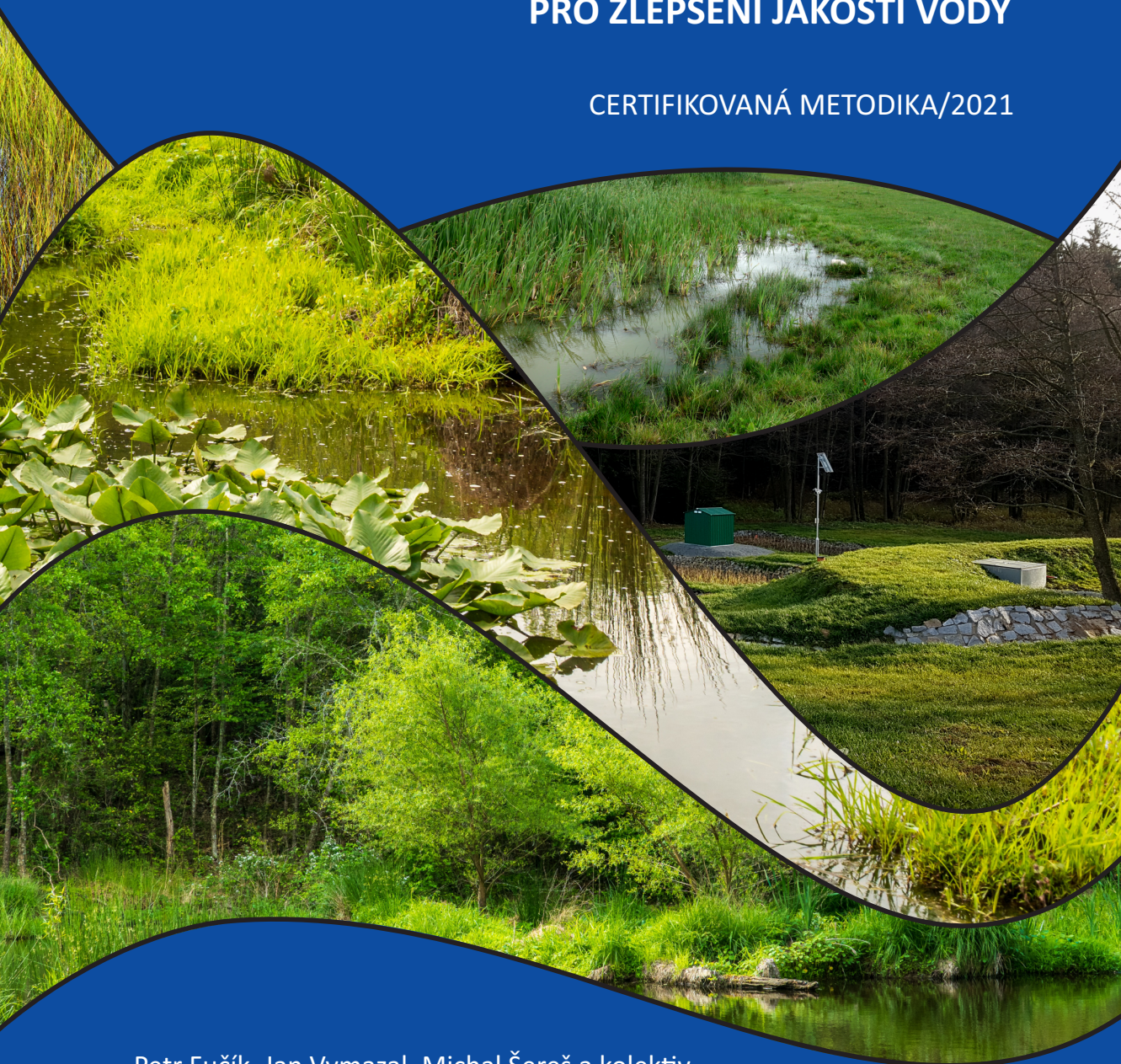


NAVRHOVÁNÍ UMĚLÝCH MOKŘADŮ V NÁVAZNOSTI NA ZEMĚDĚLSKÉ ODVODNĚNÍ PRO ZLEPŠENÍ JAKOSTI VODY

CERTIFIKOVANÁ METODIKA/2021



Petr Fučík, Jan Vymazal, Michal Šereš a kolektiv



Výzkumný ústav meliorací
a ochrany půdy, v.v.i.



Česká zemědělská
univerzita v Praze



Metodika pro navrhování umělých mokřadů v návaznosti na zemědělské odvodnění pro zlepšení jakosti vody

Petr Fučík, Jan Vymazal, Michal Šereš a kolektiv

Certifikovaná metodika

2021

Autorský kolektiv:

VÝZKUMNÝ ÚSTAV MELIORACÍ A OCHRANY PŮDY, v.v.i. (40 %)

Ing. Petr Fučík, Ph.D. (fucik.petr@vumop.cz), Ing. Tomáš Hejduk, Ph.D., doc. Ing. Zbyněk Kulhavý, CSc., Mgr. Antonín Zajíček, Ph.D., Ing. Renata Duffková, Ph.D., Mgr. Markéta Kaplická, Ing. Veronika Sítková, Ing. Lucie Poláková

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE (30 %)

Prof. Ing. Jan Vymazal, CSc., Ing. Adam Sochacki, Ph.D., Dr. Zhonbing Zhen

DEKONTA, a.s. (30 %)

Mgr. Michal Šereš, Ing. Tereza Hnátková, Ph.D., RNDr. Jan Kukačka

Poděkování:

Metodika byla zpracována jako plánovaný výstup z projektu Technologické agentury ČR:

TH02030376 - Uměle vybudované mokřady na zemědělském odvodnění pro zvýšení retence vody v krajině a zlepšení její kvality, řešeného v letech 2017 – 2020. Ke zpracování metodiky bylo také využito institucionální podpory VÚMOP, v.v.i. č. MZE-RO 0218.

Autoři děkují recenzentům metodiky, jejichž náměty vylepšily výslednou podobu publikace. Autoři dále děkují kolegům z VÚMOP, v.v.i. RNDr. Lence Tlapákové, Ph.D. a Ing. Milanu Čmelíkovi za cenné připomínky poskytované během řešení celého projektu i přípravě této metodiky a Ing. Jaroslavu Kršňákovi za konzultace.

Certifikaci metodiky provedl **Státní pozemkový úřad**, Ministerstvo zemědělství ČR, osvědčením č. 2/2021-SPU/O ze dne 30.6. 2021. Smlouva o uplatnění certifikované metodiky mezi Výzkumným ústavem meliorací a ochrany půdy, v.v.i. a společností AGROPROJEKT PSO s.r.o. ze dne 25.6.2021 je uložena ve VÚMOP, v.v.i.

Citace:

Fučík P., Vymazal, J., Šereš, M., Hejduk, T., Hnátková, T., Sochacki, A., Kulhavý, Z., Zajíček, A., Zhen, Z., Duffková, R., Kaplická, M., Sítková, V., Poláková, V., Kukačka, J. 2021. Metodika pro navrhování umělých mokřadů v návaznosti na zemědělské odvodnění pro zlepšení jakosti vody. Certifikovaná metodika. VÚMOP, v.v.i. ISBN 978-80-88323-50-1 (tištěná verze), ISBN 978-80-88323-51-8 (online pdf).

Recenzovali:

Ing. Kateřina K. Hánová

Vodohospodářský rozvoj a výstavba, a.s.

Ing. Marie Kurková, Ph.D.

Oddělení protipovodňových opatření, Ministerstvo zemědělství, Praha 1

V roce 2021 v nákladu 150 ks vydal VÚMOP, v.v.i.

Tisk: Rhodos spol. s r.o., Vyšehradská 51, 128 00 Praha 2

ISBN 978-80-88323-50-1 (tištěná verze)

ISBN 978-80-88323-51-8 (online pdf)

Obsah

Souhrn	7
I) Cíl metodiky	8
II) Vlastní popis metodiky.....	9
1. Úvod	9
2. Umělé mokřady ve vazbě na zemědělskou drenáž - stručný přehled.....	11
3. Principy a podklady pro navrhování a dimenzování	15
3.1 Zpřesnění informací ke stavbě odvodnění	15
3.2 Hydrologické podklady	20
3.3 Substráty.....	22
3.4 Technická řešení umělých mokřadů a doba zdržení vody.....	24
3.5 Vegetace v umělých mokřadech.....	31
3.6 Provoz a údržba	32
3.7 Realizovaný experimentální mokřad	35
4. Východiska pro lokalizace umělých mokřadů ve vazbě na odvodnění	43
5. Proces schvalování	50
6. Legislativa ke stavbám odvodnění	56
7. Možnosti dotací.....	57
IV) Srovnání „novosti postupů“	59
V) Popis uplatnění Certifikované metodiky.....	60
VI) Ekonomické aspekty Certifikované metodiky	61
VII) Seznam použité související literatury	62
VIII) Seznam publikací, které předcházely metodice	71

Seznam zkratk

CEVT	Centrální evidence vodních toků
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČOV	čistírna odpadních vod
ČR	Česká republika
ČSN	Česká státní norma
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
ČZU	Česká zemědělská univerzita
DIBAVOD	Digitální báze vodohospodářských dat
DVT	drobný vodní tok
GIS	Geografické informační systémy
HOZ	hlavní odvodňovací zařízení
HPV	hladina podzemní vody
HRT	hydraulic retention time (doba držení)
Kd	rozdělovací koeficient pevná fáze-voda
KOC	rozdělovací koeficient na organický uhlík
LMS	letecký měřický snímek
LPIS	land parcel identification system
NV	nařízení vlády
PAU	polyaromatické uhlovodíky
PCB	polychlorované bifenyly
pH	vodíkový exponent
POPs	persistentní organické látky
POZ	podrobné odvodňovací zařízení
SPÚ	Státní pozemkový úřad
TAČR	Technologická agentura České republiky
TOC	total organic carbon (celkový organický uhlík)
VÚMOP	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.
ZABAGED	Základní báze geografických dat
ZPF	zemědělský půdní fond
ZVHS	Zemědělská vodohospodářská správa

Souhrn

Riziko šíření polutantů do vodního prostředí z plošných zemědělských zdrojů nabývá v posledních letech na významu zejména s ohledem na projevy klimatické změny ve smyslu rozkosílané vláhové bilance zemědělských půd a častějších epizodních srážko-odtokových situací. Mezi hlavní kontaminanty, pocházející ze zemědělské půdy, patří kromě nerozpuštěných látek a částicového fosforu jako produktů eroze, zejména dusičnanový dusík a prostředky na ochranu rostlin – pesticidy. Opatření typu mokřadu či biofiltru s vodoretenčním prvkem, jako jedno z mnoha možných, se jeví jako velmi perspektivní z hlediska podpory procesů pro odbourání anorganického dusíku (převážně dusičnanů) a reziduí prostředků na ochranu rostlin (pesticidů), což jsou dvě nejvíce zastoupené skupiny polutantů, nacházejících se v drenážních vodách v ČR i v zahraničí.

Předkládaná certifikovaná metodika přináší zásady a postupy pro návrh, realizaci, provoz a údržbu intenzivních, uměle vybudovaných mokřadů, čistících vodu, pocházející ze zemědělské drenáže. Je představen stručný popis a charakteristika možných řešení těchto objektů a zejména praktické informace pro jejich management s ohledem na podmínky v ČR. Postupy a zkušenosti, uvedené v této certifikované metodice, pocházejí ze čtyřletého výzkumného projektu (TH02030376), řešeného autory této metodiky. V rámci tohoto projektu byl na českomoravské vrchovině navržen, zrealizován a provozován výzkumný objekt sdruženého retenčního mokřadu pro zadržení a postupný odtok a čištění drenážních vod. Výsledky z provozu tohoto objektu jsou součástí této metodiky. Během projektu autorský tým také zjistil řadu tematicky souvisejících domácích i zahraničních informací a nabyl cenných zkušeností, které jsou rovněž stručně vtěleny do této certifikované metodiky. Umělý mokřad, navržený se znalostí stavby odvodnění, drenážní hydrologie, respektováním vlastnicko-uživatelských vztahů odvodněných i okolních pozemků a s podporou procesů pro odstraňování dusičnanů a pesticidů z drenážních vod, vykázal během tříletého sledovaného období v průměru cca 65% účinnost pro snižování zátěže dusičnany, až 70-95% účinnost pro odstranění vybraných rodičovských pesticidů a přibližně 20% účinnost z hlediska odstranění metabolitů pesticidních látek.

Lze do značné míry souhlasit s dnes již legendárním výrokem prof. Mitche „*do not over-engineer the constructed wetlands*“ (Mitch et al. 2012), nicméně začlenění špetky technického uvažování do návrhů a realizací efektivně fungujícího mokřadu, zejména ve vazbě na systémy zemědělského odvodnění, není na škodu, zvláště pokud je cílem zlepšení kvality vod zemědělských povodí.

I) Cíl metodiky

Cílem metodiky je předložit zásady a praktické postupy pro navrhování a realizaci umělých mokřadů, budovaných v návaznosti na zemědělské odvodnění pro zvýšení retence vody v krajině a zlepšení její kvality z hlediska zátěže zejména anorganickým dusíkem a vybranými pesticidy. Metodika přináší podklady jak pro návrh a provoz opatření (umístění, parametry mokřadů, substráty, vegetace, doba zdržení, charakter proudění vody v mokřadu), respektující podmínky lokality, tak postupy pro vypořádání vlastnických vztahů a pravidla pro minimalizaci kolizí zájmů zemědělství a ochrany přírody a krajiny při jejich navrhování a realizaci.

V této metodice je použit termín umělé mokřady pro člověkem konstruované objekty, které mohou obsahovat technické konstrukční prvky (rozdělovací šachtice, přívodní / drenážní potrubí, těsněné filtrační těleso, atd.), mající za účel optimalizovat distribuci vod v objektu a podpořit, resp. zefektivnit přírodní procesy odbourávání polutantů v těchto objektech ve vodách, pocházejících ze zemědělské drenáže.

Předkládaná metodika nemá ambice nahrazovat řadu již zpracovaných podkladů pro vytváření přírodě blízkých mokřadů, tůní či jejich obnovu, ale věnuje se speciálnímu, ale stále častěji poptávanému tématu, zásadám a postupům pro navrhování těchto objektů ve vazbě na systémy zemědělského odvodnění s důrazem na aspekty jakosti vod.

II) Vlastní popis metodiky

1. Úvod

V ČR je odvodněno kolem 1,2 mil. ha, tj. téměř 30 % zemědělské půdy. Z toho minimálně 20-30% je neopodstatněné, funguje příliš intenzivně; není v souladu s environmentální a zemědělskou politikou ČR. Hrubým odhadem se jedná nejméně o 300 tis. ha odvodněné půdy, ze které odtéká voda, pro niž je nutné realizovat opatření – přímo v areálu odvodnění či přímé návaznosti na stavbu odvodnění - ke zvýšení její retence (tj. krátkodobému zadržení – retardaci odtoku) a akumulace (dlouhodobějšímu zadržení) a zlepšení její jakosti. Opatření typu mokřadu či biofiltru s vodoretenčním prvkem, jako jedno z mnoha možných, se jeví jako velmi perspektivní z hlediska podpory procesů pro odbourání anorganického dusíku (převážně dusičnanů) a reziduí prostředků na ochranu rostlin (pesticidů), což jsou dvě nejvíce zastoupené skupiny polutantů, nacházejících se v drenážních vodách. To bylo potvrzeno v ČR i v zahraničí (Fučík et al. 2015; Tournebize et al. 2017; Gramlich et al. 2018; Greiwe et al. 2021; Vymazal and Březinová 2015; Zajíček et al. 2018). Tento typ opatření, spadající do tzv. Přírodě blízkých vodoretenčních opatření (Natural Water Retention Measures; NWRM; <http://nwrn.eu/>) je realizovatelný jak přímo na odvodněné ploše – tj. se zásahem do stavby odvodnění, tak v návaznosti ní (na pozemcích sousedních), pokud je prioritou zachovat systém odvodnění ve stávajícím rozsahu a funkčnosti.

Zemědělské drenážní systémy (odvodnění, často nazývané „meliorace“) mohou být významnou cestou vstupu dusičnanového dusíku a pesticidů do vod. U dusičnanového dusíku se koncentrace v drenážích pod ornou půdou v ČR dle 30-ti letého kontinuálního monitoringu VÚMOP, v.v.i., pohybují v rozpětí 14 – 56 mg.l⁻¹; průměrně kolem 25 mg.l⁻¹ (60–250; 110 mg.l⁻¹ NO₃); specifický látkový odnos drenážemi je v hodnotách 10–70, průměrně cca 30 kg.ha⁻¹.rok⁻¹. Koncentrace fosforu v drenážních vodách pod ornou půdou i TTP jsou v ČR na základě kontinuálního monitoringu VÚMOP značně variabilní a vázané na odtok. Koncentrace rozpuštěného reaktivního fosforu (RRP) se během nízkého odtoku pohybují mezi 0,005–0,4 mg.l⁻¹ (medián kolem 0,020); během epizod mezi 0,05 – 2 mg.l⁻¹; u celkového fosforu (TP) je to 0,001–0,75 mg.l⁻¹ (medián kolem 0,045); v epizodách 0,001–3,2 mg.l⁻¹. Odnos RRP drenážemi je mezi 30 – 50 g.ha⁻¹.rok⁻¹; odnos TP drenážemi je 40 – 300 g.ha⁻¹.rok⁻¹; průměrně kolem 100 g.ha⁻¹.rok⁻¹ (Fučík et al. 2017; Zajíček a kol. 2019).

Z kontinuálního monitoringu VÚMOP, v.v.i. a Povodí Vltavy, s.p. vyplývá, že dynamika koncentrací pesticidních látek ve vodách drenáží a drobných vodních toků má – při vědomí jejich různorodého složení a fyzikálně-chemických vlastností

- vedle načasování aplikace prostředků a heterogenních půdních podmínek, zásadní vazbu na srážko-odtokový proces, původ vody a její dobu zdržení v různých geomorfologických zónách povodí (infiltrační, transportní, akumulací) a vykazuje epizodní charakter. Za běžných odtokových stavů (kdy je převažujícím tzv. základní odtok) jsou tak drenážemi vyplavovány téměř výhradně metabolity (přípravků aplikovaných před několika týdny až z doby před 10 lety). Během srážko-odtokových epizod jsou potom vyplavovány rodičovské látky a nařaděné metabolity. Většina pesticidů (z objemu vyplavených) je transportována z odvodněného pole během prvních dvou až tří srážko-odtokových událostí (SOU), přibližně do 60 dnů po aplikaci pesticidů (Branger et al., 2009; Sandin et al., 2018; Zajíček a kol. 2019). Vyplavení mateřských látek pesticidů následující po příčinné srážce do drenážních systémů dokládá pro ČR i Zajíček et al. (2017 a, b, 2018). Roční export pesticidů z odvodněného pole ve středoevropských podmínkách je $\ll 1\%$ aplikovaného množství (obvykle do $0,1\%$); specifický odnos je mezi $0,5\text{--}8\text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$. Koncentrace pesticidů v drenážních vodách se obecně pohybují mezi $0,01\text{--}100\ \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$, kdy hodnoty nad $0,5\ \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ ($500\ \text{ng}\cdot\text{l}^{-1}$) jsou detekovány výhradně během srážko-odtokových epizod (Dobiáš a kol. 2018; Fučík a kol. 2017; Zajíček et al. 2018).

Tyto skutečnosti měly být, spolu se specifiky drenážní hydrologie, zohledňovány při navrhování a dimenzování uměle vybudovaných mokřadů či biofiltrů v návaznosti na systémy odvodnění, pokud je předmětem zájmu zlepšení jakosti vody; tj. zejména řešení zátěže drenážních vod dusičnany a pesticidy. Principiálně je vhodné předradit před samotný mokřad či biofiltr jeden či několik prvků pro zpomalení vyšších drenážních či povrchových odtoků (tůní, suchých nádrží, aj.), právě během kterých je řada těchto látek vyplavována ve zvýšených koncentracích či množstvích.

Přestože je v současné době v ČR v rámci různých dotačních programů (Operační Program Životního Prostředí, Program Rozvoje Venkova, podpora revitalizačních projektů v rámci Krajů, pozemkové úpravy, opatření v rámci plánů povodí, aj.) navrhována a realizována řada zdařilých opatření typu mokřadů či tůní, často v návaznosti na zemědělskou drenáž, není k dispozici podklad, který by umožňoval komplexní návrh uvedeného opatření při zohlednění výše zmíněných aspektů, se zaměřením na zlepšení jakosti vody.

Požadavek zlepšování jakosti vod bude akcentován zejména ve vodárenských povodích, ale také v oblastech s intenzivním zemědělským odvodněním či v enklávách s požadavky na řešení jakosti vod z důvodu ochrany na vodu vázané bioty.

Předkladatelé metodiky se vedle vlastního výzkumu a předchozích aktivit inspirovali postupy a výsledky ze zahraničí (Dánsko, Švédsko, Německo, Nový

Zéland, USA, aj.), ve kterých je konstatováno, že umělé mokřady navrhované speciálně pro retenci a čištění drenážních vod mají až řádově vyšší účinnost pro odbourávání polutantů než ty, realizované primárně za účelem zvýšení biodiverzity; ačkoli optimální je obě funkcionality propojovat (Arheimer et al. 2017; Cartersen et al. 2019, Duffková a kol. 2017; Hoffmann et al. 2020; Land et al. 2016; Tanner et al. 2010; Steidl et al. 2019).

2. Umělé mokřady ve vazbě na zemědělskou drenáž - stručný přehled

Uměle vybudované mokřady (Constructed wetlands, CW) se v mnoha zemích staly jedním z opatření pro redukci dusíku, fosforu a pesticidů pocházejících z plošných zemědělských zdrojů v podpovrchovém (drenážním) odtoku. Umělé mokřady díky svým účinkům odbourávají polutanty (dusík, fosfor, pesticidy) v zemědělské krajině spadají do tzv. *Best management practices* (BMPs; osvědčené postupy řízení) (Karpuzcu et al., 2013; Lizotte et al. 2012).

Umělé mokřady jsou používány pro čištění drenážních vod ze zemědělství již od konce 80. let 20. století (Mitsch, 1992). Nejčastější typ umělého mokřadu, který se používá, je mokřad s volnou vodní hladinou (*free surface water, FSW CW*). Jedná se o mělké nádrže s hloubkou vody 10-50 cm, které jsou osázeny mokřadní vegetací. Nejčastěji používané druhy jsou rákos obecný (*Phragmites australis*) a orobinec širokolistý (*Typha latifolia*). Tento typ mokřadů se využívá v Evropě, Severní Americe, Austrálii i Asii (Vymazal, 2017). Další dva typy uměle budovaných mokřadů ve vazbě na odvodnění jsou mokřady s horizontálním podpovrchovým tokem (*horizontal subsurface flow; HF CW*) a mokřady s podpovrchovým vertikálním tokem (*vertical subsurface flow; VF CW*).

Účinnost pro dekompozici dusičnanů a pesticidů

Odbourávání dusičnanů probíhá v umělých mokřadech denitrifikací, což je anoxický/anaerobní proces, pro jehož intenzifikaci jsou CWs konstruovány. Podpora denitrifikace spočívá ve vytvoření anoxického prostředí a v dodání externích organických látek, které jsou pro denitrifikaci nutné a drenážní vody je většinou neobsahují. V umělých mokřadech pro čištění drenážních vod se nejčastěji používá dřevní štěpka či další organické materiály, v kombinaci s inertními substráty; podrobněji viz samostatná kapitola. Dalším zdrojem organického uhlíku nutného pro denitrifikaci je biomasa rostlin, které se u těchto mokřadů zpravidla nesklízejí a při jejichž dekompozici se do vody uvolňují organické látky.

