

**Identifikace kritických bodů odtoku vody a kategorizace jejich
přispívajících lokalit z hlediska potřebnosti návrhů opatření ke zvýšení
infiltrace, retence, akumulace a jakosti vod v zemědělských povodích na
území České republiky**



Certifikovaná metodika

2023

Antonín Zajíček, Tomáš Dostál, Roman Hanák, Tomáš Kvítek a kol.

IDENTIFIKACE KRITICKÝCH BODŮ ODTOKU VODY A KATEGORIZACE JEJICH
PŘÍSPÍVAJÍCÍCH LOKALIT Z HLEDISKA POTŘEBNOSTI NÁVRHŮ OPATŘENÍ
KE ZVÝŠENÍ INFILTRACE, RETENCE, AKUMULACE A JAKOSTI VOD
V ZEMĚDĚLSKÝCH POVODÍCH NA ÚZEMÍ ČESKÉ REPUBLIKY

Certifikovaná metodika

Zpracovali:

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



České vysoké učení technické v Praze



Sweco Hydroprojekt a.s.



Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka,
veřejná výzkumná instituce



Povodí Vltavy, státní podnik



AQUATIS a.s.



Česká geologická služba



Řešitelský kolektiv:

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. ¹⁾

(podíl 30 %, kapitoly I; 1;2.2; 3.2; 4.2; III; IV; V; VI)

Antonín Zajíček

Zbyněk Kulhavý

Petr Fučík

Tomáš Hejduk

Štěpán Marval

Pavel Novák

Igor Pelíšek

České vysoké učení technické v Praze ²⁾

(podíl 20 %, kapitoly 2.1; 3.1; 4.1)

Tomáš Dostál

Josef Krása

Miroslav Bauer

AQUATIS a.s. ³⁾

(podíl 20 %, kapitoly I; 3.3; 3.4; 4.3; 4.4; III; IV; VI)

Roman Hanák

Antonín Malý

Stanislav Ryšavý

Lea Kratochvílová

Sweco Hydroprojekt a.s. ⁴⁾

(podíl 5 %, kapitoly 2.1; 3.1; V)

Martin Pavel

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce ⁵⁾

(podíl 5 %, kapitoly 2.1; 2.2)

Pavel Rosendorf

Česká geologická služba ⁶⁾

(podíl 10 %, kapitoly 5.1; 5.2.; 5.3)

Jitka Novotná

Povodí Vltavy, státní podnik ⁷⁾

(podíl 10 %, kapitoly I; II; III; IV; V)

Michal Krátký

Tomáš Kvítek

¹⁾ Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Žabovřeská 250, 156 27 Praha 5

²⁾ České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 166 29 Praha 6

³⁾ AQUATIS a.s., Botanická 56, Brno 602 00

⁴⁾ Sweco Hydroprojekt a.s., Táborská 31, 140 16 Praha 4

⁵⁾ Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce, Podbabská 2582/30, Praha 6, 160 00

⁶⁾ Česká geologická služba, Jircháře 4a, Brno 602 00

⁷⁾ Povodí Vltavy, státní podnik, Holečkova 3178/8, 150 24 Praha 5

Citace:

Zajíček, A., Dostál, T., Hanák, R., Novotná, J., Kulhavý, Z., Krása, J., Ryšavý, S., Fučík, P., Pavel, M., Hejduk, T., Kratochvílová, L., Rosendorf, P., Bauer, M., Marval, Š., Malý, A., Novák, P., Pelíšek, I., Krátký, M., Kvítek, T., (2023): Identifikace kritických bodů odtoku vody a kategorizace jejich přispívajících lokalit z hlediska potřebnosti návrhů opatření ke zvýšení infiltrace, retence, akumulace a jakosti vod v zemědělských povodích na území České republiky. Certifikovaná metodika. 84 s. ISBN 978-80-88323-74-7 (tištěná verze), 978-80-88323-75-4 (online pdf), osvědčení č. MZE-32953/2023-15121

Recenzovali:

Ing. Miroslav Tesař, CSc. - Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, v. v. i., Pod Paťankou 30/5, 166 12 Praha 6

RNDr. Svatopluk Šeda – FINGEO s.r.o., Litomyšlská 1622, 565 01 Choceň

Mgr. Petr Ferbar – Povodí Labe, státní podnik, Odbor péče o vodní zdroje, Víta Nejedlého 951/8, 500 03 Hradec Králové

Mgr. Ladislav Faigl – Ministerstvo zemědělství ČR, Úsek vodního hospodářství – Odbor vodohospodářské politiky a protipovodňových opatření, Těšnov 65/17, Praha 1, 110 00

Poděkování:

Certifikovaná metodika vznikla v rámci smluvního výzkumu při plnění zakázky *“Příprava listů opatření typu A v povodí VN Švihov na Želivce ke zlepšení jakosti a zvýšení retence vody“*, jejímž zadavatelem je Povodí Vltavy, státní podnik. Zároveň vznikla na základě podpory výzkumného projektu QK21010341 *„Optimalizace souboru opatření pro zemědělská povodí v rámci procesu pozemkových úprav“* a v rámci institucionální podpory MZE-RO0218 *„Dlouhodobá koncepce rozvoje výzkumné organizace“*.

Poznámka:

Tato certifikovaná metodika přináší postupy pro identifikaci kritických bodů jednotlivých zdrojů zrychleného odtoku a znečištění vod, včetně kategorizace jejich přispívajících lokalit. Aktualizuje a rozšiřuje metodiku Novák et al. (2016), zpracovanou v rámci projektu *„Příprava listů opatření typu A lokalit plošného zemědělského znečištění pro plány dílčích povodí“* (2015–2019), jehož zadavatelem bylo Povodí Vltavy, státní podnik. Aktualizace se týká metod pro kategorizaci lokalit podpovrchového (drenážního) odtoku a souvisejícího znečištění. Rozšíření spočívá i v zahrnutí dalších typů zdrojů odtoku a znečištění vod v podobě rychlého odtoku z polních cest a lesních pozemků. Zároveň byla do metodiky zahrnuta problematika efektivního a bezpečného zasakování srážkových vod k podpoře tvorby podzemní vody.

Tato metodika je doplněna katalogem opatření zpracovaným do podoby ověřené technologie, ve kterém jsou specifikována jednotlivá opatření a jejich systémy, a to v detailu použitelném pro přípravu Listů opatření typu A, popř. pro projektování retenčních a akumulčních opatření v jiných studiích a projektech, např. i v KPÚ v období zvyšující se evapotranspirace a evaporace.

Metodiku schválilo pro využití v praxi Ministerstvo zemědělství ČR, osvědčením čj. MZE-32953/2023-15121 ze dne 18. 5. 2023.

V roce 2023 v nákladu 200 ks / Povodí Vltavy, státní podnik.

Tisk: Powerprint, s.r.o., Brandejsovo nám. 1219/1, 165 00 Praha 6,

Vydání: první, 2023

ISBN 978-80-88323-74-7

© Povodí Vltavy, státní podnik, Holečkova 3178/8, 150 24 Praha 5

OBSAH

I. Cíl metodiky	10
II. Vlastní popis metodiky	11
1. Úvod do problematiky	11
2. Charakteristika problému	12
2.1 <i>Povrchové zdroje odtoku a znečištění</i>	<i>12</i>
2.2 <i>Podpovrchové zdroje odtoku a znečištění</i>	<i>14</i>
3. Identifikace kritických bodů odtoku vody	18
3.1 <i>Metodický postup identifikace kritických bodů drah soustředěného odtoku a povrchového plošného zemědělského znečištění</i>	<i>26</i>
3.1.1 Použité metody	26
3.1.2 Datové podklady	27
3.1.3 Pracovní postup v GIS k určení kritických bodů	27
3.2 <i>Metodický postup identifikace kritických bodů podpovrchového odtoku a plošných zdrojů zemědělského znečištění</i>	<i>29</i>
3.2.1 Použité metody	29
3.2.2 Datové podklady	29
3.2.3 Pracovní postup v GIS k určení kritických bodů	29
3.3 <i>Metodický postup identifikace kritických bodů drah soustředěného odtoku – přímého odtoku z lesních půd</i>	<i>31</i>
3.3.1 Použité metody	31
3.3.2 Datové podklady	31
3.3.3 Pracovní postup v GIS k určení kritických bodů	31
3.4 <i>Metodický postup identifikace kritických bodů odtoku na cestní síti</i>	<i>33</i>
3.4.1 Použité metody	33
3.4.2 Datové podklady	33
3.4.3 Pracovní postup v GIS k určení kritických bodů	33
4. Kategorizace lokalit ohrožených zrychleným odtokem a znečištěním z povrchových a podpovrchových plošných zemědělských zdrojů pro celé území České republiky	34
4.1 <i>Metodický postup kategorizace lokalit ohrožených zrychleným odtokem a znečištěním z povrchových plošných zemědělských zdrojů pro celé území České republiky</i>	<i>36</i>
4.1.1 Použité metody	36
4.1.2 Postup výpočtu transportu splavenin a erozního fosforu	37
4.1.3 Postup kategorizace lokalit ohrožených zrychleným odtokem a znečištěním z povrchových plošných zemědělských zdrojů	38

4.1.3.1	Kategorizace lokalit dle kritických bodů úrovně A1	38
4.1.3.2	Kategorizace lokalit dle kritických bodů úrovně A2	39
4.1.3.3	Kategorizace lokalit dle kritických bodů úrovně A3	40
4.1.4	Klasifikace významnosti rizik pro kritické body podle jednotlivých hodnocených parametrů	41
4.2	<i>Metodický postup kategorizace lokalit ohrožených zrychleným odtokem a znečištěním z podzemních plošných zemědělských zdrojů.....</i>	44
4.2.1	Použité metody.....	44
4.2.2	Metoda indexového hodnocení	44
4.2.2.1	Princip použitých metod a popis výpočetního postupu	44
4.2.1.2	Vstupní data	45
4.2.1.3	Postup výpočtu jednotlivých indexů	46
4.2.2.2	Doporučené mezní hodnoty jednotlivých indexů pro stanovení stupňů rizika 48	
4.2.1.5	Automatizace postupu kategorizace	50
4.3	<i>Metodický postup kategorizace lokalit, kde dochází k ohrožení orné půdy odtokem z lesa pro celé území České republiky</i>	50
4.3.1	Použité metody.....	50
4.4.1.1	Stanovení objemu přímého odtoku	51
4.4.1.2	Stanovení kulminačního průtoku	52
4.3.2	Datové podklady	53
4.3.3	Kategorizace lokalit.....	53
4.3.4	Význam výsledků, návaznost na ostatní provedené hodnocení	54
4.4	<i>Metodický postup výběru a kategorizace cestní sítě v povodí pro návrh opatření k retenci a akumulaci vody pro celé území České republiky</i>	55
4.4.1	Použité metody.....	55
4.4.2	Datové podklady	56
4.4.3	Kategorizace lokalit.....	57
4.4.4	Návaznost na ostatní hodnocení – metodické postupy.....	58
5.	Hodnocení vhodnosti půdy a hydrogeologického prostředí z hlediska vsaku srážkových vod	59
5.1	<i>Hodnocení infiltrační schopnosti půdy.....</i>	59
5.1.1	Metodický přístup	59
5.1.2	Kategorizace lokalit.....	60
5.1.3	Doporučený postup	63
5.2	<i>Hodnocení hydrogeologického prostředí z hlediska vsaku srážkových vod.....</i>	64
5.2.1	Metodický přístup	64
5.2.2	Kategorizace lokalit.....	66

5.2.3	Doporučený postup	68
5.3	<i>Doporučený postup pro rozhodovací proces při aplikaci vhodného opatření na podporu infiltrace:</i>	68
III.	Srovnání „novosti postupů“	70
IV.	Popis uplatnění Certifikované metodiky	71
V.	Ekonomické aspekty	71
VI.	Závěr.....	73
	Seznam použitých podkladů.....	74
	Seznam tabulek.....	81
	Seznam obrázků	81
	Seznam odborných podkladů, které předcházely metodice	82
	Certifikační doložka	83

Seznam použitých zkratek a symbolů

BPEJ	B onitovaná P ůdně E kologická J ednotka
CN	C urve N umber (číslo odtokové křivky)
ČOV	Č istírna O dpadních V od
ČHMÚ	Č eský H ydro M eteorologický Ú stav
ČSN	Č eská S tátní N orma
ČZU	Č eská Z emědělská U niverzita v P raze
ČZÚK	Č eský ú řad z eměměřický a k atastrální
DIBAVOD	D igitální B áze V ODohospodářských D at
DMT	D igitální M odel T erénu
DMR4G	D igitální M odel R eliéfu Č eské republiky 4. G enerace
DVT	D robný V odní T ok
DZES	S tandardy D obrého Z emědělského a E nvironmentálního S tavu p ůdy
GAEC	G ood A gricultural and E nvironmental C onditions
GIS	G eografický I nformační S ystém
HEIS	H ydro E kologický I nformační S ystém
HL	H loubka p ůd
HOZ	H lavní O dvodňovací Z ařízení
HPJ	H lavní P ůdní J ednotka
HPV	H ladina P odzemní V ody
HSP	H ydrologická S kupina P ůd
KB_{dif}	K ritický B od p lošného z nečištění (difuzního z nečištění)
LDF	L angův D ešťový F aktor
LPIS	L and P arcel I dentification S ystem
MUSLE	M odified U niversal S oil L oss E quation
MZe	M inisterstvo Z emědělství
MŽP	M inisterstvo Ž ivotního P rostředí
NL	N erozpuštěné L átky
NRCS	N atural R esources C onservation S ervice
N-NO₃	d usičnanový d usík
N-NH₄	a moniakální d usík
OS ZVHS	v rstva e vidovaných s taveb o dvodnění, z pracovaná Z VHS
P_{celk}	c elkový f osfor
PEO	P rotierozní O patření
POZ	P odrobné O dvodňovací Z ařízení
RRD	R ychle R ostoucí D řeviny
SCS	S oil C onservation S ervice
shp	s hapefile
TTP	T rvalé T ravní P orosty
USLE	U niversal S oil L oss E quation
VN	V odní N ádrž
VUV T.G.M	V ýzkumný Ú stav V odohospodářský T. G. M asaryka, v eřejná v ýzkumná i nstituce
WMS	W eb M ap S ervices
WFD	W ater F ramework D irective
ZABAGED	Z ákladní B áze G eografických D at Č eské republiky
ZVHS	Z emědělská V odo H ospodářská S práva

I. Cíl metodiky

Zrychlený odtok vody z krajiny a zvýšené koncentrace transportovaných živin a pesticidů jsou dlouhodobým problémem adaptace krajiny České republiky na klimatickou změnu.

Spojovacím článkem řešení výše uvedených problémů je zvýšení infiltrace, retence, a akumulace a vody v povodí a krajině. Čím je větší zadrženi vody, tím větší je možnost sorpce a degradace pesticidů, denitrifikace dusičnanů, a zároveň zachycení erozních smyvů v ploše povodí. Zvýšení retenční schopnosti zemědělské půdy pomocí přírodě blízkých a drobných technických opatření povede ke snížení objemu a rychlosti odtoku, ke snížení eroze, zvýšení jakosti vody, snížení eutrofizace, zvýšení infiltrace a dále i ke zvýšení zásob podzemních vod.

Plošný odtok povrchový i podpovrchový není generován stejnoměrně v ploše celého povodí. Heterogenita půdních, geomorfologických podmínek, zemědělského využití půdy, přítomnosti a intenzity zemědělského odvodnění a zastoupení trvalých vodních ploch v území způsobuje, že různé části povodí mají různý podíl na tvorbě plošného odtoku a vyplavování polutantů do povrchových a podzemních vod. Zároveň se v různých lokalitách uplatňují různé plošné zdroje odtoku a znečištění vod – povrchové ze zemědělské i lesní půdy, plošné podpovrchové (drenážní odtok). V povodí se tak mohou vyskytovat enklávy charakteristické nízkou retencí pro vodu a živiny (zdrojové, resp. infiltrační oblasti), které jsou zodpovědné za podstatnou část odtoku z celého povodí a zároveň představují riziko vyplavování polutantů z půd do vod. Do těchto částí povodí je neefektivnější upírat pozornost z hlediska uplatňování ochranného managementu či navrhování technických, přírodě blízkých i organizačních opatření pro zvýšení retence vody a zlepšování její kvality. Priorizace těchto zranitelných enkláv jakož i přístupy pro umístění systémů opatření či jejich jednotlivých typů v povodí však nebyly doposud systematicky řešeny, kromě principů uplatňovaných v rámci Komplexních pozemkových úprav, které však jsou řešeny zpravidla po jednotlivých K.Ú. a směřují především do směny pozemků (soustředění malých rozdrobených pozemků jednoho majitele do jednoho celku). V plánu společných zařízení, kam patří například budování polních cest, malých vodních nádrží, suchých nádrží, mezí, příkopů, teras apod., se opatření ke zvýšení infiltrace a retence a vody v krajině objevují spíše sporadicky.

Cílem předkládané metodiky je poskytnout metodický návod pro identifikaci kritických bodů jednotlivých zdrojů zrychleného odtoku a znečištění vod a zároveň provést kategorizaci jejich přispívajících lokalit z hlediska významnosti. Na základě využití metodického postupu bude možné kategorizovat území České republiky z hlediska potenciálních plošných zdrojů odtoku a znečištění v různých měřítcích podrobnosti umožňující návrhy a lokalizaci opatření v podobě listů opatření typu A.

Účelem metodiky je uvést do uživatelské praxe návod pro identifikaci konkrétních ploch v povodí (na zemědělském či lesním pozemku), kam mohou být situována ochranná opatření s maximální (resp. optimální) účinností. Do krajiny je třeba začleňovat systémy účinně propojených technických opatření (např. záchytné zatravněné průlehy, vsakem přes travní porost zlepšovat jakost vody, příkopy, suché nádrže a malé rybníky), půdo-ochranných opatření a šetrných pěstebních postupů, a zároveň i opatření organizační (tvary a velikosti půdních bloků, zatravnění infiltračních oblastí). Pozitivním prvkem v krajině jsou umělé mokřady, které mohou napomoci jak zadržením vody, tak degradací rizikových látek. Pouze synergickým působením těchto opatření navržených v účinných systémech dojde ke zlepšení infiltračních, retenčních, akumulačních schopností zemědělské krajiny a zároveň ke zlepšení jakosti vod.

Na tuto metodiku navazuje katalog opatření, který je zpracován do podoby ověřené technologie, ve kterých jsou prezentována použitelná opatření a principy navrhování těchto opatření v účinných systémech.

II. Vlastní popis metodiky

1. Úvod do problematiky

Snaha zvýšit retenci a akumulaci vody v zemědělsko-lesnické krajině a zároveň zvýšit jakost vod souvisí s cílem adaptovat krajinu na probíhající klimatickou změnu. V podmínkách České republiky se jedná zejména o zvýšení odolnosti vůči extremitě srážkových úhrnů (dochází ke střídání období s vysokými úhrny – v krátkém čase, s obdobím bez srážkových úhrnů). S takto narůstající extremitou dochází i k výraznějším projevům erozní činnosti, zrychleného odtoku vody a povodňovým událostem, resp. projevům sucha, tj. k procesům, které jsou s proměnlivostí distribuce srážek spojeny a které úzce korelují s kvalitou podzemních a povrchových vod. V obecné rovině lze konstatovat, že největšími zdroji plošného zemědělského znečištění je eroze (sedimenty a na ně navázané látky) a vody z drenážních systémů obsahující metabolity pesticidů, dusičnany, resp. potenciálně i další látky rozpustné ve vodě, které nevytvářejí pevnou vazbu s minerálními půdními částicemi a které jsou aplikovány na zemědělskou půdu. Odnos půdy vodní erozí, tak i látky vyplavované z půdy a zachycované drenážními systémy jsou vázány na zrychlený odtok vody.

Tyto plošné zdroje zrychleného odtoku vody z krajiny však doposud nebyly zohledňovány ani v procesu plánování v oblasti vod a ani dostatečně v procesech navrhování komplexních pozemkových úprav. Plánování v oblasti vod vychází ze směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES ze dne 23. října 2000, ustavující rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky. Smyslem Rámcové směrnice je zabránit dalšímu zhoršování stavu povrchových i podzemních vod, zlepšit stav vod a na vodu vázaných ekosystémů. Hlavním cílem Rámcové směrnice je dosáhnout dobrého stavu vod. Plánování v oblasti vod bylo rozděleno do tří šestiletých období.

Plošné zemědělské zdroje znečištění vod v rámci předchozích dvou plánovacích období nebyly analyzovány ani hodnoceny a opatření typu A, řešící tuto problematiku, tedy nebyla navrhována. Problematika hodnocení stavu vodních útvarů z hlediska vlivu plošných zemědělských zdrojů znečištění zůstala v procesu plánování v oblasti vod dosud téměř neřešena.

V rámci třetího plánovacího období, které probíhalo od počátku roku 2016 do roku 2021 a realizace opatření třetího plánovacího období (v letech 2022 až 2027) bylo z iniciativy Povodí Vltavy, státní podnik řešeno několik projektů zabývajících se plošnými zdroji odtoku a znečištění ať již převážně z metodického hlediska („Příprava listů opatření typu A lokalit plošného zemědělského znečištění pro plány dílčích povodí“), tak z též z praktického hlediska („Přírodě blízká a technická opatření na zemědělské půdě v povodí VN Švihov na Želivce“), na jejichž výsledky navazuje i předkládaná metodika. Ostatní státní podniky povodí tuto problematiku do Plánů dílčích povodí nezahrnuly.

Předložené metodické postupy, navazující a rozvíjející poznatky z předchozích projektů, umožní v celorepublikovém měřítku provést identifikaci kritických bodů zrychleného odtoku a plošného zemědělského znečištění a kategorizaci jejich přispívajících lokalit z hlediska potřeby, resp. prioritizace pro návrhy opatření včetně vytvoření mapy kritických bodů a jejich lokalit. Do takto vybraných prioritních lokalit budou ve spojitosti s poznatky mechanismu výběru vhodných opatření ze souvisejícího katalogu (ověřená technologie) a jejich vhodné lokalizace navrhovány komplexní systémy opatření, které mohou po jejich realizaci významně zvyšovat infiltraci, retenci a akumulaci vody v zemědělsko-lesnické krajině a současně přinesou snížení plošného zemědělského znečištění vod. Z hlediska jakosti vod budou opatření na snížení povrchového plošného znečištění cílena na snížení odnosu zeminy a na ni navázaných

látek (fosfor, některé pesticidy) ze zemědělského půdního fondu a na výrazné omezení zanášení vodních toků a vodních nádrží sedimenty. Opatření snižující znečištění z podpovrchových plošných zdrojů budou cílena na snížení vyplavování živin a pesticidních látek drenážním odtokem či jejich efektivní redukcí. Metodika poskytne dostatečně podrobné podklady pro zpracování návrhů opatření do podoby listů opatření typu A, která daná opatření jednoznačně popisují, dimenzují a lokalizují na rozdíl od listů opatření typu B a C, jež popisují opatření obecně a legislativní povahy. Metodika bude rovněž využitelná pro projekční návrhy retenčních a akumulčních opatření v jiných studiích a projektech, např. při řešení KPÚ.

2. Charakteristika problému

Současná krajina České republiky, přetvořená především k intenzivnímu hospodaření na zemědělských pozemcích, má velké problémy se zadržením vody v podmínkách měnícího se klimatu, kdy roste průměrná teplota, zvyšuje se evapotranspirace a roste extremita a nepravidelnost rozložení srážek. Podmínky jsou v tomto ohledu nepříznivé na 60 % našeho území. Snížená schopnost zadržení vody v povodí se velmi významně podílí jak na vzniku přívalových povodní, tak i na povodních z dlouhotrvajících srážek. V případech přívalového či vytrvalého deště a překročení infiltrační, resp. retenční kapacity půdy vzniká povrchový odtok, který se uplatňuje především ve svažitých podmínkách. Povrchový odtok svou hydrodynamickou silou unáší půdní částice, čímž vzniká vodní eroze půdy. Na strmé, kypré, orné půdě nebo na jakékoli půdě, která zůstane obnažená, může dosáhnout odnos půdy až 100 tun/ha za rok. Na nesvažitě nechráněné půdě mohou ztráty půdy dosahovat pravidelně 10 t/ha za rok. Na unášené částice mohou být vázány minerální látky, rizikové prvky či cizorodé látky, které nejprve plošně putují spolu s půdními částicemi povrchovým odtokem, aby byly dále vodním korytem transportovány do nižších partií povodí či došlo k jejich zachycení v rybnících. Velké množství sedimentu značně zmenšuje objem akumulované vody a snižuje i míru ochrany krajiny proti povodním, a především narušuje rovnováhu z pohledu udržitelného hospodaření s vodními zdroji. Se zrychleným odtokem povrchovým i podpovrchovým souvisí také znečištění vod z plošných zemědělských zdrojů, které se významným způsobem podílejí na zatížení povrchových vod v ČR. Jedná se zejména o splaveniny, na nich vázané chemické látky především ze zemědělství a dále pak i o látky rozpuštěné, transportované povrchovým a podpovrchovým odtokem. V podstatě ve všech případech je jejich zdrojem zemědělská výroba, v menší míře pak lesnická činnost. Plošné zdroje znečištění je možno rozdělit do dvou základních skupin – zdroje plošné povrchové a zdroje plošné podpovrchové.

2.1 Povrchové zdroje odtoku a znečištění

První část řešení se zabývá zdroji povrchovými. Ty souvisí v největší míře s povrchovým odtokem (ať již plošným nebo soustředěným) a jsou tedy významně spojeny s erozí a následným transportem splavenin do vodních toků a vodními toky dále. Významnou charakteristikou tohoto typu znečištění je, že vzniká především srážko-odtokovými epizodami. Dochází k problémům zejména v celkové bilanci, protože zatímco většina metod kvantifikace pracuje s dlouhodobými průměrnými hodnotami a celková bilance je prováděna na základě časově diskrétního monitoringu, jev samotný probíhá v epizodách, které často nemohou být použitými metodami izolovaně popsány a dost dobře ani pravidelným monitoringem zachyceny.

Z hlediska kvantifikace, podle opakovaných výpočtů a odhadů, dosahuje průměrná roční ztráta půdy na zemědělských pozemcích až 30,4 mil. tun ročně v rámci celé ČR (Krása et al., 2015). Pro území spravované státním podnikem Povodí Vltavy bylo vypočteno, že například jen

v povodí VN Slapy (12 965 km²) činí celkový erozní smyv 2,34 mil. tun ročně. Do vodních toků podle uvedených výpočtů ročně vstupuje celkem 626 tis. tun erozních splavenin (27 % z celkového množství uvolněného na pozemcích). Z 626 tis. tun jich ročně zůstává v nádržích vltavské kaskády trvale uloženo 615,5 tis. tun, tedy téměř veškerý vstupující sediment (více než 98 %).

Přítom celkové řešené území v rámci zakázky představuje plochu téměř 29 500 km², tedy 2,3násobek plochy povodí VN Slapy. Celkové transportované množství nerozpuštěných látek (NL) erozního původu v rámci řešeného území proto orientačně může převyšovat hodnotu 1,4 mil. tun ročně. Kromě NL, které obecně:

- snižují kapacitu koryt vodních toků,
- zvyšují zákal (snižují průhlednost) vody a tím zhoršují podmínky pro její oživení,
- působí problémy při plavbě,
- ve vodních nádržích zabírají zásobní prostor a tím snižují zabezpečení odběrů vody,

jsou plošným povrchovým odtokem z krajiny odnášeny i chemické látky, jednak vázané na pevné částice a jednak volně rozpuštěné.

Z vázaných látek je nejvýznamnější fosfor v jeho různých formách, který je obecně považován v našich podmínkách za spouštěcí klíč k procesům eutrofizace. Z dalších významných polutantů je možno zmínit některé formy dusíku a dále pak stopová rezidua některých pesticidů, těžkých kovů, farmak, hormonů či enzymů, případně i dalších specifických látek, které se do půdy dostávají zpravidla v souvislosti se zemědělskou výrobou. Klíčovým ale zůstává ukazatel NL a celkový fosfor (P_{celk}).

V této souvislosti je třeba poznamenat, že splaveniny jako takové nejsou hodnoceným ukazatelem v Rámcové směrnici vodní politiky (WFD), a tedy ani hodnoceným ukazatelem pro Plány oblastí povodí. Jedná se o významný faktor, který je rizikový i z pohledu vazby dalších polutantů. Zpracovaný materiál se tedy bude zabývat jednak NL (erozním sedimentem) a jednak erozním P a jeho částí vázanou na půdní částice (partikulární fosfor). Ostatní látky lze v případě potřeby odvozovat analogií. Vztah mezi NL (erozními splaveninami) a P erozního původu je podle výsledků projektu QI102A265 poměrně těsný.

