

METODICKÁ PODPORA MANAGEMENTU HRÁZOVÝCH SYSTÉMŮ



Jaromír Říha a kol.

Metodická podpora managementu hrázových systémů

Jaromír Říha a kol.

Certifikovaná metodika

Vydavatel:
Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební
Veveří 95, 602 00 Brno

Tisk:
Ing. Vladislav Pokorný - LITERA Brno,
Tábor 43a, 612 00 Brno

Vydání první

ISBN 978-80-214-5946-5

T A

Č R

Technologická
agentura
České republiky

Program **Théta**

Tato publikace je certifikovanou metodikou uznanou osvědčením č. 03/2021 vydaným *Odborem státní správy ve vodním hospodářství a správy povodí, Ministerstva zemědělství* v souladu s podmínkami *Metodiky hodnocení výzkumných organizací a programů účelové podpory výzkumu, vývoje a inovací* schválené usnesením vlády dne 8. února 2017, č. 107 a její samostatné přílohy č. 4 schválené usnesením vlády dne 29. listopadu 2017, č. 837.

Tato certifikovaná metodika je výsledkem řešení výzkumného projektu TAČR č. TH04030087 *Nástroje pro optimalizaci managementu správy hrázových systémů*.

Název:

Metodická podpora managementu hrázových systémů

Vedoucí autor, editor: Prof. Ing. Jaromír Říha, CSc.
Spoluautoři: Ing. Tomáš Julínek, Ph.D.
Ing. David Duchan, Ph.D.
Ing. Pavel Menšík, Ph.D.

Recenzenti: Ing. Karel Drbal, Ph.D.
Ing. Mojmír Pehal

Foto na přebalu: Ing. David Duchan, Ph.D.

Počet stran: 57

Adresa autorů:

Ústav vodních staveb FAST VUT v Brně

Veveří 95, 602 00 Brno

tel. 541147753, fax 541147752, e-mail: riha.j@fce.vutbr.cz

Předmluva

Mezi nejčastější strukturální opatření na ochranu před povodněmi patří ochranné hráze (OH) umístované převážně podél vodních toků. Jejich budování prodělalo historický vývoj spolu s rozvojem na plochách v inundačním území. Parametry hrází jsou dány dobovým přístupem k míře ochrany ploch v zaplavovaném území, dobovými znalostmi hydrologických podmínek lokality a samotnými stavebními možnostmi. Pro zajištění protipovodňové funkce se kromě hrází navrhuje vzdouvací stavby na vodních tocích, hrázové propusti, čerpací stanice, hrázové přelivy, systémy kanálů a obtokových ramen umožňujících převody vody, apod. Často jde o poměrně složité systémy se vzájemně propojenými prvky a vazbami na okolí.

Správci toků v České republice (ČR) spravují tisíce kilometrů ochranných hrází různého stáří a návrhových parametrů. Hráze jsou společně s úpravami toků nejvýznamnějším druhem technického opatření, které snižuje povodňová rizika. V rámci snahy státu, samospráv i soukromých subjektů vznikají další nová protipovodňová opatření sloužící k lokální ochraně, která mají většinou formu liniových prvků. Správci vodních toků i odborná veřejnost si uvědomují, že každá lokální ochrana vede na jedné straně k omezení zaplavování chráněného území, zároveň však může vyvolat zhoršení průběhu povodňové vlny nebo zvýšit frekvenci zaplavování území v dílčích povodích ležících níže po toku. Vybudováním linie protipovodňových opatření (PPO) současně dojde k částečnému oddělení vodního toku od údolní nivy a k ovlivnění její ekologické funkce. V oblasti managementu hrázových systémů ve vztahu k základním oblastem řízení a správy vodohospodářských systémů vzniká potřeba vytvořit nástroje pro objektivnější posouzení a podporu záměrů v území a pro kvantifikaci jejich globálního efektu. Jedná se o otázky racionalizace zvládání povodňových rizik, parametrů, technického stavu a spolehlivosti ochranných prvků, zlepšení hydromorfologického stavu toků a přilehlého území a zlepšení retenční schopnosti území. V současnosti není k dispozici nástroj pro ucelenou analýzu těchto problémů v širším území povodí.

Cílem této publikace, která je současně certifikovanou metodikou pro danou problematiku, je vytvoření metodické podpory pro optimalizaci systému ochranných hrází a postupů aplikovatelných v rámci územního plánování směrem k dosažení vyváženého rozvoje území. Dílčím cílem je poskytnout souhrnný a systematický přehled postupů pro optimalizaci hrázových systémů na základě domácích i zahraničních zkušeností a dostupných pramenů. Metodika poskytuje podklad pro optimalizaci využití stávající soustavy z hlediska finančních nákladů, řízení a úpravy konstrukcí, jako je např. odstranění nefunkčních či nepotřebných hrázových konstrukcí, jejich vyjmutí z evidence nebo optimální doplnění.

V prvních kapitolách je uvedena související terminologie, stručně je komentován soubor existujících předpisů a podkladů používaných při návrhu a správě hrázových systémů. Následuje metodická část obsahující optimalizační postup pro hledání vhodné varianty pro management hrázových systémů.

Tato práce shrnuje výsledky výzkumného projektu TAČR č. TH04030087 Technologické agentury České republiky *Nástroje pro optimalizaci managementu správy hrázových systémů*. Metodika je certifikována Ministerstvem zemědělství, Odborem vědy, výzkumu a vzdělávání dle postupu [5]. V souladu s [5] metodika obsahuje následující závazné části:

- Cíl metodiky - kapitola 1.1,
- Vlastní popis metodiky - kapitoly 3 až 6,
- Zdůvodnění „novosti postupů“ (jde o novou metodiku) - předmluva, kapitola 1.1.
- Popis uplatnění metodiky - předmluva, kapitoly 1, 7.
- Ekonomické aspekty
 - zavedení postupů uvedených v metodice nebude vyžadovat náklady,
 - ekonomický přínos pro uživatele bude záviset na ploše spravovaného povodí a rozsahu systémů ochranných hrází, odhaduje se v rozsahu stovek tisíc až milionů Kč/rok.
- Seznam použité související literatury a publikací - kapitoly 2 a 8.
- Seznam publikací, které předcházely metodice - kapitola 8.3.
- Jména oponentů - předmluva.
- Dedikace - tiráž, předmluva.

Certifikovaná metodika najde uplatnění při návrzích na budování nových ochranných hrází, při jejich správě a rekonstrukcích a zejména může být podkladem pro návrh odstranění stávajících neefektivních konstrukcí. Je tak vhodným podkladem pro činnost správců povodí a významných vodních toků, projektantů a výzkumných pracovníků.

Autoři práce děkují všem spoluřešitelům – pracovníkům Povodí Moravy, s. p., zejména Ing. Ivě Jelínkové, Ing. Vlastimilu Krejčímu, Mgr. Janě Ošlejškové a Davidu Čížkovi, DiS. a také externím konzultantům, kteří svými připomínkami, náměty a cennými radami napomohli k jejímu sestavení. Zvláštní dík patří recenzentům práce Ing. Karlu Drbalovi, Ph.D. vedoucímu brněnské pobočky Výzkumného ústavu vodohospodářského TGM a Ing. Mojžíru Pehalovi, vedoucímu Odboru životního prostředí Krajského úřadu Jihomoravského kraje, za cenné náměty a připomínky.

V Brně, 2021

Jaromír Říha

OBSAH

1.	ÚVOD	7
1.1	VYMEZENÍ CÍLŮ A OBSAHU PUBLIKACE	7
1.2	TERMINOLOGIE	7
2.	PŘEHLED VYBRANÝCH PŘEDPISŮ	14
2.1	ZÁVAZNÉ PŘEDPISY	14
2.2	DALŠÍ PŘEDPISY	14
2.3	SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY	15
2.4	DOPORUČENÉ ZAHRANIČNÍ PODKLADY	15
2.4.1	<i>Německo</i>	<i>15</i>
2.4.2	<i>Rakousko</i>	<i>15</i>
3.	DATA O OCHRANNÝCH HRÁZÍCH	16
3.1	SOUHRNNÝ VÝČET DAT O HRÁZOVÝCH SYSTÉMECH	16
3.1.1	<i>Geografická data</i>	<i>16</i>
3.1.2	<i>Oborová data</i>	<i>17</i>
3.1.2.1	<i>Obecné informace</i>	<i>17</i>
3.1.2.2	<i>Technická data</i>	<i>17</i>
3.1.2.3	<i>Údaje o provozu</i>	<i>18</i>
3.2	ZDROJE DAT A DOKUMENTACE	18
3.3	SPRÁVA DAT A INFORMACÍ	21
3.4	KVALITA DAT	23
4.	SYSTÉMOVÁ ANALÝZA	25
4.1	SYSTÉM INUNDAČNÍHO ÚZEMÍ A OCHRANNÝCH HRÁZÍ	25
4.1.1	<i>Definice systému</i>	<i>25</i>
4.1.2	<i>Účel a cíle systému ochranných hrází</i>	<i>25</i>
4.1.3	<i>Stav systému</i>	<i>26</i>
4.1.4	<i>Chování systému</i>	<i>27</i>
4.2	ANALÝZA SYSTÉMU OCHRANNÝCH HRÁZÍ	28
4.3	POSTUP PŘI ANALÝZE SYSTÉMU OH	28
4.3.1	<i>Analýza problému</i>	<i>28</i>
4.3.2	<i>Definice systému a rozbor jeho funkce</i>	<i>28</i>
4.3.3	<i>Návrh možných variant systému</i>	<i>28</i>
4.3.4	<i>Identifikování jiných systémů</i>	<i>29</i>
4.3.5	<i>Formulace problému a sestavení modelu</i>	<i>29</i>
4.3.6	<i>Zajištění vstupních dat</i>	<i>29</i>
4.3.7	<i>Řešení optimalizační úlohy nad alternativami systému</i>	<i>29</i>
5.	METODY OPTIMALIZACE	30
5.1	ROZHODOVÁNÍ	30
5.1.1	<i>Stanovení kritérií hodnocení</i>	<i>30</i>
5.1.2	<i>Určení důsledků variant</i>	<i>30</i>
5.1.3	<i>Hodnocení a výběr varianty určené k realizaci</i>	<i>30</i>
5.1.4	<i>Realizace zvolené varianty</i>	<i>31</i>
5.2	OPTIMALIZACE	31

5.3	KRITÉRIA	31
5.3.1	<i>Socioekonomické hledisko</i>	31
5.3.2	<i>Technické hledisko</i>	31
5.3.3	<i>Environmentální hlediska</i>	32
5.3.4	<i>Soulad s obecnými požadavky</i>	32
5.3.5	<i>Souhrnný přehled hodnotících kritérií</i>	33
5.3.6	<i>Postup hodnocení</i>	33
5.4	VÁHY KRITÉRIÍ.....	34
5.4.1	<i>Výsledky hodnocení respondentů</i>	34
5.4.2	<i>Párové porovnání</i>	36
5.4.3	<i>Volba vah</i>	36
5.5	SESTAVENÍ ÚČELOVÉ FUNKCE	37
6.	NÁSTROJE OPTIMALIZACE	39
6.1	MATEMATICKÉ MODELÝ	39
6.1.1	<i>Srážkoodtokové modely</i>	39
6.1.2	<i>Hydraulické modely</i>	41
6.2	RIZIKOVÁ ANALÝZA	42
6.2.1	<i>S1 – Poměrový ukazatel efektivnosti PPO</i>	43
6.2.2	<i>S2 – Absolutní efektivnost PPO</i>	43
6.3	HODNOCENÍ TECHNICKÉHO STAVU.....	44
6.4	HODNOCENÍ STAVU ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ.....	46
6.4.1	<i>E1 – Koeficient ekologické stability</i>	46
6.4.2	<i>E2 – Ekologický stav vodních útvarů</i>	46
6.4.3	<i>E3 – Ovlivnění krajinných prvků</i>	48
6.5	D – HODNOCENÍ SOULADU S OBECNÝMI POŽADAVKY	48
6.6	NÁSTROJE GIS	49
6.6.1	<i>Import dat do geodatabáze</i>	49
6.6.2	<i>Analýza výsledků hydraulických modelů</i>	50
6.6.3	<i>Tvorba specializovaných map</i>	50
7.	ZÁVĚR.....	51
8.	SEZNAM POUŽITÝCH PRAMENŮ	52
8.1	DOSTUPNÁ LITERATURA.....	52
8.2	PRÁVNÍ, NORMATIVNÍ A METODICKÉ PODKLADY	54
8.2.1	<i>Zákony</i>	54
8.2.2	<i>Vyhlášky</i>	54
8.2.3	<i>Technické normy</i>	54
8.2.4	<i>Metodické pokyny, směrnice a další podklady</i>	55
8.3	PUBLIKACE, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE.....	56
9.	SEZNAM ZKRATEK.....	57

1. ÚVOD

1.1 Vymezení cílů a obsahu publikace

Management hrázových systémů zahrnuje řadu oblastí. Zahrnuje tyto kroky:

- 1) Definice systému a podsystémů.
- 2) Analýza systému – vymezení prvků a jejich důležitosti.
- 3) Metoda optimalizace – sestavení účelové funkce a omezujících podmínek.
- 4) Analýza datové báze a kombinace vstupních informací s rozdílnou podrobností, přesností, spolehlivostí, atd.
- 5) Návrh postupů pro hodnocení stávajícího stavu systému.
- 6) Možnosti dalšího rozvoje s důrazem na využití retenčních možností oblasti, řízení systému ve formě blízké soustavě nádrží, hydromorfologie, apod.
- 7) Využití dostupných a tvorba nových nástrojů prostorové analýzy. Aplikace těchto nástrojů a vytvoření podkladů pro koncepční rozhodování.

Pro optimalizaci managementu ochranných hrází není v současné době vytvořena jednotná metodika. Cílem metodiky tak je poskytnout ucelený podklad pro rozhodování z hlediska koncepčního návrhu, výstavby, rekonstrukce, provozu popř. odstraňování ochranných hrází jako systémů ochranných hrází v širším povodí. Znamená to, že metodika bude sloužit pro činnost správce povodí v oblasti managementu ochranných hrázových systémů.

1.2 Terminologie

Uvedená terminologie vychází z platných názvoslovných norem vodního stavitelství a hospodářství [ČSN 75 0101, ČSN 75 0120] a byla projednána širším kolektivem odborníků působících v oboru ochranných hrází. Další související pojmy lze nalézt v příslušných technických normách úprav toků a přehradního inženýrství. Některé termíny jsou obecnějšího charakteru a používají se i v jiných oborech.

Terminologická spojení přídatných jmen jsou řazena zásadně podle podstatných jmen, opakující se základní tvar hesla (spojení hesel) je nahrazen odrazkou.

Analýza – podrobný rozbor jakéhokoliv celku, který se provádí za účelem poznání, resp. pochopení povahy tohoto celku, nebo pro stanovení jeho podstatných rysů a vlastností [Sluka 2005].

- **nákladů a užitků** – porovnává v peněžních jednotkách náklady a přínosy. Náklady se obvykle týkají jak údržby, opravy nebo rekonstrukce vodního díla, tak výdajů spojených s organizačními činnostmi, jako je krizové řízení a zajištění evakuace v případě poruchy vodního díla.
- **rizika** – proces analýzy nebezpečí při určité činnosti v rámci určitého systému a odhad rizika pro lidi, životní prostředí a majetek, které toto nebezpečí představuje.
- **systému** – vyšetřování vlastností a chování systému, tj. systému s danou strukturou.

- **vícekritériální** – slouží k analýze složitých rozhodovacích situací, které musí respektovat řadu kritérií, často protichůdných, kdy řešení není na první pohled jednoznačné; na základě vícekritériální analýzy je možné vybrat jednu z množiny posuzovaných variant, případně seřadit varianty podle výhodnosti dle daných preferencí.

Bezpečnost – vlastnost systému neohrožovat lidské zdraví nebo životní prostředí při plnění předepsané funkce po stanovenou dobu a za stanovených podmínek [ČSN 01 0102].

Čára

- **břehová** – průsečnice břehu s plochou přilehlého území. Souvislá čára určená hladinou vody, která stačí protékat mezi břehy, aniž by se vylévala do přilehlých území. V případě ohrázaného koryta se jedná o vnitřní hranu koruny ochranné hráze [ČSN 75 0120].
- **záplavová** – průsečnice hladiny vody s terénem při zaplavení území za povodně (při průchodu příslušné *N*-leté povodňové vlny) [ČSN 75 0120].

Dílo vodní – stavba, která slouží ke vzdouvání a zadržování vod, umělému usměrňování odtokového režimu povrchových vod, k ochraně a užívání vod, k nakládání s vodami, ochraně před škodlivými účinky vod, k úpravě vodních poměrů nebo k jiným účelům sledovaným zákonem č. 254/2001 Sb. Mezi vodní díla patří zejména přehrady, hráze a vodní nádrže.

