

UNIVERZITA KARLOVA

Přírodovědecká fakulta

Katedra fyzické geografie a geoekologie



HYDROLOGICKÉ SUCHO V POVODÍ LODĚNICE

Hydrological drought in the Loděnice basin

Alois Burian

Praha 2019

Abstrakt

Předmětem práce je analýza současné situace vybraného povodí Loděnice, které v posledních letech trpí výrazným suchem. Hydrologické sucho je vyhodnoceno pomocí metody prahové hodnoty a nedostatkových objemů. Na základě těchto metod bylo zjištěno, že povodí Loděnice je v poslední době stále pod větším vlivem hydrologického sucha, zejména v období srpna a září. Hlavním cílem je analýza projevů hydrologického sucha v povodí Loděnice. Tato ne příliš známá oblast však v sobě skrývá cenné přírodní bohatství, o které je potřeba pečovat. Jedním z klíčových činitelů péče je voda. Povodí leží ve srážkově chudé oblasti, a proto je potřeba se naučit s vodou správně hospodařit. Primárním úkolem práce je vyhodnotit, zda se v této oblasti stále častěji v posledních letech projevuje hydrologické sucho či nikoliv.

Hydrologické sucho je rizikový přírodní jev, kterému je v poslední době věnována stále větší pozornost. Charakterizováno je svým nenápadným a pomalým vývojem, avšak jeho následky často trvají velmi dlouho. Vznik hydrologického sucha je podmíněn několika faktory, z nichž nejdůležitějším je v současné době nárůst teplot na Zemi.

Klimatická změna byla dlouho pro většinu lidí pouze jakousi virtuální realitou a pojmem, se kterým si hrají pouze média. Avšak nutno podotknout, že po opakovaně vysokých letních teplotách a srážkových deficitech v posledních letech si společnost začala řádně uvědomovat důležitost vody. Lidé začínají poznávat samotné projevy sucha, začínají řešit aktuální sucho se svým okolím a jeho možné projevy v budoucnu. Změna klimatu se projevuje zvýšeným výparem z vodních ploch a zvýšenou potřebou vody pro zemědělství (Janský 2017). S tím je samozřejmě spojen i negativní vliv lidské činnosti, při které dochází ke snižování retenční schopnosti povodí, což má v době hydrologického sucha velký vliv. Naučit se zadržet povrchovou vodu v období jejího nadbytku může být jedním z dalších adaptačních opatření eliminujících vznik nebo alespoň zmírnění hydrologického sucha. Dalším negativním vlivem lidské společnosti je například nadměrná spotřeba vody nejen v Česku, ale po celém světě.

Klíčová slova: hydrologické sucho; odtokový režim; nedostatkové objemy; metoda prahové hodnoty; Loděnice

1. ÚVOD

Voda je nejdůležitější složkou přírody, bez které by lidský život nemohl existovat. Již od počátku lidských civilizací byla voda využívána, ať už šlo o vodu pitnou či vodu potřebnou v zemědělství či průmyslu. Výskyt vody na Zemi však může přinášet mnoho negativních dopadů. Jedním z nich může být například nedostatek vody v důsledku probíhající klimatické změny, která se projevuje nárůstem teplot a změnou v rozložení srážek během roku. Tato práce se zabývá jedním z extrémů výskytu vody, a to hydrologickým suchem. Sucho jako takové je součástí celého koloběhu vody na Zemi. Jedná se o hydrologický jev, který je výsledkem nedostatku vody v určité klimatické oblasti. V současné době je hydrologický cyklus rychlejší a intenzivnější, což může mít za následek častější výskyt dvou hydrologických extrémů – sucha a povodní. Oba dva extrémy jsou hydrologickou situací extrémního charakteru, jenž v je v poslední době stále aktuálnějším tématem. V dnešní době patří sucho mezi největší přírodní hrozby, které se na našem území vyskytují. Sucho se tak mnohem více dostává do popředí výzkumného zájmu. Problémem sucha je obtížná predikce v důsledku jeho nenápadného nástupu. Vzhledem k tomu, že sucho postihuje celý svět, v každém regionu se může projevovat jinak a zároveň může mít i odlišné příčiny, které se podílejí na jeho vzniku.