Účinnost odstraňování dusičnanů v umělých mokřadech je velmi variabilní (20-80%) v závislosti na vstupních koncentracích a zatížení a typu mokřadu. Vzhledem k tomu, že průtok má zásadní vliv na odstraněné množství dusičnanů, je vhodnější používat pro hodnocení účinnosti odstraněné zatížení. I v tomto případě odstraněné množství dusíku kolísá, ale typické množství odstraněného dusíku se v provozních podmínkách intenzivních mokřadů s podpovrchovým tokem pohybuje mezi 0,27–0,55 g N.m⁻².d⁻¹ (1 000 – 2 000 kg ha⁻¹ rok⁻¹); vztaženo k ploše umělého mokřadu. U mokřadů s volnou hladinou či v tůních je intenzita odstranění N průměrně o 30-50% nižší. (Bruun et al., 2016; Land et al., 2016; Vymazal, 2017, Vymazal a Dvořáková Březinová 2018; Vymazal et al. 2020).

Odbourávání pesticidních látek pomocí biotechnických opatření z vod z drenážních systémů je v zahraničí věnována značná pozornost. Nejčastěji se používají mokřady s volnou hladinou vertikální i horizontální, méně časté jsou mokřady podpovrchové. Redukce pesticidů v mokřadu probíhá prostřednictvím vícero různých procesů, jako jsou hydrolýza, fotolýza, sedimentace, adsorpce, mikrobiální degradace, příjem rostlinami, nicméně rozsah, resp. přítomnost a intenzita těchto procesů závisí na lokálních podmínkách daného mokřadu (vegetace, substrát, doba zdržení) a charakteru dané látky. Pro odbourávání pesticidů jsou vhodnější mělké mokřady (max. 0,8 m), kde se lépe uplatňuje biologická degradace rostlinami (Tournebize et al., 2013; Tournebize et al., 2017). Maximální hloubka mokřadu 0,8 m vychází z potřeb vegetace, která přispívá k čištění vody přímým i nepřímým způsobem. V hlubších mokřadech nelze jednoznačně prokázat odbourávání pesticidů, protože koncentrace pesticidů jsou zde ředěny. Vegetace svým působením zvyšuje provzdušňování sedimentů a nerovnosti dna v mokřadu, což zvyšuje dobu zdržení vody v mokřadu. Rozkládající se vegetace je zdrojem uhlíku pro mikrobiální činnost.

Přítomnost mokřadní vegetace posiluje dekompozici pesticidů a zvyšuje šanci na jeho odbourání. Účinnost odbourání pesticidů v intenzivních uměle budovaných mokřadech se pohybuje od negativních čísel (nežádoucí remobilizace, uvolnění biofilmů) až po 95 % účinnost. Jako úspěšné řešení znečištění lze považovat snížení koncentrace pesticidů v mokřadech o 50 %. Do procesů, které snižují znečištění pesticidy, lze zahrnout biologickou degradaci, hydrolýzu, fotolýzu, fytoakumulaci, adsorpci a desorpci a sedimentaci partikulárně vázaných chemikálií. Vymazal a Březinová (2015) referují o 87 pesticidních látkách a jejich procesech a průběhu odbourávání v umělých mokřadech zásobovaných vodou ze zemědělsky využívané půdy. Intenzita odbourávání je velmi proměnlivá; nejvyšší účinnost umělých mokřadů je zjišťována pro pesticidy skupin organochlorové, strobiluriny, organofosfátové a pyrethroidy; nižší potom pro pesticidy skupin triazinů, kyseliny aryloxyalkanoické a kyseliny močové. Odbourání pesticidů obecně pozitivně souvisí s hodnotou Koc (půdní adsorpční koeficient, který informuje o schopnosti dané látky vázat se k organické složce půdních částí), poločasem rozpadu látky ve vodní fázi (DT50) a dobou zdržení vody v mokřadu, která je daná objemem mokřadu a variabilitou přítoku vody (Destandau et al. 2013, Gassmann et al., 2015, Gaullier et al. 2020; Locke et al., 2011, Romain et al., 2015, Stehle et al., 2011; Tournebize et al. 2013; Vymazal et al. 2015). Degradace pesticidů v umělých mokřadech či biofiltrech je závislá i na požadavcích bakteriálních rozkladačů na kyslík, resp. na oxido-redukčních podmínkách mokřadu. Například v anaerobních podmínkách mokřadů byl poločas rozpadu organofosfátového insekticidu chlorpyrifosu 92 dní, naopak v podmínkách, kde se střídaly cykly vysychání a zamokření (vegetační odvodňovací příkopy či mokřady s nesaturovaným režimem) byl rozklad insekticidu rychlejší (1-35 dnů, Karpuzcu et al., 2013; Lyu et al. 2018). Obdobně Maillard et al. (2016) zjistili, že v mokřadu se střídavými oxido-redukčními podmínkami (tj. mokřad vypouštěný po 14 dnech stálé hladiny vody a po týdnu opět napouštěný) byl S-metolachlor metabolizován intenzivněji za vzniku metolachloru OA (oxanilic acid) než v průtočném vodou stejnoměrně saturovaném mokřadu, kde vznikal metabolit metolachlor ESA (ethanesulfonic acid).

Mokřad musí mít dostatečnou plochu a musí zaručovat dostatečnou dobu zdržení vody, a to i v době zvýšených průtoků. Crumpton et al. (1995) uvádějí, že pro dostatečné vyčištění drenážních vod ze 100 ha kukuřice je zapotřebí plocha mokřadu (s volnou hladinou) přibližně 1 ha. Dinnes et al. (2002) ovšem dodávají, že při intenzivních odtokových událostech je čistící účinnost takového mokřadu podstatně snížena. Rozbor účinnosti mokřadů pomocí simulačního modelu provedli např. Chescheir et al. (1992). **V současnosti jsou v zemích s intenzivním výzkumem těchto opatření (Dánsko, USA, Nový Zéland, aj.) doporučovány právě specializované (intenzivní), kombinované mokřady (s podpovrchovým, nejčastěji horizontálním tokem) s plochou 0,2-0,25 % z plochy přispívajícího subpovodí (Hoffman et al. 2020).**

Dlouhé a úzké mokřady jsou hodnoceny jako účinnější než krátké a široké. Je vhodné umísťovat mokřady, pokud se zde už nevytvořily přirozeně, do plochých (nesvažitých) údolních poloh přiléhajících z vnější strany (ze strany přítoku svahových a drenážních vod) k vegetačním ochranným pásům, které zvyšují čistící účinnost mokřadů (Locke et al., 2011). Tomer et al. (2003) a Curie et al. (2004) informují o optimalizaci umístění umělých mokřadů u pobřežních vegetačních pásů na základě rozboru digitálního modelu terénu (vyhodnocením topografického indexu a indexu vlhkosti) a půdních podmínek. Drenáž (popř. odvodňovací příkopy, HOZ), by měly ústít do těchto mokřadů a jejich další vedení směrem k toku by mělo být přerušeno. Mokřady ovšem mohou být budovány i přímo na odvodňovacích kanálech a malých tocích.

Chen et al. (2017) imitovali mokřadní prostředí v plastových nádobách osázených vegetací (*Zblichan vodní*, *Glyceria maxima*) s povrchovým tokem (s volnou hladinou vody, s půdou), podpovrchovým tokem (bez zjevné hladiny vody, se štěrkem) a s plovoucími kořeny v hydroponii (s rohožemi), aby otestovali účinky na odbourávání čtyř chloroacetanilidových herbicidů (Acetochlor, S-Metolachlor, Metazachlor, Dimethachlor). Více jak 92 % všech herbicidů bylo biodegradováno za 9 dní ve všech nádobách s vegetací. Vznik metabolitů (ethansulfonová kyselina, ESA a kyselina oxanilová, OA) probíhal nejintenzivněji u mokřadů s volnou hladinou (s půdou). Všechny detekovatelné metabolity vznikly odbouráním cca 20 % mateřských látek. Akumulace v půdě a rostlinách byla zanedbatelná (< 0,6 %).

Časté jsou výzkumy kombinací tůň a mokřadů různých typů. Pugliese et al. (2020) kombinují SFW, štěpkový bioreaktor a dočišťovací tůň a dosahují mezi účinnost 8-51% pro odstranění N z drenážních vod a **podporují tak novější koncept intenzivních CW s poměrem plochy mokřadu k ploše povodí mezi 0,2 – 0,25%.**

Substráty

Nejčastěji používaným substrátem do tohoto typů umělých mokřadů je dřevní štěpka (Blowes et al., 1994; Christianson et al. 2016; Jaynes et al., 2008; Greenan et al., 2009, Šereš et al., 2019). Jak již bylo zmíněno, lze využít i další organické materiály jako např. kůru, piliny, kukuřičné klasy, slámu či karton. Důležitým parametrem udržitelnosti takového systému je co možná nejdéle zachovat vhodné hydraulické vlastnosti filtračního média. Ty se ovšem vlivem rozkladu organické matrice v čase zhoršují a proto se začalo přistupovat k využití různých směsí s materiály anorganickými, aby bylo dosaženo lepších hydraulických vlastností a dlouhodobější stability materiálu (Šereš et al., 2019).

Greenan et al. (2009) ve své studii testoval účinnost štěpkového biofiltru při různých zátěžích. Při zátěži 6,6, resp. 13,6 g.m³.d⁻¹ dosahoval odstranění dusičnanových iontů 4,2, resp. 4 g.m³.d⁻¹. Cameron & Schipper (2010) testovali 10 různých organických materiálů po dobu 23 měsíců při zatížení 46 a 52 g.m³.d⁻¹ NO₃⁻. Nejlepších výsledků dosahovali při použití kukuřičných klasů a provozní teplotě 23,5 °C (43 g.m³.d⁻¹). Při použití štěpky z borovice byla dosažena nejlepší účinnost 11 g.m³.d⁻¹ a při použití štěpky z eukalyptu bylo dosaženo maximální účinnosti 7,8 g.m³.d⁻¹. Leverenz et al. (2010) pak porovnávali štěrkový a štěpkový biofiltr s HRT 1–2,2 d⁻¹ a vstupní koncentrací NO₃⁻ 53–82 mg.l⁻¹. Dle předpokladů byla u čistě štěrkového filtru úroveň denitrifikace pouze 0,74 g.m³.d⁻¹, přičemž u štěpkových filtrů dosahovala úrovně až 5,9 g.m³.d⁻¹. Schrimpelová a Malá (2017) testovali štěpky šesti různých druhů dřevin, potenciálně využitelných jako náplň denitrifikačních bioreaktorů. Nejlepší výsledky byly dosaženy se směsí kůry z borovice a modřínu a topolovou štěpkou, při nejnižších hodnotách výluhu TOC (kolem 300 mg.l⁻¹).

Šereš a kol. (2018) testovali polopropozní vertikální biofiltr o objemu 1,5 m³, s HRT 0,2 – 9 dní, naplněný směsí štěrku (směs praného kačírku frakce 4–8 mm) a stařené březové štěpky (ve frakci 4–30 mm) v poměru 10 : 1. *(Staření - štěpka byla ponechána cca 6 měsíců na hromadě a vystavena běžným povětrnostním podmínkám; takto došlo k nastartování procesu fermentace a dočasnému zvýšení teploty)*. Bylo zjištěno, že tato směs měla srovnatelnou či dokonce vyšší účinnost odstranění NO₃⁻ ve srovnání s výše uvedenými výsledky. Použitím směsného materiálu se autorům Šereš a kol. také podařilo eliminovat vyluhování organických látek do vody (TOC, fenoly), což bylo dříve popisováno jako zásadní problém u filtračních materiálů na bázi štěpky, slámy, aj.

Značný potenciál pro aplikaci do náplně biofiltru představuje biouhel (biochar) – produkt pyrolýzního zpracování zemědělské biomasy. I když je studována především jeho přímá aplikace na zemědělské pozemky pro zlepšení sorpčních vlastností půdy, existují i studie o jeho využití pro biofiltry či kořenové čistírny. Šupíková a kol. 2019 použili biochar zhotovený pyrolýzou směsi odpadní biomasy ze zemědělské sklizně jedno- a dvouletých rostlin a z digestátu z bioplynové stanice, smíchané v poměru 60:40 % v polním bioreaktoru o 4 m² k čištění podzemních vod na Vysočině. Pro dobu zdržení 3 - 25 hodin v reaktoru byla zjištěna účinnost 91 – 98% odstranění pro alachlor ESA, metolachlor ESA, metazachlor ESA a 2,6-dichlorbenzamid (BAM). Z dalších substrátů mají z hlediska odstraňování organických polutantů z vod slibné výsledky bílá rašelina a vermikulit (Antoš a kol. 2021).

V posledních letech jsou experimentálně ověřovány možnosti kombinací biocharu a dalších materiálů (zejména štěpky). Z hlediska zvýšení účinnosti denitrifikace (odstranění NO₃⁻) jsou dokládány jak pozitivní výsledky přidání biocharu (10-30% obj.) do štěpky, zejména během nízkých teplot a vyšších průtoků (Berger et al. 2019; Bock et al. 2018; Povilaitis et al. 2020), tak některé aspekty negativní (vyplavování C, P, snížení pH, neprůkazné zlepšení odstranění N či dokonce ekotoxicita), jak uvádějí např. Coleman et al. (2019) či Hassanpour et al. (2020). Další problém je aspekt zajištění reprodukovatelnosti biocharu v různých šaržích, z hlediska fyzikálních i chemických vlastností tohoto materiálu.

3. Principy a podklady pro navrhování a dimenzování

V kapitolách níže jsou popsány podklady a jejich analýza za účelem kvalifikovaného návrhu umělého mokřadu / biofiltru ve vazbě na zemědělskou drenáž. Konkrétní příklad návrhu je uveden v kapitole 3.7 *Realizovaný experimentální mokřad*.

3.1 Zpřesnění informací ke stavbě odvodnění

Identifikace skutečného provedení odvodnění

Znalost reálné polohy a plošného rozsahu drenážního systému v terénu je nezbytným podkladem nejen pro evidenci systémů odvodnění, významem srovnatelnou s ostatními inženýrskými sítěmi a stavbami, které jsou v krajině respektovány a zohledňovány, ale i pro nekonfliktní a efektivní návrhy a realizace opatření na těchto stavbách.

Bylo by chybou spojovat výskyt hydromeliiorací v předmětném území pouze s evidencí plošného zemědělského odvodnění, resp. podrobného a hlavního odvodňovacího zařízení (POZ, HOZ) z [digitalizovaných podkladů](#) bývalé Zemědělské Vodohospodářské Správy (ZVHS). Tento zdroj informací sice je – v porovnání se státy s vybudovaným zemědělským odvodněním - unikátní, nicméně se jedná o neúplnou, neaktualizovanou a neverifikovanou evidenci, s mírou shody s realitou mezi 65-85% a je třeba v ní uvedené zákresy považovat za orientační, neboť poloha i plošný rozsah nemusí odpovídat reálnému umístění POZ na pozemcích.

Vizualizaci těchto podkladů lze nalézt v Informačním systému melioračních staveb ([ISMS](#)) provozovaným VÚMOP, v.v.i.

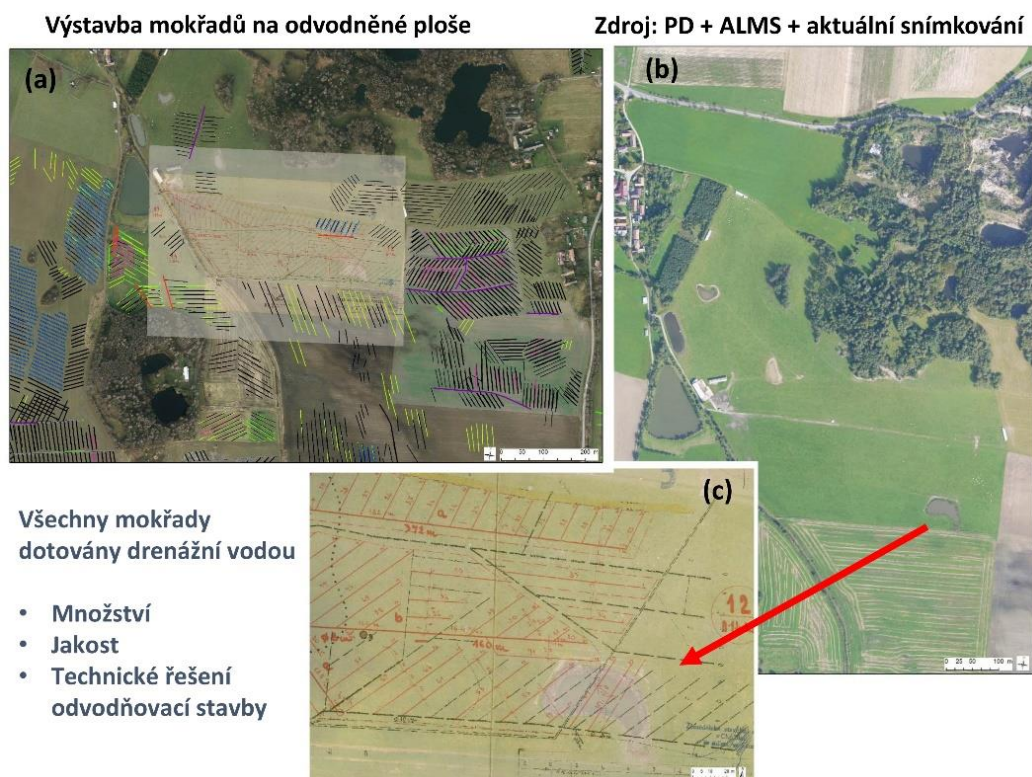
Původní projektová dokumentace často nevystihuje trasy uložení jednotlivých drénů pro jejich vytyčení (a jen v malé dochované části projektů je k dispozici zakres skutečného provedení stavby, zachycující změny realizované v průběhu výstavby).

Minimálním požadavkem pro zpřesnění tohoto podkladu je proto [zajištění dalších dostupných zdrojů informací](#):

- původní projektovou dokumentaci (archivy podniků příslušného státního podniku Povodí, zemské a okresní archivy, [Státní pozemkový úřad](#), aj.). **Projektová dokumentace a technická zpráva ke stavbě odvodnění jsou zásadní podklady pro jakýkoli zásah do odvodnění a jejich zajištění by mělo být věnováno maximální úsilí,**

- materiály získané metodami dálkového průzkumu Země, tj. viditelné projevy drenáže (archivní, aktuální, případně cíleně pořízené snímky). Vynikajícím podkladem je aplikace [Odpovím](#), obsahující archiv leteckých snímků se zachycenými melioracemi; či případně lze navštívit přímo [archiv ČUZK](#); často jsou použitelné i nedávné snímky na portále [mapy.cz](#),
- prověřit návaznost POZ na HOZ či drobný vodní tok a jeho správce z [databáze CEVT](#),
- ověření pozemním průzkumem (pro zjištění přítomnosti zjistitelných konstrukčních prvků stavby jako jsou šachtice, výusti, a přímým odkopem pro ověření faktické hloubky uložení, materiálu i stavu odvodňovací stavby).

Ideálně je tato analýza prováděna v GIS (ArcGIS či QGIS). Podrobně se tomuto tématu věnují metodiky [Tlapáková a kol. \(2016\)](#), [Šafář a Tlapáková \(2018\)](#) a [Marval a kol. \(2020\)](#).



Obr. 1. Pro jakýkoli návrh opatření s vazbou na stavbu odvodnění je třeba identifikovat polohu a topologii drenáže a umět ji najít v terénu. Schéma: L. Tlapáková

Případné technické zásahy ve smyslu eliminace stavby odvodnění či instalace prvků regulace drenážního odtoku je možné řešit v rámci vodoprávního řízení (viz níže).

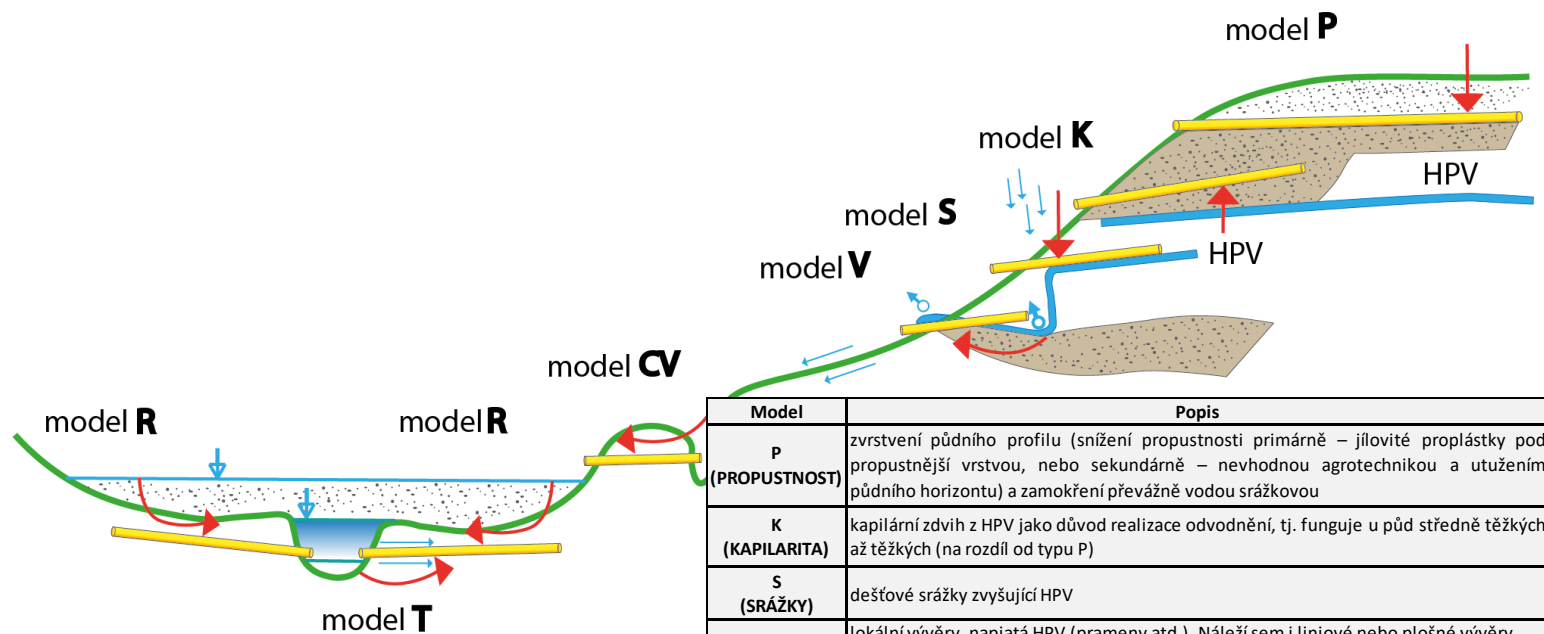


Obr. 2. Příklad realizace mokřadu na stavbě odvodnění. Svodný drén v místě mokřadu byl řízeně přerušen; vtok vody z mokřadu zpět do drénu umožněn bezpečnostním přelivem (bílá vtoková roura); Foto: P. Fučík

Identifikace příčin zamokření

Pro optimální návrh a dimenzování jakéhokoliv opatření na drenáži, tj. i umělý mokřad, je zásadní, jaký je původní zdroj vody a původ zamokření, neboť ten bude ve většině případů i nadále zdrojem drenážní vody. Drenážní systém principiálně odvádí půdní a mělkou podzemní vodu, přičemž tzv. příčin zamokření pozemku (jednotlivých či kombinovaných, zjišťovaných před realizací stavby podrobnou analýzou lokality), může být několik (viz obr 3). Na základě příčin zamokření, původu vody, půdních a geomorfologických charakteristik lokality a ve vazbě na požadované využití pozemku byly drenážní systémy navrhovány. Z tzv. příčiny zamokření lze tedy odhadovat objemy (vydatnost, pravidelnost zdroje) a jakost vod, pro stanovení četnosti výskytu vodných nebo naopak suchých period a tedy pro určení zabezpečení vody resp. spolehlivosti dosažení očekávaných efektů opatření (zde mokřadu). Proto je důležitá znalost přírodních podmínek, jak je uváděno na několika místech metodiky.

