

SEDIMENTY V ZEMĚDĚLSKY VYUŽÍVANÝCH POVODÍCH (INTERAKCE PŮDA, VODA, SEDIMENT)

METODIKA/2021



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



GEOREAL

Sedimenty v zemědělsky využívaných povodích (interakce půda, voda, sediment)

Certifikovaná metodika



T A

Č R

Technologická
agentura
České republiky

2021

Autoři:

Ing. Štěpán Marval^{1,2} (marval.stepan@vumop.cz)
Ing. Tomáš Hejduk, Ph.D.¹
Ing. Klára Dušková³
Ing. Tomáš Vybíral, Ph.D.⁴ (tomas.vybiral@georeal.cz)
Ing. Martin Tomek³ (tomek@vrv.cz)
Ing. Radek Roub, Ph.D.²
Mgr. Antonín Zajíček, Ph.D.¹
Ing. Petr Fučík, Ph.D.¹
Ing. Martin Vacek⁴

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

² Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 961/129, 165 00 Praha 6 - Suchbátka

³ Vodohospodářský rozvoj a výstavba a.s., Nábřeží 90/4, 150 00 Praha 5 – Smíchov

⁴ GEOREAL spol. s r.o., Hálkova 12, 301 00 Plzeň

Recenzovali:

Ing. Marek Batysta, Ph.D. - Ministerstvo zemědělství ČR - Odbor zemědělských registrů -
Oddělení prostorových informací, Těšnov 65/17, 110 00 Praha 1

Ing. Ivan Dalík - PIK Vítek s.r.o. – jednatel společnosti - Kořenského 1025/7, 150 00 Praha 5
(projekční vodohospodářská kancelář)

Poděkování:

Certifikovaná metodika vznikla za finanční podpory Technologické agentury ČR, programu EPSILON jako plánovaný výstup projektu č. TH02030399 - „Sledování množství a kvality sedimentů ve vodních tocích a nádržích za účelem snižování znečištění z nebudových zdrojů“ a za institucionální podpory VÚMOP, v.v.i. č. MZE-RO0218.

Metodiku schválilo pro využití v praxi Ministerstvo zemědělství - Těšnov 65/17, 110 00 Praha 1, osvědčením č. **MZE-34501/2021-11122** ze dne 3. 6. 2021.

V roce 2021 v nákladu 50 ks vydal VÚMOP, v.v.i.

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

Vydání: první, 2021

ISBN 978-80-88323-38-9 (tištěná verze), 978-80-88323-39-6 (online pdf)

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

prof. Ing. Radim Vácha, Ph.D., ředitel

www.vumop.cz



Obsah:

I. Cíl metodiky	4
II. Vlastní popis metodiky.....	5
1. Úvod - potřebnost a využití metodiky.....	5
2. Vymezení základních pojmů	7
3. Seznam použitých zkratk.....	8
4. Legislativní rámec problematiky sedimentů	9
5. Monitoring sedimentů.....	13
5.1. Odběry vzorků sedimentů	13
5.2. Zařízení a pomocný materiál k odběrům vzorků.....	13
5.3. Způsoby odběrů vzorků sedimentu	18
5.4. Monitoring množství sedimentů	29
6. Monitoring půd.....	46
6.1. Odběry vzorků půd	46
6.2. Vzorovacího zařízení a způsob jeho použití.....	48
7. Monitoring jakosti vod.....	50
8. Demonstrační projekty hodnocení kvality sedimentů	52
8.1. Modelový rybník A.....	53
8.2. Modelový Rybník B.....	55
8.3. Modelový rybník C.....	59
9. Analýza zdrojových ploch k eliminaci opětovného zanášení rybníka	61
9.1. Nastavení modelu WaTEM/SEDEM	61
9.2. Identifikace rizikových nádrží	67
9.3. Identifikace rizikových pozemků.....	69
9.4. Návrh opatření a posouzení jejich efektu modelem	70
9.5. Příklad postupu při úpravě Parcel Map	71
10. Katalog opatření.....	74
III. Srovnání novosti postupů	76
IV. Popis uplatnění Certifikované metodiky	77
V. Ekonomické aspekty.....	78
VI. Závěr	79

I. Cíl metodiky

Cílem certifikované metodiky je implementovat poznatky získané z monitorovacích kampaní množství a kvality sedimentů, vod a půd do praktického metodického postupu, který poskytne srozumitelný návod pro sledování a kvantifikaci množství sedimentů ve vodních nádržích, včetně návrhu možných způsobů nakládání s vytěženým sedimentem.

Certifikovaná metodika je rovněž zaměřena na nastavení vhodného monitoringu jakosti povrchových vod a kvality sedimentů / půd za účelem identifikace původu sedimentů a pro potřeby přijetí vhodného opatření pro eliminaci vstupu sedimentů do vodního prostředí.

Metodika předkládá zásady a praktické postupy pro posouzení rybníka z pohledu mocnosti sedimentů, posouzení rybníka z pohledu jakosti sedimentů, vč. posouzení kvality půd zemědělských pozemků v okolí rybníka. Uvedeny jsou základní principy a zásady pro výběr vhodných metod pro relevantní hodnocení konkrétních vodních nádrží, respektující jejich specifické podmínky.

Předkládaná metodika sumarizuje dosavadní stav poznání a navazuje na široký výčet již zpracovaných podkladů pro hodnocení sedimentů ve vodním prostředí, přičemž nabízí ucelený a komplexní přehled možných variant nakládání s vytěženým sedimentem.

Uvedené základní pilíře metodiky jsou doplněny o modelové studie, které slouží jako demonstrační ukázky pro využití metodiky v samotné praxi. Na vybraných typech vodních nádrží (hloubka, plocha, lokalizace, aj.) je provedena kvantifikace množství a kvality sedimentů, vč. hodnocení jeho původu a možného způsobu nakládání.

Pro relevantní návrh vhodných opatření ke snížení množství sedimentů, které do rybníka vstupují, je třeba nejprve identifikovat zdrojové plochy v povodí, za tímto účelem je součástí metodiky i prezentace nástrojů matematického modelování, které jsou využívány za účelem popsání erozních a transportních procesů v povodí.

Samostatnou částí metodiky je zpracovaný Katalog opatření omezujících sedimentaci nerozpustných látek ve vodních tocích a nádržích, který popisuje výčet dostupných opatření, které je možné uplatnit při řešení zanášení vodních toků a nádrží sedimenty.

II. Vlastní popis metodiky

1. Úvod - potřebnost a využití metodiky

Současná krajina České Republiky, přetvořená především k intenzivnímu hospodaření na zemědělských pozemcích, má velké problémy se zadržením vody. 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 nedostatečné retenční kapacity půdy vzniká povrchový odtok, který se uplatňuje především ve svažitéch 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 během stavební činnosti, může dosáhnout odnos půdy až 100 tun/ha za rok. Na nesvažité 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.

Dalšími faktory zanášení vodních toků a nádrží živinami jsou nárůst průmyslové produkce a spotřeby vody domácností v průběhu 20. století vedoucí k výraznému nárůstu objemu vod bohatých na živiny vstupujících do vodního toku. Řada rybníků je silně organicky zatížena a v podstatě fungují jako dočišťovací nádrže pro zdroje organického znečištění v povodí. Ukazatele saprobity (biologického znečištění) často několikrát překračují limity pro povrchové vody a bývají srovnatelné se stabilizačními ("biologickými") rybníky. Intenzivní rozklad lehce rozložitelné organické hmoty za vyšších teplot vede ke zhoršení kyslíkových poměrů (ke kyslíkovému deficitu) a následně k intenzivnímu vyplavování fosforu, klíčové živiny, do povrchových vod [1]. Vstup látek bohatých především na fosfor [2], způsobuje ve vodních tocích eutrofizaci, která vzniká při přesycení vodního prostředí živinami, což má za následek masový nárůst vodní flóry. Po odumření tato flóra klesá ke dnu ve formě jemného organominerálního kalu, zvaného sapropel a vytváří tak až 2 cm sedimentu ročně [3, 4].

Zanášení vodních toků a nádrží produkty vodní eroze způsobuje především zmenšení průtočnosti koryt vodních toků, akumulčních prostorů vodních nádrží a ovlivňuje jejich hydraulickou funkci, kdy se zkracuje doba zdržení, zvyšuje se rychlost průtoku nádrží a snižuje se zabezpečení odběru vody. Obecně lze konstatovat, že nárůstem objemu sedimentů ve vodních tocích a nádržích dochází ke snížení akumulace vody v území.

Samotná kvalita sedimentu je dalším problémem, který se může vyskytovat ve všech typech toků a nádrží, avšak nejčastěji se objevují na dolním či regulovaném toku nebo na konci říčního systému (tj. v ústích a deltách). Rozhraní sediment-voda je důležitým biotopem pro velké množství organismů a přechodovou zónou od primárních a sekundárních produkčních systémů k detritické části ekosystému. V blízkosti rozhraní voda-sediment po delší či kratší čas života nalézají stanoviště bentické řasy, bakterie, rybenky a široká škála zoobentosu. Tyto organismy jsou potravou filtrátorů (mechovky, mlži či perloočky) a bentivorních ryb. Kontaminované sedimenty mohou mít jak přímé nepříznivé dopady na vyskytující se faunu, tak nepřímé účinky, jelikož se toxické látky dostávají do potravního řetězce.

Ochrana vodních toků a nádrží před zanášením sedimenty je jednou z nejdůležitějších úloh oboru vodního hospodářství. Procesy eroze na intenzivně využívané zemědělské půdě jsou největším producentem sedimentů ve vodních tocích a nádržích. Erozní procesy se tak stávají hlavním činitelem jednoho z největších vodohospodářských problémů v podobě zanášení vodních toků a nádrží [5]. Na území České republiky je cca 50 % orné půdy potenciálně ohroženo vodní erozí a přibližně 10 % území je ohroženo erozí větrnou. Na převážné ploše erozně ohrožených půd není prováděna systematická ochrana, která by snižovala ztráty půdy na stanovené přípustné hodnoty, tím méně na úroveň, která by bránila dalšímu snižování mocnosti půdního profilu a ovlivňování jakosti vod v důsledku pokračujícího procesu eroze [6, 7].

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. Bez komplexní ochrany v podobě realizace opatření zabráňujícím vstupu sedimentu do vodních toků v celém povodí je většina zásahů do rybníčního hospodaření málo účinná a má jen krátkodobý efekt.



2. Vymezení základních pojmů

Sediment

- usazenina, složená z částic pevných látek, které se vlivem tíže usadily,

vodní toky

- povrchové vody tekoucí vlastním spádem v korytě trvale nebo po převažující část roku, a to včetně vod v nich uměle vzduťých,

vodní nádrž

- přírodní nebo uměle upravený prostor, ve kterém se vzdouvá a akumuluje voda,

schéma vzorkování

- definování počtu a umístění bodů odběru,

velikost vzorku

- počet součástí jednotek nebo množství (např. sedimentu) tvořící vzorek,

vzorkař

- osoba provádějící odběry vzorků v místě odběru, osoba kvalifikovaná pro odběr vzorku (osoba s odbornou způsobilostí).



3. Seznam použitých zkratk

ČR	- Česká republika
ČSN	- Česká státní norma
ČÚZK	- Český úřad zeměměřický a katastrální
DEM	- digitální model terénu z anglického Digital Elevation Model
DIBAVOD	- Digitální báze vodohospodářských dat
GIS	- Geografické informační systémy
GNSS	- Globální družicový polohový systém z anglického Global Navigation Satellite System
GPR	- z anglického Ground - penetrating radar
HOZ	- hlavní odvodňovací zařízení
HW	- hardware
ISO	- z anglického International Standard Organization
LIDAR	- z anglického Light Detection And Ranging
LLS	- letecké laserové skenování
LMS	- letecké měřické snímkování
MZe	- Ministerstvo zemědělství
PE	- Polyethylen
POZ	- podrobné odvodňovací zařízení
SONAR	- z anglického SOund Navigation And Ranging
SOP	- standardní operační postup
SW	- software
TAČR	- Technologická agentura České republiky
TOL	- těkavé organické látky
UAV	- Bezpilotní letadlo z anglického Unmanned Aerial Vehicle
VÚMOP	- Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.
ZABAGED	- Základní báze geografických dat
ZPF	- zemědělský půdní fond

4. Legislativní rámec problematiky sedimentů

Problematicke sedimentů se na evropské úrovni z odborného hlediska věnuje organizace SedNet [8], která sdružuje řadu výzkumných pracovišť, univerzit i státních orgánů napříč Evropou a jejímž cílem je přenést existující výzkum v oblasti sedimentů do relevantních národních i evropských politik. Organizace se zaměřuje jak na sladkovodní, tak na mořské sedimenty, a tématu se věnuje z hlediska vědeckého, politického, vodohospodářského, průmyslového i vzdělávacího.

Dále se problematikou na evropské úrovni zabývá evropská odpadová legislativa, především pak Rámcová směrnice o odpadech. Vytěžený sediment má vlastní kódy v evropském katalogu odpadů a směrnice o skládkách odpadů zmiňuje pravidla pro jeho skládkování [9]. Další významné evropské iniciativy, které přímo nezávisí na Evropské unii, se zabývají především sedimentem v pobřežních oblastech – např. v souvislosti s mezinárodní úmluvou OSPAR byla vyvinuta řada národních limitů.

Z pohledu národní legislativy při nakládání s odtěženým sedimentem jsou určující následující zákonodárné předpisy:

- *Vyhláška o používání sedimentů na zemědělské půdě č. 257/2009 Sb. [10]*
- *Vyhláška o podrobnostech nakládání s odpady č. 273/2021 Sb., [11]*
- *Zákon č. 541/2020 Sb. Zákon o odpadech [12]*

Vyhláška o používání sedimentů na zemědělské půdě stanovuje podmínky a způsob používání sedimentů na zemědělské půdě, způsob vedení evidence o použití sedimentů, limitní hodnoty rizikových prvků a rizikových látek v sedimentu a v půdě, na kterou má být použit, požadavky na další fyzikálně-chemické a biologické vlastnosti sedimentu a postupy rozboru sedimentů a půdy, včetně metod odběru vzorků [10]. Odběry vzorků sedimentu se provádějí ze dna rybníků, vodních nádrží, vodních toků a meziskládek sedimentů podle určených norem nebo jiných ověřených a validovaných postupů. Odběry provádějí akreditovaná pracoviště nebo jiná

odborná pracoviště, která mají posouzený systém kvality zahrnující vzorkování podle určené české státní normy ČSN EN ISO/IEC 17025 [13].

Dále tato norma specifikuje akreditované laboratoře nebo jiná odborná pracoviště, které mají posouzený systém kvality a mohou tak provádět analytické rozbory sedimentů, případně půd pro hodnocení aplikovatelnosti sedimentu na zemědělský pozemek. Akreditované laboratoře stanoví koncentrace respektive množství cizorodých látek, těžkých kovů a dalších fyzikálně-chemické a biologické vlastnosti sedimentu.

Použití sedimentů z rybníků, vodních nádrží a vodních toků je na zemědělské půdě možné pouze tehdy, jedná-li se o ornou půdu nebo trvalý travní porost při jeho obnově, a to se souhlasem orgánu ochrany zemědělského půdního fondu a při dodržení podmínek a postupů stanovených zákonem o hnojivech [10].

Tab. 1 prezentuje limity množství rizikových prvků a cizorodých látek určující nakládání se sedimenty. Jako první varianta by vždy měla být uvažována aplikace sedimentu na zemědělský pozemek, tak aby byly plně využity obsažené živiny a organická hmota. Limit 1 (*tab. 1*) umožňuje přímou aplikaci na jakýkoliv zemědělský pozemek bez další laboratorních rozborů. V případě, že sediment vyhoví limitu 2, je zapotřebí odebrat vzorky půd ze zemědělského pozemku, kam mají být sedimenty aplikovány. Pro umožnění aplikace sedimentu na zemědělský pozemek musí vzorky půd splnit limit 1.

V případě, že analytické rozbory určí, že sediment není možné uložit na zemědělském pozemku, je posuzován jako odpad dle Zákona č. 541/2020 Sb. Zákon o odpadech. Jako odpad je možné sediment využít dvěma způsoby. Prvním z nich je využíváním sedimentu (odpadu) na povrchu terénu. Využití sedimentu na povrchu terénu je podmíněno splněním limitů koncentrací těžkých kovů a cizorodých látek stanovených Vyhláškou č. 273/2021 Sb (limit 3 v *tab. 1*). Pokud je detekováno překročení limitů nejvíce ve třech případech, je potřebné provést ekotoxikologické testy. V případě vyhovění limitům ekotoxikologických testů uvedených ve Vyhlášce č. 273/2021 Sb, je možné taktéž využít sedimentu na povrchu terénu. Aplikací sedimentu na povrchu terénu je možné při rekultivacích povrchu terénu, vyrovnávání terénních nerovností a jiné úpravy terénu, vytváření uzavíracích vrstev skládky, rekultivaci uzavřených skládek, rekultivaci odkališť, zavážení vytěžených lomů.

Pokud výše uvedené podmínky nejsou splněné, je nutné uložit vytěžený sediment na skládku jako odpad. O zpoplatnění uložení sedimentu na skládku rozhoduje provedení testů vyluhovatelnosti. Podmínky zpracování a limity příslušných tříd vyluhovatelnosti jsou uvedeny v příloze č. 10 k vyhlášce č. 273/2021 Sb. Pokud sediment odpovídá třídě vyluhovatelnosti I., je zpravidla uložení sedimentů bezplatné.

Tab. 1: Limity rizikových prvků a cizorodých látek dle platné národní legislativy [10, 11].

ukazatel	limit 1	limit 2	limit 3
	[mg/kg sušiny]		
As	20	30	30
Cd	0,5	1	2,5
Cr celk.	90	200	200
Hg	0,3	0,8	0,8
Ni	50	80	80
Pb	60	100	100
V	130	180	180
Cu	60	100	100
Zn	120	300	600
Co	30	30	30
Ba			600
Be	2	5	5
EOX			1
uhlovodíky C ₁₀ -C ₄₀		300	300
BTEX		0,4	0,4
PAU	1	6	6
PCB	0,02	0,2	0,2
DDT (včetně metabolitů)		0,1	

Limit 1 - Příloha č. 3 k vyhlášce č. 257/2009 Sb. Limit pro přímé uložení sedimentu na zemědělský pozemek.

Limit 2 - Příloha č. 1 k vyhlášce č. 257/2009 Sb. Limit pro uložení sedimentu na zemědělský pozemek za předpokladu, že zemědělský pozemek, kde bude sediment aplikován, vyhoví limitu 1.

Limit 3 - Příloha č. 5 k vyhlášce č. 273/2021 Sb. - Tabulka č. 5.4 - limit na obsah škodlivin v sedimentech využívaných na povrchu terénu.



nakládání se sedimenty z vodních toků a nádrží

odběr vzorku sedimentu provede akreditované pracoviště



příloha č. 3 vyhlášky č. 257/2009 Sb. - splňuje limity

ne

ano →

sediment může být aplikován na
ZPF*



příloha č. 1 vyhlášky č. 257/2009 Sb. - splňuje limity

ne

ano



nutnost nakládat se
sedimenty jako s
odpadem

analýza půdy zemědělského pozemku, na který má
být sediment aplikován - příloha č. 3 vyhlášky č.
257/2009 Sb. - splňuje limity

ano →

sediment může být aplikován na
tento zemědělský pozemek ZPF*



Vyhláška 273/2021 Sb. o podrobnostech
nakládání s odpady - příloha č. 5 - tab.č. 5.4 -
splňuje limity

ano →

využití sedimentu na
povrchu terénu

ne

ano



pokud limit nesplní 1 - 3 parametry provedou se **testy ekotoxicity** - příloha č. 5 vyhlášky
č. 273/2021 Sb. - tab. č. 5.3 - splňuje limity

ne



Vyhláška 273/2021 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady - **provedení testu
vyuhovatelnosti** - příloha č. 10, tab. č. 10.1 vyhlášky 273/2021 Sb. - splňuje limity třídy I.

ne

ano



uložení sedimentu na skládku

uložení sedimentu na skládku inertního
odpadu

**Při aplikaci sedimentu na zemědělský pozemek je zapotřebí dále postupovat podle „zákona č. 334/1992 Sb. Zákon České národní rady o ochraně zemědělského půdního fondu“ a „zákona č. 156/1998 Sb. Zákon o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech).*

Obr. 1: Schéma postupu nakládání se sedimenty z vodních toků a nádrží.

5. Monitoring sedimentů

5.1. Odběry vzorků sedimentů

Odběr vzorků sedimentů je plně specifikován v ČSN ISO 5667-12 Kvalita vod - Odběr vzorků - Část 12: Návod pro odběr vzorků dnových sedimentů z řek, jezer a z oblastí ústí řek.

K dispozici je rovněž standardní operační postup (SOP) na odběr pevných vzorků, který obsahuje zásady a pravidla pro přípravu a zpracování programu vzorkování/zkoušení, plánu vzorkování a to včetně volby vhodných postupů odběru vzorků pro širokou škálu možných vzorkovacích situací při vzorkování pevných vzorků. Uvedeny jsou dále pravidla pro následnou manipulaci se vzorky před laboratorními zkouškami.

Vzorkování dnových sedimentů se používá k popisnému mapování sedimentů, k monitorování časových změn fyzikálně-chemických, biologických a popisných vlastností sedimentů, k určení chemických a toxikologických vlastností sedimentů.

Výběr vzorkovacích zařízení vychází:

- z účelu vzorkování (čerstvý sediment, svrchní vrstva dnového sedimentu, horizontální profil, vertikální profil - historie kontaminace),
- typu analýzy,
- fyzikálně - chemických parametrů a heterogenity (zrnitost, stratifikace, pH, redoxní potenciály, kohezivita),
- dostupnosti odběrových míst (hloubka, šířka toku, rychlost proudění)
- množství odebraného vzorku.

5.2. Zařízení a pomocný materiál k odběrům vzorků

Technické vybavení vhodné pro odběr sedimentů je dáno způsobem odběru (tedy charakterem sedimentu) a požadavky laboratoře na objem a následné chemické analýzy.

Materiál vzorkovače nesmí ovlivnit fyzikálně-chemické parametry vzorku, ve speciálních případech ani vlastnosti mikrobiologické. Konstrukce vzorkovače musí být dostatečně robustní a spolehlivá, nenáročná na obsluhu

a údržbu. Doporučené vzorkovače v závislosti na specifikaci podmínek odebíraného sedimentu jsou uvedeny v *tab. 2*.

