



5-6 / 2022

VODOHOSPODÁRSKY SPRAVODAJCA

dvojmesačník pre vodné hospodárstvo a životné prostredie







Vážení čitatelia,

formalizovaná spolupráca krajín – pôvodne predovšetkým na hospodárskom využití Dunaja – sa tiahne späť až do čias osmanských výbojov v strednej a východnej Európe v 17. storočí.

Avšak skutočným míľnikom a reálnym nástrojom spolupráce sa stalo až podpísanie Dohovoru o spolupráci pri ochrane a trvalom využívaní rieky Dunaj v roku 1994. Jeho mimoriadne rýchla ratifikácia v roku 1998 položila legislatívny a inštitucionálny základ dnešnej spolupráce 14 krajín a Európskej únie na ochrane a trvalo udržateľnom využívaní vôd v celom povodí Dunaja. Dohovor takto umožnil zriadenie a efektívnu činnosť Medzinárodnej komisie na ochranu Dunaja, riadiaceho orgánu tohto dohovoru (MKOD/ICPDR).

Medzinárodná komisia na ochranu Dunaja je nielen oficiálnou platformou na implementáciu Dohovoru a technickú spoluprácu strán Dohovoru na všetkých technických, informačných a propagačných aktivitách, ale už od r. 2000 je poverená vládami strán Dohovoru spracovávaním Plánu manažmentu povodia Dunaja a od roku 2009 aj Plánu manažmentu povodňových rizík Dunaja.

Oba plány v r. 2021 revidovala a schválila MKOD v súlade s plánovacím cyklom príslušných smerníc EÚ. Práce na oboch plánoch slúžia nielen formálnemu plneniu povinností členských štátov EÚ vyhotoviť tieto plány aj pre povodia, zdieľanie s nečlenskými štátmi, ale hlavne ako základné strategické dokumenty MKOD, vypracované a implementované na základe oboch smerníc, avšak významne podporujúce konkrétne ciele Dohovoru z roku 1994.

Dohovor o spolupráci pri ochrane a trvalom využívaní rieky Dunaj sa podpísal v Sofii 29. júna 1994. Už od roku 2005 je tento dátum známy, pripomína sa a oslavuje ako „Medzinárodný deň Dunaja“ v celom povodí. Stal sa symbolom začiatku formálnej spolupráce, ochrany a trvalo udržateľného využívania vôd povodia Dunaja, ale hlavne príležitosťou propagovať a priblížiť všetkým obyvateľom a inštitúciám v každej krajine význam Dunaja, existujúce problémy jeho ochrany a najmä oceniť všetky lokálne iniciatívy a posilniť spoločnú zodpovednosť za ochranu a racionálne využívanie vodných zdrojov a ekosystémov závislých od vody.

Dovoľte mi na záver počkať sa celej vodohospodárskej verejnosti za podporu a konkrétne výsledky medzinárodnej spolupráce v povodí Dunaja a zaželať vám krásny Medzinárodný deň Dunaja.

Ivan Zavadský

Výkonný tajomník Medzinárodnej komisie
na ochranu Dunaja

© Vodohospodársky spravodajca

dvojmesačník pre vodné hospodárstvo a životné prostredie / ročník 65

Vydavateľ: Združenie zamestnávateľov vo vodnom hospodárstve na Slovensku, Nábr. arm. gen. L. Svobodu 5, 812 49 Bratislava, IČO: 30 841 721, tel.: +421 (0)2 59 343 336, www.zzv.sk

Redakcia: Nábr. arm. gen. L. Svobodu 5, 812 49 Bratislava, tel.: +421 (0)2 59 343 322, mobil: +421 905 594 435, e-mail: pavel.hucko@vuvh.sk, maria.rimarcikova@vuvh.sk

Redakčná rada: Ing. Marián Bocák, Ing. Stanislav Dobrotka, Ing. Ingrid Grundová, Ing. Pavel Hucko, CSc. (predseda), Ing. Tomáš Ič, prof. Ing. Ľuboš Jurík, PhD., Ing. Danica Lešková, PhD., Mgr. Eva Polakovičová, Ing. Jana Poárová, PhD., Ing. Andrej Šille,

prof. RNDr. Ivona Škultétyová, PhD., Ing. Danka Thalmeinerová, CSc., Ing. Gabriel Tuhý, Dr. Ing. Antonín Tůma, RNDr. Andrea Vranovská, PhD.

Dátum vydania: máj 2022

Zodpovedný redaktor: Ing. Mária Rimarčíková

Grafické spracovanie a tlač: Polygrafické centrum, www.polygrafcentrum.sk

Príspevky sú recenzované.

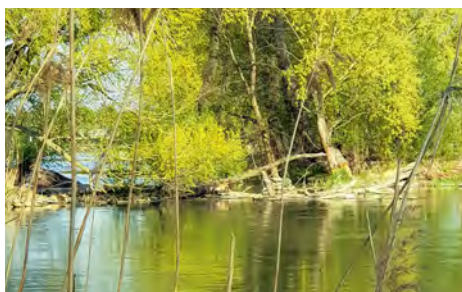
Ďalšie šírenie článkov alebo ich častí je dovolené iba s predchádzajúcim súhlasom vydavateľa.

Pravidlá písania do Vodohospodárskeho spravodajcu nájdete na www.zzv.sk

Informácie o spracúvaní osobných údajov poskytované podľa čl. 13 a 14 Nariadenia nájdete na stránke www.zzv.sk

Evidenčné číslo: EV 3499/09

ISSN: 0322-886X



3 Úvodník

Editorial

I. Závadský

5 Svetový deň vody 2022 – vyhodnotenie súťaže stredných umeleckých škôl

World water day 2022 – artistic competition results

M. Rimarčíková

6 Dunajská deklarácia

Danube Declaration

D. Thalmeinerová

7 Prípadová štúdia udržateľného využívania, ochrany a obnovy Dunaja

Case study of sustainable utilization, protection and restoration of Danube

M. Mišík, V. Novák, D. Thalmeinerová

9 História spolupráce Slovenskej republiky a Ukrajiny na hraničných vodách

History of co-operation of Slovak Republic and Ukraine on boundary waters

D. Simonová

12 Zhodnotenie hydrologického roka 2021

Assessment of the hydrological year 2021

K. Jeneiová, K. Kotríková, L. Blaškovičová, V. Gápelová, K. Slivková, B. Síčová, S. Liová

16 Znečistenie podzemných vôd dusičnanmi z poľnohospodárskych činností v zraniteľných oblastiach

Groundwater nitrate pollution from agricultural sources in Nitrate Vulnerable Zones

R. Cibulka, A. Tlučáková

23 Eutrofizácia povrchových vôd - dôsledok znečisťovania živinami

Eutrophication of surface water – consequence of the nutrient pollution

E. Rajczyk, L. Sumegová

30 Analýza zásobníh objemu nádrže v podmínkách nejistot klimatické zmeny

Reservoir Storage-Yield Analysis under the Uncertainty of Climate Change

M. Bednář, D. Marton

38 Normy STN

Slovak technical standards

D. Borovská

Foto na 1. a 4. strane obálky: Ramenná sústava rieky Dunaj, archív VV, š. p.

Foto na 2. strane obálky: Dunajské luhy, M. Rimarčíková

Svetový deň vody 2022 – výsledky súťaže stredných umeleckých škôl

Ing. Mária Rimarčíková

Výskumný ústav vodného hospodárstva

Výskumný ústav vodného hospodárstva aj tento rok zorganizoval v rámci Svetového dňa vody umeleckú súťaž, ktorú vyhlásili Združenie zamestnávateľov vo vodnom hospodárstve na Slovensku a Asociácia vodárenských spoločností.

Témou súťaže bolo motto *Podzemné vody – zviditeľniť neviditeľné* a v rámci vyhodnotenia prác študentov podľa zadania, ktorým bola fotografia a fotografická koláž, boli vyhlásené tri ceny:

Cena Výskumného ústavu vodného hospodárstva, ktorú získala Daniela Pišáková za fotografiu Krásy temných jazierok Demänovskej jaskyne slobody.

Cena Združenia zamestnávateľov vo vodnom hospodárstve na Slovensku putovala do rúk Kataríny Urbánkovej za fotografiu Planéta.

Cena Asociácie vodárenských spoločností, ktorú si prevzal Ľubomír Mafaš za fotokoláž 3D priestorového objektu – diorámy.

Veľmi si vážime a ďakujeme všetkým študentom, ktorí sa do súťaže zapojili.

Víťazom srdečne blahoželáme.



Katarína Urbánková, Planéta

Dunajská deklarácia

Ing. Danka Thalmeinerová, CSc.

Ministerstvo životného prostredia SR, sekcia vôd

Každých šesť rokov organizuje Medzinárodná komisia pre ochranu Dunaja stretnutie na úrovni ministrov krajín Dohovoru o ochrane rieky Dunaj. Dôvodom stretnutia je prijatie a vyjadrenie politického záväzku plniť plány manažmentu povodia a manažmentu povodňových rizík Dunaja. Tento slávnostný akt je vyvrcholením úsilia 15 krajín a Európskej únie v spracovaní plánu manažmentu medzinárodného správneho územia povodia Dunaja a medzinárodného plánu manažmentu povodňového rizika v povodí Dunaja. Podpisom **Dunajskej deklarácie** krajiny vyjadrujú vôľu spoločne pracovať na ochrane a udržateľnom využívaní Dunaja.

Kým každá dunajská deklarácia, prirodzene, zdôrazňuje význam ICPDR ako koordinačného mechanizmu v rámci povodia Dunaja, táto deklarácia prináša aj nové otázky, reviduje staré prístupy a vo všeobecnosti ukazuje cestu vpred ďalšími opatreniami.

HISTÓRIA

Prvé ministerské stretnutie ICPDR sa konalo vo Viedni 13. decembra 2004. Signatári Dohovoru o ochrane rieky Dunaj sa stretli pri príležitosti 10. výročia jeho podpísania. Cieľom stretnutia bolo zrekapitulovať predovšetkým dosiahnuté úspechy medzinárodnej spolupráce. Rámcová smernica EÚ o vode už bola kľúčovou hybnou silou mnohých nových zmien v deklarácii z roku 2004 a úlohou ICPDR sa stalo koordinovanie prác na prvé plány manažmentu povodia Dunaja do roku 2009. Prvá deklarácia bola odvážnym krokom s ambicióznymi cieľmi – ako „*najneskôr do roku 2015 zastaviť vypúšťanie znečistených odpadových vôd z miest nad 10 000 obyvateľov*“, „*zvrátiť trend degradácie vodných zdrojov, a to vrátaním úsekov Dunaja a jeho prítokov do prirodzenejšieho stavu*“. V čase podpisu bola ICPDR „mladou komisiou“. Štyri členské krajiny EÚ – Maďarsko, Slovensko, Česko a Slovinsko – v roku 2004 ešte len vstupovali do Európskej únie a hlbšie chápanie podunajského regiónu ako „susedstva“ prepojeného jeho vodami ešte nebolo presne formulované.

Rýchly posun nastal do roku 2010, a ďalšie dve krajiny, Bulharsko a Rumunsko, sa stali členskými štátmi EÚ. „*Dunajské vody zdieľame všetci, a preto zdieľame aj zodpovednosť*“, povedal prezident ICPDR Mitja Bricelj na stretnutí vo Viedni 16. februára 2010. „*Stretávame sa, aby sme zabezpečili, že zdroje v povodí Dunaja budú spravované environmentálne udržateľným spôsobom*“, bolo hlavným bodom druhej dunajskej deklarácie. Výzvou a politickým záväzkom sa stalo mobilizovať investície, ktoré povedú k zníženiu organického znečistenia a znečisteniu živinami. Ako špecifický záväzok sa prijal zavedenie a podpora bezfosfátových detergentov na všetky trhy v dunajskom území.

Tretie ministerské stretnutie sa konalo vo Viedni v roku 2016 – keď sa už aj Chorvátsko stalo členským štátom EÚ – a posolstvo ICPDR odštartovalo „tri piliere“ činnosti ICPDR: Čistejšie, zdravšie a bezpečnejšie povodie Dunaja. Na stretnutí sa prijal aj prvý plán manažmentu rizika povodní na Dunaji. Dôležitým aspektom prijímania plánov manažmentu povodia Dunaja a plánu manažmentu povodňových rizík povodia Dunaja v roku 2016 bol konzultačný proces samotného spracovania plánov. ICPDR koordinovala konzultačné stretnutia, ktoré priamo do procesu prípravy plánov zapojili environmentálne mimovládne organizácie a iné kľúčové zainteresované strany.

DUNAJSKÁ DEKLARÁCIA 2022

Vo februári 2022 sa konalo štvrté stretnutie ministrov, žiaľ z dôvodu pandemických opatrení iba formou on-line. Na videokonferencii sa konštatovalo, že spoločné vody v povodí Dunaja sú spoločne riadené prísnejšou a lepšie informovanou cezhraničnou legislatívou než kedykoľvek predtým. Išlo aj o príležitosť zhodnotiť, že za poslednú dekádu sa významne zlepšil stav Čierneho mora, vyčlenili sa verejné financie na budovanie vodohospodárskej infraštruktúry na zabezpečenie čistenia komunálnych odpadových vôd, zlepšila sa spoločná ochrana podzemných vôd a pokrok sa dosiahol v spoločnej koordinácii v oblasti adaptácie na zmenu klímy. Slovenský minister životného prostredia Ján Budaj zdôraznil aj dôležitosť odstraňovania umelých bariér na vodných tokoch. Rieka Dunaj bola v minulosti pulzujúcou vodnou sieťou s ramenami, ktoré však ľudia postupne zarovnali a skanalizovali. Minister Budaj tiež podporil smerovanie vedeckých, ako aj praktických projektov na ochranu jesetera. Rukopis na Dunajskej deklarácii majú odborníci Ministerstva životného prostredia SR a rezortných organizácií – Výskumný ústav vodného hospodárstva, Slovenský hydrometeorologický ústav a štátne podniky Slovenský vodohospodársky podnik a Vodohospodárska výstavba.

Deklarácia stanovuje víziu rozvoja a implementácie „*opatrení na udržateľnú adaptáciu na urýchléné zvýšenie odolnosti vodných ekosystémov voči vplyvom zmeny klímy*“. Minister Budaj zdôraznil, že dnes stojíme pred naliehavou výzvou – prepojiť hospodárske využívanie vôd a ochranu vôd, čo sa však navyše komplikuje vinou ďalších naliehavých výziev – adaptácia na nepriaznivé dôsledky zmeny klímy, ochrana biodiverzity a prechod na uhlíkovo neutrálnu hospodárstvo. V závere svojho príhovoru minister Budaj informoval, že na Slovensku sa pripravuje nová koncepcia vodnej politiky, ktorá sa zameria na ochranu a obnovu prirodzených záplavových území, mokradí, na ochranu prirodzených, voľne tečúcich úsekov vodných tokov a revitalizáciu regulovaných

úsekov tokov všade tam, kde je to možné. Dodal, že návrh koncepcie obsahuje aj osobitnú kapitolu venovanú rieke Dunaj. Táto kapitola je zaradená do desiatich pilierov práve preto, že ide o významnú medzinárodnú rieku, ktorá spája nielen mnoho národov, ale aj množstvo rôznorodých ľudských aktivít, a zároveň vytvára dosiaľ zachované, avšak veľmi krehké,

unikátne prírodné dedičstvo s množstvom rôznych druhov organizmov. V oblasti využívania vôd sa budú preferovať také opatrenia, ktoré majú pozitívny vplyv tak na stav vôd, ako aj na priaznivý stav rastlinných a živočíšnych druhov.

Spracované z Danube Watch, 2/2021

Prípadová štúdia udržateľného využívania, ochrany a obnovy Dunaja

¹Ing. Martin Mišík, PhD.,²Ing. Vladimír Novák,²Ing. Danka Thalmeinerová, CSc.

¹ALCEDO RIVER CLINIC, ²Ministerstvo životného prostredia SR, sekcia vôd

ÚVOD

Súčasnou spracovania novej Koncepcie vodnej politiky do roku 2030 s výhľadom do roku 2050 a jedným z jej pilierov je aj koncept udržateľného využívania, ochrany a obnovy Dunaja. Dunaju sa venovala osobitná pozornosť, nielen pre jeho medzinárodný význam, z hľadiska ekonomického využitia, unikátneho a krehkého životného prostredia, potreby udržateľnej koordinácie hydroenergetiky, vodnej dopravy, protipovodňovej ochrany, s ochranou a obnovou prírody, ale aj pre mierku (veľkosť), ktorou vybočuje z ostatných riek a povodí na Slovensku. Ucelenú koncepčnú prípadovú štúdiu pre Dunaj vypracovala expertná skupina (ES) Dunaj. Na prípadovej štúdii pre Dunaj do roku 2030 s výhľadom do roku 2050 pracovalo približne jeden rok vyššie 40 expertov z rôznych relevantných oblastí. O vedenie a koordináciu ES Dunaj sa staral tandem, gestor Vladimír Novák a odborný garant Martin Mišík. Vzhľadom na pandémiu COVID-19 sa stretnutia a diskusie expertov uskutočňovali formou on-line mítingov a práce na textoch a pripomienkovaní pomocou zdieľaných dokumentov a e-mailov. Odborníčky a odborníci ES Dunaj participatívnym spôsobom diskutovali o súčasných problémoch a o možnostiach riešení, napríklad:

- zastaviť degradáciu prírodného prostredia Dunaja a jeho okolia,
- postupne zlepšovať stav Dunaja a jeho funkcie na základe odborne podložených postupov,
- navrhnuť a koordinovať princípy na udržateľné využívanie, ochranu a obnovu Dunaja.

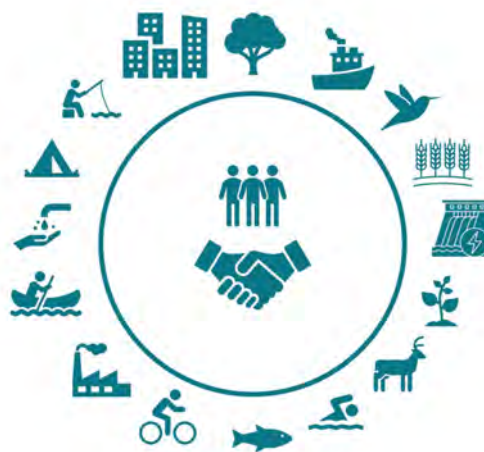
VÍZIA O DUNAJI

Princípom udržateľnosti je rovnováha a vyrovnanosť troch pilierov – environmentálneho, sociálneho a ekonomického. Práve o vyváženosti týchto troch pilierov sa Koncepcia pre Dunaj usiluje. V súčasných podmienkach 3. dekády 21. storočia je posun oproti 20. storočiu vo všetkých troch pilieroch

výrazný. Preto bolo jasné, že nová Koncepcia pre Dunaj musí na tieto zmeny reagovať, meniť zaužívané pohľady a postupy. Zladenie rôznych, niekedy protichodných, záujmov a aktivít je zložité a nezaobíde sa bez kompromisov. ES Dunaj sa pri tejto snahe opierať o súčasné aktuálne vedecké a odborné poznatky, legislatívne požiadavky, medzi ktorými majú zásadné miesto environmentálne ciele Európskej rámcovej smernice o vode (RSV), princípy cezhraničnej spolupráce a medzinárodnej koordinácie v povodí Dunaja, ďalšie medzinárodné strategické dokumenty z oblasti protipovodňovej ochrany, vnútrozemskej plavby a hydroenergetiky, ktoré požiadavky RSV rešpektujú.

Vízia na komplexné udržateľné využívanie, ochranu a obnovu Dunaja v kontexte súčasných priorit spoločnosti a vplyvov/dosahov zmeny klímy je opísaná v nasledujúcich bodoch:

- Dunaj bude tam, kde je to možné, čo najbližšie k prírodnému stavu; bude dosahovať dobrý ekologický stav/potenciál a prírodné prostredie bude mať bohatú druhovú rozmanitosť,
- alúvium Dunaja bude cenným a kvalitným zdrojom pitnej vody,



- zabezpečiť sa potrebný stupeň protipovodňovej ochrany na dôležité ľudské aktivity a infraštruktúru,
- vodné elektrárne na Vodnom diele (VD) Gabčíkovo budú efektívne vyrábať elektrinu,
- na vodnej ceste medzinárodného významu sa zabezpečia podmienky na vykonávanie bezpečnej a efektívnej plavby lodí vnútrozemskej plavby a malých plavidiel,
- Dunaj bude ozdobou miest a obcí, ktoré ležia na jeho brehoch, ich obyvatelia a návštevníci budú využívať brehy Dunaja ako verejne prístupný priestor na oddych, rekreáciu a vzdelávanie,
- správa Dunaja, rozvojové zámery a projekty na Dunaji budú mať širokú verejnú podporu, ktorá sa dosiahne vhodnou participáciou rôznych dotknutých aktérov podľa možností už pri definovaní zámerov,
- inštitúcie podieľajúce sa na správe, využívaní, ochrane a obnove Dunaja budú mať potrebné kapacity, odbornú úroveň, materiálne vybavenie a zodpovedajúce financovanie, budú vzájomne efektívne a koordinovane spolupracovať na dosiahnutí spoločných cieľov a ich zodpovednosti a kompetencie budú jasne a logicky definované,
- manažment Dunaja a všetky zámery na jeho úpravy a obnovu sa budú koordinovať so susednými krajinami, ako aj v rámci medzinárodného povodia Dunaja.

CIELE A OPATRENIA PRE DUNAJ

Vychádzajúc z vízie charakterizovali sa súčasné problémy, definované ciele a zodpovedajúce opatrenia na ich dosiahnutie. ES Dunaj určila 28 cieľov v 10 oblastiach a na ich splnenie spolu 81 opatrení.

Prioritné opatrenia:

- realizovať revitalizačné úpravy na zlepšenie hydromorfologických parametrov Dunaja; obnoviť laterálnu spojitosť – obnoviť prírodné brehy, pobrežné zóny a bočné ramená; zabezpečiť pozdĺžnu spojitosť a priechodnosť migračných bariér pre ryby, iné vodné organizmy a rekreačné plavidlá; zabezpečiť prirodzenú variabilitu a dynamiku prúdenia; zlepšiť dotáciu vody do ohrozených ramenných ekosystémov, zlepšiť podmienky na výskyt a reprodukciu pôvodných druhov rýb vrátane dunajských jeseterov implementáciou opatrení Paneurópskeho akčného plánu pre jesetery;
- realizovať komplexný manažment sedimentov na VD Gabčíkovo a podporiť prirodzený prechod sedimentov cez vzdúvacie objekty a úseky tokov cielenými technickými a revitalizačnými opatreniami; pravidelné, systematické a udržateľné odstraňovanie nánosov sedimentov na potrebných miestach; nakladanie so sedimentmi v kombinácii opatrení – opätovné navrátenie sedimentov do Dunaja, deponovanie na určených miestach mimo zdrže a v zdrži, komerčné využitie; pri zohľadnení príslušných ekologických, technických a ekonomických aspektov;
- zlepšiť podmienky na plavbu; úpravy a údržba plavebnej

dráhy, kompromisne zohľadňujúce požiadavky na parametre plavebnej dráhy a jej efektívnu a udržateľnú údržbu, s požiadavkami na ochranu vôd v zmysle environmentálnych cieľov rámcovej smernice o vode; zlepšiť podmienky na športovú a rekreačnú plavbu;

- zlepšiť systém protipovodňovej ochrany a adaptovať ho na klimatické a antropogénne zmeny v povodí, vhodnými opatreniami zvýšiť povodňovú kapacitu problémových úsekov a objektov.
- Generálne zásady opatrení na Dunaji:
- pri hodnotení nových zámerov sa budú uprednostňovať riešenia s viacúčelovým synergickým pozitívnym efektom pred jednoúčelovými opatreniami;
- v počiatočnej fáze prípravy zámerov a opatrení na Dunaji je potrebné identifikovať zúčastnených aktérov a dotknuté skupiny a participatívnym spôsobom hľadať riešenie akceptovateľné a podporované zúčastnenými stranami;
- pri prevádzke, údržbe a obnove infraštruktúry (aj existujúcej), ktorá spôsobuje zhoršenie hydromorfologických parametrov a ekologického stavu Dunaja, je potrebné uplatňovať zásadu znečisťovateľ/užívateľ/ten, kto spôsobil poškodenie, platí, zavedením pravidelného financovania revitalizačných opatrení na zmiernenie hydromorfologických zmien, premietnutím do nákladov na prevádzku a údržbu vodných elektrární, plavebnej dráhy a systémov protipovodňovej ochrany;
- pri analýzach efektívnosti plánovaných opatrení je potrebné zohľadňovať ekosystémové služby;
- opatrenia, ktoré by si vyžadovali výnimku na dosiahnutie dobrého ekologického stavu/potenciálu vodných útvarov na Dunaji, v zmysle cieľov RSV, nie sú v súlade s koncepciou vodnej politiky do roku 2030 s výhľadom do roku 2050;
- v rámci opatrení a manažmentu sa budú uplatňovať princípy prírody blízky riešení.

ZÁVER

Celková idea, princípy, podstatná časť obsahu a navrhovaných opatrení získali širokú podporu odborníkov a odborníkov ES Dunaj, ako aj širšej verejnosti v rámci verejného pripomienkovania. Niektoré otvorené otázky, témy a opatrenia koncepcie bude treba ešte doriešiť a hľadať kompromisné návrhy, ktoré zabezpečia akceptovateľnosť, splnenie požiadaviek a potrieb širokého okruhu aktérov. Koncepcia vodnej politiky spolu s prípadovou štúdiou Dunaj je v procese medzirezortného pripomienkového konania. Očakáva sa, že vláda SR koncepciu schválí do leta 2022.

Koncepciu budú realizovať príslušné inštitúcie relevantných oblastí správy, využívania a ochrany Dunaja. Expertná skupina Dunaj bude pokračovať v činnosti ako odborná a participatívna platforma na formulovanie odporúčaní smerovania vykonávania koncepcie a koordináciu zámerov na Dunaji.

Literatúra:

DUNAJ – Prípadová štúdia udržateľného využívania, ochrany a obnovy, verzia na verejné pripomienkovanie. Ministerstvo životného prostredia SR, 2021. Koncepcia vodnej politiky SR do roku 2030 s výhľadom do roku 2050, verzia na verej-

né pripomienkovanie. Ministerstvo životného prostredia SR, 2021. Dostupné na internete <https://www.minzp.sk/voda/koncepcne-dokumenty/koncepcia-vodnej-politiky-roky-2021-2030-vyhľadom-do-roku-2050.html>.

História spolupráce Slovenskej republiky a Ukrajiny na hraničných vodách

Ing. Dorota Simonová

Slovenský hydrometeorologický ústav

Mnoho rokov spôsobovali povodne v povodiach riek Latorice, Uhu a Tisy veľké škody. Oddelené a nekoordinované úsilie zamerané na ochranu výrobných objektov, domov, poľnohospodárskej pôdy, lesov, ciest a iných objektov pred povodňami nemalo žiaduci efekt, preto bolo treba hľadať jednotné riešenie, pustiť sa do práce spoločne.

