



# VODOHOSPODÁRSKY SPRAVODAJCA

7-8 / 2020

dvojmesačník pre vodné hospodárstvo a životné prostredie







## MILÍ ČITATELIA,

ubehlo len niekoľko dní, keď východoslovenskou obcou prehmela povodeň. Stačilo pár desiatok minút intenzívneho lejaku a obec Pichne v okrese Snina zažila scénu ako z najhoršieho filmu. Už prvé satelitné zábery potvrdili, že išlo o typický lievik, keď sa voda z okolitých kopcov valila rovno do dediny a strhla so sebou všetko,

čo jej prišlo do cesty. Prívalová vlna zničila majetok miestnych obyvateľov. Príčina? Séria chybných politických rozhodnutí a nepremyslených zásahov v krajine.

Tento scenár sa však nemusel stať realitou. Lesy nad sninskou dedinkou v minulosti vyrúbali. Nahradili ich polia, ktoré sa zvažujú priamo do obce. Pred povodňou by obyvateľov ochránili vodozádržné poldre. Tie, žiaľ, chýbali. Zrejme by sa museli obyvatelia dohodnúť, na úkor koho pozemku sa poldre vykopú. Očividne sa nedohodli a vodozádržné opatrenia nevykonali, hoci len nedávno mali skúsenosť so záplavou. A tak už bolo len otázkou času, kedy sa povodeň zopakuje.

Pokiaľ ide o sídla v lievikoch, akým je aj obec Pichne, a sídla v záplavových územiach, ponúkneme samospráve pomocnú ruku

na prípravu zmien v územných plánoch. Každá povodňová lokalita potrebuje na mieru šité opatrenia. Ale každý problém má riešenie, aj ten náš. Riešeniu pomôže ministerstvo, aj nové stavebné a územnoplánovacie zákony. Cieľom bude zaistiť bezpečie občanov a súčasne ochranu prírody a vodných tokov.

Táto konkrétna skúsenosť z povodne nás nemôže nechať nečinnými. V programovom vyhlásení vlády na najbližšie štyri roky sa nám podarilo presadiť 6 strán „zelených záväzkov“, čo je viac, než sa podarilo kedykoľvek v minulosti. Silný „zelený pilier“ v Programovom vyhlásení vlády bude pre ministerstvo životného prostredia oporou a akýmsi cestovným poriadkom.

Mojou ambíciou je, aby voda v slovenských údoliach netiekla do domov, ale oživovala okolitú prírodu. Na ministerstve životného prostredia vznikne nová sekcia krajinnej ekológie a plánovania vodného režimu v krajine. Odborníci na tvorbu krajiny poskytnú odbornú podporu samosprávam, ktoré budú mať záujem o opatrenia proti prívalovým povodňam a o vodozádržné opatrenia. Verím, že v boji so zmenou klímy, s povodňami i suchom pomôžu aj skúsenosti expertov rezortných organizácií MŽP SR, ale tiež širší tím odborníkov v oblasti vodného hospodárstva.

Ján Budaj  
minister životného prostredia SR

---

© Vodohospodársky spravodajca  
dvojmesačník pre vodné hospodárstvo a životné prostredie / ročník 63

**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](http://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: [hucko@vuvh.sk](mailto:hucko@vuvh.sk), [maria.rimarcikova@vuvh.sk](mailto:maria.rimarcikova@vuvh.sk)

**Redakčná rada:** Ing. Marián Bocák, Ing. Stanislav Dobrotka, Ing. Danko Thalmeinerová, Ing. Ingrid Grundová, Ing. Pavel Hucko, CSc. (predseda), doc. Ing. Ľuboš Jurík, PhD., Ing. Danica Lešková, PhD., RNDr. Oľga Majerčáková, CSc., Ing. Jana Poórová, PhD., Ing. Peter Rusina, Ing. Andrej Šille, prof. RNDr. Ivona Škultétyová, PhD., Ing. Gabriel Tuhý, Dr. Ing. Antonín Tůma, RNDr. Andrea Vranovská, PhD.

**Dátum vydania:** júl 2020

**Zodpovedný redaktor:** Ing. Mária Rimarciková

**Grafické spracovanie a tlač:** Polygrafické centrum, [www.polygrafcentrum.sk](http://www.polygrafcentrum.sk)

Príspevky sú recenzované.

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

Pravidlá písania do Vodohospodárskeho spravodajcu nájdete na [www.zzv.sk](http://www.zzv.sk)  
Informácie o spracúvaní osobných údajov poskytované podľa čl. 13 a 14 Nariadenia nájdete na stránke [www.zzv.sk](http://www.zzv.sk)

Evidenčné číslo: EV 3499/09  
ISSN: 0322-886X



Foto na 1. a 4. strane obálky:  
Životodárna voda, M. Rimarčíková  
Foto na 2. a 3. strane obálky:  
Mokrad', Malý Dunaj, A. Vranovská

### 3 Úvodník Editorial J. Budaj

### 5 Sucho v krajine a vodné stavby Drought in a landscape and hydraulic structures Ľ. Jurík

### 8 Ako sa pripraviť na očakávané zvýšenie povodňových prietokov Dunaja v budúcnosti How to get prepared for anticipated increase of the Danube river flood discharges in future M. Mišík, M. Kučera

### 13 Modelová analýza odtoku dažďovej vody ako podklad na manažment sídlist odolných proti klimatickým zmenám Model analysis of runoff as a basis for climate change resilient urban districts M. Mišík, M. Kučera, Z. Hudeková

### 20 Významnosť vnosu fosforu procesom vodnej erózie poľnohospodárskej pôdy do povrchových vôd z pohľadu ich eutrofizácie v podmienkach Slovenska Significance of phosphorus entering the surface waters through water erosion of agricultural land in terms of eutrophication in the conditions of Slovakia R. Bujnovský, Š Koco

### 24 Vodárenská nádrž Hriňová, výmena vodárenských potrubí Hriňová water supply reservoir, water supply pipes replacement T. Ič

### 30 Fyziologické sucho: definícia, príčiny a dôsledky Physiological drought: definition, reasons and consequences V. Novák

### 37 Doc. Ing. Ľubomír Hyánek, CSc. – 90 rokov 90th anniversary L. Hyánek J. Božíková

### 38 Normy STN Slovak technical standards D. Borovská

# Sucho v krajine a vodné stavby

**doc. Ing. Ľuboš Jurík, PhD.**

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Fakulta záhradného a krajinného inžinierstva

Sucho v krajine je stav, keď sú nedostatočné úhrny zrážok, zdroje povrchovej, podzemnej alebo pôdnej vody sa vyčerpávajú a ich stav ovplyvňuje nielen samotné obyvateľstvo ale aj jeho ekonomické aktivity, prírodu alebo úrodu poľnohospodárskych plodín, či chov hospodárskych zvierat. Opačný stav v krajine sú povodne a ich výsledok je rovnaký, ovplyvňujú ľudí, prírodu a krajinu. Ich výskyt je neočakávaný a tieto stavy sa často navzájom striedajú – sucho preruší povodne alebo naopak.

Na ochranu pred suchom i povodňami štáty a obyvateľstvo odpradáva zavádzajú najrozličnejšie opatrenia. Najčastejšie sa po celom svete využívali priehrady. Ich ochranná funkcia bránila pred extrémnymi prietokmi pri povodniach a retenčný objem poskytoval vodu počas dlhšieho obdobia sucha. Čím väčšia priehrada, tým vyššia bezpečnosť. Ale veľké nádrže mali aj mnoho iných negatívnych následkov, a tak sa ich výstavba postupne znižuje, hoci aj dnes je v realizácii niekoľko gigantických priehrad. Úspešnejším riešením sa stali



Súčasný stav hrádze VN Oreské

V posledných dvoch desaťročiach sa na Slovensku vystriedali dve rozličné obdobia. Po roku 2000 sa v krajine zopakovalo niekoľko rokov s povodňami, ktoré vyvrcholili v rokoch 2009 – 2010. Uprostred tohto obdobia a nadpriemernými zrážkami sa v roku 2003 vyskytlo extrémne sucho. Po roku 2010 prišli na Slovensku viac suché roky s vysokými teplotami a dlhými obdobiami bez zrážok. Ale úhrn zrážok za posledných 20 rokov sa veľmi nezmenil.

Výrazne vzrástli len teploty a úmerne k tomu výpar z krajiny a potenciálna alebo aktuálna evapotranspirácia.

malé vodné nádrže, ktoré zadržujú vodu v mieste vzniku odtoku, sú lokálnym zdrojom a majú aj lokálne využitie. Vodné hospodárstvo Slovenska sa po desaťročia pripravovalo na oba krízové stavy a zabezpečenie ochrany územia pred povodňami i pred suchom. Pôvodný Smerný vodohospodársky plán Slovenska, ale aj Plán rozvoja hydromeliórií z polovice minulého storočia vytvorili významné vodohospodárske diela, ktoré dokážu významne eliminovať pôsobenie klímy. Nielen v minulosti, ale aj v súčasnosti pri zmene klimatických podmienok u nás. Ani jeden z plánov sa však nesplnil a ostalo veľa

naplánovaných stavieb buď v štádiu projektov – ako príklad vodná nádrž Obyce na Žitave, alebo sa ani nedostali do projektovej prípravy. Napriek tomu sa mnohé dodnes nachádzajú v plánoch manažmentu povodí na budúce desaťročia. Aj súčasné dni nás presviedčajú o ich potrebe, lebo škody v krajine vinou sucha alebo povodní sú každý rok vysoké. Uznané škody suchom v poľnohospodárstve sú za rok 2017 asi 20 miliónov eur. Uvedená suma by poskytla dostatok financií na vytvorenie nových retenčných zásob vody pre obdobia sucha či na ochranu pred povodňami.

Sucho a povodne sa často riešia samostatne až v období, keď sa v krajine významne prejavia. Do roku 2010 boli problém povodne, a tak sa presadil nie veľmi úspešný projekt prírode blízkych opatrení miniretencií. Ich výsledná akumulácia je dnes takmer nepoznatelná a v krajine je aj po dlhšom období veľa rizikových prvkov a objektov. Na obr. 1 je stále nedokončená stavba v katastri Granč Petrovce z roku 2011. Podobných stavieb sa nachádza len v tejto obci desiatky, na Slovensku možno stovky.

Dnes sa intenzívne zaoberáme suchom a v rezorte životného prostredia i pôdohospodárstva sa prijali dokumenty na boj so suchom. Samostatná stratégia je na ochranu proti povodňam. Ale krajina, kde sa oba extrémny vyskytujú, je iba jedna a tá istá, postihovaná raz suchom, inokedy povodňami. Zvýšil sa však počet hráčov závislých od vody. Sú to obce, ktoré si dobudovávajú vodovody a riešia kvalitné a trvalé zdroje na zásobovanie. Je tu energetika, ktorá potrebuje vodu nielen na pohon turbín, ale aj na chladenie tepelných či jadrových reaktorov. A ochrana prírody, ktorá požaduje zvýšenie prietokov tokov na zabezpečenie bioty v tečúcich a stojatých vodách. A sú tu mestá a priemysel s odpadovými vodami, ktoré menia zdroje vody na nekvalitné, nevyužiteľné či ohrozujúce krajinu.

Plošne je v oboch krízových stavoch najväčšmi postihované poľnohospodárstvo. Pestované plodiny potrebujú v lete veľké množstvo vody, a to v období, keď je nielen nedostatok zrážok, ale aj prietoky v riekach výrazne klesajú. V poľnohospodárstve sa ako o ochrane takmer automaticky uvažuje so závlahami. Ale neuvažuje sa o tom, že odbery z riek a potokov sú takmer nemožné. A tu sa práve ukazuje významná úloha tvorby vodných zdrojov.

Závlahy na Slovensku sa stali aktuálnymi po zvýšení počtu obyvateľov v mestách v období pred prvou svetovou vojnou. Po druhej svetovej vojne prišlo výrazné sucho, a tak sa dostala do pozornosti aj stabilizácia poľnohospodárskej produkcie závlahami, ako to bolo v krajinách západnej Európy alebo v Amerike.

Vo vedeckom a univerzitnom prostredí sa pripravila analýza podmienok poľnohospodárskej produkcie. Klimatické a pedologické podmienky na Slovensku ukázali potrebu závlah asi pre 500-tisíc hektárov. V tomto území boli buď veľmi ľahké pôdy s nízkou prirodzenou retenciou pôdnej vlhky, alebo evapotranspirácia v území bola vyššia ako úhrn zrážok.

Postupne sa realizovali veľmi rýchlo veľké melioračné stavby a popri závlahách sa na ťažkých pôdach súčasne vybudovali aj odvodňovacie stavby. Najvýznamnejším bolo vytvorenie veľkého objemu vodných zdrojov vo forme malých vodných nádrží. Ich úlohou bolo naakumulovať vodu pred vegetačným obdobím pre potreby rastlinnej výroby v čase s malými prietokmi v tokoch alebo s nedostatkom zrážok. S postupujúcou kolektivizáciou a vznikom poľnohospodárskych družstiev, ktoré hospodárili na výmerách pôdy okolo 1 000 ha, sa priročilo k riešeniu závlah ako veľkoplošné systémy. Vodné zdroje umožňovali zásobovať aj viac poľnohospodárskych družstiev, a tak sa závlahové systémy navrhovali aj pre plochy



Sedimenty vodnej nádrže Oreské (znižujú jej aktuálny retenčný objem)



Vodozádržné opatrenia v obci Granč Petrovce z roku 2011



Vodozádržné opatrenia v obci Granč Petrovce – dnešný stav

od 2- do 4-tisíc hektárov a následne po roku 1975 sa plánovali aj závlahové sústavy na viac ako 10-tisíc ha. Vodnými zdrojmi pre tieto sústavy boli veľké priehrady ako Zemplínska šírava, Slňava, Nádrž Horná Kráľová alebo Ružiná na juhu Slovenska. Po roku 1990 sa však zásadne zmenilo vlastníctvo poľnohospodárskych podnikov, a tým aj podmienky na využívanie veľkoplošných závlah, ktoré sa postupne využívali na menšej ploche až sa nakoniec prestali využívať úplne. Výnimky sú len v oblasti Podunajskej nížiny, kde sa využívajú dodnes.

Zmena klímy a stav vodných stavieb na Slovensku ukazujú, že produkcia v mestách, priemysle alebo v krajine môže byť výrazne ohrozená nedostatkom vody. Ak si nezabezpečíme lepšie hospodárenie s pôdnou vodou a nebudeme mať dostatočné riadiace nástroje na regulovanie spotreby vody v tokoch a nádržiach, budú sa vyskytovať krízové stavy prebytku či nedostatku vody. Súčasný vývoj počasia a zmeny v pestovaných plodinách alebo štruktúre lesa nám naznačujú význam tohto zdroja vody pre budúcnosť.

Základom integrovaného manažmentu pôdy a vody v povodiach je hodnotenie a regulácia v najmenších častiach povodi. Podľa Vodného plánu SR bolo navrhnuté zadelenie územia Slovenska do malých základných povodi.

Nie je zatiaľ určené, ako sa v krajine dá hodnotiť tvorba prebytkov vody a, naopak, ani spotreba vody z iných plôch. Nie je určené ani to, aká môže byť maximálna spotreba vody v najmenších povodiach. Alebo aký maximálny deficit môže byť akceptovateľný z aspektu kolobehu vody v prírode a jeho udržateľnosti. Výskyt takéhoto javu vedie k zásadnému ovplyvneniu základného odtoku z povodia a spôsobuje zmenu režimu toku na bystrinný, charakterizovaný občasným znížením prietoku na nulu.

Je potrebné riešiť i problematiku interakcie pôdnej vody na hranici lesná – poľnohospodárska pôda a jej bilanciu pre celkové hodnotenie krajiny.

Otázky, na ktoré by sa mala hľadať odpoveď pri riešení nových projektov v budúcnosti:

- kvantifikovanie (indikátor) vplyvu využívania povodia na rozdelenie spadnutých zrážok a tvorbu vodných zdrojov,

- kvantifikovanie tvorby a spotreby vody v jednotlivých formách krajiny – les, poľnohospodárstvo a urbanizované územia,
- stanoviť reálnu produkčnú a mimoprodukčnú hodnotu vody,
- určiť rozdelenie zrážok (tvorbu vodných zdrojov) v krajine, ktoré je možno označiť ako udržateľné,
- riešiť hodnotenie nadmernej tvorby vodných zdrojov v jednom malom povodí a nadmernej spotreby vody v inom susednom povodí – vzťah horné a dolné časti povodí,
- vplyv kvality vody na jej využiteľnosť a na biotu,
- reálne vplyvy jednotlivých riešení hospodárenia s vodou v krajine na tvorbu zásob vody,
- možné ovplyvnenie zmeny pestovania plodín z dôvodu nadmernej spotreby vody na ich produkciu a zmenu významných monokultúr v povodiach,
- reálne prerozdelenie zrážok v pôde a kvantifikovanie spotreby pôdnej vody na evapotranspiráciu k tvorbe zásob podzemnej vody a na zvýšenie jej hladiny,
- stav a využiteľnosť vodných zdrojov v jednotlivých čiastkových povodiach vzhľadom na výskyt sucha v regiónoch Slovenska.

Záverom je možné povedať, že rôznorodosť poľnohospodársky využívanej krajiny vyžaduje odlišné prístupy a opatrenia na jej ochranu pred vznikom sucha a zníženia odtokových pomerov v riečnej sieti na uvedenom území. Je dôležité sa venovať ochrane územia pred vodnou eróziou pôdy, ktorá končí na dne potokov, riek a nádrží a zhoršuje nielen objem vody ale zhoršuje aj jej kvalitu. Sucho a povodne sa riešia samostatnými, často protichodnými opatreniami, a nie komplexným riešením, vzhľadom na reálne podmienky územia – od nížin až po podhorské oblasti – a ich geologickú štruktúru.

Príspevok vznikol s podporou projektu APVV-16-0278 Využitie hydromelioračných stavieb na zmiernenie negatívnych účinkov extrémnych hydrologických javov vplyvajúcich na kvalitu vodných útvarov v poľnohospodárskej krajine.

# Ako sa pripraviť na očakávané zvýšenie povodňových prietokov Dunaja v budúcnosti

Ing. Martin Mišík, PhD., Ing. Marián Kučera  
DHI SLOVAKIA, s.r.o.

