VODOHOSPODÁŘSKÉ TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

VTEI/2022/5

TÉMA

Vodní režim v měnících se klimatických podmínkách

4 / Odhad přírodních zdrojů podzemní vody v hydrogeologických rajonech v České republice

33 / Posouzení možnosti změny užívání suchých nádrží

48 / Rozhovor s Ing. Miroslavem Olmerem, jedním ze zakladatelů rajonizace podzemních vod

13. říjen – Mezinárodní den za omezení katastrof

„Svět čelí kaskádovým krizím, které dnes způsobují hluboké utrpení, avšak zítra se mohou stát příčinou nebezpečné nerovnosti, nestability a klimatického chaosu." António Guterres, generální tajemník OSN, červenec 2022, United Nations Office for Disaster Risk Reduction – New York.

Mezinárodní den za omezení katastrof prohlásilo Valné shromáždění OSN připomínkovým dnem na svém plenárním zasedání 22. prosince 1989. Cílem aktivit, jež jsou s tímto dnem spjaty, je zapojení každé vlády i každého občana do budování komunit a národů odolnějších vůči katastrofám. Připomínání si tohoto dne má vést k zamyšlení nad tím, jak mohou lidé svým chováním ovlivňovat výskyt a průběh přírodních katastrof, především pak změn klimatu a globálního oteplování, a v ideálním případě je i omezovat. Dnes totiž máme možnost katastrofy s velkou přesností předvídat, ať už jde o zemětřesení, povodně, hurikány a další, ovšem možnosti, jak těmto katastrofám předcházet, jsou v mnoha případech značně omezené...

Vzhledem k naléhavosti této problematiky přijalo Valné shromáždění OSN v roce 2002 rezoluci o každoroční připomínce tohoto dne jako prostředku k šíření globální kultury omezování rizik přírodních katastrof, včetně prevence, mitigace a připravenosti. O sedm let později, v roce 2009, Valné shromáždění OSN rozhodlo slavit tento den každoročně 13. října a také upravilo jeho název na Mezinárodní den za omezení katastrof.

V roce 2015, na třetí světové konferenci OSN o snižování rizika katastrof v Sendai v Japonsku, bylo mezinárodnímu společenství připomenuto, že přírodní katastrofy mají sice největší dopad na lokální úrovni, avšak s potenciálem způsobit ztráty ekonomické a sociální, jež tuto lokální úroveň daleko přesahují. Náhlé a nečekané přírodní katastrofy mají v některých případech za následek vysídlení miliónů lidí s negativním dopadem na investice do udržitelného rozvoje. Na konferenci v japonském Sendai byl přijat tzv. Sendaiský rámec pro snižování rizika katastrof na období 2015–2030. Tento dokument je mimo jiné provázán s dalšími dohodami souvisejícími s přijatou Agendou 2030, včetně Pařížské dohody o změně klimatu.

Sendaiský rámec prosazuje podstatné snížení rizika katastrof a ztrát na životech, živobytí a zdraví i na ekonomických, fyzických, sociálních, kulturních a environmentálních aktivech osob, podniků, komunit a zemí. Přitom uznává, že primární úlohu při snižování rizika katastrof má stát, ale odpovědnost by měly převzít i ostatní zúčastněné strany, včetně např. místních samospráv či soukromého sektoru.

„Klimatická změna je bezpochyby největší hrozbou, které planeta a lidstvo čelí. 90 % velkých katastrof za posledních 20 let má souvislost s klimatickou změnou. Jejich dopady činí udržitelný rozvoj nedosažitelným." Mami Mizutori, zvláštní zástupkyně generálního tajemníka OSN pro snižování rizika katastrof a vedoucí Úřadu OSN pro snižování rizika katastrof (UNDDR), červenec 2022, United Nations Office for Disaster Risk Reduction – New York.

Připomínání si Mezinárodního dne za omezení katastrof se tak stává jednou z příležitostí, jak si toto nebezpečí plně uvědomit, a díky tomu se rozhodnout nasadit všechny své síly a možnosti pro jeho odvrácení.

Redakce

V září 2015 přijalo světové společenství na půdě Valného shromáždění Organizace spojených národů společné cíle udržitelného rozvoje, kterých má být dosaženo do roku 2030. Jde o dlouhodobý a ambiciózní program ve všech oblastech lidského konání.

Obsah

3 Úvod

4 Odhad přírodních zdrojů podzemní vody v hydrogeologických rajonech v České republice
Ladislav Kašpárek, Roman Kožín, Josef V. Datel, Martina Peláková

15 Vliv revitalizace Teplice na odtok z povodí – předběžné výsledky
Adam Beran

22 Bilance zdrojů podzemní vody a potřeb pro pitné účely v podmínkách klimatické změny
Hana Prchalová, Petr Vyskoč, Adam Vizina, Hana Nováková

33 Posouzení možnosti změny užívání suchých nádrží
Pavel Balvín, Petr Smrž, Jiří Švancara, Veronika Táboříková, Marcela Makovcová

39 Měření celoročních srážek radarovým srážkoměrem v náročných horských podmínkách
Martin Vokoun, Vojtěch Moravec

47 Autoři

48 Rozhovor s Ing. Miroslavem Olmerem, jedním ze zakladatelů rajonizace podzemních vod v České republice
Anna Hrabánková

52 Aktuální verze modelu BILAN
Petr Pavlík, Adam Vizina

55 Pozvánka na putovní výstavu *Historické vodohospodářské objekty, jejich hodnota, funkce a význam pro současnou dobu*

56 Pozvánka na putovní výstavu *Závlahy – znovuobjevované dědictví, jejich dokumentace a popularizace*

Foto: vaclavsojka.cz

Vážení čtenáři,

v uplynulých dnech jsme si připomínali čtvrtstoletí povodní na Moravě a ve Slezsku a 20. výročí povodní v Čechách, včetně Prahy. Mnoho mrtvých, tisíce zničených domů a obrovské škody nás upozornily, v jak nejistém světě žijeme a jak moc je potřeba, abychom drželi spolu nejen jako rodina či tým, ale i jako celý národ a lidstvo. Tornádo na Moravě, energetická krize nebo válka nedaleko našich hranic dávají signál konkrétně přímo nám, abychom se soustředili na podstatu našeho bytí a zábavě, pohodlí či pozlátkům moderního života věnovali jen tu pozornost, kterou si opravdu zaslouží. Pokud se však vrátíme k povodním, tak stoletá voda na Moravě a tisíciletá voda v Praze – a možná k nim můžeme připočíst i povodeň v roce 2013, nedávné šestileté sucho, řadu požárů kvůli suchu včetně toho posledního v NP České Švýcarsko a přívalové srážky – nám naznačují, že naše prostředí se opravdu mění. Před 20 lety se ještě klimatická změna tolik neakcentovala, hovořilo se spíše o neobvyklých meteorologických situacích, ale v dnešní terminologii by se tyto události již za důkaz klimatické změny považovaly.

Možná stojí za to si uvědomit, že v tom nejsme úplně sami. Podíval jsem se do tiskových zpráv z posledních dní, jak to vypadá ve světě s událostmi, jež mohou mít nepřímo dopad i na nás, a netradičně několik z nich v rámci úvodníku uvedu.

„Čína před letošním sjezdem komunistické strany doufala v silnější růst ekonomiky, místo toho ale přichází stagnace. Delší vlnu veder země nepamatuje od roku 1961. Teploty dosahovaly až nad 40 stupňů Celsia a jedním z jejích důsledků je i vysychání řek a vodních nádrží, které jsou pro Čínu významným zdrojem energie, hladina Jang-c'-tiang klesla na nejnižší úroveň od roku 1865. Nyní navíc kvůli vyprahlé půdě hrozí povodně."

„V Keni jsou vodovodní kohoutky spíše doplňkem domácnosti. Voda z nich totiž teče jen málokdy. Keňa patří mezi země s největším nedostatkem vody. Tamní obyvatelé ji proto musejí hledat v přírodních zdrojích, jakými jsou třeba potoky. Nikdo však nezaručí, že bude pitná. Podle organizace UNICEF skoro 10 milionů Keňanů pije znečištěnou vodu."

„Povodně v Pákistánu způsobené monzunovými dešti si už vyžádaly nejméně 1 136 životů a podle předběžných odhadů vlády způsobily v zemi škody za 10 miliard dolarů (246 miliard korun). Přívalové deště, které přišly již v červnu, spláchly cesty, mosty, na milion domů i plodiny z polí. Povodně zasáhly přes 33 milionů lidí, tedy více než 15 procent populace Pákistánu."

„Kalifornie se potýká s chronickým „mega-suchem", kdy suchá léta jsou stále častější a vlhká léta vzácnější. Současné sucho, jež začalo kolem roku 2000, je druhé nejhorší za posledních 1 200 let. Sucho zmenšilo kalifornské jezero Shasta, které je největší nádrží v Kalifornii. Jde o klíčový zdroj vody pro zemědělství v Central Valley. Hladina nádrže za rok klesla o 33 metrů a její zásoba vody se snížila o zhruba 40 %. Podobně je na tom i největší přehradní nádrž v USA Lake Mead, která zásobuje pitnou vodou 20 milionů obyvatel měst Las Vegas a Los Angeles. Hladina zde klesá od roku 2000, v posledních letech ale stále rychleji. Letos je stav vody nejnižší od napuštění přehrady v roce 1935."

To byly vzdálené země, ale pokud se rozhlédneme po Evropě, Německo zažívá nejslunečnější léto za 70 let – slunce má letos svítit 817 hodin – a nedostatek vody v Rýnu ztěžuje přepravu ropy a uhlí. Francie má za sebou nejteplejší léto v historii měření, bylo 2,3 °C nad normálem let 1991–2020. Výkon jaderných elektráren na Rhôně a Garonně byl dočasně snížen, protože není dostatek studené říční vody na jejich chlazení. Francouzské daňové úřady dokonce pomocí umělé inteligence vyhledávaly majitele tisíců nepřiznaných soukromých bazénů, kteří za ně musejí zaplatit dohromady asi 10 milionů eur. Itálie zažívá nejhorší sucho od roku 2003. Masivní vlna veder v této zemi zničila zemědělskou produkci – letos je prý ohrožena její třetina. Ve Švýcarsku byly kvůli chlazení zastaveny tři elektrárny a je nasazena armáda, jež má zabránit tomu, aby stáda krav umírala žízní. Mnoho nádrží v Norsku má historicky nízké hladiny vody a v důsledku toho se vláda rozhodla omezit vývoz elektřiny do jiných zemí, dokud nebudou zásobníky doplněny. Na začátku srpna Nizozemsko vyhlásilo celostátní nedostatek vody. V Polsku již úřady zavedly omezení říční dopravy kvůli velmi nízké hladině vody. V Británii připravují občany na nedostatek vody a učí je být méně citlivými k tomu, jakou vodu pijí, byť by byla smíchána s vyčištěnou odpadní vodou. Neboť taková voda je prý *„naprosto bezpečná a zdravá, i když se to někomu nelíbí"*.

Samozřejmě ve výčtu katastrof a hrozeb, někdy možná i trochu nadsazených, bychom mohli pokračovat ještě dlouho. Smyslem však bylo ukázat, že nesmíme čekat na to, až problémy se suchem a vodou nastanou, ale musíme se k nim stavět aktivně a s předstihem. Vodohospodářské stavby nebo opatření týkající se přírody se projeví až za 10 či 20 let, a i když někdy nezvolíme tu ideální cestu, je to lepší než nic.

Doufám, že i dnešní monotematické číslo VTEI zaměřené na hydrologii, hydrauliku a hydrogeologii alespoň trochu přispěje k uvědomění si, že na tom v naší republice přes všechny naše problémy vůbec nejsme špatně a že záleží především na nás, jak pragmaticky výzvy, jako jsou zadržování vody v krajině, péče o zdroje pitných vod, ochrana proti povodním, zemědělská a energetická soběstačnost a další činnosti závislé na vodě, posoudíme a vyřešíme. Podmínky, vzdělané vodohospodáře i výzkumníky, a dokonce i finanční zdroje na to máme. Musíme jen najít odvahu změny prosadit.

Ing. Tomáš Urban
ředitel VÚV TGM, v. v. i.

Odhad přírodních zdrojů podzemní vody v hydrogeologických rajonech v České republice v měnících se klimatických poměrech 1981—2019

LADISLAV KAŠPÁREK, ROMAN KOŽÍN, JOSEF V. DATEL, MARTINA PELÁKOVÁ

Klíčová slova: hydrogeologický rajon — zdroj podzemní vody — odtok podzemní vody

SOUHRN

V České republice (dále ČR) v rámci regionálního hydrogeologického průzkumu byly už v roce 1965 vymezeny hydrogeologické rajony. Hydrogeologický rajon (HGR) je definován jako celek s obdobnými hydrogeologickými poměry, vymezený tektonicky a geologicky, na jehož území převládá určitý typ zvodnění a oběhu podzemní vody. V několika časových etapách byly hranice HGR upravovány a postupně byly různými postupy určovány jejich číselné hydrogeologické charakteristiky, z nichž jedním ze základních údajů je velikost přírodních zdrojů podzemní vody. Přírodní zdroje jsou dynamickou složkou podzemních vod a vyjadřují se v $m^3.s^{-1}$. Přírodní zdroje jsou dány dotací vody do zvodněného systému (srážky, přetoky podzemní vody z jiných kolektorů, přirozená infiltrace povrchové vody apod.). Pokud je HGR hydrogeologicky uzavřený, lze dlouhodobý průměr jeho dotace ze srážek i dlouhodobý průměr základního odtoku použít jako odhad přírodního zdroje podzemních vod. V rámci projektu „*Rebilance zásob podzemních vod*" byly zpracovány odhady přírodních zdrojů podzemní vody ve 152 hydrogeologických rajonech v ČR, které jsou uvedeny ve zprávě [1]. Přírodní zdroje byly stanoveny několika odlišnými postupy s využitím dat z období 1971–2010, případně 2000–2010.

Vzhledem k intenzivnímu zvyšování průměrných ročních teplot vzduchu na území ČR po roce 1980 a se zvláštním zřetelem k suchému období 2014–2019 jsme pro současný odhad přírodních zdrojů podzemní vody v HGR použili data z období 1981–2019. Použitý postup výpočtu vycházel ze stanovení celkového odtoku z HGR a jeho přepočtu na základní odtok pomocí baseflow indexu (BFI), jehož regionální zpracování obsahuje studie [2]. Pro stanovení celkového odtoku byly použity dvě alternativy výpočtu: podle bilančního rozdílu mezi srážkou a odhadnutým územním výparem a podle regresního vztahu mezi srážkou a odtokem. Oba typy vztahů jsme odvodili z výsledků sledování průtoků ve vodoměrných stanicích ČHMÚ a podle pozorování srážkoměrných a klimatických stanic. Pro každý HGR byl použit vztah odvozený z dat povodí, ve kterých rajon leží a s nimiž sousedí, s přihlédnutím k orografické podobnosti rajonu a povodí. Pro HGR byly vypočteny dlouhodobé průměry srážek a teplot. Podle nich byly interpolací nebo extrapolací podle uvedených vztahů stanoveny dlouhodobé průměrné výšky celkového odtoku.

Výsledky výpočtů ukázaly, že postup založený na regresním odhadu výšky odtoku podle výšky srážek poskytuje odhady v průměru o 5 až 6 % větší než postup využívající odhad výparu.

Obě alternativy výpočtu při porovnání s přecházejícími výsledky z projektu „*Rebilance zásob podzemních vod*" vykazují podle dlouhodobých průměrů pokles průměrného základního odtoku, a tedy i průměrné dotace podzemních vod v období 1981–2019 oproti období 1971–2010 v rozmezí cca 7 až 12 %, což lze přisoudit při téměř nezměněné průměrné srážce zvýšení průměrné teploty mezi porovnávanými obdobími o cca 0,4 °C. Zjištěné změny v přírodních zdrojích podzemních vod za obě období vykazují regionální rozdíly, dané nezahrnutými hydrogeologickými charakteristikami. Vzhledem k tomu, že výsledky nebyly získány stejnými metodami, jejich použití pro vzájemné porovnání je limitované. Změny výsledků pro jednotlivé HGR jsou charakterizovány tím, že 61 %, resp. 72 % případů se pohybuje v rozmezí intervalu ± 20 % podle použité metody.

ÚVOD

Stanovení využitelného množství podzemní vody pro odběry je jedním ze základních úkolů hydrogeologického průzkumu. Hlavní součástí těchto bilančních prací je ocenění velikosti zdrojů podzemní vody v rámci vymezeného bilančního hydrogeologického celku. Pro tyto účely byly vymezeny hydrogeologické rajony (HGR) jako základní bilanční celky využívané pro stanovení velikosti zdrojů podzemní vody. Území ČR je rozděleno do celkem 152 HGR.

Velikost zdrojů podzemní vody je určena prostorově (v optimálním případě se týká hydrogeologické struktury s uzavřeným oběhem podzemní vody, jež obsahuje jak plochy infiltrace, tak drenáže) a časově (jednak ve smyslu časového intervalu, např. hydrologického roku, a jednak ve smyslu časové proměnnosti tvorby zdrojů podzemní vody v důsledku časového kolísání hydrologických parametrů).

Rozlišují se tři typy zdrojů podzemních vod: přírodní, indukované a umělé. Přírodní zdroje se tvoří za přírodních, vesměs neovlivněných podmínek v určitém hydrogeologickém celku v definovaném časovém období. Za antropogenně změněných podmínek mohou vznikat zdroje indukované (např. břehová infiltrace v blízkosti odběrných objektů) a zdroje umělé (např. umělé zasakování vody do podzemních struktur).

Článek se týká přírodních zdrojů podzemní vody v jednotlivých HGR, které se tvoří v ploše těchto rajonů. Byly použity hydrologické bilanční přístupy, jež vycházejí z faktu, že infiltrované srážky jsou hlavním zdrojem tvorby podzemních vod. Přírodní zdroje podzemních vod coby dynamické složky jejich zásob jsou stanoveny procesem hydrologického bilancování jako časoprostorově definovaný základní odtok. Je třeba vnímat limity použitých hydrologických metod, které z principu nemohou zahrnout přetoky mezi kolektory, a indukované zdroje podzemních vod, jež se projevují např. v kvartérních rajonech (vliv břehové infiltrace či probíhající drenáže z podložních jednotek apod.).

Velikost přírodních zdrojů podzemní vody lze odhadovat pomocí kombinace různých metod, které lze rozdělit do tří základních skupin: podle velikosti infiltrace, podle podzemního průtoku příslušným kolektorem a podle množství vody, jež se z tohoto systému odvodňuje.

Suché období 2014–2019 významným způsobem zasáhlo do velikosti zdrojů podzemní vody, jak je v tomto období dokladováno snižováním hladin

podzemní vody v rámci monitoringu podzemních vod v celostátní síti ČHMÚ. V projektu „*Rebilance zásob podzemních vod*" (2011–2016) byly provedeny odhady přírodních zdrojů podzemní vody ve všech 152 HGR na základě vstupních hydrologických dat za období 1971–2010, s komparativním využitím dílčích údajů za období 2000–2010. Stanovení tedy nezahrnovalo následující období sucha. V současné době již bylo možné přistoupit k novému bilančnímu odhadu založenému na datech z období 1981–2019 a výsledky se pokusit porovnat s předchozími výstupy projektu „*Rebilance*…".

Přímému srovnání dosažených výsledků za obě období však brání různé metodické přístupy, které byly zvoleny ke stanovení přírodních zdrojů v jednotlivých HGR v projektu „*Rebilance*…". To souviselo s různou úrovní a množstvím dostupných dat, s nimiž bylo nutno v různých rajonech počítat. Jak vyplývá ze zprávy [3], podrobnější přístup byl zvolen v 55 definovaných rajonech, kde byla využita i měřená data. Pro stanovení přírodních zdrojů byly zvoleny odvozené regresní vztahy mezi srážkou a výškou odtoku a mezi srážkou a základním odtokem, případně bilanční přístup za využití bilanční rovnice včetně stanovení výparu. Finálně uvedené přírodní zdroje byly pak výsledkem individuálního posouzení dosažených výsledků různými metodami podle specifické situace každého rajonu.

V dalších 30 rajonech byly zpracovány podrobné hydrologické bilanční modely a pro stanovení základního odtoku využity jejich výstupy. V dalších sedmi HGR nebylo možné stanovit přírodní zdroje podzemních vod především kvůli masivnímu antropogennímu postižení území, vesměs těžbou surovin. Zbývalo tedy 60 rajonů, kde byl základní odtok odhadnut pomocí zvolených hydrologických přístupů. Ve 31 rajonech vzniklých rozdělením starších rajonů byla pro stanovení základního odtoku použita metoda analogonů a rozdělení srážek v ploše rajonů a u zbývajících 29 rajonů byly využity původní hodnoty z roku 2006, přepočtené na průměry a na období 1981–2010. Použité postupy jsou podrobně popsány ve zprávě [1].

Jak je uvedeno dále, nové výsledky dosažené na základě odvozených bilančních a regresních vztahů tak nejsou zcela srovnatelné se staršími údaji, aby bylo možné čísla za obě období mechanicky položit vedle sebe a porovnávat je. Jejich komparaci lze provést pouze individuálně v rámci jednotlivých rajonů.

METODIKA

Jednou ze základních metod stanovení dotace podzemních vod je využití modelu hydrologické bilance, který umožňuje vypočítat časový průběh dotace podzemních vod. Parametry modelu se standardně kalibrují podle dat z povodí vodoměrných stanic tak, aby se odtok modelovaný podle srážek a teplot vzduchu co nejvíce blížil odtoku pozorovanému. Kromě případů, kdy se HGR shoduje s povodím vodoměrné stanice, se pro odhad odtoku z HGR využívají výsledky modelování povodí, do nichž HGR zasahuje, a z blízkých povodí s obdobným hydrogeologickým charakterem. Při tomto postupu jsou do modelu hydrologické bilance přeneseny parametry a vstupní veličiny – srážky a teploty vzduchu – vyhodnocené pro plochu HGR. Popsaný postup je poměrně složitý a pracný, obvykle vyžaduje výpočet více variant řešení, jejich posouzení a výběr výsledného odhadu.

Pokud není účelem odhadu dotace podzemních vod její časový průběh, ale jen dlouhodobý roční průměr, lze místo přenosu modelového řešení využít informací získaných z bilančních vztahů z povodí, v nichž HGR leží, a sousedních povodí. Výpočet vychází ze stanovení celkového odtoku z HGR a jeho přepočtu na základní odtok pomocí baseflow indexu BFI. Pro stanovení celkového odtoku byly použity dvě alternativy výpočtu: podle bilančního rozdílu mezi srážkou a odhadnutým územním výparem a podle regresního vztahu mezi srážkou a odtokem.

ODVOZENÍ VZTAHŮ PRO ODHAD PRŮMĚRNÉ ROČNÍ ODTOKOVÉ VÝŠKY

Výpočet odtoku jako rozdílu srážky a územního výparu

Použitý postup výpočtu dlouhodobých průměrů dotace podzemních vod v HGR využívá základních vztahů hydrologické bilance, podle které je dlouhodobý průměr celkového odtoku R [mm.rok^{-1}] rozdílem mezi dlouhodobým průměrem srážky P [mm.rok^{-1}] a dlouhodobým průměrem územního výparu E [mm.rok^{-1}]. V bilanční rovnici dlouhodobých průměrů z několika desetiletí, pomineme-li změnu zásob vody, platí:

$$R = P - E \qquad (1)$$

Aplikovat tuto rovnici (1) na hydrologická povodí vodoměrných stanic lze za předpokladu, že povodí je nejen morfologicky, ale i hydrogeologicky uzavřené, tj. neexistují přítoky ani odtoky vody mezi sousedními povodími. Územní výpar je pak možné odhadovat jako rozdíl mezi pozorovanou srážkou a odtokem vypočítaným ze sledovaných průtoků. Pokud rozdíl P - R vybočuje z regionální úrovně, zvětšení signalizuje odtok mimo závěrový profil a zmenšení přítok podzemní vody ze sousedního povodí či kolektoru.

Veličinou, která je považována za horní mez územního výparu, je potenciální evapotranspirace PET. Pro její výpočet jsme použili rovnici

$$PET = 37{,}9 \cdot T + 289{,}4 \qquad (2)$$

kde PET je průměrná roční potenciální evapotranspirace [mm.rok^{-1}]
T průměrná teplota vzduchu [°C]

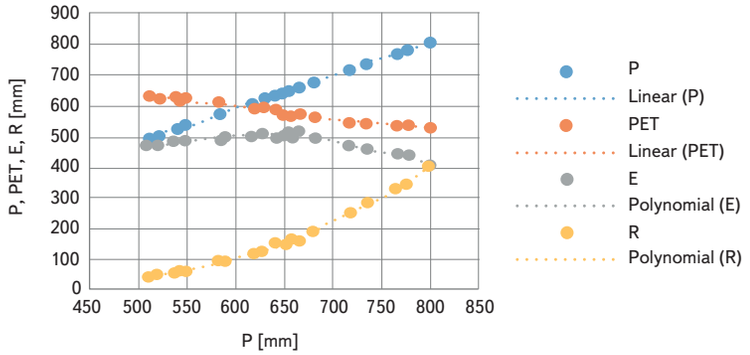
Rovnici (2) při aplikaci metody výpočtu územního výparu podle Oudina [4] doporučili pro území ČR Beran a kol. ve studii [5].

Potenciální evapotranspirace podle tohoto vztahu při zvyšování teploty vzduchu lineárně stoupá. Vzhledem k tomu, že vztah mezi teplotou vzduchu a srážkami má většinou lineární průběh, je i pokles potenciální evapotranspirace se vzrůstající srážkou obvykle lineární. Ukazuje to *obr. 1*, na kterém jsou zobrazeny průběhy bilančních veličin v závislosti na srážce. Průběh územního výparu vyneseného proti srážce je nelineární a ukazuje, že v intervalu srážek menších než cca 600 mm (kde srážka je menší než potenciální evapotranspirace) se výpar se srážkou zvětšuje a je limitován srážkou. Nad uvedenou mezí pro zvyšující se srážky výpar klesá, převažuje vliv poklesu potenciální evapotranspirace odpovídající poklesu teploty vzduchu. Popsaná proměna je plynulá a projevuje se zakřivením vztahu mezi srážkou a odtokem.

Na *obr. 1* uvedené průběhy slouží jako příklad. Použitá data pocházejí ze souboru povodí vodoměrných stanic z povodí Svratky nad přítokem Svitavy. Výsledky z jiných povodí mají obdobný průběh, oblast změny trendu územního výparu je většinou v intervalu průměrných ročních srážek 600 až 700 mm.

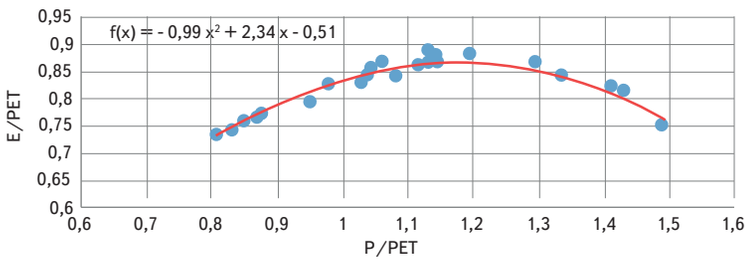
Pro regionální analýzy byl vyvinut postup, v němž jsou použity z hlediska vlivu teploty vzduchu, resp. potenciální evapotranspirace relativní veličiny. Výpar je charakterizován poměrem E/PET, takže jej odhadujeme jako procentní podíl potenciální evapotranspirace. Proměnlivost poměru E/PET v závislosti na srážce odpovídá výše popsanému souhrnnému vlivu srážek a teplot na velikost územního výparu. Poměr E/PET se při zvyšování srážky zvětšuje až do oblasti, ve které je pro výpar dostatečná teplota, a pak klesá, neboť klesající teplota vzduchu výpar omezuje. Jako nezávisle proměnnou lze použít poměr P/PET, viz [6]. Příklad takového zpracování je na *obr. 2*. Tento typ korelační analýzy jsme použili pro odhad průměrného výparu a podle něj vypočítali odečtením od srážky odhad průměrné roční výšky odtoku. Pro analytické vyjádření korelačního vztahu mezi P/PET a E/PET jsme ve většině povodí využili polynom druhého stupně.

Foto: 123rf.com



Obr. 1. Dlouhodobé roční průměry bilančních veličin vynesené proti průměrné roční srážce, příklad odvozený z dat pozorování povodí vodoměrných stanic v povodí Svratky nad přítokem Svitavy

Fig. 1. Long-term annual averages of balance variables plotted against average annual precipitation, an example derived from observed data from water gauging stations in the Svratka basin above the Svitava tributary



Obr. 2. Příklad vztahu mezi poměrem E/PET a poměrem P/PET, data z pozorování povodí vodoměrných stanic v povodí Svratky nad přítokem Svitavy

Fig. 2. Example of the relationship between E/PET ratio and P/PET ratio, observed data from water gauging stations in the Svratka basin above the Svitava tributary

Regresní vztah odtoku a srážky

Pro vyjádření vztahu mezi průměrnou dlouhodobou roční výškou srážek P [mm] a průměrnou dlouhodobou výškou odtoku R [mm] se vhodnou ukázala nelineární závislost – polynom druhého stupně, viz *obr. 1.*

$$R = a \cdot P^2 + b \cdot P + c \qquad (3)$$

Parametry a, b, c vztahu (3) popisují tvar funkce R = f(P) odpovídající tomu, že územní výpar dosahuje maxima v oblasti, kde je pro něj optimální kombinace výšky srážek a teploty. Nelineární průběhy závislosti odtoku na srážce jsou zřetelně patrné při analýze dat s velkým rozsahem srážek. Při analýze lokálních dat s menším rozsahem srážek poskytuje použitelné výsledky i proložení lineární funkcí.

Postup výběru dat pro odvozování vztahu pro odhad průměrné roční odtokové výšky pro jednotlivé hydrogeologické rajony

Až na několik výjimek byly pro všechny HGR použity oba výše popsané postupy. Parametry vztahů jsme odvodili z výsledků pozorování průtoků ve vodoměrných stanicích ČHMÚ a podle pozorování srážkoměrných stanic a klimatických stanic v povodí a jejich okolí. Zpracovány byly měsíční řady, průměrné měsíční průtoky byly doplněny o užívání vod a manipulace nádrží. Z měsíčních řad byly vypočteny dlouhodobé roční průměry odtoku, srážek a teplot na ploše povodí vodoměrných stanic. Byla použita data z let 1981–2019 s podmínkou, že v tomto období existuje vyhodnocené pozorování průtoků minimálně po dobu 18 let. Při zpracování byly vyloučeny ojedinělé případy, v nichž relace srážek a teplot vzduchu nebo relace srážek a odtoku zcela očividně vybočovaly z rozmezí dat v sousedních povodích. Po této redukci obsahoval použitý soubor data pro povodí 395 vodoměrných stanic.

Výběr stanic pro odvození vztahů byl ovlivněn i tím, jaká data a jak spolehlivá pro území v okolí konkrétního HGR a jeho okolí existují. Pro několik HGR se nepodařilo nalézt data umožňující použít vztah mezi poměrem E/PET a poměrem P/PET, takže výsledkem jsou jen odhady odtoku podle srážkoodtokového vztahu.

Pro jednotlivé hydrogeologické rajony byl výběr povodí vodoměrných stanic, ze kterých byly oba výše popsané typy vztahů odvozovány, usměrňován na jedné straně snahou vystihnout regionální odlišnosti hydrologického a hydrogeologického režimu, na druhé straně potřebou alespoň minimálního počtu případů, jež umožňují korelační vztah odhadnout.

Zvláštní pozornost bylo třeba věnovat několika případům s velmi malými srážkami na HGR, menšími než minimální srážky v souboru dat z povodí použitých pro odvození vztahu. Odvozený analytický vztah pak sloužil pro extrapolaci a bylo třeba uvážit i jiné typy vztahu než standardní polynom druhého stupně.

Při výpočtech byly průběžně porovnávány odhady celkového odtoku stanoveného oběma popsanými postupy. V některých případech byly identifikovány značně vybočující výsledky a byla hledána pravděpodobná příčina vybočení. Zde byly používány i vztahy mezi srážkami a teplotami vzduchu, podle nichž se ukázal odhad srážek pro několik malých povodí nepřesný. Ojediněle byla data z vybočujících případů z odvozování vztahů vyloučena.

Pro dedukci dlouhodobých průměrů dotace podzemních vod v hydrogeologickém rajonu předpokládáme, že bilanční vztah, odvozený na pozorovaných povodích v oblasti, kde se nachází HGR, s přijatelnou mírou shody vystihuje bilanci v ploše rajonu.

Dosazením průměrných ročních srážek a průměrných ročních teplot vzduchu, vypočítaných z pozorování srážkoměrných a klimatických stanic pro plochu HGR, do vztahů sestavených pro oblast, v níž HGR leží, jsme získali odhad celkového průměrného ročního odtoku z HGR.

Přepočet průměrné roční odtokové výšky pro jednotlivé hydrogeologické rajony na průměrnou roční výšku odtoku podzemní vody

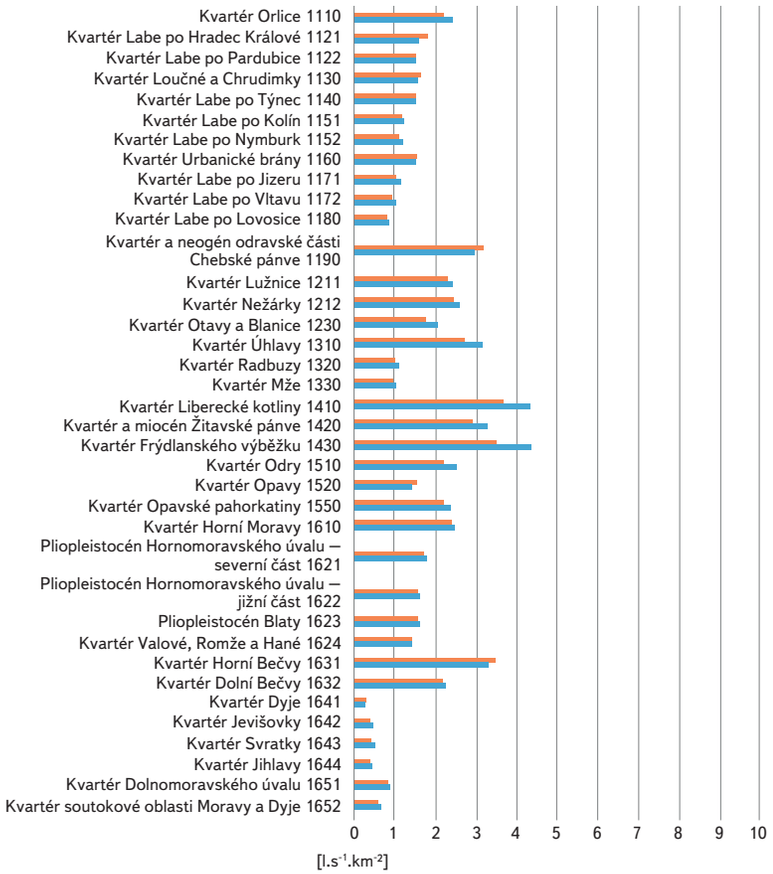
Z odhadu odtoku R byl pro každý hydrologický rajon podle rovnice

$$R_z = R \cdot BFI \qquad (4)$$

vypočítán dlouhodobý průměr základního odtoku Rz, který v dlouhodobém průměru při zanedbání změn zásob vody odpovídá průměrné dotaci podzemních vod ze srážek. Nezahrnuje případné přetoky vody mezi HGR. Hodnoty indexu BFI (baseflow indexu, tj. poměru mezi základním a celkovým odtokem) byly převzaty z článku [2]. Pro několik HGR byly odvozeny z pozorovaných řad průměrných denních průtoků ve vodoměrné stanici, jejíž povodí leží v příslušném HGR nebo má podobné hydrogeologické charakteristiky. Postup stanovení je popsán v citovaném článku.