Tab. 2: Vhodné vzorkovače na různé druhy sedimentů.

druh sedimentu	vzorkovač
šterk	Drapakový, větší částice vyžadují těžší drapaky.
písek	Lze použít jak drapaky, tak jádrové vzorkovače. Písečné dno může být velmi tvrdé a obtížně těžitelné pro lehčí drapaky a manuálně obsluhované jádrové vzorkovače. Hmotnější drapaky a těžké mechanické jádrové vzorkovače se uplatní lépe.
jíl	Bývá nutné použít jádrový vzorkovač, protože drapakový systém často nedokáže snadno proniknout do jílu.
rašelina	Obtížné prostředí pro odběr vzorků, ale někdy je možné použít ručně ovládaný jádrový vzorkovač nebo speciální rašelinový vzorkovač.
zpevněný dnový sediment	Používají se drapaky nebo jádrové vzorkovače. Při použití drapaků nelze určit hloubku průniku pro vzorek.
nezpevněný dnový sediment	Drapaky se nehodí, neboť jsou náchylné pronikat mělkou vrstvou. Jádrové vzorkovače jsou lepší, ale použije-li se rám pro větší hloubku, je třeba zásadně bránit průniku rámu měkkou vrstvou.

5.2.1. Jádrové vzorkovače

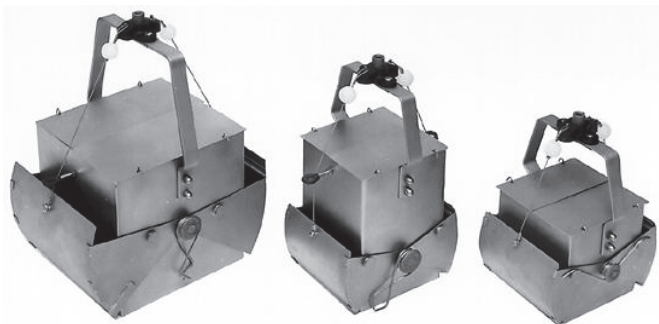
Trubice z vhodného materiálu (plast, nerezová ocel, sklo), které se mechanicky zarážejí do dna (manuálně, gravitačně, mechanizací, broděním, z lodě, potápěčským způsobem). Pro jednodušší zarážení a zmenšení zhuňování sedimentů jsou často opatřeny pístem, jehož protitah vytváří potřebný podtlak, viz *obr. 2*. Některé typy jsou dále vybaveny uzavíracím zařízením, které zabraňuje vypadávání a vymývání sedimentu z těla odběrové trubice při manipulaci nad sedimentem. Po vytažení vzorku umožňuje píst vzorkovače postupné vytlačování odebraného sedimentu a jeho oddělování podle potřebných horizontů. Tento typ se dá použít pouze pro jemnozrné homogenní sedimenty.



Obr. 2 - Jádrový vzorkovač.

5.2.2. Drapákové vzorkovače

Jsou kovové čelistové drapáky, které se manuálně na tyči zarazí do dna, nebo gravitačně spouští na laně v otevřené poloze na dno. Po zaboření do dna a spuštění uzavíracího mechanismu se čelisti sevřou, odebraný vzorek povrchu sedimentu je možno vytáhnout nad hladinu, rozevřít čelisti a vyjmout vzorek (obr. 3). Vzorkování se provádí ze člunu nebo z pracovní plošiny. Spuštění a vyzvedávání drapáku se provádí ručně nebo s použitím navijáku, podle velikosti a hmotnosti zařízení a odebraného vzorku. Nevýhodou těchto zařízení je odběr pouze povrchové vrstvy sedimentu, nebezpečí zablokování čelistí většími kameny nebo větvemi a vyplavení jemnozrnných frakcí.



Obr. 3 - Drapákové vzorkovače.

5.2.3. Edelmanův vrták a vrták Riverside

Vrtáky přitlakem zavrtáváme ve směru hodinových ručiček kolmo do vzorkovaného materiálu. Vzorkovaný materiál se zachytí na vrták a následně se vyjme nebo mírným poklepem přesype nebo stěrkou setře do vzorkovnice. Vrtáky jsou složeny z nadstavy a korunky propojené spojkou a jejich podoba je prezentována na *obr. 4*.



Obr. 4 - Edelmanův vrták.

5.2.4. Žlábkový vzorkovač

Vzorkovač se bočně zasune, případně zatlačí nebo zarazí mírným poklepem do vzorkovaného materiálu. Odebraný materiál se vysype nebo setře pomocí stěrky do vzorkovnice. Žlábkový vzorkovač (*obr. 5*) se využívá pro odběry z haldy (písek, popílek), odběry lehkých hlinito-písčitých půd ze stěn, odběry agresivních kalů, odběry vzorků v různých odvětvích průmyslu. Není vhodný pro odběr tvrdých a soudržných materiálů a pro vertikální odběry. Po použití se vzorkovač mechanicky očistí, případně omyje vodou a osuší.



Obr. 5 - Žlábkový vzorkovač nerez.

5.2.5. Trubice s pístem pro odběr pastovitých materiálů (sedimentů)

Uvedený vzorkovač se využívá pro odběry sedimentů do hloubky 1 m a umožňuje profilové analýzy. Trubice se po vytažení pístu do horní polohy zatlačí do sedimentů. Po vytažení vzorku se zatlačením na rukojeť pístu sediment vytlačí na podložku nebo do vzorkovnice. Postupně se dá oddělit vzorek z různých hloubek. Daný vzorkovač (*obr. 6*) se využívá nejčastěji na pastovité látky, sedimenty, kaly apod. Po odběru se sonda vyčistí vodou, v případě potřeby se před čištěním rozebere.



Obr. 6 - Trubice s pístem pro odběr sedimentů.

5.2.6. Rašelinová sonda

Rašelinová sonda (*obr. 7*) umožňuje odběr vzorků sedimentů pod vodní hladinou. Vyznačuje se větší mocností odebíraného materiálu ve srovnání s drapákovým vzorkovačem. V případě rašelinové sondy není možné odebrat neporušený vzorek, přičemž hrozí vyplavení jemných částic a částečné ztráty vzorku.



Obr. 7 - Rašelinová sonda.



5.2.7. Vzorkovnice

Typ vzorkovnice a množství vzorku je dáno požadavkem na velikost odebraného vzorku a rozsahem prováděných analýz. Použití vhodného typu vzorkovnice je popsáno v jednotlivých SOP pro dané zkoušky.

Typy vzorkovnic a zásady jejich použití:

- jednorázové (pevné) polyethylenové (PE) sáčky/pytle,
- PE vzorkovnice s víkem různých objemů (dle potřeby),
- skleněné vzorkovnice různých objemů (dle potřeby),
- plastové nádoby,
- sterilní PE sáčky nebo sterilní vzorkovnice pro mikrobiologické parametry,
- vialky s teflonovým těsněním pro stanovení těkavých organických látek (TOL).

Je třeba dát pozor na přetlak, ke kterému může docházet v důsledku tvorby plynů v sedimentech za vzniku výbušných směsí plynů. Pokud se použijí skleněné vzorkovnice, je nutné dbát na vznik tlaku plynu, aby nedošlo k explozi vzorkovnice.

5.2.8. Další pomocná zařízení a materiál:

- Odběrová nádoba (nerez/plast),
- náběrová lopatka (nerez/plast),
- náběrová lopata,
- nerezový rýč,
- nerezová/PE nádoba na teleskopické tyči,
- zařízení pro drcení vzorku,
- homogenizační nádoba,
- geologické kladívko/sekáček,
- síto, pásmo/metr, provázek, váhy.

5.3. Způsoby odběrů vzorků sedimentu

Odběr vzorků sedimentů se může provádět základními čtyřmi způsoby, a to z vyvezených hromad, ze dna vypuštěné nádrže, z plně vodní hladiny, z vodního toku [14].

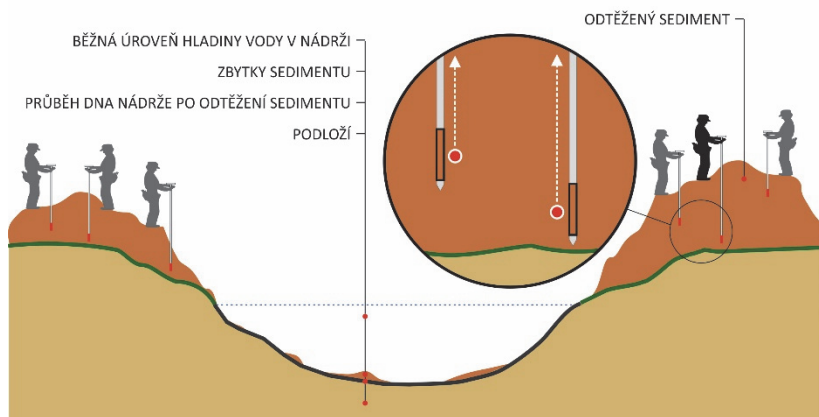
5.3.1. Odběr vzorků z vyvezených hromad

Odběr vzorků z vyvezených hromad se provádí mimo či uvnitř území řešené vodní nádrže, kdy je sediment shromážděn v místě dočasných deponií (mezideponií). Odběry vzorků sedimentů z vyvezených hromad představují nejjednodušší způsob odběru vzorku sedimentů. Způsob odběru z vyvezených hromad a prezentace mezideponií uvádí *obr. 8 resp. 9*.

Způsob odběru: Žadoucí je odebírat směsný vzorek, který vznikne smísením dílčích vzorků. Odběr vzorků z vyvezených hromad umožňuje variantní způsoby rozmístění odběrových míst. Místa pro odběr dílčích vzorků ze vzorkovaného celku se zvolí tak, aby vzorky reprezentovaly celou hromadu tvořící vzorkovaný celek.

Technické vybavení: Pro odběr vzorků sedimentů z vyvezených hromad lze přednostně použít žlábkový jednodílný vrták, Edelmanův vrták, nebo nerezový rýč či lopatku. Doprovodně je příhodné disponovat výbavou v podobě plastové, popřípadě nerezové nádoby/vzorkovnice.

Hloubka odběru: Dílčí vzorky pro vytvoření směsného vzorku se odebírají z celé hloubky vyvezené hromady sedimentu, tj. v celém profilu od nejsvrchnějších vrstev po nejhlubší (nejvýše však do výšky hromady).



Obr. 8 – Schematizace odběru vzorků sedimentů z vytěžených hromad.



Obr. 9 – Hromady sedimentů – mezideponie.

Výhody:

- jednoduchá manipulovatelnost v případě odběrů vzorků,
- možnost odběrů vzorků za různých klimatických podmínek (děšť, sníh),
- snížené požadavky na doprovodné vybavení (loď, sofistikované vzorkovnice, atd.)

Nevýhody:

- ztráta plošné informace o rozmístění sedimentu ve vodní nádrži (odběrných míst ve vodní nádrži),
- ztráta informace o mocnosti sedimentu ve vodní nádrži (v místě odběru),
- ztráta informace o profilaci /struktúře/ sedimentu ve vodní nádrži.

Jedná se o v terénu a praxi ověřený způsob odběru vzorků sedimentů. V důsledku snížených požadavků na doprovodné vybavení či stálost klimatických podmínek se jedná o nejjednodušší způsob odběru vzorku sedimentů, který může být prováděn pouze jednou osobou. Zvolený způsob odběru vzorků však neumožňuje podchytit doprovodné informace o sedimentu a navazující variabilitu vlastností sedimentu.

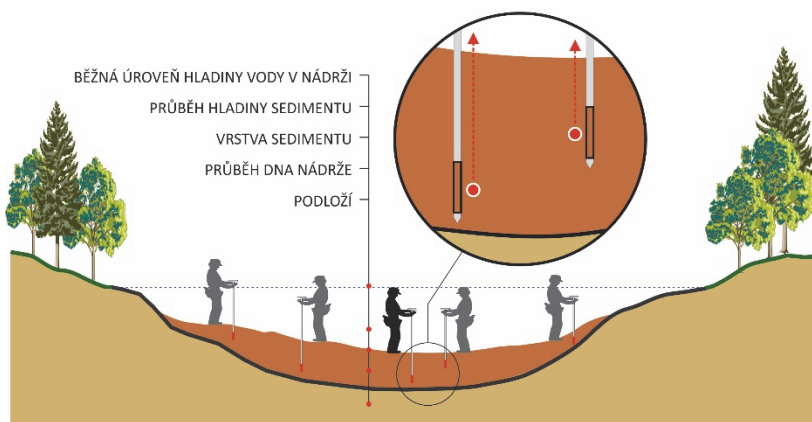
5.3.2. Odběr vzorků ze dna vypuštěné nádrže

Odběr vzorků ze dna vypuštěné vodní nádrže (*obr. 10, 11*) představuje v praxi nejvíce volenou metodu odběru vzorku sedimentu. Pokud bude odběr prováděn ze dna vypuštěné nádrže, je z důvodu bezpečnosti nutná přítomnost nejméně jedné další osoby.

Způsob odběru: Žádoucí je odebrání směsného vzorku, který vznikne smísením nejméně dílčích vzorků. Při odběru z malých rybníků (do 2 ha) je příhodné body odběru dílčích vzorků rovnoměrně rozmístit po celé ploše nádrže tak, aby postihly co nejširší variabilitu vlastností sedimentu. Středně velké rybníky do 10 ha se převážně vzorkují tak, že 2/3 dílčích vzorků se odeberou v místě výtoku a zbytek po obvodu rybníka. Velké rybníky a nádrže nad 10 ha se vzorkují na více místech podle místních podmínek. Přesná lokalizace bodů odběru je před vlastním odběrem prověřena v terénu.

Technické vybavení: Pro odběr vzorků sedimentů lze přednostně použít žlábkový jednodílný vrták, Edelmanův vrták, nebo nerezový rýč či lopatku, dále plastová, popřípadě nerezová nádoba.

Hloubka odběru: Dílčí vzorky se odebírají v celé hloubce sedimentů, aby byla zachycena variabilita vlastností sedimentu.



Obr. 10 - Schematizace odběru vzorků sedimentů ze dna vypuštěné nádrže.



Obr. 11 – Praktická ukázka odběru vzorků sedimentů ze dna vypuštěné nádrže.

Výhody:

- získání informace o horizontálním a vertikálním uložení sedimentů,
- možná polohová lokalizace dílčích vzorků ve vodní nádrži,
- cílený odběr vzorků v jednotlivých částech vodní nádrže (litorál, sedimentační část, erozní zóna).

Nevýhody:

- pomalá a obtížná manipulace při odběru vzorků (při velké mocnosti sedimentu),
- v případě neúnosného (zvodnělého) sedimentu není možné kampaň provádět.

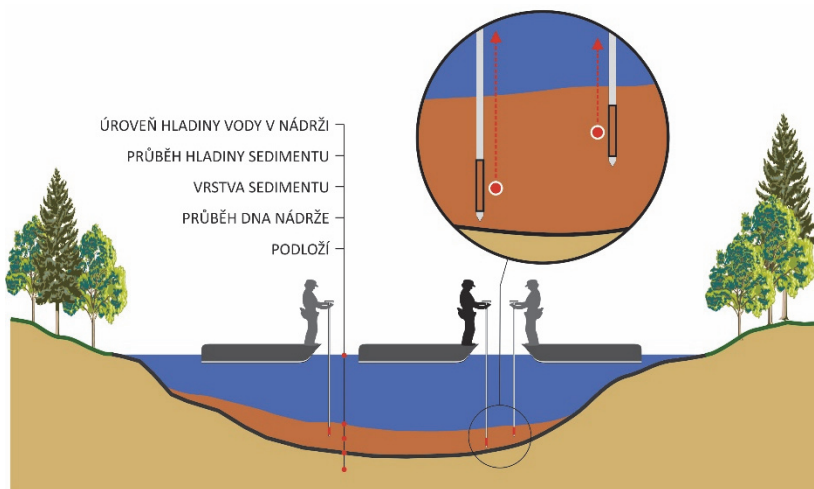
Pro danou metodu odběru vzorků sedimentů je žádoucí z důvodu bezpečnosti přítomnost nejméně jedné další osoby. V případě dobře únosného sedimentu se jedná o praktickou metodu odběru, která umožňuje prostorově cílený monitoring, prostřednictvím kterého lze získat i doprovodné informace o charakteru sedimentu. Výhodou je rovněž nižší požadavek na technické vybavení (není nutná loď, atd.).

5.3.3. Odběr vzorků z plné vodní hladiny

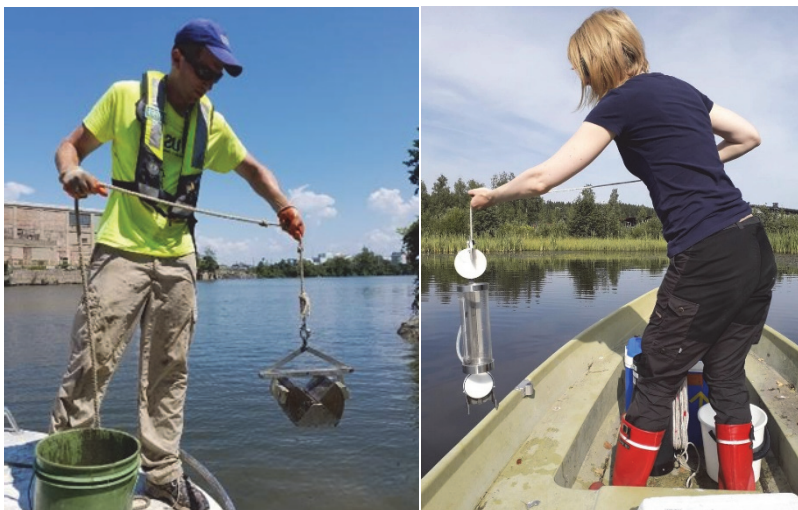
Daný způsob odběru vzorků umožňuje zmapování sedimentu v nádrži z hlediska horizontálního i vertikálního uložení. Odběr je možné provádět z lodě či člunu, přičemž jej mohou provádět pouze proškolení pracovníci a z důvodu bezpečnosti je nutná přítomnost nejméně jedné další osoby.

Způsob odběru: Odebírá se směsný vzorek (viz předešlé způsoby). Body odběru dílčích vzorků jsou rovnoměrně rozmístěny po celé ploše nádrže a mají tak postihnout co nejširší variabilitu vlastností sedimentu, a to oblastí obvodu, středu nádrže, jakož i u vtoku, kde je předpoklad malé mocnosti vrstvy sedimentu, tak i u výtoku z vodní nádrže, kde bude vrstva sedimentů dosahovat nejvyšší mocnosti. Při popisu horizontálního uložení sedimentů je možné rozlišovat litorální část dna, sedimentární část dna, která zpravidla v různě širokém pásu doprovází spojnici vtok - výpusť, a erozní zóna, jejíž vznik je ovlivněn celou řadou faktorů. Vzorky se neodebírají náhodně, ale v transektech probíhajících napříč vodní nádrží.

Technické vybavení: K odběru lze použít pístové, komorové vzorkovače, nebo různé typy drapáků.



Obr. 12 - Schematizace odběru vzorků sedimentů z plné vodní hladiny.



Obr. 13 - Praktická ukázka odběru vzorků sedimentů z plné vodní hladiny.

Výhody:

- dostupnost na libovolné místo vodní nádrže,
- možnost odběrové kampaně při plném napuštění vodní nádrže,
- cílená lokalizace odběrného místa pro dílčí vzorky,
- možnost odběrů vzorků za různých klimatických podmínek (déšť, sníh).

Nevýhody:

- vyšší požadavek na technické vybavení (člun či loď),
- přítomnost další obsluhující osoby z důvodu bezpečnosti,
- absence informace o konkrétním charakteru sedimentu a dalších atributech pro cílenou lokalizaci míst odběrů dílčích vzorků.

Metoda odběru vzorků sedimentů, která umožňuje provádění odběrů za plné vodní hladiny. Limitujícími prvky předmětné metody jsou vyšší požadavky na technické vybavení (člun či loď), potažmo nutná přítomnost další obsluhující osoby z důvodu bezpečnosti. S ohledem na zajištění dostupnosti na libovolné místo v nádrži umožňuje zmapování sedimentu v nádrži z hlediska horizontálního i vertikálního uložení.

5.3.4. Odběr vzorků z vodního toku

V případě odběru vzorku z vodního toku, je z důvodu bezpečnosti nutná přítomnost nejméně jedné další odpovědné osoby. Přednostně je vhodné odběry vzorků na vodních tocích provádět v suchších obdobích, tj. v době nízkých průtoků ve vodních tocích.

Způsob odběru: Odebírá se směsný vzorek, který vznikne smísením nejméně dílčích vzorků. Body odběru dílčích vzorků jsou rovnoměrně rozmístěny po celé zájmové délce vodního toku, popřípadě jsou umístěny v akumulaci zóně sedimentu nejčastěji podél konkávního úseku toku (břehu) a mají tak postihnout co nejširší variabilitu vlastností sedimentu vodního toku. Přesná lokalizace bodů odběru je před vlastním odběrem prověřena v terénu.

Vzorky je vhodné odebírat v příčných profilech vodního toku, ve směru proti proudu. Na každých 1 000 m nad délku toku 2 000 m se odebírá jeden směsný vzorek, viz *tab. 3*. Každý směsný vzorek je tvořen z minimálně tří individuálních vzorků z jednoho profilu. Jeden směsný vzorek má mít hmotnost cca 1 kg v sušině, což odpovídá asi 3-5 kg vlhkého vzorku.

Tab. 3: Doporučené počty směsných vzorků podle délky průzkumu vodního toku.

