

Stanovení místního směrodatného limitu pro jímací území Litá pro Plán zvládnání sucha a stavu nedostatku vody Královehradeckého kraje

Úvod

Zákon č. 254/2001 Sb. o vodách v §87c po novele z roku 2020 (zákon č. 544/2020 Sb.) ukládá krajským úřadům pořízení plánů pro zvládnání sucha a stavu nedostatku vody kraje. Tyto plány by měly vzniknout pro všechny kraje ČR do 31.1.2023. K přípravě plánů vznikla ve Výzkumném ústavu vodohospodářském T. G. Masaryka, v.v.i. (VÚV TGM, v.v.i.), metodika, která byla schválena Ministerstvem životního prostředí a Ministerstvem zemědělství (MŽP ČR, 2021). Podle této metodiky vyberou krajské úřady při přípravě plánů tzv. *uživatele vody významné pro území kraje*. Jedná se o uživatele, kteří plní strategickou úlohu při fungování kraje. Budou to primárně všechny subjekty, které zajišťují funkci prvků kritické infrastruktury a dále vodárenské společnosti zásobující velký počet obyvatel, významní producenti energie a tepla, významné zemědělské a průmyslové podniky. Stav vodních zdrojů těchto subjektů bude rozhodující pro vyhlášení stavu nedostatku vody v kraji nebo jeho části v případě dlouhotrvajícího sucha. Pro vyhodnocení stavu vodních zdrojů uživatelů vody významných pro území kraje bude sloužit tzv. *místní směrodatný limit (MSL)*.

MSL je dosažen v okamžiku, kdy pravděpodobnost nedostatečné vydatnosti nebo jakosti vodního zdroje v souvislosti s probíhajícím suchem je již natolik vysoká, že je třeba zahájit jednání o vyhlášení stavu nedostatku vody a zároveň ještě existuje dostatečně dlouhé časové období, než nastane stav, kdy již vodní zdroj není schopen zabezpečit požadavky užívání v potřebném rozsahu. MSL představuje analogii ke stupňům povodňové aktivity, které slouží pro zvládnání povodní. MSL může být stanoven proměnný během roku v souladu s hydrologickým cyklem a v souladu s proměnnými požadavky na vodní zdroje během roku. Pro jeho odvození je třeba znát okamžik, kdy již nastává zásadní porušení funkce vodního zdroje v souvislosti se suchem. Toto porušení funkce může souviset s nedostatečným množstvím vody nebo s nevyhovující jakostí vody. Za nedostatečné množství vody lze považovat stav, kdy již dochází ke střetům zájmů více uživatelů vody s povoleným nakládáním s vodami nebo ke střetu zájmu s ochranou životního prostředí nebo vodu nelze odebírat z technických důvodů.

Předložený příspěvek popisuje možný přístup ke stanovení místního směrodatného limitu pro jímací území Litá v Královehradeckém kraji. Zde se podařilo navázat spolupráci mezi provozovatelem jímacího území Královehradeckou provozní, a.s., krajským úřadem a VÚV TGM, v.v.i. Jímací území Litá bylo zvoleno s ohledem na dlouholetou zkušenost provozovatele s monitoringem stavu podzemních vod v jímacím území a rovněž s ohledem na existující střet zájmů na odběr vody pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou a zájmu ochrany životního prostředí – Přírodní rezervace Zbytka, která náleží do soustavy Natura 2000. Pro zajištění udržitelnosti ekosystémů vázaných na přirozené vývěry podzemní vody v této lokalitě byla pro jímací území stanovena minimální hladina podzemní vody podle §37 zákona 254/2001 sb. o vodách.

Data

Pro řešení úlohy bylo zvoleno období let 2016–2020, které představuje jedno z nejzávažnějších období hydrologického sucha v pozorované historii v povodí Labe (Kašpárek & Kožín, 2021). Meteorologická data zahrnovala denní průměrné srážky agregované pro povodí vodoměrné stanice Mitrov na povodí Dědiny z gridovaných dat z pozorovacích stanic ČHMÚ. Z hydrologických dat byla využita pozorování denních průtoků ve stanicích ČHMÚ Chábory a Mitrov na Dědině, pozorování stavů hladiny podzemní vody ve vrtech VP7222, který monitoruje čerpanou zvedeň (nachází se asi 16,5 km daleko od vlastního

jímacího území) a dále denní úrovně hladiny podzemní vody ve vrtu VP0131 České Meziříčí. Tento objekt se nachází asi 2,5 km daleko od jímacího území.