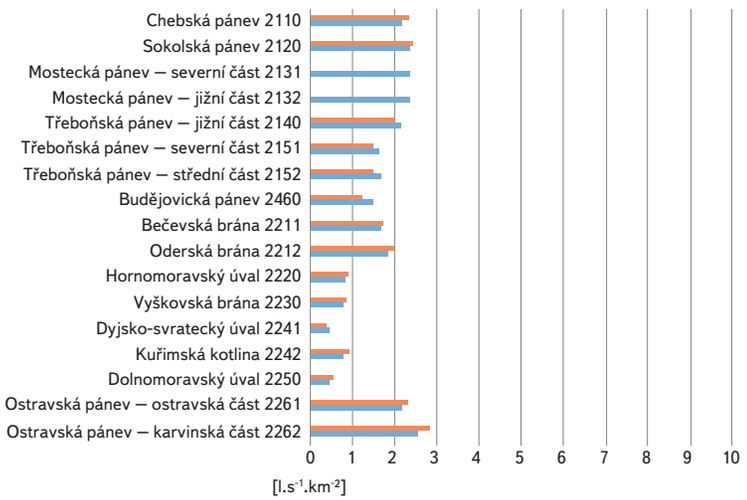
VÝSLEDKY VÝPOČTŮ

Pro výsledné zobrazení byly průměrné roční výšky odtoku z HGR přepočítány na průměrné specifické odtoky podzemní vody z HGR [$l.s^{-1}.km^{-2}$]. Tyto hodnoty jsou zaznamenány na *obr. 3–8*, v členění podle typu hydrogeologických struktur. Pro výpočet založený na odhadu odtoku jako rozdílu srážky a výparu jsou znázorněny v mapce na *obr. 9.* Vzhledem k překryvům na ní nejsou vyneseny plochy kvarterních HGR.



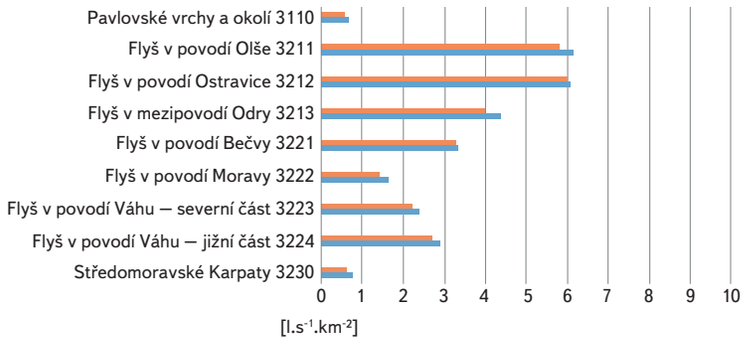
Obr. 3. Specifické odtoky podzemní vody z hydrogeologických rajonů – kvartérní útvary; modře jsou znázorněny odhady podle srážkoodtokového vztahu, červeně na základě odhadu odtoku jako rozdílu srážky a výparu

Fig. 3. Specific groundwater outflows from hydrogeological zones – Quaternary formations; estimates based on the precipitation-runoff relationship are shown in blue, and estimates based on runoff as the difference between precipitation and evaporation are shown in red



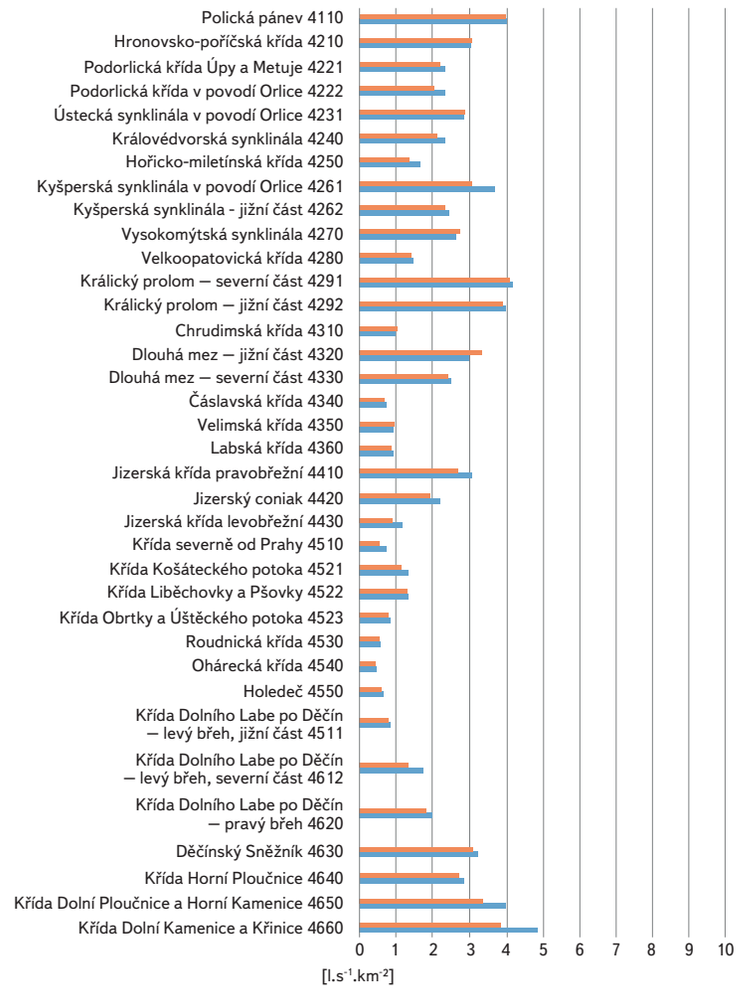
Obr. 4. Specifické odtoky podzemní vody z hydrogeologických rajonů – terciérní a křídové útvary pánví; modře jsou znázorněny odhady podle srážkoodtokového vztahu, červeně na základě odhadu odtoku jako rozdílu srážky a výparu

Fig. 4. Specific groundwater outflows from hydrogeological zones – Tertiary and Cretaceous basin formations; estimates based on the precipitation-runoff relationship are shown in blue, and estimates based on runoff as the difference between precipitation and evaporation are shown in red



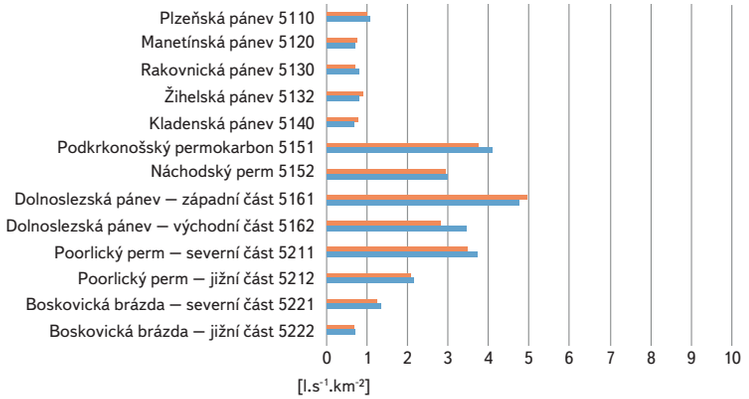
Obr. 5. Specifické odtoky podzemní vody z hydrogeologických rajonů – flyšové sedimenty; modře jsou znázorněny odhady podle srážkoodtokového vztahu, červeně na základě odhadu odtoku jako rozdílu srážky a výparu

Fig. 5. Specific groundwater outflows from hydrogeological zones – Flysch sediments; estimates based on the precipitation-runoff relationship are shown in blue, estimates based on the runoff as the difference between precipitation and evaporation are shown in red

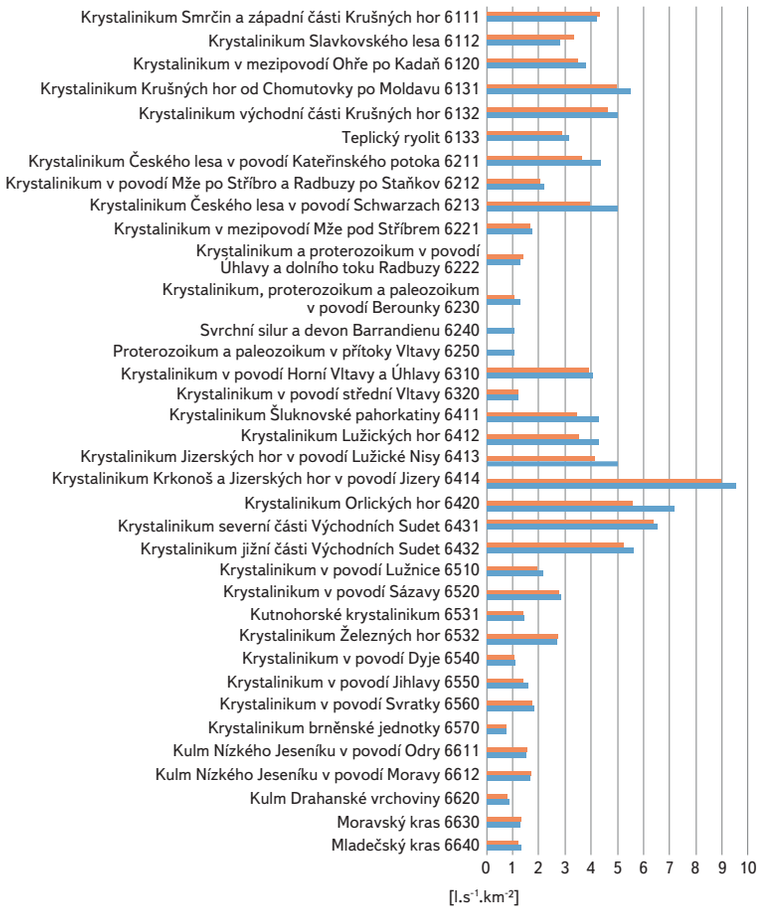


Obr. 6. Specifické odtoky podzemní vody z hydrogeologických rajonů – svrchnokřídové sedimenty; modře jsou znázorněny odhady podle srážkoodtokového vztahu, červeně na základě odhadu odtoku jako rozdílu srážky a výparu

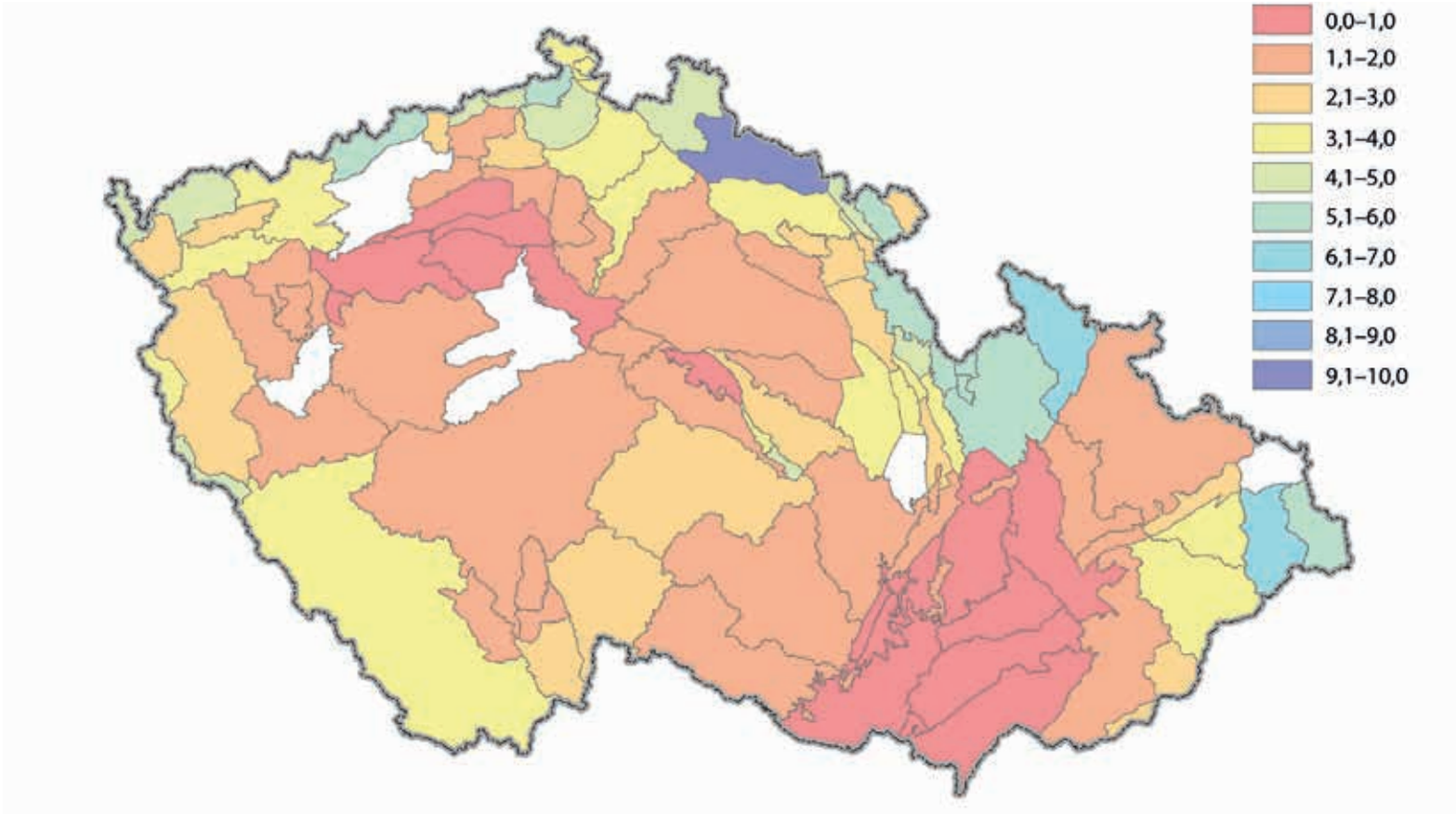
Fig. 6. Specific groundwater outflows from hydrogeological zones – Upper Cretaceous sediments; estimates based on the precipitation-runoff relationship are shown in blue, and estimates based on runoff as the difference between precipitation and evaporation are shown in red



Obr. 7. Specifické odtoky podzemní vody z hydrogeologických rajonů – permokarbon limnických pánví a brázd; modře jsou znázorněny odhady podle srážkoodtokového vztahu, červeně na základě odhadu odtoku jako rozdílu srážky a výparu
Fig. 7. Specific groundwater outflows from hydrogeological zones – Permocarbon limnic basins and furrows; estimates based on the precipitation-runoff relationship are shown in blue, and estimates based on runoff as the difference between precipitation and evaporation are shown in red



Obr. 8. Specifické odtoky podzemní vody z hydrogeologických rajonů v prostředí hydrogeologického masivu; modře jsou znázorněny odhady podle srážkoodtokového vztahu, červeně na základě odhadu odtoku jako rozdílu srážky a výparu
Fig. 8. Specific groundwater outflows from hydrogeological zones in a hydrogeological massif; estimates based on the precipitation-runoff relationship are shown in blue, and estimates based on runoff as the difference between precipitation and evaporation are shown in red



Obr. 9. Odhady specifického základního odtoku podzemní vody stanoveného na základě odhadu odtoku (rozdíl srážek a výparu) v $l.s^{-1}.km^{-2}$; pro nevybarvené HGR nejsou k dispozici potřebná data

Fig. 9. Estimates of specific base flow of groundwater determined from runoff estimates (difference between precipitation and evaporation) in $l.s^{-1}.km^{-2}$; no results for uncolored zones from previous overall assessment

Tab. 1. Porovnání vypočítaných charakteristik za celý soubor zpracovaných HGR

Tab. 1. Comparison of calculated characteristics for the whole set of processed zones

	R = f(P)	R = P - E	Rozdíl	%
Součet odtoků podzemní vody Qz [$m^3 \cdot s^{-1}$]	193	182	-1,1	-5,5
Průměr výšek celkového odtoku R [mm]	181,4	169,8	-11,6	-6,4
Průměr výšek základního odtoku Rz [mm]	76,8	72,2	-4,6	-6,0

POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ PODLE POUŽITÝCH POSTUPŮ ODHADU

V *tab. 1* jsou porovnány charakteristiky vypočítané z celého souboru zpracovaných HGR. Je zřejmé, že postup založený na regresním odhadu výšky odtoku podle výšky srážek poskytuje odhady v průměru o 5 až 6 % větší než postup využívající odhad výparu. Odchylky v jednotlivých HGR jsou v rozmezí 19,8 až 22,8 %. Rozdíl výsledků použitých postupů patrně odpovídá tomu, že parametry použitých vztahů se odhadují v alternativních postupech podle shody odlišných veličin. V postupu založeném na odhadu územního výparu je navíc využita průměrná teplota vzduchu, což také může ovlivňovat výsledné hodnoty.

POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ S ODHADY Z PROJEKTU *„REBILANCE ZÁSOB PODZEMNÍCH VOD"*

V rámci projektu *„Rebilance…"* byly zpracovány odhady přírodních zdrojů podzemní vody ve 152 hydrogeologických rajonech v ČR, které jsou uvedeny ve zprávě [1]. Přírodní zdroje byly stanoveny několika odlišnými postupy s využitím dat z období 1971–2010, případně 2000–2010.

Tab. 2. Celkové rozdíly mezi daty z projektu „Rebilance…" a daty získanými z regresního vztahu R = f(P)
Tab. 2. Overall differences between data from the „Rebalance…" project and data obtained from the regression relationship R = f(P)

	Rebilance	R = f(P)	Rozdíl	%
Součet odtoků podzemní vody Qz [$m^3 . s^{-1}$]	207	193	-1,4	-6,8
Průměr výšek celkového odtoku R [mm]	189,4	181,4	-8,0	-4,2

Tab. 3. Celkové rozdíly mezi daty z projektu „Rebilance…" a daty získanými z bilančního vztahu R = P - E
Tab. 3. Overall differences between data from the „Rebalance…" project and data obtained from the R = P - E balance relationship

	Rebilance	R = P - E	Rozdíl	%
Součet odtoků podzemní vody Qz [$m^3 . s^{-1}$]	207	182	-2,5	-11,9
Průměr výšek celkového odtoku R [mm]	189,4	169,8	-19,6	-10,3

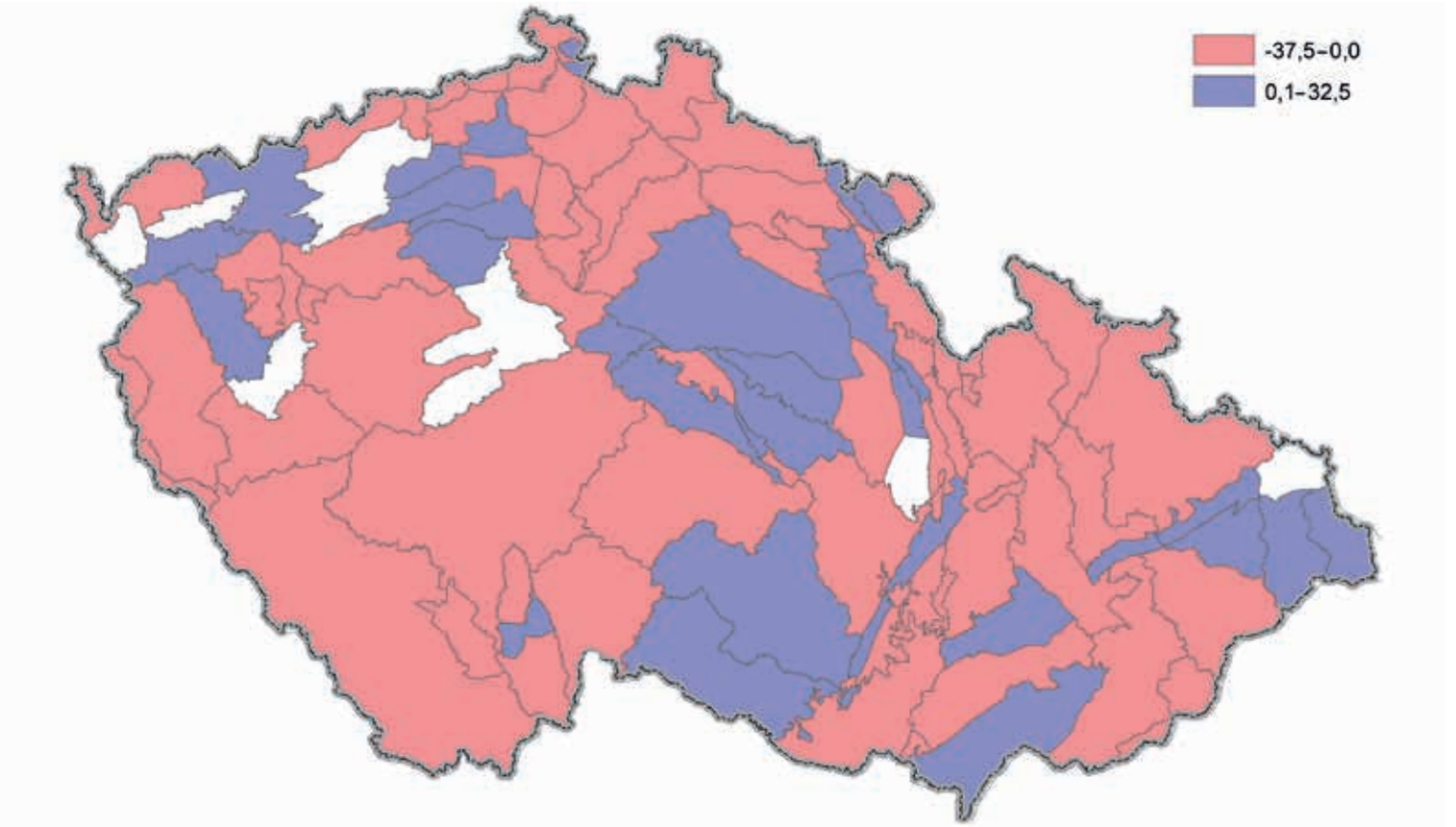
Tab. 4. Rozdíly dlouhodobých průměrů srážek a teplot mezi dvěma hodnocenými obdobími 1971–2010 a 1981–2019
Tab. 4. Differences in long-term averages of precipitation and temperature between the two assessed periods 1971–2010 and 1981–2019

	1971—2010	1981—2019	Rozdíl	%
Průměrná srážka na ploše HGR [$mm . rok^{-1}$]	685,6	674,5	-11,0	-1,6
Průměrná teplota na ploše HGR [°C]	8,0	8,4	0,4	

Při porovnání souhrnných výsledků provedených výpočtů s odpovídajícími hodnotami z předcházejícího zpracování v *tab. 2–4* vyplývá, že ačkoli byly v nově použitém období 1981–2019 atmosférické srážky na území HGR menší průměrně jen o 1,6 %, odtok podzemní vody poklesl podle výpočtů srážkoodtokových vztahů průměrně o 6,8 %, podle vztahů založených na odhadu územního výparu o 11,9 %. Poklesy průměrné výšky celkového odtoku R o 8–19,6 mm se přijatelně shodují s výsledkem z článku [7], v němž je uvedena relace mezi oteplením o 1 °C a zmenšením výšky odtoku v rozmezí 15–45 mm. Tomu pro oteplení 0,4 °C odpovídá rozmezí 6–18 mm. Oteplení o 0,4 °C nastalo v povodí Labe po Děčín a Dyje po Dolní Věstonice, v povodí horní Moravy a v povodí Odry bylo menší.

Mapka na *obr. 10* ukazuje oblasti, v nichž aplikace odhadu přírodních zdrojů podzemní vody postupem založeným na výpočtu průměrného odtoku z povodí podle rozdílu srážky a výparu vede k hodnotám větším, resp. menším než odpovídající údaje z výše uvedeného předcházejícího zpracování.

Obě alternativy výpočtu při porovnání s předcházejícími výsledky z projektu „*Rebilance zásob podzemních vod*" vykazují podle dlouhodobých průměrů pokles průměrného základního odtoku, a tedy i průměrné dotace podzemních vod v období 1981–2019 oproti období 1971–2010 v rozmezí cca 7–12 %, což lze přisoudit při téměř nezměněné průměrné srážce zvýšení průměrné teploty o cca 0,4 °C. V plošném zobrazení převažují oblasti s poklesem. Při využívání výsledků je třeba vzít v úvahu, že porovnávané hodnoty nebyly získány shodným metodickým postupem a odhady pro jednotlivé HGR jsou zatíženy i nejistotou stanovení vstupních veličin.



Obr. 10. Rozdíly mezi odhady specifického základního odtoku podzemní vody stanoveného na základě odhadu odtoku jako rozdílu srážky a výparu a výsledků předcházejícího souhrnného zpracování vyjádřené v procentech; pro nevybarvené HGR nejsou z předcházejícího zpracování výsledky
Fig. 10. Differences of the estimate of specific base flow of groundwater determined from the estimate of runoff as the difference of precipitation and evaporation from the results of the previous overall assessment, expressed as a percentage; no results for uncoloured zones from the previous overall assessment

ZÁVĚR

Popsaný postup zpracování odhaduje přírodní zdroje HGR odpovídající dotaci odtokového režimu ze srážek, nezahrnuje dotaci z vodních toků v kvartérních rajonech ani případné přetoky podzemní vody mezi rajony a kolektory. Odhad vychází ze stanovení celkového odtoku z HGR a jeho přepočtu na základní odtok pomoci baseflow indexu BFI. Pro stanovení celkového odtoku byly použity dvě alternativy výpočtu: podle regresního vztahu mezi srážkou a odtokem a podle bilančního rozdílu mezi srážkou a odhadnutým územním výparem. Postup založený na regresním odhadu výšky odtoku podle výšky srážek poskytuje odhady v průměru o 5–6 % větší než postup využívající odhad výparu.

Obě alternativy výpočtu při porovnání s předcházejícími výsledky z projektu *„Rebilance zásob podzemních vod"* vykazují podle dlouhodobých průměrů pokles průměrného základního odtoku, a tedy i průměrné dotace podzemních vod v období 1981–2019 oproti období 1971–2010 v rozmezí cca 7–12 %, což lze přisoudit při téměř nezměněné průměrné srážce zvýšení průměrné teploty o cca 0,4 °C. Změny přírodních zdrojů podzemní vody vykazují regionální rozdíly. Vzhledem k tomu, že výsledky použité pro porovnání nebyly získány stejnými metodami, pohybují se změny pro jednotlivé HGR v rozmezí ± 20 %, a to u 61 %, resp. 72 % případů.

Poděkování

Článek vznikl v rámci projektu „PERUN, aktivity 1.3 – Hodnocení stavu a vývoje přírodních zdrojů podzemních vod". Projekt je financován Technologickou agenturou ČR.

Literatura

[1] KAŠPÁREK, L., DATEL, J. V. a kol. *Metodika a výsledky zpracování podkladů pro hodnocení kvantitativního stavu útvarů podzemních vod. Zpráva z projektu Rebilance zásob podzemních vod.* Praha: VÚV TGM, v. v. i., 2013. 24 s.

[2] KAŠPÁREK, L., VLNAS, R., HANEL, M., PELÁKOVÁ, M. Vztahy mezi základním a celkovým odtokem z povodí v závislosti na hydrogeologickém typu horninového prostředí. *Vodní hospodářství.* 2017, 7, s. 5–11.

[3] Kašpárek, L., Datel, J. V. a kol. *Základní výchozí data pro zjednodušené stanovení velikosti přírodních zdrojů podzemní vody v 55 hydrogeologických rajonech. Zpráva z projektu Rebilance zásob podzemních vod.* Praha: VÚV TGM, v. v. i., 2014. 45 s.

[4] OUDIN, L., HERVIEU, F., MICHEL, C., PERRIN, C., ANDRÉASSIAN, V., ANCTIL, F., LOUMAGNE, C. Which Potential Evapotranspiration Input for a Lumped Rainfall-Runoff Model? Part 2 – Towards a Simple and Efficient Potential Evapotranspiration Model for Rainfall-Runoff Modelling. *Journal of Hydrology.* 2005, 303(1–4), s. 290–306.

[5] BERAN, A., HORÁČEK, S., HANEL, M. Zjednodušení metody výpočtu potenciální evapotranspirace v nové verzi modelu BILAN. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, Mimořádné číslo.* 2011, III., příloha *Vodního hospodářství.* 2011, 11, s. 17–19.

[6] KAŠPÁREK, L., NOVICKÝ, O. *Hodnocení a modelování srážkoodtokových vlastností povodí. Dílčí výzkumná zpráva.* Praha: VÚV TGM, v. v. i., 1999. 47 s.

[7] KAŠPÁREK, L., KOŽÍN, R. Změny srážek a odtoků na povodích v ČR v období intenzivního oteplování. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace.* 2022, 64(2), s. 17–27. ISSN 0322-8916.

Autoři

Ing. Ladislav Kašpárek, CSc.
✉ ladislav.kasparek@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-8394-9136

Ing. Roman Kožín
✉ roman.kozin@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-5773-6567

RNDr. Josef Vojtěch Datel, Ph.D.
✉ josef.datel@vuv.cz
ORCID: 0000-0003-1451-0135

Ing. Martina Peláková
✉ martina.pelakova@vuv.cz
ORCID: 0000-0003-0485-1542

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2022. 07. 003

ESTIMATION OF NATURAL GROUNDWATER RESOURCES IN HYDROGEOLOGICAL ZONES IN THE CZECH REPUBLIC UNDER CHANGING CLIMATIC CONDITIONS 1981—2019

KAŠPÁREK, L.; KOŽÍN, R.; DATEL, J. V.; PELÁKOVÁ, M.

T. G. Masaryk Water Research Institute, Prague

Key words: hydrogeological zone — groundwater source — groundwater outflow

In the Czech Republic, hydrogeological zones were defined as early as 1965 as a part of the regional hydrogeological survey. A hydrogeological region (HGR) is defined as a unit with a similar hydrogeological conditions, defined tectonically and geologically, in whose territory a certain type of aquifer and groundwater circulation prevails. The boundaries of HGRs have been modified over time and their numerical hydrogeological characteristics have been determined by various methods, one of the basic characteristics is the amount of natural groundwater resources. Natural resources are the dynamic component of groundwater and are expressed in $m^3.s^{-1}$. The natural resources are determined by the recharge of water to the aquifer system (precipitation, groundwater overflows from other aquifers, natural infiltration of surface water, etc.). If the HGR is hydrogeologically closed, the long-term average of its recharge from precipitation and the long-term average of baseflow can be used as an estimate of the natural groundwater resource. In the „*Groundwater Rebalance Project*", estimates of the natural groundwater resources in 152 hydrogeological zones in the Czech Republic were processed and are presented in the report [1]. The natural resources were determined by several different methods using data from 1971–2010 and 2000–2010, respectively.

Due to the intensive increase in the average annual air temperatures in the Czech Republic after 1980 and with special consideration of the dry period 2014–2019, we used data from the period 1981–2019 for the current estimation of natural groundwater resources in the hydrogeological zones. The applied method of calculation was based on the determination of the total runoff from the hydrogeological zone and its conversion to baseflow using the baseflow index (BFI), the regional elaboration of which is included in the study [2]. Two calculation alternatives were used to determine the total runoff: by the balance difference between rainfall and the estimated evapotranspiration and by the regression relationship between rainfall and runoff. Both types of relationships were derived from the results of observations of flows at the CHMI water gauging stations and from observations at rainfall and climate stations. For each hydrogeological zone, a relationship derived from data of the basins in which the zone lies and with which it is adjacent was used, taking into account the orographic similarity of the zone and the basin. Long-term averages of precipitation and temperature were calculated for the hydrogeological zones. According to these relationships, long-term average total runoff were determined by interpolation or extrapolation.

The results of the calculations showed that the method based on the regression of runoff on rainfall gives estimates on average 5 to 6 % greater than the method using evaporation estimates. Both calculation alternatives, when compared to the previous results from the „*Groundwater Rebalance Project*", show a decrease in average baseflow, and corresponding decrease in average groundwater recharge, of approximately 7 to 12 % during the 1981–2019 period compared to the 1971–2010 period. The decrease can be attributed to an increase in average air temperature of approximately 0.4 °C between the compared periods, with nearly unchanged average precipitation. The observed changes in natural groundwater resources over the two periods show regional differences due to the hydrogeological characteristics not included. As the results were not obtained by the same methods, their use for intercomparison is limited. The results for the hydrogeological regions show changes in the interval ± 20 % for 61 % and 72 % of the cases, respectively, depending on the method used.

Foto: shutterstock.com

Vliv revitalizace Teplice na odtok z povodí – předběžné výsledky

ADAM BERAN

Klíčová slova: hydrologie povodí – revitalizace – výpar – monitoring

SOUHRN

V rámci řešení projektu pro Ministerstvo životního prostředí zabývajícího se monitoringem vlivu přírodě blízkých opatření na zlepšení hydrologického režimu malých povodí je sledováno povodí Teplice v Bílých Karpatech. Monitoring probíhá od roku 2018, k realizaci opatření došlo v roce 2020. K dispozici jsou data před realizací opatření a za rok 2021, na kterém je již možné pozorovat vliv realizované revitalizace. Na zmíněných datech je vidět rozkolísanost denního odtoku z povodí a jeho celkové snížení, jež je pravděpodobně způsobeno zvýšeným výparem z nově vzniklých vodních ploch a zvýšenou infiltrací vody do podzemní zóny, což však není podloženo monitoringem. Po vyhodnocení pozorovaných dat došlo k viditelné redukci povrchového odtoku z povodí, což může být nicméně způsobeno i nízkými srážkovými úhrny v roce 2021.