- **určené** – vodní dílo podléhající technickobezpečnostnímu dohledu [Zákon č. 254/2001 Sb., vyhláška č. 471/2001 Sb., § 2, odst. i)].

Dohled technickobezpečnostní nad vodními díly (TBD) – zjišťování technického stavu vodních děl sloužících ke vzdouvání nebo zadržování vody, a to z hlediska bezpečnosti, stability a možných příčin jejich poruch [Zákon č. 254/2001 Sb., vyhláška č. 471/2001 Sb.].

Hladina návrhová – hladina při návrhovém průtoku (obr. 1.2).

Hodnocení rizika – proces, v němž se na jedné straně provádí riziková analýza (RA) vedoucí k odhadu rizika, na druhé straně se rozhoduje, zda je existující riziko přijatelné a zda jsou opatření snižující riziko adekvátní. Hodnocení sestává z identifikace nebezpečí, hodnocení expozice a odhadu rizika.

Hodnota majetku v území – stanoví se v peněžních jednotkách z územních majetkových ukazatelů a plochy jednotlivých kategorií území.

Hráz ochranná (OH) – konstrukce podél vodního toku zajišťující ochranu pozemků a staveb před zaplavením při vysokých vodních stavech. Hráze jsou obvykle tvořeny ze zemin. Slouží k ochraně inundačního území před povodní u tekoucích vod a jsou využívány oproti vzdouvacím hrázím pouze při povodni [ČSN 75 0120]. Je možné je dělit následovně (obr. 1.1):

- **hlavní (primární)** – ochranná hráz s ochranou, která je dimenzována na velké a extrémní povodně [DIN 19712],
- **mrtvá** – hráz, která v důsledku úprav toku, morfologických změn nebo linie PPO ztratila svou funkci, ale může být zachována jako sekundární,
- **obvodová** – obklopuje chráněné území ze všech stran [DIN 19712],

- **odsazená** – hráz sloužící ke zvýšení kapacity koryta umělého nebo přirozeného toku, hráz je vybudována ve větší vzdálenosti od toku [DIN 19712],
- **otevřená** – je napojena na výše položený terén pouze na horním konci, na dolním konci může být vystavena zpětnému vzduť, a to jak ze strany návodního, tak i vzdušního svahu [DIN 19712],
- **pobřežní** (přílehlá) – hráz sloužící k vytvoření koryta umělého toku nebo ke zvýšení břehu přirozeného toku a tím ke zvětšení kapacity jeho koryta; přílehlé ochranné hráze jsou součástí příčného profilu vodního toku [ČSN 75 0120],
- **s nízkou ochranou** – ochranná hráz, která zpravidla chrání zemědělsky využívané plochy před poměrně častými malými a středními povodněmi [DIN 19712],
- **sekundární** – funguje jako druhá hrázová linie, která je obvykle odsazená za hrázi s nízkou ochranou a zajišťuje vyšší ochranu vzdálenějšího zahrází [DIN 19712],
- **usměrňovací** – ochranná hráz usměrňující povodňový průtok daným směrem [DIN 19712],
- **uzavřená** (napojovací) – ochranná hráz, která je zavázána na obou svých koncích na výše položený terén [DIN 19712],
- **vnitřní** – hráz, která dělí poldr od ostatního zahrází tak, aby se omezily škody při přelítí či porušení primární ochranné hráze [DIN 19712],
- **zavazovací** (křídlová) – část hráze, která spojuje hrázový úsek s výše položeným terénem [DIN 19712],
- **zemní** – ochranná hráz vytvořená z vhodných zemin,
- **zpětná** – hráz prodloužená ve směru proti toku přítoku ohrázovaného toku. Zajišťuje ochranu před vlivem zpětného vzduť [ČSN 75 0120].

Hydromorfologie – fyzikální a hydrologické charakteristiky řek.

Charakteristika území – vyjadřuje plošné procentuální zastoupení *kategorii území*.

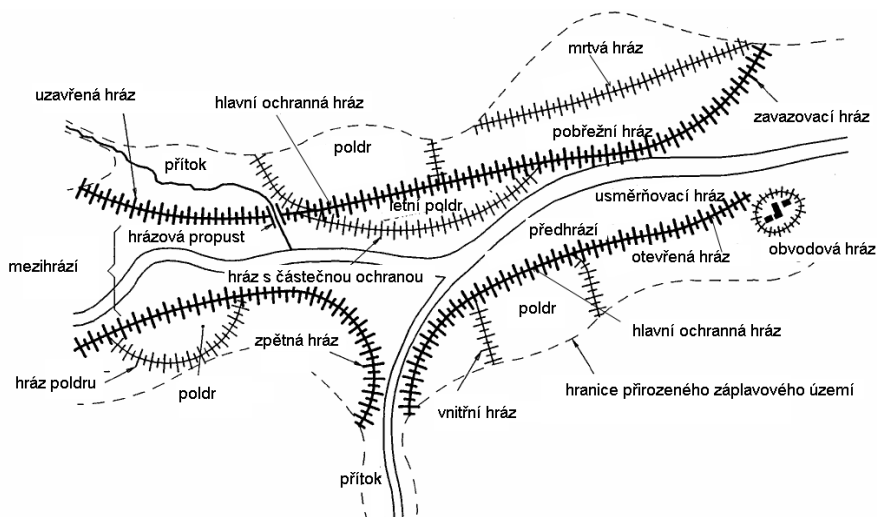
Charakteristiky

- **hydromorfologické vodních toků:**
 - **makrostruktury** – říční síť, typ údolí, průběh koryta, charakteristiky podélného profilu,
 - **mezostruktury** – tvar a stabilita příčného profilu, erozní a akumulární tvary,
 - **mikrostruktury** – charakter a diverzita substrátu, akumulace detritu.

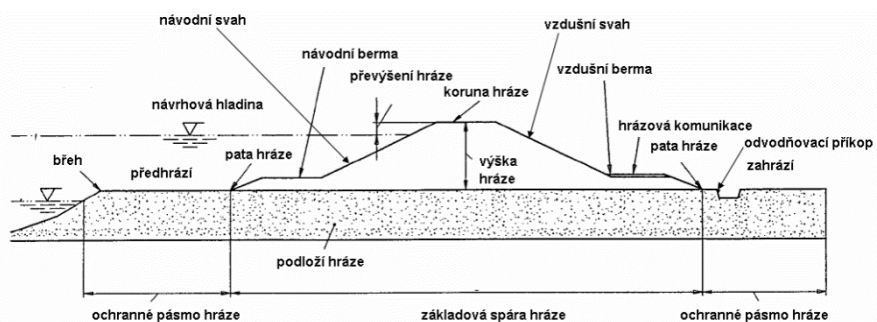
Inundace řízená – řízené (regulovatelné) zaplavování území.

Kapacita

- **koryta toku** – největší průtok, který proteče daným příčným profilem toku, aniž voda vystoupí z koryta [ČSN 75 0120],
- **ohrázovaného úseku toku** – největší průtok, který proteče daným příčným profilem ohrázovaného toku, aniž voda přelije hráz.



Obr. 1.1 Typy ochranných hrází



Obr. 1.2 K terminologii ochranných hrází

Kategorizace určeného vodního díla – zařazování určených vodních děl do kategorií z hlediska technickobezpečnostního dohledu. Základním hlediskem odstupňování je klasifikace škod, k nimž by došlo, kdyby se vzdouvací konstrukce určeného vodního díla protrhla při plném vzduťi vody.

Mezihrází – pruh území mezi ochrannými hrázemi, kterým protéká vodní tok (obr. 1.1) [ČSN 75 0120].

Náklady

- **investiční** – vstupují do pořizovací ceny dlouhodobého majetku, je to cena na pořízení majetku a další vedlejší náklady na pořízení,
- **provozní** – neinvestiční náklady vynaložené na zajištění provozu, na nákup drobných zdrojů, na jejich provoz, opravy, údržbu a nákup služeb.

Niva údolní – plochá část dna údolí toku podél vodního toku, tvořená říčními náplavy s kolísající hladinou podzemní vody; při povodních bývá zpravidla zaplavována [ČSN 75 0120].

Objekt – část nebo součást systému, zařízení, funkční jednotka nebo přístroj, kterým je možné se individuálně zabývat.

Odhad rizika – část rizikové analýzy, jejímž cílem je stanovit míru rizika, kterému je vystaveno životní prostředí, tj. jeho složky jako jsou zdraví, životy a majetek lidí (společnosti). Odhad rizika sestává z pravděpodobnostní analýzy poruch, analýzy dopadů a jejich spojení integrací na dané oblasti.

Odlehčení – odvádění části průtoku do prostoru řízených rozlivů. Odlehčení se uskutečňuje pomocí odlehčovacích ramen, hrázových přelivů, apod.

Ochrana před povodněmi, protipovodňová ochrana (PPO) – soubor opatření k předcházení nebo snížení nežádoucích důsledků povodně [ČSN 75 0101].

Ochranná hráz (OH) – viz hráz ochranná.

Optimalizace – snaha o nalezení takových hodnot proměnných, pro které daná cílová či účelová funkce nabývá minimální nebo maximální hodnoty [[https://cs.wikipedia.org/wiki/Optimalizace_\(matematika\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Optimalizace_(matematika))].

Pásmo ochranné – pruh vymezeného území podél vzdušní a návodní paty ochranné hráze. Ochranné pásmo hráze není taxativně dáno, pro ochranu vodního díla se samostatně legislativně stanovuje.

Povodeň – hydrologický jev, jehož příčinou mohou být například srážky, tání sněhu, případně další meteorologické jevy nebo lidská činnost, který se zpravidla projevuje výrazným zvýšením odtoku povrchových vod, zvýšením hladiny podzemních vod, přechodným zaplaviteláním zemského povrchu či erozními procesy; ve vztahu ke vzniku povodňových škod je definována jako přechodné výrazné zvýšení hladiny ve vodních tocích nebo jiných povrchových vodních útvech, při kterém již voda zaplavuje území mimo koryto vodního toku a může způsobit škody. Rozlišuje se povodeň:

- **kontrolní** – povodeň, na kterou jsou navrhovány bezpečnostní prvky hráze. Při této povodni dochází k relativně bezpečnému zatápní zahrází aniž by hrozil vznik zvláštní povodně vlivem protržení hráze,
- **návrhová** – povodeň, na kterou je navrhována protipovodňová ochrana resp. ochranná hráz. Při této povodni nedojde k zaplavitelání zahrází s možnou výjimkou řízených inundací,
- **přírozená** – způsobená přírodními jevy, zejména táním, dešťovými srážkami nebo chodem ledů [Zákon 254/2001 Sb.],
- **zvláštní** – způsobená zejména poruchou vodního díla, která může vést až k jeho havarii (protržení) nebo nouzovým řešením kritické situace na vodním díle.

Propust hrázová – funkční objekt sloužící k převádění vody tělesem ochranné hráze; objekt sestává obvykle z potrubí nebo betonového polorámu v tělese hráze a z uzávěru.

Prostředí životní – vše, co vytváří přirozenou existenci organismů včetně člověka a je předpokladem jejich dalšího vývoje. Jeho složkami jsou zejména ovzduší, voda, horniny, půda, organismy, ekosystémy a energie.

Prvek – samostatně uvažovaná a dále nedělitelná část objektu, popř. systému [ČSN 01 0102].

- **bezpečnostní** – objekt na hrázi, který umožní bezpečné přelévání hráze, aniž by došlo k jejímu protržení.

Předhrází – pruh území mezi korytem toku a ochrannou hrází (obr. 1.2) [ČSN 75 0120].

Přeliv v ochranné hrázi – úsek snížené a zpravidla opevněné koruny hráze, umožňující přepad vody za průtoků vyšších, než je návrhový průtok pro kapacitu koryta vodního toku [ČSN 75 0120]. Jedná se o bezpečnostní prvek hráze.

Převýšení hráze – svislá vzdálenost mezi korunou hráze a hladinou návrhové povodně.

Příslušenství ochranné hráze – zařízení funkčně doplňující ochrannou hráz; k příslušenství hrází náleží přejezdy, rampy, závory, apod. [ČSN 75 0120].

Rekonstrukce hráze – cílená změna návrhových parametrů hráze.

Riziko – je vyjádřeno pravděpodobností výskytu nežádoucího jevu a nepříznivých dopadů na životy, zdraví, majetek nebo životní prostředí. Obecně je riziko spřažením nebezpečí, zranitelnosti a expozice.

Spolehlivost – vlastnost objektů spočívající ve schopnosti plnit požadované funkce při zachování provozních ukazatelů v daných mezích a po stanovenou dobu (životnosti). Kvantifikátorem je pravděpodobnost, že nedojde k poruše.

Správa vodního díla – všechny činnosti, které vlastník resp. správce vodního díla má za povinnost provádět dle platných předpisů.

Stav ekologický – vyjádření kvality struktury a funkce vodních ekosystémů na základě porovnání převládajících podmínek s referenčními podmínkami [ČSN 75 7723].

Stavba vzdouvací – stavba na vodním toku vzdouvající v něm vodu a vytvářející vodní nádrž nebo zdrž [ČSN 75 0120].

Struktura systému – počet prvků daného systému, uspořádání a charakter vzájemných vazeb mezi těmito prvky a uspořádání a charakter vazeb mezi prvky systému a okolím. Daná struktura určuje chování daného systému. Stejně nebo velmi podobné chování může být výsledkem různých struktur.

Subsystém – část systému, která je z určitého důvodu vyčleněna z daného systému a ve které mají prvky mezi sebou užší vazby než s jinými prvky systému.

Systém (soustava) – účelově definovaná množina prvků hierarchicky propojených s přesně definovanými vzájemnými vztahy. V případě záplavového území je to ohraničená fyzikální entita, která zahrnuje koryto toku včetně inundačního území, ochranných hrází, přehrad, nádrží, území pod hrázemi a všechny prvky přímo, popř. nepřímo dotčené povodní, resp. poruchou hráze a jejich částí.

- **hrázový** – soustava ochranných hrází a souvisejících objektů, které jako celek slouží k ochraně před povodněmi.

Škoda je ztráta obvykle vyjádřená v peněžních jednotkách (ekonomická škoda), ale také jinak (mimoekonomické škody). Je vyjádřením rozsahu poškození nebo zničení, smrti, zranění, ztráty majetku, obchodní ztráty, atd. Škody vznikají důsledkem živelní události nebo negativní lidské činnosti. Např. povodně způsobují ztráty na lidských životech, destrukci budov a zařízení, zničení komunikací (železnic, silnic, dálnic, mostů), zničení veřejných objektů a zařízení (elektrické sítě, rozvody vody apod.). K ekologickým škodám patří znečištění povrchových a podzemních vodních zdrojů, zničení zemědělské půdy a lesů, změny říčního toku, sesuvy půdy, zanesení ploch bahnem atd.

Údržba – soubor všech technických a administrativních činností, které mají zajistit, že se zachová provozuschopný stav díla, popř. zařízení, nebo při poruše bude tento stav rychle obnoven.

Újma ekologická – ztráta nebo oslabení přirozených funkcí ekosystémů, vznikající poškozením jejich složek nebo narušením vnitřních vazeb a procesů zejména v důsledku lidské činnosti (§ 10 zákona č. 17/1992). Újma se finančně určuje obtížně, obvykle se stanoví jako kompenzace. Odstranění následků se stanovuje na základě § 86 zákona č. 114/1992 Sb. Pokud uvedení do původního stavu není možné a účelné, může orgán ochrany přírody uložit povinnému, aby provedl přiměřená náhradní opatření k nápravě.

Úsek přelivný – úsek ochranné hráze (obvykle opevněný), který může být přelit bez trvalých škod na říční hrázi.

Území je určitá část zemského povrchu:

- **inundační** je území související hydraulicky s vodním tokem, které je zaplavováno při průtocích přesahujících kapacitu koryta vodního toku.
- **záplavová** jsou administrativně určená území, která mohou být při výskytu přirozené povodně zaplavena vodou. Území se vymezují záplavovou čarou.

Vodní dílo (VD) – viz vodní dílo.

Výpust v ochranné hrázi – potrubí s uzavěry nebo jiná konstrukce v tělese hráze, která slouží k převedení vody z chráněného území v zahrází zpět do koryta toku [ČSN 75 0120].

Výška hráze – svislá vzdálenost mezi úrovní koruny hráze a úrovní základové spáry v daném příčném řezu hrází. Není-li v příčném řezu hrází základová spára vodorovná, měří se výška hráze od jejího nejnižší položeného místa. Do výšky hráze se nezahrnují ostruhy, těsnicí stěny, apod., jejichž vodorovný rozměr v rovině příčného řezu nepřesahuje 10 m [ČSN 75 0125].

- **nad terénem** – svislá vzdálenost mezi úrovní koruny hráze a nejnižší položeným místem terénu pod tělesem hráze v daném příčném profilu (ve stavu před zahájením stavebních prací).