Ze strany provozovatele jímacího území byla laskavě poskytnuta denní data o čerpaných množstvích vody za období od 1.1.2016 do 31.12.2020 z pěti vrtů v blízkosti monitorovacího vrtu Lt5, kde je stanovena úroveň minimální hladiny podzemní vody. Dále byla poskytnuta denní pozorování minimální hladiny podzemní vody v tomto objektu za období 2016–2020. Omezení institutem minimální hladiny podzemní vody platí v období od 21.3. do 15.7. Pro zbytek roku je čerpané množství omezeno platnými povolenými hodnotami.

Metodika

Stanovení MSL zahrnuje čtyři po sobě následující kroky:

- 1) Výběr vhodné veličiny nebo veličin, jejichž hodnoty jsou rozhodující pro fungování vodního zdroje a existuje zde kontinuální monitoring (nebo se zainteresované strany dohodnou na jeho zajištění).
- 2) Stanovení úrovně této veličiny, která již popisuje stav, kdy není možné zajistit všechny požadavky na vodu včetně environmentálních požadavků (minimální zůstatkový průtok podle §36 Zákona o vodách, minimální hladina podzemní vody podle §37 Zákona o vodách).
- 3) Odhad délky časového období, které bude potřeba pro aktivaci opatření z plánu pro zvládnutí sucha a zahájení jejich působení.
- 4) Odvození úrovně vybrané veličiny, která s daným časovým předstihem předchází nepříznivému stavu vodního zdroje.

Pro jímací území Litá byl zvolen jako rozhodující objekt vrt Lt5, kde probíhá kontinuální monitoring provozovatele jímacího území, zároveň pro tento objekt platí omezení dané institutem minimální hladiny. Vrt slouží pouze jako monitorovací a není jímací.

Východiskem pro stanovení úrovně MSL je úroveň minimální hladiny podzemní vody, která v období od 21.3. do 15.7. nesmí v tomto objektu zaklesnout pod 257,5 m n.m. Pro ostatní dny v roce je potřeba tuto úroveň navrhnout tak, aby představovala stav, kdy již není možné realizovat jímání z důvodů dalších střetů zájmů nebo z technických důvodů. V době přípravy tohoto příspěvku nebyly k dispozici další podklady, které by indikovaly střety zájmů s dalšími odběrateli podzemní vody v dotčeném hydrogeologickém rajónu. Pro odvození kritické úrovně hladiny podzemní vody ve zvoleném objektu tak bylo použito pozorování hladiny podzemní vody v monitorovacím vrtu VP7222 o pravděpodobnosti překročení 95 % (stanoveno z měsíčních průměrů 1991-2020). Takto zvolená kritická úroveň vhodně indikuje situaci, kdy již dochází k významným dopadům sucha a čerpání podzemních vod na průtok v Dědině, která danou oblast odvodňuje.

Zvolení požadované délky časové rezervy pro odvození MSL ještě bude nutné projednat s provozovatelem jímání a krajským úřadem s ohledem na aktivaci potřebných operativních opatření, která mají zabránit vzniku krizového stavu. Pro účely příspěvku byla zvolena délka časové rezervy 2 týdny.

Odvození úrovně MSL, která bude předcházet dosažení kritické úrovně o 2 týdny při nepříznivých hydrologických poměrech, zahrnovalo následující analýzy. Nejprve byl odvozen korelační vztah mezi pozorováními ve vrtu VP7222, který není přímo ovlivněn jímáním podzemní vody, a vrtem Lt5, který se nachází přímo v jímacím území. Cílem bylo stanovit modelovanou řadu úrovně hladiny Lt5 bez vlivu jímání podzemní vody. Pro dosažení vyšší míry korelace byla rovnice odvozena pro 14-denní klouzavý průměr pozorování ve vrtu Lt5, kde hladina dynamicky reaguje na aktuální čerpané množství.

Dále byla spočtena rezidua mezi modelovanou a pozorovanou řadou hladiny ve vrtu Lt5 a ta byla korelována se součtem denních odebraných množství vody z pěti nejbližších jímaných vrtů (všechny veličiny v režimu 14-ti denního klouzavého průměru). Z tohoto vztahu je možné odvodit, jak ovlivňuje vývoj hladiny podzemní vody ve vrtu Lt5 denní čerpané množství a pozorování očistit od vlivu čerpání.