ÚVOD

Nešetrné zásahy do vodního režimu významně ovlivňují odtok vody z povodí. Jde zejména o způsob zemědělského hospodaření a odvodňování pozemků, regulaci vodních toků, nevhodně navržená protipovodňová opatření a v neposlední řadě i o způsob využití pozemků (nepropustné povrchy, stavby s odvodem střešních vod atd.). Kromě antropogenních vlivů se v současné době příroda musí vyrovnat s dopady klimatické změny, jež se projevuje zejména růstem teploty vzduchu, jejímž důsledkem je zvýšená evapotranspirace vody, a následně omezení odtoku a dotace do půdních a podzemních vod. Tyto projevy zvyšují riziko výskytu delších suchých období [1, 2].

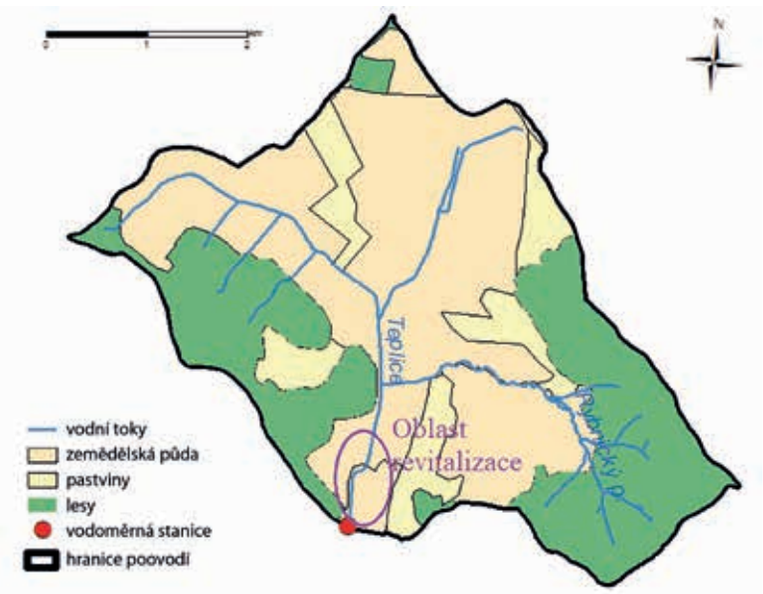
K zamezení negativních důsledků antropogenních vlivů a dopadů klimatické změny na celkový stav vody je potřeba vyšší retence vody v krajině, proto jsou nejrůznější formy zvětšení retence vody v krajině nedílnou součástí adaptačních opatření určených k omezování negativních účinků klimatické změny. Součástí komplexního řešení by měla být i taková opatření týkající se využívání území, která by přímo bránila zrychlenému odtoku vody z krajiny. Jedním z prostředků pro zadržení vody v krajině jsou přírodě blízká opatření, jež dokážou prostřednictvím zvýšení infiltrace vody v nivě vodního toku v lokálním měřítku zpomalit odtok vody z povodí, a tím posílit podzemní zdroje. Dalším přínosem může být zvýšení vlhkosti vzduchu v bezprostředním okolí nově vybudovaných vodních ploch, což má pozitivní efekt na sousedící ekosystém.

V příspěvku jsou shrnuty výsledky hydrologického monitoringu v povodí vodního toku Teplice v Bílých Karpatech. Monitoring probíhá od roku 2018, k realizaci přírodě blízkých opatření zde došlo v roce 2020. Na datech získaných měřením odtoku z povodí jsou dokumentovány změny v chování hydrologického režimu před realizací revitalizace a po její realizaci.

METODY A DATA

Projekt „Sucho – Monitoring přírodě blízkých opatření“

V rámci projektu *„Sucho – Monitoring přírodě blízkých opatření“* pro Ministerstvo životního prostředí byl na území ČR prováděn komplexní monitoring vodních toků a pozemků v jejich povodích za účelem vyhodnocení vlivu revitalizačních opatření, jež mají chránit před dopady sucha. Pro potřeby hodnocení jejich vlivu je nezbytné, aby byly předmětné plochy a lokality komplexně monitorovány ještě před zahájením realizace jednotlivých opatření z důvodu postihnutí počátečního stavu přírodního systému, přičemž monitoring by měl pokračovat několik let po realizaci navržených opatření. Monitoring vodních toků a ploch povodí probíhal v lokalitách, kde byly naplánovány realizace přírodě blízkých opatření v časovém horizontu jednoho až tří let, tedy v letech 2017 až 2019. Šlo o monitorovací techniky zaručující stanovení hydrologických a hydroekologických vlastností vodních toků, včetně kvality vod a půdních vlastností dotčených lokalit [3].



Obr. 1. Povodí Teplice
Fig. 1. Teplice catchment

Povodí Teplice

Zájmové území povodí vodního toku Teplice (*obr. 1*) se rozkládá v CHKO Bílé Karpaty v Jihomoravském kraji, ve východní části okresu Hodonín. Uzávěrový profil s vodoměrnou stanicí se nachází na území Slovenska, 100 m od státních hranic s Českou republikou. Nadmořská výška povodí se pohybuje v rozmezí 340 až 631 m n. m. Teplice pramení jižně od obce Kuželov v blízkosti česko-slovenských státních hranic. Dva významnější, levostranné přítoky v zájmovém povodí jsou Javornický potok a Rybnický potok. Teplice coby Teplica dále protéká územím Slovenska a u obce Senica se vlévá do řeky Myjavy. Ta se pak jižně od Břeclavi na trojmezí Česká republika, Slovenko a Rakousko vlévá do řeky Moravy.

Plocha povodí Teplice k uzávěrovému profilu vodoměrné stanice je 17,57 km^2. Na povodí se nacházejí lesy (6,05 km^2), zemědělská půda (9,39 km^2) a pastviny (2,13 km^2).

Ve sledovaném období 2018–2021 byl průměrný odtok z povodí 16 l/s.

Revitalizace Teplice

Realizace revitalizace probíhala v letech 2019–2020. Projekt byl spolufinancován Evropskou unií – Evropským fondem pro regionální rozvoj v rámci Operačního programu Životní prostředí, a řídicím orgánem Ministerstva životního prostředí.

Část vodního toku Teplice jižně pod obcí Kuželov byla v minulosti upravena a napřímena, aby nedocházelo k zamokřování zemědělské půdy. Odtok vody z povodí tak byl urychlen. Revitalizace koryta vodního toku měla za cíl provést ekostabilizační zásahy, jež přispějí k zadržení vody v krajině a ke zlepšení celkové hydrologické situace řešeného území. Realizací projektu mělo dojít k obnově přírodních procesů a k posílení biodiverzity v CHKO Bílé Karpaty.

Na *obr. 2* je představeno srovnání morfologie vodního toku na ortofotomapách z roku 2018 s ještě přímým korytem Teplice a roku 2021, kde je dokončené rozvolnění koryta Teplice v krajině doplněno o nově zřízené vodní plochy. Fotografie na *obr. 3* pochází z doby realizace, zatímco na *obr. 4* je dokumentován stav po dokončení revitalizačních prací.

Obr. 2. Vlevo je zájmové území před realizací opatření (2018), vpravo po dokončené revitalizaci (2021) (www.mapy.cz)
Fig 2. In the left is the area of interest before the implementatin of the measure (2018), in the right after the completed revitalization (www.mapy.cz)

Hydrologický monitoring a data

K realizaci revitalizace Teplice v zájmové oblasti u Kuželova došlo v roce 2020. Hydrologický monitoring VÚV TGM tedy probíhal před realizací opatření v letech 2018 a 2019, poté během realizace v roce 2020 a pokračuje i po jejím dokončení. Rok 2021 byl prvním rokem vhodným k vyhodnocení vlivu opatření na hydrologický režim.

Odtok z povodí je monitorován kontinuálně vodoměrnou stanicí, vybavenou čidlem s tlakovým senzorem a vestavěným mikroprocesorem kompenzujícím teplotní závislost senzoru i jeho případnou nelinearitu, jež zaznamenává výšky vodní hladiny v měrném profilu. Přepočet výšky hladiny na průtok probíhá na základě měrné křivky průtoků stanovené hydrometrováním. Údaje o srážkách a teplotách vzduchu použité pro sledování hydrometeorologických poměrů v povodí jsou převzaty z databáze Českého hydrometeorologického ústavu, a to z přilehlých klimatických stanic Velká nad Veličkou (B1VELV01_SRA; 289 m n. m.; 6,5 km od uzávěrového profilu) a Strážnice (B1STRZ01_T; 176 m n. m.; 15 km od uzávěrového profilu).

Odhad výparu z vodní hladiny

Odhad výparu z vodní hladiny nových vodních ploch vzniklých při revitalizaci byl založen na nejjednodušším empirickém vztahu, vyžadujícím pouze měřené hodnoty teploty vzduchu [4]. Tento vztah vyjádřený níže uvedeným vzorcem byl odvozen na základě závislosti pozorovaného výparu a teploty vzduchu ve stanici Hlasivo v období 1957–2018. Vzorce s využitím globální sluneční radiace, teploty vody, případně jejich kombinace, dávají přesnější výsledky, nicméně tyto měřené veličiny jsme neměli k dispozici a účelem bylo poskytnout přibližný odhad, pro který nám daný vztah vyhovuje.

$$VVH = 0{,}0824 \times T_{vzd}^{1{,}289}$$

kde VVH je výpar z vodní hladiny
T_{vzd} průměrná teplota vzduchu [°C]

Dále byl použit pro výpočet výparu z vodní hladiny v minulosti často používaný slovenský vzorec, v němž je výpar rovněž závislý na teplotě vzduchu [5]:

$$VVH = 10^{(0{,}0452 * Tvzd - 0{,}204)}$$

Vzorce počítají denní hodnotu výparu v milimetrech, v případě výpočtu přes průměrnou měsíční teplotu je nutné výsledek vynásobit počtem dní v daném měsíci.

VÝSLEDKY A DISKUZE

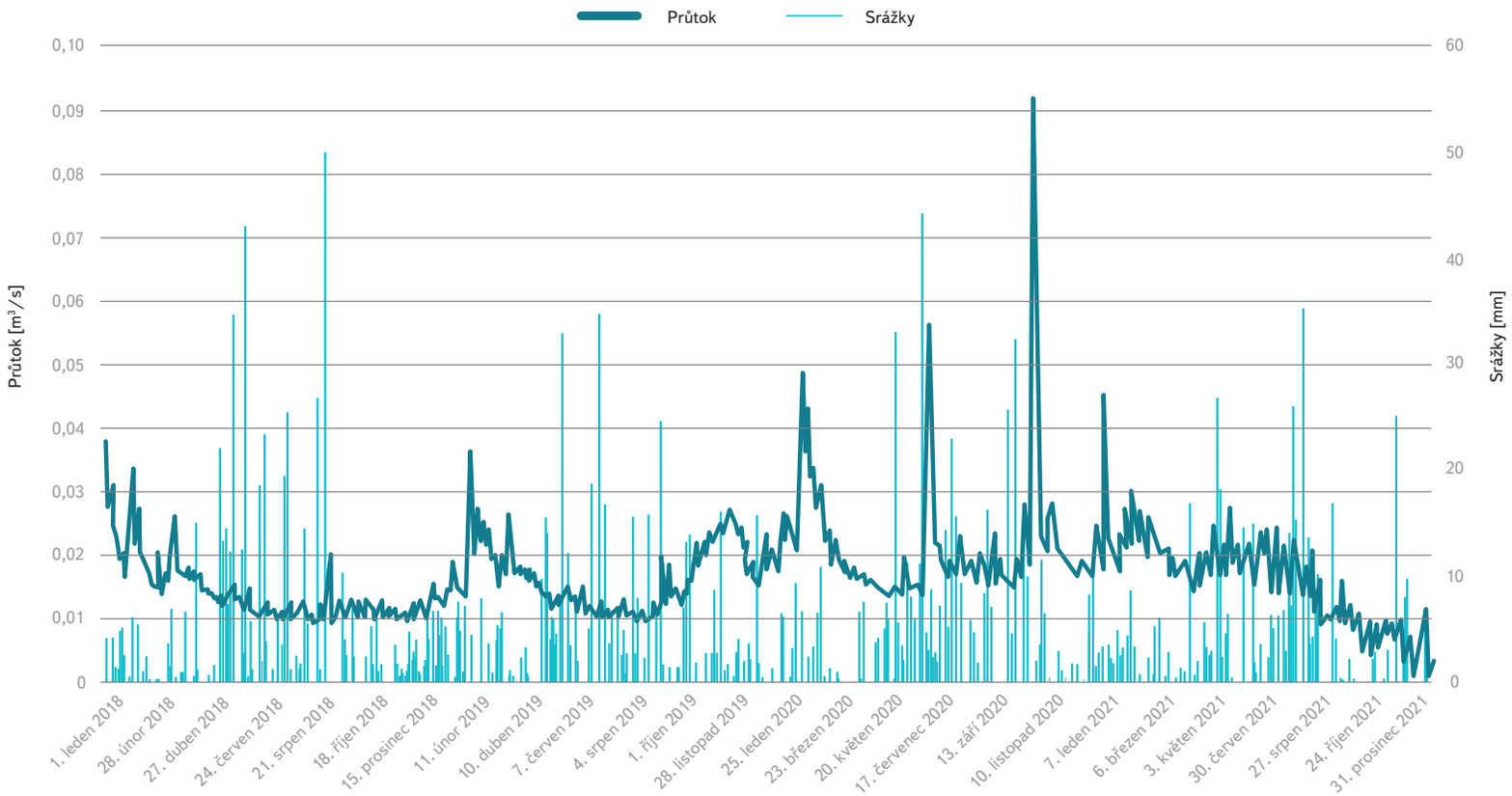
Na *obr. 5* je uveden graf s denním průběhem průtoků a srážkových úhrnů v čase od 1. ledna 2018 do 30. prosince 2021. Hydrologické charakteristiky za sledovanou dobu jsou uvedeny v *tab. 1*. Dlouhodobý průměrný srážkový úhrn v období 1961–1990 činil 750 mm [6]. V letech 2018 a 2019 spadlo v lokalitě podprůměrných 612,8, resp. 661,9 mm. Rok 2020 byl nadprůměrný s 838,8 mm, zatímco v roce 2021 činil srážkový úhrn pouze 547,2 mm. Průměrná teplota vzduchu za referenční období 1961–1990 byla 7,5 °C. Ve sledovaném období to bylo 11,24 °C (2018), 10,98 °C (2019), 10,52 °C (2020) a 9,68 °C (2021), přičemž průměrný průtok v uzávěrovém profilu činil 16,4 l/s a v jednotlivých letech pak 13,4 l/s v roce 2018, 115,4 l/s v roce 2019, 19,3 v roce 2020. Po revitalizaci v roce 2021 pak dosáhl průměrný roční průtok v uzávěrovém profilu hodnoty pouhých 13,9 l/s.

Při detailním pohledu na denní průběh průtoku vody uzávěrovým profilem *(obr. 6 a 7)* je vidět značná rozkolísanost během dne, která se začala objevovat po dokončení revitalizace. Nejvyšší průtoky se vyskytují odpoledne mezi 12. a 18. hodinou a nejmenší nad ránem mezi 2. a 8. hodinou. Tyto vnitrodenní rozdíly činí v maximech 30 až 40 l/s.

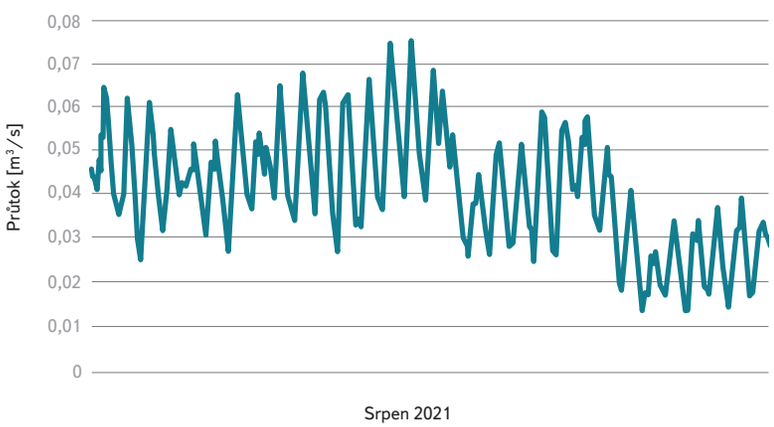
Obr. 3. Realizace opatření, rok 2020
Fig. 3. Implementation of measures, 2020

Obr. 4. Dokončená revitalizace, rok 2021
Fig. 4. Completed revitalization, 2021

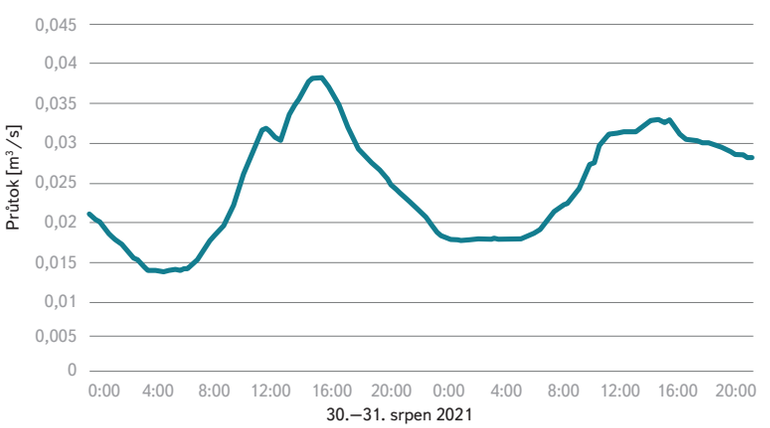
K rozvolnění vodního toku došlo na 1,5 km dlouhém úseku dříve rovného koryta, jehož délka se prodloužila na 2,6 km. Revitalizací vznikly tůně s plochou hladiny přibližně 25 000 m^2. Při průměrné teplotě vzduchu 21 °C v letních měsících se z této plochy vypaří přibližně 140 m^3 vody za den, což při přepočtu odpovídá průtoku 1,6 l/s. Tato ztráta vody je však vlivem transpirace rostlin až dvojnásobně vyšší. Lze tedy říci, že ztráta vody výparem z vodních ploch činí v teplých dnech přibližně 3 l/s. Vzhledem ke zvýšení hladiny podzemní vody v revitalizovaném úseku lze předpokládat, že do výparné plochy je možné započítat celou plochu revitalizovaného úseku – tedy nejen vodní plochy – a prodloužené koryto vodního toku. Na základě pozorování lze jednoznačně potvrdit zvýšení výparu z vodní hladiny v revitalizovaném úseku. Vliv na dotaci podzemních vod sledován nebyl, nelze jej tedy doložit.



Obr. 5. Průtok a srážky v období od 1. ledna 2018 do 31. prosince 2021
Fig. 5. Runoff and precipitation from January 1, 2018 to December 31, 2021



Obr. 6. Rozkolísanost průtoků po realizaci revitalizace (ukázka dat ze srpna 2021)
Fig. 6. Flow fluctuations after imlementation of revitalization (sample data August 2021)



Obr. 7. Denní chod odtoku z povodí (ukázka dat pro 30. a 31. srpen 2021)
Fig. 7. Daily course of runoff (sample data – August 30 and August 31, 2021)

Tab. 1. Hydrologické charakteristiky povodí v měsíčním kroku (suma srážkových úhrnů, průměrná teplota vzduchu, průměrný průtok)
Tab. 1. Hydrological characteristics in daily steps (sum of precipitation, mean air temperature, mean runoff)

		Srážky	Teplota	Průtok	Odtokový součinitel		Srážky	Teplota	Průtok	Odtokový součinitel
Rok	**Měsíc**	**[mm]**	**[°C]**	**[m³/s]**			**[mm]**	**[°C]**	**[m³/s]**	
2018	1	32,4	2,84	0,0220	0,10	**2020**	18,1	0,22	0,0199	0,17
	2	17,9	-1,86	0,0178	0,14		45.8	5,86	0,0314	0,10
	3	20,6	2,61	0,0168	0,12		28.2	5,49	0,0180	0,10
	4	16,8	14,76	0,0148	0,13		15.9	10,02	0,0153	0,14
	5	110	17,44	0,0128	0,02		89	12,74	0,0146	0,03
	6	112,9	19,27	0,0116	0,02		151,8	18,02	0,0192	0,02
	7	60,4	21,04	0,0109	0,03		104,4	19,17	0,0176	0,03
	8	59,8	22,45	0,0102	0,03		54,3	20,17	0,0160	0,05
	9	99,4	16,17	0,0109	0,02		59,2	15,32	0,0163	0,04
	10	29,6	12,30	0,0106	0,05		200,9	10,52	0,0258	0,02
	11	9,5	6,13	0,0107	0,17		21,1	5,14	0,0191	0,13
	12	43,5	1,75	0,0119	0,04		50,1	3,55	0,0187	0,06
	suma/ průměr	**612,8**	**11,24**	**0,0134**	**0,039**	**suma/ průměr**	**838,8**	**10,52**	**0,0193**	**0,041**
2019	1	61,6	-1,02	0,0140	0,03	**2021**	33	0,91	0,0207	0,10
	2	31,6	1,90	0,0213	0,10		23,7	-0,34	0,0209	0,13
	3	28,7	6,55	0,0174	0,09		14	3,63	0,0175	0,19
	4	31,2	10,78	0,0148	0,07		44,3	8,13	0,0166	0,06
	5	134,1	12,10	0,0128	0,01		82,2	13,10	0,0185	0,03
	6	39	22,14	0,0116	0,04		34,2	20,32	0,0189	0,08
	7	73,5	20,10	0,0109	0,02		33,8	21,67	0,0170	0,08
	8	51,6	21,20	0,0102	0,03		147,5	18,34	0,0133	0,01
	9	60,1	15,05	0,0137	0,03		30,3	14,85	0,0099	0,05
	10	45,9	11,39	0,0188	0,06		4,3	9,72	0,0053	0,19
	11	50,4	8,38	0,0220	0,06		59,4	4,78	0,0057	0,01
	12	54,2	3,20	0,0173	0,05		40,5	0,99	0,0029	0,01
	suma/ průměr	**661,9**	**10,98**	**0,0154**	**0,042**	**suma/ průměr**	**547,2**	**9,68**	**0,0139**	**0,046**

ZÁVĚR

Hydrologický monitoring povodí Teplice ukázal rozdíly mezi odtokovými charakteristikami povodí před realizací přírodě blízkých opatření a po jejich realizaci. Měřením průtoku vody ve vodoměrné stanici v prvním roce po revitalizaci se ukázala zejména denní rozkolísanost odtoku z povodí vlivem zvýšeného výparu vody z vybudovaných vodních ploch a rozvolněného koryta. Potvrzení vlivu evapotranspirace na kolísání odtoku vody z povodí v režimu den/noc lze potvrdit také výzkumem Kováře a kol. [7], kteří se zabývali studiem evapotranspirace břehových porostů v suchém období na Starosuchdolském potoce v Praze. Tento jev byl popsán také v [8]. Vliv na zpomalení odtoku z povodí má zřejmě i zvýšená infiltrace vody do podzemní zóny, nicméně monitoring hladiny podzemní vody nebyl součástí řešeného projektu, tento předpoklad tedy nelze potvrdit. Nutné je též zmínit, že v roce 2021 byl podprůměrný srážkový úhrn v povodí 547,2 mm.

V příspěvku byla analyzována data za poměrně krátké časové období, jde tedy o předběžné výsledky. Monitoring lokality bude proto pokračovat i v dalších letech, aby se dosavadní výsledky výzkumu mohly potvrdit na základě dat získaných dlouhodobým sledováním.

Poděkování

Příspěvek vznikl v rámci úkolů řešených pro Ministerstvo životního prostředí.

Literatura

[1] KOŽÍN, R., BAŠTA, P., MORAVEC, V. Modelování efektu přírodě blízkých opatření na hydrologickou bilanci v povodí Trkmanky. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2017, 59(4), s. 21–24. ISSN 0322-8916.

[2] OSIČKOVÁ, K., UHROVÁ, J. Posouzení efektivity navržených opatření v ploše povodí hydrologickým modelem. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2018, 60(3), s. 4–10. ISSN 0322-8916.

[3] BERAN, A., NĚMEJCOVÁ, D., STRAKA, M., KRÁSA, J., DAVID, V. Monitoring na povodí pro vyhodnocení vlivu realizací přírodě blízkých opatření. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2018, 60(5), s. 46–51. ISSN 0322-8916.

[4] BERAN, A., KAŠPÁREK, L., VIZINA, A., ŠUHÁJKOVÁ, P. Ztráta vody výparem z volné vodní hladiny. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2019, 61(4), s. 12–18. ISSN 0322-8916.

[5] VÁŠA, J. *Přímé měření výparu z volné vodní hladiny*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. i. i., 1968. DT 551.573.

[6] TOLASZ, R., BRÁZDIL, R., BULÍŘ, O., DOBROVOLNÝ, P., DUBROVSKÝ, M a. kol. *Atlas podnebí Česka*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2007. ISBN 978-80-86690-26-1.

[7] KOVÁŘ, P., DVOŘÁKOVÁ, Š., PEŠKOVÁ, J., DOLEŽAL, F., SŮVA, M. Aplikace harmonické analýzy pro studium evapotranspirace břehových porostů v suchém období. Případová studie Starosuchdolského potoka. In: *Hydrologie malého povodí*. 1. díl. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2014, s. 230–237. ISBN 978-80-02-02525-2 (Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, v. v. i.), ISBN 978-80-87577-32-5 (Český hydrometeorologický ústav).

[8] LOHEIDE, S. P., BUTLER, J. R. J., GORELICK, S. M. Estimation of Groundwater Consumption by Phreatophytes Using Diurnal Water Table Fluctuations: A Saturated-Unsaturated Flow Assessment. *Water Resources Research*. 2005, 41(7), W07030, 14 s. Dostupné z: doi: 10.1029/2005WR003942

Autor

Ing. Adam Beran, Ph.D.
✉ adam.beran@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-8800-5599

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2022. 07. 001

IMPACT OF TEPLICE REVITALIZATION ON RIVER BASIN RUNOFF

BERAN, A.

T. G. Masaryk Water Research Institute, Prague

Keywords: catchment hydrology — revitalization — evaporation — monitoring

As part of the project for the Ministry of the Environment of the Czech Republic dealing with the monitoring of the impact of nature-friendly measures on improving the hydrological regime of small river basins, the Teplice river basin in the White Carpathians has been observed. Monitoring has been taking place since 2018, the measures were implemented in 2020. Data are available for the time period before the measures were implemented and for the year 2021, on which it is possible to observe the impact of the implemented revitalization. The data show the fluctuation of the daily runoff from the river basin and its overall reduction, which is probably caused by increased evaporation from the newly formed water bodies and increased water infiltration into the underground zone. After evaluating the observed data, there was a visible reduction in the surface runoff from the basin, which may nevertheless also be caused by the low rainfall totals in 2021.

Foto: 123RF.com

Bilance zdrojů podzemní vody a potřeb pro pitné účely v podmínkách klimatické změny

HANA PRCHALOVÁ, PETR VYSKOČ, ADAM VIZINA, HANA NOVÁKOVÁ

Klíčová slova: klimatická změna — vodní zdroje — podzemní voda — zásobování pitnou vodou — vodní bilance

SOUHRN

Článek představuje výsledky vyhodnocení možného dopadu klimatické změny na možnosti odběrů podzemní vody pro pitné účely k časové úrovni 2041–2060. Součástí výsledků je zpracování bilance množství podzemních vod současného stavu na menší plošné jednotky, než se dosud zpracovávaly. Metodické řešení vychází z postupů vodohospodářské bilance a hodnocení kvantitativního stavu útvarů podzemních vod. Nejprve byla vyhodnocena bilance množství podzemních vod současného stavu na úrovni pracovních jednotek vodních útvarů, posléze výhledová bilance s možným dopadem klimatické změny. Porovnat bylo možné výsledky současného stavu – zatímco pro hodnocení kvantitativního stavu podzemních vod vycházelo jako nevyhovující 12,5 % plochy, při hodnocení pracovních jednotek vychází jako rizikové 7,3 % plochy. Toto snížení je dáno větší podrobností hodnocení. Klimatickou změnou pravděpodobně dojde ke zhoršení na 16,1 %, tedy o 8,8 procentních bodů proti současnému stavu. Nicméně je nutno mít na paměti, že řešení je zatíženo značnou nejistotou, která je dána hlavně způsobem výpočtu přírodních zdrojů podzemních vod v současnosti, heterogenitou přírodních zdrojů v hydrogeologických rajonech, aproximací přírodních zdrojů do budoucnosti a vysokým podílem pracovních jednotek s malými odběry, které byly kvůli malé věrohodnosti vyřazeny z hodnocení.

ÚVOD

Dopady klimatické změny na zásobování obyvatelstva pitnou vodou se již delší dobu modelují pro vodárenské nádrže. Podíl podzemní vody v rámci zásobování dlouhodobě kolísá mezi 44–48 % objemu [1], proto je nutné se podzemní vodou podrobněji zabývat. Již v současné době se vlivem sucha lokálně objevují problémy s odběry podzemní vody pro domácnosti. S rostoucími dopady klimatické změny se však frekvence výskytu i časový a plošný rozsah extrémních hydrologických jevů může měnit. Výsledky modelování dopadů klimatické změny pro ČR předpovídají četnější výskyt přívalových povodní a dlouhotrvajícího sucha. Tato skutečnost se v posledních letech potvrzuje na mnoha povodích. Nepříznivá situace může vést i k ohrožení spolehlivosti zásobování obyvatel pitnou vodou.

Prezentovaná bilance zdrojů podzemní vody a potřeb pro pitné účely byla zpracována v rámci řešení projektu VI20192022159 *„Vodohospodářské a vodárenské soustavy a preventivní opatření ke snížení rizik při zásobování pitnou vodou"* programu BV III/1-VS Ministerstva vnitra. Řešitelem projektu je Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i. (dále VÚV TGM). Řešení projektu bylo zahájeno v červenci 2019, dokončení je plánováno na prosinec 2022. Projekt je zaměřen na vyhodnocení rizik zásobování pitnou vodou v důsledku klimatické změny a vytvoření technických nástrojů pro posouzení možných opatření ke zmírnění případných nepříznivých dopadů.

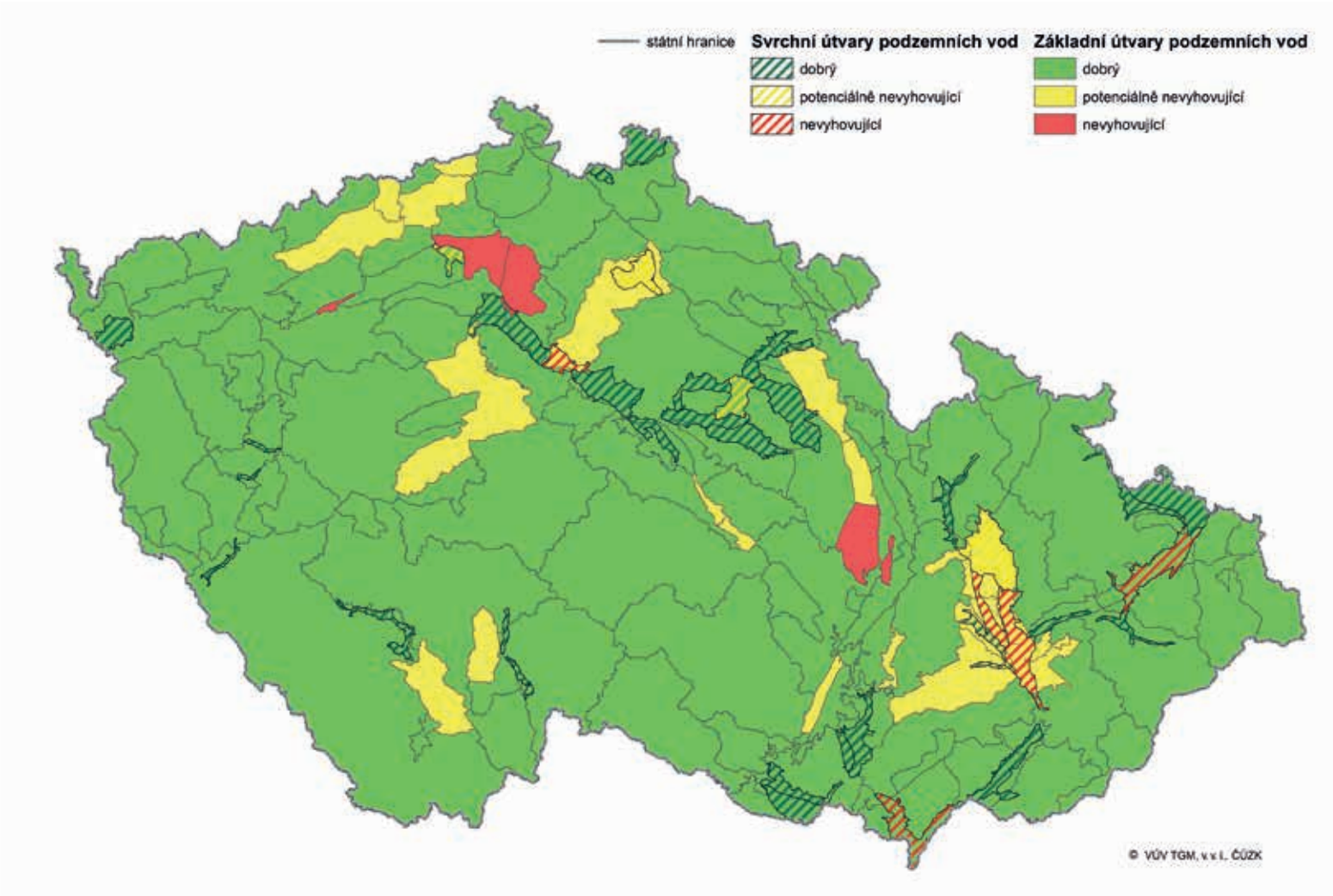
METODIKA A POUŽITÁ DATA

Vodohospodářská bilance množství podzemních vod se zpracovává každoročně pro cca 99 hydrogeologických rajonů z celkových 152, což je necelých 81 % plochy ČR [2]. Obdobným postupem, ale na základě dalších dat o přírodních zdrojích, se každých šest let zpracovává kvantitativní stav útvarů podzemních vod [3]. Hydrogeologické rajony a útvary podzemních vod jsou však často značně velké – některé mají plochu až 5 800 km^2. Ve výsledku pak v některých útvarech vychází kvantitativní stav jako nevyhovující či potenciálně nevyhovující, neboť se hodnotí celá plocha, přitom část útvaru je nevyhovující, což se ale ve výsledku nepromítne. Obdobně se může stát, že útvar je vyhodnocen jako nevyhovující, ačkoli ve skutečnosti se problémy vyskytují jen v jeho části. Na *obr. 1* je vidět výsledek vyhodnocení kvantitativního stavu útvarů na základě dat o přírodních zdrojích a odběrech za období 2013–2018. I když je zde částečně zahrnuto suché období, reprezentuje kvantitativní stav současnost. Nevyhovujících a potenciálně nevyhovujících útvarů podzemních vod je 34 ze 174 a tvoří 12,5 % celkové plochy.