Skúsenosti z poslednej veľkej povodne na Dunaji v júni 2013 sú stále živé. Po následnom aktualizovaní štatistiky hydrologických údajov sa povodňové N-ročné prietoky Dunaja zvýšili. Výsledky aktuálnych výskumov Spoločného výskumného centra Európskej komisie (Joint Research Centre – JRC) z roku 2018 o následkoch zmeny klímy a využitia krajiny v povodí Dunaja hovoria o ďalšom očakávanom zvýšení kulminačných povodňových prietokov na slovenskom úseku Dunaja. S tým treba počítať v koncepcii protipovodňovej ochrany. Samotné posudzovanie dostatočnej výšky hrádzi, ich zvyšovanie a zosilňovanie nebudú stačiť. Dnes je známe, že retenčné účinky inundačných území Dunaja zohrávajú kľúčovú a nenahraditeľnú úlohu pri zvládání povodňových situácií. Za posledných 50 rokov sme plochy a objemy retenčných inundačných území v povodí Dunaja, vrátane slovenského úseku, výrazne zredukovali. V budúcnosti sa bez opätovného využitia aspoň niektorých z nich pravdepodobne nezaobídeme. Príspevok prináša technickú a hydraulickú úvahu o priestoroch, ich plochách a odhadovaných objemoch, ktoré by stále bolo možné opäť zapojiť do transformácie povodňových prietokov Dunaja. V úsilí o obnovu retenčných inundačných priestorov bude potrebná koordinovaná spolupráca krajín v povodí Dunaja. Účinky takýchto opatrení je možné pomerne exaktne zistiť a zdokumentovať pomocou matematického modelovania prechodu povodňových vln analýzou neustáleného prúdenia. Logickým postupom je identifikovať odstavené retenčné inundačné územia, ktoré by bolo možné obnoviť, zistiť účinky ich obnovy, odhadnúť náklady potrebné na ich obnovu, definovať prioritné územia, kde je najpriaznivejší pomer medzi protipovodňovými účinkami a nákladmi, a začať s prípravou a následnou realizáciou vybraných opatrení v prioritnom poradí.

## ÚVOD

Priebehy historických a súčasných povodní na Dunaji ukazujú, že prirodzené záplavové územia sú veľmi dôležité pri prevádzaní veľkých vôd a pri znižovaní kulminačných povodňových prietokov.

Zmenšovanie rozsahu prirodzených záplavových území je z hľadiska protipovodňovej ochrany, ale aj ochrany životného prostredia nežiaduce.

Aktuálna modelová štúdia *Join Research Centre* (JRC) (Bisselink et al., 2018), výskumného a vedomostného pracoviska Európskej komisie, o vplyve zmeny klímy, využitia krajiny a využívania vôd na vodný režim a vodné zdroje v povodí rieky Dunaj priniesla výsledky s praktickými výstupmi v kvalitatívnom aj kvantitatívnom vyjadrení. Výsledky

hydrologického modelovania ukazujú, že v budúcnosti treba rátať so zvýšením kulminačných povodňových prietokov Dunaja na slovenskom úseku.

Na rozdiel od klimatických vplyvov na hydrologický režim je možné nepriaznivé zmeny vo využití krajiny reverzným spôsobom aspoň čiastočne zmierniť a ovplyvniť priaznivým smerom, napríklad obnovou časti pôvodných záplavových území.

## MATERIÁL A METÓDY

Tento príspevok nie je výsledkom konkrétnej výskumnej úlohy, projektu alebo štúdie. Autori sa inšpirovali aktuálnymi publikáciami, vychádzali nielen zo svojich skúseností pri modelovaní povodní na Dunaji, ale aj z dostupných súčasných a historických mapových podkladov a starších výskumných prác.

Plochy záplavových území sme zisťovali pomocou nástroja Google Earth Pro. Približný odhad objemov retenčných priestorov koryta Dunaja a inundačných území sme robili vynásobením príslušnej plochy charakteristickou hĺbkou odhadnutou z výsledkov povodňového hydrodynamického modelovania (Danube Atlas, 2012). Hĺbkou vody retenčného priestoru sme dostali tak, že od hĺbky vody pri povodni sme odčítali predpokladanú hĺbkou vody pred príchodom povodne.

## ÚLOHA INUNDAČNÝCH ÚZEMÍ DUNAJA PRI TRANSFORMÁCII POVODŇOVÝCH PRIETOKOV

Z hľadiska protipovodňovej ochrany zohrávajú mimoriadne dôležitú úlohu inundačné územia. Jednak prevádzajú spravidla významnú časť povodňových prietokov, jednak tvoria nezastupiteľné retenčné priestory, v ktorých dochádza k transformácii povodňových vln a znižovaniu kulminačných povodňových prietokov. Proces transformácie povodňových vln korytami tokov opisuje Oto Dub (1957).

Významná transformácia povodňových prietokov prebieha aj v koryte a záplavových územiach Dunaja na rakúsko-slovenskom, slovenskom a slovensko-maďarskom úseku (samozrejme, aj na ostatných úsekoch). Vďaka tejto transformácii sa kulminačné prietoky pozdĺž toku Dunaja výrazne znižujú. Na ilustráciu transformačného účinku retenčných priestorov koryta a inundačných území uvádzame zmenu kulminačných prietokov Dunaja medzi Bratislavou a Komárnom počas významných povodní (tab. 1). Na mieru transformácie povodňových prietokov má výrazný vplyv najmä objem povodňovej vlny, teda trvanie povodne. Krátke povodne a s malým objemom sa dokážu transformovať výraznejšie (typický príklad je povodeň z augusta

Tab. 1 Zmena kulminačného prietoku Dunaja medzi Bratislavou a Komáromom pre vybrané povodnie

| Vybrané významné povodnie | Bratislava<br>Q [m³.s⁻¹] | Komárno<br>Q [m³.s⁻¹] | Zníženie kulminačného prietoku |                |
|---------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------------|----------------|
|                           |                          |                       | $\Delta Q$ [m³.s⁻¹]            | $\Delta Q$ [%] |
| júl 1954 *                | 10 400                   | 8 247                 | 2 153                          | 21             |
| jún 1965 *                | 9 224                    | 8 705                 | 519                            | 6              |
| august 1991               | 9 430                    | 8 036                 | 1 394                          | 15             |
| august 2002               | 10 310                   | 8 940                 | 1 370                          | 13             |
| jún 2013                  | 10 641                   | 9 378                 | 1 263                          | 12             |

Zdrojové údaje: Matoková a kol., SHMÚ 2013

\*/ priebeh povodne ovplyvnený prietrzou hrádzí.

Tab. 2 Zmena kulminačného prietoku Dunaja medzi stanicami Kienstock a Komárno v júni 2013

|                    | Kienstock<br>Q [m³.s⁻¹] | Komárno<br>Q [m³.s⁻¹] | Rozdiel      |
|--------------------|-------------------------|-----------------------|--------------|
| rkm                | 2 015,21                | 1 767,8               | 247,41 km    |
| dátum              | 4. 6. 2013              | 8. 6. 2013            | 4 dni        |
| kulminačný prietok | 11 450 m³.s⁻¹           | 9 378 m³.s⁻¹          | 2 072 m³.s⁻¹ |

Zdrojové údaje: zo stanice Kienstock: <https://www.no.e.gv.at/wasserstand/#/en/Messstellen/Map/Wasserstand>, zo stanice Komárno: Matoková a kol., SHMÚ 2013.

Tab. 3 Plocha a odhadnutý objem prirodzených retenčných priestorov medzi Čunovom a Medveďovom

| Prirodzené retenčné priestory            | Plocha [m²] | Približný odhadnutý objem [m³] |
|------------------------------------------|-------------|--------------------------------|
| koryto Dunaja                            | 14,8 mil.   | 81 mil.                        |
| ľavostranné (slovenské) inundačné územie | 43,4 mil.   | 152 mil.                       |
| pravostranné (maďarské) inundačné územie | 64,3 mil.   | 225 mil.                       |
| SPOLU                                    | 122,4 mil.  | 458 mil.                       |

1991), dlhotrvajúce povodne s veľkým objemom sa transformujú menej (typický príklad je povodeň z júna 1965 s extrémne veľkým objemom).

V tabuľke 2 je uvedená zmena kulminačného prietoku Dunaja medzi stanicami Kienstock a Komárno v júni 2013. Na 247km dlhom úseku Dunaja, aj s príspevkom prítokov Morava, Rába a radu menej významných prítokov, sa kulminačný prietok povodne v júni 2013 transformoval o 2 072 m³.s⁻¹, čo predstavuje takmer 20% jeho veľkosti. Na tejto transformácii povodne sa veľmi významne podieľali rozsiahle inundačné územia na rakúskom úseku medzi Viedňou a Bratislavou v národnom parku Donau Auen, ako aj staré koryto Dunaja so širokými inundačnými územiami medzi Čunovom a Medveďovom.

Na ilustráciu uvádzame plochy a približne odhadnuté prirodzené retenčné objemy, ktorými sa na transformácii povodňových prietokov podieľa koryto Dunaja a inundačné územia medzi Čunovom a Medveďovom (tab. 3). Ich celkový objem je približne 458 miliónov m³. Na porovnanie – vodná nádrž Liptovská Mara na Váhu má celkový objem 360 mil. m³, z toho retenčný objem (objem retenčného priestoru) je 14,5 mil. m³ (Abaffy, Lukáč, 1991).

## ZMENŠENIE INUNDAČNÝCH ÚZEMÍ DUNAJA

Rozsah prirodzených inundačných území vodných tokov sa vplyvom ľudskej činnosti v minulosti výrazne zmenšil na mnohých miestach. Dôvodom bola snaha o intenzívnejšie využívanie území pri riekach. Ľudské rozhodnutia pri intenzívnom využití riečnych inundačných území za cenu ich straty často neboli podložené dostatočným výskumom. Tradične sa

vplyv zúženia koryta rieky a zmenšenia inundačného územia posudzoval hydraulickým výpočtom či hydraulickým fyzikálnym modelom, ustáleného prúdenia, pričom kritériom bola plocha ochráneného územia a zmena výšky povodňovej hladiny. Vplyv úbytku cenných objemov retenčných priestorov záplavových území sa spravidla dostatočne nepreveroval. Takéto posúdenie je potrebné robiť v kontexte dlhšieho úseku toku, nielen v záujmovej lokalite, pričom treba myslieť na kumulatívny efekt. Potrebu a rôzne spôsoby výpočtu zmeny priebehu povodňových vln v dôsledku zmeny záplavových priestorov riek podrobne opisovali už staršie učebnice hydrauliky či hydrológie, napr. Oto Dub (1957). V tom čase ešte neboli k dispozícii počítače a vtedajšie spôsoby výpočtu neumožňovali riešenie rovníc neustáleného pohybu vody. Zrejme pomerná zložitosť príslušných približných výpočtových metód a nedostatočné odborné povedomie o ich potrebe spôsobili ich zriedkavé využívanie v praxi u nás.

Dnes už nie je potrebné používať približné a komplikované metódy, pretože bežné numerické modelovanie neustáleného prúdenia dokáže v tejto oblasti prinášať presné výsledky.

Výnimkou z hľadiska zmenšenia prirodzených záplavových území nebol ani úsek Dunaja v okolí Bratislavy, kde k ich dosiaľ poslednému výraznému zredukovaniu došlo v druhej polovici 20. storočia.

Ľavostranná ochranná hrádza pod Bratislavou bola prisunutá ku korytu. Od koryta Dunaja bolo oddelené inundačné územie Kopáč a Gajc, ale aj rozsiahle územie po starú protipovodňovú hrádzu fahajúcu sa od Podunajských Biskupíc okolo Rovinky, Dunajskej Lužnej, Kalinkova po Hamuliakovo. Prisunutie ľavostrannej ochrannej hrádzky ku korytu posudzoval hydraulický výskum na fyzikálnom modeli (Vincent, 1966).

Tab. 4 Plocha a odhadnutý objem odstavených inundačných priestorov Dunaja v oblasti Bratislavy

| Odstavené inundačné priestory                                                    | Plocha [m <sup>2</sup> ] | Približný odhadnutý objem [m <sup>3</sup> ] |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------|
| ľavá strana pod Bratislavou (Kopáč, Gajc, po starú hrádzu Rovinka – Hamuliakovo) | 37,2 mil.                | 112 mil.                                    |
| pravá strana v oblasti Pečňa                                                     | 2,2 mil.                 | 7 mil.                                      |

Posudzoval sa iba vplyv na priebeh povodňovej hladiny. Z dnešného pohľadu prekvapivý záver výskumu konštatoval, že prisunutie hrádze ku korytu možno odporučiť, pretože predmetné inundačné územie je silne zarastené a málo prietochné a podľa výsledkov modelovania sa hladiny veľkých vôd vplyvom presunutia hrádze zvýšili iba o 15 cm. Vplyv straty retenčného priestoru sa neskúmal a nijako nekomentoval. Ten istý výskum, našťastie, neodporučil prisunutie hrádze pod Bratislavou ku korytu aj na pravej strane, ktoré sa prejavovalo výrazným zvýšením povodňovej hladiny.

Od koryta Dunaja bolo oddelené aj pôvodné inundačné územie v oblasti Pečňa na pravom brehu Dunaja. Pri budovaní novej ochrannej hrádze na úseku od bratislavského Mosta SNP po Wolfsthal v Rakúsku hrádzu prisunuli ku korytu Dunaja na základe požiadavky získať maximálne ochránené územie pre výstavbu mestského sektora Petržalka (až dodnes vôbec nevyužitý) a zníženia nákladov na výstavbu mosta Lafranconi (Komora, 1979). Rakúšania si ponechali pôvodný rozsah inundačného územia. Hydraulický výskum VÚVH na fyzikálnom modeli (Komora, 1979) zistil, že vzhľadom na malú prietochnosť zarasteného inundačného územia zmena trasy hrádze (skúmali sa 3 alternatívy) ovplyvní priebeh povodňových hladín Dunaja len v malej miere. Vplyv straty retenčného priestoru sa opäť neskúmal a nijako nekomentoval.

Zdrž Hrušov Vodného diela Gabčíkovo vznikla vzdutím vody v koryte a na inundačných územiach Dunaja. Voda v zdrži vyplnila pôvodné prirodzené retenčné priestory inundačného územia na ploche približne 22,5 mil. m<sup>2</sup>. Tento priestor sa v súčasnosti podieľa na transformovaní povodňových vln iba čiastočne a jeho retenčná kapacita sa znížila vyplnením prirodzených retenčných priestorov odhadom o 68 mil. m<sup>3</sup>. Tento úbytok prirodzeného retenčného priestoru je čiastočne kompenzovaný priestorom v derivačnom kanáli, najmä pod Vodnou elektrárnou (VE) Gabčíkovo.

Plochy a odhadnuté približné objemy prirodzených záplavových území, ktoré boli v druhej polovici 20. storočia odstavené od koryta Dunaja v oblasti Bratislavy, sú uvedené v tabuľke 4. Približný objem týchto odstavených záplavových území odhadujeme spolu na 119 mil. m<sup>3</sup>. Po pripočítaní redukovaných prirodzených retenčných priestorov, ktoré zaplnila zdrž Hrušov, je celkový objem pôvodných záplavových priestorov, o ktorý bola znížená retenčná kapacita na bratislavskom úseku Dunaja, odhadom 187 mil. m<sup>3</sup>.

Tento zoznam možno nie je vyčerpávajúci a autori nemajú presnejšie vedomosti o ďalších inundačných územiach, ktoré boli prípadne počas 20. storočia oddelené od Dunaja (napríklad v oblasti Petržalky, Rusoviec a Čunova).

## ZVYŠOVANIE POVODŇOVÝCH PRIETOKOV DUNAJA

Línie protipovodňovej ochrany (hrádze, múriky, mobilné hradenia a pod.) sú spravidla dimenzované na určitú

dohodnutú úroveň. V dávnejšej minulosti to bývala najvyššia dovtedy pozorovaná povodňová hladina plus určité bezpečnostné prevýšenie. Neskôr sa v našej praxi začali používať návrhové povodňové hladiny vypočítané pre určitý štatisticky vyhodnotený návrhový povodňový prietok so strednou alebo nízkou pravdepodobnosťou výskytu. Výhodou takéhoto prístupu je možnosť zohľadniť pri navrhovaní protipovodňovej ochrany zmeny tvaru koryta a brehov, za predpokladu, že hydrologický prietokový režim rieky sa nemení alebo sa mení iba pomaly.

Na takýchto základoch stojí aj protipovodňová ochrana území v okolí Dunaja. Aký vývoj môžeme v tejto oblasti očakávať? Ako sa budú povodňové prietoky na našom úseku Dunaja v budúcnosti meniť?

Hodnota prietoku Dunaja pre povodeň s opakovaním jedenkrát za 100 rokov, takzvaná 100-ročná voda, sa pre profil Bratislavy zmenila za posledných 25 rokov z 10 600 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> na 11 200 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, teda takmer o 6%. Autori článku nevedia posúdiť, akú časť tejto zmeny môžu spôsobiť štatistické dôvody vyplývajúce z predlžujúceho sa radu hydrologických pozorovaní. Domnievame sa, že významnými dôvodmi zvýšenia povodňových prietokov na našom úseku Dunaja sú:

- zmeny odtokových pomerov v povodí, spôsobené zmenami využitia krajiny (v krajine sa menej vody zadrží a viac otečie do rieky, zrýchli sa odtok) a zmenšovaním objemov inundačných území (predpokladáme, že tento dôvod v doterajšom vývoji dominoval),
- nastupujúci vplyv klimatickej zmeny na hydrologický režim Dunaja (domnievame sa, že tento dôvod bude v blízkej budúcnosti dominovať).

Zmenám povodňových prietokov pre slovenský úsek Dunaja a ich očakávanému vývoju sa venovalo viacero výskumov a publikácií, napríklad Pekárová et al. (2008), Gaál, Lešková, Uhliarová (2017), Bisselink et al. – JRC (2018).

Modelová štúdia výskumného a vedomostného pracoviska Európskej komisie *Join Research Centre* (JRC) (Bisselink et al., 2018) o vplyve zmeny klímy, využitia krajiny a využívania vôd na vodný režim a vodné zdroje v povodí rieky Dunaj priniesla výsledky s praktickými výstupmi v kvalitatívnom aj kvantitatívnom vyjadrení. Klimatické scenáre, vývoj populácie a socio-ekonomických ukazovateľov, ako aj využitie krajiny štúdia premieta do budúcnosti. Na základný porovnávací scenár sa použili údaje z obdobia 1981 – 2010. Modelované boli dve časové obdobia. Scenár „2 °C“ reprezentoval 30-ročné obdobie 2026 – 2055 so stredom v roku 2040, keď sa očakáva prekročenie zvýšenia priemernej globálnej teploty o 2 °C. Druhým modelovaným obdobím a premietnutím do budúcnosti boli roky 2070 – 2099. Počas tohto obdobia sa pri nepriaznivom klimatickom scenári, ktorý je označovaný ako RCP 8,5 (representative concentration pathway – so silou vyžarovania zvýšenou o 8,5 W/m<sup>2</sup> vplyvom emisií skleníkových plynov, ľudskou činnosťou), už predpokladá zvýšenie globálnej teploty o 3,5 – 4 °C.