Podle výpočtů provedených v roce 2013 na povodí VN Slapy s výše uvedenými 626 tis. tunami NL ročně vstupuje do vodních toků cca 533 tun P_{celk} . Přímá využitelnost erozního fosforu k rozvoji řas a sinic (tedy viditelných projevů eutrofizace) se pohybuje kolem 5 % (na rozdíl od cca 80 % z P_{celk} u bodových zdrojů znečištění) právě proto, že se jedná o fosfor vázaný (a tedy hůře dostupný pro zelené organismy). Ukazuje se tak, že pro přímé ohrožení nádrží eutrofizací jsou významnější bodové zdroje znečištění v povodí, nicméně transport erozních splavenin ze zemědělských pozemků je ve většině případů klíčovým zdrojem co do množství P_{celk} , který pak zůstává deponován v sedimentu na dně a při změně podmínek (změny oxických poměrů, pH a dalších parametrů) hrozí jeho zpětné uvolnění do vody, a to již v rozpuštěné formě.

Při kvantifikaci povrchového odtoku jako příčiny erozních a transportních procesů je možno a nutno rozlišovat mezi odtokem plošným a soustředěným. Na zemědělských pozemcích odtok vzniká v zásadě vždy jako plošný, po určité době, která se na přímých svazích aproximuje hodnotou 100 m (např. metodika Janeček et al., 2012) vzniká z odtoku plošného odtok soustředěný. Ten je schopen vyvinout podstatně vyšší rychlost toku, tečné napětí i unášecí sílu. Eroze se proto s transformací odtoku mění z plošné, která je výrazně selektivní a odnáší s sebou jen nejjemnější půdní částice, charakteristické nejvyšším poměrem obohacení, na erozi vyšších forem. Tím rozumíme erozi rýhovou, výmolnou až stržovou. Podle dostupných odhadů připadá na soustředěnou erozi (rýhová a vyšší) významná část z celkového odnosu materiálu. Na druhou stranu platí, že čím vyšší je forma eroze, tím nižší je poměr obohacení, a tedy nižší

riziko zatížení transportovaného materiálu vázaným (partikulárním) fosforem. Je to proto, že při vyšších formách eroze je již transportován veškerý materiál v dráze soustředěného odtoku bez ohledu na jeho zrnitost. Obsah vázaných látek je pak ve zdrojové půdě a v sedimentu v podstatě shodný.

Z uvedeného důvodu je třeba zabývat se při identifikaci nebezpečných zdrojových míst jak plochami s velkým množstvím celkového odnosu při nízké intenzitě eroze (lze očekávat vysoké poměry obohacení při transportu jemnozrnného materiálu), tak i místy s extrémní ztrátou půdy, kde hrozí transport velkého množství splavenin v malém prostoru. Metodický návod tak zahrnuje všechna zdrojová místa zemědělské krajiny (vstup znečištění ze zemědělských pozemků, potenciálně riziková místa cestní sítě z hlediska zrychleného odtoku, či potenciálně riziková místa z lesních lokalit ovlivňujících negativně ornou půdu).

Jak bylo řečeno, jsou erozní a transportní procesy úzce spojeny s generováním rychlého povrchového odtoku a jeho soustředěním. Eliminace erozních a transportních procesů proto do velké míry souvisí s posilováním retenční a infiltrační kapacity krajiny. Pokud dojde vhodnou volbou a kombinací opatření k výraznému snížení odtoků způsobených intenzivními srážkami nebo táním sněhu z území, lze očekávat i dramatický pokles odnosu půdních částic a na nich vázaných rizikových látek. Je proto možno konstatovat, že opatření protierozní, a opatření podporující infiltraci a retenci a v krajině mají prakticky vždy synergickou funkci a důslednou aplikací opatření ke snížení množství půdních částic a na nich vázaných látek dojde ke snížení množství odtoku vody z krajiny do vodních toků. Snížením objemů odtoků ze srážek a tání sněhu opět dojde k přímému poklesu množství rozpuštěných znečišťujících látek ze zemědělské půdy do hydrografické sítě a tím k redukcí plošného znečištění.

Zadržování vody v krajině je zcela zásadní v obou směrech – jak zdržení odtoků během povodňových stavů, tak zadržování vody v krajině pro snižování dopadů sucha. Jedná se tedy o systém opatření, fungujících v souladu s nejobecnějšími zájmy společnosti i v souladu se základní legislativou ČR. Povinnost péče o půdu i o vodní poměry a retenční schopnost krajiny je zakotvena v § 27 (hlava V – Ochrana vodních poměrů a vodních zdrojů, díl 1 – Ochrana vodních poměrů) vodního zákona č. 254/2001 Sb. Stejný zákon v hlavě IV – Plánování v oblasti vod specifikuje cíle v oblasti ochrany vod jako složky životního prostředí. Jedním z cílů Národních plánů povodí je i ochrana a zlepšování stavu povrchových a podzemních vod a vodních ekosystémů, snižování nepříznivých důsledků povodní a sucha a zlepšování vodních poměrů krajiny.

2.2 Podpovrchové zdroje odtoku a znečištění

Podpovrchový odtok svislý (průsak) i rovnoběžný s povrchem (hypodermický) je významnou součástí celkového odtoku z malých, zemědělsko-lesnických povodí (Doležal a Kvítek, 2004) a zároveň významným zdrojem znečištění povrchových i podzemních vod. Tento odtok probíhá z pozemků odvodněných i neodvodněných, nicméně podíl odtoku i znečištění pocházející z odvodněných pozemků je obvykle podstatně významnější.

Stavby zemědělského odvodnění byly na území České republiky budovány zejména za účelem zlepšení vodního a vzdušného režimu zemědělských půd z hlediska potřeb zemědělských plodin, zpracovatelnosti půdy a její únosnosti pro zemědělské stroje. Typické odvodňovací systémy, které byly budovány zejména v období po roce 1960 (Kulhavý et al., 2007), mají podobu plošného drenážního systému – podrobného odvodňovacího zařízení (POZ), zaústěného do hlavního odvodňovacího zařízení (HOZ). V současné době je plocha odvodněné půdy v České republice přibližně 1 085 000 ha (Vašků et al. 2011), což představuje více než 25

% zemědělské půdy a téměř 9 tisíc km odvodňovacích kanálů, z nichž necelé dvě třetiny (5 200 km) představují kanály otevřené a zbývající třetinu (3 800) zatrubnění (Kulhavý a Fučík, 2015).

Takto rozsáhlé odvodnění zemědělské krajiny v České republice přináší kromě benefitů pro zemědělskou výrobu některé negativní efekty, zejména v územích, kde intenzita plošného (popř. i liniového) odvodnění je příliš vysoká nebo se týká i lokalit, kde je odvodnění nadbytečné nebo již nežádoucí (Kulhavý et al., 2013). V současné době je často je drenážními systémy ze zemědělsky využívaných pozemků odváděno větší množství vody, než by bylo žádoucí z hlediska samotného zemědělství, ale i z hlediska vodního hospodářství. Drenážní systémy působí v půdě jako spojitě horizontální preferenční cesty, které jsou záměrně dimenzovány na odvádění velkého množství vody z odvodněné plochy. Tím je značně urychlen celkový odtok z krajiny. Odvodnění ovlivňuje prvotně režimy mělkého podpovrchového, povrchového a podzemního odtoku a vodní bilanci nenasycené zóny. Následně je ovlivněn také režim recipientu drenážních vod, zejména v případě vodotečí.

Z hlediska hydrologie a hydrochemie působí plošné zemědělské odvodnění odlišně v různých odtokových zónách povodí (polohy rovinaté / svahové; resp. oblast infiltrační, oblast tranzitu, oblast výtoku). Se situováním stavby odvodnění a její funkčností pak souvisí i režim odtoku a chemismu drenážních vod. Odvodnění ovlivňuje prvotně režimy mělkého podpovrchového, povrchového a podzemního odtoku, vodní bilanci nenasycené zóny a odtokový režim recipientu drenážních vod. Odtokový režim staveb odvodnění je dán jejich parametry, které souvisejí s tzv. příčinou zamokření zemědělských pozemků. Ta byla posuzována v procesu zpracování vodohospodářského návrhu a schvalování stavby odvodnění (tj. v období do roku 1990) a byl tak řešen účinný způsob odvedení přebytků vod.

Jednou ze základních návrhových hodnot drenážních systémů je specifický drenážní odtok, který byl pro území ČR volen v rozmezí od 0,33 do 0,65 l/s/ha (ČSN 75 4200). Další parametr, tj. rozchod drénů, byl navrhován především dle druhu půd a nároků pěstovaných plodin na úroveň hladiny podzemní vody a na přípustnou dobu zamokření (jako parametr času po návrhové srážce). Řešení vyžadovalo dále např. zachycení svahových vod, podchycení vývěrů podzemních vod atd. U těžkých půd převládají rozchody drénů 8–10 m, u středních půd 12–15 m. Lehké půdy byly odvodněny jen v případě trvale zvýšené hladiny podzemní vody. Hloubka uložení svodných drénů se pohybuje vesměs v rozmezí 1,0 - 1,2 m (výjimečně i hlouběji, resp. hlouběji u staveb předválečných) a sběrné drény jsou uloženy převážně v hloubce 0,7 - 0,9 m (a až do 2 m u staveb předválečných). Na základě současných výzkumů (Fučík et al., 2017, Zajíček et al., 2017) je skutečný odtok ze zemědělských staveb odvodnění v současnosti pravděpodobně nižší než navrhovaný. Hodnota průměrného specifického odtoku se většinou pohybuje v rozmezí 0,10 – 0,15 l/s/ha odvodněné plochy. Nižší hodnota specifického drenážního odtoku oproti odtoku návrhovému souvisí s fyzickým stárnutím těchto staveb a také s klimatickou změnou, resp. se změnou rozložení srážek, odpovídající reakcí mělkých hladin podzemních vod v současné době a častějším výskytem suchých období. Přes tyto poněkud nižší hodnoty zůstává mělký podpovrchový (drenážní) odtok jedním z hlavních faktorů, které formují celkový odtok v malých svazitých povodích v oblastech humidního klimatu (Hrnčír et al., 2010; Dušek et al., 2012; Šanda et al., 2013) a drenážní odtok může mít značný podíl na celkovém odtoku v povodí (Doležal et al., 2001). Vliv staveb odvodnění na celkový odtok je proměnlivý dle aktuální hydrologické situace (Kulhavý et al., 2010). Ve vodných obdobích odvodnění urychluje odtok vody a zvyšuje jeho intenzitu, podíl drenážních vod na celkovém odtoku je však nižší. Za běžných odtokových situací a v období sucha vyrovnává odvodnění odtokový režim vodoteče, odvádění vody z povodí však může být z hlediska vodního

hospodářství i zemědělství hodnoceno jako nadbytečné. Podíl drenážních vod na celkovém odtoku se zvyšuje a v období sucha mohou být při vysoké plošné intenzitě odvodnění vody ve vodoteči převážně jen vodami drenážními.

Se zrychlením podpovrchového odtoku i s existencí samotné stavby odvodnění souvisí i zvýšené vyplavování některých látek z půdy. V podmínkách ČR je z pohledu kvality podpovrchových vod zemědělských povodí nejproblematictější dusičnanový dusík a některé pesticidy a jejich metabolity, jejichž vyplavování je značně katalyzováno velkým zastoupením staveb plošného zemědělského odvodnění. Dynamika koncentrací většiny látek je v drenážních vodách velmi proměnlivá. Drenážní vody mohou mít pro jednotlivé složky odtoku značnou časovou variabilitu průtoků i koncentrací ve vazbě na průběh počasí, půdní a hydrogeologické podmínky povodí, nasycenost půdního profilu, dobu a intenzitu aplikace hnojiv, biochemické reakce v půdním prostředí, způsob využití území a jeho morfologii. Klíčový je tedy původ vody a cesty jejího odtoku do odvodňovacího systému (Doležal a Kvítek, 2004, Zajíček et al., 2011, Zajíček et al., 2016). Podpovrchové odvodnění ovlivňuje rozdílně dvě základní skupiny látek, které lze v drenážních vodách z fyzikálně – chemického pohledu detekovat: látky rozpuštěné a látky nerozpuštěné. Významná a pro vyplavování podstatná je kromě rozpustnosti ve vodách také sorpční schopnost látky, tj. schopnost vytvářet různé pevné fyzikálně-chemické vazby s okolním prostředím, což je dáno vlastnostmi její aktuální formy výskytu (charakterem sloučeniny v jaké se nachází, její koncentrací a silou souvisejících vytvořených vazeb) ve vztahu k charakteru v bezprostředním okolí se vyskytujícího půdního prostředí. Z hlediska škodlivosti působení ve vodách bývá největší pozornost věnována živinám (N, P, C) a látkám na ochranu zemědělských plodin (pesticidy, herbicidy atd.). Látky rozpuštěné reprezentují dusičnanový dusík (N-NO₃) a amoniakální dusík (N-NH₄), rozpustné dusíkaté pesticidy, rozpuštěné látky fosforu a uhlík, látky nerozpuštěné potom zejména partikulární fosfor a plaveniny. Souvisejícím problémem je také potenciál možné kontaminace drenážních vod, pocházející z povrchových smyvů z polních hnojišť nebo silážních žlabů, situovaných na odvodněných pozemcích nebo těsně nad nimi či z jiných druhů bodového zdroje znečištění (Fučík et al. 2010 – Metodika).

Drenážní systémy jsou jedním z významných faktorů, který přispívá ke zvýšenému vyplavování dusičnanového dusíku z půdy (Borin et al., 2000; Helwig et al., 2002, Honisch et al., 2002; Hirt et al., 2005). Téměř bez ohledu na přírodní podmínky bývají koncentrace N-NO₃ ve vodách drenážních systémů a z odvodněných povodí vždy vyšší než z povodí neodvodněných a stavby odvodnění jsou dominantním zdrojem vyplavování N-NO₃ (Tomer et al., 2010; Coelho et al. (2010). Plošné zastoupení odvodňovacích staveb bylo shledáno jako významný faktor z hlediska zatížení vod nitráty v povodí VN Švihov na Želivce (Kvítek et al., 2009). V podmínkách krystalinika Českomoravské vrchoviny byly zjišťovány typické hodnoty odnosu N-NO₃ z odvodněných povodí (Fučík et al., 2017; Zajíček et al., 2017). V závislosti na velikosti odtoku se odnos dusičnanového dusíku pohyboval v odvodněných povodích v rozmezí 1–60 kg/ha/rok, přičemž typický odnos N-NO₃ v odvodněných lokalitách s využitím území jako orná půda byl odhadnu na 30 kg/ha/rok.

Zrychlené vyplavování dusičnanového dusíku je způsobeno kombinací několika faktorů souvisejících s vlastnostmi staveb odvodnění a využitím půdy v mikropovodí staveb odvodnění. Vybudováním podpovrchového drenážního odvodnění dochází ke snížení hladiny podzemní vody a k provzdušnění půdního profilu, což má za následek změnu oxidačně – redukčních poměrů a zrychlenou mineralizaci organické hmoty. Látky vzniklé mineralizací půdní organické hmoty či pocházející z hnojiv jsou postupně promývány do nižších partií půdního profilu a následně vyplavovány do drenážních systémů. Kromě parametrů odvodňovacího systému (hloubka uložení, rozchod drénů, topologie drenážní sítě, vazba na související hydrografickou síť), je prokázán rovněž vliv způsobu využití území

a zemědělského hospodaření, půdních vlastností (fyzikální a chemické charakteristiky) a režimu podzemních vod stanovíště na krátkodobou dynamiku i dlouhodobou úroveň koncentrací dusičnanů v drenážních vodách. Obecně koncentrace dusičnanů v povrchových a podpovrchových vodách rostou od lesních porostů přes louky, pastviny až k orné půdě (Edwards et al., 1990; Reynolds a Edwards, 1995; Lord et al., 1999; Ruiz et al., 2002; Worrall et al., 2003; Fučík et al., 2008). Pro Českou republiku platí, že koncentrace dusičnanů jsou ovlivněny mnohem více zorněním než momentálním hnojením (Kvítek, 1999) a vývojem hydrologických podmínek (Kopáček et al., 2017). Zorněním (a také odvodněním) dochází k celkové změně oxidačně-redukčních podmínek v půdě, urychluje se mineralizace organického dusíku, snižuje se denitrifikační činnost, orná půda je častěji a více hnojena. Na orné půdě – na rozdíl od trvalých kultur (TTP, les) není obvykle celoročně přítomná vegetace odebírající dusík, který je takto vyplavován do nižších půdních horizontů, horninového prostředí a vod. Vzhledem ke skutečnosti, že pokles intenzity zemědělské produkce po roce 1990 nepřinesl odpovídající snížení vyplavování dusičnanů ze zemědělských půd, vyvstává nutnost navrhovat agrotechnická a technická a přírodě blízká opatření na zemědělských půdách k omezení vyplavování N-NO₃ (Kopáček et al., 2013a).

Pro vyplavování N-NH₄ a fosforu do drenážních vod jsou obecně podle výsledků výzkumu ve světě i v ČR podstatné zejména předchozí agrotechnické zásahy na hydrologicky související zemědělské půdě a dále je významný charakter srážky (intenzita, doba trvání) v souvislosti s půdními poměry (infiltrační schopnost, textura, struktura) a aktuální nasyceností půd vodou. Koncentrace těchto látek jsou během základního odtoku obvykle nízké v toku i na drenáži, pokud nejsou odvodňovací soustava nebo tok napojeny na jiný zdroj znečištění (výtok z rybníka, travivod z obce, ČOV, zemědělský provoz, pastevní napáječku, polní hnojiště) nebo pokud se nejedná o půdy s nižší sorpční kapacitou (lehké nebo písčité půdy, organozemě). K významnému zvyšování koncentrací N-NH₄ a fosforu dochází zpravidla během srážko-odtokových epizod i v případě jejich střední a nižší intenzity. Celkově je význam plošných podpovrchových zdrojů pro vyplavování fosforu relativně nízký oproti zdrojům bodovým (Hejzlar et al., 2016), nicméně jejich význam v současné době roste (Kopáček et al., 2013b).

Podpovrchový odtok je také významným zdrojem znečištění vod pesticidy a jejich metabolity (Schulz, 2007; Sandin et al. 2018). Význam podpovrchového toku je značný zejména v malých, intenzivně odvodněných zemědělských povodích (Holvoet et al. 2007; Brown & van Beinum 2009). Zvláště je pesticidy ohrožena jakost vod drobných vodních toků, ve kterých jsou opakovaně měřeny podstatně vyšší koncentrace pesticidů než v tocích velkých (Szöcs et al., 2017; Halbach et al., 2021).

Drenážní vody, pocházející z intenzivně obdělávané zemědělské půdy, často obsahují vysoké koncentrace pesticidů nebo jejich metabolitů, které jsou emitovány dále do povrchových vod (Brown a van Beinum, 2009; Liška, 2015; Vymazal a Březinová, 2015; Fučík, Zajíček et al., 2017, Zajíček et al., 2015).

Pro vnos pesticidů z půd do podpovrchových vod byly pro podmínky ČR jako nejvýznamnější faktory identifikovány dávka, způsob a načasování aplikace dané látky, a zejména doba zdržení vody v povodí (půdě), četnost výskytu srážko-odtokových epizod (Lennartz, 1999, Doppler et al., 2012, Tediosi et al., 2013) a podíl rychlé složky odtoku v momentě srážko-odtokové epizody (Fučík, Zajíček et al., 2017; Zajíček et al., 2018a). Oba tyto faktory souvisejí s výše uvedenými přírodními a zemědělskými charakteristikami zemědělských povodí a byly zjištěny jako nejintenzivnější v mělkých orných půdách s nízkou retencí vody a látek. Ve většině případů zrychleného vyplavení pesticidu do vod hraje podstatnou roli některý z typů tzv. „preferenčního proudění“ (Fortin et al., 2002; Doležal a Kvítek, 2004, Halbach et al., 2021), a složení odtoku, tj. jaká voda odtéká v reakci na srážku či tání sněhu. Jeho rychlost během

epizod může být natolik vysoká, že fyzikálně-chemické vlastnosti pesticidů ztrácejí z hlediska jejich vyplavování v těchto situacích význam (Lefrancq et al., 2017). Zrychlený odtok (jakéhokoli typu) významně snižuje čas reakci pesticidu s prostředím (sorpci nebo degradaci) a může vést k přímému a bezprostřednímu vyplavování mateřské látky do povrchových vod. Ne vždy se může jednat o vodu přímo ze srážek, ale o vodu, nacházející se v prostředí půda-hornina již před srážkou (Klaus et al., 2014; Zajíček et al., 2016). Proto mohou být mateřské látky pesticidů či jejich metabolity nacházeny ve vodách ve značné časové i koncentrační disproporcii vůči době a množství jejich aplikace (Zajíček et al., 2018a). Zvýšené koncentrace pesticidů ve vodách v průběhu srážko-odtokových epizod mohou být značně rizikové pro vodní organismy (Wettstein et al., 2016), nicméně i chronické vystavení nižším koncentracím může být pro ekologický stav vod kritické (Moschet et al., 2014).

Výzkumy v oblasti krystalinika Českomoravské vrchoviny (Zajíček et al., 2017, 2018a) prokázaly, že vyplavování metabolitů je vázáno na pomalejší složky odtoku (svahový odtok) s delší dobou zdržení, vyplavování mateřských látek je vázáno téměř výhradně na srážko-odtokové epizody. Podmínkou k jejich vyplavování je, aby srážko-odtoková epizoda nastala relativně krátce po jejich aplikaci (se vzdáleností koncentrace klesají až do přibližně dvou měsíců po aplikaci, po této době se mateřské látky v drenážních vodách vyskytují většinou jen ve velmi nízkých koncentracích. Na základě měření na pokusných lokalitách VÚMOP lze očekávat průměrný roční odnos pesticidních látek v rozmezí 20–60 g/ha/rok z mikropovodí jedné drenážní skupiny, nicméně v případě výskytu extrémních srážko-odtokových epizod, které nastanou krátce po aplikaci pesticidu může odnos dosáhnout až 1,2 g/ha za jednu jedinou epizodu (Zajíček et al., 2018a) a koncentrace mateřských látek 435 µg/l. Stavby zemědělského odvodnění jsou tak považovány jako rizikové pro jakost povrchových vod (zejména malých vodních toků) z hlediska koncentrací pesticidních látek (Halbach et al., 2021).

3. Identifikace kritických bodů odtoku vody

Cílem projektu je identifikovat v zemědělské krajině enklávy, které jsou rizikové u hlediska zrychleného odtoku vody a s ním souvisejícího plošného zemědělského znečištění prostřednictvím sítě kritických bodů odtoku vody (KB) a jejich přispívajících lokalit. Pojem kritický bod je převzat z anglického systému HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point, Dewettinck et al., 2001), který definuje body, kde je největší možnost, resp. pravděpodobnost, kontaminace potravního řetězce. Tyto body se stavají nejdůležitějším kontrolním místem, které je monitorováno a vyhodnocováno (řízeno) tak, aby možná kontaminace byla vyloučena. Kritické body zaměřené na ochranu intravilánu před rizikem povrchového odtoku z přívalových srážek byly pro Českou republiku definovány jako průsečík linie dráhy soustředěného odtoku a hranice zastavěného území obce (Drbal a Dumbrovský, 2009; Drbal et al., 2022). Pro účely společného řešení všech typů plošného odtoku byly kritické body označeny KB_{dif} (difuzní znečištění) a představují místa potenciální kontaminace vod povrchovým i podpovrchovým znečištěním. V těchto bodech lze kvantifikovat odtok vody, transport erozních splavenin a na ně vázaných chemických látek (zejména P_{celk}) a transport rozpuštěných látek (zejména $N-NO_3$, a pesticidů) ze zemědělské půdy a zároveň kategorizovat jejich přispívající lokality. Kritické body byly rozčleněny v prostorové hierarchii do tří, resp. čtyř kategorií podle velikosti reprezentovaného území tak, aby bylo možno při analýzách v následujících etapách ideálně vyhodnotit riziko jednotlivých zdrojů, resp. vybrat vhodný typ opatření a posoudit jeho efektivitu pro celkové zlepšení stavu vodních útvarů. Každý KB je charakterizován svou přispívající plochou – povodím.

Kritický bod odtoku vody a s ním souvisejícího znečištění povrchového i podpovrchového plošného znečištění bude vždy situován na hydrografické síti (vodním toku nebo hlavním

odvodňovacím zařízení /HOZ/, evidovaném v rámci databáze DIBAVOD, resp. ZABAGED, případně v liniové vrstvě OS ZVHS). Protože řada lokalit přispívajících k zatížení vodních toků a nádrží erozním vnosem není připojena k vodnímu toku nebo nádrži v jediném bodě, ale vstup znečištění modelově probíhá v určitém úseku břehové hrany (týká se povrchových plošných zdrojů znečištění), není možno v rámci řešení celého předmětného území kritické body pro povrchový odtok umístit přímo do bodů vstupu. Zároveň je cílem řešení možnost bilancovat oba zdroje znečištění v identických bodech (profilech toků). V měřítku A3 (B3) jsou proto KB_{dif} závěrovými profily subpovodí, která budou pokrývat celou plochu zájmového území. Ke každému KB_{dif} bude tak možno vztahovat kvantifikaci procesů v ploše povodí nad ním, a to jak z plochy dílčího subpovodí, tak z celého povodí daného KB_{dif} . Odlišnou situaci představují podpovrchové plošné zdroje zemědělského znečištění, reprezentované drenážními systémy zaústěnými do hydrografické sítě prostřednictvím drenážní výusti, která odvodňuje vždy jednu drenážní skupinu plošně vymezenou jako stavební objekt stavby odvodnění.

Podle sumárních hodnot transportu NL, Pcelk a N-NO₃ pak budou v dalších krocích řešení (v navazujících etapách) jednotlivé KB_{dif} hodnoceny.

Za KB_{dif} je vždy chápán profil na toku, ke kterému je prováděna bilance transportu znečištění (NL, P_{celk}, N-NO₃, případně vybrané pesticidy) z výše ležící oblasti – závěrový profil vodního útvaru, povodí IV. řádu, subpovodí, případně drenážní skupina nebo mikropovodí drenážní skupiny.

Nástroji GIS stanovené kritické body úrovně 1, 2 a 3 budou společné pro oba typy plošných zdrojů znečištění (A – povrchových; B – podpovrchových). Bude tedy platit totožnost souřadnic KB_{dif} takto: A1 = B1, A2 = B2, A3 = B3. Kritický bod úrovně B4 bude stanoven samostatným postupem.

KB_{dif} jsou členěny do 3 resp. 4 úrovní (obr. č. 1, 2, 3 a 4):

- závěrové profily vodních útvarů (označení A1, B1),
- závěrové profily povodí IV. řádu (označení A2, B2),
- závěrové profily subpovodí (označení A3, B3),
- vyústění drenážní skupiny nebo závěrový profil mikropovodí drenážní skupiny (označení B4).
- rozhraní lesa a orné půdy s průsečíkem dráhy soustředěného odtoku (označení L4)
- průsečík cestní sítě a drah soustředěného odtoku (označení C4)

Kritické body v lokalitách, kde dochází k negativnímu ovlivnění orné půdy v důsledku odtoku ze zalesněných ploch byly definovány odlišně. Z důvodu rozlišení byly označeny jako kritické body kategorie L. Kritické body zde obvykle nejsou situovány na stálé hydrografické síti, ale na epizodicky protékaných drahách soustředěného odtoku. Na rozdíl od KB_{dif} zde neuvažujeme s možností výraznější kontaminace vod povrchovým či podpovrchovým znečištěním. Smyslem KB_L je vymezení a kategorizace míst, kde existuje vysoké riziko eroze zemědělské půdy v důsledku zvýšené odtokové odezvy na lesní půdě.

Pojetí kritických bodů na cestní síti je rovněž odlišné a slouží primárně k určení potenciálně rizikového odtoku srážkových vod cestním tělesem či kumulace vod z výše položených pozemků. Proto byl označen jako bod kategorie C. Kritický bod KB_C byl tedy zvolen jako průsečík dráhy soustředěného odtoku a tělesa cestní sítě. Tyto kritické body nevstupují do analýzy výpočtu kontaminace povrchových vod.

Kritický bod A1, B1 – Vodní útvar

Kritické body této úrovně – vodní útvar – budou odpovídat závěrovým profilům dílčích povodí, vymezeným v databázi DIBAVOD jednotlivým vodním útvarům kategorie řeka i jezero. Hodnoty pro jednotlivé KB_{dif} této úrovně budou vycházet ze sumarizace výsledků úrovní subpovodí i povodí IV. řádu.