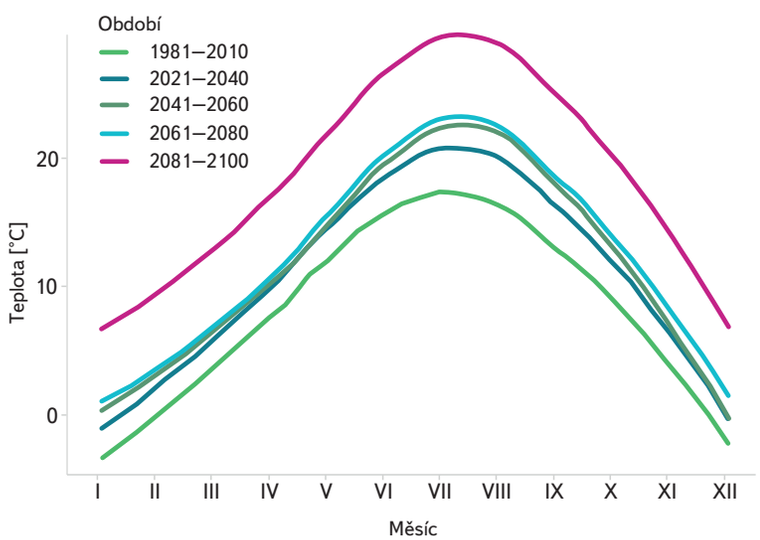
Scénáře změny klimatu ve vodním hospodářství

Pro tvorbu scénářů změny klimatu v kontextu odhadu změn hydrologické bilance se v ČR standardně využívá tzv. přírůstková metoda, zejména pro studie v měsíčním kroku. Tato metoda spočívá v transformaci sledovaných dat tak, aby změny transformovaných veličin odpovídaly změnám odvozeným ze simulací klimatických modelů. Pro vyhodnocení byly v ČR testovány různé regionální (RCM) a globální klimatické modely. Pro hodnocení byl nakonec vybrán a ve studiích [4] doporučen model HadGEM2-ES. K modelování hydrologické bilance je využíván model BILAN, který je vyvíjen více než 20 let v oddělení hydrologie VÚV TGM [5]. Model počítá v denním či měsíčním časovém kroku chronologickou hydrologickou bilanci povodí či území. Vyjadřuje základní bilanční vztahy na povrchu povodí, v zóně aerace, do níž je zahrnut i vegetační kryt povodí, a v zóně podzemní vody. Jako ukazatel bilance energie, která hydrologickou bilanci významně ovlivňuje, je použita teplota vzduchu. Výpočtem se modelují potenciální evapotranspirace, územní výpar, infiltrace do zóny aerace, průsak touto zónou, zásoba vody ve sněhu, zásoba vody v půdě a zásoba podzemní vody. Odtok je modelován jako součet tří složek: dvě složky přímého odtoku (zahrnující i hypodermický odtok) a základní odtok [5–7]. Postup modelování dopadu změny klimatu na hydrologický režim je uveden například v článku [8].

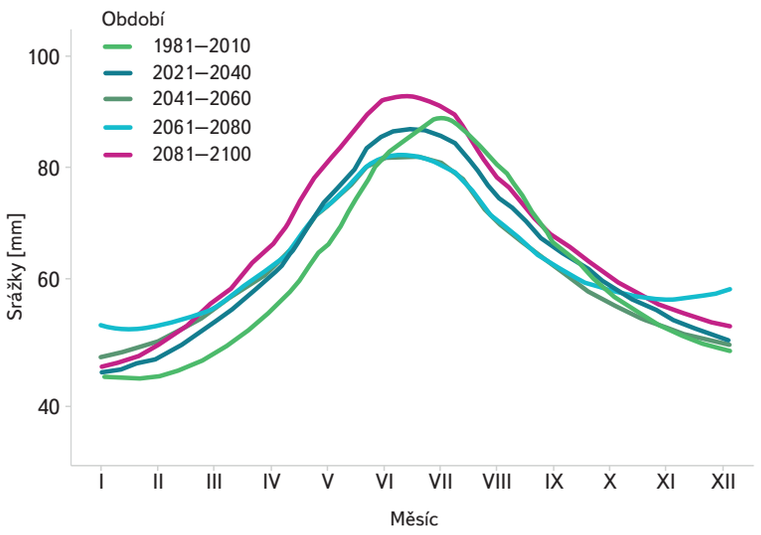
Na *obr. 2* jsou uvedeny pozorované teploty vzduchu pro území ČR a jednotlivé řešené časové horizonty: referenční období (1981–2010) a výhledová období 2021–2040, 2041–2060, 2061–2080 a 2081–2100. Analogicky jsou na *obr. 3* zobrazeny srážkové úhrny a měsíční průměry pro jednotlivá období.



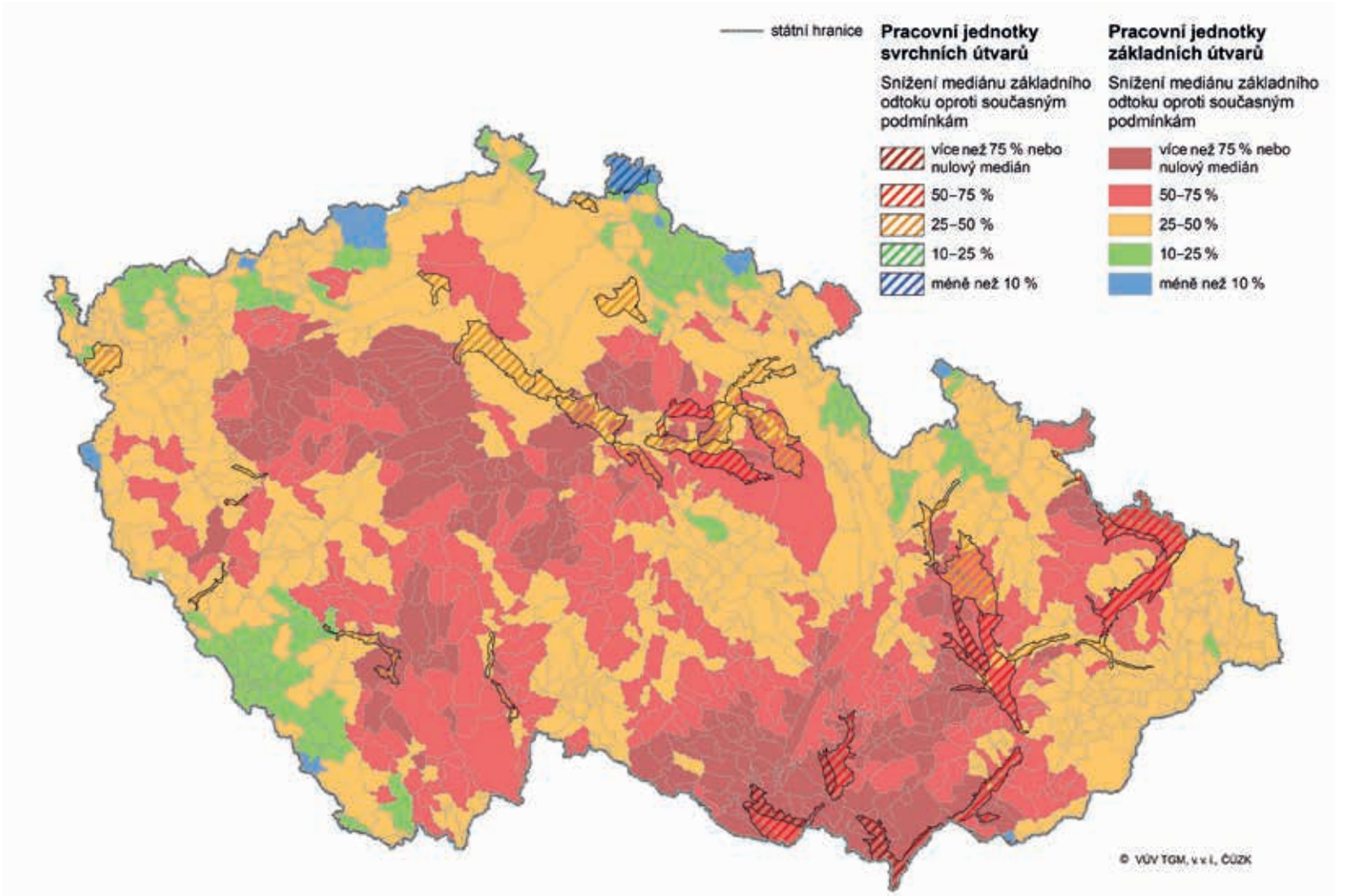
Obr. 1. Vyhodnocení kvantitativního stavu útvarů podzemních vod pro 3. cyklus plánů povodí
Fig. 1. Quantitative status of groundwater bodies for the 3rd cycle of River Basin Management Plan



Obr. 2. Teploty vzduchu pro jednotlivé řešené časové horizonty
Fig. 2. Air temperatures for the individual time horizons considered



Obr. 3. Srážkové úhrny pro jednotlivé řešené časové horizonty
Fig. 3. Precipitation for the individual time horizons considered



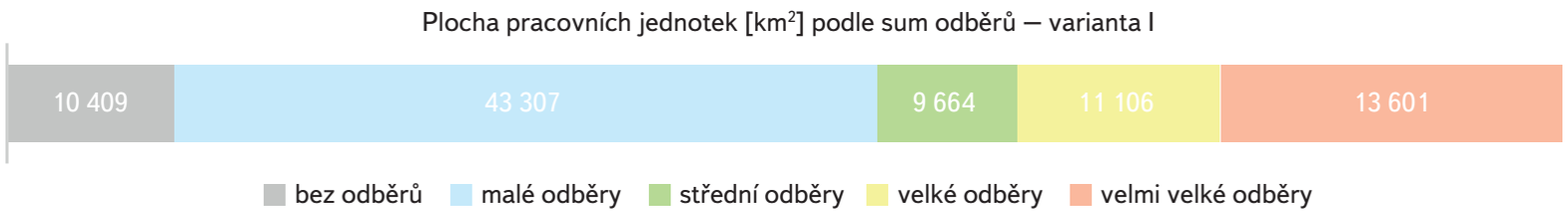
Obr. 4. Snížení mediánu základního odtoku v pracovních jednotkách útvarů podzemní vody pro model HadGEM2-ES a časovou úroveň 2041–2060
Fig. 4. Diminution of base-flow median in working areas of groundwater bodies. Model HadGEM2-ES and time period 2041–2060

V tomto kontextu byla pro hodnocení možného dopadu klimatické změny na doplňování zásob podzemních vod využita datová sada popisující dopad klimatické změny na hydrologické charakteristiky v agregaci na útvary povrchových vod zpracovaná v rámci projektů *„Sucho I"* (2017–2018) a *„Sucho II"* (2019–2021) financovaných Ministerstvem životního prostředí (dílčí výstupy jsou dostupné na webových stránkách *www.suchovkrajine.cz* a *hamr.chmi.cz*). Změny hydrologických charakteristik v důsledku dopadu klimatické změny se vztahují k současným podmínkám reprezentovaným obdobím let 1981–2020. Pro hodnocení potenciálního dopadu klimatické změny na doplňování zásob podzemních vod a výhledovou bilanci zdrojů a potřeb (odběrů) podzemní vody byly konkrétně využity údaje o změně hodnot mediánu základního odtoku pro časovou úroveň 2041–2060.

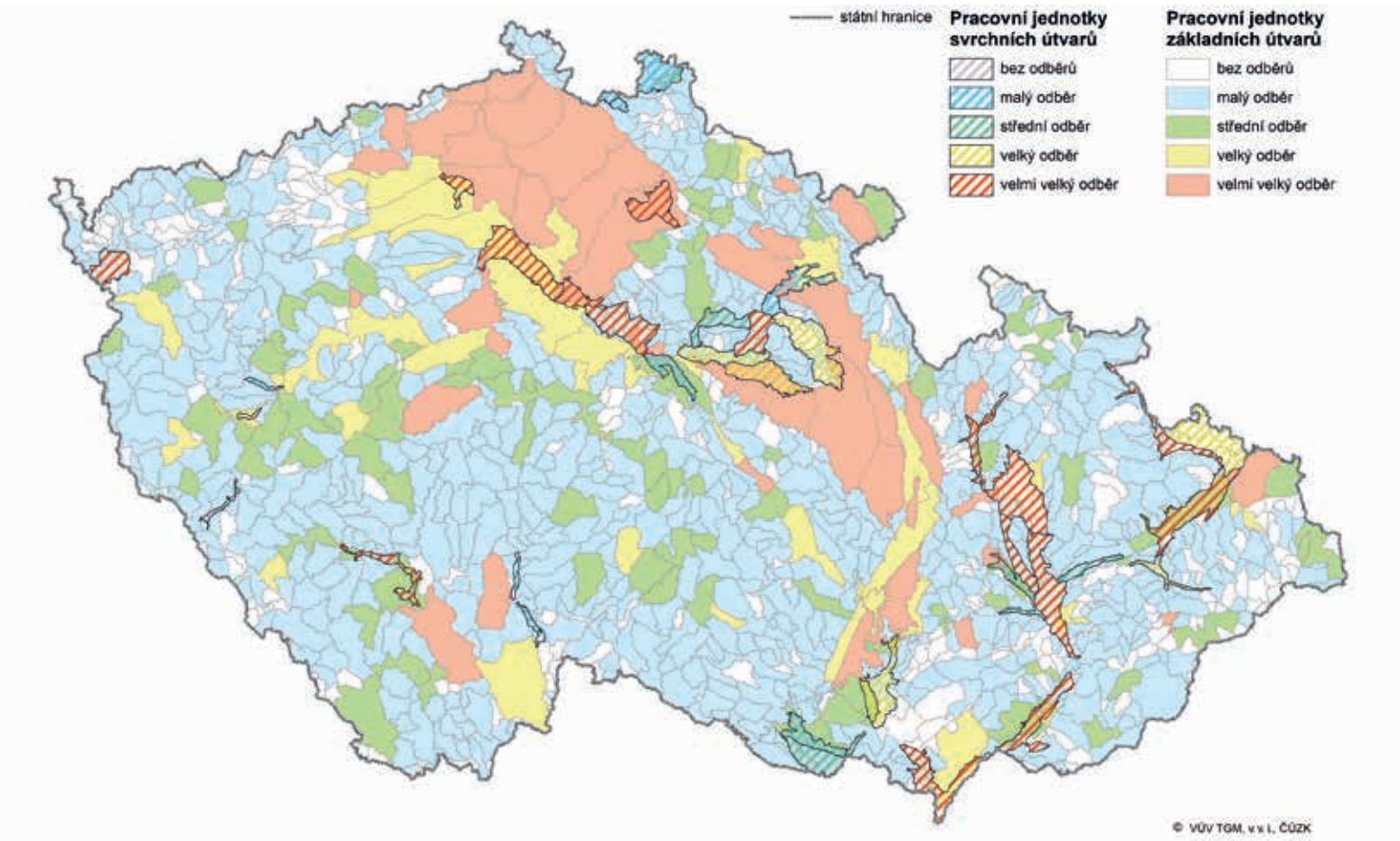
Vzhledem k tomu, že datová sada byla zpracována na poměrně podrobné plochy mezipovodí útvarů povrchových vod (těch je v ČR 1 118), byla data převedena nikoli na 174 útvarů podzemních vod, ale na 1 220 pracovních jednotek útvarů podzemní vody pomocí geografické analýzy [9]. Na *obr. 4* je vidět výsledek změny mediánu základního odtoku vyjadřujícího přírodní zdroje podzemních vod v období 2041–2060 vůči současné situaci. I když je výsledek velmi negativní – na většině ploch došlo ke snížení o nejméně 25 % –, sám o sobě neříká, jak může toto snížení základního odtoku ovlivnit požadavky na zdroje podzemních vod pro pitné účely, neboť neuvažuje jejich velikost.

Bilance množství podzemních vod současného stavu na pracovní jednotky podzemních vod

Při bilanci množství podzemních vod se porovnává suma odběrů vůči hodnotám přírodních zdrojů podzemních vod v plošné jednotce. Při vodohospodářské bilanci je touto jednotkou hydrogeologický rajon a na hydrogeologické jednotky stanovuje Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) přírodní zdroje. I ostatní údaje o přírodních zdrojích – Hydrogeologická rajonizace [10] a Rebilance zásob podzemních vod [11] byly vždy zjišťovány na hydrogeologické rajony, přičemž podrobnější data nejsou k dispozici. Naproti tomu odběry podzemních vod lze rozlišit na téměř jakékoli plošné jednotky. Prvním krokem řešení tohoto projektu tedy bylo rozdělení dat o současných odběrech a přírodních zdrojích podzemních vod (obojí z období let 2013–2018) na pracovní jednotky. Podle velikosti sum odběrů pak byly pracovní jednotky rozděleny na jednotky bez odběrů, s malými, středními, velkými a velmi velkými odběry. Při tomto dělení byly použity dvě varianty rozlišení velikosti odběrů – ve variantě I rozhodovala průměrná roční absolutní velikost odběrů (hraničními byly hodnoty 10, 20 a 50 $l.s^{-1}$), ve variantě II specifická velikost odběrů – tedy přepočet odběrů na jednotku plochy (hraničními byly hodnoty 0,05, 0,5 a 1 $l.s^{-1}.km^{-2}$).



Obr. 5. Plocha pracovních jednotek [km²] podle sum odběrů – varianta I
Fig. 5. Area of working units [km²] by sum of abstractions – version I



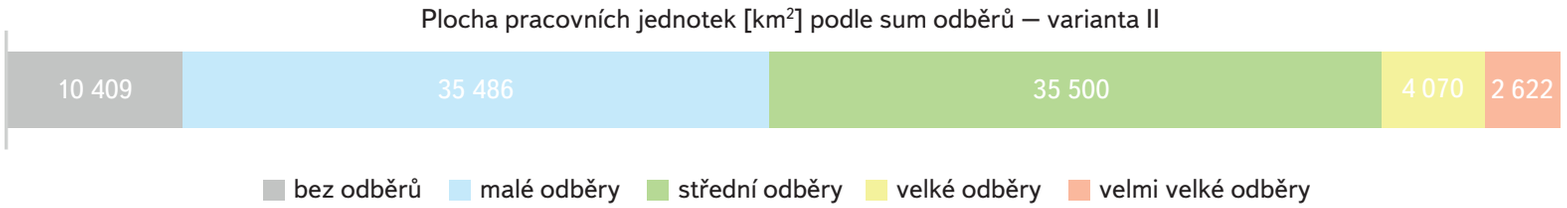
Obr. 6. Pracovní jednotky podle sum odběrů – varianta I
Fig. 6. Working units by sum of abstractions – version I

Výsledky jsou uvedeny na *obr. 5* a *6* (varianta I) a na *obr. 7* a *8* (varianta II). Z mapek je zřejmé, že varianta II lépe zohledňuje velikost pracovních jednotek (většina velkých a velmi velkých odběrů z varianty I se dostala do kategorie středních odběrů), na druhou stranu pro zásobování obyvatel je podstatnější absolutní velikost odběrů (tedy varianta I).

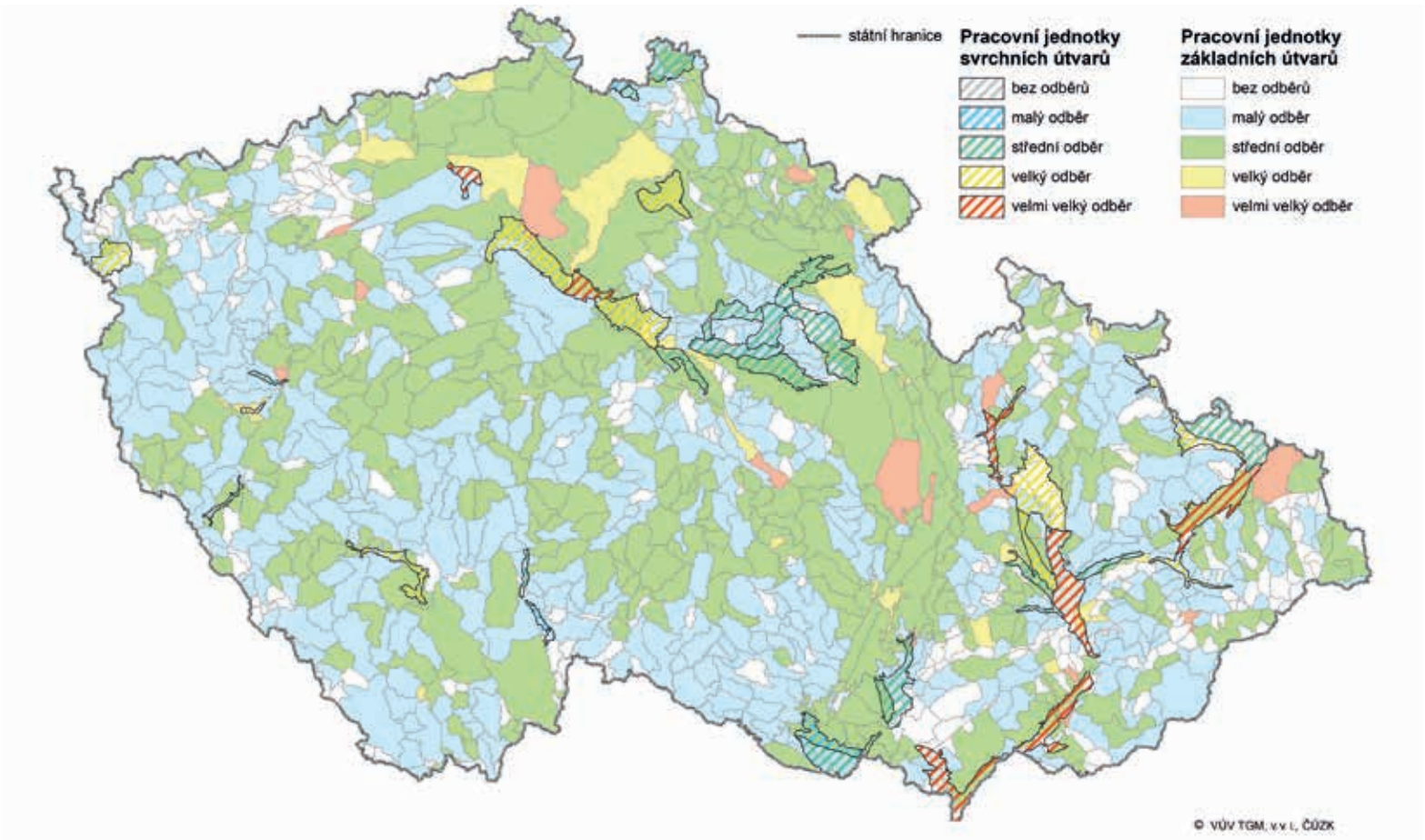
I když je většina odběrů podzemních vod využívána pro zásobování obyvatel, neplatí to pro všechny odběry. Z toho důvodu byla zpracována ještě mapka pracovních jednotek podle velikosti odběrů pro pitné účely (předchozí mapky zahrnují všechny odběry bez rozdílu užití) – viz *obr. 10*. Vzhledem k tomu, že jde jen o doplňkovou mapku, je zde uvedena pouze ve variantě I, tedy podle absolutní velikosti odběrů. Totéž platí pro graf s velikostí ploch (*obr. 9*).

Porovnáme-li grafy na *obr. 5* a *9*, je patrné, že při zohlednění odběrů pouze pro pitné účely o něco přibyly plochy pracovních jednotek bez odběrů a s malými odběry a obdobně mírně ubylo pracovních jednotek se středními, velkými a velmi velkými odběry. Nicméně výsledky se významně neliší. Proto další řešení už nadále pracovalo se všemi odběry. Pro přírodní zdroje byly použity stejné podklady jako při hodnocení kvantitativního stavu podzemních vod (tj. data ČHMÚ, data z Hydrogeologické rajonizace a z Rebilance zásob podzemních vod). Tato data pak byla rozpočítána ve stejném poměru, v jakém byly namodelovány hodnoty základního odtoku.

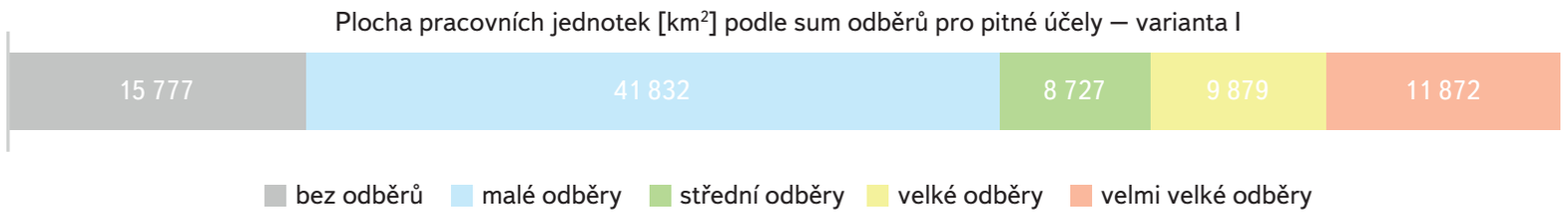
Vlastní porovnání odběrů a přírodních zdrojů v pracovních jednotkách bylo provedeno stejně jako hodnocení kvantitativního stavu útvarů podzemních vod, nicméně pracovní jednotky s malými odběry nebyly hodnoceny, neboť při takto nízkých odběrech je vlastní porovnávání velmi nepřesné. Stejně tak nebyly hodnoceny pracovní jednotky, kde vycházely přírodní zdroje současného stavu jako nulové (a zároveň byla velikost odběrů přinejmenším střední) – to však byl případ pouze dvou pracovních jednotek pro variantu I a pěti pro variantu II.



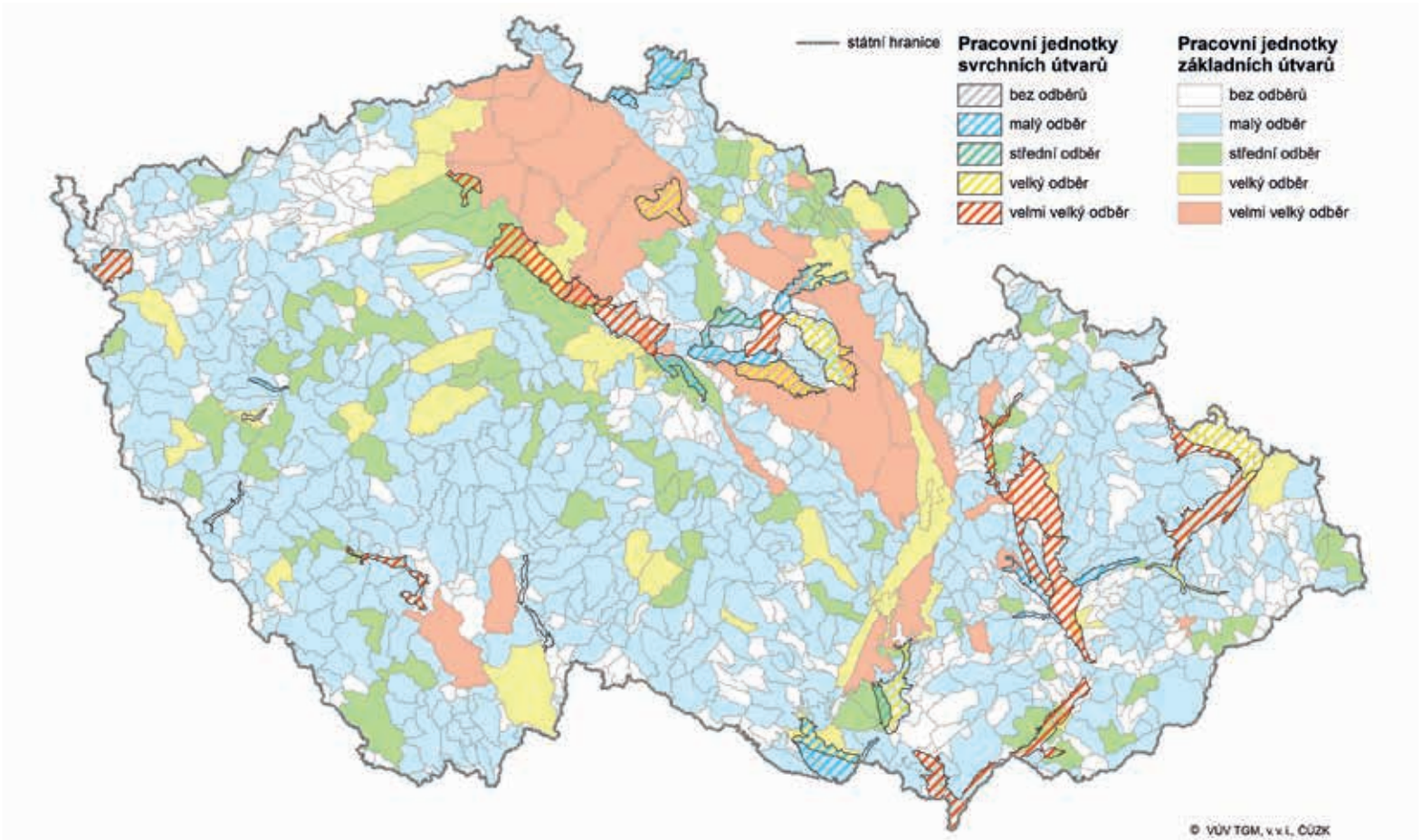
Obr. 7. Plocha pracovních jednotek [km²] podle sum odběrů – varianta II
Fig. 7. Area of working units [km²] by sum of abstractions – version II



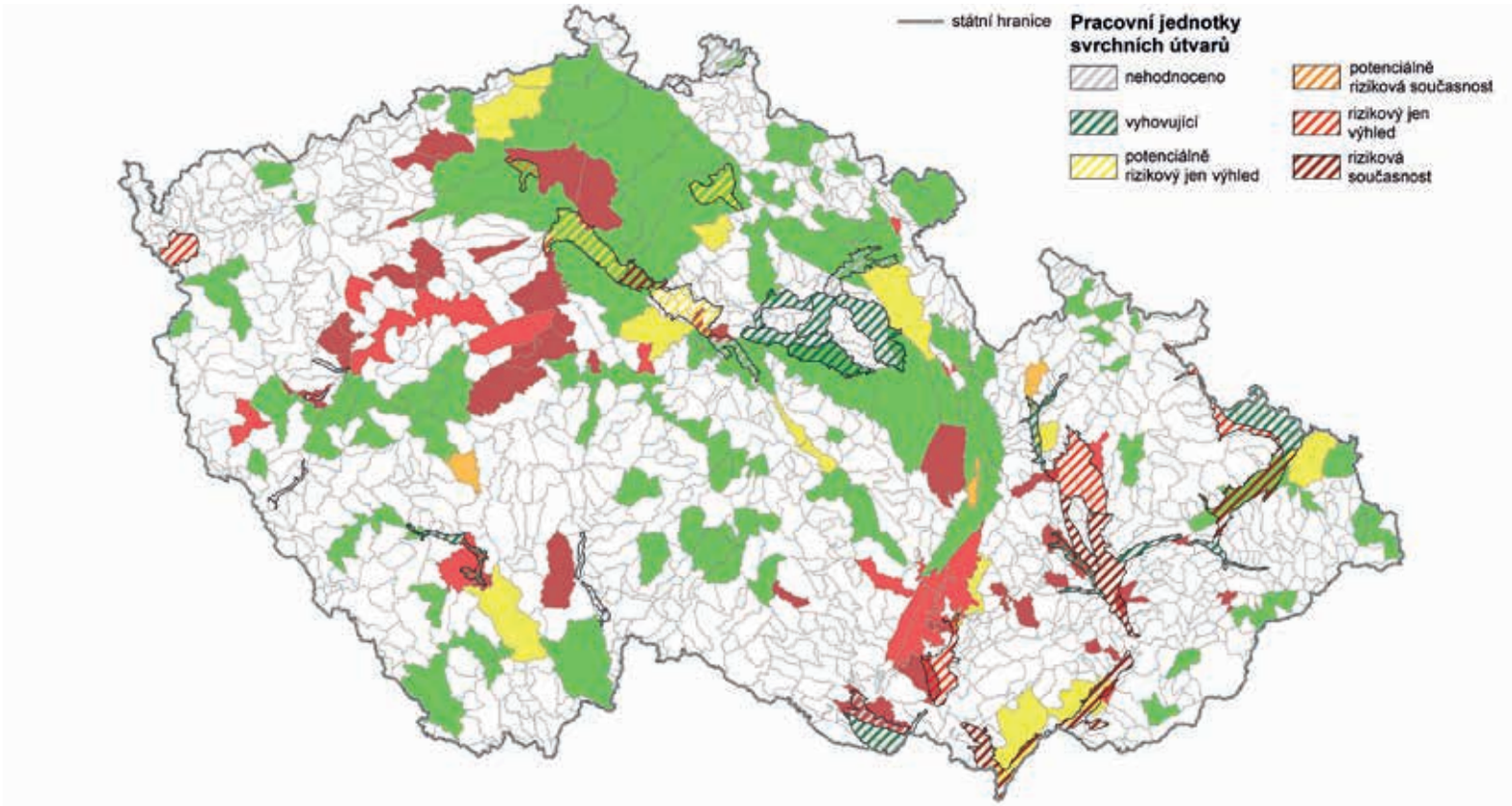
Obr. 8. Pracovní jednotky podle sum odběrů – varianta II
Fig. 8. Working units by sum of abstractions – version II



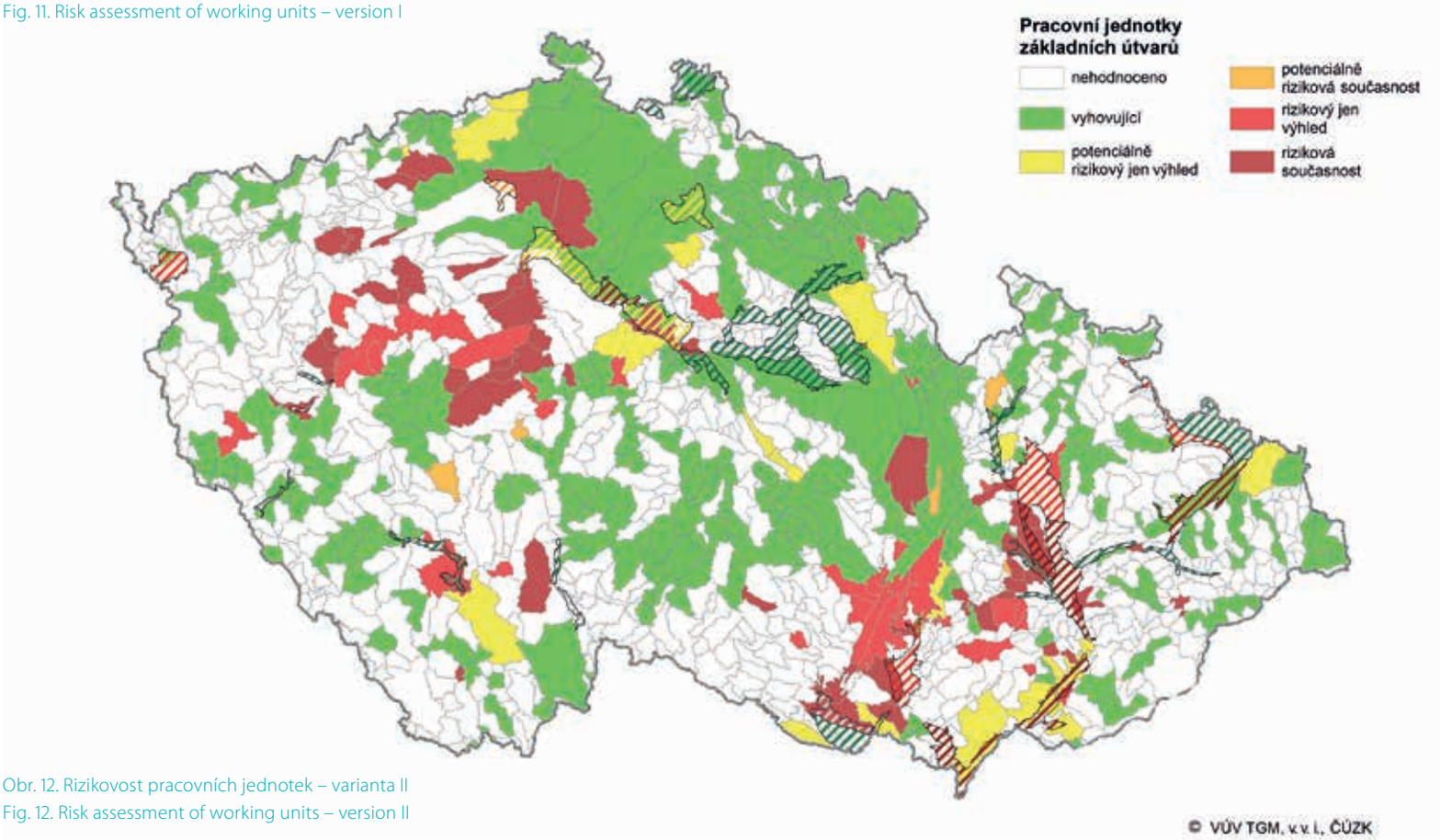
Obr. 9. Plocha pracovních jednotek [km²] podle sum odběrů pro pitné účely – varianta I
Fig. 9. Area of working units [km²] by sum of drinking water abstractions – version I



Obr. 10. Pracovní jednotky podle sum odběrů pro pitné účely – varianta I
Fig. 10. Working units by sum of drinking water abstractions – version I



Obr. 11. Rizikovost pracovních jednotek – varianta I
Fig. 11. Risk assessment of working units – version I



Obr. 12. Rizikovost pracovních jednotek – varianta II
Fig. 12. Risk assessment of working units – version II

Bilance množství podzemních vod výhledového stavu na pracovní jednotky podzemních vod

Pro výhledový stav – tj. pro období 2041–2060 s uvažovanou klimatickou změnou – byly přírodní zdroje podzemních vod poníženy stejným procentem, jaké vyšlo v případě základního odtoku v pracovních jednotkách útvarů povrchové vody pro model HadGEM2-ES. Co se týče odběrů, byly uvažovány ve stejném rozsahu jako v období 2013–2018. Porovnání odběrů a zdrojů pak bylo zpracováno stejně jako bilance množství podzemních vod současného stavu.