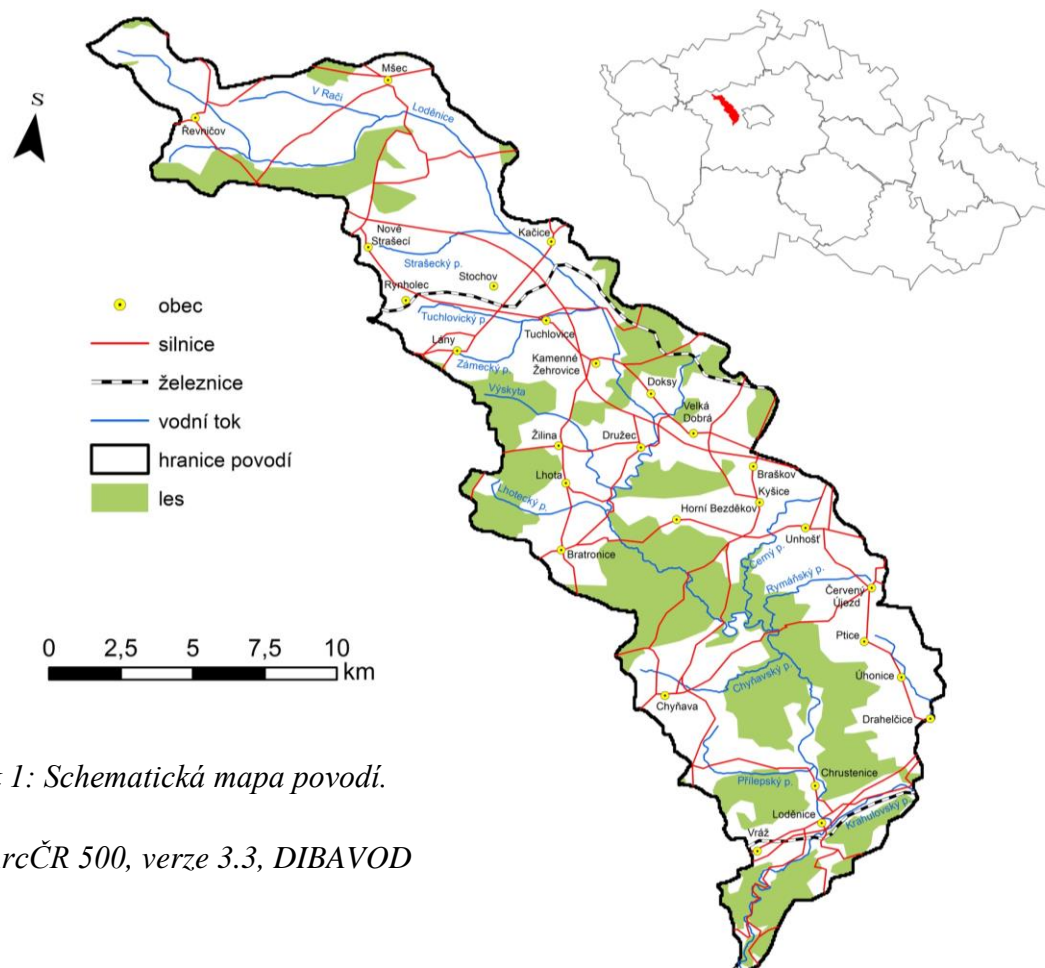
Česko bývá často označováno za „střechu Evropy“, což znamená, že k nám přitéká pouze minimum vody a naše vodní zdroje jsou výhradně závislé na atmosférických srážkách. V důsledku toho jsou tedy mnohem více ovlivněny extrémními hydrologickými jevy. V posledních desetiletích je díky několika katastrofickým událostem pozornost věnována obzvláště povodním. Jejich vývoj a postup je v české legislativě dobře zakotven a definován. V případě sucha však nikoli. Sucho je pro Česko v podstatě nový jev, který je však v poslední době stále častější a podle prognóz bude v budoucnu normálním stavem. Proto je potřeba se na sucho dobře připravit a zavést vhodná opatření vedoucí k jeho zmírnění. Velkou roli v tom může hrát dnešní filozofie vodního hospodářství, která klade stále větší důraz na přirozenou retenci vody v povodí.

Tato práce se zabývá studiem hydrologického sucha na první pohled málo atraktivní oblastí Středočeského kraje, konkrétně povodím Loděnice. Jedná se o oblast trpící dlouhodobě nedostatkem srážek. Sousední geomorfologický celek, Kladenská tabule, kde jsou srážkové úhrny nižší než 500 mm, bývá označován jako jedna z nejsušších oblastí Česka. Vodní tok Loděnice, místně nazýván jako Kačák, pramení ve vrchovině Džbán.

Hlavním cílem práce je analyzovat hydrologické sucho ve vybraném povodí. Úkolem je zachytit stále prohlubující se trend sucha postihující tuto oblast. Důraz je kladen na vyhodnocení suchých period v posledních letech. V teoretické části je provedena literární rešerše na problematiku sucha, přičemž jsou popsány jeho typy a příčiny, které podmiňují vznik hydrologického sucha. Představeny jsou také indexy, pomocí kterých lze hydrologické sucho měřit. Ve druhé části práce je hydrologické sucho agregováno na vybraný vodní tok. Na základě získaných dat jsou vyhodnoceny odtokové charakteristiky, díky nimž je popsán hydrologický režim Loděnice se zaměřením na suchá období v minulosti a současnosti.

2. ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ

Povodí Loděnice se nachází ve středních Čechách, na jihu a jihozápadě okresu Kladno. Z části zasahuje i do přilehlých okresů Beroun, Rakovník a Praha – Západ. Vodní tok se dá rozdělit na 3 části: horní, střední a dolní tok. Při horním toku se nachází odlesněná krajina s velkým počtem rybníků, která je využívána k intenzivnímu zemědělství. Střední část toku protéká přírodním parkem Povodí Kačáku, ve kterém převažují jehličnaté a smíšené lesy. Dolní část vodního toku zasahuje do území CHKO Český kras. Jeho koryto se zařezává do hlubokého kaňonovitého údolí, které je převážně zalesněno.