Kritický bod A2, B2 – Povodí IV. řádu

Kritické body této úrovně – povodí IV. řádu – budou odpovídat závěrovým profilům povodí IV. řádu, jak jsou evidována v databázi DIBAVOD/ZABAGED/ČHMÚ.

Kritický bod A3, B3 – Subpovodí

Kritické body této úrovně – subpovodí – budou generovány jako uzlové body sítě DIBAVOD/ZABAGED v každém profilu soutoku dvou evidovaných vodních toků, dále dle potřeby na dalších významných profilech vodních toků (např. na profilu hráze vodní nádrže nebo v místech zaústění toků do nádrže aj.). Vzniklá síť KB_{dif} a k nim příslušných subpovodí tak pokryje celé zájmové území v průměrné hustotě 1 bod na každých cca 300 m vodního toku a umožní detailní sledování vstupu, toků znečišťujících látek a jejich kvantifikaci. Tento přístup umožní zahrnutí příspěvků znečištění z plochy povodí, které nevstupují do vodního toku v jediném bodě (dráhy soustředěného odtoku, občasně vodní toky, konvergentní svahy). Plně distribuovaný přístup k modelování transportu erozních splavenin a na ně vázaných látek nicméně umožní přesnou lokalizaci zdroje znečištění v povodí. Kritické body této úrovně budou generovány v rámci zpracování povrchových plošných zdrojů znečištění a budou bez dalších úprav převzaty do zpracování podpovrchových plošných zdrojů zemědělského znečištění (B).

Kritický bod B4 – Drenážní skupina nebo mikropovodí drenážní skupiny

Jedná se o kategorii specifických KB_{dif} , vymezených pro účely zpracování podpovrchových plošných zdrojů zemědělského znečištění (B). Reprezentují území odvodňované jednou drenážní skupinou, tj. zpravidla území o ploše jednotek až desítek hektarů. Mikropovodím je tedy minimálně plocha každé drenážní skupiny, odvádějící vodu do drenážní výusti. Ve svažitéch polohách a tam, kde se uplatňuje přítok cizích vod na odvodněný pozemek, je mikropovodí vymezeno orografickou rozvodnicí, s přihlédnutím k místním morfologickým, hydrogeologickým, půdním a dalším podmínkám (související okolní přirozená / umělá drenáž). Plocha mikropovodí je v tomto případě větší než plocha dané drenážní skupiny a zahrnuje i hydrologicky výše situované území.

Princip hierarchie a lokalizace všech úrovní KB_{dif} (1 až 3, resp. 4) jsou znázorněny na obr. č. 1 a obr. č. 2.

Kritický bod L4 (KB_{L4}) – Profil na rozhraní lesa a orné půdy v horní části subpovodí

Kritické body této úrovně jsou generovány takovým způsobem, aby současně splňovaly několik podmínek:

- leží na rozhraní lesa a orné půdy (ve směru po svahu právě v tomto pořadí),
- leží na dráze soustředěného odtoku, přičemž plocha povodí ke kritickému bodu se pohybuje ve stanoveném intervalu,

- lesnatost povodí vymezeného výše uvedeným způsobem převyšuje minimální požadovanou hodnotu.

Cílem bylo definovat taková kritéria výběru lokalit, které zajistí dostatečnou relevanci výsledků a bude je možné jednoduše a hromadně aplikovat automatickými nástroji v prostředí GIS na celé řešené území (obvykle cca do 10 tis. km²).

Význam jednotlivých podmínek vymezení kritických bodů je patrně zřejmý, přesto si ho dovolíme mírně rozvést. Všechna tři kritéria společně odráží skutečnost, že hledáme lokality, kde dochází k ohrožení orné půdy významným odtokem z lesních ploch. Pomocí prvního kritéria jsou z řešení vyloučeny případy, kdy je odtok generován na plochách s ornou půdou a dále zasahuje do lesních pozemků.

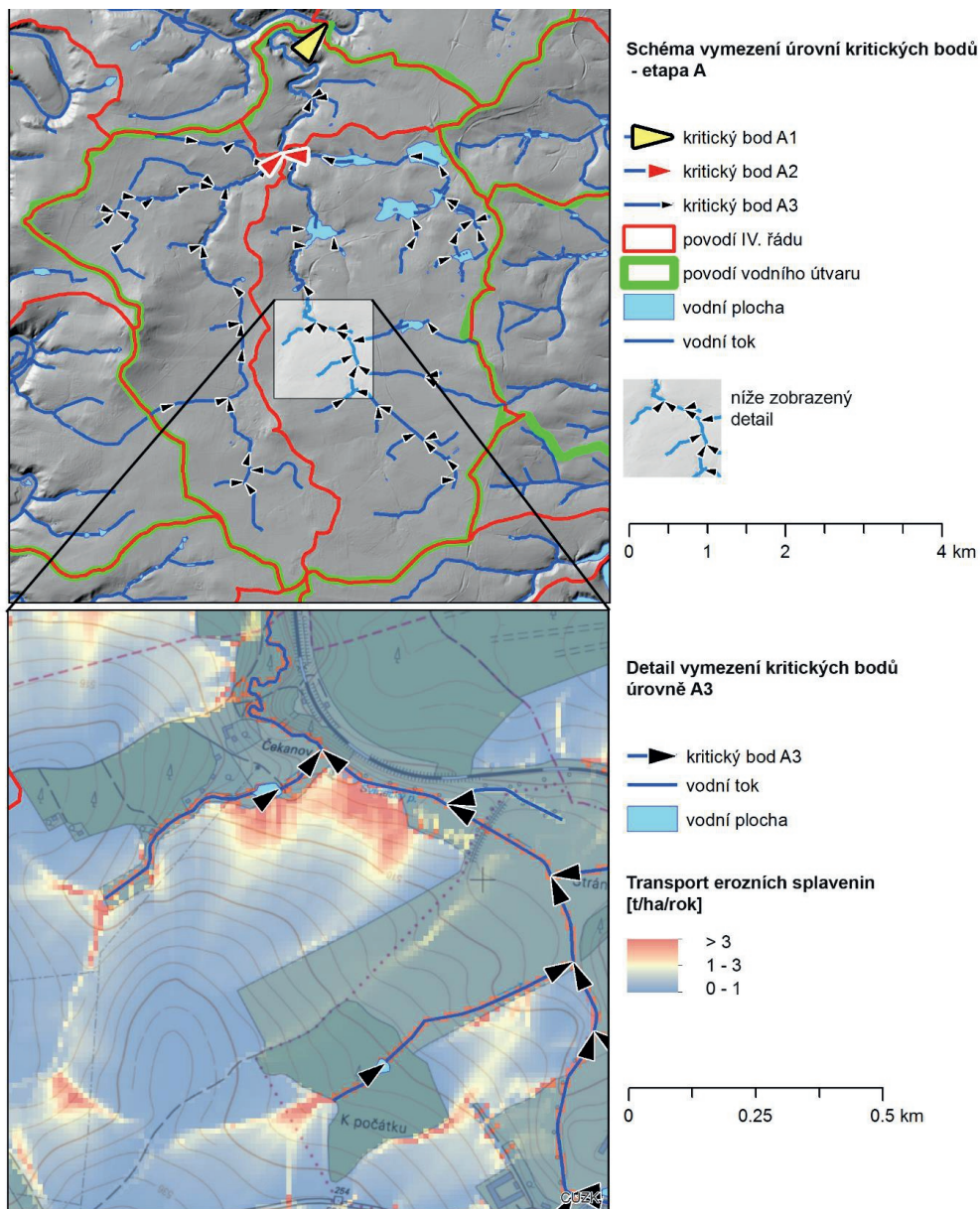
Omezení velikosti plochy povodí ke kritickému bodu pomocí druhého kritéria je definováno jednak proto, abychom účinně redukovali množinu kritických bodů, jednak proto, abychom se začílili jen na nejvíce smysluplné případy. Kritické body s příliš malou plochou povodí generují nízký odtok a nepředstavují závažnější riziko pro níže ležící ornou půdu. Navrhovat ochranná opatření pro obrovský počet málo významných lokalit by bylo nelogické a nevhodné. Na druhé straně vymezovat kritické body s relativně velkou plochou povodí rovněž není vhodné. Efektivní omezení odtoku v níže ležícím území by si v takových případech vyžádalo realizaci vodních děl s adekvátně velkým retenčním objemem. Aníž bychom takový přístup striktně odmítali, je třeba zdůraznit, že tato metodika slouží především k lokalizaci míst, kde problémy s odtokem, erozí a s jejich dopady vznikají a je možné je řešit v zárodku. Primárním cílem je chránit především zemědělskou půdu na svazích a tím zprostředkovaně také tu, která se nachází v inundačním území. Metodika doporučuje omezit plochy povodí ke kritickým bodům kategorie L4 v rozsahu od 2 do 20 hektarů. Jedná se o doporučené meze, které je možné v odůvodněných případech upravit dle zkušeností z konkrétního území.

Jelikož první a druhé kritérium společně negarantují, že povodí nad kritickým bodem je významným způsobem lesnaté, byla zavedena třetí podmínka. Autoři metodiky doporučují množinu kritických bodů kategorie L4 omezit tím způsobem, aby jejich povodí zahrnovala alespoň z 40 % lesní půdu, popř. volit toto kritérium ještě přísněji.

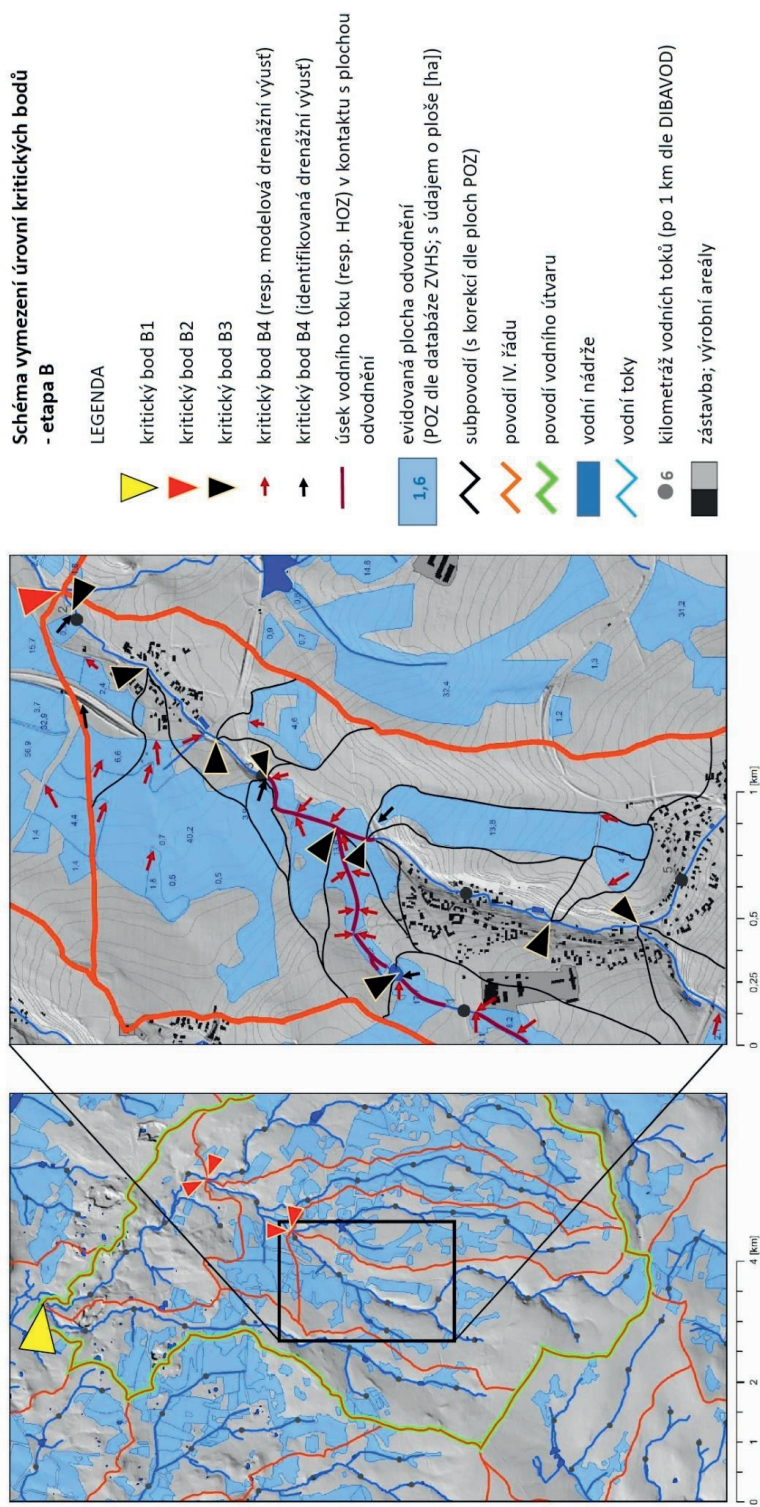
Kritický bod C (KB_{C4}) – bod na průsečíku cestní sítě a drah soustředěného odtoku

Jedná se o kategorii specifických kritických bodů vymezených pro účely definování potenciálně problematických míst cestní sítě v zemědělské krajině. Kritické body této úrovně představují podrobnější doplnění výše definovaných kritických bodů úrovně A3. Tyto body reprezentují potenciálně problematická místa cestní sítě, na která by měla být zaměřena pozornost při návrzích vhodných opatření. Kritické body této úrovně jsou generovány jako průsečíky drah soustředěného odtoku a cestní sítě. Do množiny cestní sítě vstupují cesty kategorie „polní cesty“ (účelové komunikace v zemědělské krajině).

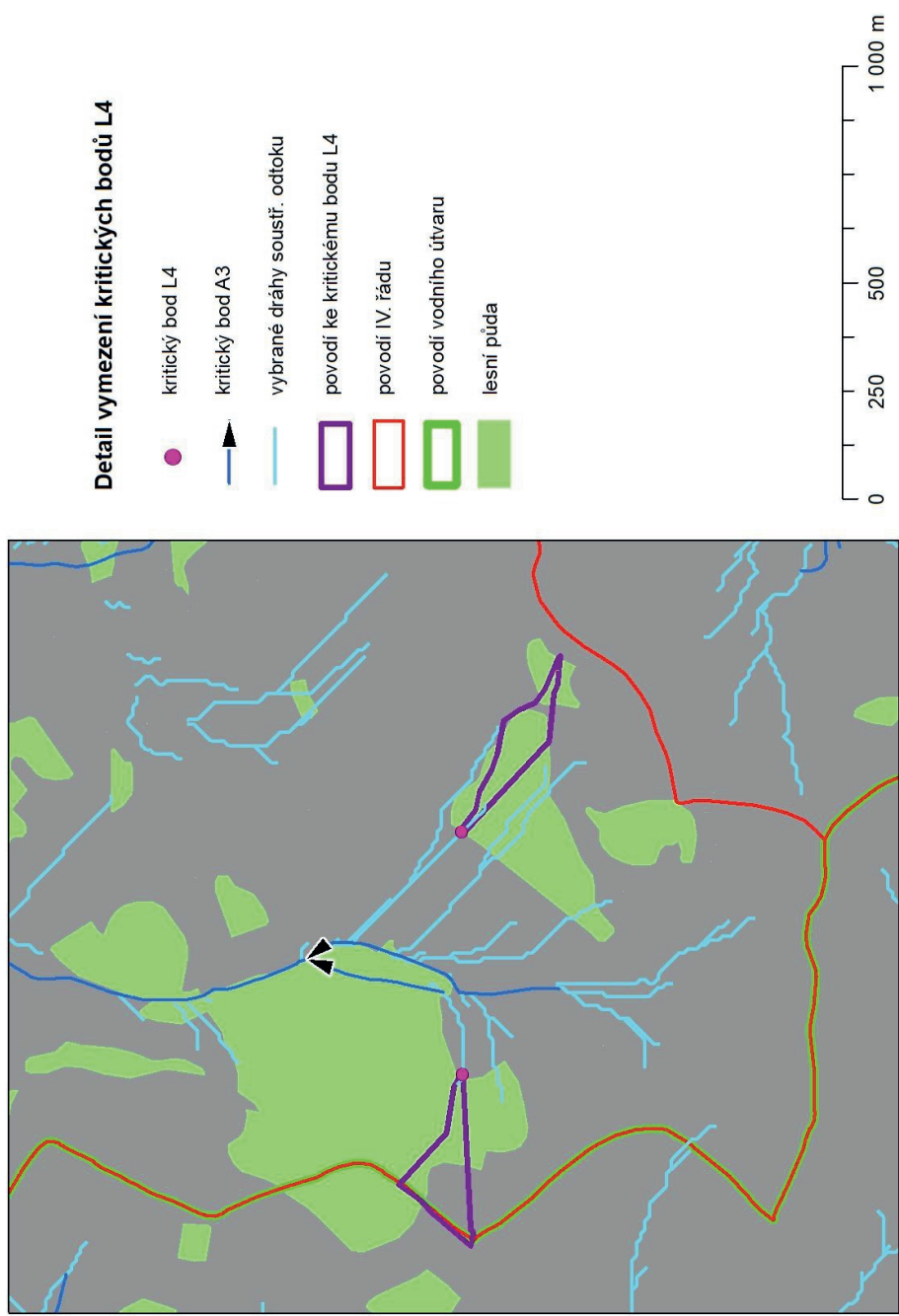
Tyto body nevstupují do analýzy výpočtu kontaminace povrchových vod. Znázornění kritického bodu cestní sítě je uvedeno na obr. č. 4.



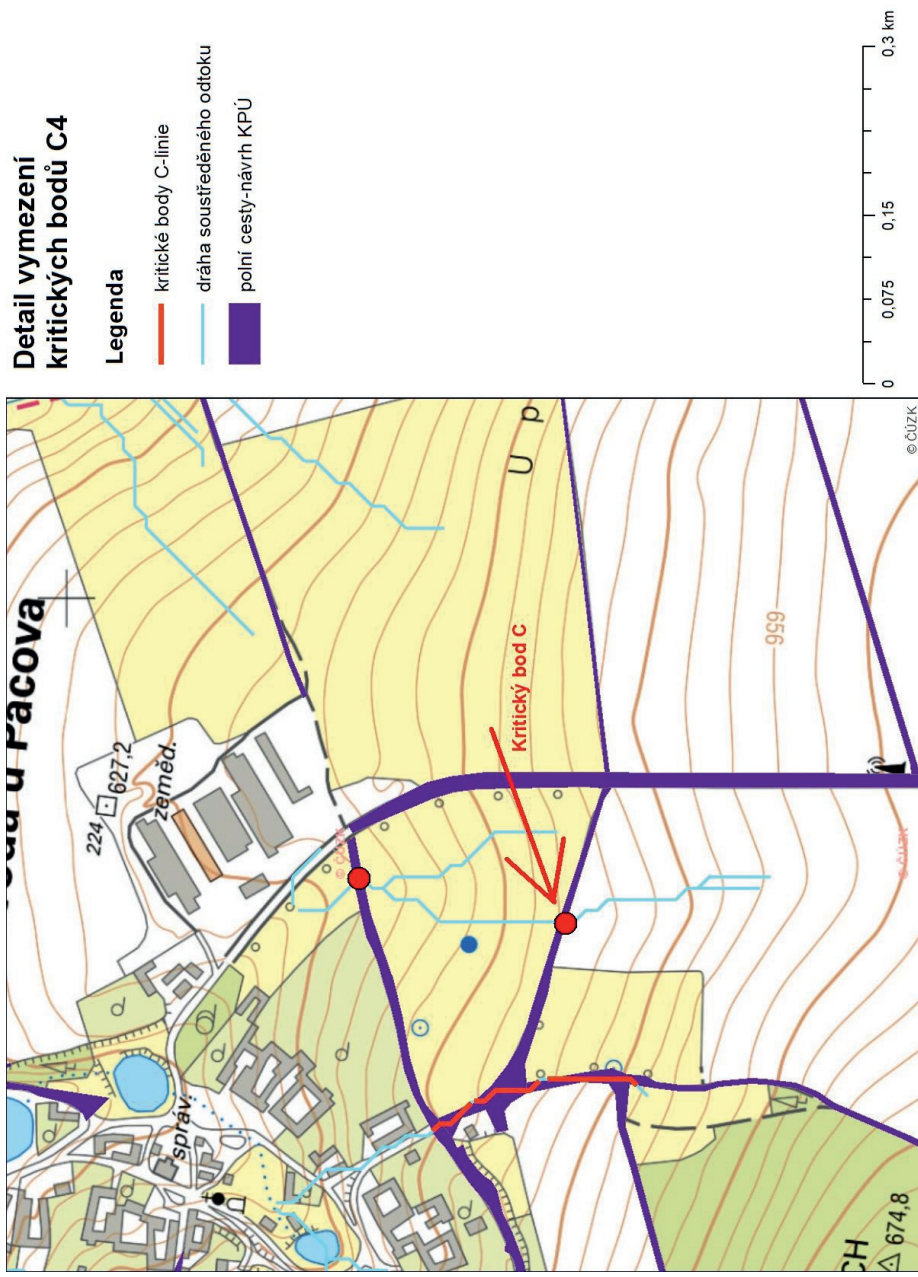
Obr. č. 1 Schéma a detail vymezení úrovní kritických bodů a lokalit plošného znečištění (povrchové)



Obr. č. 2 Schéma a detail vymezení úrovní kritických bodů a lokalit plošného znečištění (podpovrchové)



Obr. č. 3 Detail vymezení kritických bodů kategorie L4 (odtok z lesa)



Obr. č. 4 Detail vymezení kritických bodů kategorie C

3.1 Metodický postup identifikace kritických bodů drah soustředěného odtoku a povrchového plošného zemědělského znečištění

3.1.1 Použité metody

Cílem prvního kroku řešení je definice a metodika následného vymezení jednotlivých KB_{dif} kategorií A1, A2 a A3.

Při řešení úlohy (a to i v následných etapách) bude uplatněn přístup „shora dolů“ (**A3 → A1, tj. od nejpodrobnější úrovně KB_{dif} subpovodí k úrovni KB_{dif} vodního útvaru**). V ploše povodí budou nejprve v nejpodrobnějším členění identifikovány závěrové profily úrovně A3 tak, aby následná schematizace řešení poskytla relevantní podrobnost pro realistické modelování transportu NL a vyhodnocení území do úrovně podrobnosti výběru lokalit vhodných pro návrhy konkrétních opatření na konkrétních lokalitách např. v rámci navrhování Komplexních pozemkových úprav. Ke KB_{dif} úrovně A3 budou následně vygenerována subpovodí, jako nejmenší dílčí plošné jednotky povodí. Při přístupu „shora dolů“ budou v následných etapách řešení KB_{dif} úrovně A3 hodnoceny jako první podle míry produkovaného plošného znečištění (erozních splavenin a P_{celk}).

Podle provedených testů v rámci pilotní lokality Povodí Vltavy (Novák et al., 2016) je průměrná délka úseku mezi jednotlivými KB_{dif} A3 328 m. Test byl proveden v povodí Vltavy k profilu VN Slapy, plocha povodí k profilu hráze VN Slapy pro příklad je tedy reprezentována 59 266 dílčími subpovodími.

Pro řešení budou další KB_{dif} úrovně A3 doplněny na malých vodních nádržích (důvodem je následný výpočet poměru zachycení sedimentu pro každou evidovanou průtočnou nádrž s plochou přesahující 0,25 ha). Pro jednoznačné vymezení topologického schématu erozně transportního modelu budou dále doplněny KB_{dif} na přítocích do vodních nádrží a za profily jejich hrází, případně v dalších doplňujících profilech (např. profily monitoringu).

Při definování KB_{dif} uvedených kategorií jsou sledovány dvě úrovně podrobnosti:

„fáze přehledová“ – zahrnuje v sobě úrovně A1 (vodní útvary) a A2 (povodí IV. řádu). Tyto úrovně budou využity pro kvantifikaci transportovaného znečištění, ohodnocení skutečného stavu na základě monitoringu znečištění, vyhodnocení potenciálního vývoje a z toho pak budoucího ohrožení. Po nalezení zdrojů znečištění (viz fáze zpřesňující) a návrhu opatření (další etapy řešení) bude opakovaným výpočtem posouzena účinnost navržených opatření na zlepšení celkového stavu.

„fáze zpřesňující“ – zahrnuje subpovodí, definovaná podrobnými KB_{dif} na hydrografické síti. V této úrovni budou v dalších etapách řešení hledány zdrojové plochy transportovaného znečištění a na základě jejich kvantifikace a klasifikace budou navrhována kompenzační opatření s využitím fyzikálně založených modelů (rovněž následující etapy řešení). V rámci etapy A bude proveden výběr KB_{dif} úrovně A3 dle výše uvedených specifik a budou vygenerována jejich subpovodí.

3.1.2 Datové podklady

Definování KB_{dif} bude probíhat na vektorových datech příslušných databází, generování subpovodí KB_{dif} úrovně A3 bude probíhat v rozlišení 10x10 m. K řešení jsou nezbytné následující datové vrstvy:

- DMT = DMR4G, ošetřený z hlediska lokálních singularit, bezodtokých míst a artefaktů a podle potřeby vyhlazený, se zahrnutím významných linií ovlivňujících směrování povrchového odtoku.
- Hydrografická síť z databáze DIBAVOD/ZABAGED.
- Využití území – prioritní databáze ZABAGED, kombinovaná s vrstvou LPIS.
- Vodní nádrže – kombinace dostupných dat (DIBAVOD/ZABAGED).
- Ortofotomapy v lokalitách s nutným upřesněním, předpokládá se využití volně dostupných WMS podkladů.

3.1.3 Pracovní postup v GIS k určení kritických bodů

Ad fáze přehledová:

Kritickými body stanovenými v přehledové fázi zpracování podkladů jsou závěrové profily vodních útvarů (A1) a závěrové profily povodí IV. řádu (A2). Tyto KB_{dif} jsou dány vrstvou DIBAVOD a vrstvou měrných profilů Povodí Vltavy, státní podnik, popř. profilů ČHMÚ.

V rámci zpracování a přípravy proběhne kontrola datových vrstev, konzistence dat, případně úpravy tam, kde budou zjištěny chyby, singularity nebo nepřesnosti.

Ad fáze zpřesňující:

Kritickými body stanovenými ve **zpřesňující fázi** zpracování podkladů budou závěrové profily subpovodí (A3). Ty budou vymezeny následujícím postupem:

- Analýza KB_{dif} sítě toků DIBAVOD/ZABAGED a kontrola jejich konzistence, spojená s kontrolou orientace hydrografické sítě vodních toků.
- Doplnění a opravy sítě vodních toků tak, aby síť byly spojitě a topologicky správně orientované.
- Identifikace KB_{dif} úrovně A3 jako soutoků vodních toků všech řádů z databáze DIBAVOD/ZABAGED.
- Výběr nádrží vstupujících do řešení, doplnění vrstvy nádrží do databáze a zajištění návazné topologie sítě toků a průtočných nádrží.
- Doplnění KB_{dif} úrovně A3 na vtoku do průtočných nádrží.
- Úprava sítě vodních toků s ohledem na minimální délku úseku (10 m) tak, aby topologie vodních toků byla zachována v distribuovaném rastrovém řešení v následujících etapách.
- Kontrola vektorové vrstvy a databáze KB_{dif} úrovně A3 a odstranění topologických chyb.
- Generování subpovodí ke každému KB_{dif} úrovně A3.

Fáze přehledová i fáze zpřesňující budou zpracovávány nezávisle na sobě, výsledky řešení obou fází budou nicméně finálně koordinovány tak, aby bylo možno uplatnit princip řešení

„shora dolů“. Výsledkem bude shp vrstva s informací o ID, typu a úrovni KB_{dif} (A1 až A3) a zeměpisných souřadnicích.

Subpovodí

Subpovodí budou vygenerována v GIS ke každému identifikovanému KB_{dif} úrovně A3, respektive k úseku vodního toku nad KB_{dif} , s využitím podkladů DIBAVOD/ZABAGED a DMT.

3.2 Metodický postup identifikace kritických bodů podpovrchového odtoku a plošných zdrojů zemědělského znečištění

3.2.1 Použité metody

Postupy pro identifikaci KB_{dif} budou též zpracovány ve dvou úrovních podrobnosti:

"**Fáze přehledová**", které odpovídá úroveň vodních útvarů (B1) a úroveň povodí IV. řádu (B2). Tyto úrovně KB_{dif} jsou vhodné pro *indexové hodnocení* kategorizace významnosti rizika příspěvku podpovrchového odtoku ze staveb plošného zemědělského odvodnění.