VÝSLEDKY A DISKUZE

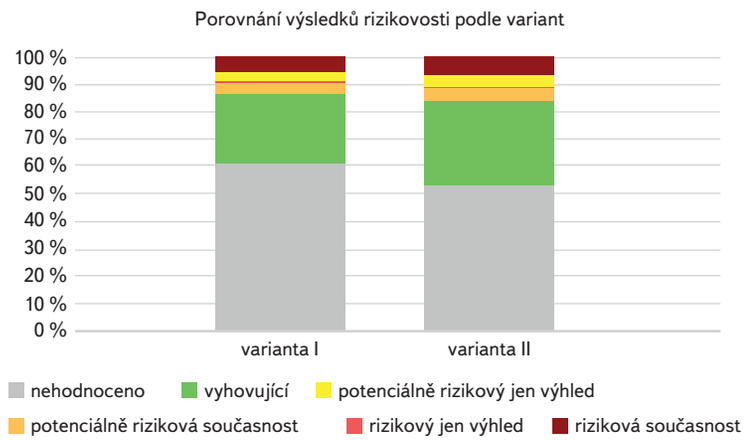
Výsledkem byla rizikovost jednotlivých pracovních jednotek, a to jak současného stavu, tak výhledového, přičemž riziko se vztahuje k možnosti, že přírodní zdroje podzemních vod v důsledku sucha (v současnosti) nebo klimatické změny (ve výhledu) poklesnou natolik, že nebude možno uspokojit požadavky na odběry pro pitné účely. Pracovní jednotky byly rozděleny na nehodnocené (tj. bez odběrů, pouze s malými odběry a výjimečně s nejméně středními odběry, ale nulovými přírodními zdroji), dále na vyhovující jak při současném, tak při výhledovém stavu a pak na potenciálně rizikové nebo rizikové již v současnosti a nakonec opět na rizikové pouze ve výhledu. Potenciálně rizikové jednotky se od rizikových liší stejně jako v případě výsledků kvantitativního stavu útvarů podzemních vod – rizikový výsledek se vyskytoval buď jen pro maximální, ale nikoli pro průměrné odběry, anebo se výsledky pro různě stanovené přírodní zdroje lišily. Potenciálně rizikové pracovní jednotky mají tudíž nižší věrohodnost.

Rizikovost byla zpracována pro obě varianty zatřídění velikosti odběrů, u nichž se sice neliší postup, ale počet nehodnocených pracovních jednotek kvůli rozdílnému způsobu zatřídění velikosti odběrů.

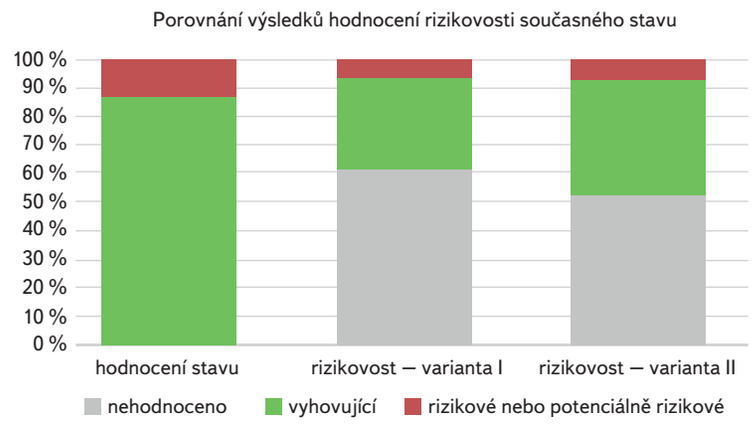
Výsledky pro variantu I (tj. pro absolutní hodnoty ročních průměrných odběrů) jsou uvedeny v mapce na *obr. 11* a pro variantu II (pro odběry přepočítané podle ploch pracovních jednotek) na *obr. 12*. Porovnání výsledků obou variant je na *obr. 13*.

Podle mapek vypadají výsledky obou variant značně odlišně, nicméně z grafu je zřejmé, že rozdíl je dán tím, že ve variantě II je méně nehodnocených pracovních jednotek, přičemž většina jednotek nehodnocených ve variantě I vyšla z hlediska rizikovosti ve variantě II jako vyhovující.

Zajímavé je rovněž porovnání výsledků současného stavu na úrovni útvarů podzemních vod (hodnocení kvantitativního stavu) a rizikovosti pro pracovní jednotky – viz *obr. 14*. Ve výsledku kvantitativního stavu nebyly žádné nehodnocené útvary podzemních vod, ale i tak je podíl nevyhovujících ploch nejvyšší – 12,5 %, zatímco v rizikovosti je to u varianty I pouze 6,2 % a u varianty II 7,3 % rizikových či potenciálně rizikových ploch. Zdá se tedy, že hodnocení v menších jednotkách umožňuje lépe identifikovat problematická území. Na druhou stranu je nutné mít na paměti, že nepřesnost dat o přírodních zdrojích, která je značná (např. stanovení přírodních zdrojů hydrogeologických rajonů podle ČHMÚ a podle výsledků Rebilance se často liší dost významně), se přepočtem na menší jednotky může ještě zhoršovat. Tento postup předpokládá, že přírodní zdroje jsou uvnitř hydrogeologického rajonu víceméně homogenní, což také neodpovídá realitě – např. vůbec nejsou vzata v úvahu místa soustředěného odvodnění, kde jsou nejčastěji realizovány odběry podzemních vod. Určitou nepřesnost – byť menší než u přírodních zdrojů – vykazují i odběry podzemních vod, a to jednak z hlediska lokalizace (některá rozsáhlá jímací území jsou identifikována jen jedním bodem, i když by ve skutečnosti zasahovala do více pracovních jednotek), ale také z hlediska zatřídění do horizontu – dost často je podzemní voda čerpána jak ze svrchního horizontu (tedy z kvartéru), tak ze základních útvarů. V některých případech jsou odběry podzemních vod, pokud se nacházejí v nivě řek, v důsledku čerpání dotovány povrchovou vodou, a tím – kromě negativních dopadů na jakost užívaných vod – zhoršují výsledek bilančního hodnocení.

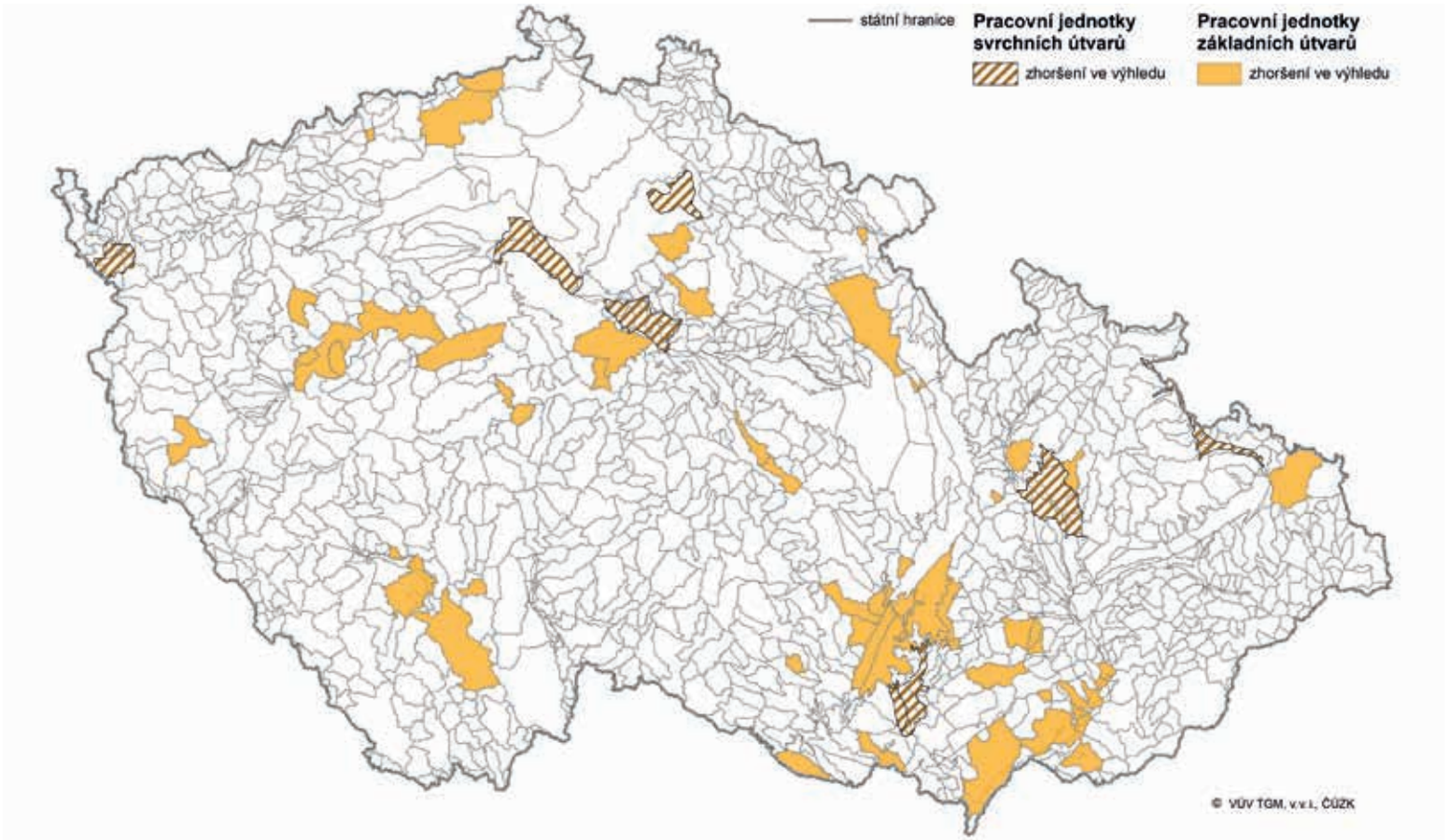


Obr. 13. Porovnání výsledků rizikovosti podle variant
Fig. 13. Comparison of risk assessment results by versions



Obr. 14. Porovnání výsledků hodnocení rizikovosti současného stavu
Fig. 14. Comparison of risk assessment results at present

Pozn.: Plochy pracovních jednotek potenciálně rizikových v současnosti jsou velmi nízké (tvoří pouze 0,37 % – varianta I nebo 0,29 % – varianta II), tudíž nejsou v grafu viditelné.



Obr. 15. Zhoršení výsledků rizikovosti ve výhledu
Fig. 15. Deterioration of risk assessment in prospect

Na *obr. 15* je představen poslední výstup projektu, jímž je přehled pracovních jednotek, u nichž se předpokládá, že ve výhledu dojde ke zhoršení – tedy že současný vyhovující stav se změní na potenciálně rizikový nebo na rizikový. Vzhledem k tomu, že porovnání obou variant ukázalo, že ve variantě II je méně nehodnocených pracovních jednotek, považujeme za relevantní výsledky podle varianty II (i když pro jistotu bylo zhoršení ve variantě I také vyhodnoceno). Plocha zhoršených pracovních jednotek činí pouze 8,8 %, z tohoto hlediska by tudíž bylo ve výhledu rizikových jenom 16,1 % celkové plochy. Zde je ale potřeba upozornit, že zmiňovaná nepřesnost dat pro současný stav se zvyšuje aproximací na delší časové období. Navíc není jasné, jak se projeví výhled u pracovních jednotek s malými odběry, vyřazených kvůli značné nepřesnosti z hodnocení, které pro variantu II činí 40,7 % celkové plochy.

ZÁVĚR

Cílem projektu bylo zjistit, jak významně ovlivní klimatická změna možnosti odběrů podzemní vody pro pitné účely k roku 2050. Vzhledem k tomu, že namodelované změny základního odtoku, reprezentovaného pro většinu útvarů podzemních vod přírodními zdroji, byly zpracovány na výrazně menší plošné jednotky, než jsou hydrogeologické rajony nebo útvary podzemních vod, byly i odběry podzemních vod agregovány detailněji. Tím mohla být zpracována bilance množství podzemních vod současného stavu na 1 220 pracovních jednotkách útvarů podzemních vod na rozdíl od 174 vodních útvarů. Metodické řešení vychází z postupů vodohospodářské bilance a hodnocení kvantitativního stavu útvarů podzemních vod. Bilanční hodnocení umožnilo vyhodnotit potenciálně rizikové a rizikové pracovní jednotky pro současný stav a jejich předpokládané zhoršení k období 2041–2060.

Při agregaci odběrů na pracovní jednotky byly kategorizovány jednotky podle velikosti sumy odběrů – a to jednak podle průměrných ročních absolutních čísel (varianta I) a jednak podle přepočtu na plochu pracovních jednotek (varianta II). Na základě tohoto rozdělení byly odlišeny pracovní jednotky bez odběrů, s malými, středními, velkými a velmi velkými odběry. Při hodnocení rizikovosti byly vyloučeny jednotky bez odběrů, ale také s malými odběry, neboť u nich buď není žádný problém (pokud jsou přírodní zdroje dostatečně velké), nebo je porovnávání nízkých odběrů a nízkých přírodních zdrojů velmi nepřesné. Vzhledem k tomu, že identifikace malých odběrů se pro obě varianty lišila, byly rozdílné i výsledky rizikovosti. Při porovnávání výsledků se ukázalo, že lépe vyhovuje varianta II. Podle této varianty vychází pro současný stav rizikových nebo potenciálně rizikových 7,3 % ploch a pro výhled 16,1 % ploch.

Při hodnocení kvantitativního stavu útvarů podzemních vod, jež z hlediska metodiky i období odpovídalo bilančnímu hodnocení současného stavu, vyšlo jako nevyhovujících nebo potenciálně nevyhovujících 12,5 % ploch, detailnější hodnocení tedy pravděpodobně znamená možnost lépe identifikovat problematická území. Na druhou stranu je nutné mít na paměti, že již nepřesnost původních dat je značně velká a při zpodrobnění výsledků může dále narůstat. Současně se později může ukázat, že lokální problémy nastanou u některých pracovních jednotek podzemních vod s malými odběry a nízkými přírodními zdroji, které byly vyloučeny z hodnocení.

Poděkování

Článek vznikl na základě výzkumu prováděného v rámci projektu VI20192022159 „Vodohospodářské a vodárenské soustavy a preventivní opatření ke snížení rizik při zásobování pitnou vodou" programu BV III/1-VS, který financuje Ministerstvo vnitra ČR.

Literatura

[1] *Zpráva o stavu vodního hospodářství České republiky v roce 2020*. Dostupné z: https://eagri.cz/public/web/mze/voda/osveta-a-publikace/publikace-a-dokumenty/modre-zpravy/

[2] *Vyhláška č. 431/2001 Sb., o obsahu vodní bilance, způsobu jejího sestavení a o údajích pro vodní bilanci.*

[3] PRCHALOVÁ, H., DURČÁK, M., KOZLOVÁ, M., VIZINA, A., ROSENDORF, P., MRKVIČKOVÁ, M. a kol. *Metodiky hodnocení chemického a kvantitativního stavu útvarů podzemních vod pro druhý cyklus plánů povodí v ČR*. Praha: VÚV TGM, v. v. i., 2013. Dostupné z: https://heis.vuv.cz/projekty/rsv

[4] VIZINA, A., HANEL, M. a kol. *Střední scénář klimatické změny pro vodní hospodářství v České republice. Zprávy pro státní podniky povodí*. Praha: VÚV TGM, v. v. i., 2019.

[5] VIZINA, A., HORÁČEK, S., HANEL, M. Recent Developments of the BILAN Model. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2015, 57(4–5), s. 7–10.

[6] MELIŠOVÁ, E., VIZINA, A., STAPONITES, L. R., HANEL, M. The Role of Hydrological Signatures in Calibration of Conceptual Hydrological Model. *Water*. 2020, 12(12), 3401. Dostupné z: https: //doi.org/10.3390/w12123401

[7] TALLAKSEN, L. M., VAN LANEN, H. A. (eds.) *Hydrological Drought: Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater*. Amsterdam: Elsevier, 2004. 579 s. Developments in Water Science, Elsevier 48. ISBN 9780444516886.

[8] VIZINA, A., VYSKOČ, P., PELÁKOVÁ, M., BERAN, A., KOŽÍN, R., PICEK, J. Zabezpečenost odběrů vody z vodárenských nádrží v podmínkách klimatické změny. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2021, 63(3), s. 4–18. ISSN 0322-8916.

[9] *Pracovní jednotky útvarů podzemních vod*. Dostupné z: https://heis.vuv.cz/db/download/pracovnijednotkyupzv

[10] OLMER, M., PRCHALOVÁ, H., KADLECOVÁ, R. a kol. *Hydrogeologická rajonizace 2005*. Dostupné z: https://heis.vuv.cz/projekty/hgr2005

[11] KADLECOVÁ, R. a kol. *Rebilance zásob podzemních vod*. Česká geologická služba 2016. Dostupné z: http://www.geology.cz/rebilance/rebilance-abstrakt.pdf

Autoři

RNDr. Hana Prchalová
✉ hana.prchalova@vuv.cz
ORCID: 0000-0003-1890-8335

Ing. Petr Vyskoč
✉ petr.vyskoc@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-5006-5414

Ing. Adam Vizina, Ph.D.
✉ adam.vizina@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-4683-9624

Ing. Hana Nováková, Ph.D.
✉ hana.novakova@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-5946-4796

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2022. 07. 005

BALANCE OF GROUNDWATER RESOURCES AND DEMANDS FOR HUMAN CONSUMPTION DURING THE CLIMATE CHANGE CONDITIONS

PRCHALOVÁ, H.; VYSKOČ, P.; VIZINA, A.; NOVÁKOVÁ, H.

T. G. Masaryk Water Research Institute, Prague

Keywords: climate change — water resources — groundwater — drinking water supply — water balance

The article demonstrates results of assessment possible impact of climate change on groundwater abstractions for human consumption during 2041–2060 period. The balance of present groundwater quantity on the small area is a part of results. Methodology is similar as water management balance and quantitative status assessment of groundwater bodies. First, the balance of present groundwater quantity on the level of working units of water bodies was prepared and then prospective balance including impact of climate change. The results of quantitative status assessment of groundwater bodies were comparable to risk assessment of working units, but according to the quantitative status, 12.5 % of area was in poor status and only 7.3 % was at risk according to the present balance assessment. The decrease of area is due to use of smaller units. The at-risk area increases from 7.3 % to 16.1 % during the climate change conditions against to present state. However, it is necessary to keep in mind that the results are burdened with significant inaccuracy. This inaccuracy is mainly due to calculation of groundwater resources approach, the heterogeneity of groundwater resources in hydrological unit area, approximation of the groundwater volume into the future and the high proportion of working units with small abstractions (these units had to be removed from the results because of low reliability).

Foto: 123RF.com

Posouzení možnosti změny užívání suchých nádrží

PAVEL BALVÍN, PETR SMRŽ, JIŘÍ ŠVANCARA, VERONIKA TÁBOŘÍKOVÁ, MARCELA MAKOVCOVÁ

Klíčová slova: suchá nádrž — změna užívání — databáze — multikriteriální analýza — metodický pokyn

SOUHRN

Hlavním cílem projektu *„Potenciál využití suchých nádrží v rámci hospodaření s vodou v krajině"*, řešeného v letech 2019–2021, bylo vypracovat metodický pokyn popisující postup změny užívání suché nádrže, např. pro zadržení vody v krajině. Metodický pokyn je založen na dvouúrovňové multikriteriální analýze (dále MKA). Dalším cílem projektu bylo provést kompletní evidenci realizovaných suchých nádrží a poldrů v České republice (dále ČR) a prezentovat ji ve formě databáze a mapy s odborným obsahem. Významným výstupem z projektu byla rovněž dokumentace technického stavu některých suchých nádrží.

ÚVOD

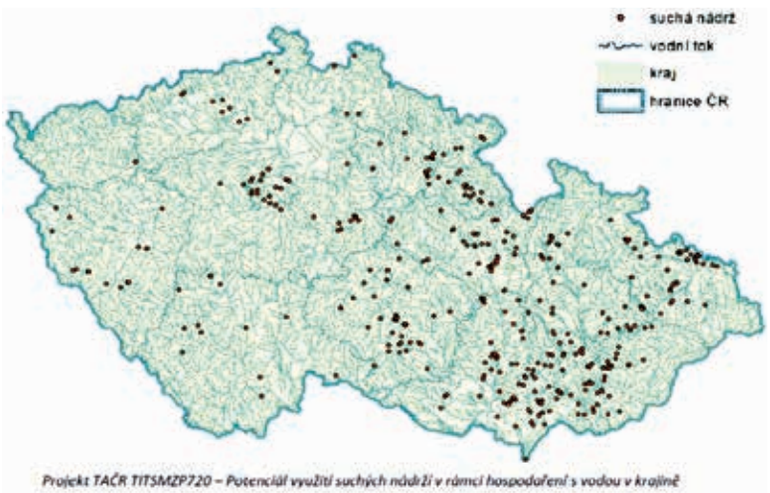
V druhé polovině 20. století i začátkem 21. století se na území ČR vyskytla řada významných povodňových událostí. Reakcí na ně byla mimo jiné i snaha zvýšit protipovodňovou ochranu ohrožených území, a to např. výstavbou suchých nádrží a poldrů. Na straně druhé v letech 2014–2019 naši zemi sužovalo sucho. Z uvedených důvodů vznikla diskuze, zda je možné suché nádrže využít k zadržení vody v krajině bez znehodnocení jejich ochranné funkce. Na tuto diskuzi reagovalo Ministerstvo životního prostředí vypsáním projektu s názvem *„Potenciál využití suchých nádrží v rámci hospodaření s vodou v krajině"* financovaného programem Technologické agentury ČR Beta 2.

SBĚR DAT PRO POTŘEBY PROJEKTU

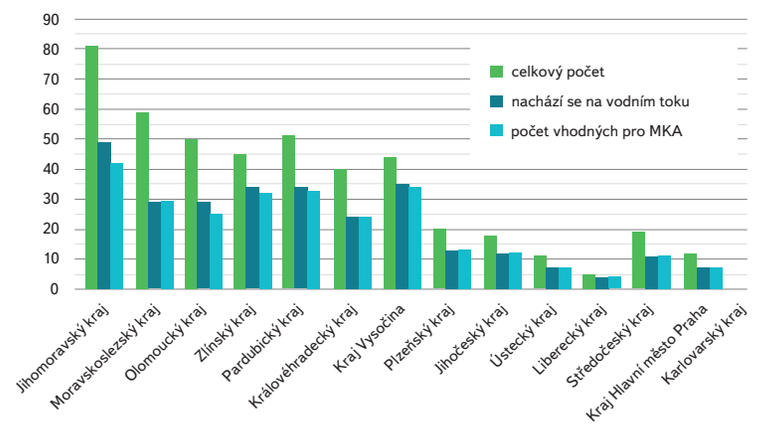
Výchozím krokem při řešení projektu byl sběr dat o realizovaných suchých nádržích v ČR. Prvotním podkladem byla databáze suchých nádrží (dále jen SN) vytvořená v souvislosti s kategorizací vodních děl pro účely technickobezpečnostního dohledu a poskytnutá jedním z řešitelů projektu VODNÍ DÍLA – TBD, a. s. S ohledem na skutečnost, že tato databáze obsahuje i značné množství doposud nerealizovaných SN, bylo nutné databázi doplnit dalšími zdroji informací. Ke sběru dat o SN a jejich verifikaci byly použity následující zdroje [1]:

- informace od státních podniků Povodí,
- podklady z programů MZe, MŽP a SFŽP,
- dotazníková akce řešitelského týmu na vodoprávní úřady ČR,
- informace od samospráv obcí a měst,
- intenzivní terénní průzkum SN řešitelským týmem,
- mapové podklady (např. Základní mapa ČR, Ortofoto mapa ČR, Katastrální mapa ČR atd.).

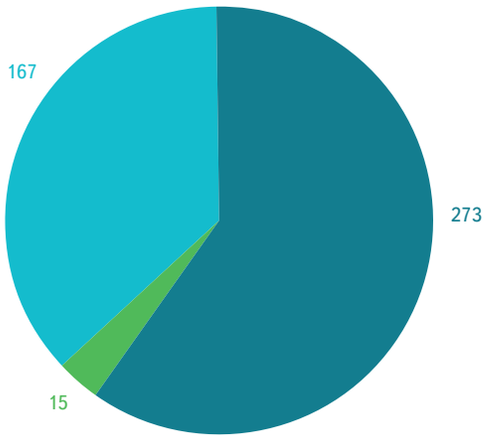
Sběr dat probíhal sice především v roce 2019, ale v řádech jednotek SN byl prováděn až do konce projektu s cílem zachytit a ověřit co největší soubor existujících SN pro potřeby tvorby databáze a mapy SN (viz *obr. 1* a *2*). Zastoupení SN na území ČR je nerovnoměrné. Hojně se vyskytují na východě našeho území, tj. v regionech Moravy, Slezska a východních Čech. Směrem na západ jejich množství klesá. V Karlovarském kraji se vodní díla typu SN vůbec nenacházejí.



Obr. 1. Mapa SN v ČR
Fig. 1. Map of dry reservoirs on the territory of the Czech Republic



Obr. 2. Zastoupení SN a poldrů v jednotlivých krajích
Fig. 2. Occurence of dry reservoirs and polders in regions of the Czech Republic



Obr. 3. Počet SN vhodných pro MKA z hlediska polohy na vodním toku
Fig. 3. Number of dry reservoirs suitable for MKA in terms of location on the watercourse

METODICKÝ PŘÍSTUP

V rámci řešení projektu bylo nutné zvolit vhodné a optimální metodické řešení, jež by umožnilo dosažení požadovaných výstupů. Databáze a mapa SN jsou výstupem sběru dat a jejich verifikace. Samotný metodický pokyn představuje nástroj, jenž je určen správcům a vlastníkům SN, pracovníkům vodoprávních úřadů a úředníkům státní správy a samosprávy, ale především také projektantům, kteří budou muset v rámci procesu změny užívání SN zodpovědět řadu technických a environmentálních otázek a ověřit platnost navrhovaných řešení.

Změnou užívání SN se rozumí využití části objemu ochranného prostoru SN pro akumulaci vody, a to vymezením prostoru stálého nadržení, případně prostoru zásobního. V krajních případech se předpokládá, že může dojít ke změně účelu vodního díla, tj. např. k přeměně SN na malou vodní nádrž. V rámci metodického pokynu se neuvažuje o změně užívání u SN neležících na vodním toku. Do posouzení změny užívání tedy vstupují pouze SN, jež se nacházejí na vodním toku a u nichž byly shromážděny potřebné údaje (*obr. 3*).

Při zpracování metodického pokynu popisujícího proces posouzení změny SN bylo rozhodnuto vypracovat dvouúrovňovou multikriteriální analýzu (MKA). Je nutné konstatovat, že metodický pokyn slouží jako pomocný nástroj při rozhodování o změně užívání SN. Obsahuje doporučený postup posouzení změny užívání formou MKA, katalog technických opatření a vzorové příklady aplikace postupu posouzení změny užívání formou MKA na pilotních lokalitách.

Účelem metodického pokynu je poskytnout přehled činností potřebných pro posouzení vhodnosti SN ke změně jejího užívání. Vlastní posouzení by měla vykonávat odborně způsobilá osoba (podle potřeby ve spolupráci s dalšími experty), která vyhodnotí uvedené parametry a kritéria a buď doporučí, nebo nedoporučí vodní dílo ke změně užívání. Zhodnocením možných alternativ z pohledu více kritérií vytváří MKA hodnotný nástroj pro rozhodování o změně užívání SN [2].

PRVNÍ ÚROVEŇ MULTIKRITERIÁLNÍ ANALÝZY

První úroveň MKA kategorizuje SN pro potřeby první rozvahy o jejich vhodnosti ke změně užívání s ohledem na potřebnost zachování protipovodňové (ochranné) funkce. Poměrem objemu suché nádrže ke koruně hráze a objemu návrhové povodňové vlny lze získat orientační představu o retenčním potenciálu SN. Poměr vybraných objemů se stanoví podle rovnice:

$$Y = \frac{V_{kor}}{V_{100}}$$

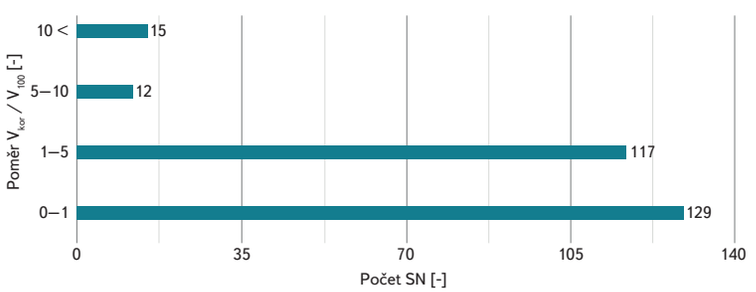
kde Y [-] je objem filtru
V_{kor} [m³] objem suché nádrže ke koruně hráze
V_{100} [m³] objem návrhové povodňové vlny s dobou opakování N = 100 let

Suché nádrže se na základě poměru objemových parametrů rozdělují do tří kategorií (*tab. 1*):
- málo vhodné,
- vhodné,
- velmi vhodné.