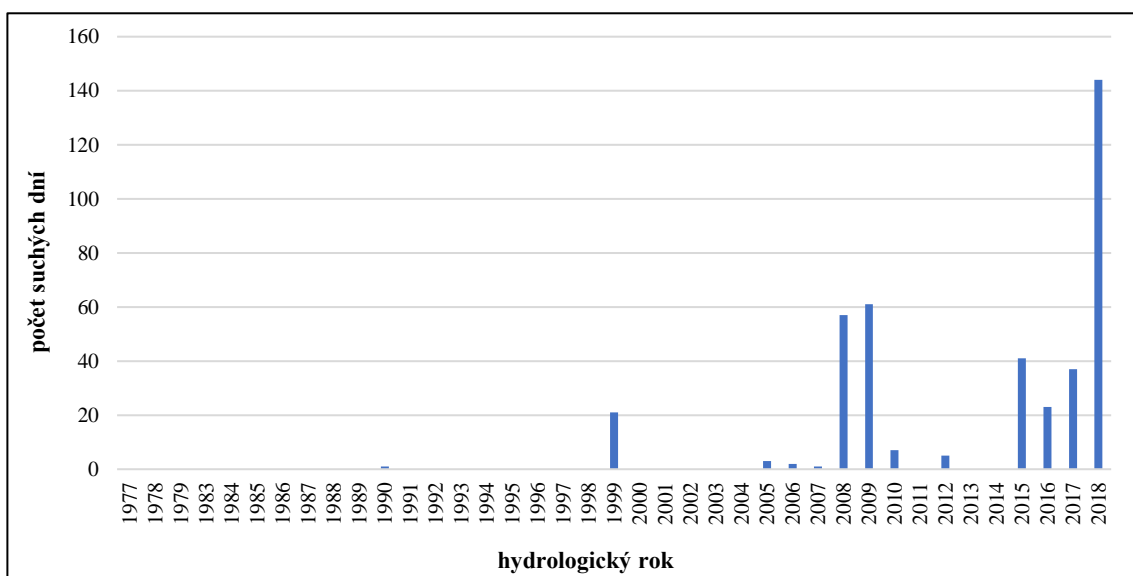
Obrázek 1: Schematická mapa povodí.

Zdroj: ArcČR 500, verze 3.3, DIBAVOD

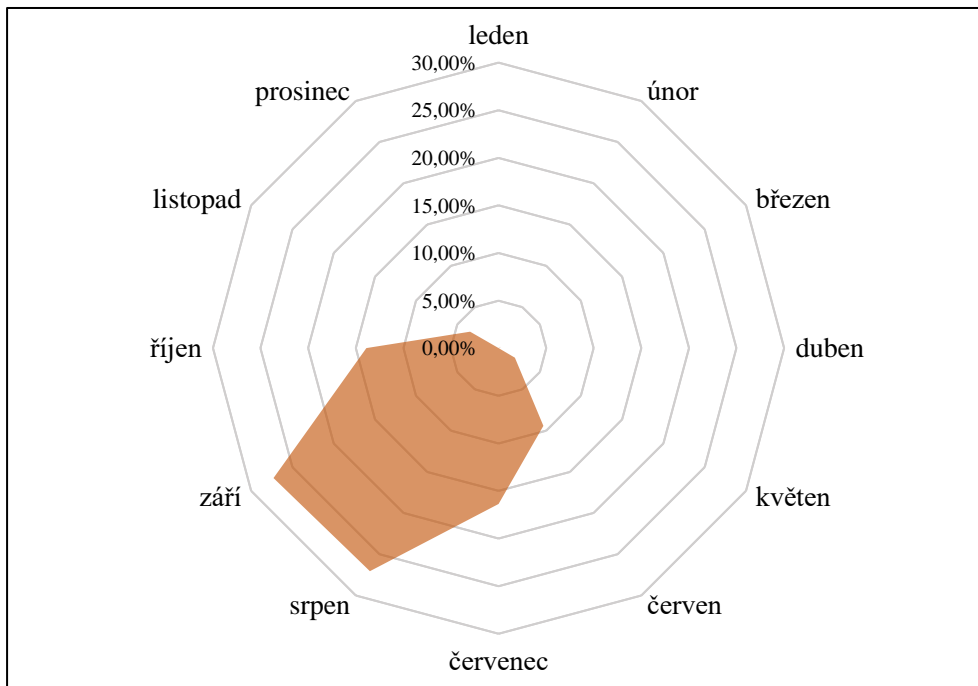
3. HYDROLOGICKÉ SUCHO NA LODĚNICI

3. 1 Hodnocení na základě suchých dní

Hydrologické sucho je v této práci vyhodnoceno na základě počtu dní s výskytem sucha. Tyto dny jsou stanoveny podle metody prahové hodnoty pro každý rok sledovaného období (graf č. 1). Suchý den je označen v případě, že průměrný denní průtok poklesne pod hodnotu minimálního průtoku Q_{355} , což je považováno za hranici hydrologického sucha. V případě Loděnice prahová hodnota průtoku Q_{355} je $0,068 \text{ m}^3/\text{s}$. Tudíž je-li průměrný denní průtok menší než $0,068 \text{ m}^3/\text{s}$ byl daný den označen jako suchý. Ve sledovaném období se pod prahovou hodnotou udávanou ČHMÚ vyskytlo 403 dní hydrologického sucha. Z grafu č. 1 je patrná vysoká nepravidelnost v rámci celého pozorovaného období. V první polovině sledovaného období byl zaznamenán pouze jeden suchý den v roce 1990. Oproti tomu ve druhé polovině období můžeme vypořizovat nárůst suchých dní v jednotlivých letech. Za zmínku stojí roky 1999, 2008 a 2009. V posledním případě v bylo zjištěno dokonce 61 dní hydrologického sucha. Na první pohled je zřejmý vysoký nárůst počtu suchých dní v posledních čtyřech letech. Za úplný extrém se dá považovat poslední analyzovaný rok 2018. Z 365 dní v roce bylo 144 hydrologicky suchých dní. Zmínit je třeba rok 2007. Ačkoliv se tento rok řadí mezi absolutně nejsušší, pouze v jednom případě byl průtok menší než stanovená velikost průtoku Q_{355} .