Na základe výsledkov modelovania sa očakáva, že povodňové riziko sa zvýši. Pre povodne s 1-ročným opakovaním sa pre scenár „2° C“ očakáva na hlavnom toku Dunaja zvýšenie kulminačných prietokov o 10 – 20% od Nemecka až po Rumunsko. Pre scenár „RCP8.5 2070 – 2099“ sa očakáva na hornom a strednom Dunaji zvýšenie kulminačných prietokov o 10 – 30%. Pre dolný tok Dunaja sú výsledky neisté, zrejme z dôvodu očakávaného poklesu vodnosti prítokov. Z hľadiska sezónnosti sa predpokladá výraznejšie zvýšenie kulminačných prietokov v zimnom a jarnom období.

Pre extrémnejšie povodne s menšou pravdepodobnosťou výskytu sa v správe JRC kvantitatívne výsledky očakávanej zmeny neuvádzajú.

## OBNOVA RETENČNÝCH PRIESTOROV VYBRANÝCH INUNDAČNÝCH ÚZEMÍ DUNAJA

V súčasnosti prevláda vo vyspelých krajinách odborný trend obnovy inundačných území, na miestach, kde je to možné a efektívne. Okrem pozitívnych účinkov pri ochrane pred povodňami ide aj o ekologický význam. Riekam sa snažíme prinavrátiť aspoň časť priestoru, ktorý sme im zobrali. Bez toho sa v budúcnosti nedokážeme účinne brániť pred obrovskými povodňovými škodami.

Bez obnovy retenčnej funkcie aspoň niektorých pôvodných záplavových území sa pravdepodobne nezaobídeme ani na slovenskom úseku Dunaja. Obnova prirodzených retenčných území má zmysel tak na hlavnom toku, ako aj na prítokoch. Dôležitý je kumulatívny efekt. Z hľadiska protipovodňovej ochrany na slovenskom úseku Dunaja by bola prínosom obnova pôvodných záplavových území:

- na rakúskom území nad Bratislavou,
- na dolnom toku rieky Morava,
- v oblasti Bratislavy na pravom brehu v oblasti Pečňa,
- v oblasti Bratislavy na ľavom brehu v oblasti Kopáč, Gajc, Kalinkovo,
- pod ústím Váhu pri Iži,
- inde?

Bolo by vhodné preskúmať, do akej miery by bolo výhodné na výstavbu a obnovu hrádzových líní použiť časť sedimentov, ktoré sa usadzujú v zdrži Hrušov Vodného diela Gabčíkovo.

## ÚVAHA O POVODŇOVÝCH ŠKODÁCH

Pre rýchlu úvahu, či by nákladné investície do obnovy prirodzených retenčných priestorov posunom, obnovou a výstavou dlhých úsekov hrádz boli efektívne, si predstavme, že ak by sa v dôsledku preliatia a pretrhnutia súčasných ochranných hrádz zaplavil Žitný ostrov, vznikli by povodňové škody za viac ako 6 miliárd eur len počas jednej storočnej povodne.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Inundačné územia majú veľký význam pri prevádzaní veľkých vôd a pri znižovaní kulminačných povodňových prietokov pozdĺž toku vplyvom postupného zaplňovania ich retenčných objemov.

Na 247 km dlhom úseku Dunaja medzi hydrologickými stanicami Kienstock a Komárno, aj s príspevkom prítokov Morava, Rába a radu menej významných prítokov, sa kulminačný prietok povodne v júni 2013 transformoval – znížil o  $2\,072\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ , čo predstavuje takmer 20% jeho veľkosti.

Na tejto transformácii povodne sa významne podieľali aj rozsiahle inundačné územia a staré koryto Dunaja medzi Čunovom a Medveďovom. Ich retenčný objem predstavuje približne 458 miliónov  $\text{m}^3$ .

Vplyvom ľudskej činnosti sa plochy a retenčné objemy koryt tokov a ich inundačných území v minulosti výrazne zmenšili. Celkový objem pôvodných záplavových priestorov, o ktorý sa v 2. polovici 20. storočia znížila retenčná kapacita na bratislavskom úseku Dunaja, sa odhaduje na 187 mil.  $\text{m}^3$ .

V budúcnosti budeme pravdepodobne čeliť vyšším povodňovým prietokom ako dnes. Tento predpoklad potvrdzuje kvalitatívne aj kvantitatívne výsledky aktuálnych výskumov vplyvov zmeny klímy v povodí Dunaja.

Predpokladáme, že prax protipovodňovej ochrany bude naďalej pokračovať aj cestou lokálnych protipovodňových opatrení, zameraných na bezpečné prevedenie povodňových prietokov (výstavba nových, zosilňovanie a zvyšovanie existujúcich hrádzí, múrikov, mobilných hradení, budovanie a prevádzkovanie obtokov a pod.), ktoré však spravidla majú aj nežiaduci účinok zrýchlenia odtoku a zhoršovania situácie smerom po prúde. Tieto lokálne opatrenia je potrebné dopĺňať a kompenzovať vytváraním a obnovovaním retenčných priestorov, s dôrazom na zachovávanie a obnovu prirodzených retenčných priestorov koryt a záplavových území.

Pri zámeroch budovania nových alebo významných rekonštrukcií existujúcich hrádzí sa treba usilovať o umiestnenie alebo posun hrádzí do čo najväčšej vzdialenosti od koryta rieky.

Pri posudzovaní protipovodňových opatrení, ktorých výsledkom bude zrýchlenie odtoku vody a zmenšenie prirodzeného záplavového územia, nie je analýza ustáleného prúdenia vyhovujúca. Nestačí posudzovať iba vplyv na priebeh povodňovej hladiny, potrebné je posúdenie vplyvu straty retenčného priestoru na priebeh povodne na nižšie ležiacom úseku toku, pričom treba brať do úvahy kumulatívny efekt. Dôležité je nezmenšovať ďalej prirodzené záplavové územia.

Bez obnovy časti pôvodných záplavových území sa v budúcnosti nedokážeme účinne brániť pred obrovskými povodňovými škodami. Obnova priestorov záplavových území a ochrana existujúcich má oporu v zákone o ochrane pred povodňami (zákon č. 7/2010 Z. z.).

V úsilí o obnovu retenčných inundačných priestorov bude potrebná koordinovaná spolupráca krajín v povodí Dunaja. Účinky takýchto opatrení je možné pomerne exaktne zistiť a zdokumentovať pomocou matematického modelovania prechodu povodňových vln analýzou neustáleného prúdenia. Logickým postupom je:

- nepripustiť ďalšie zmenšovanie prirodzených retenčných objemov koryt a záplavových území,
- identifikovať odstavené pôvodné retenčné inundačné územia, ktoré by bolo možné obnoviť,
- zistiť účinky ich obnovy,
- odhadnúť náklady potrebné na ich obnovu,

- definovať prioritné územia, kde je najpriaznivejší pomer medzi protipovodňovými účinkami a nákladmi,
- začať s prípravou a následnou realizáciou v prioritnom poradí.

## ZÁVER

Obnova retenčných účinkov pôvodných záplavových území by mala byť dlhotrvajúcim spoločným koordinovaným úsilím krajín v povodí Dunaja. Priaznivý efekt takéhoto úsilia

je potrebné posudzovať v kontexte nadnárodného významu, celého povodia alebo aspoň dlhých čiastočných riečnych úsekov.

Dnes vieme, že je 45,3% šanca, že na Dunaji v Bratislave sa v najbližších 60 rokoch raz alebo viackrát prekročí 100-ročný povodňový prietok (Pekárová et al., 2008).

Je teda jasné, že musíme byť na to pripravení a predpokladáme, že očakávaný 100-ročný povodňový prietok bude vyšší ako ten, s ktorým sa rátalo pri návrhu existujúcich protipovodňových opatrení.

Príspevok bol prezentovaný na konferencii Manažment povodí a extrémne hydrologické javy 2019

## Literatúra:

Abaffy, D., Lukáč, M. (1991): *Priehrady a nádrže na Slovensku*. Alfa Bratislava. Bisselink, B., Bernhard, J., Gelati, E., Adamovic, M., Jacobs, C., Mentaschi, L., Lavalle, C. and De Roo, A. (2018): *Impact of a changing climate, land use, and water usage on water resources in the Danube river basin*, EUR 29228 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-85889-5, doi:10.2760/89828, JRC111817.  
Danube Atlas 2012: Atlas of flood hazard and risk maps of the Danube. Danube Flood Risk, Bucharest.  
Dub, O. (1957): *Hydrológia, hydrografia, hydrometria*, Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry Bratislava, Státní nakladatelství technické literatury Praha.?????  
Gaál, L., Lešková, D., Uhliarová, E. (2017): Predpokladaná zmena 100-ročného prietoku v 21. storočí na rieke Dunaj v Bratislave. *Acta Hydrologica Slovaca*, Vol. 18, No.

2, 2017, p. 154 – 164.

Komora, J. (1979): Ochrana Bratislavy proti veľkým vodám v úseku Petržalka Wolfsthal, záverečná správa VÚVH Bratislava.

Matoková, K. et al. (2013): *Povodeň na Dunaji v júni*. SHMÚ.

Pekárová, P. et al. (2008): Hydrologic Scenarios for the Danube River at Bratislava. Published by Key Publishing s.r.o. in cooperation with Slovak Committee for Hydrology, ISBN 978-80-87071-51-9

Vincent, J. (1966): Výskum regulačných úprav Dunaja pod Bratislavou pre odvedenie povodní, záverečná správa VÚV Bratislava.

<https://www.noel.gv.at/wasserstand/#/en/Messstellen/Map/Wasserstand>

Zákon č. 7/2010 Z. z. zákon o ochrane pred povodňami.



Ramenná sústava Dunaja, oblasť Dunajské luhy, A. Vranovská

# Modelová analýza odtoku dažďovej vody ako podklad na manažment sídlisk odolných proti klimatickým zmenám

Ing. Martin Mišík <sup>1</sup>, PhD., Ing. Marián Kučera <sup>1</sup>, Ing. Zuzana Hudeková, PhD.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> DHI SLOVAKIA, s. r. o., <sup>2</sup> Miestny úrad Bratislava, Mestská časť Karlova Ves

## ÚVOD

V súčasnosti sa zmena klímy a jej negatívne dosahy dostávajú do popredia záujmu médií. Medzi najvýraznejšie negatíva, ktoré sa už začínajú prejavovať aj na území Bratislavy, patrí hlavne zvýšenie počtu a intenzity vln horúčav v lete, zníženie počtu dní so snehovou pokrývkou, a tým zníženie množstva vody v pôde v jarom období, zvýšenie výskytu prívalových a intenzívnych dlhotrvajúcich zrážok s prejavmi silného vetra, výbojov bleskov, krupobitia a prívalových dažďov. Aj z toho by malo byť zároveň jasné, že realizácia adaptačných opatrení na zabezpečenie kvality života v sídlach by mala patriť medzi priority predstaviteľov samospráv.

Manažment odtoku vody počas silných dažďov patrí k vysoko aktuálnym problémom mnohých dnešných miest a obcí pri ich snahe o adaptáciu na zmenu klímy. Aby bolo možné navrhnúť správne a účinné opatrenia v tejto oblasti, treba poznať množstvo dažďovej vody, jej odtokové trasy, vývoj odtoku v priestore a čase a zraniteľné miesta. Príspevok opisuje súčasné spôsoby modelovania pluvialných povodní ako následku silných dažďov v urbanizovaných územiach. Metodický postup a vhodná modelovacia technológia sú ilustrované na príklade praktickej aplikácie na sídlisku Dlhé diely v mestskej časti Bratislava – Karlova Ves, v rámci projektu DELIVER (<http://odolnesidliska.sk/>).

## PODKLADY A METÓDY

Na modelovanie pluvialných povodní, teda povodní z povrchového odtoku dažďovej vody, v urbanizovaných územiach existujú v súčasnosti vhodné postupy a technológie. Základným podkladom na riešenie takéhoto problému je topografia záujmového územia, spravidla vo forme digitálneho terénneho modelu (DTM). Ďalším kľúčovým podkladom je, samozrejme, príslušný dažď. Pre potreby adaptácie na zmenu klímy by návrhový dažď mal zohľadňovať očakávaný vplyv zmeny klímy.

Z hľadiska metodiky riešenia štúdie bola kľúčová aplikácia dvoch technologických nástrojov, ktoré sa použili pri riešení vyššie uvedených základných dvoch krokov.

V 1. kroku sa zistili trasy odtoku pomocou nástroja DHI Flood Screener. Podstatou tohto nástroja je platforma Geografického informačného systému (GIS), v ktorej sa analyzuje topografia riešeného územia vo forme digitálneho terénneho modelu (DTM). Odtokové trasy nástroj zisťuje na základe

predpokladu, že voda sa presúva v smere klesajúceho terénu, pričom sú identifikované aj bezodtokové miesta, kde sa časť vody akumuluje. Takýto prístup používa viacero súčasných zahraničných nástrojov na báze GIS. Tento princíp sa dnes aplikuje vo viacerých projektoch aj v zahraničí, pretože umožňuje rýchle a výpočtovo relatívne nenáročné identifikovanie základných odtokových trás dažďovej vody po povrchu terénu.

V kroku 2 sa detailne hydrodynamicky modelovalo prúdenie vody v záujmovom území pri extrémnom daždi. Na modelovanie bol použitý hydrodynamický 2D model MIKE 21 FM s flexibilnou výpočtovou sieťou. Prostriedok MIKE 21 FM je dvojrozmerný matematický model neustáleného prúdenia.

V prípade povodňovej štúdie pre Karlovu Ves – sídlisko Dlhé diely možno metodický postup opísať nasledujúcimi krokmi (Mišík a Kučera, 2019):

- analýza územia v Google Earth Pro a terénne prehliadky,
- zakúpenie a analýza geopriestorových dát, digitálneho terénneho modelu (DTM) a polygóny obrysů budov,
- konzultácia s SHMÚ ku klimatologickým údajom o modelovom daždi,
- prijatie zjednodušujúceho konzervatívneho predpokladu (zohľadňujúceho najnebezpečnejšiu situáciu), že celý dažď sa premení na povrchový odtok, ostatné zložky prirodzeného dažďa (intercepcia, výpar, infiltrácia, odtok do kanalizácie), ktoré znižujú povrchový odtok, boli vo výpočtoch zanedbané,
- analýza odtokových trás pomocou nástroja DHI Flood Screener, export zistených trás do SHP formátu na spracovanie v GIS,
- detailné modelovanie povrchového odtoku dažďovej vody pomocou 2D hydrodynamického modelovacieho nástroja MIKE 21 FM,
- export výsledkov 2D hydrodynamického modelu do SHP formátu na spracovanie v GIS,
- spracovanie mapových výstupov v GIS nástroji ArcGIS Desktop.

## MODELOVANÝ DÁŽĎ

Základným prvkom na modelovanie zrážkovo-odtokového procesu bol údaj o intenzite modelového dažďa.

Parametre modelového dažďa na analýzu odtoku zo sídliska Dlhé diely v Karlovej Vsi dodal SHMÚ po konzultáciách s mestskou časťou (MČ) Karlova Ves aj s DHI. Na základe

výsledkov testovacích výpočtov bol zvolený dažďový scenár s úhrnom 31 mm, trvaním 30 min. a s konštantnou intenzitou počas trvania dažďa.

Tieto parametre vznikli nasledujúcou logikou:

Zámerom tejto štúdie bolo priniesť informáciu o odtoku zo sídliska pri silnej búrke, akú možno reálne očakávať v najbližších rokoch. Základom bol údaj reálne zaznamenaného dažďa 6. júna 2018 na zrážkomernej stanici SHMÚ v Bratislave na Kolibe (v približne rovnakej nadmorskej výške, ako má sídlisko Dlhé diely a vzdušnou čiarou od seba vzdialené približne 5 km), keď počas 30 min. spadlo 27 mm zrážok. Tento polhodinový úhrn bol zvýšený o 15% ako zohľadnenie očakávaného vplyvu klimatickej zmeny v budúcnosti.  $27 \text{ mm} \times 1,15 = 31 \text{ mm}$ . Čas trvania dažďa 30 min., čo je pre modelované územie približne čas koncentrácie, bol zvolený na základe výsledkov testovacích modelových výpočtov.

## ANALÝZA TRÁS POVRCHOVÉHO ODTOKU

Trasy koncentrovaného odtoku sme zisťovali analýzou pomocou nástroja DHI Flood Screener. Je to aplikácia na identifikáciu potenciálne zaplavovaných oblastí na základe analýzy digitálneho terénneho modelu (DTM), dažďa, prípadne definovanej premietanej hladiny (rieky, jazera alebo mora). Simulačné výsledky aplikácie sú mapy zaplavených oblastí, ktoré identifikujú, kde sa bude voda z dažďa akumulovať. Výsledky neposkytujú informáciu o časovom vývoji postupu záplavy a množstve po povrchu pretečenej vody.

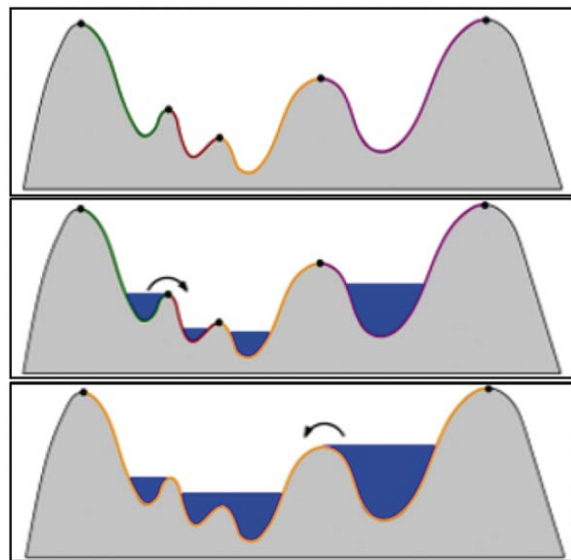
Jednoduché vysvetlenie krokov vykonávaných počas výpočtu odtokových trás (obr. 1):

1. Simulácia sa začína z pôvodne suchej topografie (DTM).
2. Identifikované sú lokálne miesta s minimami v topografii a vytvoria sa čiastkové „povodia“ okolo nich.
3. Na povrch sa pridáva dážď – do každého identifikovaného miesta s lokálnym minimom (do depresii). Pridávaný objem začína zaplňovať čiastkové „povodia“.
4. Ako sa „povodia“ plnia, výška hladiny vody dosahuje výtok z „povodia“ a začína sa prelievať do susedných povodí.
5. Keď je naplnených viac susedných „povodí“, spoja sa do jedného. Aktualizácia „povodí“ pokračuje až do maximálneho dažďa definovaného v simulácii.
6. Výsledok zo vstupného dažďa je mapa trás odtoku a záplavy, kde zaplavené oblasti reprezentujú všetky lokálne minimá (depresie) a „povodia“ ktoré boli úplne alebo čiastočne zaplnené počas simulácie.