Pro modelovanou řadu pozorování ve vrtu Lt5 (bez vlivu čerpání) byla hledána rovnice řídicí výtokové čáry (master recession curve). Tato rovnice popisuje charakteristický průběh hladiny podzemní vody při jejím sestupném trendu. Z denní řady jsou vybrány poklesové úseky, které jsou zřesleny do jednoho grafu tak, aby na sebe plynule navazovaly. Pro takto připravená data je následně hledán vhodný matematický model (lineární, logaritmický, polynomický aj.). Pro odvození řídicí výtokové čáry ve vrtu Lt5 bylo uplatněno makro pro Microsoft Excel (MC Excel) vyvinuté na univerzitě v Záhřebu (Kristijan, et al., 2006).

Výsledek predikce vývoje hladiny podzemní vody ve vrtu Lt5 odvozený pomocí řídicí výtokové čáry byl porovnán s výsledkem lineární regresní rovnice odvozené z regresní analýzy, kdy pro odhad závisle proměnné hladiny Lt5 byla uplatněna nezávisle proměnná data o čerpaném množství a data o úrovni hladiny ve vrtu VP7222. Analýza byla provedena pomocí nástroje Regrese, který je součástí nabídky Analýza dat v MC Excel.

Výsledky

Rovnice 1 uvádí lineární rovnici trendu odvozenou pomocí korelace úrovně hladiny ve vrtu VP7222 (proměnná x) a úrovně hladiny ve vrtu Lt5 (vyhlazené pomocí 14-ti denního klouzavého průměru – proměnná y).

Rovnice 1 Rovnice pro odvození úrovně hladiny ve vrtu Lt5 neovlivněné jímáním podzemní vody

$$Lt5 (14d kl.p.) = 0,329 \cdot VP7222 + 163,5$$

$$R^2 = 0,569$$

Rezidua modelu vyhlazená 14ti denním klouzavým průměrem byla porovnána s hodnotou denního čerpaného množství z pěti nejbližších objektů (Lt1, Lt2, Lt6, Lt8 a V2, vyhlazeno 14ti denním klouzavým průměrem). Výsledek je vykreslen na obrázku Obrázek 1 a indikuje poměrně těsnou závislost. Opět byla odvozena lineární rovnice popisující vztah těchto dvou veličin. Analýza byla provedena vykreslením dat do x,y bodového grafu. Pro hladinu ve vrtu Lt5 platí, že klesá přibližně o 0,2 mm na 1m³ čerpaného množství vody (součet z vrtů Lt1, Lt2, Lt6, Lt8 a V2). Dosažená hodnota koeficientu determinace R² činí 0,753.

Na základě tohoto výsledku bylo možné spočítat novou modelovou hodnotu hladiny Lt5 očištěnou od vlivu čerpání tím způsobem, že k pozorované úrovni byla připočtena odchylka daná čerpaním. Opět řešení probíhalo pro data vyhlazená 14ti denními klouzavými průměry. Pro takto upravenou řadu byl odvozen model řídicí výtokové čáry (master recession curve – MCR). Výsledek pro lineární model je znázorněn na Obrázek 3. Rovnice popisuje, jak rychle zpravidla zaklesává hladina podzemní vody ve vrtu Lt5. Tento výsledek je využitelný pro odvození úrovně MSL od určité kritické hodnoty, která již představuje nepříznivý stav vodního zdroje. Schopnost modelu správně predikovat vývoj hladiny v objektu Lt5 je zachycena na Obrázek 4 pro poklesový úsek zaznamenaný v roce 2016. Pro tento poklesový úsek platí, že nejlépe predikuje pozorovanou úroveň HPV v objektu Lt5 lineární model řídicí výtokové čáry. Z grafu je patrné, že přibližně od 20. 9. již nebyl pokles hladiny ve vrtu Lt5 tak rychlý, jak jej predikuje řídicí výtoková čára. Není to dáno změnou čerpaného množství, které zůstávalo na podobné úrovni jako v předchozích dnech. Zpomalení poklesu hladiny podzemní vody může souviset buď s koncem vegetačního období, nebo se srážkami, které vedly k obnovení přirozeného přítoku

podzemních vod. Tyto srážky ale pravděpodobně proběhly mimo území povodí Dědiny v infiltrační oblasti hydrogeologického rajónu.