Najvýznamnejšími tokmi, ktorých sa dotýka cezhraničná spolupráca, sú rieky Uh a Latorica. Povodia týchto riek patria do povodia rieky Tisy. Územie Západných Karpát je jedno z najvlhkejších v Európe a patrí medzi vysoko rizikové povodňové regióny, čo je spôsobené hlavne hydrometeorologickou a synoptickou situáciou rovnako ako aj špeciálnou štruktúrou riečisk horských riek, pôdy a hornín. Východoslovenská nížina je rozsiahla rovinná oblasť rieky Bodrog. Na západe je ohraničená rozvodím riek Ondavy a Laborca, na severe zalesnenými výbežkami stredných Karpát, na severovýchode pohorím Vihorlat, na východe štátnymi hranicami s Ukrajinou, na juhu štátnymi hranicami s Maďarskom. Plocha tejto oblasti zaberá vyše 200-tisíc hektárov a v minulosti ročne z celkovej rozlohy vyše 150-tisíc hektárov pôdy podmáčala a zaplavovala veľká voda. Na mnohých miestach v nízko položených preliačinách zostávala voda bez odtoku až do vyparenia a vytvárala rozsiahle močiare, ktoré boli vhodným prostredím pre škodlivý hmyz a zárodky rôznych chorôb ľudí i domácich zvierat. Práve Východoslovenská nížina bola typickým príkladom územia, na ktorom bolo nutné zásahom človeka korigovať podmienky, ktoré po stáročia vytvorila príroda.

Československé vodohospodárske orgány sa už od roku 1948 zaoberali komplexným riešením vodohospodárskych problémov na území Východoslovenskej nížiny. Prevažná časť povodí riek Latorice a Uhu sa rozkladá na zakarpatskom území Ukrajiny, preto vyriešenie vodohospodárskych úprav na ochranu pred veľkými a vnútornými vodami na území oboch štátov bolo od seba závislé a jedno druhým podmienené. Po druhej svetovej vojne, po vzniku RVHP (Rada vzájomnej hospodárskej pomoci) došlo k rozvoju spolupráce aj vo vodnom hospodárstve. Rozvíjala sa predovšetkým spolupráca na úseku hydrometeorológie, vodohospodárskeho dispečingu, jednotnej metodiky sledovania kvality vôd a spoločného využitia rieky Tisy.

Prvé stretnutie sovietskych a československých vodohospodárskych odborníkov sa uskutočnilo na porade splnomocnencov ZSSR, MLR a ČSSR v dňoch **10. – 13. júna 1953 v Budapešti**. Na porade sa prerokúval projekt úpravy rieky Tisy v mieste styku hraníc troch štátov. Všetky strany vyslovili názor, že treba spoločne odsúhlasovať práce v povodiach hraničných riek.

Otázka úpravy hraničných riek Latorice a Uhu sa prerokovala v dňoch **4. – 8. mája 1954 v Kyjeve**, kde sa delegácie československých a sovietskych odborníkov vzájomne informovali o navrhovaných plánoch prác, o vodohospodárskych zámeroch na úpravách riek Uh a Latorica. Na tomto rokovaní sa stanovilo, že prvoradou úlohou sú otázky vzájomnej výmeny hydrologických údajov, určenie hydraulických parametrov a režimu riek, ktoré sú potrebné na vypracovanie štúdií a projektov vzájomného nadviazania objektov na hraničných vodách.

Po výmene názorov o otázkach úpravy hraničných vôd a v súlade s dohovorom uskutočneným diplomatickou cestou sa v dňoch **21. – 28. apríla 1955 v Užhorode** uzavrela a podpísala **Dohoda medzi vládou ZSSR a vládou ČSSR o úprave vodného režimu riek Latorice a Uhu**. Tak sa spolupráca v oblasti vodného hospodárstva postavila na oficiálny medzištátny základ a takto sa začali práce zamerané na ochranu pred povodňami, na boj za každý hektár poľnohospodárskej pôdy a na vytvorenie podmienok na bezpečnosť každej obce a sídliska.

V tom istom roku (**1955**) sa podpísala **Dohoda o vodnom hospodárstve na hraničných vodách medzi ZSSR a ČSSR**. Podpísaním tohto dokumentu sa začalo nové obdobie spolupráce medzi dvoma susednými krajinami.

Od samého počiatku uzavretia dohody o hraničných vodách bolo zabezpečenie protipovodňovej ochrany dôležitým ohniskom v spolupráci. V tejto oblasti sa snažili československé a sovietske vodohospodárske orgány navzájom si pomáhať. Podľa vopred určených termínov si odovzdávali informácie o hydrologickej situácii v povodiach riek Latorice, Uhu a Tisy, údaje o zrážkach, snehovej pokrývke, teplotách vody, vodných stavoch, predpovede očakávaných povodní a ďalšie dáta. V zimnom období, pred príchodom jarných vôd, sa každoročne zabezpečovala vzájomná informovanosť o stave zásob vody v snehovej pokrývke. Hydrometeorologické služby sa včas a pravidelne informovali o vzniku povodní v horných úsekoch riek a poskytovali údaje o skutočných a očakávaných stavoch a prietokoch, ktoré boli nevyhnutné na zostavenie predpovedí o priebehu povodňovej vlny na dolných úsekoch riek. Počas trvania SPA (stupeň povodňovej aktivity) bolo zabezpečené nepretržité spojenie a vzájomná informovanosť o povodňovej situácii. Vodohospodárske orgány oboch strán okrem toho zaviedli operatívne spojenie, ktoré vytváralo podmienky na včasnú pripravenosť záchranných oddielov a zabezpečenie povodňových opatrení. Operatívne plány povodňovej ochrany sa odsúhlasovali na stretnutiach pracovníkov vodného hospodárstva, pričom sa určoval rozsah informácií, manipulačné poriadky

čerpacích staníc, retenčné objemy v nádržiach a ďalšie údaje, ako aj miesta prechodu hraníc, ak by bola potrebná vzájomná pomoc. Po povodniach sovietski a československí experti uskutočňovali spoločné prehliadky vodohospodárskych diel a ďalších dôležitých objektov slúžiacich na protipovodňovú ochranu na hraničných úsekoch riek a spoločne určovali rozsah potrebných rekonštrukcií a opráv.

Na počesť spolupráce vodohospodárskych orgánov ZSSR a ČSSR bol v roku **1963** na štátnych hraniciach pri rieke La-

na obdobie 10 rokov a automaticky sa predlžuje vždy na ďalších 5 rokov, ak ju jedna zo zmluvných strán nevypovie písomne diplomatickou cestou. Dňom nadobudnutia platnosti Dohody stratila platnosť Dohoda medzi vládou ČSSR a vládou ZSSR o vodohospodárskych otázkach na hraničných vodách z roku 1968. Potom, ako v roku 1999 pristúpila Ukrajina k Dohovoru o ochrane a využívaní hraničných vôd a medzinárodných jazier a hlavne po vstupe Slovenskej republiky do Európskej únie od 1. mája 2004, nadobudla slovensko-ukrajín-



V rámci rokovania Komisie v júni 2019 odborníci navštívili „nultý kilometer Dunaja“, kde sa rieka vlieva do Čierneho mora

torica postavený pamätný žulový stĺp, na ktorom bolo vyryté slovo „DRUŽBA“ a text „Na znak spolupráce vodohospodárskych orgánov ČSSR a ZSSR pre ochranu československého a sovietskeho územia pred záplavami, ktorá sa uskutočnila na základe Dohovoru medzi vládami ČSSR a ZSSR“.

Aktívna spolupráca pokračovala nepretržite, čoho dôkazom bolo, že **26. novembra 1968** sa v Bratislave podpísala nová **Dohoda o vodohospodárskych otázkach na hraničných vodách**, keď predchádzajúca takmer po 15 rokoch stratila platnosť. Na jej základe vznikla Československo-sovietska spoločná technická komisia pre vodohospodárske otázky na hraničných vodách.

Dňa 6. mája 1971 sa v Bratislave podpísala **Dohoda o nadviazaní priamej vedecko-technickej spolupráce medzi ČSSR a ZSSR v oblasti meliorácií a vodného hospodárstva**, ktorá nadobudla právoplatnosť dňom podpisu.

Spolupráca v oblasti hraničných vôd sa realizovala na základe platných dohôd v tomto duchu až do roku 1989. Práce čiastočne prerušili rozsiahle politické a spoločenské zmeny v oboch dotknutých štátoch v rokoch 1989 a 1993. V roku 1991, po rozdelení Sovietskeho zväzu, vznikla samostatná a zvrchovaná Ukrajina, a preto sa 14. júna 1994 v Bratislave podpísala medzivládna **Dohoda medzi vládou Slovenskej republiky a vládou Ukrajiny o vodohospodárskych otázkach na hraničných vodách** (ďalej len „Dohoda“), ktorá vstúpila do platnosti 15. decembra 1995. Dohoda sa uzatvorila

ská spolupráca v oblasti hraničných vôd širší medzinárodný význam.

Táto Dohoda sa vzťahuje na všetky vodohospodárske opatrenia vykonané na hraničných vodách, ktoré môžu ovplyvniť hydrológiu povrchových a podzemných vôd, vodohospodársku bilanciu, úpravu vodných tokov, stavby nádrží a ochranných hrádzí, vodohospodárske meliorácie, ochranu proti povodňam a ľadochodom, zásobovanie vodou, ochranu povrchových a podzemných vôd pred znečistením, reguláciu a komplexné využitie vôd v povodiach hraničných riek, prevádzku technických zariadení a ich údržbu v technicky vyhovujúcom stave, ochranu tokov a príslušných území proti vodnej erózii, a vzťahuje sa aj na iné vodohospodárske opatrenia.

Spolupráca vo vodohospodárskej oblasti na hraničných vodách s Ukrajinou dnes existuje v zmysle tejto Dohody, na základe ktorej bola vytvorená Slovensko-ukrajinská komisia pre hraničné vody (ďalej len „Komisia“). Na základe Štatútu Komisie, ktorý je prílohou Dohody, vymenuje každá zo zmluvných strán vládneho splnomocnenca, jeho zástupcu a vedúcich pracovných skupín. Splnomocnenca vlády SR pre vodohospodárske otázky na hraničných vodách s Ukrajinou vymenúva vláda Slovenskej republiky zo sekcie vôd Ministerstva životného prostredia SR. Na riešenie úloh v jednotlivých oblastiach spolupráce sú vytvorené pracovné skupiny a skupiny expertov. Komisia na každoročnom zasadnutí rieši a prerokuje otázky vodného hospodárstva na hraničných vodách.

Na spoluprácu vo vodohospodárskych otázkach na hraničných vodách s Ukrajinou boli vytvorené tri pracovné skupiny:

- Pracovná skupina pre hydrometeorológiu Slovensko-ukrajinskej komisie pre hraničné vody;
- Pracovná skupina pre ochranu kvality hraničných vôd Slovensko-ukrajinskej komisie pre hraničné vody;
- Pracovná skupina technických expertov pre protipovodňovú ochranu Slovensko-ukrajinskej komisie pre hraničné vody.

Spolupráca v rámci pracovných skupín je v súlade s týmito zásadami spolupráce a smernicami schválenými Komisiou:

- Zásady spolupráce v oblasti hydrometeorológie na hraničných tokoch medzi Slovenskou republikou a Ukrajinou;
- Smernica na projektovanie vodohospodárskych opatrení na slovensko-ukrajinských hraničných vodách;
- Smernica na vyznenie havarijných znečistení slovensko-ukrajinských hraničných vôd;
- Smernica na ochranu proti povodňam, vnútorným vodám a proti ľadu na slovensko-ukrajinských hraničných vodách;
- Smernica na odbery vzoriek, analýzy a hodnotenia kvality vôd na slovensko-ukrajinských vodných tokoch a opatrenia realizované pri mimoriadnom zhoršení kvality vôd.

Plán práce pracovných skupín sa schvaľuje každoročne na rokovaní Komisie.

V rámci spolupráce jednotlivých pracovných skupín sa zabezpečujú úlohy súvisiace s vodohospodárskymi otázkami v nasledujúcich oblastiach:

- zabezpečenie organizačných a inžiniersko-technických opatrení na zlepšenie protipovodňovej ochrany a na predchádzanie škodlivým vplyvom povodní na slovensko-ukrajinských prihraničných územiach;
- vykonávanie prehliadok technického stavu vodných tokov a vodných stavieb spoločného záujmu;
- vytvorenie havarijných zásob materiálových a technických prostriedkov ochrany pred povodňami;

- zabezpečenie operatívnej výmeny aktuálnych a predpovedaných hydrometeorologických informácií na spoločných vodných tokoch s cieľom varovania pred škodlivými účinkami vody na slovenskom a ukrajinskom území;
- vykonávanie spoločných a paralelných meraní prietokov vody na hraničných profiloch riek Uh a Latorica;
- vykonávanie spoločnej analýzy a bilancie prietokov vody na hraničných profiloch;
- zabezpečenie pravidelného sledovania kvality hraničných vôd;
- spolupráca pri predchádzaní mimoriadnemu znečisteniu hraničných vôd;
- preskúmanie projektových možností na zmenšenie zaťaženia povrchových vôd.

V priebehu rokov sa vyriešil celý rad teoretických a praktických technických otázok a výmena skúseností bola prospešná obidvom stranám. Spolupráca v oblasti vodného hospodárstva na hraničných vodách bola a je plodná nielen v medziach uzavretej Dohody, ale tieto rokovania prerástli aj do priateľských stretnutí. V rámci rokovaní sa organizujú exkurzie na vodohospodárske objekty krajiny, v ktorej sa koná rokovanie.

Povodne sú prírodný jav, ktorý nepozná štátne hranice, pretože priestor na ich vznik a postup vymedzujú prírodné hranice povodí. Praktické dlhoročné skúsenosti z priebehu povodní opakovane potvrdili, že lokálne opatrenia realizované len v častiach povodí neprinášajú potrebné účinky. Preto je nutné robiť efektívne opatrenia v celých povodiach a práve zdokonalenie protipovodňovej ochrany závisí od spolupráce a úrovne koordinácie na bilaterálnej úrovni medzi susediacimi štátmi.

Musíme mať stále na pamäti, že vody a rieky, hoci v niektorých prípadoch tvoria štátnu hranicu, nás nerozdeľujú, ale spájajú!

Foto: archív SHMÚ

Literatúra:

Autorský kolektív, 1975: *20 rokov spolupráce ČSSR a ZSSR na hraničných vodách*. Dohoda medzi vládou Slovenskej republiky a vládou Ukrajiny o vodohospodárskych otázkach na hraničných vodách (1994) a jej príloha: Štatút Slovensko-ukrajinskej komisie pre hraničné vody.

Vyhláška č. 63/1969 Sb. Vyhláška ministra zahraničných vecí o Dohode medzi vládou Československej socialistickej republiky a vládou Svazu sovietskych republik o vodohospodárskych otázkach na hraničných vodách.

Zhodnotenie hydrologického roka 2021

**Ing. Katarína Jeneiová, PhD., Ing. Katarína Kotríková, PhD., Ing. Lotta Blaškovičová, PhD.,
Ing. Viera Gápelová, Mgr. Katarína Slivková, Ing. Beáta Síčová, Ing. Soňa Liová**
Slovenský hydrometeorologický ústav

Anotácia

Hydrologický rok 2021 bol na základe operatívnych údajov zo 45 vodomerných staníc vyhodnotený z hľadiska vodnosti na väčšine územia ako normálny, na severe Slovenska v povodí Váhu ako prevažne podnormálny, v povodí Slanej, Hornádu a Bodrogu ako nadnormálny.

ÚVOD

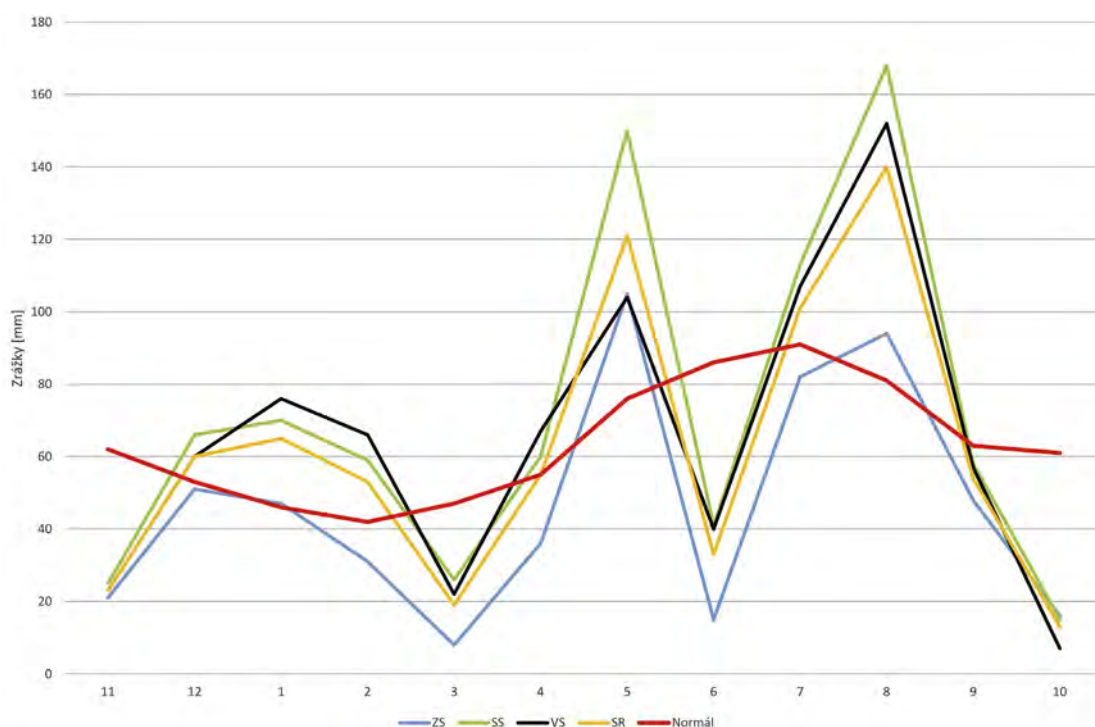
V hydrologickom roku 2021 zasiahli Slovensko v mnohých povodiach väčšmi ako nedostatok vody a sucho povodňové situácie. V tomto článku pri hodnotení hydrologického roka porovnávame operatívne (predbežné) prietokové údaje s dlhodobými údajmi za aktuálne platné referenčné obdobie 1961 – 2000.

KLIMATICKÉ POMERY

Po rokoch 2016, 2019 a 2020, tromi najteplejšími rokmi v histórii meraní, bol kalendárny rok 2021 chladnejší, ale stále celosvetovo siedmy najteplejší v histórii meraní [1]. Kalendárny rok 2021 možno zhodnotiť ako teplotne normálny, s výskytom anomálií, ako veľmi studená jar, horúce leto či výskyt tornád na území Slovenska [2]. Extrémnosť počasia sa prejavila aj v hydrologickom roku 2021. Prvé mesiace hydrologického roka, november 2020 až február 2021, boli teplotne normálne, december 2020 sa prejavil ako silne nadnormálny, veľmi teplý.

Nasledovali studené mesiace, teplotne podnormálne, marec 2021 až máj 2021, ktoré vystriedali teplotne mimoriadne nadnormálne mesiace jún a júl 2021. Jún 2021 sa dokonca zaradil medzi najteplejšie, a zároveň zrážkovo najsuchšie mesiace v histórii meteorologických pozorovaní na území Slovenska [3]. Zvyšné mesiace hydrologického roka boli ďalej klasifikované ako normálne, október 2021 ako teplotne podpriemerný [4,5].

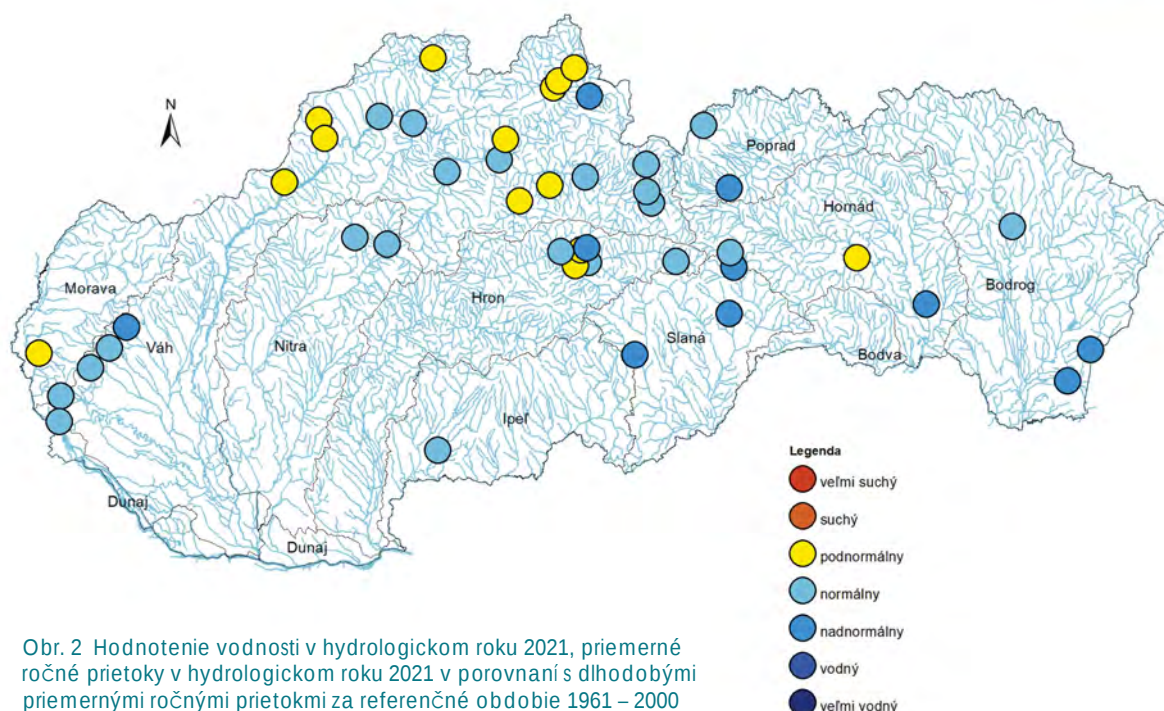
Priemerný zrážkový úhrn na našom území v hydrologickom roku 2021 bol 737 mm, čo predstavuje 96% dlhodobého zrážkového normálu. Zrážky boli časovo aj priestorovo nerovnomerne rozložené (obr. 1). V mesiacoch november 2020, marec, jún, september a október 2021 sme zaznamenali zrážkové úhrny nižšie ako dlhodobý normál. Najväčšie deficity zrážok oproti dlhodobým normálom v tomto hydrologickom roku sa vyskytli v júni (53 mm) a októbri 2021 (48 mm). V mesiaci apríl sme namerali mesačný zrážkový úhrn zodpovedajúci dlhodobému normálu. V ostatných mesiacoch boli hodnoty vyššie ako dlhodobý normál, najväčšia kladná odchýlka zrážkových úhrnov od normálu sa prejavila v mesiacoch máj (45 mm) a august 2021 (59 mm) [6].



Obr. 1 Zrážkové úhrny (v mm) na Slovensku v hydrologickom roku 2021 v porovnaní s dlhodobým normálom pre celé Slovensko (ZS – západné Slovensko, SS – stredné Slovensko, VS – východné Slovensko, SR – celé Slovensko)



Vodnosť roka 2021 vo vybraných vodomerných staniciach SHMÚ
(vyjadrená v % pomere Q_r/Q_a)



Obr. 2 Hodnotenie vodnosti v hydrologickom roku 2021, priemerné ročné prietoky v hydrologickom roku 2021 v porovnaní s dlhodobými priemernými ročnými prietokmi za referenčné obdobie 1961 – 2000

HODNOTENIE ROKA

Hodnotenie roka sme vykonali analýzou operatívnych údajov zo 45 vybraných vodomerných staníc s prevažne dlhodobými pozorovaniami a neovplyvneným režimom odtoku. Na vyhodnotenie sme porovnali priemerné ročné prietoky v hydrologickom roku 2021 s dlhodobými priemernými prietokmi za platné referenčné obdobie 1961 – 2000 ($Q_{a,1961-2000}$) (obr. 2).

Hydrologický rok 2021 hodnotíme v povodí Moravy v stanici Láb-Močiarka ako podnormálny, priemerný ročný prietok tu dosiahol hodnotu 76 % $Q_{a,1961-2000}$. Na hlavnom toku Dunaja v stanici Bratislava sa hydrologický rok ukázal ako normálny (90 % $Q_{a,1961-2000}$), na prítoku Dunaja v stanici Spariská na Vydrici vyšiel rok tiež ako normálny (94 % $Q_{a,1961-2000}$). Priemerné ročné prietoky na karpatských tokoch Parná, Gidra a Blatina sa pohybovali v rozmedzí od 101 do 116 % príslušných $Q_{a,1961-2000}$, hydrologický rok 2021 bol vyhodnotený ako normálny až nadnormálny. V povodí Váhu môžeme hodnotiť hydrologický rok 2021 ako prevažne podnormálny až normálny (75 – 109 % $Q_{a,1961-2000}$). Nadnormálnym sa ukázal z hodnotených staníc iba v stanici Trstená na toku Oravica (111 % $Q_{a,1961-2000}$). V povodí Nitry vidíme vodnosť roka ako normálnu (96 – 104 % $Q_{a,1961-2000}$). V povodí Hrona bol hydrologický rok prevažne podnormálny až normálny (81 – 103 % $Q_{a,1961-2000}$), v stanici Mýto pod Ďumbierom na Štiavničke nadnormálny (113 % $Q_{a,1961-2000}$). V povodí Slanej hodnotíme hydrologický rok 2021 ako nadnormálny (110 – 124 % $Q_{a,1961-2000}$). V povodí Ipeľ v hodnotenej stanici Plášfince na toku Litava dosiahol priemerný ročný prietok v hydrologickom roku 2021 až 99 % $Q_{a,1961-2000}$, čo predstavuje z hľadiska vodnosti normálny

rok. V povodí Hornádu vyšli v hodnotených staniciach priemerné ročné prietoky v rozmedzí 84 – 120 % $Q_{a,1961-2000}$, hornú hranicu intervalu reprezentovala vodomerná stanica Košické Olšany na Toryse, kde bol hydrologický rok 2021 z hľadiska vodnosti hodnotený ako nadnormálny. V povodí Hnilca vo vodomernej stanici Stratená – Hnilec bol hydrologický rok 2021 normálny, avšak vodnosť v stanici Jaklovce – Hnilec reprezentuje dolnú hranicu uvedeného intervalu a hydrologický rok v nej predbežne hodnotíme ako podnormálny. V povodí Bodrogu boli v hodnotených vodomerných staniciach priemerné ročné prietoky v rozmedzí 109 – 115 % $Q_{a,1961-2000}$. Na hornú hranicu intervalu sa dostali priemerné ročné prietoky v staniciach Lekárovce – Uh a Veľké Kapušany – Latorica; hydrologický rok tu bol zhodnotený ako nadnormálny. V povodí Olky v stanici Jasenovce vodnosť zodpovedala dolnej hranici uvedeného intervalu, hydrologický rok bol predbežne vyhodnotený ako normálny. Hydrologický rok v povodí Popradu vyšiel predbežne ako normálny až nadnormálny, priemerný ročný prietok dosiahol v hodnotených staniciach 100 – 123 % $Q_{a,1961-2000}$.