Zahrází – představuje území chráněné hrázemi před zaplavením [ČSN 75 0120].

2. PŘEHLED VYBRANÝCH PŘEDPISŮ

2.1 Závazné předpisy

Zákon č. 254/2001 Sb. v platném znění (vodní zákon) vymezuje v § 55 postavení OH ustanovením, že hráze a stavby na ochranu před povodněmi jsou vodními díly. V § 61 vodního zákona jsou vymezena vodní díla podléhající TBD, tzv. určená vodní díla. Patří sem také hráze a ostatní stavby na ochranu před povodněmi. Vodní zákon § 75, odst. (2) vyjmenovává činnosti při povodňových zabezpečovacích pracích. Z pohledu porušení OH jde zejména o opatření proti jejich přelití nebo protržení a pak také o provizorní uzavírání protržených hrází.

Vyhláška č. 471/2001 Sb. vymezuje v § 12b požadavek na vedení evidence technikobezpečnostního dohledu pro vodní díla zařazená do I. až IV. kategorie. Dále stanovuje rozsah údajů vedených a předávaných v evidenci TBD. Evidence se vede v elektronické podobě.

Vyhláška č. 590/2002 Sb. specifikuje podrobnější požadavky na ochranné hráze. Jde o zabezpečení hráze vůči porušení při jejím přelévání, způsob stanovení hodnoty návrhového průtoku pro stavbu ochranných hrází. Jsou uvedeny požadavky na převýšení ochranné hráze, opevnění svahů a koruny OH, trasu hráze podél nestabilního koryta vodního toku a další požadavky.

Plány pro zvládání povodňových rizik [14] jsou zpracovány na základě směrnice [1] a zákona č. 254/2001 Sb. Jsou obecně závazným dokumentem, kterým se řídí zvládání povodňových rizik v ČR. Jsou v nich závazné cíle a opatření a mají vyšší právní sílu než níže uvedené normy, směrnice a metodiky.

2.2 Další předpisy

Technické normy. V případě problematiky ochranných hrází šlo v minulosti převážně o normy pro úpravy vodních toků s případným odkazem na normy pro malé vodní nádrže. Šlo o státní, popř. oborové normy ČSN 73 6820, ON 73 6821, ON 73 6822, ON 73 6827, ČSN 75 2101, TNV 75 2102, ODN 75 2103, TNV 75 2103, ČSN 73 6824, ČSN 75 2410. Ty doplňují další související předpisy, jako jsou např. normy týkající se křížení a souběhů toků s komunikacemi a vedeními, normy pro mechaniku zemin, zakládání staveb a provádění zemních těles, mostních objektů, atd. Soupis souvisejících norem je v kapitole 9.2.3. V procesu schvalování je v současné době ČSN 75 2200, která podrobněji rozpracovává problematiku OH a funkčních objektů, jejich hlavní parametry, hydraulické dimenzování a pod.

Metodické pokyny a směrnice. Zvládání povodňových rizik je na evropské i domácí úrovni zpracováno ve směrnici [1] a metodických dokumentech [2] až [5]. Pro odvození ztrát na lidských životech lze použít analogii s metodikou [6]. V provozní praxi ochranných hrází lze použít metodické pokyny [7] a [8] zaměřené na hráze malých vodních nádrží. Souhrnným podkladem pro volbu návrhových parametrů ochranných hrází a hodnocení jejich bezpečnosti a spolehlivosti je certifikovaná metodika [Říha, 2010]. Hodnocení hydromorfologických charakteristik vychází z metodiky [Langhammer, 2014].

2.3 Související dokumenty

Územně plánovací dokumentaci (ÚPD) tvoří zásady územního rozvoje, územní plán a regulační plán. Dokumentace se vydává formou opatření obecné povahy dle správního řádu, je nástrojem politiky územního rozvoje, která určuje požadavky na rozvoj území v republikových, přeshraničních a mezinárodních souvislostech, určuje strategii a základní podmínky pro naplňování úkolů územního plánování s celostátní působností. Politika územního rozvoje je závazná pro zásady územního rozvoje, pro územní plány, regulační plány a územní rozhodování. V této souvislosti je významná vazba na zajištění ochrany před povodněmi, umístění ochranných hrází, jejich dispoziční a funkční řešení.

Plány dílčích povodí zpracovávají správci povodí podle své působnosti ve spolupráci s příslušnými krajskými úřady a ve spolupráci s ústředními vodoprávními úřady pro osm oblastí povodí. Plány řeší mimo jiné problematiku ochrany před negativními dopady extrémních hydrologických situací a zlepšování vodního režimu krajiny a s tím spojené požadavky na ochranu před povodněmi. Součástí je vymezení priorit při návrhu a budování protipovodňových opatření v jednotlivých částech (územích) spravovaného povodí. Možnými opatřeními jsou retenční prostory, ochranné liniové prvky, ochranné nádrže a další prvky.

2.4 Doporučené zahraniční podklady

V případě hraničních toků, ale i při hodnocení hrází na území ČR je třeba přihlídnout k požadavkům zahraničních předpisů a směrnic. I při řešení ochranných systémů na hraničních vodních tocích se postupuje podle národních předpisů. Příslušné mezinárodní dohody jsou projednávány zmocněnci jednotlivých států. Přihlídnout k zahraničním předpisům lze při tvorbě národních technických normativů nebo příslušných metodik. Na tomto místě uvádíme jako příklad podklady používané v Německé spolkové republice (SRN) a v Rakousku. Odkazujeme též na souhrnnou publikaci o ochranných hrázích [CIRIA, 2013] vypracovanou mezinárodním týmem odborníků.

2.4.1 Německo

V SRN je problematika ochranných hrází zpracována v metodickém pokynu DWA-M 507 [9] a pokynu DVWK 226/1993 [10]. Uceleným podkladem je technická norma DIN 19712, která je souborem praktických zkušeností a odborných znalostí získaných z provozu ochranných hrází ve všech spolkových zemích. Norma obsahuje pokyny týkající se tělesa ochranné hráze a jejího podloží, předhrází, zahrází i souvisejících úprav vodního toku.

2.4.2 Rakousko

Pro stanovení návrhových parametrů ochranných hrází v Rakousku neexistuje celostátní závazný předpis. Používány jsou podklady vytvořené z iniciativy ministerstva životního prostředí [Klenkhart a kol. 2004], [11], [12].

3. DATA O OCHRANNÝCH HRÁZÍCH

V této kapitole je uveden souhrnný přehled podkladů a dat potřebných pro hodnocení hrázových systémů s uvedením jejich zdrojů. Soupis slouží jako kontrolní seznam pro sestavení podkladové části pro management hrázových systémů.

3.1 *Souhrnný výčet dat o hrázových systémech*

Posuzování hrázového systému je založeno na analýze souboru vstupních dat, obvykle nad plošně rozsáhlým územím. Data se neomezuji pouze na samotné OH, ale také na související prvky a objekty systému. Základní struktura je následující:

- geografická data (přírodní poměry a podmínky):
 - topografická data,
 - geologická skladba území a hydrogeologické podmínky,
 - hydrologická data zájmového území,
 - data o seizmicitě území,
 - data o poddolovaných územích,
- oborová data:
 - obecné informace,
 - technická data,
 - údaje o provozu.

3.1.1 *Geografická data*

Topografická data představují mapové podklady, např. státní mapy, digitální model terénu (DMT), letecké a družicové snímky, mapy pokryvu území, základní vodohospodářské mapy, tematické mapy, apod. Důležitým podkladem jsou výkresy znázorňující uspořádání ochranných hrází a ostatních VD, tj. jejich zaměření včetně nejbližšího okolí v měřítku max. 1 : 1 000.

Geologická skladba a hydrogeologické podmínky území jsou popsány z pohledu regionální geologie, podrobný geologický a hydrogeologický popis vychází z předběžného, podrobného a doplňkového geologického průzkumu místa. Součástí těchto dat jsou údaje o výskytu, oběhu a chemismu podzemních vod.

Hydrologická data zájmového území představují:

- údaje o povodí, tj. plochu povodí, výskyt srážek, údaje o odtokových poměrech, vazby na sousední povodí,
- údaje o vodním toku, tj. délku toku, nadmořskou výšku, informace o soutocích s jinými toky, jejich průtokové řady, apod.,
- základní hydrologické údaje ve smyslu ČSN 75 1400 doplněné o objemy a tvary reálných a teoretických povodňových vln,
- údaje o teplotním a splaveninovém režimu, ledových jevech na tocích, atd.

Data o seizmicitě a poddolování území:

- parametry pro hodnocení seizmického zatížení,
- data o rozsahu a velikosti poklesů území včetně jeho prognóz.

3.1.2 Oborová data

3.1.2.1 Obecné informace

Tato data představují základní a všeobecné informace o VD jako celku. Jde o:

- název a správce vodního díla,
- kontrolní orgán, subjekt provádějící technickobezpečnostní dohled,
- data o výstavbě ochranné hráze, rok dokončení a uvedení do provozu,
- obecná charakteristika situace v povodí,
- obecné informace o struktuře soustavy ochranných hrází v území a o VD potenciálně ovlivňujících funkci ochranných hrází,
- typ konstrukce ochranných hrází a dalších prvků PPO,
- informace o opravách a modernizacích dané soustavy ochranných hrází,
- data o navrhovaném řešení a skutečně realizovaných opatřeních,
- citlivá místa a místa s evidovanými poruchami (přelití, protržení, apod.).

3.1.2.2 Technická data

Technická data se týkají technických prvků v území. Ochranné hráze a další prvky jsou v mapách schematizovány pomocí liniových úseků s přidanou informací o základních charakteristikách, jako jsou:

- identifikátor a název úseku,
- délka úseku ve vazbě na říční staničení či staničení OH; pokud došlo ke změnám staničení, je třeba jej sjednotit a vypracovat převodní tabulky,
- návrhové parametry OH jako jsou návrhový průtok, převýšení hráze, apod.,
- evidence stávajícího stavu konstrukcí, výsledky TBD, geodetické zaměření OH (např. zaměřené kóty na koruně),
- technické parametry v technickoprovozní evidenci (technická karta OH),
- údaje o podloží (skladba, materiály a jejich vlastnosti),
- údaje o použitých materiálech a jejich vlastnostech jsou získávány z projektů, geologického a hydrogeologického průzkumu a z výsledků geotechnických zkoušek materiálů.

Objekty na toku, v linii OH či v zahrázi jsou popsány svými charakteristikami:

- jezy, malé vodní elektrárny, objekty pro zajištění plavby – popis, konstrukční řešení, základní rozměry a hydraulické charakteristiky, způsob manipulace ve vazbě na platné manipulační řády,
- mosty – typy, konstrukce, základní rozměry a hydraulické charakteristiky,
- křížení na tocích – telekomunikace, inženýrské sítě (elektrické vedení, plyn, vodovod), dopravní komunikace, dálková vedení, nadregionální stavby,
- odběry a vypouštění – umístění, účel, základní rozměry a hydraulické charakteristiky, vazba na OH a objekty,
- měřicí stanice – limnigrafické stanice (LGS), hlásné profily, účelové kontrolní profily,
- ostatní objekty – rozdělovací objekty, uzávěry, revitalizační zásahy, apod.

3.1.2.3 Údaje o provozu

Údaje o provozu zahrnují informace související s běžnou údržbou konstrukcí a jejího okolí, s výkonem TBD vodního díla a s evidencí potřeb odstranění nedostatků nebo poškození vzniklých za provozu. Údaje lze čerpat z:

- manipulačních a provozních řádů souvisejících VD a dalších objektů,
- zpráv TBD,
- provozních deníků – záznamy z prohlídek,
- záznamů z průběžného dohledu a kontroly ochranných hrází správcem VD,
- záznamů z oprav a rekonstrukcí – stavební deníky, záznamy z kontrolních dnů.

3.2 Zdroje dat a dokumentace

Vstupní data a dokumentace objektů jsou obvykle rozdílného rozsahu, způsobu zpracování, kvality a formátů. Kvalita dat se liší dle způsobu jejich pořízení, získání, zpracování a uložení. Vstupní data a informace mohou být v následující formě:

- tradiční tištěné podklady jako jsou archivní dokumenty, projekty, zprávy průzkumů, záznamy z místních šetření, archivní evidence, apod.,
- digitálních dat:
 - ve formátech dříve používaného software s obtížnou převoditelností,
 - v soudobých, převoditelných formátech.

Z hlediska dostupnosti lze rozlišit následující možnosti získání dat a informací:

- volně přístupná data na veřejných uložiscích,
- zpoplatněná data na veřejných uložiscích (obvykle pro komerční využití),
- informace získané na základě účelových studií,
- data archivovaná u zpracovatele či objednatele (nutné je mít povědomí o jejich existenci a vyžádat je),
- utajované nebo citlivé informace (nutno získat povědomí o existenci a před vyžádáním získat povolení k využití).

Pro zajištění výše uvedených dat (kapitola 3.1) lze použít následující zdroje:

- Topografická data:
 - mapové a datové servery poskytují zpoplatněné nebo volně přístupná data, pro hodnocení OH lze využít základní a katastrální mapy, digitální model terénu na mapových severech ČÚZK, popř. CENIA (geoportál INSPIRE).
 - základní báze geografických dat (ZABAGED) poskytuje detailnější informace o využití území,
 - ortofotomapy lze získat z mapových severů [ČÚZK, 2019],
 - letecké snímkování.
- Geologická data:
 - data o průzkumných pracích z archivu vlastníků ve formě studií,
 - geologické a hydrogeologické mapy (ČGS),
 - archivní průzkumné práce (ČGS).

- Hydrologická data:
 - Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) – údaje dle ČSN 75 1400, další údaje jako hydrogramy povodňových vln formou studií,
 - Výzkumný ústav vodohospodářský (VÚV TGM), MŽP (HEIS, DIBAVOD),
 - stávající databáze vlastníka,
 - hydrogramy povodňových vln mohou být získány prostřednictvím srážkoodtokových modelů v rámci zpracování studií odtokových poměrů.
- Povšechná data o území, dokumenty územního plánování, o ochraně před povodněmi:
 - data o záplavových územích, plány pro zvládání povodňových rizik, povodňový informační systém (POVIS) (www.povis.cz),
 - digitální povodňový plán ČR (www.dppcr.cz),
 - systém ochranných hrází – stávající databáze a archivní podklady (projekt správce vodního toku nebo vlastníka VD),
 - dokumenty územního plánování (zásady územního rozvoje, územní plány, regulační plány) – ÚPD je nutno zajistit v součinnosti se správními celky, dostupná je ve formě serverových služeb na geoportálech složek samosprávních celků a na portálu územního plánování (portal.uur.cz),
 - územní jednotky, katastr, body s číslem popisným (INSPIRE geoportál s údaji poskytovanými členskými státy EU podle směrnice INSPIRE) (inspire-geoportal.ec.europa.eu) – jedná se původně o evropskou směrnici a nyní soubor pravidel, poskytovatelem pro územní jednotky je buď ČÚZK nebo CENIA (<https://geoportal.gov.cz/web/guest/about-inspire>),
 - centrální datový sklad (CDS) pro mapy povodňového nebezpečí a povodňových rizik (<https://cds.mzp.cz>).
- Systém ochranných hrází:
 - databáze spravovaná vlastníkem vodního díla, archiv zpracovatele projektové dokumentace hrází,
 - průběžně ukládané informace k dílčím kontrolám (inspekce, TBD) – v budoucnu (předpokládaná doba přechodného období do roku 2024) budou tyto informace spravovány MZe v evidenci TBD dle vyhlášky č. 471/2001 Sb. Evidenci TBD naplňují v případě VD I. až III. kategorie a některých vybraných VD IV. kategorie pověřené osoby, v případě ostatních VD IV. kategorie jsou to vodoprávní úřady,
 - geologie – základní data o geologických pracích a průzkumech spravuje ČGS. Data zpracovaná dle norem JISŽP a INSPIRE jsou dostupná přes tematické webové aplikace.
- Objekty
 - databáze vlastníka nebo správce vodního toku – bodové vrstvy (jezy, mosty, propusti, křížení,...),
 - archiv zpracovatele projektové dokumentace objektů.

- Provozní údaje – manipulační řády zpracovává a aktualizuje vlastník nebo správce vodního díla.
- Životní prostředí
 - AOPK – informační systém ochrany přírody (<https://portal.nature.cz/>),
 - CENIA – česká informační agentura životního prostředí (geoportal.gov.cz; inspire-geoportal.ec.europa.eu),
 - NATURA2000 (<https://www.eea.europa.eu>).