Na výpočet trás odtoku vyššie opísanou metódou sme použili DTM v rastrovom formáte s priestorovým rozlíšením  $1 \times 1 \text{ m}$  (obr. 2, 3). Do DTM sme zapracovali budovy tak, že hodnoty výšky terénu pod budovami sme zvýšili, aby cez budovy nemohla tiecť voda.

## HYDRODYNAMICKÉ MODELOVANIE ZRÁŽKOVÝCH ODTOKOVÝCH PROCESU A PRÚDENIA PO POVRCHU

Dynamiku povrchového odtoku sme analyzovali modelovaním dažďa na výpočtovú sieť 2D modelu. Použili sme



Obr. 1 Ilustrácia metodiky povodňového testovania pre dážď  
Hore: Suchá topografia terénu na začiatku analýzy  
Stred: Depresia v teréne vľavo je plná a začína sa prelievať do susedných čiastkových odtokových oblastí  
Dolu: Depresia vpravo je plná a začína sa prelievať. Dve čiastkové povodia v strede sú plné a spojili sa do jednej väčšej odtokovej oblasti (čiastkového povodia)

nástroj MIKE 21 FM. Model MIKE 21 FM s flexibilnou výpočtovou sieťou predstavuje komplexný simulačný prostriedok na dvojrozmerné modelovanie prúdenia s voľnou hladinou. Je založený na riešení dvojrozmerných RANS (Reynolds averaged Navier-Stokes) rovníc, integrovaných po hĺbke. Numerické riešenie spočíva v diskretizácii pomocou metódy konečných objemov, kde priestorová doména je diskretizovaná rozdelením na neprekrývajúce sa prvky (trojuholníky alebo rovnobežné štvoruholníky). Závislé premenné systému sú reprezentované ako konštanta pre celý prvok a vzťahujú sa na stred prvku. Zostavená výpočtová sieť mala 88 673 elementov s veľkosťou plôch do  $10 \text{ m}^2$ . Celková modelovaná a dažďom zasiahnutá plocha mala  $1,4 \text{ km}^2$ . Každému elementu modelu sme priradili nadmorskú výšku terénu podľa DTM a hodnotu Manningovho súčiniteľa hydraulického drsnosti podľa druhu povrchu terénu.

Na zostavený 2D hydrodynamický model sme nechali padať modelový dážď. Na základe výsledkov testovacích výpočtov sme zistili, že pre modelované územie je kritický dážď s trvaním 30 – 40 min. Pri daždi kratšieho trvania sa odtok na celom území nestihne plne koncentrovať a z nižšie položených území voda odtečie skôr, než tam pritečie voda z vyššie ležiacich území. Pri dlhšom daždi s konštantnou intenzitou už prietok odtekajúcej vody a rozsah zaplaveného územia nerastú. Odtekanie vody z modelu sme zabezpečili zadefinovaním 16 otvorov a hladinových okrajových podmienok v nízko položených miestach, kde odtokové trasy pretínajú vonkajšie okraje modelu.

Budovy boli vyňaté z modelovej domény (ako ostrovy), takže voda v modeli ich obtekala (nemohla sa dostať do budov), a dážď na ne nepadal, resp. voda zo striech budov sa nemohla dostať do okolitého modelovaného územia. Aby voda, ktorá padne na strechy budov, v celkovej bilancii



Obr. 2 Znáozornenie rozsahu modelovaného územia a odtokových trás

nechýbala, zvýšili sme úhrn modelového dažďa úmerne pomeru plochy všetkých budov k celkovej ploche modelovaného územia. Pri pomerne rovnomernom rozdelení budov na riešenom sídlisku je takáto úvaha prijateľná. Plocha budov z celkovej plochy modelovaného územia predstavovala 17%. Na zvyšok územia mimo budov sme teda v modeli pustili

návrhový dážď s celkovým úhrnom zvýšeným o 17%, teda  $31 \times 1,17 = 36 \text{ mm}$  dážď.

Výsledkom modelovania bola informácia rozsahu zaplaveného územia a hĺbke vody, rozdelení rýchlostí a smerov prúdenia v celej modelovanej oblasti.



Obr. 3 Znážornenie odtokových trás v Časti sídliska Dlhé diely v nástroj Google Earth

## OVERENIE HYDRODYNAMICKÉHO MODELOVANIA ZRÁŽKOVO-ODTOKOVÉHO PROCESU

Ukazuje sa, ako optimálne výsledky modelovania preverí prieskumom priamo v teréne, na ktorého základe sa overia kritické či najviac problematické lokality zistené modelovaním. V rámci modelovania nie je totiž vždy možné zahrnúť niektoré faktory, napríklad existujúce priechody a podchody na ploche zastavanej budovami, ktoré v pôdorysnom priemete nie sú badateľné, ale v praxi môžu zabezpečiť priestor na žiaduci odtok zrážkovej vody, ktorá by inak v danej lokalite mohla nepriaznivo akumulovať. Rovnako nie je možné pri modelovaní vziať do úvahy nevhodné spádovanie terénu či iné defekty v rámci spevnených plôch, napríklad, či zle vybudované, alebo časom vzniknuté depresie, kde sa môže akumulovať pomerne veľké množstvo zrážkovej vody, ktorá spôsobuje problém či už pri pešej, alebo inej doprave.

Na získanie komplexnejšieho prehľadu je preto veľmi vhodné zapojiť aj miestnych obyvateľov, ktorí za pomoci tzv. pocitových máp môžu zaznačiť problematické lokality, ktoré v danej lokalite vznikajú po príválových zrážkach (napr. akumulácia veľkého objemu vody).

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Na základe skúseností s modelovaním pluvialných povodní možno túto problematiku zhrnúť do niekoľkých téz a odporúčaní.

V prvom kroku je vhodné zistiť odtokové trasy pomocou analýzy DTM, najlepšie s využitím vhodného špecializovaného nástroja. Pomôže konfrontácia s praktickými skúsenosťami verejnosti, prípadne cieľené terénne mapovanie počas príválových búrok a po nich.

V niektorých prípadoch a pri niektorých úlohách stačí zistiť odtokové trasy a čiastkové povodia a z týchto výsledkov plánovať, kde je vhodné zamerať ďalšiu snahu pri zadržaní, spomalení či usmernení odtoku dažďovej vody.

Ak je potrebná podrobnejšia a detailná analýza odtoku, vhodné je použiť technológiu plne dynamického modelovania dažďa na 2D model. Takáto simulácia prinesie výsledky rozsahu a miery zaplavenia územia a umožňuje ďalej pracovať s hĺbkami vody, rýchlosťou prúdenia, prietokom a objemom odtekajúcej vody.

Tipy a triky a možnosti pre 2D modelovanie pluvialnej povodne v urbanizovanom území:

- výpočtová sieť by mala byť dostatočne podrobná, aby umožnila správne opísanie ulíc, pôdorysov budov, priekop, svahov,
- budovy môžu byť súčasťou modelu – potom je vhodné v pôdoryse budov zvýšiť topografiu, aby tvorili prekážku odtoku, ale aby dážď padal aj na strechy,
- budovy je možné vyňať zo siete 2D modelu, vtedy ich voda presne obteká, v tom prípade sa však do modelu nedostáva voda, ktorá spadne na strechy, a je vhodné úmerne zvýšiť úhrn dažďa aplikovaný medzi budovami,
- budovy je možné opísať aj tak že obvodová časť je definovaná ako plný múr zo strany očakávaného prútenia

vody a otvorený z tej strany, kam voda bude odtekať,

- aplikovať veľmi nízke hraničné hodnoty parametrov zaplavovania a vysušovania elementov modelu (flooding and drying).

Modelový dážď je vhodný pri simulácii aplikovať spravidla jedným z nasledujúcich spôsobov:

- Prijíť zjednodušujúci konzervatívny predpoklad (zohľadňujúci najnebezpečnejšiu situáciu), že celý dážď sa premení na povrchový odtok, ostatné zložky prirodzeného dažďa (intercepcia, výpar, infiltrácia, odtok do kanalizácie), ktoré znižujú povrchový odtok, sú vo výpočtoch zanedbané. Podobná úvaha je vhodná v prípade, že podložie je už nasýtené predchádzajúcim výdatným dažďom, na modelovanom území prevládajú nezalesnené a spevnené plochy, kanalizácia je preťažená či upchatá, územie je výrazne sklonité a dážď intenzívny, takže povrchový odtok výrazne dominuje nad vsakovaním.
- K hydrodynamickému modelu odtoku po povrchu pripojiť aj model kanalizácie, ktorá časť dažďovej vody odvedie.
- Pracovať s efektívnym dažďom, prenásobiť návrhový dážď odtokovými súčiniteľmi v závislosti od povrchu a využitia terénu. Na trávnatú plochu aplikujeme úmerne menší dážď než na asfaltové parkovisko.
- Pri modelovaní povrchového odtoku z modelového dažďa aplikovať aj zjednodušený model infiltrácie.
- Použiť komplexný hydrologický model prepojený s hydrodynamickým modelom prúdenia v otvorených korytách, kanalizácii a po povrchu.
- Testovacími výpočtami zistiť čas koncentrácie odtoku na záujmovom území a použiť modelový dážď s takýmto časom trvania, prípadne na model aplikovať dažde rôznej intenzity s rôznym trvaním a z výsledkov modelu vyhodnotiť, ktorý dážď je pre dané územie najnepriaznivejší.

## ZÁVER

Pre úspešný manažment odtoku dažďovej vody a plánovanie opatrení adaptácie na zmenu klímy v urbanizovaných územiach je dôležité poznať trasy odtoku, kritické miesta a množstvá odtekajúcej vody. Modelovanie odtokových trás a hydrodynamiky prúdenia vody pri extrémnych dažďoch je preto dôležitou súčasťou analýz a výskumov, ktoré majú predchádzať voľbe vhodných opatrení. Postupy na zisťovanie trás odtoku vody a simuláciu dynamiky odtoku umožňujú získať výsledky potrebné na posúdenie a vyhodnotenie efektívnosti a účelnosti adaptačných opatrení.

Príspevok bol prezentovaný na konferencii Manažment povodí a extrémne hydrologické javy 2019.

### Literatúra:

- Mišík, M., Kučera, M. (2019): *Modelovanie a mapovanie povodňového ohrozenia riešeného územia sídliska Dlhé diely v MČ Karlova Ves. ďalšie údaje???*  
 MIKE by DHI (2017): MIKE 21 FLOW MODEL FM, Hydrodynamic Module, User Guide.  
 MIKE by DHI(2017): MIKE 21 & MIKE3 FLOW MODEL FM, Hydrodynamic and Transport Module, Scientific Documentation.  
<http://odolnesidliska.sk/>.  
<https://karlovaves.webmapy.sk/>.



Ramenná sústava Dunaja, Bodíky, A. Vranovská



# Významnosť vnosu fosforu procesom vodnej erózie poľnohospodárskej pôdy do povrchových vôd z pohľadu ich eutrofizácie v podmienkach Slovenska

Ing. Radoslav Bujnovský, CSc.<sup>1</sup>, RNDr. Štefan Koco, PhD.<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Výskumný ústav vodného hospodárstva

<sup>2</sup>Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy

<sup>3</sup>Fakulta humanitných a prírodných vied Prešovskej univerzity, Katedra geografie a aplikovanej geoinformatiky

Fosfor (P) z poľnohospodárskej pôdy vstupujúci do povrchových vôd (spolu s dusíkom) predstavuje environmentálny problém vyplývajúci z významnej účasti P na ich eutrofizácii [1]. Podľa údajov uvedených v druhom pláne manažmentu vôd v medzinárodnom povodí rieky Dunaj [2], v podmienkach Slovenska, sa sektor poľnohospodárstva podieľa 40% na výsledných emisiách celkového fosforu (TP – total phosphorus) do povrchových vôd.

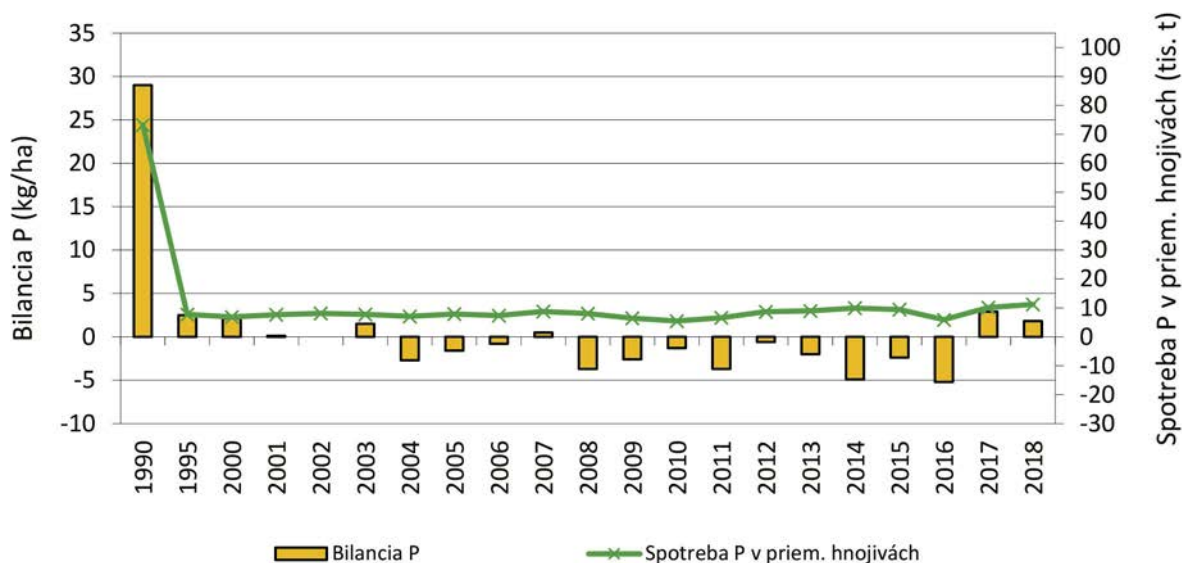
Hoci monitorovanie povrchových vôd môže odhaliť rozsah problémov s kvalitou vody vo vodnom toku (vrátane eutrofizácie), len málo informácií môže poskytnúť o zdrojoch (pôvode) znečisťujúcich látok. Podobne ako v prípade dusíka znížovanie difúzneho znečisťovania vôd fosforom predpokladá vymedzenie oblastí, ktoré najväčšmi prispievajú k vnosu tejto živiny do vôd. Pionke et al. [3] uvádzajú, že viac než 90% exportu fosforu z povodia pochádza z menej než 10% územia. K podobným záverom, v prípade strát fosforu viazaného na pôdne častice, dospeli aj Kovács et al. [4].

Pri znížovaní vstupov fosforu do povrchových vôd je potrebné venovať pozornosť tak zdrojom/pôvodu tejto živiny, ako aj spôsobu jej transportu/vnosu.

## ROZHODUJÚCE ZDROJE A CESTY VNOSU FOSFORU DO POVRCHOVÝCH VÔD

V podmienkach Slovenska rozhodujúcim zdrojom potenciálnych strát fosforu je spravidla jeho obsah v pôde, keďže, ako uvádzajú Vadas et al. [5], riziko strát tejto živiny z aplikovaných hnojív je najvyššie bezprostredne po aplikácii, pretože po ich zapravení do pôdy uvedené riziko rýchlo klesá v dôsledku ich interakcie s pôdou.

Obsah prístupného P v pôde, zisťovaný v rámci pravidelného agrochemického skúšania pôdy, je výsledkom dlhodobej bilancie tejto živiny. Od roku 2001 je na národnej úrovni spravidla negatívna (graf 1). Ako vyplýva z údajov EUROSTAT [6], Slovensko sa zaraďuje ku krajinám, kde bilancia fosforu



Graf 1 Vývoj bilancie a spotreby fosforu v priemyselných hnojivách v období 1990 – 2018

(v prepočte na 1 ha využívanej poľnohospodárskej pôdy) je pod priemerom EÚ.

Z hodnotenia indexu environmentálnej záťaže pôdy prístupným fosforom, odvodeného z výsledkov XIII. cyklu agrochemického skúšania pôd, vyplýva, že do kategórie stredného až veľmi vysokého indexu environmentálnej záťaže pôdy fosforom (nad 80 mg/kg) spadá menej než 10% výmery využívanej poľnohospodárskej pôdy.

Fosfor z poľnohospodárskej pôdy sa do povrchových vôd dostáva povrchovým odtokom (vrátane erózie pôdy) a podpovrchovým odtokom – najmä prostredníctvom podpovrchovej drenáže. Podľa údajov druhého plánu manažmentu povodia Dunaja [2] v podmienkach Slovenska podiel erózie pôdy z celkového úhrnu za všetky druhy ciest vnosu (vrátane bodových zdrojov) tejto živiny predstavuje 35%, podiel podzemných vôd 13% a podiel podpovrchovej drenáže asi 3,5%, čo je ovplyvnené aj rozsahom odvodnenia poľnohospodárskej pôdy.

Transport fosforu do povrchových vôd eróziou pôdy máva zvyčajne epizodický charakter, vyvolaný búrkami

a privalovými zrážkami. K najvýznamnejšiemu výskytu vodnej erózie na Slovensku dochádza v letných mesiacoch (jún – august).