PIEMERNÉ MESAČNÉ PRIETOKY

Vodnosť priemerných mesačných prietokov v hydrologickom roku 2021 sme, tak ako v predchádzajúcich rokoch, hodnotili ako percentuálny pomer priemerných mesačných prietokov v jednotlivých mesiacoch (Q_m) k dlhodobým priemerným hodnotám zodpovedajúcich mesiacov (Q_{ma}) za referenčné obdobie 1961 – 2000. Hodnoty Q_m menšie ako 40 % Q_{ma} považujeme za prejav výrazne suchého obdobia, mesiace s hodnotami menšími ako 20 % Q_{ma} hodnotíme ako

extrémne suché. Hodnoty prietokov v rozmedzí 80 – 120 % Q_{ma} radíme medzi hodnoty blízke príslušným dlhodobým hodnotám a mesiace s Q_m väčšími ako 120 % Q_{ma} označujeme ako nadnormálne až extrémne vodné.

Tak ako v predchádzajúcich rokoch aj hydrologický režim v priebehu roka 2021 súvisel s prevažne nadnormálnymi teplotami vzduchu a nerovnomerným časovým a priestorovým rozdelením zrážok.

November 2020 bol na väčšine územia z hľadiska vodnosti prevažne normálny až nadnormálny. Extrémne vodným sa ukázal prevažne na západnom Slovensku v povodí Malého Dunaja (Pezinok – Blatina až 265 % $Q_{ma-11/1961-2000}$), v povodí Nitry a na strednom Slovensku v povodí Slanej. Priemerné mesačné prietoky v hodnotených staniách neklesli pod 40 % $Q_{ma-11/1961-2000}$. Prevažne normálnym až nadnormálnym mesiacom bol aj december 2020, keď ani jedna z hodnotených staníc neklesla pod 40 % príslušných Q_{ma} . V povodiach Malého Dunaja (Pezinok – Blatina až 243 % $Q_{ma-12/1961-2000}$), Nitry, Slanej a Popradu sa v hodnotených staniách nevyskytli hodnoty Q_m v decembri 2020 pod 120 % $Q_{ma-12/1961-2000}$. V januári 2021 sa na väčšine územia Slovenska prejavilo topenie snehu v kombinácii s nadnormálnymi úhrnmi zrážok v náraste priemerných mesačných prietokov nad 120 % $Q_{ma-1/1961-2000}$, a to v 34 zo 45 hodnotených vodomerných staníc, mesiac teda označujeme za nadnormálny až výrazne vodný. V stanici Lekárovce – Uh v povodí Bodrogu sa dosiahla najvyššia percentuálna hodnota v hydrologickom roku 2021, 359 % príslušného $Q_{ma-1/1961-2000}$. Vo februári 2021 sa znovu vyskytli nadnormálne úhrny zrážok, ktoré spolu s výrazným oteplením vyvolali na väčšine územia Slovenska (až v 41 zo 45 hodnotených vodomerných staníc) výskyt priemerných mesačných prietokov väčších ako 120 % $Q_{ma-2/1961-2000}$. Výnimkou boli hodnotené stanice z povodia Moravy a Nitry. Február bol extrémne vodným (viac ako 200 % $Q_{ma-2/1961-2000}$) v 17 hodnotených staniách. Pod 40 % príslušných Q_{ma} neklesli $Q_{ma-2/1961-2000}$ ani v jednej z hodnotených staníc. V marci 2021 poklesli oproti predchádzajúcim mesiacom priemerné mesačné prietoky na celom území Slovenska, mesiac zaraďujeme medzi normálny až podpriemerne vodný. V hodnotených vodomerných staniách v povodí Váhu (Vydrná – Petrínovec, Dohňany – Biela Voda, Horné Srnie – Vlára) a Ipľa (Plášfince – Litava) dokonca klesli priemerné mesačné prietoky pod 40 % príslušných Q_{ma} . Apríl 2021 hodnotíme ako podnormálne vodný. Priemerné mesačné prietoky menšie ako 40 % príslušných Q_{ma} sme zaznamenali v povodí Malého Dunaja (Pila – Gidra), Nitry (Liešťany – Nitrica), Hrona (Hronec – Čierny Hron) a Ipľa (Plášfince – Litava). Po prevažne menej vodných mesiacoch, marec a apríl (v porovnaní s referenčným obdobím) nastalo vďaka výrazne nadnormálnym zrážkam v máji 2021 zvýšenie relatívnych hodnôt priemerných mesačných prietokov nad hodnotu 120 % $Q_{ma-5/1961-2000}$ v 33 zo 45 hodnotených vodomerných staníc, a mesiac preto hodnotíme ako vodný. V júni 2021 sme oproti máju vinou mimoriadne nadnormálnych teplôt a výrazne podnormálnych úhrnov zrážok zaznamenali pokles priemerných mesačných prietokov oproti referenčným hodnotám. V hodnotených staniách boli menšie ako 40 % $Q_{ma-6/1961-2000}$ príslušné Q_m prevažne v severnej časti povodia Váhu. Napriek tomu, že nerovnomerné priestorové rozloženie zrážok (silné lokálne búrky a lejaky)

sposobilo lokálne zvýšenie priemerných mesačných prietokov, júl 2021 bol z hľadiska vodnosti prevažne suchým mesiacom. Ani v jednej z hodnotených staníc neprekročili priemerné mesačné prietoky hodnotu 120 % príslušných Q_{ma} . Pod hranicu 40 % príslušných Q_{ma} poklesli prietoky v 15 staniách zo 45 hodnotených a po prvýkrát v hydrologickom roku 2021 klesli príslušné prietoky aj pod hodnotu 20 % $Q_{ma-7/1961-2000}$, a to v povodí Váhu vo vodomerných staniách Oravská Jasenica – Veselianka, Čadca – Kysuca a Dohňany – Biela Voda. Úhrny zrážok sa v auguste pohybovali nad zrážkovým normálom na väčšine územia Slovenska, a aj priemerná mesačná vodnosť v jednotlivých povodiach na území Slovenska bola prevažne v rozmedzí normálnych a vyšších hodnôt vodnosti; vodnosť v hodnotených staniách neklesla pod 40 % príslušných Q_{ma} . Aj september 2021 vyšiel z hľadiska vodnosti ako normálny. Nadnormálnym (nad 120 % $Q_{ma-9/1961-2000}$) bol september v hodnotených staniách prevažne na severe Slovenska v povodí Váhu, Hrona a Popradu. V októbri 2021 sme zaznamenali deficit zrážok oproti normálu, čo sa prejavilo poklesom priemerných mesačných prietokov pod 40 %, miestami dokonca až pod 20 % $Q_{ma-10/1961-2000}$. V tomto období vyšiel najmenší relatívny priemerný mesačný prietok z hodnotených vodomerných staníc za celý hydrologický rok 2021 v povodí Váhu v stanici Dohňany – Biela Voda, a to 17 % $Q_{ma-10/1961-2000}$.

EXTRÉMY

Pri hodnotení hydrologického sucha sme minimálne priemerné denné prietoky dosiahnuté v hydrologickom roku 2021 porovnávali s dlhodobými hodnotami M-denných prietokov, stanovenými za referenčné obdobie 1961 – 2000. Riziko začínajúceho sa suchého obdobia predstavujú priemerné denné prietoky (Q_d), ktoré poklesnú pod úroveň $Q_{330d,1961-2000}$. Zo 45 predbežne hodnotených vodomerných staníc boli hodnoty priemerných denných prietokov menšie ako $Q_{330d,1961-2000}$ minimálne jeden deň v roku v 27 zo 45 vodomerných staníc. Q_d menšie ako $Q_{355d,1961-2000}$ sa zistilo v 8 z predbežne hodnotených staníc (v povodiach Váhu, Hornádu a Bodrogu). Priemerné denné prietoky menšie ako $Q_{364d,1961-2000}$ sa v predbežne hodnotených staniách na rozdiel od predchádzajúcich rokov nevyskytli. Hydrologický rok 2021 sa teda predbežne javí aj z tohto pohľadu ako vodnejší v porovnaní s predchádzajúcimi rokmi.

V hydrologickom roku 2021 sa vyskytli viaceré povodňové situácie na monitorovaných i nemonitorovaných tokoch. Z tokov bez pozorovania otriasla Slovenskom hlavne povodňová situácia zo 17. mája 2021, keď sa v dôsledku trvalého dažďa v Rudne nad Hronom zosunula prietočná kamená hrádzka (obr. 3), ktorá sa nachádzala nad obcou na Rudnianskom potoku. Prielomová vlna strhla mosty, autá, lávky, ploty, zaplavila domy, záhrady zanesla bahnom, znečistila studne a spôsobila veľké materiálne škody. Žiaľ, vyžiadala si i jednu ľudskú obeť.

Povodňové situácie na monitorovaných tokoch sú podobne spracované v povodňových správach uverejňovaných na webových stránkach SHMÚ [7]. V tomto článku si pripomenieme iba situácie s najvýznamnejšími kulmináciami prietokmi z hľadiska opakovania (N-ročností). Povodňové



Obr. 3 Pretrhnutá kamenná hrádzka nad obcou Rudno nad Hronom 17. mája 2021

situácie v decembri 2020 spôsobili v povodí Nitry prietok s lehotou opakovania 20 – 50 rokov [8] v stanici Nováky na Lehotskom potoku (3. najväčší od začiatku pozorovania v roku 2002). V máji 2021 na západnom Slovensku [9] dosiahol kulminálny prietok dňa 18. mája v Nitrianskej Strede na Nitre čas opakovania 20 – 50 rokov (5. najväčší od roku 1931) a v Zlatých Moravciach na Hostianskom potoku 50 rokov (1. najväčší od začiatku pozorovania v roku 2003).

V 45 predbežne hodnotených staniciach sa maximálne kulminálne prietoky v hydrologickom roku 2021 najčastejšie vyskytovali v máji 2021 (24 staníc), auguste 2021 (8 staníc) a decembri 2020 (4 stanice). Najvýznamnejší kulminálny prietok s 10- až 20-ročnou lehotou opakovania sa v týchto staniciach objavil v stanici Liesňany – Nitrica dňa 26. júla 2021, a bol 3. najvýznamnejším kulminálnym prietokom od roku 1957.

ZÁVER

Hydrologický rok 2021 sme na základe operatívnych údajov vyhodnotili z hľadiska vodnosti na väčšine územia ako

normálny až nadnormálny, v severnej časti povodia Váhu podnormálny. Rozdelenie odtoku počas roka ovplyvnili teplotné pomery (nadnormálne teplý december, studená jar) a nerovnomerné časové a priestorové rozdelenie zrážok. V porovnaní s dlhodobými hodnotami priemerných mesačných prietokov referenčného obdobia sa ukázali ako podpriemerné mesiace apríl, júl a október. Naopak, výrazne nadpriemerné hodnoty sa dosiahli v januári, februári a máji. To zodpovedá zisteniam pri hodnotení ostatného obdobia – najmä pokles v apríli a nárast v januári v porovnaní s obdobím 1961 – 2000, čo pripisujeme dosahom klimatickej zmeny. V hydrologickom roku 2021 nás väčšmi ako nedostatok vody a sucho potrápili povodňové situácie. Oproti predchádzajúcim rokom bol tento hydrologický rok vodnejší a neprejavilo sa celoplošné hydrologické sucho, a ani sa nevyskytli v hodnotených staniciach priemerné denné prietoky menšie ako Q_{364d} . Hydrologický rok bol však bohatý na mnohé povodňové udalosti, ktoré sa najčastejšie vyskytovali v decembri, máji a auguste.

Foto: archív SHMÚ

Literatúra:

- [1] WMO 19.1.2022: 2021 one of the seven warmest years on record, WMO consolidated data shows [online], [citované 21.12.2022], Dostupné na <https://public.wmo.int/en/media/press-release/2021-one-of-seven-warmest-years-record-wmo-consolidated-data-shows#:~:text=The%20warmest%20seven%20years%20have,to%20record%20global%20average%20warming>.
- [2] HN Focus 2022: Klimatológ Pecho pre HN: Máme za sebou rok plný extrémov. [online], [citované 18.1.2022], Dostupné na <https://focus.hnonline.sk/publicistika/clanok/18390064-klimatolog-pecho-pre-hn-mame-za-sebou-rok-plny-extrémov>.
- [3] OKS, OMPAV SHMÚ 7.7.2021: Jún 2021 – zhodnotenie mesiaca. [online], [citované 21.1.2022], Dostupné na <https://www.shmu.sk/sk/?page=2049&id=1140>.
- [4] OKS SHMÚ 11.2020-10.2021: Bulletin Meteorológia a Klimatológia Slovenská Republika [online], [citované 14.01.2022], Dostupné na <http://www.shmu.sk/sk/?page=1613>.
- [5] SHMÚ 11.2020-10.2021: Aktuality SHMÚ [online], [citované 14.01.2022], Dostupné na <https://www.shmu.sk/sk/?page=2049>.
- [6] Lapin, M. 2021: Tabuľka mesačných úhrnov zrážok na Slovensku, MESAČNÉ ÚHRNY ZRÁŽOK V 3 REGIÓNOCH SR A V CELEJ SR. [online], [citované 10.1.2022], Dostupné na <https://milanlapin.estranky.sk/clanky/tabulka-mesacnych-uhrov-zrazok-na-slovensku.html>.
- [7] SHMÚ, 2021: Povodňová správa, [online], [citované: 21.1.2022], Dostupné na [https://www.shmu.sk/sk/?page=128#2021%20\(ro%C4%8Dn%C3%ADk%201\)](https://www.shmu.sk/sk/?page=128#2021%20(ro%C4%8Dn%C3%ADk%201)).
- [8] SHMÚ, 2021: Správa o povodniach za rok 2020, [online], [citované: 21.1.2022], Dostupné na https://www.shmu.sk/File/ExtraFiles/povodnove_spravy/1634554518_2021-1_Povodnova_sprava_2020_final_2.pdf.
- [9] SHMÚ, 2021: Toky západného Slovenska v máji 2021, [online], [citované: 21.1.2022], Dostupné na https://www.shmu.sk/File/ExtraFiles/povodnove_spravy/1634553765_2021-4_Toky_zapadneho_Slovenska_v_maji_2021_final_5.pdf.

Znečistenie podzemných vôd dusičnanmi z poľnohospodárskych činností v zraniteľných oblastiach

Ing. Roman Cibulka, Mgr. Anna Tlučáková, PhD.
Výskumný ústav vodného hospodárstva

ÚVOD

Vstupom do Európskej únie (EÚ) v roku 2004 sa Slovenská republika (SR) zaviazala plniť záväzky spojené s implementáciou smernice Rady 91/676/EHS, týkajúcej sa ochrany vôd pred znečistením dusičnanmi pôvodom z poľnohospodárskych zdrojov (ďalej dusičnanová smernica) [1]. Hlavným cieľom je znížiť znečistenie podzemnej a povrchovej vody dusičnanmi z poľnohospodárskej činnosti a zabrániť ďalšiemu znečisteniu tohto druhu. V prípade implementácie dusičnanovej smernice považujeme za znečistenú takú podzemnú vodu, v ktorej je koncentrácia dusičnanov väčšia alebo sa rovná hodnote 50 mg/l, ako je uvedené vo vyhláske pre pitnú vodu č. 247/2017 Z. z. v znení neskorších predpisov.

Jednou zo základných požiadaviek dusičnanovej smernice [1] (článok 3, ods. 1) je aj vymedzenie zraniteľných oblastí (ZO), t. j. identifikovanie oblastí podzemných vôd znečistených dusičnanmi a oblastí podzemných vôd ohrozených znečistením dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov, pre ktoré treba stanoviť a zaviesť programy opatrení na prevenciu a zníženie znečistenia podzemnej vody dusičnanmi.

METODIKA HODNOTENIA

Poľnohospodárska činnosť významne ovplyvňuje kvalitu podzemných vôd, čo sa môže prejavovať zvýšenou koncentráciou dusičnanov. V rámci správy *Správa o stave implementácie smernice Rady 91/676/EHS týkajúcej sa ochrany vôd pred znečistením spôsobeným dusičnanmi pochádzajúcimi z poľnohospodárskych zdrojov v Slovenskej republike, 2020* [2] sa vyhodnotilo s nadlimitnou priemernou koncentráciou dusičnanov 12% monitorovacích objektov podzemných vôd. Do hodnotenia v rámci reportovacieho obdobia 2016 – 2019 vstupovali monitorovacie objekty účelovej monitorovacej siete VÚVH, štátnej hydrologickej siete SHMÚ a vodárenské zdroje lokalizované v poľnohospodársky aktívnych oblastiach. Podiel monitorovacích objektov s nadlimitnou koncentráciou dusičnanov je v rámci Slovenskej republiky od reportovacieho obdobia 2008 – 2011 stabilný.

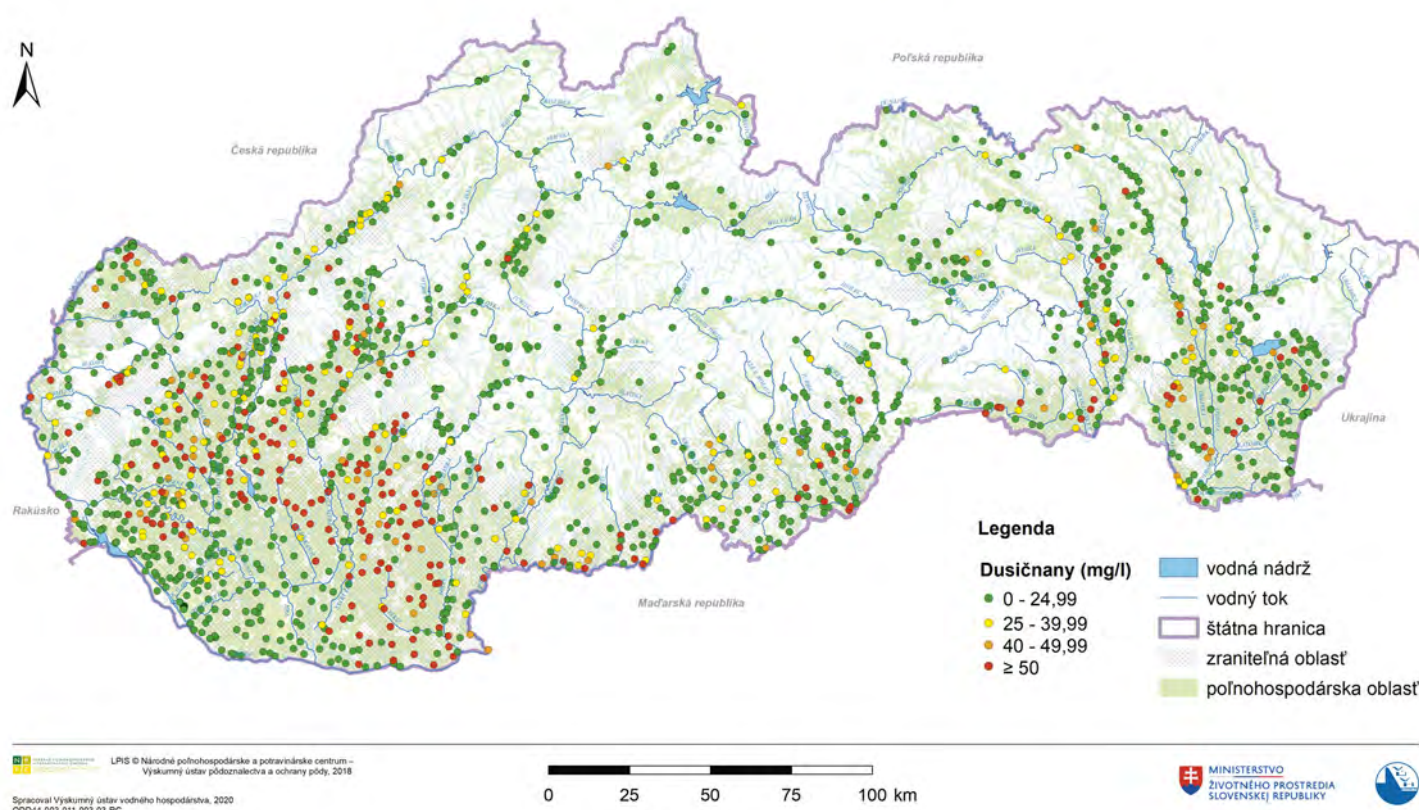
Európska komisia konštatovala v správe *Správa Komisie Rade a Európskemu parlamentu o vykonávaní smernice Rady 91/676/EHS*, že podobná situácia je v celej Európskej únii. Za obdobie 2016 – 2019 sa zistil podiel 13,3% monitorovacích objektov s nadlimitnými koncentraciami dusičnanov [3]. Údaje o koncentracii dusičnanov na úrovni EÚ ukazujú, že

kvalita podzemnej vody sa od prijatia smernice v roku 1991 v EÚ zlepšila, ďalšie zlepšenie je však od roku 2012 veľmi pomalé. Tieto dáta naznačujú, že aktuálne a minulé opatrenia dosiahli maximum efektívnosti a na zlepšenie situácie bude treba nastaviť nové a efektívnejšie pravidlá tak, aby sa dalo splniť cieľ smernice – znížiť znečistenie dusičnanmi.

V roku 2020 sa spracovala revízia zraniteľných oblastí [4] definovaných nariadením vlády SR č. 174/2017 Z. z. [5] v zmysle požiadaviek dusičnanovej smernice na 4-ročné cykly hodnotenia implementácie [1]. V rámci medzirezortnej pracovnej skupiny sa na hodnotení implementácie dusičnanovej smernice podieľali odborné organizácie rezortov Ministerstva životného prostredia SR (Výskumný ústav vodného hospodárstva a Slovenský hydrometeorologický ústav) a Ministerstva pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR (Výskumný ústav pôdoznateľstva a ochrany pôd a Ústredný a kontrolný ústav poľnohospodársky). Výstupy sa v rámci pracovnej skupiny prekonzultovali aj s poľnohospodárskymi komorami.

Hlavným podkladom na revíziu zraniteľných oblastí pre podzemné vody sa stali výsledky monitorovania podzemných vôd na území SR. Ďalšími dôležitými podkladmi boli informácie o využití krajiny, hydrologických pomeroch, stave útvarov podzemných vôd, informácie o poľnohospodárskych a ďalších zdrojoch znečistenia. Pri revízii zraniteľných oblastí pre podzemné vody sa významnou mierou využívali GIS analýzy, modely a poloautomatizované exporthy mapových kompozícií. Ďalšie vstupné údaje:

- vymedzenie zraniteľných oblastí SR v roku 2017 [5] a vrstva administratívneho členenia územia SR,
- mapa zraniteľnosti podzemných vôd, geologická a hydrogeologická mapa,
- smer prúdenia podzemných vôd, koeficient filtrácie a hĺbka hladiny podzemných vôd,
- chemický stav útvarov podzemných vôd, ktorý je súčasťou Vodného plánu SR [6],
- kategórie pôd s rôznym stupňom obmedzenia používania dusíkatých látok a spôsobom hospodárenia,
- spotreba dusíkatých hnojív a hrubá bilancia dusíka,
- zdroje znečistenia a environmentálne záfaže,
- vodohospodárske mapy, satelitné snímky, ortofotomapy, Google Street View, Google Earth,
- webová aplikácia ZBGIS – Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky
- správa o stave implementácie smernice Rady 91/676/EHS, týkajúcej sa ochrany vôd pred znečistením dusičnanmi



Obr. 1 Priemerné koncentrácie dusičnanov v podzemných vodách za obdobie 2016 – 2019

z poľnohospodárskych zdrojov v Slovenskej republike. MŽP SR, jún 2020 [2],

- chránené oblasti prirodzenej akumulácie vôd (chránená vodohospodárska oblasť – CHVO) podľa zákona č. 305/2018 Z. z.,
- ochranné pásma I. alebo II. stupňa vodárenských zdrojov podzemných vôd,
- podklady zaslané vodárenskými spoločnosťami, databáza Odbery (ZBERVAK), katalóg podzemných vôd SHMÚ.

Aktualizovaná metodika VÚVH na revíziu zraniteľných oblastí z hľadiska hodnotenia znečistenia podzemných vôd dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov sa skladá z viacerých kritérií a testov [4]. Základné rozdelenie má tri časti: hodnotenie územia v chránených vodohospodárskych oblastiach, hodnotenie územia SR v rámci zraniteľných oblastí a hodnotenie územia SR mimo zraniteľných oblastí.

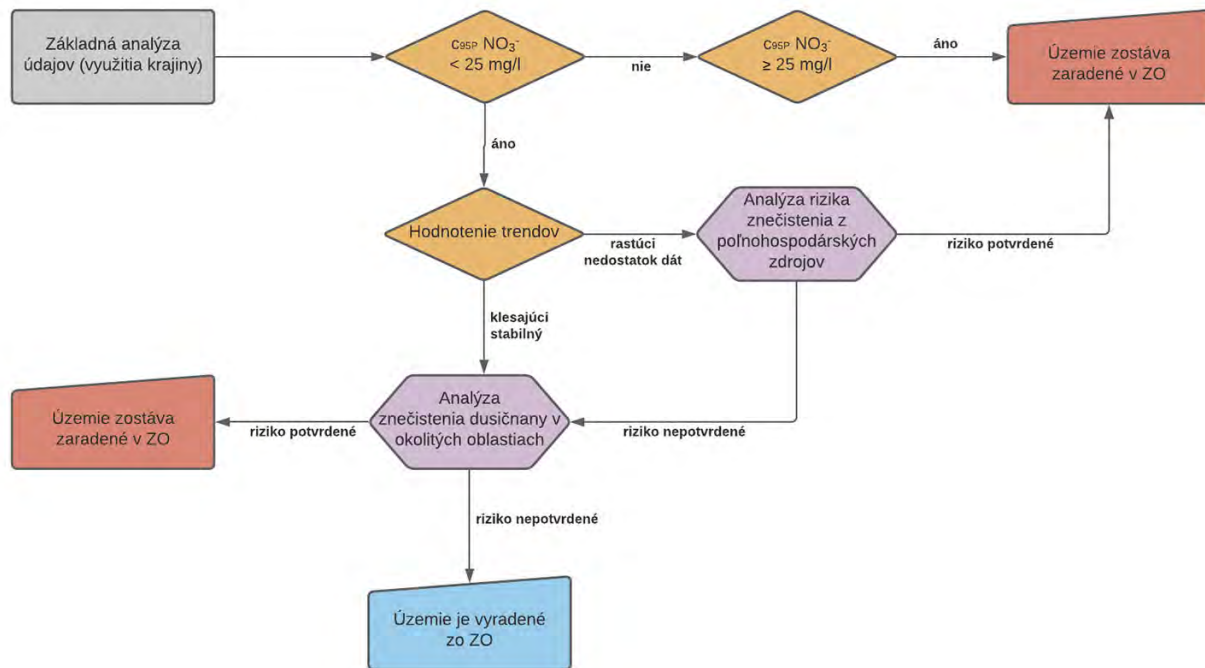
KRITÉRIÁ HODNOTENIA ÚZEMIA V CHRÁNENÝCH VODOHOSPODÁRSKÝCH OBLASTIACH

Z dôvodu potreby zvýšenej ochrany vôd v chránených vodohospodárskych oblastiach, definovaných podľa zákona č. 305/2018 Z. z., sa pristúpilo k analýze rizika ich znečistenia z poľnohospodárskych zdrojov, ktorá zahŕňala znečistenie podzemných vôd dusičnanmi, zraniteľnosť podzemných vôd, stav útvarov podzemných vôd z hľadiska zastúpenia dusičnanov a intenzitu poľnohospodárstva.