Graf 1: Počet suchých dní v jednotlivých letech. Zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ.



Graf 2: Sezónní rozložení suchých dní na profilu Loděnice ve sledovaném období. Zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ.

Graf č. 2 popisuje rozložení jednotlivých suchých dní v roce. Na první pohled je patrné, že většina suchých dní se vyskytuje v druhé polovině roku. Nejvíce dní hydrologického sucha je řazeno do srpna a září. V obou případech se na tyto měsíce váže více než 27 % suchých dní z celkového počtu 403. Obecně můžeme říci, že díky vyšším teplotám a následně vyšší evapotranspiraci se nízké průtoky objevují v letních měsících, ovšem ve vybraném povodí to v červnu a červenci není až tak výrazné. Nulový výskyt počtu dní hydrologického sucha byl zaznamenán v únoru, dubnu a prosinci.

3. 2 Analýza nedostatkových objemů

Dalším způsobem vyhodnocování hydrologického sucha je pomocí metody nedostatkových objemů. Tato metoda spočívá ve vymezení období s průtokem nižším, než je zvolený limitní průtok (v této práci Q_{355}).

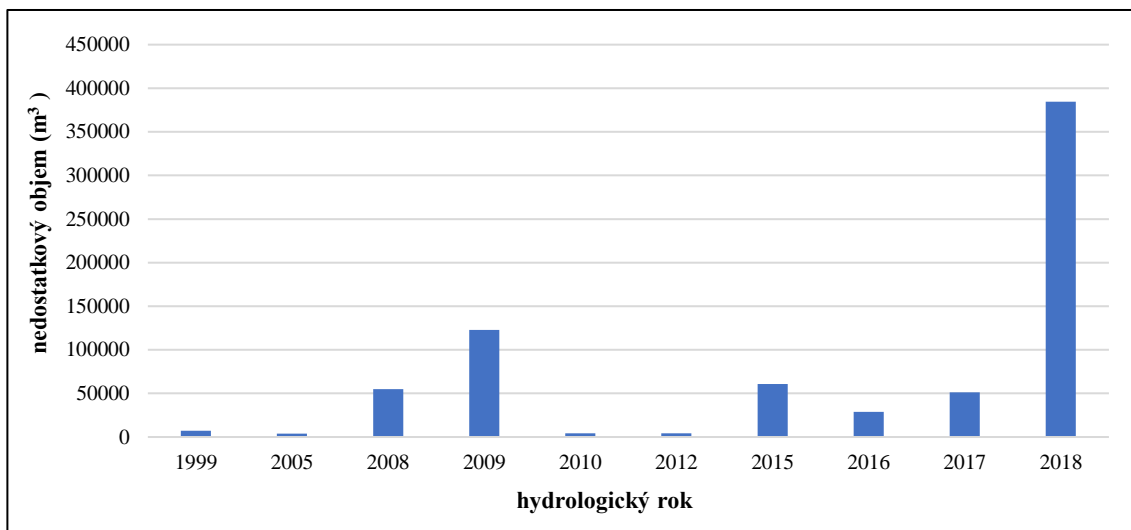
V tabulce č. 1 jsou uvedena hydrologická sucha, která byla analyzována na základě této metody a jejich doba trvala minimálně dva dny. Graf č. 3 má podobný průběh jako graf znázorňující počet suchých dní v jednotlivých letech (graf č. 1).

Z hlediska nedostatkových objemů bylo nejextrémnější sucho v posledním měřeném roce 2018, které trvalo dlouhých 125 dní. Toto extrémní sucho s nedostatkovým objemem 384 601 m³ tvořilo objem přes 50 % z celkového úhrnu nedostatkového objemu. Druhým extrémním případem bylo hydrologické sucho z roku 2009 s nedostatkovým objemem 122 731 m³. Povšimnout si také můžeme odlišného rozložení období v průběhu roku. Například sucho v roce 1999 mělo svůj počátek až 12. října, oproti tomu nedávné sucho v roce 2017 již 1. června. V tabulce můžeme vidět, že suché periody se převážně vážou na letní měsíce. Ovšem nelze opomenout podzim, který je s výskytem hydrologického sucha úzce spojen. Z grafu č. 3 je patrné, že nedostatkové objemy v posledních letech rostou nestále nahoru.

Tabulka 1: Nedostatkové objemy v pozorovaném období 1977–2018.

rok	počátek období	konec období	počet dní	nedostatkový objem (m ³)
1999	12. 10.	21. 10.	10	7 171
2005	22. 8.	24. 8.	3	3 897
2008	27. 8.	4. 10.	39	54 821
2009	9. 8.	30. 9.	53	122 731
2010	14. 7.	16. 7.	3	4 337
2012	27. 8.	29. 8.	3	4 087
2015	10. 7.	15. 8.	36	60 895
2016	27. 8.	16. 9.	21	28 702
2017	1. 6.	28. 6.	28	51 391
2018	21. 6.	24. 10.	125	384 601