### VNOS FOSFORU DO POVRCHOVÝCH VÔD Z VYUŽÍVANEJ POĽNOHOSPODÁRSKEJ PÔDY ERÓZIOU PÔDY

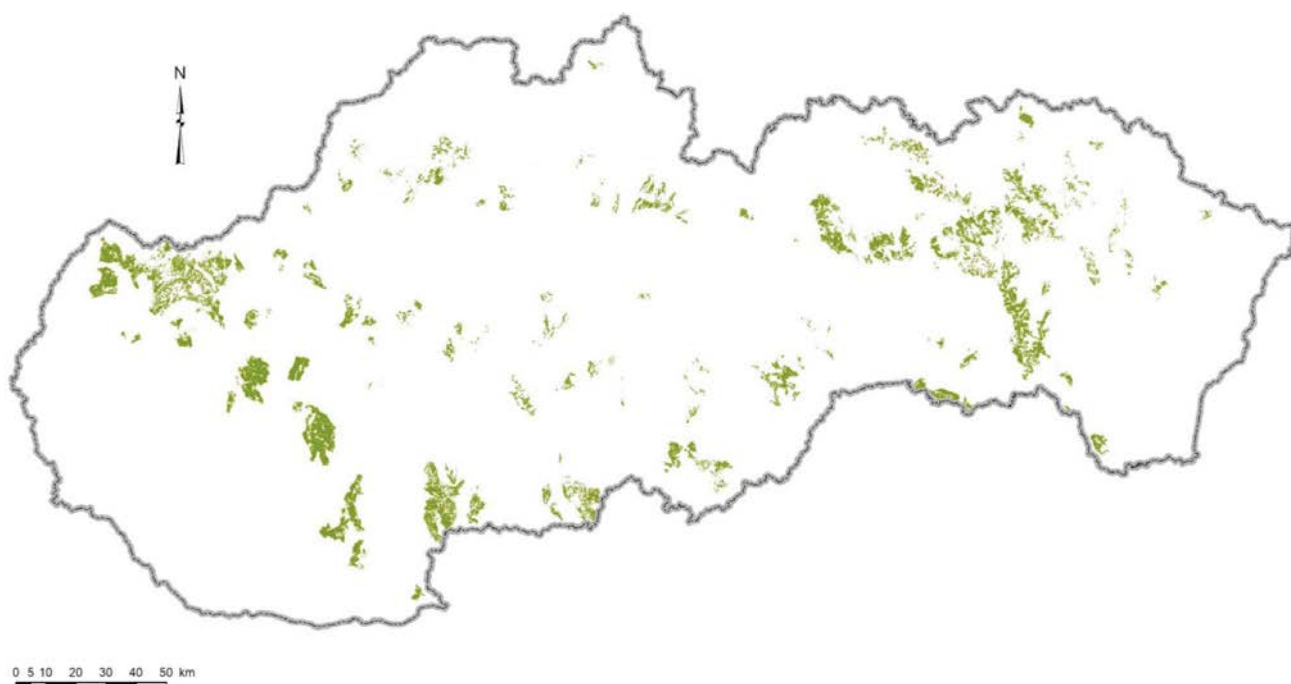
Odhad vstupu celkového fosforu (TP) do povrchových vôd je zložený z fosforu viazaného na pôdne častice (TPP – total particulate phosphorus) a (vodo)rozpuštného, resp. rozpustného reaktívneho P (DP – dissolved phosphorus, resp. DRP – dissolved reactive phosphorus).

Výpočet vnosu celkového fosforu viazaného na pôdne častice (TPP) do povrchových vôd procesom erózie pôdy sa vzťahuje na letný polrok s tým, že erózný odnos pôdy z poľnohospodárskej pôdy v povodí príslušného útvaru povrchových vôd sa odhaduje prostredníctvom rovnice USLE, ktorej použitie v podmienkach Slovenska opisujú Fulajtár a Janský [7]. Pri výpočte vnosu TPP do povrchových vôd sa zohľadňujú

Tab. 1 Hodnotenie intenzity vnosu celkového fosforu vstupujúce vodnou eróziou pôdy do povrchových vôd

| Vnos TP (kg P)     |                        | Hodnotenie intenzity vnosu TP |
|--------------------|------------------------|-------------------------------|
| v prepočte na 1 ha | v prepočte na 1 km VÚ* |                               |
| do 0,60            | do 60                  | veľmi nízka (1)               |
| 0,61 – 1,20        | 60,1 – 120,0           | nízka (2)                     |
| 1,21 – 2,40        | 120,1 – 240,0          | stredná (3)                   |
| 2,41 – 4,80        | 240,1 – 480,0          | vysoká (4)                    |
| nad 4,80           | nad 480                | veľmi vysoká (5)              |

\* VÚ = vodný útvar povrchových vôd.



Obr. 1 Poľnohospodárska pôda v povodiach vodných útvarov s významným vnosom celkového fosforu do povrchových vôd

odhad podielu erodovanej pôdy, ktorá vstupuje do povrchových vôd, koeficient obohatenia erodovanej zeminy fosforom a podiel (vodo)rozpuštného P.

Významnosť vnosu celkového fosforu sa hodnotí podľa kritérií odvodených na základe publikovaných hodnôt vnosu celkového P v prepočte na 1 ha poľnohospodárskej pôdy. Kým údaje o vnose fosforu v prepočte na 1 ha poľnohospodárskej pôdy vyjadrujú intenzitu vnosu, údaje o celkovom vnose P v prepočte na 1 km dĺžky vodného útvaru sú indikátorom relatívnej kapacity vnosu. Do kategórie významného vnosu tejto živiny spadá stredná až veľmi vysoká intenzita vnosu TP (tab. 1). K významnému vnosu celkového fosforu do povrchových vôd eróziou pôdy dochádza približne na 10,2% využívanej poľnohospodárskej pôdy (obr. 1).

## OPATRENIA NA ZNÍŽENIE DIFÚZNEHO ZNEČISŤOVANIA VÔD FOSFOROM S OHĽADOM NA PODMIENKY SLOVENSKA

Keďže implementácia dusičnanovej smernice zahŕňa aj problém eutrofizácie povrchových vôd, opatrenia na zníženie difúzneho znečisťovania vôd fosforom z poľnohospodárstva sa stávajú súčasťou riešenia tohto problému. Na Slovensku sa problému znižovania difúzneho znečisťovania vôd fosforom dosiaľ nevenovala zvýšená pozornosť, čo sa zdôvodňuje dlhodobou negatívnou bilanciou tejto živiny v pôde, prejavujúcou sa postupným poklesom obsahu prístupného P v pôde, ako aj zanedbateľnými stratami tejto živiny vyplavením, nakoľko anión  $\text{PO}_4^{3-}$ , na rozdiel od dusičnanového dusíka, je (s výnimkou zrnitostne ľahkých pôd, t. j. piesočnatých a hlinito-piesočnatých pôd) dostatočne pútaný na sorpčný komplex pôdy.

Opatrenia poľnohospodárov na zníženie vnosu fosforu do povrchových vôd sumarizuje tab. 2.

do povrchových vôd, no uvedené opatrenie rieši následok, ale nie príčinu.

Zníženie vnosu fosforu viazaného na pôdne, resp. koloidné častice nie je zárukou zlepšenia stavu/kvality vôd z aspektu ich eutrofizácie. Preto treba venovať pozornosť aj (vodo)rozpuštnému P, ktorý je z pohľadu eutrofizácie rozhodujúci. K východiskovým opatreniam na zníženie strát (vodo)rozpuštného P, bezprostredne dostupným pre poľnohospodársku prax, sa zaraďuje prehodnotenie/zníženie limitných hodnôt kategórií obsahu prístupného P v pôde [9], ako aj zníženie zásoby labilného P v pôde. Najčastejším spôsobom zníženia rozpustnosti, resp. mobility fosforu v pôde je aplikácia vápenatých hnojív, ktorá sa v súčasnosti realizuje v obmedzenom rozsahu.

Treba pripomenúť, že znižovanie vstupu P do povrchových vôd sa netýka iba opatrení realizovaných farmármi na poľnohospodárskej pôde. Niektoré opatrenia sa týkajú aj pozemkov mimo poľnohospodárskej pôdy. Ide napríklad o tvorbu/obnovu mokradí alebo manažment brehovej vegetácie.

Zlepšenie manažmentu fosforu v rámci poľnohospodárskej pôdy vrátane znižovania emisií fosforu z bodových zdrojov nemusí vždy viesť k jednoznačnému alebo trvalému poklesu celkového a (vodo)rozpuštného fosforu v povrchových vodách. Príčinou môže byť fosfor akumulovaný v riečnych sedimentoch v minulom období („legacy“). Dnové sedimenty riek sa počas zvýšených prietokov môžu presúvať a ovplyvňovať koncentráciu TP a  $\text{P-PO}_4^{3-}$  vo vodnom stĺpci, čím sa stávajú nielen sekundárnym zdrojom tejto živiny, ale aj celého radu látok, ktoré sa týmto spôsobom uvoľňujú do vodného prostredia [10].

A napokon treba spomenúť záležitosť biopristupnosti fosforu. Biologická odozva povrchových vôd na vstupy fosforu je určená množstvom biopristupného P (BAP – bioavailable phosphorus), ktorý predstavuje súčet rozpustného P (DP) a biopristupného podielu P viazaného na pôdne časti-

Tab. 2 Prehľad opatrení na zníženie vnosu fosforu do povrchových vôd procesom vodnej erózie pôdy

| Druh opatrení                                                                                                                                                                            | Vhodnosť opatrení |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| regulácia dávok P v priemyselných hnojivách s odhadom na obsah prístupného P v pôde a fosfor v aplikovaných hospodárskych hnojivách                                                      | TPP, DP           |
| voľba termínu a spôsobu aplikácie priemyselných a hospodárskych hnojív za účelom minimalizácie epizodických strát fosforu                                                                | TPP, DP           |
| uplatňovanie protierózných opatrení na svahovitých pozemkoch v blízkosti vodných tokov (napr. voľbou plodín, vytváraním zasakovacích pásov pozdĺž vodných tokov, pestovaním medziplodín) | TPP               |
| znižovanie obsahu rozpustného P v pôde vápnením                                                                                                                                          | DP                |

TPP – celkový fosfor viazaný na pôdne častice, DP – (vodo)rozpuštný fosfor

Viacerí autori poukazujú na potrebu postupného znižovania zásob prístupného fosforu v pôde a reguláciu vstupov fosforu vzhľadom na obsah prístupného P v pôde, najmä na pozemkoch ornej pôdy. Napriek tomuto opatreniu pokles „vysokého“ obsahu prístupného fosforu v pôde na environmentálne optimálnu úroveň môže trvať desaťročia [8]. Na Slovensku tento proces trvá už 30 rokov.

Potreba znižovania vnosu fosforu eróziou pôdy pomocou pestovania medziplodín, zabezpečenia trvalého pokryvu v rámci ornej pôdy (85% výmery), ako aj mulčovaním a priamou sejbou je aktuálne aj v podmienkach Rakúska [1]. Tvorba zasakovacích pásov pozdĺž vodných tokov síce môže prispieť k zníženiu vnosu fosforu viazaného na pôdne častice

ce (BPP – bioavailable particulate phosphorus). Z rastúceho počtu odkanalizovaných obcí a miest napojených na čistiarene komunálnych odpadových vôd môžu mnohí dospieť k záveru, že keď emisie celkového fosforu z bodových zdrojov klesajú, relatívny význam difúzných zdrojov znečistenia (najmä poľnohospodárskej pôdy) vzrastá, a preto im treba venovať zvýšenú pozornosť.

Z predbežných zistení vyplýva, že na Slovensku podiel biopristupného fosforu prijateľného vodným fytoplanktónom z erodovanej zeminy vstupujúcej z poľnohospodárskej pôdy do vodných tokov je približne 10% vnosu z celkového P, čo je v súlade s literárnymi poznatkami (5 – 30 %). Čo sa týka vnosu fosforu z čistiarní komunálnych odpadových vôd, až tretí

stupeň čistenia, ktorý odstraňuje do 95% rozpustného reaktívneho P, možno považovať za účinný vzhľadom na znížovanie eutrofizácie povrchových vôd [11]. Na Slovensku sa tento spôsob čistenia vyžaduje len na ČOV pre aglomerácie nad 10 000 ekvivalentných obyvateľov (EO).

Záverom je potrebné pripomenúť, že ochrana povrchových vôd pred vstupom fosforu z poľnohospodárskej pôdy je stále aktuálna, hoci rozsah oblastí s významným vnosom tejto

živiny je v porovnaní s dusíkom výrazne nižší. Environmentálnu účinnosť a ekonomickú efektívnosť prijímaných opatrení možno dosiahnuť vtedy, keď príslušné opatrenia budú situované do oblastí, ktoré sa vo významnej miere podieľajú na vnose tejto živiny do vôd. Táto požiadavka sa vníma ako veľmi aktuálna a je zapracovaná aj do Usmernenia ICPDR o udržateľnom poľnohospodárstve vo vzťahu k živinám a suchu, na príprave ktorého sa aktívne podieľal aj VÚVH.

#### Literatúra:

- [1] Zessner, M., Höfler, S., Weinberger, Ch., Gabriel, O., Kuderna, M., Strenge, E., Gumpinger, C. 2019: *Feinsediment- und Phosphorproblematik in oberösterreichischen Fließgewässern und Ansätze zur Lösung. Positionspapier zum Ist-Zustand und den aktuellen politischen Handlungsfeldern*. Linz, Amt der Oö. Landesregierung, Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft Abteilung Wasserwirtschaft.
- [2] ICPDR 2015: The Danube River Basin District Management Plan. Part A – Basin-wide overview. Update 2015. Vienna, International Commission for the Protection of the Danube River.
- [3] Pionke, H.B., Gburek, W.J., Sharpley, A.N. 2000: Critical source area controls on water quality in an agricultural watershed in the Chesapeake Basin. In *Ecological Engineering* 14, s. 325 – 335. ISSN 0925-8574.
- [4] Kovács, A., Honti, M., Zessner, M., Eder, A., Clement, A., Blöschl, G. 2012: Identification of phosphorus emission hotspots in agricultural catchments. In *Science of the Total Environment*, 433, s. 74 – 88. ISSN 0048-9697.
- [5] Vadas, P.A., Owens, L.B., Sharpley, A.N. 2008: An empirical model for dissolved phosphorus in runoff from surface-applied fertilizers. In *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 127, s. 59 – 65. ISSN 0167-8809.
- [6] EUROSTAT 2017: *Agriculture, forestry and fishery statistics*. 2017 edition. Luxembourg, Publications Office of the European Union. ISBN 978-92-79-75764-8.
- [7] Fulajtár, E., Janský, L. 2001: *Vodná erózia pôdy a protierózna ochrana*. Bratislava VÚPOP. ISBN 80-85361-85-X.
- [8] Withers, P.J.A., Vadas, P.A., Uusitalo, R., Forber, K.J., Hart, M., Foy, R.H., Delgado, A., Dougherty, W., Lilja, H., Burkitt, L.L., Rubæk, G.H., Pote, D., Barlow, K., Rothwell, S., Owens, Ph. R., 2019: A global perspective on integrated strategies to manage soil phosphorus status for eutrophication control without limiting land productivity. In *Journal of Environmental Quality*, 48, s. 1234 – 1246. ISSN 0047-2425.
- [9] Taube, F., Appel, T., Ebertseder, T., Müller, T., Olf, H.W., Nätscher, L., Schweitzer, K., Steffens, D., Wiesler, F., Zorn, W. 2015: Phosphordüngung und Bodenuntersuchung-Anpassung der Richtwerte für die Gehaltklassen ist geboten und notwendig. *Positionspapier des Verbandes deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten e.V. (VDLUFA)* 9. 1 – 9.
- [10] Westphal, K., Graeber, D., Musolff, A., Fang, Y., Jawitz, J.W., Borchardt, D. 2019: Multi-decadal trajectories of phosphorus loading, export, and instream retention along a catchment gradient. In *Science of the Total Environment*, 667, s. 769 – 779. ISSN 0048-9697.
- [11] Reynolds, C.S., Davies, P.S., 2001: Sources and bioavailability of phosphorus fractions in freshwater: a British perspective. In *Biological Reviews*, 76, s. 27 – 64. ISSN 1464-7931.



Obr. 1 Pohľad na Vodárenskú nádrž Hriňová

# Vodárenská nádrž Hriňová, výmena vodárenských potrubí

Ing. Tomáš Ič

SLOVENSKÝ VODOHOSPODÁRSKY PODNIK, š. p.

## Anotácia

Viac ako 50 rokov prevádzky vodnej stavby Vodárenská nádrž Hriňová si vyžiadalo nevyhnutnosť realizácie technologických opráv, a to prioritne vodárenských potrubí a uzáverov na potrubí dnového výpustu. Článok opisuje príčiny vzniku problémov na vodárenských potrubíach a proces následnej realizácie ich výmeny.

## STRUČNÝ OPIS VODNEJ STAVBY

Vodárenskú nádrž Hriňová (obr. 1, str. 23) uviedli do prevádzky v roku 1966. Bola vybudovaná na rieke Slatina pod horským masívom Poľana. Je najstaršou stavbou zo sústavy vodárenských nádrží Hriňová – Málinec – Klenovec na strednom Slovensku. Ide o sypaný typ priehrady s hlinitým tesniacim jadrom. Dĺžka hrádze v korune je 242 m, výška 41,5 m. Vodná nádrž je opatrená jedným dnovým výpustom DN 2 000 mm s kapacitou viac ako 60 m<sup>3</sup>/s, na ktorom boli osadené (okrem provízorneho hradenia) okuliarový vtokový uzáver a rozstrekovací kuželový uzáver na výtoku. Na zabezpečenie dodávky vody do Úpravne vody Hriňová (v povolenom množstve 325 l/s) sa vo vtokovej veži vybudovali 3 odberné horizonty s privádzacími potrubiami a následne spoločným odvádzacím potrubím DN 600 mm. Celkový objem nádrže predstavuje 7,4 mil. m<sup>3</sup> pri zatopenej ploche 55 ha.

## PROBLÉMY NA VODNEJ STAVBE OD ZAČIATKU JEJ PREVÁDZKOVANIA

Už samotná výstavba tejto vodnej nádrže v rokoch 1960 – 1965 si vyžadovala náročné technologické procesy. Priehrada má pomerne rozsiahlu „zdravotnú kartu“. Od jej vybudovania do uvedenia do trvalej prevádzky v roku 1997 postihli túto stavbu až tri havárie v rokoch 1966, 1968 a 1971 (priesaky a zosuvy vzdušného svahu, priesaky pod sklzom a vo vstupnej štôlni, vytečenie materiálu z tesniaceho jadra, vznik erozívnych rýh na vzdušnom svahu). Tieto poruchy si vyžiadali pomerne dlhé časové obdobie na ich podrobnú analýzu a následne rozsiahlu rekonštrukciu realizovanú v rokoch 1989 – 1992 (vybudovaním tesniacej ílovo-cementovej podzemnej steny, konsolidačnej injekčnej tesniaceho jadra v okolí injekčnej clony, injekčných vrtov do vzdušného filtra z koruny hrádze, vybudovaním nových vztlakomerných vrtov na návodnej a vzdušnej strane injekčnej chodby). Následná overovacia prevádzka v rokoch 1994 – 1997 potvrdila funkčnosť zrealizovaných opatrení a možnosť uvedenia stavby do trvalej prevádzky.