Příčinám zamokření lze s přijatelnou mírou zjednodušení/zobecnění přiřadit také charakteristiky potenciálního znečištění zdrojů drenážních vod, jak uvádí následující tabulka.



Obr. 3. Zjednodušená vizualizace hlavních modelů původních příčin zamokření u staveb zemědělského odvodnění; dle ČSN 75 4200; modifikováno s ohledem na účel použití. Schéma: VÚMOP, v.v.i.

Model	Popis
P (PROPUSTNOST)	zvrstvení půdního profilu (snížení propustnosti primárně – jílovité proplásky pod propustnější vrstvou, nebo sekundárně – nevhodnou agrotechnikou a utužením půdního horizontu) a zamokření převážně vodou srážkovou
K (KAPILARITA)	kapilární zdvih z HPV jako důvod realizace odvodnění, tj. funguje u půd středně těžkých až těžkých (na rozdíl od typu P)
S (SRÁŽKY)	dešťové srážky zvyšující HPV
V (VÝVĚR)	lokální vývěry, napjatá HPV (prameny atd.). Náleží sem i liniové nebo plošné vývěry vod, související s vymezením funkčních oblastí svahu (zónu infiltrace, tranzitu a akumulace/odvodnění)
CV (CIZÍ VODY)	tzv. cizí vody; povrchový přítok nebo mělký podpovrchový (měl být podchycen záchytnými drény nebo sporadickým odvodněním)
R (ROZLIVY)	rozlivy (v říční nivě)
T (TOK)	vysoká voda v tocích a nádržích (břehová infiltrace)
N (NEVHODNÉ ODVODNĚNÍ)	nevhodně provedené drenážní odvodnění (na nevhodných místech, nejčastěji s vysokou propustností půd) nebo nefunkční s řadou poruch (zejména se projevující kavernami, vtokem povrchových vod do drenáže) – zde zařazeno nad rámec tabulky ČSN s možností přiřazovat plochám, které neměly být odvodněny nebo již tak nepůsobí

Tab. 1. Charakteristiky jakosti drenážních vod ve vazbě na příčiny zamokření

Model	Převažující charakteristiky znečištění drenážních vod
P	voda při postupu půdním profilem narazí na nepropustnou vrstvu a je odvedena do drenáže, dlouhodobě stagnuje, nejčastěji přitéká povrchově (jako typ S), hrají zde roli také antropogenní vlivy, mohou se vyskytovat u půd náchylných ke zhutňování bez aplikace potřebné agrotechniky (podrývání, hloubkové kypření); <i>jakost vody primárně závisí na hospodaření na tomto pozemku (není tolik ovlivněno vodním režimem okolních ploch jako u ostatních modelů)</i>
K	původním zdrojem zamokření byla kapilárně vztlínající podzemní voda. Je třeba rozlišovat zdroj této podzemní vody (může být všech typů, nejčastěji T, CV nebo V tam, kde se nad propustným horizontem/kolektorem nachází méně propustná, kapilárně aktivní vrstva). Odvodnění pak snižuje HPV; jedná se o jiný případ než P, kdy se nad nepropustnou vrstvou nachází propustnější horizont; <i>jakost vody - převážující znečištění dusičnany, lepší jakost u fosforu – pokud se výrazněji neuplatňují makropóry a preferenční cesty při zasakování srážek – ad typ S)</i>
S	srážková voda filtruje povrchem a půdním profilem, rozpouští a odnáší živiny (zejména dusík), jen v malé míře transportuje půdou do drénů i erodovaný materiál (fosfor); na rozdíl od typu P nehraje roli zvrstvení a nepropustnost půdního profilu, transport k HPV je zde intenzivnější; <i>jakost vody závisí na charakteru a intenzitě zemědělství na předmětném pozemku a na plochách výše ležících (transport z míst tvorby odtoku do míst infiltrace)</i>
V	lokální, liniové nebo plošné vývěry podzemních vod (v oblasti tranzitu nebo akumulace/odvodnění) až na povrch, avšak podchycené drenáží resp. pramennými jámkami, obecně se jedná o vodu geologických zvodní nebo vodu středně mělce filtrující zvodněmi; <i>z hlediska jakosti zpravidla nejčistší voda (připustíme-li ponechání podchyceného vývěru v systému, příspěvek těchto vod k vodám povrchovým v recipientu je ryze pozitivní); výjimky mohou souviset s transportem znečištění ze zón infiltrace (v podmínkách krystalinika), což je vhodné doložit průzkumem</i>
CV	intenzivní přítok cizích vod (povrchových i mělkých podpovrchových), může se měnit v různém období vodnosti i hospodářských aktivit; <i>jakost vody bude záviset zejména na land use a hospodaření v geomorfologicky výše ležících zdrojových plochách</i>
R	častější rozlivy v široké říční nivě, málo chráněné kapacitním tokem (daleko mimo intravilán) fungující v době povodní jako zdroj znečištění (nejen živin), může docházet i ke zpětným vtokům přímo z recipientu do drénu včetně vnesení sedimentů; <i>jakost vod převážně zhoršená, (dusík, i fosfor, uhlík), riziko následného odvádění nečistot jak povrchovým tak drenážním odvodněním</i>
T	jakost drenážní vody odpovídá jakosti vody v toku/nádrži, mírně se filtrací zlepšuje; <i>jakost vod převážně dobrá (negativně se neprojeví zemědělské znečištění v ploše, snad pouze tehdy, pokud vegetační buffer zachycuje splachy)</i>
N	jedná se o situace, kdy je drenáž na velmi propustných půdách, trvale neteče a je aktivní jen v déletrvajících vodních obdobích, srážková voda běžně infiltruje mezi drény do spodních horizontů, odtéká, až když se zvýší jinak výrazně zaklesnutá HPV; velmi podobný efekt může nastávat u lokálních závad při špatné údržbě systému – drenážní odtok do recipientu nastane až ve velmi vodném období; <i>jakost vod spíše dobrá (samočisticí efekt půdy), odpovídá srážkovým vodám (typ S), resp. v závislosti na provozu na pozemku</i>

3.2 Hydrologické podklady

Pro dimenzování mokřadů ve vazbě na zemědělské odvodnění je zapotřebí stanovit objemy vod, které chceme mokřadem čistit, vč. kritických průtoků, které mohou případně mokřad ohrozit. Proto je potřeba zpracovat následující podklady o odtokových charakteristikách území:

- a) Určení tzv. mikropovodí drenážního systému. Provede se vymezením hydrologicky souvisejícího území v GIS nad upřesněným rozsahem drenáže (bod 3.1.) k místu předpokládané polohy navrhovaného mokřadu / biofiltru.
- b) Stanovení velikosti povrchového odtoku a potenciální eroze půdy

Hodnoty povrchového (resp. přímého) odtoku je potřeba kvantifikovat, neboť pokud se drenáž nenachází v absolutní rovině, vždy je nějaká pravděpodobnost výskytu povrchového odtoku a přísunu sedimentu erozí z hydrologicky výše situovaného území a často je umístování mokřadů ve vazbě na drenáž do přizobené údolnice či dráhy soustředěného odtoku jednou z variant. Velikost přímého odtoku pro dané mikropovodí lze zpracovat např. metodou CN křivek a metodou (jednotkového) kulminačního průtoku (Janeček a kol. 2012), která umožňuje jednoduchými empirickými vztahy odvodit hodnoty přímého odtoku z N-letých srážek ([Kovář a kol. 2015](#)) v nemonitorované lokalitě, na základě informací o způsobu využití území (plodiny + management půdy), půdních podmínkách (hydrologická skupina půdy), předchozích vláhových podmínek povodí a technických opatření v povodí. Potenciální erozní ohroženost lze vypočítat na konkrétní lokalitu a osevní postup (např. pomocí USLE, Janeček a kol., 2012), či použít celorepublikové podklady VÚMOP, v.v.i. (<https://mapy.vumop.cz/>). Retenční prvek před mokřadem navrhujeme – pokud to umožňují přírodní a technické podmínky lokality, majetko-právní vztahy, atd. - na přímé odtoky s periodicitou výskytu $N_5 - N_{20}$ (tj. $Q_5 - Q_{20}$), vyšší odtoky je vhodné bezpečně odclonit (převést mimo plochu mokřadu).

- c) Stanovení velikosti drenážního odtoku

Drenážní systémy v ČR byly navrhovány na specifické odtoky $0,3 - 1 \text{ l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$ (Kulhavý, F. a Kulhavý, Z., 2008; ČSN 75 4200). Na základě dlouhodobých (15-30 let) měření na experimentálních plochách VÚMOP bylo zjištěno, že do roku 2016 byl průměrný celoroční specifický odtok vody (q) z deseti kontinuálně (10 min záznam) sledovaných drenáží na odvodněné půdě $0,1-0,3 \text{ l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$ (tj. $8,6-26 \text{ m}^3.\text{den}^{-1}.\text{ha}^{-1}$)

(s výraznou epizodností jako reakci na srážku; mezi 0,5 – 3 l/s/ha; po dobu 0,5 – 48 hodin) (Fučík et al. 2017; Zajíček a kol. 2019; Švihla a kol. 1992). Za suché roky 2018–2020 byly naměřené hodnoty specifického odtoku 0,03-0,1 l.s⁻¹.ha⁻¹ (tj. 2,6-8,6 m³.den⁻¹.ha⁻¹) s tím, že průběh drenážního odtoku byl ještě více nepravidelný v závislosti na srážko-odtokových událostech.

Hydrologie drenážních systémů je poměrně složitá samostatná disciplína; **pro potřeby návrhů mokřadu na systémech odvodnění je nutná alespoň zjednodušená kvantifikace:**

1. stanovení hodnoty tzv. ustáleného proudění („průměrného drenážního průtoku“), např. podle Hooghoudtovy rovnice [1]:

$$q = \frac{8 \cdot K \cdot d \cdot h + 4 \cdot K \cdot h^2}{L^2} \quad [1]$$

kde q je drenážní odtok (mm.den⁻¹), K je hydraulická vodivost (m.den⁻¹), L (m) je rozchod drénů, parametr d (m) představuje mocnost ekvivalentní nepropustné vrstvy a h (m) je výška vody nad drény uprostřed sousedních trubkových drénů. Hodnoty výše uvedených parametrů lze odvodit z BPEJ, popř. jsou změřené či lze zjistit z návrhové projektové dokumentace stavby odvodnění.

Pro výpočet drenážních odtoků je rovněž možné využít automatizovaný postup pomocí [Drenážního kalkulátoru](#) (Štibinger a Kulhavý, 2010).

2. odhad epizodních drenážních odtoků. Může být značně různorodý ve vazbě na podmínky lokality a srážkové charakteristiky. Lze provést z čar překročení v závislosti na typu a charakteru oblasti (Švihla a kol. 1992); může se pohybovat cca v řádech 3 – 10-ti násobku $q_{\text{prům}}$. Případně lze odvodit ze specifických drenážních odtoků dle ČSN 754200 – přílohová část.
3. Navržené hodnoty ověřit několika přímými měřeními drenážního průtoku (na drenážní výústi, v šachtici), např. nádobovou metodou, opakovaně v několika ročních obdobích resp. odtokových situacích. Před realizací mokřadu je vhodné rovněž odebrat několik vzorků drenážních vod pro analýzu jakosti vody.

d) vazba na velikost hydrologického povodí

Řada studií a metodik doporučuje velikost mokřadu vztahovat k přispívající ploše povodí. Toto *Wetland-Catchment Ratio* (WCR) se pohybuje mezi 1–5% (Tanner et al. 2010, Tournebize et al. 2017) a obvykle platí pro mokřady s volnou hladinou s argumentem dodržení tohoto poměru pro dosažení požadované doby zdržení vody v mokřadu a zajištění jeho účinnosti. To jistě platí pro případy, kdy je k takovému dimenzování prostor a možnosti. V posledních letech jsou testovány a navrhovány intenzivní mokřady či jejich soustavy, kde intenzivní mokřad pro odstraňování znečištění z drenážních vod je zpravidla horizontální, vertikální či kombinovaný podpovrchový. Tyto intenzivní podpovrchové CWs jsou doporučovány z hlediska plochy kolem 0.2–0.25% plochy subpovodí (Hoffman et al. 2020).

3.3 Substráty

Z hlediska náplní umělých mokřadů či biofiltrů, určených k čištění drenážních vod, jsou studovány a testovány různé filtrační materiály (substráty); a to buď jednotlivě samostatně či v jejich kombinacích v různém poměru. Využívají se buď přírodní inertní materiály (písky, šterky), různé formy biomasy ze zemědělské a lesnické produkce (sláma, rašelina, dřevní štěpka), i sekundární produkty z uhelného průmyslu jako struska, zeolity, apod. Zvláštní pozornost je věnována biouhlu (biocharu), jako produktu pyrolýzy. Organické materiály slouží jako zdroje uhlíku pro růst bakterií, které v rámci jeho metabolizování eliminují dusičnany, ale i různé pesticidy. Dále se u filtrační náplně může projevit jako významný efekt sorpce.

Nejčastěji používaným substrátem do tohoto typu umělých mokřadů je dřevní štěpka a sláma. Dále lze využít i další organické materiály jako např. kůru, piliny, kukuřičné klasy či karton (Kataki et al. 2021; Schrimpelová a Malá, 2017). Důležitým parametrem udržitelnosti takového systému je co možná nejdéle zachovat vhodné hydraulické vlastnosti filtračního média. Ty se ovšem vlivem rozkladu organické matrice v čase zhoršují a proto se začalo přistupovat k využití různých směsí s materiály anorganickými, aby bylo dosaženo lepších hydraulických vlastností a dlouhodobější stability materiálu (Šereš et al., 2019).

Výměna substrátu umělého mokřadu / biofiltru

Vzhledem k postupné degradaci organické náplně, resp. možnému naplnění sorpční kapacity je nezbytné zvážit pravidelnou výměnu filtrační náplně. Samotný postup výměny substrátu vychází z uspořádání umělého mokřadu, kdy je možné odlišit v zásadě tři typy uložení substrátu a postupu výměny:

1. Na povrchu filtru – většina objemu umělého mokřadu je tvořena standardně využívaným filtračním médiem (štěrk, písek). Na povrchu tohoto média je uložena vrstva funkčního substrátu. Po vyčerpání kapacity média je substrát odtěžen např. s pomocí pásového bagru či sacího bagru.
2. Vnitřní směs organického a inertního substrátu – celý objem umělého mokřadu je vyplněn definovanou směsí organického a inertního substrátu. Při výměně je nutné odtěžit celý objem filtru či provést výměnu části objemu náplně.
3. Vnitřní náplň pouze organickým substrátem – celý objem umělého mokřadu je vyplněn organickým substrátem. Jeho vyčerpání se zpravidla projeví snížením průtočnosti skrze mokřad vlivem zhroucení vnitřní struktury materiálu a markantního snížení pórovitosti. Při výměně je nutné odtěžit a vyměnit celý objem náplně.

Odtěžený organický substrát nelze opětovně využít pro stejné účely. Je tedy nutné provést jeho odstranění. S ohledem na potenciální riziko mikrobiální kontaminace či zbytkových koncentrací organických polutantů je vhodné materiál kompostovat. Tento proces může být účinný pouze za předpokladu přidání dalšího organického odpadu, který bude obsahovat čerstvou organickou hmotu vhodnou pro kompostování, jelikož snadno dostupná organická hmota byla z materiálu již vyčerpána.

U nově zbudovaných umělých mokřadů obsahujících štěpku je, v případě zvýšeného obsahu dusičnanů v drenážních vodách, třeba částečná výměna náplně jednou za 5 - 8 let. **V případě dostatečného nárůstu biomasy mokřadních rostlin je výměna štěpky zbytná;** její fungování postupně nahradí biomasa, která se

nesklízí. Samotné vyhodnocení nutnosti výměny substrátu můžeme provést s využitím následujících kritérií:

1. Pravidelně měříme koncentraci TOC na odtoku – vhodná výměna při poklesu na 30% koncentrace TOC na odtoku oproti průměrné hodnotě z prvních dvou let provozu.
2. Pravidelně vyhodnocujeme účinnost denitrifikace – nutná výměna při poklesu letní účinnosti (měsíce květen – září) na 50% oproti průměrné letní účinnosti z prvních dvou let provozu.
3. Pravidelně vyhodnocujeme průtočnost, resp. dobu zdržení v mokřadním systému – nutná výměna při poklesu doby zdržení v umělém mokřadu na 70% projektované doby zdržení.
4. Sledujeme míru kompakce substrátu – nutná výměna pakliže míra kompakce dosáhne 50-70% oproti původnímu stavu.

Doba využití substrátu v umělém mokřadu úzce souvisí s ekonomikou provozu. V případě významně extenzivních systémů je doporučováno využívat spíše stabilnější formy substrátu (dřevní štěpku). U systémů, u kterých lze uvažovat s možností pravidelnější obnovy by mohly být využity i méně stabilní materiály, které jsou levnější (sláma, atp.).

3.4 Technická řešení umělých mokřadů a doba zdržení vody

Umělé mokřady (*constructed wetlands, CW*) lze konstrukčně rozdělit podle směru průtoku kontaminované vody do tří základních kategorií: (1) mokřady s volnou hladinou (*surface free water; SFW CW*), (2) mokřady s horizontálním tokem (*horizontal subsurface flow; HSF CW*) a (3) mokřady s vertikálním tokem (*vertical subsurface flow; VSF CW*). Uvedené typy konstruovaných mokřadů mohou být vzájemně kombinovány, aby se využily specifické výhody obou hydraulicky odlišně protékaných systémů (kombinované systémy); což je řadu let známo a využíváno např. v kořenových čistírnách či obdobných systémech pro čištění komunálních odpadních vod (Mlejnská a kol. 2015; Šálek a Tlapák, 2006).

V případě návrhu mokřadu pro čištění drenážních vod jde principiálně o to, zkombinovat funkční prvky umělých mokřadů a drenážních biofiltrů a optimalizovat

retenční i čistící schopnost celého zařízení tak, aby byl zachycen, zpomalen a vyčištěn optimální objem odtoku při běžných odtocích i srážko-odtokových událostech, kdy je drenáží transportováno nejvyšší množství polutantů. Systém tak ideálně zahrnuje alespoň jednu průtočnou retenční nádrž se zaústěním znečištěné drenážní vody, která je za patřičného (regulovaného) průtoku dále vedena do samotného mokřadu. Retenční nádrž slouží zejména pro zachycení a zdržení vyšších drenážních či povrchových průtoků; průtoky v objemu nad akumulací objem nádrže, resp. maximální kapacitu návazného mokřadu, jsou převáděny bezpečnostním přelivem do recipientu; viz Obr. 4.

V retenční nádrži či v její návaznosti je umístěn pasivní regulátor průtoku znečištěné vody z retenční nádrže do mokřadu. Umělý mokřad dále obsahuje distribuční šachtu, která je s retenční nádrží spojena distribučním potrubím. Regulátor průtoku znečištěné vody může být tvořen hydraulickou clonou pro omezení nadměrného průtoku drenážní znečištěné vody mokřadní nádrží; tato clona je vyměnitelně upevněna na druhý konec distribučního potrubí v retenční nádrži a má nátokový otvor o průměru ve vazbě na požadovaný maximální přítok; nejčastěji v rozmezí 20 - 100 mm. Díky retenční nádrži a hydraulické cloně, která je umístěna do nátokového potrubí mokřadní nádrže je možné zachytit vyšší přítok drenážní znečištěné vody, tu zadržet a postupně nechat pomaleji do mokřadní nádrže, a to v maximální projektované kapacitě (Šereš a kol. 2020). S rostoucím průtokem nátokovým potrubím ovšem klesá účinnost filtračního média mokřadní nádrže. Vzhledem k obvykle vyšším nátokovým koncentracím zájmových znečišťujících látek ovšem dochází k odbourání bilančně vyššího množství těchto látek než za nízkého průtoku, jak dokladuje řada studií z Dánska, USA i ČR (Vymazal et al. 2020).

Samotné mokřadní pole je obvykle pojato jako hydroizolovaná otevřená nádrž, která je začleněna do okolního terénu. Hydroizolace je realizována z důvodu zamezení vtoku cizích (zejména podzemních) vod do prostoru mokřadu. Hloubka výkopu se pohybuje mezi 0,8-1,4 m. Dno a vnitřní stěny mokřadního pole mohou být vyrovnány lomovým prachem/pískem (frakce 0-4). Na zhutněný a popřípadě podsypaný podklad je umístěna ochranná geotextilie, na kterou je uložena hydroizolační folie s odolností proti UV záření, ozonu a stárnutí; tl. 0,9-1,2 mm. Folie je v přesazích vodotěsně spojena, je vytažena až nad provozní hladinu (případně nad hladinu podzemní vody) a zakončena zahrnutím do terénu svahu či překryta drnem nebo obkladem z kamenů.

Minimální doba zdržení vody v mokřadu / biofiltru pro odstranění alespoň 50% NO_3^- se udává 2-3 dny; pro odstranění pesticidů 3 – 8 dní (Lyu et al. 2018; Tournebize et al. 2017; Vallée et al. 2015).