Další možností, jak modelovat úroveň hladiny ve vrtu Lt5 pomocí známých veličin, je uplatnění regresní analýzy. Pro řešení úlohy byly jako vysvětlující proměnné uplatněny hodnoty čerpaného množství (vyhlazené 14ti denním klouzavým průměrem) a úroveň hladiny ve vrtu VP7222. Výsledek analýzy uvádí Rovnice 2. Z obrázku Obrázek 2 je patrné, že lineární regresní model velmi dobře reprezentuje pozorování. Obrázek 4 ale ukazuje, že regresní model není tak přesný pro odhad průběhu výtokové čáry na konci období sucha. Rovnici není možno uplatnit pro předpověď, neboť bychom museli znát i předpokládanou úroveň hladiny ve vrtu VP7222. Tuto rovnici však uplatníme pro odvození úrovně Lt5, která odpovídá okamžiku, kdy je ve vrtu VP7222 dosažena hodnota s pravděpodobností překročení 95%. Tato úroveň je pro účely tohoto příspěvku považována za kritickou. Ve výpočtu je pro jednotlivé měsíce v roce uvažováno průměrné čerpané množství za období 2016-2020. Hodnoty hladiny podzemní vody ve vrtu Lt5 odvozené pomocí rovnice 2 jsou uvedeny v tabulce 1.

Následně je možné od této kritické úrovně odvodit úroveň MSL, která nastává s časovým předstihem. Pro odhad odpovídající hladiny podzemní vody ve vrtu Lt5 je uplatněn gradient lineární rovnice řídící výtokové čáry 0,0337 a délka časové rezervy 14 dní než dojde k poklesu na kritickou úroveň. Pro účely připravovaného plánu pro sucho navrhujeme pouze dvě úrovně MSL během roku - od 21.3. do 15.7. na úrovni minimální hladiny podzemní vody 257,5 m n.m. a po zbytek roku na úrovni 256,75, což je nejnižší výsledek modelování dosažený pro měsíc srpen při odběrech na úrovni 11 tis. m³ za den. Výslednou hodnotu MSL pro jednotlivé měsíce v roce uvádí tabulka 1. Výsledné nastavení místního směrodatného limitu ve vazbě na pozorování hladiny podzemní vody ve vrtu Lt5 a ve vazbě na průtoky v Dědině v období 2016–2020 je zachycen na Obrázek 5. Z grafu je patrné, že období, kdy docházelo k podkročení kritické úrovně hladiny podzemní vody ve vrtu Lt5, dobře odpovídají velmi nízkým průtokům v Dědině ve stanici Mitrov.

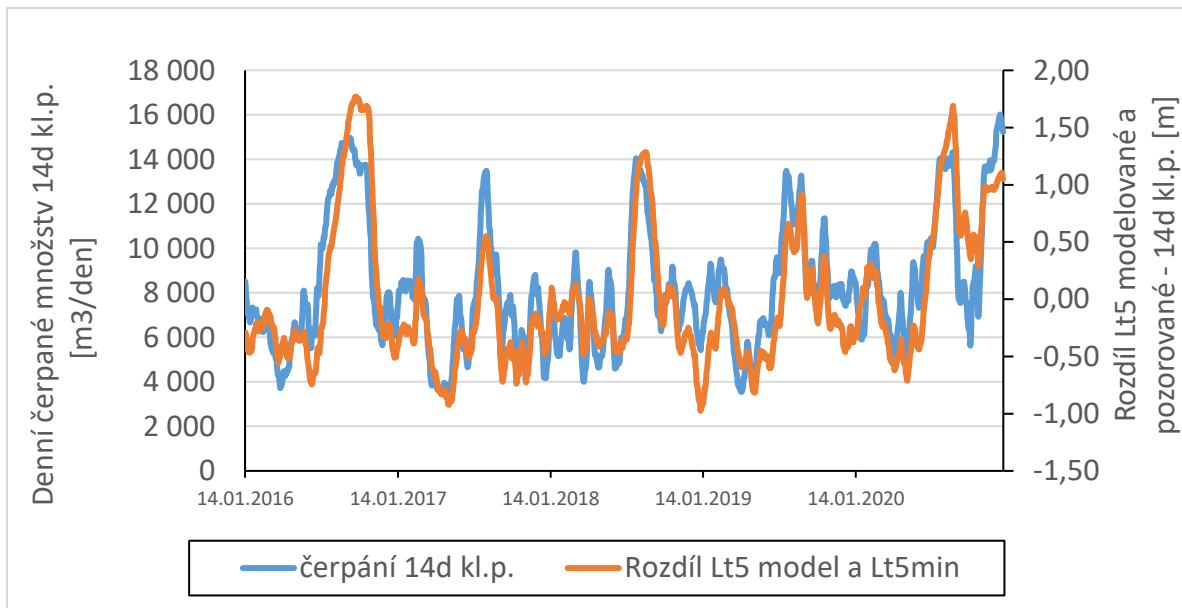
Rovnice 2 Rovnice pro odhad úrovně Lt5 na základě známé hodnoty odběru vody z jímacího území a známé hodnoty hladiny podzemní vody ve vrtu VP7222