Délka průzkumu toku (m)	do 500	500 - 1 000	1 000 - 2 000
Počty směsných vzorků	1	1 - 2	2 - 3

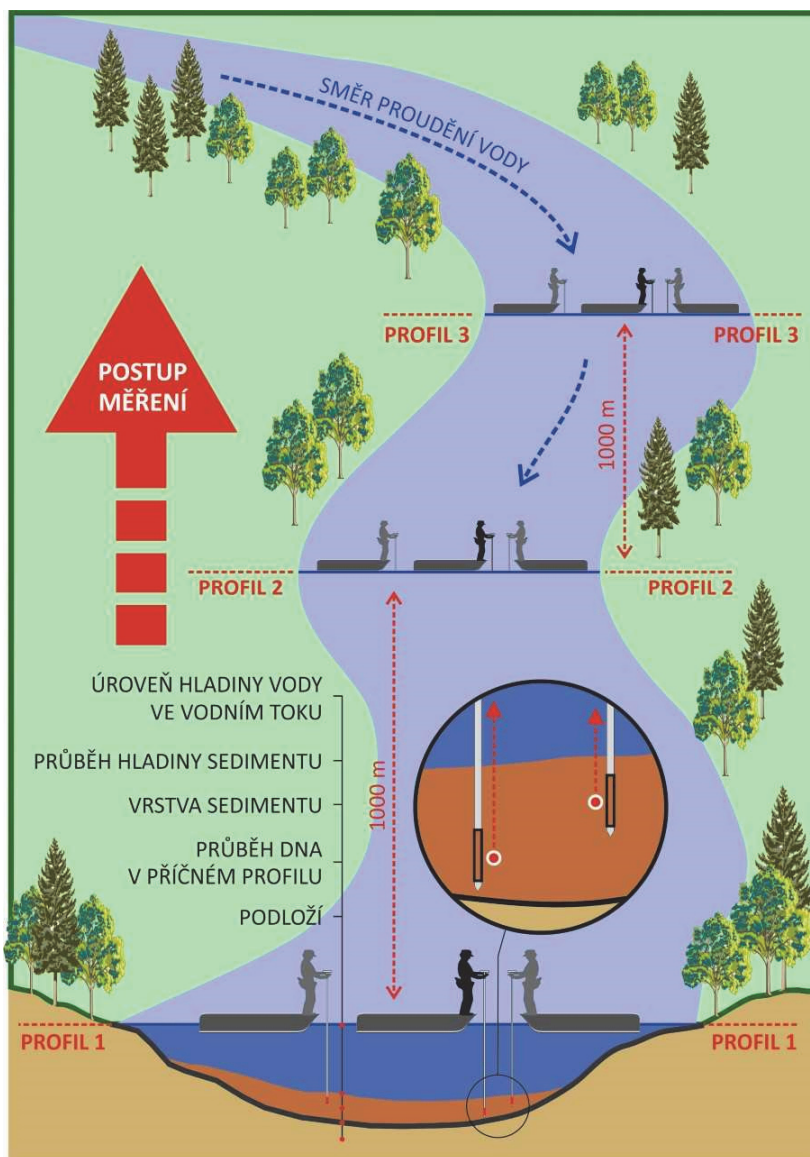
varianta 1 – odběr je prováděn z člunu či lodě (*obr. 14*)

- odběr je vázán především na vodní toky s velkými průtoky a hloubkami, kde není možný pěší pohyb přímo v korytě vodního toku

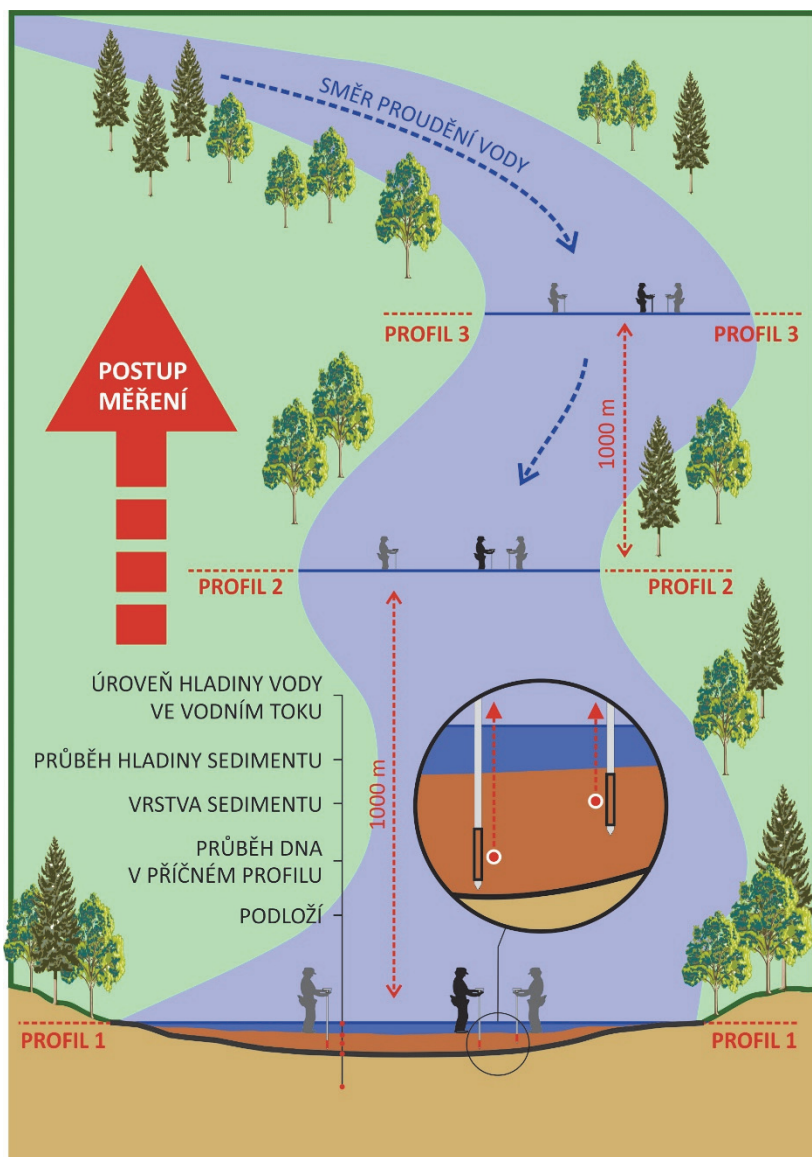
varianta 2 – odběr je prováděn z vodního toku (bez lodě či člunu - *obr. 15*)

- odběr je vázán především na vodní toky s malými průtoky a hloubkami, kde je zajištěn pěší pohyb přímo v korytě vodního toku

Technické vybavení: K odběru lze použít pístové, komorové vzorkovače, nebo různé typy drapáků, při nízké hladině i zlábkový jednodílný vrták, Edelmanův vrták, nebo nerezový rýč či lopatku. Ke sbírání vzorku se používá plastová, popřípadě nerezová nádoba.



Obr. 14 – Schematizace odběru vzorků sedimentů z vodního toku (z lodě či člunu).



Obr. 15 – Schematizace odběru vzorků sedimentů z vodního toku (bez lodě či člunu).



Obr. 16 – Vodní tok pro odběr vzorků sedimentu bez využití lodě či člunu.

Výhody:

- princip sběru dat umožňuje odběr v libovolném místě vodního toku,
- u vodních toků s malými průtoky / hloubkami je možné odběry provádět bez nutnosti technického vybavení v podobě člunu či lodi.

Nevýhody:

- zvýšené požadavky na technické vybavení odběru vzorku (v případě odběrů vzorků z lodi či člunu),
- přítomnost další obsluhující osoby z důvodu bezpečnosti,
- komplikovaná manipulace při odběru vzorků sedimentů z maximálních hloubek (v případě vodních toků s většími průtoky/hloubkami).

Metody odběru vzorků sedimentů na vodních tocích se vyznačují specifiky, která je nutné plně respektovat. Určujícím atributem pro volbu konkrétní varianty odběru vzorků je průtočnost a hloubka vodního toku (varianta s/bez člunu). V rámci kampaně je nutná přítomnost další obsluhující osoby z důvodu bezpečnosti. Dílčí principy sběru dat umožňují odběry vzorků v libovolném místě vodního toku.

5.4. Monitoring množství sedimentů

Informační a komunikační technologie jsou v současné době jedním z rozhodujících faktorů ovlivňujících ekonomický a společenský vývoj. Obdobný vývoj a trendy ve vazbě na informační a komunikační technologie lze zaznamenat i v oboru vodního hospodářství [15].

Za posledních 50 let se techniky mapování dna pod vodní hladinou a samotná kvantifikace množství sedimentů ve vodních nádržích změnily tak, aby se plně využil potenciál „nových“ akustických a vizuálních technologií, stejně jako zlepšený výkon počítačové techniky. Přibližně od roku 1990, tedy doby nástupu geografických informačních systémů (GIS) a GPS, se výrazně zlepšila přesnost technik pro mapování batymetrií. S rostoucími výkony počítačů a úložišť dat se dále zvyšuje rychlost shromažďování dat, což umožňuje sběr většího množství detailů. S využitím nejnovějších technologií se měření batymetrie stává uživatelsky přístupnější, kdy se k pořízeným datům automaticky přiřazují souřadnice X, Y, H [16].

Zásadními dokumenty vodních děl jsou Manipulační (MŘ) a Provozní řád, ve kterých jsou uvedeny základní informace o hladinách, možných manipulacích, technických parametrech objektů, a v případě nejčastěji zastoupené kategorii malá a nejmenší vodní díla i projektová dokumentace. V případě rekonstrukcí (hráze, bezpečnostního přelivu) se pak tyto informace aktualizují a přílohou MŘ může být zaměření hráze a objektů, situace zátopy, podélné a příčné řezy zátopou, podélný profil hráze, fotodokumentace aj. Každý manipulační řád by měl dle Vyhlášky č. 216/2011 Sb. obsahovat výkresovou část projektové dokumentace vodního díla v rozsahu potřebném pro manipulaci s vodní hladinou.

Pro výběr vhodné metody sběru dat jsou určující specifické podmínky (parametry) konkrétní vodní plochy, která má být hodnocena z pohledu množství sedimentů ve vodní nádrži. Mezi základní proměnné patří:

- existence projektové dokumentace resp. znalost informace o původním zaměření dna vodní nádrže,
- velikost vodní nádrže - velké, středně velké, malé, nejmenší,
- hloubka a režim vodní nádrže (napuštěná / vypuštěná).

Pro zjištění množství sedimentů ve vodních nádržích s dochovanou projektovou dokumentací se nejčastěji (zejména u největších a velkých děl)

využívají distanční metody založené na principu zvukového paprsku – echosounderu. Výsledky takového měření poskytují batymetrické mapy, které jsou následně porovnávány s původním zaměřením dna vodní nádrže. Rozdíl takového porovnání je potom výsledné množství/mocnost dnových sedimentů uložených ve vodní nádrži.

Velké a středně velké nádrže zpravidla mají dochovanou projektovou dokumentaci – zaměření původního stavu. V takovém případě se při zaměřování mocnosti sedimentu postupuje identicky jako u největších vodních děl. V případě, že zaměření původního stavu chybí, je nutné provést zaměření mocnosti sedimentu „suchou“ cestou při vypuštění objemu vody ve vodní nádrži. Takové zaměření se provádí za pomoci GNSS a sondážní tyče. Po dokončení měření se získaná data převedou do digitální podoby a za pomoci interpolačních technik jsou generovány digitální modely reliéfu (DEM). V rámci daného měření vzniká DEM současného a původního stavu dna vodní nádrže, které se podobně jako u největších vodních děl porovnávají a je stanoveno množství sedimentu.

V případě dostupnosti zaměření původního stavu dna nejmenších a malých vodních nádrží se nejčastěji používá pozemní lidar, polární metoda, GNSS a GNSS-RTK. Možné je taktéž využít sonaru upevněného na malém plavidle [17, 18]. Avšak u nejmenších a malých vodních děl je nedostupnost zaměření původního stavu vodního díla velmi častý stav. V takovém případě bylo doposud nutné využít pozemní zaměření v podobě polární metody, GNSS a GNSS-RTK v kombinaci se sondážní tyčí/hloubkoměrnou latí. Novou metodou zaměřování sedimentů pro danou skupinu vodních děl je ověřená měřicí aparatura pro kvantifikaci množství sedimentů, která lze zařadit do skupiny distančních metod do hloubky 3 m [19].

Pro malá a nejmenší vodní díla bez výpustného zařízení či s potřebou zachování stávající provozní hladiny vody je jedinou variantou zaměření mocnosti sedimentů metoda sběru dat, kdy je možné zaměřit, jak úroveň dna, tak i úroveň sedimentu v konkrétním bodě.

V tab. 4 jsou uvedeny doporučené metody stanovení množství sedimentu ve vodní nádrži v závislosti na zařazení vodních děl do výše popsaných skupin.

Tab. 4. Doporučené metody pro kvantifikaci množství sedimentu dle charakteru vodního díla.

charakter vodní nádrže	distanční metody			metody do hloubky 3 m		pozemní metody	
	letecký LIDAR	sonar	georadar	polární metoda, GNSS a GNSS-RTK	měřicí aparatura pro kvantifikaci množství sedimentů	pozemní Lidar	polární metoda, GNSS a GNSS-RTK + sondážní tyč (hloukoměrná)
největší vodní díla s dochovanou projektovou dokumentací bez režimu vypouštění		X					
velká a středně velká díla s dochovanou projektovou dokumentací s režimem vypouštěním	X	X	X			X	
velká a středně velká díla s nedochovanou projektovou dokumentací s režimem vypouštěním							X
malá a nejmenší vodní díla s dochovanou projektovou dokumentací		X		X		X	
malá a nejmenší vodní díla s nedochovanou projektovou dokumentací					X		X
malá a nejmenší vodní díla bez výpustného zařízení či s potřebou zachování stávající hladiny					X		

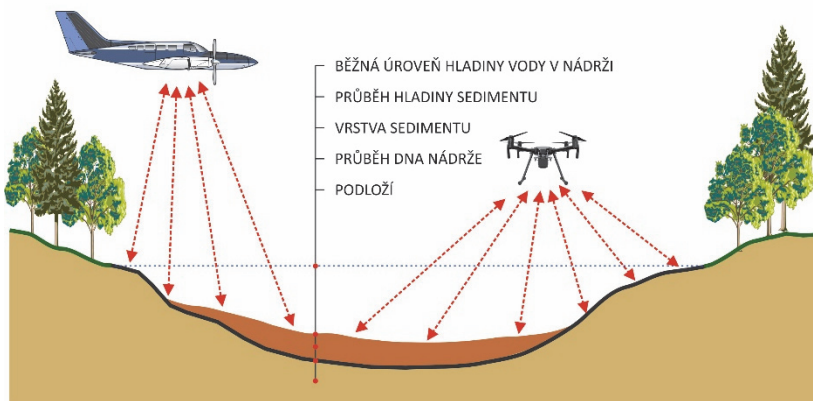
5.4.1. Letecké měřické snímkování a letecké laserové skenování

V principu obě metody měření umožňují rychlý a bezkontaktní sběr velkého množství geodetických dat prostřednictvím leteckých nosičů (*obr. 17*), kdy hlavním výstupem je digitální model terénu daného území – v případě dané metodiky povrchu dna vypuštěné vodní nádrže.

Rozdílné jsou pouze způsoby sběru a zpracování prvotních dat – při leteckém laserovém skenování (LLS) je měřeno velké množství bodů XYZ (H) přímým odrazem od zemského povrchu pomocí LIDARu. Při leteckém měřickém snímkování (LMS) se provádí snímkování prostřednictvím leteckých kamer a následným zpracováním snímků postupy digitální fotogrammetrie, z nichž se následně (polo)automatickými metodami 3D vyhodnocením odvozeně vypočtou data XYZ (H) zemského povrchu.

Měřické systémy se skládají z:

- leteckého nosiče (případně bezpilotní UAV) – specializovaně upravený letoun se zabudovaným otvorem pro instalaci kamery/skeneru (*obr. 18*),
- systému letecké měřické kamery / laserového skeneru,
- inerciální IMU jednotky a gyrostabilizace,
- dalšího záznamového a navigačního softwarového (SW) a hardwarového (HW) zařízení.



Obr. 17 – Schématické znázornění principu měření LMS / LLS.



Obr. 18 – Speciálně upravený letoun pro provádění LMS a LLS.

Výhody:

- velice rychlý sběr velkého množství přesných dat s velkým záběrem území,
- možnost sběru i jiného typu dat a následné zpracování dalších odvozených výstupů, především ortofotomapy (vč. výstupů z jiných spektrálních pásem), 3D data a analýzy povrchu.

Nevýhody:

- dražší vstupní náklady (tj. horší ekonomika metody) při snímkování menších lokalit,
- nutnost vhodných meteorologických podmínek případně možné administrativní omezení vzletů,
- nutnost přípravy plánování před letem a stabilizace vřícovacích a kontrolních bodů (při LMS/LLS o vyšších přesnostech),
- zpracování specializovaným SW.

Uplatnitelnost prezentované metody (časová / ekonomická) je vázána na sběr velkého množství přesných dat. Jedná se o již v praxi výrazně ověřené metody vhodné pro sběr dat na velkých i středních nádržích (případně většího množství i menších nádrží ve stejných lokalitách). Výhodou metody je sběr doprovodných datových sad.

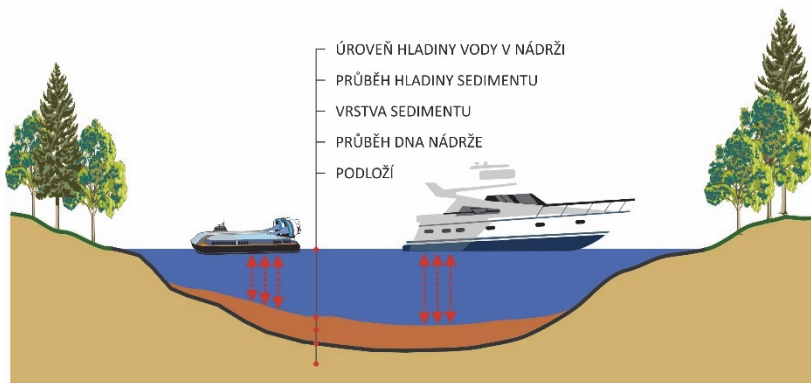
5.4.2. Sonarové zaměření

Sonar (z anglického SOund Navigation And Ranging – zvuková navigace a zaměřování) je zařízení na principu radaru, které místo rádiových vln používá zvukové vlny. Princip technologie spočívá v měření odrazu vysílaných pulzů zvukových vln procházejících vodou, a to směrem dolů (obr. 19). Tím je možné zaměřit hloubku od vodní hladiny ke dnu a ve spojení se současným měřením GNSS (RTK) na lodi tak určovat v reálném čase 3D XYZ(H) souřadnice. Dle nastavení sonaru a pohybu lodi na hladině lze měřit i vysokou hustotu bodů vodního dna.

V dnešní době již existují také tzv. hydro-drony, což jsou miniaturizované dálkově ovládané sonary umístěné spolu s GNSS na mobilním plováku.

Měřicí aparatura zahrnuje následující součásti:

- aparatura sonaru s příslušenstvím,
- držák sonaru,
- měřicí zařízení GNSS propojené se sonarem,
- člun (případně s motorem pro pohon),
- další záznamové a navigační SW a HW zařízení.



Obr. 19 – Schématické znázornění principu měření sonarem



Obr. 20 – Měřická sonarová sestava připravena na sběr dat.

Výhody:

- současné sonary mají velký dosah a měří hloubky do desítek metrů,
- za standardních podmínek (funkčnost GNSS) a člunu osazeném motorem lze celou akci provádět 1 měřičem,
- měření lze provádět operativně a cíleně, tj. lze si vybrat pouze jednu dílčí oblast na sběr dat,
- v propojení s měřením GNSS jsou výstupem přímo měřené body.

Nevýhody:

- menší přesnost určení hloubky v řádu cm,
- časově náročnější metoda u středně velkých a velkých rybníků, anebo při potřebě větší hustoty zaměřené sítě bodů a pokrytí dna,
- špatně použitelná metoda u hloubek vody v nádržích (<1 m).

Prověřená univerzální metoda pro různě velké typy vodních nádrží. Výhodou je její operativnost při použití, obsluha a rychlý sběr výstupních dat bez nutnosti dalších výpočtů. Významný je rovněž velký dosah, resp. možnost měření do hloubek desítek metrů. Určitým limitem je časově náročnější metoda u středně velkých a velkých rybníků.

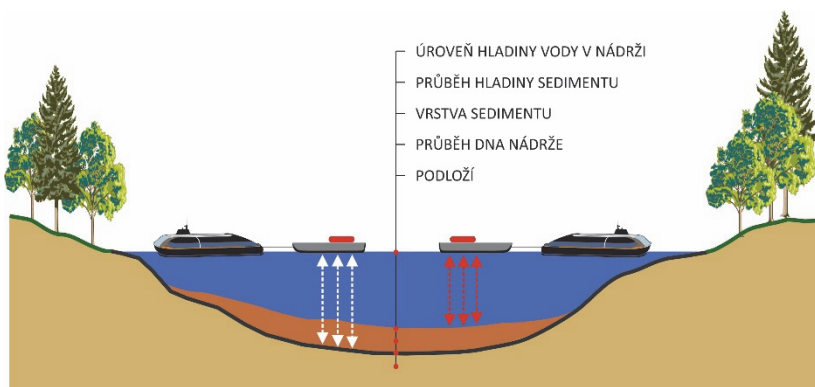
5.4.3. Zaměření georadarem

Metoda anglicky nazývaná GPR (ground penetrating radar) je v principu založena na odražení elektromagnetických vln (v intenzitě desítek až stovek MHz) od hranic prostředí s různými elektrickými vlastnostmi a to zejména vodivostí a propustností. Zaměřuje terén pomocí radaru v různém frekvenčním rozsahu a získanými změnami fyzikálních vlastností zaměřovaného terénu je možné identifikovat změny rozhraní měřených povrchů na základě změny odrazu, a současně i jejich uspořádání v hlubších podzemních strukturách.

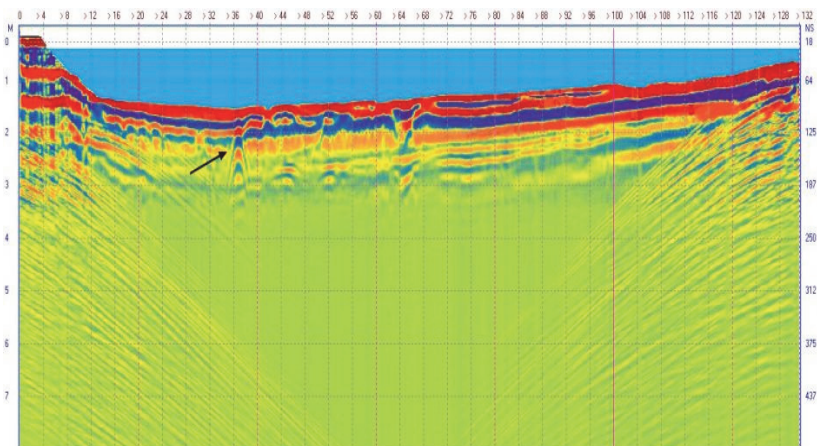
Metodu primárně používanou pro pozemní účely (průzkumy železobetonových konstrukcí, vyhledávání podzemních sítí, lokalizace dutin např. v tunelech, archeologické průzkumy, identifikace staveb zemědělského plošného odvodnění, atd.) lze používat i z plavidla pro proměřování vrstev sedimentů vodních nádrží, viz *obr. 21*.