"**Fáze zpřesňující**", která bude na úrovni sub-povodí (B3) a jednotlivých staveb odvodnění nebo jejich mikropovodí (B4). Zatímco pro úroveň B3 lze stále dobře využít indexové hodnocení kategorizace jejich lokalit, na úrovni B4 lze již kategorizovat jednotlivé stavby odvodnění z hlediska rizikovitosti transportu znečišťujících látek. Tato kategorizace bude sloužit jako podklad pro návrh systémů opatření.

3.2.2 Datové podklady

Potřeby využití datových zdrojů k identifikaci KB_{dif} jsou:

- GIS: OS ZVHS – vrstva evidovaných staveb odvodnění, zpracovaná ZVHS v měřítku map 1:10 000,
- GIS: ZABAGED, DIBAVOD, DMR4G.

3.2.3 Pracovní postup v GIS k určení kritických bodů

Ad fáze přehledová:

Kritickými body stanovenými v přehledové fázi zpracování podkladů jsou závěrové profily vodních útvarů (B1) a závěrové profily povodí IV. řádu (B2). Tyto KB_{dif} jsou dány vrstvou DIBAVOD a identifikovány analogicky s KB_{dif} A1, A2.

Ad fáze zpřesňující:

Jako kritické body stanovené ve zpřesňující fázi zpracování podkladů jsou definovány jednak závěrové profily sub-povodí (B3) a jednak vyústění drenážních skupin jednotlivých staveb odvodnění nebo jejich mikropovodí – drenážní výusti (B4).

Závěrové profily sub-povodí relevantních pro podpovrchový odtok, tj. KB úrovně B3 lze vygenerovat např. pomocí modelu SWAT. Pro schematizaci vybraných povodí IV. řádu lze využít připravený digitální model reliéfu, na základě, kterého jsou prováděny navazující geografické analýzy za pomoci nástroje Watershed Delineation geografického informačního systému ArcGIS desktop od firmy ESRI. Pro vykreslení hydrografické sítě předmětných povodí bude použit připravený hydrologicky korektní DMR 4G s velikostí rastru 10 x 10 m. Za pomoci funkce flow direction / flow accumulation lze získat přesné hydrografické uspořádání, tedy vygenerovat vodní toky vybraných povodí IV. řádu a body KB 3 neboli uzávěrové profily pro jednotlivá sub-povodí. Dále lze získat navazující schematizaci řešeného území v podobě vykreslení sub-povodí k bodům KB 3. Mikropovodí k závěrovým profilům jednotlivých drenážních skupin, tj. KB úrovně B4 lze definovat pomocí v prostředí GIS, který je uveden

v práci Fučík et al., 2020 – zpráva pro MZE. Drenážní skupiny lze generovat na základě následujících datových sad:

- Digitální model reliéfu České republiky 4. generace (DMR 4G),
- stavby zemědělského odvodnění dle bývalé ZVHS,
- vrstva vodních toků – A02 – vodní tok (jemné úseky)
- vrstva vodních nádrží – A05 – vodní nádrže.

Fáze přehledová i fáze zpřesňující budou zpracovávány postupně, jak jsou uvedeny – nejprve bude zpracována fáze přehledová. Tento přístup umožňuje nejprve stanovit rizika pro větší územní celky. Následně dojde ke zpřesnění, kdy budou ve vybraných zranitelných vodních útvarech a povodích IV. řádu definována sub-povodí do kterých je potřeba směřovat opatření. Kategorizace KB úrovně B4 (mikropovodí drenážních skupin) bude sloužit ve vybraných lokalitách jako podklad pro konkrétní návrhy opatření.

3.3 Metodický postup identifikace kritických bodů drah soustředěného odtoku – přímého odtoku z lesních půd

3.3.1 Použité metody

Ve smyslu schématu popsaném v kapitole 3.1.1 budou dále vymezeny kritické body kategorie L4. Z hlediska hydrologické orientace, tj. principu „shora dolů“ jsou body L4 zařazeny před kritické body třetí úrovně (L4 → A3) a tvořily by tak podmnožinu kritických bodů A4 v případě, že by byly tyto vymezeny. Prakticky jsou body L4 hodnoceny izolovaně od ostatních kritických bodů, protože sledují jiný cíl – vymezují a (semi)kvantifikují hydrologická rizika ze zvlášť vyčleněné kategorie krajinného pokryvu za účelem zefektivnění návrhu retenčních opatření. Ačkoliv je jejich zpracování možné, za běžných okolností přímo nevstupují do hierarchicky (A3 → A1 atp.) probíhajícího bilančního hodnocení ukazatelů eroze a vývoje látkových toků.

Vlastní vymezení kritických bodů probíhá nad běžně dostupnými polohopisnými a výškopisnými mapovými podklady prostřednictvím analytických funkcí některého ze softwarových prostředků GIS.

3.3.2 Datové podklady

Definování KB_{L4} bude probíhat na rastrových a vektorových datech příslušných databází. Generování povodí KB_L bude probíhat v rozlišení 10x10 m. K řešení jsou nezbytné následující datové vrstvy:

- DMT = DMR4G (popř. 5G), ošetřený z hlediska lokálních singularit, bezodtokých míst a artefaktů a podle potřeby vyhlazený, se zahrnutím významných linií ovlivňujících směrování povrchového odtoku.
- Využití území – prioritní databáze ZABAGED, kombinovaná s vrstvou LPIS.
- Ortofotomapy v lokalitách s nutným upřesněním, předpokládá se využití volně dostupných WMS podkladů.

3.3.3 Pracovní postup v GIS k určení kritických bodů

Kritické body kategorie L4 budou stanoveny následujícím postupem:

- Sloučíme polygonové vrstvy LesniPudaSeStromy.shp a LesniPusaSKrovinatymPorostem.shp (obojí ZABAGED) do jediné společné vrstvy.
- K výše uvedené vrstvě vytvoříme obalovou zónu s doporučenou šířkou 5 m a totéž provedeme pro vrstvu OrnaPudaAOstatniNeurcenePlochy.shp (ZABAGED, popř. kombinace s LPIS).
- Průnikem obou předchozích vrstev, zahrnující obalové zóny lesní půdy a orné půdy, získáme polygonovou vrstvu s pracovním názvem Rozhrani.shp.
- Ze sestaveného DMT odvodíme rastr akumulací odtoku (ten udává velikost přispívající plochy nad danou buňkou rastru).
- Z rastru akumulací odtoku vytvoříme výběrovou síť drah soustředěného odtoku. Za tímto účelem použijeme podmínku dolního a horního omezení velikosti přispívající plochy (viz vysvětlení a doporučení uvedené v kapitole 3). Rastrovou síť drah soustředěného odtoku převedeme na liniovou vrstvu.

- Provedeme průnik liniové vrstvy vybraných drah soustředěného odtoku s vrstvou Rozhrani.shp. Ze získané liniové vrstvy odvodíme bodovou vrstvu odpovídající dolním koncům každého liniového prvku (doporučujeme předtím provést sloučení bezprostředně sousedících liniových prvků).
- Z takto nalezených bodů dále využijeme pouze ty, které se nachází na orné půdě a automatickými nástroji k nim z DMT vygenerujeme polygony přispívajících povodí.
- K vygenerovaným polygonům povodí hromadně odvodíme podíl lesní půdy. Pokud zjistíme, že je lesnatost povodí nad potenciálním kritickým bodem vyšší, než činí minimální požadovaná hodnota (viz vysvětlení a doporučení v kapitole 3), prohlásíme takový případ za kritický bod kategorie L4.

S ohledem na složitost úlohy a nemožnost ošetřit jednoduchým postupem veškeré eventuality je třeba automaticky vygenerovaný výsledek manuálně zkontrolovat a případně korigovat.

3.4 Metodický postup identifikace kritických bodů odtoku na cestní síti

3.4.1 Použité metody

Kritické body kategorie C4 jsou zařazeny před kritické body třetí úrovně (C4 → A3) a tvořily by tak podmnožinu kritických bodů A4 v případě, že by byly tyto vymezeny. Body C4 jsou hodnoceny izolovaně od ostatních kritických bodů, jelikož opět, jako u bodů L4, sledují jiný cíl – identifikují potenciálně rizikové lokality cestní sítě, kde může docházet ke kumulaci vody z výše položených pozemků nebo sama cesta či úsek cesty může tvořit dráhu soustředěného odtoku. Cílem je zefektivnění návrhu retenčních opatření. Tyto body však nestupují do bilančního hodnocení ukazatelů eroze a vývoje látkových toků.

Vlastní vymezení kritických bodů probíhá nad běžně dostupnými polohopisnými a výškopisnými mapovými podklady prostřednictvím analytických funkcí některého ze softwarových prostředků GIS.

3.4.2 Datové podklady

Definování KB_{C4} bude probíhat na rastrových a vektorových datech příslušných databází. K řešení jsou nezbytné následující datové vrstvy:

- DMT = DMR4G (popř. 5G), ošetřený z hlediska lokálních singularit, bezodtokých míst a artefaktů a podle potřeby vyhlazený, se zahrnutím významných linií ovlivňujících směrování povrchového odtoku.
- Využití území – prioritní databáze ZABAGED, kombinovaná s vrstvou LPIS.
- Ortofotomapy, předpokládá se využití volně dostupných WMS podkladů.

3.4.3 Pracovní postup v GIS k určení kritických bodů

Kritické body kategorie C4 budou stanoveny následujícím postupem:

- Z databáze ZABAGED vybereme vrstvu cesta.shp a vrstvu OrnaPudaAOstatniNeurcenePlochy.shp
- Vrstvu cesta.shp ořízneme vrstvou OrnaPudaAOstatniNeurcenePlochy.shp, dostaneme tak výběr polních cest na orné půdě
- K vrstvě cesta.shp vytvoříme obalovou zónu s doporučenou šířkou 3 m (cestabuffer.shp)
- Ze sestaveného DMT odvodíme rastr akumulací odtoku
- Z rastru akumulací odtoku vytvoříme síť drah soustředěného odtoku. Rastrovou síť drah soustředěného odtoku převedeme na liniovou vrstvu.
- Provedeme průnik liniové vrstvy drah soustředěného odtoku s vrstvou cestabuffer.shp. Ze získané liniové vrstvy odvodíme bodovou vrstvu kritických bodů cestní sítě.

Kritické body cestní sítě manuálně zkontrolujeme a případně korigujeme s přihlédnutím k dalším vstupním datům (vrstva LPIS a snímky Ortofotomapy).

4. Kategorizace lokalit ohrožených zrychleným odtokem a znečištěním z povrchových a podpovrchových plošných zemědělských zdrojů pro celé území České republiky

Cílem této části je vytvořit metodické podklady a návod, jak provést kategorizaci lokalit kritických bodů KB_{dif} ohrožených zrychleným odtokem a znečištěním z plošných zdrojů

V předchozích kapitolách byl popsán podrobný postup, jakým způsobem budou definovány KB_{dif} jednak povrchového znečištění – erozní smyv – a jednak podpovrchového znečištění – drenážní odtoky. V rámci kapitoly 4 je soustředěna pozornost na způsob kategorizace jednotlivých lokalit, jako zdrojů znečištění, tak aby bylo možno kvalifikovaně rozhodnout, do kterých lokalit soustředit navrhovaná opatření. Cílem je dosažení maximálního efektu spočívajícího ve zlepšení stavu vodních útvarů.

Základní princip aplikované kategorizace spočívá v kombinovaném přístupu „shora dolů“ ($AB_3 \rightarrow AB_1$) resp. „zdola nahoru“ ($AB_1 \rightarrow AB_3$) ve dvou nebo několika následných krocích.

V první fázi je matematicky modelován vnos znečištění z povrchových a podpovrchových plošných zdrojů znečištění do vodních toků. Ten je následně kvantifikován nejdříve pro KB_{dif} úroveň 3 (subpovodí) a dále je směrem po toku sčítán (včetně kvantifikace průběžné retence) přes povodí IV. řádu (úroveň 2) až po cílové vodní útvary (úroveň 1). Zde je hodnocen výsledek modelovaného vnosu znečištění nebo monitoringu jakosti vod. Výsledkem je souhrnná kategorizace ohrožení vodních útvarů znečištěním, a to jak z povrchových (NL a erozní P), tak z podpovrchových (N- NO_3 , pesticidy) zdrojů odděleně i v synergickém působení. Aby bylo možno oddělit rizika pocházející z plošných zdrojů znečištění, bude doporučeno provést pro zvolené vodní útvary bilanci zdrojů znečištění s cílem oddělit vnos znečištění ze zdrojů bodových.

Pro vybrané nejohroženější útvary pak je možno zpětným postupem směrem „zdola nahoru“ identifikovat nejvýznamnější lokality obou typů znečištění. V takto vytipovaných lokalitách je možno v dalších krocích řešení navrhována konkrétní opatření.

Dalším cílem je vytvořit metodické podklady a návod, jak provést kategorizaci lokalit, kde odtok z lesních ploch vytváří riziko pro níže ležící ornou půdu. Za tímto účelem byly nejprve v kapitole 3.3 vytipovány lokality, kde k takovému ohrožení dochází (kritické body kategorie L4). Postup kategorizace těchto lokalit podle míry rizika odtoku z lesních ploch je popsán níže v kapitole 4.4. Postup je založen na vyčíslení velikosti přímého odtoku a kulminačního průtoku v profilech KB_{L4} . Zmíněné veličiny následně slouží také k dimenzování případných technických opatření.

Nepředpokládáme, že hodnocení velikosti odtoku bude probíhat stejným způsobem jako u vnosu znečištění. V případě potřeb je možné sestavení srážkoodtokového modelu řešeného území a vyčíslení odtoku ze zvolené návrhové srážky s postupným zahrnutím kritických bodů typu $L4 \rightarrow AB_3 \rightarrow AB_1$. Při hodnocení územních celků s výrazně odlišnými plochami povodí ($L4$ vs. některé body AB_1) je však třeba počítat s výrazně odlišnou tzv. kritickou délkou trvání deště. Velká povodí nebudou rovnoměrně zasažena krátkodobým deštěm a regionální srážky zase nebudou představovat rozhodující hrozbu u povodí ke kritickým bodům kategorie L4. Z výše uvedených důvodů doporučujeme provést hodnocení odtoku pouze izolovaně pro KB_{L4} a případně pro KB_{A3} či KB_{B3} .

Nedílnou součástí zemědělské krajiny je účelová cestní síť. Z tohoto důvodu bylo přistoupeno také k metodickému návodu, jak provést výběr a kategorizaci cestní sítě pro návrh opatření k retenci a akumulaci vody v krajině. Za tímto účelem byly kapitole 3.4. vytipována kritická místa cestní sítě (kritické body kategorie C4). Postup kategorizace těchto lokalit je popsán níže v kapitole 4.5. Princip je založen na posouzení dané lokality s cílem najít co nejvhodnějšího opatření na podporu retence vody.

Stanovení kritických bodů na cestní síti nemá přímou spojitost s hodnocením intenzity eroze a látkových toků v profilech kategorie A1 až A3, resp. B1 až B4. Jde o doplnění v systému hodnocení krajiny o významný prvek (cestní síť), který se velkou měrou může podílet na vodohospodářském řešení nápravných opatření.

4.1 Metodický postup kategorizace lokalit ohrožených zrychleným odtokem a znečištěním z povrchových plošných zemědělských zdrojů pro celé území České republiky

4.1.1 Použité metody

Cílem posouzení zdrojů plošného povrchového znečištění je analyzovat situaci v povodí pomocí sítě KB_{dif} , kde bude sledován a kvantifikován transport erozních splavenin a erozního fosforu. Kritické body budou rozčleněny v prostorové hierarchii do tří kategorií (A1, A2, A3) podle velikosti reprezentovaného území (viz kapitola 3, viz obr. č. 1). Kritický bod bude vždy situován na vodním toku.

Princip použité metody a podrobné výsledky výpočetního modelu

Základem posouzení zdrojů splavenin a erozního P je podrobný distribuovaný výpočet ztráty půdy, retence a transportu sedimentu v celé ploše řešeného území (případně na celém území ČR rozšířeném o plochy přispívajících lokalit z příhraničních oblastí). Výsledkem tohoto výpočtu jsou digitální informační vrstvy obsahující hodnoty smyvu, depozice a transportu splavenin v každém bodě (pixelu) velikosti 10x10 m nacházejícím se na zemědělské půdě v řešeném území a modelové hodnoty transportu NL (resp. erozního P) všemi úseky hydrografické sítě s členěním odpovídajícím podrobnosti KB_{dif} úrovně A3.

V rámci kategorizace ohrožených lokalit na úrovni A3 bude využito kontinuálně založených plně distribuovaných nástrojů odvozených na empirickém, resp. semi-empirickém základě. Metody fyzikálně založené a epizodní budou ve vytipovaných lokalitách použity k podrobnému technickému návrhu a dimenzování opatření na požadovanou zabezpečení (etapa M).

Pro výpočet eroze a transportu splavenin do vodních toků i hydrografickou sítí bude použit matematický model WATEM/SEDEM (Van Rompaey et al., 2001; Verstraeten et al., 2002; Van Oost et al., 2000), pracující na principu aplikace USLE v kombinaci s porovnáváním množství dostupného erozního materiálu s transportní kapacitou povrchového odtoku na plně distribuovaném podkladě doplněným o výpočet transportu erozního P (Krása et al., 2013 a).

Výstupem bude pro každý pixel:

- hodnota průměrné roční ztráty půdy (t/ha/rok) a (t/rok),
- hodnota depozice (t/rok),
- hodnota transportu splavenin (t/rok),
- hodnota transportu erozního P (kg/rok).

Hodnoty transportu splavenin a P budou dále vyjádřeny pro každý závěrový profil subpovodí (KB_{dif} úrovně A3, A2 i A1) a to jak formou přímého příspěvku ze subpovodí, tak kumulativní formou (se zohledněním transportu z předchozích úseků hydrografické sítě – tam kde je relevantní).

Pro KB_{dif} úrovně A3 odpovídající profilům **vodních nádrží** v hydrografické síti budou zároveň určeny dlouhodobé průměrné hodnoty zachyceného sedimentu (t/rok) a celkového erozního P (kg/rok). Výpočet retence splavenin a erozního P v nádržích není součástí aplikovaného matematického modelu, ale bude řešen odděleně výpočtem poměru zachycení pro jednotlivé nádrže.

4.1.2 Postup výpočtu transportu splavenin a erozního fosforu

Základem postupu je příprava vstupních datových vrstev v rozlišení 10x10 m, připravených samostatně pro navazující schéma řešených povodí o velikosti přibližně 1 000 km². Pro každé modelované povodí je třeba připravit následující vstupy:

- hydrologicky korektní DMT,
- mapu využití území vymezenou pouze pro řešené povodí obsahující pozemky orné půdy a intenzivního zemědělského využití, trvalé travní porosty, lesní plochy, neerodovatelné povrchy (intravilány aj.), vodní nádrže, řešené vodní toky,
- indexovanou mapu vodních toků se zpracovanou topologií návaznosti všech řešených úseků a nádrží v členění odpovídajícím úrovni KB_{dif} A3. Sestavení indexované vrstvy vodních toků bude probíhat postupem odpovídajícím zřetelnější fázi vymezení KB_{dif} úrovně A3 popsaným v kapitole 3),
- indexovanou vektorovou mapu vodních toků v podrobnosti členění KB_{dif} úrovně A3 prostorově odpovídající rastrové vstupní vrstvě vodních toků,
- textovou tabulku topologie úseků vodních toků v členění odpovídajícím úrovni KB_{dif} A3;
- mapu C-faktoru – hodnoty budou určeny dle platné metodiky (Janeček et al., 2012), na orné půdě budou určeny dlouhodobé průměrné osevnické postupy na základě údajů o osevních a sklizňových plochách z Českého statistického úřadu (Krása, 2010),
- mapu K-faktoru – hodnoty budou určeny na základě BPEJ dle platné metodiky (Janeček et al., 2012),
- mapu plošně distribuovaného R-faktoru,
- mapu obsahu P_{celk} v orničním horizontu zemědělské půdy (mg/kg),
- mapu vodních nádrží s hodnotami odpovídajícími jejich poměru zachycení v procentech.

Pro sestavení mapy vodních nádrží je třeba pro každou řešenou nádrž určit poměr zachycení sedimentu (%). Ten bude určen metodou Bruneho křivek (Brune, 1953) ve formě analytického vyjádření střední Bruneho křivky, které po rozšířené kalibraci sestavil Dendy (1978). Pro stanovení doby zdržení (poměru C/I) je třeba stanovit C - objem nádrže (m³) a I - dlouhodobý průměrný průtok q_a (m³/rok). Tyto údaje jsou pro menší nádrže v povodích často nedostupné a jejich údaje bude nutné odvodit alternativním postupem na základě plochy hladiny (Krása et al., 2013 b).

Dalšími kroky řešení jsou:

- naplnění a spuštění erozně transportního matematického modelu WATEM/SEDEM na každém dílčím povodí o velikosti přibližně 1 000 km² (větší prostorové jednotky budou pro výpočet rozděleny z důvodu výpočetní kapacity modelu),
- kontrola výstupů modelu a doladění v místech singularit,
- kombinace hodnot ztráty půdy a transportu splavenin v ploše povodí s nasyceností pozemků P_{celk} a určení transportu erozního P s pomocí opakovaného výpočtu modifikovaným modelem WATEM/SEDEM,
- analýza hodnot prostorového modelování pro jednotlivé KB_{dif} úrovně A3,
- propojení výstupních rastrových informačních vrstev dílčích řešených povodí a vytvoření bežešvé rastrové digitální mapy celého řešeného území,
- připojení výstupních tabulek modelu pro každé dílčí povodí k vektorové síti indexovaných vodních toků,

- propojení výstupních vektorových informačních vrstev vodních toků dílčích řešených povodí a navázání hodnot transportu splavenin i erozního P v odpovídajících profilech hydrografické sítě,
- dopočet transportu splavenin a fosforu pro páteřní úseky hydrografické sítě jednotlivých dílčích povodí a vytvoření bežešvé vektorové digitální mapy toků s výslednými hodnotami pro celé řešené území,
- analýza výstupních hodnot pro KB_{dif} úrovně A3.

4.1.3 Postup kategorizace lokalit ohrožených zrychleným odtokem a znečištěním z povrchových plošných zemědělských zdrojů

Kategorizace bude probíhat analogicky ve všech třech řešených úrovních: A1, A2 a A3.

4.1.3.1 Kategorizace lokalit dle kritických bodů úrovně A1

V úrovni A1 budou jednotlivé KB_{dif} nejdříve klasifikovány podle hodnot vypočtených pomocí matematického modelu eroze a transportu erozních splavenin WATEM/SEDEM, následně pak budou kumulativní hodnoty transportu NL a celkového erozního P porovnány s hodnotami stanovenými monitoringem kvality vody. Kritické body úrovně A1 odpovídají závěrovým profilům vodních útvarů a prioritní KB_{dif} úrovně A1 budou vymezeny v souladu s hodnocením vodních útvarů dle platných metodik.

Pro každý KB_{dif} úrovně A1 budou vypočteny a sledovány následující parametry

- S_{A1_XXX} - vstup splavenin do toků ze zemědělské půdy v daném povodí (povodí vodního útvaru),
- P_{A1_XXX} - vstup erozního P do toků ze zemědělské půdy v daném povodí (povodí vodního útvaru),
- TS_{A1_XXX} - transport splavenin závěrovým profilem daného povodí (povodí vodního útvaru),
- TP_{A1_XXX} - transport erozního P závěrovým profilem daného povodí (povodí vodního útvaru),
- zachycení splavenin ve vodních nádržích v daném povodí,
- zachycení erozního P ve vodních nádržích v daném povodí.

Z toho parametry (indexy) S_{A1} , P_{A1} , TS_{A1} a TP_{A1} budou využity pro klasifikaci KB_{dif} resp. jejich povodí a parametry zachycení splavenin a zachycení erozního P budou kvantifikovány jako dodatečná informace.

Pozn. – XXX značí unikátní identifikátor daného KB_{dif} = závěrového profilu povodí vodního útvaru.

Podrobný postup hodnocení a klasifikace KB_{dif} bude diskutován v kapitole 4.3 a bude zohledňovat synergické působení jednotlivých komponent znečištění. Pro klasifikaci KB_{dif} do 5 tříd rizika bude použita stejná referenční tabulka (tab. č. 1 a tab. č. 2) jako pro ostatní prostorové úrovně řešení (A2 a A3). Konkrétní limitní hodnoty pro jednotlivé kategorie budou nicméně stanoveny až na základě výsledků výpočtu – viz níže.

Rámcově budou KB_{dif} klasifikovány podle rizika z hlediska kombinace faktorů transportu erozních splavenin (TS_{A1}) a celkového erozního fosforu (TP_{A1}) tak, že bude sečtena třída rizika daného KB_{dif} z hlediska transportu splavenin (nerozpuštěných látek) a z hlediska

transportu erozního P a součet bude zpět normován do stupnice 1 – 5. V celkovém hodnocení budou tak zohledněna jak hlediska nebezpečí eutrofizace, tak zanášení vodních nádrží a koryt vodních toků.

Odděleně budou pro každý KB_{dif} kategorizovány obě třídy parametrů – vstup do vodního toku (S_{A1} a P_{A1}) a transport závěrovým profilem (TS_{A1} a TP_{A1}). Zatímco vstup do vodního toku v povodí daného vodního útvaru (dílčím povodí) je charakteristikou každého dílčího povodí, celkový transport závěrovým profilem je charakteristikou profilu ve vztahu k celé ploše povodí nad ním. Pro následné hodnocení pak budou využity oba parametry.

4.1.3.2 Kategorizace lokalit dle kritických bodů úrovně A2

V úrovni A2 budou hodnoty výstupů modelu, podobně jako v úrovni A1, využity pro sestavení indexů v pěti kategoriích rizika (1 nejmenší riziko - 5 největší riziko) vnosu plošného povrchového znečištění (NL a erozního P) do vodních toků a nádrží v rámci každého povodí IV. řádu, a to formou samostatného hodnocení, které bude provedeno obdobně jako v případě KB_{dif} úrovně A1:

- S_{A2_XXX} - vstup splavenin do vodních toků ze zemědělské půdy v daném povodí (povodí IV. řádu),
- P_{A2_XXX} - vstup erozního P do vodních toků ze zemědělské půdy v daném povodí (povodí IV. řádu),
- TS_{A2_XXX} - transport splavenin závěrovým profilem daného povodí (povodí IV. řádu),
- TP_{A2_XXX} - transport erozního P závěrovým profilem daného povodí (povodí IV. řádu),
- zachycení splavenin ve vodních nádržích v daném povodí,
- zachycení erozního P ve vodních nádržích v daném povodí.

Parametry (indexy) S_{A2} , P_{A2} , TS_{A2} a TP_{A2} budou opět využity pro klasifikaci KB_{dif} resp. jejich povodí a parametry zachycení NL a zachycení erozního P budou kvantifikovány jako dodatečná informace.

Pozn. – XXX značí unikátní identifikátor daného KB_{dif} = závěrového profilu povodí IV. řádu.

Podrobný postup hodnocení a klasifikace KB_{dif} bude diskutován v kapitole 4.3 a bude zohledňovat synergické působení jednotlivých komponent znečištění. Pro klasifikaci KB_{dif} do 5 tříd rizika bude použita stejná referenční tabulka (tab. č. 1 a tab. č. 2) jako pro ostatní prostorové úrovně řešení (A1 a A3). Konkrétní limitní hodnoty pro jednotlivé kategorie budou nicméně stanoveny až na základě výsledků výpočtu – viz níže.

Rámcově budou body kategorizovány podle rizika z hlediska kombinace faktorů transportu erozních splavenin (TS_{A2}) a celkového erozního fosforu (TP_{A2}) tak, že bude sečtena třída rizika daného KB_{dif} z hlediska transportu splavenin (NL) a z hlediska transportu erozního P a součet bude zpět kategorizován stupnice 1 – 5. V celkovém hodnocení budou tak zohledněna jak hlediska rizika eutrofizace, tak zanášení vodních nádrží a koryt vodních toků.

Odděleně budou pro každý KB_{dif} kategorizovány obě třídy parametrů – vstup do vodního toků (S_{A2} a P_{A2}) a transport závěrovým profilem (TS_{A2} a TP_{A2}). Zatímco vstup do vodního toku v povodí daného vodního útvaru (dílčím povodí) je charakteristikou každého dílčího povodí, celkový transport závěrovým profilem je charakteristikou profilu ve vztahu k celé ploše povodí nad ním. Pro následné hodnocení pak budou využity oba parametry.