Tab. 1. Kategorie SN s ohledem na jejich retenční potenciál umožňující úvahu nad změnou užívání
Tab 1. Categories of dry reservoirs with regard to their retention potential allowing consideration of change of use

$Y = V_{kor}/V_{100}$	$0 < Y < 1$	$1 < Y < 5$	$5 < Y < 10$ $10 < Y$
Kategorie z hlediska vhodnosti změny užívání SN	málo vhodné	vhodné	velmi vhodné

- Kategorie „málo vhodné" reprezentuje skupinu SN s retenčním potenciálem, který velmi pravděpodobně neumožní změnu užívání bez omezení ochranné funkce vodního díla. Protože poměr nezohledňuje transformaci povodňové vlny v čase, může i SN s poměrem Y pod 1,0 plnit svou ochrannou funkci dostatečně. Kategorie „málo vhodné" zahrnuje i SN s malým retenčním potenciálem, tj. nádrže plní retenční funkci pouze do návrhového průtoku N-letého s určitou dobou opakování, nebo zanedbatelně při uvažované transformaci povodňové vlny. U těchto SN lze zvážit změnu funkce vodního díla, např. na malou vodní nádrž. To může v konečném důsledku znamenat, že i takovou SN z kategorie „málo vhodná" bude účelné posoudit v druhé úrovni MKA.
- Kategorie „vhodné" reprezentuje skupinu SN s retenčním potenciálem, který splňuje předpoklady pro posouzení změny užívání s cílem zajištění trvalého nadržení vody.
- Kategorie „velmi vhodné" reprezentuje skupinu SN s nejvyšším potenciálem pro změnu užívání. S ohledem na retenční objem nádrže kategorie nabízí i potenciál pro vytvoření zásobního prostoru pro další vodohospodářské využití. Potenciál vytvoření trvalého nadržení vody a zásobního prostoru je nutné posoudit v rámci druhé úrovně MKA. Rozdělení disponibilních SN dle *tab. 1* je zobrazeno na *obr. 4.*



Obr. 4. Zastoupení SN pro jednotlivé kategorie v první úrovni MKA
Fig. 4. Representation of dry reservoirs for individual categories in the first level of multicriteria analysis

DRUHÁ ÚROVEŇ MULTIKRITERIÁLNÍ ANALÝZY

Druhá úroveň MKA slouží k detailnímu posouzení a vyhodnocení vybraných hledisek, která lze rozdělit do tří skupin:

1. Bezpečnost a funkce vodního díla

Kategorie posuzuje charakteristiky SN před a po navržené změně užívání. Skupina se zabývá např. posouzením změny transformačních účinků SN a stability hráze při změněných zatěžovacích stavech, technickým řešením funkčních objektů vodního díla apod. Na *obr. 5* je ukázka posouzení transformačního účinku SN pro návrhovou povodňovou vlnu [3].

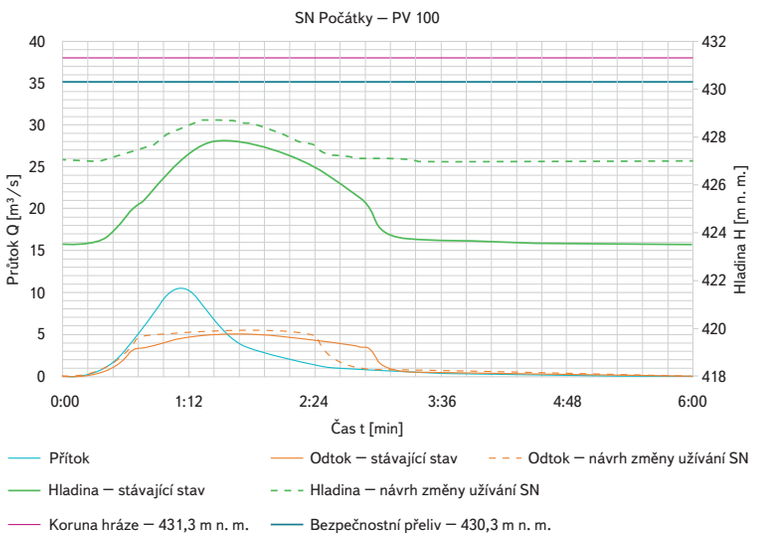
2. Environmentální hlediska

Kategorie se zabývá přínosy, účinky a dopady zamýšlené změny užívání SN na dotčené území. Posouzení environmetálních účinků obsahuje aspekty fyzikální, chemické, biologické a ostatní, přičemž je doporučeno zvážit vyhodnocení jednotlivých dílčích hledisek příslušnými specialisty [4].

3. Ekonomická hlediska a majetkoprávní vztahy

Kategorie posuzuje změnu užívání z hlediska předpokládaných ekonomických nákladů, které zahrnují například:

- přestavbu funkčních objektů,
- průzkumné práce,
- majetkoprávní vypořádání,
- úpravy prostorů zátopy atd.



Obr. 5. Příklad posouzení stávajících transformačních účinků na vybrané SN a transformačních účinků po navrhované změně jejího užívání (vytvoření částečného vzdutí na hladině 427 m n. m.)
Fig. 5. Example of assessment of existing transformation effects on selected dry reservoir and transformation effects after the proposed change of use of the reservoir (the change is creation of partial swelling at the level 427 m a. s. l.)

VYHODNOCENÍ METODICKÉHO ŘEŠENÍ, VÝSTUPY PROJEKTU

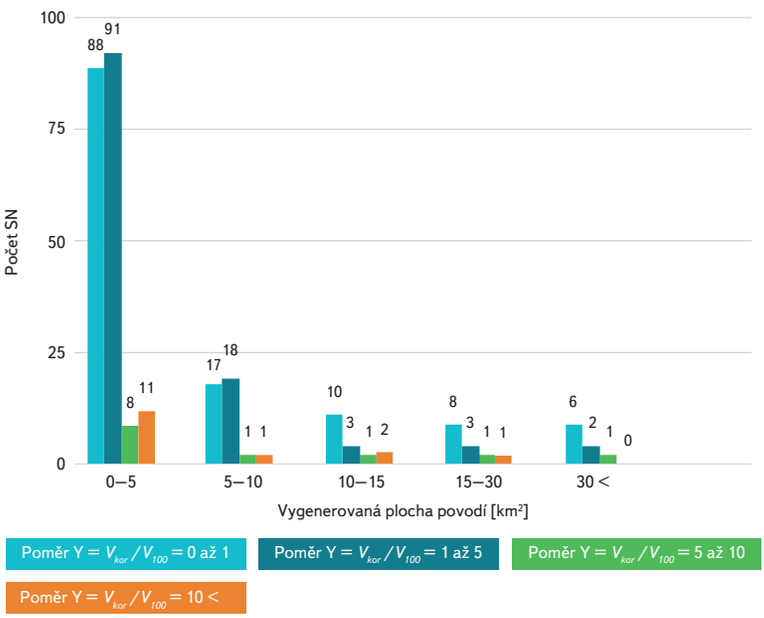
Postup posouzení byl ověřen na 16 pilotních lokalitách. Pilotní SN byly vybrány tak, aby byla pokryta co největší škála možných případů, jež se mohou při posuzování změny užívání SN vyskytnout. V rámci procesu posuzování tak došlo např. i k případu, kdy SN nebyla po vyhodnocení MKA doporučena ke změně užívání i přesto, že obecně ke změně užívání vytvořením trvalého nadržení při zachování ochranné funkce vodního díla vhodná byla. Realizace změny nebyla doporučena z důvodů neúměrně vysokých ekonomických nákladů. Taktéž byl posuzován případ, kdy SN v kategorii „málo vhodná" byla po vyhodnocení MKA označena jako vhodná na změnu užívání přeměnou ze SN na malou vodní nádrž. Důvodem byla její stávající, naprosto nevýznamná ochranná funkce.

Na základě výsledků dosažených na 16 pilotních lokalitách lze konstatovat, že navržený postup MKA je vhodný jako obecný nástroj pro posouzení změny užívání SN.

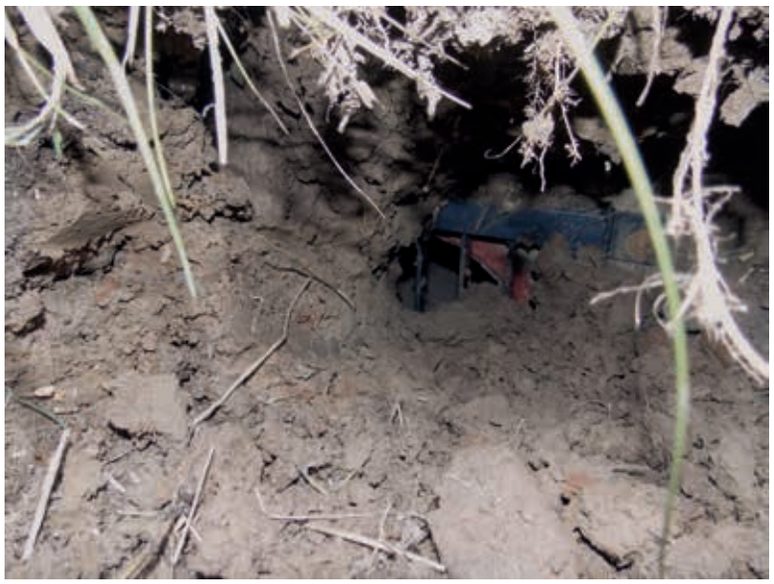
Postup posouzení změny užívání SN je dokumentován v uceleném metodickém pokynu, který podrobně popisuje celý rozhodovací proces a vyhodnocuje jednotlivá kritéria. Metodický pokyn obsahuje přílohy ve formě katalogu technických opatření a vzorového formuláře, kde jsou uvedeny postupy i způsoby řešení na vybraných pilotních lokalitách.

V rámci evidence a pro potřeby databáze byl proveden soupis 455 vodních děl – SN. Z celkového množství 455 SN se jich 288 nachází na vodním toku, přičemž pro MKA byl z důvodů absence údajů o objemu návrhové povodňové vlny nebo o objemu nádrže ke koruně hráze využit soubor 273 SN. Nejvíce jich náleží do kategorie „málo vhodná", poté do kategorie „vhodná" a nejméně do kategorie „velmi vhodná". Z hlediska velikosti povodí byly v první úrovni MKA řešeny spíše SN na menších povodích řádově do 5 km², jak je patrno z *obr. 6.*

Jedním z vedlejších výstupů projektu bylo díky uskutečněnému rozsáhlému terénnímu průzkumu i zjištění technického stavu některých SN. Ukázalo se, že současný technický stav funkčních objektů je u některých SN problematický. Příkladem závad a nedostatků je třeba ucpání spodní výpusti či zarostlé bezpečnostní přelivy a průlehy v korunách hráze, viz *obr. 7* a *8.* V několika případech bylo zjištěno, že SN byly napuštěny po hranu bezpečnostního přelivu, viz např. *obr. 9.* V rámci projektu nebyly zkoumány příčiny a důvody uvedených jevů.



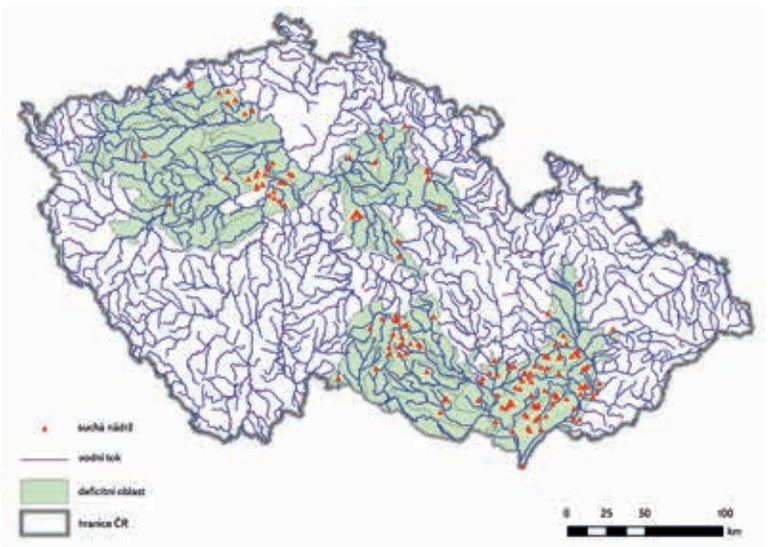
Obr. 6. Zastoupení SN v jednotlivých kategoriích s ohledem na velikost povodí a na kategorizaci první úrovně MKA
Fig. 6. Representation of dry reservoirs in individual categories with respect to the size of the catchment and to the categorization of the first level of multicriteria analysis



Obr. 7. Příklad zcela ucpaného nátoku do spodní výpusti SN – Polder N5 (AQUATIS, a. s.)
Fig. 7. Example of a completely clogged inlet part to the bottom outlet of the SN – Polder N5 (AQUATIS, a. s.)

Obr. 9. SN Želeč je deklarována coby ochranná, ale provozována je jako zcela napuštěná (AQUATIS, a. s.)
Fig. 9. Dry polder Želeč, referred to as a reservoir with flood protection purposed, but operated as fully filled (AQUATIS, a. s.)

Obr. 8. Uskladněné pneumatiky v odpadní chodbě od bezpečnostního přelivu SN – Všemina II (AQUATIS, a. s.)
Fig. 8. Used tyres dump in the outflow corridor downstream the safety spillway SN – Všemina II (AQUATIS, a. s.)



Obr. 10. Zobrazení SN v deficitních oblastech definovaných v rámci projektu „*Centrum Voda*"
Fig. 10. View of dry reservoirs in the deficit areas defined in the „*Water Centre*" project

DALŠÍ VYUŽITÍ VÝSTUPŮ PROJEKTU

S potřebou zadržování vody v krajině zesílila i diskuze nad využitím výsledků tohoto projektu v projektech navazujících. Příkladem možného účelného využití výstupů a nashromážděných zkušeností je současný projekt VÚV TGM „*Centrum Voda*", řešený pod hlavičkou Technologické agentury ČR a záštitou Ministerstva životního prostředí. Projekt se zaměřuje na komplexní výzkum v oblasti vodního hospodářství, přičemž jednotlivá témata jsou posuzována a vyhodnocována v rámci tzv. pracovních balíčků (WP). Například balíček WP3 zahrnuje mimo jiné i řešení problematiky tzv. deficitních oblastí ČR, jež byly definovány jako hranice hydrogeologických rajonů a povodí povrchových vod. Pozornost je věnována např. otázkám převodů vody, umělé infiltraci podzemních vod, obnově malých vodních nádrží i možnostem navýšení zásobního objemu stávajících vodních nádrží či zadržení vody v SN. Posledně zmiňovaná oblast zabývající se právě změnou užívání SN bude využívat výstupy projektu, a to především ve formě dvouúrovňové MKA a metodického pokynu. Na území deficitních oblastí budou na základě zmiňovaných postupů posouzeny a vyhodnoceny nejen všechny realizované SN, ale případně i takové, které se nacházejí mimo tyto oblasti, ale mohou pozitivně ovlivnit jejich hydrologický režim. *Obr. 10* znázorňuje SN v deficitních oblastech.

ZÁVĚR A DISKUZE

Postup posouzení změny užívání SN lze aplikovat jen na vodní díla nacházející se na vodním toku. O změně užívání SN bez existence trvalého přítoku vody se neuvažuje, jelikož přítok je zásadním předpokladem pro vytvoření a udržení trvalého nadržení nebo zásobního prostoru. Stejně tak není vhodné zabývat se změnou SN chránících osídlené oblasti např. proti soustředěnému odtoku a následkům eroze z přilehlých zemědělských pozemků a průmyslových zón. Multikriteriální analýza pro změnu užívání SN byla navržena ve dvou úrovních. Ta první obsahuje základní rozdělení SN z hlediska vhodnosti změny užívání s důrazem na zachování původní protipovodňové funkce vodního díla. Druhá úroveň se zabývá detailním posouzením SN na základě řady parametrů a hledisek, jež mohou významně ovlivnit rozhodovací proces vedoucí ke změně jejího užívání. Výstupem druhé úrovně MKA je doporučení, případně nedoporučení změny užívání SN. Prostřednictvím navrženého postupu posouzení změny užívání SN lze poměrně rychle a spolehlivě určit, zda se konkrétní SN hodí pro změnu užívání, nebo ne, protože se přihlíží k většině rozhodujících hledisek (např. ekonomickým, bezpečnostním či environmentálním atd.).

V průběhu řešení projektu se podařilo shromáždit informace o existenci 455 SN na území ČR.

Změnu SN lze jednoznačně doporučit pouze pod podmínkou zachování bezpečnosti vodního díla při povodních a jeho potřebné ochranné funkce. Z hlediska technických opatření se doporučuje již v projekční přípravě vodního díla typu SN zvážit možnost budoucí změny SN, což by v důsledku vedlo ke snížení nákladů na technické úpravy při realizaci změny užívání vodního díla. Za optimální pokládáme, aby nově připravované nádrže pro ochranu před povodněmi byly již od počátku koncipovány jako víceúčelové.

Z výsledků výzkumu v pilotních lokalitách vyplývá, že jen velice málo SN bude v případě změny užívání schopno plnit též zásobní funkci. Jejich funkce, změní-li se jejich užívání, bude tedy spočívat spíše v zadržení určitého objemu vody v krajině, ve zlepšení mikroklimatu a v dotaci podzemních vod v místě SN. Nicméně i to bude v rámci adaptačních opatření určených ke snížení dopadů změn klimatu velkým přínosem. Kromě toho terénní průzkum ukázal, že technický stav některých SN je nevyhovující. V důsledku toho nemohou SN spolehlivě plnit svou ochrannou funkci, naopak mohou dokonce představovat určitou hrozbu v podobě možnosti vzniku tzv. zvláštních povodní. Proto je nutné věnovat pozornost také technickému stavu existujících SN.

Poděkování

Autoři příspěvku by rádi touto cestou poděkovali za konstruktivní přístup v průběhu řešení projektu ze strany Technologické agentury ČR, Ministerstvu životního prostředí a Václavu Davidovi jako expertovi projektu. Autoři rovněž děkují řešitelům projektu „Centrum Voda" č. SS02030027, který navazuje na nyní již ukončený projekt, za spolupráci při dalším využití nashromážděných výsledků.

Literatura

[1] BALVÍN, P., SMRŽ, P., ŠVANCARA, J. a kol. *Závěrečná zpráva – Posouzení změny užívání suchých nádrží.* Praha: VÚV TGM, v. v. i., VD – TBD, a. s., AQUATIS, a. s., MŽP ČR, 2021.

[2] BALVÍN, P., SMRŽ, P., ŠVANCARA, J. a kol. *Metodický pokyn Ministerstva životního prostředí – Posouzení změny užívání suchých nádrží.* Praha: VÚV TGM, v. v. i., VD – TBD, a. s., AQUATIS, a. s., MŽP ČR, 2021. 1/2010.

[3] *Metodický pokyn MZe č. 37380/2010-15000, kap. B k provádění technicko-bezpečnostního dohledu na hrázích malých vodních nádrží IV. kategorie.*

[4] *Migrace ryb, rybí přechody a způsob jejich testování. Metodický postup pro návrh, realizaci a možnosti testování rybích přechodů pro žadatele OPŽP.* MŽP ČR 2012.

[5] *Metodická pomůcka MZe k získávání práv v územích určených k řízeným rozlivům povodní,* č. j. 38422/2010-15120.

Autoři

Ing. Pavel Balvín, Ph.D.[1]
✉ pavel.balvin@vuv.cz
ORCID: 0000-0001-7892-7584

Ing. Petr Smrž[2]
✉ smrz@vdtbd.cz

Ing. Jiří Švancara[3]
✉ jiri.svancara@aquatis.cz

Ing. Veronika Táboříková[1]
✉ veronika.taborikova@vuv.cz
ORCID: 0000-0001-5909-4476

Ing. Marcela Makovcová[1]
✉ marcela.makovcova@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-1060-4188

[1]Výzkumný ústav vodohospodářský TGM, Praha
[2]Vodní díla TBD, a. s., Praha
[3]AQUATIS, a. s., Brno

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2022. 07. 002

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF CHANGING THE USE OF DRY RESERVOIR AND POLDERS

BALVÍN, P. [1]; SMRŽ, P. [2]; ŠVANCARA, J.[3]; TÁBOŘÍKOVÁ, V.[1]; MAKOVCOVÁ, M.[1]

[1] T. G. Masaryk Water Research Institute, Prague
[2]Vodní díla TBD, a. s., Prague
[3]AQUATIS, a. s., Brno

Keywords: dry reservoir — change of use — database — multicriteria analysis — methodology

The main objective of the project *„Potential use of dry reservoirs in landscape water management"* was to develop a methodological guideline describing the procedure for changing the use of a dry reservoir. The methodological guideline is based on a two-level multicriteria analysis. Another aim of the project was to make a complete record of implemented dry reservoirs and polders in the Czech Republic and to present it in the form of a database and a map with professional content. Documentation of the technical condition of some existing dry reservoirs was also an important output of the project.

Foto: shutterstock.com

Měření celoročních srážek radarovým srážkoměrem v náročných horských podmínkách

MARTIN VOKOUN, VOJTĚCH MORAVEC

Klíčová slova: radarový srážkoměr — sníh — Šumava — WS100 — měření srážek

SOUHRN

Cílem článku je popis zkušeností s využitím alternativní technologie měření celoročních srážek v náročných horských podmínkách bez zdroje elektrické energie. Za tímto účelem byl v roce 2020 na Šumavě v nadmořské výšce 1 270 m n. m. instalován radarový srážkoměr WS100 od firmy Lufft. Z dosavadního měření lze pozitivně hodnotit zejména bezúdržbovost senzoru, podrobný krok měření a například rozlišování typu srážek. Otázkou zůstává přesnost měření, kdy při některých srážkových epizodách srážkoměr pravděpodobně svá měření nadhodnocuje. Přesné srovnání s jiným měřením je v těchto hřebenových podmínkách obtížné. Zároveň však senzor produkuje i přesná měření, která lze ověřit vedle umístěným nevyhřívaným člunkovým srážkoměrem a měřením výšky sněhu. Tímto způsobem byla vyloučena systematická chyba. Měření bude nadále pokračovat za účelem podrobnějšího hodnocení. Senzor je mimo jiné součástí monitoringu povodí Kaplického potoka v Národní přírodní rezervaci (NPR) Boubín, kde je sledován také odtok. Z tohoto hlediska jsou informace o srážkách a jejich typu důležité pro vyhodnocení hydrologických vlastností povodí.

ÚVOD

Měření celoročních srážek, zejména zimních, je v odlehlých horských oblastech problematické z důvodu absence zdroje elektřiny pro vyhřívání srážkoměrů nebo jiných senzorů zaznamenávajících intenzitu a množství srážek. Radarové odhady mohou být zkresleny řadou chyb měření, např. stíněním horských masivů či vysokou vertikální a horizontální variabilitou srážek, čímž může docházet k podhodnocení hydrologických rizik [1]. Přitom právě v hřebenových partiích bývají srážkové úhrny nejvyšší a nemožnost jejich sledování v reálném čase je nevýhodou například z pohledu hydroprognózy. Automatické meteorologické stanice operující z bateriového zdroje jsou nejčastěji vybaveny nevyhřívanými člunkovými nebo váhovými srážkoměry a ultrazvukovým měřením výšky sněhu. Informace z těchto senzorů neposkytují validní přehled o srážkovém úhrnu a už vůbec ne o intenzitě a typu srážek v zimním období. Jako možné řešení výše uvedených problémů může být využití senzoru WS100 od firmy Lufft *(obr. 1)*. Tento senzor pracuje jako radarový srážkoměr s vyhřívaným krytem

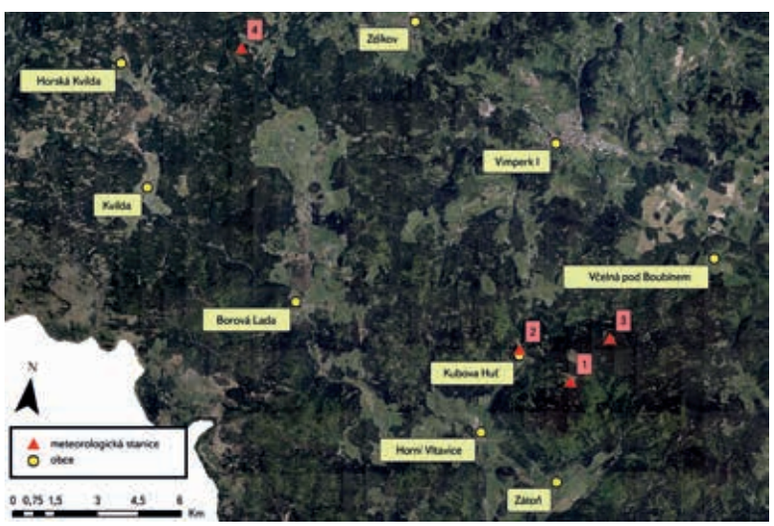
Obr. 1. Pohled na instalaci radarového srážkoměru a detail samotného senzoru WS100
Fig. 1. View of the radar rain gauge installation and detail of the WS100 sensor

při relativně nízké spotřebě elektrické energie. Z důvodu poměrně krátké doby od uvedení na trh není k dispozici dostatek zkušeností s jeho aplikací a přesností. Testován byl například v Peru v rámci nedávné studie [2], kde měřené sumy srážek byly přibližně o 100 % vyšší než skutečné hodnoty. Důvodem byla pravděpodobně chybná detekce velikosti dešťových kapek. Podobné zařízení pod názvem Micro Rain Radar testovali také Peters a kol. [3]. Zjištěné nepřesnosti byly způsobeny pravděpodobně turbulencemi, tedy náhlými vertikálními a horizontálními změnami rychlosti větru v měřeném poli. Tato práce popisuje zkušenosti s pilotní instalací radarového srážkoměru v horských podmínkách a přináší prvotní vyhodnocení přesnosti měření srážkoměru a jeho chování v typických srážkových situacích. Výsledky budou sloužit k nasměrování dalšího využití tohoto senzoru a k maximalizaci jeho efektivnosti z hlediska přesnosti měřených dat.

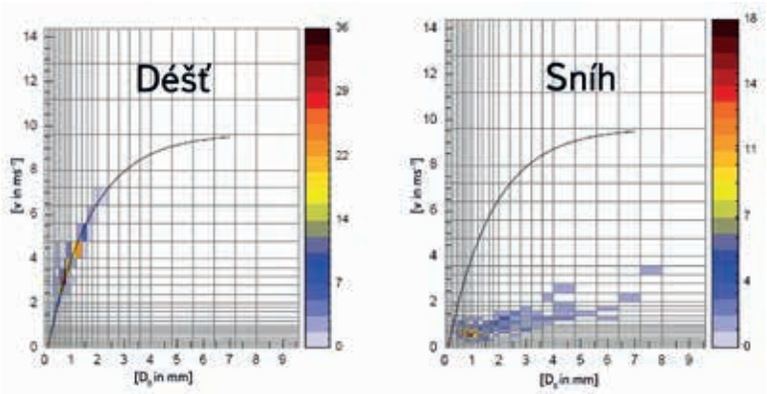
INSTALACE

Pro instalaci byla vybrána meteorologická stanice od firmy FIEDLER AMS, s. r. o., umístěná na hranici NPR Boubín pod vrcholem Basumský hřeben v nadmořské výšce 1 270 m. Stanice se nachází na mýtině vzniklé po vichřici Herwart v roce 2017 *(obr. 2)*. Radarový srážkoměr osazený na rameni na vrcholu stožáru je 15 cm široký a 19 cm vysoký *(obr. 1)*. Jeho spotřeba elektrické energie se pohybuje od 0,4 VA (úsporný režim) do 1 VA. Pokud je aktivní vyhřívání štítu, spotřeba vzroste na 9 VA. Princip měření spočívá v dopplerovském radaru, který snímá plochu 9 cm^2 nad senzorem [4]. Na základě změřené velikosti a rychlosti srážkových částic je pomocí diagramu *(obr. 3)* dopočítána intenzita srážek [5]. V případě detekce srážek jsou úhrny zaznamenávány v minutovém intervalu. Další vlastností je rozlišení typu srážek dle šesti kategorií: déšť, sníh, smíšené srážky, mrznoucí déšť, kroupy a mrholení. Přesnost měření v případě kapalných srážek je výrobcem uváděna ± 10 %. Výraznou výhodou srážkoměru je naprostá bezúdržbovost, kdy není potřeba čištění, prázdnění či jakýkoli další pravidelný zásah. Přestože spotřeba elektrické energie je oproti jiným vyhřívaným senzorům nízká, z důvodu energeticky náročných podmínek byl s meteostanicí instalován ostrovní systém, který sestává ze solárního panelu o výkonu 280 W a akumulátoru AGM 12 V/125Ah.

Stanice je vybavena také dalšími senzory pro měření hydrometeorologických veličin. Kromě senzoru WS100 jsou kapalné srážky měřeny také srážkoměrem



Obr. 2. Polohy meteorologických stanic, ze kterých byla zpracována srážková data
1 – Basum, 2 – Kubova Huť, 3 – Boubín, 4 – Churáňov
Fig. 2. Locations of meteorological stations used as source of precipitation data
1 – Basum, 2 – Kubova Huť, 3 – Boubín, 4 – Churáňov



Obr. 3. Diagram pro výpočet intenzity srážek [5]
Fig. 3. Diagram for rainfall intensity calculation [5]

MR3 od firmy Meteoservis, v. o. s., se záchytnou plochou 500 cm^2, který je běžně používán Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ). Výška sněhu je měřena ultrazvukovým senzorem US42000. Stanice zaznamenává i teplotu a relativní vlhkost vzduchu, globální radiaci pyranometrem Kipp & Zonnen CMP3, rychlost větru pomocí čidla WS103 a teplotu a vlhkost půdy v hloubkách 15, 30 a 60 cm snímačem CS650-DS. Všechna data jsou zaznamenávána monitorovací jednotkou H7-G-TA4-SZ a on-line přenášena pomocí SIM karty.

MĚŘENÍ

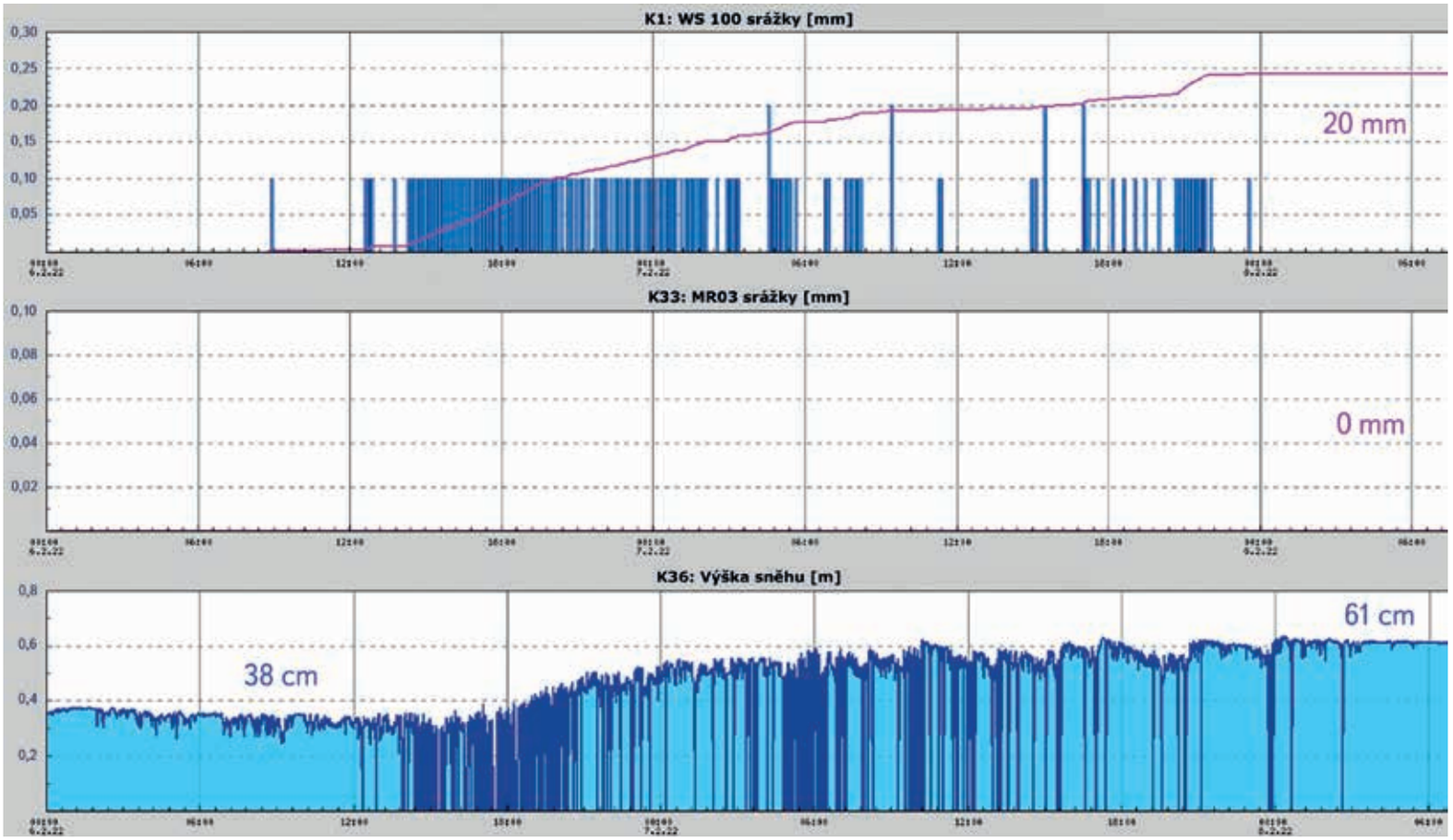
Měření bylo zahájeno na podzim roku 2020. Pro srovnání měření srážek byl instalován také nevyhřívaný člunkový srážkoměr a v létě roku 2021 rovněž ultrazvukové měření výšky sněhu. Momentálním cílem je vyhodnotit spolehlivost měření senzorem WS100, určit přibližnou odchylku měření a definovat povětrnostní situace, jež působí nepříznivě na přesnost měření množství srážek. Nejvíce problematické je srovnání zimních srážek, jelikož uváděná ztráta u vyhřívaných člunkových i váhových srážkoměrů dosahuje při sněžení hodnot až 30 % z důvodu výparu z vyhřívaných částí a vlivu obtékání větru. Tento vliv by měl být u senzoru WS100 eliminován.

Během roku 2021 byla radarovým srážkoměrem WS100 změřena suma srážek 1 435,5 mm v nadmořské výšce 1 270 m n. m. Pro srovnání, okolní stanice naměřily následující hodnoty: Churáňov 1 109,2 mm (1 118 m n. m.), Filipova Huť 1 279,2 mm (1 110 m n. m.) [6]. V podobné nadmořské výšce a zároveň mimo srážkově bohatší hraniční hřeben, kam ale Basumský hřeben nespadá, nejsou bohužel celoroční srážky měřeny. Člunkový nevyhřívaný srážkoměr naměřil roční úhrn 836,9 mm. Zde lze očekávat výraznější podhodnocení zejména sněhových srážek, které se vyskytovaly až do konce května. Stanice se navíc nachází na velmi větrném místě v severojižně orientované hřebenové části. Nicméně zimní období bylo z hlediska srážek podprůměrné a většina srážek spadla v letní polovině roku.

KAPALNÉ SRÁŽKY

Pokud se podíváme na úhrny za srážkově bohaté období červen–srpen 2021, tak radarový srážkoměr naměřil hodnotu 562,8 mm a člunkový srážkoměr 390,1 mm. O 152 m níže položený Churáňov zaznamenal 450,4 mm [6].