KRITÉRIÁ HODNOTENIA ÚZEMIA SR V RÁMCI ZRANITEĽNÝCH OBLASTÍ

Základným kritériom na prehodnotenie existujúcich zraniteľných oblastí z aspektu podzemných vôd bol dokumentovaný 95. percentil koncentrácie dusičnanov ($c_{95p} \text{ NO}_3^-$) v podzemných vodách, zistený na základe výpočtu z výsledkov monitorovania v jednotlivých objektoch pozorovacej siete v zraniteľných oblastiach za obdobie 2016 – 2019. Ak nebolo možné pre nedostatok údajov vypočítať 95. percentil koncentrácie dusičnanov, použila sa maximálna hodnota koncentrácie dusičnanov ($c_{\max}$).

V prípade, ak koncentrácie dusičnanov prekročili hodnotu 25 mg/l aspoň v jednom hodnotenom objekte, predmetné územie definované ako ohrozené zostalo zaradené bez zmeny v zozname zraniteľných oblastí. Pre vybrané objekty, ktoré splnili podmienku limitu koncentrácie $\text{NO}_3^- < 25 \text{ mg/l}$, sa v ďalšom kroku vykonal test s hodnotením trendu vývoja koncentrácie dusičnanov výpočtom trendového koeficientu založeného na lineárnej regresii pomocou metódy najmenších štvorcov. Miera výraznosti trendu je vyjadrená na základe metodiky vychádzajúcej z príručky na vypracovanie správy o stave implementácie smernice Rady 91/676/EHS [2]. Ak hodnotený objekt vykazoval klesajúci alebo stabilný trend, posúdila sa situácia v okolitých oblastiach v smere prúdenia podzemných vôd a keď sa nezistilo riziko ohrozenia týchto lokalít, obec, reprezentovaná daným monitorovacím objektom, sa navrhla



Obr. 2 Schéma hodnotenia zraniteľných oblastí z hľadiska znečistenia podzemných vôd dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov

na vyradenie zo zraniteľných oblastí. Ak hodnotený objekt vykazoval rastúci trend alebo nemal dostatočný počet údajov na výpočet trendu, urobila sa analýza výsledkov monitorovania vo vzťahu k hydrogeologickým pomeroch, intenzite poľnohospodárstva a situácii v okolitých oblastiach. Ak táto analýza nepreukázala závažné aspekty vzhľadom na ohrozenie podzemných vôd z poľnohospodárskych zdrojov, územie, ktoré monitorovací objekt reprezentoval, sa navrhlo na vyradenie zo zoznamu zraniteľných oblastí pre podzemné vody. V prípade, keď monitorovací objekt nemal dostatočný počet údajov na výpočet trendu, sa obec vyradila len vtedy, ak prislúchala ku katastru obce s monitorovacím objektom, ktorý vykazoval klesajúci alebo stabilný trend. Zjednodušene tento postup dokumentuje schéma na obr. 1.

Obce, v ktorých monitorovacie objekty, na základe prvotnej analýzy údajov z monitorovania, nemali k dispozícii dostatočné množstvo dát o koncentrácii dusičnanov, zostali zaradené v zraniteľných oblastiach.

KRITÉRIÁ HODNOTENIA ÚZEMIA SR MIMO ZRANITEĽNÝCH OBLASTÍ

V rámci územia SR mimo zraniteľných oblastí bola východiskom a indikátorom na zaradenie obce do zraniteľných oblastí najmä vysoká koncentrácia dusičnanov v monitorovacích objektoch a ich rastúci trend. Na hodnotenie sa použili iba také objekty, ktoré sa nachádzali v poľnohospodársky využívanom území alebo na území preukázateľne ovplyvnenom poľnohospodárskymi zdrojmi znečistenia.

Východiskom bola, rovnako ako pri hodnotení existujúcich zraniteľných oblastí, vypočítaná hodnota c_{95P} (prípadne c_{max}) pre jednotlivé objekty a základným kritériom hodnota $c_{95P} < 25 \text{ mg/l}$. Ak táto podmienka bola splnená, nepredpokladá sa, že by dochádzalo k znečisťovaniu podzemných vôd

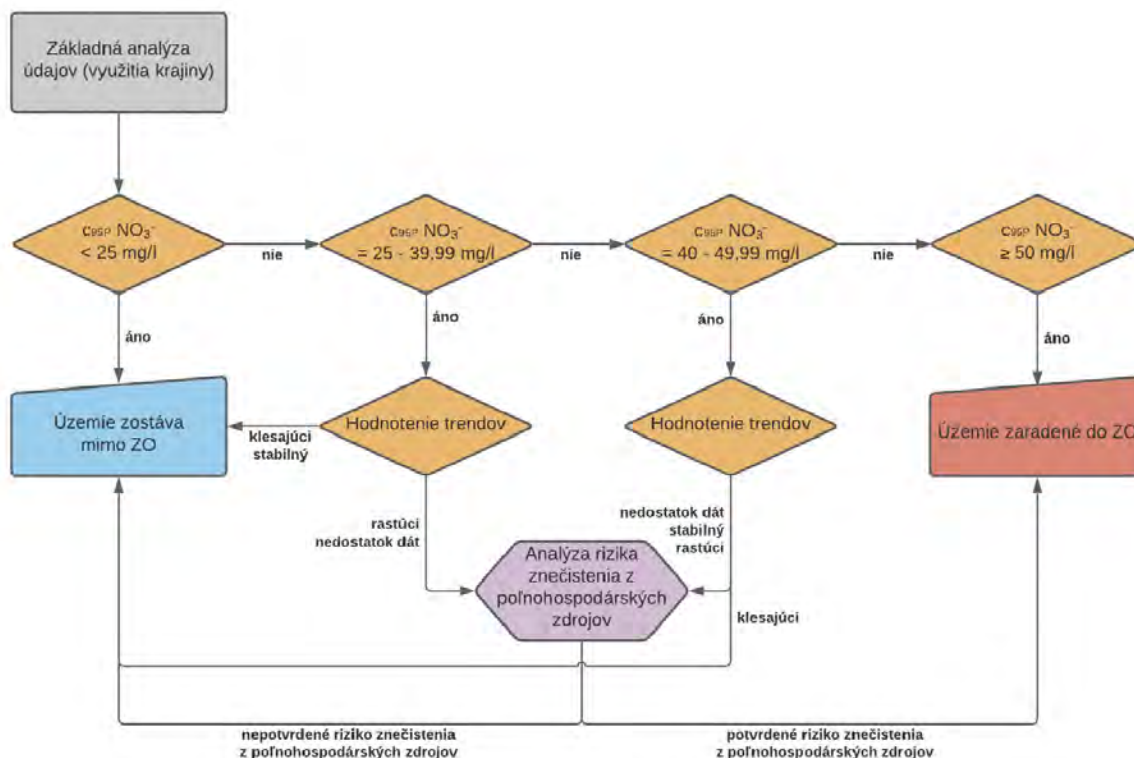
v dôsledku poľnohospodárskych zdrojov, a preto nie je potrebné tieto oblasti zaradiť do zraniteľných oblastí. Naopak, pri nesplnení kritéria $c_{95P} < 25 \text{ mg/l}$, t. j. v prípade $c_{95P} \geq 25 \text{ mg/l}$, sa tieto objekty podrobili ďalšej analýze a testovaniu.

Prekročenie limitnej hodnoty koncentrácie dusičnanov pre pitnú vodu $c_{95P} \geq 50 \text{ mg/l}$, definovanej v nariadení vlády SR č. 8/2016 Z. z., znamenalo, že sa oblasť územia obce prislúchajúceho k monitorovaciemu objektu, navrhla na podrobnú analýzu. So zvýšenou pozornosťou sa pritom hodnotili koncentrácie dusičnanov v posledných rokoch. Na základe tejto analýzy sa oblasť buď navrhla na zaradenie do zraniteľných oblastí SR pre podzemné vody, alebo, ak sa preukázal iba iný vplyv znečistenia než poľnohospodárska činnosť, oblasť sa nezaradila do zraniteľných oblastí.

V druhom prípade, ak c_{95P} bola v rozmedzí od 25 do 50 mg/l, pristúpilo sa k testom trendovej analýzy koncentrácie dusičnanov a analýzy spoľahlivosti údajov na základe dĺžky časových radov. Podľa c_{95P} a trendovej analýzy sa oblasť buď navrhla na nezaradenie do zraniteľných oblastí pre podzemné vody, alebo sa urobila podrobná analýza hydrogeologických pomeroch, intenzity poľnohospodárstva a situácie v okolitých oblastiach. Ak sa na základe analýzy rizika z poľnohospodárskych činností preukázalo, že danú lokalitu ovplyvnili poľnohospodárske zdroje znečistenia, spadá do územia s vyšším stupňom zraniteľnosti podzemných vôd SR alebo do útvaru podzemných vôd v zlom chemickom stave spôsobenom dusičnanmi, a zároveň je v blízkej budúcnosti ohrozený cieľ udržiavania koncentrácií dusičnanov pod hranicou 50 mg/l, prislúšnú obec navrhli na zaradenie do zraniteľných oblastí SR pre podzemné vody.

Zjednodušene tento postup dokumentuje schéma na obr. 2.

V prípade, že v danej obci nebol nijaký monitorovací objekt, hodnotenie znečistenia dusičnanmi sa vykonávalo vo



Obr. 3 Schéma hodnotenia územia mimo zraniteľných oblastí z hľadiska znečistenia podzemných vôd dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov

vzťahu k hydrogeologickým pomerom, intenzite poľnohospodárstva a využívaniu okolitej krajiny.

VÝSLEDKY HODNOTENIA KVALITY PODZEMNÝCH VÔD

Všetky CHVO sa hodnotili na základe analýzy rizika z hľadiska poľnohospodárskych aktivít. Kvalita vody sa ukázala ako veľmi dobrá vo všetkých CHVO, okrem CHVO Slovenský kras – Planina Horného vrchu a CHVO Žitný ostrov, kde sa vyskytovali koncentrácie dusičnanov nad 40 mg/l (resp. až 115 mg/l v prípade CHVO Žitný ostrov). Podľa analýzy chemického stavu útvarov podzemných vôd možno konštatovať, že len v CHVO Žitný ostrov sa nachádzajú útvary podzemných vôd v zlom stave vinou koncentrácií dusičnanov. Vysoká zraniteľnosť podzemných vôd sa zistila v CHVO Slovenský kras – Planina Horného vrchu, CHVO Žitný ostrov a CHVO Slovenský kras – Plešivská planina. Nízka zraniteľnosť, naopak, v CHVO Vihorlat. Poľnohospodárske aktivity sú veľmi málo intenzívne vo všetkých CHVO, okrem CHVO Žitný ostrov, kde je intenzita poľnohospodárstva nepomerne vyššia. Z toho vyplýva, že CHVO Žitný ostrov sa odlišuje od ostatných CHVO zásadným spôsobom. Táto oblasť sa teda vzhľadom na spôsob využitia pôdy, vysokú zraniteľnosť, zlý stav útvarov podzemných vôd a mieru znečistenia podzemných vôd dusičnanmi vyhodnotila ako riziková. Keďže ide o CHVO disponujúcu aj výnimočnou kvantitou podzemných vôd, katastrofe obcí, ktoré geograficky zasahujú do CHVO Žitný ostrov, sa zaradili do zraniteľných oblastí SR pre podzemnú vodu.

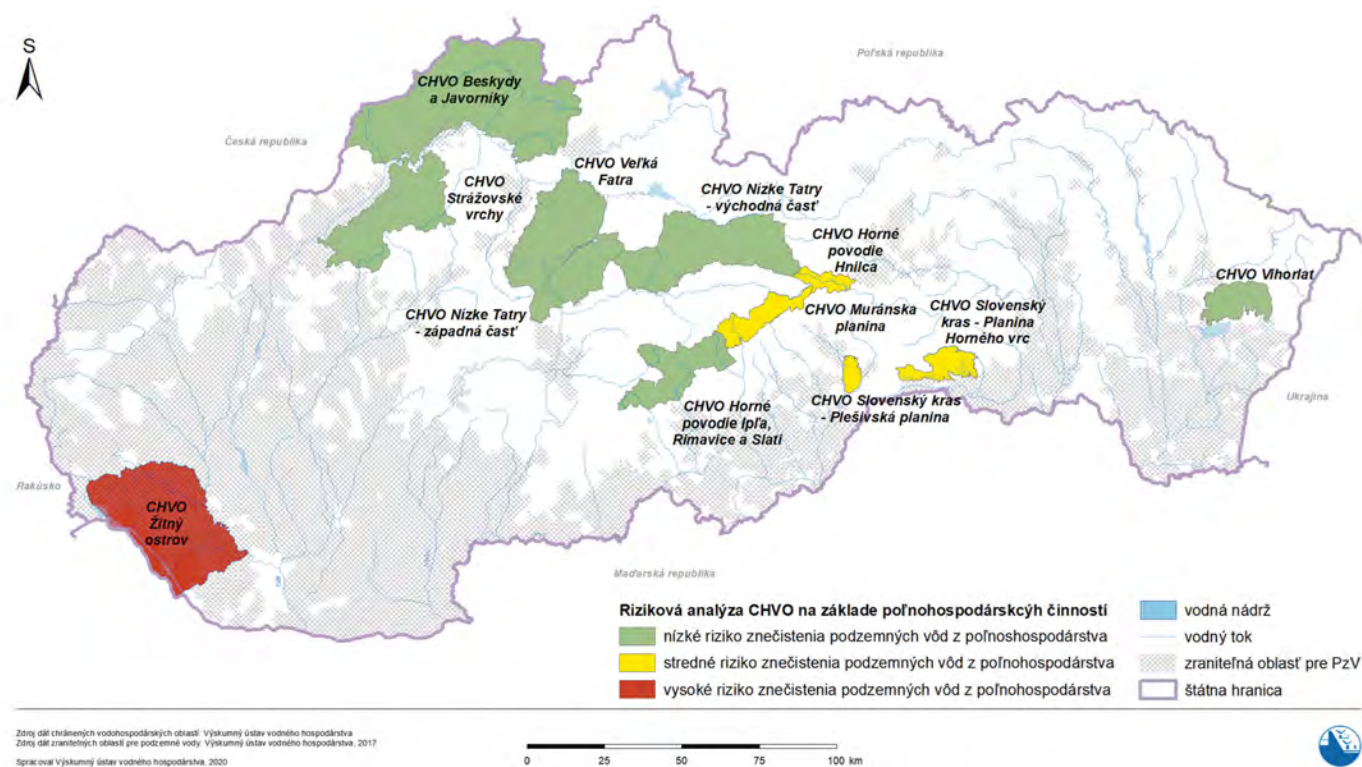
Z celkového počtu 1 297 zraniteľných oblastí pre podzemné vody 129 obcí navrhli na vyradenie zo zoznamu zraniteľných oblastí. Dôvodom boli najmä veľmi nízke koncentrácie dusičnanov dokumentované v monitorovacích objektoch podzemných vôd v období 2015/16 – 2019, ktoré spĺňali

všetky kritéria analýzy v súlade s metodikou hodnotenia. Pre každú obec sa vykonala podrobná analýza, ktorá obsahovala mapový prehľad, opis lokality (zraniteľnosť podzemných vôd, stav útvaru podzemných vôd, situácia v okolitých oblastiach), opis intenzity poľnohospodárstva a graficky zobrazený vývoj koncentrácie dusičnanov, z čoho sa nakoniec urobilo záverečné zhodnotenie.

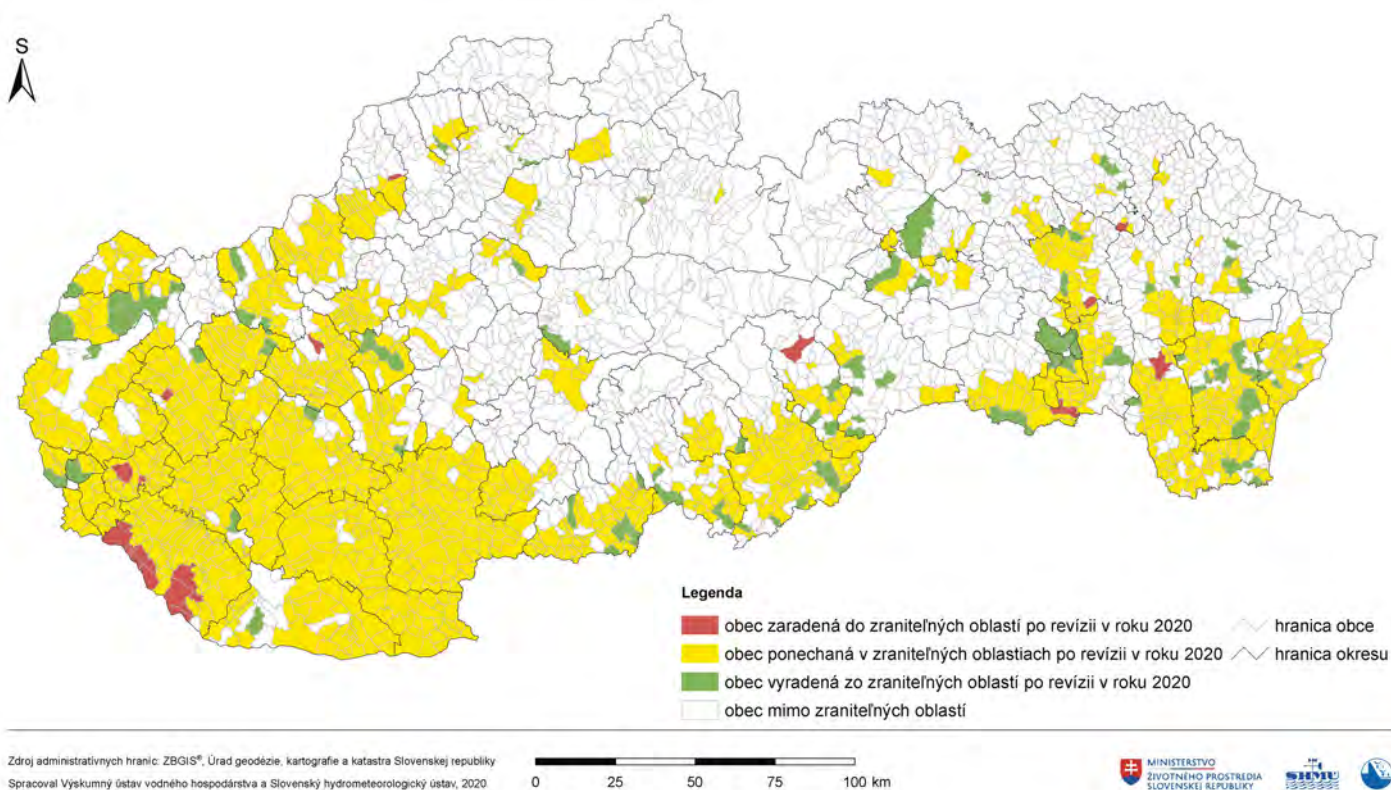
Na začlenenie do zraniteľných oblastí pre podzemné vody sa v súlade s metodikou navrhlo 23 obcí, a to najmä pre vysokú koncentráciu dusičnanov a ich rastúcich trendov alebo pre rizikovosť poľnohospodárskych aktivít v CHVO Žitný ostrov. Pre každú obec sa vyhotovila príloha s podrobnou analýzou, kde je uvedený mapový prehľad, opis lokality (hydrologické pomery, geologické pomery, zraniteľnosť podzemných vôd, stav útvarov podzemných vôd, situácia v okolitých obciach), opis intenzity poľnohospodárstva, analýza komunálneho znečistenia a ostatných zdrojov znečistenia, graficky zobrazený vývoj koncentrácie dusičnanov, dusitanov a amónnych iónov, fotodokumentácia a celkové zhodnotenie danej lokality. V rovnakej štruktúre sa spracovali prílohy pre 11 obcí a hodnotili sa v rámci rizikovej analýzy na zaradenie do zraniteľných oblastí, hoci výsledkom bol návrh na ich nezaradenie do zraniteľných oblastí. Celkovo sa počet zraniteľných oblastí pre podzemné vody znížil na 1 191.

Na obrázku 5 je výsledná mapa zraniteľných oblastí pre podzemné vody, ktorá znázorňuje pôvodné, novo-zaradené a vyradené zraniteľné oblasti pre podzemné vody.

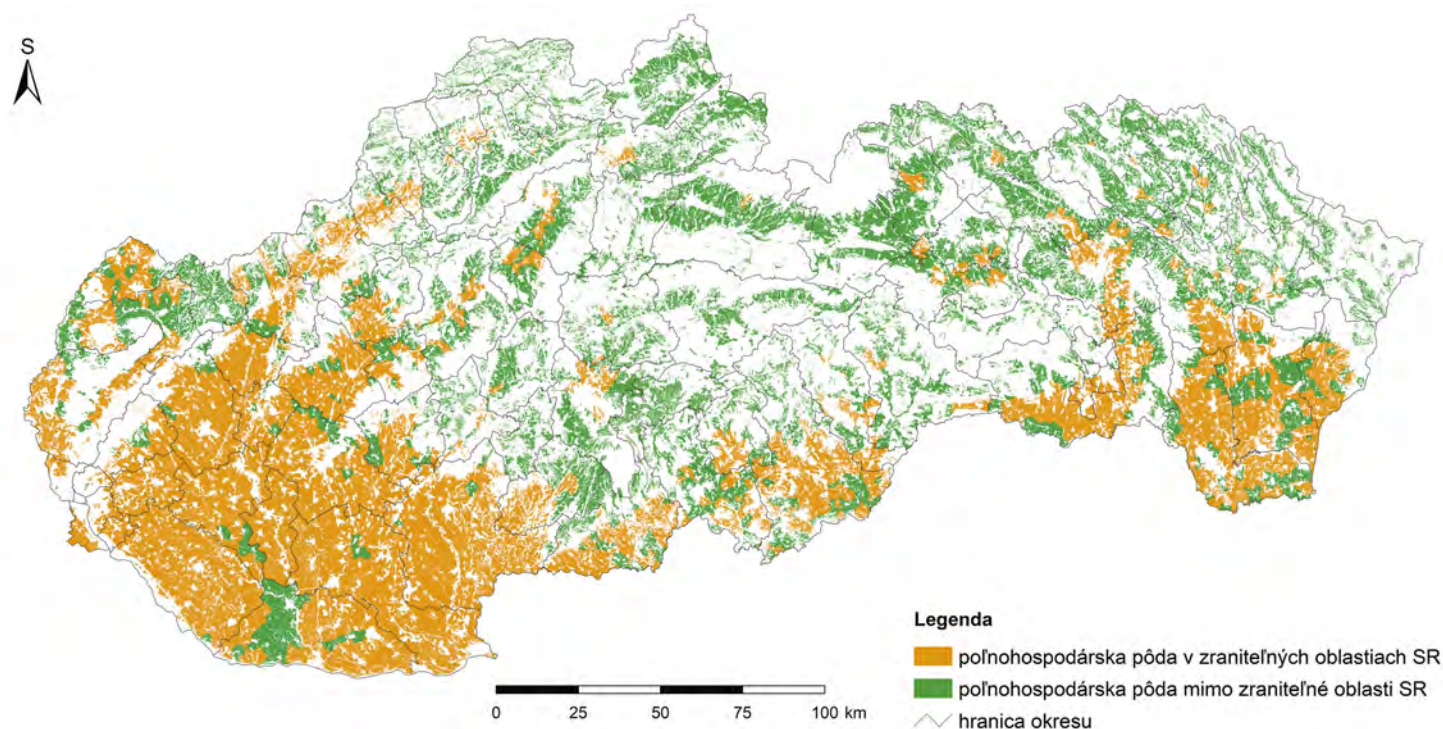
V dôsledku revízie v roku 2020 sa znížila výmera poľnohospodárskej pôdy v zraniteľných oblastiach pre podzemnú vodu o 789,01 km² z 11 597,00 km² na 10 807,98 km². Podiel využívanej poľnohospodárskej pôdy v zraniteľných oblastiach z celkovej poľnohospodárskej využívanej pôdy v SR poklesol o 2,8% na 56,0%. Graficky je zastúpenie poľnohospodárskej



Obr. 4 Výsledky analýzy rizika z poľnohospodárskych aktivít v CHVO



Obr. 5 Výsledok revízie zraniteľných oblastí SR pre podzemné vody – zmeny oproti pôvodnému stavu

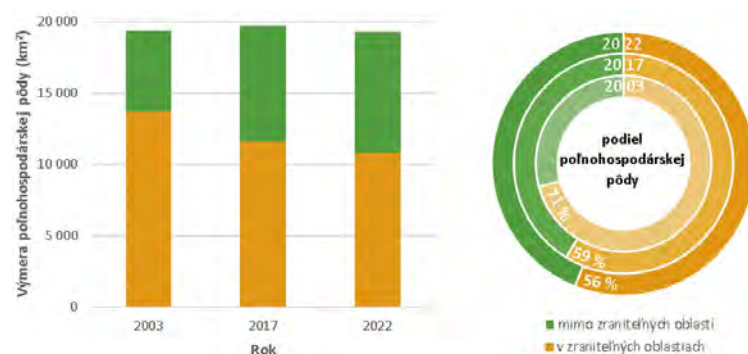


Obr. 6 Využívaná poľnohospodárska pôda v zraniteľných oblastiach pre podzemné vody

pôdy v zraniteľných oblastiach pre podzemnú vodu znázornené na obr. 6.

Spolu s obcami, ktorých územie sa identifikovalo ako zraniteľné pre povrchové vody, je spoločný zoznam katastrov obcí prílohou nariadenia vlády SR č. 62/2022 Z. z., ktorým sa mení nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 174/2017 Z. z., ktorým sa ustanovujú citlivé oblasti a zraniteľné oblasti [7]. Táto novela je trefou novelou upravujúcou rozsah zraniteľných oblastí. Prvé zraniteľné oblasti sa v roku 2003 definovali najmä na základe údajov z Geochemického atlasu (meranie sa uskutočňovalo v rokoch 1991 – 1994) [8], digitalizovanej mapy poľnohospodárskej využívannej pôdy SR a mapy potenciálnej tvorby dusičnanov v poľnohospodárskej pôde SR. V rámci práce sa uvádza, že bude ďalej potrebné spresňovanie vymedzovania zraniteľných oblastí na základe monitorovania, ktoré spĺňa požiadavky dusičnanevej smernice [9]. Legislatívne boli zraniteľné oblasti schválené v nariadení vlády SR č. 249/2003 Z. z. [10], ktoré bolo v roku 2004 aktualizované nariadením vlády SR č. 617/2004 Z. z. [11]. Pri druhej legislatívne schválenej revízii zraniteľných oblastí (nariadenie vlády SR č. 174/2017 Z. z. [5]) sa v rámci revízie zraniteľných oblastí pre podzemné vody využili výsledky z 645 monitorovacích objektov účelovej monitorovacej siete VÚVH na sledovanie znečistenia podzemných vôd, vybudovanej v roku 2008, čo umožnilo spresniť vymedzenie zraniteľných oblastí a znížiť počet obcí v zraniteľných oblastiach pre podzemnú vodu z 1 561 na 1 297. Ďalšie spresnenie vymedzenia zraniteľných oblastí pre podzemnú vodu priniesla novelizácia nariadenia vlády v roku 2022, keď bolo možné hodnotiť už aj trendy na 242 sondách kvantity SHMÚ monitorovaných VÚVH 1x ročne. Vďaka takto zahustenej monitorovacej sieti na účely dusičnanevej smernice a možnosti vyhodnotenia vývoja koncentrácií dusičnanov na zvýšenom

počte monitorovacích objektov sa podarilo významne zlepšiť vedomosti o rozsahu znečistenia podzemných vôd. Následne bolo možné znížiť počet obcí v zraniteľných oblastiach z pôvodných 1 561 na 1 191, bez ohrozenia kvality podzemných vôd. Výmera poľnohospodárskej pôdy v zraniteľných oblastiach pre podzemné vody sa postupne znížila o 2 876,67 km² z 13 684,65 km² na 10 807,98 km² (viac ako 20% zníženie z pôvodnej výmery poľnohospodárskej pôdy v zraniteľných oblastiach pre podzemné vody). Zmeny rozlohy poľnohospodárskej pôdy v zraniteľných oblastiach pre podzemné vody sú ilustrované na obr. 7.