$$Lt5 = -0,0002Abs + 0.297VP7222 + 174,24$$

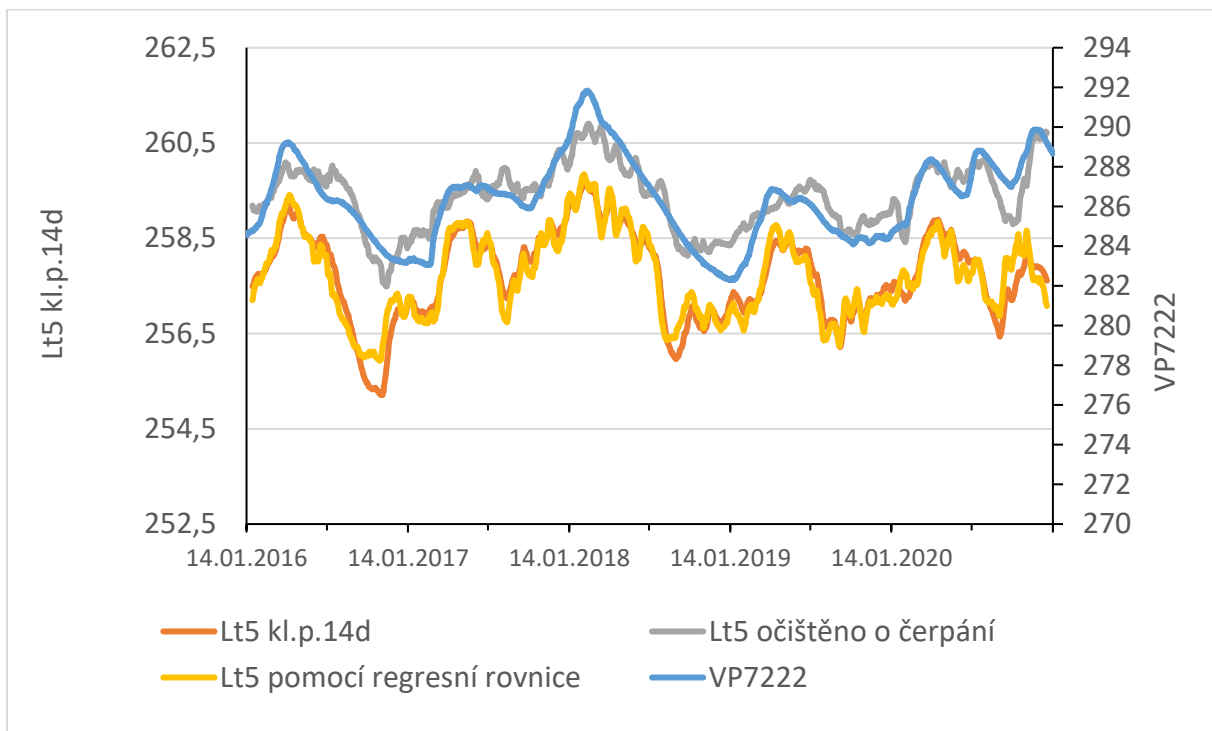
Abs – celkové čerpané množství vody za den (vrty Lt1, Lt2, Lt6, Lt8 a V2 – 14d. klouzavý průměr) [m³]

VP7222 – úroveň hladiny podzemní vody v monitorovacím vrtu VP7222 [m n.m.]