Měřicí aparatura zahrnuje následující součásti:

- georadar s příslušenstvím (řídící jednotka a antény),
- měřicí zařízení GNSS propojené s georadarem,
- ovládací PC,
- člun (případně s motorem pro pohon),
- případně vozík s většími koly (převoz aparatury / člunu).



Obr. 21 – Schématické znázornění principu měření georadarem.



Obr. 22 – Znázornění výstupu při aplikaci principu měření georadarem.

Výhody:

- přímé měření mocnosti sedimentů v rámci jedné měřické kampaně,
- možnost určení rozhraní až několika různých vrstev sedimentů,
- možná aplikovatelnost na napuštěné i vypuštěné vodní nádrži,
- přímé propojení s GNSS zařízením.

Nevýhody:

- vyšší pořizovací náklady zařízení,
- malá rychlost sběru dat,
- nejistota, resp. nepřesnost v zaměření a identifikace terénu/rozhraní pod povrchem země/dna,
- nutnost kalibračních měření pro různé vrstvy a materiály,
- konečná data jsou výsledkem postprocessingu ve specializovaných SW pro zpracování a interpretaci dat získaných georadarem.

Relativně nová a inovativní metoda, která je (v oborech geodetických měření a sběru dat) dosud primárně užívána zejména pro vyhledávání podzemních vedení. V oboru vodního hospodářství, resp. měření a kvantifikace množství sedimentů má ale také již své uplatnění a v případě snížení pořizovací ceny zařízení se předpokládá výrazně vyšší uplatnění v projednávané problematice.

5.4.4. Geodetická měření polární metoda, GNSS-RTK

napuštěný rybník

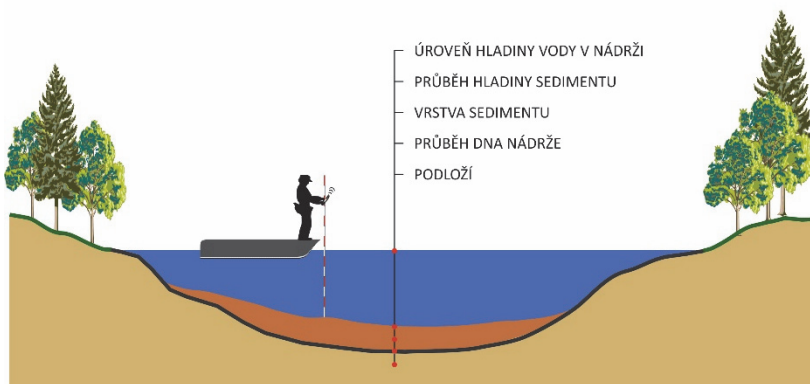
System měření GNSS-RTK patří v dnešní době k nejrozšířenějším zeměměřickým metodám. Umožňuje (kdekoli s dostatečným pokrytím družicovým signálem) určit s vysokou přesností (2-3 cm) a v reálném čase souřadnice XYZ(H) aktuální pozice měřicí aparatury (*obr. 23*).

Geodetická polární metoda pak využívá nejčastěji tzv. totální stanice (přístroj pro přesné měření horizontálních a vertikálních úhlu a délek k odrazovému zrcátku na výtyčce), který sám zaznamenává naměřené hodnoty a určuje přesné souřadnice nových bodů obsluhy s výtyčkou.

Díky tomu lze zaměřovat hloubky sedimentu nádrží, zaměřením nadmořské výšky na vrcholu sediment a po zaboření trasovací tyče i jeho mocnost (trasovací tyč umožňuje správně odečíst její nastavitelnou délku).

Měřicí aparatura zahrnuje následující součásti:

- aparatura GNSS nebo totální stanice s příslušenstvím,
- výtyčka – pro upínání GNSS přijímače nebo odrazové zrcátko,
- člun nebo loď (alternativně s pohonem),
- vybavení měřiče pro měření ve vodě,
- stativ.



Obr. 23 – Schématické znázornění principu měření geodetickou polární metodou



Obr. 24 – Měření geodetickou polární metodou – napuštěný rybník.

Výhody:

- klasická geodetická metoda, efektivní pro cílený sběr přesných dat XYZ(H),
- v případě připojení na RTK velice efektivní metoda pro měření polohy i výšky v reálném čase, zejm. na menších nádržích,
- operativnost měření a obsluha 1 měřičem (tzv. "one-man"),
- možnost měření i za méně příznivých podmínek.

Nevýhody:

- nutnost přístupu a prostupnosti terénu k dané vodní nádrži,
- při nespojitému území dna nutnost zaměřit větší množství bodů,
- v případě špatného pokrytí (zejm. na okraji rybníků) či výpadků družicového signálu je snížena efektivita a prodlužuje se doba měření.

Praxí ověřená zeměměřická metoda sběru přesných a garantovaných dat vhodná pro měření na menších nádržích. Limítem je relativní časová náročnost sběru dat a nutnost pokrytí družicového signálu. Výhodou je možnost zaznamenávat naměřené hodnoty pro rostlý terén i horní úroveň sedimentu současně, tj. přímo kvantifikovat mocnost sedimentu.

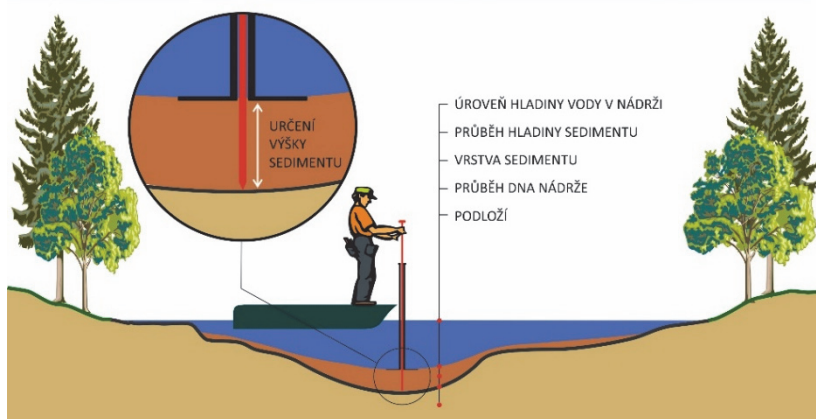
5.4.5. Měřicí aparatura pro kvantifikaci množství sedimentu

Základním principem měřicí aparatury pro kvantifikaci množství sedimentů je přesné polohopisné a výškopisné zaměření současné úrovně dna (svrchní vrstvy sedimentu) a původního dna (rostlého terénu) vodní nádrže (obr. 25) [18]. Pomocí polohopisného a výškopisného zaměření jsou získány sítě měřených bodů, reprezentující úroveň současného dna i rostlého terénu, tj. původního dna.

Po aplikaci interpolačních metod je možné exportovat batymetrické mapy současného a původního stavu nádrže. Pokud následně získané batymetrické mapy odečteme (současný stav – původní stav) získáme mapu mocnosti sedimentu v nádrži. Po aplikaci dalších výpočtů je možné zjistit celkové množství sedimentu v nádrži, průměrnou mocnost sedimentu v ploše, maximální mocnost sedimentu v nádrži a navazující.

Měřicí aparatura zahrnuje následující součásti:

- výtyčka s příslušenstvím,
- tubus pro vedení výtyčky,
- perforovaný disk,
- polohovatelný držák tubusu,
- plavidlo a GNSS.



Obr. 25 – Schématické znázornění měřicí aparatury.



Obr. 26 – Měření aparaturou pro kvantifikaci množství sedimentu.

Výhody:

- možnost výškopisného zaměření kóty současného i původního dna vodní nádrže při jediném měření,
- zaměřování z plavidla při plném napuštění vodní nádrže,
- přesnost zaměřování s využitím metody GNSS-RTK,
- možnost přímé kvantifikace množství sedimentů (není nutné zajištění informace o výškopisném zaměření původního dna vodní nádrže).

Nevýhody:

- časová náročnost sběru dat (cca 30 bodů za hodinu),
- pomalá a obtížná manipulace při zaměřování maximálních hloubek (okolo 3 m) + potřeba alespoň 2 osob,
- hmotnost aparatury při celodenní manipulaci,
- odhad kóty rostlého terénu.

V terénu a praxi ověřený způsob sběru dat nabízí efektivní způsob pro kvantifikaci množství a rozložení sedimentu v malé vodní nádrži. Uvedená metoda nabízí variantní přístup pro hodnocení malých a nejmenších vodních nádrží do hloubek 3 m, pro které není dochována projektová dokumentace a zároveň je možné zachování provozní hladiny ve vodní nádrži (vodní nádrže s napjatou hydrologickou bilancí).

5.4.6. Pozemní laserové skenování

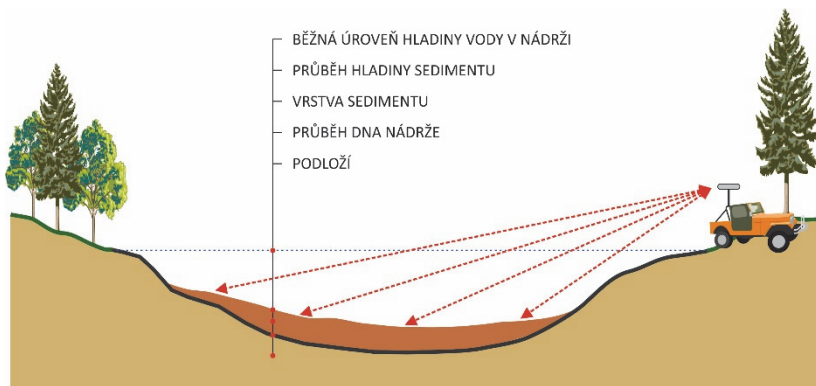
Pozemní laserové skenování (také 3D skener) je v principu obdoba metody leteckého Lidar (tj. zaměření mráčna bodů, složené ze souřadnic zaměřených bodů) s tím, že měřická aparatura je instalována na standardních geodetických stavech případně na specializovaných úchytech nebo zdvihových zařízeních na vozidlech.

V současnosti se v geodetické praxi používají pozemní laserové skenery schopné na vzdálenost několika set metrů zaměřit se sub-centimetrovou přesností pevný viditelný terén, navíc ve velmi vysoké hustotě bodů.

Metoda je tak vysoce efektivní pro přímé měření při vypuštění vodní hladině, vč. velké plochy až do řádu desítek ha, kdy umožňuje kompletní a přesné pokrytí složitého i nespojitého území (typicky dno rybníka) s minimální ztrátou informace při jeho interpretaci a následných výpočtech.

Měřicí aparatura zahrnuje následující součásti:

- aparatura pozemního skeneru propojená s GNSS,
- upínací systém nebo zdvihací hydraulické zařízení pro umístění aparatury do vyšší polohy,
- automobil,
- stativ,
- ovládací PC (případně tablet).



Obr. 27 – Schématické znázornění principu pozemního laserového skenování



Obr. 28 – Pozemní laserové skenování vypuštěného rybníka.

Výhody:

- rychlý sběr velkého množství přesných a detailních dat,
- operativnost a flexibilita měření a jednodušší obsluha jedním člověkem,
- možnost měření i za méně příznivých podmínek typu déšť nebo sníh,
- možné přímé propojení s GNSS (zrychlení následného zpracování dat).

Nevýhody:

- nutnost přístupu a prostupnosti terénu k dané vodní nádrži a viditelnost a přehlednost území,
- při rovinatém území a nízkém břehu je – kvůli malému úhlu sklonu měřické aparatury - nutná instalace aparatury do větší výšky (zdvihací zařízení, střechy vozidla atp.),
- potřeba znalosti specializovaných postupů a SW při zpracování (čištění) dat mračen bodů.

Metoda vhodná pro efektivní a rychlý sběr velkého množství přesných dat. Jedná se o metodu, která je v praxi ověřená a standardizovaná. Její využití je možné i v případě sběru dat na středních i na velkých (v řádu desítek ha) vodních nádržích. Optimální a velice přesná metoda pro měření nespojitých ploch a interpretaci terénu pro další výpočty.

5.4.7. Geodetická měření polární metoda, GNSS-RTK

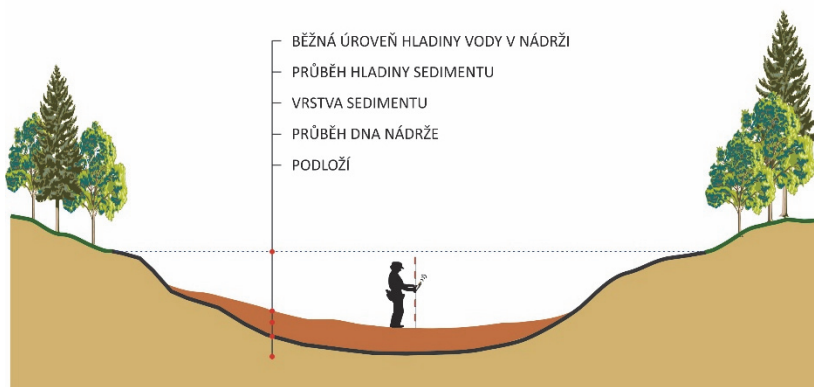
vypuštěný rybník

Metody GNSS patří v dnešní době k nejrozšířenějším zeměměřickým metodám. Umožňují (kdekoliv s dostatečným pokrytím družicovým signálem) určit s vysokou přesností (2-3 cm) a v reálném čase souřadnice XYZ aktuální pozice měřicí aparatury. Geodetická polární metoda pak využívá nejčastěji tzv. totální stanice (přístroj pro přesné měření horizontálních a vertikálních úhlů a délek k odrazovému zrcátku na výtyčce), který sám zaznamenává naměřené hodnoty a určuje přesné souřadnice nových bodů měřiče s výtyčkou (*viz napuštěný rybník*).

Podmínkou pro aplikaci dané metody je adekvátní únosnost sedimentu, resp. možnost pohybu ve vypuštěné vodní nádrži (měřič se pohybuje přímo po ploše vypuštěného rybníka). Výhodou je možnost zaměření dvou úrovní nadmořské výšky: vrchol sedimentu a rostlý terén (po zaboření trasovací tyče), tj. uvedená metoda umožňuje rovněž přímé stanovení mocnosti sedimentu ve vodní nádrži.

Měřicí aparatura zahrnuje následující součásti:

- aparatura GNSS nebo totální stanice s příslušenstvím,
- výtyčka – pro upínání GNSS přijímače nebo odrazové zrcátko,
- vybavení měřiče pro měření na dně vypuštěného rybníka,
- stativ.



Obr. 29 – Schématické znázornění principu měření geodetickou polární metodou.



Obr. 30 – Plocha vypuštěného rybníka pro možné zaměření mocnosti sedimentu polární metodou.

Výhody:

- klasická metoda, efektivní pro cílený sběr přesných dat XYZ(H),
- v případě připojení na RTK velice efektivní metoda pro měření polohy i výšky v reálném čase, zejm. na menších nádržích,
- operativnost měření a obsluha 1 měřičem (a to i v případě polární metody měření aparaturou při tzv. "one-man" módu),
- možnost měření i za méně příznivých podmínek.

Nevýhody:

- nutnost přístupu a prostupnosti terénu k dané vodní nádrži,
- při nespojitému území dna nutnost zaměřit větší množství bodů,
- v případě špatného pokrytí nebo výpadků družicového signálu je rapidně snížena efektivita a prodlužuje se doba měření,
- ztížená možnost pohybu na vypuštěném dnu (zvodnělý sediment).

Praxí ověřená zeměměřická metoda sběru přesných a garantovaných dat vhodná pro měření na menších nádržích. Limitem je relativní časová náročnost sběru dat a nutnost pokrytí družicového signálu. Tento limit je v případě daného principu umocněn omezenými možnostmi pohybu měřiče po vypuštěném dně (zvodnění či velká mocnost sedimentu).

6. Monitoring půd

6.1. Odběry vzorků půd

Základní principy vzorkování jsou uvedeny v řadě norem a metodických pokynů. V nejobecnější poloze např. v normě ČSN EN ISO 10012 Systémy managementu měření – požadavky na procesy měření a měřící vybavení [20]. Konkrétněji ke vzorkování půd (zvláště k účelu hodnocení kontaminace půd) jsou zpracovávány zmíněné normy ISO a některé metodické pokyny Ministerstva životního prostředí.

Pro potřeby hodnocení zemědělských pozemků z pohledu možné aplikovatelnosti sedimentů na tyto pozemky je možné metodicky vycházet z vyhlášky Ministerstva zemědělství č. 275/1998 Sb., o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků.

Odběr vzorků zemědělských půd se odebírá sondovací tyčí, nejméně 30 vpichy rozmístěnými rovnoměrně po ploše pozemku se stejnou plodinou a jednotným hnojením [21]. Alternativně je možné využití rýče či lopatky (*viz vzorkovací zařízení*).

Plocha a hloubka pro odběr jednoho vzorku je v průměru:

a) u orné půdy se odběr vzorku provádí vždy na hloubku ornice, nehlouběji však do hloubky 30 cm,

b) u trvalých travních porostů se odběr vzorku provádí do hloubky 15 cm s tím, že drnová vrstva půdy se z použité sondovací tyče odstraňuje,
(*další druhy pozemků nejsou pro aplikaci sedimentů sledovány*).

Obecné metodické přístupy ke vzorkování půd jsou postupně zpracovávány v rámci činnosti Mezinárodní normotvorné organizace ISO (International Standard Organization) a její technické komise ISO TC 190 Soil Quality.

Význam fáze vzorkování v celém procesu hodnocení lokality (území, objektu) spočívá v její potenciálně mimořádně vysoké míře ovlivnění konečného výsledku hodnocení. Reprodukovatelnost konečného výsledku musí být proto zajišťována dodržováním principů řízení jakosti v průběhu celého procesu. Při běžných průzkumech často není doceněn význam přípravných prací a odběru vzorků.



FÁZE	PODÍL NA VARIABILITĚ CELKOVÉHO VÝSLEDKU
↓ PŘÍPRAVA PROJEKTU SESTAVENÍ PLÁNU ODBĚRU VZORKŮ	92 %
↓ VZORKOVÁNÍ, PŘEPRAVA A SKLADOVÁNÍ VZORKU	
↓ PŘÍPRAVA VZORKŮ K ANALÝZE	7 %
↓ ANALÝZY VZORKŮ	1 %
↓ VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ (STATISTICKÉ)	

Obr. 31 - Podíl fáze vzorkování na celkové variabilitě výsledku [22].

Z hlediska sledovaných vlastností půd se provádí:

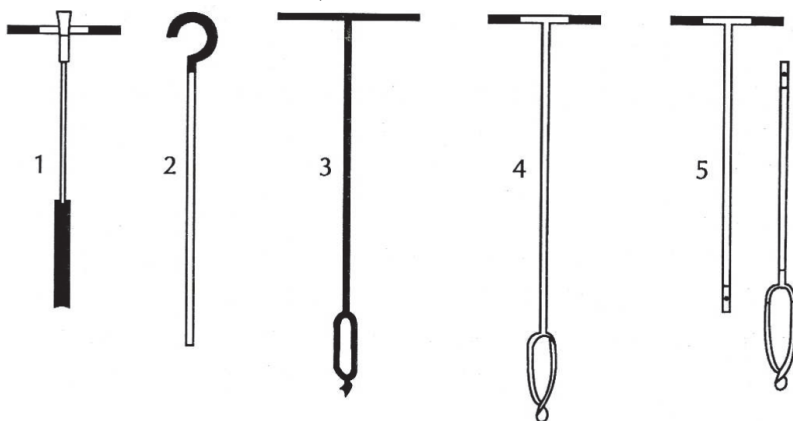
- 1) Vzorkování pro stanovení chemických vlastností půd.
- 2) Vzorkování pro stanovení fyzikálních vlastností půd.
- 3) Vzorkování pro stanovení biologických vlastností půd, včetně provádění ekotoxikologických testů.
- 4) Vzorkování ostatních materiálů (matric) v souvislosti s průzkumem půd (půdní vzduch, půdní roztok).

Pro potřeby hodnocení zemědělských pozemků z pohledu možné aplikovatelnosti sedimentů se provádí stanovení **chemických** vlastností půd a stanovení **fyzikálních** vlastností půd dle [10].

6.2. Vzorkovací zařízení a způsob jeho použití

Volba techniky vzorkování se řídí podle povahy substrátu, hloubky vzorkování, potřebného množství vzorku v závislosti na prováděných analýzách.

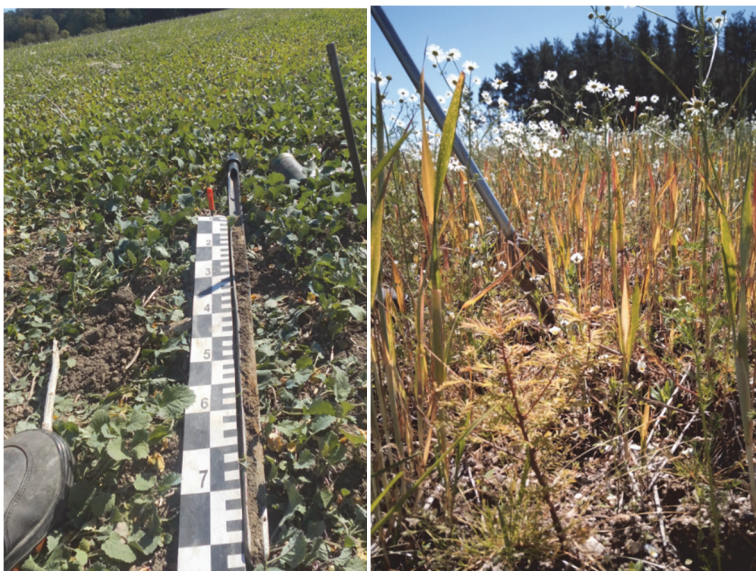
Základní typy pro manuální nebo mechanizované odběry vzorků jsou žlábkové sondýrky, spirálové vrtáky typ Edelman, žlábkový vrták, šroubové vrtáky a pouzdrové sondýrky, je však možno použít běžného náradí, jako špachtle, lopatky, rýče, pokud jsou z nerezové oceli a bez nátěru (viz vzorkovací zařízení sedimentů).