Obr. 7 Vývoj výmery a podielu využívannej poľnohospodárskej plochy v zraniteľných oblastiach pre podzemné vody a mimo zraniteľných oblastí

V rámci projektu *Skvalitnenie účelovej monitorovacej siete VÚVH na sledovanie znečistenia v podzemných vodách* sa doteraz zrealizovalo 443 nových monitorovacích objektov, ktoré ďalej spresnia analýzu a vymedzenie zraniteľných oblastí podzemných vôd. Na sledovanie znečistenia v hlbších

hydrogeologických štruktúrach sa vybudovalo 8 hlbokých monitorovacích objektov. Aj ďalších 155 nefunkčných starších monitorovacích objektov VÚVH (zničené, dlhodobu suché) sa zrekonštruovalo. V budúcnosti je tak pravdepodobné opätovné zníženie výmery zraniteľných oblastí pre podzemnú vodu vďaka podrobnejšej znalosti miery znečistenia podzemných vôd dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov. Zároveň bude možné lepšie lokalizovať aj problematické miesta, na ktoré sa treba zameriavať v rámci návrhu a realizácie opatrení na zníženie koncentrácií dusičnanov a tieto opatrenia aj vyhodnocovať.

V roku 2021 Výskumný ústav vodného hospodárstva vykonal v zraniteľných oblastiach 199 terénnych obhliadok monitorovacích objektov s koncentraciami nad 50 mg/l, z ktorých sa až v 176 zistil vplyv poľnohospodárstva. Jeden monitorovací objekt stratil časom svoj pôvodný účel, keďže bol obštaný zástavbou. Ostatných 22 monitorovacích objektov je lokalizovaných na poľnohospodárskej pôde alebo v jej blízkosti a zároveň sa okrem poľnohospodárstva zaevidoval aj vedľajší potencionálny zdroj znečistenia (cintorín, komunál) [12]. Z uskutočnených obhliadok je zrejmé, že v prevažnej väčšine lokalít s nadlimitnou koncentraciou dusičnanov je zrejmý výrazný vplyv poľnohospodárskej činnosti na krajinu. Z vyššie uvedeného možno konštatovať jasný podiel poľnohospodárskej činnosti na zvýšení koncentrácie dusíkatých látok vo vzorkách podzemných vôd monitorovacej siete VÚVH. Údaje o prekročených limitných hodnotách dusičnanov VÚVH pravidelne poskytuje v rámci medzirezortnej spolupráce ÚKSÚP-u, ktorý ich následne zohľadňuje pri plánovaní a vykonávaní kontrol poľnohospodárskej činnosti v daných oblastiach.

Problematika revidovania zraniteľných oblastí a identifikácie vysokých koncentrácií dusičnanov z poľnohospodárskych zdrojov sa priebežne riešila v rámci medzirezortnej pracovnej skupiny implementácie dusičnanej smernice, do ktorej sú začlenené MŽP SR a jeho rezortné organizácie (VÚVH, SHMÚ, SAŽP), MPRV SR a s jeho rezortnými organizáciami (VÚPOP a ÚKSÚP) spolu v súčinnosti s poľnohospodárskymi komorami. Je nevyhnutné, aby medzirezortná spolupráca pokračovala a ďalej sa prehľbovala. Keďže dosiahnutie cieľa, – zníženie množstva dusičnanov v podzemných vodách – je možné iba spoločnými krokmi: monitorovanie kvality podzemných vôd, hodnotenie a interpretácia získaných dát a riešenie

konkrétnych problémov v lokalitách (kontroly, kontinuálne poradenstvo a opatrenia).

ZÁVER

Presadzovaním a realizovaním opatrení, ktoré vyplývajú z implementácie dusičnanej smernice, sa postupne obmedzujú straty živín z poľnohospodárstva. Vďaka dôkazom je možné dospieť k záveru, že bez tejto smernice by bola úroveň znečistenia vody v EÚ (a na Slovensku) podstatne vyššia [3].

Výsledky hodnotenia nameraných koncentrácií dusičnanov v podzemných vodách preukázali, že za posledné desaťročie sa kvalita podzemných vôd na Slovensku stabilizovala [2, 3]. Zahustenie monitorovacej siete podzemných vôd, sledovanej pracovníkmi VÚVH, výrazne zlepšilo schopnosť určiť rozsah znečistených podzemných vôd. Na základe toho je možné presnejšie identifikovať zraniteľné oblasti pre podzemné vody, teda lokality, kde je podzemná voda znečistená alebo by mohla byť znečistená v blízkej budúcnosti, ak sa nebudú realizovať opatrenia definované v Programe hospodárenia [13]. Podľa uvedených faktov je zníženie počtu zraniteľných oblastí o 129 obcí (resp. 370 oproti zraniteľným oblastiam z roku 2003) z aspektu znečistenia podzemných vôd opodstatnené. Vďaka výsledkom z monitorovania novovybudovaných/rekonštruovaných monitorovacích objektov VÚVH sa očakáva ďalšie spresnenie identifikácie zraniteľných oblastí pre podzemné vody aj po ďalšej revízii zraniteľných oblastí.

V zraniteľných oblastiach je potrebné dôsledne uplatňovať požiadavky dusičnanej smernice, resp. realizovať efektívne opatrenia na zabezpečenie ochrany vôd pred znečistením z poľnohospodárskej činnosti v súlade s programom hospodárenia vo vyhlásených zraniteľných oblastiach SR, ktorý je súčasťou novelizovaného zákona o hnojivách č. 136/2000 Z. z. (novela č. 394/2015, §10b, §10c) [13]. Zvyšujúca sa presnosť lokalizácie znečistenia podzemných vôd dusičnanmi vďaka zahustenej monitorovacej sieti a pravidelnej frekvencii monitorovania umožňuje efektívnejšie cielenie kontrol Ústredný kontrolný a skúšobný ústav poľnohospodársky (ÚKSÚP), nastavenie opatrení a hodnotenie ich efektívnosti, čo prispieva k účinnejšiemu plneniu environmentálnych cieľov Rámцovej smernice o vodách [14], ako aj cieľov implementácie dusičnanej smernice [1].

Literatúra:

- [1] Smernica Rady 91/676/EHS týkajúca sa ochrany vôd pred znečistením spôsobeným dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov.
- [2] MŽP SR. 2020. *Správa o stave implementácie smernice Rady 91/676/EHS týkajúcej sa ochrany vôd pred znečistením spôsobeným dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov v Slovenskej republike 2020*. Bratislava : MŽP SR, jún 2020.
- [3] Správa Komisie Rade a Európskemu parlamentu o vykonávaní smernice Rady 91/676/EHS o ochrane vôd pred znečistením dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov, vychádzajúca zo správ členských štátov za obdobie 2016 – 2019.
Dostupné na <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC1000&from=EN>.
- [4] Cibulka, R., Májovská, A., Rajczykova, E., Sumegová, L. a kol. *Revízia zraniteľných oblastí pre smernicu Rady 91/676/EHS Spoločná záverečná správa*. VÚVH, SHMÚ, 2020. Dostupné na <http://www.vuvh.sk/?lid=51>.
- [5] Nariadenie vlády SR č. 174/2017 Z. z., ktorým sa ustanovujú citlivé oblasti a zraniteľné oblasti.
- [6] MŽP SR. *Implementácia smernice 2000/60/ES Európskeho parlamentu a Rady z 23. októbra 2000: Vodný plán Slovenska. Plán manažmentu správneho územia povodia Dunaja. Plán manažmentu správneho územia povodia Váhu*. V príprave.
- [7] Nariadenie vlády SR č. 62/2022 Z. z., ktorým sa mení nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 174/2017 Z. z., ktorým sa ustanovujú citlivé oblasti a zraniteľné oblasti.
- [8] Čurlik, J., Šefčík, P. 1999: *Geochemický atlas Slovenskej republiky, časť V: Pôdy*. Bratislava : MŽP. ISBN: ISBN 80-88833-14-0.
- [9] Búchlerová, E., Slugeň, P. 2001: *Vymedzenie zraniteľných území*, záverečná správa, VÚVH Bratislava, december 2001.
- [10] Nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 249/2003 Z. z. z 26. júna 2003, ktorým sa ustanovujú citlivé oblasti a zraniteľné oblasti (účinnosť od 1. augusta 2003).
- [11] Nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 617/2004 Z. z. z 27. októbra 2004, ktorým sa ustanovujú citlivé oblasti a zraniteľné oblasti (účinnosť od 1. januára 2005)
- [12] Cibulka, R. a kol. 2021: *Monitorovanie a hodnotenie znečistenia vôd dusičnanmi v zmysle smernice 91/676/EHS*. Bratislava : VÚVH, február 2022.
- [13] Zákon č. 136/2000 Z. z. v znení neskorších predpisov (zákon o hnojivách).
- [14] Smernica 2000/60/ES Európskeho parlamentu a Rady ustanovujúca rámec pôsobnosti spoločenstva v oblasti vodnej politiky.

Eutrofizácia povrchových vôd – následok znečisťovania živinami

Ing. Elena Rajczyková, CSc., Ing. Lenka Sumegová, PhD.

Výskumný ústav vodného hospodárstva

ÚVOD

Slovenská republika sa vstupom do Európskej únie v roku 2004 zaviazala plniť záväzky spojené aj s implementáciou smernice Rady 91/676/EHS o ochrane vôd pred znečistením dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov (ďalej dusičnanová smernica) [1]. Cieľom dusičnanovej smernice je ochrana vôd pred znečisťovaním vôd dusičnanmi a zabrániť vzniku rizika eutrofizácie v dôsledku poľnohospodárskej činnosti. Smernica ustanovuje požiadavky, ktoré majú splniť členské štáty, aby predchádzali znečisťovaniu a znižovali znečistenie podzemných a povrchových vôd.

Jednou zo základných požiadaviek dusičnanovej smernice [1] je i vymedzenie zraniteľných oblastí, t. j. identifikovanie oblastí vôd znečistených a ohrozených dusičnanmi, v ktorých sa môže prejaviť aj riziko eutrofizácie v dôsledku činnosti poľnohospodárskych zdrojov. Pre tieto zdroje je potrebné stanoviť a zaviesť programy opatrení na predchádzanie a znižovanie znečistenia vôd.

METODIKA HODNOTENIA

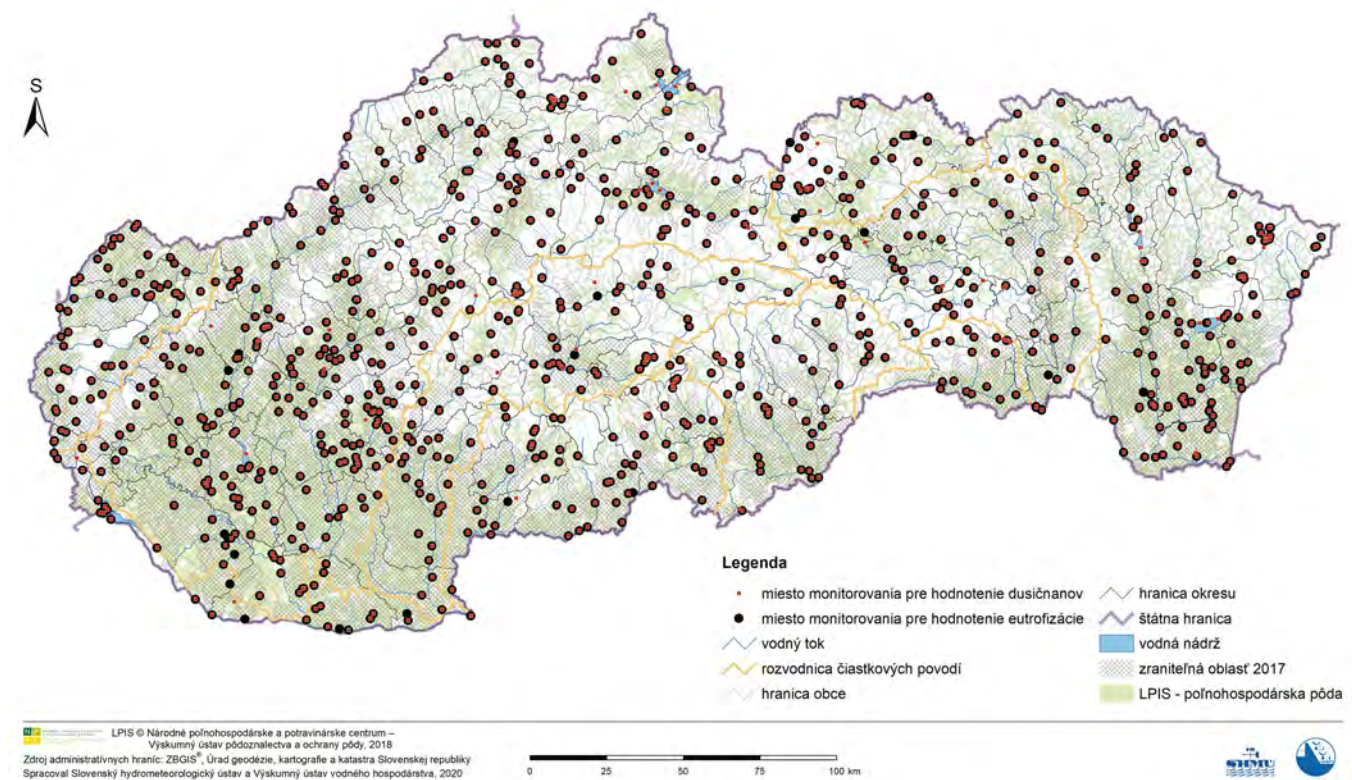
Spôsob využívania poľnohospodárskej pôdy významne ovplyvňuje kvalitu povrchových vôd, čo sa môže prejavovať zvýšenou koncentráciou živín (zlúčenín dusíka a fosforu) a eutrofizáciou povrchových vôd. Keďže všetky povrchové vody na Slovensku boli označené ako citlivá oblasť, podľa požiadaviek smernice Rady 91/271/EHS [2] sa už realizovala alebo zrekonštruovala prevažná väčšina čistiarní odpadových vôd (ČOV) v aglomeráciách nad 10 000 EO tak, aby zabezpečovali odstraňovanie nutričov (dusík a/alebo fosfor). Tieto opatrenia v rámci odvádzania a čistenia komunálnych odpadových vôd, aj keď priniesli významnú redukciu živín vypúšťaných do povrchových vôd, nemôžu samy zabezpečiť zníženie koncentrácie živín v povrchových vodách do takej miery, aby obohatenie živinami negatívne neovplyvňovalo dosiahnutie dobrého ekologického stavu v niektorých útvaroch povrchových vôd. Na základe výsledkov hodnotenia stavu povrchových vôd za referenčné obdobie 2013 – 2018 pre tretí plánovací cyklus (2. aktualizácia Plánu manažmentu správneho územia povodia (SÚP) Dunaja a Plánu manažmentu SÚP (Visly) majú zvýšené koncentrácie živín vplyv na nedosiahnutie dobrého ekologického stavu/potenciálu v 395 (29,24%) útvaroch povrchových vôd [3, 4].

V roku 2016, na základe hodnotenia koncentrácie živín a stavu eutrofizácie v povrchových vodách, sa počas revízie zraniteľných oblastí vymedzili zraniteľné oblasti aj vo

vzťahu k vplyvu poľnohospodárskych činností na povrchové vody. Zraniteľné oblasti po tejto revízii vymedzilo nariadenie vlády SR č. 174/2017 Z. z. [5]. Ďalšia revízia sa, v zmysle požiadaviek dusičnanovej smernice na 4 ročné cykly hodnotenia implementácie [1], spracovala v roku 2020. Pri hodnotení implementácie dusičnanovej smernice ide o medzirezortnú spoluprácu, na ktorej sa podieľajú odborné organizácie rezortov MŽP SR (VÚVH a SHMÚ) a MPRV SR (VÚPÚ a UKSUP). Do procesu sú zapojené aj poľnohospodárske komory.

Revízia vymedzenia zraniteľných oblastí pre povrchové vody v roku 2020 sa spracovala na základe monitorovania povrchových vôd na území SR a ďalších podkladov, ktoré nám poskytli informácie o využívaní krajiny v rámci územia SR, stave vôd, zdrojoch znečisťovania pomáhajúce odlišiť pôvod znečistenia a vypočítané bilancie na určenie dominantného zdroja znečisťovania. Pri revízii zraniteľných oblastí pre povrchové vody sa významnou mierou využívali prostriedky GIS analýzy a nasledujúce vstupné údaje:

- vymedzenie zraniteľných oblastí SR v roku 2017 [5];
- vrstva administratívneho členenia SR;
- webová aplikácia ZBGIS – Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky;
- informácie o využití krajiny na Slovensku – LPIS;
- bilancia dusíka na poľnohospodárskej pôde v povodiach jednotlivých problémových monitorovacích miest povrchových vôd;
- aktuálna vodná erózia poľnohospodárskej pôdy;
- prísun celkového a biologicky prístupného fosforu v dôsledku aktuálnej vodnej erózie poľnohospodárskej pôdy do jednotlivých útvarov povrchových vôd [6];
- vodohospodárske mapy;
- monitorovacia sieť povrchových vôd [7];
- hodnotenie koncentrácií dusičnanov, foriem fosforu a eutrofizácie v povrchových vodách za obdobie 2015 – 2018 a ich trendov;
- údaje o komunálnych odpadových vodách podľa vyhlášky č. 605/2005 Z. z. za rok 2018;
- informácie o odkanalizovaní, spôsobe čistenia komunálnych odpadových vôd na jednotlivých ČOV v rámci aglomerácií;
- bilancia N a P na odtoku z komunálnych odpadových vôd, ovplyvňujúca kvalitu povrchových vôd v povodiach problémových monitorovaných miest;
- informácie o environmentálnych záťažoch – vytvorené v rámci poľnohospodárskeho pôsobenia v minulosti;
- návrh vyhodnotenia ekologického stavu/potenciálu útvarov povrchových vôd [4].



Obr. 1 Monitorované miesta povrchových vôd hodnotené na účely vymedzenia zraniteľných oblastí povrchových vôd

Hodnotenie kvality povrchových vôd v súlade s požiadavkami smernice Rady 91/676/EHS [1] pre poskytovanie správ o jej implementácii Európskej komisii sa zrealizovalo na základe údajov spravovaných v databáze SHMÚ, ktorá obsahuje výsledky monitorovania povrchových vôd podľa Programov monitorovania vôd v Slovenskej republike, aktualizovaných za príslušný rok. Lokalizácia hodnotených monitorovaných miest povrchových vôd na revíziu zraniteľných oblastí za obdobie rokov 2015 – 2018 s ohľadom na situovanie poľnohospodárskej pôdy a zraniteľných oblastí ustanovených nariadením vlády SR č. 174/2017 Z. z. [5] s vyznačením administratívnych hraníc jednotlivých obcí a okresov SR, je prezentovaná na obr. 1.

Pri spracovaní hodnotenia eutrofizácie Metodikou SR [9] sa využili výsledky hodnotenia foriem dusíka a fosforu a relevantných biologických prvkov kvality z databázy VÚVH, využívané aj na hodnotenie ekologického stavu/potenciálu vodných útvarov. Metodika revízie zraniteľných oblastí pre povrchové vody nerozlišuje vodné toky a vodné nádrže, ale je použiteľná univerzálne pre obidve základné charakterovo odlišné skupiny povrchových vôd.

Procesne je metodika revízie zraniteľných oblastí (obr. 2) postavená na kriteriálnom hodnotení troch analýz:

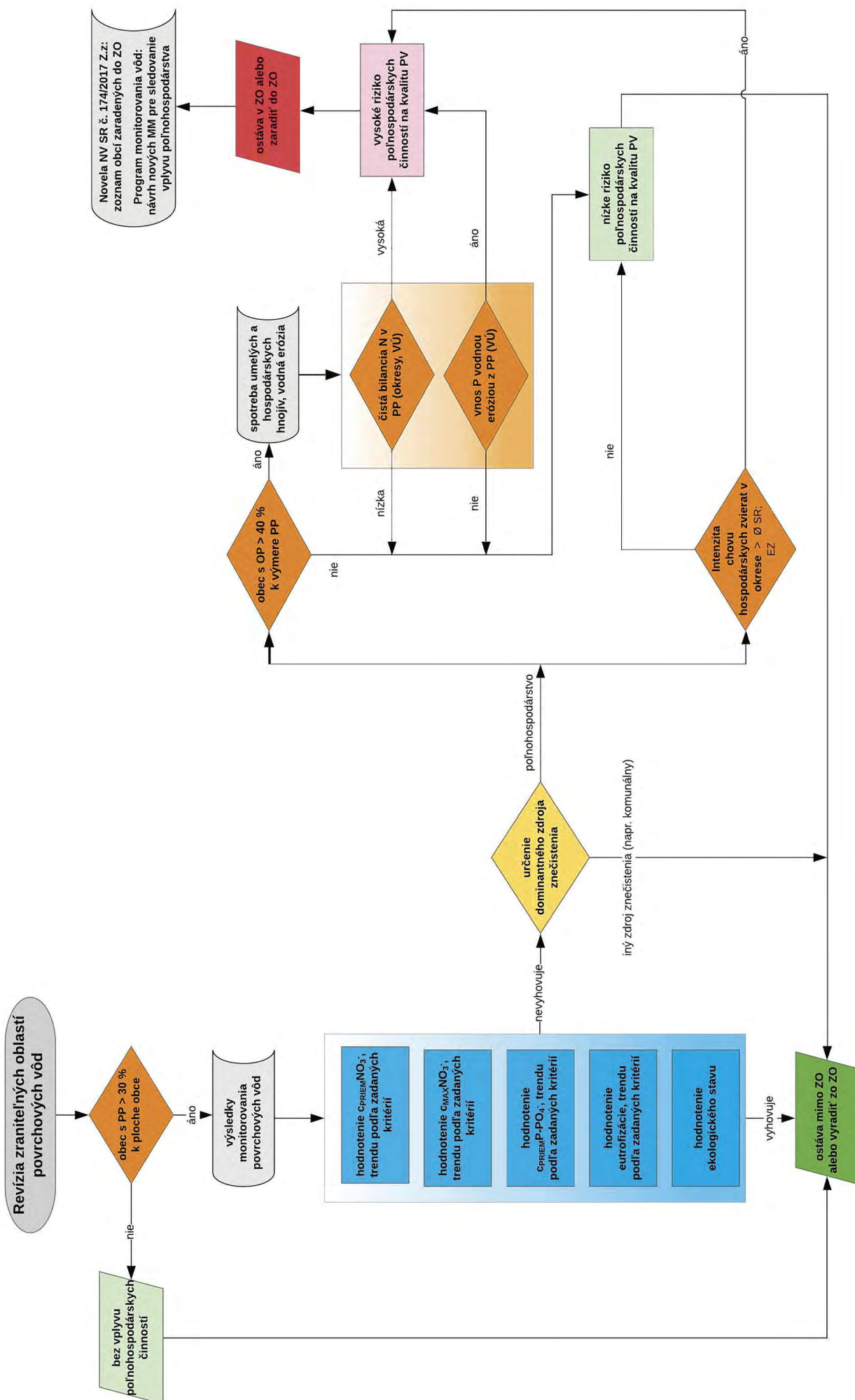
1. analýza kvality povrchových vôd – koncentrácia foriem dusíka a fosforu, eutrofizácia,
2. analýza vplyvu zdrojov znečisťovania – najmä poľnohospodárskych činností a nakladania s komunálnymi odpadovými vodami,

3. určenie dominantného zdroja znečisťovania povrchových vôd – kvantifikácia prísunu nutrientov z poľnohospodárskej činnosti (najmä z ornej pôdy) a z nakladania s komunálnymi odpadovými vodami do povrchových vôd.

Na analýzu kvality/stavu povrchových vôd sa využili výsledky hodnotenia relevantných ukazovateľov indikujúcich v zmysle smernice Rady 91/676/EHS vplyv poľnohospodárskej činnosti. Súčasťou analýz z revízie zraniteľných oblastí bolo aj určenie dominantného zdroja znečisťovania povrchových vôd. Hodnotenie sa urobilo pre jednotlivé monitorovacie miesta, kde sa uskutočnili merania v uvedenom období a zároveň sa nachádzali na územiach zraniteľných oblastí ustanovených nariadením vlády SR č. 174/2017 Z. z. [5] a na celom území SR. Na základe finálnych výstupov z analýz sa navrhli katastre obcí na zaradenie, vyradenie alebo ponechanie v zraniteľných oblastiach.

VÝSLEDKY HODNOTENIA EUTROFIZÁCIE

Dusičnany (NO_3^-), vyskytujúce sa v koncentráciách nad 50 mg/l, tak ako ich limituje dusičnanová smernica [1], nepredstavujú významný problém pre kvalitu povrchových vôd v SR. Podstatne významnejší vplyv na kvalitu povrchových vôd má ich obohatenie fosforom, ako limitujúceho prvku eutrofizácie v tokoch, a následne prejavujúca sa eutrofizácia, hodnotená na základe stavu vodného ekosystému prostredníctvom

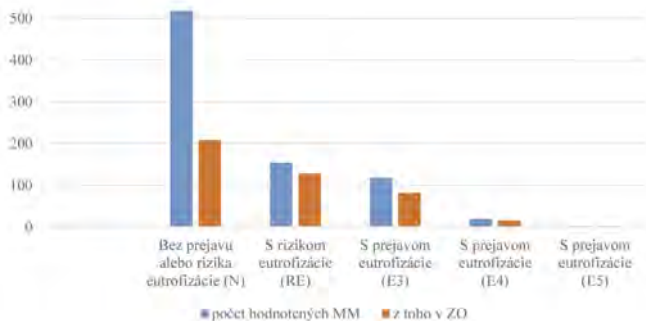


Obr. 2 Procesná schéma metodiky revízie zraniteľných oblastí povrchových vôd

relevantných fytozložiek pre jednotlivé vodné útvary (fyto-bentos, fytoplanktón, makrofyty).