4.1.3.3 Kategorizace lokalit dle kritických bodů úrovně A3

V úrovni A3 budou hodnoty výstupů modelu využity pro přímé porovnání míry vnosu plošného povrchového znečištění do vodních toků a nádrží v úrovni úplného členění hydrografické sítě a budou tak přímo vymezeny úseky toků nejvíce zatížené vstupem splavenin ze zemědělské půdy a erozního P. Následně budou po statistickém vyhodnocení sestaveny indexy zatížení KB_{dif} A3 v pěti úrovních rizika (opět pro každý ukazatel samostatně), případně samostatně vyčleněny nejhroženější lokality.

Samostatnou skupinou KB_{dif} úrovně A3 budou profily všech řešených vodních nádrží, pro které budou rovněž vypočteny dlouhodobé průměrné hodnoty zachycení sedimentu (t/rok) a erozního P (kg/rok). Pro tyto profily budou vytvořeny doplňující indexy rychlosti zanášení vodních nádrží, odpovídající ročnímu procentu zanesení, které budou rovněž klasifikovány do pěti stupňů.

Pro každý KB_{dif} úrovně A3, resp. jeho povodí, budou kvantifikovány a klasifikovány následující parametry:

- S_A3_XXX - vstup splavenin do toků ze zemědělské půdy v daném subpovodí,
- P_A3_XXX - vstup erozního P do toků ze zemědělské půdy v daném subpovodí,
- TS_A3_XXX - transport splavenin závěrovým profilem daného subpovodí,
- TP_A3_XXX - transport erozního P závěrovým profilem daného subpovodí.

Parametry (indexy) S_A3, P_A3, TS_A3 a TP_A3 budou opět využity pro klasifikaci KB_{dif} resp. jejich povodí. Parametry zachycení splavenin a zachycení erozního P ve vodních nádržích nebudou v této úrovni řešení kvantifikovány, protože vzhledem k plošnému rozsahu řešených jednotek tento parametr postrádá významu.

Pozn. – XXX značí unikátní identifikátor daného KB_{dif} = závěrového profilu subpovodí.

Podrobný postup hodnocení a klasifikace KB_{dif} bude diskutován v kapitole 4.3 a bude zohledňovat synergické působení jednotlivých komponent znečištění. Pro klasifikaci KB_{dif} do 5 tříd rizika bude použita stejná referenční tabulka (tab. č. 1 a tab. č. 2) jako pro ostatní prostorové úrovně řešení (A1 a A2). Konkrétní limitní hodnoty pro jednotlivé kategorie budou nicméně stanoveny až na základě výsledků výpočtu – viz níže.

Rámcově budou KB_{dif} klasifikovány podle rizika z hlediska kombinace faktorů transportu erozních splavenin (TS_A3) a celkového erozního fosforu (TP_A3) tak, že bude sečtena třída rizika daného KB_{dif} z hlediska transportu splavenin (NL) a z hlediska transportu erozního P a součet bude zpět kategorizován do stupnice 1–5. V celkovém hodnocení budou tak zohledněna jak hlediska rizika eutrofizace, tak zanášení vodních nádrží a koryt vodních toků.

Odděleně budou pro každý KB_{dif} kategorizovány obě třídy parametrů – vstup do vodního toků (S_A3 a P_A3) a transport závěrovým profilem (TS_A3 a TP_A3). Zatímco vstup do vodního toku v povodí daného vodního útvaru (dílčím povodí) je charakteristikou každého dílčího povodí, celkový transport závěrovým profilem je charakteristikou profilu ve vztahu k celé ploše povodí nad ním. Pro následné hodnocení pak budou využity oba parametry.

4.1.4 Klasifikace významnosti rizik pro kritické body podle jednotlivých hodnocených parametrů

Klasifikace významnosti rizik bude provedena u každé z úrovní řešení (A1, A2, A3) u parametrů (popsány výše):

- S_AX_XXX – vstup splavenin do toků ze zemědělské půdy v povodí daného kritického bodu dané úrovně,
- P_AX_XXX – vstup erozního P do toků ze zemědělské půdy v povodí daného kritického bodu dané úrovně,
- TS_AX_XXX – transport splavenin závěrovým profilem daného dílčího povodí dané úrovně,
- TP_AX_XXX – transport erozního P závěrovým profilem daného dílčího povodí dané úrovně.

Klasifikace u každého parametru bude ve všech třech úrovních vycházet z pětitřídní stupnice (1 – nejmenší riziko; 5 největší riziko) s tím, že konkrétní (číselné) hranice jednotlivých tříd pro vstup splavenin (S_AX) i vstup erozního fosforu (P_AX), transport splavenin (TS_AX) a transport erozního P (TP_AX) budou nastaveny až po provedení skutečných výpočtů tak, aby rozdělení počtu KB_{dif} do jednotlivých tříd bylo lineární nebo sledovalo normální, případně logaritmické rozložení (bude předmětem dalších diskuzí a optimalizace tak, aby zadavateli poskytlo maximální efekt). Do doby, než budou k dispozici vypočtené hodnoty vstupu i transportu obou sledovaných veličin, nebylo by správné přesné rozdělení závazně stanovit, protože výsledky matematických modelů mají vždy význam spíše indikativní a kategorizace do tříd by následně mohla být zkreslená.

Jak bylo popsáno v předchozích odstavcích, v rámci obou tříd parametrů (vnos do vodních toků a transport KB_{dif} příslušného povodí) budou oba parametry kategorizovány zvlášť (splaveniny a celkový erozní P). Následně budou pro každé dílčí povodí, resp. každý KB_{dif} sečteny stupně rizika pro oba typy parametrů a kategorizace bude provedena zpět do 5stupňové škály. Výsledkem tedy bude pro každý KB_{dif} každé úrovně a každé dílčí povodí KB_{dif} (A1 – A3) jeho kategorie rizika z hlediska:

- vnosu plošného znečištění do hydrografické sítě,
- transportu plošného znečištění daným KB_{dif} ,

přičemž bude přisouzena stejná váha vnosu NL erozního původu, jako vnosu erozního P.

Tabulka 1 Klasifikace kritických bodů A1 z hlediska vstupu erozních splavenin a fosforu do vodních toků a nádrží

Stupeň rizika	Rozpětí hodnot vstupu splavenin (t/rok)	Rozpětí hodnot vstupu erozního fosforu (t/rok)	Slovní hodnocení
1	<2 500	<1 000	Zanedbatelné riziko
2	≥ 2 500 <5 000	≥1 000 <2 000	Malé riziko
3	≥5 000 <10 000	≥2 000 <4 000	Střední riziko
4	≥10 000 <20 000	≥4 000 <8 000	Velké riziko
5	≥20 000	≥ 8 000	Velmi významné riziko

Tabulka 2 Klasifikace kritických bodů A1 z hlediska transportu erozních splavenin a fosforu kritickým bodem

Stupeň rizika	Rozpětí hodnot transportu splavenin kritickým bodem (t/rok)	Rozpětí hodnot transportu erozního fosforu kritickým bodem (t/rok)	Slovní hodnocení
1	<2 000	<1 000	Zanedbatelné riziko
2	≥ 2 000 <10 000	≥1 000 <5 000	Malé riziko
3	≥10 000 <30 000	≥5 000 <15 000	Střední riziko
4	≥30 000 <120 000	≥15 000 <60 000	Velké riziko
5	≥120 000	≥ 60 000	Velmi významné riziko

Tabulka 3 Klasifikace kritických bodů A2 z hlediska vstupu erozních splavenin a fosforu do vodních toků a nádrží

Stupeň rizika	Rozpětí hodnot vstupu splavenin (t/rok)	Rozpětí hodnot vstupu erozního fosforu (t/rok)	Slovní hodnocení
1	<300	<150	Zanedbatelné riziko
2	≥ 300 <600	≥150 <300	Malé riziko
3	≥600 <1 200	≥300 <600	Střední riziko
4	≥1 200 <2 400	≥600 <1 200	Velké riziko
5	≥2 400	≥ 1 200	Velmi významné riziko

Tabulka 4 Klasifikace kritických bodů A2 z hlediska transportu erozních splavenin a fosforu kritickým bodem

Stupeň rizika	Rozpětí hodnot transportu splavenin kritickým bodem (t/rok)	Rozpětí hodnot transportu erozního fosforu kritickým bodem (t/rok)	Slovní hodnocení
1	<1 000	<500	Zanedbatelné riziko
2	≥ 1 000 <10 000	≥500 <5 000	Malé riziko
3	≥10 000 <30 000	≥5 000 <15 000	Střední riziko
4	≥30 000 <120 000	≥15 000 <60 000	Velké riziko
5	≥120 000	≥ 60 000	Velmi významné riziko

Tabulka 5 Klasifikace kritických bodů A3 z hlediska vstupu erozních splavenin a fosforu do vodních toků a nádrží

Stupeň rizika	Rozpětí hodnot vstupu splavenin (t/rok)	Rozpětí hodnot vstupu erozního fosforu (t/rok)	Slovní hodnocení
1	<5	<3	Zanedbatelné riziko
2	≥ 5 <20	≥3 <12	Malé riziko
3	≥20 <80	≥12 <48	Střední riziko
4	≥80 <320	≥48 <192	Velké riziko
5	≥320	≥ 192	Velmi významné riziko

Tabulka 6 Klasifikace kritických bodů A3 z hlediska transportu erozních splavenin a fosforu kritickým bodem

Stupeň rizika	Rozpětí hodnot transportu splavenin kritickým bodem (t/rok)	Rozpětí hodnot transportu erozního fosforu kritickým bodem (t/rok)	Slovní hodnocení
1	<30	<15	Zanedbatelné riziko
2	≥ 30 <500	≥15 <250	Malé riziko
3	≥500 <2 000	≥250 <1 000	Střední riziko
4	≥2 000 <10 000	≥1 000 <5 000	Velké riziko
5	≥10 000	≥ 5 000	Velmi významné riziko

4.2 Metodický postup kategorizace lokalit ohrožených zrychleným odtokem a znečištěním z podpovrchových plošných zemědělských zdrojů

4.2.1 Použité metody

Cílem posouzení jednotlivých přispívajících lokalit kritických bodů na základě míry jejich ohrožení zrychleným odtokem a znečištěním vod z plošných podpovrchových zdrojů je analyzovat situaci v povodí pomocí sítě KB_{dif} a jejich lokalit v rámci nichž bude definováno riziko transportu $N-NO_3$ a pesticidních látek, které jsou vnímány jako nejrozšířenější a nejrizikovější kontaminanty drenážních vod.

Lokality KB tří vyšších prostorových měřítek lze kategorizovat pomocí indexového hodnocení. Za tímto účelem byla vyvinuta metoda tzv. Souhrnného indexu potřebnosti opatření (SIPO). Nejmenším měřítkem jsou uzávěrové profily vodních útvarů (desítky až stovky km^2). Další úrovní jsou uzávěrové profily povodí IV. řádu (obecně 5-20 km^2). Obě tyto úrovně lze vymezit na základě databáze DIBAVOD. Poslední úrovní KB je uzávěrový profil tzv. subpovodí. Tato subpovodí představují hydrologicky ucelené jednotky o rozloze 20-100 ha, které lze vygenerovat pomocí modelu SWAT a digitálního modelu terénu.

Pro lokality KB úrovně B4 (mikropovodí drenážních skupin) lze kategorizaci lokalit, tj. území, hydrologicky příslušných KB_{dif} , provedena vyhodnocením úrovně B4 geografickou analýzou přírodních charakteristik lokality (hydrologické, hydrogeologické, hydrogeologické, geomorfologické) pro zjištění příčin a zdrojů zamokření mikropovodí a vodnosti drenážního systému, za použití modelů (M). Z příčin zamokření a ze způsobu využití území bude odvozen potenciál jakosti drenážních vod (z převažujícího charakteru přítoku vody do drénu: směru, rychlosti, délce a typu transportu) - viz Fučík a kol. (2010). Cílová kategorizace lokalit na úrovni B4 bude prováděna přiřazením k jednomu nebo více modelům příčin zamokření (M) (podle tab. č. 5). Modely budou testovány postupně od modelu T po model P. Součástí zhodnocení rizika znečištění drenážních vod úrovně B4 (SRB4) je společně s identifikací nejvýstižnějšího modelu (M) také zhodnocení stupně rizika (SR) využívání pozemku ve vazbě na infiltrační schopnost půdy.

4.2.2 Metoda indexového hodnocení

Kategorizace lokalit dle jejich zranitelnosti podpovrchovým (drenážním) odtokem, resp. potřebnosti opatření snižujících vyplavování polutantů a zpomalujících podpovrchový odtok, se provádí na základě tzv. Souhrnného indexu potřebnosti opatření (SIPO).

4.2.2.1 Princip použitých metod a popis výpočetního postupu

Metoda souhrnného indexu potřebnosti opatření z hlediska plošného zemědělského znečištění vod podpovrchovým odtokem spočívá v indexovém hodnocení lokalit KB_{dif} , v měřítku vodních útvarů (pro B1), indexů povodí IV. řádu (pro B2) a sub-povodí (úroveň B3).

Index SIPO je složený z kombinace 5 dílčích indexů charakterizujících vlastnosti hodnocených lokalit ve zvoleném měřítku z hlediska rizika zrychleného odtoku a vyplavování látek ze zemědělsky využívaných půd. Dílčí indexy zastupují jednotlivé faktory ovlivňující pozitivním či negativním způsobem jakost a retenci vod v řešené lokalitě. Mezi faktory zvyšující riziko

zvýšeného vyplavování polutantů patří podíl zorněné půdy, podíl odvodněných půd a podíl půd s nízkou retencí pro vodu a živiny (tzv. infiltračně zranitelných půd). Faktory snižující riziko zvýšeného vyplavování polutantů a zrychleného odtoku ze zemědělských půd představují podíl zatravnění infiltračně zranitelných půd a podíl vodních ploch v hodnocené lokalitě. Níže jsou popsána vstupní data a uvedeny všechny dílčí indexy, které tyto faktory klasifikují. Výsledná hodnota indexu je kategorizována do pěti stupňů rizika (SR).

4.2.1.2 Vstupní data

- Jako vstupní data pro základní geometrii povodí IV. řádu a vodních útvarů lze využít datové zdroje DIBAVOD spravované Výzkumným ústavem vodohospodářským. Využít lze zejména položky v rámci objektů A - základní jevy povrchových a podzemních vod: DIB_A01 vodní tok_CEV, DIB_A02 vodní tok_JU, DIB_A03 vodní tok_HU. Data jsou volně ke stažení na adrese:

<https://www.dibavod.cz/>

Jednotlivé dílčí indexy lze vypočítat na základě čtyř podkladových datových vrstev. Jedná se o:

- Databáze LPIS (Land Parcel Identification System) - veřejný registr půdy spravovaný Ministerstvem zemědělství. Data jsou volně ke stažení na adrese:

<https://eagri.cz/public/web/mze/farmar/LPIS/export-lpis-rocni-shp.html>

Zásadní informace je využití půdy jako orná – kód kultury R a využití půdy jako TTP – kód kultury T (trvalý travní porost) a kód kultury G (travní porost na orné půdě).

- Celostátní databáze BPEJ - Bonitní rozdělení zemědělské půdy v ČR, realizované prostřednictvím bonitovaných půdně-ekologických jednotek (BPEJ) spravované Státním pozemkovým úřadem. Data jsou volně ke stažení na adrese:

[Celostátní databáze BPEJ / Bonitované půdně-ekologické jednotky | Státní pozemkový úřad \(spucr.cz\)](https://spucr.cz/)

Zásadní informací je kód BPEJ, který je možno využít pro vymezení infiltračně zranitelných půd dle metodiky Janglová et al., 2003.

- Vrstva A05-vodní nádrže z databáze DIBAVOD spravované Výzkumným ústavem vodohospodářským. Tuto vrstvu lze využít ke stanovení ploch vodních nádrží. Vrstva je volně ke stažení na adrese:

<https://www.dibavod.cz/>

- Vrstva evidovaných staveb odvodnění ZV 10 zpracovaná ZVHS v měřítku map 1:10 000. Tato vrstva je výchozí a základní pro zpracování ploch odvodnění v řešených lokalitách všech měřítek. Pro využití v rámci popisovaného software je potřeba provést agregaci polygonů z důvodu eliminace chyb vzniklých nesprávnou interpretací topologie

jednotlivých staveb odvodnění. Tato vrstva je nyní ve správě Ministerstva zemědělství a je volně ke stažení na adrese:

[Data meliorací \(Portál farmáře, eAGRI\)](#)

4.2.1.3 Postup výpočtu jednotlivých indexů

Index podílu orné půdy

Mezi indexy zvyšující riziko vyplavení polutantů z půd do vod patří *Index podílu orné půdy* (rovnice 1), klasifikace území se provádí na základě předpokladu, že s rostoucím podílem orné půdy v povodí roste riziko znečištění vod (Worrall et al., 2003; Fučík et al., 2015). Informace o velikosti zorněných ploch v řešeném území je možno nejlépe získat z časově aktuální vrstvy LPIS, kód kultury R – orná půda.

$$I_{zornění} = \frac{F_{\Sigma \text{orné půdy}}}{F_{\text{plošné jednotky}}} \quad [1]$$

Index podílu ploch odvodnění

Klasifikace území pomocí *Indexu podílu ploch odvodnění* (rovnice 2) se provádí na základě předpokladu, že s rostoucím podílem odvodnění v územní jednotce roste riziko znečištění vod. V současnosti je prokázáno, že drenážní systémy jsou jedním z významných faktorů, který přispívá k zvýšenému vyplavování nutrientů (Honisch, et al., 2002; Kvítek a Doležal, 2003; Hirt et al., 2005) i pesticidů (Zajíček et al., 2018) z půdy. Základní informace o plošném zastoupení staveb zemědělského odvodnění je možné získat z evidence těchto staveb podle vrstvy bývalé Zemědělské vodohospodářské správy (ZVHS), volně dostupné na webu Ministerstva zemědělství. Zejména v případě kategorizace lokalit většího měřítka je vhodné tento podklad upřesnit využitím informací získaných metodami dálkového průzkumu Země (archivní, aktuální, případně cíleně pořízené letecké snímky např. dle metodiky Tlapáková et al., 2016) popř. na základě projektových dokumentací staveb zemědělského odvodnění.

$$I_{\text{ploch}} = \frac{F_{\Sigma \text{staveb odvodnění v rámci plošné jednotky}}}{F_{\text{plošné jednotky}}} \quad [2]$$

Index podílu infiltračně zranitelných půd

Dalším využitým indexem je *Index podílu infiltračně zranitelných půd* (rovnice 3), který je založen na předpokladu, že s rostoucím podílem půd s vysokou infiltrační schopností pro vodu (tedy zároveň zranitelných vyplavováním živin) v posuzované lokalitě roste riziko znečištění vod (Doležal a Kvítek, 2004; Goswami et al., 2009; Fučík et al., 2015). Klasifikace půd na základě jejich propustnosti pro vodu a živiny je doporučeno provést podle metodiky Janglová et al. (2003), zdrojová data BPEJ jsou k dispozici ke stažení na stránkách Státního pozemkového úřadu. Tato data jsou aktualizována jedenkrát měsíčně.

$$I_{zran} = \frac{F_{\Sigma \text{ infiltračně zranitelných lokalit}}}{F_{\text{plošné jednotky}}} \quad [3]$$

Index zatravněných infiltračně zranitelných půd

Index zatravněných infiltračně zranitelných půd vyjadřuje vliv zatravnění, jako již provedeného opatření, které významně snižuje vyplavování živin (Zajíček et al., 2016) a mateřských látek pesticidů (Zajíček et al., 2018) ze zemědělsky využívaných půd. Váha zlepšujícího vlivu indexu se tedy stanovuje na základě předpokladu, že s rostoucím podílem půd zranitelných vyplavováním živin a pesticidů (s nízkou retencí pro vodu a živiny), které jsou zatravněny, klesá riziko znečištění vod v posuzované lokalitě. Identifikace způsobu využití zemědělské půdy je možné provést na základě aktuálního LPIS Ministerstva zemědělství (kód kultury T – trvalý travní porost a G – travní porost na orné půdě).

$$I_{TTP-zran} = \frac{F_{\Sigma \text{ zatravněných půd 1 a 2 kategorie zranitelnosti}}}{F_{\Sigma \text{ infiltračně zranitelných půd v rámci lokalit}}} \quad [4]$$

Index zlepšujícího vlivu vodních nádrží

Index zlepšujícího vlivu vodních nádrží byl zvolen na základě skutečnosti, že výsledná kvalita vody ve vodních recipientech je ovlivňována také procesem samočištění ve vodním prostředí. Tento proces probíhá v prostředí celého povodí (zmírňuje tím vliv plošných zdrojů znečištění) i ve vlastních tocích a nádržích. Proces je popsán například v práci Švihla a kol. (2017). Klasifikace indexu je provedena na základě předpokladu, že s rostoucím podílem vodních ploch v posuzované lokalitě obecně klesá riziko znečištění vod. Jako zdrojová data lze využít vrstvu A05-vodní nádrže z databáze DIBAVOD spravované Výzkumným ústavem vodohospodářským.

$$I_{VN} = \frac{F_{\Sigma \text{ vodních nádrží}}}{F_{\text{plošné jednotky}}} \quad [5]$$

Index opatření

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

$$I_{\text{opatření}} = \frac{\text{Váha zlepšujícího vlivu } I_{\text{zran}} + \text{Váha zlepšujícího vlivu } I_{\text{TP-zran}}}{2} \quad [6]$$

Index zornění – odvodnění

Další krok hodnocení lokalit kritických bodů je shrnutí dílčích faktorů zvyšujících riziko znečištění vod do samostatných indexů. Proto vznikl *Index zornění – odvodnění* (rovnice 7), 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.

$$I_{\text{zornění_odvodnění}} = \frac{SR - I_{\text{zornění}} * SR - I_{\text{ploch}}}{2} \quad [7]$$

Souhrnný index potřeby opatření (SIPO)

Posledním a hlavním krokem kategorizace je *Souhrnný index potřeby opatření (SIPO)*, který je vypočten kombinací všech výše zmíněných dílčích indexů za pomoci rovnice 8. 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 řešené lokalitě.

$$SIPO = \frac{SR \cdot I_{\text{zornění_odvodnění}} * SR \cdot I_{\text{opatření}} * (2 * SR \cdot I_{\text{VN}})}{4} \quad [8]$$

Hodnota indexu 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 4.

4.2.2.2 Doporučené mezní hodnoty jednotlivých indexů pro stanovení stupňů rizika

Hodnota každého z dílčích indexů je klasifikována do pěti stupňů rizika, resp. váhy zlepšujícího vlivu v případě Indexu infiltračně zranitelných půd a Indexu zatravněných infiltračně

zranitelných půd. Tyto stupně rizika (váhy zlepšujícího vlivu) potom vstupují do finálního výpočtu hodnoty indexu SIPO dle rovnice 8.

Doporučené mezní hodnoty jednotlivých indexů pro jejich klasifikaci do pěti stupňů rizika jsou uvedeny v následujících tabulkách. Tyto hodnoty vznikly na základě dlouhodobého výzkumu na pokusných plochách VÚMOP, v.v.i a byly ověřeny dalším monitoringem. V tabulce 7 jsou uvedeny hodnoty využitě pro klasifikaci indexů: Index podílu orné půdy, Index podílu ploch odvodnění, Index zornění – odvodnění, Index opatření a Index zlepšujícího vlivu vodních nádrží. V tabulce 8 jsou uvedeny limitní hodnoty pro klasifikaci zlepšující váhy indexů: Index podílu infiltračně zranitelných půd a Index zatravněných infiltračně zranitelných půd. Limitní hodnoty pro klasifikaci indexu SIPO jsou uvedeny v tabulce 9. Vzhledem ke skutečnosti, že se snižující se plochou hodnocených lokalit, rostou hodnoty SIPO jsou uvedeny limitní hodnoty odlišné pro plošné jednotky povodí IV. řádu a sub-povodí. V tabulce 10 je uvedeno slovní vyjádření jednotlivých stupňů rizika Souhrnného indexu potřeby opatření.

Tabulka 7 Klasifikační tabulka určující stupně rizika jednotlivých dílčích indexů

Stupeň rizika	I _{zornění}	I _{ploch}	I _{zornění_odvodnění}	I _{opatření}	I _{vn}
SR 1	<0,15	<0,05	≤ 1,00	<0,70	> 0,06
SR 2	≥ 0,15 - <0,3	≥ 0,05 - <0,10	> 1,00 - <3,00	≥ 0,70 - <0,80	≤ 0,060 -> 0,011
SR 3	≥ 0,30 - <0,45	≥ 0,10 - <0,15	≥ 3,00 - <6,00	≥ 0,80 - <0,85	≤ 0,011 -> 0,006
SR 4	≥ 0,45 - <0,60	≥ 0,15 - <0,20	≥ 6,00 - <9,00	≥ 0,85 - <0,95	≤ 0,006 -> 0,002
SR 5	≥ 0,6	≥ 0,2	≥ 9,00	≥ 0,95	≤ 0,002

Tabulka 8 Klasifikační tabulka určující váhu zlepšujícího vlivu pro index podílu infiltračně zranitelných půd a Index zatravněných infiltračně zranitelných půd

Váha zlepšující vliv	I _{ZRAN}	I _{TTP_ZRAN}
0,6	<0,1	> 0,40
0,7	≥ 0,1 - <0,20	≤ 0,40 -> 0,30
0,8	≥ 0,20 - <0,30	≤ 0,30 -> 0,20
0,9	≥ 0,30 - <0,40	≤ 0,20 -> 0,10
1	≥ 0,40	<0,1

Tabulka 9 Klasifikační tabulka určující stupně rizika indexu SIPO

Stupeň rizika	SIPO - Povodí IV. řádu a větší	SIPO - Sub-povodí
SR 1	<6,00	<6,00
SR 2	≥ 6,00 - <11,00	≥ 6,00 - <15,00
SR 3	≥ 11,00 - <20,00	≥ 15,00 - <25,00
SR 4	≥ 20,00 - <31,00	≥ 25,00 - <37,00
SR 5	≥ 31,00	≥ 37,00

Tabulka 10 Vyjádření hodnot jednotlivých stupňů rizika Souhrnného indexu potřebnosti opatření

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

Tento způsob kategorizace lokalit kritických zdrojů plošného podpovrchového odtoku a znečištění vod byl ověřen na území povodí Vltavy pomocí terénního průzkumu v rámci řešení zakázky „Příprava listů opatření typu A lokalit plošného zemědělského znečištění pro plány dílčích povodí“ a následně i v lokalitě Žejbro (povodí Labe). Terénní průzkum prokázal nejen správnost zvolené metody kategorizace, ale zároveň umožnil k jednotlivým stupňům rizika indexu SIPO přiřadit koncentrace dusičnanového dusíku charakteristické pro konkrétní řešené území (Zajíček et al., 2018b, Zajíček et al., 2020a, Zajíček et al., 2020b, Zajíček et al., 2021, Zajíček et al., 2022).

4.2.1.5 Automatizace postupu kategorizace

Uvedený postup kategorizace lokalit plošných podpovrchových zdrojů zrychleného odtoku a znečištění vod lze podstatně urychlit využitím softwarového nástroje SIPO – SOFT (Zajíček et al., 2021 https://www.vumop.cz/sites/default/files/sipo_soft.zip). Jedná se o program v podobě toolboxu určený pro výpočet souhrnného indexu potřebnosti opatření, viz výše. Softwarový nástroj byl vyvinut na bázi samostatné extenze (toolboxu) ArcGIS od firmy ESRI a poskytuje automatizovaný postup pro kategorizaci území v závislosti na charakteristikách hodnocené lokality z hlediska rizika vyplavování látek ze zemědělsky využívané odvodněné a neodvodněné půdy.

4.3 Metodický postup kategorizace lokalit, kde dochází k ohrožení orné půdy odtokem z lesa pro celé území České republiky

4.3.1 Použité metody

Cílem posouzení je zařadit vymezené kritické body L4 do pěti kategorií, podle míry rizika eroze níže ležící orné půdy vlivem generovaného přímého odtoku v povodí nad KB_{L4}. Předpokládáme, že řídicí veličinou pro kvantifikaci výše uvedeného rizika v profilu každého kritického bodu je součin objemu přímého odtoku a kulminačního průtoku z referenční návrhové srážky:

$$R_{POT} = O * Q_{MAX} \quad [18]$$

kde R_{POT} – je erozní potenciál přímého odtoku z referenční srážky [$m^6 \cdot s^{-1}$]

O – je objem přímého odtoku z referenční návrhové srážky [m^3]

Q_{MAX} – je kulminační průtok z referenční návrhové srážky [$m^3 \cdot s^{-1}$]

Řídící veličina je inspirována modifikovanou univerzální rovnicí ztráty půdy (MUSLE), ve které je námi zavedený erozní potenciál dále umocněn a vynásoben předepsanými konstantami. Vzhledem k tomu, že metoda MUSLE (Williams, 1975) slouží k jinému účelu a zmíněné aritmetické operace nemají vliv na relativní pořadí výsledků v rámci posuzovaných kritických bodů, doporučujeme omezit se na rovnici [18].