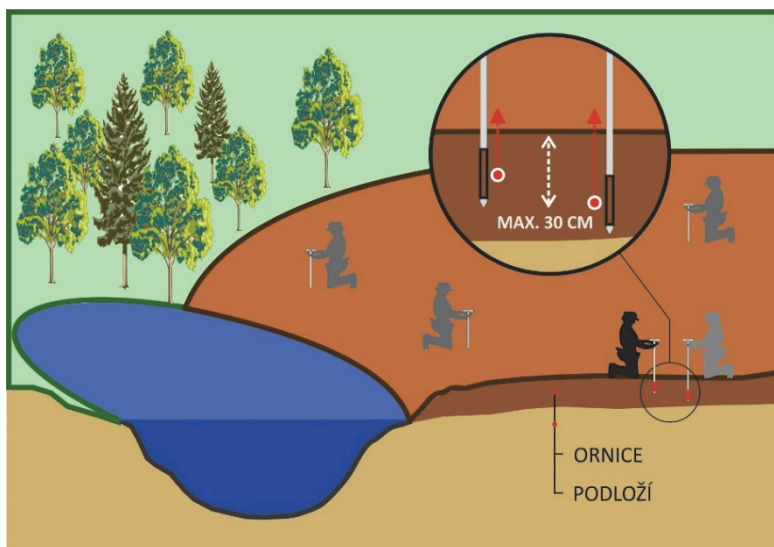
Obr. 32 - Různé formy půdních vrtáků: zatlukací sondovací tyč (1), sondovací tyč (2), Francouzský typ vrtáku (3), Holandský typ - Edelman (4), skládací Edelman.

Použité přístrojové vybavení ke vzorkování nesmí způsobit kontaminaci vzorků. Důsledně je třeba zamezit tzv. cross contamination, tj. náhodným nežádoucím znečištěním vzorku. To může být způsobeno:

- přenosem materiálu zachyceného na vzorkovacím zařízení mezi jednotlivými odběry,
- náhodnou příměsí materiálu ve vzorku z okolí – zejména při odběru vzorků z hlubších horizontů,
- přenos látek ze vzorkovacího zařízení na vzorek (mazadla, barviva, u motorového vzorkování též pohonné hmoty, výfukové plyny),
- kontaminace větrem nebo vodou přenášenými částicemi.



Obr. 33 (vlevo) – Odběr vzorků a hodnocení půdního profilu, Obr. 34 (vpravo) Edelmanův vrták před odběrem vzorků.



Obr. 35 – Schéma odběrů půdních vzorků pro potřeby agrochemického zkoušení zemědělských půd a hodnocení možnosti aplikovatelnosti sedimentů.

7. Monitoring jakosti vod

Monitorování jakosti povrchových a podzemních vod je nejdůležitějším nástrojem k získání informací potřebných k hodnocení stavu a vývoje hydrosféry a ochrany zdrojů pitné vody.

Kvalitně nastavený monitoring stavu povrchových a podzemních vod je rozhodující nejen pro hodnocení jakosti vod, ale také pro identifikaci zdroje znečištění.

Přestože je možné zaznamenat aktivity směřované k dosažení dobrého ekologického a chemického stavu v jednotlivých vodních útvech, není tohoto cíle v mnoha případech doposud dosaženo. Neustále se potýkáme s problémem eutrofizace ve stojatých i tekoucích vodách. Je pravděpodobné, že účinky eutrofizace vzhledem k měnícím se klimatickým podmínkám (zvyšování teploty povrchových vod) budou nadále intenzivnější.

Největší podíl na znečištění vod je tradičně přičítán bodovým zdrojům znečištění. V nedávné době však došlo k zastavení nebo omezení některých velkých průmyslových výrobních zařízení, které znamenalo významné snížení znečištění vypouštěného z bodových zdrojů. Např. mimořádně rychlé snížení znečištění ropnými látkami jde na vrub omezení provozů, které v 80. letech měly výjimky z dodržování parametrů tehdejšího zákona o vodách. Rovněž významně se na zlepšení jakosti vod podílely samotné modernizace průmyslových výrobních zařízení, novelizace související legislativy (zákon o vodách, zákon o vodovodech a kanalizacích) či přijetí legislativních požadavků souvisejících se vstupem ČR do Evropské unie.

S úbytkem znečištění z bodových zdrojů se do popředí zájmu dostávají také zdroje plošné. Plošné znečištění v našich podmínkách pochází zejména ze zemědělské činnosti. Do vodních recipientů se může dostávat cestou povrchového odtoku (produkty eroze, partikulární fosfor, pesticidy) i odtoku podpovrchového (převážně dusík, pesticidní látky a rozpuštěné formy fosforu). Právě díky zlepšeným možnostem monitoringu (kontinuální monitoring, automatické vzorkovače, on-line přenos dat) byla rozpoznána důležitost plošných podpovrchových zdrojů znečištění pro celkovou jakost povrchových vod. Podpovrchový odtok je v podmínkách České republiky představován především odtokem drenážním, jehož vstup do recipientu probíhá prostřednictvím drenážních výustí.

Přestože v mnoha sledovaných ukazatelích došlo ke snížení imisních limitů, v souvislosti s produkcí stále širší škály škodlivých látek je třeba jakosti vod trvale věnovat značnou pozornost.

Rizikové látky, které se dostávají do vodního prostředí, negativně ovlivňují vodní ekosystémy i zdraví člověka. Ve většině případů jde o syntetické organické látky různorodého původu. Je zřejmé, že kvalita povrchových vod se od počátku devadesátých let zásadně zlepšila. Přesto se ve vybraných vodních tocích vyskytují znečišťující látky v nebezpečných koncentracích. Zjištěné koncentrace řadí tyto vodní toky do páté třídy, tedy nehorší třídy jakosti vod dle ČSN 757221.

Stále máme na našem území nespočet obcí, které nemají svou čistírnu odpadních vod a vypouštějí znečištěné vody přímo do vodních toků či jsou odpadní vody do vodních toků svedeny prostřednictvím příkopů, dešťové kanalizace či přes malé vodní nádrže.

Ustavičně se potýkáme s problémem eutrofizace ve stojatých i tekoucích vodách. Nelze tedy úspěchy z minulých období přeceňovat a je stále potřeba pokračovat v úsilí za zvyšování kvality našich vodních zdrojů.

Na základě zjištěných výsledků a jejich vyhodnocení jsou v případě potřeby navrhována opatření s cílem dosáhnout dobrého stavu vod, popř. dobrého ekologického potenciálu.

V dalším kroku slouží monitoring jako kontrola účinnosti provedených opatření. Většina vod je monitorována v souladu se Směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES ustavující rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky (dále jen Rámcová směrnice). V případě povrchových vod se sleduje chemický stav (tzv. prioritní látky) a stav ekologický (biologické složky, hydromorfologie a některé fyzikálně chemické a chemické parametry).

8. Demonstrační projekty hodnocení kvality sedimentů

Účinky aplikace sedimentu na zemědělské pozemky se zabývá také studie [23], v níž po aplikaci vytěženého sedimentu došlo ke zvýšenému, a v druhém případě k nezměněnému, výnosu pěstované plodiny (salát, resp. rajčata), ale také ke zlepšení půdních vlastností (retence vody, výměna kationtů). Na druhou stranu se ve studii zvýšil obsah těžkých kovů v půdě. V obdobné studii z Floridy se k pozitivním efektům aplikace sedimentu na zemědělskou půdu přidalo také snížené zhutnění půdy [24]. Studie [25], která se zabývá možnostmi rehabilitace degradované půdy v severní Etiopii, zjistila následující výsledky: vyšší výměnu kationtů, vyšší obsah organického uhlíku, výměnných bází, dusíku, fosforu a mikroživin kromě Cu.

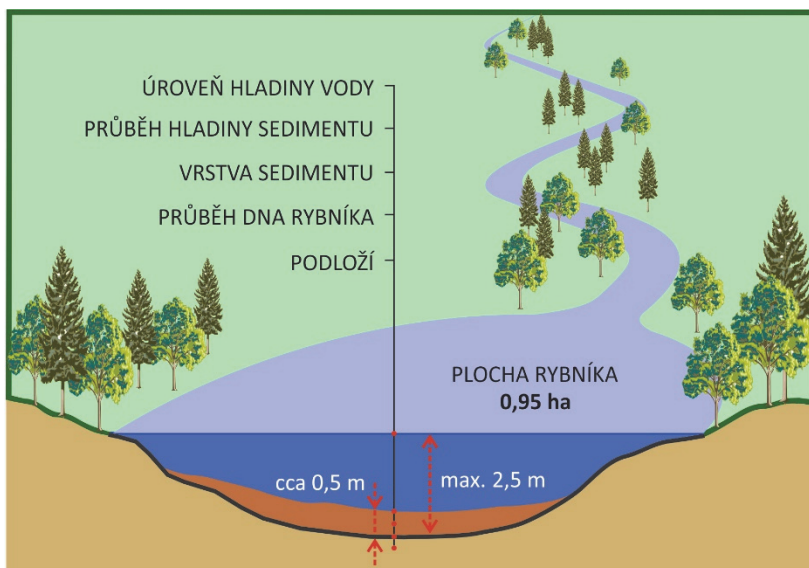
Možností, která by se v případě vysoké míry znečištění sedimentu nabízel, je polutanty včetně těžkých kovů ještě před zemědělským využitím odstranit. To v současnosti není pravidlem; většina znečištěných vytěžených sedimentů v Evropě končí na skládkách [26]. Důvodem toho jsou vysoké náklady spojené s využíváním chemických a fyzikálních metod a dlouhá doba, po kterou je třeba aplikovat metody biologické. Konvenční metody remediací sedimentů znečištěných těžkými kovy můžeme rozlišit na metody *in situ* a *ex situ*; metody *ex situ* vyžadují kombinaci chemického, fyzikálního i biologického čištění a nesou tak s sebou vysoké náklady. Metody *in situ* jsou naproti tomu relativně nízkonákladové, obsah těžkých kovů v sedimentu ale *de facto* nesnižují, neboť jejich účelem je zejména snížení mobility těžkých kovů [27]. Ze všech uvedených metod je za velmi slibnou [26], a navíc ekologicky šetrnou [27] považována metoda fyto-remediací, a to zejména v kombinaci s dalšími technologiemi, které by měly potenciál jinak zdlouhavý biologický proces urychlit.

V rámci této kapitoly budou prezentovány tři scénáře – doporučené metody monitoringu množství sedimentu v závislosti na základních vstupních informacích (velikost rybníka, maximální hloubka rybníka, předpokládaná mocnost sedimentu, dostupnost projektové dokumentace, stav hladiny vody) a možné výsledky nakládání se sedimenty v závislosti na výsledcích smyšlených analytických rozborů.

8.1. Modelový rybník A

Specifikace pilotního rybníka A (viz obr. 36)

- plocha rybníka = 0,95 ha
- maximální hloubka rybníka = 2,5 m
- předpokládaná mocnost sedimentu σ = cca 50 cm
- projektová dokumentace = nedochovaná
- stav rybníka = napuštěný



Obr. 36 – Schéma modelového rybníka A.

Postup hodnocení množství sedimentů

Ve vazbě na definované parametry rybníka (velikost, hloubka, předpokládaná mocnost sedimentu), získané informace o **nedochování** projektové dokumentace (resp. absenci výškopisného zaměření původního dna rybníka) a požadavku na zachování napuštěného stavu rybníka (rybník s napjatou hydrologickou bilancí) se jako nejvhodnější metoda nabízí **měřicí aparatura pro kvantifikaci množství sedimentů**.

Postup odběru vzorků sedimentu

Pro modelový rybník A je nutné vzhledem k napuštěné hladině zvolit metodu **odběru vzorků z plné vodní hladiny**. Odběry tedy proběhly tzv. „mokrou cestou“ z plavidla a pro samotné odběry vzorků sedimentů bylo možné využít **jádrové či drapákové vzorkovače**.

Postup hodnocení kvality půdy a sedimentů

Pro vyhodnocení možnosti nakládání se sedimentem je nutné postupovat podle platné národní legislativy, viz *kap. 4*. Analytickými rozbory byly určeny koncentrace rizikových prvků a cizorodých látek obsažených v sedimentech. Následně byly výsledné hodnoty porovnávány s limity možného nakládání se sedimenty uvedenými v *tab. 1*. V případě modelového rybníka A vyhověly koncentrace rizikových prvků a cizorodých látek **limitu 1** (Příloha č. 3 k vyhlášce č. 257/2009 Sb.) a při dodržení dalších ustanovení uvedených v paragrafu 3 vyhlášky č. 257/2009 Sb. je možná aplikace na **jakoukoli ornou půdu** bez dalších analýz.

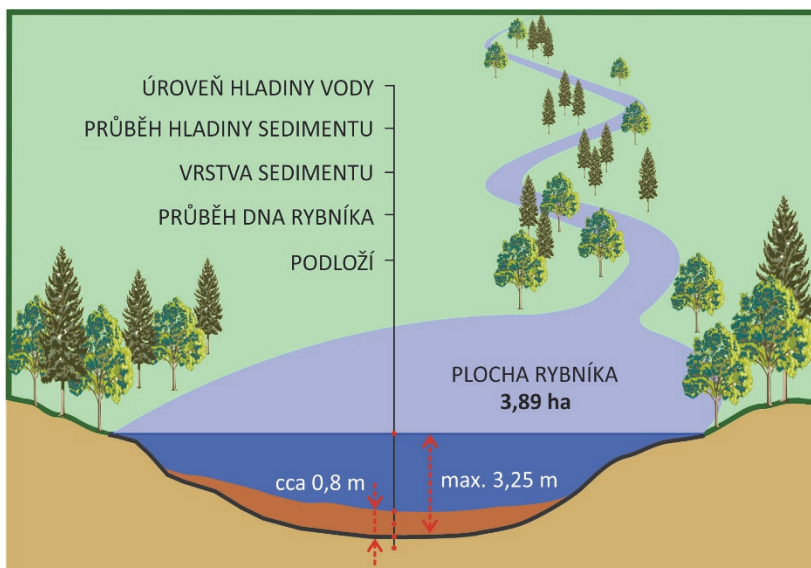


Obr. 37 – Celkové schéma hodnocení rybníka A.

8.2. Modelový Rybník B

Specifikace pilotního rybníka B (viz obr. 38)

- plocha rybníka = 3,89 ha
- maximální hloubka rybníka = 3,25 m
- předpokládaná mocnost sedimentu σ = cca 80 cm
- projektová dokumentace = dochovaná
- stav rybníka = napuštěný



Obr. 38 – Schéma pilotního rybníku B.

Postup hodnocení množství sedimentů

Ve vazbě na definované parametry rybníka (velikost, hloubka, předpokládaná mocnost sedimentu), získané informace o **dochování** projektové dokumentace (resp. je zajištěné výškopisné zaměření původního dna rybníka, kdy tak není nutné provádět souběžné získání daných informací) a požadavek na zachování stavu hladiny je nejvhodnější metodou pro stanovení mocnosti sedimentu **sonarové zaměření**.

Postup odběru vzorků sedimentu

Pro modelový rybník B je nutné vzhledem k požadavku na ponechání napuštěného stavu rybníka provést **odběr vzorků z plné vodní hladiny**. Vzorkování tedy proběhne tzv. „mokrou cestou“ z plavidla a pro samotné odběry vzorků sedimentů je možné využít **jádrové či drapákové vzorkovače**.

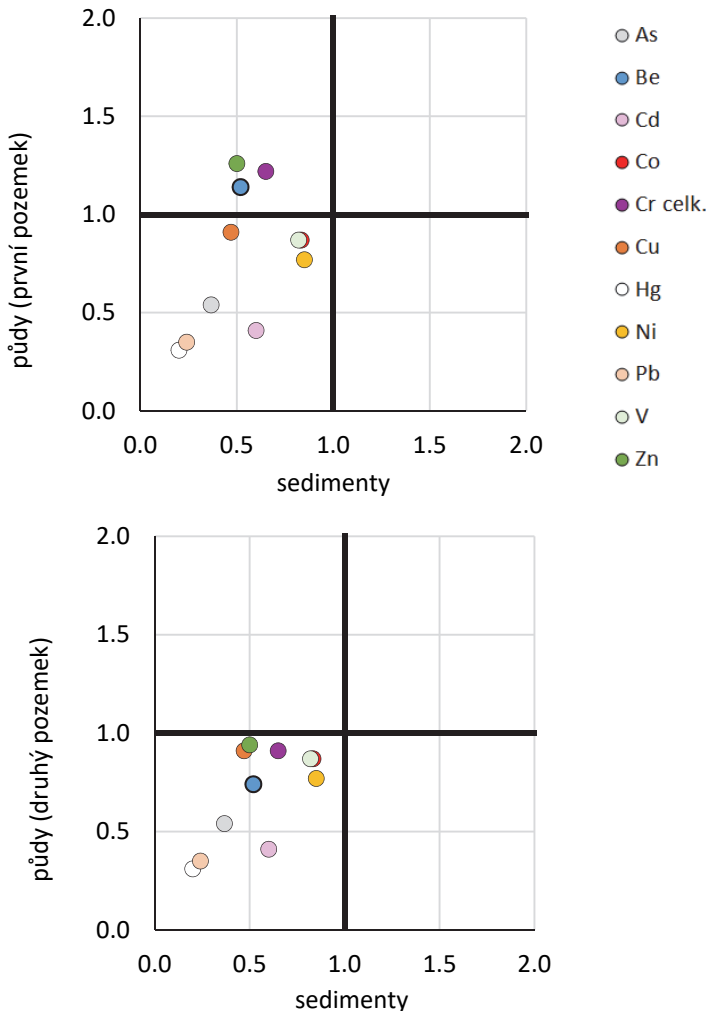
Postup hodnocení kvality půdy a sedimentů

Pro vyhodnocení možností nakládání se sedimentem je nutné postupovat podle platné národní legislativy, viz *kap. 4*. Analytickými rozbory jsou určeny koncentrace rizikových prvků a cizorodých látek obsažených v sedimentech. Následně jsou výsledky analýz vyhodnoceny dle limitů možného nakládání se sedimenty uvedenými v *tab. 1*. V případě modelového rybníka B nevyhovují koncentrace rizikových prvků a cizorodých látek limitu 1 (Příloha č. 3 k vyhlášce č. 257/2009 Sb.) avšak **splňují** limit 2 (Příloha č. 1 k vyhlášce č. 257/2009 Sb.). Pro možné využití na ZPF bylo nutné provést analytické rozbory půdních vzorků odebraných z pozemků, kde bylo plánováno sediment aplikovat. Kvalita půd v případě prvního zamýšleného pozemku nevyhověla limitu 1 (Příloha č. 3 k vyhlášce č. 257/2009 Sb.) a musel být postup opakován na jiné lokalitě. Zde již podmínky z pohledu analytických rozborů byly splněny a při dodržení dalších ustanovení uvedených v paragrafu 3 vyhlášky č. 257/2009 Sb. je možná aplikace **na konkrétní zemědělský pozemek**.

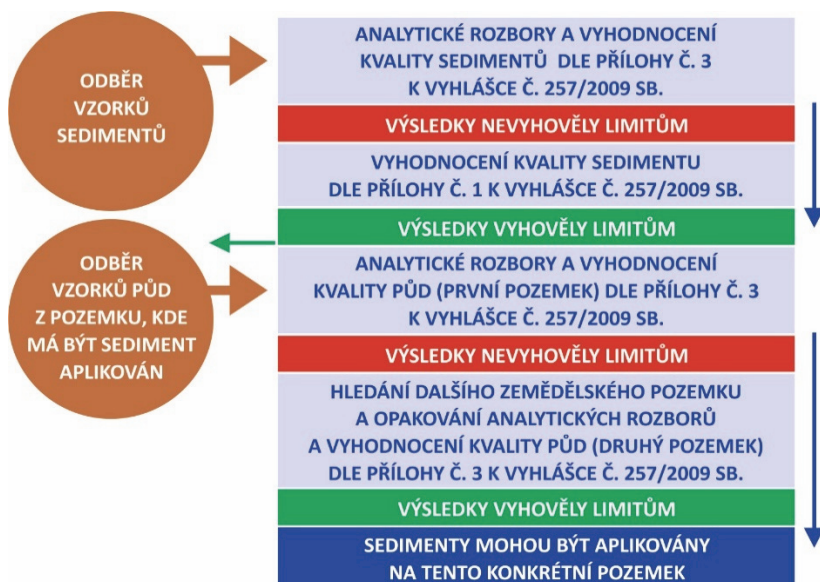
Pro vyhodnocení je možné použít metodu vycházející z limitních hodnot uvedených ve vyhlášce č. 257/2009 Sb.. Hodnoty obsahu rizikových prvků v sedimentech a zemědělských půdách jsou děleny příslušnými limitními hodnotami určenými vyhláškou. Tím je docíleno sjednocení na stejnou hodnotovou škálu ideálně od 0 do 1 (**vzorek není kontaminován**), jak pro půdy, tak pro sedimenty. Toto sjednocení umožňuje prezentaci výsledných hodnot pro sedimenty a zemědělské půdy do jednoho grafického zobrazení.

Na *obr. 39* jsou graficky prezentovány výsledky analytických rozborů pro vyhodnocení kvality sedimentu a půdy zemědělských pozemků pro modelový rybník B. Na osu x byly naneseny hodnoty odpovídající výsledkům rozborů sedimentů, na osu y byly podobně načteny přepočítané

hodnoty výsledků rozborů půd. Dále byly do grafů přidány limitní linie, kdy jakékoliv překročení hodnoty 1 stanovuje kontaminaci.



Obr. 39 - Vyhodnocení analytických rozborů modelového rybníka B. V horní části je patrné překročení limitů koncentrací těžkých kovů u půdních vzorků (první zemědělský pozemek, v dolní části výsledky vyhovují (druhý zemědělský pozemek) a je možné zde sediment z pohledu těžkých kovů aplikovat.



Obr. 40 – Vyhodnocení kontaminace sedimentů modelového rybníka B v interakci s přílehlými zemědělskými pozemky.