Na účely revízie vymedzenia zraniteľných oblastí na Slovensku pre povrchové vody v roku 2020 sa aj hodnotenie povrchových vôd urobilo v zmysle požiadaviek dusičnanovej smernice [1]. Pri hodnotení eutrofizácie povrchových vôd sa skompletizovali a skontrolovali údaje monitorovania nutričov a biologických prvkov kvality za obdobie rokov 2015 – 2018 a vykonalo vyhodnotenie eutrofizácie za uvedené referenčné obdobie. Na obrázku 3 sú uvedené výsledky hodnotenia eutrofizácie vodných tokov vo všetkých 811 monitorovaných miestach a v zraniteľných oblastiach ustanovených v roku 2017 nariadením vlády SR č. 174/2017 Z. z. [5].

Počas referenčného obdobia sa monitorovalo a vyhodnotilo 811 monitorovaných miest vodných tokov na Slovensku. Výsledky hodnotenia eutrofizácie povrchových vôd uvedené na obr. 3 poukazujú na to, že väčšina hodnotených monitorovaných miest vodných tokov, ktoré sú v riziku (83,12%) alebo s prejavom eutrofizácie (71,22 %), sú situované v zraniteľných oblastiach. Počet vyhodnotených monitorovaných miest v zraniteľných oblastiach s prejavom eutrofizácie v stupni E3 predstavuje 69,49% zo všetkých hodnotených monitorovacích miest s týmto stupňom eutrofizácie, v stupni E4 dosahuje tento podiel 78,95% a v stupni E5 – vykázali eutrofizáciu 2 monitorované miesta, pričom obidve sa nachádzali v zraniteľných oblastiach. V týchto oblastiach z 518 monitorovaných miest bez rizika alebo prejavu eutrofizácie bolo 40,15%.



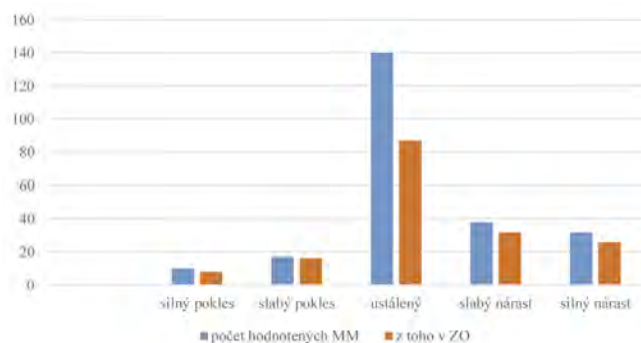
Obr. 3 Výsledky hodnotenia trofie vodných tokov SR za obdobie 2015 – 2018

Z hodnotených miest na vodných tokoch sa v sledovanom období určil na 237 miestach aj trend, resp. zmena vo vývoji eutrofizácie, vo vzťahu k predchádzajúcemu hodnotenému referenčnému obdobiu 2012 – 2014. Základným predpokladom na určenie trendu bolo, aby v danom monitorovacom mieste bola vyhodnotená eutrofizácia v oboch referenčných obdobiach.

Na vyhodnotenie trendu sa prijali kategórie „slabý pokles trendu“ – v prípade, že medzi dvomi sledovanými obdobiami došlo k poklesu (zlepšeniu) stavu trofie o jednu triedu trofie – a „silný pokles trendu“, ktorý predstavuje zlepšenie o 2 a viac tried medzi súčasným a predchádzajúcim obdobím. Podobne sa vyhodnotil rastúci trend ako „slabý nárast trendu“ – v prípade, že medzi dvomi sledovanými obdobiami došlo k zhoršeniu stavu trofie o jednu triedu – a „silný nárast trendu“, čo predstavuje zhoršenie o 2 a viac tried trofie medzi

súčasným a predchádzajúcim obdobím. Ustálený trend indikuje, že medzi dvomi obdobiami nenastala zmena, t. j. výsledok hodnotenia súčasného obdobia bol rovnaký ako v minulom období.

Vývoj trofických úrovní (obr. 4) naznačuje, že k zlepšeniu kvality, t. j. zníženiu trendu, dochádzalo prevažne v zraniteľných oblastiach, avšak zlepšenie nebolo také výrazné, aby sa v zraniteľných oblastiach prejavilo významnou mierou prechodu z eutrofných stavov do stavu bez rizika alebo bez prejavu eutrofizácie. Zhoršenie trofie bolo opäť vo významnej miere v MM v zraniteľných oblastiach (slabé zvýšenie trendu v 84,21% a silné zvýšenie trendu v 81,25 %). Ustálený trend sa zistil v 140 monitorovaných miestach, z toho v 62,16% prípadov v zraniteľných oblastiach.



Obr. 4 Vývoj trofie vodných tokov SR – porovnanie obdobia 2015 – 2018 s obdobím 2012 – 2014

K poklesu trendu (zlepšeniu) došlo v 27 monitorovacích miestach, a to najmä v čiastkovom povodí (ČP) Bodrogu v 7 miestach (v 3 k silnému, v 4 k silnému poklesu) a v čiastkovom povodí Váhu na 6 miestach, z toho v dvoch prípadoch silným poklesom (silným zlepšením). Z 27 hodnotených miest, v ktorých sa prejavil klesajúci trend eutrofizácie (zlepšenie), sa 24 (88,9%) nachádza v zraniteľných oblastiach.

Silný nárast trendu stavu trofie za obdobie 2015 – 2018 oproti predchádzajúcemu hodnotenému obdobiu sa zistil na 32 miestach a z ďalších 38 porovnávaných miest sa zaznamenal slabý nárast trendu.

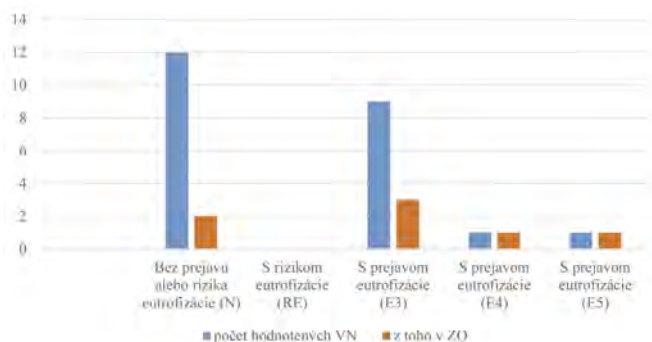
Podľa jednotlivých čiastkových povodí (ČP) sa nárast trendu trofie prejavil najmä v ČP Bodrogu v 10 monitorovacích miestach (5 silné, 5 slabé zhoršenie), v ČP Ipľa v 10 monitorovacích miestach (6 silné, 4 slabé zhoršenie), v ČP Váhu v 22 monitorovacích miestach (z toho: v povodí rieky Váh v 5 miestach silné zhoršenie, v povodí rieky Nitry v 8 miestach slabé zhoršenie a v 2 miestach silné zhoršenie, v povodí Malého Dunaja v 3 miestach slabé a v 4 miestach silné zhoršenie). V ČP Moravy sa nameral nárast trendu trofie v 12 monitorovaných miestach (v 9 miestach slabé, v 3 miestach silné zhoršenie).

Najviac z miest, v ktorých došlo k nárastu trendu (k zhoršeniu), je situovaných v čiastkovom povodí Váhu, Moravy, Bodrogu a Ipľa.

Zo všetkých monitorovaných miest v jednotlivých čiastkových povodiach, v ktorých sa posudzoval trend, bolo v ČP Váhu 18 (81,8 %), v ČP Moravy 11 (91,7 %), v ČP Bodrogu 9

(90,0 %), v ČP Ipľa 6 (60,0%) monitorovaných miest s ustanoveným rastúcim trendom, nachádzajúcich sa v zraniteľných oblastiach.

V podmienkach SR sa v zmysle požiadaviek Rámcovej smernice o vodách [9] vymedzilo 23 vodných útvarov – vodných nádrží. Keďže všetky ukazovatele, na základe ktorých sa hodnotí eutrofizácia, nemožno odobrať na jednom mieste, vodné nádrže sa vyhodnotili ako celok (vodný útvar). V období rokov 2015 – 2018 sa monitorovali všetky vodné nádrže. Výsledky hodnotenia eutrofizácie vo vodných nádržiach na území SR sú zhrnuté na obr. 5.



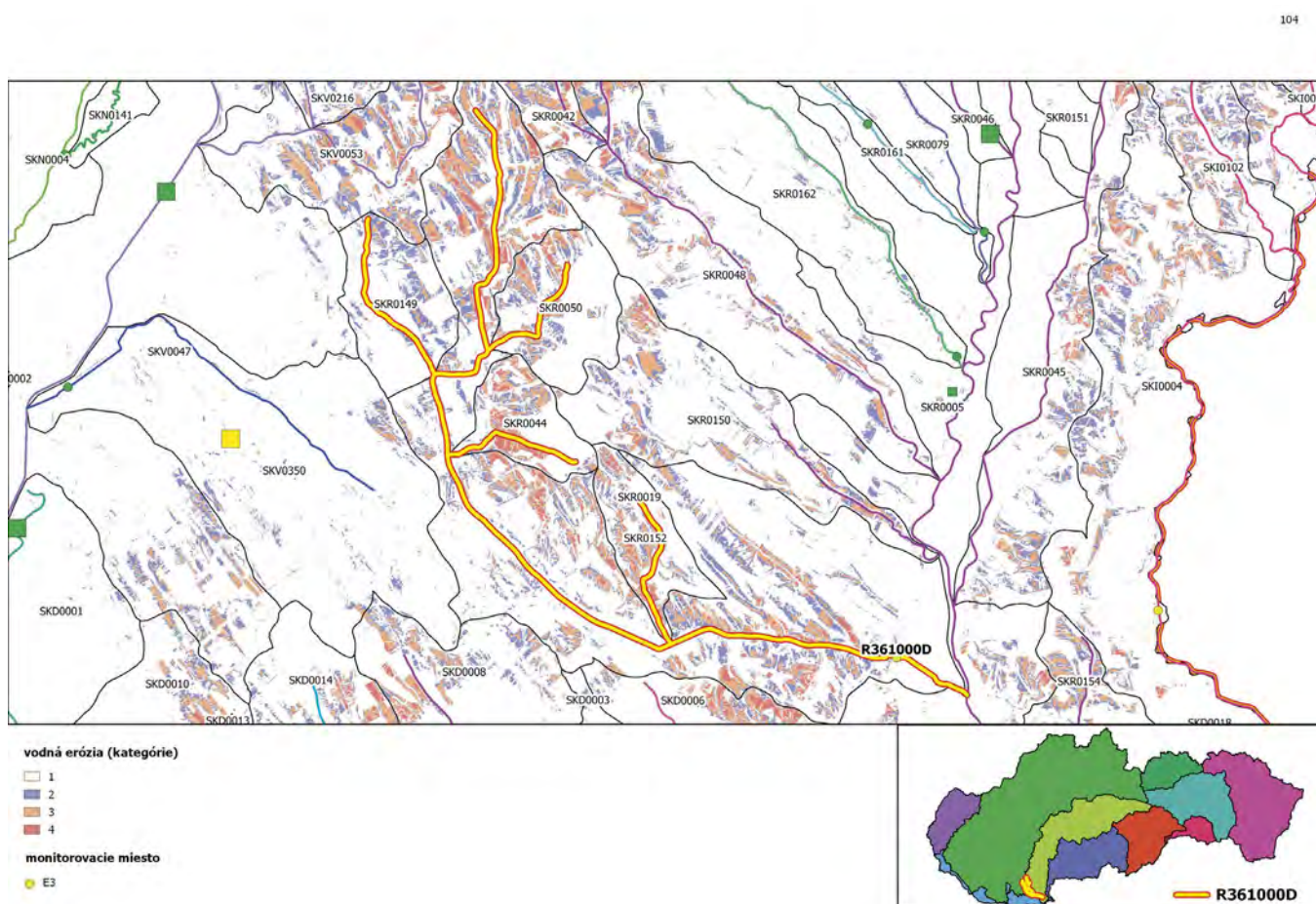
Obr. 5 Hodnotenie trofie vo vodných nádržiach SR za obdobie 2015 – 2018

Vo vodných nádržiach sa distribúcia dobrej kvality vôd výrazne posunula k vodárenským nádržiam. Z vodných nádrží na iné účely využívania boli bez prejavu eutrofizácie len 2 – VN Oravská priehrada a VN Liptovská Mara – zaradené do zraniteľných oblastí pre povrchové vody na základe revízie zraniteľných oblastí, vykonanej v roku 2016. Ostatné vodné nádrže boli vyhodnotené s rôznym stupňom prejavu eutrofizácie, pričom 45,45% z nich je situovaných v zraniteľných oblastiach. V riziku eutrofizácie sa nezistila ani jedna vodná nádrž.

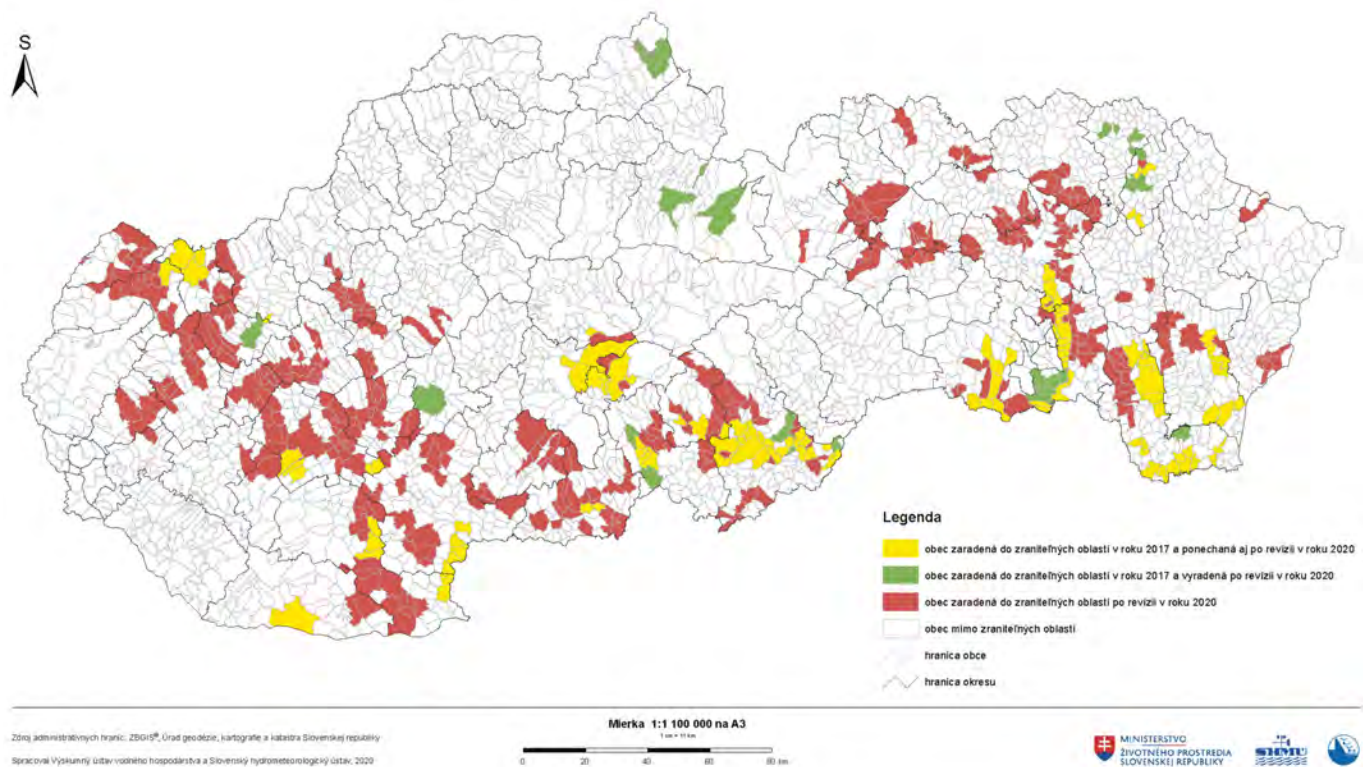
Trend vývoja trofie bolo možné vyhodnotiť v 16 vodných nádržiach. Ani v jednej z hodnotených vodných nádrží sa nezistil rastúci trend eutrofizácie (zhoršenie). Ustálený trend vývoja sa zaznamenal v 9 vodných nádržiach, z toho 7 (55,55%) je situovaných v zraniteľných oblastiach. Slabý pokles trendu (zlepšenie o 1 triedu trofie) sa zistil vo VN Kráľová a silný pokles trendu (zlepšenie o 2 triedy trofie) sa dosiahol v 6 vodných nádržiach, z ktorých 4 (66,66%) – VN Kunov, VN Teplý vrch, VN Oravská priehrada a VN Liptovská Mara – sa nachádzali v zraniteľných oblastiach.

STANOVENIE DOMINANTNÉHO ZDROJA ZNEČISTENIA

Pre povodia monitorovaných miest s rizikom alebo prejavom eutrofizácie sa na základe dostupných údajov vypočítali bilancie vnosu dusíka a fosforu do vôd pre poľnohospodárske činnosti a komunálne odpadové vody, ako najväčších



Obr. 6 Trasovanie v rámci GIS analýzy na určenie dominantného zdroja znečisťovania



Obr. 7 Návrh zraniteľných oblastí pre povrchové vody na základe revízie ZO v roku 2020

distribútorov živín do vôd. Pri určovaní dominantného zdroja znečistenia sa zohľadnili informácie o významných zdrojoch znečisťovania. Informácie o odkanalizovaní a čistení komunálnych odpadových vôd z jednotlivých obcí a aglomerácií, vypočítali sa bilančné množstvá dusíka a fosforu vypúšťané z jednotlivých ČOV na základe ich technológie čistenia. Pri ČOV, nahlásujúcich bilancie vypúšťaných živín do povrchových vôd, sa použili ich nahlásené údaje. Ohľadom neodkanalizovaných domácností sa do úvahy brala akumulácia splaškových odpadových vôd v žumpách a odhadnutý vnos znečistenia do povrchových vôd ako cca 10% vyprodukovaného znečistenia v príslušnom ukazovateli, ktoré sa do povrchových vôd dostáva nelegálnym nakladaním s týmito neodkanalizovanými odpadovými vodami a ovplyvňuje kvalitu povrchových vôd v rámci povodia identifikovaného „problémového“ monitorovacieho miesta, t. j. miesta s rizikom alebo prejavom eutrofizácie.

Jedným zo vstupov pri výpočte bilancie vnosu dusíka do povrchových vôd z poľnohospodárskych činností boli údaje z bilancie dusíka [10]. Keďže tieto údaje sa pre SR spracúvali na úrovni okresov, priradila sa všetkým obciam jedného okresu tá istá špecifická hodnota. Ďalším podkladom pri určovaní vplyvu poľnohospodárskej činnosti na kvalitu povrchových vôd bola erózia poľnohospodárskej pôdy. Na základe hodnotenia aktuálnej vodnej erózie poľnohospodárskej pôdy, spracované VÚPOP, rozdeľujúcim poľnohospodársku pôdu na 4 kategórie podľa významnosti erózie pôdy, sa napočítal prísun fosforu (celkového aj biologicky dostupného) z jednotlivých

povodií vodných útvarov povrchovým odtokom, ktorý predstavuje najvýznamnejšiu cestu vnosu tejto živiny do povrchových vôd [6]. Kým pri výpočte vnosu celkového fosforu sa vychádzalo z údajov Geochemického atlasu [11], pri výpočte vnosu biopristupného fosforu pre vodnú mikroflóru sa brali výsledky obsahu prístupného fosforu v pôde, zisťovaného v rámci agrochemického skúšania pôd.

Dominantný zdroj znečistenia povrchových vôd sa vytypoval vyhodnotením čiastkových výsledkov pomocou GIS analýzy, ktorá umožňuje lokalizáciu katastrov obcí so zvýšeným vnosom fosforu vodnou eróziou do povrchových vôd, výustov ČOV, zastavaných území obcí, hodnotených monitorovaných miest a ich povodií. Trasovaním toku znečistenia k hodnotenému monitorovaciemu miestu bolo možné posúdiť vplyvy v rámci celého povodia prislúchajúceho k posudzovanému monitorovaciemu miestu. Príklad GIS analýzy je uvedený na obr. 6. Na základe porovnania vypočítaných bilančných hodnôt živín z poľnohospodárskych a komunálnych zdrojov sa určil dominantný zdroj ohrozujúci kvalitu povrchových vôd.

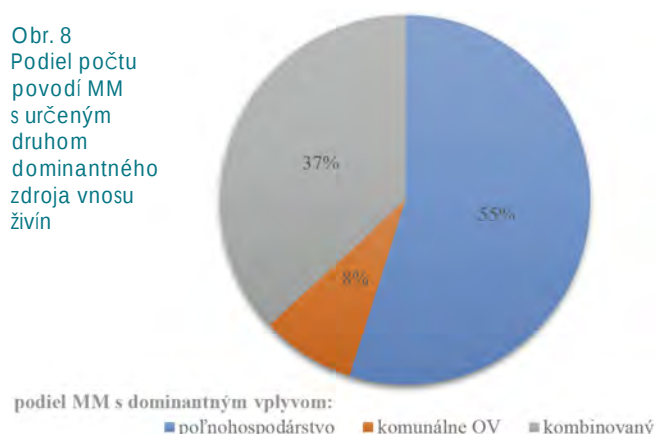
Finálnym výsledkom vykonanej analýzy bol zoznam katastrov obcí, poľnohospodárska činnosť, v ktorých predstavuje riziko, resp. v prípade nerealizácie vhodných opatrení bude rizikom pre vnos živín do povrchových vôd. Výsledok revízie zraniteľných oblastí pre povrchové vody je znázornený na obr. 7.

Ako sekundárny produkt analýzy dominantného zdroja znečisťovania vo vidieckych lokalitách, kde sa realizujú aj poľnohospodárske činnosti, na ktoré sa primárne analýza zamerala,

sa zistilo, že aj vypúšťania z ČOV v aglomeráciách pod 10 000 EO sa najmä na málovodných tokoch významným spôsobom podieľajú na obohacovaní povrchových vôd živinami.

Z porovnania bilancie dusíka a fosforu z jednotlivých druhov zdrojov znečisťovania a ich vnosu do povrchových vôd v rámci jednotlivých povodí hodnotených miest sa v 100 monitorovaných miestach identifikoval ako dominantný zdroj znečistenia vplyv poľnohospodárstva. Na základe týchto vý-

Obr. 8
Podiel počtu povodí MM s určeným druhom dominantného zdroja vnosu živín



sledkov sa jednotlivé katastre obcí v príslušných vodných útvaroch navrhli na zaradenie alebo ponechanie v zraniteľných oblastiach. Na poľnohospodárskej (najmä ornej) pôde v obciach zaradených do zraniteľných oblastí treba vykonať opatrenia týkajúce sa hospodárenia v rámci poľnohospodárskych činností alebo protierózne opatrenia zamedzujúce odnosu ornej pôdy.

V 15 monitorovaných miestach sa ako dominantný zdroj znečistenia určil vplyv komunálnych zdrojov znečisťovania.

Ak bol vplyv komunálnych odpadových vôd (resp. iné vplyvy) porovnateľný s vplyvom poľnohospodárstva, identifikoval sa kombinovaný vplyv na eutrofizáciu povrchových vôd, a to v 67 monitorovaných miestach. V obciach zaradených do zraniteľných oblastí, v ktorých sa zistil kombinovaný vplyv (aj poľnohospodárstvo, aj komunálne odpadové vody), sa odporúča vykonať opatrenia v rámci nielen poľnohospodárskych činností, ale aj odvádzania a čistenia komunálnych odpadových vôd.

Podiel počtu povodí hodnotených monitorovaných miest povrchových vôd s rizikom alebo prejavom eutrofizácie so stanoveným dominantným zdrojom vnosu živín je prehľadne uvedený na obr. 8.

Na základe hodnotenia stavu povrchových vôd pre druhú aktualizáciu Vodného plánu Slovenska [3] živiny (formy N, P) majú vplyv na nedosiahnutie dobrého ekologického stavu/potenciálu v 395 (29,24%) útvaroch povrchových vôd [4]. Preto budú v budúcnosti potrebné dôslednejšia aplikácia kombinovaného prístupu manažmentu povodí, využívanie emisno-imisného princípu a princípu znečisťovateľ platí. Realizácia efektívnych opatrení sa musí riadiť tak, aby opatrenia eliminovali tieto vplyvy a nadmerné obohacovanie povrchových vôd živinami (eutrofizácia) nebránilo v dosiahnutí dobrého ekologického stavu/potenciálu útvarov povrchových vôd.

Podrobnejšie tabuľkovo zhrnuté informácie možno nájsť v prílohách k správe o revízii zraniteľných oblastí z roku 2020 [12].

ZÁVERY

Z výsledkov revízie zraniteľných oblastí pre povrchové vody vidieť, že 167 hodnotených monitorovaných miest ovplyvnil poľnohospodárske činnosti. Katastre obcí, kde bol určený dominantný alebo kombinovaný vplyv poľnohospodárstva na kvalitu povrchových vôd, v dôsledku ktorého sa vyhodnotilo riziko alebo stanovili prejavy eutrofizácie, navrhli v roku 2020 na zaradenie do zraniteľných oblastí. V takýchto prípadoch by sa realizácia opatrení na poľnohospodárskej pôde mala zamerať najmä na agrotechnické činnosti na zvýšenie kvality pôdy, t. j. zvyšovanie jej vodozadržnej schopnosti a redukciu erózie pôdy.

Sekundárne, analýza odkryla aj významný vplyv neodkanalizovaných, nečistených, ale aj sekundárne čistených komunálnych odpadových vôd bez odstraňovania živín vo vidieckych lokalitách. Tento problém sa prejavuje najmä negatívnym ovplyvňovaním kvality povrchových vôd vypúšťaním splaškových vôd zo sídiel situovaných v blízkosti malých a stredných tokov (recipientov) nadmerným obohacovaním povrchových vôd živinami, a to v 82 monitorovaných miestach. V takýchto prípadoch by bolo vhodné, aby orgány štátnej vodnej správy pri vydávaní rozhodnutí zodpovedne posudzovali aj pre menšie zdroje komunálnych odpadových vôd najmä povinnosť zrážania fosforu na čistiarňach odpadových vôd.

Vykonané práce ukázali opodstatnenosť zvoleného prístupu pri nastavovaní efektívnych opatrení na zlepšovanie stavu útvarov povrchových vôd.