Z porovnání jednotlivých denních úhrnů lze vyvodit následující závěry. Nadhodnocování srážek oproti člunkovému srážkoměru se nezdá být systematické a procentuální nadhodnocení je velmi proměnlivé. Výhodou člunkového srážkoměru je, že částečně zaznamenává i usazené srážky, kdy některé dny během ranních hodin vykazuje úhrny v rozmezí 0,1–0,2 mm. Radarový srážkoměr v těchto případech srážky nezaznamenává. Někdy až překvapivě shodných



Obr. 4. Výstupy radarového srážkoměru WS100 (první graf), nevyhřívaného člunkového srážkoměru MR03 (druhý graf) a ultrazvukového měření výšky sněhu (třetí graf) během vydatného sněžení 6.–7. února 2022

Fig. 4. Outputs of the WS100 radar rain gauge (first graph), the non-heated MR03 tipping-bucket rain gauge (second graph), and the ultrasonic snow height measurement (third graph) during moderate snowfall on 6–7 February 2022

hodnot dosahují srážkoměry během krátkých dešťů o vysokých intenzitách. Takovým příkladem je např. situace 8. července 2021, kdy v rozmezí cca 15 minut spadlo téměř 20 mm. Celá událost trvala 40 minut a oba srážkoměry ukázaly shodně 23,6 mm, přestože např. nárazy větru dosahovaly 18 m/s. Další den hned po půlnoci přišel trvalý déšť trvající pět hodin. Zatímco radarový srážkoměr ukazoval v celkové sumě dalších 23,6 mm, člunkový srážkoměr pouze 14,2 mm, tedy o 40 % méně, přitom nárazy větru se pohybovaly jen v rozmezí 0–5 m/s. Jestliže vyhodnotíme procentuální nadhodnocení radarového srážkoměru v těchto třech měsících pro denní srážky vyšší než 5 mm, dostaneme hodnotu 36,5 %. Pokud ale stejně porovnáme denní sumy menší než 5 mm a zároveň větší než 0,5 mm (abychom eliminovali usazené srážky), zjistíme, že radarový srážkoměr naopak podhodnocuje o 36,2 %. Samozřejmě stále zůstává otázka přesnosti člunkového srážkoměru v těchto povětrnostně náročných podmínkách.

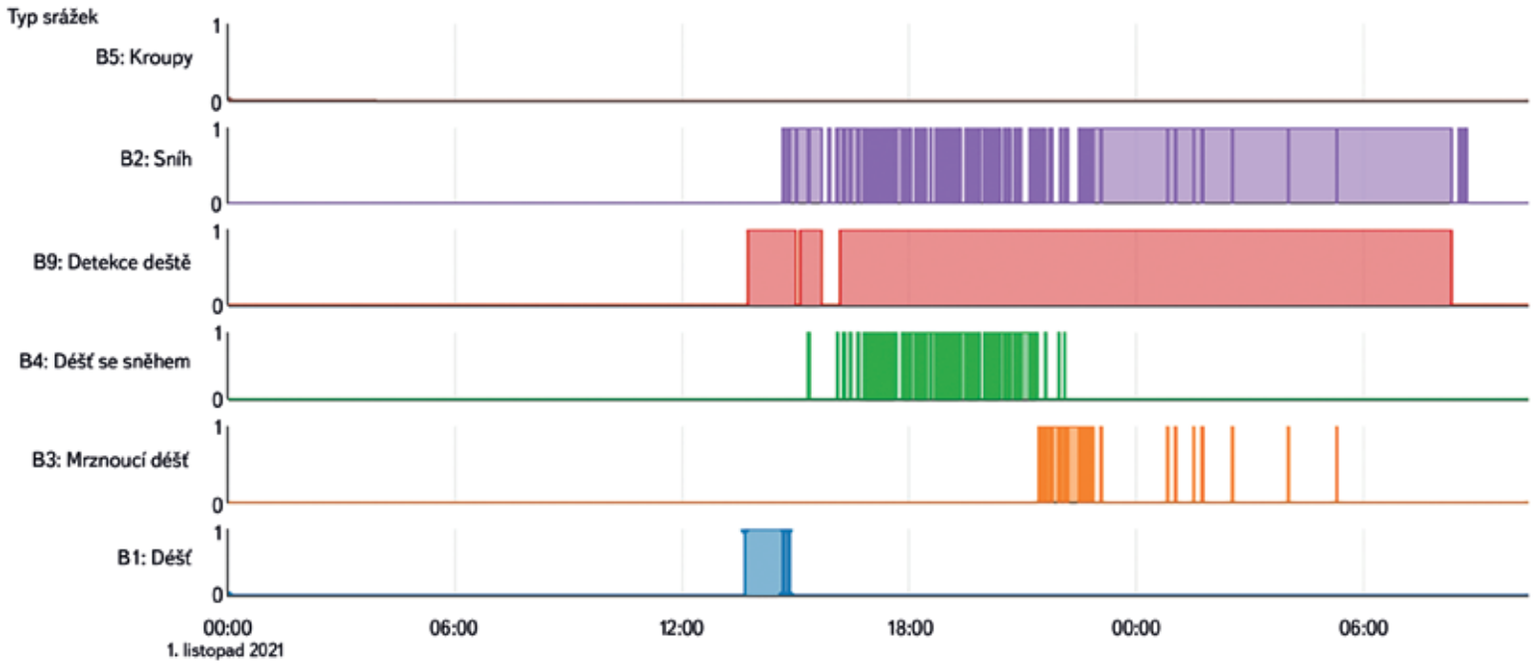
PEVNÉ SRÁŽKY

Sněhové srážky je možné porovnávat pouze s měřením výšky sněhu ultrazvukovým senzorem. Výsledky jsou poměrně uspokojivé, i když validních událostí k porovnání není mnoho, jelikož většinu zimy se výška sněhové pokrývky pohybovala do 20 cm a v členitém terénu mohla být ovlivněna větrem. Přesto lze uvést několik nejvýraznějších sněžení v zimní sezoně: 25. prosince 2021 – úhrn 6 mm a sníh + 7 cm, 6.–7. února 2022 – úhrn 20 mm a sníh + 23 cm (*obr. 4*) nebo 31. ledna 2022 – úhrn 18 mm a sníh + 13 cm (silný vítr). Podrobnější závěry bez znalosti vodní hodnoty nového sněhu nelze stanovit. Pro srovnání lze opět uvést hodnoty zimních srážek za období prosinec 2020 až únor 2021 na radarovém srážkoměru – 260,8 mm a na Churáňově – 210,2 mm [6].

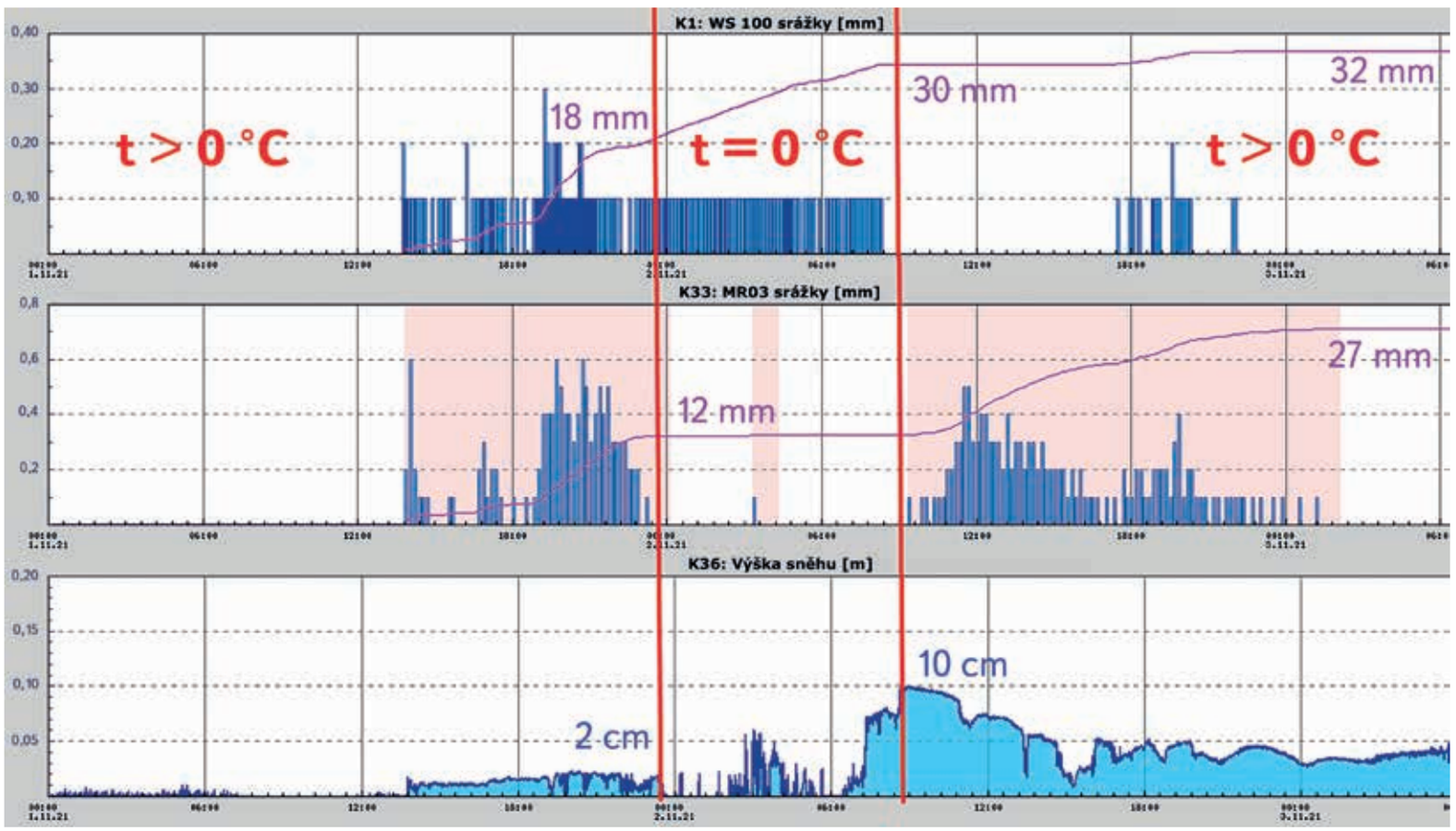
ROZLIŠENÍ TYPU SRÁŽEK

Rozlišení typu srážek napomáhá rozpoznat např. počátek výskytu kapalných srážek na sněhové pokrývce (tzv. rain-on-snow situace), kdy sněžení v průběhu události často přechází do deště. Senzor posílá kód typu srážek na základě vlastního vyhodnocení. V grafickém zobrazení je červenou barvou znázorněna detekce srážek, další barvy zobrazují detekovaný typ srážek.

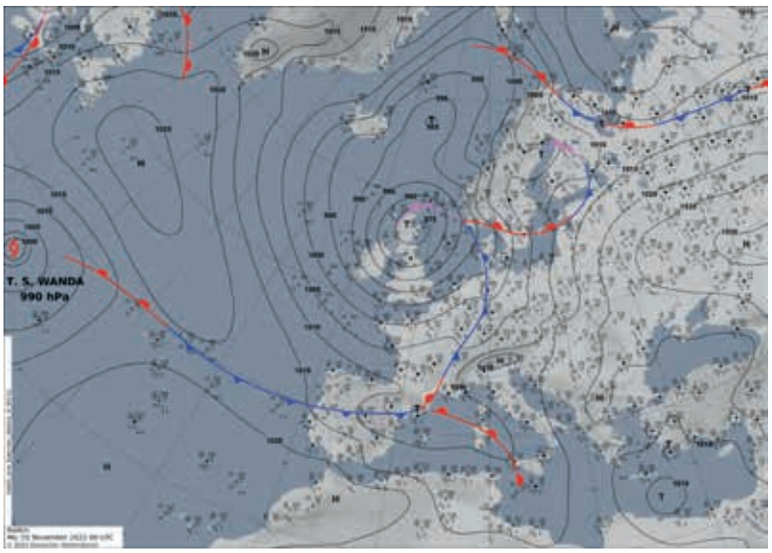
Na *obr. 5* je radarem zaznamenaný příchod studené fronty 1. listopadu 2021, kdy se během dne ochladilo z 15 °C na 0 °C. Synoptická situace z tohoto data je zobrazena na *obr. 7.* Na počátku jde o dešťové srážky, které přecházejí do smíšených a sněhových srážek. Senzor vyhodnocuje typ srážek kontinuálně a v každý okamžik stanovuje pouze jeden typ srážek. Při hraničních podmínkách může střídavě detekovat různé typy srážek, jejichž výskyt se v grafickém zobrazení jeví jako souběžný. Na *obr. 6* je pak situace vyobrazena tak, jak ji zachytily radarový srážkoměr, člunkový nevyhřívaný srážkoměr a senzor měření výšky sněhu. Z počátku byly teploty nad nulou, ale s klesající tendencí, po první hodině déšť přešel do smíšených a sněhových srážek.



Obr. 5. Grafické zobrazení detekce typu srážek během studené fronty 1. listopadu 2021
Fig. 5. Graphical representation of precipitation type detection during a cold front on 1 November 2021



Obr. 6. Výstupy radarového srážkoměru WS100 (první graf), nevyhřívaného člunkového srážkoměru MR03 (druhý graf) a ultrazvukového měření výšky sněhu (třetí graf). Červené svislice oddělují časový úsek, kdy teplota klesla na bod mrazu. Číselně jsou uvedeny dílčí sumy srážek a výšky sněhu
Fig. 6. Outputs of the WS100 radar rain gauge (first graph), the non-heated MR03 tipping-bucket rain gauge (second graph) and the ultrasonic snow height measurement (third graph). The red vertical lines separate the period of time when the temperature dropped to freezing point. Subtotals of precipitation and snow depth are shown numerically



Obr. 7. Synoptická situace 1. listopadu 2021 [7]
Fig. 7. Synoptic situation on 1 November 2021 [7]

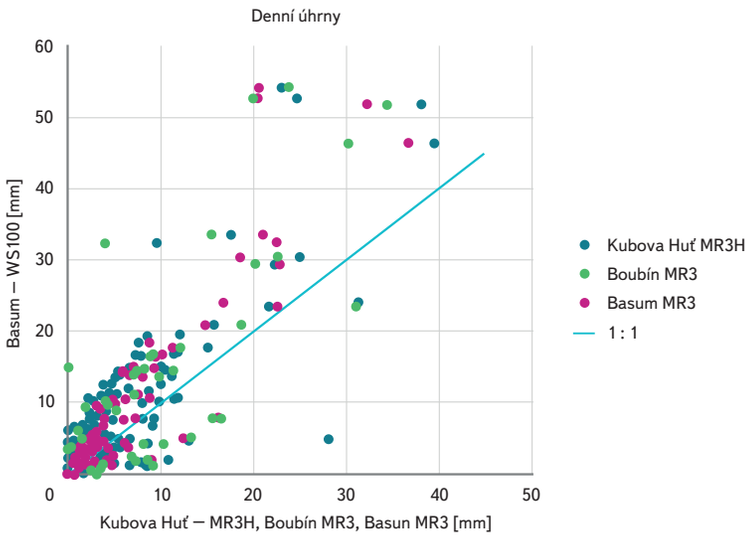
Teplota se držela nad nulou, proto v člunkovém srážkoměru stále docházelo k odtávání srážek a zároveň se na zemském povrchu tvořila až 2 cm vysoká vrstva mokrého sněhu. Těsně před půlnocí klesla teplota na 0 °C a člunkový srážkoměr přestal detekovat srážky. Hodnota se zastavila na 12 mm, ale lze předpokládat, že část srážek zachytila nálevka ve formě mokrého sněhu (minimálně v množství, jaké leželo na zemi). Radarový srážkoměr detekoval do té doby 18 mm srážek. Teplota na bodu mrazu trvala do deváté hodiny ranní, těsně před tím ustaly i srážky. Radarový srážkoměr za tuto dobu detekoval dalších 12 mm srážek, výška sněhu vzrostla o 8 cm na hodnotu 10 cm. Zohledníme-li skutečnost, že sníh padal mokrý, je poměr 12 mm vody na 8 cm sněhu relevantní. Po deváté hodině ranní začal odtávat sníh v člunkovém srážkoměru a po jeho odtátí (se započtením drobnějších srážek ve večerních hodinách) se suma srážek zastavila na 27 mm. Radarový srážkoměr hlásil 32 mm. Člunkový srážkoměr naměřil o 5 mm méně. To je akceptovatelný údaj i rozdíl, vezmeme-li v úvahu sněhové srážky a větrné podmínky na hřebenové mýtině. Nutno však podotknout, že vítr nepřesahoval průměrnou rychlost 3 m/s a postupně klesal na 0,5 m/s.

Hodnocení přesnosti srážkoměru WS100

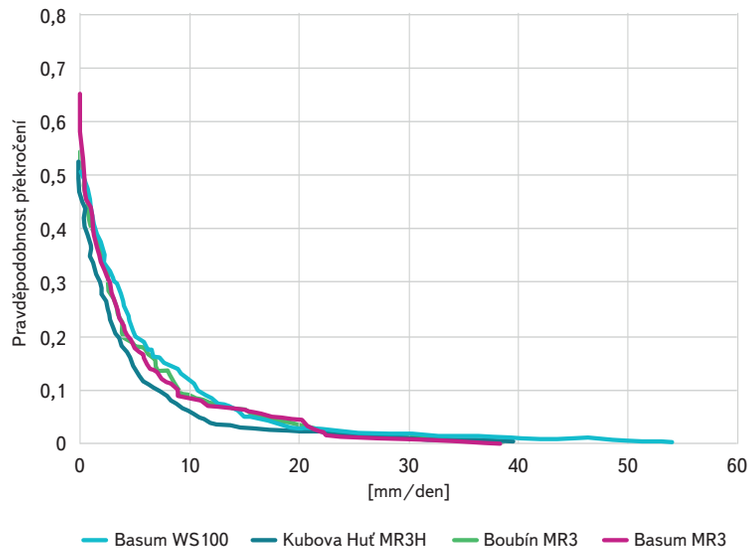
Na základě dlouhodobějších měření je evidentní systematické nadhodnocování radarového srážkoměru. Následující *tab. 1* srovnává měsíční úhrny z nejbližších srážkoměrných stanic Boubín 1353 m n. m., kde jsou celoroční srážky měřeny kombinací nevyhřívaného člunkového srážkoměru MR3 a manuálního srážkoměru Metra886 [9]. Dále pak ze stanice Kubova Huť 1010 m n. m. a vzdálenější stanice Churáňov 1118 m n. m., kde je měření srážek prováděno nejpřesnější metodou – váhovým srážkoměrem MRW500 [6]. Srovnání je zatíženo nejistotou vysoké proměnlivosti srážkových úhrnů v horských podmínkách, a to jak z hlediska nadmořské výšky, tak i z pohledu vzdálenosti stanic a vlivu návětrných srážek a závětří za hlavním šumavským hřebenem. Průměrná hodnota nadhodnocení srážkových úhrnů je 36 %. Tato hodnota může být reálně o něco nižší z důvodu vyšších ztrát při měření člunkovými srážkoměry, s nimiž jsou hodnoty srovnávány.

Tab. 1. Srovnání měsíčních úhrnů měřených na stanici Basum a na stanicích Boubín, Kubova Huť a Churáňov. Uvedena je také průměrná odchylka senzoru WS100 v procentech
Tab. 1. Comparison of monthly totals measured at the Basum station and at the Boubín, Kubova Huť and Churáňov stations. The average percentage deviation of the WS100 sensor is also shown

2020/2021	Basum 1 270 m n. m. [mm]		Boubín 1 353 m n. m. [mm]	Kubova Huť 1 010 m n. m. [mm]	Churáňov 1 118 m n. m. [mm]	Průměrná odchylka [%]
	WS100	MR3	MR3+Metra886	MR3H	MRW500	WS100
Listopad	37,2		25	22,6	24,2	155
Prosinec	52,5		44	35,2	53,2	119
Leden	144,5		96	73,4	110,6	155
Únor	63,8		53	37,9	46,4	139
Březen	103,6		71	55,3	79,3	151
Duben	79,7		64	61,8	67,3	124
Květen	240,7	142,9	147	130,2	160,4	166
Červen	224,1	134,3	138	142,6	155,1	157
Červenec	170,9	120,3	118	140	158,4	127
Srpen	167,8	135,5	128	133,5	136,9	126
Září	23,9	17,7	26	19,8	34,5	98
Říjen	29,5	22,3	30	25,8	25,5	114
Celkem	**1 338,2**		**940**	**878,1**	**1051,8**	**136**



Obr. 8. Srovnání denních úhrnů v hydrologickém roce 2021 měřených radarovým srážkoměrem WS100, nejbližšími meteorologickými stanicemi Kubova Huť, Boubín a člunkovým srážkoměrem na stanici Basum
Fig 8. Comparison of daily totals in the hydrological year 2021 measured by the WS100 radar rain gauge, the nearest meteorological stations Kubova Huť, Boubín and the tipping bucket rain gauge at the Basum station



Obr. 9. Pravděpodobnost překročení denních úhrnů v hydrologickém roce 2021 měřených radarovým srážkoměrem WS100, nejbližšími meteorologickými stanicemi Kubova Huť, Boubín a člunkovým srážkoměrem na stanici Basum
Fig. 9. Exceedance probability of daily totals in hydrological year 2021 measured by the WS100 radar rain gauge, the nearest meteorological stations Kubova Huť, Boubín and the tipping bucket rain gauge at the Basum station

V horských oblastech mohou být ztráty na vyhřívaných člunkových srážkoměrech a manuálních srážkoměrech 15–66 % v závislosti na větrných podmínkách [8]. Problém vlivu obtékání větru na přesnost měření lze očekávat i u váhového srážkoměru na stanici Churáňov, zároveň se tato stanice nachází v závětří a leží v nadmořské výšce o 152 m nižší. Tento fakt by vzhledem k malé velikosti senzoru WS100 měl být v tomto případě zanedbatelný. Měsíční hodnoty v tabulce rovněž nepotvrzují sezonní závislost a odchylky měření jsou stejné v průběhu celého roku. Během screeningu měřených veličin na stanici Basum byly vyloučeny i další možné meteorologické podmínky ovlivňující přesnost měření senzoru WS100. Vliv na odchylku měření byl vyloučen u rychlosti větru, teploty i vzdušné vlhkosti. Podrobnější analýze bude nutné podrobit intenzity srážek a velikosti kapek. Na *obr. 8* jsou v grafu srovnány denní úhrny v hydrologickém roce 2021. Zde se potvrzuje systematičnost chyby, kdy s rostoucí sumou denního úhrnu rostou také rozdíly mezi měřeními jednotlivých srážkoměrných stanic. Na *obr. 9* je zobrazena pravděpodobnost překročení denních úhrnů. Z grafu je patrné, že senzor WS100 nadhodnocuje bez závislosti na denní intenzitě srážek a pravděpodobnost překročení denních úhrnů je v téměř všech případech vyšší právě u radarového srážkoměru.

ZÁVĚR

Z dosavadních zkušeností lze vyzdvihnout bezúdržbovost radarového srážkoměru a množství informací, které svým měřením poskytuje. Přesnost měření v hřebenových partiích je obtížné posoudit z důvodu absence validních srovnávacích měření. Přesto lze pozorovat nadhodnocování srážek, jež detekovali také Valdivia a kol. [2]. Jako pravděpodobný důvod v jejich podmínkách měření uvedli nepřesné stanovení průměru dešťových kapek, při němž distribuce velikosti kapek měřená senzorem WS100 neodpovídá typickému gamma rozdělení [10]. Naopak systematické podhodnocování srážek senzoru WS100 oproti vyhřívanému člunkovému srážkoměru popsali Pishniak a kol. [11], kteří testovali různé typy srážkoměrů na stanici v Antarktidě. Důvodem tohoto podhodnocování mohou být převažující sněhové srážky. Přesto si výsledky jejich studií odporují. Příčina nepřesnosti může být rovněž individuální, způsobená např. mikroklimatickými podmínkami. Řešením těchto nepřesností může být např. aktualizace firmware upravující metodiku měření (např. úprava diagramu intenzity srážek) nebo statistická korekce systematických chyb, jejichž určení bude předmětem dalšího zkoumání. Přesto má tento senzor řadu výhod a potenciál být do budoucna vhodným nástrojem pro měření v takto náročných podmínkách na odlehlých místech. Následujícím krokem bude provedení podrobné analýzy srážkových událostí a určení možné meteorologické či jiné příčiny v situacích, kdy byly naměřeny rozdílné srážkové úhrny člunkovým a radarovým srážkoměrem. Výsledky poslouží ke korekci dat a jako podklad pro další využití srážkoměrů radarového typu. Pro přesnější určení příčin nepřesnosti by bylo vhodné umístit další senzor WS100 k meteorologické stanici s vyhřívaným srážkoměrem a mimo extrémní podmínky, jaké panují na horském hřebeni.

Poděkování

Provoz meteostanice je podpořen interním grantem VÚV TGM (3600. 52. 16/2022).

Literatura

[1] BERNE, A., KRAJEWSKI, W. F. Radar for Hydrology: Unfulfilled Promise or Unrecognized Potential? *Advances in Water Resources*. 2013, 51, s. 357–366.

[2] VALDIVIA, J. M. et al. Field Campaign Evaluation of Sensors Lufft GMX500 and MaxiMet WS100 in Peruvian Central Andes. *Sensors*. 2022, 22(9), 3219.

[3] PETERS, G., MARKMANN, P., KIRTZEL, H. J. Application of Micro Rain Radar for Supporting Quantitative Weather Radar Precipitation Measurements. In: *2020 IEEE Radar Conference (RadarConf20), September 21–25, 2020, Florence, Italy*. IEEE 2020, s. 1–6. Dostupné z: doi: *10.1109/RadarConf2043947.2020.9266500*

[4] *OTT HydroMet Fellbach GmbH. User manual smart Weather Sensors* [on-line]. Fellbach, Germany: OTT HydroMet Fellbach GmbH, 2021 [vid. 15. březen 2022]. Dostupné z: https://www.lufft.com/download/manual-lufft-wsxxx-weather-sensor-en/

[5] *OTT HydroMet Fellbach GmbH. Technical Data: WS100 Radar Precipitation Sensor/Smarth Disdrometer*. Fellbach, Germany: OTT HydroMet Fellbach GmbH, 2017. Dostupné z: https://www.otthydromet.com/assetsref/988390

[6] ČHMÚ. *Hlásná a předpovědní povodňová služba* [on-line]. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2022 [vid. 14. březen 2022]. Dostupné z: https://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_act_rain.php

[7] DEUTSCHER WETTERDIENST. *DWD analyses* [on-line]. 2021 [vid. 23. červenec 2022]. Dostupné z: https://wetterzentrale.de

[8] GROSSI, G. et al. Snow Precipitation Measured by Gauges: Systematic Error Estimation and Data Series Correction in the Central Italian Alps. *Water*, 2017, 9(7), 461. Dostupné z: https://doi.org/10.3390/w9070461

[9] PROCHÁZKA, J., VOJVODÍK, A. *Přehled vybraných charakteristik počasí na Boubíně v roce 2021*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta zemědělská a technologická, 2022. Zpracováno pro provozní účely LZ Boubín a Správy NP Šumava.

[10] ULBRICH, C. W. Natural Variations in the Analytical Form of the Raindrop Size Distribution. *Journal of Climate and Applied Meteorology*. 1983, 22(10), s. 1764–1775.

[11] PISHNIAK, D. et al. Preliminary Analysis and Main Problems of Instrumental Measurement Complex at the Vernadsky Antarctic Station. In: *EGU21, the 23rd EGU General Assembly, held on-line 19–30 April, 2021*, id.EGU21-13591. Dostupné z: doi: 10.5194/egusphere-egu21-13591

Autoři

Ing. Martin Vokoun, Ph.D.
✉ martin.vokoun@vuv.cz
ORCID: 0000-0001-7997-2205

Ing. Vojtěch Moravec
✉ vojtech.moravec@vuv.cz
ORCID: 0000-0003-0358-9837

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2022. 07. 004

MEASURING ANNUAL PRECIPITATION WITH A RADAR RAIN GAUGE IN SEVERE MOUNTAIN CONDITIONS

VOKOUN, M.; MORAVEC, V.

T. G. Masaryk Water Research Institute, Prague

Keywords: radar rain gauge — snow — Šumava — WS100 — precipitation measuring

The aim of the article is to describe gained experience while using alternative technology for measuring annual precipitation in severe mountain conditions without a source of electric energy. For this purpose, a Lufft's WS100 radar precipitation sensor was installed in Šumava in 2020 at an altitude of 1,270 m above sea level. The measurements so far showed evident advantages, for example that the sensor is maintenance-free or its detailed measurement step and, for example, the discrimination of the type of precipitation. The question remains how accurate is the measurement, when during some precipitation episodes the radar precipitation sensor probably overestimates its measurements. Accurate comparison with other measurements is difficult in these mountainous conditions. On the other hand, the radar sensor also gives accurate measurements during some precipitation episodes, which we verify by a non-heated tipping bucket rain gauge located within the station and also by measuring the height of the snow. Using these proxy data, systematic error was excluded. Measurements will continue for a more detailed evaluation. The radar sensor is, among other things, part of the monitoring of the Kaplický basin in the National Nature Reserve Boubín, where the outflow is also monitored. From this point of view, information about precipitation and precipitation type are important for the evaluation of the hydrological properties of the basin.

Foto: 123RF.com

Autoři VTEI

Ing. Ladislav Kašpárek, CSc.
VÚV TGM, v. v. i., Praha

✉ ladislav.kasparek@vuv.cz
www.vuv.cz

Ing. Ladislav Kašpárek v oboru hydrologie působil od roku 1968 v ČHMÚ. Zaměřoval se zejména na odbornou práci v oblasti vývoje metod hodnocení hydrologických jevů, včetně těch extrémních, a na vývoj hydrologických bilančních modelů. Od roku 1987 pracuje ve VÚV TGM, v. v. i., v Praze. V posledních letech řešil zejména projekty zadané státními podniky Povodí a dalšími uživateli hydrologických dat a zabývá se možností využití historických srážkoměrných a vodoměrných pozorování.

Ing. Adam Beran, Ph.D.
VÚV TGM, v. v. i., Praha

✉ adam.beran@vuv.cz
www.vuv.cz

Ing. Adam Beran, Ph.D., je hydrolog specializující se na dopady klimatické změny na hydrologický režim a možnosti adaptování. Ve VÚV TGM, v. v. i., působí od roku 2010, v roce 2019 ukončil doktorský studijní program Environmentální modelování na Fakultě životního prostředí České zemědělské univerzity v Praze. Je hlavním řešitelem projektů na témata změny hydrologické bilance vlivem klimatické změny, adaptační opatření, sucho, výpar a související problematiku.

RNDr. Hana Prchalová
VÚV TGM, v. v. i., Praha

✉ hana.prchalova@vuv.cz
www.vuv.cz

RNDr. Hana Prchalová pracuje ve VÚV TGM, v. v. i., již 35 let. Vzděláním je hydrogeolog (Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy), většinu své profesní dráhy řeší ochranu podzemních vod, od roku 1999 se zaměřila na implementaci evropských směrnic, týkajících se vody a vodního hospodářství, do českého prostředí. Od roku 2002 se věnuje hlavně Rámcové směrnici o vodách a zpracování plánů povodí, postupně rozšířila svoje aktivity i na povrchové vody a problematiku emisí ve vodě. Jako členka několika mezinárodních skupin expertů se aktivně účastní mezinárodní spolupráce, v letech 2008–2021 pracovala také v konsorciu organizací European Topic Centre on Inland, Coastal and Marine waters pro Evropskou agenturu životního prostředí v Kodani.

Ing. Pavel Balvín
VÚV TGM, v. v. i., Praha

✉ pavel.balvin@vuv.cz
www.vuv.cz

Ing. Pavel Balvín je vedoucí oddělení Hydrauliky ve VÚV TGM, v. v. i., ve kterém pracuje od roku 1997. V roce 1997 ukončil obor Vodní hospodářství a vodní stavby na ČVUT, Fakultě stavební. Zabývá se problematikou proudění v otevřených korytech, fyzikálním a matematickým modelováním. Podílí se na koordinaci mezinárodních projektů s povodňovou tematikou. Zabývá se modelovým výzkumem hydrotechnických staveb a objektů na vodních tocích. Od roku 2010 se intenzivně zabývá problematikou minimálních zůstatkových průtoků a způsobu jejich stanovení jako podkladu pro Nařízení vlády ČR. V současné době je hlavním řešitelem mezinárodního projektu Rainman zaměřeného na problematiku povodní z přívalových srážek. Též je členem technické normalizační komise č. 145.

Ing. Martin Vokoun, Ph.D.
VÚV TGM, v. v. i., Praha

✉ martin.vokoun@vuv.cz
www.vuv.cz

Vystudoval doktorský program Environmentální modelování na ČZU v Praze. Disertační práci zaměřující se na kalibraci předpovědi srážek pro hydrologické modelování pomocí neuronových sítí obhájil v roce 2021. Od roku 2018 je zaměstnancem VÚV TGM, v. v. i., na oddělení hydrologie, kde se především podílel na projektu posuzujícím vliv zasněžování na hydrologický cyklus. Dále působí na oddělení meteorologie Ústavu fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i., a jako přednášející na ČZU se zaměřením na meteorologii a hydrologii.

Rozhovor s Ing. Miroslavem Olmerem, jedním ze zakladatelů rajonizace podzemních vod v České republice

Předávání medaile Oty Hynie na XIV. hydrogeologickém kongresu v Liberci 2014 za významný a dlouhodobý přínos české hydrogeologii

Pane Olmere, studium vysoké školy jste začal krátce po druhé světové válce. Můžete nám přiblížit tuto dobu z vašeho pohledu a také prozradit, proč jste si vybral inženýrské stavitelství a vodohospodářský směr?

Maturoval jsem v roce 1948, kdy už i na našem Reformovaném reálném gymnáziu (RRG) na Velvarské začalo být zřejmé, že další studium na vysoké škole bude spojeno s jistými obtížemi. Pro přijetí byly vyžadovány posudky nejen ze školy, ale i od tzv. akčních výborů, KSČ a podobně. Vysoké školy humanitního směru tím byly zasaženy především, u škol technického zaměření se to zatím příliš neprojevovalo.

Mojí motivací asi byla jednak záliba v oborech s výrazně logickým základem, například v latině nebo matematice a nepovinné deskriptivě, která mi pak přišla vhod. Přijímání na tehdejší Vysokou školu inženýrského stavitelství (VŠIS), později Fakultu inženýrského stavitelství (FIS), bylo poměrně jednodušší. A k výběru jistě přispěl i pátý oddíl vodních skautů, takzvaná Pětka.

Někdy v životě rozhodují náhody, jak to bylo ve vašem případě? Plánoval jste pracovat ve výzkumu?