Nejednoznačnou otázkou je volba referenční návrhové srážky. Vzhledem k velikosti posuzovaných ploch v řádu jednotek až prvních desítek hektarů se jeví jako vhodné použít krátkodobý (přivalový) déšť o značné intenzitě. Déletrvajícím déšť s vysokým celkovým úhrnem, a nízkou intenzitou generuje vyšší celkový odtok, ale výrazně nižší kulminační průtok).

V metodice Janečka a kol. (2012) je doporučeno používat erozní faktor deště v hodnotě 40 [$MJ \cdot ha^{-1} \cdot cm \cdot h^{-1}$], což podle téže metodiky odpovídá přibližně dvouletému dešti s maximální intenzitou o délce trvání 30 minut. Vzhledem k tomu, že se na tomto místě nezabýváme kvantifikací plošné eroze, ale postup slouží k hierarchizaci návrhů ochranných opatření před soustředěným odtokem z lesních ploch, rozhodli jsme se zohlednit působení o něco extrémnějšího a delší dobu trvajícího teoretického deště.

Z výše uvedeného důvodu doporučujeme jako referenční návrhovou srážku využít dvouhodinový pětiletý déšť. Parametry návrhového deště uvedené délky trvání délky a doby opakování byl zjištěn pomocí programu DES_RAIN (Vašková a Kovář, 2011). V našem případě byla odvozena rastrová mapa, ve které byly srážkové úhrny odvozeny metodou Natural Neighbor (Sibson, 1981) z dat srážkoměrů, uvedených v dokumentaci k programu DES_RAIN.

Novějším podkladem, popisujícím velikost návrhových srážek na celém území ČR, jsou výstupy projektu „Krátkodobé srážky pro hydrologické modelování a navrhování drobných vodohospodářských staveb v krajině“ (Kavka, Müller a kol., 2018). Tento podklad lze doporučit jako zpřesňující zdroj informací při dimenzování konkrétních technických opatření. Při stanovení kategorizace lokalit, tj. hromadném odvození návrhových srážek pro velká území, je jeho použití bez zdrojových dat podstatně časově náročnější než námi zvolený postup a z tohoto důvodu jej nedoporučujeme.

4.4.1.1 Stanovení objemu přímého odtoku

Přímý odtok je část vody, která odtéká povrchově, nebo je součástí mělkého podpovrchového (tzv. hypodermického) odtoku. V současnosti nejrozšířenějším postupem pro odvození přímého odtoku je metoda SCS-CN, tj. metoda tzv. CN křivek (Mockus, 1972). Velkou předností metody je její jednoduchost, dostupnost vstupních parametrů v nepozorovaných povodích a v neposlední řadě snadná aplikace v prostředí GIS pro velké územní celky. Málo známou skutečností je fakt, že při nižších srážkových úhrnech a při současně nižších hodnotách CN metoda dramaticky podhodnocuje skutečnou odtokovou odezvu. Při velmi vysokých srážkách může naopak docházet k určitému nadhodnocení skutečného odtoku. Tento nedostatek byl v zahraniční literatuře popsán již před několika desítkami let (Hawkins, 1993). Ve středoevropských podmínkách na něj upozornil Malý (2010) a potvrzují ho další autoři, mj. Karabová (2014), nebo Banasik a kol. (2014). Při analýze odtoku z krátkodobých dešťů a

zpracování návrhu ochranných opatření na zemědělské půdě může vést neznalost limitů původní metody CN křivek k podcenění skutečných rizik. Dobrou zprávou je to, že existují jednoduché korekce, které výrazně omezují nedostatky původní metody SCS-CN.

Pro stanovení objemu přímého odtoku navrhujeme využít modifikaci metody CN křivek podle publikace Woodwarda a kol. (2003):

$$H_O = \frac{(H_S - 0,0409 * S^{1,15})^2}{(H_S + 0,7778 * S^{1,15})} \quad \text{pokud } H_S \geq 0,0409 * S^{1,15} \quad [19]$$

$$H_O = 0 \quad \text{pokud } H_S < 0,0409 * S^{1,15} \quad [20]$$

kde H_O – přímý odtok z povodí [mm]

H_S – výška návrhové srážky na povodí [mm]

S – potenciální maximální půdní retence [mm]

Potenciální maximální půdní retenci odvodíme pomocí standardních hodnot tzv. CN křivek z rovnice [21].

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad [21]$$

Postup odvození parametru CN na zemědělském půdním fondu je zřejmý např. z metodiky Janečka a kol. (2012), u lesních půd lze uplatnit postup publikovaný Beitlerovou a kol. (2021). Výsledný parametr CN je možné stanovit jako vážený průměr na základě plošného zastoupení dílčích hodnot CN, popř. odtokovou plochu rozdělit na dvě samostatné části a zohlednit podíl nepropustných ploch. Popsaným způsobem je možné zohlednit také vliv cestní sítě na odtok. Za tímto účelem je vhodné přiřadit každé kategorii cest charakteristickou šířku a číslo odtokové křivky.

Objem přímého odtoku snadno dopočítáme:

$$O = H_O * A * 1000 \quad [22]$$

kde O – objem přímého odtoku z povodí [m³]

A – plocha povodí nad kritickým bodem [km²]

4.4.1.2 Stanovení kulminačního průtoku

Kulminační průtok v profilu kritického bodu lze odhadnout metodou jednotkového hydrogramu podle SCS (NRCS, 2007):

$$Q_{max} = \frac{O}{4806 * T_P} \quad [23]$$

$$T_P = \frac{T_S}{2} + T_L \quad [24]$$

$$T_L = \frac{(3,281 * L)^{0,8} * \left(\frac{S}{25,4} + 1\right)^{0,7}}{1900 * Y^{0,5}} \quad [25]$$

kde T_p – čas výskytu kulminačního průtoku [hod]

T_S – doba trvání návrhové srážky [hod]

T_L – doběhová doba [hod]

L – nejdelší dráha soustředěného odtoku [m]

Y – průměrný sklon povodí [%]

Nejdelší dráhu soustředěného odtoku a průměrný sklon povodí odvodíme automatickou procedurou pro všechny kritické body z vytvořeného DMT dostupnými analytickými nástroji v prostředí GIS.

4.3.2 Datové podklady

Pro stanovení kategorií rizika kritických bodů je třeba zajistit následující podklady:

- klimatologické údaje velikosti návrhových srážek dle programu DES_RAIN, popř. z jiného relevantního zdroje,
- vektorová vrstva BPEJ,
- vektorová mapa lesních typů, ÚHÚL,
- vektorová vrstva využití území a krajinného pokryvu (ZABAGED),
- digitální model terénu dle kapitoly 3.2.2,
- bodovou vrstvu KB_L a polygonovou vrstvu příslušných povodí podle kapitoly 3.2.3.

4.3.3 Kategorizace lokalit

Klasifikace KB_{L4} bude obdobně jako v předcházejících případech vycházet z pětitřídní stupnice (1 – nejmenší riziko; 5 největší riziko) s tím, že zařazení bude záviset na velikosti erozního potenciálu (R_{POT}) podle rovnice [18]. Konkrétní (číselné) hranice jednotlivých tříd budou nastaveny až po provedení skutečných výpočtů tak, aby rozdělení počtu KB_{L4} do jednotlivých tříd bylo lineární nebo sledovalo normální, případně logaritmické rozložení (bude předmětem dalších diskusí a optimalizace tak, aby zadavatel poskytl maximální efekt).

4.3.4 Význam výsledků, návaznost na ostatní provedené hodnocení

Provedená klasifikace rizik spojených s nadměrným odtokem z lesních ploch nám sděluje, ve kterých lokalitách je nejvíce zapotřebí hledat a nalézat ochranná opatření na zadržení a zpomalení odtoku tak, aby nedocházelo k ohrožení orné půdy. Zároveň se dílčí výsledky hodnocení (velikost přímého odtoku, kulminační průtok) dají přímo využít k dimenzování konkrétních návrhů technických či přírodně blízkých opatření ve smyslu stanovení kritické velikosti území, stanovení minimální šířky, hloubky a dalších geometrických charakteristik technických prvků. Činnosti nezbytné pro provedení klasifikace kritických bodů kategorie L4 tak nejsou samoúčelné, ale je možné je plně využít a zúročit při sestavování návrhů v ostatním území, mimo jiné na ryze zemědělských povodích.

Kategorizace současných rizik z hlediska velikosti odtoku z lesních ploch v profilech KB_{L4} , nemá přímou spojitost s paralelně probíhajícím hodnocením intenzity eroze a látkových toků v profilech kategorie A1 až A3, resp. B1 až B4. Nedá se také říci, že by s ním jakkoliv kolidoval. V případě potřeby lze systém hodnocení popsany v kapitolách 4.1 až 4.3 rozšířit o profily KB_{L4} . Za normálních podmínek však tento krok nepředpokládáme, jelikož by v detailním prostorovém hodnocení chyběly plochy s jiným než lesním využitím půdy. V každém případě se oba hodnotící systémy do značné míry aplikují celoplošně, takže případný dodatečný požadavek na rozšíření množiny bilančních profilů neznamená výrazné komplikace a časové nároky z pohledu zpracování.

4.4 Metodický postup výběru a kategorizace cestní sítě v povodí pro návrh opatření k retenci a akumulaci vody pro celé území České republiky

4.4.1 Použité metody

Úvodní popis problematiky

Klasifikace cestní sítě v zemědělské krajině – polní cesty

Polní cesty jsou jedny z nejmázyraznějšých staveb v krajině a do značné míry určují její tvar. Spolu s přirozenými toky jsou také hlavním regulátorem povrchového odtoku. Polní cesty a jejich vegetační doprovod dotvářejí krajinný ráz, zvyšují biodiverzitu území.

Přes svou vysokou míru polyfunkčnosti se na celý subsystem cestní sítě a jednotlivé cesty musí nahlížet jako na technický prvek v krajině a vhodně určit její hlavní funkci, což je účelová doprava.

Polní cesty se podle svého významu dělí na polní cesty hlavní, vedlejší a doplňkové a s tím souvisí také jejich konstrukční řešení. Hlavní polní cesty jsou navrhovány jako zpevněné, obvykle s celoroční sjízdností.

Technické podmínky

Pozemek polní cesty je pozemek, na němž je umístěno těleso polní cesty včetně pomocného pozemku určeného zejména k potřebám údržby. Podle zákona č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu polní cesta je stavba nebo způsob využití, je to veřejná dopravní infrastruktura, resp. veřejně prospěšná stavba.

Cestní těleso musí být zabezpečeno proti „škodlivému“ působení povrchových a podzemních vod – ve smyslu technických podmínek – odvodnění cesty. Dle Zákona č. 254/2001 Sb. (Zákon o vodách a o změně některých zákonů) a vyhlášky ke stavebnímu zákonu (č. 501/2006 Sb.,) je nutné zajistit **přednostně vsakování** nebo zadržování a odvádění povrchových vod vzniklých dopadem atmosférických srážek na tyto stavby.

Technické podmínky polních cest upravuje norma ČSN 736109 – Projektování polních cest. Tato norma mimo jiné udává, že síť polních cest musí respektovat kritéria dopravní, geotechnická, technická, ekologická, půdoochranná, vodohospodářská, estetická a ekonomická. Cestní síť je mimo jiné začleněna do soustavy protierozní ochrany půdy a do soustavy vodohospodářských opatření na ochranu vodního režimu krajiny.

Způsoby odvodnění polních cest

Těleso polní cesty, zejména podloží vozovky, musí být zabezpečeno proti škodlivému působení povrchových a podzemních vod. K odvodnění slouží otevřená odvodňovací zařízení, jako příkopy, rigoly, skluzy, **vsakovací příkop**, **vsakovací jámy**, **svodné žlábk**y. Dále pak krytá odvodňovací zařízení – drenáže, trativody, výjimečně odvodňovací potrubí.

U dopravně méně důležitých cest a v návaznosti na konfiguraci terénu se často navrhuji i úsporné metody odvodnění, jako je např. „přetékání“ povrchové vody přes vozovku.

Metodický přístup

Výběr cestní sítě vhodné k posílení retenční a akumulační funkce zemědělské krajiny.

Pro metodický postup aplikovatelný plošně na celé území ČR musíme vycházet z dostupných podkladů. Metodický postup má uvést do uživatelské praxe návod pro výběr vhodných lokalit, kam budou situována opatření směřující k posílení vsakování vody. Tato část metodiky upřesňuje místa pro zacílení konkrétních nápravných opatření.

Cílem prvního kroku řešení je definice cestní sítě v zemědělské krajině. V ploše povodí bude nejprve vybrána cestní síť jako množina komunikací úrovně „pod“ silnicí III. třídy. Kategorie silnic I. až III. třídy a dálnic do množiny vstupovat nebudou.

Pro řešení posílení funkce zasakování srážkových vod je nutné doplnit výběr soustavy polních cest o znalost geologického podloží na základě metodického postupu možnosti umělé infiltrace v ploše povodí do hydrogeologických struktur a o hydrogeologickou charakteristiku, která určuje rychlost infiltrace v závislosti na druhu půdy (hydrologická skupina půd definující rychlost infiltrace).

V dalším kroku bude tedy skupina cestní sítě doplněna informací o kategorii infiltrační kapacity půdy podle HPJ (hlavní půdní jednotky na základě vektorové vrstvy BPEJ) a výstupem analýzy možnosti umělé infiltrace do hydrogeologických struktur (Kap. 5.).

Samotná cesta musí především splňovat všechny technické náležitosti dle výše uvedených právních předpisů a norem. V zemědělské krajině je stav cestní sítě velice různorodý a mnohdy i samotná cesta může přispívat k erozním událostem v krajině. Konkrétní posouzení jednotlivých prvků cestní sítě v plošném měřítku (aplikovatelnost nad celým územím ČR) je velice obtížná. Zde by bylo nevyhnutelné individuální posouzení konkrétních lokalit přímo v terénu. Pro účely této metodiky se můžeme o toto posouzení alespoň rámcově pokusit v rámci analýzy erozní ohroženosti daného území.

K jednotlivým úsekům cestní sítě přiřadíme průměrný podélný sklon cesty pomocí digitálního modelu terénu. Dalším krokem bude určení drah soustředěného odtoku pomocí výpočtu LS faktoru rovnice stanovení erozního odnosu půdy (USLE) na základě DMR 4G (poskytovatel ČÚZK), nebo DMR 5G v prostředí GIS nástrojů. Místo protnutí drah soustředěného odtoku s cestní sítí bude označeno jako KBC_i (kritický bod cestní sítě).

Následně individuálním posouzením těchto KBC_i nám vyplynou úseky cestní sítě, které mohou přímo tvořit dráhy soustředěného odtoku nebo místa, kde může docházet ke kumulaci vody z výše položených pozemků nad cestou.

Takto vybraná množina cestní sítě bude v dalším kroku kategorizována ve smyslu menšího či většího potenciálu pro vsak srážkové vody a dle míry potenciálního nebezpečí zvětšeného odtoku vody cestním tělesem.

4.4.2 Datové podklady

Pro stanovení (výběru) cestní sítě je třeba zajistit následující podklady:

- vektorová vrstva využití území a krajinného pokryvu (ZABAGED), kombinovaná s vrstvou LPIS
- digitální model terénu dle kapitoly 3.2.2,
- Ortofotomapy v lokalitách s nutným upřesněním, předpokládá se využití volně dostupných WMS podkladů.
- vektorová vrstva BPEJ
- podklady k infiltraci (kap. 5)

4.4.3 Kategorizace lokalit

Koncept přístupu

Prvotní kategorizace cest bude provedena na základě podélného sklonu nivelety dané cesty. Dle ČSN 736109 nesmí podélný sklon jízdního pásu na nezpevněných polních cestách překročit 10 %, u zpevněných polních cest je největší přípustný podélný sklon 15 % (pro návrhovou rychlost 30 km/h) či 18 % (pro návrhovou rychlost 20 km/h).

Tabulka 11 Klasifikace podélného sklonu

Kategorie	Podélný sklon cesty v %*
1	6
2	8
3	10
4	12
5	14
6	15 (18)

*kategorie vychází z ČSN 736109 pro stanovení návrhu počtu svodných žlábků u nezpevněných polních cest s větším sklonem

Dalším krokem bude určení kritického bodu KBc_4 . KBc_4 byl určen jako místo průtoku drah soustředěného odtoku s cestní sítí. KBc_4 nebudou kategorizovány do jednotlivých tříd, určení KBc_4 na dané cestě bude představovat potenciaálně rizikový faktor pro kumulaci či zrychlený odtok srážkových vod po cestním tělese.

Výsledné hodnocení – kategorizace cest

Kategorizace cest bude provedena na základě podélného sklonu nivelety cesty s průtutím s KBc . Výsledné hodnocení je uvedeno níže.

		výskyt kritického bodu		
		NE	ANO	
kategorie podélného sklonu cesty	1			<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="background-color: #c8e6c9; width: 20px; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> zanedbatelné a malé riziko <div style="background-color: #fff9c4; width: 20px; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> střední riziko <div style="background-color: #ffe0b2; width: 20px; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> velké riziko <div style="background-color: #f44336; width: 20px; height: 15px;"></div> velmi významné riziko </div>
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			

Přednostně bude věnována pozornost cestám se středním až významným rizikem z hlediska potenciaálního rizika zrychleného odtoku vod či akumulace vod nad cestou. Tyto lokality budou doplněny analýzou (informací) vhodného pedologického a geologického podloží pro rozhodnutí o vhodném typu infiltračního opatření, které bude navrženo a realizováno mimo cestní těleso – viz kapitola 5.

4.4.4 Návaznost na ostatní hodnocení – metodické postupy

Provedený výběr a klasifikace polních cest nám sdělují možné rizikové lokality z hlediska zrychleného odtoku tělesem komunikace a následně směřuje k výběru vhodných lokalit, kam mohou být směřována nápravná opatření s cílem podpory zasakování srážkových vod do hlubších geologických struktur.

Stanovení kritických bodů na cestní síti nemá přímou spojitost s hodnocením intenzity eroze a látkových toků v profilech kategorie A1 až A3, resp. B1 až B4. Jde o doplnění v systému hodnocení krajiny o významný prvek (cestní síť), který se velkou měrou může podílet na vodohospodářském řešení nápravných opatření.

5. Hodnocení vhodnosti půdy a hydrogeologického prostředí z hlediska vsaku srážkových vod

5.1 Hodnocení infiltrační schopnosti půdy

Biologicky fungující půda má velkou infiltrační schopnost, což přímo ovlivňuje rychlost odtoku vody z daného území. Kvalitní a zdravá půda v zemědělské i nezemědělské krajině představuje obrovský vsakovací a retenční prostor pro vodu v krajině. Procesy probíhající v půdě a geologickém podloží fungují jako hlavní stupeň přípravy budoucí pitné vody (obohacení vody o min. látky, úprava pH, zachycení kontaminantů).

Nejdůležitějším zdrojem půdní vody jsou srážky. Srážky částečně infiltrují do půdy, kde jsou zadržovány ve svrchní provzdušněné vrstvě a jejich přebytek případně perkoluje do hloubky, kde může vytvořit zásobu podzemních vod. Na povrchu půdy se srážková voda hromadí v mikrodepresích. Po jejich naplnění proudí směrem po svahu jako povrchový odtok.

Infiltrační schopnost půdy je ovlivňována:

- tvarem reliéfu
- fyzikálními vlastnostmi půdy
- strukturou půdy
- vegetačním krytem povrchu půdy
- výchozí vlhkostí půdy
- obsahem chemických látek v půdě i v infiltrující vodě

5.1.1 Metodický přístup

Hydrologické funkce půdy jsou charakterizovány retenční vodní kapacitou (množství vody, které je půda schopná dlouhodobě zadržet), využitelnou vodní kapacitou (objem vody dostupné pro rostliny a hydrologickou skupinou půd (schopnost půdy propouštět vodu).

Půdy podle svých hydrologických vlastností rozdělujeme do 4 hydrologických skupin : A, B, C, D na základě minimální rychlosti infiltrace vody do půdy bez pokryvu po dlouhodobém sycení. Infiltrační schopností půd rozumíme schopnost povrchu půdy pohlcovat vodu. Obecně lze říci, že infiltrační schopnost půdy má být střední až vysoká, aby se minimalizoval povrchový odtok vody a vodní eroze, ne však extrémně vysoká, neboť na příliš propustných půdách s promyvným vodním režimem hrozí rychlé vyplavování živin a polutantů do podloží a do podzemních vod.

VÚMOP, v.v.i., v roce 2018 ukončil řešení projektu QJ1520026 „Optimalizace využívání zemědělské půdy z pohledu podpory infiltrace a retence vody s dopady na predikci sucha a povodní v podmínkách České republiky“. Hlavními výstupy byly celorepublikové mapy hydrologických funkcí půd

Mapy vznikly s využitím stovek reálně naměřených dat a záznamů z polních měření, které byly provedeny v rámci řešení projektu. Využity byly ale také rozsáhlé databáze Oddělení pedologie ochrany půdy VÚMOP, v.v.i., které dále zpřesnily výsledné mapové vyjádření.

O mapové výstupy pro aplikační využití je možné požádat prostřednictvím emailu pedologie@vumop.cz.

5.1.2 Kategorizace lokalit

Hydrologické skupiny půd

Zvolená kategorizace podle hydrologických skupin půd definuje typickou rychlost infiltrace. Jde o minimální rychlost infiltrace vody do půdy bez pokryvu, po dlouhodobém sycení vodou. Charakteristika hydrologických skupin půd, zařazených do 4 základních skupin, je uvedena v následující tabulce.

Tabulka 12 Hydrologické skupiny půd

Skupina	Charakteristika hydrologických vlastností	Rychlost infiltrace [mm.min ⁻¹]	Rychlost infiltrace [mm.den ⁻¹]
A	Půdy s vysokou rychlostí infiltrace i při úplném nasycení, zahrnující převážně hluboké, dobře až nadměrně odvodněné písky nebo štěrky	> 0,12	> 172
B	Půdy se střední rychlostí infiltrace i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy středně hluboké až hluboké, středně až dobře odvodněné, hlinitopísčité až jílovitohlinité	0,06 – 0,12	86,4 – 172
C	Půdy s nízkou rychlostí infiltrace i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy s málo propustnou vrstvou v půdním profilu a půdy jílovitohlinité až jílovité	0,02 – 0,06	28,8 – 86,4
D	Půdy s velmi nízkou rychlostí infiltrace i při úplném nasycení, zahrnující především jíly s vysokou bobtnavostí, půdy s trvale vysokou hladinou podzemní vody, půdy s vrstvou jílu na povrchu nebo těsně pod ním a mělké půdy nad téměř nepropustným podložím	<0,02	<28,8

Hydrologická skupina půd je určena dle hlavní půdní jednotky, která vychází z pětimístného číselného kódu BPEJ (Bonitované půdně ekologické jednotky). Hydrologické skupiny půd dle hlavních půdních jednotek jsou uvedeny v následující tabulce (Vlček V., Jandák J., Pospíšilová L., MZLU, 2017: Klíč k použití Bonitovaných půdně ekologických jednotek).

Tabulka 13 Klasifikace vlivu infiltrace podle hlavních půdních jednotek

Hlavní půdní jednotka	Skupina půd	Hydrologická skupina půd	Retence (l/m ²) pro hloubku 1 m	Infiltrace (mm/min)
1	černozemě	B	340	0,22
2	černozemě	B	340	0,21
3	černozemě	C	340	0,18
4	černozemě	A	100	1,2
5	černozemě	A	160	0,16

6	černozemě	C	340	0,02
7	černozemě	D	340	0,01
8	černozemě	B	340	0,11
9	hnědozemě	B	340	0,1
10	hnědozemě	B	340	0,09
11	hnědozemě	B	340	0,09
12	hnědozemě	B	340	0,07
13	hnědozemě	B	160	0,26
14	luvizemě	B	340	0,16
15	luvizemě	B	340	0,13
16	luvizemě	B	220	0,12
17	luvizemě	A	130	0,41
18	rendziny a pararendziny	B	130	0,11
19	rendziny a pararendziny	B	130	0,1
20	rendziny a pararendziny	D	140	0,01
21	regozemě	A	80	0,58
22	regozemě	B	120	0,2
23	regozemě	C	220	0,08
24	kambizemě	B	175	0,08
25	kambizemě	B	175	0,16
26	kambizemě	B	180	0,16
27	kambizemě	B	130	0,19
28	kambizemě	B	260	0,09
29	kambizemě	B	140	0,09
30	kambizemě	B	160	0,09
31	kambizemě	A	80	0,32
32	kambizemě	A	100	0,38
33	kambizemě	B	225	0,06
34	silně kyselé půdy mírně chladné a chladné oblasti	B	130	0,41
35	silně kyselé půdy mírně chladné a chladné oblasti	B	225	0,17
36	silně kyselé půdy mírně chladné a chladné oblasti	B	190	0,3
37	mělké půdy rendzin	B	20	0,42
38	mělké půdy rendzin	B	25	0,18
39	mělké půdy rendzin	C	15	0,15
40	svažitě půdy	B	100	0,25

41	svažitě půdy	B	120	0,14
42	pseudogleje	B	300	0,14
43	pseudogleje	B	250	0,09
44	pseudogleje	C	250	0,09
45	pseudogleje	C	250	0,05
46	pseudogleje	C	220	0,17
47	pseudogleje	C	180	0,08
48	pseudogleje	C	110	0,08
49	pseudogleje	D	130	0,05
50	pseudogleje	C	120	0,12
51	pseudogleje	C	145	0,05
52	pseudogleje	C	195	0,14
53	pseudogleje	D	210	0,06
54	pseudogleje	D	225	0,05
55	fluvizemě	A	160	0,5
56	fluvizemě	B	340	0,15
57	fluvizemě	C	340	0,02
57	fluvizemě	C	340	0,02
59	fluvizemě	D	170	0,03
60	černice	B	340	0,11
61	černice	D	340	0,01
62	černice	C	310	0,05
63	černice	D	255	0,01
64	gleje	C	140	0,02
65	gleje	C	60	0,02
66	gleje	D	60	0,01
67	gleje	D	60	0,01
68	gleje	D	60	0,02
69	gleje	D	40	0,03
70	gleje	D	70	0,03
71	gleje	D	70	0,03
72	gleje	D	25	0,01
73	gleje	D	20	0,03
74	gleje	D	20	0,03
75	gleje	C	135	0,04
76	gleje	D	135	0,03
77	mělké strže	C	200	0,3
78	hluboké strže	C	200	0,3

5.1.3 Doporučený postup

Pro hodnocení pedologického podloží vycházíme ze 4 hydrologických skupin (A-D). Hydrologické skupiny charakterizují rychlost infiltrace vody půdním profilem, kde skupiny půd typu A představují půdy s velice rychlou infiltrací až po půdy s hydrologickou skupinou typu D s velice nízkou rychlostí infiltrace. Převedení povrchového odtoku do hlubších geologických struktur pak závisí na hodnocení hydrogeologických podmínek – storativity – viz. kapitola 5.2.

5.2 Hodnocení hydrogeologického prostředí z hlediska vsaku srážkových vod

5.2.1 Metodický přístup

Převedení srážek na podzemní odtok, tedy infiltraci vody přes půdu a nenasurovanou část horninového prostředí a následně na hladinu gravitačně proudící podzemní vody, je determinováno několika základními faktory:

- Intenzitou srážek – tento faktor neumíme predikovat a nelze ovlivnit.
- Sklonitostí území (sklonem svahu), na který srážka dopadne – sklon svahu je určující pro charakter opatření, které je nutné realizovat, aby k infiltraci mohlo dojít.
- Charakterem a stavem půdy – zrnitost půdy je zásadní z hlediska schopnosti pojmout a „propustit“ srážkovou vodu, stav půdy je zásadní z hlediska antropogenně vzniklých překážek infiltrace (např. mechanické utužení půdy a tvorba vápnných horizontů).
- Storativitou horninového prostředí – vlastností horniny akumulovat a „odevzdat“ gravitačně se pohybující vodu.