Po desiatkach rokov prevádzky sa zub času začal prejavovať aj na technologických zariadeniach hriňovskej priehrady. Ako prvý v poradí sa dočkal svojej výmeny kuželový

rozstrekovací uzáver na potrubí dnového výpustu, ktorý vymenili v roku 2007. Touto výmenou sa začal pomerne dlhotrvajúci proces zháňania finančných prostriedkov a realizácie technologických opráv na vodárenskej nádrži Hriňová (obr. 2).

## PROBLÉMY NA POTRUBIACH VODÁRENSKÝCH ODBEROV

V roku 2013 Vodohospodárska výstavba, š. p., zrealizovala meranie korozívneho úbytku materiálu na vodárenských potrubíach. Merania ukázali výrazný korozívny úbytok materiálu, ktorý v priemere dosahoval 36% a v lokálnych maximách až 70% z hrúbky pôvodného materiálu. Zároveň sa na potrubíach jednotlivých odberných horizontov začali vyskytovať lokálne priesaky, ktoré bolo potrebné zo strany správcu nádrže operatívne sanovať. Tieto riešenia však neboli z dlhodobého hľadiska udržateľné, pričom vzhľadom na rozsah korozívneho úbytku materiálu hrozilo vysoké riziko havárie.

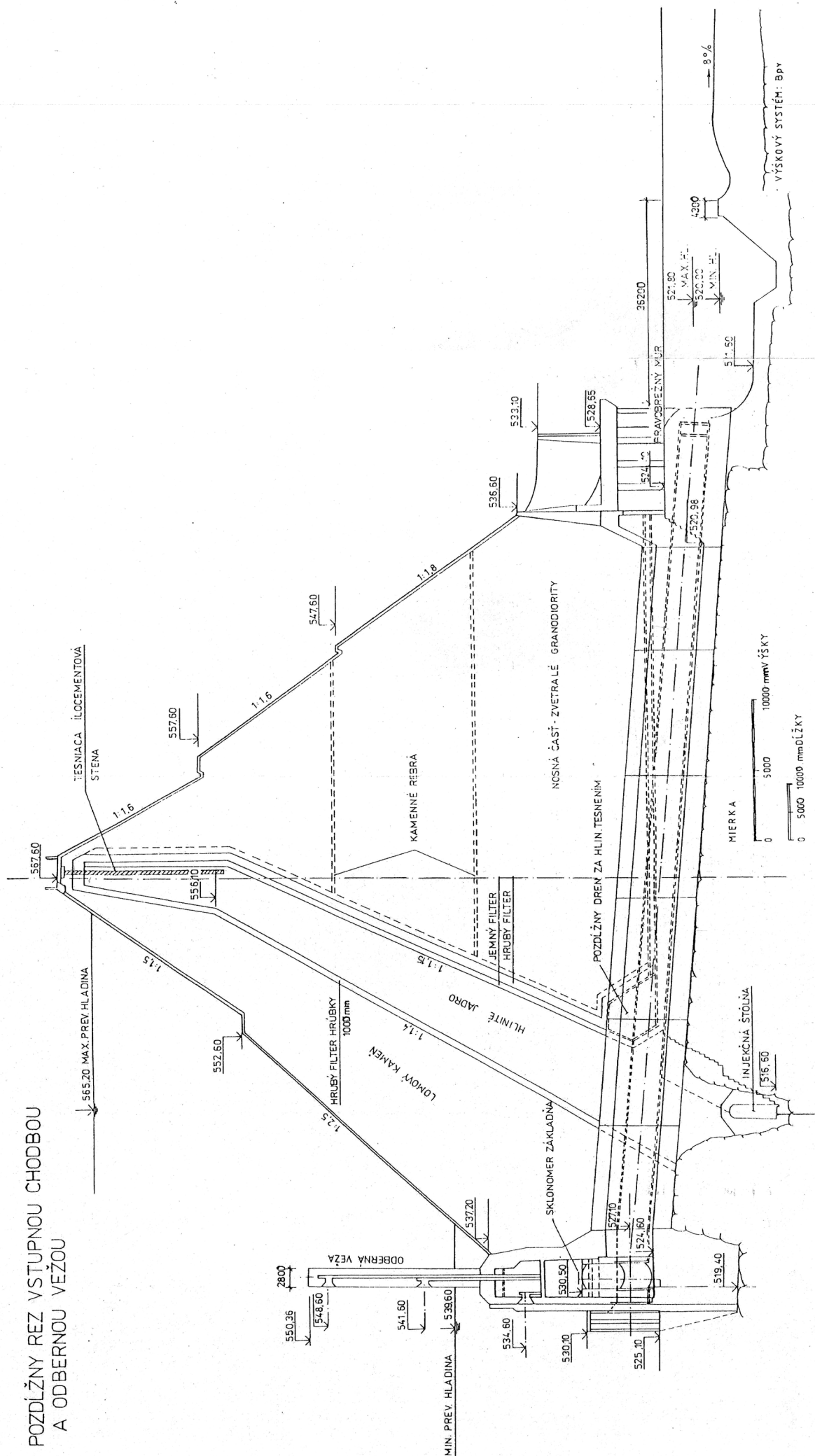
Na základe tohto skutkového stavu vydal Okresný úrad Banská Bystrica rozhodnutie, v ktorom určil správcovi vodnej stavby vykonať do konca roku 2018 kompletnú výmenu vodárenských potrubí.

## VÝMENA VODÁRENSKÝCH POTRUBÍ

Účel vodárenskej nádrže a zásobovanie viac ako 60-tisíc obyvateľov pitnou vodou takmer vo všetkých okresoch strednej časti južného Slovenska neumožňoval výmenu potrubí realizovať pri vypustenej, resp. aspoň čiastočne zníženej hladine vody v nádrži. Hlavným problémom, ktorý bolo potrebné vyriešiť, bola príliš nízko osadená vtoková veža a veľká hĺbka vtokov do vodárenských potrubí (17, 24 a 31 m) pod maximálnou prevádzkovou hladinou, a navyše, jednotlivé horizonty neboli počas výstavby priehrady na vtoku zabezpečené uzávermi.

Ďalším problémom boli kritické miesta pripojenia pôvodných potrubí umiestnených v betónových konštrukciách na nové potrubia. Takisto bolo potrebné vyriešiť nepretržitú dodávku vody do Úpravne vody Hriňová tak, aby nedošlo k obmedzeniu zásobovania obyvateľstva pitnou vodou.

# POZDÍŽNY REZ VSTUPNOU CHODBOU A ODBERNOU VEŽOU



Obr. 2 Priečny rez hrádzovým telesom



Obr. 3 Pôvodné potrubia dnových výpustov



Obr. 4 Obtok privádzacích vodárenských potrubí

Technické riešenie akcie „Hriňová – výmena vodárenských potrubí“ spočívalo v striedavom uzatváraní vtokov horného a stredného odberného horizontu. Striedavé uzatváranie vtokov umožňovalo dodávku vody do úpravne vždy cez jeden odberný horizont, ktorý bol napojený na obtok, na tento účel zrealizovaný ako odbočka z 2. – stredného odberného horizontu. Tento spôsob si vyžiadaval pomerne veľkú časovú náročnosť vzhľadom na početnosť ponorov a zváranie a odpaľovanie provizórnych ocelových platní z návodnej strany vtokovej veže. Obtokové potrubie bolo napojené na malú vodnú elektrárňu (MVE) II., ktorá sa nachádza na potrubí vodárenských odberov pred začiatkom prístupovej chodby.

Nasledoval proces odstraňovania pôvodných zvislých a vodorovných ocelových konštrukcií vodárenských potrubí z vtokovej veže a prístupovej chodby v dĺžke približne 150 m,



Obr. 6 Výmena vodárenských potrubí na nádvorí pod hrádzou



Obr. 5 Výmena vodárenských potrubí vo vtokovej veži

transport nových ocelových konštrukcií a uzáverov do vtokovej veže a úprava plôch za účelom napojenia nových potrubí v miestach výstupov pôvodných potrubí z betónov. Po vyriešení vyššie spomínaných čiastkových problémov bola demontáž pôvodných potrubí a montáž nových potrubí a uzáverov tým jednoduchším procesným úkonom v rámci celej opravy.



Obr. 7 Napojenie v strojovni MVE II.



Obr. 8 Vysoká hladina priesakových vôd



Obr. 9 Pôvodný a nový stav



Obr. 10 Pôvodný a nový stav



Obr. 11 Vodárenské potrubie vo vtokovej veži po ukončení opravy

Výmena vodárenských potrubí bola technicky veľmi náročnou a pomerne nákladnou opravou. Počas jej realizácie boli zhotoviteľ, ako aj objednávateľ postavení pred celý rad problémov. Okrem už tých spomínaných problémov s početnosťou ponorov v pomerne veľkých hĺbkach bola jednou z ďalších úloh pripojenie odvádzacieho vodárenského potrubia v technicky náročnom uzle malej vodnej elektrárne.

Ako ďalší problém sa ukázala vysoká hladina priesakových vôd pod nádvorím pod hrádzou, pričom sa bolo treba počas samotnej opravy vyrovnaf so zmenou výškového umiestnenia

vodárenského potrubia vo vzťahu k ostatným inžinierskym vedeniam v danom uzle.

Porovnanie pôvodného stavu vodárenských potrubí a stavu po realizácii opravy možno vidieť na vyššie uvedených obrázkoch.

Celkové náklady výmeny vodárenských potrubí predstavovali sumu viac ako 748 264 eur. Jedným z najzaujímavejších faktov celej opravy bolo, že sa pri demontáži pôvodných vodárenských potrubí zistilo, že skutočný korozívny úbytok presahoval maximálne hodnoty namerané ultrazvukovými metódami v rokoch 2013 a 2018.



Mokrad', Malý Dunaj, A. Vranovská



# Fyziologické sucho: definícia, príčiny a následky

Ing. Viliam Novák, DrSc.  
Ústav hydrologie SAV

## Anotácia

Termínom sucho sa označuje hydrologický jav, ktorého podstatnou črtou je nedostatok vody. Tento termín má mnoho interpretácií (napríklad hydrologické sucho, meteorologické, pôdne, hydrogeologické sucho), ale kvantitatívne je možné vyjadriť len málokteré z nich. Jednou z výnimiek je termín fyziologické sucho, ktorého začiatok však možno vyjadriť kvantitatívne. Platí, že intenzita produkcie biomasy (intenzita fotosyntézy) je úmerná intenzite transpirácie. Preto začiatok fyziologického sucha je taký stav vody v pôde alebo v rastline, vyjadrený hodnotou jej vodného potenciálu alebo vlhkosti, keď tento stav začína limitovať transpiráciu porastu; t. j. transpirácia je nižšia, ako je potenciálna, maximálne možná v daných meteorologických podmienkach, čo je spojené so znížením produkcie biomasy. Príspevok obsahuje metódu výpočtu prahu fyziologického sucha ako premennú hodnotu, závislú od vlastností systému pôda – rastlina – atmosféra.

## ÚVOD

Termín sucho, ako hydrologický jav, sa stále častejšie objavuje nielen v odborných, ale aj v iných masovokomunikačných prostriedkoch. Predpokladá sa jeho zvýšený výskyt v budúcnosti; najčastejšie sa spája s prebiehajúcou zmenou klímy, napriek tomu, že ročné úhrny zrážok na Zemi podľa očakávania narastajú. Zvyšovanie ročného úhrnu zrážok vyplýva z jednoduchej úvahy: ak stúpa teplota na Zemi, zvýši sa aj výpar (predovšetkým z morí a oceánov), a teda musí sa zvýšiť aj celkový úhrn zrážok na Zemi. Po relatívne vyrovnanom období (približne do roku 1990) ročný úhrn zrážok na území Slovenska stále vzrastá; za obdobie asi 20 rokov sa ročný úhrn zrážok zvýšil približne o 100 mm (Pekárová et al., 2017). Teda, dodávka vody zrážkami na územie Slovenska sa zvyšuje, no napriek tomu čoraz častejšie sa vyskytujú obdobia, ktoré sú charakterizované ako „suché“.

Tieto protichodné javy sú vysvetliteľné dvomi príčinami: zvýšenou evapotranspiráciou, ktorá stúpa úmerne teplote vzduchu, a nerovnomerné rozdelenie zrážok v čase aj priestore. Extremalita meteorologických (a následne aj hydrologických) javov je úmerná priemernej teplote vzduchu. To znamená, že sa vyskytujú krátke obdobia intenzívnych zrážok s vysokými úhrnmi a dlhé bezzrážkové obdobia, ktoré môže označiť ako suché obdobia.

Sucho je všeobecne definované ako nedostatok vody v časti hydrosféry. Termín „sucho“ sa používa často a jeho význam nie je jednoznačný; kvantitatívne vyjadrenie sucha, fyzikálne alebo fyziologicky opodstatnené je zriedkavé. Hore uvedená definícia je toho dobrou ilustráciou. Preto sú definície sucha väčšinou kvalitatívneho charakteru a miera sucha sa vyjadruje slovami ako „nedostatok vody“, „málo vody“, „nízky úhrn zrážok“, „dlhé obdobie viacerých mesiacov alebo rokov, keď región pociťuje nedostatok vody“. Slovník *Multilingual Technical Dictionary on Irrigation and Drainage* (1996) definuje sucho ako „spojitý interval času s nedostatčnými

zrážkami“. Prvá vec, čo nás môže zaraziť, je, že sucho je definované ako interval času, nie ako stav určitej časti hydrosféry. Možno je to dané tým, že v anglosaských krajinách používajú výraz „dry spell“, čo znamená suché obdobie, alebo slovo „drought“, čo v podstate znamená to isté.

V *Meteorologickom slovníku* (1993) je možné nájsť definície rôznych druhov sucha: meteorologické sucho, agronomické sucho, hydrologické sucho. V monografii *Hydrogeologické sucho* (2010) je tento druh sucha definovaný ako „výskyt a prejavy sucha v podzemných vodách“. Takáto definícia je naozaj veľmi všeobecná. Takto definované „suchá“ sa nedajú dať na spoločného menovateľa a už vôbec nie (vychádzajúc z uvedených definícií) kvantifikovať.

Šútor et al. (2005), Šútor (2006), Kandra (2006) a mnohí iní použili termín pôdne sucho a pokúsili sa ho definovať ako taký stav vody v pôde, keď je priemerný obsah vody v koreňovej oblasti pôdy pod vlhkosťou bodu trvalého vädnutia. V podstate termín pôdne sucho nie je šťastným termínom, pretože pôde ako takej nedostatok vody neprekáža, nedostatok vody v pôde sa negatívne prejaví v zníženej produkcii biomasy alebo vädnutím porastov.

Pôdohospodárske sucho je (agricultural drought) definované ako nedostatok vody, ktorý negatívne ovplyvňuje produkciu biomasy. Je to prijateľná definícia a môže sa stotožňovať s definíciou fyziologického sucha uverejnenej v *Meteorologickom slovníku* (1993) ako stav pôdy (a následne vody v rastline), ktorá limituje rast rastlín a produkciu biomasy. Táto definícia je akceptovateľná a umožňuje kvantitatívne vyjadriť „sucho“ ako stav hydratácie pôdy (a rastliny), ktorý limituje fotosyntézu (alebo produkciu biomasy).

*Encyclopedia of Agrophysics* (2011) definuje sucho (drought) ako „dlhé obdobie suchého počasia, ktoré môže viesť k čiastočnému zníženiu úrod alebo k neschopnosti zabezpečiť normálne požiadavky rastlín na vodu“.

Vzhľadom na to, že definícia javu sucho nie je jednoduchá, obmedzíme našu analýzu na problematiku fyziologického

sucha. Predmetom tejto práce je kvantitatívne definovať fyziologické sucha a ilustrovať jeho výskyt v závislosti od vlastností prostredia.

### DEFINÍCIA SUCHA NA ZÁKLADE VHLKOSTI PÔDY ZODPOVEDAJÚCEJ HYDROLIMITU VHLKOSTI TRVALÉHO VÄDNUTIA (RASTLÍN)

Jednou z prvých otázok, na ktoré sa pokúsili výskumníci pracujúci v oblasti poľnohospodárstva nájsť odpoveď, bola: Pri akej vlhkosti pôdy začne rastlina vädnúť? Vlhkosť bodu trvalého vädnutia  $\theta_v$  (wilting point) je definovaná ako vlhkosť zodpovedajúca vlhkosťnému potenciálu pôdy  $p_w = -1,5$  MPa; najčastejšie sa vlhkosťný (matričný) potenciál pôdnej vody vyjadruje v jednotkách tlakovej výšky, teda  $h_w = -15\,000$  cm. Aby sme lepšie pochopili skutočný význam tohto termínu, bude vhodné, ak sa oboznámime so spôsobom jeho identifikácie. Briggs a Shantz (1912) boli prví, ktorí zaviedli pojem súčiniteľ vädnutia (wilting coefficient), čo malo označovať vlhkosť pôdy, pri ktorej rastlina vädnie. Veihmeyer a Hendrickson (1928) zistili, že je to charakteristika pôdy (je teda pre každú pôdu iná) a nezávisí od vlastností prostredia. Pomenovali ju bodom trvalého vädnutia. Neskôr Richards (1931) priradil tejto vlhkosti trvalého vädnutia hodnotu vlhkosťného potenciálu pôdy ( $p_w = -1,5$  MPa).

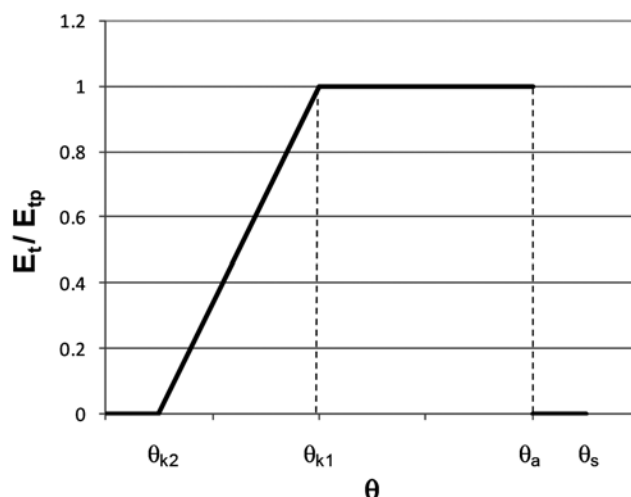
Ako vlastne prišli k tejto hodnote? Počas pokusu rastlinu (alebo porast) pestovali v ideálnych podmienkach v nádobe a dostatočne zásobovali vodou, t. j. voda nebola limitujúcim faktorom rastu. Transpirácia porastu bola maximálna (potenciálna), povrch pôdy bol zakrytý, aby sa vylúčil výpar z povrchu pôdy a všetka voda prešla cez rastliny transpiráciou. V určitom (bližšie nedefinovanom) štádiu vývoja porastu zavlžovanie skončili, transpiráciou sa pôda začala vysušovať, intenzita transpirácie sústavne klesala, až sa na rastline objavili viditeľné znaky vädnutia (ovisnutie a skrúcanie listov, zmena farby listov). V tomto štádiu (vädnutie) sa určí priemerná vlhkosť koreňovej oblasti pôdy; toto je vlhkosť trvalého vädnutia. Prečo trvalého? Preto, lebo ak prejde porast (rastlina) opísanou procedúrou, vädnutie sa stane nezvratným; to znamená, ani pri následnej závlahe sa rastliny nezregenerujú.