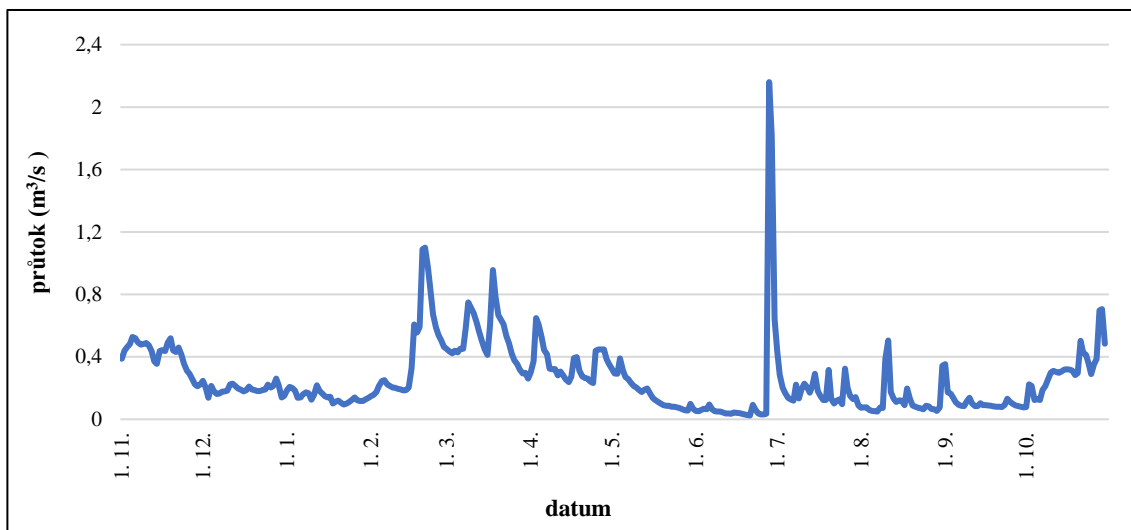
Zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ.



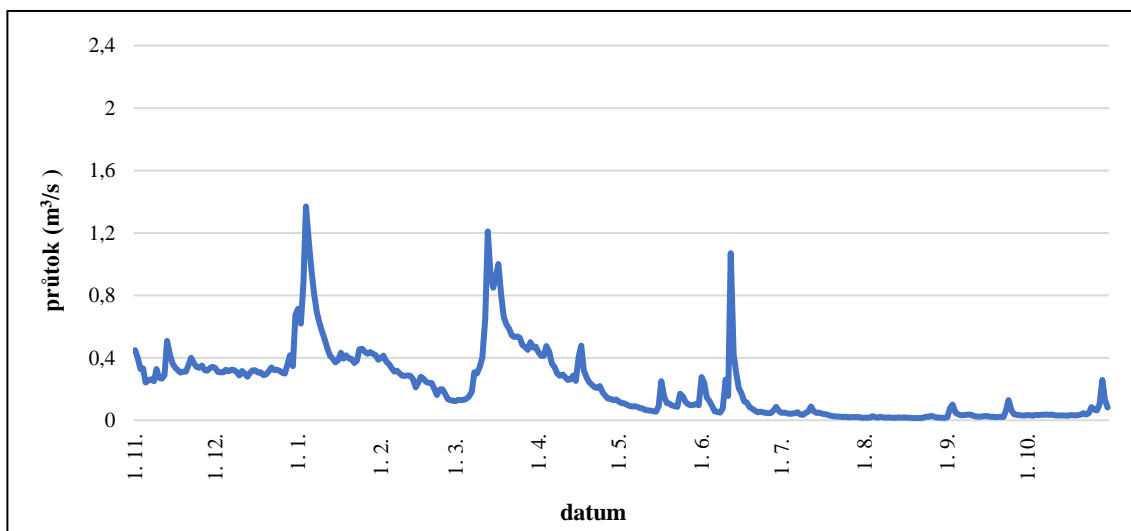
Graf 3: Nedostatkové objemy v pozorovaném období 1977–2018. Zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ

3. 3 Sucho na Loděnici v letech 2017 a 2018

Do samostatné kapitoly byla vyčleněna poslední dvě velká hydrologická sucha v letech 2017 a 2018. Oba roky jsou součástí suché periody, která trvá již několik let. Graf č. 4 a 5 popisuje rozložení denních průtoků v rámci celého hydrologického roku. Průměrný roční průtok v roce 2017 byl $0,26 \text{ m}^3/\text{s}$, kdežto v roce 2018 $0,22 \text{ m}^3/\text{s}$. Při porovnání obou grafů si můžeme povšimnout odlišného rozložení denních průtoků. Až na jeden extrémní výkyv ze dne 22. června bylo rozložení denních průtoků v roce 2017 vcelku rovnoměrné. Zpočátku hydrologického roku 2017 byly průtoky nízké a nepřesahovaly $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$. V důsledku jarního tání sněhové pokrývky lze zpozorovat vysoký nárůst v půlce března. Od května vykazují denní průtoky klesající trend trvající až do konce června. Právě toho období se dá považovat za vrchol hydrologického sucha v roce 2017. Výjimečný průtok byl naměřen dne 29.6., kdy se průměrný denní průtok dostal přes hodnotu $2 \text{ m}^3/\text{s}$. V červenci se hodnoty vrátily zpět k ročnímu průměru. V roce 2018 (graf č. 5) mají průměrné denní průtoky úplně jiný chod. Od počátku hydrologického roku do půlky měsíce června jsou denní průtoky značně vyšší. V tomto období můžeme zpozorovat tři extrémní výkyvy, které se objevily na začátku ledna a v polovině března a června. Druhá část roku od již zmíněné půlky června byla o poznání sušší. Pouze v jednom případě bylo dosaženo hodnoty průtoku $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$. Za vrchol hydrologického sucha v roce 2018 se dá považovat období od počátku srpna do konce října, ve kterém bylo zároveň dosaženo absolutního minima dne 20. srpna, kdy byl naměřen průtok $0,014 \text{ m}^3/\text{s}$.