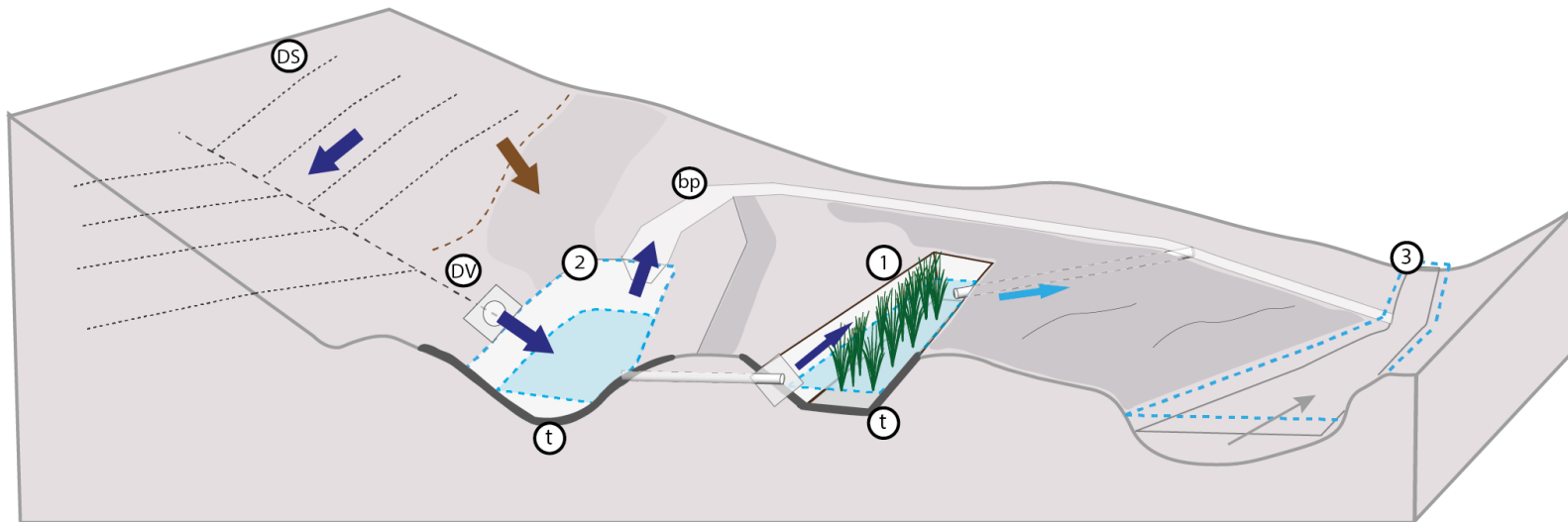
Doba zdržení vod v mokřadu se stanoví jako HRT (hydraulic retention time; hod):

$$HRT = \frac{\rho V}{Q} \quad [2]$$

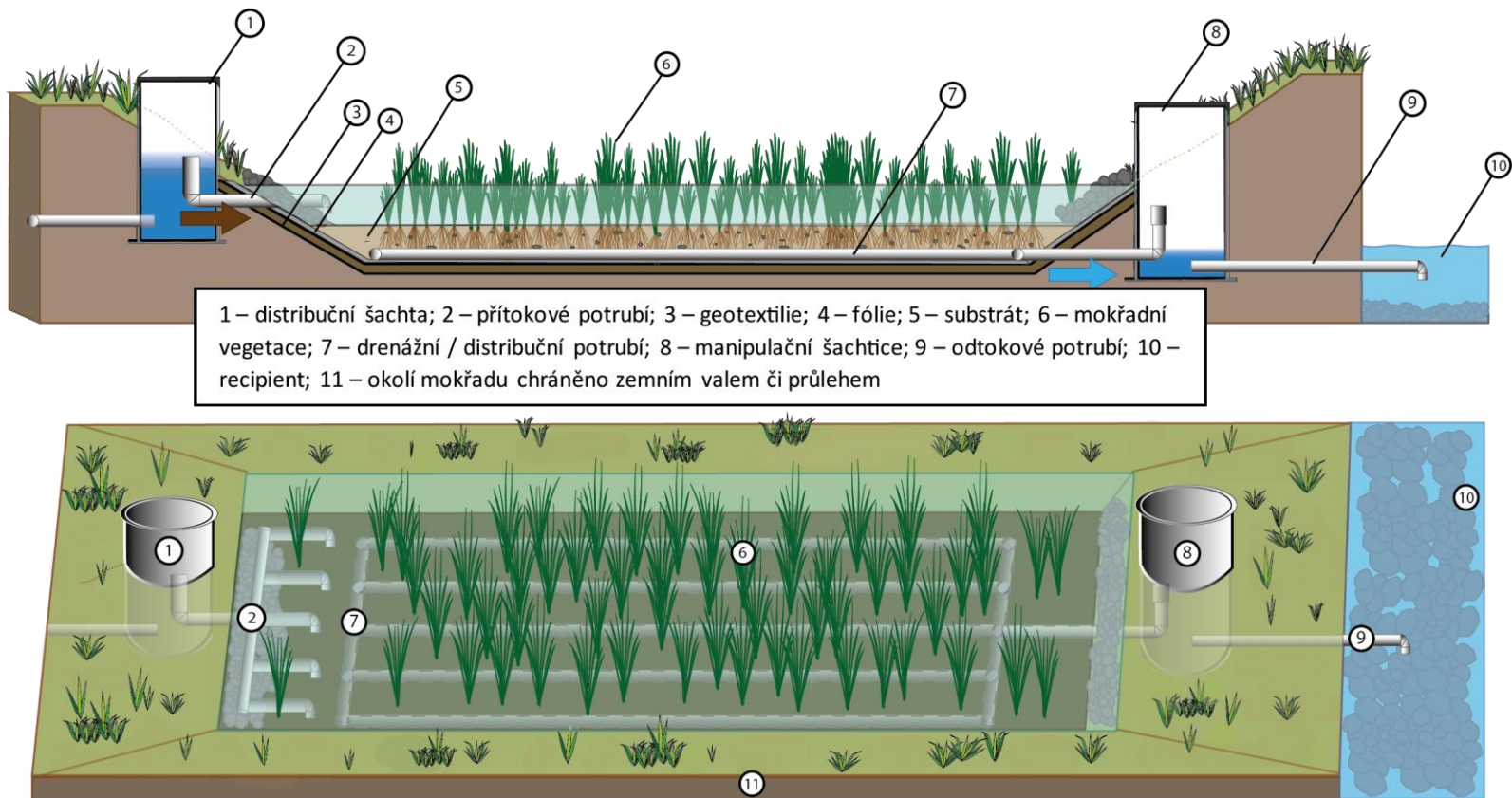
ρpórovitost substátu (%)

Vobjem biofiltru / mokřadu (m^3)

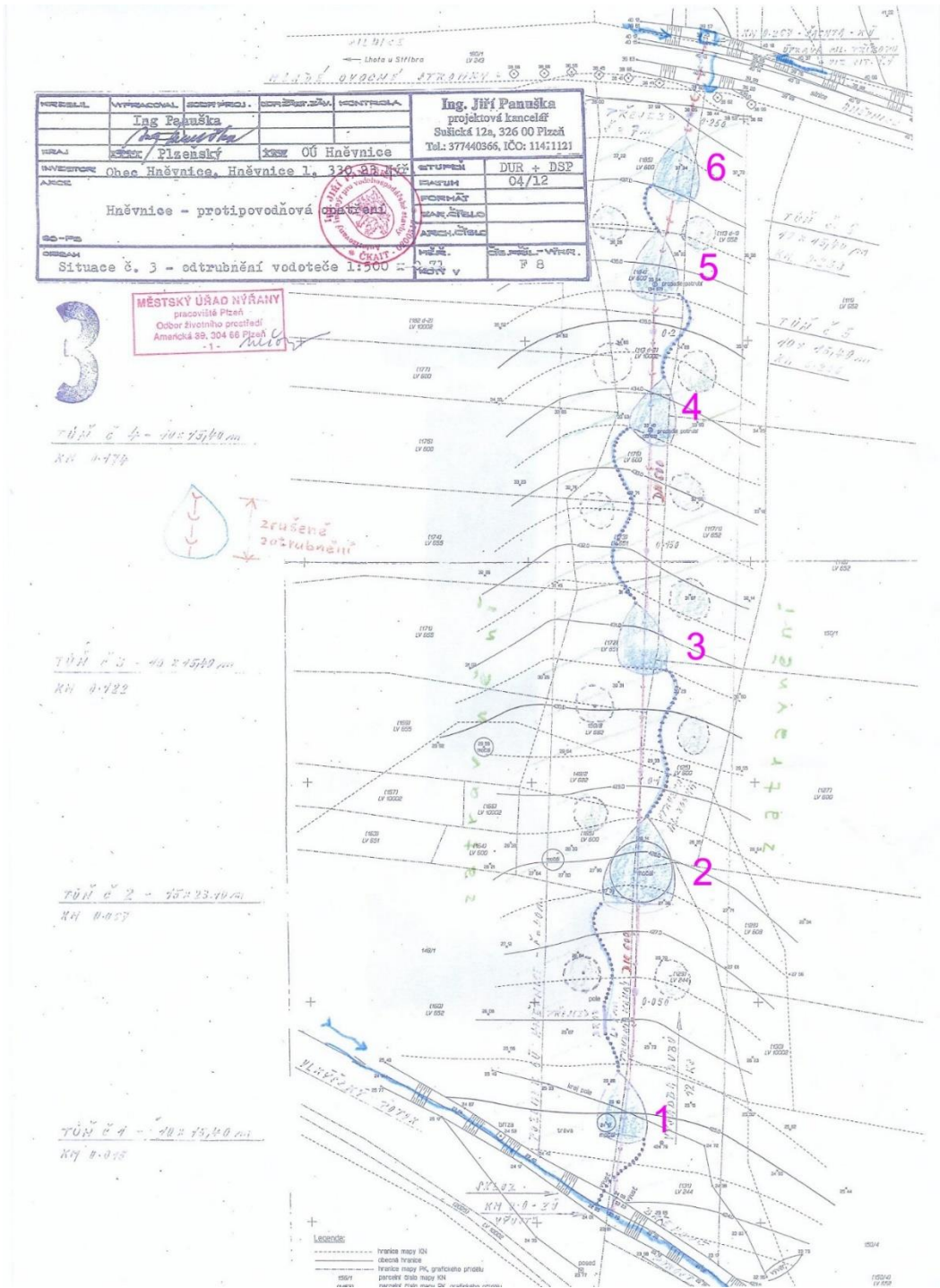
Qprůtok ($\text{m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$)



Obr. 4. Obecné schéma retenčního mokřadu s vazbou na systém odvodnění s předřazeným objektem pro zachycení, transformaci a pomalý odtok vyšších průtoků. 1 – samotné mokřadní pole; 2 – retenční objekt; 3 – recipient; DV – drenážní výúst, DS – drenážní systém; bp – bezpečnostní přeliv; t – těsnění; vhodné částečně odclonit mimo mokřad valem či průlehem;
 ➔ povrchový odtok; ➔ znečištěná drenážní voda; ➔ vyčištěná drenážní voda. Schéma: VÚMOP, v.v.i.



Obr 5. Schéma možného řešení horizontálního umělého mokřadu pro čištění drenážních vod s podpovrchovým tokem. Schéma: VÚMOP, v.v.i.



Obr. 6. Část projektové dokumentace soustavy mokřadů na svodném drénu; Plzeňsko (zdroj: SPÚ Plzeň); projektant použil dokumentaci ke stavbě odvodnění; realizace viz **Obr. 7.**



Obr. 7, a,b. Zdařilá realizace kaskády tůní v horní a mokřadů s volnou hladinou v dolní části odvodněného pole na zatrubněném HOZ. Foto: P. Fučík

3.5 Vegetace v umělých mokřadech

Vegetace v umělých mokřadech má zejména nepřímou úlohu - zateplování povrchu v zimním období, poskytování podkladu (kořeny a oddenky pro růst přisedle žijících bakterií, difúze kyslíku do těsné blízkosti kořenů). Přímá funkce mokřadní vegetace spočívá především v příjmu živin a jejich ukládání do nadzemní biomasy, kterou lze sklízet.

U mokřadů, které jsou navrženy pro čištění drenážních vod ze zemědělství, se vegetace většinou neskylí, protože odumřelá biomasa je poté zdrojem uhlíku nutného pro denitrifikaci a v průběhu provozu postupně nahrazuje klesající množství organického uhlíku ze štěpky či jiného substrátu. Pokud by se vegetace sklízela, je možno počítat u dobře vzrostlých porostů (např. rákos obecný, chrastice rákosovitá, orobince, zblochan vodní) s odstraněním 30-60 g N.m⁻²; pokud bychom sklízeli v době maximální kumulace živin, což je většinou krátce před kvetením rostlin. Toto množství je víceméně stálé u porostů, které nejsou limitovány nízkou koncentrací N a P v čištěné vodě. U typických drenážních vod ze zemědělství však toto množství reprezentuje cca do 10% celkového ročního zatížení dusíkem. V případě sklizení v době vegetačního klidu je procento odstraněného dusíku nižší. Z těchto údajů vyplývá, že kumulace dusíku v nadzemní biomase tvoří jen velmi malou část odstraněného dusíku. Kumulace dusíku (a ostatních prvků) je vždy dána koncentrací dusíku v biomase a hmotností nadzemní biomasy. Rozhodujícím faktorem je ale vždy biomasa, takže nejvyšších hodnot kumulace dosahují rostliny s největší nadzemní biomasou. Z tohoto důvodu emerzní (vynořené) rostliny kumulují největší množství dusíku. Doba, za kterou je dosažena maximální biomasa se liší u jednotlivých rostlin. Chrastice rákosovitá a zblochan vodní mohou dosáhnout maximální biomasy již během druhého vegetačního období, zatímco u rákosu je maximální biomasa dosažena za 3-5 let (Vymazal a Kröpfelová, 2005).

Jako nejvhodnější pro daný účel jsou považovány rostliny, které vytváří velké množství nadzemní biomasy a které vykazují rychlý růst ihned po výsadbě. Mezi tyto rostliny patří např. chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*), rákos (*Phragmites*) a zblochan vodní (*Glyceria maxima*). Rostliny jsou vysazovány v hustotě 6-8 sazenic na 1 m², což je běžně používaná hustota výsadby u klasických kořenových čistíren. Po výsadbě rostlin obsluha kontroluje růst a rozvoj vysazených rostlin, případně průběžně likviduje výrazné plevelné či invazní rostliny.

Výsadba a její období:

Optimální doba výsadby mokřadních rostlin je od dubna do září. Mimo tuto dobu lze rostliny rovněž vysazovat, míra uchycení rostlin je poměrně dobrá, ne však zaručená. Záleží na odborných zkušenostech; výsadbu je vhodné v takovýchto případech konzultovat s odborníkem, případně odborníkům výsadbu přenechat.

3.6 Provoz a údržba

Ustanovení obsluhy

Pro provozní obsluhu umělého mokřadu či bioreaktoru se počítá s jedním pracovníkem, který musí být osobou poučenou a respektovat zásady pro provoz objektu jakož i manipulační předpisy pro všechna zařízení včetně předpisů ČSN k jednotlivým zařízením. Vzhledem k tomu, že chod mokřadu je nepřetržitý a nevyžaduje průběžný každodenní dohled, počítá se s tím, že pracovník obsluhy bude docházet na kontrolu umělého mokřadu či bioreaktoru cca 1x za 7-14 dní a častěji pouze za extrémních stavů.

Sedimentační objekt

Sedimentační (a retenční) objekt slouží ke zpomalení rychlých odtoků, jejich pomalému odpouštění do samotného mokřadu a k zachytávání vyplavovaných látek z pole či z drenáže. Jedná se zejména o nerozpuštěné látky – produkty povrchové či vnitropůdní eroze; dále jen sediment. Obsluha pravidelně, dle potřeby, nejméně však 1x za měsíc kontroluje množství sedimentu.

Sediment v objektu (nádrži, šachtě) nesmí stoupnout výše než 1/3 výšky max. užité hladiny. Případně, při obtížně zjistitelné výšce sedimentu, je doporučeno provést jeho preventivní odčerpání. Sediment bude likvidován pravidelně (cca 1x - 2x za rok) dle potřeby. U menších objektů je vybírání sedimentu prováděno ručně a u větších objektů je možné využít fekálního vozu / sacího bagru, apod. V případě většího mokřadu a větší sedimentační šachty bude odtěžení sedimentu prováděno bagrem.

Veškerý sediment ze sedimentačního objektu je možné využít dle potřeby, protože pravděpodobně nebude obsahovat žádné závadné látky s ohledem na předmětný provoz; při záměru aplikace na ZPF je třeba provést rozbory sedimentu.

Umělé mokřady (biofiltry, reaktory)

Obsluha průběžně sleduje úroveň hladiny čištěné vody na odtoku filtru a kontroluje prostupnost rozdělovacího potrubí. Dále obsluha provádí vizuální kontrolu kořenového pole, zda nedochází k povrchovému toku čištěné vody, který je nežádoucí a kontroluje stav rostlin, aby nedocházelo k nadměrnému usychání.

U nově zbudovaných umělých mokřadů obsahujících štěpku je, v případě zvýšeného obsahu dusičnanů v drenážních vodách, třeba částečná výměna náplně jednou za 5-8 let. Tento úkon bude obsahovat, v mimovegetační době, sejmutí drnu a výměnu horních cca 10cm směsné náplně, pročištění potrubí a zpětné položení drnu. V případě minimálního znečištění drenážních vod dusičnanovým dusíkem, není tento krok nutný provádět po dobu min. 10 let a bude postačovat běžná účinnost navržených filtrů. V závislosti na rychlosti degradačních procesů dřevní náplně je možné vyhodnotit její případnou výměnu a to v případě, že míra kompakce dosáhne 50-70% a zároveň průměrná účinnost denitrifikace poklesne oproti běžně dosahovaným hodnotám přibližně o polovinu. **V případě dostatečného nárůstu biomasy mokřadních rostlin je výměna štěpky zbytečná;** její fungování postupně nahradí biomasa, která se nesklízí.

Pokyny pro provoz umělého mokřadu či bioreaktoru v zimním období a za mimořádných okolností.

1) Provoz v zimním období

- při mírném průběhu zimy jsou filtrační lože umělých mokřadů či bioreaktorů dostatečně izolovány proti promrznutí uschlou biomasou mokřadních rostlin
- před příchodem zimního období se dokonale vyčistí distribuční (sedimentační) šachta, aby se získal dostatečný sedimentační prostor na zimní období.

2) Provoz během povodní či epizodních vodních stavů

- obsluha uzavře případné napojení rychlých povrchových vod, pokud je to možné tak, aby odlehčení před přítokem na umělý mokřad odvedlo většinu povodňového průtoku a zvýšené průtoky nepřinesly sediment nový nebo nezvířily sediment v usazovací šachtě a ten se neusadil přímo v mokřadu.
- v případě povodně zajistí obsluha mokřadu či bioreaktoru součinnost s pověřenou osobou (správce toku, obec, vlastník pozemku) pokud je určena.

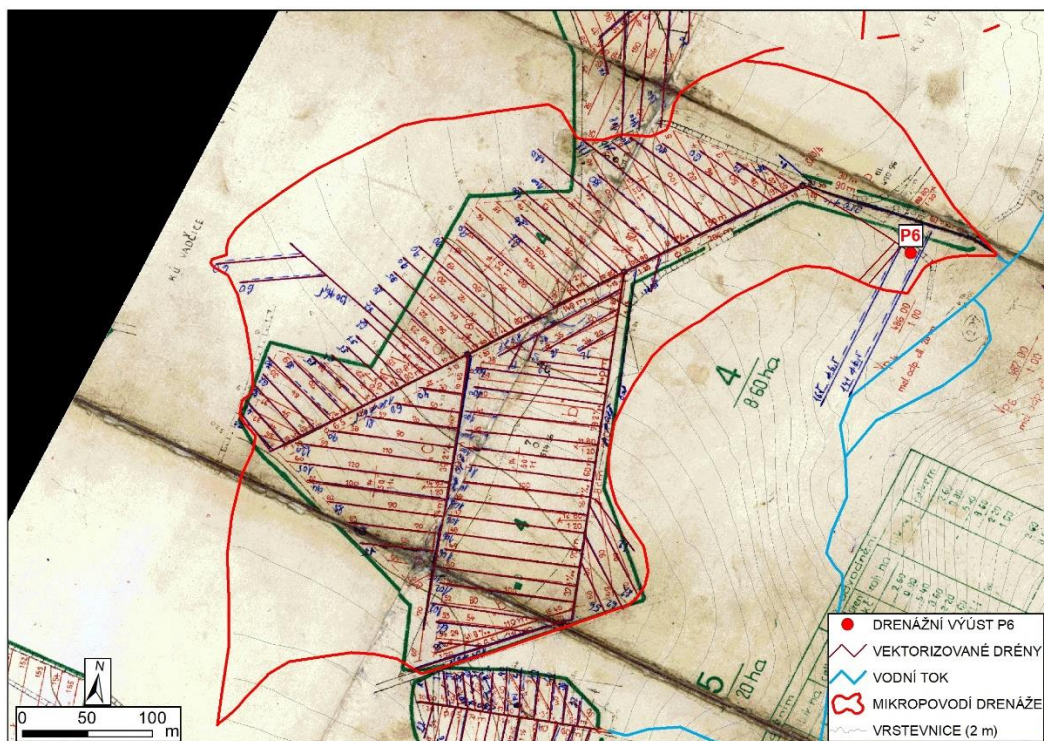
3) Provoz při havárii a vnosu nežádoucích kontaminantů

- vniknou-li do drenážního potrubí, popř. do mokřadu / bioreaktoru látky nemající charakter drenážních či povrchových vod a bude-li se jednat o látky toxické nebo ropné (v případě že nad mokřadem prochází pozemní komunikace či je zde pohyb zemědělské či jiné techniky), atd. je třeba před nimi ochránit umělý mokřad / bioreaktor. Obsluha v tomto případě uzavře v distribuční šachtě odtok na reaktoru a zjedná nápravu.
- V případě, že se drenážní voda s kontaminantem (či sedimentem) nezachytí v distribuční šachtě, zachytí jej kořenová pole a dále je třeba postupovat dle charakteru závadnosti dané látky.
- V případě olejů a ropných produktů lze v sedimentační šachtě použít hydrofobní plovoucí sorbent.
- Další postup likvidace kontaminantu určí zástupce vodohospodářského orgánu s ohledem na druh a vlastnosti nebezpečné látky, případně po konzultaci s projektantem.

3.7 Realizovaný experimentální mokřad

V letech 2017-2018 byl na Pelhřimovsku v rámci projektu TAČR TH02030376 jeho řešiteli navržen a zrealizován výzkumný objekt retenčního mokřadu v návaznosti na zemědělské odvodnění. Na návrhu se podílel Ing. Jaroslav Kršňák (podíl na dimenzování, výkresová část, řešení nátokového a distribučního potrubí, část technické zprávy v rámci dokumentace pro územní rozhodnutí). Objekt byl zrealizován pro výzkum procesů čištění drenážních vod z hlediska dusičnanů a pesticidů.

Navržený retenční mokřad (RM) byl situován do prostoru stávajícího místa pod drenážní výústí (dle KN ostatní plocha, zamokřeno). Na této lokalitě (měrné místo P6) byl od r. 2003 monitorován drenážní průtok a kontinuálně sledována jakost vody (pravidelný a epizodní monitoring). Drenážní skupina pochází z 2. pol. 70. let a dosud byla funkční (stálý odtok drenážních vod); VÚMOP, v.v.i. disponoval projektovou dokumentací (Obr. 8). RM byl navržen tak, aby zachytil a přečistil většinu z Q_5 . Jeho bezpečnostní přepad byl navržen pro převedení Q_{100} . Pro stanovení objemu odtoku byla využita metoda CN křivek, metoda kulminačního průtoku (USDA; Janeček, 2012) a dlouhodobá data (15 let) z monitoringu průtoků drenáže P6 (VÚMOP, v.v.i.). Tímto postupem byl nadimenzován retenční objekt o objemu 160 m^3 , pro zachycení a transformaci Q_5 (větší vody se převádí bezp. přelivem); a tři experimentální mokřady (M1, M2, M3), navržené v rozměrech $15 \times 5,5 \times 0,8 \text{ m}$, na maximální průtok $3 \times 0,75 \text{ l.s}^{-1}$ a tedy celkově na $2,25 \text{ l.s}^{-1}$, obr. xy. Mokřady byly realizovány jako podpovrchové, horizontální, s různou výškou hladiny nad substrátem, což byla směs stařených štěpky břízy a štěrku (1:10; pro M3 štěpka na povrchu), osázený rákosem (*Phalaris arundinacea*) a zblochanem (*Glyceria maxima*). Teoretická doba zdržení vody v mokřadu byla 23 hodin pro maximální přítok, 84 hodin pro průměrný přítok.