Z výsledkov výskumu vyplýva, že pri hore uvedenej procedúre matričný (vlhkosťný) potenciál pôdy ( $h_v = -15\,000$  cm) korešponduje vlhkosti trvalého vädnutia rastlín, charakteristický pre široké spektrum plodín, ktoré sú pestované v ideálnych hydratačných podmienkach.

Zaujímavé je, že rastliny nevädli ani pri hodnote vlhkosťného potenciálu listov  $h_v = -15\,000$  cm, boli pestované v menej priaznivých hydratačných podmienkach. Jordan a Ritchie, (1971) publikovali informácie, že porasty nejavili znaky vädnutia ani pri vlhkosťnom potenciáli  $h_w = -32\,000$  cm, čo je viac ako dvojnásobok hodnoty vlhkosťného potenciálu vody v pôde, zodpovedajúci matričnému (vlhkosťnému) potenciálu vlhkosti trvalého vädnutia rastlín.

Prečo je to tak?

Je to jednoduché. Rastlina ako nekonzervatívny prvok systému pôda – rastlina – atmosféra je schopná adaptovať sa na nízku úroveň hydratácie rastliny, ak tento proces prebieha pozvoľna. Preto je bod (vlhkosť) trvalého vädnutia hodnota



Obr. 1 Schematizovaná závislosť medzi relatívnou transpiráciou ( $E_t/E_{tp}$ ) a priemernou hodnotou objemovej vlhkosti koreňovej oblasti pôdy. Znáznomené sú kritické hodnoty vlhkosti pôdy, zodpovedajúce matričným potenciálom pôdy ( $h_{w1} = h_{ia}$ ), na obr. 2, ako aj vlhkosti pôdy ohraničujúce anaeróbnou oblasť pôdy  $\theta > \theta_a$ . Znáznomené sú kritické vlhkosti pôdy ( $\theta_{k1} = \theta_{ia}$ ), ako aj vlhkosť vodou nasýtenej pôdy ( $\theta_s$ ) a vlhkosť ohraničujúca anaeróbnou oblasť vlhkosti pôdy ( $\theta_a$ );  $\theta_{ia}$  zodpovedá vlhkosti pôdy, keď sa začína znižovať maximálna intenzita transpirácie.

relatívna a význam tohto hydrolimitu sa musí interpretovať vzhľadom na podmienky, pre ktoré bol tento hydrolimit určený. Vidieť teda, že ak priemerná vlhkosť koreňovej oblasti pôdy dosiahne vlhkosť bodu trvalého vädnutia, to ešte neznamená, že porast naozaj zvädnie. To závisí na histórii vlhkosti v predchádzajúcom období, ale aj na vlastnostiach porastu. Každá rastlina reaguje na dehydratáciu inak. Nepochybne však je identifikovaná vlhkosť „bodu vädnutia“ signálom, že porast je dehydratovaný a že sa blížíme ku kritickej oblasti vlhkosti pôdy, keď je ohrozená existencia porastu. Jasné však je, že ak aj porast nevädne, prírastok biomasy je minimálny, pretože sa pohybuje v oblasti fyziologického sucha.

### DEFINÍCIA FYZIOLOGICKÉHO SUCHA, ZALOŽENÁ NA IDENTIFIKÁCII NEGATÍVNEHO OVPLYVNENIA PRODUKcie BIOMASY DEHYDRATÁCIU PÔDY A RASTLÍN

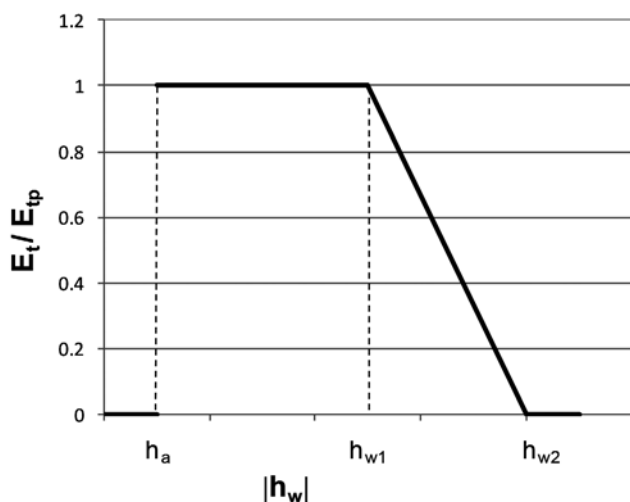
Fyziologické sucho je definované ako stav hydratácie rastliny, ktorý neumožňuje maximálne možnú intenzitu fotosyntézy v konkrétnych meteorologických podmienkach. Stav hydratácie rastliny je možné vyjadriť vodným potenciálom fotosyntetizujúcich častí rastlín. Fyziologické sucho je charakterizované (kritickou) hodnotou vodného potenciálu listov, pod ktorou sa začne znižovať intenzita fotosyntézy.

Dlhoročné skúsenosti ukázali, že rast porastov a produkcia biomasy sa znižujú už pred dosiahnutím hydrolimitu vlhkosti trvalého vädnutia (Richards, Waldleigh, 1952). Všimnime si, že stále hovoríme o vlastnostiach pôdy, a nie o vlastnostiach rastliny, predpokladajúc, že ak je dosť vody v pôde, bude jej dosť aj pre porasty, čo nemusí byť pravda, pretože transpirácia sa zabezpečuje prítokom vody z pôdy cez korene a rastlinu do listov a závisí od hydraulického vodivosti najmenej vodivej

časti systému PRAT – pôdy. Teda, ak sa do oblasti transpirácie (podprieduchové priestory rastlín) nedostane toľko vody, koľko je rastlina schopná transpirovať, produkcia biomasy bude nižšia, ako maximálne možná.

Početnými meraniami sa zistila lineárna závislosť medzi intenzitou fotosyntézy a intenzitou transpirácie konkrétneho porastu, ak sú ostatné podmienky (výživa, agrotechnika) nemenné (Briggs, 1982; Bois et al., 1985; Hanks, Hill, 1980; Vido- vič, Novák, 1987; Novák, Havrila, 2006; Novák, van Genuchten, 2008). Potom platí, že čím je vyššia rýchlosť transpirácie rastliny, tým je vyššia produkcia biomasy. Úlohou je teda udržať transpiráciu na maximálnej (alebo, inými slovami, potenciálnej) úrovni. Maximálna rýchlosť transpirácie sa realizuje v relatívne širokom rozsahu intervalu vlhkostí pôdy, keď je rýchlosť prítoku vody do podprieduchových priestorov rastlín dostatočná, aby sa udržala potenciálna transpirácia (obr. 1). Hydraulickej vodivosti pôdy s vlhkosťou, ktorá je nižšia ako kritická vlhkosť pôdy ( $\theta_{k1}$ ), už neumožňuje priviesť vodu do rastliny rýchlosťou, ktorá pokryje maximálne možnú rýchlosť transpirácie porastu (potenciálna transpirácia), a teda aj optimálnu produkciu biomasy.

Kritická vlhkosť pôdy, keď sa znižuje dostupnosť vody pre rastliny, sa často označuje ako ( $\theta_{la}$ ) – (soil water content of limited availability) je charakterizovaná priemernou vlhkosťou koreňovej oblasti pôdy, keď sa začne rýchlosť transpirácie znižovať pod maximálne možnú, potenciálnu úroveň. Čo je dôležité, znižovanie intenzity transpirácie pod intenzitu potenciálnej transpirácie je sprevádzané znižovaním produkcie biomasy. Je spravidla postačujúce uvažovať o hornej, metrovej vrstve pôdy, kde sú lokalizované korene väčšiny kultúrnych plodín. Princíp metódy určovania kritickej vlhkosti pôdy ( $\theta_{la}$ ) je založený na využití známej, empirickej závislosti medzi intenzitou transpirácie  $E_t$  a objemovej vlhkosti pôdy  $\theta$  (Novák, 2012, 2014a, 2014b, (2014c); Novák, Rodný, 2016).



Obr. 2 Schematizovaná závislosť medzi relatívnou transpiráciou ( $E_t/E_{tp}$ ) a priemernou absolútnou hodnotou matričného (vlhkostného) potenciálu koreňovej oblasti pôdy, vyjadreného tlakovou výškou ( $h_w$ ). Známené sú kritické matričné potenciály pôdy ( $h_{w1} = h_{k1} = h_{la}$ ), ako aj matričný potenciál ohraničujúci anaeróbnou oblasť pôdy ( $h_a$ ).  $h_a$  zodpovedá matričnému potenciálu, keď sa začína znižovať intenzita transpirácie.

Podobná úvaha platí aj pre závislosť medzi relatívnou transpiráciou a matričným potenciálom pôdy ( $E_t/E_{tp} = f(h_w)$ ), kde  $E_t$ ;  $E_{tp}$  sú intenzity transpirácie a potenciálnej transpirácie,  $h_w$  je matričný (vlhkostný) potenciál pôdy vyjadrený negatívnou tlakovou výškou (obr. 2).

Kritické hodnoty vodných potenciálov listov rastlín rastúcich v rozdielnych klimatických oblastiach sú v tab. 1. Vidieť, že čím je klíma suchšia, tým sú rastliny odolnejšie proti nedostatku vody.

Tab. 1 Kritické hodnoty vodných potenciálov listov rastlín  $h_{k1}$  a  $h_{k2}$  (obr. 2). Larcher (1988)

| Rastlina                            | $h_{k1}$ , MPa | $h_{k2}$ , MPa |
|-------------------------------------|----------------|----------------|
| Phaseolus vulgaris (fazufa)         | 0,75           | 1,00           |
| Lycopersicon esculentum (paradajka) | 0,75           | 1,20           |
| Zea mays (kukurica)                 | 0,75           | 1,60           |
| Glycine max. (sója)                 | 0,75           | 2,00           |
| Juglans regia (orech vlašský)       | 1,10           | 2,50           |
| Picea sitchensis (smrek)            | 1,30           | 2,50           |
| Olea europea (olivovník)            | 1,30           | 5,20           |
| Larea divaricata (púštny ker)       | 1,30           | 7,60           |

## VÝPOČET KRITICKEJ VHLKOSTI KOREŇOVEJ OBLASTI PÔDY, ZAČIATKU FYZIOLOGICKÉHO SUCHA

Metóda výpočtu kritickej vlhkosti pôdy, keď sa dostupnosť vody pre porast znižuje (critical soil water content of limited water availability,  $\theta_{la}$ ), bola opísaná už skôr, v súvislosti s metódou výpočtu výparu (Novák, Havrila, 2006). Vlhkosť pôdy  $\theta_{k1}$  je možné stotožniť s vlhkosťou pôdy  $\theta_{la}$ , keď sa začína znižovať prítok vody do rastliny. Pre bežne sa vyskytujúce rýchlosti transpirácie, ktoré sú menšie ako  $6 \text{ mm d}^{-1}$  ( $0,25 \text{ mm h}^{-1}$ ), je možné postup výpočtu vyjadriť rovnicami (1 – 3) (Novák, 2012; Novák, Hlaváčiková, 2016):

$$\theta_{la} = \theta_{k1} = \frac{1}{\alpha} + \theta_{k2} \quad (1)$$

$$\theta_{k2} = 0,67 \theta_v \quad (2)$$

$$\alpha = -2,27 E_p + 17,5 \quad (3)$$

$\theta_{k1}$  je kritická vlhkosť pôdy, indikujúca začiatok intervalu vlhkostí pôdy, keď sa transpirácia začne znižovať z maximálnej (potenciálnej) hodnoty  $\theta_{la} = \theta_{k1}$ ;  $\theta_{k2}$  je vlhkosť pôdy keď je transpirácia blízka nule,  $\theta_v$  je vlhkosť trvalého vädnutia. Koeficient  $\alpha$  sa môže približne vypočítať podľa očakávanej dennej intenzity potenciálnej transpirácie  $E_p$ ; na výpočet  $\theta_{k2}$  je potrebné poznať vlhkosť bodu trvalého vädnutia  $\theta_v$  (rov. 2). Nakoniec sa vypočíta  $\theta_{la}$  z rovnice (1).

Všimnime si (rov. 2), že kritická vlhkosť pôdy  $\theta_{k2}$  je nižšia ako vlhkosť trvalého vädnutia; teda rastlina transpiruje aj pri vlhkostiach pôdy nižších, ako je hydrolimit vlhkosti trvalého vädnutia pôd, čo je v súlade s našimi poznatkami.

V minulosti sa na kvantitatívne vyjadrenie začiatočného štádia nedostatku vody pre rastliny používal termín

Tab. 2 Charakteristické vlhkosti pôd s rozdielnou textúrou ( $\theta_s$  je objemová vlhkosť vodou nasýtenej pôdy,  $\theta_{k1}$  je vlhkosť pôdy korešpondujúca zníženej dostupnosti vody pre rastliny, ako funkcia intenzity evapotranspirácie,  $\theta_{bzd}$  je hydrolimit; je to vlhkosť zníženej dostupnosti pôdnej vody pre rastliny, vypočítaná podľa rov. (4). Na ilustráciu sme vybrali štyri pôdy (hlinitopiesočnatá, Láb; hlinitá pôda, Trnava; hlinitá pôda, Most pri Bratislave; ilovitá pôda, Zemplínske Hradište)

| Lokalita       | Láb        | Trnava      | Most pri Bratislave | Zemplínske Hradište |
|----------------|------------|-------------|---------------------|---------------------|
| $\theta_s$     | 0,38       | 0,36        | 0,47                | 0,51                |
| $\theta_v$     | 0,015      | 0,17        | 0,2                 | 0,33                |
| $\theta_{bzd}$ | 0,2        | 0,2         | 0,26                | 0,42                |
| $\theta_{k1}$  | 0,09 – 0,3 | 0,15 – 0,35 | 0,19 – 0,38         | 0,28 – 0,47         |

„vlhkosť zníženej dostupnosti vody pre rastliny“, ktorý sa určoval z rovnice

$$\theta_{bzd} = \theta_v + \alpha(\theta_{pk} - \theta_v) \quad (4),$$

kde  $\theta_{bzd}$  je vlhkosť zníženej dostupnosti vody pre rastliny,  $\theta_{pk}$  vlhkosť pôdy pri jej poľnej vodnej kapacite a  $\theta_v$  je vlhkosť vädnutia (vlhkosť bodu vädnutia). Súčiniteľ  $\alpha$  charakterizuje pôdu; spravidla je to hodnota  $\alpha = 0,6$ . Na obr. 3 sú plnými krúžkami znázornené tzv. vlhkosti „zníženej dostupnosti vody pre porasty“, určené podľa rovnice (4).

Z údajov v tab. 2 vyplýva, že interval vlhkostí pôd  $\theta_{k1}$ , v ktorom je transpirácia potenciálna, je pomerne široký; avšak pri piesku je mierne zavádzajúci, pretože aj keď je hodnota intervalu využiteľnej vlhkosti pôdy (0,35) vysoká, piesok rýchlo

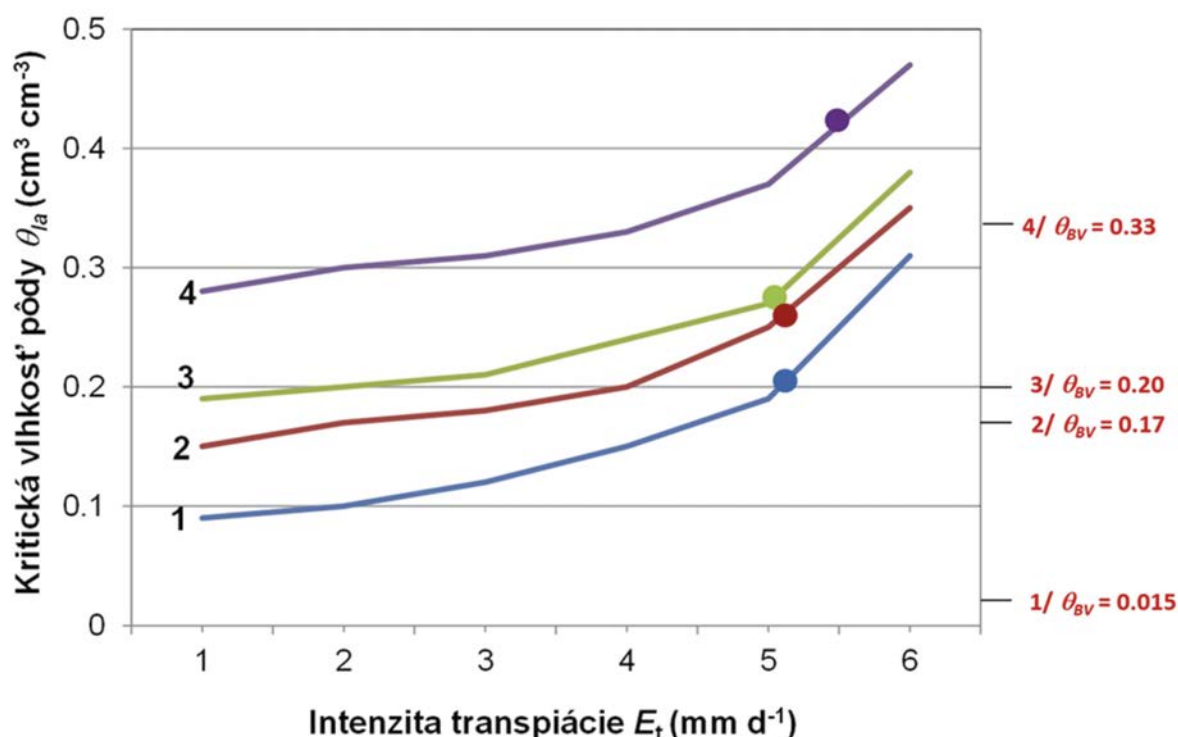
stráca vodu drenážou pod koreňovú oblasť pôdy. Okrem toho, kritické vlhkosti pôd závisia od intenzity transpirácie; to znamená, že v chladnom počasí je transpirácia potenciálna ešte pri vlhkostiach nižších, ako je „klasická“ vlhkosť vädnutia skoro všetkých pôd, s výnimkou piesočnatých pôd. Je to zapríčinené extrémne nízkou hydraulickou vodivosťou piesočnatých pôd pri malých vlhkostiach, keď ťažšie pôdy disponujú ešte relatívne vysokou hydraulickou vodivosťou a sú schopné priviesť vodu z pôdy ku koreňom aj v takých podmienkach.