Tab. 3.1 Zdroje a poskytovatelé dat

TYP DAT	DATOVÉ VRSTVY	POSKYTOVATEL	POPIS
Topografická data	základní mapy	ČÚZK CENIA	základní mapy
	katastrální mapy		katastrální mapy
	digitální model terénu		
	ortofotomapy		digitální model terénu
	využití území		ZABAGED
	letecké snímkování		účelový průzkum
Geologická data	geologické mapy	ČGS	mapová a popisná data
	hydrogeologické mapy		
	geologická prozkoumanost		
Hydrologická data	údaje o povodí	DIBAVOD, HEIS ČHMÚ, podniky povodí, VÚV TGM, MZe	objekty a struktury databází, hydrografie území
	vodní toky		
	data monitoringu (LGS, srážky)	ČHMÚ, MŽP, MZe	
	základní hydrologické údaje a řady,	ČHMÚ	časové řady průtoků, N-leté a m-denní
	hydrogramy	ČHMÚ, srážkoodtokový model	
Povšechná data	ÚPD	Kraje a obce, PÚP	územní plány
	územní jednotky	ČÚZK, CENIA	
	záplavová území a povodňová rizika, ochrana před povodněmi	POVIS, CDS	mapy povodňových rizik a ohrožení
Hráze	systém ochranných hrází	správce vodního toku (VT), vlastník, správce VD, vykonavatel TBD	zaměření hrází, stávající a technický stav
	geologie	ČGS, účelový průzkum	
	výsledky analýz	účelové analýzy	modelování
Objekty	údaje o objektech – databáze vlastníka, správce	správce VT, vlastník, správce VD, vykonavatel TBD vlastník a správce VD AOPK, CENIA vlastník a správce VD AOPK, CENIA správce VT, účelové analýzy	vodohospodářské objekty v DIBAVOD

Provozní údaje	textové podklady	účelové analýzy	
Životní prostředí	chráněné a citlivé oblasti	správce VT, účelové analýzy	
	oblasti NATURA 2000	správce VT, účelové analýzy	
	hydromorfologie	správce VT, účelové analýzy	

3.3 Správa dat a informací

Správa dat představuje souhrn prostředků a postupů, pomocí kterých se zajišťuje plánování, identifikace, tvorba, sběr, organizace, řízení, zabezpečení, použití, uchovávání, distribuce, výměna a vyřazení informací (QGClO, 2019). Hlavním cílem je zajistit, aby byla data, resp. informace k dispozici příslušnému uživateli v potřebné podobě, formátu a čase. Mezi dílčí cíle správy dat patří:

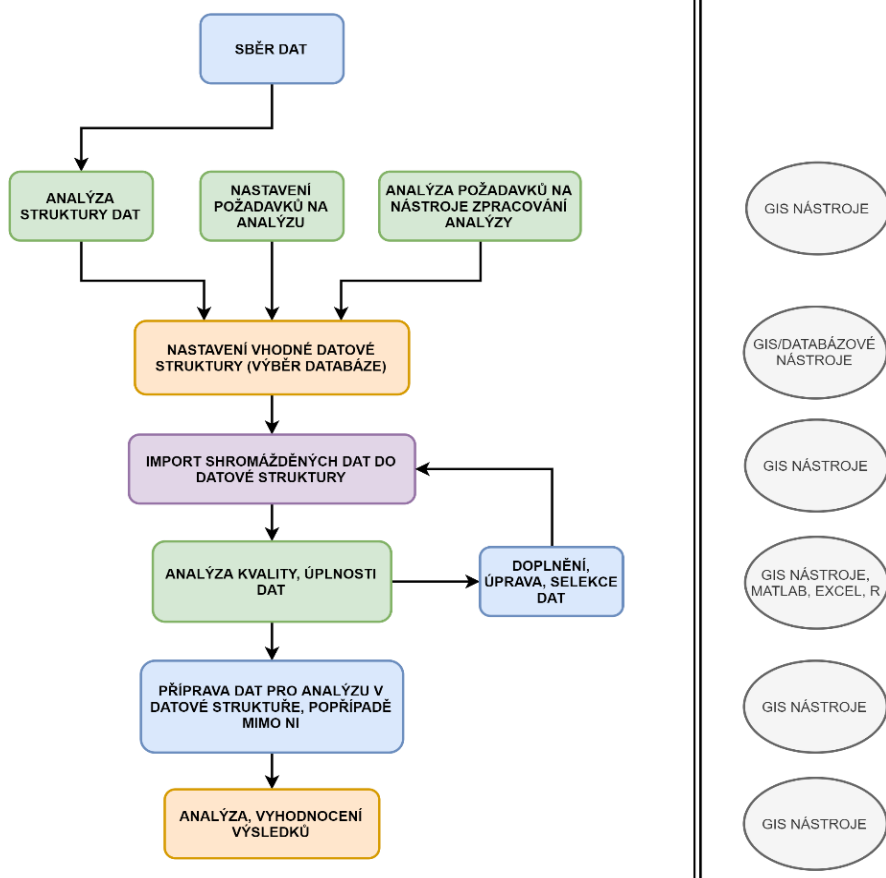
- definice informační potřeby složek správce dat (dispečink, provoz, apod.),
- pořizování, shromažďování, ukládání, chránění a zajištění integrity dat,
- průběžné zajišťování a zvyšování kvality dat,
- zajišťování důvěrnosti a ochrany dat,
- zajišťování efektivního využívání dat a informací,
- optimalizace nákladů na správu dat,
- konzistentní management dat v rozsahu prováděných analýz,
- zajištění souladu mezi managementem dat, používanými technologiemi a potřebami analýzy/organizace.

Správa dat pro účely optimalizace systému OH zahrnuje, v souladu s managementem dat dle ICPSR (2012), následující položky:

- Zajištění vstupních dat a jejich základní selekce:
 - popis dat ve smyslu jejich povahy, rozsahu a měřítka,
 - data jsou uložena ve formě samostatné geodatabáze a její sdílení se předpokládá na úrovni pověřené pracovní skupiny,
 - pro jednotlivé datové sady je nutno zpracovat metadata (typ dat, formát, kompatibilita, dlouhodobé uchování, apod.).
- Analýza dat představuje kontrolu základních ukazatelů:
 - úplnost ve smyslu naplnění požadavků optimalizační analýzy,
 - kvalita dat je vyjádřena jejich relevantností, přesností, podrobností, apod.,
 - formát je zásadní pro analýzu, uchování a sdílení dat; u analýzy jde o rastrové a vektorové datové vrstvy s připojenou informací,
 - použitý software je podstatný především z pohledu jeho přiléhavosti, věrohodnosti výsledků a také dlouhodobé kompatibility (např. ArcGIS, QGIS, databázový software, apod.).
- Selektce, oprava a doplnění dat představuje první krok analýzy, je nutné jej provést před zavedením dat do databáze. Cílem je využít jen relevantní data.

- Navržení datové struktury, která bude v souladu s definovanými požadavky a která ji umožní naplnit vstupními daty. Struktura dat musí odpovídat požadavkům prováděných analýz (zde optimalizační postup).
- Vytvoření nástrojů pro import dat do datové struktury.
- Naplnění datové struktury zahrnuje vložení dat a specifikaci postupů pro zajištění standardů kvality dat.
- Kontrola a průběžná aktualizace dat vyžaduje jejich dlouhodobou správu, doplňování na základě průběžného monitoringu a s ohledem na rozvojové aktivity. Je nutno zvažovat náklady na datový management, právní nároky a omezení archivace a sdílení dat.
- Vytvoření nástrojů optimalizační analýzy zahrnuje problémové okruhy jako pořízení nástrojů pro přípravu vstupních dat, jejich zpracování v jednotlivých hodnocených kritériích (kapitola 5.3) a výsledné zpracování optimalizační analýzy.

Na obr. 3.1 je schéma správy dat. Získaná vstupní data a informace mají podobu geografických dat nebo dalších dat, která lze k těmto geografickým datům připojit, např. prostřednictvím geografického informačního systému (GIS). Nástroje GIS lze využít pro analýzu struktury, import, kontrolu, optimalizaci a vyhodnocení dat.



Obr. 3.1 Schéma postupu při správě dat

3.4 Kvalita dat

Kvalita dat je definována jako soubor znaků, pomocí kterých se popisují požadované vlastnosti dat jako efektivita, bezchybnost, důvěryhodnost, integrita, kompletnost, dostupnost, soulad, spolehlivost, atd. Kvalita vstupních dat souvisí se způsobem jejich pořízení, dostupností, vzájemnou kompatibilitou a se spolehlivostí jejich pořízení a zpracování. Nízká kvalita dat souvisí se špatně nastavenými procesy a pravidly jejich pořizovatele, správce a uživatele. Významným aspektem je lidský faktor. Nedůslednost při pořizování, zpracování a archivaci dat snižuje jejich kvalitu.

Management kvality dat se řídí následujícími kroky [Mosley a kol. 2010]:

1. Identifikace a popis požadavků na kvalitu dat – časová aktuálnost, úplnost, způsob stanovení a vyhodnocení, spolehlivost.
2. Testování a ověřování požadavků na kvalitu dat – na pilotních datech.

3. Řešení zjištěných problémů v kvalitě dat – požadavek na doplnění nebo opravu datových sad popř. změna metriky kvality dat.
4. Návrh a implementace operativních procedur pro management kvality dat.

Při optimalizaci hrázových systémů se využívají data v různých formátech a s různou přesností. Snahou je data zpracovat tak, aby odpovídala požadavkům optimalizační analýzy. Formáty dat mohou být následující:

- **Tištěná data** jsou obvykle archivního charakteru. Je nutné je digitalizovat a umístit do pozice v mapě s georeferencí tak, aby odpovídala skutečnosti, následně data vektorizovat. Převod dat vnáší do datového souboru nepřesnosti a může snížit jejich kvalitu. Pokud nelze data spolehlivě převést do žádaného formátu, nelze je využít v rámci následných analýz.
- **Digitální data popisná** ve formě tabelárních sestav či databází nebo ve formě popisných textů či zpráv.
- **Vektorová data** je nutno zhodnotit z hlediska jejich potřebnosti, popřípadě možnosti převedení do aktuálně využívaných formátů. Nutná je kontrola prostorového umístění (georeference), topologie a validity atributových informací (popisující daný prvek systému, např. prostorové umístění, rozměry konstrukce, technické parametry, atd.). Následně je třeba zhodnotit rozsah a dostupnost dalších doplňujících atributových dat.
- V případě **rastrových dat** typu DMT nebo mapových podkladů je nutno provést kontrolu georeference tak, aby byla v souladu s ostatními datovými sadami. Ve vztahu k podrobnosti prováděné analýzy (velikost řešeného území) a také míře podrobnosti popisovaných objektů v území (např. potřeba identifikace liniových prvků v území) je nutno stanovit minimální požadavky na rozsah a rozlišení jednotlivých datových vrstev.

Při převodech z různých formátů může dojít ke snížení kvality dat a ztrátě informací. Proto je nutné provádět kontrolu průběžně v každém kroku procesu. Před zahájením zpracování dat je nutno posoudit vhodnost zvolených nástrojů (hardware, software), aby byly splněny předem definované požadavky na kvalitu dat jako jsou rozlišení, přesnost umístění, rozsah atributových informací, apod.

4. SYSTÉMOVÁ ANALÝZA

V této části je uvedena systémová analýza a její použití na problematiku ochranných hrází. Uvedené členění může sloužit při systémové analýze libovolného povodí, podpovodí či úseku toku.

4.1 *Systém inundačního území a ochranných hrází*

4.1.1 *Definice systému*

Systém je definován prvky v inundačním území vymezeném hranicí údolní nivy a vazbami mezi těmito prvky. Prvky systému jsou vodní toky, ochranné hráze a objekty na nich, další vodní díla, občanská a průmyslová zástavba, technická infrastruktura, zemědělské plochy, lesy, významné krajinné prvky, obyvatelé, flóra, fauna, atd. Navazující (pod)povodí či území jsou chápána jako **okolí systému**. Jednotlivými **subsystémy** jsou úseky vodních toků včetně souvisejících inundačních území a ochranných hrází v rámci vymezeného systému. Jde o **otevřený systém**, který obsahuje hraniční prvky zajišťující interakci s okolím systému a vnitřní prvky:

- Hraniční prvky mají alespoň jednu vazbu s prvkem, který není prvkem systému (tvoří hranici systému), volí se jako:
 - vhodné zvolené profily na vodních tocích včetně inundačního území,
 - hranice údolní nivy.
- Vnitřní prvky mají vazby pouze s jinými prvky téhož systému:
 - inundační území včetně ploch využití území,
 - objekty v inundačním území (obytné, průmyslové, zemědělské, apod.),
 - vodní toky a jejich koryta,
 - objekty na tocích,
 - ochranné hráze, protipovodňové zdi a objekty na nich,
 - související hydrogeologické prvky (zvodeň, podloží OH).

Okolí (otevřeného) systému tvoří:

- na vstupu do systému:
 - území nad vybranými profily na tocích přitékajících do zájmové oblasti,
 - příslušná boční podpovodí,
- na výstupu ze systému – území pod výstupním (závěrovým) profilem (popř. profily) na odtoku ze zájmové oblasti; toto území je systémem ovlivněno.

4.1.2 *Účel a cíle systému ochranných hrází*

Účelem systému OH je obecně zajišťovat ochranu před povodněmi při adekvátní míře dobrého stavu životního prostředí a přijatelnosti nákladů na vybudování a provoz prvků systému. **Cíle systému OH** lze členit podle obsahu na socioekonomické, technické a environmentální, z hlediska podrobnosti na makroskopické na úrovni povodí či podpovodí a mikroskopické na úrovni jednotlivých prvků jako jsou hráze, objekty na tocích, apod.

Tab. 4.1 Cíle systému

Typ cíle	Cíl	Hledisko / podrobnost
Socioekonomický	Snížení povodňových rizik	Makroskopické / na úrovni ucelených inundačních území
	Optimalizace nákladů na výstavbu a provoz prvků PPO	Mikroskopické / na úrovni linií OH
	Soulad s koncepčními dokumenty	Makroskopické / celý systém ve vazbě na okolí
Technický	Zajištění operativního řízení v systému	Makroskopické / celý systém ve vazbě na okolí (celé povodí)
	Zajištění spolehlivosti a bezpečnosti systému	Mikroskopické / vybrané prvky, zejména OH, objekty na tocích a v linii OH
Environmentální	Zlepšení vodohospodářských podmínek v povodí	Makroskopické / celý systém s vazbou na okolí na výstupu
	Omezení negativních dopadů na životní prostředí	Mikroskopické / subsystémy a prvky s vazbou na prvky systému a okolí na výstupu
	Zlepšení hydromorfologického stavu toku	Mikroskopické / vodní toky, údolní niva

4.1.3 Stav systému

Stav systému charakterizují následující podmínky:

- stav území, který charakterizují:
 - tvarové vlastnosti, povrch území,
 - hydrografie,
 - geologická skladba,
 - uspořádání, tvar a rozměry objektů v území,
- vlastnosti jednotlivých prvků v území:
 - využití ploch v území,
 - technický stav prvků (toků, OH, pozemků, objektů v inundačním území),
 - materiálová skladba a vlastnosti materiálů (pevnost, propustnost, apod.),
 - hydraulické charakteristiky (např. drsnost povrchů),
- stav životního prostředí:
 - obecná ochrana přírody a krajiny, průchodnost krajiny (ÚSES),
 - ekologický stav vodních toků,
 - nástroje zvláštní ochrany (chráněná území, NATURA 2000, apod.),
 - estetické a přírodní hodnoty a krajinný ráz,
 - významné krajinné prvky,
 - ochrana dřevin,
 - zvláště chráněné druhy rostlin a živočichů,
- stav vodního hospodářství:
 - klimatické podmínky,
 - hydrologické a hydraulické poměry,

- odběry a vypouštění vody,
- míra protipovodňové ochrany,
- analytické hodnocení stavu systému:
 - koncepce a úplnost PPO ze stavebního hlediska,
 - požadavky na technický stav objektů a jejich splnění/nesplnění,
 - zhodnocení stavu životního prostředí,
 - zhodnocení vodo hospodářské funkce.

4.1.4 Chování systému

Chováním systému se rozumí věcná změna vstupů na výstupy, kdy dochází k transformaci podnětů na výstupy v čase s jistým zpožděním. Při makroskopickém zkoumání jde o chování hrázového systému jako celku. Při mikroskopickém zkoumání jde o chování prvků nebo subsystémů. V systémové analýze se často využívá modelů, které umožňují analyzovat průběh sledovaných procesů, jejich kvantifikaci a studium vzájemných závislostí.

Podněty, tj. stavy (hodnoty) vstupních proměnných v daném čase:

- vnitřní – uvnitř na území systému mohou být antropogenní zásahy (změny parametrů prvků systému) a přírodní vlivy (klimatické, hydrologické),
- vnější – hydrologická situace v okolí (povodí) nad systémem.