Obr. 8. Ortorektifikovaná projektová dokumentace a digitalizované linie drénů v předmětné lokalitě. Schéma: VÚMOP, v.v.i.

Objekty retenčního mokřadu

Nové přítokové koryto..... délka 18m, šířka ve dně 0,5m

Regulační šachta RŠ1..... žlb 1,9x1,9x1,5m

Regulační šachta RŠ2..... žlb o průměru 1,5m

Zemní hráz..... délka koruny 45m, šířka koruny 2,5m, šířka paty 7,5m,
výška hráze 1m, retenční objem 160m³

Bezpečnostní přepad (BP).....šířka přepadové hrany 4,0m, $Q_{kap} = 1100$ l/s

Odtokové koryto BP..... délka 40m, šířka ve dně 1,0m, $Q_{kap} = 2591$ l/s

Dočišťovací mokřady..... 3x 75m² účinné plochy

Výtokový objekt VO1.....lomový kámen

Výtokový objekt VO2.....povrchový výtok

Lomové šachty..... 4ks

RM je navržen tak, aby zachytil a přečistil většinu z Q5. Jeho bezpečnostní přepad je navržen pro převedení Q100 a odtokové koryto je navrženo tak, aby převedlo Q100. Dočišťovací mokřady jsou navrženy na maximální průtok 3x0,75 l.s⁻¹ a tedy celkově na 2,25 l.s⁻¹.

Kapacitní možnosti dotčeného území:

Vstupní hodnoty						
plocha povodí (ha)	15,33					
průměrná CN křivka	76					
opravný koeficient nádrží	1					
max. 24-hodinový srážkový úhm pro Pelhřimov (mm)	35,5	52,4	63,3	74,8	88,8	99,8
Vypočtené hodnoty	srážka 2-letá	srážka 5-letá	srážka 10-letá	srážka 20-letá	srážka 50-letá	srážka 100-letá
Přímý odtok	3,8	11,34	17,52	24,84	34,61	42,78
poměr I/H _s	0,45	0,31	0,25	0,21	0,18	0,16
Objem přímého odtoku O _{PH} (m ³)	582,3	1738,4	2685,9	3808,5	5305,2	6558,9
Jednotkový kulminační průtok q _{PH}	0,33	0,52	0,52	0,53	0,55	0,56
Kulminační průtok Q _{PH} (m ³ /s)	0,05	0,25	0,38	0,56	0,80	1,01

Zemní hráz..... délka koruny 45m, šířka koruny 2,5m, šířka paty 7,5m,
výška hráze 1m, retenční objem 160m³

Retenční objem 160m³

Maximální dnový odtok 2,25 l.s⁻¹

Doba prázdnění nádrže 19,7 hod.

Bezpečnostní přepad..... šířka přepadové hrany 4m, šířka u koryta 1m, $Q_{kap} = 1100$ l.s⁻¹

Jako vhodný materiál pro naplnění retenčního mokřadu byla použita směs praného štěrku (frakce 4-8 mm) a březové štěpky v objemovém poměru 10:1; pórovitost 33%.



Obr. 10. Realizační práce na výzkumném objektu; květen 2018; Foto: P. Fučík

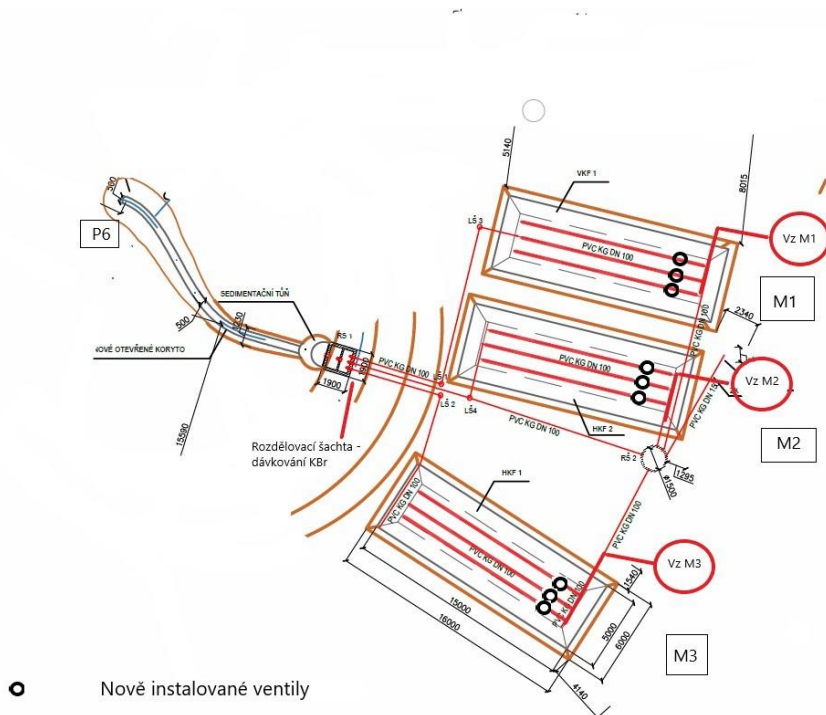


Obr. 11. Realizační práce na výzkumném objektu, červen 2018; Foto: P. Fučík



Obr. 12. Stav objektu v listopadu 2018; Foto: P. Fučík

V r. 2019 byl realizován technický zásah do mokřadních polí v podobě instalace tří ventilů (šoupátek) na drenážním potrubí v každém poli mokřadu (tj. 9 ks ventilů celkem) pro možnost variabilního zvýšení doby zdržení v mokřadních polích.



Obr. 13. Schéma retenčního mokřadu s instalovanými ventily na drenážních potrubích. Schéma: Dekonta, a.s.

V rámci řešení projektu byl realizován monitoring množství a jakosti vod na přítoku a na odtocích formou kontinuálního měření odtoku z drenáže a odtoku ze tří pokusných mokřadů pomocí kalibrovaných měrných přelivů a měření výšky hladiny s přepočtem na průtok v 10 min kroku (1 min v epizodách). Vzorky pro stanovení jakosti vody byly odebírány v pravidelných 14 denních intervalech a dále ve srážko-odtokových epizodách (automatický vzorkovač ISCO). Vyhodnocovány byly zejména formy dusíku (laboratoř VÚMOP, v.v.i. a FŽP ČZU) a vybrané pesticidy (laboratoř Povodí Vltavy, státní podnik). Několikrát byl řízeně (peristaltickým čerpadlem z kanystru) aplikován pesticid AUTOR (účinná látka metazachlor) v koncentraci 250 ug/l po dobu cca 120 minut. Jedná se o selektivní herbicidní přípravek do řepky a takto vysoká koncentrace byla aplikována záměrně s cílem zjistit kapacitu odstranění této látky mokřady.

Během řešení projektu byla 3x opakována stopovací zkouška formou řízené injeckáže bromidu. Výpočty byly provedeny dle metodiky US EPA (QTRACER2 program).

Instalace tří ventilů (šoupátek) na drenážním potrubí v každém poli mokřadu (tj. 9 ks ventilů celkem) pro možnost zvýšení doby zdržení v mokřadních polích znamenala dle vyhodnocené stopovací zkoušky výrazné zvýšení průměrné doby zdržení (MTT) oproti zjištěné době zdržení v

experimentálních mokřadech bez ventilů. Za velice nízkých průtoků (0,065 l/s) byla zjištěna pro M1 MTT 16,5 dne, pro M2 9,5 a pro M3 téměř 28 dní, viz **Tab. 2**.

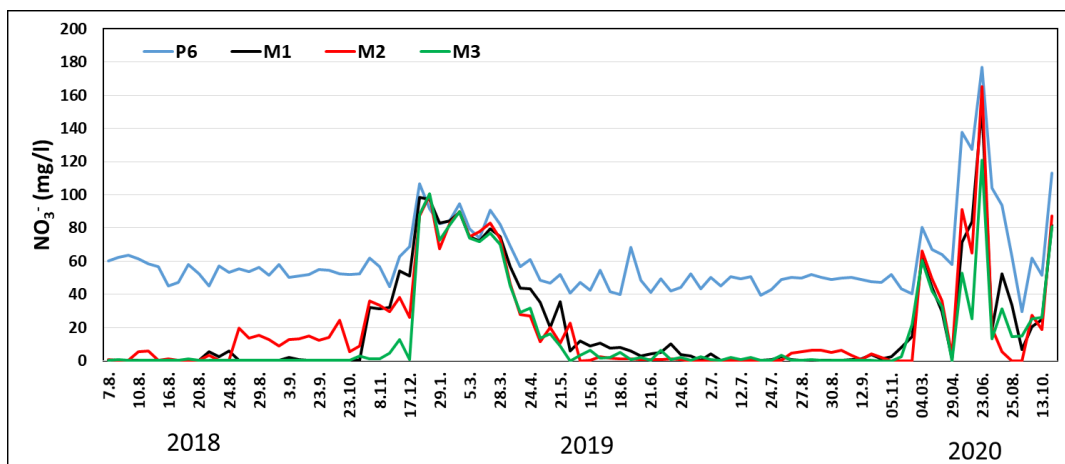
Tab. 2. Parametry stopovacího testu na M1 – M3 (srpen, 2019)

	srpen 18	duben 19	srpen 19	srpen 18	duben 19	srpen 19	srpen 18	duben 19	srpen 19
Tracer test	M1	M1	M1	M2	M2	M2	M3	M3	M3
P6 inflow - average (l/s)	0,087	0,072	0,035	0,087	0,072	0,03	0,087	0,072	0,012
Outflow - average (l/s)	0,048	0,107	0,027	0,019	0,05	0,03	0,045	0,103	0,0145
Time to leading edge (first arrival) (min)	70	120	4020	70	362	1380	70	542	6180
Time to peak tracer concentration (min)	1230	361,99	7140	3990	362	4260	3990	901,99	8340
Peak tracer concentration (mg/l)	1,994	4,643	0,506	0,784	1,862	0,803	1,392	2,999	0,31
The mean tracer transit time (min)	5580,4	665,24	23 794	10812	1110,3	13 766	8037	1552,6	40 307
The maximum tracer velocity (m/h)	41,151	24,003	0,716	23,579	4,5583	1,1957	25,72	3,3211	0,291
The mean tracer velocity (m/h)	0,51	4,338	0,121	0,1515	1,4455	0,12	0,22252	1,1536	0,04468
Dispersion coefficient (m ² /s)	7,62E-03	9,88E-03	2,71E-04	5,19E-04	2,30E-03	1,68E-04	6,64E-04	1,69E-03	2,84E-06
Longitudinal dispersivity (m)	53,663	8,1971	8,0186	12,329	5,7312	5,0418	10,748	5,2714	0,22869
Peclet number (-)	0,895	5,8557	5,9861	2,2305	4,7983	5,4544	2,7911	5,6911	131,18
Flow-channel volume estimate (m ³)	13,4	3,9815	41,629	15,855	3,5289	31,584	27,163	9,7114	42,568
Percent recovery of tracer injected (%)	72	32,951	62,2	40	15,696	139,6	68	33,927	35,1
The quantity of tracer recovered (g)	30,7	14,828	27,999	17,3	7,0631	62,831	29,1	15,267	15,79



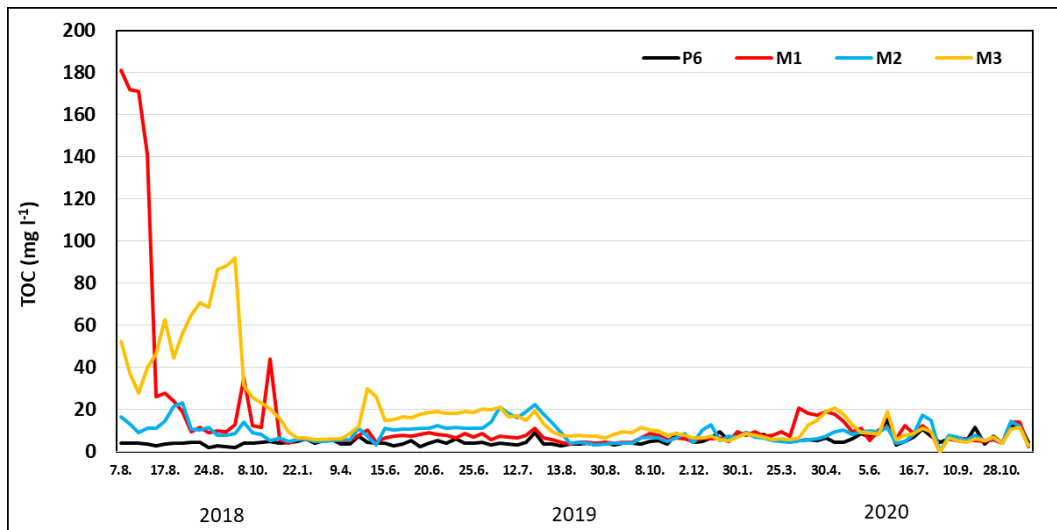
Obr. 14. Mořadní pole M1; patrná výrazně vyšší biomasa vegetace na přítoku do mokřadu ve srovnání s odtokovou zónou; Foto: J. Vymazal

Průměrná účinnost odstranění dusičnanů v těchto experimentálních mokřadech se při hodnocení vegetační i nevegetační sezóny pohybovala mezi 60 - 65%; když pořadí účinnosti bylo M2 < M1 < M3; viz. **Obr. 15**. Varianta M3 měla na štěpku na povrchu; ostatní byly směsi. Pokud byly vyhodnoceny účinnosti z hlediska mediánů (koncentrací NO₃⁻), byla účinnost 88 – 98 %. V r. 2020 je dobře patrný nárůst koncentrací NO₃⁻ v drenážní vodě (P6) vlivem vyšších srážek, které způsobily zvýšené drenážní odtoky a intenzivní vyplavení půdního minerálního dusíku z půdy, akumulovaného během předchozích sušších let a nespotřebovaného kukuřicí (setou koncem dubna) v r. 2020. Zjevná je i analogická rozkolísanější účinnost v odstranění NO₃⁻ v jednotlivých mokřadech při vyšších průtocích.



Obr. 15. Odstranění NO_3^- v experimentálních mokřadech (data ze 14-denních odběrů)

Na obrázku č. 16 je znázorněn průběh koncentrací celkového organického uhlíku (TOC) na přítoku a na výtoku z mokřadů za celé období sledování. Počáteční vysoké koncentrace, které byly způsobeny uvolňováním organických látek ze štěpky, se rychle stabilizovaly a již od poloviny r. 2019 byly na odtoku jen mírně zvýšené oproti přítoku. Průměrná koncentrace TOC na přítoku byla kolem $7,2 \text{ mg.l}^{-1}$, zatímco průměrné koncentrace na odtoku byly $9,94 \text{ mg.l}^{-1}$ v M1, $7,80 \text{ mg.l}^{-1}$ v M2 a $9,08 \text{ mg.l}^{-1}$ v M3.



Obr. 16. Odstranění TOC v experimentálních mokřadech (data ze 14-denních odběrů)

Během testování mokřadů byl řízeně aplikován pesticid AUTOR (účinná látka metazachlor) v koncentraci 250 ug/l po dobu cca 120 minut. Odstranění metazachloru bylo v M1-M3 poměrně slušné, i když překvapivě různorodé, resp. dynamické. Výsledky znázorňuje tabulka 3. Z ní vyplývá, že odnos metazachloru byl experimentálními mokřady během 9 dnů trvající zkoušky (monitoringu)

snížen celkově o 69-99%. Vzhledem ke zjištěné době zdržení vody v mokřadech je ale možné, že pesticid byl vyplavován i později (po ukončení vzorkování).

Tab. 3. Snížení odnosů řízeně aplikovaného metazachloru experimentálními mokřady.

	odnos v g/den						
	P6	vstup do M1	vstup do M2	vstup do M3	M1	M2	M3
26.8. 8:20							
26.8. 9:45	1,5131	0,6052	0,3783	0,5296			
26.8. 11:00	1,0260	0,4104	0,2565	0,3591			
26.8. 12:30	2,5875	1,0350	0,6469	0,9056	0,0001	0,0016	0,0003
27.8.	0,0061	0,0024	0,0015	0,0021	0,0009	0,0145	0,0001
28.8.	0,0027	0,0011	0,0007	0,0010	0,0009	0,0644	0,0001
29.8.	0,0011	0,0004	0,0003	0,0004	0,0040	0,0759	0,0002
30.8.	0,0012	0,0005	0,0003	0,0004	0,0316	0,0496	0,0011
31.8.	0,0008	0,0003	0,0002	0,0003	0,0191	0,0274	0,0027
1.9.	0,0007	0,0003	0,0002	0,0003	0,0240	0,0602	0,0036
2.9.	0,0006	0,0003	0,0002	0,0002	0,0266	0,0217	0,0078
3.8.	0,0005	0,0002	0,0001	0,0002	0,0087	0,0467	0,0007
4.9.	0,0004	0,0002	0,0001	0,0002	0,0123	0,0386	0,0005
suma	5,1408	2,06	1,29	1,80	0,13	0,40	0,02
sumární odstranění (v g)					1,93	0,88	1,78
sumární odstranění (v %)					93,77	68,83	99,05

Experimentální mokřady potvrdily obstojnou schopnost odstraňovat dusičnany z drenážní vody, při průměrné účinnosti kolem 65% a poklesem účinnosti v nevegetační sezóně. Z výsledků vyplývá, že účinnost jednotlivých mokřadů byla srovnatelná a za celé období byla nejvyšší v mokřadu M3, tj. v mokřadu, kde štěrkové lože je převrstveno březovou štěpkou. Tyto hodnoty jsou v souladu se zahraničními zkušenostmi v obdobných přírodně zemědělských podmínkách a variantách mokřadů.

Obdobně slušně lze hodnotit účinnost odstranění pesticidu (metazachlor, 250 ug.l⁻¹) kdy se experimentální mokřady projevily jako vysoce účinné a odstranily 70- 99% řízeně aplikované mateřské látky; během velmi nízkých průtoků a během 9-denního monitoringu. Odstraňování metabolitů (nejen metazachloru) nebylo v testovaných mokřadech prokázáno takto intenzivní, pohybuje se - ve smyslu snižování koncentrací – v průměru kolem 20%.

4. Východiska pro lokalizace umělých mokřadů ve vazbě na odvodnění

Vhodné umístování, resp. potřebu navrhování a realizace umělých mokřadů (resp. jakýchkoli vodoretenčních a jakost vody zlepšujících opatření) ve vazbě na stabu odvodnění lze pojmut dle řady podmínek a kritérií. Soubory kritérií lze rozdělit na dvě základní skupiny: A – se zohledněním širších vazeb (*Bottom-Up*); pohled např. správce povodí; B – se zohledněním místních půdních, geomorfologických, hydrologických, zemědělských a majetko-právních podmínek (*Top-Down*); pohled vlastníka pozemku, zemědělce, projektanta konkrétního mokřadu, starosty obce.

A) Pohled širších vazeb (*Bottom-Up*)

Velký podíl odvodněných ploch v zájmovém území představuje značné riziko nadbytečného odtoku vody z krajiny a znečištění vod plošnými podpovrchovými zdroji znečištění (dusík, pesticidy). Proto je vhodné území kategorizovat, resp. prioritizovat na základě tzv. **zranitelnosti podpovrchovými zdroji zemědělského znečištění** dle metodiky vycházející z práce Příprava listů opatření typu A (Novák a kol. 2016) a jejího praktického využití v Atlasu plošného zemědělského znečištění vod (Zajíček a kol. 2018). Kategorizace je možno provést ve třech úrovních (jednotkách); na úrovni povodí vodních útvarů (20 – 100 km²), povodích IV. řádu (3–20 km²) a jejich subpovodích (50 – 300 ha); na základě indexů charakterizujících vlastnosti hodnoceného území z hlediska retence vody a vyplavování látek podpovrchovým (drenážním) odtokem; viz Obr. 17.

Níže je uvedeno celkem pět dílčích indexů, které klasifikují faktory snižující i zvyšující riziko zatížení území (povodí) plošným podpovrchovým znečištěním. Výsledkem je **Souhrnný index potřebnosti opatření (SIPO)**, kategorizovaný do pěti stupňů rizika (1-5).