Literatúra:

- [1] Smernica Rady 91/676/EHS týkajúca sa ochrany vôd pred znečistením spôsobeným dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov.
- [2] Smernica Rady 91/271/EHS o čistení komunálnych odpadových vôd.
- [3] MŽP SR. Implementácia smernice 2000/60/ES Európskeho parlamentu a Rady z 23. októbra 2000: Vodný plán Slovenska 2. aktualizácia. Plán manažmentu správneho územia povodia Dunaja. Plán manažmentu správneho územia povodia Visly. MŽP SR, december 2021.
- [4] Makovinská, J. a kol.: Hodnotenie ekologického stavu, ekologického potenciálu a chemického stavu za obdobie 2013 – 2018 (2019) pre druhú aktualizáciu Vodného plánu.
- [5] Nariadenie vlády SR č. 174/2017 Z. z., ktorým sa ustanovujú citlivé oblasti a zraniteľné oblasti.
- [6] Bujnovský, R., Koco, Š., 2020: Významnosť vnosu fosforu procesom vodnej erózie poľnohospodárskej pôdy do povrchových vôd z pohľadu ich eutrofizácie v podmienkach Slovenska. *Vodohospodársky spravodajca*, 63, č. 7 – 8, s. 20 – 23.
- [7] MŽP SR. 2015. Rámcový program monitorovania vôd Slovenska na obdobie rokov 2016 – 2021. Bratislava : MŽP SR, december 2015.
- [8] Mišíková Elexová, E. a kol.: Vypracovanie klasifikačných schém pre ekologický potenciál (prehodnotenie MEP a GEP). *Správa úlohy č. 6 053*. Bratislava : VÚVH, december 2016.
- [9] Smernica 2000/60/ES Európskeho parlamentu a Rady ustanovujúca rámec pôsobnosti spoločenstva v oblasti vodnej politiky.
- [10] EUROSTAT 2013. Nutrient budgets – methodology and handbook. Version 1.02. Luxembourg: EUROSTAT and OECD.
- [11] Čurlík, J., Šefčík, P., 1999: *Geochemický atlas Slovenskej republiky*, časť V: Pôdy. Bratislava : MŽP. ISBN 80-88833-14-0.
- [12] Revízia zraniteľných oblastí pre smernicu Rady 91/676/EHS Spoločná záverečná správa. VÚVH, SHMÚ, 2020, dostupné na: <http://www.vuvh.sk/?lid=51>.

Analýza zásobního objemu nádrže v podmínkách nejistot klimatické změny

Martin Bednář, Daniel Marton

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny

Anotácia

Dle šesté hodnotící zprávy Mezivládního panelu pro změnu klimatu je jednoznačné, že antropogenní činnost negativně ovlivňuje globální klimatický systém, jímž důsledkem je změna klimatu způsobená postupným oteplením atmosféry, oceánů a povrchu Země. Klimatická změna má velký vliv na přírodu, lidskou populaci i vodní zdroje. Její efekt se výrazně projevuje především v koloběhu vody, který představuje delikátní rovnováhu mezi srážkami, odtokem, evaporací, a veškerými interakcemi mezi atmosférou a povrchem Země. Důsledkem toho je pak ovlivnění a změna hydrologických podmínek v krajině. Přestože je známo, že se klima bude v budoucnosti měnit, není možné předpovědět přesnou úroveň projevu této změny. Proto je důležité uvažovat i s nejistotami a neurčitostmi doložených informací ohledně budoucích změn. Je třeba si uvědomit, že nejistoty jsou vlastní všem podpůrným datům potřebným k jakémukoliv rozhodnutí. Správné určení nejistot jako součástí vyhodnocení dat poskytne lepší porozumění těmto podkladům a může zvýšit jejich užitečnost v rozhodovacích procesech. Z toho důvodu je adaptace hospodaření s vodními zdroji na nejistou klimatickou změnu zásadní. Otázkou je, jakým způsobem vyhodnotit zásobní objem vodní nádrže v podmínkách nejistot klimatické změny a zajistit tak její provozní udržitelnost?

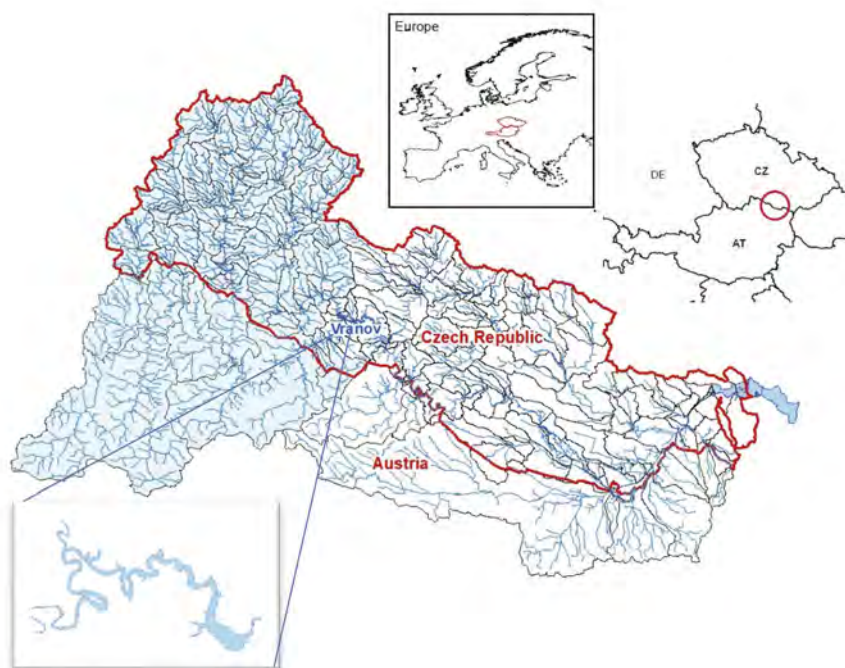
V tomto příspěvku je představen bilanční srážko-odtokový hydrologický model pracující v měsíčním kroku výpočtu. Model je založený na průměrném měsíčním nasycení půdy v povodí a průměrném měsíčním odtoku vody z povodí. Při výpočtu odtoku vody z povodí je uvažováno s povrchovým i podzemním odtokem a potenciální evapotranspirací, jejíž odhad je počítán metodou dle Thornthwaitea. Model je kalibrován na 37 parametrů, které jsou optimalizovány metodou redukováných gradientů. Kalibrovaný model je následně využit pro zpracování klimatologických dat zatížených nejistotou klimatické změny. Nejistota klimatické změny je reprezentována ansámblem budoucích klimatologických scénářů vygenerovaných pro období let 2021 – 2060. Tyto scénáře byly vygenerovány pomocí softwaru LARS WG. Ansámble tvoří 9 klimatologických scénářů založených na kombinaci 4 globálních klimatických modelů a 3 scénářů představující reprezentativní směry vývoje koncentrací (RCP). Konkrétně se jedná o modely EC EARTH, HadGEM2-ES, MIROC5 a MPI-ESM-MR a scénáře RCP2.6, RCP4.5 a RCP8.5.

Jako nástroj pro dlouhodobé vodohospodářské plánování je využit simulační model vodní nádrže, zpracovaný v softwaru Unce Clim Change. V rámci simulace provozu vodní nádrže je stanovena zabezpečenost dle doby trvání, která představuje procentuální vyjádření doby trvání, po kterou vodní nádrž pracuje bez poruchy. Poruchou se rozumí jakékoli omezení množství vody dodané spotřebiteli beze změny nalepšeného odtoku. Na základě výsledků ze softwaru Unce Clim Change jsou následně vyhodnoceny maximální hodnoty získaných zásobních objemů pro zvolené nalepšené odtoky z nádrže. Pro jednotlivé scénáře v ansámbli je rovněž stanovena zabezpečenost dle doby trvání, jejíž minimální limitní hodnota byla stanovena na 99,50% jako průměr za celý ansámbl. Vyhodnocení míry dopadů klimatické změny na zásobní objem vodní nádrže je prezentováno pomocí metody robustnosti. V příspěvku jsou zmíněné postupy aplikovány na vodní nádrž Vranov v povodí řeky Dyje, nacházející se v České republice.

ÚVOD

V současné době je klimatická změna velmi vážným tématem diskusí, protože má zásadní dopad na přírodu, obyvatelstvo i vodní zdroje. Šestá hodnotící zpráva Mezivládního panelu pro změnu klimatu (IPCC, 2021) uvádí, že každé z posledních čtyř desetiletí bylo postupně teplejší než kterékoli předchozí desetiletí od roku 1850. K tomuto globálnímu oteplování dochází postupným nárůstem koncentrací skleníkových plynů, jež je jednoznačně způsoben lidskou činností. Negativní vliv změny klimatu na úplný globální klimatický systém se projevuje především v koloběhu vody. V důsledku toho se měnily hydrologické podmínky v krajině. Přestože je známo, že se hydrologické a klimatologické podmínky budou měnit, nelze

předpovědět míru těchto změn v budoucnosti. Proto je důležité vyhodnocovat předpovědi, které jsou zatížené nejistotou, a být připraveni na každý budoucí scénář, který může nastat. Vyhodnocení nejistých předpovědí je důležité zejména v oblasti hospodaření s vodními zdroji, kde je rozhodující udržitelnost v budoucích nejistých podmínkách. Foley (2010) a Refsgaard a kol. (2013) zdůraznili, že emisní scénáře, klimatické modely a nejistoty vycházející z metod statistického downscalingu jsou zdrojem aleatorních a epistemických nejistot v procesech modelování změny klimatu ve vodním hospodářství. Pro posouzení nejistých budoucích klimatických prognóz byl vytvořen ansámbl pravděpodobných scénářů, který zahrnuje nejistotu změny klimatu. Vyhodnocení ansámbli bylo provedeno pomocí přístupu robustnosti (Groves a kol., 2008).



Obr. 1 Obecná poloha povodí řeky Dyje s vyznačením říční sítě a vodní nádrže Vranov: modrá oblast – zájmové území; červená čára – část povodí řeky Dyje ležící v České republice

Příspěvek představí analýzu zásobního objemu vodní nádrže v podmínkách nejistot klimatické změny v blízké budoucnosti. Analýza povrchového odtoku bude provedena pomocí celistvého bilančního hydrologického modelu v měsíčním časovém kroku výpočtu. Vstupní data pro model budou generována prostřednictvím software LARS WG (Racsko a kol., 1991) v podobě ansámblu devíti klimatických scénářů. Pro vytvoření ansámblu budou použity čtyři globální klimatické modely a tři reprezentativní směry vývoje koncentrací (RCP; Representative concentration pathways). Následně bude provedena analýza a vyhodnocení zásobního objemu nádrže pomocí zabezpečení dle trvání dle Hashimoto (1982) a vyhodnocení robustnosti navrhovaného řešení dle Roach a kol. (2016).

Analýza dopadu změny klimatu bude provedena na povodí řeky Dyje v pohraniční oblasti Rakouska a České republiky. Povodí má plochu 13 419 km², z nichž zájmové území má rozlohu 2 124 km². Povrchový odtok ze zájmové oblasti, který bude analyzován, reprezentuje přítok do vodní nádrže Vranov, která byla vybrána proto, že se jedná o jednu z významných nádrží v České republice a jejím hlavním účelem je zásobování obyvatelstva pitnou vodou a zajištění minimálního zůstatkového průtoku pod nádrží. Celkový objem vodní nádrže Vranov je 132,7 mil. m³, ze kterých 79,7 mil. m³ představuje zásobní prostor (objem) a 21,2 mil. m³ představuje retenční prostor. Celkový rovnoměrný odtok z nádrže jsou 4 m³/s pro 100 % zabezpečení dle trvání a 4,3 m³/s pro zabezpečení 99,50 % (jedná se o hodnoty z manipulačního řádu VD Vranov). Zmíněné metody a nástroje budou použity pouze na zásobní objem vodní nádrže Vranov.

METODY

Celstvý bilanční hydrologický model

Základem metod použitých v tomto příspěvku je celistvý bilanční hydrologický model. Model je založen na řídicích rovnicích, které specifikují celkový měsíční průtok a měsíční nasycení půdy. Bilanční model počítá tři hlavní komponenty, kterými jsou průměrný měsíční povrchový odtok q_s , průměrný měsíční podzemní odtok q_g a průměrná měsíční evapotranspirace E . Rovnice definující srážko-odtokový proces publikovali Wang a kol. (2014, 2016) a na středoevropské hydrologické a klimatické podmínky je upravili Marton a Knoppová (2019). Hlavní vzorce, které definují srážko-odtokový proces, jsou popsány následovně:

$$q_{s,i} = k_s \cdot \frac{S_{i-1}}{S_{max}} \cdot h_{m,i}, \quad (1)$$

kde $q_{s,i}$ je průměrný měsíční povrchový odtok [mm], k_s je parametr modelu pro povrchový odtok [-], S_{i-1} je průměrné měsíční nasycení půdy v předchozím časovém kroku výpočtu [mm], S_{max} je maximální možné nasycení půdy v povodí [mm] a $h_{m,i}$ je průměrný měsíční úhrn srážek [mm]. Rovnice (2) popisuje výpočet podzemního odtoku:

$$q_{g,i} = k_g \cdot S_{i-1}, \quad (2)$$

kde $q_{g,i}$ je průměrný měsíční podzemní odtok [mm], k_g je parametr modelu pro podzemní odtok [-], S_{i-1} je průměrné měsíční nasycení půdy v předchozím časovém

kroku výpočtu [mm]. Vyhodnocení průměrné měsíční evapotranspirace je provedeno pomocí rovnice (3):

$$E_i = k_e \cdot \frac{S_{i-1}}{S_{max}} \cdot E_{p,i}, \quad (3)$$

kde E_i je odhad průměrné měsíční evapotranspirace z povodí [mm], k_e je parametr modelu pro odhad evapotranspirace [-] a $E_{p,i}$ je průměrná měsíční potenciální evapotranspirace [mm]. Potenciální evapotranspirace (PET) musí být pro výpočet modelu poskytnuta, tzn. je vypočtena v předstihu. Stanovení PET bylo provedeno pomocí empirické metody Thornthwaite založené na průměrné teplotě vzduchu (Thornthwaite, 1948). Tato metoda odhaduje PET pro standardní měsíc o 30 dnech, kdy každý den má 12 hodin slunečního svitu, jako funkci průměrné měsíční teploty vzduchu. Vzorec pro stanovení PET je následující:

$$I_j = \sum_{m=1}^{12} \left(\frac{T_{mean,i}}{5} \right)^{1,5} \quad (4)$$

kde $E_{p,i}$ je průměrná měsíční PET [mm.měsíc⁻¹], $T_{mean,i}$ je průměrná měsíční teplota vzduchu v i -tém časovém kroku výpočtu [°C], L_i je průměrná délka dne v i -tém měsíci [hod] a d_i je počet dnů v i -tém měsíci [-]. Parametr a_j je závislý na teplotním indexu j -tého roku I_j a je stanoven pomocí následujících rovnic:

$$I_j = \sum_{m=1}^{12} \left(\frac{T_{mean,i}}{5} \right)^{1,5} \quad (5)$$

$$a_j = (0.0675 \cdot I_j^3 - 7.71 \cdot I_j^2 + 1792 \cdot I_j + 47239) \cdot 10^{-5}. \quad (6)$$

Celkový měsíční odtok z povodí q_g je stanoven součtem průměrného měsíčního povrchového a podzemního odtoku (rovnice (7)).

$$q_{a,i} = q_{s,i} + q_{g,i}. \quad (7)$$

Nakonec je stanoveno nasycení půdy v povodí S_i pomocí rovnice (8):

$$S_i = S_{i-1} + h_{d,i} - q_{a,i} - E_i, \quad (8)$$

kde S_i je průměrné nasycení půdy na konci i -tého měsíce [mm], S_{i-1} je průměrné nasycení půdy na konci předchozího časového kroku [mm], $h_{d,i}$ je průměrný měsíční úhrn srážek [mm], $q_{a,i}$ je celkový měsíční odtok vody z povodí [mm] a E_i je průměrná měsíční evapotranspirace [mm]. Rovnice (1) až (8) jsou pro $i = 1, 2, \dots, N$, kde N je délka časových řad vstupujících do modelu.

Optimalizační metoda

Optimalizační problém je definován stanovením soustavy rovnic a výběrem několika rozhodujících proměnných.

V tomto případě jsou rozhodujícími proměnnými parametry modelu. Jako kritériální funkce, pro optimalizaci parametrů k_s , k_g a k_e modelu v kalibračním procesu, byl zvolen koeficient Nash-Sutcliffe model efficiency (NSE; Nash a Sutcliffe, 1970). Kritérium NSE nabývá hodnot v intervalu od $-\infty$ do 1 (včetně). Hodnota NSE je vypočtena pomocí rovnice (9):

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{o,i} - Q_{p,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{o,i} - \bar{Q}_o)^2}, \quad (9)$$

kde $Q_{o,i}$ je měřená hodnota měsíčního průtoku [m³.s⁻¹], $Q_{p,i}$ je modelovaná hodnota měsíčního průtoku [m³.s⁻¹] pro $i = 1, 2, \dots, N$, kde N je délka časových řad vstupujících do modelu, a je průměrná hodnota měřených průtoků za celé sledované období [m³.s⁻¹].

Moriasi a kol. (2007) zdůraznili, že hodnoty mezi 0 a 1 jsou obecně považovány za přijatelnou úroveň vhodnosti modelu, zatímco hodnoty nižší než 0 znamenají, že průměrná pozorovaná hodnota je lepším prediktorem než simulované hodnoty, což znamená nepřijatelnou úroveň vhodnosti modelu. Moriasi a kol. (2015) stanovili obecné vyhodnocení vhodnosti modelu, pro měsíční časový krok a měřtko celého povodí, jako: neuspokojivý model ($NSE \leq 0,50$), uspokojivý model ($0,0 < NSE \leq 0,70$), dobrý model ($0,70 < NSE \leq 0,80$) a velmi dobrý model ($0,80 < NSE \leq 1,00$).

Statistický downscaling

K získání potřebných meteorologických dat pro simulační model byl použit software LARS WG (verze 6) (Racsko a kol., 1991), který je běžným nástrojem statistického downscalingu projekcí změny klimatu. Podrobný popis klimatického modelu a postupů downscalingu lze nalézt v uživatelském manuálu pro LARS WG (verze 3) od Semenova a Barrowa (2002).

Pomocí LARS WG byla vygenerována kvazi historická referenční tzv. baseline data a ansámbl devíti budoucích klimatických scénářů. Scénáře byly stanoveny sloučením metody statistického downscalingu se čtyřmi globálními klimatickými modely (GCM; Global climate models) za použití RCP scénářů jako okrajových podmínek pro budoucí projekce. V při-

Tab. 1 Kombinace použitých GCM a RCP (ansámbl devíti klimatických scénářů)

Globální klimatické modely (GCM)	Reprezentativní směry vývoje koncentrací (RCP)
EC EARTH	RCP4.5, RCP8.5
HadGEM2-ES	RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5
MIROC5	RCP4.5, RCP8.5
MPI-ESM-MR	RCP4.5, RCP8.5

spěvku byly použity emisní scénáře RCP2.6, RCP4.5 a RCP8.5. Mitigační scénář, RCP2.6 (van Vuuren a kol., 2011), je optimistický scénář vývoje, který vede k nízké úrovni radiačního působení na konci 21. století (2.6 W.m⁻²). Scénář RCP4.5 je střední stabilizační scénář, jež předpokládá nárůst radiačního působení na hodnotu 4,5 W/m² v roce 2100 a následně jeho pozvolný pokles (Thomson a kol., 2011). Scénář RCP8.5 předpokládá vysokou míru emisí, což vede k vysokému radiačnímu

působení v 21. století, kdy v roce 2100 dosáhne hodnoty 8,5 W.m⁻² a dále poroste (Riahi a kol., 2011).

Pomocí LARS WG bylo vytvořeno devět klimatických scénářů, založených na výše zmíněných GCM a RCP, pro dvě časová období: P1 (2021 – 2040), P2 (2041 – 2060) a jejich kombinace P1 + P2 (2021 – 2060). Vytvořené soubory meteorologických dat jsou prezentovány jako měsíční teploty vzduchu (průměrné, minimální a maximální) a měsíční srážkové úhrny pro každý z vytvořených scénářů. Výsledná kombinace GCM a RCP tvoří ansámbl devíti scénářů je vyobrazena v tab. 1.

Unce Clima Change

Software Unce Clima Change je založen na simulačním modelu nádrže, který využívá, k simulaci plnění a prázdnění zásobního objemu, základní rovnici nádrže, kterou popsal Starý (2005). Na základě simulace provozu nádrže jsou aplikovány dvě úlohy. První úlohou je stanovení zásobního objemu nádrže pro 100% zabezpečení dle trvání P_r . Následně, když známe zásobní objem pro bezporuchový provoz nádrže, je druhá úloha založena na vyhodnocení zabezpečení dle trvání pro navýšený odtok z nádrže (více než 100% dlouhodobého průměrného průtoku). Základní koncepce vyhodnocení systému vodních zdrojů dle zabezpečení popsal Hashimoto (1982).

Software analyzuje soubor klimatických scénářů při nejistotě změny klimatu a vyhodnocuje obě výše uvedené úlohy pro každý scénář.

Robustnost

Pro vyhodnocení výsledků ansámblu scénářů, který je zatížen nejistotami klimatické změny, byla použita metoda robustnosti. Metoda je běžně popisována jako úroveň, do které systém dodávky vody funguje na uspokojivé úrovni napříč širokým rozsahu pravděpodobných budoucích podmínek (Groves a kol., 2008). Robustnost ansámblu, pro předem stanovené odtoky z nádrže, je stanovena jako poměr počtu scénářů, které uspokojí dodávku vody se zabezpečeností dle trvání vyšší než 99,50%, ku počtu všech scénářů v ansámblu. Tento přístup je převzat z Roach a kol. (2016). Robust se pak stanovuje pomocí rovnice (10):

$$ROB = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i, \quad (10)$$

kde ROB je robustnost ležící v intervalu od 0 do 1, S_i je ohodnocení výsledného systému na okrajové podmínky, které jsou zatíženy nejistotou, $i = 1, \dots, N$, kde N je počet vstupních okrajových podmínek. Ohodnocení je definováno jako (11).

$$S_i = \begin{cases} 1, P_{T,i} \geq P_T, \text{ pro } i = 1, \dots, N \\ 0, P_{T,i} < P_T, \text{ pro } i = 1, \dots, N' \end{cases} \quad (11)$$

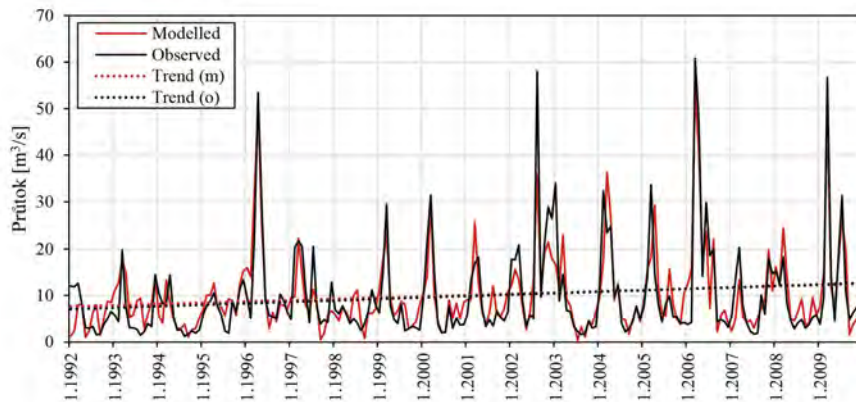
kde $P_{T,i}$ je výsledná zabezpečení podle trvání i -tého řešení pro $i = 1, \dots, N$. P_T je požadovaná zabezpečení podle trvání.

VÝSLEDKY A DISKUSE

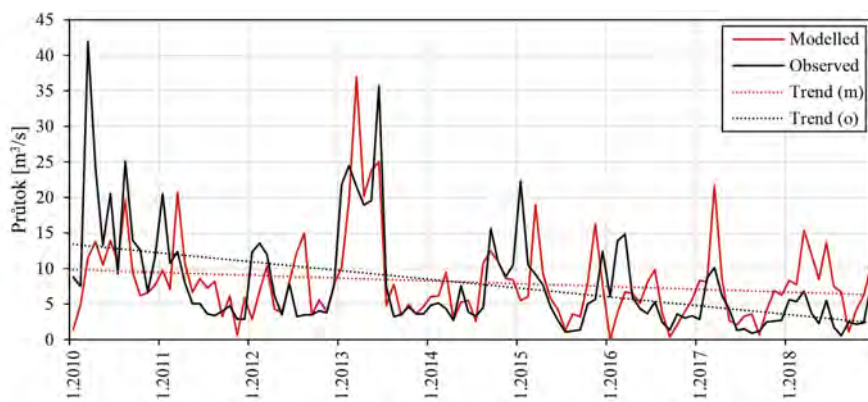
Aby bylo možné zpracovat klimatické scénáře vytvořené softwarem LARS WG, musel být nejprve zkalibrován celistvý bilanční srážko-odtokový model. K tomuto účely byly k dispozici časové řady měřených hodnot teploty vzduchu a srážkových úhrnů za období 1991 – 2018. Procentuální poměr mezi délkou kalibračních a validačních dat byl 70/30; kalibrační data tedy pocházela z let 1991 až 2009 a validační data z let 2010 až 2018. Kritériem pro optimalizaci parametrů modelu bylo maximalizování hodnoty NSE. Tedy řešení optimalizace bylo definováno jako klasický maximalizační problém. Pro vyřešení optimalizační úlohy byl použit algoritmus zobecněného redukováného gradientu (Lasdon a kol., 1978), který je součástí programu Microsoft Excel. Jak již bylo zmíněno výše, rozhodujícími proměnnými optimalizace jsou parametry modelu. Srážko-odtokový model je založen na měsíčním časovém kroku výpočtu. Celkový počet parametrů je tedy 37. Detailně jde o 3-krát 12 parametrů k_s povrchového odtoku, k_g pozemního odtoku a k_e evapotranspirace pro každý měsíc v roce. Plus jeden parametr jako počáteční podmínka nasycení půdy v povodí. Hodnota kritériální funkce pro kalibrační období byla stanovena na $NSE_{cal} = 0,758$, která leží v intervalu mezi 0,70 a 0,80. Dle Moriasi a kol. (2015) je tedy model považován za dobrý. Vizualní srovnání měřené a simulované průtokové řady s vyznačením lineárního trendu je vyobrazeno na obr. 2, resp. obr. 3.

Na obrázku 2 pozorujeme, že výsledky z kalibrace odpovídají hodnotě kritéria a simulovaná průtoková řada kopíruje měřené hodnoty. Sklony přímk lineárních trendů jednotlivých řad jsou téměř totožné. Optimalizované parametry byly následně použity pro simulaci srážko-odtokového procesu pro validační období, kde validační kritérium NSE dosáhlo hodnoty $NSE_{val} = 0,309$. V porovnání s výsledky z kalibrace se jedná o poměrně nízkou hodnotu. Hlavním důvodem byl výskyt neobvyklého sucha v povodí v letech 2015 – 2018, jež byly součástí validačního období (NOAA, 2019). Při odstranění těchto roků z validační řady došlo ke změně poměru kalibračních a validačních dat na 80/20. Validační řada pak tedy měla délku od 2010 do 2014. Po odstranění těchto hydrologicky extrémních let se hodnota kritéria pro validační data zlepšila o téměř 25%, konkrétně na hodnotu $NSE_{val} = 0,385$.

Obrázek 3 znázorňuje, že měřená průtoková řada má výrazně strmější klesající lineární trend než řada simulovaná, což je způsobeno neobvykle suchými roky 2015 – 2018. Proto došlo k ovlivnění konečné hodnoty kritéria NSE u validačních dat. Model byl tedy považován za úspěšně kalibrovaný a validovaný. Nakalibrovaný model byl následně aplikován na referenční data (baseline) a data z ansámblu klimatických scénářů. Dlouhodobý průměrný průtok z historické řady byl stanoven $Q_a = 9,068$ m³/s pro období let mezi 1991 a 2018. Pro baseline data byl dlouhodobý průměrný průtok $Q_a = 10,872$ m³/s. Bylo tedy nutné chybu zkreslení baseline dat a jednotlivých scénářů korigovat. Na uvedená data byla použita jednoduchá lineární BIAS korekce. Což je v podstatě poměr mezi dlouhodobými průměrnými průtoky měřených průtokových řad a průtokových řad z baseline dat (Lenderink a kol., 2007).