Reakce je stav výstupních proměnných, vyvolaný určitým podnětem:

- změna hydrologických a hydraulických charakteristik,
- změny na vodních tocích (morfologie, sedimenty, atd.),
- změna povodňových rizik vyvolaných škodami na majetku a životech lidí,
- dopady na spolehlivost a bezpečnost systému a jeho prvků,
- dopady na životní prostředí v území.

Fungování systému popisuje, které jeho prvky (subsystémy) a jak zabezpečují jeho funkci. Fungování hrázového systému je podřízeno cílům, které má systém plnit, fungování je účelné členit podle hydrologických podmínek:

- v málo vodném období (období hydrologického sucha),
- v období běžných průtoků,
- při povodňové situaci.

Kritéria systému se liší podle sledovaných cílů (tab. 4.1):

- efektivnost je vyjádřena jako míra účinnosti vynakládaných zdrojů na dosažení stanovených cílů,
- provozní spolehlivost zahrnuje životnost, bezpečnost a další vlastnosti, určuje je technické řešení, způsob provozování, údržba a opravy, apod.,
- environmentální hledisko vyjadřující vliv na vodo hospodářské podmínky v povodí, životní prostředí, stav toku, přírodu a krajinu, apod.

4.2 Analýza systému ochranných hrází

Systémová analýza slouží k vyhodnocení alternativních řešení při uspořádání hrázových systémů, ke zvýšení kvality rozhodování o koncepci a technickém řešení OH a souvisejících objektů. Při analýze systémů se zkoumá volba kritérií a vymezení alternativ, probíhá hodnocení vybraných faktorů a výběr nejvhodnější varianty.

Základní technikou systémové analýzy je modelování sledovaných procesů, jejich kvantifikace a studium vzájemných závislostí. Modelování se využívá pro testování alternativních řešení a pro volbu optimálního uspořádání na základě jejich porovnání. Modelovaným objektem může být např. dílčí podpovodí, vybraný úsek toku včetně přilehlého záplavového území. Zbývající části, např. povodí nad a pod zvoleným úsekem, se považují za okolí.

4.3 Postup při analýze systému OH

Systémová analýza hrázového systému zahrnuje tyto hlavní kroky:

- 1) Analýza problému, pochopení řešeného úkolu.
- 2) Definice systému a rozbor jeho funkce.
- 3) Návrh možných variant systému.
- 4) Identifikování jiných systémů, které by mohly daný systém nahradit.
- 5) Sestavení modelu.
- 6) Zajištění vstupních dat.
- 7) Řešení optimalizační úlohy nad jednotlivými alternativami systému.
- 8) Volba nejvýhodnějšího uspořádání systému.

4.3.1 Analýza problému

Při analýze problému je třeba vyjasnit:

- jaký problém se má řešit a jaké jsou cíle systému (tab. 4.1),
- jaká jsou kritéria hodnocení, a to pro jednotlivé cíle či hlediska hodnocení,
- jak funguje stávající systém a jaké jsou jeho nedostatky,
- požadavky a omezení pro systém.

4.3.2 Definice systému a rozbor jeho funkce

Při rozboru fungování systému jsou předmětem studia:

- definice systému, subsystémů, ověření správnosti formulace cíle,
- funkce, které má systém zajistit (tab. 4.1),
- identifikace faktorů, na nichž závisí fungování systému,
- klasifikace a vyhotovení kontrolního seznamu prvků systému a jeho okolí,
- vymezení relevantních vazeb mezi subsystémy a prvky.

4.3.3 Návrh možných variant systému

Alternativní systém spočívá v jeho odlišném uspořádání, zejména prvků a vazeb mezi nimi. Je třeba vymezit subsystémy pro jednotlivé alternativy a vazby mezi nimi a identifikovat jejich charakteristiky.

4.3.4 Identifikování jiných systémů

Ve vazbě na jednotlivé cíle (tab. 4.1) lze nalézt jiné systémy, které mohou daný systém nahradit. V oblasti socioekonomické to může být např. snížení škod, v oblasti environmentální lze nalézt alternativní systémy zajišťující zlepšení vodohospodářských podmínek a dobrého stavu životního prostředí. Je vhodné zhodnotit účinnost, realizovatelnost a aplikovatelnost těchto alternativních systémů.

4.3.5 Formulace problému a sestavení modelu

Při sestavení modelů se formulují vztahy mezi charakteristikami systému a jeho okolím. Modelování má umožnit kvantifikaci proměnných vázaných na okolí, prvky, vzájemné vazby, apod. Lze použít modelů simulačních a optimalizačních. Obecný postup při vytváření a používání modelů sestává z následujících kroků:

- 1) popis reality, definice cílů,
- 2) zavedení systému, zjednodušující předpoklady, definice stavových veličin,
- 3) analýza struktury a chování systému,
- 4) modelové řešení,
- 5) validace modelu, kalibrace a verifikace modelu, simulace variant, scénářů,
- 6) interpretace a implementace výsledků, volba nejvýhodnějšího systému.

Zjednodušující postupy a předpoklady mohou být:

- eliminační – omezení intervalu přípustných hodnot a oblasti zájmu, redukce možných kombinací, eliminace některých méně významných prvků,
- agregační – logická agregace prvků, použití typů, tj. prvků (subsystémů), které vykazují typické vlastnosti,
- ostatní – substituce, transformace, apod.

Při zjednodušování systému je třeba nalézt vhodný kompromis a posoudit, zda zjednodušený systém vystihuje vlastnosti původního systému, resp. reality.

4.3.6 Zajištění vstupních dat

Vstupní data jsou podstatnou částí systémové analýzy. Jejich zajištění bývá časově a finančně náročné, množství a kvalita vstupních dat může být z hlediska vypovídací schopnosti výsledků řešení limitující. Základní vstupní data pro systémovou analýzu hrázových systémů s jejich zdroji jsou uvedena v kapitole 3.

4.3.7 Řešení optimalizační úlohy nad alternativami systému

Při sestavení alternativ je třeba provádět na systému úpravy:

- ve vymezení systému a jeho okolí,
- vazeb v systému,
- nahrazení nevyhovujících prvků nebo subsystémů vhodnějšími.

Pro úpravy je vhodné, aby byl systém složen z omezeného počtu definovaných modulů, např. hrázových úseků. Realizaci návrhu je účelné provádět v řadě postupných kroků. Pro řešení je výhodné, pokud se změna týká úzké části systému, např. jednotlivých hrázových úseků definovaných jako dlouhodobý hmotný majetek.

5. METODY OPTIMALIZACE

5.1 *Rozhodování*

Při managementu hrázových systémů je rozhodování významnou činností, která je procesem výběru mezi alespoň dvěma možnými variantami řešení, resp. uspořádání systému. Rozhodovací proces lze obecně rozložit do následujících etap:

- analýza řešeného problému (systémová), viz kapitolu 4,
- hledání, tvorba a analýza možných variant; snahou by mělo být vypracování co nejširšího souboru koncepčně odlišných variant. Čím je počet navržených variant menší, tím je menší naděje na nalezení optimálního řešení,
- řešení, zahrnující hodnocení navržených variant,
- realizace rozhodnutí, volba varianty určené k realizaci,
- kontrola výsledků obsahující hodnocení dosažených výsledků varianty po její realizaci vzhledem k předem stanoveným cílům.

5.1.1 *Stanovení kritérií hodnocení*

Kritérium je chápáno jako hledisko při posuzování. Jde o hodnotu, podle níž se posuzuje daná varianta. Při posouzení pro dané hledisko se provede porovnání, zda aktuální hodnota pro sledovanou veličinu u daného objektu, prvku, subsystému překonala nastavenou posuzovací (kritériální) hodnotu. Kritérium musí být objektivní, postaveno nad měřitelnou veličinou, aby bylo rozhodnutelné. Bez měřitelnosti zůstává subjektivní. Kritéria jsou kvalitativní (nelze vyjádřit číselně, pouze slovně) nebo kvantitativní (jejich hodnoty jsou vyjádřeny číselně).

Kritéria by měla splňovat požadavky:

- úplnosti, tj. soubor kritérií by měl umožnit posoudit a zhodnotit všechny přímé i nepřímé, pozitivní i negativní důsledky variant,
- neredundance, tj. kritéria by se neměla překrývat.

5.1.2 *Určení důsledků variant*

Náplní je zjištění předpokládaných vlivů a účinků jednotlivých variant z hlediska zvoleného souboru kritérií hodnocení. Při stanovení důsledků realizace variant lze využít modelové a výpočetní techniky, často se využívá znalostí expertů z oblastí, kterých se důsledky a účinky variant týkají, jde o uplatnění expertních odhadů.

5.1.3 *Hodnocení a výběr varianty určené k realizaci*

Proces hodnocení a výběru je realizován zpravidla ve dvou fázích:

- V 1. fázi se vylučují nepřípustné varianty, které nesplňují některé cíle řešení rozhodovacího problému nebo překračují určité omezující podmínky.
- Ve 2. fázi je vybrána nejvýhodnější varianta nebo stanoveny preference variant, tj. jejich seřazení podle celkové výhodnosti. Nástrojem může být expertní nebo vícekritériální hodnocení (kapitoly 5.2, 6).

5.1.4 Realizace zvolené varianty

Jde o implementaci zvoleného řešení, tedy příslušných úprav v uspořádání hrázového systému. Kvalitu realizace může značně ovlivnit aktivita, odbornost a kvalifikace realizátorů (investor, projektant, dodavatel).

Po dokončení realizace je účelné provést kontrolu výsledků, která stanoví odchylky skutečně dosažených výsledků realizace vzhledem ke stanoveným cílům, zjišťuje, zda nedošlo po realizaci dané varianty ke vzniku jiných problémů.

V případě existence významnějších odchylek, či vzniku nových problémů je třeba připravit a realizovat nápravná řešení.

5.2 Optimalizace

Cílem optimalizace je nalézt variantu, pro jejíž hodnocení účelová funkce nabývá minimální nebo maximální hodnoty. I management hrázových systémů vede na řešení úlohy optimalizace, která s ohledem na cíle systému zohledňuje více kritérií.

V současné době se při managementu hrázových systémů využívá převážně zkušeností příslušných pracovníků, u nových opatření financovaných v rámci programů [MZe 2006, 2010] v souladu s [MZe 2000] je součástí rozhodovacího procesu multikritériální analýza popsaná v metodice [2] prováděná tzv. strategickým expertem. I když tato metodika postrádá řadu hledisek v oblasti ztrát na lidských životech nebo dopadů na životní prostředí a nezohledňuje přímo požadavek na dobrý stav vodních toků, jde o ověřený postup používaný cca od roku 2003. Optimalizační postup uvedený v této metodice proto z postupů dle [2] vychází a doplňuje je.

5.3 Kritéria

Jednotlivá kritéria vychází z cílů systému uvedených v tab. 4.1. Při optimalizaci hrázového systému se pro jednotlivá kritéria porovnává navrhovaná varianta s referenční variantou (obvykle stávající stav). Nástroje pro hodnocení jednotlivých hledisek a vyčíslení uvedených kritérií jsou podrobněji diskutovány v kapitole 6.

5.3.1 Socioekonomické hledisko

Socioekonomické hledisko spočívá ve snížení povodňových rizik a optimalizaci nákladů na výstavbu a provoz prvků protipovodňové ochrany. Pro vyjádření hlediska lze využít následujících kritérií [2], [Jonkman et al. 2004] (kapitola 6.2):

- **S₁: Poměrový ukazatel efektivity** PPO vyjadřuje poměrnou ekonomickou efektivity dané varianty.
- **S₂: Absolutní efektivity** PPO vyjadřuje efektivity nákladů v absolutních ekonomických jednotkách za celou dobu očekávané životnosti PPO.

5.3.2 Technické hledisko

Technické hledisko **T** zahrnuje splnění požadavku provozní spolehlivosti a bezpečnosti objektů a prvků systému a možnost operativního řízení v systému a jeho ovladatelnost (např. možnost manipulace s objekty). Hodnocení se provádí

zvlášť pro referenční a navrhovanou variantu pro dílčí hlediska jako jsou technická úroveň, kritické prvky systému, kterými mohou být zařízení pro řízení/ovládání systému a také kritické prvky s ohledem na zatížení při povodních. Dílčí hodnocení T je v dané variantě provedeno pomocí stupnice 0 až 1 podle předpisu (kapitola 6.3):

0,0	zcela záporné hodnocení,
0,2	záporné hodnocení,
0,5	neutrální hodnocení,
0,8	kladné hodnocení,
1,0	velmi kladné hodnocení.

5.3.3 *Environmentální hlediska*

Problematika ovlivnění životního prostředí zahrnuje ekologickou funkci území, hydromorfologický stav toku, krajinnotvorné prvky a ovlivnění krajinného rázu. Hodnocení se provádí zvlášť pro referenční a navrhovanou variantu. Při hodnocení environmentálních aspektů jsou posuzována tři dílčí kritéria:

- **E_1 : Ekologicko-stabilizační funkce.**
- **E_2 : Ekologický stav vodních útvarů** podle rámcové směrnice o vodách [Vyhláška č. 98/2011 Sb.] zahrnuje dopady na stav vodních útvarů v území, kontinuitu přírodě blízkých nebo revitalizačních opatření v území, hydromorfologický stav toku, dosažení dobrého stavu vod (množství, jakost, biologické procesy), poskytování vodních stanovišť.
- **E_3 : Ovlivnění krajinných prvků** hodnotí zásah navrženého opatření do stávajících krajinných prvků.

Dílčí hodnocení E_i ($i = 1, 2, 3$) je pro každé kritérium v jednotlivých variantách opatření provedeno pomocí stupnice 0 až 1 podle dosažených výsledků hodnocení jednotlivých kritérií (kapitola 6.4):

0,0	zcela záporné hodnocení,
0,2	záporné hodnocení,
0,5	neutrální hodnocení,
0,8	kladné hodnocení,
1,0	velmi kladné hodnocení.

5.3.4 *Soulad s obecnými požadavky*

V rámci tohoto kritéria je posuzován pro referenční a navrhovanou variantu soulad uspořádání a funkce systému OH s požadavky obecně platných a účelových dokumentů a s obecně uznávanými vodohospodářskými zásadami (indikátor dílčího kritéria D). Dílčí hodnocení je provedeno pomocí stupnice 0 až 1 (kapitola 6.5):

0,0	zcela záporné hodnocení,
0,2	záporné hodnocení,
0,5	neutrální hodnocení,
0,8	kladné hodnocení,
1,0	velmi kladné hodnocení.

5.3.5 Souhrnný přehled hodnotících kritérií

V tab. 5.1 je uveden souhrnný přehled hodnotících kritérií s jejich zařazením do skupin, s jejich označeními a kvantifikátory. Způsob jejich stanovení je uveden v předchozích kapitolách.

Tab. 5.1 Přehled hodnotících kritérií a jejich členění

Skupina kritérií	Ozn.	Dílčí kritérium	Kvantifikátor
Socioekonomická	S_1	S1: Poměrový ukazatel efektivnosti	$PE [-]$
	S_2	S2: Absolutní efektivnost	$AE [Kč]$
Technické	T	T: Technické hledisko	BH*)
Environmentální	E_1	E1: Ekologicko-stabilizační funkce	dle K_{pn} (tab. 6.1)
	E_2	E2: Ekologický stav vodních útvarů	BH*)
	E_3	E3: Ovlivnění krajinných prvků	BH*)
Soulad s obec. požadavky	D	D: Soulad s obecnými požadavky	BH*)

*) BH – bodové hodnocení

5.3.6 Postup hodnocení

Hodnocení kritérií se provádí vždy pro referenční variantu (např. stávající stav) a variantu obsahující navrhované úpravy v systému. Tyto varianty se vzájemně porovnávají. Při hodnocení se postupuje následujícím způsobem:

1. Posouzení odtokových poměrů:

- Posouzení odtokových poměrů pro jednotlivé varianty úprav lze provést srážkoodtokovým modelem (kapitola 6.1.1), který poskytne informace o dynamice systému a průběhu vybraných povodňových vln systémem.
- Z výsledků výpočtů se odvodí účinek opatření na transformaci povodňové vlny předmětným územím. To je podkladem pro hodnocení kritéria D, které zohledňuje změnu odtokových poměrů v území pod sledovaným úsekem.

2. Socioekonomická kritéria:

- Pro zájmovou oblast se pro vybranou sadu povodňových průtoků (nejméně s dobou opakování $N = 5, 20$ a 100 let) provede pro porovnávané varianty hydraulický výpočet postupy uvedenými v kapitole 6.1.2.
- Z výsledků výpočtů se prostředky GIS odvodí hloubky vody.
- Pro vypočtené hloubky vody se pro jednotlivé povodňové scénáře a varianty stanoví postupem dle [2], [MZe ČR 2006] povodňové riziko z materiálních škod RM a postupem dle [Brázdová, Říha 2014] riziko ze ztrát na lidských životech RO (viz kapitolu 6.2).
- Pro zamýšlené úpravy systému OH se pro každou variantu stanoví:
 - průměrné roční provozní náklady PN ,
 - náklady I_V spojené se změnou v systému OH.
- Vyčíslí se poměrová a absolutní efektivnost dle vztahů (6.3) a (6.4).