Mezi indexy zvyšující riziko patří **Index podílu orné půdy** (rovnice 3). Klasifikace území je provedena na základě předpokladu, že s rostoucím podílem orné půdy roste riziko znečištění vod (Fučík et al., 2014; Kvítek et al. 2009; Stoate et al. 2001). Pro Českou republiku platí, že koncentrace dusičnanů jsou ovlivněny více zorněním než momentálním hnojením (Kvítek, 1999).

$$I_{zornění} = \frac{F_{\Sigma \text{ orné půdy}}}{F_{\text{plošné jednotky}}} \quad [3]$$

Index podílu ploch odvodnění (rovnice 4) je použit na základě předpokladu, že s rostoucím podílem odvodnění v územní jednotce roste riziko znečištění vod.

$$I_{ploch} = \frac{F_{\Sigma \text{staveb odvodnění v rámci plošné jednotky}}}{F_{\text{plošné jednotky}}} \quad [4]$$

Index podílu infiltračně zranitelných půd (rovnice 5) je založen na předpokladu, že s rostoucím podílem půd s vysokou infiltrační schopností pro vodu (tedy zároveň zranitelných zvýšeným vyplavováním živin) v posuzovaném území roste riziko znečištění vod (Goswami et al. 2009; Fučík et al., 2015). Klasifikace půd na základě jejich propustnosti pro vodu a živiny byla provedena podle metodiky Janglová et al. (2003).

$$I_{zran} = \frac{F_{\Sigma \text{infiltračně zranitelných lokalit}}}{F_{\text{plošné jednotky}}} \quad [5]$$

Index zatravněných infiltračně zranitelných půd vyjadřuje vliv zatravnění, jako již provedeného opatření, které významně snižuje vyplavování živin (Kvítek et al., 2012, Zajíček et al., 2017) a mateřských látek pesticidů (Zajíček et al., 2018) ze zemědělsky využívaných půd. Váha zlepšujícího vlivu indexu byla tedy stanovena na základě předpokladu, že s rostoucím podílem půd zranitelných vyplavováním živin, které byly zatravněny, klesá riziko znečištění vod v posuzované lokalitě.

$$I_{TTP-zran} = \frac{F_{\Sigma \text{zatravněných půd 1 a 2 kategorie zranitelnosti}}}{F_{\Sigma \text{pinfiltračně zranitelných půd v rámci lokalit B 1,2}}} \quad [6]$$

Index zlepšujícího vlivu vodních nádrží byla zvolen na základě skutečnosti, že výsledná kvalita vody ve vodních recipientech je ovlivňována také procesem samočištění ve vodních tocích a nádržích (podrobnosti k jednotlivým procesům zde nuvádíme).

$$I_{VN} = \frac{F_{\Sigma \text{vodních nádrží}}}{F_{\text{plošné jednotky}}} \quad [7]$$

Dalším krokem hodnocení území je shrnutí dílčích faktorů zvyšujících riziko znečištění vod a faktorů do samostatných indexů. Tímto způsobem vznikl **Index zornění – odvodnění** (rovnice 8), který klasifikuje do pěti stupňů rizika území na základě předpokladu, že s rostoucím podílem orné půdy a staveb odvodnění

v hodnocené lokalitě roste riziko znečištění vod, tedy s rostoucí hodnotou indexu roste stupeň rizika.

$$I_{zornění_odvodnění} = \frac{SR - I_{zornění} + SR - I_{ploch}}{2} \quad [8]$$

Posledním dílčím indexem je **Index opatření**, který určuje vliv zlepšujícího vlivu realizovaných opatření (zatravnění v infiltračně-zranitelných oblastech). Klasifikace jeho hodnot je provedena na základě předpokladů, že riziko zatížení plošným podpovrchovým znečištěním je snižováno realizovanými opatřeními (zatravněním), cílenými do ploch infiltračně zranitelných půd v hodnoceném území. Pokud je zlepšující potenciál realizovaných opatření významný, snižuje se riziko vlivu drenážních systémů na jakost povrchových vod

$$I_{opatření} = \frac{Váha\ zlepšujícího\ vlivu\ I_{zran} + Váha\ zlepšujícího\ vlivu\ I_{TTP-zran}}{2} \quad [9]$$

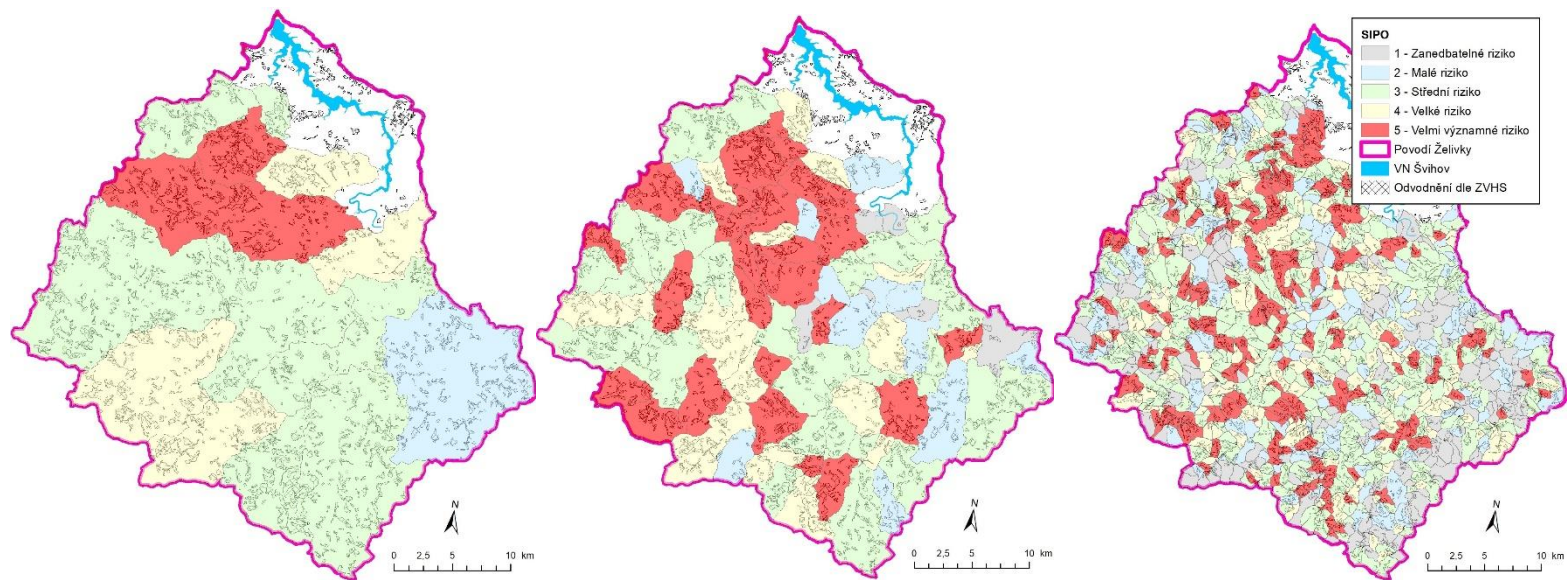
Posledním a hlavním krokem kategorizace je **Souhrnný index potřeby opatření (SIPO)**, který je vypočten kombinací všech výše zmíněných dílčích indexů za pomoci rovnice 10. Hodnota tohoto souhrnného indexu zahrnuje kromě faktorů zvyšujících riziko zatížení podpovrchových vod také faktory zlepšující, jako je vliv již aplikovaných opatření (zatravnění) a vodních nádrží v posuzované lokalitě.

$$SIPO = \frac{SR \cdot I_{zornění_odvodnění} * SR \cdot I_{opatření} * (2 * SR \cdot I_{VN})}{4} \quad [10]$$

Hodnota indexu *SIPO* kategorizovaná do pěti stupňů rizika vyjadřuje potřebnost návrhu dalších opatření, snižujících zátěž plošným zemědělským znečištěním v hodnocené lokalitě. Slovní hodnocení tohoto rizika je uvedeno v tabulce 3.

Tab. 3. Klasifikace indexu SIPO

Stupeň rizika SIPO	Slovní hodnocení:	
	Stupně rizika	Potřeby opatření
1	Zanedbatelné riziko	Velmi nízká potřeba opatření
2	Malé riziko	Nízká potřeba opatření
3	Střední riziko	Střední potřeba opatření
4	Velké riziko	Vysoká potřeba opatření
5	Velmi významné riziko	Velmi vysoká potřeba opatření



Obr. 17. Příklad vymezení Sdrúženého Indexu Potřebnosti Opatření (SIPO) na třech jednotkách (úrovních) v rámci povodí VN Švihov na Želivce; zleva: Vodní útvary, povodí iv. řádu, subpovodí

B) Pohled místních podmínek (Top-Down)

Místní podmínky představují lokální charakteristiky a možnosti pro vhodné umístování umělých mokřadů ve vazbě na systémy odvodnění, definovatelné dle řady kritérií. Těmi základními jsou:

- B1. Morfologie terénu (topografický index),
- B2. Půdní podmínky (hydromorfní a semihydromorfní půdy),
- B3. Historické podklady (mapy před r. 1952)
- B4. Charakter a stav stavby odvodnění (situování mokřadu pod výústí, na odvodněnou plochu řízeným přerušením svodného drénu, realizací odbočky ze svodného drénu, ve vazbě na hlavní odvodňovací zařízení; HOZ)
- B5. Vlastnicko-uživatelské vztahy

B1. Topografický index

Topografický (vlhkostní) index (Topographic Wettness Index; TWI), vyjadřovaný vztahem $\ln(\alpha/\tan\beta)$, kde α je kumulativní přispívající plocha z dané jednotky (pixelu) a β je gradient sklonu svahu v dané jednotce, je široce používán v hydrologickém modelování, a to především za účelem predikce rozlohy a prostorového rozmístění tzv. zdrojových ploch (zón saturace, čili ploch, kde dochází k nasycení půdního profilu vodou), na nichž je předpokládán vznik povrchového odtoku. Lze totiž předpokládat, že k nasycení dochází přednostně v těch partiích terénu, které jsou plošší (malý sklon) a nacházejí se pod (dlouhým) svahem (velká přispívající plocha).

Topografický index, který je přímo úměrný přispívající ploše a nepřímo úměrný sklonu, se tak může stát mírou, nakolik má dané místo tendenci vytvářet vodou nasycené podmínky, a tedy i zdrojové plochy. V praxi jsou pak zdrojové plochy identifikovány na základě překročení zvolené prahové hodnoty topografického indexu.

Stanovení topografického indexu (TWI) v ArcGIS:

$$\text{LN} (((\text{"AKUMULACE ODTOKU"}+0,01) \times 100) / \text{Tan} (\text{"SVAŽITOST"}))$$

kde: AKUMULACE ODTOKU generuje dráhy preferenčního proudění povrchového odtoku, SVAŽITOST je vypočtena z DMT a následně jsou stupně převedeny pro účely výpočtu TWI do radiánů.

Ideální je TWI pro lokace možných situování mokřadů kombinovat s půdními charakteristikami, tj. výskytem hydromorfních půd.

B2. Půdní podmínky (hydromorfní a semihydromorfní půdy)

Pro možné umístování mokřadů ve vazbě na systémy odvodnění je vhodné uvažovat o skupinách hydromorfních a semihydromorfních půd. Tento předpoklad je dán genetickým vodním režimem těchto půd (stálým či periodickým výskytem zamokření) a jejich fyzikálními vlastnostmi, které umožňují návrh a případnou realizaci umělého mokřadu. Kritéria hydromorfních a semihydromorfních půd splňují následující HPJ dle BPEJ (Novotný, Vopravil a kol. 2013), tab. 4 a tab. 5:

Tab. 4 Hlavní půdní jednotky (HPJ) splňující kritéria hydromorfizmu půd

15, 43, 44, 45, 46, 47, 49, 50, 52, 53, 64, 67, 68, 69, 72, 73, 74, 75, 76
--

Tab. 5 Hlavní půdní jednotky s charakteristikou vláhových poměrů "mírně převlhčené půdy" a "periodicky převlhčené půdy"

03, 06, 07, 08, 11, 12, 18, 19, 23, 24, 25, 26, 29, 34, 35, 36, 48, 60, 61, 62, 70, 71
--

B3. Historické podklady

Historické mapové podklady umožňují zejména identifikaci způsobu využití území v předchozích obdobích. V kontextu možného umístování umělých mokřadů ve vazbě na systémy odvodnění se jedná o identifikaci historicky zamokřených či podmáčených okrsků či pramenů, zpravidla zatrávněných enkláv či vodních ploch a lokalizaci původního trasování vodních toků. Velmi vhodným online zdrojem těchto podkladů je [Archív ČÚZK](#). Aplikace Archivní mapy umožňuje bezplatné prohlížení archivních dokumentů Ústředního archivu zeměměřictví a katastru (ÚAZK). Jedná se o následující archiválie: Stablní katastr (Císařské povinné otisky, Katastrální mapy evidenční, Originální mapy, Výkazy ploch), mapy odvozené ze třetího vojenského mapování, Topografické mapy v systému S-1952, Mapy evidence nemovitostí, Mapa kultur, Státní mapa 1 : 5 000 a Sběrka map a plánů do roku 1850.

B4. Charakter a stav stavby odvodnění

Umělý mokřad ve vazbě na stavbu zemědělského odvodnění je vhodné situovat spíše do geomorfologicky níže položených segmentů předmětné drenážní skupiny, ve vazbě na výše uvedené body (B1-B3) a v souvislosti s prostorovými a pozemkovými možnostmi. Tedy pod drenážní výústí nebo ve vazbě na svodný drén. Ten je – stejně jako další prvky odvodnění – zejména sběrné drény, po identifikaci celé drenážní skupiny a návazného HOZ nutné v místě navrhovaného mokřadu řízení přerušit, zaústit do mokřadu a zajistit, aby voda z mokřadu nebyla drenáží dále odváděna. Při identifikaci drenáže je nutné zjistit topologii a rozsah stavby, zda se jedná o systematické či sporadické odvodnění, atd. Mokřad je možné umísťovat rovněž v návaznosti na HOZ, přímo na něm (*on site*) či odbočkou (*off site*). Aspektům revitalizací HOZ se věnuje metodika Zajíček a kol. (2021).

B5. Vlastnicko-uživatelské vztahy

Zohlednění vlastnicko-uživatelských vztahů na pozemcích, na kterých se uvažuje o realizaci umělého mokřadu na odvodnění, je klíčové pro úspěšnou realizaci návrhu a rovněž je požadováno z pohledu dodržení související legislativy. Samozřejmě je nutné připravit návrh parametrů a umístění umělého mokřadu pro jeho efektivní fungování, nicméně je nutné minimalizovat konflikty mezi vlastnictvím a užíváním pozemku. Proto je – jako u jakéhokoliv opatření na stavbě odvodnění – zapotřebí posuzovat celé hydrologicky, pozemkově i uživatelsky související území a v návrhu se snažit požadavky dotčených subjektů účelně sladit. Vyjádření o souhlasu s navrhovaným umělým mokřadem jsou ostatně nezbytná pro související ohlášení, územní či vodoprávní řízení.

5. Proces schvalování

Pro realizaci umělého mokřadu (samostatně či se sdruženými objekty) ve vazbě na zemědělské odvodnění jsou potřeba vyjádření a povolení různých úrovní. Je zapotřebí si ujasnit a uvést:

- zda návrh počítá / nepočítá s technickým zásahem do stavby odvodnění (pokud ano, je vždy nutné vodoprávní projednání, podle charakteru zásahu s ohlášením nebo stavebním povolením)
- parametry; velikost a odhadovaná účinnost mokřadu/biofiltru,
- návrh nových technických objektů na stávajícím drenážním systému a/nebo na mokřadu (potrubí, rozdělovací šachta, šachta pro manipulaci s výškou hladiny vody v mokřadu, regulační prvky apod.)
- velikost plochy mokřadu a zamýšlená poloha objektu; případná návaznost na recipient/vodní tok, potenciální konflikty s inženýrskými sítěmi, aj.
- vypořádání vlastnicko-uživatelských vztahů předmětného území a dotčených objektů stavby zemědělského odvodnění
- způsoby realizace (vypracování projektové dokumentace dle charakteru stavby) a následné způsoby zajištění provozu (zpracování manipulačního a provozního řádu, je-li vodoprávním úřadem vyžadováno)

Právní předpisy, podle kterých se postupuje

- Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon)
- Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách (vodní zákon)
- Zákon č. 500/2004 Sb., správní řád

Zákon č. 254/2001 Sb. - Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)

Podle zákona č. 254/2001 Sb., o vodách by tůň/mokřad dle § 55 neměla být vodním dílem, pokud nemá hráz, ani technické objekty - výpust, bezpečnostní přeliv apod.

§ 55 (odstavec 3)

(3) Za vodní díla se podle tohoto zákona nepovažují zejména jednoduchá zařízení mimo koryta vodních toků na pozemcích nebo stavbách k zachycení vody a k jejich ochraně před škodlivými účinky povrchových nebo podzemních vod, vodohospodářské úpravy, terénní úpravy, bezodtokové jímky včetně přítokového potrubí, vnitřní vodovody a vnitřní kanalizace, vodovodní a kanalizační přípojky, průzkumné hydrogeologické vrty, další zařízení vybudovaná v rámci geologických prací a vrty k využívání energetického potenciálu podzemních vod, pokud nedochází k čerpání nebo odběru podzemních vod.

Pozn.: Vždy je vhodné získat písemné vyjádření vodoprávního úřadu k zamýšlenému dílu.

Zákon č. 183/2006 Sb. - Zákon o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon)

Zákon č. 183/2006 Sb., stavební zákon stanoví, že tůň/mokřady do velikosti 300 m² a max. hloubky do 1,5 m nevyžadují rozhodnutí o změně využití území ani územní souhlas a ani stavební povolení či ohlášení.

Zákon č. 500/2004 Sb., Zákon ze dne 24. června 2004 správní řád

Tento zákon upravuje postup orgánů moci výkonné, orgánů územních samosprávných celků¹⁾

PŘÍTOMNOST INŽENÝRSKÝCH SÍTÍ

Prověření existence inženýrských sítí je důležité zejména při strojním hloubení. Je to důležité z hlediska bezpečnosti (plyn, elektřina), tak z hlediska omezení způsobených škod, které se mohou vyšplhat i do mnoha milionů korun (optické kabely). Riziko podcenění této povinnosti stavebníka hrozí právě u menších staveb, nebo u zásahů do stávajících podzemních částí melioračních staveb (jejich oprav, úprav).

Aplikace UtilityReport

Aplikace UtilityReport usnadní práci spojenou s vyjádřením k existenci sítí. Je vytvořena žádost o vyjádření pro všechny relevantní subjekty technické infrastruktury pomocí jednoho formuláře.

Jde to snadno, hromadně a online, což ušetří spoustu času. UtilityReport již podporuje 9 krajů, více než 500 měst a obcí po celé ČR a významné subjekty technické infrastruktury, které pomáhají elektronizaci služby.

<https://utilityreport.eu/cs/NewRequest>

V území, kde není služba dostupná je nutné individuální oslovení potenciálních správců sítí.

Elektřina

ČEZ Distribuce, ČEZ ICT Services a Telco Pro Services

Informace o průběhu sítí a poloze zařízení pro žadatele z řad investorů a veřejnosti od společností ČEZ Distribuce, ČEZ ICT Services a Telco Pro Services. Sdělení v elektronické podobě jsou poskytována zdarma.

<https://geoportal.cezdistribuce.cz/Geoportal.ses/ves.aspx>

Sdělovací kabely

CETIN a.s.

Poskytování údajů o poloze sítě elektronických komunikací (SEK)

<https://www.cetin.cz/web/dokumentace-site/zadani-zadosti-o-vyjadreni>

Plyn

GasNet, s.r.o. (obdobně fungují místně příslušné společnosti)

Stanovisko k NEplynárenské stavbě – jde o stanovisko, které **NEŘEŠÍ** plynofikaci stavby, ale řeší provedení stavební činnosti v ochranném a bezpečnostním pásmu plynárenských zařízení (výstavba inž. sítí, novostavby RD včetně jejich demolicí, komunikace, atd.). Žádost o stanovisko podejte, prosíme, prostřednictvím elektronické žádosti.

<https://dpo.gasnet.cz/zadost-o-stanovisko>

Vodovody a kanalizace

Vyjádření k existenci sítí, k projektové dokumentaci pro územní nebo stavební řízení, k záměru změny velikosti vodoměru, k likvidaci odpadních vod a k ostatním investičním záměrům

POSTUP PROCESOVÁNÍ

Kdo je oprávněn v této věci jednat

- Fyzická osoba
- Fyzická osoba oprávněná k podnikání
- Právnícká osoba
- a to přímo nebo prostřednictvím druhé osoby na základě plné moci

Jaké jsou podmínky a postup pro řešení

Posouzení vodoprávního úřadu, zda jde o vodní dílo či nikoliv.

ANO / NE

Varianta A – jedná se o vodní dílo (dle Vodního zákona, viz výše)

V případě vodního díla je nutné požádat o povolení k nakládání s vodami.

- povolení k akumulaci u nádrží napájených podzemní, povrchovou, příp. srážkovou vodou,
- povolení k jinému nakládání a akumulaci u nádrží bočních, napájených z vodního toku,

- povolení ke vzdouvání a akumulaci u nádrží průtočných, které leží přímo na vodním toku.

A.1 Na které instituce se obrátit

Příslušný Městský úřad

Odbor stavebního úřadu a životního prostředí - oddělení vodoprávního úřadu a životního prostředí.

A.2 Jakým způsobem zahájit řešení

Podáním písemné žádosti na formuláři, jehož obsahové náležitosti jsou stanoveny vyhláškou č. 432/2001 Sb., včetně dokladové části, projektovou dokumentaci dle vyhlášky č. [499/2006 Sb.](#) a doklady, které jsou uvedeny na konci formulářů.

A.3 Jaké jsou potřebné formuláře a kde jsou k dispozici

- Žádost o povolení k nakládání s povrchovými nebo podzemními vodami nebo o jeho změnu
- Žádost o stavební povolení k vodním dílům

Potřebný formulář je uveden v příloze vyhl. [č. 432/2001 Sb.](#), k vyzvednutí v kancelářích vodoprávního úřadu, na webových stránkách města nebo webových stránkách Ministerstva zemědělství ČR, v sekci vodní hospodářství.

A.4 Jaké jsou poplatky a jak je lze uhradit

3000 Kč podle položky 17 písmeno i) zákona [č. 634/2004 Sb.](#), o správních poplatcích, ve znění pozdějších předpisů.

A.5 Jaké jsou lhůty pro vyřízení

Dle §115 vodního zákona standardně 30-60 dnů, ve složitých případech až 90 dnů.

A.6 Kteří jsou další účastníci (dotčení) řešení životní situace

Vlastníci pozemků a staveb, jejichž práva mohou být záměrem dotčena:

- obecně jsou to majitelé pozemků sousedících s pozemkem dotčeným stavbou,
- dotčení správci inženýrských sítí,
- správce dotčeného toku, správce povodí,
- AOPK
- popř. občanská sdružení.

- či další DOSS (Archeologický ústav AV ČR, Praha, v. v. i., atd.)

A.7 Jaké jsou opravné prostředky a jak se uplatňují

Odvolání proti rozhodnutí dle § 81 a § 82 zákona [č. 500/2004 Sb.](#), správní řád, ve znění pozdějších předpisů, ke Krajskému úřadu Zlínského kraje, Odboru životního prostředí a zemědělství, prostřednictvím zdejšího vodoprávního úřadu.

A.8 Jaké sankce mohou být uplatněny v případě nedodržení povinností

Pokuty za nepovolené nakládání s vodami: Fyzické osoby - do 100.000,- Kč (§ 116 vodního zákona)

Právnícké osoby - do 500 000,- Kč (§ 125a vodního zákona)

Pokuty za nepovolenou stavbu:

Občané i právnícké osoby do 1 000 000,- Kč (§ 179 a 181 stavebního zákona)

Varianta B – nejedná se o vodní dílo

V případě, že se nejedná o vodní dílo je řešení vázáno na velikost tůně / mokřadu, do velikosti 300 m² a max. hloubky do 1,5 m nevyžadují rozhodnutí o změně využití území ani územní souhlas a ani stavební povolení či ohlášení. V případě překročení velikosti je procesováno přes rozhodnutí o změně využití území – případně je postupováno dle varianty A.

Upozornění: Předpokladem pro oprávněné použití této varianty je, že nedochází ke konfliktu (překryvu, křížení apod.) s jinou, stávající stavbou – může jít o stavbu podzemní, např. meliorační – a v takovém případě nelze postupovat dle varianty B. Na tuto skutečnost by měl upozornit vodoprávní/stavební úřad, majitel sousedních pozemků, který o takové stavbě ví apod.

B.1 Na které instituce se obrátit

Příslušný Městský úřad

Odbor stavebního úřadu a životního prostředí - oddělení vodoprávního úřadu a životního prostředí.

B.2 Jakým způsobem zahájit řešení

Podáním písemné žádosti na formuláři, jehož obsahové náležitosti jsou stanoveny vyhláškou č. 432/2001 Sb., včetně dokladové části, projektovou dokumentací dle vyhlášky č. [499/2006 Sb.](#) a doklady, které jsou uvedeny na konci formulářů.

6. Legislativa ke stavbám odvodnění

Stavby k vodohospodářským melioracím pozemků (odvodnění, závlahy) jsou vodohospodářskými stavbami podle zákona č. 254/2001 Sb., o vodách i podle zákona č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu.

Stavby k odvodnění zemědělských pozemků se pro účely zákona č. 254/2001 člení na hlavní odvodňovací zařízení (HOZ) a podrobná odvodňovací zařízení (POZ). Bližší specifikace těchto zařízení je předmětem vyhlášky č. 225/2002 Sb., o podrobném vymezení staveb k vodohospodářským melioracím pozemků a jejich částí a způsobu a rozsahu péče o ně. Dle úpravy legislativy po roce 1989 (zejména dle § 14 a 15 Zák. č. 229/1991 Sb., dle § 126 odst. 3 Zák. č. 254/2001 Sb., dle § 506 Zák. č. 89/2012 Sb.) patří fyzicky POZ vlastníkovi pozemku.