Graf 4: Chod denních průtoků v hydrologickém roce 2017. Zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ.



Graf 5: Chod denních průtoků v hydrologickém roce 2018. Zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ.

V tabulkách č. 2 a 3 jsou uvedeny extrémně naměřené hodnoty pro vybrané roky. Při porovnání obou tabulek lze již na první pohled konstatovat, že v hydrologickém roce 2018 mělo sucho větší rozměry. V tomto roce bylo 20. srpna naměřeno absolutní minimum, naopak maximum v roce 2017 dne 29. června. Všimnout si můžeme odlišného vrcholu hydrologického sucha. V roce 2017 byly nejnižší hodnoty naměřeny v červnu, kdežto v roce 2018 o dva měsíce později. Rozdíl nalezneme i u nejvyšších naměřených hodnot. První dvě maxima roku 2017 jsou z června, zatímco všechny tři hodnoty roku 2018 byly naměřeny v lednu a březnu.

Tabulka č. 2: Extrémní hodnoty průtoků v roce 2017.

den	nejnižší hodnoty	den	nejvyšší hodnoty
22. 06. 17	0,0245	29. 06. 17	2,16
21. 06. 17	0,0271	30. 06. 17	1,82
26. 06. 17	0,0306	22. 02. 17	1,10

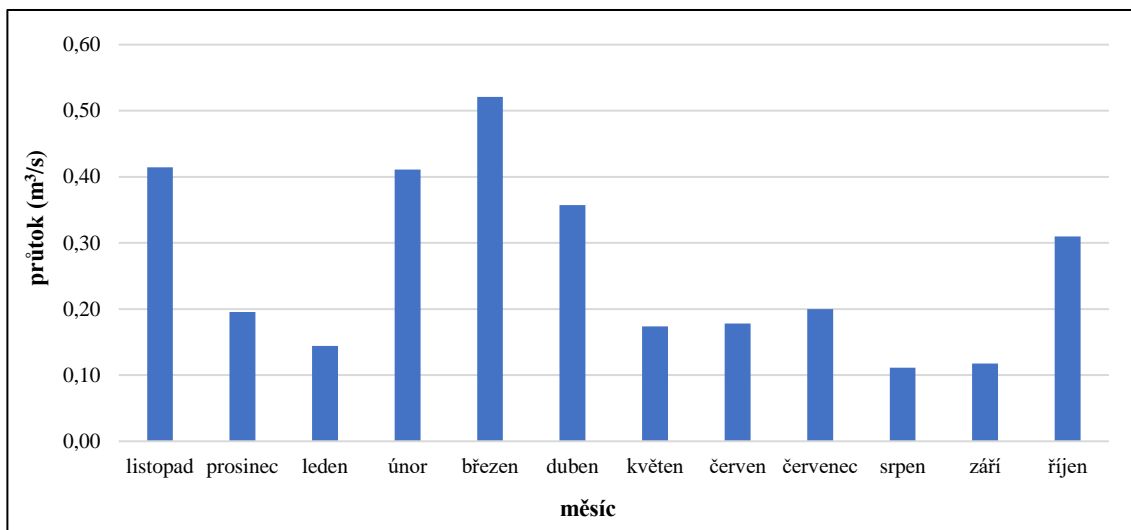
Zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ.

Tabulka 3: Extrémní hodnoty průtoků v roce 2018.

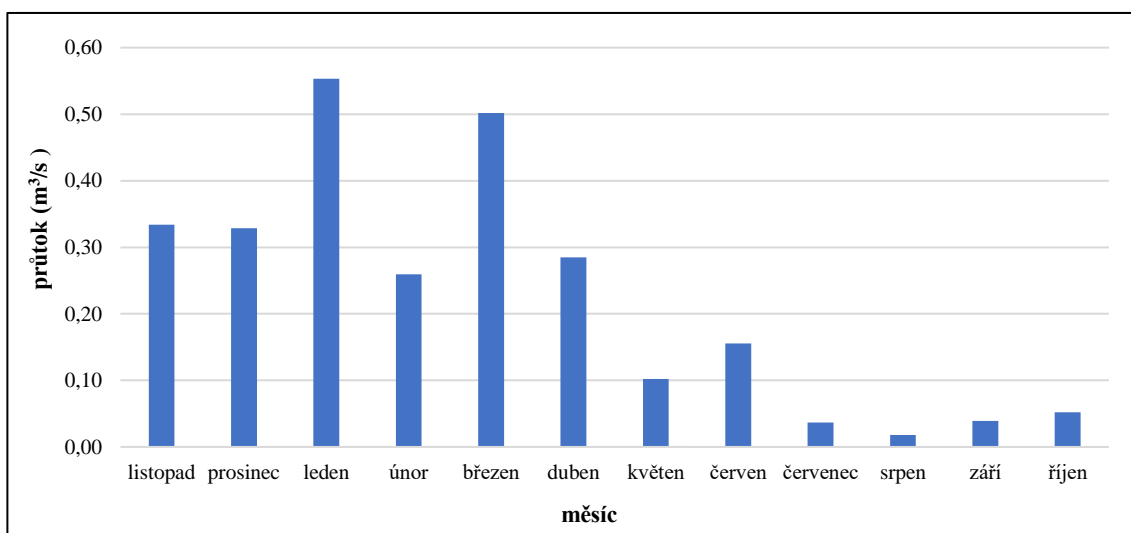
den	nejnižší hodnoty	den	nejvyšší hodnoty
20. 08. 18	0,014	04. 01. 18	1,37
21. 08. 18	0,0142	13. 03. 18	1,21
22. 08. 18	0,0148	05. 01. 18	1,14

Zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ.