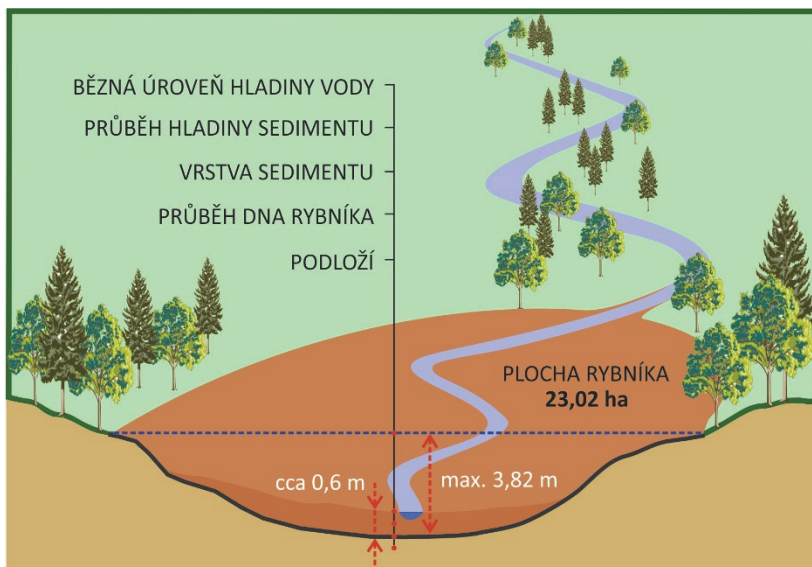


Obr. 41 – Ukázka těžby sedimentů (Prácheňské rybářství s.r.o.).

8.3. Modelový rybník C

Specifikace pilotního rybníka C (viz obr. 42)

- plocha rybníka = 23,02 ha
- maximální hloubka rybníka = 3,82 m
- předpokládaná mocnost sedimentu \varnothing = cca 60 cm
- projektová dokumentace = dochovaná
- stav rybníka = vypuštěný



Obr. 42 – Schéma modelového rybníku C.

Postup hodnocení množství sedimentů

Ve vazbě na definované parametry rybníka (velikost, hloubka, předpokládaná mocnost sedimentu), získané informace o **dochování** projektové dokumentace (resp. je zajištěné výškopisné zaměření původního dna rybníka, kdy tak není nutné provádět souběžně získání daných informací) a aktuální stav rybníka je bez nadržení, tak je doporučenou metodou pro stanovení množství sedimentu pozemní **laserové skenování**.

Postup odběru vzorků sedimentu

Z modelového rybníka C je nutné odebrat vzorky sedimentu tzv. „suchou“ cestou, kdy v daném případě je zajištěn odběr vzorků sedimentu v průběhu odbahňování z dočasných hromad, tzv. mezideponií. Samotný odběr vzorků sedimentů byl proveden pomocí technického vybavení v podobě **Edelmanova vrtáku** a dalšího příslušenství, viz kap. 5.2.8.

Postup hodnocení kvality půdy a sedimentů

Pro vyhodnocení možností nakládání se sedimentem je nutné postupovat podle platné národní legislativy, viz kap. 4. Analytickými rozbory jsou určeny koncentrace rizikových prvků a cizorodých látek obsažených v sedimentech. Následně jsou výsledky analýz vyhodnoceny dle limitů možného nakládání se sedimenty uvedenými v tab. 1. V případě modelového rybníka C nevyhovují koncentrace rizikových prvků a cizorodých látek limitu 1 (Příloha č. 3 k vyhlášce č. 257/2009 Sb.) ani limitu 2 (Příloha č. 1 k vyhlášce č. 257/2009 Sb.) a není možné uložení na zemědělskou půdu a je nutné se sedimentem nakládat jako s odpadem. Vzorek sedimentu z modelového rybníka C splňuje limity 3 (tab. 1), který po dodržení dalších ustanovení uvedených v paragrafu 6 vyhlášky č. 273/2021 Sb. umožňuje podmínky pro využívání odpadů (sedimentů) na povrchu terénu respektive k zasypávání.



Obr. 43 – Celkové schéma hodnocení rybníka C.

9. Analýza vstupu/zdrojových ploch k eliminaci opětovného zanášení rybníka

Aby bylo možné navrhnout vhodná opatření ke snížení množství sedimentů, které do rybníka vstupují, je třeba nejprve identifikovat zdrojové plochy v povodí. Těmito plochami jsou myšleny zemědělské pozemky, ze kterých vzhledem k jejich využití dochází k největším odnosům zemědělské půdy během srážek a jejich následné sedimentaci ve vodních tocích a vodních nádržích. V případě, že je řešeno větší území, kde se nachází více rybníků, doporučuje se také provést analýzu ohroženosti jednotlivých rybníků a identifikovat ty nejvíce rizikové, které by měly být řešeny přednostně. Pro zpracování analýz je třeba aplikovat výpočetní model. Je možné použít některý z volně stažitelných modelů (např. WaTEM/SEDEM, SWAT, USLE2D), nebo komerční Erosion3D. V této metodice je popsán postup při použití modelu WaTEM/SEDEM. Prvním krokem je sestavení modelu pro simulaci současného stavu a identifikaci rizikových pozemků a rybníků. Následně je možné v modelu posoudit efekty navrhovaných opatření.

9.1. Nastavení modelu WaTEM/SEDEM

WaTEM/SEDEM je empirický distributivní model erozních a transportních procesů. Byl vyvinut v Belgii na Katolické univerzitě v Lovani (Katholieke Universiteit Leuven). Je volně dostupný na webových stránkách univerzity (<https://ees.kuleuven.be/geography/modelling/watemsedem/index.html>). Při instalaci softwaru je nutné uložit soubor watemsedem.ini do složky c:\Windows\. Aby model fungoval bez problémů, je třeba řídit se postupem popsaným v manuálu v kapitole 10 („Use on windows 7“) [28].

Model WaTEM/SEDEM rozděluje vstupní data do 3 skupin (záložky „Input 1“, „Input 2“, „Input 3“) a dále nabízí zadání dalších speciálních parametrů („Extra Options“).

Většina dat se zadává pomocí mapových vrstev ve formátu rastru. Všechny zadávané rastry musí mít stejnou velikost a stejné rozlišení (např. 5x5 m, vzhledem k přesnosti digitálních modelů terénu). Modelovaným územím musí být uzavřené povodí. Rastr musí mít obdélníkový tvar a musí mít přesah i za hranici řešeného povodí, hodnoty mimo řešené povodí mají vždy hodnotu 0 (kromě rastru DEM, viz níže). Rastr se do modelu zadává ve formátu Idrisi32 (*.rst). Pokud je tedy rastr vytvořen v jiném formátu (např.

v softwaru ArcGIS) musí být následně převeden. Pro tento převod je nejprve nutné vytvořit Ascii soubor (*.asc), ve kterém musí být jako desetinný oddělovač použita tečka. Pro převod Ascii souboru do formátu Idrisi32 je možné použít software LS-converter.

volně dostupný na:

<http://www.dkubinsky.sk/kniznica/blog/watem-sedem/LsConverter.zip>

9.1.1. Záložka „Input 1“

Na záložce Input 1 je možné zvolit výsledné mapové vrstvy, které má model zpracovat. Kromě toho je také nutné vybrat verzi softwaru, která má být pro výpočet použita. Nejnovější jsou verze 2004 a 2005. Tyto verze se od sebe liší způsobem výpočtu transportní kapacity T_c . Ve verzi 2004 je transportní kapacita počítána na základě faktorů R , K , L a S z RUSLE a parametru kT_c (koeficient transportní kapacity). Ve verzi 2005 je transportní kapacita počítána na základě faktorů L a S z RUSLE a parametrů α, β, γ , které ale nejsou v manuálu softwaru blíže popsány. Vzhledem k tomu, že pro parametry α, β, γ nejsou známy doporučené hodnoty pro Českou republiku, doporučuje se použít verzi 2004.

9.1.2. Záložka „Input 2“

Na druhé záložce je třeba nahrát 3 mapové vrstvy – „DEM“ (digitální model terénu), „Parcel Map“ (mapa využití území) a „River Map“ (mapa vodních toků). K mapě vodních toků je také nutné následně připojit tabulku („River Routing“), ve které je popsána struktura říční sítě.

DEM může být vytvořen na základě Digitálního modelu reliéfu České republiky 4. nebo 5. generace, které zpracoval ČÚZK. Je nutné, aby výsledný rastr DEM byl hydrologicky upravený, tzn. aby neobsahoval žádná bezodtoká místa. Toto je možné zajistit např. v prostředí ArcGIS pomocí nástroje „Fill Sinks“ z ArcHydro Tools. Rastr DEM je jako jediný vyplněn pro celý obdélníkový tvar rastru, tzn. neobsahuje žádné nulové hodnoty. Ostatní rastry obsahují hodnoty pouze pro plochu řešeného povodí, za hranicí povodí nabývají hodnoty 0.

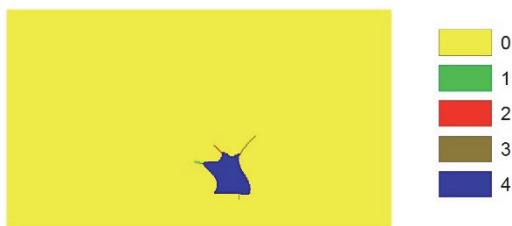
Parcel Map je mapa využití území. WaTEM/SEDEM rozlišuje celkem 5 typů využití území a oblast mimo řešené území. Pro každou kategorii jsou definovány konkrétní hodnoty rastru, viz *tab. 5*.

Tab. 5 - Hodnoty rastru Parcel Map.

hodnota	popis
-2	cesty a intravilán
-1	vodní toky
0	oblast mimo řešené území
1 - n	orná půda – očíslované zemědělské pozemky, maximální číslo udává počet pozemků (tato hodnota by měla být menší než 10 000)
10 000	lesní porost
20 000	trvalé travní porosty

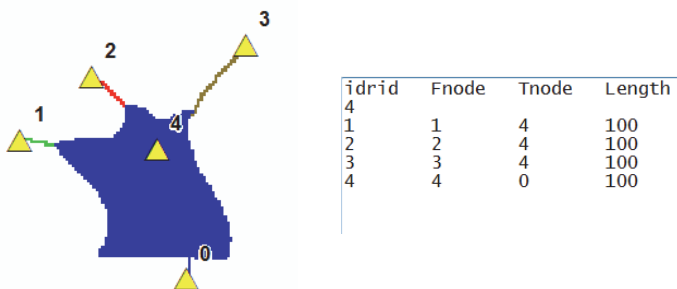
Jako podklady pro vytvoření parcel map je vhodné použít zemědělské pozemky z databáze LPIS a vodní toky a nádrže z databáze DIBAVOD. Ostatní plochy je možné specifikovat např. na základě druhu pozemku podle katastrální mapy nebo databáze ZABAGED. Vrstvu vodních toků z databáze DIBAVOD je třeba upravit tak, aby neobsahovala např. obtoková koryta, náhony nebo převody vody. Musí být vytvořena jednoduchá a jasná struktura sítě vodních toků, kdy jeden úsek toku navazuje vždy právě na jeden další úsek toku. Není ale problém, pokud vodní nádrž má více přítoků. Takto upravená síť vodních toků je následně využita také pro tvorbu River map.

River Map reprezentuje síť vodních toků a nádrží (vhodným podkladem je databáze DIBAVOD). Každý úsek vodního toku je označen jedinečným identifikátorem. Plocha mimo vodní toky je označena hodnotou 0. Vodní nádrže je vhodné zadat jako samostatné úseky toku. Příklad vzhledu River Map, viz obr. 44.



Obr. 44 – Příklad vzhledu River Map. V tomto území jsou 3 vodní toky (ID 1, 2, 3), které ústí do vodní nádrže (ID 4).

Kromě mapové vrstvy je nutné vytvořit tabulku „River Routing“ ve formátu *.txt, která specifikuje schéma říční sítě. Všechny začátky, konce a soutoky toků (uzly) je třeba očíslovat (manuálně, nebo pomocí nástroje pro vytvoření topologie souboru tvarů) a pro každý úsek toku stanovit jeho počáteční a koncový uzel. Poslední uzel říční sítě, tzn. uzávěrový profil celého řešeného povodí, musí být označen číslem 0. Tabulka River Routing musí mít 4 sloupce: idrid (číslo úseku toku, čísla musí začínat od 1 a odpovídat očíslování úseků v River Map), Fnode (číslo počátečního uzlu úseku), Tnode (číslo koncového uzlu úseku), Length (délka úseku). V prvním řádku tabulky navíc musí být uveden celkový počet úseků toků (*obr. 45*).



Obr. 45 – Schéma říční sítě s vyznačením uzlů a příslušná tabulka River Routing.

9.1.3. Záložka „Input 3“

Na třetí záložce se zadávají tyto údaje:

1. „C: Crop Faktor“ - hodnota C faktoru. Zadává se jako rastr nebo jako tři různé hodnoty pro zemědělské pozemky (“Cropland”), lesní pozemky (“Forest”) a zatravněné pozemky (“Pasture”).
2. „K: Soil Erodibility Faktor“ - hodnota K faktoru. Zadává se jako rastr nebo jako jedna průměrná hodnota pro celé území.
3. „Ptef: Parcel“ (Parcel Trap Efficiency) - poměr zachycení sedimentu na různých typech pozemků. Zadává se jako rastr nebo jako tři různé hodnoty pro zemědělské pozemky, lesní pozemky a zatravněné pozemky.



4. „Parcel Connectivity“ - určuje poměr zachycení odtoku na hranicích pozemků, udává se v %. Zadává se jako dvě různé hodnoty, jedna hodnota pro zemědělské pozemky, druhá pro lesní a zatravněné pozemky.
5. „Pond Map“ - mapa vodních nádrží, ve kterých má být počítáno s depozicí sedimentu. Zadává se jako rastr.

Hodnotu C faktoru je možné stanovit podle metodiky „Ochrana zemědělské půdy před erozí“ [5]. V případě, že model bude využit pro zpracování analýz identifikace rizikových nádrží a zemědělských pozemků, které tvoří zdrojové plochy pro vnos sedimentu do nádrží, je vhodné zvolit C faktor pomocí jedné hodnoty stejné pro všechny zemědělské pozemky, aby byl vyloučen vliv pěstovaných plodin, které se mohou každý rok měnit.

V případě, že je třeba pro každý pozemek specifikovat jiný C faktor (např. na základě informací o osevních postupech získaných od zemědělských subjektů hospodařících v řešeném území), musí být hodnoty zadány jako rastr. Vzhledem k tomu, že hodnoty C faktoru se pohybují v intervalu 0 – 1, nastává problém při převodu souborů do formátu *.rst. Vinou převodního softwaru LS converter dochází k zaokrouhlení hodnot C faktoru na nulové hodnoty. Tento problém je možné vyřešit vynásobením vrstev C a K faktoru a číslem 1000 v prostředí ArcGIS (vznikne rastr C x K x 1000). Do softwaru WaTEM/ SEDEM se následně zadá výsledný rastr C x K x 1000 do pole K faktoru. C faktor se nezadává pomocí rastru, ale pouze hodnotou, do všech zadávaných polí („Cropland“, „Forest“ a „Pasture“) se zapíše hodnota 0,001.

Hodnotu K faktoru je možné stanovit na základě kódu hlavní půdní jednotky, který je uveden jako 2. a 3. číslice v kódu bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ). Kód BPEJ je uveden v katastru nemovitostí, nebo je ke stažení ve formátu *.shp na stránkách Státního pozemkového úřadu. Převod kódu hlavní půdní jednotky na hodnotu K faktoru je možné provést podle metodiky „Ochrana zemědělské půdy před erozí“ [15]. Hodnoty K faktoru mimo zemědělské pozemky (které nemají stanovený kód BPEJ) je možné doplnit interpolací z nejbližších okolních hodnot.

Parametry „Ptef: Parcel“ a „Parcel Connectivity“ se doporučuje zadat jako hodnoty stanovené pro ČR, uvedené v certifikované metodice „Hodnocení ohroženosti vodních nádrží sedimentem a eutrofizací



podmíněnou erozí zemědělské půdy“ [2]. Pro parametr „Ptef: Parcel“ to jsou tyto hodnoty: zemědělské pozemky 0, lesní pozemky 75, zatravněné pozemky 75. Pro parametr „Parcel Connectivity“ to jsou tyto hodnoty: zemědělské pozemky 40, lesní a zatravněné pozemky 75.

Pond Map je rastr rybníků (vodních nádrží), kdy každá nádrž musí být opatřena parametrem „TE“, určujícím retenční schopnost nádrže v % (TE – trap efficiency, podíl sedimentů, které se v nádrži usadí). U nádrží se neuvádí žádné ID, unikátní ID je každé nádrži přiděleno automaticky během výpočtu – po proběhnutí výpočtu je vytvořena tabulka „Ponddata.txt“, ve které je uvedeno ID nádrže a ID příslušného úseku vodního toku. Na jednom úseku vodního toku by tedy měla být umístěna vždy pouze jedna nádrž. Tvar nádrže nemusí odpovídat skutečnému tvaru nádrže (skutečný tvar nádrže je patrný z rastru „River map“), jedná se pouze o schematické zobrazení, takže nádrž může být reprezentována např. malým obdélníkem. Je ale nutné, aby nádrž byla umístěna na vodním toku. Parametr TE může být stejný pro všechny nádrže, v tomto případě se doporučuje použít hodnotu 70%, která je standardně používanou hodnotou v případech, kdy se TE nestanovuje přesněji. Druhou možností je stanovit různé hodnoty TE pro jednotlivé vodní nádrže na základě výpočtu podle objemu nádrže a dlouhodobého průměrného průtoku, postup je uveden v certifikované metodice [2].

$$TE = 100 * 0,97^{0,19 \log\left(\frac{C}{I}\right)}$$

<i>TE</i>	<i>poměr zachycení (%)</i>
<i>C</i>	<i>zásobní objem nádrže (m³)</i>
<i>I</i>	<i>roční průměrný průtok nádrží (m³/rok)</i>

9.1.4. Záložka „Extra Options“

Na záložce „Extra Options“ se zadávají tyto údaje:

1. „LS“ - volba výpočetních metod pro výpočet LS faktoru – je možné použít přednastavenou metodu McCool.
2. „Advanced Settings“ - specifikace vlivu orby, zadání objemové hmotnosti sedimentu a volba formy výstupu (jednotky). I pro tyto parametry je možné použít přednastavené hodnoty.
3. „Water“ – zadání R faktoru a koeficientů transportní kapacity.

R faktor se zadává v jednotkách MJ. mm /m².hod. V Čechách se R faktor běžně uvádí v jednotkách MJ.cm/ha.hod, takže je nutné tuto hodnotu vynásobit 0,001.

Koeficienty transportní kapacity (Transport Capacity Coef) se zadávají pro neerodivní plochy (kTc Low) a pro erodivní plochy (kTc High). Pro rozlišení erodivních a neerodivních ploch slouží hodnota kTc Limit, která odpovídá hraniční hodnotě C faktoru. Pro hodnoty C faktoru nižší než kTc Limit se jedná o neerodivní plochy a program počítá s hodnotou kTc low (a naopak). Pro kTc Limit je možné použít přednastavenou hodnotu 0,1. Pro kTc Low a kTc High je vhodné použít hodnoty doporučené v certifikované metodice **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**, které jsou 35 pro kTc low a 55 pro kTc high.

9.2. Identifikace rizikových nádrží

Po úspěšném proběhnutí výpočtu je možné provést analýzy výsledků. Výsledky jsou ukládány ve formátu *.txt (tabulky) nebo *.rst (rastrové vrstvy) do složky, ve které jsou uložena vstupní data, konkrétně rastrové vrstvy ve formátu *.rst.

Pokud se v modelovaném území nachází více vodních nádrží, je vhodné nejprve identifikovat, které jsou nejvíce rizikové z hlediska zanášení sedimentem. Nejprve je nutné zjistit ID jednotlivých nádrží, které bylo během výpočtu automaticky vytvořeno. ID nádrží je uvedeno v tabulce „Ponddata.txt“, ve vazbě na ID příslušného úseku vodního toku. Jako podklad pro zpracování analýzy identifikace rizikových nádrží se následně použije tabulka „Pond Sediment Deposition.txt“, konkrétně její sloupec „deposition ton“, který uvádí množství sedimentu, které se v nádrži usadí v t/rok. Při identifikaci rizikových nádrží se posuzují 2 ukazatele:

1. Celkové množství usazeného sedimentu v nádrži za rok („deposition ton“)
2. Přírůstek sedimentu v nádrži v cm/rok – přepočtené množství usazeného sedimentu na plochu nádrže:

$$P = \left(\frac{D * \frac{1000}{\rho}}{A} \right) * 100$$



<i>P</i>	<i>Přírůstek sedimentu v nádrži (cm/rok)</i>
<i>D</i>	<i>Množství usazeného sedimentu v nádrži („deposition ton“, t/rok)</i>
ρ	<i>Objemová hmotnost sedimentu (kg/m^3), hodnota se zadává také do modelu (záložka „Extra Options“), je možné použít přednastavenou hodnotu 1 350 kg/m^3</i>
<i>A</i>	<i>plocha nádrže (m^2)</i>

Pro oba ukazatele je třeba stanovit limitní hodnoty. Tyto limitní hodnoty se stanoví v závislosti na porovnání výsledků pro všechny modelované nádrže a na požadovaném počtu rizikových nádrží (např. cílem může být identifikovat 5 nejvíce rizikových nádrží z celkem řešených 20 nádrží). Orientační hodnota přírůstku sedimentu v nádrži je cca 1 cm/rok. Pokud alespoň jeden z ukazatelů přesahuje stanovené limitní hodnoty, je nádrž identifikována jako riziková. Rizikové nádrže je možné dále rozdělit do dvou kategorií:

1. Nejvíce rizikové nádrže – oba ukazatele překračují limitní hodnoty
2. Ostatní rizikové nádrže – pouze jeden z ukazatelů překračuje limitní hodnotu. Tyto nádrže lze dále rozdělit na dva typy:
 - a) Velmi malé nádrže – množství usazeného sedimentu v nádrži za rok je malé, ale protože nádrž má malou plochu, dochází přesto k jejímu zrychlenému zanášení.
 - b) Velké nádrže – množství usazeného sedimentu v nádrži za rok je velké, ale protože nádrž má velkou plochu, dochází pouze k malému přírůstku sedimentu.

U nádrží je také možné určit původ sedimentů – zda se sedimenty dostávají do vodních toků v povodí nádrže a jsou transportovány sítí vodních toků až k přítoku do nádrže, nebo zda sedimenty vstupují do nádrže přímo z pozemků v bezprostředním okolí nádrže (bez transportu vodními toky). Jako podklad pro zpracování této analýzy slouží tabulka „projectriversediment.txt“. Tato tabulka uvádí hodnoty pro jednotlivé úseky vodních toků, převod mezi ID úseku toku a ID nádrže uvádí tabulka „Ponddata.txt“. Množství sedimentu, které se do nádrže dostává jejím přítokem, je uvedeno ve sloupci „Sediment input upstream river“, množství

sedimentu z pozemků v okolí nádrže je uvedeno ve sloupci „Hillslope sediment input“.