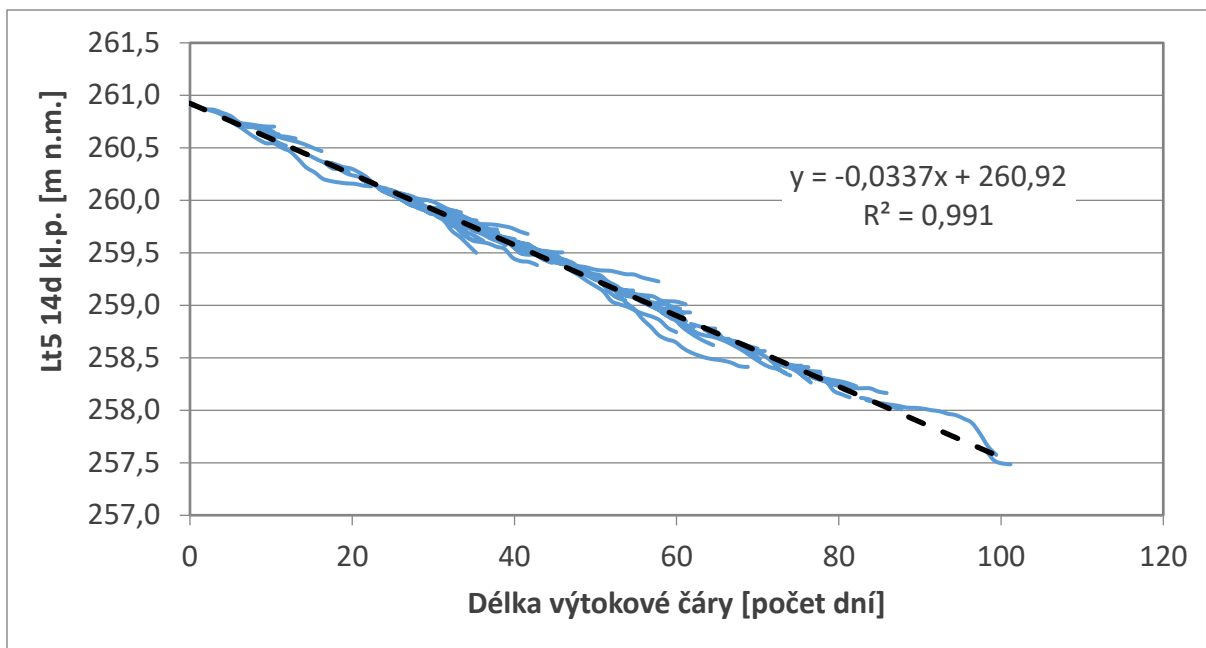
Lt5 – modelovaná úroveň hladiny ve vrtu Lt5 [m n.m.]



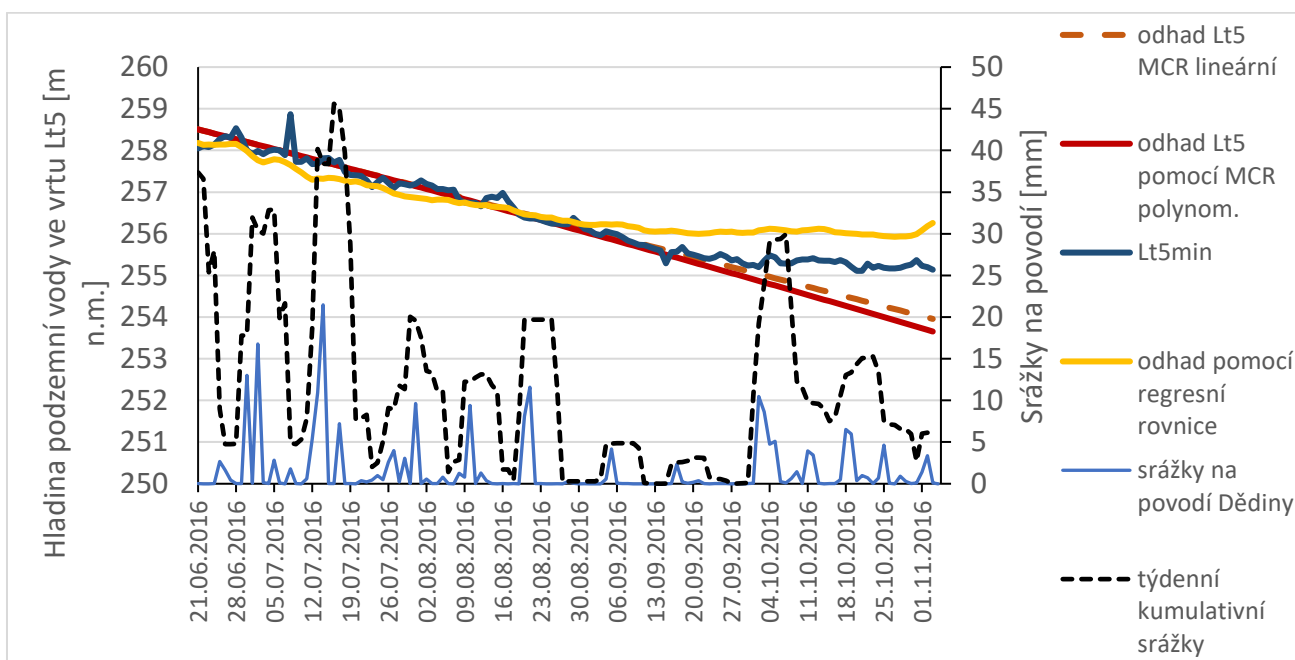
Obrázek 1 Porovnání rozdílu dopočtené hladiny ve vrtu Lt5 a skutečné pozorované hladiny s hodnotou denního čerpaného množství (vyhlazeno pomocí 14ti denního klouzavého průměru). Průběh indikuje poměrně dobrou korelaci hodnot.