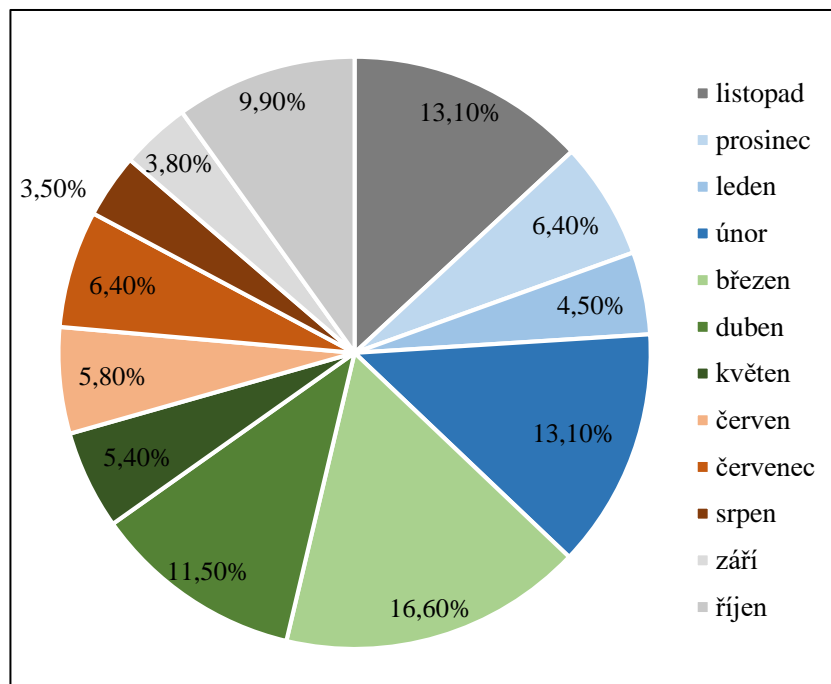
Rozložení měsíčních průtoků ve vybraných letech je zobrazeno na grafech č. 6 a 7. Grafy v zásadě kopírují předešlé chody denních srážek. Rok 2017 má oproti roku 2018 vyrovnanější průběh a jeho hodnoty průměrných měsíčních průtoků jsou o něco vyšší. V důsledku jarního tání sněhu byl nejvodnější měsíc v roce 2017 březen, kdy bylo dosaženo hodnoty $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Rok 2018 můžeme rozdělit na dvě periody. V první části hydrologického roku se téměř všechny hodnoty měsíčních průtoků vyšplhaly k $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$. Druhá polovina roku je podstatně sušší. Od května do října nebylo dosaženo ani v jednom případě hodnoty $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$. Nejvodnější měsíc roku 2018 je leden, nejsušší naopak srpen, kdy vyvrcholilo hydrologické sucho. Roční nevyrovnanost průtoků je také zobrazena na grafech č. 8 a 9. Na nich je zachycen procentuální podíl jednotlivých měsíců na celkovém ročním odtoku. Grafy v zásadě potvrzují již výše zmíněné skutečnosti. V roce 2017 byl odtok mnohem vyrovnanější než v roce 2018. Nejvyšší podíl na celkovém odtoku v roce 2017 byl v březnu a v roce 2018 v lednu. Nejnižší podíl na ročním odtoku je v obou případech v srpnu.



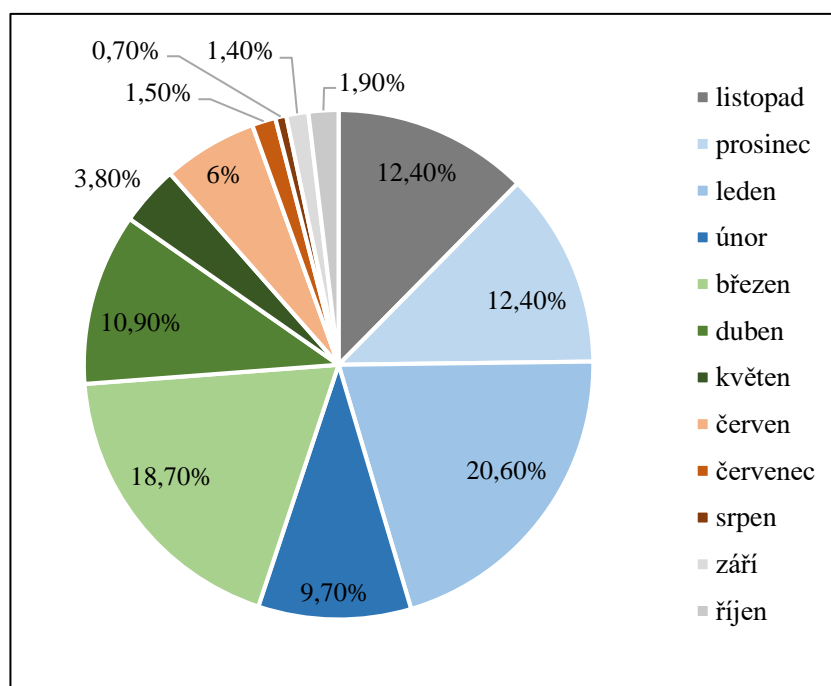
Graf 6: Průměrné měsíční průtoky v hydrologickém roce 2017. Zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ.



Graf 7: Průměrné měsíční průtoky v hydrologickém roce 2018. Zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ.



Graf 8: Podíl měsíců na ročním objemu odtoku v roce 2017. Zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ.