9.3. Identifikace rizikových pozemků

Identifikace rizikových pozemků vychází z výpočtu celkové průměrné roční ztráty půdy na každém jednotlivém pozemku. Ztráta půdy je způsobena vodní erozí a půdní částice jsou pravděpodobně transportovány až do vodních toků a nádrží (pokud nedojde k jejich sedimentaci v povodí mimo zemědělské pozemky). Množství ztráty půdy je i v rámci jednoho pozemku variabilní, k větší erozi dochází v částech pozemku s větším sklonem a v údolnicích, kde dochází ke koncentraci povrchového odtoku. Přímou na zemědělském pozemku může naopak docházet i k sedimentaci půdních částic. Jako podklad pro zpracování této analýzy se použije rastr „Netto Water Erosion in ton per ha.rst“. Na základě tohoto rastru je možné pro každý pozemek stanovit průměrnou hodnotu ztráty půdy ($t/ha \cdot rok$) a na základě velikosti pozemku určit celkovou ztrátu půdy (t/rok). Následně je stejně jako u identifikace rizikových nádrží třeba stanovit limitní hodnotu pro celkovou ztrátu půdy a identifikovat rizikové pozemky. Je také možné stanovit více kategorií rizikových pozemků (např. nejvíce, středně, málo rizikové pozemky) pomocí několika limitních hodnot.

Jako nejvíce rizikové pozemky jsou tedy identifikovány velké pozemky s intenzivní erozí. Tyto pozemky by měly být prioritně řešeny, měly by být rozděleny na více menších pozemků a měla by zde být realizována protierozní opatření. V případě, že se nacházejí na břehu vodního toku nebo nádrže, mělo by být zajištěno dostatečné oddělení pomocí zatravněného nebo lesního pozemku. Podrobný popis vhodných opatření je uveden následující kapitole „Katalog opatření“. V návrhu opatření by nicméně neměly být opomenuty ani ostatní pozemky, a zejména jejich části, na kterých dochází k silné erozi a to navíc v místech, která přímo sousedí s vodním tokem. Tato místa jsou patrná z rastru „Netto Water Erosion in ton per ha.rst“. V současné době je v ČR přípustný smyv nastaven pro středně hluboké (30–60 cm) a hluboké půdy (nad 60 cm) na hodnotu $8 t/ha \cdot rok$, mělké půdy (do 30 cm) na hodnotu $1 t/ha \cdot rok$.

9.4. Návrh opatření a posouzení jejich efektu modelem

Mezi opatření, která je vhodná navrhnout s cílem snížení zanášení nádrží sedimentem a jejichž efekt je možné posoudit modelem WaTEM/SEDEM, patří zejména protierozní opatření (kategorie PEO v Katalogu opatření). Protierozní opatření lze rozdělit do tří skupin - na agrotechnická, organizační a technická opatření. Obecně je vždy nejlepší navrhnout v první řadě „jednoduchá“ agrotechnická a organizační opatření, která nevyžadují velké zásahy a stavební úpravy terénu (např. PEO4 – Změna osevního postupu nebo PEO7 - Zatravnění a zalesnění orné půdy). Pokud by efekt těchto opatření nebyl dostatečný, je možné přistoupit k technickým opatřením (např. PEO8 – Průlehy, PEO10 – Protierozní hrázky), která jsou finančně i realizačně náročnější.

Organizační a technická protierozní opatření pro možné posouzení efektu v modelu WaTEM/SEDEM

Změna osevního postupu (PEO4)

Úprava C faktoru – je možné určit maximální hodnotu C faktoru, která zajistí dosažení požadovaného odnosu. Buď jedna hodnota C faktoru pro celé povodí, nebo je možné použít zadání C faktoru pomocí rastru a simulovat různé scénáře rozmístění pěstovaných plodin v povodí.

Pásově střídání plodin (PEO5)

Je třeba upravit Parcel Map a C faktor. V Parcel Map je nutné pozemky rozdělit na pásy, tzn. vytvořit nové menší pozemky. Na základě upravené Parcel Map upravit rastr C faktoru. V tomto případě nejde C faktor zadat jednou hodnotou pro celé povodí, je třeba rozlišit alespoň 2 různé pěstované plodiny. Výjimkou by byly travní pásy, které by v Parcel Map nebyly zadány jako zemědělské pozemky, ale jako travní porost (kód 20 000), ostatní zemědělské pozemky by pak mohly být zadány jednou hodnotou C faktoru.

Změny tvarů a velikostí pozemků (PEO6)

Je třeba upravit Parcel Map. V případě, že je zadáván různý C faktor pro jednotlivé pozemky, tak i rastr C faktoru.

Zatravňení a zalesňení orné půdy (PEO7)

Pokud jsou zatravňovány nebo zalesňovány celé zemědělské pozemky a C faktor je zadáván jednou hodnotou pro celé povodí, stačí upravit Parcel Map – překlasifikovat tyto pozemky na kód 10 000 (zalesnění) nebo 20 000 (zatravňení). Pokud jsou zatravňovány nebo zalesňovány pouze části pozemků, je postup stejný jako u PEO5.

Průlehy (PEO8), Terasování (PEO9), Protierozní hrázky (PEO10) Záchytné, svodné a cestní příkopy (PEO11)

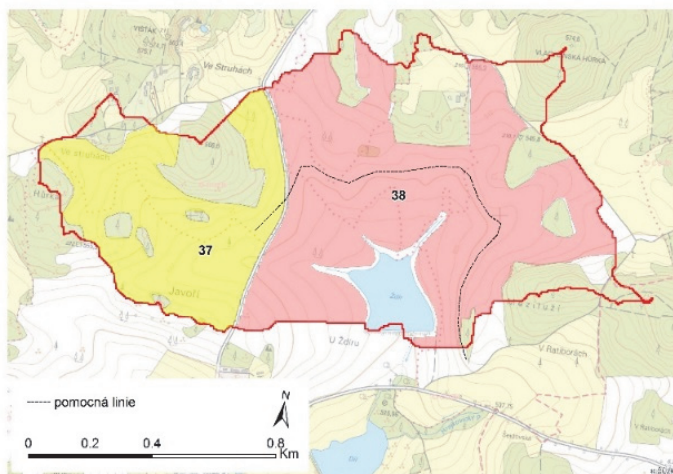
Pro posouzení efektu všech technických opatření je třeba upravit rastr DEM, protože dochází ke změně tvaru terénu. Při realizaci technických opatření dochází také často k zatravňení části pozemků (např. zatravněné průlehy) nebo budování cest. Toto je třeba v modelu také zohlednit. Kromě DEM je tedy třeba upravit i další vstupní data. V případě zatravňení je postup stejný jako u PEO5. V případě budování cest je třeba upravit Parcel Map (kód pro cesty je -2).

9.5. Příklad postupu při úpravě Parcel Map

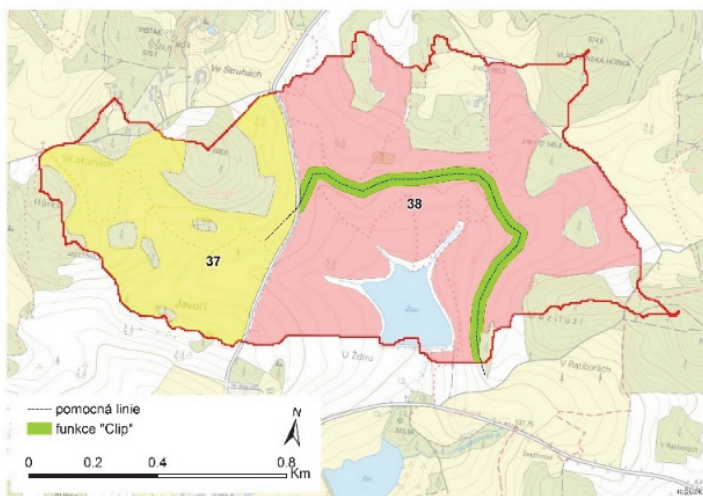
Prvním krokem při úpravě rastru Parcel Map je jeho převedení na shapefile typu polygon, ve kterém jsou následně prováděny všechny úpravy (v ArcGIS: Conversion Tools – From Raster – Raster to Polygon). Tím je zajištěno, že po opětovném převedení upraveného polygonového shapefile zpět na rastr bude zajištěna shoda s původním rastrem Parcel Map (v místech, kde nejsou navržena opatření).

Postup pro vytvoření upravené Parcel Map je názorně zobrazen ve čtyřech krocích na *obr. 46 a 47*, kde je jako příklad ukázáno rozdělení pozemku číslo 38 na dvě části pomocí zatravněného pásu. Pro rozdělení pozemků na menší části nebo vytvoření pásů se nejprve vytvoří pracovní liniový shapefile „pomocná linie“. Touto linií se vyznačí rozdělení pozemků nebo umístění pásů (*obr. 46*). Následně jsou využity funkce „Analysis Tools“ v ArcGIS. Pomocí funkce „Buffer“ jsou vytvořeny pásy v požadované šířce. Tyto pásy jsou následně pomocí funkce „Clip“ oříznuty tak, aby se nacházely pouze na zemědělských pozemcích (*Obr. 47*). Pomocí funkce „Union“ pak dojde ke sloučení s polygonovou vrstvou Parcel Map a v atributové tabulce je těmto pásům přiřazen relevantní kód (20 000 v případě jejich zatravňení).

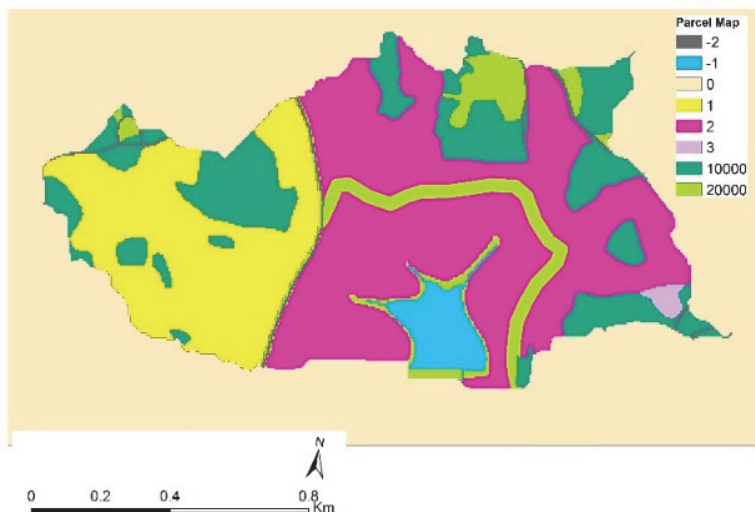
Takto upravená Parcel Map je pak převedena zpět na rastr a použita pro výpočet efektu opatření v modelu WaTEM/SEDEM.



Obr. 46 – Krok 1 – rozdělení pozemku pomocnou linií.



Obr. 47 – Krok 3 – Oříznutí „bufferu“ pomocné linie hranicí pozemku 38.



Obr. 48 – Krok 4 – vytvoření upravené Parcel Map pomocí funkce „Union“.

Efekt organizačních a technických protierozních opatření je možné posoudit jejich simulací v modelu WaTEM/SEDEM. Opatření jsou do modelu zadána pomocí úpravy vstupních dat DEM, Parcel Map nebo C faktoru. Efekt agrotechnických opatření nelze modelem jednoznačně posoudit, hrubý odhad je ale možné provést snížením hodnoty C faktoru na zemědělských pozemcích

Při návrhu opatření je vhodné posoudit více variant návrhů a různé typy opatření mezi sebou kombinovat. Cílem návrhu opatření je dosažení požadovaného odnosu sedimentu z povodí nebo z konkrétních pozemků. Návrh opatření je také vhodné projednat se zemědělskými subjekty hospodařícími v řešeném území.

Analýza zdrojových ploch (zemědělských pozemků) je stěžejní pro návrh cílených opatření pro eliminaci sedimentace nerozpustných látek ve vodních tocích a nádržích. Pro relevantní posouzení je příhodná aplikace výpočetních modelů (např. WaTEM/SEDEM, SWAT, USLE2D), jejichž výstupy detekují pozemky s intenzivní erozí, které je žádoucí prioritně řešit z pohledu návrhu vhodných opatření.

10. Katalog opatření

Cílem této kapitoly je popsat výčet všech dostupných opatření, které je možné uplatnit při řešení zanášení vodních toků a nádrží sedimenty.

Ke každé lokalitě/povodí je třeba přistupovat individuálně, vyhodnotit stávající situaci a vybrat takovou sadu opatření, která nejlépe zajistí požadovanou úroveň ochrany. Návrh opatření je vždy komplexní činností, vycházející z podrobné analýzy plochy povodí.

Záměrem je identifikovat takovou množinu opatření, která zajistí efektivní protierozní ochranu při současné realizovatelnosti těchto opatření jak z hlediska finančního, tak majetkoprávního (dotčené pozemky).

Výpočet nebezpečí eroze na orné půdě na konkrétních pozemcích je možné provést pomocí kalkulačky [5]. Vzhledem k možným modifikacím jednotlivých opatření je možné navrhopat opatření mimo tento katalog, je-li to nutné k dosažení požadovaných cílů. Tato opatření nesmí být v rozporu s platnými právními předpisy ČR.

Katalog navrhuje základní dvě skupiny opatření (viz tab. 6). Jedná se o preventivní opatření a konkrétní opatření. Systémová a koncepční opatření jsou chápána jako preventivní opatření a jsou nadřazená konkrétním opatřením.

Konkrétní opatření slouží jako množina pro výběr opatření pro aplikaci v komplexním systému opatření v zájmovém povodí. Jednotlivá opatření dělíme na konkrétní opatření na vodních tocích, konkrétní protierozní opatření a ostatní konkrétní opatření.

Katalogový list se skládá z následujících částí: Popis, Právní základ, Podmínky realizace, Možné střety, Efekty a dopady opatření, Sociální a ekonomický dopad, Stanovení nákladů, Interakce s ostatními opatřeními, Časové hledisko a Účinnost.

Podrobný popis jednotlivých typů opatření (KO1 až OO1) je uveden v navazujícím dokumentu: „Katalog opatření omezujících sedimentaci nerozpustných látek ve vodních tocích a nádržích“.

Tab. 6 – Rozdělení opatření do skupin a přiřazení identifikátoru.

název skupiny opatření	zkratka	ID	název jednotlivých opatření
Systémová a koncepční opatření	KO	KO1	Legislativní opatření
		KO2	Komplexní pozemkové úpravy
		KO3	Opatření v územních plánech
		KO4	Tvorba povodňových plánů
		KO5	Návrh vhodných dotačních titulů
		KO6	Pojištění
		KO7	Evidenční a dokumentační práce po povodni/erozní události
Konkrétní opatření na vodních tocích	VT	VT1	Revitalizace v extravilánu
		VT2	Revitalizace v intravilánu
		VT3	Tůňe na dráze soustředěného odtoku
		VT4	Vodní nádrže
		VT5	Suchá (polosuchá) retenční nádrž - poldr
		VT6	Přehrážky
		VT7	Zrušení HOZ včetně zatrubnění
		VT8	Hrazení HOZ
		VT9	Sedimentační jímky
		VT10	Limanové zdrže
Konkrétní protierozní opatření	PEO	PEO1	Bezorebné obdělávání pozemků
		PEO2	Vrstevnicové obdělávání pozemků
		PEO3	Využívání ochranných plodin a mulčování
		PEO4	Změna osevního postupu
		PEO5	Pásové střídání plodin
		PEO6	Změny tvarů a velikosti pozemků
		PEO7	Zatravnění a zalesnění orné půdy
		PEO8	Průlehy
		PEO9	Terasování
		PEO10	Protierozní hrázky
		PEO11	Záchytné, svodné a cestní příkopy
Ostatní konkrétní opatření	OO	OO1	Opatření na lesních porostech

III. Srovnání novosti postupů

Ve vazbě na očekávaný růst teplot a výskyt klesajících objemů vody ve vodních nádržích za sucha v důsledku vývoje změny klimatu zjevně poroste význam negativních efektů sedimentů pro vývoj jakosti vody, zejména ve vodárenských nádržích.

Donedávna nebyla problematika sedimentů ve vodních ekosystémech věnována dostatečná pozornost a nikdo se tímto tématem souhrnně nezabýval.

V současné době se danému tématu věnuje již řada výzkumných projektů a autorů, přesto však chybí komplexní přístup, který by dílčí poznatky sumarizoval, rozšířil a takto popsané postupy, uvedené v metodice, poskytl pro využití v komerční i veřejné praxi.

Pro tento účel byly dílčí principy a metody aplikované při řešení otázek souvisejících s kvantifikací a využitím sedimentů sjednoceny, metodicky popsány a vytvořeny jednoduché návody, jak k dílčím tematickým oblastem správně přistupovat. Znalost těchto nových poznatků poskytne nové možnosti, jaké metody zvolit pro kvantifikaci množství sedimentů ve vodním toku / vodní nádrži, jaké technické vybavení pro odběr sedimentů či půd aplikovat, jak nakládat s vytěženým sedimentem, jaká je úloha vody na kvalitu sedimentů, a především jaká opatření navrhnout, aby došlo k eliminaci vstupu sedimentů do vodního prostředí.

Samotná novost a inovace je v daném případě vázána především na komplexní pojetí a interdisciplinární přístup. Autoři provedli sjednocení stávajících obecných a zavedených postupů, kdy získané poznatky z řady dílčích a neprovázaných materiálů rozšířili o nové poznatky z provedeného výzkumu a měřických kampaní interakce půda - voda - sediment, a vytvořili komplexní metodické přístupy k dílčím tématům řešené oblasti.

Druhý inovativní pilíř spočívá v mezioborovém přístupu, který nabízí různé pohledy na řešenou tematiku, a rozšiřuje tak zaběhlé a stávající principy o nová poznání, které nejsou v praxi doposud zavedená.

IV. Popis uplatnění Certifikované metodiky

Metodika je koncipována tak, aby nalezla uplatnění jak v komerční sféře, tak ve veřejném sektoru. V případě komerčních subjektů se jedná o podniky působící v oborech vodního hospodářství, geodézie, projekčních firem, stejně jako o zemědělské subjekty či rybářské společnosti.

U veřejného sektoru je uplatnění očekáváno především v procesu komplexních pozemkových úprav, tj. v gesci Státního pozemkového úřadu, kdy budou uplatněny poznatky vázané především na katalog opatření omezujících sedimentaci nerozpustných látek ve vodních tocích a nádržích. Vyjma přímého uplatnění v procesu komplexních pozemkových úprav je deklarováno uplatnění i při výkonu dozoru nad respektováním právních předpisů v oblasti životního prostředí, tj. při výkonu dohledu nad nakládáním se sedimentem vytěženým z vodních toků a vodních nádrží. V neposlední řadě lze využití definovaných metodických přístupů čekat i u správců vodních toků v působnosti Ministerstva zemědělství (státní podniky Povodí).

Vyjma uvedeného dělení (komerční x veřejná sféra) je možné uplatnitelnost klasifikovat i z pohledu dílčích tematických oblastí, kterým se zpracovaná metodika věnuje. Zde je možné dílčí oblasti rozdělit na několik samostatných témat, dle kterých lze očekávat uplatnění v praxi. Dílčí témata je možné dělit např. z pohledu samotných matric, kterým je v metodice věnována pozornost (půda, voda, sediment). Obdobně je možné dělení i dle navazujících metodických principů, které jsou v metodice popsány - kvantifikace množství sedimentů, odběry vzorků (půd/sedimentů) či materiální a technické vybavení, atd. Samotnou oblastí je aktuální legislativní rámec popisující možnosti nakládání se sedimentem, stejně jako konkrétní kroky v případě jeho hodnocení.

Uvedená komplexnost řešeného tématu rozšiřuje aplikovatelnost metodiky v uživatelské praxi o další potenciální uživatele. Z daného pohledu je vytvořen adekvátní základ pro širokou uplatnitelnost zpracovaného metodického přístupu v praxi (*viz smlouvy o využití výsledku*).

V. Ekonomické aspekty

Ekonomické aspekty, tj. odhad nákladů a ekonomického přínosu je možné nejprůkazněji doložit prostřednictvím katalogu opatření, kde jsou definována opatření pro eliminaci vstupu sedimentů do vodních toků a vodních nádrží. V samotném katalogu je uvedena konkrétní nákladovost opatření, vč. efektů a dopadů opatření, stejně jako popis sociálního a ekonomického dopadu.

Ekonomické přínosy úzce souvisí především s optimalizací jednotlivých metodických přístupů. Pro uživatele z řad geodetických společností jsou sumarizovány metodické přístupy pro kvantifikaci množství sedimentů ve vodních nádržích. Tyto přístupy definují neoptimálnější metodu pro konkrétní podmínky řešené vodní nádrže / vodního toku a to z pohledu získání korektních datových zdrojů, časové náročnosti a právě i ekonomických aspektů. Pro projekční kanceláře je k dispozici uváděný katalog opatření (*samostatná část metodiky*), který poskytuje ucelené podklady pro projektové návrhy vhodných opatření (ve vazbě na časovou – ekonomickou úsporu výběru).

Ze strany autorů byla provedena detailní legislativní analýza aktuálních právních předpisů, která poskytuje optimalizaci nakládání se sedimentem za účelem ekonomických (vč. ekologických) přínosů jak pro vlastníky / uživatele vodních ploch, tak pro zemědělské subjekty, které mohou využít odtěžený sediment na ZPF. Snahou bylo připravit metodiku tak, aby sloužila k efektivnímu využití sedimentů na ZPF (jsou-li splněny legislativní předpisy) a došlo tak ke snížení nákladů. Pro případy, že je nutné uložení na skládce (např. katalogové číslo - 17 05 04 - Zemina s kamením do 20×20 cm) se jedná o náklad **cca 250,- Kč/t**.

Metodika nabízí i přesah do oblastí, kde vyčíslení ekonomických přínosů není možné konkrétně kvantifikovat – přínosy ve vazbě na zlepšení jakostních ukazatelů povrchových vod, zvýšení retenčních kapacit vodních nádrží, posílení biodiverzity, zvýšení pobytové funkce vodních nádrží vodních toků, pozitivní dopady na podzemní zdroje vod, zvýšení organické hmoty v půdě, atd.

VI. Závěr

Metodika nabízí komplexní přístup k řešení problematiky sedimentů ve vodních tocích a nádržích. Aplikací získaných poznatků implementovaných do metodiky bude možné efektivně definovat vhodné způsoby nakládání s vytěženým sedimentem (ve vazbě na jeho kvalitu a kvalitu půdy zemědělských pozemků). Kromě jiného je prostřednictvím metodiky možné určit vhodné způsoby měření pro kvantifikaci množství sedimentů, jejich odběr, včetně volby vhodného technického vybavení.