3. Technické hledisko:

- Technické hledisko se hodnotí pouze pro části systému (úseky hrází), které podléhají změně (nové, odstraňované, modifikované ochranné hráze). U stávajících prvků se vychází ze skutečného stavu, u nově navrhovaných, modifikovaných či odstraňovaných prvků se vychází z jejich předpokládaného nového uspořádání a technického řešení daného např. investičním záměrem, projektem, apod.
- Hodnocení technického stavu a úrovně se provede zvlášť pro jednotlivé předmětné úseky hrází definované identifikačním číslem dlouhodobého hmotného majetku (DHM) dle kapitoly 6.3.

4. Environmentální hlediska:

- Environmentální hlediska se hodnotí pouze pro části systému, které podléhají změně. U stávajících prvků se vychází ze skutečného stavu, u nově navrhovaných, modifikovaných, popř. odstraňovaných prvků se vychází z jejich předpokládaného řešení.
- Hodnocení environmentálních hledisek se provede pro jednotlivá dílčí území vázaná na prvky systému – linie ochranných hrází příslušejících jednotlivým DHM pro kritéria E_1 až E_3 dle kapitoly 6.4. Hodnocení se týká jak samotného vodního toku, tak dotčené části širší údolní nivy.

5. Obecné požadavky:

- Nejprve se provede soupis dokumentů a výčet vodohospodářských zásad souvisejících s modifikovaným úsekem OH.
- Hodnocení se provede se zaměřením na místo úpravy a na efekt úpravy na níže ležící území, i za hranici systému (viz též bod 1. tohoto postupu).

5.4 Váhy kritérií

Při odvození vah je snahou zajistit co možná největší objektivitu. Podkladem zde bylo jejich hodnocení skupinou respondentů zahrnujících správce vodních toků, zástupce vysokých škol, projekční složky a výzkumné instituce. Respondenti provedli stanovení vah:

- skupin kritérií (tab. 5.2),
- dílčích kritérií v rámci jednotlivých skupin (tab. 5.3 až 5.4).

Odvození vah se provedlo za předpokladu, že každý z hodnotitelů má stejnou váhu „zprůměrováním“ hodnot uvedených jednotlivými respondenty. Pro ověření citlivosti metody na hodnoty vah bylo provedeno jejich stanovení dvěma postupy:

- přímo jako průměrná hodnota z dílčích hodnocení respondentů,
- metodou párového porovnání na základě odvozených pořadí (preferencí).

5.4.1 Výsledky hodnocení respondentů

V následujících tabulkách jsou zprůměrovaná hodnocení poskytnutá oslovenými respondenty. V tabulce 5.2 je uvedeno hodnocení v rámci skupin kritérií.

Tab. 5.2 Hodnocení skupin kritérií

Označení skupiny	Skupina kritérií	Váha w_i
S	Socioekonomická	0,393
T	Technická	0,271
E	Environmentální	0,246
D	Soulad s obecnými požadavky	0,090

V tabulkách 5.3 a 5.4 jsou uvedena hodnocení dílčích kritérií v rámci skupin.

Tab. 5.3 Dílčí hodnocení socioekonomického hlediska

Označení	Popis	Váha w_j
S_1	Poměrový ukazatel efektivity	0,636
S_2	Absolutní efektivity	0,364

Tab. 5.4 Dílčí hodnocení environmentálního hlediska

Označení	Popis	Váha w_j
E_1	Ekologicko-stabilizační funkce	0,35
E_2	Ekologický stav vodních útvarů	0,45
E_3	Ovlivnění krajinných prvků	0,20

Výsledné váhy $w_k = w_{ij}$ se stanoví jako součiny vah w_j v tabulkách 5.3 až 5.4 pronásobených váhami w_i skupiny (tab. 5.2) dle vztahu:

$$w_k = w_{ij} = w_i \cdot w_j \quad (5.1)$$

kde $i = 1, \dots, 4$ je identifikátor skupiny a j je identifikátor dílčího hlediska v rámci příslušné skupiny (tab. 5.5).

Tab. 5.5 Váhy odvozené z výsledků hodnocení respondentů

Skupina kritérií	k	Ozn.	Dílčí kritérium	Pořadí kritérií	Váha w_k
Socioekonomická	1	S_1	Poměrový ukazatel efektivity	2	0,250
	2	S_2	Absolutní efektivity	3	0,143
Technická	3	T	Technické hledisko	1	0,271
Environmentální	4	E_1	Ekologicko-stabilizační funkce	6	0,086
	5	E_2	Ekologický stav vodních útvarů	4	0,111
	6	E_3	Ovlivnění krajinných prvků	7	0,049
Soulad s obecnými požadavky	7	D	Soulad s obecnými požadavky	5	0,090

5.4.2 Párové porovnání

Pro porovnání bylo provedeno odvození vah také metodou párového porovnání, tj. postupem vyjadřujícím preferenční vztahy binárním způsobem (0, 1), kdy hodnocení „1“ odpovídá preferovanému kritériu. Metoda párového porovnání je založena na zjišťování preferenčních vztahů dvojic kritérií $\langle i, j \rangle$. Bodové hodnocení $d_{p,j}$ vyjadřující počet preferencí r_{ij} příslušejících kritériu j je vyjádřeno vztahem:

$$d_{p,j} = \sum_{i=1}^n r_{ij} + 1, \quad (5.2)$$

kde r_{ij} je preference kritéria j vzhledem k i , n je počet kritérií (zde $n = 7$, kapitola 5.4.1). Preference jednotlivých kritérií se stanoví na základě jejich pořadí dle tabulky 5.6. Výsledkem hodnocení je pořadí kritérií podle jejich vlivu na vhodnost jednotlivých variant. Váha j -tého kritéria se stanoví ze vztahu (tab. 5.6):

$$w_j = \frac{d_{p,j}}{d_p} \quad (5.3)$$

kde:

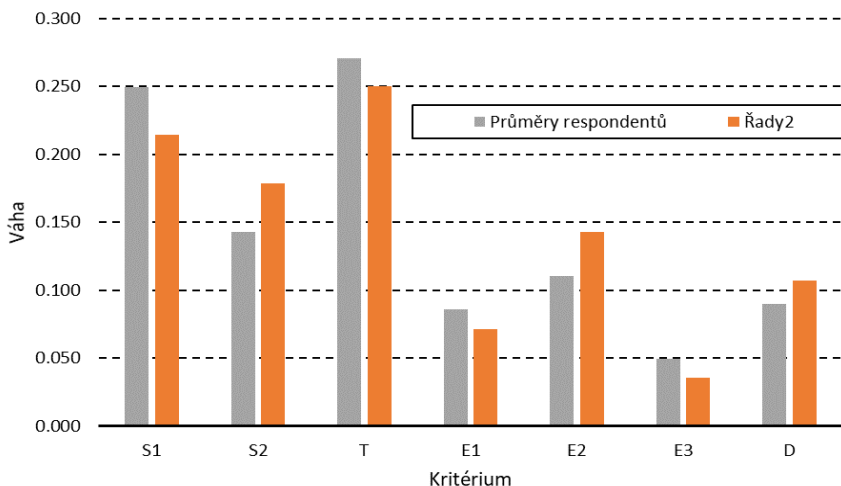
$$d_p = \sum_{j=1}^n d_{p,j} \quad (5.4)$$

Tab. 5.6 Metoda párového porovnání

Kritérium	S_1	S_2	T	E_1	E_2	E_3	D	Počet preferencí $d_{p,j}$	Váha kritéria w_j
S_1	-	1	0	1	1	1	1	6	0,214
S_2	0	-	0	1	1	1	1	5	0,179
T	1	1	-	1	1	1	1	7	0,250
E_1	0	0	0	-	0	1	0	2	0,071
E_2	0	0	0	1	-	1	1	4	0,143
E_3	0	0	0	0	0	-	0	1	0,036
D	0	0	0	1	0	1	-	3	0,107

5.4.3 Volba vah

Na obr. 5.1 je uvedeno porovnání vah získaných dvěma popsányými způsoby. Je patrné, že preference jednotlivých kritérií se nemění, v případě prvního způsobu (průměry hodnot respondentů) je patrný diferencovanější výsledek. Uživatel může v opodstatněných případech dle potřeby, významu a specifičnosti akce zvolit vlastní modifikovanou metodu stanovení vah zahrnující širokou škálu respondentů - specialistů s bodovým hodnocením preferencí.



Obr. 5.1 Porovnání vah

5.5 Sestavení účelové funkce

Pro výběr vhodné varianty bylo použito vícekritériálního hodnocení. Všechna výše definovaná kritéria jsou maximalizační, tedy i účelová funkce je formulována jako maximalizační. Jednotlivá kritéria jsou hodnocena jak kvantitativně (socioekonomická), tak kvalitativně (ostatní). Protože jsou různá kritéria vyjádřena hodnotami v různých jednotkách s různými měřítky a velikostí, je provedeno jejich normování prostřednictvím tzv. preferenčních funkcí [Brans, Mareschal 2005]. Nechť N_k (k dle tab. 5.5) je normovaná hodnota odpovídající hodnocení příslušného kritéria.

V případě kritéria S_1 byl navržen následující tvar preferenční funkce (obr. 5.2). V případě, že:

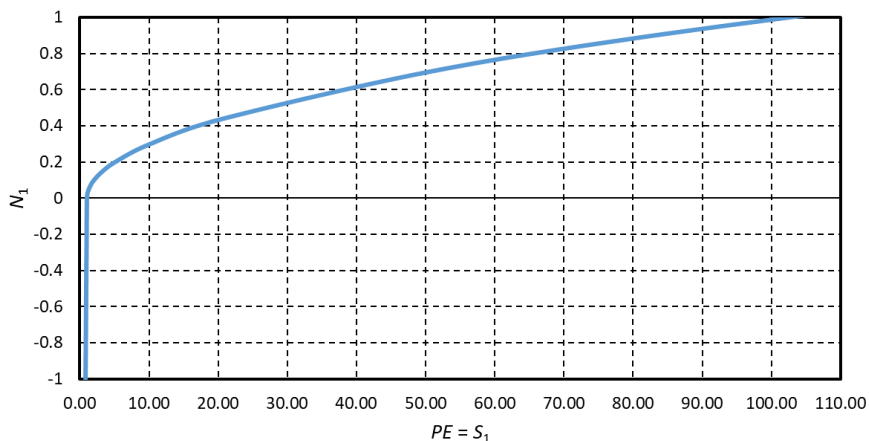
- $S_1 < 0,8$ – varianta se považuje za nevhodnou a vyřazuje se .
- $0,8 \leq S_1 \leq 1$
$$N_1 = -5 + 5 \cdot S_1 \quad (5.5a)$$
- $1 \leq S_1 \leq 100$
$$N_1 = \sqrt{\frac{S_1 - 1}{99}} \quad (5.5b)$$
- $S_1 > 100$
$$N_1 = 1 \quad (5.5c)$$

Pro kritérium S_2 byl navržen následující tvar preferenční funkce (obr. 5.3):

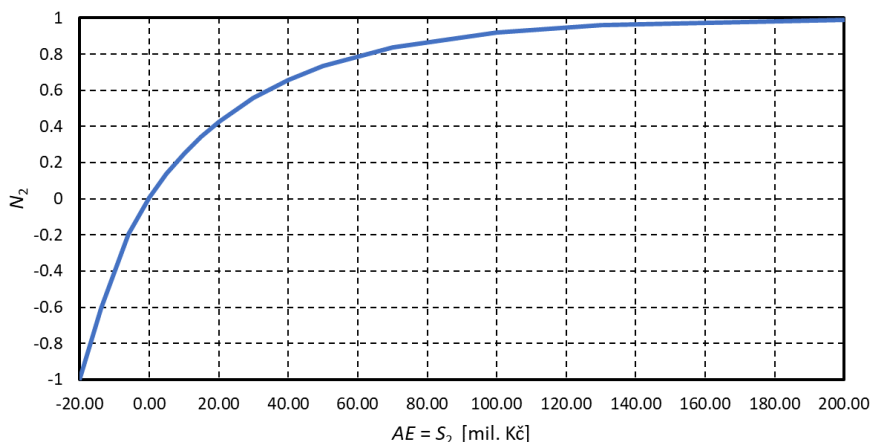
$$N_2 = 0,73 \cdot \arcsin\left(1 - \frac{1}{\exp\left(\frac{S_2 + 4,8}{20}\right)}\right) - 0,15, \quad (5.6)$$

kde S_2 se dosazuje v milionech Kč.

Pokud $AE = S_2 < -20$ mil. Kč, varianta se považuje za nevhodnou a vyřazuje se z dalšího hodnocení.



Obr. 5.2 Tvar preferenční funkce pro kritérium poměrné efektivity



Obr. 5.3 Tvar preferenční funkce pro kritérium absolutní efektivity

V případě skupin T, E a D má preferenční funkce tvar

$$N_3 = T; N_4 = E_1; N_5 = E_2; N_6 = E_3; N_7 = D \quad (5.7)$$

Výsledná **účelová funkce** má tvar

$$UF = \sum_{k=1}^2 N_k \cdot w_k + \sum_{j=3}^7 (N_j^V - N_j^O) \cdot w_j, \quad (5.8)$$

kde k a j jsou identifikátory socioekonomických a ostatních hledisek, horní indexy O a V značí příslušnost k referenční a hodnocené variantě, w_k a w_j jsou příslušné váhy dle tab. 5.5, tab. 5.6, popř. v odůvodněných případech váhy stanovené řešitelem na základě jeho vlastního šetření a vyhodnocení.

6. NÁSTROJE OPTIMALIZACE

6.1 *Matematické modely*

Pro hodnocení jednotlivých kritérií je třeba provést kvantifikaci vybraných veličin (vodo hospodářských, hydraulických, stabilitních). Přitom je účelné využít možností matematických modelů. Jde o následující typy modelů:

- Srážkoodtokové (hydrologické) modely umožňují simulaci srážko-odtokových jevů v povodí. Modely umožňují transformaci srážkového procesu na odtok ve vodním toku. Umožňují posouzení efektu provedených opatření na odtokové poměry a kvantifikaci retence vody v krajině.
- Hydraulické modely obvykle využívají 2D aproximaci proudění v inundačním území, umožňují stanovit hydraulické charakteristiky, jako jsou místní hloubka a svislicová rychlost. Výsledky jsou podkladem pro odhad rizika a kvantifikaci socioekonomických kritérií (kapitola 6.2).
- Modely proudění podzemní vody umožňují posouzení průsakových poměrů v zájmovém území, slouží pro posouzení bezpečnosti ochranných hrází, jezů, hrází přehradního typu, apod. Používají se spíše zřídka, a to pro posouzení návrhu popř. úprav hrází v nepříznivých základových podmínkách.
- Modely umožňující hodnocení stability stavebních konstrukcí a tím kvantifikaci technických kritérií.
- Environmentální modely jsou postaveny především na prostorových analýzách hodnocených environmentálních charakteristik.

6.1.1 *Srážkoodtokové modely*

Srážkoodtokový model představuje matematický model srážkoodtokového procesu, který zjednodušeně popisuje kvantitativní vztah mezi vstupními a výstupními veličinami určitého hydrologického systému [Daňhelka et al., 2002, Clarke, 1973]. Mezinárodně používanou klasifikaci srážkoodtokových modelů zpracovala Světová meteorologická organizace (WMO) [Becker, Serban 1990].

K sestavení srážkoodtokového modelu a k vlastnímu posouzení odtokových poměrů v povodí s říčním a hrázovým systémem lze použít různých programových prostředků, např. [HEC-HMS 2020]. Výstupy z řešení jsou průběhy povodňových průtoků v čase (hydrogramy) v profilu vodního toku pod sledovaným úsekem. Porovnáním hydrogramu stávajícího (referenčního) s hydrogramy reprezentujícími jednotlivé varianty navrhovaných úprav v hrázových systémech se odvodí účinek opatření a úprav na transformaci povodňové vlny v povodí (kritérium D , tab. 5.5, kapitola 5.3.4).

Před sestavením srážkoodtokového modelu je nezbytné zajistit všechny potřebné podklady. Rozsah a typ těchto podkladů vychází z požadavků použitého programového vybavení a ze zvolených matematických metod. Podklady lze rozdělit na data topografická, hydrologická, technická, hydrotechnická data vodních toků, hrází a provozní údaje (kapitola 3.1).