Graf 9: Podíl měsíců na ročním objemu odtoku v roce 2018. Zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ.

4. ZÁVĚR

Důležitou kapitolou práce je vyhodnocení samotného hydrologického sucha v povodí Loděnice. Pomocí datové řady byl stanoven počet hydrologicky suchých dní. Stanice Loděnice zaznamenala celkem 403 hydrologicky suchých dní, které jsou v pozorovaném období velmi nerovnoměrně rozloženy. Výsledky však dokazují výskyt hydrologického sucha v posledních letech. Od roku 2015, který byl v celém Česku velice suchý, bylo v každém roce minimálně 20 suchých dní. V roce 2018 bylo z celkového počtu dní v roce dokonce 144 označeno za hydrologicky suché. Nutno podotknout, že průměrné roční průtoky ne vždy korelují s výskytem suchých dní. Například rok 2007 je co se týče průměrného ročního průtoku nejsušší, avšak pouze jeden den v roce považujeme za hydrologicky suchý den. Nejvíce dní hydrologického sucha z celého sledovaného období se váže k měsícům srpnu a září.

Druhou zvolenou metodou pro analýzu hydrologického sucha je metoda nedostatkových objemů s využitím limitní hodnoty Q_{355} . Výsledky naznačují, že výskyt hydrologického sucha v povodí Loděnice není v posledních letech náhodný. Tato metoda dokazuje, že od počátku 21. století se zde pravidelně sucho vyskytuje. Za zmínku stojí opět rok 2018, kdy suchá perioda trvala neuvěřitelných 125 dní. Nedostatkový objem tohoto období činil $384\,601\text{ m}^3$, což tvoří přes polovinu z celkového součtu všech objemů.

Lidé berou vodu jako samozřejmost, o kterou lidstvo nikdy nemůže přijít. V poslední době však společnost začíná chápat sucho jako jednu z dalších přírodních hrozeb. Čím delší a intenzivnější sucho je, tím je zájem společnosti větší. Suchá perioda trvající od roku 2014 dává vědcům za pravdu, že výskyt sucha na našem území není pouze náhodou. Celé období od roku 2014 do konce roku 2018 bylo teplotně velmi mimořádné a srážkově chudé. Zároveň v zimních obdobích nebyla dostatečná sněhová pokrývka, která by výskytu sucha zabránila nebo ho alespoň dostatečně zmírnila. Společnost si však problematiku sucha začíná uvědomovat. Nyní je potřeba s ní opravdu něco dělat. Je třeba, aby si lidé vody vážili, neplýtvali s ní a naučili se s ní správně hospodařit.

Pro budoucí analýzu je třeba zvýšit počet hydrologických stanic v povodí. Vyhodnocení hydrologického sucha díky více profilům by přineslo mnohem detailnější pohled na tento novodobý fenomén, kterého je třeba se v této oblasti obávat. Tato práce by měla sloužit jako možné varování při boji proti suchu nejen v tomto povodí. Otázka sucha je zajímavá pro další navazující práce, které budou bez pochyby třeba. Současný stav a budoucí prognózy sucha nejsou pro Česko příznivé.

5. ZDROJE

BRÁZDIL, R., TRNKA, M. a kol. (2015): Sucho v českých zemích: minulost, současnost, budoucnost. Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v.v.i, Brno, 402 s.

BURIAN, A. (2019): Hydrologické sucho v povodí Loděnice. Bakalářská práce. PřF UK, Praha, 82 s.

ČERVENÝ, J. a kol. (1984): Podnebí a vodní režim ČSSR. SZN, Praha.

ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz> (cit. 20. 10. 2019).

ESTRELA, T. a kol. (2001): Extreme hydrological events: floods and droughts. Environmental issue report No. 21: Sustainable water use in Europe, Part 3. European Environment Agency, 84 s.

GIBBS, W. J. (1975): Drought – its definition, delineation and effects. In: Special Environmental Report No. 5. World Meteorological Organization, Geneva, 11–39.

HISDAL, H., STAHL, K., TALLAKSEN, L. M., DEMUTH, S. (2001): Have droughts in Europe become more severe or frequent? International Journal of Climatology, 21, 3, 317–333.

HLADNÝ, J. (2009): Druhy sucha. In: Němec, J., Kopp, J. (eds.): Vodstvo a podnebí v České republice. Ministerstvo zemědělství České republiky, Consult Praha, 66 s.

INTERSUCHO. Ústav výzkumu globální změny AV ČR. Dostupné z: <https://www.intersucho.cz/> (cit. 20. 10. 2019).

NĚMEC, J. HLADNÝ, J. (2006): Voda v České republice. Consult Praha, Praha, 256 s.

NDMC (National Drought Mitigation Center) (2012): Droughts Basic. Types of drought. National Drought Mitigation Center, University of Nebraska–Lincoln, U.S.A. Dostupné z: <http://www.drought.unl.edu/DroughtBasics/TypesofDrought.aspx> (cit. 20. 10. 2019).

NOVICKÝ, O. a kol. (2009): Časová a plošná variabilita hydrologického sucha v podmínkách klimatické změny na území České republiky. Zpráva za rok 2009. VÚV T.G.M., Praha, 59 s.

TALLAKSEN, L. M., VAN LANEN, H. A. (2004): Hydrological Drought: Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater. Developments in Water Science 48. Elsevier Science B. V., Amsterdam, 579 s.

TREML, P. (2011): Největší sucha na území České republiky v období let 1875–2010. Meteorologické zprávy, 64, 6, 168–176.