Motivací zavedení popsaných metodických přístupů do praxe je především zajištění lepší orientace v legislativě a problematice sedimentů samotné. Metodika poskytuje relevantní podklady o vzájemné interakci mezi půdou – vodou – sedimentem, které vychází z poznatků získaných z monitorovacích kampaní množství a kvality sedimentů, vod a půd. Metodika kombinuje textové části s grafickými přílohami (fotografie, schémata, diagramy), čímž je zaručena vyšší srozumitelnost jak pro odbornou, tak laickou veřejnost. Právě v komplexnosti a multioborovém přístupu spočívá samotná inovace, která je založena na uvedené srozumitelnosti a názorném zpracování jednotlivých řešených témat.

Nedílnou součástí metodiky jsou zásady a praktické postupy pro posouzení rybníka z pohledu mocnosti sedimentů, posouzení rybníka z pohledu kvality sedimentů, vč. posouzení kvality půd zemědělských pozemků v okolí rybníka, které jsou demonstrovány prostřednictvím modelových projektů (tři modelové vodní nádrže). Oproti tomu samostatnou částí metodiky je zpracovaný Katalog opatření omezujících sedimentaci nerozpustných látek ve vodních tocích a nádržích. Uvedený katalog obsahuje vhodná opatření, která je možné uplatnit při řešení zanášení vodních toků a nádrží sedimenty.

Množství sedimentů v rybnících či vodních tocích je dlouhodobě velký vodohospodářský problém, který se metodika pokouší částečně řešit. Metodika cílí především na možnosti opětovného využití sedimentů na ZPF a to s ohledem na jejich živinný potenciál a přínos z pohledu zvýšení organické hmoty v půdě.

Seznam použité související literatury

- [1] MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ (2005): Hospodaření na rybnících. Eagri.cz. [online], [cit. 2020-08-25], dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/file/37055/_32_hospodareni_rybniky.pdf>.
- [2] KRÁSA J. a kol. (2013): Hodnocení ohroženosti vodních nádrží sedimentem a eutrofizací podmíněnou erozí zemědělské půdy. Certifikovaná metodika. ČVUT v Praze, Fakulta stavební.
- [3] ČISTÝ, M. (2005): Rybníky a malé vodné nádrže II. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislavě. ISBN 8022722944.
- [4] ROTHWELL, R. G. (2006): New techniques in sediment core analysis. London: Geological Society. ISBN 1862392102.
- [5] JANEČEK, M. a kol. (2012): Ochrana zemědělské půdy před erozí. Praha: poweprint. ISBN 9788087415429.
- [6] TERMIER, H. (1963): Erosion and Sedimentation. London: D. VAN NOSTRAND COMPANY LTD.
- [7] NATIONAL RESEARCH COUNCIL (U. S.) (2003): Bioavailability of contaminants in soils and sediments: processes, tools, and applications. Washington, D.C.: National Academies Press. ISBN 0309086256.
- [8] SedNet [online]. Utrecht (2019): [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://sednet.org/>
- [9] BERGMANN, H., MAASS, V. (2007): Sediment regulations and monitoring programmes in Europe. Sediment Risk Management and Communication [online]. Elsevier, s. 207-231 [cit. 2019-01-26]. Sustainable Management of Sediment Resources. DOI: 10.1016/S1872-1990(07)80067-5. ISBN 9780444519658. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1872199007800675>
- [10] Vyhláška o používání sedimentů na zemědělské půdě č. 257/2009 Sb.
- [11] 273/2021 Sb., Vyhláška o podrobnostech nakládání s odpady.
- [12] Zákon č. 541/2020 Sb. Zákon o odpadech
- [13] ČSN EN ISO/IEC 17025 - Všeobecné požadavky na kompetenci zkušebních a kalibračních laboratoří.
- [14] POLÁKOVÁ, Š., KUBÍK, L., PRÁŠKOVÁ, L., HOUČEK, J., MALÝ, S., FIALA, J., DAŇKOVÁ R. (2017): Kontrola a monitoring cizorodých látek v potravních řetězcích. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský v Brně, Zpráva za rok 2017. eagri.cz [online], [cit. 2020-10-22] dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/file/580591/KMCL2017.pdf>.

- [15] MARVAL, Š., HEJDUK, T., DUŠKOVÁ, K., TOMEK, M., VYBÍRAL, T., ROUB, R., VELÍSKOVÁ, Y., SOČUVKA, V., DUŠEK, P., HLAVÁČEK, J. (2018): Batymetrické měření pro stanovení morfologie dna vodní nádrže. VTEI 6 (60):15-20. ISSN 0322-8916.
- [16] NOVÁK, P., ROUB, R., VYBÍRAL, T., HLAVÁČEK, J., MARVAL, Š., HEJDUK, T., BUREŠ, L., HRADILEK, V., MÁCA, P., MAXOVÁ, J., PTÁČNÍKOVÁ, L., ČUBA, P., VACEK M. (2017): Nové technologie batymetrie vodních toků a nádrží pro stanovení jejich zásobních kapacit a sledování množství a dynamiky sedimentů. Certifikovaná metodika. VUMOP, v.v.i. 62 s. ISBN 978-80-87361-81-8.
- [17] HRADILEK, V., ROUB, R., NOVÁK, P., VYBÍRAL, T., MARVAL, Š., HEJDUK, T., HLAVÁČEK, J., BUREŠ L. (2017): Technologie připevnění a stabilizace měřicí aparatury RiverSurveyor M9 na kajaku za účelem měření batymetrie malých vodních nádrží, ověřená technologie, 47 str., ISBN 978-80-87361-72-6.
- [18] HLAVÁČEK, J., ROUB, R., MARVAL, Š., HEJDUK, T., ČUBA, P., HRADILEK, V., NOVÁK, P., VYBÍRAL, T., BUREŠ L. (2017): -Technologie připevnění a stabilizace měřicí aparatury RiverSurveyor M9 na trimaranu za účelem měření batymetrie malých vodních nádrží, ověřená technologie, 61 str., ISBN 978-80-87361-71-9.
- [19] MARVAL, Š., HEJDUK, T., VYBÍRAL, T., DUŠKOVÁ, K., TOMEK, T., FUČÍK, P., ZAJÍČEK, A., VACEK, M., ROUB, R. (2020): Ověřená technologie. 48 s. ISBN 978-80-88323-16-7 (tištěná verze), 978-80-88323-17-4 (online pdf).
- [20] ČSN EN ISO 10012 Systémy managementu měření – požadavky na procesy měření a měřicí vybavení.
- [21] Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 275/1998 Sb., o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků.
- [22] BARTH, D. S., MASON, B. J., STARKS, T. H., BROWN, K. H. (1989): EPA 600/8-89/046 - Soil Sampling Quality Assurance User's guide. Cooperative agreement No. CR 84701, 1989, 225 s.
- [23] CANET, R., CHAVES, F., POMARES, ALBIACH, R (2003): Agricultural use of sediments from the Albufera Lake (eastern Spain). Agriculture, Ecosystems & Environment [online]. 95(1), 29-36 [cit. 2019-01-28]. DOI: 10.1016/S0167-8809(02)00171-8. ISSN 01678809. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167880902001718>
- [24] SIGUA, G. C., HOLTKAMP, M. L., COLEMAN, S. W. (2004): Assessing the efficacy of dredged materials from lake panasoffkee, florida: Implication to environment and agriculture part 1. Environmental Science and Pollution Research [online]. 11(5), 321-326 [cit. 2019-01-28]. DOI:

10.1007/BF02979646. ISSN 0944-1344. Dostupné z:
<http://link.springer.com/10.1007/BF02979646>

- [25] GIRMAY, G., MITIKU H., SINGH B. R. (2009): Agronomic and economic performance of reservoir sediment for rehabilitating degraded soils in Northern Ethiopia. Nutrient Cycling in Agroecosystems [online]. 84(1), 23-38 [cit. 2019-01-28]. DOI: 10.1007/s10705-008-9222-y. ISSN 1385-1314. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10705-008-9222-y>
- [26] UGOLINI, F., CALZOLARI, C., LANINI, G., M. et al. (2017): Testing decontaminated sediments as a substrate for ornamentals in field nursery plantations. Journal of Environmental Management[online]. 197, 681-693 [cit. 2019-01-29]. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.03.064. ISSN 03014797. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479717302797>
- [27] PENG, J., Y., SONG, P., YUAN, X., C., QIU, G. (2009): The remediation of heavy metals contaminated sediment. Journal of Hazardous Materials [online]. 161(2-3), 633-640 [cit. 2019-02-06]. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.04.061. ISSN 03043894.
- [28] NOTEBAERT, B., VAES, B., VERSTRAETEN, G., GOVERS, G. (2006): WaTEM / SEDEM version 2006, Manual.

Seznam výsledků a publikací

V průběhu řešení, které předcházelo dosažení certifikované metodiky, byla pozornost soustředěna na dosažení odborných publikací. Cílem publikování dílčích výsledků bylo získání zpětné vazby odborné veřejnosti k prezentovaným dílčím poznatkům. Provedená odborná diskuse v rámci recenzního řízení přispěla nejen ke kvalitě samotného publikačního výstupu, ale rovněž k samotnému směřování prováděného výzkumu a především možné využitelnosti získaných poznatků v praxi.

V průběhu dosavadního řešení (2017 – 2020 / 6-2021) tak byly dosaženy následující publikace a výsledky aplikovaného výzkumu:

Postery

MARVAL, Š., HEJDUK, T., VYBÍRAL, T., DUŠKOVÁ, K. (2019): Rizikové prvky a cizorodé látky v zemědělských půdách a rybníčních sedimentech. Poster na konferenci Konference GIS Esri v ČR, Praha 6.-7.11.2019.

Příspěvky ve sborníku

MARVAL Š., HEJDUK, T., VELÍSKOVÁ, Y., SOČUVKA, V., DUŠEK, P., HLAVÁČEK, J., NOVÁK, P., ROUB, R., VYBÍRAL, T., BUREŠ, L. (2017): Automatizované monitorování morfologie dna vodních nádrží – pilotní studie vodárenská nádrž Nýrsko. Sborník Vodní toky 2017, Hradec Králové, s. 107-115.

MARVAL, Š., DURAS, J., MARCEL, M., HEJDUK, T., NOVÁK, P. (2018): Kvalita rybníčních sedimentů v zemědělsky využívaném povodí. Sborník příspěvků odborné konference Rybníky 2018, konané 14.-15.6.2018 v Praze, s.15-25. ISBN 978-80-01-06452-8. ISSN 2570-5075.

MARVAL Š., ZAJÍČEK A., HEJDUK T., DUŠKOVÁ K., TOMEK M., VYBÍRAL T. (2019): Vyhodnocení kvality rybníčních sedimentů v zemědělsky využívaném povodí Jickovického potoka. Ústní prezentace a příspěvek ve sborníku přednášek z konference Sedimenty vodních tokov a nádrží, Šamorín-Čilistov, Slovenská republika, 22.-23.5.2019, s. 25 - 36. ISBN 978-80-89740-21-5.

MARVAL Š., HEJDUK T., VYBÍRAL T., DUŠKOVÁ K., TOMEK M. (2019): Vyhodnocení meziroční dynamiky sedimentů v zemědělsky využívaném povodí. Poster ve sborníku přednášek z konference Sedimenty vodních tokov a nádrží, Šamorín-Čilistov, Slovenská republika, 22.-23.5.2019, s. 209 - 218. ISBN 978-80-89740-21-5.

MARVAL Š., HEJDUK T., ZAJÍČEK A., TOMEK M., DUŠKOVÁ K., VYBÍRAL T., NOVÁK P. (2019): Živiny v půdě, vodě a sedimentech rybníků (povodí Jickovického potoka). Ústní prezentace a příspěvek ve sborníku přednášek z konference Rybníky 2019, Praha 13.-14.6.2019, s. 41 - 52. ISBN 978-80-81-06595-2. ISSN 2570-5075.

Odborné články

NOVÁK, P., ROUB, R., HRADILEK, V., MARVAL, Š., HEJDUK, T., VYBÍRAL, T., BUREŠ, L. (2017): Batymetrický přístup pro stanovení zásobních kapacit, množství a dynamiky sedimentů vodních nádrží – pilotní studie vodní nádrže Němčice. Vodní hospodářství 8(67): 4-11. ISSN 1211-0760.

MARVAL, Š., HEJDUK, T., DUŠKOVÁ, K., TOMEK, M., VYBÍRAL, T., ROUB, R., VELÍSKOVÁ, Y., SOČUVKA, V., DUŠEK, P., HLAVÁČEK, J. (2018): Batymetrické měření pro stanovení morfologie dna vodní nádrže. VTEI 6 (60):15-20. ISSN 0322-8916.

KONEČNÁ J., KARÁSEK P., BEITLEROVÁ H., FUČÍK P., KAPIČKA J., PODHRÁZSKÁ J., KVÍTEK T. (2019): Using WaTEM/SEDEM and HEC-HMS models for the simulation of episodic hydrological and erosion events in a small agricultural catchment. Soil & Water Res. 1-12.

MARVAL, Š., HEJDUK, T., DURAS, J., TOMEK, M., VYBÍRAL, T., KAPLICKÁ, M., DUŠKOVÁ, K., (2020): Kvalita sedimentů vybraných rybníků v povodí vodárenské nádrže Žlutice, Vodní hospodářství 2(70): 30-38. ISSN 1211-0760.

MARVAL, Š., HEJDUK, T., ZAJÍČEK, T. (2020): An Analysis of sediment Quality from the Perspective of Land Use in the Catchment and Pond Management, Soil and Sediment Contamination, Volume 29, 2020 - Issue 4, pages 397- 420.

Specializována mapa s odborným obsahem

MARVAL, Š., HEJDUK, T., TOMEK, M., DUŠKOVÁ, K., VYBÍRAL, T., FUČÍK, P., ZAJÍČEK, A., MAXOVÁ, J., KAPLICKÁ, M., VACEK, M. (2019): Možnosti aplikace sedimentů na zemědělské půdě – interakce půda / voda / sediment (pilotní území Jickovického potoka). 37 s. ISBN 978-80-88323-00-6 (tištěná verze), ISBN 978-80-88323-01-3 (online pdf). Ministerstvo zemědělství ČR, Těšnov 65/17, Praha 1, 110 00, osvědčení č. 51374/2019-MZE-11122.

Odborné semináře

HEJDUK T., MARVAL Š. (2019): Odborný seminář projektu Sledování množství a kvality sedimentů ve vodních tocích a nádržích za účelem snižování znečištění z nebudových zdrojů. Dehtáře, 19.10.2017.

HEJDUK T., MARVAL Š. (2018): Seminář/Workshop Sedimenty z vodních toků a nádrží. 14. 11. 2018 Obec Dehtáře. Projekt TH02030399

MARVAL, Š., VYBÍRAL, T. (2019): Odborný seminář projektu Sledování množství a kvality sedimentů ve vodních tocích a nádržích za účelem snižování znečištění z nebudových zdrojů. Dehtáře, 13.11.2019.

HEJDUK T., MARVAL Š. (2020): Odborný seminář projektu Sledování množství a kvality sedimentů ve vodních tocích a nádržích za účelem snižování znečištění z nebudových zdrojů. Online seminář - 17. 12. 2020. Projekt TH02030399

Ověřená technologie

MARVAL, Š., HEJDUK, T., VYBÍRAL, T., DUŠKOVÁ, K., TOMEK, T., FUČÍK, P., ZAJÍČEK, A., VACEK, M., ROUB, R. (2020): Ověřená technologie. 48 s. ISBN 978-80-88323-16-7 (tištěná verze), 978-80-88323-17-4 (online pdf).

Software

VYBÍRAL, T., MARVAL, Š., HEJDUK, T., DUŠKOVÁ, K., TOMEK, T., FUČÍK, P., ZAJÍČEK, A., VACEK, M. (2020): SEDsoft, *Softwarový nástroj pro přípravu geometrických dat pro potřeby stanovení dynamiky - rozložení sedimentů ve vodní nádrži*, Software je k dispozici na www.georeal.cz.

Užitný vzor

HEJDUK, T., MARVAL, Š., ZAJÍČEK, A., VYBÍRAL, T., DUŠKOVÁ, K., TOMEK, M. (2020): Měřicí aparatura pro kvantifikaci množství sedimentů. Užitný vzor UV 34580, ÚPV Praha 24.11.2020.



Katalog opatření

TOMEK, M., MARVAL, Š., HEJDUK, T., DUŠKOVÁ, K., SÍTKOVÁ, V., VYBÍRAL, T., ZAJÍČEK, A., FUČÍK, P., VACEK, M. (2021): Katalog opatření omezujících sedimentaci nerozpustných látek ve vodních tocích a nádržích. 93 s. ISBN 978-80-88323-36-5 (tištěná verze), 978-80-88323-37-2 (online pdf)



Certifikační doložka

Dedikace

Certifikovaná metodika vznikla za finanční podpory Technologické agentury ČR, programu EPSILON jako plánovaný výstup projektu č. TH02030399 - „Sledování množství a kvality sedimentů ve vodních tocích a nádržích za účelem snižování znečištění z nebudových zdrojů“ a za institucionální podpory Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy, v.v.i. č. MZE-RO0218.

Jména oponentů

Odborník z daného oboru:

Ing. Ivan Dalík

PIK Vítek s.r.o.

Projekční a inženýrská kancelář - jednatel

Kořenského 1025/7, 150 00 Praha - Smíchov

Tel.: +420 251 101 011

E-mail: ivan.dalik@pikvitek.cz

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

Odborník ze státní správy:

Ing. Marek Batysta, Ph.D.

Ministerstvo zemědělství ČR

Odbor zemědělských registrů

Těšnov 65/17, 110 00 Praha 1

Tel.: +420 221 812 687

E-mail: marek.batysta@mze.cz

www.cagri.cz



Kontakty na osoby předkladatele certifikované metodiky

Ing. Štěpán MARVAL
Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.
Žabovřeská 250
Praha 5 – Zbraslav, 156 27
Tel.: + 420 724 396 312
E-mail: marval.stepan@vumop.cz
www.vumop.cz

Ing. Tomáš VYBÍRAL, Ph.D.
GEOREAL spol. s r.o.
Hálkova 12
301 00 Plzeň
Tel.: +420 373 733 431 / +420 724 025 477
E-mail: tomas.vybiral@georeal.cz
<http://www.georeal.cz>

Ing. Martin TOMEK
Vodohospodářský rozvoj a výstavba a.s.
Vedoucí projektového týmu Plánování a koncepce
Nábřežní 4, 150 56 Praha 5 – Smíchov
Tel.: +420 732 532 225
E-mail: tomek@vrv.cz
<http://www.vrv.cz>

Certifikační osvědčení

Metodiku schválilo pro využití v praxi Ministerstvo zemědělství -
Těšnov 65/17, 110 00 Praha 1, osvědčením č. MZE-34501/2021-11122 ze
dne 3. 6. 2021.

Prohlášení předkladatele certifikované metodiky

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

Ze strany zpracovatele (v zastoupení Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy, v.v.i.) byly uzavřeny celkem tři smlouvy o využití výsledku (typu Nmet - certifikovaná metodika) s konkrétním uživatelem.

První subjekt z komerční sféry je představován společností ORLÍK NAD VLTAVOU, s.r.o., Bělohorská 165, 169 00 Praha 6, IČO: 45023930 (Středisko rybářství, kde na vybraných rybnících probíhal pilotní výzkum).

Kromě uzavření smlouvy s uvedeným subjektem byla smlouva o využití výsledku (metodiky) uzavřena rovněž s uživatelem z oboru geodézie, a sice v podobě firmy Geotan, s.r.o. - Zikmunda Wintra 8, 30100, Plzeň, IČO: 26346257.

Pro zajištění komplexního pokrytí řešení výzkumné agendy metodiky byla uzavřena smlouva o využití rovněž se zemědělskou společností v podobě Zemědělského družstva Kovářov, Kovářov 113, 398 55, Kovářov, IČO: 00112437.

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

Předkladatel metodiky souhlasí s uveřejněním metodiky na webových stránkách certifikačního orgánu - Ministerstva zemědělství, Sekce státního tajemníka - Odbor zemědělských registrů.

Citace

MARVAL, Š., HEJDUK, T., DUŠKOVÁ, K., VYBÍRAL, T., TOMEK, T., ROUB, R., ZAJÍČEK, A., FUČÍK, P., VACEK, M. (2021): **Sedimenty v zemědělsky využívaných povodích (interakce půda, voda, sediment)**. Certifikovaná metodika. 90 s. ISBN 978-80-88323-38-9 (tištěná verze), 978-80-88323-39-6 (online pdf).



Summary

The methodology offers a comprehensive approach to addressing the issue of sedimentation in watercourses and reservoirs. By applying the knowledge gained and implemented in the methodology, it will be possible to effectively define appropriate ways of dealing with the extracted sediment (in relation to its quality and the quality of the soil of agricultural land). Among other things, the methodology makes it possible to determine appropriate measurement methods for quantifying the amount of sediment, its collection, including the choice of appropriate technical equipment.

An integral part of the methodology are the principles and practical procedures for the assessment of the pond in terms of sediment quantity, the assessment of the pond in terms of sediment quality, including the assessment of the soil quality of the agricultural land surrounding the pond, which are demonstrated through model projects (three model reservoirs). In contrast, a separate part of the methodology is a catalogue of measures to limit the sedimentation of suspended solids in watercourses and reservoirs. This catalogue contains suitable measures that can be applied to deal with sedimentation in watercourses and reservoirs.

T A

Č R

Technologická
agentura
České republiky

Název	Sedimenty v zemědělsky využívaných povodích (interakce půda, voda, sediment)
Autoři	Ing. Štěpán Marval, Ing. Tomáš Hejduk, Ph.D., Ing. Klára Dušková, Ing. Tomáš Vybíral, Ph.D., Ing. Martin Tomek, Ing. Radek Roub, Ph.D., Mgr. Antonín Zajíček, Ph.D., Ing. Petr Fučík, Ph.D., Ing. Martin Vacek
Vydal	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.
Vydání	První vydání, 2021
Počet stran	90
Náklad	50
Tisk	Rhodos spol. s r.o., Vyšehradská 51, 128 00 Praha 2
Distribuce	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. Žabovřeská 250, 156 27, Praha 5
ISBN	Tištěné: 978-80-88323-38-9 PDF: 978-80-88323-39-6