V roce 2016 byla vydaná [metodika](#) vymezení krajinného prvku typu mokřad. V aktuálním znění vytváří metodika potenciální konflikt mezi vlastnictvím a užíváním pozemku přiznáním finanční podpory v rámci přímých plateb, avšak za nesprávného postupu jeho vymezení v evidenci půdy podle uživatelských vztahů v LPIS. V metodice je uvedeno, že "Mokřady ... vznikají ... v místech ... při vyústění odvodňovacích soustav nebo v místě průsaku vlivem jejich poškození či ucpání." Zejména v případech, kdy je příčinou vzniku mokřadu porucha stavby odvodnění, bude ve vodnějších obdobích pravděpodobně poškozena funkce celé stavby. Přitom za funkčnost stavby odpovídá vlastník pozemku. I v případě, že se pronajímatel (tj. subjekt čerpající přímou platbu) s majitelem pozemku o zřízení mokřadu domluví (v některých případech jsou oba subjekty totožné), je třeba odstranění stavby vodoprávně (případně územně) projednat.

Pro tyto případy lze tedy shrnout: Zřízení krajinného prvku musí být v souladu s pravidly ochrany jím dotčených dalších systémů, opatření a staveb (pozemních, dopravních, vodohospodářských, melioračních a jiných), resp. ochrany vlastnických práv k pozemku. Pokud tuto ochranu narušuje, nemůže být krajinný prvek typu mokřad zřízen ani evidován (viz např. zákon č. 254/2001 Sb. o vodách, §56 odst. 4b, 4c ; zákon 89/2012 Sb. občanský zákoník, § 1013 odst. 1, §1019 odst. 1 atd.).

7. Možnosti dotací

Níže uvedené dotační tituly jsou vypisované Ministerstvem zemědělství či Ministerstvem životního prostředí či Státním fondem životního prostředí. Aktuálně se řada dotačních titulů mění (červen 2021) a proto uvádíme poslední známá znění.

Dotační tituly na podporu mokřadů, tůní, malých vodních nádrží

Program rozvoje venkova 2014 – 2020

i. Opatření M04 Investice do hmotného majetku - 4.3.1 Pozemkové úpravy

Operace je zaměřena na podporu investic do infrastruktury související s rozvojem, modernizací nebo přizpůsobením se zemědělství a lesnictví. V rámci pozemkových úprav jsou realizovány plány společných zařízení, což jsou opatřená zajišťující zpřístupnění opatření k ochraně životního prostředí a zachování krajinného rázu, zvýšení ekologické stability krajiny, protierozní, protipovodňová opatření pro ochranu půdního fondu a vodohospodářská opatření.

ii. Opatření M08 Investice do rozvoje lesních oblastí a zlepšování životaschopnosti lesů - 8.3.1 Zavádění preventivních opatření v lesích

Operace je zaměřena na realizaci preventivních opatření před povodňovými situacemi. V rámci této operace jsou podporovány projekty malého charakteru na retenci vody, např. retenční nádrže nebo opatření na zpomalení odtoku vody a snížení odnosu splavenin zpomalením rychlosti vody prostřednictvím hrazení bystřin nebo stabilizací strží. Opatření jsou zacílena na pozemky určené k plnění funkcí lesa (PUPFL) na území celé České republiky mimo Prahu a vodní toky, popř. jejich části a vodní útvary, které se nacházejí v rámci PUPFL.

Operační program Životní prostředí 2014 - 2020

i. Prioritní osa 1

V rámci prioritní osy 1 „Zlepšování kvality vody a snižování rizika povodní“, specifického cíle 1.3 „Zajistit povodňovou ochranu intravilánu a hospodaření se srážkovými vodami“,

aktivity 1.3.1 „Zprůtočnění nebo zvýšení retenčního potenciálu koryt vodních toků a přilehlých niv, zlepšení přirozených rozlivů“ jsou podporována např. následující opatření:

- realizace opatření podporujících přirozený tlumivý rozliv povodní v nivách (např. snížení kapacity koryta a rozliv do údolní nivy, vytváření povodňových koryt, tůní),
- zvýšení členitosti a zlepšení morfologie koryta vodních toků; na některých místech s tvorbou mokřin a tůní,

aktivity 1.3.3 „Obnovení, výstavba a rekonstrukce, případně modernizace vodních děl sloužící povodňové ochraně“ jsou podporována např.:

- obnova, výstavba a rekonstrukce ochranných nádrží (suchých nádrží, retenčních nádrží, poldrů);
- vybudování nebo rekonstrukce bezpečnostních přelivů na stávajících vodních nádržích včetně technických objektů souvisejících s bezpečností vodního díla a odstranění sedimentů za účelem zvýšení objemu nádrže určeného k akumulaci vody.

ii. Prioritní osa 4

V rámci prioritní osy 4 „Ochrana a péče o přírodu a krajinu“, specifického cíle 4.3 „Posílit přirozené funkce krajiny“,

aktivity 4.3.2 „Vytváření, regenerace či posílení funkčnosti krajinných prvků a struktur“

- vytváření a obnova vodních prvků s ekostabilizační funkcí (např. tůní, mokřadů a malých vodních nádrží, které neslouží k chovu ryb nebo slouží jenom k takovému chovu ryb, který neoslabí ekologické funkce nádrží) včetně nepravidelně zaplavovaných území (např. lužních lesů).

Operační program Životní prostředí 2021 – 2027

Aktuálně je připravováno budoucí programové období, ve kterém se počítá s podporou podobných opatření jako v současném OPŽP 2014 – 2020. Opatření mokřady, tůně, rybníky by měly být řešeny v rámci specifického cíle 1.3 „Podpora přizpůsobení se změnám klimatu, prevence rizik a odolnosti vůči katastrofám“. Vyhlášení prvních výzev v rámci OPŽP 2021 - 2027 je plánováno v průběhu 2021 - 2022.

IV) Srovnání „novosti postupů“

Tato certifikovaná metodika přináší v rámci navrhování, dimenzování a přípravy realizace umělých mokřadů ve vazbě na stavby odvodnění inovativní postupy z hlediska detekce drenážních staveb, možných zásahů do nich a pravidel pro minimalizaci konfliktů zájmů vodohospodářských, zemědělských, ochrany přírody a to ve vazbě na majetkoprávní aspekty. Metodika přináší multidisciplinární pohled, kdy propojuje obory hydrologie, hydrochemie, krajinné inženýrství a navrhování biotechnických opatření s aspekty jakosti drenážních vod. Metodika čerpá z rozsáhlých zkušeností a výsledků Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy, poznatků ČZU, provozních a aplikovaných realizací společnosti Dekonta, a.s., a tyto dovednosti propojuje.

Předkládaná metodika nemá ambice nahrazovat řadu již zpracovaných podkladů pro vytváření přírodě blízkých mokřadů, tůní či jejich obnovu, ale věnuje se speciálnímu, ale stále častěji poptávanému tématu, zásadám a postupům pro navrhování těchto objektů ve vazbě na systémy zemědělského odvodnění s důrazem na aspekty jakosti vod.

V) Popis uplatnění Certifikované metodiky

Uplatnění metodiky se předpokládá ve vodohospodářské projekční a realizační praxi při navrhování opatření v rámci pozemkových úprav či jiných programech. Využít metodiku mohou subjekty, zabývající se navrhováním či realizací mokřadních systémů pro čištění kontaminovaných vod nebo tato zařízení provozují.

Poznatky a postupy, uvedené v metodice, je možné a žádoucí využít zejména v povodích vodárenských zdrojů a v oblastech s intenzivním zemědělským využitím krajiny či zájmy ochrany přírody, kde je zlepšení jakosti vody jednou z priorit udržitelného života.

VI) Ekonomické aspekty Certifikované metodiky

Zde představené metodické postupy umožňují návrh a realizaci umělého mokřadu, navazujícího na systém zemědělského odvodnění. Realizaci takového objektu by měla předcházet kompletní projektová příprava, která určí také finanční nákladnost realizace konkrétního objektu v dané lokalitě. Pro umělý mokřad uvedeného typu, s kapacitou čištění drenážní vody do cca $10 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ a předřazeným objektem pro retenci a pomalý odtok vody z epizodních odtoků s periodicitou do $N = 10$ let, lze celkové investiční náklady odhadnout mezi 0,6 – 3 mil. Kč, podle parametrů daného objektu (velikost a uspořádání, zemní práce, fólie a geotextilie, substrát, rozvodné potrubí a objekty, rostliny, atd.).

Odhadované průměrné náklady úpraven vody (regenerační sůl, popř. náklady na aktivní uhlí) se pohybují při snížení koncentrací dusičnanů z $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ na $15 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ kolem 3,2 Kč a na snížení koncentrací dusičnanů ze $100 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ na $43 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ kolem 6,3 Kč na 1 m^3 (dle informací z vodárenských podniků). Účinnost umělého mokřadu, navrženého dle této metodiky k odstranění dusičnanů z drenážních vod, dosahuje průměrně 65%, což znamená průměrnou úsporu nákladů na odstranění ekvivalentního podílu dusičnanů z 1 m^3 vody ve výši 9,5 Kč (ze 100 na $30 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} \text{ NO}_3$). Při hypotetickém (realitě řadě staveb odvodnění velmi blízkém) celoročním průměrném drenážním průtoku $0,25 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ to znamená vyčištění vody jedním systémem (z odvodněného pole o ploše cca 10 – 20 ha) v objemu $7\,884 \text{ m}^3$ / rok a úsporu na nákladech 74 898 Kč / rok a 748 980 Kč / 10 let.

Vhodně navržený a realizovaný umělý mokřad funguje obstojně také z hlediska efektivního odstraňování zemědělských pesticidů, zejména triazinových herbicidů a jejich metabolitů z drenážních vod. Účinnost odstranění těchto látek ve vhodně navržených a realizovaných umělých mokřadech se pohybuje mezi 20 – 90% a touto měrou může být posuzována úspora nákladů vodárenských technologií pro odstraňování pesticidů z vod, jako jsou reverzní osmóza, UV záření, pokročilé oxidační procesy (ozon/peroxid vodíku, ozon/UV záření) a sorpce pesticidů na granulovaném aktivním uhlí (GAU) v tlakových filtrech, které se pohybují v řádech jednotek až stovek mil. Kč.

Ekosystémové služby, ve smyslu zvyšování jakosti vody zemědělských povodí a zlepšování habitatových podmínek pro vodní a na vodu vázanou biotu, zde neuvádíme.

VII) Seznam použité související literatury

- ANTOŠ, V., POLÁCH, L., FUČÍK, P., HRABÁK, P., ŠUPÍKOVÁ, I., ZAJÍČEK, A., HEJDUK, T. 2021. Substráty pro nízkonákladové systémy k čištění kontaminovaných průmyslových a zemědělských vod. Certifikovaná metodika. ISBN 978-80-88323-52-5 (tištěná verze), ISBN 978-80-88323-53-2 (online pdf).
- ARHEIMER, B., PERS, CH. 2017. LESSONS learned? Effects of nutrient reductions from constructing wetlands in 1996–2006 across Sweden. *Ecological Engineering* 103, p. 404–414. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.01.088>
- BERGER, A.W., VALENCA, R., MIAO, Y., RAVI, S., MAHENDRA, S., MOHANTY, S.K. 2019. Biochar increases nitrate removal capacity of woodchip biofilters during high-intensity rainfall. *Water Research* 165, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115008>
- BLOWES, D. W.; ROBERTSON, W. D.; PTACEK, C. J.; MERKLEY, C. 1994. Removal of agricultural nitrate from tile-drainage effluent water using in-line bioreactors. *J. Contam. Hydrol.* 15, 207–221.
- BOCK, E., COLEMAN, B.S.L., EASTON, Z.M. 2018. Effect of biochar, hydraulic residence time, and nutrient loading on greenhouse gas emission in laboratory-scale denitrifying bioreactors. *Ecological Engineering* 120, p. 375–383. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.06.010>
- BRANGER, F., TOURNEBIZE, J., CARLUER, N., KAO, C., BRAUD, I., VAUCLIN, M. 2009. A simplified modelling approach for pesticide transport in a tile-drained field: The PESTDRAIN model. *Agricultural Water Management*, 96, p. 415 – 428. doi:10.1016/j.agwat.2008.09.005.
- BRUUN, J., PUGLIESE, L., HOFFMANN, C.C., KJÆRGAARD, C., 2016. Solute transport and nitrate removal in full-scale subsurface flow constructed Wetlands of various designs treating agricultural drainage water. *Ecological Engineering* 97: 88-97. doi: 10.1016/j.ecoleng.2016.07.010.
- CAMERON, S.G., SCHIPPER, L.A., 2010. Nitrate removal and hydraulic performance of organic carbon for use in denitrification beds. *Ecol. Eng.* 36, p. 1588–1595. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.03.010> .
- COLEMAN, B.S.L., EASTON, Z.M., BOCK, E.M. 2019. Biochar fails to enhance nutrient removal in woodchip bioreactor columns following saturation. *Journal of Environmental Management* 232, p. 490–498. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.074>
- CRUMPTON W.G., BAKER J.L., OWENS J., ROSE C., STENBACK J. 1995. Wetlands and streams as off-site sinks for agricultural chemicals. p. 49–52. In *Clean water—clean environment—21st century*. Vol. 1. Proc. Conf. Working Group on Water Quality, USDA, Kansas City, MO. 5–8 Mar. 1995. Am. Soc. of Agric. Eng., St. Joseph, MI.

- CURIE F., DUCHARNE A., BENDJOUDI H., BILLEN G. 2004. Testing a topographic index for quantifying wetlands denitrification in the Seine river basin. *Geophysical Research Abstracts* 6: 3856.
- DESTANDAU, F., IMFELD, G., ROZAN, A. 2013. Regulation of diffuse pesticide pollution: Combining point source reduction and mitigation in stormwater wetland (Rouffach, France). *Ecological Engineering* 60, p. 299–308.
- DINNES D.L., KARLEN D.L., JAYNES D.B., KASPAR T.C. HATFIELD J.L., COLVIN T.S., CAMBARDELLA, C.A. 2002. Nitrogen management strategies to reduce nitrate leaching in tile-drained midwestern soils. *Agronomy Journal* 94, p. 53–171.
- DOBIÁŠ J., KOŽELUH M., ZAJÍČEK A., FUČÍK P., LIŠKA M. 2018. Dynamika vyplavování pesticidních látek v povodí Čechtického potoka. *VTEI* 60(4):10-16. ISSN 0322-8916.
- DUFFKOVÁ, R., FUČÍK, P., PETRŮ, A., ZAJÍČEK, A. 2017. Sledování mokřadů s vazbou na zemědělské odvodnění pro analýzu jejich účinnosti v odbourání prostředků na ochranu rostlin ve vodách. *Studie pro Povodí Vltavy, státní podnik*; 65 s.
- CHRISTIANSON, L.E., SCHIPPER, L.A. 2016. Moving Denitrifying Bioreactors beyond Proof of Concept: Introduction to the Special Section. *J. Environ. Qual.* 45:757–761. doi:10.2134/jeq2016.01.0013.
- FUČÍK P., ZAJÍČEK A., DUFFKOVÁ R., KVÍTEK T. 2015. Water Quality of Agricultural Drainage Systems in the Czech Republic — Options for Its Improvement. In *Research and Practices in Water Quality Teang Shui Lee (ed.): 239-262. InTech. Kapitola v knize. ISBN 978-953-51-2163-3. <http://dx.doi.org/10.5772/59298>.*
- FUČÍK, P., ZAJÍČEK, A., LIŠKA, M., DOBIÁŠ, J., KOŽELUH, M., DUFFKOVÁ, R., KAPLICKÁ, M., VÁLEK, J., MAXOVÁ, J. 2017. Metodický postup pro monitoring dynamiky pesticidů v zemědělských drenážích a drobných vodních tocích. *Certifikovaná metodika*. 90 s. ISBN 978-80-87361-78-8.
- FUČÍK P., ZAJÍČEK A., KAPLICKÁ M., DUFFKOVÁ R., PETERKOVÁ J., MAXOVÁ J., TAKÁČOVÁ Š. 2017. Incorporating rainfall-runoff events into nitrate-nitrogen and phosphorus load assessments for small tile-drained catchments. *Water*, 9, 712. doi:10.3390/w9090712.
- GASSMANN M., OLSSON O., STAMM C., WEILER M., KÜMMERER K. 2015. Physico-chemical characteristics affect the spatial distribution of pesticide and transformation product loss to an agricultural brook. *Science of the Total Environment* 532, p. 733–743.
- GAULLIER, C., DOUSSET, S., BARAN, N., KITZINGER, G., COREAU, C. 2020. Influence of hydrodynamics on the water pathway and spatial distribution of pesticide and metabolite concentrations in constructed wetlands. *Journal of Environmental Management* 270, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110690>
- GREENAN, C. M.; MOORMAN, T. B.; PARKIN, T. B.; KASPAR, T. C.; JAYNES, D. B. 2009. Denitrification in wood chip bioreactors at different water flows. *J. ENVIRON. QUAL.* 38, 1664–1671

- GREIWE, J., OLSSON, O., KÜMMERER, K., LANGE, J. 2021. Pesticide peak concentration reduction in a small vegetated treatment system controlled by chemograph shape. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 25, 497–509; <https://doi.org/10.5194/hess-25-497-2021>
- GRAMLICH, A., STOLL, S., STAMM, C., WALTER, T., PRASUHN, V. 2018. Effects of artificial land drainage on hydrology, nutrient and pesticide fluxes from agricultural fields – A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 266, 84–99. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.04.005>
- HASSANPOUR, B., RIAZI, S.F., PLUER, E.G.M., GEOHRING, L.D., GUZMAN, C.D., STEENHUIS, T.S. 2020. Biochar acting as an electron acceptor reduces nitrate removal in woodchip denitrifying bioreactors. *Ecological Engineering* 149, <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105724> .
- HOFFMANN, C.C., ZAK, D., KRONVANG, B., KJAERGAARD, C., CARSTENSEN, M.V., AUDET, J. 2020. An overview of nutrient transport mitigation measures for improvement of water quality in Denmark. *Ecological Engineering* 155, doi 10.1016/j.ecoleng.2020.105863.
- CHEN, Z., CHEN, Y., VYMAZAL, J., KULE, L., KOŽELUH, M. 2017. Dynamics of chloroacetanilide herbicides in various types of mesocosm wetlands. *Science of the Total Environment*. 577, p. 386 – 394.
- CHESCHEIR, G.M., SKAGGRS, R.W., GILLIAM, J.W. 1992. Evaluation of wetland buffer areas for the treatment of pumped agricultural drainage water. *Trans of ASAE* 1: 175–182.
- JANEČEK, M. a kol. 2012. Ochrana zemědělské půdy před erozí. Certifikovaná metodika. 113 S. ISBN 978-80-87415-42-9.
- JANGLOVÁ, R.; KVÍTEK, T.; NOVÁK, P. 2003. Kategorizace infiltrační kapacity půd na základě geoinformatického zpracování dat půdních průzkumů. *Soil and Water Scientific Studies* 2003 (2): 61–81.
- JAYNES, D. B.; KASPAR, T. C.; MOORMAN, T. B.; PARKIN, T. B. 2008. In Situ Bioreactors and Deep Drain-Pipe Installation to Reduce Nitrate Losses in Artificially Drained Fields. *J. Environ. Qual.* 37, 429–436.
- JŮVA, K. 1957. Odvodňování půdy. Praha, 1957, 526 s.
- KARPUZCU, M.E., SEDLAK, D.L., STRINGFELLOW, W.T. 2013. Biotransformation of chlorpyrifos in riparian wetlands in agricultural watersheds: Implications for wetland management. *Journal of Hazardous Materials*, 244 – 245: 111 – 120.
- KASAK, K., KILL, K., PÄRN, J., MANDER, U. 2018. Efficiency of a newly established in-stream constructed wetland treating diffuse agricultural pollution. *Ecological Engineering* 119, p. 1–7.
- KATAKI, S., CHATTERJEE, S., VAIRALE, M. G., DWIVEDI, S.K., GUPTA, D.K. 2021. Constructed wetland, an eco-technology for wastewater treatment: A review on types of wastewater treated and components of the technology (macrophyte, biofilm and substrate). *Journal of Environmental Management* 283, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.111986> .