V České republice byla možnost infiltrace srážek v ploše řešena ve vztahu k intravilánům v souvislosti s legislativním požadavkem na vsakování srážkových vod u nových staveb. Mapa potenciálního vsaku (Novotná 2015) byla vytvořena pro MŽP ČR jako aplikace Syntetické mapy zranitelnosti podzemních vod autorského kolektivu Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půd, v.v.i. (dále jen VÚMOP, v.v.i.) a společnosti GEOtest, a.s., vytvořené v rámci řešení projektu NAZV QH 82096 v letech 2008–2012. Využívá tedy mapy zranitelnosti podzemních vod při řešení vhodnosti prostředí pro vsakování vody obdobou jevu pronikání kontaminace přes nenasurovanou zónu horninového prostředí. Pojem zranitelnost kolektoru podzemních vod zavedl Margat (1968), kdy v rámci map ochrany podzemních vod vymezil území, kde kontaminace z povrchu snadno pronikne do podzemní vody.

Přirozenou ochranu kolektorů podzemních vod tvoří nadložní geologické vrstvy hornin a zemin, nazývané krycí ochranné vrstvy. Podle charakteru těchto krycích vrstev z hlediska propustnosti, fyzikálně – chemické a mikrobiologické aktivity vedoucí k degradaci vnášené kontaminace lze hodnotit podložní kolektor nasycený podzemní vodou buď jako zranitelný, pokud kontaminující látka rychle a bez degradace pronikne do podzemní vody nebo jako nízko zranitelný, pokud kontaminující látka proniká pomalu a dochází k její přirozené degradaci. Při hodnocení zranitelnosti se tedy oceňuje ochranná a čistící vlastnost krycích vrstev, která se vyjadřuje v mapách. Zranitelnost není chápána jako absolutní vlastnost, ale jen relativní indikace, kde se kontaminace může pravděpodobněji vyskytnout.

Z těchto principů vyšel autorský kolektiv VÚMOP, v.v.i. a GEOtest, a.s. při zpracování Syntetické mapy zranitelnosti podzemních vod v měřítku 1:50 000 pro celou ČR v rámci projektu NAZV QH 82096, 2008–2012. Mapa vychází ze syntézy tří parametrů – zranitelnosti horninového prostředí, (skládající se z dílčí syntézy tří map – zranitelnosti horninového prostředí, transmisivity a oběhu podzemní vody), zranitelnosti půdy a vláhové bilance, přičemž byl zvolen váhy 50:40:10. Mapa byla zpracována pomocí nástrojů ArcGIS a byla použita pětistupňová kategorizace rizika zranitelnosti, přičemž kategorie I vyjadřuje nejvyšší riziko.

Syntetická mapa zranitelnosti podzemních vod byla pro Českou republiku konstruována v prostředí ArcGIS na základě tří dílčích informačních vrstev: relativní zranitelnosti horninového prostředí, relativní zranitelnosti půdy a vláhové bilance (dotace podzemních vod srážkami). Oproti jiným státům má Česko výhodu v relativní podrobnosti vstupních dat.

Vrstva zranitelnosti horninového prostředí byla sestavena propojením tří dílčích vrstev: - charakter horninového prostředí s koeficientem významnosti 50 % - charakter oběhu podzemních vod s koeficientem významnosti 20 % - transmisivita (průtočnost) kolektoru

s koeficientem významnosti 30 %. Zranitelnost horninového prostředí, respektive podzemních vod vyplývá z typu zvodnění, které je podmíněno charakterem zastoupených hornin a jejich tektonické predispozice, charakterem zvětralinového pláště a kvartérního pokryvu. Rozhodujícím limitujícím prvkem pro posouzení možnosti postupu znečištění z povrchu do zvodnělého horninového prostředí (kolektoru) je především charakter svrchní části nenasycené zóny, tj. zrnitostní složení kvartérního pokryvu a litologický charakter nezpěvněných sedimentů. V územích s výskytem zpevněných sedimentů a hornin krystalinika bez kvartérního pokryvu je pro posouzení rizika znečištění podzemních vod prioritní charakter zvětralinového pláště a tektonická predispozice pásma podpovrchového rozpojení hornin. Stěžejním výchozím podkladem pro sestavení vrstvy charakteru horninového prostředí byl soubor geologických map České republiky, autorsky sestavený v letech 1985–1998 řešitelským týmem pracovníků Ústředního ústavu geologického (do roku 1990) a jeho právního nástupce Českého geologického ústavu. Geologické mapy 1:50 000 jsou mapy překryté, tzn., že je na nich zobrazen vedle předkvartérních hornin plošně významný a místy relativně mocný pokryv kvartérních sedimentů.

Základním předpokladem hodnocení zranitelnosti podzemní vody podle zastižené fáze oběhu a pozice v proudovém poli podzemní vody je princip vertikálního rozložení proudnic, které se nemísí a směřují od místa dotace infiltrací do místa drenáže. Proudění podzemní vody je obecně sestupné pod pozitivními morfologickými tvary a vzestupné v topografických depresích. Hloubka hladiny podzemní vody v oblastech dotace je větší a kolísání hladiny vyšší, než v oblastech drenáže, kde hladina může vystoupit až nad terén, je fixována vývěrem a téměř nekolísá. Tato skutečnost jasně prokazuje vhodnost hodnocení zranitelnosti podle fáze oběhu podzemní vody a kontraproduktivní hodnocení podle mocnosti nenasycené zóny.

Transmisivita (průtočnost) kolektoru Hodnocení transmisivity, tedy průtočnosti kolektorů, vyjadřuje rychlost, jak se podzemní voda pohybuje v kolektoru, tedy jak snadno a rychle se případný kontaminant může šířit od zdroje znečištění. Čím vyšší transmisivita, tím vyšší zranitelnost kolektoru. Současně platí, že kolektor s vyšší transmisivitou umožňuje vyšší vodárenské využití – větší soustředěné odběry než kolektor s nízkou transmisivitou. Zdálnivě jednoduchý úkol hodnocení transmisivity, jako striktně hydraulicky definovaného parametru, je naopak velmi komplikovaný. Všechny kolektory jsou výrazně heterogenní a transmisivita se mění v prostoru – jak v ploše, tak i ve vertikálním směru.

Mapa potenciálního vsaku (Novotná 2015) jako aplikace Syntetické mapy zranitelnosti podzemních vod vychází z výsledné mapy horninového prostředí. Povrchové vsakování přes půdní profil představuje snahu podpořit vsak vody přes půdní vrstvy do nenasycené zóny horninového prostředí, tedy do nezvodněných vrstev nad hladinu podzemní vody. Pro vsakování prostřednictvím budování přírodě blízkých vsakovacích prvků je půdní vrstva eliminována a vlastní vsak se děje hlouběji do horninového prostředí. Ze sady dílčích map Syntetické mapy zranitelnosti podzemních vod se pro nejlepší vystižení tohoto vsaku jeví jako nejlepší využití mapa charakteru horninového prostředí. Mapa potenciálního vsaku byla provedena jako aplikace Syntetické mapy zranitelnosti podzemních vod. Vychází tedy z vrstvy zranitelnosti horninového prostředí, sestavené propojením tří dílčích vrstev – charakteru horninového prostředí s koeficientem významnosti 50 %, charakteru oběhu podzemních vod s koeficientem významnosti 20 % a transmisivity (průtočnosti) kolektoru s koeficientem významnosti 30%. Využívá opačného principu zranitelnosti – kdy místa s nejvyšším rizikem zranitelnosti jsou považována za preferenční místa potenciální možnosti vsakování a naopak. Pětibodovou škálu mapy rizika horninového prostředí převádí na třibodovou sloučením velmi vysoké s vysokou kategorií a nízké s velmi nízkou. Nejrozšířenější střední byla ponechána. Samostatnou kategorii představují sedimenty niv, kde bývá vyvinuta krycí vrstva fluvialních (povodňových) hlín. Další samostatnou vrstvou jsou spraše a eolické sedimenty, které jsou

specifické možnosti prosedání, tj. po zvýšení vlhkosti může dojít ke zborcení jejich struktury. Ke kategorii 0 - bez informací jsou řazeny oblasti výsypek, deponií, hald, rašelinišť, mokřadů, slepých ramen a dalších zejména antropogenních území, které nejsou popsány v geologické mapě (GeoČR50) a vyžadují samostatný průzkum. Jejich vlastnosti z hlediska potenciálního vsaku nelze definovat. V případě antropogenních sedimentů je nutné zvýšenou pozornost věnovat možné kontaminaci uložených materiálů.

Při konstrukci mapy potenciálního vsaku byly do kategorizace zahrnuty mimo charakter horninového prostředí i transmisivita a charakter oběhu podzemních vod, které popisují zvodněnou část horninového prostředí. Oběh vody a transmisivita v součtu se stejnou vahou do jisté míry zkresluje vhodnost prostředí pro vsak. Pro vsakování srážkových vod, které musí probíhat v nesaturované zóně, je vhodnější zvolit z hlediska schopnosti vsaku významnější vlastnost – storativitu (zásobnost).

Storativita – zásobnost – je schopnost horninového prostředí akumulovat podzemní vodu. Storativita je definována „obousměrně“, tj. jako schopnost vodu uvolnit a přijmout. Hanzel (Hanzel ed. 1998) definuje storativitu následovně:

- Schopnost horniny uvolnit ze zásoby v pórech nebo přijmout do zásoby v pórech určitý objem vody při změně piezometrického napětí. Kvantitativně ji vyjadřuje koeficient zásobnosti (storativity), který má dvě složky – koeficient pružné zásobnosti (storativity) a koeficient volné zásobnosti (storativity).

Za póry jsou v tomto případě považovány veškeré dutiny v hornině – tedy průliny, pukliny i krasové dutiny. Horniny pak mají průlinovou, puklinovou nebo krasovou propustnost.

Koeficient volné zásobnosti (storativity) je dán objemem komunikujících pórů (průlin), tj. efektivní pórovitostí, a je násobně vyšší než koeficient pružné zásobnosti (storativity), který je dán stlačitelností vody a horninového prostředí a mocností zvodněné vrstvy. Pro zvodně s volnou hladinou podzemní vody je výrazně převládající koeficient volné zásobnosti (storativity) – efektivní pórovitost nebo přítomnost takových puklin, kterými může proudit voda při obvyklých hydraulických gradientech.

Storativita je zásadní vlastnost, z hlediska schopnosti horninového prostředí akumulovat vodu. Pro převedení srážky na podzemní vodu je klíčová volná storativita (efektivní pórovitost a/nebo přítomnost puklin nebo krasových dutin) i v rámci nesaturované zóny, tedy té části horninového prostředí, které představuje pouze zónu průtoku srážkových vod. Nesaturovaná zóna tvoří tu část horninového prostředí, která zajišťuje vertikální (respektive kvazivertikální) průtok srážkové vody na hladinu podzemní vody, tedy na povrch dotované zvodně. Z hlediska převedení srážek na podzemní vodu představuje nesaturovaná zóna současně část horninového prostředí, ve kterém dochází v době infiltrace srážek k dočasnému subhorizontálnímu proudění hypodermického odtoku. Proudění probíhá po rozhraní dvou prostředí s různou storativitou i propustností.

5.2.2 Kategorizace lokalit

Jako podklad pro kategorizaci storativity bude využita mapa GEO ČR 1 : 50 000, která zpracována pro celou Českou republiku jako GIS vrstva. Pro území České republiky je na mapě vymezeno 2 032 hornin s přiřazeným ID. Na podkladě geologických map 1 : 50 000 byly definovány tři kategorie storativity (Novotná, Kryštofová et al., 2020):

- vysoká storativita,
- střední či proměnlivá storativita,
- nízká storativita.

Základním kritériem pro kategorizaci je litologie hornin. Kategorizace storativity vychází z charakteru eluvií, které konkrétní litologické typy tvoří. Jako hraniční typy lze uvést granity až granodiority a fylity. Granity až granodiority, jsou hlubinné magmatity, jejichž eluvia mají charakter hrubozrnných písku – mají vysokou storativitu. Fylity jsou metamorfované horniny, jejichž eluvia mají charakter jílovitých zemin. Mají tedy nízkou storativitu. Kategorizaci storativity lze provést pro magmatické, sedimentární i metamorfované horniny.

Obdobný charakter jako eluvia mají pak i výplně puklin. V granitech až granodioritech lze očekávat písčité výplně puklin, které představují prostředí s vysokou storativitou. Ve fylitech mají pukliny charakter zajílovaných zón.

Při kategorizaci storativity je nutné posoudit následující charakteristiky hornin:

- Litologie ve vztahu k charakteru zvětrávání – náchylnost litologického typu na mechanické nebo chemické zvětrávání (přítomnost tmavých minerálů, obsah živců).
- Charakteru eluvií – zda tvoří hornina písčité nebo jílovité eluvia.
- Staří hornin ve vztahu k případnému postižení hornin tektonickými procesy nebo možnosti oživení vyhojených tektonických postižení.
- Tektonické postižení u hornin podléhajících křehkému porušení – porušená nebo masivní.
- Typ propustnosti u hornin podléhajících krasovění – krasově propustná, puklinově propustná, masivní.

Základní přiřazení jednotlivých litologických typů hornin je uvedeno v následující tabulce.

Tabulka 14 Kategorizace storativity pro litologické typy hornin

Storativita	Magmatity	Metamorfity	Sedimenty
vysoká	granity granodiority syenity ryolity	ortoruly granulity metagranity mramory kvarcity	písky štěrky rašeliny pískovce arkózy droby slepence vápence
střední	diority aplity dacity ultramafické horniny gabra porfyr	migmatity ruly svory pararuly skarny	nivní hlíny deluvia (svahoviny) jílovce prachovce břidlice vápence
nízká	žilné horniny	svory fylity amfibolity serpentinity maskové břidlice grafitické břidlice	spraše jíly jílovce

Pro tvorbu mapového znázornění v prostředí GIS je vhodné využít geologickou mapu České republiky GEOČR50. Horninám, na kterých vznikají písčité zvětraliny a písčité výplně puklin, bude přiřazena vysoká třída storativity. Stejně tak horninám, které jsou masivně tektonicky postiženy. Horninám, na kterých vznikají jílovité zvětraliny a výplně puklin, bude přiřazena nízká třída storativity. Horninové typy, na kterých vznikají jílovitopísčité zvětraliny, budou zařazeny do střední kategorie storativity. Kvartérní sedimenty smíšeného charakteru budou mít kategorii storativity přiřazenu dle litologického složení – podílů písčité a jílovité frakce. V případě spraší je nutné zdůraznit riziko jejich přesedání (zborcení struktury).

5.2.3 Doporučený postup

Doporučený postup pro posouzení území z hlediska možnosti zlepšení (intenzifikace) vsakování srážkových vod do horninového prostředí:

- Zpracování mapy kategorizace storativity horninového prostředí na podkladě geologické mapy 1: 50 000.
- Posouzení sklonitosti území.
- Výběr vhodného typu opatření na převedení srážky/plošného odtoku na odtok podzemní.
- Hydrogeologický průzkum zaměřený na vybraný typ opatření. Při průzkumu pro opatření s hloubkou nad 1 m od rostlého terénu je nutné definovat předpokládanou hloubku (úroveň) hladiny podzemní vody, aby při realizaci opatření nedošlo k jejímu odkrytí. Vsakování přímo do zvodněné části hydrogeologických struktur (na hladinu podzemní vody) je nepřijatelné, vzhledem k riziku kontaminace podzemní vody.

Převedení srážky na podzemní vodu je možné řešit různými způsoby – od změny osevních postupů (kukuřice/vojtěška) po technicky náročná vodní díla (podzemní vsakovací galerie).

Pro horniny vysokou storativitou jsou vhodné všechny typy opatření na převedení povrchového odtoku na podzemní odtok. V případě hornin s nízkou storativitou jsou vhodná opatření plošná či mělce podpovrchová – opatření v rámci půdy.

Jako zcela samostatnou kategorii je nutné vymezit spraše, u kterých v případě prvního kontaktu s vodou, například v případě realizace vertikálního prvku vsakování, dojde k rozpuštění vápnitých můstků a spraše přesednou (zboří se).

5.3 Doporučený postup pro rozhodovací proces při aplikaci vhodného opatření na podporu infiltrace:

Přiřazení kategorie rychlosti infiltrace vody půdním horizontem a hlubšími geologickými vrstvami bude provedeno na základě hlavních půdních jednotek (Kap. 5.1) a výstupem analýzy možnosti umělé infiltrace do hydrogeologických struktur (Kap. 5.2.).

Doporučený postup pro rozhodovací proces při aplikaci vhodného opatření na podporu infiltrace:

- Převedení povrchového odtoku by mělo být řešeno pro ucelené hydrologické území (povodí nebo alespoň údolnici).

- Podle storativity rozhodnout o typu vsakovacího prvku. Vhodné vsakovací prvky podle kategorie storativity jsou uvedeny v následující tabulce:

Tabulka 15 Vhodnost typu infiltračního opatření

Storativita	vysoká	střední	nízká
Infiltrační opatření			
Mělká (přírodě blízká)	ano	ano	ano
Hluboká (technická)	ano	ano	ne

- Opatření v rámci půdy (mělká) je možné realizovat pro horniny s nízkou storativitou, jde o jediný vhodný typ opatření. **Pro spraše není možné využít jiný typ opatření!**
- Hluboké (technické) opatření lze na plochách s horninami s nízkou storativitou uplatnit tehdy, pokud jsou horniny s nízkou storativitou v nadloží hornin s vyšší storativitou a infiltrace by probíhala převedením vody vsakovacími prvky do podložních hornin.
- Pro mělká opatření, pokud nehrozí riziko odkrytí hladiny podzemní vody, není nutné provádět hydrogeologický průzkum. Pro hluboká (technická) opatření je hydrogeologický průzkum nutné provést. Cílem průzkumu je zjistit:
 - Mocnost a charakter eluvií.
 - Úroveň (hloubku) hladiny podzemní vody, tj. mocnost nesaturevané zóny.
 - Rozsah kolísání hladiny podzemní vody (historicky zaznamenané projevy zamokření).
 - Definovat, kam bude infiltrovaná povrchová voda odtékat – směr proudění, drenážní bázi (sesuvná území, zářezy komunikací, základy staveb, podzemní prostory aj.)
 - Stanovení rizika ohrožení podzemní vody – zajištění ochrany kvality podzemních vod.
 - Stanovení rizika zanášení vsakovacích prvků.

Definice „mělkých“ a „hlubokých“ opatření:

Mělká infiltrační opatření – přírodě blízká – jsou opatření v rámci půdy, je vhodné realizovat z hlediska horninového prostředí a podzemní vody prakticky kdekoliv. Ve většině případů jde o stav, který simuluje přírodní procesy a nejde o technicky náročná opatření (např. záchytný odváděcí příkop s alternativou infiltrace, retenční vsakovací průleh atd.). Konkrétní typy opatření jsou uvedeny v Katalogu opatření, který je vydán ve formě Ověřené technologie.

Hluboká (technická opatření) – jedná se o opatření s cílem infiltrace povrchové vody do hlubších geologických struktur, konkrétní postup je popsán v katalogu opatření, který je součástí Ověřené technologie.

III. Srovnání „novosti postupů“

Předložená metodika reaguje na potřebu řešení retence a akumulace vody v zemědělských povodích v souvislosti stále se zvěšující rozkolísaností v distribuci srážek a narůstající extremitou počasí (klimatickou změnou) a v neposlední řadě intenzivním zemědělským využitím krajiny.

Metodika je zaměřená na problematiku zrychleného odtoku vody a jejího znečištění z plošných zemědělských zdrojů. Povrchový i podpovrchový odtok ze zemědělských půd má značný podíl na celkovém odtoku z povodí, vyplavování živin a pesticidů včetně jejich metabolitů a zároveň i znečištění povrchových toků a vodních nádrží. Plošné zdroje znečištění však donedávna nebyly řešeny v rámci procesu plánování v oblasti povodí. V průběhu třetího plánovacího období byly z iniciativy Povodí Vltavy, státní podnik poprvé hodnoceny přispívající lokality povrchových i podpovrchových zdrojů znečištění a zároveň byla navrhována opatření typu A, popisující a parametrizující jedno konkrétní opatření v konkrétní lokalitě včetně dotčených pozemků a předpokládaných nákladů na jeho realizaci a údržbu.

Novost předkládané metodiky je s ohledem na výše specifikovanou potřebu vázána na poskytnutí komplexního metodického postupu pro zmírnění následků extrémních jevů již v samotné ploše povodí, resp. v místě samotného dopadu srážky na zemský povrch. Soustřeďuje se proto na řešení otázek identifikace konkrétních míst pro návrh multifunkčních opatření v ploše povodí z pohledu zadržení vody v krajině (eliminace dopadů povodní a sucha), ale i její jakosti.

Předložená metodika aktualizuje postupy navržené pro přechodí studie na základě praktických zkušeností získaných v průběhu jejich řešení, zároveň však zachovává původní paradigma komplexního řešení problematiky plošných zdrojů zrychleného odtoku a zemědělského znečištění vod. Řešení je zaměřeno na pokrytí všech typů odtoku. Na základě zkušeností z řešení dané problematiky byly nově definovány čtyři hlavní zdroje odtoku (znečištění) vod v zemědělsko-lesnických povodích. Jedná se zejména o plošný povrchový odtok, plošný podpovrchový odtok, přítok vody z lesních pozemků na zemědělskou půdu a přítok vody z cestní sítě na zemědělskou půdu. Metodika řešení prvních dvou zdrojů odtoku byla aktualizována na základě nových poznatků, řešení odtoku z lesní půdy a cestní sítě bylo do metodiky zahrnuto zcela nově. Tato metodika výše uvedené zdroje a jejich přispívající lokality vymezuje a kategorizuje, pro následné návrhy opatření či jejich kombinaci v účinných systémech.

V obecné rovině lze konstatovat, že největšími zdroji plošného zemědělského znečištění je eroze (sedimenty a na ně navázané látky) a vody z drenážních systémů obsahující pesticidy a jejich metabolity, dusičnany, resp. potenciálně i další látky rozpustné ve vodě, které nevytvářejí pevnou vazbu s minerálními půdními částicemi a které jsou aplikovány na zemědělskou půdu. Jak odnos půdy vodní erozí, tak i látky vyplavované z půdy a odváděné drenážními systémy jsou vázány na odtok vody. Cílením návrhů opatření snižujících zrychlený odtok vod, které se na tvorbě odtoku významně podílejí je možno docílit zvýšení retence a akumulace vody v krajině a zároveň významně zlepšit její jakost.

IV. Popis uplatnění Certifikované metodiky

V současné době se dostávají do popředí problematiky spojené se zvyšující se extremitou srážkových úhrnů (dochází ke střídání období s vysokými úhrny - v krátkém čase, s obdobími bez srážkových úhrnů). S takto narůstající extremitou dochází i k výraznějším projevům erozní činnosti a povodňovým událostem, resp. projevům sucha, tj. k procesům, které jsou s proměnlivostí distribuce srážek spojeny a které úzce korelují s kvalitou podzemních a povrchových vod.

Nově získané metodické principy naleznou uplatnění při komplexních návrzích opatření v rámci národní i evropské dotační politiky a v třetím plánovacím období v oblasti vod. Uplatnění zpracovaných metodických principů a jejich zavedení do praxe je nezbytné pro nastartování správného a zejména věcného hospodaření na zemědělských pozemcích v budoucnu.

Tento metodický postup nalezne uplatnění v rámci správy povodí (státní podniky Povodí, Lesy ČR, Státní pozemkový úřad), výkonu státní správy na úrovni ministerstev, krajů, obcí s rozšířenou působností, až samotných obcí. Široké uplatnění lze rovněž specifikovat z pohledu projekčních firem (vodohospodářské projekty, projektování komplexních pozemkových úprav, atd.).

Mezi konečnými uživateli budou však zemědělské subjekty, které v současné době doplácí na vláhovou rozkolísanost půdy z pohledu snižování svých výnosů, či zvýšeným nákladům na závlahovou vodu.

V. Ekonomické aspekty

Využitím této metodiky v praxi dojde k výraznému růstu efektivity vynaložených prostředků, neboť návrhy opatření budou prioritně směřovány do míst, kde tato budou mít největší pozitivní vliv na retenci i jakost vody. V rámci navrhování opatření pro zlepšení retence a akumulace vody v krajině a zlepšení její jakosti lze relativně jednoznačně vyčíslit náklady na projekt a realizaci navržených opatření, na druhou stranu je však velmi obtížné, až prakticky nemožné vyčíslit ekonomické přínosy těchto opatření konkrétně.

Z hlediska nákladů lze uvést příklad návrhů přírodně blízkých a technických opatření v povodí vlašimské Blanice (výstup zakázky PVL „„Příprava listů opatření typu A lokalit plošného zemědělského znečištění pro plány dílčích povodí““), kde bylo navrženo 2 048 opatření ve 30 povodích což představuje 51 % plochy jejího povodí. Tato opatření mají potenciál ke snížení ke snížení odtoku splavenin závěrovým profilem Radonice o 30 % a ke snížení odtoku erozního fosforu o 37 % a zároveň. Opatření se dále dotýkají 38 % plochy odvodněných lokalit a mají potenciálně vliv na snížení odnosu dusičnanového dusíku o 175 t/rok, což představuje snížení odnosu N – NO₃ o 24 %. Investiční náklady na navržená protierozní a přírodně blízká opatření, mezi kterými nechybí revitalizace vodních toků, budování tůní, mokřadů a suchých retenčních nádrží, jsou ve výši 3 mld. Kč a provozní roční náklady se pohybují kolem 130 mil. Kč v hodnotách z roku 2019.

Obdobně náklady na realizaci a údržbu 1 037 opatření navržených v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce činí dle cen z roku 2020 celkem 372,6 mil Kč na realizaci a 20,3 mil Kč/rok na jejich údržbu (výstup zakázky PVL „Přírodně blízká a technická opatření na zemědělské půdě v povodí VN Švihov na Želivce“).

Z hlediska snížení odnosu dusičnanového dusíku stavbami plošného zemědělského odvodnění na lokalitě Žejbro se v roce 2021 náklady na snížení zátěže vod o 1 kg dusíku za rok prostřednictvím revitalizačních opatření na HOZ i POZ pohybovaly v rozmezí 400–500 Kč (Zajíček et al., 2021). Vzhledem k současným velmi dynamickým ekonomickým změnám, ke kterým v posledních dvou letech dochází, je však patrný velmi výrazný nárůst cen materiálů, jejich nedostatek a také nedostatek pracovních sil a tím také zdražování práce samotné, což má za následek výrazné navýšení investičních nákladů navrhovaných opatření, který se v celkovém poměru pohybuje přibližně o 40 % výše oproti předešlým hodnotám (výstup zakázky PVL „Studie proveditelnosti realizace přírodě blízkých a technických opatření na zemědělské půdě v povodí VN Švihov na Želivce – etapa 1“).

Z hlediska ekonomických a společenských přínosů prezentuje předkládaná metodika mj. alternativní přístup pro snížení povodňových škod, který vychází z aplikace opatření, která vedou k zadržení srážkové vody přímo v místě jejich dopadu. Zvýšená schopnost zadržení vody v krajině zároveň přispěje k eliminaci povodňových škod – snížení škod na životním prostředí (ekologické škody) a snížení škod na majetku (ekonomické škody) a ztrátách na životech. Jen v období 1997–2010 byly škody způsobené povodněmi v ČR odhadnuty na 174 mld Kč a na protipovodňová opatření v letech 1997–2013 byla vynaložena částka 15,1 mld. korun.

Z hlediska erozního odtoku, po výstavbě funkčně propojených technických a přírodě blízkých opatření, dojde ke snížení nákladů na odbahňování rybníků, těžbu a skladování sedimentů z vodních nádrží a vodních toků. V současné době se uvádí cena za odstranění 1 m³ sedimentu v rozmezí 500–800 Kč.

Zvětšením zadrženého množství vody dojde též ke snížení následků sucha. Zvýšený retenční potenciál krajiny přispěje také ke zvýšení hladin pozemních vod, což bude mít pozitivní dopad na rostlinnou výrobu – zvýšení výnosů, zajištění dodávek vody pro konečné uživatele (pitná, užitková, voda pro průmysl). Uvádí se, že hodnota zadržení 1m³ vody v krajině představuje přibližně 500 Kč ročně (Honigová et al., 2012). Jednu z možností zadržení vody v krajině představují v podmínkách ČR systémy regulační drenáže (tj. využívající pro závlahu cizí zdroj vody) nebo systémy s regulací drenážního odtoku (tj. regulace autochtonních, vlastních vod). Jedná se o opatření se značným potenciálem k zadržování vody v půdním profilu, jejíž objem se pohybuje mezi 800–1 500 m³·ha–1·rok–1. Z celkové plochy evidovaných odvodňovacích staveb u nás (1,2 mil. ha) jsou plochy s vhodnými podmínkami pro uplatnění těchto principů odhadovány na cca 450 tis. ha (pro regulaci drenážního odtoku) a cca 150 tis. ha (pro regulační drenáž). Při průměrných celkových nákladech na opatření 10 000 Kč/ha lze náklady na vybudování souvisejícího akumulativního prostoru v zemědělské půdě (cca 330–650 mil. m³) odhadnout na cca 4,5 až 6,5 mld. Kč. Průměrné náklady na zadržení 1 m³ vody jsou tedy 5–10 Kč (Fučík et al., 2021).