Obr. 2 Srovnání průměrných měsíčních průtokových řad měřených a simulovaných dat z kalibrace modelu



Obr. 3 Srovnání průměrných měsíčních průtokových řad měřených a simulovaných dat z validace modelu

Tab. 2 Dlouhodobé průměrné průtoky pro predikovaná data změny klimatu

Kombinace GCM a RCP	Dlouhodobý průměrný průtok Q_a [m³/s]				Relativní odchylka k baseline [%]		
	Baseline	P1	P2	P1+P2	P1	P2	P1+P2
EC EARTH 4.5	9,068	8,79	7,40	8,093	-3,1	-18,4	-10,8
EC EARTH 8.5	9,068	9,06	6,30	7,683	-0,1	-30,5	-15,3
HadGEM2-ES 2.6	9,068	6,02	6,35	6,183	-33,7	-30,0	-31,8
HadGEM2-ES 4.5	9,068	6,80	5,45	6,129	-25,0	-39,9	-32,4
HadGEM2-ES 8.5	9,068	6,50	5,30	5,896	-28,4	-41,6	-35,0
MIROC5 4.5	9,068	8,08	7,59	7,838	-10,9	-16,3	-13,6
MIROC5 8.5	9,068	7,70	6,78	7,239	-15,1	-25,2	-20,2
MPI-ESM-MR 4.5	9,068	7,34	7,01	7,175	-19,1	-22,7	-20,9
MPI-ESM-MR 8.5	9,068	7,75	7,67	7,707	-14,6	-15,4	-15,0

Dále byl stanoven dlouhodobý průměrný průtok pro každý scénář ansámblu. Porovnání těchto hodnot je vyobrazeno v tab. 2.

Z tabulky 2 je patrné, že v každém období dlouhodobý průměrný průtok bez výjimek poklesl. V porovnání Q_a z baseline dojde do roku 2060 k poklesu dlouhodobého průměrného průtoku o 10,8% až 35,0%. S uvážením změn v hodnotách průtoků nemusí být zásobní objem nádrže v budoucnu dostatečný. Proto bylo v dalším kroku přistoupeno k analýze vlivu simulovaných dat ansámblu na kapacitu zásobního objemu nádrže.

Nejprve bylo třeba zjistit skutečný zásobní objem nádrže pro bezporuchovou 100% zabezpečení P_T z historických reálných dat a baseline dat. Skutečný zásobní objem nádrže Vranov V_z je 79 688 000 m³ a hodnota rovnoměrného nalepšeného odtoku z nádrže O_p je 4 m³/s. Obě hodnoty jsou převzaté z manipulačního řádu nádrže. Pro ověření funkčnosti softwaru a správnosti výpočtů byly obě hodnoty s využitím zmíněných historických dat hledány pomocí softwaru Unce Clima Change. Zásobní objem byl stanoven na 79 670 424 m³, kterému odpovídala hodnota rovnoměrného nalepšeného odtoku $O_p = 4,412$ m³/s. Rozdíl mezi hodnotami z manipulačního řádu a vypočtenými lze vysvětlit použitím různé délky řad. Podobné hodnoty byly očekávány i při využití baseline dat. Nejblíže skutečnému zásobnímu objemu byl pro baseline data vypočten $V_z = 79 695 800$ m³ pro $O_p = 5,196$ m³/s. Tato hodnota odtoku je větší, než se očekávalo, a to asi o 15%, protože software LARS WG nadhodnotil maxima v simulovaných datech. Z tohoto důvodu budou výsledky pro ansámbl porovnány pouze s baseline daty, protože je pravděpodobné, že jsou simulovaná data scénářů z LARS WG ovlivněny stejným nadhodnocením maximálních hodnot.

Vzhledem k tomu, že ansámbl pokrývá široký rozsah budoucího vývoje klimatu, je zde velký rozdíl mezi minimálním a maximálním zásobním objemem $\min V_z$ a $\max V_z$ pro stanovené nalepšené odtoky z nádrže O_p . Bylo obtížné vyhovět středním hodnotám $\max V_z$, protože pro některé scénáře byly absurdně vysoké. V rámci ansámblu byly tedy pro každé období hledány pouze hodnoty maximálního zásobního objemu nádrže $\max V_z$ pro $P_T = 100\%$ blíží se hodnotě $V_z = 79 688 000$ m³ a k nim odpovídající hodnota nalepšeného odtoku vody z nádrže O_p . Výsledné hodnoty O_p , minimální a maximální V_z pro $P_T = 100\%$ pro jednotlivá období, jsou uvedeny v tab. 3.

Nalepšené odtoky z nádrže pro 100% zabezpečení dle trvání uvedené v tab. 3 byly stanoveny pro hodnoty maximálního zásobního objemu z hlediska celého ansámblu. Zásobní objemy byly hledány s přesností odtoku 0,001 m³/s (1 litr/s) tak, aby co nejvíce odpovídaly kritériu $\min\{ \max V_z - (V_z = 79\,688\,000 \text{ m}^3) \}$. Porovnáním hodnoty nalepšeného odtoku pro baseline data a O_p ansámblu pro celé období (P1 + P2) pozorujeme pokles v odtoku z nádrže o 0,519 m³/s, což je téměř 10% rozdíl.

Tab. 3 Rovnoměrné nalepšené odtoky pro maximální zásobní objemy v ansámblu pro jednotlivá období

Období	O_p [m ³ /s]	min V_z [m ³]	max V_z [m ³]
P1	4,678	35 538 508	79 648 312
P2	4,759	35 021 892	79 650 424
P1 + P2	4,677	35 537 832	79 682 440

Získané O_p a $\max V_z$ byly následně použity jako počáteční podmínky pro stanovení nalepšených odtoků z nádrže pro zabezpečení dle trvání menší než 100% a následného vyhodnocení robustnosti řešení. Kritériem pro vyhodnocení robustnosti bylo dosažení minimální odchylky mezi střední hodnotou $\mu(P_r)$ a požadovanou maximální velikostí P_r . Přesněji bylo posuzováno kritérium $\min\{\mu(P_r) - (P_r = 99,50\%) \}$. Pro nalezení nejvyšších

Vyhodnocení ansámblu změny klimatu poukazuje na klesající trend v hodnotách průtoků v povodí i odtoků vody z nádrže. Výsledky ukázali, že kombinace EC EARTH a RCP4.5 předpokládá nejvíce optimistický budoucí vývoj klimatu, kdy dojde do roku 2040 k poklesu dlouhodobého průměrného průtoku o 3,1% a následně do roku 2060 o dalších 15,3% v porovnání s baseline daty. Přestože je RCP2.6 mitigačním scénářem, výsledky pro kombinaci s modelem HadGEM2-ES vykazují největší pokles dlouhodobého průměrného průtoku do roku 2040. V tomto případě se dlouhodobý průměrný průtok snížil o 33,5% v P1 a následně se v P2 pokles mírně zlepšil na 30,0% ve srovnání s baseline daty. Kombinaci modelu MPI-ESM-MR a stabilizačního scénáře RCP4.5 lze označit jako průměrný scénář v rámci celého ansámblu napříč celým sledovaným obdobím (P1 + P2). Tato kombinace vykazuje celkový pokles dlouhodobého průměrného průtoku o 19,1% v P1 a o 22,7% v P2 v porovnání s baseline daty.

Výsledné odtoky z nádrže pro dolní limit zabezpečení dle trvání $P_r = 99,50\%$ a maximální potřebné zásobní objemy ukazují, že se odtok z nádrže sníží ve srovnání s hodnotou odtoku vody z nádrže stanovené z baseline dat. Výsledky ukazují, že se robustnost během P2 zvýšila ve srovnání s P1, což bylo způsobeno nižším dlouhodobým průměrným průtokem, který vedl ke snížení odtoků vody z nádrže, pro které mohly scénáře

Tab. 4 Výsledné zabezpečení zásobního objemu a robustnost

Období	$\mu(O_p)$ [m ³ /s]	Min(P_r) [%]	Max(P_r) [%]	$\mu(P_r)$ [%]	$\sigma(P_r)$ [%]	ROB [%]	Počet neuspokojivých scénářů v ansámblu
P1	4,967	98,04	100,00	99,532	0,726	66,67	3
P2	4,883	96,80	100,00	99,520	1,023	77,78	2
P1 + P2	4,932	98,40	100,00	99,519	0,576	55,56	4

možných odtoků z nádrže pro vypočtené maximální zásobní objemy byl stanoven dolní limit zabezpečení $P_r = 99,50\%$, který odpovídá dle ČSN 75 2405 (2017) významnosti nádrže A. Princip výpočtu spočíval v postupném navyšování hodnoty nalepšeného odtoku až do okamžiku dosažení minimálního rozdílu mezi vypočítanou $\mu(P_r)$ a požadovaným dolním limitem zabezpečení. Jakmile byla průměrná zabezpečení ansámblu nejbližší limitní hodnotě, byla vyhodnocena robustnost. Výsledky robustnosti ansámblu jsou uvedeny v tab. 4.

Pokles v dlouhodobých průměrných průtocích (tab. 2) naznačuje, že v povodí bude méně vody, což se potvrdilo i poklesem odtoků vody z nádrže pro jednotlivá období v porovnání s baseline odtokem. Z tabulky 4 plyne, že v P1 je maximální odtok z nádrže $O_p = 4,967 \text{ m}^3/\text{s}$, pro který průměrná zabezpečení dle trvání ještě neklesá pod daný limit 99,50%. Pro tento odtok byla stanovena robustnost $ROB = 66,67\%$; šest z devíti scénářů tedy uspokojí požadavky dodávky vody se zabezpečení více jak 99,50%. V porovnání s odtokem O_p z baseline dat dojde v tomto období k poklesu odtoku z nádrže o 4,41%. V období P2 dojde k poklesu odtoku o 6,02% s robustností $ROB = 77,78\%$; sedm z devíti scénářů tedy uspokojí požadavky dodávky vody. Kombinace P1 a P2 vykazuje celkový pokles odtoku o 5,08% s robustností $ROB = 55,56\%$. Za celé sledované období tedy pouze pět z devíti scénářů dokáže pokrýt potřeby dodávky vody se zabezpečení dle trvání vyšší než 99,50%.

naše uspokojit nároky na dodávku vody. Ačkoliv jsou období P1 a P2 ohodnoceny robustností vyšší než 65%, celkové období P1 + P2 je ohodnoceno hodnotou robustnosti 55,56%. Tato poměrně nízká hodnota je důsledkem různých neuspokojivých scénářů v období P1 a P2. Proto je počet neuspokojivých scénářů pro kombinaci P1 + P2 čtyři, pro P1 tři a pro P2 dva. Hodnota nalepšeného odtoku pro P1 + P2 není tak robustní, přestože průměrná zabezpečení dle trvání je vyšší než limit 99,50%.

ZÁVĚR

Algoritmus výpočtu byl vytvořen obecně a může být bez problému aplikován na jiná povodí s nádrží. Celistvý srážko-odtokový bilanční model použitý pro simulaci pracuje se souborem 37 parametrů a k vyhodnocení potenciální evapotranspirace bylo využito metody Thornthwaite. S tímto nastavením modelu se v příspěvku dosáhlo optimalizačního kritéria $NSE_{cal} = 0,758$ pro kalibraci a $NSE_{val} = 0,309$ ($NSE_{val} = 0,385$ bez uvažování extrémně suchých let mezi 2015 a 2018) pro validaci. Podle stanovených doporučených hodnocení vhodnosti modelu se hodnota kritéria NSE mezi 0,70 a 0,80 řadí do kategorie dobrého modelu (Moriyasí a kol. 2015). Použitý celistvý bilanční model je tedy považován za vhodný pro klima v České republice. Bude jej však třeba dále zdokonalit a zvýšit přesnost simulovaných dat. Model například nezohledňoval

množství vody z tání sněhové pokrývky, která může mít výrazný vliv na odtok vody z povodí v jarních obdobích.

Výsledky ukázaly klesající trend dlouhodobého průměrného průtoku v povodí. Pokles se pohyboval od 0,1% do 33,7% mezi lety 2021 a 2040 a od 15,4% do 41,6% mezi lety 2041 a 2060. Vezmeme-li v úvahu kombinaci obou období, dlouhodobý průměrný průtok poklesne oproti baseline hodnotě o 10,8 – 35,0%. Analýza zásobního objemu nádrže v podmínkách nejistoty změny klimatu ukázala, že dojde k poklesu odtoků vody z nádrže. Pokles odtoku je kompenzován uspokojením požadavku pro zásobování vodou v rámci stávající velikosti zásobního objemu a limitní okrajové podmínky zabezpečení dle trvání vyšší než 99,50%. Pro daný limit zabezpečení klesl odtok z nádrže v období P1 o 4,41% s robustností 66,67%, což znamená, že tři z devíti scénářů neuspokojí požadavky na dodávku vody v klimatických podmínkách během P1. Během období P2 se odtok z nádrže snížil ještě více, a to o 6,02% s robustností 77,78%, kdy pouze dva z devíti scénářů neuspokojí požadavky na dodávku vody. Při rovnoměrném

nalepšeném odtoku z nádrže 4,932 m³/s pro celé období P1 + P2 nebude překročena limitní hodnota zabezpečení dle trvání 99,50% s robustností 55,56%, kdy čtyři z devíti scénářů neuspokojí požadavky na dodávku vody. Tato hodnota nalepšeného odtoku pro celé sledované období není příliš robustní, protože se jedná o hodnotu pro nejhorší scénář, jelikož bylo celé posouzení provedeno pro maximální potřebný zásobní objem v rámci celého ansámblu. Scénář s největším deficitem vody v povodí byl tedy zvolen jako počáteční scénář pro analýzu. Výsledky tedy představují maximální možné nalepšené odtoky z nádrže pro dané zásobní objemy při splnění podmínky zabezpečení dle trvání $P_T \geq 99,50\%$ v celém ansámblu klimatických scénářů zahrnující nejistoty změny klimatu.

Poděkování

Příspěvek byl financován z juniorského specifického výzkumu FAST-J-21-7371 *Nástroje pro zvládání klimatické změny a udržitelnost ve vodním hospodářství krajiny*.

Reference:

- ČSN 75 2405. *Vodohospodářské řešení vodních nádrží*. Praha: Český normalizační institut, 2017.
- Foley, A. M., 2010: *Uncertainty in regional climate modelling: A review*. Progress in Physical Geography: Earth and Environment [online]. 647-670 [cit. 2021-10-13]. ISSN 0309-1333. doi:10.1177/0309133310375654.
- Groves, D. G., Yates, D. and Tebaldi, C. 2008: *Developing and applying uncertainty in global climate change projections for regional water management planning*. Water Resources Research [online]. 44(12) [cit. 2021-10-13]. ISSN 00431397. doi:10.1029/2008WR006964.
- Hashimoto, T., Stedinger, J. R. and Loucks, D. P. 1982: *Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation*. Water Resources Research [online]. 18(1), 14-20 [cit. 2021-10-13]. ISSN 00431397. doi:10.1029/WR018001p00014.
- IPCC, 2021. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. In Press.
- Lasdon, L. S., Waren, A. D., Jain, A. and Ratner, M. 1978: *Design and testing of a generalized reduced gradient code for nonlinear programming*. ACM Transactions on Mathematical Software [online]. 4(1), 34-50 [cit. 2021-10-13]. ISSN 0098-3500. doi:10.1145/355769.355773.
- Lenderink, G., Buishand, A. and Van Deursen, W. 2007: *Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: Direct versus delta approach*. Hydrology and Earth System Sciences [online]. 11(3), 1145-1159 [cit. 2021-10-13]. ISSN 1607-7938. doi:10.5194/hess-11-1145-2007.
- Marton, D. and Knoppová, K. 2019: *Developing hydrological and reservoir models under deep uncertainty of climate change: Robustness of water supply reservoir*. Water Supply [online]. 19(8), 2222-2230 [cit. 2021-10-13]. ISSN 1606-9749. doi:10.2166/ws.2019.102.
- Moriassi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D. and Veith, T. L. 2007: *Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations*. Transactions of the ASABE [online]. 50(3), 885-900 [cit. 2021-10-13]. ISSN 2151-0040. doi:10.13031/2013.23153.
- Moriassi, D. N., Gitau, M. W., Pai, N. and Daggupati, P. 2015: *Hydrologic and water quality models: Performance measures and evaluation criteria*. Transactions of the ASABE [online]. 58(6), 1763-1785 [cit. 2021-10-13]. ISSN 21510032. doi:10.13031/trans.58.10715.
- Moss, R. H., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A. et al. 2010: *The next generation of scenarios for climate change research and assessment*. Nature [online]. 463(7282), 747-756 [cit. 2021-10-13]. ISSN 0028-0836. doi:10.1038/nature08823.
- Nash, J. E. and Sutcliffe, J. V. 1970: *River flow forecasting through conceptual mo-*

- dels part I – A discussion of principles*. Journal of Hydrology [online]. 10(3), 282-290 [cit. 2021-10-13]. ISSN 00221694. doi:10.1016/0022-1694(70)90255-6.
- National Centers for Environmental Information (NOAA), 2018. *State of the Climate: Global Climate Report 2018*, retrieved from <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201813> on October 13, 2021.
- Racsko, P., Szeidl, L. and Semenov, M. 1991: *A serial approach to local stochastic weather models*. Ecological Modelling [online]. 57(1-2), 27-41 [cit. 2021-10-13]. ISSN 03043800. doi:10.1016/0304-3800(91)90053-4.
- Refsgaard, J. C., Arnbjerg-Nielsen, K., Drews, M. et al. 2013: *The role of uncertainty in climate change adaptation strategies—A Danish water management example*. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change [online]. 18(3), 337-359 [cit. 2021-10-13]. ISSN 1381-2386. doi:10.1007/s11027-012-9366-6.
- Riahi, K., Rao, S., Krey, V. et al. 2011: *RCP 8.5—A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions*. Climatic Change [online]. 109(1-2), 33-57 [cit. 2021-10-13]. ISSN 0165-0009. doi:10.1007/s10584-011-0149-y.
- Roach, T., Kapelan, Z., Ledbetter, R. and Ledbetter, M. 2016: *Comparison of robust optimization and info-gap methods for water resource management under deep uncertainty*. Journal of Water Resources Planning and Management [online]. 142(9) [cit. 2021-10-13]. ISSN 0733-9496. doi:10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000660.
- Semenov, M. A., Barrow, E. M. 2002: *LARS-WG: A stochastic weather generator for use in climate impact studies*. User manual, Hertfordshire, UK, 0-27.
- Starý, M., 2005: *Reservoirs and water management systems*. Brno University of Technology – Faculty of Civil Engineering.
- Thomson, A. M., Calvin, K. V., Smith, S. J. et al. 2011: *RCP4.5: A pathway for stabilization of radiative forcing by 2100*. Climatic Change [online]. 109(1-2), 77-94 [cit. 2021-10-13]. ISSN 0165-0009. doi:10.1007/s10584-011-0151-4.
- Thornthwaite, C. W. 1948: *An approach toward a rational classification of climate*. Geographical Review [online]. 38(1) [cit. 2021-10-13]. ISSN 00167428. doi:10.2307/210739.
- Van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M. et al. 2011: *The representative concentration pathways: An overview*. Climatic Change [online]. 109(1-2), 5-31 [cit. 2021-10-13]. ISSN 0165-0009. doi:10.1007/s10584-011-0148-z.
- Wang, G. Q., Zhang, J. Y., Jin, J. L., Liu, Y. L., He, R. M., Bao, Z. X., Liu, C. S. and Li, Y. 2014: *Regional calibration of a water balance model for estimating streamflow in ungauged areas of the Yellow River Basin*. Quaternary International [online]. 336, 65-72 [cit. 2021-10-13]. ISSN 10406182. doi:10.1016/j.quaint.2013.08.051.
- Wang, G., Zhang, J. and Yang, Q. 2016: *Attribution of runoff change for the Xinshui River catchment on the Loess Plateau of China in a changing environment*. Water [online]. 8(6) [cit. 2021-10-13]. ISSN 2073-4441. doi:10.3390/w8060267.



Jako, s.r.o.

aktivní uhlí, antracit
UV-dezinfekce

tel.: +420 283 981 432
+420 603 416 043

fax: +420 283 980 127
www.jako.cz
e-mail: jako@jako.cz

Čerpadlá švajčiarskeho výrobcu Hidrosta sú v prevádzke na území Slovenskej republiky už viac ako 25 rokov. Za ten čas preukázali svoju spoľahlivosť nielen v oblasti kalového hospodárstva, pre ktorú sú určené predovšetkým, ale aj v najrôznejších priemyselných oblastiach, ako napr. v pivovaroch, cukrovaroch, chemickom a potravinárskom priemysle. Čerpadlá je možné využiť aj na šetrné čerpanie rýb.

PRENÁJOM ČERPACEJ TECHNIKY

Spoločnosť Hidrosta Bohemia, s. r. o., sa okrem predaja a servisu venuje aj prenájmu svojich čerpadiel a komplexnému riešeniu provizórneho prečerpávania.

Vo svojom portfóliu disponuje elektrickými a diesel-agregátovými čerpadlami, ktorých výkony sa pohybujú v rozmedzí od 2 do 850 l/s. Súčasťou prenájmu sú aj rôzne typy a dimenzie hadíc a potrubí, armatúry, tvarovky, redukcie, elektrické príslušenstvo, vrátane staveniskových rozvádzačov a motorových spúšťačov, premosťovacie konštrukcie, ktoré umožňujú čerpanie cez dopravné komunikácie, dieselové elektrocentrály, prietokomery apod.

Tieto produkty spoločnosť ponúka na prenájom pri provizórnom čerpaní počas rekonštrukcií kanalizácií, vodovodov, vodných tokov, ďalej pri vyradení z prevádzky systémov čerpania odpadových vôd, odvodnenie staveniska, alebo kanálov pri mimoriadnych udalostiach (povodne, ekologické katastrofy), krátkodobých náhradách za poškodené zariadenia a mnohých iných situáciách, ktoré vyžadujú zabezpečenie čerpania.

Čo robí však firmu Hidrosta Bohemia, s. r. o., jedinečnú, je komplexné zabezpečenie provizórneho prečerpávania, a to vrátane navrhnutia optimálnej inštalácie, aby bola dosiahnutá vysoká účinnosť čerpania, ale aj energetická úspora.



HEBER 2000

Ide o systém, ktorý vychádza z princípu spojených nádob, pričom hnacou energiou je rozdiel hladín, kedy hladina na vstupe musí byť vyššie ako hladina na výstupe. Kontinuálne prečerpávanie zaisťuje komplexná riadiaca jednotka umiestnená v ochrannom kontajneri.

VÝHODY

- nízkoenergetické prevádzkové náklady 0,5–10 kW za deň
- žiadne upchávanie – 0 až 15 000 l/s pri nízkych nárokoch na energiu
- beh rezervy v prípade výpadku napájania
- komplexná kontrola prečerpávacieho systému cez GSM

Oblasti použitia systému sú rekonštrukcie gravitačných kanalizácií, vodných ciest, stavby prieplavov, čistiarní odpadových vôd a ďalšie vodohospodárske infraštruktúry.



Kontakt

Hidrosta Bohemia, s. r. o., Bratislavská 119, 911 05 Trenčín
Jozef Šulavík Tel.: +421 948 222 565,
Email: jozef.sulavik@hidrosta.com, www.hidrosta-bohemia.com

Informácie o nových STN

Mgr. Daša Borovská

Výskumný ústav vodného hospodárstva

V marci a apríli 2022 vyšli v oblasti vodného hospodárstva tieto slovenské technické normy:

STN EN 12873-2: 2022 (75 8702) Vplyv materiálov na pitnú vodu. Vplyv migrácie (vylúhovania). Časť 2: Skúšobná metóda pre nekovové a necementové výrobky používané na mieste

Norma vyšla v anglickom jazyku.

Vydáním STN EN 12873-2: 2022 sa zrušilo predchádzajúce vydanie tejto normy STN EN 12873-2: 2005.

STN EN ISO 748: 2022 (75 1202) Hydrometria. Meranie prietoku kvapalín v otvorených korytách. Rýchlostno-plošné metódy využívajúce merania bodových rýchlostí

Norma vyšla v anglickom jazyku.

Vydáním STN EN ISO 748: 2022 sa zrušilo predchádzajúce vydanie tejto normy STN EN ISO 748: 2008.

STN EN 15935: 2022 (83 8442) Zemina, odpady, upravené bioodpady a kaly. Stanovenie straty žľhaním

Norma vyšla v slovenskom jazyku.

Vydáním STN EN 15935: 2022 sa zrušilo vydanie tejto normy v anglickom jazyku STN EN 15935: 2021 (ide o tú istú normu, len anglické znenie nahradil preklad do slovenčiny).

STN EN 16166: 2022 (83 8462) Zemina, upravené bioodpady a kaly. Stanovenie adsorbovaných organicky viazaných halogénov (AOX)

Norma vyšla v anglickom jazyku.

Vydáním STN EN 16166: 2022 sa zrušilo predchádzajúce vydanie tejto normy STN EN 16166: 2013.

Tradice české výroby, vysoká kvalita, široký tým renomovaných odborníků v oblasti projekce i výroby, profesionální technické zázemí, tisíce realizovaných projektů v ČR i v zahraničí. To je záruka kvalitního dodavatele při výběru partnera pro čištění odpadních vod, úpravu vody či recyklaci vody.

- Čtvrtstoletí zkušeností v **čištění odpadních vod** včetně membránové separace kalu.
- Čištění odpadních vod**
- Úpravy vody** s našimi technologiemi aktuálně zajišťují vodu pro více než 4,5 milionu obyvatel.
- Úprava vody**
- Dešťový program**
- Recyklace vody**
- Široký sortiment **dešťových nádrží**, na které vám pomůžeme vyřídit dotaci, najdete na našem e-shopu.
- Řešení hospodaření s vodou na klíč** včetně zajištění poloprovozního testování.

www.envi-pur.cz



**KNOW - HOW
ZO SKÚSENOSTÍ**



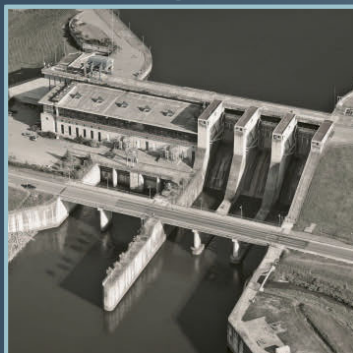
Myšlienka, návrh, projekt

Inžinierska, projektová
a dodávateľská spoločnosť
pre oblasť
Technológií
Monitoringu, merania,
regulácie a riadenia
technologických procesov

energetika

životné prostredie

inžinierske siete



Voda je život, chráňme si ju



hydrotechnika

doprava

riadenie budov

Regotrans, spol. s r.o.
Pluhová 2
831 03 Bratislava

Partner Rittmeyer, AG. Baar/CH-6341

TEL/FAX:

+421-2-444 61612

+421-2-443 71766

E-mail:

office@regotrans.sk

www.regotrans.sk

