 1961 - 1964, je proto maximálně zjistitelná 25 letá perioda. Ve většině vrtů byla prokázána 12 měsíční perioda, která koresponduje se sezónním doplňováním podzemní vody. Druhá nejvýznamnější je perioda pětiletá. Dvouletá a desetiletá perioda jsou třetí nejvýznamnější. Dvouleté a pětileté periody pravděpodobně splývají s desetiletou periodou. Nicméně stále je třeba mít na zřeteli existenci kvaziperiodicity. U řad s šedesátiletou řadou pozorování se vyskytují rovněž statisticky významné 30-leté periody, odpovídající tzv. Brückerově periodě (34 leté), známé při popisu přírodních jevů, jak bylo uvedeno dříve. Ve vrtu V 12 v Baníně ve svitavském zvodněném systému české křídové pánve, v němž jsou monitorovány hladiny od roku 1901, což je nejdéle monitorovaný vrt v ČR a jeden z nejdéle monitorovaných vrtů na světě, byla statisticky potvrzena perioda 25 let a méně výrazné periody 5, 7 a 34 let (Brücknerova perioda).

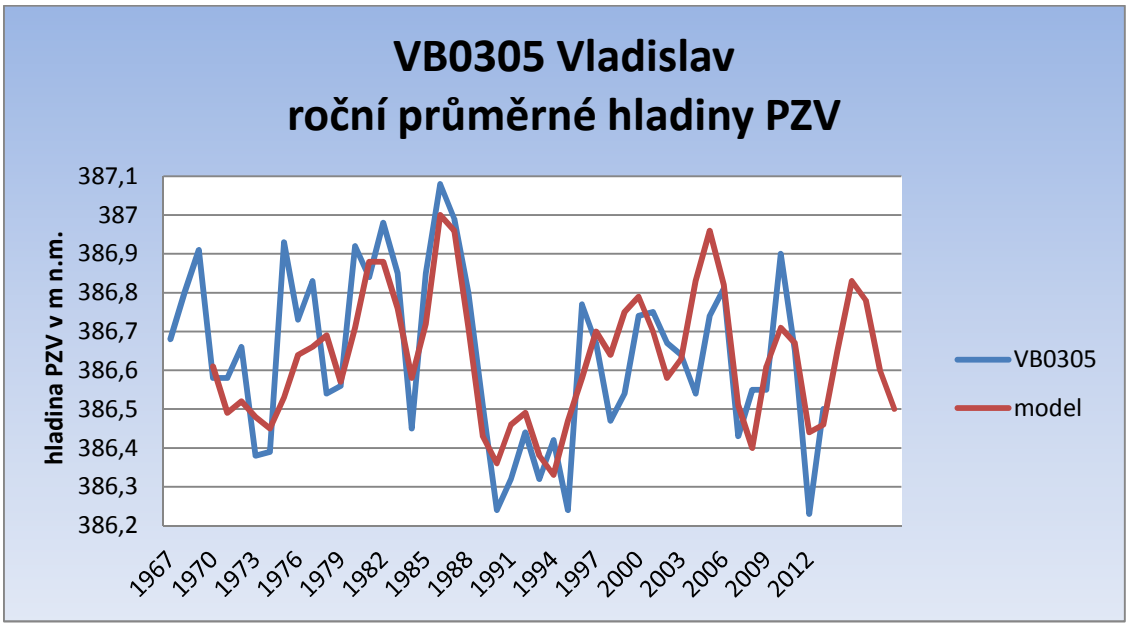
Vedle prognóz vycházejících z korelačních závislostí hladin v březnu na hladinách v únoru se sestavuje model průměrných měsíčních hladin harmonickou analýzou, při níž se vychází z prokázaných period a autoregresním modelem. Na obr. č. 3 je graficky znázorněna předpověď průměrných měsíčních hladin harmonickou analýzou s aplikací autoregresního modelu třetího řádu pro vrt VB0305 Vladislav (povodí Jihlavy). Pro výpočet byly vybrány periody: 2, 3, 8 a 11 let.