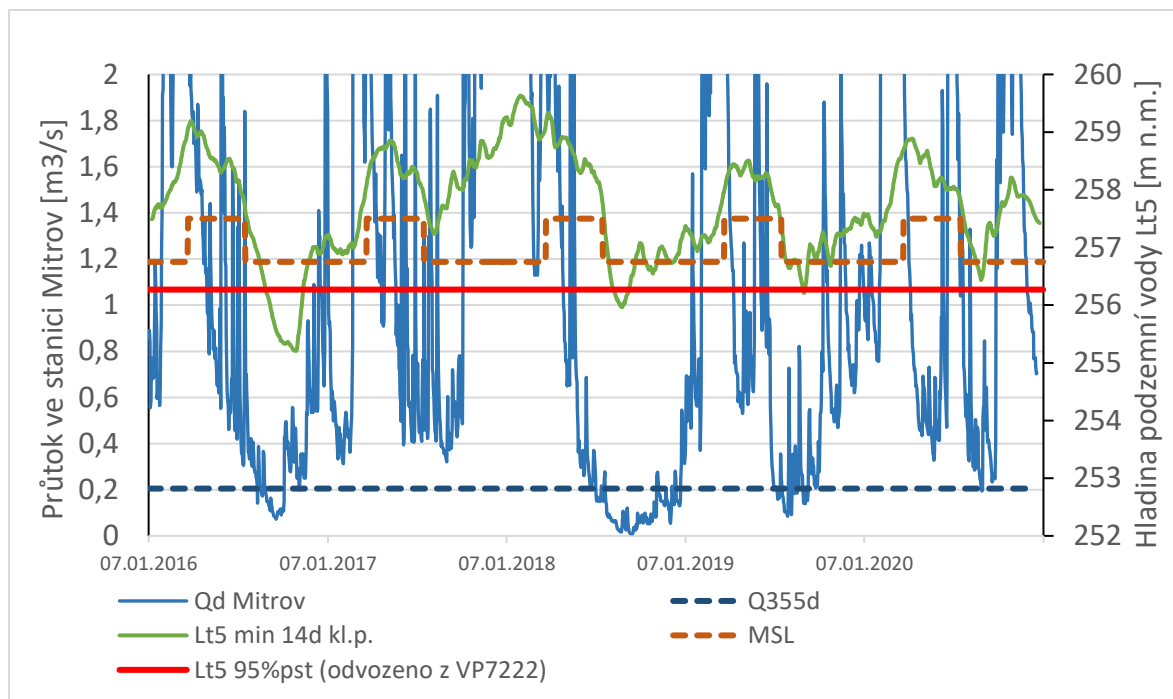
Obrázek 2 Porovnání výsledků odvození hladiny ve vrtu Lt5 očištěné od vlivu čerpání (šedou barvou) ve vztahu k monitorovacímu vrtu VP7222 (modrou barvou) a porovnání výsledků odvození úrovně Lt5 pomocí regresní rovnice (oranžovou barvou) s pozorovanou hodnotou (sytě oranžovou barvou).