- KOVÁŘ P., HEŘMANOVSKÁ D., SŮVA, M. 2015. DES_RAIN_VARIABLE. Program sloužící k výpočtu návrhových dešťů a jejich průběhu. FŽP ČZU. <https://www.fzp.czu.cz/cs/r-6899-projekty-a-spoluprace-s-praxi/r-6924-aplikovane-vysledky/r-7329-software/des-rain-variable.html>
- KULHAVÝ, F., KULHAVÝ, Z., 2008. Navrhování hydromelioračních staveb. Technická knižnice ČKAIT. Ediční řada C. ISBN 978-80-87093-83-2. 432 stran.
- KULHAVÝ, Z., FUČÍK, P., TLAPÁKOVÁ, L. a kol. 2013. Pracovní postupy eliminace negativních funkcí odvodňovacích zařízení v krajině pro podporu žadatelů o PBO v Prioritních osách 1 a 6. MŽP. Certifikovaná metodika. 106 s. ISBN 978-80-7212-589-0.
- KULHAVÝ, Z., PELÍŠEK, I- a kol. 2017. Postupy pro dosažení udržitelnosti hydromelioračních opatření v podmínkách České republiky. Certifikovaná metodika. VÚMOP, v.v.i., 145 stran A 4, ISBN 978-80-87361-75-7.
- KVÍTEK, T., DOLEŽAL, F. 2003. Vodní a živinný režim povodí Kopaninského toku na Českomoravské vrchovině. Acta hydrologica slovac, roč. 4, č. 2, s. 255-264. ISSN 1335-6291.
- KVÍTEK, T., ŽLÁBEK, P., BYSTRICKÝ, V. FUČÍK, P., LEXA, M., GERGEL, J., NOVÁK, P., ONDR, P., 2009. Changes of nitrate concentrations in surface waters influenced by land use in the crystalline complex of the Czech Republic. Physics and Chemistry of the Earth. 34 (10):1474-7065. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2008.07.003>
- LAND, M., GRANÉLI, W., GRIMWALL, A., HOFFMANN, C.C., MITSCH, W.J., TONDERSKI, K.S., VORHOEVEN, J.T.A., 2016. How effective are created or restored freshwater Wetlands for nitrogen and phosphorus removal? A systematic review. Environmental Evidence 5, 9. doi: 10.1186/s13750-016-0060-0.
- LANGERGRABER, G. et al. 2020. Wetland Technology. Practical Information on the Design and Application of Treatment Wetlands. 190 p. ISBN: 9781789060171 (eBook).
- LEVERENZ, H.L., HAUNSCHILD, K., HOPES, G., TCHOBANOGLOUS, G., DARBY, J.L., 2010. Anoxic treatment wetlands for denitrification. Ecol. Eng. 36, p. 1544–1551.
- LIZOTTE, R.E. JR., SHIELDS, F.D., MURDOCK, J.N., KRÖGER R., KNIGHT S.S. 2012. Mitigating agrichemicals from an artificial runoff event using a managed riverine wetland. Science of the Total Environment, 427-428: 373 – 381.
- LOCKE, M.A., WEAVER, M.A., ZABLOTOWICZ, R.M., STEINRIEDE, R.W., BRYSON, C.T., CULLUM, R.F. 2011. Constructed wetlands as a component of the agricultural landscape: Mitigation of herbicides in simulated runoff from upland drainage areas, Chemosphere, 83, p. 1532 – 1538.
- LYU, T., ZHANG, L., XU, X., ARIAS, C.A., BRIX, H., CARVALHO, P.N. 2018. Removal of the pesticide tebuconazole in constructed wetlands: Design comparison, influencing factors and modelling. Environmental Pollution 233, p. 71-80. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.10.040>

- MAILLARD, E., LANGE J., SCHREIBER S., DOLLINGER J., HERBSTTRITT B., MILLET M., IMFELD G. 2016. Dissipation of hydrological tracers and the herbicide S-metolachlor in batch and continuous-flow wetlands. *Chemosphere*, 144: 2489-2496.
- MARVAL, Š., HEJDUK, T., VYBÍRAL, T., ZAJÍČEK, A., FUČÍK, P., VACEK, M., HÜBSCH, L., SÍTKOVÁ, V., MIKULÁŠ, P. 2020. Termografické snímkování pro účely identifikace drenážních výustí a znečištění povrchových vod. Certifikovaná metodika. 74 s. ISBN 978-80-88323-28-0 (tištěná verze), 978-80-88323-29-7 (online pdf).
- MITSCH, W.J. 1992. Landscape design and the role of created, restored and natural riparian Wetlands in controlling non-point source pollution. *Ecological Engineering* 1: 27-47.
- MITSCH, W.J., ZHANG, L., STEFANIK, K.C., NAHLIK, A.M., ANDERSON, C.J., BERNAL, B., HERNAN-DEZ, M.E., SONG, K., 2012. Creating wetlands: primary succession, water quality changes, and self-design over 15 years. *BioScience* 62 (3), 237–250.
- MLEJNSKÁ, E., ROZKOŠNÝ, M., BAUDIŠOVÁ, D. 2015. Optimalizace provozu a zvýšení účinnosti čištění odpadních vod z malých obcí pomocí extenzivních technologií. Výzkum pro praxi, Sešit 64. 161 s. ISBN 978-80-87402-44-3.
- NOVÁK, P.; FUČÍK P.; KULHAVÝ, Z.; ZAJÍČEK, A.; PELÍŠEK, I.; PTÁČNÍKOVÁ, L.; DOSTÁL, T.; KRÁSA, J.; BAUER, M.; PAVEL, M.; ROSENDORF, P.; KRÁTKÝ, M.; KVÍTEK, T. 2016. Příprava listů opatření typu A lokalit plošného zemědělského znečištění pro plány dílčích povodí. Metodický návod – identifikace kritických bodů a kategorizace lokalit ohrožených znečištěním z povrchových a podpovrchových plošných zemědělských zdrojů pro celé území České republiky v podrobnosti sloužící k tvorbě listů opatření typu A. Certifikovaná metodika. VÚMOP, v.v.i., 2016, 69 s.
- NOVOTNÝ, I., VOPRAVIL, J. a kolektiv. 2013. Metodika mapování a aktualizace bonitovaných půdně ekologických jednotek. VÚMOP, v.v.i., 174 s, ISBN 978-80-87361-21-4.
- POVILAITIS, A., MATIKIENĖ, J., VISMONTIENĖ, R. 2020. Effects of three types of amendments in woodchip-denitrifying bioreactors for tile drainage water treatment. *Ecological Engineering* 158, doi 10.1016/j.ecoleng.2020.106054.
- PUGLIESE, L., SKOVGAARD, H., MENDES, L., R., D., IVERSEN, B.V. 2020. Treatment of Agricultural Drainage Water by Surface-Flow Wetlands Paired with Woodchip Bioreactors. *Water*, 12, 1891; doi:10.3390/w12071891.
- ROBERTSON, W. D.; VOGAN, J. L.; LOMBARDO, P. S. 2008. Nitrate removal rates in a 15-year-old permeable reactive barrier treating septic system nitrate. *Gr. Water Monit. Remediat.* 28, 65–72.
- ROMAIN, V., DOUSSET, S., BILLET, D. 2015. Water residence time and pesticide removal in pilot-scale wetlands. *Ecological Engineering* 85, p. 76–84.
- SANDIN, M., PIKKI, K., JARVIS, N., LARSBO, M., BISHOP, K., KREUGER, J. 2018. Spatial and temporal patterns of pesticide concentrations in streamflow, drainage and runoff in a small Swedish

- agricultural catchment. *Science of the Total Environment* 610–611, p. 623–634.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.068>
- SCHRIMPELOVÁ, K., MALÁ, J. 2017. Náplně denitrifikačních bioreaktorů. *Vodní Hospodářství*, 3/2017.
- STEHLE, S. et al. 2011. Pesticide Risk Mitigation by Vegetated Treatment Systems: A Meta-Analysis. *J. Environ. Qual.* 40:1068–1080.
- STEIDL, J., KALLETKA, T., BAUWE, A. 2019. Nitrogen retention efficiency of a surface-flow constructed wetland receiving tile drainage water: A case study from north-eastern Germany. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 283; <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106577>
- STOATE, C., BOATMAN, N.D., BORRALHO, R.J., RIO CARVALHO, C., DE SNOO, G.R., EDEN, P., 2001. Ecological impacts of arable intensification in Europe. *J. Environ. Manage.* 63, p. 337–365.
<https://doi.org/10.1006/jema.2001.0473>
- ŠÁLEK J. A TLAPÁK V. 2006. Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod. Praha: ČKAIT, 2006, 283 s. ISBN 80-86769-74-7.
- ŠAFÁŘ, V., TLAPÁKOVÁ, L., 2018. Interpretace prvků drenážního systému z archivních leteckých měřických snímků pro management odvodněných ploch – certifikovaná metodika. VÚMOP, v.v.i., Praha, 2018. Číslo osvědčení 10/2018-SPU/O ISBN 978-80-85881-00-4.
- ŠEREŠ, M., HNÁTKOVÁ, T., STRUČOVSKÝ, T., CHALUPA, J. 2018. Testování směsného organického materiálu pro použití v denitrifikačních bioreaktorech. *Vodní hospodářství*, 1/2018; s. 13 - 15.
- ŠEREŠ, M., MOCOVALÁ, K., A., MORADI, J., KRIŠKA, M., KOČÍ, V., HNÁTKOVÁ, T. 2019. The impact of woodchip-gravel mixture on the efficiency and toxicity of denitrification bioreactors. *Science of The Total Environment* vol. 647, p. 888-894.
- ŠTIBINGER, J. KULHAVÝ, Z. 2010. Úpravy vodního režimu půd odvodněním. Odborná monografie, 108 stran. ISBN 978- 80-213-2132-8. Vydalo: ČZU Praha, FŽP, VÚMOP Praha-Zbraslav v. v. i.
- ŠUPÍKOVÁ, I., FUČÍK, P., HRABÁK, P., POLÁCH, L. ANTOŠ, V. 2019. Poloprovozní ověření účinnosti technologie anaerobně sorpčního biofiltru při čištění podzemních vod kontaminovaných organochlorovanými pesticidy. *Ověřená technologie*. 9. s.
- ŠVIHLA, V., DAMAŠKOVÁ, H., KYNCLOVÁ J., ŠIMŮNEK O., 1992. Výzkumný objekt Ovesná Lhota. Monografie. VÚMOP Praha, 156 stran.
- TANNER, C.C.; SUKIAS, J.P.S.; YATES, C.R. 2010. New Zealand guidelines: Constructed Wetland Treatment of Tile Drainage. NIWA Information Series No. 75. National Institute of Water & Atmospheric Research Ltd.
- TLAPÁKOVÁ, L., ČMELÍK, M., ŽALOUDEK J., KARAS J., 2016. Metodika identifikace drenážních systémů a stanovení jejich funkčnosti. VÚMOP, v.v.i., ISBN 978-80-87361-58-0.

- TOMER, M.D., JAMES, D.E., ISENHART, T.M. 2003. Optimizing the placement of riparian practices in a watershed using terrain analysis. *Journal of Soil and Water Conservation* 4, p. 198–206.
- TOURNEBIZE J., PASSEPORT E., CHAUMONT C., FESNEAU C., GUENNE A., VINCENT B. 2013. Pesticide de-contamination of surface waters as a wetland ecosystem service in agricultural landscapes. *Ecological Engineering*, 56: 51-59.
- TOURNEBIZE J., CHAUMONT C., MANDER, Ü. 2017. Implications for constructed wetlands to mitigate nitrate and pesticide pollution in agricultural drained watersheds. *Ecological Engineering* 103, p. 415–425.
- UUEMAA, E., HUGHES, A.O., TANNER, C.C. 2018. Identifying Feasible Locations for Wetland Creation or Restoration in Catchments by Suitability Modelling Using Light Detection and Ranging (LiDAR) Digital Elevation Model (DEM). *Water*, 10, 464; doi:10.3390/w10040464.
- VALLÉE, R., DOUSSET, S., BILLET, D. 2015. Water residence time and pesticide removal in pilot-scale wetlands. *Ecological Engineering* 85 (2015) 76–84.
- VAŠKŮ, Z. 2011. Zlo zvané meliorace. *Vesmír* 90. <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2011/cislo-7/zlo-zvane-meliorace.html>
- VYMAZAL, J., KRÖPFELOVÁ, L., 2005. Growth of *Phragmites australis* and *Phalaris arundinacea* in constructed Wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic. *Ecological Engineering* 25: 606-621. doi: 10.1016/j.ecoleng.2005.07.005.
- VYMAZAL, J., BŘEZINOVÁ, T. 2015. The use of constructed wetlands for removal of pesticides from agricultural runoff and drainage: A review. *Environment International* 75 (2015) 11–20.
- VYMAZAL, J., 2017. The use of constructed Wetlands for nitrogen removal from agricultural drainage: A review. *Scientia Agriculturae Bohemica* 48: 82-91. doi: 10.1515/sab-2017-0009.
- VYMAZAL, J., DVOŘÁKOVÁ BŘEZINOVÁ, T., 2018. Treatment of a small stream impacted by agricultural drainage in a semi-constructed wetland. *Science of the Total Environment* 643: 52-62. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.06.148.
- VYMAZAL, J., SKLENIČKA, P., KRŠŇÁK, J., DVOŘÁKOVÁ BŘEZINOVÁ, T., ČERNÝ PIXOVÁ, K., BIERHANZL, B. 2017. Umělé Mokřadní systémy pro snížení koncentrace dusíku a fosforu v povrchových vodách zemědělských krajín. *Certifikovaná metodika*. ISBN 978-80-213-2817-4.
- VYMAZAL, J., SOCHACKI, A., FUČÍK, P., ŠEREŠ, M., KAPLICKÁ, M., HNÁTKOVÁ, T., CHEN, Z. 2020. Constructed wetlands with subsurface flow for nitrogen removal from tile drainage. *Ecological Engineering* 155: 1-10. ISSN 0925-8574. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105943>
- ZAJÍČEK A., FUČÍK P., KAPLICKÁ, M., MAXOVÁ, J. 2017. Vyplavování pesticidních látek zemědělskou drenáží. *Rostlinolékař* 4 (2017), 24 – 28.

- ZAJÍČEK A., FUČÍK P., KAPLICKÁ M., LIŠKA M., MAXOVÁ, J., DOBIÁŠ J. 2018. Pesticide leaching by agricultural drainage in sloping, mid-textured soil conditions – the role of runoff components. *Water Science and Technology*, 77(7-8): 1879-1890. doi: 10.2166/wst.2018.068.
- ZAJÍČEK, A., DOSTÁL, T., KRÁSA, J., HEJDUK, T., FUČÍK, P., KULHAVÝ, Z., BAUER, M., PELÍŠEK, I., JÁCHYMOVÁ, B., DEVÁTÝ, J., ROSENDORF, P., PAVEL, M. 2018. Atlas plošného zemědělského znečištění vod v povodí Vltavy. VÚMOP 2018, 242 s. ISBN: 978-80-87361-85-6. Číslo osvědčení 70204/2018-MZE-15121. <https://atlasplv.vumop.cz/>
- ZAJÍČEK A., FUČÍK P., DUFFKOVÁ R., KAPLICKÁ M., MAXOVÁ J. 2019. Jakost drenážních vod a její potenciální vliv na vodní zdroje. *TZB-info* 2019(9):1. ISSN: 1801-4399. <https://voda.tzb-info.cz/vlastnosti-a-zdroje-vody/19500-jakost-drenaznich-vod-a-jeji-potencialni-vliv-na-vodni-zdroje>
- ZAJÍČEK, A., SYCHRA, L., VYBÍRAL, T., HEJDUK, T., ČMELÍK, M., FUČÍK, P., KAPLICKÁ, M. 2021. Návrhy revitalizačních opatření na hlavních a přilehlých podrobných odvodňovacích zařízeních. Certifikovaná metodika. ISBN 978-80-88323-54-9 (tištěná verze), 978-80-88323-55-6 (online pdf).

Legislativní předpisy

Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny

Zákon č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu, v platném znění

Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů

Vyhláška č. 471/2001 Sb., o technickobezpečnostním dohledu nad vodními díly

Vyhláška č. 225/2002 Sb., o podrobném vymezení staveb k vodohospodářským melioracím pozemků a jejich částí a způsobu a rozsahu péče o ně

Vyhláška č. 590/2002 Sb., o technických požadavcích pro vodní díla

Vyhláška č. 49/2011 Sb., o vymezení útvarů povrchových vod

Vyhláška č. 216/2011 Sb., o náležitostech manipulačních řádů a provozních řádů vodních děl

Nařízení č. 103/2003 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a o používání a skladování hnojiv a statkových hnojiv, střídání plodin a provádění protierozních opatření v těchto oblastech

Nařízení vlády č. 307/2014 Sb., o stanovení podrobností evidence využití půdy podle užitelských vztahů.

Základní technické normy

ČSN 75 0140 Meliorace – Terminologie eroze, hydromeliorace a rekultivace půdy

ČSN 75 4500 Protierozní ochrana zemědělské půdy

ČSN 75 4210 Hydromeliorace – Odvodňovací kanály

ČSN 75 4200 Hydromeliorace – Úprava vodního režimu zemědělských půd odvodněním

ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže;

ČSN 75 2415 Suché nádrže

ČSN 73 6815 Vodohospodářská řešení vodních nádrží

ČSN 73 6109 Projektování polních cest

TNV 75 4221 Regulace a retardace odtoku na zemědělských pozemcích odvodněných trubkovou drenáží

Další použité podklady

Standard „Vytváření a obnova tůní“

web: <https://standardy.nature.cz/res/archive/414/068339.pdf?seek=1552472666>

„Doporučení k projektům malých vodních nádrží“,

web: <https://strednicechy.ochranaprirody.cz/res/archive/213/071162.pdf?seek=1585907111>

VIII) Seznam publikací, které předcházely metodice

- FUČÍK, P., VYMAZAL, J., HNÁTKOVÁ, T., ŠEREŠ, M. 2018. A trial constructed wetland on agricultural drainage systems for enhancement of landscape's water residence time and improvement of water quality. 16th IWA International Conference Wetland Systems for Water Pollution Control, Valencia, Spain.
- FUČÍK P., ZAJÍČEK A. 2018. Seminář/Workshop Uměle vybudované mokřady na zemědělském odvodnění pro zvýšení retence vody v krajině a zlepšení její kvality. 14. 11. 2018 Obec Dehtáře. Projekt TH02030376
- FUČÍK P., ZAJÍČEK A., DUFFKOVÁ R., HEJDUK T. 2019. A top-down / bottom-up method for placement of wetlands on tile-drained farmland in Czechia: A conceptual approach. Poster na konferenci AGRO 2019, 17 – 21 June, 2019 Rhodes Island, Greece.
- FUČÍK, P. VYMAZAL, J., HNÁTKOVÁ, ŠEREŠ, M., T., KAPLICKÁ, M. 2020. Ověřená technologie pro provoz umělých mokřadů k čištění zemědělských drenážních vod. 13 s.
- ŠEREŠ, M., HNÁTKOVÁ, T., FUČÍK, P., VYMAZAL, J. 2020. Umělý mokřad pro retenci drenážních znečištěných vod a zlepšení jejich kvality. Užitiný vzor UV 34586, ÚPV Praha 24.11.2020.
- VYMAZAL, J., SOCHACKI, A., FUČÍK, P., ŠEREŠ, M., KAPLICKÁ, M., HNÁTKOVÁ, T., CHEN, Z. 2020. Constructed wetlands with subsurface flow for nitrogen removal from tile drainage. Ecological Engineering 155: 1-10. ISSN 0925-8574. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105943>

English abstract

This methodology presents principles and procedures for efficient design of constructed wetlands (and denitrification reactors, biofilters), treating water coming from agricultural tile drainage. It contains a brief description and characteristics of possible solutions for these wetlands (biofilters) and practical information for their implementation and management with regard to conditions in the Czech Republic. The procedures and experiences presented in this methodology come from a four-year research project (Czech Technology Agency No. TH02030376), conducted by the authors of this methodology. As part of this project, a research facility of a combined retention wetland for retention and gradual outflow and remediation of drainage waters was designed, implemented and operated in the Bohemian-Moravian Highlands. The retention object (dry pond) with a volume of 160 m³ was dimensioned to capture and transform Q₅; higher water amounts were safely transferred by a bypass to not to negatively affect the wetland. The three variants of the treatment wetlands situated below the pond were designed for a maximum flow of 3x0.75 l/s and thus for the total of 2.25 l/s water flow. Experimental wetlands were realized as horizontally flowed subsurface filters, with different water level above the substrate, each filled with mixture of matuted (6 months) 4-30 mm birch chips and 4 – 8 mm gravel (1:10), planted with common reeds (*Phalaris arundinacea*) and reed mannagrass (*Glyceria maxima*). The theoretical water retention time in the wetland was 23 hours for the maximum inflow, 84 hours for the average inflow. The real water transit time, determined by tracer tests, was 3 – 28 days, depending on the flow. At the inlet and outlet of the retention wetland, samples were taken to determine the water quality at regular 14-day intervals and also in rainfall-runoff episodes (ISCO automatic sampler). Nitrogen forms and selected pesticides were evaluated. The average whole-year efficiency of NO₃ removal in these treatment wetlands was after 3 years of operation around 65%, as related to concentration and flux of inflow drainage waters. For Metazachlor, the removal efficiency was around 70 - 95% for the parental compounds after 9 days and around 20% for various metabolites, during low drainage flows.

Citation:

Fučík P., Vymazal, J., Šereš, M., Hejduk, T., Hnátková, T., Sochacki, A., Kulhavý, Z., Zajíček, A., Zhen, Z., Duffková, R., Kaplická, M., Sítková, V., Poláková, V., Kukačka, J. 2021. Constructed wetlands on land drainage – principles for design, placement and operation for enhancement of water residence time and improvement of water quality – A certified methodology. Prague. ISBN 978-80-88323-50-1 (print version), ISBN 978-80-88323-51-8 (online pdf). In Czech.

Acknowledgement: This research was supported by project No. TH02030376, funded by Czech Technology Agency (TAČR) and Institutional support of VUMOP No. MZE-RO 0218.

Seznam obrázků

Obr. 1. Pro jakýkoli návrh opatření s vazbou na stavbu odvodnění je třeba identifikovat polohu a topologii drenáže a umět ji najít v terénu. Schéma: L. Tlapáková

Obr. 2. Příklad realizace mokřadu na stavbě odvodnění. Svodný drén v místě mokřadu byl řízeně přerušen; vtok vody z mokřadu zpět do drénu umožněn bezpečnostním přelivem (bílá vtoková roura); Foto: P. Fučík

Obr. 3. Zjednodušená vizualizace hlavních modelů původních příčin zamokření u staveb zemědělského odvodnění; dle ČSN 75 4200; modifikováno s ohledem na účel použití. Schéma: VÚMOP, v.v.i.

Obr. 4. Obecné schéma retenčního mokřadu s vazbou na systém odvodnění s předřazeným objektem pro zachycení, transformaci a pomalý odtok vyšších průtoků. 1 – samotné mokřadní pole; 2 – retenční objekt; 3 – recipient; DV – drenážní výúst, DS – drenážní systém; bp – bezpečnostní přeliv; t – těsnění; vhodné částečně odclonit mimo mokřad valem či průlehem; Schéma: VÚMOP, v.v.i.

Obr. 5. Schéma možného řešení horizontálního umělého mokřadu pro čištění drenážních vod s podpovrchovým tokem. Schéma: VÚMOP, v.v.i.

Obr. 6. Část projektové dokumentace soustavy mokřadů na svodném drénu; Plzeňsko (zdroj: SPÚ Plzeň); projektant použil dokumentaci ke stavbě odvodnění

Obr. 7, a,b. Zdařilá realizace kaskády tůní v horní a mokřadů s volnou hladinou v dolní části odvodněného pole na zatrubněném HOZ. Foto: P. Fučík

Obr. 8. Ortorektifikovaná projektová dokumentace a digitalizované linie drénů v předmětné lokalitě. Schéma: VÚMOP, v.v.i.

Obr. 9. Projektový výkres sdruženého objektu RM a umístění automatických vzorkovačů vod ISCO. Schéma: J. Kršňák & VÚMOP, v.v.i.

Obr. 10. Realizační práce na výzkumném objektu; květen 2018; Foto: P. Fučík

Obr. 11. Realizační práce na výzkumném objektu, červen 2018; Foto: P. Fučík

Obr. 12. Stav objektu v listopadu 2018; Foto: P. Fučík

Obr. 13. Schéma retenčního mokřadu s instalovanými ventily na drenážních potrubích. Schéma: Dekonta, a.s.

Obr. 14. Mořadní pole M1; patrná výrazně vyšší biomasa vegetace na přítoku do mokřadu ve srovnání s odtokovou zónou; Foto: J. Vymazal

Obr. 15. Odstranění NO_3^- v experimentálních mokřadech (data ze 14-denních odběrů)

Obr. 16. Odstranění TOC v experimentálních mokřadech (data ze 14-denních odběrů)

Obr. 17. Příklad vymezení Sdruženého Indexu Potřebnosti Opatření (SIPO) na třech jednotkách (úrovňích) v rámci povodí VN Švihov na Želivce; zleva: Vodní útvary, povodí iv. řádu, subpovodí

Seznam tabulek

Tab. 1. Charakteristiky jakosti drenážních vod ve vazbě na příčiny zamokření

Tab. 2. Parametry stopovacího testu na M1 – M3 (srpen, 2019)

Tab. 3. Snížení odnosů řízeně aplikovaného metazachloru experimentálními mokřady.

Prohlášení předkladatelů metodiky

Předkladatelé metodiky prohlašují, že zpracovaná metodika nezasahuje do práv jiných osob z průmyslového nebo jiného duševního vlastnictví.

Předkladatelé metodiky souhlasí s uveřejněním metodiky na webových stránkách Státního pozemkového úřadu a Ministerstva zemědělství.

T A
Č R

Technologická
agentura
České republiky



Výzkumný ústav meliorací
a ochrany půdy, v.v.i.



Česká zemědělská
univerzita v Praze

dekonta

Název	Metodiky pro navrhování umělých mokřadů v návaznosti na zemědělské odvodnění pro zlepšení jakosti vody
Autoři	Fučík, P., Vymazal, J., Šereš, M. a kolektiv
Vydal	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.
Vydání	6/2021
Počet stran	75
Náklad	150
Tisk	Rhodos spol. s r.o., Vyšehradská 51, 128 00 Praha 2
Distribuce	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. Žabovřeská 250, 156 27 Praha 5
ISBN	Tištěné: 978-80-88323-50-1 PDF: 978-80-88323-51-8