Tvorba srážkoodtokového modelu sestává ze dvou částí. První část zahrnuje schematizaci modelovaného povodí a tvoří ji jednotlivé prvky systému. Jde o dílčí povodí, síť vodních toků, nádrže, přítoky do oblasti, atd. Druhou část tvoří meteorologická a hydrologická data. Další text je členěn do bodů, které stručně popisují sestavení, kalibraci a verifikaci modelu. Teoretický popis není uváděn a lze jej nalézt v dostupné literatuře, např. [Becker, Serban 1990], [HEC-HMS 2020].

1. Schematizace povodí

Schematizace povodí vychází z odvození jeho fyzickogeografických charakteristik. Základem je část povodí, v níž se předpokládají změny systému ochranných hrází. Následuje definování říčního systému a výběr vodních toků, na nichž bude provedeno modelování srážkoodtokového procesu. Doporučuje se umístit hranice systému na vodních tocích v místech kontinuálně měřených průtoků (limnigrafických stanicích). Toky, na nichž nejsou k dispozici měřené průtoky, jsou modelově nahrazeny dílčími podpovodími, na kterých se rovněž simuluje srážkoodtokový proces. Schematizaci je obvykle možné provést automatizovaně v prostředí použitého software nebo je možné povodí schematizovat "ručně".

2. Zadání meteorologických a hydrologických dat

Meteorologická a hydrologická data vychází z reálných a odvozených srážkových úhrnů a hydrogramů. Srážkové úhrny jsou podle polohy srážkoměrných stanic v povodí vztaženy k dílčímu podpovodí. Hydrogramy popisující přítoky a odtoky vody do a z modelovaného povodí jsou vztaženy k místům na hranici systému (limnigrafické stanice). Pro simulaci je třeba zadat časový rámec výpočtu odpovídající zadaným meteorologickým a hydrologickým údajům.

3. Výběr výpočetních metod

Výpočetní software často umožňuje zvolit metody výpočtu, které v řešeném systému popisují chování jednotlivých prvků modelovaného povodí.

U podpovodí lze použít různé metody výpočtu odtokové ztráty. Často se vychází z čísel odtokových křivek *CN*. *CN* je určeno druhem hydrologické skupiny půd a půdním pokryvem. Každému prvku řešeného podpovodí je nutné přiřadit průměrnou hodnotu *CN* [USDA 1986]. Průměrná hodnota je vypočtena jako vážený průměr nad dílčími plochami se stejnými hodnotami *CN*. Pro transformaci srážky na odtok vody z podpovodí lze použít metodu jednotkového hydrogramu, např. Clarkova jednotkového hydrogramu [Clark 1945], jehož parametry jsou doba koncentrace podpovodí [Kirpich 1940] a tzv. transformační (retenční) faktor [Sabol 1988]. Pro odhad doby koncentrace a transformačního faktoru podpovodí lze použít empirické vztahy [Melching, Marquardt 1997], [Ahmad a kol. 2009].

Pro vodní toky je nutné stanovit postupovou dobu povodňové vlny. Validací bylo prokázáno [HEC 1973], že pro daný účel postačí použít metodu kinematické vlny, při které proudění korytem vychází z rovnice kontinuity a kinematického tvaru věty o změně hybnosti. Vodní tok lze v modelu zjednodušeně schematizovat prizmatickým tvarem koryta s po částech konstantním sklonem. Zadávané parametry je možno určit pomocí nástrojů ArcGIS a upřesnit na základě terénního průzkumu.

5. Definování území pro řízený rozliv

Území vymezené pro řízený rozliv lze zjednodušeně nahradit vodní nádrží, která cíleně zadržuje vodu v území za ochrannou hrází. Vodní nádrž je v modelu zjednodušeně charakterizována pomocí čáry zatopených objemů a parametrů charakterizujících jednotlivé objekty (přelivy, výpusti). Plnění vodní nádrže (vymezeného území pro rozliv) z vodního toku je možno v modelu docílit prostřednictvím bočního (hrázového) přelivu charakterizovaného jeho parametry a měrnou křivkou průtoků vztaženou k profilu vodního toku v místě přelivu.

6. Kalibrace a verifikace modelu

Kalibrace modelu spočívá v systematické změně parametrů srážkoodtokového modelu (viz níže) s cílem co nejvíce přiblížit modelované hydrogramy skutečně naměřeným průtokům. Kalibrace se provádí na základě historických a ověřených meteorologických a hydrologických dat (historická povodňová epizoda). Data použitá při kalibraci modelu popisují průběh historických povodňových událostí prostřednictvím naměřených srážkových úhrnů a jim odpovídajících hydrogramů. V případě povodí s absencí měřených dat postačí kalibrace modelu pro jejich závěrový profil. V případě dostupnosti dat je vhodné provést kalibraci i pro mezilehlé profily.

Kalibračními parametry jsou zejména čísla odtokových křivek (CN), doba koncentrace v podpovodí, transformační faktor, tvar a rozměry prizmatického koryta a jeho sklon, součinitel drsnosti. Kalibraci je možné provádět "ručně" metodou pokusu a omylu nebo použít optimalizační nástroje příslušného softwaru. Pro optimalizaci je možno použít různých výpočetních algoritmů, které pomocí zvoleného objektivního kritéria porovnávají skutečný a modelovaný hydrogram. Jako objektivní kritérium je možno například použít minimalizaci součtu čtverců odchylek, minimalizaci rozdílů vrcholů hydrogramů, apod. Doporučuje se volit co možná nejmenší počet kalibrovaných parametrů, proces kalibrace je pak přehledný a rychle vede k cíli.

Úspěšnost kalibrace modelu se ověřuje jeho verifikací s použitím jiné historické povodňové epizody než byla použita pro kalibraci modelu. Přesnost výsledků (modelovaných hydrogramů) je ovlivněna nejistotami ve vstupních datech, mírou schematizace povodí a zvolenými metodami výpočtu. U srážkoodtokových modelů lze uvedené vlivy omezit úspěšně provedenou kalibrací.

6.1.2 *Hydraulické modely*

Pro odhad materiálních škod a také škod na zdraví a životech obyvatel je třeba určit pro jednotlivé povodňové scénáře (obvykle s dobou opakování $N = 5, 20, 100$ let) charakteristiky průchodu povodně, které indikují povodňové nebezpečí. Jde zejména o místní hloubku a rychlost vody a čas příchodu povodňové vlny pro stanovení disponibilní doby pro varování.

Pro hydraulické modelování se v praxi používá jednodimenzionálních (1D), větvených (1,5D), dvojdimenzionálních (2D), popř. spřažených 1D/2D modelů.

1D model [Jain 2000] obvykle zahrnuje koryto toku a část bezprostředně souvisejícího „hydraulicky aktivního“ inundačního území. Hladina z vodního toku je v příslušných příčných profilech extrapolována do inundačního území. To limituje jeho použití pro širší inundační území se samostatným a mnohdy nezávislým prouděním vody v korytě a inundaci.

1,5D modelem se rozumí model větvené 1D sítě. Při použití 1,5D modelu se vychází z 1D modelu. Důvodem použití větvené sítě je skutečnost, že v místech rozlivů dochází zejména při vyšších průtocích k odlišnému směru proudění oproti hlavnímu proudu s odlišnými polohami hladiny v korytě a mimo něj. Nevýhodou je, že navržená síť musí dobře predikovat místa vybřezení a spojení proudu a také linie a směry proudění vody v inundačním území, které se nahrazuje „koryty“. Při návrhu větvené sítě je účelné vycházet z průběhu a rozsahu záplavy při skutečných povodních. Je třeba vzít do úvahy, že při nižších průtocích zůstanou některé větve modelu "suché".

Pro stanovení místních hloubek a rychlostí vody se v současné době používá 2D modelů [Vreugdenhil 1994], popř. 2D modelů proudění v inundačním území v kombinaci s 1D modelem zahrnujícím koryta vodních toků [Brunner 2016]. S ohledem na charakter dílčích úseků toků, hydraulické řešení objektů na tocích a v území (svodnice, mostky, inundační mosty, propustky) a charakter inundačního území poskytuje nejvěrohodnější výsledky kvalitně sestavený spřažený jednodimenzionální (1D) a dvojdimenzionální (2D) numerický model. Vodní toky jsou schematizovány 1D modelem pomocí příčných profilů a objektů, inundační území je schematizováno 2D sítí s využitím DMT. Oba způsoby prostorové diskretizace (1D a 2D) lze propojit v místech hrází, valů popř. břehů vodních toků. V místech rozlivů přechází 1D model do 2D sítě, která je založena na DMR5G se zpřesněním prostřednictvím geodeticky zaměřených bodů. Spřažený 1D/2D je doplněn o objekty a liniové stavby. Hydraulické řešení objektů se provádí nástroji klasické hydrauliky [Boor a kol. 1968, Brunner 2016].

Jako okrajové podmínky (OP) se aplikují údaje o průtocích uvedené v kapitole 3.2.1, popř. kulminační průtoky hydrogramů získaných postupem popsáním v kapitole 6.1.1. Pro kvantifikaci socioekonomických kritérií S_1 a S_2 (kapitoly 5.3.1 a 6.2) se používá modelů ustáleného proudění, kdy jsou OP reprezentovány N -letými průtoky (obvykle s dobou opakování $N = 5, 20$ a 100). Pokud je hydraulickým modelem hodnocena retenční funkce záplavového území (kritérium D), je třeba OP zadat formou hydrogramů povodňových vln. Zde se doporučuje provést hodnocení pro více povodňových vln s různými objemy (viz kapitolu 6.1.1).

6.2 Riziková analýza

Kritéria související s povodňovým rizikem a optimalizací nákladů na výstavbu, změny a provoz prvků protipovodňové ochrany vycházejí z analýzy nákladů a užitků, ve které se porovnávají v peněžních jednotkách náklady a přínosy dané varianty. Povodňové riziko je závislé na výši materiálních povodňových škod a na pravděpodobnosti jejich vzniku podle vztahu [1], [3]:

$$RM = E(D) = \int_{Q_H}^{Q_E} D(Q) \cdot f(Q) \cdot dQ \quad [\text{Kč/rok}] \quad (6.1)$$

kde $RM = E(D)$ je průměrné roční povodňové riziko z materiálních škod, $D(Q)$ je výše materiální škody při průtoku Q , $f(Q)$ je hustota pravděpodobnosti ročních kulminačních průtoků, Q_H je průtok, při kterém ještě nevznikají významnější škody (neškodný průtok), Q_E je extrémní průtok, při jehož překročení již dopady výrazně nerostou, jeho pravděpodobnost výskytu je již velmi malá a riziko proto relativně malé (např. Q_{500}).

Obdobným způsobem se stanoví průměrný roční počet obětí na lidských životech v důsledku povodní:

$$RO = E(LOL) = \int_{Q_H}^{Q_E} LOL(Q) \cdot f(Q) \cdot dQ, \quad [\text{osob/rok}] \quad (6.2)$$

kde $RO = E(LOL)$ je průměrné roční povodňové riziko ze ztráty na životech, $LOL(Q)$ je počet obětí na lidských životech při daném povodňovém průtoku.

Závislost $D(Q)$ se stanoví postupem dle [3], závislost $LOL(Q)$ např. s využitím postupu dle [Brázdová, Říha 2014]. Integrály (6.1) a (6.2) lze řešit numericky.

6.2.1 S1 – Poměrový ukazatel efektivity PPO

Poměrový ukazatel efektivity PPO vyjadřuje poměrnou ekonomickou efektivity dané varianty:

$$PE = \frac{RM_0 - RM_V + PN_0 - PN_V + CSSL \cdot (RO_0 - RO_V)}{I_V \cdot DS} [-], \quad (6.3)$$

kde RM_0 , resp. RM_V jsou průměrné roční povodňové riziko z materiálních škod pro referenční – nultou variantu (např. stávající stav), resp. hodnocenou variantu zahrnující úpravy hrázového systému. Analogicky RO_0 , resp. RO_V a PN_0 , resp. PN_V jsou průměrné roční povodňové riziko ze ztráty na životech a průměrné roční provozní náklady pro referenční, resp. hodnocenou variantu. I_V jsou celkové náklady na realizaci hodnocené varianty (provedení změny v systému), $CSSL$ vyjadřuje náklady na záchranu lidského života (např. analogicky s [6]), DS je diskontní sazba (dle [2], [3] uvažovaná hodnotou $DS = 0,03$).

6.2.2 S2 – Absolutní efektivity PPO

Absolutní efektivity PPO vyjadřuje efektivity vynaložených nákladů v absolutních ekonomických jednotkách za celou dobu očekávané provozuschopnosti (životnosti) PPO:

$$AE = \frac{RM_0 - RM_V + PN_0 - PN_V + CSSL \cdot (RO_0 - RO_V)}{DS} - I_V \quad [\text{Kč}]. \quad (6.4)$$

Základní obecnou podmínkou rentability ze socioekonomického pohledu je splnění podmínek:

$$PE > 1; AE > 0$$

Při hodnocení komplexu kritérií však lze připustit ekonomicky nerentabilní variantu za předpokladu, že nižší rentabilita je kompenzována dalšími užitky jako jsou zlepšení technického stavu či ekologických podmínek.

6.3 Hodnocení technického stavu

Ověřuje a hodnotí se soulad technické úrovně systému a jeho prvků s požadavky obecně závazných předpisů, technických norem, metodických pokynů a dalších domácích a zahraničních podkladů (kapitoly 2, 8).

Vyhodnocení poruch hrázových systémů ukazuje, že některé prvky systému vykazují vyšší zranitelnost, popř. nižší spolehlivost při extrémním zatížení. Jde o zařízení pro řízení/ovládání systému, např. pro manipulaci s vodou. Ta jsou obvykle vybaveny součástmi (např. strojním vybavením), které je třeba udržovat v provozuschopném stavu po řadu let i v období, kdy se s nimi nemanipuluje. U těchto zařízení může dojít při povodni k selhání či nesprávné manipulaci. Pozornost zasluhují též prvky, které při povodních představují slabé místo z hlediska jejich porušení při extrémním zatížení. Těmito prvky mohou být hrázové propusti, mostní objekty, místa s prosedlou korunou hráze jako např. hrázové přejezdy, úseky hrází z nekvalitního materiálu či se špatnými základovými podmínkami. Předmětem hodnocení je provozní spolehlivost a bezpečnost těchto zařízení a prvků.

Výchozími podklady pro hodnocení jsou provozní deník, zápisy z prohlídek díla v rámci TBD, popř. jiná srovnatelná dokumentace. Předmětem hodnocení je:

- celkové uspořádání, stará řečiště, přítoky, výmoly, zřetelná místa porušení hráze, související opuštěné OH, vazba hráze na záplavové území, posouzení možných účinků proudu, podmáčení, sesuvy, ohrožení chodem ledů, atd.,
- těleso OH a její podloží, stav travního pokryvu a vegetace, prosedliny svahů a koruny hráze, eroze, sesuvy a trhliny v tělese hráze, stav opevnění svahů, činnost živočichů, stav drenážního systému, úpravy na hrázi, hospodářské a lesní stavby, trvalá zábradlí, komunikace na hrázi, zavázání hráze, apod.,
- předhráží a zahráží včetně podloží, přirozený těsnicí pokryv, jeho rozsah a případné místní porušení, rozsah ochranného pásma, výskyt vegetace,
- místní zvláštnosti, objekty v hrázi jako čerpací stanice, hrázové přelivy, propusti, shybky, vrty, drenáže, nadzemní a podzemní křížení s hrázi (komunikace, vedení), stav betonových konstrukcí, těsnění a propustnost spár, funkčnost technologického zařízení, apod.