Finanční zhodnocení zlepšení jakosti vod z hlediska ekologie je velmi obtížné, nicméně při zahrnutí konceptu ekosystémových služeb a s ohledem na celospolečenské přínosy těchto opatření vycházejí jejich návrhy a realizace v ekonomické analýze jako efektivní (výsledky studie PVL „Přírodě blízká a technická opatření na zemědělské půdě v povodí VN Švihov na Želivce“).

V důsledku zlepšení jakosti vody ve vodních tocích a nádržích budou navíc sníženy finanční náklady vynakládané na úpravu surové vody na vodu pitnou. Odhadované náklady úpravené vody (regenerační sůl a likvidace odpadní vody) se pohybují na snížení koncentrací dusičnanů z 50 mg/l na 15 mg/l kolem 3,2 Kč a na snížení koncentrací dusičnanů ze 100 mg/l na 43 mg/l dokonce 6,3 Kč na 1 m³ (dle informací z vodárenských podniků).

Z pohledu čistě finančních opatření navrhovaná pro zvýšení infiltrace, retence a akumulace vod a zlepšení jejich jakosti nejsou samo financovatelné. Nicméně při zahrnutí jejich celospolečenských přínosů a zohledněním přínosů těchto opatření prostřednictvím jejich ekosystémových služeb (Seják J. a kol. 2010) jsou navrhovaná opatření ekonomicky výhodná a lze doporučit financování jejich návrhů, realizace a údržby z veřejných zdrojů.

VI. Závěr

Pro kvalitu – účinnost a ekonomickou efektivitu navržených opatření je stěžejním faktorem identifikace vhodné lokality, kde má opatření být navrženo a posléze realizováno. Předložená metodika přináší návrh standardizovaného postupu pro potřeby výběru efektivního místa pro realizaci opatření z pohledu jeho přínosu pro zadržení vody v krajině a snížení vnosu znečištění z povrchových a podpovrchových plošných zdrojů odtoku a znečištění vod.

V metodice jsou popsány metodické postupy:

- identifikace kritických bodů drah soustředěného odtoku a jeho vstupu do hydrografické sítě – povrchového plošného zemědělského znečištění,
- identifikace kritických bodů z podpovrchových plošných zdrojů zemědělského znečištění
- identifikace kritických bodů, kde odtokem z lesních ploch dochází k ohrožení orné půdy,
- identifikace kritických bodů drah soustředěného odtoku a cestní sítě pro prioritní lokalizaci opatření směřujících k posílení retence a akumulace srážkových vod
- pro posouzení území z hlediska možnosti zlepšení (intenzifikace) vsakování srážkových vod do horninového prostředí
- byly specifikovány metody kategorizace přispívajících lokalit kritických bodů výše uvedených typů odtoku na základě potřeby návrhů opatření aplikovatelné pro celé území České republiky v podrobnosti sloužící tvorbě listů opatření typu A.

Seznam použitých podkladů

• Právní předpisy

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

Zákon č. 34/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu, ve znění pozdějších předpisů.

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

ČSN 75 4200 Hydromeliorace. Úprava vodního režimu zemědělských půd odvodněním.

ČSN 73 6109 Projektování polních cest

ČSN 73 6108 Lesní cestní síť

Rámcová směrnice pro vodní politiku 2000/60/ES (WFD).

Vyhláška č. 501/2006 Sb. Vyhláška o obecných požadavcích na využívání území

Předpis č. 401/2015 Sb. Nařízení vlády o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech.

• Odborné publikace

BROWN, C.; van BEINUM, W. (2009): Pesticide transport via sub-surface drains in Europe. *Environmental Pollution* 157, pp. 3314–3324.

BANASIK, K.; WOODWARD, D. E.; HAWKINS, R. (2014): Curve Numbers for Two Agro-Forested Watersheds. *World Environmental and Water Resources Congress 2014: Water without Borders*, pp 2235-2246.

BRUNE, G. M. (1953): Trap efficiency of reservoirs. *Trans Am. Geophys. Union. American Geophysical Union, Vol., 34,(No. 3)*, pp. 407 - 418.

DENDY, F. E.; CHAMPION, W. A. (1978): Sediment Deposition in U.S. Reservoirs. Summary of Data Reported Through 1975. Hyattsville, Meryland.: United States Department of Agriculture – Agriculture Research service, 1978 Misc. Pub. No 1362MP-1362. U.S. Dept. Agr., Agr. Res. Serv.

DEWETTINCK, T.; VAN HOUTTE, E.; GEENENS, D.; HEGE, K.; VERSTRAETE, W. (2001): HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) to guarantee safe water reuse and drinking water production - A case study. *Water Sci. Technol.* 43, 31–38. doi:10.2166/wst.2001.0708

DOLEŽAL, F.; KULHAVÝ, Z.; SOUKUP, M.; KODEŠOVÁ, R. (2001): Hydrology of tile drainage runoff. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans & Atmosphere*, Vol. 26, No. 7-8, pp. 623-627.

DOLEŽAL, F.; KVÍTEK T. (2004): The role of recharge zones, discharge zones, springs and tile drainage systems in peneplains of Central European highlands with regard to water quality generation processes. *Physics and Chemistry of the Earth*, 29,775–785.

- DRBAL, K., DUMBROVSKÝ, M. a kol. (2009): Metodický návod pro identifikaci KB. Brno: Ministerstvo životního prostředí ČR, 7 s
- DRBAL, K.; DUMBROVSKÝ, M.; MUCHOVÁ, Z.; SOBOTKOVÁ, V.; ŠTĚPÁNKOVÁ, P.; ŠARAPATKA, B. Mitigation of Flood Risks with the Aid of the Critical Points Method. *Agronomy* 2022, 12, 1300. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061300>
- EDWARDS, A. C.; PUGH, K.; WRIGHT, G. G.; SINCLAIR, A. H.; REAVES, G. A. (1990): Nitrate status of two major rivers in N. E. Scotland with respect to land use and fertiliser additions. *Chemistry and Ecology*, 4, 97-101.
- FORTIN, J.; GAGNON-BERTRAND, E.; VEZINA, L.; ROMPRE, M. (2002): Preferential bromide and pesticide movement to tile drains under different cropping practice. *Journal of Environmental Quality* 31, pp. 1940-1952.
- FUČÍK, P.; BYSTRICKÝ, V.; DOLEŽAL, F.; KVÍTEK, T.; LECHNER, P.; VÁCHAL, J.; ŽLÁBEK, P. (2010): Posuzování vlivu odvodňovacích systémů a ochranných opatření na jakost vody v zemědělsky obhospodařovaných povodích drobných vodních toků. Certifikovaná Metodika. VÚMOP, v.v.i., 90 s., ISBN 978-80-87361-00-9.
- FUČÍK, P.; KVÍTEK, T.; LEXA, M.; NOVÁK, P.; BÍLKOVÁ, A. (2008): Assessing the Stream Water Quality Dynamics in Connection with Land Use in Agricultural Catchments of Different Scales. *Soil and Water Research*, 3, 98–112. ISSN 1801-5395.
- FUČÍK, P.; ZAJÍČEK, A.; DUFFKOVÁ, R.; KVÍTEK, T. (2015): Water Quality of Agricultural Drainage Systems in the Czech Republic – Options for Its Improvement. In book: *Research and Practices in Water Quality*, Edition: 1., Chapter: 11, pp. 241–262, 2015. DOI: 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; (ISSN Print:2575-1867 ISSN Online: 2575-1875) doi:10.3390/w9090712.
- FUČÍK, P., ZAJÍČEK, A.; DUFFKOVÁ, R.; MARVAL, Š.; HEJDUK, T.; KHEL, T.; HEŘMENOVSÁ, D.; VOPRAVIL, J.; KAPLICKÁ, M. (2020): Vymezení infiltračních oblastí na podkladu aktuální digitální vrstvy BPEJ a ve vazbě na tzv. mikropovodí drenážních systémů. VÚMOP.
- GOSWAMI, D.; KALITA P. K.; COOKE R. A. C.; MCISAAC G. F. (2009): Nitrate-N loadings through subsurface environment to agricultural drainage ditches in two flat Midwestern (USA) watersheds. *Agricultural Water Management*, 96: 1021–1030.
- HANZEL, V. ed. (1998): Geologický slovník. Hydrogeológia. – Geologická služba Slovenskej republiky. Vydavateľstvo Dionýza Štúra, Bratislava.
- HIRT, U.; HAMMAN, T.; MEYER, B. C. (2005): Mesoscalic estimation of nitrogen discharge via drainage systems. *Limnologica – Ecology nad Management of Inland Waters*, 35 (3): 206-219.

- HONISCH, M.; HELLMEIER, C.; WEISS, K. (2002): Response of surface and subsurface water quality to land use changes. *Geoderma*, 105: 277-298.
- JANEČEK, M. ed. (2012): Ochrana zemědělské půdy před erozí - Metodika. 1. vyd. Česká zemědělská univerzita Praha, 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* 2/2003, s. 61-81.
- KARABOVÁ, B. (2014): Testovanie možnosti regionalizácie vybraných parametrov metódy SCS-CN – oblasť nížin Slovenska. *Acta Hydrologica Slovaca*, roč. 15, č. 1, s. 194-203.
- KLAUS, J.; ZEHE, E.; ELSNER, M.; PALM, J.; SCHNEIDER, D.; SCHRÖDER, B.; STEINBEISS, S.; van SCHAIK, L.; WEST, S. (2014): Controls of event-based pesticide leaching in natural soils: A systematic study based on replicated field scale irrigation experiments. *Journal of Hydrology* 512, s. 528–539.
- KOVÁŘ, P. (2014): Ekosystémová a krajinná ekologie, Univerzita Karlova, ISBN 9788024627885.
- KRÁSA, J. (2010): Empirické modely vodní eroze v ČR – nástroje, data, možnosti a rizika výpočtu. Praha, Habilitační práce. ČVUT v Praze, FSv, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství.
- KRÁSA, J. ed. (2013a): „Určení podílu erozního fosforu na eutrofizaci ohrožených útvarů stojatých povrchových vod“, projekt NAZV MZe/QI102A265, souhrnná závěrečná zpráva za období řešení 2010-2013, 256 s.
- KRÁSA, J. ed. (2013b): Metodika hodnocení ohroženosti vodních nádrží eutrofizací způsobenou přísunem erozního fosforu, certifikovaná metodika; ČVUT v Praze a MZe, ISBN 978-80-01-05428-4.
- KRÁSA, J. ed. (2015): Eroze zemědělské půdy a její význam pro zanášení a eutrofizaci nádrží v české republice. D. Kosour, *Vodní nádrže 2015*. Brno: Povodí Moravy, s.p., Dřevařská 11, 602 00 Brno, s. 43–46.
- KULHAVÝ, Z.; DOLEŽAL, F.; FUČÍK, P.; KULHAVÝ, F.; KVÍTEK, T.; MUZIKÁŘ, R.; SOUKUP, M.; ŠVIHLA, V. (2007): Management of agricultural drainage systems in the czech republic. *Irrigation and Drainage*, 56(SUPPL. 1), S141-S149. doi:10.1002/ird.339
- KULHAVÝ, Z.; TLAPÁKOVÁ, L.; ČMELÍK, M.; DOLEŽAL, F. (2010): Podíl drenážního odtoku na celkovém odtoku z povodí. *Vodní Hospodářství*, 7.
- KULHAVÝ, Z.; FUČÍK, P.; TLAPÁKOVÁ, L. (2013): Pracovní postupy eliminace negativních funkcí odvodňovacích zařízení v krajině: metodická příručka pro žadatele OPŽP. Praha: Ministerstvo životního prostředí. ISBN 978-80-7212-589-0.
- KULHAVÝ, Z.; FUČÍK, P. (2015): Adaptation Option for Land Drainage Systems Toward Sustainable Agriculture and the Environment: A Czech Perspective. *Pol. J. Environ. Stud.* 24(3):1085-1102, doi/10.15244/pjoes/34963.
- KVÍTEK, T. (1999): Vývoj koncentrací dusičnanů a analýza stability zemědělských povodí vodárenské nádrže Švihov. *Rostlinná výroba*, 45 (3), 107-111.
- KVÍTEK, T.; DOLEŽAL, F. (2003): Vodní a živinný režim povodí Kopaninského toku na Českomoravské vrchovině. *Acta Hydrologica Slovaca*, 2, 255-264.

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, Parts A/B/C, Volume 34, Issues 8-9*, pp. 541-551.

LENNARTZ, B. (1999): Variation of herbicide transport parameters within a single field and its relation to water flux and soil properties. *Geoderma* 91, s. 327–345.

LIŠKA, M.; FUČÍK, P.; DOBIÁŠ, J.; WILDOVÁ, P.; KOŽELUH, M.; VÁLEK, J.; SOUKUPOVÁ, K.; ZAJÍČEK, A. (2015): Problematika výskytu pesticidních látek v povrchových vodách v povodí vybraných vodárenských zdrojů, *Vodní hospodářství* 1/2015, s. 14.

LORD, E. I.; JOHNSON P. A.; ARCHER J. R. (1999): Nitrate Sensitive Areas: a study of large scale control of nitrate loss in England. *Soil Use and Management* 15, 201-207.

MALÝ A. (2010): Porovnání výstupů metody odtokových křivek (SCS-CN) s pozorovanými daty z malých povodí. *Hydrologické dny 2010, Hradec Králové*, 7 s.

MARGAT, J. (1968): Vulnérabilité des nappes d'eau souterraine a la pollution (Groundwater vulnerability to contamination). *Bases de la cartographie, (Doc.) BRGM, SGL 19 HYD, Orléans, France*.

MOCKUS, V. (1972): Estimation of direct runoff from storm rainfall. *SCS National Engineering Handbook, Sect. 4, Chapt. 10*, 24 p.

NOVOTNÁ, J.; LUBAS, M.; KABELKOVÁ, I. (2015): Možnosti řešení vsaku dešťových vod v urbanizovaných územích v ČR *vsak_destovych_vod.pdf (povis.cz)* 93 s.

NOVOTNÁ, J.; KRYŠTOFOVÁ, E. eds. (2020): Podzemní voda v krystaliniku. Etapová zpráva. I. etapa. *Hydrogeologický rajon 6550 Krystalinikum v povodí Jihlavy. Česká geologická služba*.

NRCS (2007): Part 630 Hydrology. *National Engineering Handbook. Chapter 16 Hydrographs*. 50 p.

REYNOLDS, B.; EDWARDS, A. C. (1995): Factors influencing dissolved nitrogen concentrations and loading in upland stream of the UK. *Agricultural water management*. 27, 181-202.

RUIZ, L.; ABIVEN, S.; DURAND, P.; VERTÈS, F.; BEAUJOUAN, V. (2002): Effect on nitrate concentration in stream water of agricultural practices in small catchments in Brittany: I. Annual nitrogen budgets. *Hydrology and Earth System Sciences* 6 (3), 497-505.

SIBSON, R. (1981): A Brief Description of Natural Neighbor Interpolation. Chapter 2 in *Interpolating multivariate data*, New York, pp. 21-36.

ŠVIHLA, V.; ČERNOHOUS, V.; ŠACH, F.; KACÁLEK, D. (2017): Principy řešení zátěže povrchových vod dusičnany z plošných zdrojů. *Zemědělec* 5.

TEDIOSI, A.; WHELAN, M. J.; RUSHTON, K. R.; GANDOLFI, C. (2013): Predicting rapid herbicide leaching to surface waters from an artificially drained headwater catchment using a one dimensional two-domain model coupled with a simple groundwater model. *Journal of Contaminant Hydrology* 145, pp. 67–81.

TLAPÁKOVÁ, L.; ČMELÍK, M.; ŽALOUDEK, J.; KARAS, J. (2016): Metodika identifikace drenážních systémů a stanovení jejich funkčnosti, číslo osvědčení 3/2017-SPU/O. VÚMOP, 2016. ISBN 978-80-87361-58-0, 214 str.

van OOST, K.; GOVERS, G.; DESMET, P. J. J. (2000): Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. *Landscape Ecology*. 15, pp. 577-589.

van ROMPAEY, A.; VERSTRAETEN, G.; van OOST, K.; GOVERS, G.; POESEN, J. (2001): Modelling mean annual sediment yield using a distributed approach. *Earth Surface Processes and Landforms*. 26 (11), pp. 1221-1236.

VAŠŠOVÁ, D.; KOVÁŘ, P. (2011): Program DES_RAIN. Dokumentace, uživatelská příručka, ČZU v Praze, FŽP, 23 s.

VERSTRAETEN, G.; van OOST, K.; van ROMPAEY, A.; POESEN, J.; GOVERS, G. (2002): Evaluating an integrated approach to catchment management to reduce soil loss and sediment pollution through modelling. *Soil Use and Management*. 18, s. 386-394.

VLČEK, V.; JANDÁK, J.; POSPÍŠILOVÁ, L. (2017): Klíč k použití Bonitovaných půdně ekologických jednotek. MZLU

VYMAZAL, J.; BŘEZINOVÁ, T. (2015): The use of constructed wetlands for removal of pesticides from agricultural runoff and drainage: A review. *Environment International* 75, pp. 11–20.

WILLIAMS, J. R. (1975): Sediment-yield prediction with universal equation using runoff energy factor. In: Present and perspective technology for predicting sediment yield and sources. US Department of Agriculture, Washington, DC. pp. 244-252.

WOODWARD, D.; HAWKINS, R.; JIANG, R.; HJELMFELT, A. (2003): Runoff Curve Number Method: Examination of the Initial Abstraction Ratio. World Water and Environmental Resources Congress 2003, 12 p.

WORRALL, F.; BURT, T.; ADAMSON, J. (2003): Controls on the chemistry of runoff from an upland peat catchment. *Hydrological Processes* 17 (10), 2063-2083.

ZAJÍČEK, A.; KVÍTEK, T.; KAPLICKÁ, M.; DOLEŽAL, F.; KULHAVÝ, Z.; BYSTRICKÝ, V.; ŽLÁBEK, P. (2011): Drainage water temperature as a basis for verifying drainage runoff composition on slopes. *Hydrological Processes*, 25(20), 3204-3215. doi:10.1002/hyp.8039

ZAJÍČEK, A.; FUČÍK, P. (2015): Rezidua pesticidů v drenážních vodách - zahraniční zkušenosti a první výsledky z České Republiky. *Rostlinolékař*, 6/2015, s. 32 - 35.

ZAJÍČEK, A.; FUČÍK, P.; DUFFKOVÁ, R.; MAXOVÁ, J. (2016): Zatravnění orné půdy, jakost drenážních vod a vybrané ekonomické ukazatele. *Úroda* 64 (10): 55-58. ISSN 0139-6013.

ZAJÍČEK, A.; FUČÍK, P.; KAPLICKÁ, M.; MAXOVÁ, J. (2017): Vyplavování pesticidních látek zemědělskou drenáží. *Rostlinolékař* č.4, str. 24-28.

ZAJÍČEK, A.; FUČÍK, P.; KAPLICKÁ, M.; LIŠKA, M.; MAXOVÁ, J.; DOBIÁŠ, J. (2018a): 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, T.; HEJDUK, T.; FUČÍK, P.; KULHAVÝ, Z.; BAUER, M.; PELÍŠEK, I.; JÁCHYMOVÁ, B.; DEVÁTÝ, J.; ROSENDORF, P.; PAVEL, M.; VOJTĚCHOVSKÝ, T.; KYZLÍKOVÁ, E. (2018b): Atlas of non-point pollution of waters in the Vltava River Basin. VÚMOP, Prague. atlaspvl.vumop.cz.

ZAJÍČEK, A.; KARÁSEK, P., BURIAN, V.; KOTEROVÁ, V.; PAVEL, M.; KVÍTEK, T.; (2020a): Návrhy přírodě blízkých a technických opatření na zemědělské půdě v povodí VN Švihov na Želivce. Vodní hospodářství 70(4).

ZAJÍČEK, A.; SYCHRA, L.; ČMELÍK, M.; MARVAL, Š., VYBÍRAL, T., HEJDUK, T.; MAXOVÁ, J., KAPLICKÁ, M. (2020b): Návrhy revitalizačních opatření na hlavních odvodňovacích zařízeních a k nim přílehlých podrobných odvodňovacích zařízeních v povodí Žejbra: TH02030397 Specializovaná mapa s odborným obsahem. ISBN 978-80-88323-30-3.

ZAJÍČEK, A.; SYCHRA, L.; VYBÍRAL, T.; HEJDUK, T.; ČMELÍK, M.; FUČÍK, P.; KAPLICKÁ, M. (2021): Návrhy revitalizačních opatření na hlavních a přílehlých podrobných odvodňovacích zařízeních: certifikovaná metodika. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. ISBN 978-80-88323-54-9.

ZAJÍČEK, A.; HEJDUK, T.; SYCHRA, L.; VYBÍRAL, T.; FUČÍK, P. (2022): How to select a location and a design of measures on land drainage – A case study from the Czech republic. Journal of Ecological Engineering, 23(4), 43-57. doi:10.12911/22998993/146270

- **Internetové zdroje**

<http://www.heisvuv.cz/data/webmap/datovesady/projekty/emisevoda/default.asp>

<http://www.heisvuv.cz/data/webmap/datovesady/projekty/kombinovanyzpůsob/dokumenty/aplikace.htm>

<https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-she>

<http://prgheisv.tgm.vuv.cz/data/webmap/datovesady/projekty/emisevoda/default.asp>

Seznam tabulek

Tabulka 1 Klasifikace kritických bodů A1 z hlediska vstupu erozních splavenin a fosforu do vodních toků a nádrží	41
Tabulka 2 Klasifikace kritických bodů A1 z hlediska transportu erozních splavenin a fosforu kritickým bodem	42
Tabulka 3 Klasifikace kritických bodů A2 z hlediska vstupu erozních splavenin a fosforu do vodních toků a nádrží	42
Tabulka 4 Klasifikace kritických bodů A2 z hlediska transportu erozních splavenin a fosforu kritickým bodem	42
Tabulka 5 Klasifikace kritických bodů A3 z hlediska vstupu erozních splavenin a fosforu do vodních toků a nádrží	42
Tabulka 6 Klasifikace kritických bodů A3 z hlediska transportu erozních splavenin a fosforu kritickým bodem	43
Tabulka 7 Klasifikační tabulka určující stupně rizika jednotlivých dílčích indexů	49
Tabulka 8 Klasifikační tabulka určující váhu zlepšujícího vlivu pro index podílu infiltračně zranitelných půd a Index zatravněných infiltračně zranitelných půd	49
Tabulka 9 Klasifikační tabulka určující stupně rizika indexu SIPO	49
Tabulka 10 Vyjádření hodnot jednotlivých stupňů rizika Souhrnného indexu potřeby opatření	50
Tabulka 11 Klasifikace podélného sklonu	57
Tabulka 12 Hydrologické skupiny půd	60
Tabulka 13 Klasifikace vlivu infiltrace podle hlavních půdních jednotek	60
Tabulka 14 Kategorizace storativity pro litologické typy hornin	67
Tabulka 15 Vhodnost typu infiltračního opatření	69

Seznam obrázků

Obr. č. 1 Schéma a detail vymezení úrovní kritických bodů a lokalit plošného znečištění (povrchové)	22
Obr. č. 2 Schéma a detail vymezení úrovní kritických bodů a lokalit plošného znečištění (podpovrchové)	23
Obr. č. 3 Detail vymezení kritických bodů kategorie L4 (odtok z lesa)	24
Obr. č. 4 Detail vymezení kritických bodů kategorie C	25

Seznam odborných podkladů, které předcházely metodice

Předložený metodický postup vychází z mnoha publikací, které vznikly před vlastním řešením zakázky a jsou tedy dedikovány na jiné projekty VaVaI. Jejich seznam je uveden v použité literatuře.

Vlastní metodice předcházely následující publikace:

ZAJÍČEK A., KULHAVÝ Z., FUČÍK P., PELÍŠEK I., HEJDUK T., 2015: Pilotní projekt kategorizace odvodňovacích systémů v geomorfologických oblastech Českomoravské vrchoviny a Východočeské tabule s ohledem na odnos živin. VÚMOP, v.v.i.

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., 69 s.

KVÍTEK, T., KRÁTKÝ, M., 2016: Informace o projektu Povodí Vltavy, státní podnik, k problematice plošných zemědělských zdrojů znečištění v procesu plánování v oblasti vod, Vodní hospodářství 9, str. 19-21, ISSN 1211-0760

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): Povodí Vltavy, státní podnik: Atlas plošného zemědělského znečištění vod, VÚMOP, 243 s. ISBN: 978-80-87361-85-6.

ZAJÍČEK, A., KARÁSEK, P., BURIAN, V., KOTEROVÁ, V., PAVEL, M., KVÍTEK, T. (2020): Návrhy přírodně blízkých a technických opatření na zemědělské půdě v povodí VN Švihov na Želivce. Vodní hospodářství 70(4).

Postupy v metodice uvedené vznikly též na základě poznatků při řešení předchozích zakázek zadaných podnikem Povodí Vltavy, státní podnik:

„Příprava listů opatření typu A lokalit plošného zemědělského znečištění pro plány dílčích povodí“

„Přírodně blízká a technická opatření na zemědělské půdě v povodí VN Švihov na Želivce“

Certifikační doložka

- Dedikace

Metodika vznikla v rámci smluvního výzkumu při plnění zakázky „Příprava listů opatření typu A v povodí VN Švihov na Želivce ke zlepšení jakosti a zvýšení retence vody“, jejímž zadavatelem je Povodí Vltavy, státní podnik. Zároveň vznikla na základě podpory výzkumného projektu QK21010341 „Optimalizace souboru opatření pro zemědělská povodí v rámci procesu pozemkových úprav“ a v rámci institucionální podpory MZE-RO0218 „Dlouhodobá koncepce rozvoje výzkumné organizace“

Jména oponentů

Odborníci z daného oboru:

Ing. Miroslav Tesař, CSc.
Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, v. v. i.
Pod Pařankou 30/5,
166 12 Praha 6
miroslav.tesar@iol.cz
<https://www.ih.cas.cz>

RNDr. Svatopluk Šeda
FINGEO s.r.o.
Litomyšlská 1622, 565 01 Chocẽň
+420 603 538 605
seda@fingeo.cz
<http://www.fingeo.cz>

Mgr. Petr Ferbar
Povodí Labe, státní podnik
Odbor pẽče o vodní zdroje
Víta Nejedlého 951/8, 500 03 Hradec Králové
ferbarp@pla.cz
<http://www.pla.cz>

Odborník ze státní správy:

Ing. Vít Růžička
Ministerstvo zemědělství ČR
Odbor vodohospodářské politiky a protipovodňových opatření
Těšnov 65/17, Praha 1, 110 00
+420 221 812 408
vit.ruzicka@mze.cz
www.eagri.cz/

Kontakty na osoby předkladatele metodiky:

Ing. Michal Krátký
Povodí Vltavy, státní podnik
Útvar povrchových a podzemních vod
Holečkova 8, 150 24 Praha 5
tel.: 221 401 931
Michal.Kratky@pvl.cz
<http://www.pvl.cz>

Mgr. Antonín Zajíček, Ph.D.
Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.
Oddělení Hydrologie a ochrany vod
Žabovřeská 250, 156 27 Praha 5 – Zbraslav
+420 257 027 210
zajicek.antonin@vumop.cz
www.vumop.cz

prof. Dr. Ing. Tomáš Dostál
České vysoké učení technické v Praze
Fakulta stavební – katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství
Tháškova 2077/7, 166 29 Praha 6
+420 224 354 747
dostal@fsv.cvut.cz
www.cvut.cz

Ing. Roman Hanák
AQUATIS a.s.
Středisko vodohospodářského plánování – vedoucí střediska
Botanická 834/56, 602 00 Brno
+420 541 554 229
roman.hanak@aquatis.cz
www.aquatis.cz/

- Prohlášení předkladatele metodiky

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

- Prohlášení předkladatele, že souhlasí s uveřejněním jeho práce na webových stránkách certifikačního orgánu

Předkladatel metodiky souhlasí s uveřejněním metodiky na webových stránkách Ministerstva zemědělství ČR