Z tab. 2 tiež vyplýva veľký rozdiel medzi kritickými vlhkosťami pôd, korešpondujúcich rozdielnym intenzitám transpirácie porastu. Pri relatívne malých intenzitách porastu sú kritické vlhkosti prekvapujúco nízke, teda porast môže transpirovať maximálnou intenzitou (v daných meteorologických podmienkach) relatívne dlho, využívajúc široký interval vlhkostí pôd. Ďalším zaujímavým zistením je, že hydrolimit, korešpondujúci „vlhkosti zníženej dostupnosti vody pre rastliny“,  $\theta_{bzd}$  sa nachádza približne v strede intervalu vlhkostí pôd a ako orientačná hodnota môže byť zaujímavý.

Podobne, vlhkosť bodu trvalého vädnutia ( $\theta_v$ ) je nepatrne vyššia ako vlhkosť zníženej dostupnosti pôdnej vody pre rastliny ( $\theta_{bzd}$ ), a táto hodnota je tiež využiteľná na hodnotenie stavu hydratácie porastov.

## ZÁVER

Sucho je prírodný jav; tento termín vyjadruje nedostatok vody. Je to kvalitatívna definícia. Len zriedka je možné sucho definovať kvantitatívne. Jednou z týchto výnimiek je pojem



Obr. 3 Kritické objemové vlhkosti pôd s rozdielnou textúrou ( $\theta_{k1} = h_{a1}$ ) pri rôznych rýchlostiach transpirácie rastlín. 1 – piesočnatá pôda (Láb, Záhorská nížina), 2 – černozem na spraši (Trnava), 3 – hlinitá pôda (Most pri Bratislave), 4 – ilovitá pôda (Zemplínske Hradište, VSN). Plnými krúžkami sú znázornené tzv. vlhkosti „zníženej dostupnosti vody pre porasty“, určené podľa rovnice (4)

fyziológické sucho. Fyziológické sucho je definované ako stav hydratácie rastliny, ktorý neumožňuje maximálne možnú intenzitu fotosyntézy v konkrétnych meteorologických podmienkach. Z výsledkov meraní vyplýva, že fyziologické sucho nastane, keď je intenzita transpirácie nižšia, ako je transpirácia potenciálna, alebo relatívna transpirácia je nižšia ako jeden.

Či je porast v stave fyziologického sucha, závisí nielen od vlhkosti pôdy, ale aj od vlastností porastu a atmosféry. Porasty rastúce pri nízkych teplotách vzduchu transpirujú malou intenzitou (napr. menej ako  $1 \text{ mm d}^{-1}$ ), transpirujú potenciálnou rýchlosťou aj pri extrémne nízkych vlhkostiach pôdy. Intenzita prítoku vody do porastu by mala pokryť intenzitu transpirácie, ktorá je funkciou vlastností atmosféry. Pri danej vlhkosti pôdy porast môže, ale aj nemusí byť v stave fyziologického sucha, v závislosti od intenzity potenciálnej transpirácie. Pri malej intenzite potenciálnej transpirácie (nízka teplota vzduchu) porast môže transpirovať na potenciálnej úrovni, ale pri vyššej potenciálnej transpirácii a tej istej vlhkosti pôdy už prítok vody do rastliny nemusí pokrývať

potenciálnu transpiráciu a porast je v stave fyziologického sucha.

Na dosiahnutie potenciálnej úrody je potrebné zabezpečiť takú vlhkosť pôdy, aby táto neľmitovala transpiráciu; transpirácia by mala byť potenciálna, a tak sa zabezpečila potenciálna (maximálna) úroda.

Z výsledkov nášho štúdia vyplýva, že efektívnou metódou identifikácie fyziologického sucha je určenie relatívnej transpirácie (evapotranspirácie) konkrétneho porastu v konkrétnom časovom intervale. Je to pomer aktuálnej a potenciálnej transpirácie (evapotranspirácie). Takto sa získa priama informácia o úrovni produkcie biomasy, pretože táto je priamo úmerná intenzite transpirácie, a je maximálna, ak sa aktuálna transpirácia rovná potenciálnej, teda relatívna transpirácia sa rovná jednej; pri hodnotách relatívnej transpirácie (evapotranspirácie) nižšej ako jeden je očakávaná úroda nižšia ako potenciálna. Vtedy je čas vhodný na aplikáciu závlah.

Príspevok bol prezentovaný na konferencii Manažment povodí a extrémne hydrologické javy 2019

#### Literatúra:

- Bois, J.F., Couchat, Ph., Lasceve. (1985): Relationship between transpiration and photosynthesis during a water stress. In: *G. ISHS Acta Horticulturae*, 171. DOI:10.17680/ActaHortic. 1985.171.28.
- Briggs, L. J., Shantz, H. L. (1912): The wilting coefficient for different plants and its indirect determination. In: *USDA Bureau of Plant Industry Bull* 230. U. S. Gov. Printing Office, Washington, DC.
- Brix, H. (1962): The effect of water stress on the rates of photosynthesis and respiration in tomato plant and loblolly plant seedlings. In: *Physiologia Pl.*, 15, 10 – 20.
- Encyclopedia of agrophysics* (2011): Glinski, Horabik and Lipiec (Eds.), Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Hanks, R.J., Hill, R.W. (1980): Modeling crop responses to irrigation in relation to soils, climate and salinity. In: *Inter. Irrig. Inform. Center, Publ. No. 6*, Bet Dagan, Israel, s. 57.
- Hydrogeologické sucho*. 2010. Fendeková, Ženišová (Eds.), SAH a KH, Prír. fak. UK Bratislava.
- Jordan, W.R., Ritchie, J.T. (1971): Influence of soil water stress on evaporation, root absorption and internal water status of cotton. In: *Plant Physiol.* 48(6), 783 – 788.
- Kandra, B. (2006): Results of drought identification of East Slovakia Lowland, according to different characteristics. In: *Acta Hydrologica Slovaca*, v.7, 163 – 175.
- Larcher, W. (1988): Fyziológická ekológia rastlín, Academia, Praha.
- Masarovičová, E., Repčák, M. (2002): *Fyziológia rastlín*. Vydavateľstvo UK, Bratislava, 304 strán.
- Meteorologický slovník, výkladový, terminologický* (1993): Academia, MZCR, Praha, pp. 594.
- Mishra, A.K., Singh, V.P. (2010): A review of drought concepts. In: *J. Hydrology*, 391, 302 – 3016.
- Multilingual Technical Dictionary on Irrigation and Drainage*. (1996). ICID, New Delhi, 2nd Ed.
- Novák, V. (2012): *Evapotranspiration in the Soil – Plant – Atmosphere System*. In: Springer Science + Business Media, Dordrecht, pp. 253.
- Novák, V. (2014a): Aký je vzťah medzi vodou v pôde a produkciou biomasy? In: *Zborník referátov z 18. okresných dní vody*, Michalovce, ÚH SAV, 53 – 58.
- Novák, V. (2014b): Kvantitatívne vyjadrenie fyziologického sucha. In: Rožnovský, J., Litschmann, T., Sředová, H. (eds.); In: *Extrémy obehu vody v krajine*. Mikulov, 8. – 9.4.2014, ISBN 978-80-87577-30-1.
- Novák, V. (2014c): Seasonal transpiration and biomass production. In: *ScienceMED*, v.5, (1), 21 – 26, (Bologna, Italy).
- Novák, V., Havrila, J. (2006): Method to estimate the critical soil water content of limited availability for plants. In: *Biologia*, Bratislava, 61/Suppl. 19. S289 – S293.
- Novák, V., Genuchten M.Th. (2008): Using the Transpiration Regime to Estimate Biomass Production. In: *Soil Science*, 173, 6, 401 – 407.
- Novák, V., Hlaváčiková, H. (2016): *Hydrologia pôdy*. Veda, ISBN 978-80-224-1529-3, 347 s.
- Novák, V., Rodný, M. (2016): Kvantitatívne vyjadrenie fyziologického sucha a jeho priebehu počas vegetačného obdobia. In: *Zb. z konf. Pôdňi a zemeďelské sucho*, Kutná Hora.
- Pekárová, P., Miklánek, P., Pekár, J. (2017): Zmeny prvkov hydrologickej bilancie na Slovensku. In: *24th Int. Poster Day Transport of water, Chemicals and Energy in the SPAS*, Bratislava, IH – SAS, 204 – 210.
- Richards, L.A. (1931): Capillary conduction of liquids through porous medium. In: *Physics*, 318 – 333.
- Richards, L.A., Waldleigh, C.H. (1952): Soil water and plants growth. In: *Soil physical conditions and plant growth. Am. Soc. Agron. Monograph 2*: 13 pp.
- Šútor, J. (2006): Prognóza pôdneho sucha. In: *Acta Hydrologica Slovaca*, v.7, 176 – 182.
- Šútor, J., Gomboš, M., Matí, R. (2005): Kvantifikácia pôdneho sucha a jej interpretácia. In: *Acta Hydrologica Slovaca*, v.6, 299 – 306.
- Takáč, J. (2015): *Sucho v poľnohospodárskej krajine*. Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum, VÚPOP, Bratislava.
- Veihmeyer, F.J., Hendrickson, A.H. (1928): Soil moisture at permanent wilting of plants. In: *Plant Physiol.* 3 (3): 355–357.
- Vidovič, J., Novák, V. (1987): Závislosť úrody kukurice na evapotranspirácii porastu. In: *Rostlinná výroba*, 33, No. 6, 663 – 670.



Rastlinky vo vode I., M. Rimarčíková

Spoločnosť W&ET Team, České Budějovice,  
v spolupráci s ďalšími partnermi organizujú konferenciu

# PITNÁ VODA 2020

15. pokračovanie konferencie Pitná voda z údolných nádrží

30. 11. – 3. 12. 2020  
hotel Dvořák  
v juhočeskom meste Tábor

## Téma konferencie: problematika pitnej vody

Popri vzájomných vzťahoch medzi technológiami úpravy pitnej vody a dejmi prebiehajúcimi v údolných nádržiach, tokoch a ich povodí, bude zahŕňať aj technológiu úpravy podzemnej vody a problematiku hygieny pitnej vody.

Konferencia je určená prevádzkovateľom a vlastníkom úpravnej vody, pracovníkom podnikov povodí, pracovníkom z odboru hygieny, chémie a technológie vody, limnológie, zdravotného inžinierstva, hydrotechniky, ďalej pracovníkom projektových a konzultačných organizácií a orgánom štátnej správy a samosprávy miest a obcí, ako aj ďalším, ktorých sa problematika pitnej vody dotýka.

Seniori a študenti oboru: výrazne zvýhodnené podmienky účasti

V prípade záujmu kontaktujte sekretariát konferencie e-mailom

Odoslanie vyplnených prihlášok do 23. 11. 2020  
Aktuálne informácie nájdete na: [www.wet-team.cz](http://www.wet-team.cz)

Odborný garant a sekretariát konferencie W&ET Team, Písecká 2, 370 11, Č. Budějovice

Odborný garant:  
doc. Ing. Petr Dolejš, CSc.  
mobil: 603 440 922  
e-mail: [petr.dolejs@wet-team.cz](mailto:petr.dolejs@wet-team.cz)

Sekretariát konferencie:  
Ing. Nataša Kalousková, CSc.  
mobil: 603 450 882  
e-mail: [natasa@volny.cz](mailto:natasa@volny.cz)

Zmena termínu konferencie

## NOVÉ TRENDY V OBLASTI ÚPRAVY PITNEJ VODY

3. pokračovanie konferencie

23. – 24. september 2020, Atrium Hotel, Nový Smokovec

Kontaktná osoba: Ing. Jana Buchlovičová  
VodaTím, s. r. o., Zvolenská 27, 821 09 Bratislava,  
mobil: +421 903 268 508, e-mail: buchlovicova@vodatim.sk



Rastlinky vo vode II., M. Rimarčíková

## KONFERENCIA HYDROCHÉMIA 2020

s pôvodným termínom konania 7. – 8. októbra 2020

ZRUŠENÁ

# Doc. Ing. Ľubomír Hyánek, CSc. – 90 rokov

Dňa 21. júna 2020 sa dožil 90. rokov v plnom životnom eláne náš učiteľ, školiťel, oponent, recenzent, kolega, spolupracovník a hlavne priateľ – Bratislavčan, doc. Ing. Ľubomír Hyánek, CSc.

Svoje detstvo prežil a základnú školu absolvoval vo svojom rodisku – v Bratislave. Po maturite pokračoval v štúdiu na vtedajšej Slovenskej vysokej škole technickej (SVŠT). Ako absolvent stavebnej fakulty, katedry zdravotného inžinierstva, začal svoju profesijnú pedagogickú púť na tunajšej katedre 1. februára 1953, ktorej zostal verný až do roku 2000. V roku 1968 obhájil kandidátsku dizertačnú prácu, v roku 1977 sa habilitoval a následne bol menovaný za docenta v roku 1978.

V rámci pedagogickej činnosti vyučoval skoro všetky predmety pod záštitou katedry, z ktorých mu najväčšmi prirástla k srdcu oblasť čistenia odpadových vôd, čistoty vôd a vodné hospodárstvo priemyselných závodov. Od roku 1962 bol členom a neskôr predsedom komisie pre štátne záverečné skúšky a obhajoby diplomových, doktorandských prác a habilitačných konaní, členom iných odborných komisií, nielen v rámci Slovenskej technickej univerzity (STU), ale aj rezortu vodného hospodárstva, členom Vedeckej rady Stavebnej fakulty (SvF) STU. Svoj voľný čas venoval tiež práci v odboroch, Vedecko-technickej spoločnosti (VTS) a telovýchove.

Jeho bohatá publikačná činnosť pramenila z riešenia výskumných úloh, kde bol zodpovedným riešiteľom a spoluriešiteľom. Podieľal sa autorsky a spoluautorsky na 150 tituloch, z toho 3 monografií, 5 dočasných vysokoškolských učebníc a mnohých článkov v časopisoch domácich a zahraničných. Tak ako počas aktívnej práce, tak aj v dôchodku sa venoval posudkovej činnosti, recenziám a lektorskej činnosti, posudzoval mnohé habilitačné a doktorandské práce. Je spoluautorom vynálezu a zlepšovacích návrhov, riešil rôzne štúdie a projekty pre prax. Za svoju vedecko-pedagogickú a odbornovo-vedeckú činnosť bol viackrát ocenený nielen na pôde školy, fakulty, katedry, ale v sektoroch vodného hospodárstva.



Je držiteľom striebornej a zlatej medaily SVŠT, pamätnej medaily SvF a Plakety akademika Duba.

Náš jubilant bol dlhoročným členom rôznych odborných komisií, členom vedeckých rád (MLVH SR, VÚVH), redakčných rád, výboru VTS. V posledných rokoch aktívnej činnosti sa venoval práci v Slovenskej komore stavebných inžinierov (SKSI), kde bol garantom pre skúšky odbornej spôsobilosti. Bol spoluzakladateľom a členom výboru Asociácie čistiarenských expertov SR (1999).

Doc. Hyánek napriek svojmu pokročilému veku je stále aktívny, trvale sa zaujíma o novinky najmä v oblasti čistenia odpadových vôd. Treba povedať a zdôrazniť, že náš jubilant je vzorným príkladom, ako by sa

mali odovzdávať bohaté dlhodobé získané skúsenosti ďalším generáciám.

Počas činnosti na katedre zdravotného a environmentálneho inžinierstva sa stal jedným z najznámejších pedagógov aj pre svoj jedinečný vzťah k mladým ľuďom. Dodnes ho často pozývajú na stretnutia bývalých študentov po skončení štúdia na Stavebnej fakulte STU, kde trvale udivuje svojím humorm a prekvapuje študentov výbornou pamäťou. Jeho veľkým hobby je pestovanie skalničiek. Ako zakladajúci člen klubu skalničkárov vždy rád poradí pri pestovaní týchto rastlín. Najväčšou záľubou posledných rokov sú dvaja vnuci, pre ktorých je „dedko Ľubo“ ochotný vymyslieť neskutočné zábavy a programy.

Prajeme nášmu jubilantovi hlavne veľa zdravia, mnoho nevyčerpatelnej energie na štúdium odborných problémov, veľa času na záľuby, ale hlavne spokojnosti v rodine a nevyčerpatelné nápady pri chvíľach strávených s vnukmi.

**doc. Ing. Jarmila Božíková, PhD.**  
za kolektív pracovníkov Katedry zdravotného  
a environmentálneho inžinierstva  
Stavebnej fakulty STU Bratislava

# Informácie o nových STN

**Mgr. Daša Borovská**

Výskumný ústav vodného hospodárstva

**V máji a júni 2020 vyšli v oblasti vodného hospodárstva tieto slovenské technické normy:**

**STN EN ISO 22908: 2020** (75 7627) Kvalita vody. Rádium 226 a rádium 228. Kvapalinová scintilačná skúšobná metóda

*Norma vyšla v anglickom jazyku.*

**STN EN ISO 13164-1: 2020** (75 7628) Kvalita vody. Radón 222. Časť 1: Všeobecné princípy

*Norma vyšla v anglickom jazyku.*

**STN EN ISO 13164-2: 2020** (75 7628) Kvalita vody. Radón 222. Časť 2: Gama-spektrometrická skúšobná metóda

*Norma vyšla v anglickom jazyku.*

**STN EN ISO 13164-3: 2020** (75 7628) Kvalita vody. Radón 222. Časť 3: Emanometrická skúšobná metóda

*Norma vyšla v anglickom jazyku.*

**STN EN ISO 13164-4: 2020** (75 7628) Kvalita vody. Radón 222. Časť 4: Dvojfázová kvapalinová scintilačná skúšobná metóda

*Norma vyšla v anglickom jazyku.*

**STN EN ISO 13165-1: 2020** (75 7629) Kvalita vody. Rádium 226. Časť 1: Kvapalinová scintilačná skúšobná metóda

*Norma vyšla v anglickom jazyku.*

**STN EN ISO 13165-2: 2020** (75 7629) Kvalita vody. Rádium 226. Časť 2: Emanometrická skúšobná metóda

*Norma vyšla v anglickom jazyku.*

**STN EN ISO 13165-3: 2020** (75 7629) Kvalita vody. Rádium 226. Časť 3: Koprecipitačná a gama-spektrometrická skúšobná metóda

*Norma vyšla v anglickom jazyku.*



Kvapky, M. Rimarčíková