Obrázek 3 Poklesové úseky úrovně hladiny podzemní vody ve vrtu Lt5 (očištěno o vliv čerpání) a výsledná rovnice řídicí výtokové čáry.



Obrázek 4 Porovnání predikce vývoje úrovně hladiny Lt5 pomocí různých modelů – řídicí výtokové čáry lineární, řídicí výtokové čáry polynomičké a lineární regresní rovnice (odvozené pro hodnotu čerpaného množství a úrovní hladiny ve VP7222). Na vedlejší ose jsou vykresleny srážky a jejich týdenní suma.



Obrázek 5 Výsledné nastavení místního směrodatného limitu pro jímací území Litá ve vazbě na průtoky v Dědině v profilu Mitrov.

Tabulka 1 Odvození úrovně MSL pro jednotlivé měsíce v roce pro objekt Lt5, uvažovaná časová rezerva pro vyhlášení stavu nedostatku vody je 14 dní.

| | Prům. denní čerpání [m³/den] | VP7222 | | Lt5 min | MSL | výsledný MSL [m n.m.] |
|----------|------------------------------------|-------------------|--|------------------|-----------------|-----------------------------|
| | | 95%pst překročení | | (regresní model) | MCR (14 dní) | |
| | | [m n.m.] | | [m n.m.] | [m n.m.] | |
| leden | 5792 | 283.30 | | 257.32 | 257.79 | 256.75 |
| únor | 6441 | 283.30 | | 257.19 | 257.67 | 256.75 |
| březen | 4754 | 283.30 | | 257.53 | 258.00 | 257.50 |
| duben | 3511 | 283.30 | | 257.77 | 258.25 | 257.50 |
| květen | 4681 | 283.30 | | 257.54 | 258.01 | 257.50 |
| červen | 4997 | 283.30 | | 257.48 | 257.95 | 257.50 |
| červenec | 9019 | 283.30 | | 256.68 | 257.15 | 257.50 |
| srpen | 11078 | 283.30 | | 256.27 | 256.75 | 256.75 |
| září | 7972 | 283.30 | | 256.89 | 257.36 | 256.75 |
| říjen | 7467 | 283.30 | | 256.99 | 257.46 | 256.75 |
| listopad | 6938 | 283.30 | | 257.09 | 257.57 | 256.75 |
| prosinec | 7065 | 283.30 | | 257.07 | 257.54 | 256.75 |

Závěr

Předložený postup stanovení místního směrodatného limitu pro jímací území Litá je v této podobě předložen pro diskuzi. Vzhledem k tomu, že každý vodní zdroj je specifický a platí pro něj specifické poměry, je třeba pro každý vodní zdroj navrhnout postupy, které povedou k výsledku, jenž bude dobře plnit svoji funkci pro řízení hospodaření s daným vodním zdrojem v období sucha. Možnosti stanovení místního směrodatného limitu jsou však vždy omezené množstvím a kvalitou vstupních dat. S ohledem na včasnou indikaci blížícího se stavu nedostatku vody je tedy potřeba upřít pozornost a finanční zdroje na rozvoj systému monitoringu rozhodujících parametrů vodního zdroje. Jedná se o ten nejjednodušší

krok, který je možno provést v daném okamžiku pro zvýšení schopnosti reagovat na mimořádná období sucha, jakým bylo období let 2015–2020 a jaká nás pravděpodobně čekají do budoucnosti.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl v rámci řešení projektu PERUN <https://www.perun-klima.cz/>, dílčí cíl 5.2 Metodická podpora státní správy při zvládnání sucha a stavu nedostatku vody. Projekt je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu Prostředí pro život. Dále je nutno poděkovat za vstřícný přístup provozovatele jímacího území Královehradecké provozní, a.s. za poskytnutá data a informace o fungování vodního zdroje.

Literatura

Kašpárek, L. & Kožín, R., 2021. Extrémní víceletá hydrologická sucha v povodí Labe. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, pp. roč. 63, č. 3, str. 28–32. ISSN 0322-8916..

Kristijan, P., Bačani, A. & Nakic, Z., 2006. A visualbasic spreadsheet macro for recession curve analysis. *Ground Water*, pp. Vol. 44, No. 5, pages 764-767.

MŽP ČR, 2021. *Společná metodika k přípravě plánů pro zvládnání sucha a stavu nedostatku vody*. [Online]

Available at: https://www.mzp.cz/cz/zvladani_sucha_metodika