Neplánoval jsem pracovat ve výzkumu. Po ukončení studia se někteří přihlásili na vědeckou aspiranturu, jejich snahou bylo především vyhnout se dvouleté vojenské službě. Tuto motivaci jsem neměl, vědecká dráha mě vůbec nelákala, chtěl jsem být na stavbě, a zásadní překážkou by bylo i další studium marxismu, které bych nebyl ochoten podstoupit.

Do praxe jsem nastoupil povinně ihned podle umístěnky, a to do národního podniku Vodní stavby v Sezimově Ústí, což byl dost omyl. Po roce se mi podařilo dvouletý závazek ukončit a obrátil jsem se na tehdejší Vodohospodářské rozvojové středisko (VRS), kde mi nabídli umístění na stavbu vodní nádrže Klíčavy jako stavební dozor. Tam jsem působil dva roky a rád na to vzpomenu – stavba byla hezká, byl jsem tam svým pánem, a navíc, dělnickou třídu z valné části tvořili internovaní řeholníci.

Potom mě dohnaly přetrvávající následky úrazu z prázdninové praxe po třetím ročníku. Po operaci pravé nohy jsem se už na stavbu vrátit nemohl a přešel jsem v rámci VRS do útvaru, kde jsem to již dobře znal a během třetího ročníku si tam přivydělával. Byl jsem do jisté míry pohybově omezen, s invaliditou 45 procent, ale taky kýženou „modrou knížkou".

A pak už to šlo automaticky dál. VRS bylo účelově vytvořeno pro zpracování Státního vodohospodářského plánu (SVP), do něhož byli převedeni odborníci z VÚV a z Vodohospodářské kanceláře Ministerstva stavebnictví a meliorančního oddělení ZNV. Moje činnost byla zaměřena na úsek zásobování obyvatelstva vodou. Po dokončení SVP se oddělení věnovalo rozvoji vodovodů a s tím souvisejícímu průzkumu zdrojů podzemních vod, který byl pak zárodkem pozdějšího soustavného hydrogeologického průzkumu i bilance podzemních vod.

Reorganizačními peripetiemi se VRS proměňovalo postupně od Ředitelství vodních toků (ŘVT) – Ředitelství vodohospodářského rozvoje (ŘVR) přes VRV (Vodohospodářský rozvoj a výstavba) až posléze v roce 1976 byl úsek rozvoje převeden zpět k VÚV. Kruh se tedy jaksi uzavřel a stal jsem se „výzkumným pracovníkem". V souvislosti s dalšími změnami po roce 1990 se podařilo oddělit část zabývající se podzemními vodami od útvaru rozvoje, který sídlil v budově na Rohanském ostrově, tzv. „Rohaňáku", a spojit ji s útvarem hydrologie v Podbabě.

Pokud je nám známo, celý život jste prožil v Praze 6 – Dejvicích. Ovlivnilo to i vaši profesi?

Přibližně do mých čtyř let jsme bydleli ve Švecově ulici, potom nedaleko ve Wuchterlově – později to byla Gneisenauova, Kujbyševova atd. – poblíž dejvického nádraží. Dejvice byla moderní příjemná čtvrť, Dejvická ulice byla v neděli korzem, odkud jsem si od cukráře Kotrbáčka nosil tácek s kousky. Dnes je tam parkoviště, obchody v podstatě zmizely a nahradily je banky a ruská zlatnictví a v neděli je to ulice duchů. Po roce 1955 jsem se přiženil na Ořechovku, což byla původně Praha XVIII, takže taky Praha 6.

Doba mého dospívání byla dost turbulentní. Z Obecné školy chlapecké na Dürichově náměstí nás ve čtvrté třídě vyhnaly SS-Scharnhorst-Kaserne, z budovy RRG na Velvarské po primě Junkers-Werke.

Pokud mě to místo nějak ovlivnilo, tak asi tím, že na gymnasiu na Velvarské jsem měl štěstí na profesory matematiky prof. Pažoutovou a latiny prof. Václava Čepa, to byl bratr básníka Jana. Ti oba mě dovedli k náklonnosti k logice, ať už v „matice nebo lácii", jež někteří jiní učitelé žákům zošklivili. A musím připojit, že nemovitost na Ořechovce ze mě udělala i domovníka a zahradníka.

Váš téměř celý pracovní život je spjat s regionálním průzkumem a hydrogeologickou rajonizací. Jsou nám známy výsledky vašeho bádání, ale není úplně veřejně známo, jakým dlouhým vývojem prošla tato oblast až do nynější platné rajonizace z roku 2005.

Pohybovali jsme se v tehdejším systému centralizovaného plánování a řízení. Vztahy mezi jednotlivými pracovišti byly pak založeny spíše na osobních kontaktech. To byl důvod, proč byly kontakty mezi odvětvími vodního hospodářství a geologie, bez ohledu na různou resortní příslušnost, velmi dobré a těsné. Na základě těchto vztahů a zmíněných počátků průzkumu vznikla příležitost k zahájení regionálního hydrogeologického průzkumu, který probíhal kontinuálně od roku 1965 až do roku 1990, kdy byl ukončen *Syntézou české křídy*. K dalšímu pokračování, tedy k zamýšlené *Syntéze kvartéru*, již nedošlo.

Následovalo dvacet let opakovaných a neúspěšných pokusů o pokračování těchto prací. Teprve v rámci financování z fondů Evropské unie se naskytla možnost navázání v podobě projektu *„Rebilance zásob podzemních vod"*, realizovaného pod vedením České geologické služby (ČGS) v období 2010 až 2015/2016.

Jako příprava k provádění hydrogeologického průzkumu a vedení evidence zdrojů podzemních vod byla pod redakcí původního pracoviště VRS připravena již v šedesátých letech 20. století první hydrogeologická rajonizace Československa, později aktualizovaná v souvislosti s výsledky průzkumů i změnami správního uspořádání. Verze 2005 byla publikována ve *Sborníku geologických věd,* řada HIG, č. 23, 2006, kde je popsán i postup aktualizací (viz též *Podzemní voda ve vodoprávním řízení* XV, 2019).

Za zmínku stojí porovnání průběhu zpracování a administrace jednotlivých verzí, které pro zajímavost přikládám v tabulce.

S aktualizacemi se počítalo v koncepci rajonizace již od počátku. Pro aktualizaci poslední platné verze jsou od roku 2016 k dispozici věcné podklady v závěru projektu *„Rebilance zásob podzemních vod"*, k té však dosud nedošlo.

Naposledy jsme se pracovně potkávali při projektu *„Rebilance zásob podzemních vod",* kde jste byl za Českou geologickou službu jedním z konzultantů. Jak vnímáte celý tento projekt a jeho výsledky?

Česká geologická služba mě oslovila ke spolupráci jako konzultanta, zpočátku pro část hydrologických prací v aktivitách 2, 4, 6, a nabídla mi při tom dobré podmínky na celou dobu trvání projektu. Potom se spolupráce s RNDr. Renátou Kadlecovou, hlavní řešitelkou projektu *„Rebilance…"*, rozrostla.

Na základě zkušeností z dvaceti pěti let regionálních průzkumů byly zavedeny kontrolní dny, které byly ku prospěchu při vzájemném kontaktu zadavatele i řešitelů, ač probíhaly opakovaně bez účasti zástupců ze strany zadavatelů,

ÚGÚ, ČGÚ – Ústřední/Český geologický úřad, MLVH – Ministerstvo lesního a vodního hospodářství

Verze	Zpracování	Měřítko	Schválena
1965	1962–1964	500 000	MZLVH a ÚGÚ, 1965
1973	1971–1973	200 000	MLVH a ČGÚ, 1973
1986	1984–1986	200 000	MLVH (protokol SVP), 1986
2005	2001–2005	digitální	Vyhláška č. 5/2011 Sb.

tedy Státního fondu životního prostředí, případně Ministerstva životního prostředí a Ministerstva zemědělství.

Projekt byl ukončen v letech 2015/2016 a výsledky hodnocení zdrojů podzemních vod byly prezentovány jednotnou formou takzvaných *Průvodních listů,* které nahradily již zcela neaktuální osnovu podle Vyhlášky č. 369/2004 Sb. Jejich obsah v podstatě splňuje původní záměr úkolu, tedy rebilanci zdrojů podzemních vod ve vybraných významných rajonech, a poskytuje tak jednotné údaje pro jejich aktualizaci.

Můžete vzpomenout na některé blízké, kolegy, přátele a další lidi, kteří vás hodně ovlivnili a hodně pro vás znamenali?

Z mého oboru jsou to především Karel Zima, František Slepička, Stanislav Klír a Miroslav Kněžek. Bylo určitou výhodou, že jsme nebyli přímo organizačně spojeni, a nebyli tak navzájem vázáni určitými ohledy.

Karel Zima upozorňoval na úzký vztah hydrogeologického průzkumu a praktického využití zdrojů podzemních vod. František Slepička se podrobně zabýval projevy podzemní složky v povrchovém odtoku. S Mirkem Kněžkem byl náš vztah poněkud specifický, společný zájem tvořily podzemní vody, u něj pohledem hydrologa, můj pohled vycházel spíš z vodohospodářského základu. Náš vztah přesahoval odbornou spolupráci a přerostl i do osobní roviny, přátelily se také naše rodiny. Stanislav Klír byl referentem pro hydrogeologii na Ústředním geologickém úřadě a jeho podíl na vzniku a organizaci regionálního hydrogeologického průzkumu je zásadní. Byl to úředník, odborně vzdělaný, který neváhal přijmout rozhodnutí a nést za ně i odpovědnost. Náš vztah byl opět trochu víc než jen pracovní.

Jakou zprávu či poselství byste chtěl vzkázat současné mladé generaci výzkumníků?

U mladé generace obdivuji jejich technické vybavení a široké používání moderních technologií. Ale přece jen bych připomněl, že podzemní vody jsou nedílnou součástí hydrologického cyklu, a tedy přírodního prostředí. Krajinu, její charakter, nelze poznat a pochopit jen z družicových snímků a záznamů automatických pozorovacích stanic. Tu je nutno prochodit a ohmatat, tak to dělali všichni předtím, Smreker, Hynie, Podvolecký, jejich poznatků si dodnes vážíme a jsou nenahraditelné.

Trvalo poměrně dlouho, než se v průběhu druhé poloviny minulého století podařilo alespoň částečně uplatnit názor, že systémy povrchových a podzemních vod nejsou oddělené a že podzemní voda netvoří jen finální část na čáře překročení (Wundt, Natermann), ale i 40 až 50 procent celkového odtoku. To jsme se spolu s Mirkem Kněžkem pokoušeli prosazovat a také k tomu výrazně přispěly práce Františka Slepičky. Bude asi ještě nějakou dobu trvat, než se změní způsob vodohospodářské bilance, která je stále oddělená pro povrchové a podzemní vody, i když ke vzájemnému ovlivňování evidentně dochází a takzvaná konjunktivní bilance pro určitá území je známá a aplikovatelná.

A jen jako dovětek – dnešní možnosti publikačních a reprodukčních technik jsou velmi široké, ale mají i svá omezení. Umožňují téměř nadprodukci objemu zpráv – na úkor stručnějšího věcného vyjadřování.

Srdečně vám děkuji za rozhovor a přeji pevné zdraví.

Ing. Anna Hrabánková
vedoucí Odboru hydrauliky, hydrologie a hydrogeologie VÚV TGM

Ing. Miroslav Olmer

Ing. Miroslav Olmer, narozen 6. července 1929, je jedním ze zakladatelů hydrogeologické rajonizace v České republice. Vystudoval ČVUT, Vysokou školu inženýrského stavitelství – směr vodohospodářský (1948–1953), ale zároveň také mimořádně angličtinu na Filosofické fakultě a postgraduální kurzy věnované současným směrům filosofie a později praktické hydrogeologii. V druhé polovině šedesátých let 20. století byl hlavním řešitelem první hydrogeologické rajonizace území Československa, zahrnující i Slovensko, a zavedl první podrobnou evidenci vodárenských zdrojů podzemních vod ve významných hydrogeologických strukturách. Na začátku sedmdesátých let 20. století byla opět pod jeho vedením vydána detailnější rajonizace v měřítku 1 : 200 000 a zároveň byly zahájeny práce na vodohospodářské bilanci množství podzemních vod. V souvislosti s tím začal zavádět do praxe hydrologické metody stanovování přírodních zdrojů podzemních vod. V druhé polovině osmdesátých let 20. století pak oponoval část výstupů *Syntézy české křídy* – jednoho z nejvýznamnějších hydrogeologických průzkumů té doby – a zároveň s kolektivem autorů vydal další hydrogeologickou rajonizaci, tentokrát již jednoznačně zaměřenou na bilancování množství podzemních vod. Navrhl a zpracoval chráněné oblasti přirozené akumulace vod (CHOPAV), které dodnes existují v naší legislativě. V období po roce 1989 se věnoval obecné problematice ochrany podzemních vod jak z hlediska kvantity, tak kvality. Je autorem některých koncepcí, jež byly později vtěleny do národní legislativy. Dalším počinem byla *Hydrogeologická rajonizace České republiky 2005,* která se stala základem pro vymezení útvarů podzemních vod, dále spolupráce na vývoji postupů pro hodnocení stavu útvarů podzemních vod či jeho zásadní podíl na nejvýznamnějším hydrogeologickém projektu posledního desetiletí „*Rebilance zásob podzemních vod*" (2010–2016).

Foto: shutterstock.com

Aktuální verze modelu BILAN

BILAN je celistvý konceptuální model v denní/měsíční struktuře (schéma je uvedeno na *obr. 1*), simulující složky hydrologické bilance na povodí. Přestože jeho vývoj byl nastartován ve VÚV TGM již počátkem devadesátých let minulého století, jde o model, který je v České republice stále standardně používán a zůstává přístupný laické i odborné veřejnosti. Například je nedílnou součástí řešení aplikace/systému HAMR [1], ale byl použit i jinde [2–4]. Mezi hlavní výhody modelu oproti jiným řešením patří interní kalibrační algoritmy, možnost přímého vkládání dat o užívání vod a nízká výpočetní náročnost vhodná pro variantní simulování (např. dopadů klimatické změny na vodní režim). Poslední text věnovaný struktuře modelu BILAN vyšel v časopise VTEI 7. srpna 2015 [5], a tak soudíme, že nastal vhodný čas zdokumentovat, že tento simulační nástroj drží krok se současností a struktura modelu je průběžně upravována na základě výzkumných a společenských požadavků. V dnešní době se model BILAN využívá také pro řešení projektů, jako jsou *„Centrum Voda"*, *„PERUN"*, *„Interreg CE Thaya"* aj.

V průběhu času se samozřejmě měnily i obecné trendy ve vývoji softwaru a hydrologického modelování, v důsledku čehož byl původní kód přepsán z jazyka Object Pascal do C++ a dále rozšířen o balík *(z angl. Package, jde o ustálený překlad)* obsahující aplikační programové rozhraní do prostředí R. Též bylo přidáno grafické uživatelské rozhraní a webové prostředí, jež se nachází na adrese *http://bilan.vuv.cz*. Zde lze také nalézt uživatelskou příručku a dokumentaci k modelu. Balík pro R byl původně umístěn v repozitáři Comprehensive R Archive Network (CRAN). V nedávné době bylo rozhodnuto o zřízení verzovacího systému pro ukládání zdrojového kódu softwaru přímo hostovaného na serverech VÚV TGM. Zmíněné řešení pochází od společnosti GitLab Inc. a používá dnes standardní bezpečnou technologii pro správu zdrojového kódu – Git. Repozitář modelu BILAN je možné nalézt na adrese *https://git.vuv.cz/hydrology-department/bilan*. Z této webové stránky je rovněž možné provést přímou instalaci balíku R kterýmkoli uživatelem.

BILAN je aktuálně (k datu vzniku tohoto textu) ve verzi 2022-07-22 a nově obsahuje:

— Alternativní možnosti odhadu potenciální evapotranspirace v povodí s použitím menšího či většího počtu vstupních proměnných. Mezi ně patří např. denní teplotní minima a maxima, délka dne nebo sluneční radiační konstanta, psychrometrická konstanta či napětí nasycených vodních par. Odhad potenciální evapotranspirace bývá prvním krokem k simulaci vodní bilance na povodí, a proto má jeho přesnost přímý a zásadní dopad na úspěšnost určení zbylých složek bilance.

— Implementované rovnice, jimiž jsou definovány tyto odhady, jsou známé pod následujícími názvy Blaney-Criddle (1) [6], Priestley-Taylor (2) [7], Hamon (3) [8] a Hargreaves-Samani (4) [9]. Dosud byla v modelu k dispozici metoda založená pouze na průměrné denní teplotě a zeměpisné šířce [10]. Tyto techniky poskytují jak adekvátnější hodnoty, zejména pokud jsou zmíněné veličiny získány přesným měřením, tak i větší variabilitu potřebných vstupů. Kromě toho je jejich implementace vhodná pro srovnávací studie modelů, které pracují s obsáhlými datovými sadami, např. z projektů *„MOPEX"* či *„CANOPEX"*, v nichž bývá častěji k dispozici denní teplotní rozpětí než průměrné denní teploty.

Kompletní výčet rovnic:

$$ET_0 = p \cdot (0{,}457 \cdot T_{mean} + 8{,}128) \qquad (1)$$

$$ET_0 = \alpha \cdot \frac{\Delta \cdot (R_n - G)}{\lambda_v \cdot (\Delta + y)} \cdot 1000 \qquad (2)$$

$$ET_0 = k \cdot 0{,}165 \cdot 216{,}7 \cdot N \cdot \left(\frac{e_s}{T + 273{,}3}\right) \qquad (3)$$

$$ET_0 = 0{,}0023 \cdot R_n \cdot (T_{max} - T_{min})^{0{,}5} \cdot (T_{mean} + 17{,}8) \qquad (4)$$

kde ET_0 je odhad referenční evapotranspirace
p procentuální vyjádření denních hodin ze dne
$T_{mean}, T_{max}, T_{min}$ teplotní statistiky
α empirická konstanta pro deficit vodních par
y psychrometrická konstanta
Δ sklon křivky napětí nasycených par
G hustota tepelného toku do půdy
R_n radiační bilance
λ_v latentní výparné teplo
e_s napětí nasycených vodních par
N denní doba světla

— Kling-Gupta efficiency (KGE) – kompozitní kalibrační kritérium [11]. KGE je v posledních letech v hydrologii poměrně hojně používané, neboť adresuje nedostatky kritérií, používajících střední kvadratickou chybu. To je i případ známějšího a dlouho používaného kritéria Nash-Sutcliffe efficiency [12]. Střední kvadratická chyba je zde rozdělena do tří diagnosticky významných složek – korelace, systematické chyby a variability. Relativní důležitost těchto složek je možné upravit pomocí vah, které jsou přiřazeny vnitřním členům, přičemž výchozí hodnoty jsou rovnoměrné. Obecně obsahuje rovnice KGE (5) korelační člen mezi dvěma časovými řadami, dále člen pro posouzení systémové chyby a nakonec člen, který porovnává vzájemnou variabilitu.

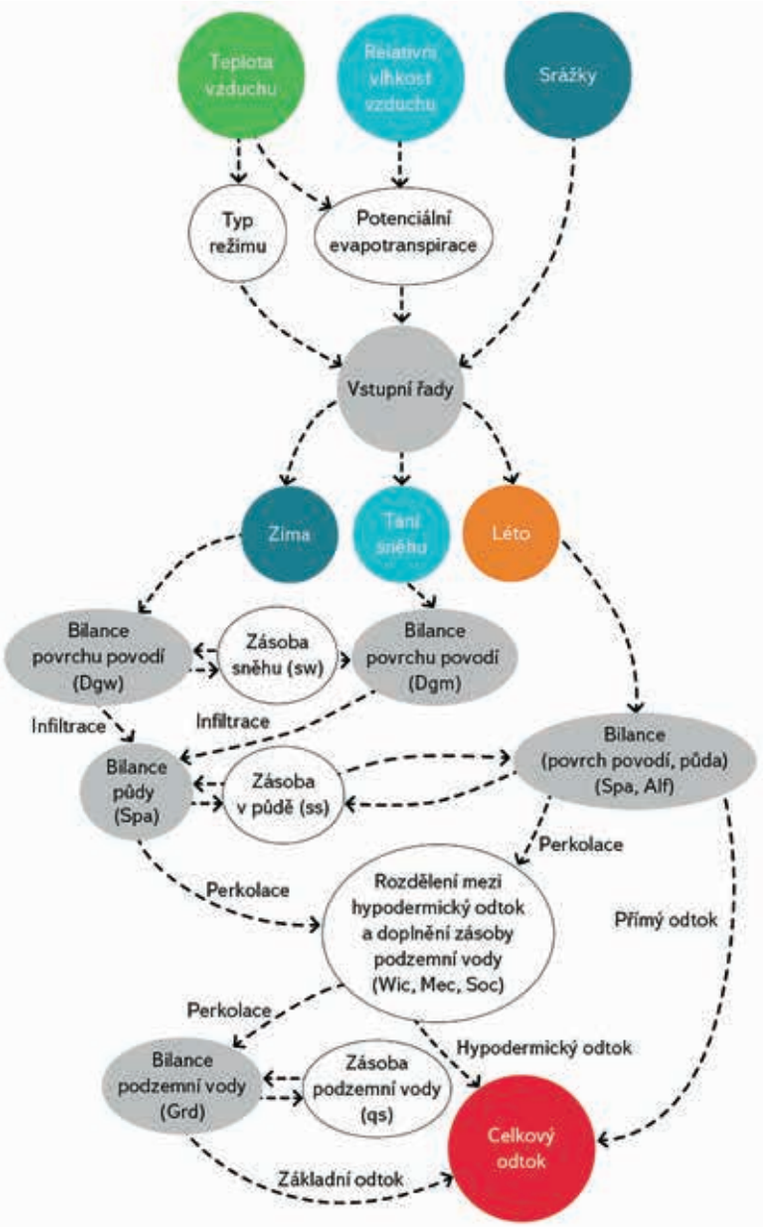
$$KGE = 1 - \sqrt{a\,(r - 1)^2 + b\,(\alpha - 1)^2 + c\,(\beta - 1)^2} \qquad (5)$$

Existuje více implementací tohoto kritéria. V modelu BILAN je použita konkrétně varianta (6):

$$KGE = 1 - \sqrt{a\,(r - 1)^2 + b\left(\frac{\mu_{sim}}{\mu_{obs}} - 1\right)^2 + c\left(\frac{\sigma_{sim}}{\sigma_{obs}} - 1\right)^2} \qquad (6)$$

kde a, b, c jsou váhy členů
r je Pearsonův korelační koeficient
μ_{sim} / μ_{obs} podíl středních hodnot
$\sigma_{sim} / \sigma_{obs}$ podíl standardních odchylek obou časových řad

Doména *https://git.vuv.cz* bude v následujících letech sloužit ke zpřístupnění dalšího open-source softwaru, pocházejícího z výzkumné činnosti oddělení hydrologie VÚV TGM. Do konce roku 2022 na ní dojde k přesunu a shodným úpravám také u grafické verze modelu BILAN, kterou navíc čeká přechod na novou, již šestou verzi frameworku Qt.



Obr. 1. Schéma popisující strukturu modelu BILAN v měsíčním výpočetním kroku

Literatura

[1] VIZINA, A., HANEL, M., TRNKA, M., DAŇHELKA, J. HAMR: on-line systém pro zvládání sucha – webová prezentace pro veřejnost. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace.* 2020, 62(5), s. 32–34. ISSN 0322-8916.

[2] VIZINA, A., VYSKOČ, P., PELÁKOVÁ, M., BERAN, A., KOŽÍN, R., PICEK, J. Zabezpečenost odběrů vody z vodárenských nádrží v podmínkách klimatické změny. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace.* 2021, 63(3), s. 4–18. ISSN 0322-8916.

[3] VIZINA, A., HANEL, M. a kol. *Střední scénář klimatické změny pro vodní hospodářství v České republice. Zprávy pro státní podniky povodí.* Praha: VÚV TGM, v. v. i., 2019.

[4] TRNKA, M., VIZINA, A., HANEL, M., BALEK, J., FISCHER, M., HLAVINKA, P., SEMERÁDOVÁ, D., ŠTĚPÁNEK, P., ZAHRADNÍČEK, P., SKALÁK, P., EITZINGER, J. Increasing Available Water Capacity as a Factor for Increasing Drought Resilience or Potential Conflict over Water Resources under Present and Future Climate Conditions. *Agricultural Water Management.* 2022, 264, 107460. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107460

[5] VIZINA, A., HORÁČEK, S., HANEL, M. Nové možnosti modelu BILAN. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace.* 2015, 57(4–5), s. 7–10. ISSN 0322-8916.

[6] BLANEY, H. F., CRIDDLE, W. D. *Determining Consumptive Use and Irrigation Water Requirements. No. 1275.* Washington, D. C.: US Department of Agriculture, 1962.

[7] PRIESTLEY, C. H. B., TAYLOR, R. J. On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation. *Monthly Weather Review.* 1972, 106, s. 81–92.

[8] HAMON, W. R. *Estimating Potential Evapotranspiration. PhD dissertation.* Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 1960.

[9] HARGREAVES, G. H., SAMANI, Z. A. Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. *Applied Engineering in Agriculture.* 1985, 1(2), s. 96-99. Dostupné z: https://doi.org/10.13031/2013.26773

[10] OUDIN, L., MOULIN, L., BENDJOUDI, H., RIBSTEIN, P. Estimating Potential Evapotranspiration without Continuous Daily Data: Possible Errors and Impact on Water Balance Simulations. *Hydrological Sciences Journal.* 2010, 55(2), s. 209–222. Dostupné z: https://doi.org/10.1080/02626660903546118

[11] GUPTA, H. V., KLING, H., YILMAZ, K. K., MARTINEZ, G. F. Decomposition of the Mean Squared Error and NSE Performance Criteria: Implications for Improving Hydrological Modelling. *Journal of Hydrology* 2009, 377(1–2), s. 80–91. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009. 08. 003

[12] NASH, J. E., SUTCLIFFE, J. V. River Flow Forecasting Through Conceptual Models Part I – A Discussion of Principles. *Journal of Hydrology.* 1970, 10(3), s. 282–290. https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6

Autoři

Ing. Petr Pavlík
✉ petr.pavlik@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-6138-1156

Ing. Adam Vizina, Ph.D.
✉ adam.vizina@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-4683-9624

Foto: 123RF.com

Pozvánka na putovní výstavu *Historické vodohospodářské objekty, jejich hodnota, funkce a význam pro současnou dobu*

Veľký Kolpašský tajch, Banský Studenec, Slovensko (Foto: Slavomír Červeň, 2021)

Již pátým rokem probíhá výzkum zaměřený na hodnocení historických vodohospodářských objektů v České republice z pohledu jejich významu pro památkovou péči. Jde o široce pojatý interdisciplinární výzkum se zapojením odborníků z VÚV TGM, Metodického centra průmyslového dědictví Národního památkového ústavu, Historického ústavu AV ČR, VÚKOZ a PřF UPOL. Výzkum je realizován v rámci řešení projektu DG18P02OVV019 *„Historické vodohospodářské objekty, jejich hodnota, funkce a význam pro současnou dobu"* financovaného programem NAKI II Ministerstva kultury.

Historické vodohospodářské objekty představují jeden ze segmentů industriálního dědictví. Jsou dokladem technologické vyspělosti společnosti i jejího přístupu k nakládání s vodou v krajině. Tento doposud poněkud opomíjený typ staveb se tým odborníků zmíněného konsorcia pokusil zdokumentovat, identifikovat jejich hodnotu a sestavit komplex kritérií pro hodnocení jejich památkového významu i pro jejich ochranu a obnovu.

Výstava uspořádaná na konci řešení projektu seznámí zájemce s hlavními výsledky a poznatky vzešlými z pětiletého výzkumu, tedy s metodickými přístupy týkajícími se této části kulturního dědictví a zároveň s jejich aplikací na konkrétních objektech. Na příkladech pěti modelových území v rámci České republiky (povodí Svitavy, horní Moravy, Moravice, Ploučnice a oblast Čáslavska), jež se od sebe liší historickým vývojem, způsobem hospodaření i fyzickogeografickými podmínkami, budou představeny různorodé typy vodohospodářských staveb: přehrady, malé vodní elektrárny, vodovody, náhony tesané v pískovcových masivech, objekty vodárenství a mnoho dalších. Pro srovnání budou prezentovány i specifické, památkově chráněné vodohospodářské systémy v blízkém zahraničí, jako jsou např. památky UNESCO – Vodohospodářský systém města Augsburg v Bavorsku a Banskoštiavnické tajchy na Slovensku. Výstava je koncipována jako putovní a je určena široké veřejnosti. Její součástí bude katalog rozvíjející jednotlivá témata prezentovaná na výstavních panelech a sumarizující výsledky projektu.

HARMONOGRAM VÝSTAVY

1.–30. říjen 2022	Hostětín – Komunitní centrum Stará škola
1.–11. listopad 2022	Čáslav – Městská knihovna
14.–20. listopad 2022	Opava – Slezské zemské muzeum
22.–27. listopad 2022	Olomouc – Pevnost poznání (Interaktivní muzeum vědy UPOL)
1.–31. prosinec 2022	Brno – Technické muzeum v Brně

Za řešitelský tým konsorcia vás na výstavu srdečně zvou Miriam Dzuráková (VÚV TGM) a Aleš Vyskočil (Historický ústav AV ČR).

Pozvánka na putovní výstavu *Závlahy – znovuobjevované dědictví, jejich dokumentace a popularizace*

Příklady závlah v současnosti (obr. nahoře – postřikem, východní Čechy) a v minulosti (obr. dole – soustava závlahových kanálů z řeky Moravy, u Chropyně) (Foto: Radek Bachan, VÚV TGM, 2021)

Jako reakce na odvodňování krajiny v moderní éře způsobené intenzifikací zemědělství, vysoušením rybníků či melioračními aktivitami se znovu objevil zájem o opačný proces, tedy o zavlažování. Vzniklé zavlažovací systémy, dnes často nefunkční a torzovitě dochované, se staly předmětem výzkumu projektu, který se snažil zachytit historický vývoj tohoto specifického vodohospodářského oboru i části průmyslu spojeného s realizací závlah a produkcí zařízení k zavlažování půdy. Součástí výzkumu bylo také definování vhodných postupů pro identifikaci závlahových objektů a soustav v krajině pomocí moderních metod a technických nástrojů. V širším kontextu aktuálního boje s dopady sucha by měl projekt a jeho výstupy, včetně výstavy samotné, přispět ke zvýšení povědomí o historii plánování, budování a údržby závlah v českých zemích a přenosu tohoto dědictví do současnosti, včetně lokální úrovně. Záměrem autorů je zachytit jednotlivá témata vizuálně atraktivní formou upřednostňující použití map, rekonstrukcí a obrazového materiálu. Výstava je koncipována jako putovní a je určena široké veřejnosti. Doprovodnou součástí výstavy je recenzovaný katalog, který rozvíjí jednotlivá témata a představuje lokality historických závlahových systémů u nás i v zahraničí uvedené na výstavních panelech. Zároveň sumarizuje výsledky stejnojmenného grantového projektu NAKI, řešeného v letech 2020 až 2022.

HARMONOGRAM VÝSTAVY

1.–30. říjen 2022	Hostětín – Komunitní centrum Stará škola
31. říjen – 11. listopad 2022	Kroměříž – Květná zahrada
14.–21. listopad 2022	Olomouc – Pevnost poznání (Interaktivní muzeum vědy UPOL)
1.–31. prosinec 2022	Brno – Technické muzeum v Brně

Za řešitelský tým konsorcia vás na výstavu srdečně zvou Miloš Rozkošný (VÚV TGM), Zbyněk Sviták (MUNI) a Zbyněk Kulhavý (VÚMOP).

Aktuální informace, včetně upřesnění dalších míst instalace, najdete na webu *https://heis.vuv.cz/projekty/zavlahy*

VTEI/2022/5

Od roku 1959

VODOHOSPODÁŘSKÉ
TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

WATER MANAGEMENT
TECHNICAL AND ECONOMICAL INFORMATION

Odborný dvouměsíčník specializovaný na výzkum v oblasti vodního hospodářství.
Je uveden v Seznamu recenzovaných neimpaktovaných periodik vydávaných v ČR.

Ročník 64

VTEI.cz

Vydává: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka,
veřejná výzkumná instituce, Podbabská 2582/30, 160 00 Praha 6

Redakční rada:
RNDr. Jan Daňhelka, Ph.D., doc. Ing. Michaela Danáčová, PhD., doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur,
doc. Ing. Silvie Heviánková, Ph.D., Mgr. Róbert Chriašteľ, Mgr. Vít Kodeš, Ph.D.,
Ing. Jiří Kučera, Ing. Martin Pavel, Ing. Jana Poórová, Ph.D., Mgr. Hana Sezimová, Ph.D.,
Dr. Ing. Antonín Tůma, Mgr. Lukáš Záruba, Ing. Marcela Zrubková, Ph.D.

Vědecká rada:
doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D., prof. RNDr. Bohumír Janský, CSc.,
prof. Ing. Radka Kodešová, CSc., RNDr. Petr Kubala, Ing. Tomáš Mičaník, Ph.D.,
Ing. Michael Trnka, CSc., Dr. rer. nat. Slavomír Vosika

Šéfredaktor:
Ing. Josef Nistler (josef.nistler@vuv.cz)

Odborné redaktorky:
Mgr. Zuzana Řehořová (zuzana.rehorova@vuv.cz)
Mgr. Hana Beránková (web) (hana.berankova@vuv.cz)

Zdroje fotografií tohoto čísla:
VÚV TGM, shutterstock.com, 123RF.com, vaclavsojka.cz

Grafická úprava, sazba, tisk:
ABALON s. r. o., www.abalon.cz

Náklad 700 ks
Časopis VTEI vychází od roku 2022 v anglické mutaci,
která je k dispozici na https://www.vtei.cz/en/

Příští číslo časopisu vyjde v prosinci.
Pokyny autorům časopisu jsou uvedeny na www.vtei.cz

CC BY-NC 4.0

ISSN 0322-8916
ISSN 1805-6555 (on-line)
MK ČR E 6365

ŠLUKNOVSKÝ VÝBĚŽEK

Červený potok protéká Divokou roklí nedaleko Doubice v severních Čechách polštáři rašeliníků a ploníků. Dovede nás svým tokem ke známé Černé bráně a dále do kaňonu říčky Křinice, která zde tvoří státní hranice se Saskem.

Text a fotografii dodal Václav Sojka, www.vaclavsojka.cz.

VÝZKUMNÝ ÚSTAV
VODOHOSPODÁŘSKÝ
T. G. MASARYKA
veřejná výzkumná instituce

VTEI.cz