*Obr. 3 Měsíční předpovědi hladin PZV vypočítané harmonickou analýzou*

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. V roce 2012 se hladiny podzemních vod přiblížily nebo překročily absolutní minimální hladiny v horním povodí Jihlavy a v povodí Dyje.

Na obr. 4 je předpověď průměrných ročních hladin pro ty samé periody pro vrt VB0305.




*Obr. č. 4 Předpověď průměrných ročních hladin PZV pro vrt VB0305.*

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. V roce 2012 se hladiny podzemních vod přiblížily nebo překročily absolutní minimální hladiny v horním povodí Jihlavy a v povodí Dyje.

**Poskytování údajů o prognózách**

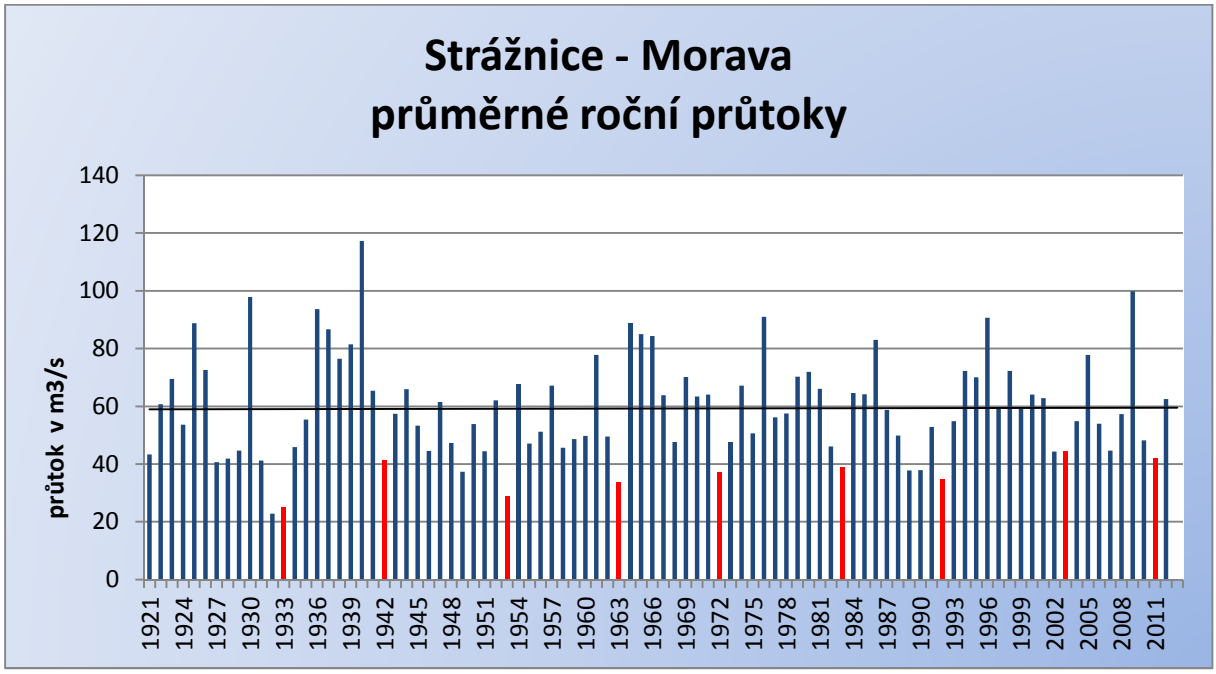
Na P-Brno ČHMÚ se řeší projekt interního výzkumného záměru, který je zaměřen na předpovědi hladin podzemních vod. Předpovědi hladin podzemní vody v měsíčním kroku jsou testovány pro vybrané objekty. Předpovědi jsou připravovány na základě korelací průměrných měsíčních hladin. Testují se také předpovědi ročních průměrných hladin podzemních vod a výběr period pro dané objekty.

**Opatření vodoprávních úřadů**

Výskyt sucha a následné ohrožení zásobování pitnou vodou vyvolávají mimořádné situace, které musí řešit vodoprávní úřady jak uvedla podrobně Nietscheová, J. (2013). Mezi ně náleží na příklad rozhodnutí nebo opatření obecné povahy upravit na dobu nezbytně nutnou povolená nakládání s vodami. Výše byly popsány prognózy ročních minimálních hladin v monitorovacích vrtech ČHMÚ, které by mohly využívat vodoprávní úřady při přípravě řešení krizových situací, protože doba předstihu předpovědi je cca 6 měsíců. Pro efektivní využití prognóz bude nutno vyřešit možnost plošné extrapolace prognóz, kterou by měli řešit společně pracovníci ČHMÚ a hydrogeologové. Ačkoliv to legislativa neukládá, bylo by užitečné, aby vodoprávní úřady doporučily zpracovatelům posudků pro povolení nakládání s vodami předkládání návrhů pro omezení odběrů podzemních vod při výskytu extrémního sucha.

**Výskyt minimálních průtoků v povrchových vodách**

Na obr. 4 jsou znázorněny průměrné roční průtoky vyhodnocené ve vodoměrné stanici Strážnice na řece Moravě. Jak je z obrázku patrné i v povrchových vodách se minimální průměrné průtoky vyskytují s 10letou periodou. Nejmenší průměrný roční průtok byl vyhodnocen v roce 1934. Průměrné průtoky ale nemusí indikovat hydrologické sucho. I v roce s podprůměrným průtokem se může vyskytnout povodeň a naopak.




*Obr. 4 Průměrné roční průtoky ve vodoměrné stanici Strážnice na Moravě*

Dlouhodobý průměrný roční průtok ve Strážnici je 58.9 $m^3.s^{-1}$. Nejmenší průtok byl 11.8.1995 – 2.46 $m^3.s^{-1}$, hodnota $Q_{355}$ = 9.1 $m^3.s^{-1}$.
Odhad vlivu klimatické změny na velikost průtoků je následující (grantový projekt MŽP – Dopady změny klimatu na minimální průtoky, analýza ze 16 vodoměrných stanic)

- Pro horizont 2010–2039: nevýrazné nárůsty nebo poklesy
  - průměr Qa = do 5%
  - Q355d = do 5%
  - průměr Qmin7d = + 0.2%
  - Q100min7d = - 2.0%
- Pro horizont 2040–2069: výraznějších poklesy
  - průměr Qa = cca - 5%
  - Q355d = cca - 13%
  - průměr Qmin7d = - 7,9%
  - Q100min7d = - 11,0%
- Pro horizont 2070–2099: ještě výraznější poklesy
  - průměr Qa = cca - 13%
  - Q355d = cca - 23%
  - průměr Qmin7d = - 15,5%
  - Q100min7d = - 18,2%

Výsledky porovnání charakteristik minimálních průtoků ukazují na vliv klimatické změny ve druhém a zejména v třetím časovém horizontu.

## Závěr

Začátkem roku 2015 hladiny podzemních vod na jižní Moravě většinou stagnují nebo mírně klesají. Většinou se pohybují na normálních až nadnormálních stavech. Prognózy pro rok 2015 nepředpokládají, že by rok 2015 byl z hlediska podzemních vod extrémní.

## Literatura

**MUZIKÁŘ, R. - SOUKALOVÁ, E**.: Forecasting of groundwater regime with the help of stochastic models. Collection of Works of the Czech Hydrometeorological Institute No.36. Praha. 1989

**SOUKALOVÁ, E**. **– MUZIKÁŘ, R**.: **Hydrologické sucho a příprava opatření pro zásobování obyvatelstva podzemní vodou v období sucha**. *(Hydrological drought and the preparation of the measures for drinking water supply for population.)*. 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.

## Kontakt:

Ing. Eva Soukalová, CSc.
Český hydrometeorologický ústav
Kroftova 43, 616 67 Brno
e-mail: eva.soukalova@chmi.cz