Hodnocení ve škále dle kapitoly 5.3.2 reflektuje stav OH a závažnost závad:

- Bez závad, perfektní stav a chování při povodni, $T = 1,0$.
- Závady, které neohrožují stabilitu a bezpečnost hráze, realizace nápravného opatření není neodkladně nutná, $T = 0,8$:
 - hráz za povodňových stavů bez průsaků,
 - drobné, prakticky neměřitelné výrony vody zdívem hrázového přelivu,
 - koruna hráze s mírnými nerovnostmi do cca 0,05 m,
 - vegetace v zahrázi znemožňuje provádění kontroly vzdušní paty,

- místně chybějící zatravnění,
- nízkovzrostlá vegetace – vysoký plevel, keře, výmladky.
- Závady, které mohou ohrozit stabilitu hráze a jejichž vývoj by mohl být nebezpečný, bezprostřední nebezpečí prozatím přímo nehrozí, $T = 0,5$:
 - hráz za povodňových stavů bez průsaků,
 - hráz není v celé délce vyrovnaná, koruna a svahy s průlehy a vyjetými kolejemi v rozmezí projektovaného převýšení hráze, tj. průlehy max. po úroveň hladiny při návrhové povodni,
 - poškozené opevnění svahů hráze,
 - spojitě plochy s chybějícím zatravněním,
 - nežádoucí vegetace – mladší stromky do průměru kmene 0,20 m, uhynulé a značně proschlé stromy, nebezpečí vývrátů, které však nevyvolají úplné protržení hráze,
 - porušení činnosti živočichů nepřesahující hloubku 0,20 m.
- Významné závady, hrozí ztráta stability tělesa hráze, další vývoj závad může vést k nebezpečné situaci, je potřebná neodkladná náprava stavu, $T = 0,2$:
 - hráz s nerovnostmi (průlehy) sahajícími pod úroveň návrhové hladiny při povodni,
 - prostor před hrázovým přelivem, přeliv či odpad jsou zanesené, zarostlé,
 - uzávěr hrázové propusti není zajištěn proti svévolné manipulaci, nemanipulovatelný uzávěr hrázové propusti,
 - nepřipustná vegetace na hrázi jako keře, větší dřeviny, prosychající nebo odumřelé stromy a stromy hrozící rozsáhlým vývratem v tělese hráze, stromy bránící příjezdu k objektům,
 - porušené opevnění návodního svahu, výmoly, abrazní jevy, propady svahů
 - ustálené soustředěné výrony čiré vody v zahrází,
 - drobné trhliny v zemní hrázi.
- Závady, které přímo ohrožují stabilitu a bezpečnost hrází, u nichž lze předpokládat rychlý nepříznivý vývoj nebo které svou existencí ohrožují zvládnutí mimořádné situace (průchod povodně), $T = 0,0$:
 - zatarasen průtočný profil hrázového přelivu,
 - stavidla hrázových přelivů jsou při povodních neovladatelná, zdvih stavidel není možný,
 - potrubí hrázových propustí porušeno, za rubem kaverny, patrné propady na svahu či na koruně OH, např. nad výpustí nebo u hrázového přelivu,
 - koruna hráze s nerovnostmi (průlehy) sahajícími až 0,25 m pod návrhovou hladinu při povodni,
 - příčné trhliny v tělese hráze, podélné trhliny nad 3 m délky s patrným poklesem jedné části vůči druhé, zátrhy, sesuvy,
 - v průběhu povodně zvětšující se vývěry vody na vzdušném svahu, popř. za vzdušní patou hráze,

- během zvýšených vodních stavů je pozorován vývěr vody se zákalem nebo vyplavováním částic zeminy na vzdušném svahu, popř. za vzdušní patou hráze.

6.4 Hodnocení stavu životního prostředí

6.4.1 E1 – Koeficient ekologické stability

Ekologicko-stabilizační funkce je vázána jak k vodnímu toku, tak k širší údolní nivě s přihlédnutím k ovlivnění migrační prostupnosti území a druhové rozmanitosti. Je vyjádřena pomocí bezrozměrného koeficientu ekologické stability [Miklós 1986]:

$$E_1 = \frac{\sum(p_n K_{pn})}{p} \quad (6.5)$$

kde K_{pn} je koeficient ekologické významnosti jednotlivých ploch (hodnoty koeficientu jsou v tab. 6.1), p_n je výměra dílčích ploch (kultur) a p je celková výměra zájmového území.

Tab. 6.1 Koeficient ekologické významnosti K_{pn} [-]

pole	louky	pastviny	zahrady	sady	lesy + voda	ostatní
0,14	0,62	0,68	0,50	0,30	1,00	0,10

Koeficient K_{pn} je přiřazován jednotlivým plochám v rámci vymezených hranic systému na základě údajů o využití území. Přitom se využívá databáze krajinných prvků a využití území uvedené v [ZABAGED 2020]. Při hodnocení navržených opatření je třeba pro každou navrhovanou variantu definovat nový charakter ploch v návaznosti na navržené úpravy (např. v důsledku odstranění OH), upravit rozsah jednotlivých ploch v souladu s konkrétním návrhem a stanovit jejich velikost. Stanovení E_1 je provedeno v prostředí GIS podle vztahu (6.5) na základě plošného rozsahu jednotlivých typů ploch a jejich ekologické významnosti. Pro hodnocenou variantu se načte z databáze příslušná vrstva využití území a nad vymezeným systémem se stanoví hodnota E_1 .

6.4.2 E2 – Ekologický stav vodních útvarů

Hodnocení ekologického stavu toku se provede v souladu s požadavky vyhlášky č. 98/2011 Sb. Posouzení je provedeno na základě verbálního popisu zájmového území v následujících aspektech:

- jak respektuje navržené opatření kontinuitu přírodě blízkých nebo revitalizačních opatření, která byla v území provedena nebo jsou plánována,
- jak navržené opatření ovlivní množství a jakost vody nebo biologické procesy v zájmovém úseku toku a v souvisejícím území,
- jakým způsobem opatření ovlivní stav z pohledu vodních stanovišť pro živočichy,

- jaké je hydromorfologické hodnocení stavu toku. V rámci optimalizace se hodnocení zaměřuje primárně na vlivy, které souvisí bezprostředně s návrhem nebo úpravou systému OH [Langhammer, 2014]. Jedná se o:
 - změny charakteru toku, tj. zda jde o přirozené či upravené koryto, druh opevnění břehů včetně rozsahu a druhové skladby břehové vegetace,
 - průchodnost inundačního území (příčné stavby, inundační mosty, atd.),
 - příčné stavby a jejich migrační propustnost z pohledu podélné průchodnosti koryta,
 - dopady na hydrologický a hydrodynamický režim ve vztahu ke změně charakteru proudění (úpravy sklonových poměrů, ovlivnění vzdutím),
 - posouzení možností přirozených korytotvorných procesů (šířka volné údolní nivy, ovlivnění splaveninového režimu, apod.).

Stupnice hodnocení E_2 dle kapitoly 5.3.3 zohledňuje stav vodních útvarů resp. dopady plánovaných opatření:

- Stav vodního toku je dobrý, $E_2 = 1,0$:
 - koryto je v přírodním stavu, břehové partie jsou stabilizované vegetačním opevněním,
 - průchodnost inundačního území není omezena příčnými liniovými stavbami, v území jsou spojitě biokoridory.
- Stav vodního toku je přijatelný, $E_2 = 0,8$:
 - minimálně regulované koryto, břehové partie jsou stabilizované vegetačním opevněním, lokálně je použita technická stabilizace,
 - průchodnost inundačního území je částečně omezena příčnými liniovými stavbami (méně jak jedna stavba na 1 km toku), biokoridory jsou spojitě.
- Uvedená kritéria jsou naplněna jen částečně, lze identifikovat dílčí nedostatky a lze konstatovat, že není plně dosaženo dobrého stavu, $E_2 = 0,5$.
 - částečně upravené koryto, břehové partie jsou z větší části technicky stabilizované,
 - průchodnost inundačního území je omezena max. dvěma příčnými stavbami na km toku, biokoridory se v území vyskytují, nejsou však spojitě.
- V zájmové lokalitě lze identifikovat významné nedostatky z pohledu uvedených kritérií, $E_2 = 0,2$:
 - koryto toku je převážně upravené, břehové partie jsou převážně technicky stabilizované,
 - průchodnost inundačního území je omezena četnými příčnými stavbami, biokoridory v území tvoří nespojitě maloplošné oblasti.
- Zcela nevyhovující stav, $E_2 = 0,0$:
 - silně regulované koryto s napřímenými úseky, stabilizace břehů je provedena těžkým stavebně technickým opatřením v celém rozsahu,
 - průchodnost inundačního území je významně omezena obtížně překonatelnými příčnými stavbami, v území zcela chybí biokoridory.

6.4.3 E3 – Ovlivnění krajinných prvků

Hodnocení dílčího kritéria E_3 zahrnuje míru dopadů dané varianty na krajinné prvky. Vyhodnocuje se prostorová kolize a míra ovlivnění (negativní nebo pozitivní) následujících krajinných prvků v důsledku realizace navrženého opatření:

- zvláště chráněná území,
- významné krajinné prvky (VKP),
- evropsky významné lokality,
- prvky územního systému ekologické stability (ÚSES).

Pro stanovení hodnoty kritéria jsou v prostředí GIS identifikovány rozsahy kolizních ploch. Hodnocení kritéria E_3 je provedeno na základě verbálního popisu rozsahu ovlivněných ploch a očekávatelných dopadů na krajinné prvky. Posuzuje se výsledný dopad opatření na danou přírodně významnou lokalitu, popřípadě možné dopady v důsledku stavebních činností. Hodnocení respektuje škálu dle kap. 5.3.3. Doporučené hodnoty E_3 jsou následující:

- Nedochází ke kolizi s významnými krajinnými prvky nebo lze předpokládat pozitivní dopad na stav daného krajinného prvku, $E_3 = 1,0$.
- Ke kolizi s významnými krajinnými prvky dochází jen okrajově a nelze očekávat negativní dopady na VKP, $E_3 = 0,8$.
- Ke kolizi s významnými krajinnými prvky dochází v malém rozsahu a negativní dopady lze očekávat pouze omezeně (např. v průběhu výstavby, rekonstrukce, apod.), $E_3 = 0,5$.
- Ke kolizi s VKP dochází ve značném rozsahu a lze předpokládat negativní dopady na ekologický stav daného krajinného prvku, $E_3 = 0,2$.
- Lze očekávat významný negativní vliv na dotčené krajinné prvky včetně možnosti ohrožení ekologické funkce daného prvku, $E_3 = 0,0$.

6.5 D – Hodnocení souladu s obecnými požadavky

Obecné požadavky jsou dány platnými předpisy, účelovými dokumenty a také obecně uznávanými vodohospodářskými zásadami. Přitom se posouzení neprovádí vůči ustanovením dokumentů vážících se k technickému hodnocení (technické normy, typizační směrnice, typové vzory) a hodnocení stavu životního prostředí.

- V případě závazných předpisů (zákony, vyhlášky, Plány pro zvládání povodňových rizik, územně plánovací dokumenty se závaznými částmi, apod.) je zkoumán soulad s příslušnými ustanoveními. V případě zamýšlených úprav jde o **omezující podmínku**, pokud nejsou některá ustanovení respektována, příslušná varianta je vyřazena z dalšího hodnocení.
- U obecně nezávazných dokumentů je předmětem zkoumání míra souladu opatření s těmito dokumenty. Jde zejména o:
 - metodické pokyny,
 - směrnice,
 - plány dílčích povodí, a další.

- Ve vazbě na obecné vodohospodářské zásady se hodnotí vliv opatření na povodňová rizika po a proti proudu toku. Součástí je hodnocení využití retenčních prostorů a umožnění rozlivu do údolní nivy řízeným či neřízeným zaplaviteláním. Kvantifikace možností retence vody v krajině je provedena nad definovanými prostory pro rozliv postupem dle kapitol 6.1.1, resp. 6.1.2.

Hodnocení se provádí následovně:

- Plný soulad s územním plánem, plány dílčích povodí, metodickými pokyny a směrnicemi, opatření umožňuje nové významné řízené rozlivy manipulovatelným objektem. $D = 1,0$.
- Soulad s územním plánem a plány dílčích povodí, metodickými pokyny a směrnicemi, opatření umožňuje nové významnější rozlivy nemanipulovatelným objektem. $D = 0,8$.
- Opatření není zahrnuto v územním plánu, lze jej do něj v reálné době zapracovat. Opatření umožňuje neřízené rozlivy bez většího účinku na související úseky toku. $D = 0,5$.
- Opatření není zahrnuto v územním plánu, lze jej do něj pouze obtížně zapracovat. Opatření neumožňuje rozlivy, účinek na související úseky toku je malý. $D = 0,2$.
- Kolize s územním plánem a plány dílčích povodí, výrazné omezení rozlivů pro povodňové vlny s dobou opakování $N = 20$ až 100, zhoršení odtokových poměrů jak po toku, tak pro území nad ochrannými hrázemi. $D = 0,0$.

6.6 *Nástroje GIS*

Nástroje GIS nacházejí uplatnění při hodnocení prakticky všech kritérií. Jde o generování a správu dat, interpretaci výsledků hydraulického modelování, provádění rizikové analýzy, hodnocení technického a ekologického stavu i souladu s jednotlivými předpisy a obecnými požadavky.

Nástroje GIS umožňují spravovat data, analyzovat je, nalézat v nich nové vztahy a vše vizualizovat v podobě map. Při optimalizaci jsou nástroje GIS využity pro:

- import dat do geodatabáze,
- analýzu výsledků z hydraulických modelů,
- tvorbu specializovaných map.

6.6.1 *Import dat do geodatabáze*

Při importu dat se převádí data různých formátů z jednotlivých zdrojů do předem připravené geodatabáze. V rámci GIS se využívá funkcí pro import různých datových formátů, pro úpravy geometrie a pro přiřazení souřadnicového systému. Při importu dat se pracuje s připravenou datovou strukturou ve vstupních formátech *.shp a s datovou strukturou geodatabáze pro účely optimalizace. Všechna vstupní data musí být validní a musí mít určený souřadnicový systém. Při převodu dat mezi různými formáty mohou nastat problémy se ztrátou nebo změnou dat. Obecně je nutné vždy provést kontroly před samotným převodem a také po něm.

6.6.2 Analýza výsledků hydraulických modelů

Vyhodnocení dat z hydraulických modelů zahrnuje postupy související s tvorbou map povodňového nebezpečí a povodňových rizik [3]. Při vyhodnocení jsou vypočtené rozsahy rozlivů, rychlosti proudění a hloubky vody pro danou variantu a příslušnou dobu opakování povodňového průtoku převedeny do geodatabáze. Poté jsou využity funkce GIS pro přiřazení informací z rastrů hloubek do vektorových dat popisujících území. Následně jsou využity vztahy a postupy dle [3] uvedené v kapitole 6.2. K vyhodnocení jsou také zapotřebí ucelené vektorové informace o území a pro vyhodnocení škod a aktuální ztrátové křivky. Výsledkem jsou hodnoty průměrného ročního povodňového rizika z materiálních škod, které jsou podkladem pro výpočet ukazatelů efektivnosti S_1 a S_2 (kapitola 6.2).

6.6.3 Tvorba specializovaných map

Specializované mapy [13] představují jeden z možných způsobů podpory rozhodovacího procesu při optimalizaci managementu hrázových systémů. Pomocí bodových, liniových a plošných prvků je na podkladě kartografických map v prostředí GIS znázorněn stav systému a jeho změny v důsledku navržených opatření. Specializované mapy jsou sestaveny pro jednotlivé fáze postupu optimalizace. Jako příklad lze uvést následující specializované mapy:

- Vstupní data:
 - Mapa systému a jeho základních charakteristik – v mapě mohou být znázorněny hranice systému, základní informace o prvcích, síť páteřních toků a jejich přítoky, dále prvky PPO, především OH, které představují ucelené úseky identifikované jedinečným kódem (identifikátorem), typem, datem vzniku, apod. V mapě by měly být také znázorněny objekty rozlišené dle typu, případně další účelová data.
 - Mapa ploch s inundačním potenciálem. Na základě místního šetření a poznatků správce jsou vytipovány ucelené části inundačního území vhodné pro umožnění rozlivu resp. využití retenčních kapacit.
 - Mapa využití území a významných krajinných prvků zobrazuje základní plošné prvky v území, a to jednak z pohledu využití území a jednak z hlediska prvků životního prostředí.
 - Mapa řešených variant zobrazuje navržená opatření jako umístění nových liniových prvků PPO, konstrukce určené k odstranění nebo úpravám.
- Socioekonomické aspekty:
 - Mapy RA – mapy dle metodiky [3], tedy mapy povodňového ohrožení a rizik.
- Technické aspekty:
 - Mapy technického stavu – zobrazují technický stav jednotlivých úseků OH barevnou škálou. Graficky mohou znázorňovat záznamy TBD a akcentovat případné kritické prvky systému.

7. ZÁVĚR

V této metodice je uveden systematický postup pro optimalizaci hrázových systémů, který lze použít při jejich managementu. Jde zejména o změny v uspořádání a funkci systému ochranných hrází spočívající v budování nových hrázových linií, úpravách stávajícího systému a zejména v odstraňování stávajících nefunkčních popř. nadbytečných konstrukcí.

Optimalizace sestává z celé škály činností zahrnujících hydrologické a hydraulické modelování, rizikovou analýzu záplavového území, hodnocení technického a environmentálního stavu variant hrázových systémů. Z uvedeného výčtu je zřejmé, že hodnocení musí být vypracováno týmem pracovníků pokrývajících svou odborností jednotlivé specializace.

Algoritmus finální rozhodovací analýzy lze jednoduchým způsobem zprogramovat popř. nakonfigurovat v tabulkovém procesoru (např. Excel). Příklady použití jsou k dispozici ve formě případových studií u zpracovatele této metodiky.

Navržený postup může být vhodným podkladem pro činnost správců povodí a významných vodních toků, projektantů a výzkumných pracovníků zabývajících se managementem protipovodňových hrázových systémů.

8. SEZNAM POUŽITÝCH PRAMENŮ

8.1 *Dostupná literatura*

- AHMAD, M. M., GHUMMAN, A. R., AHMAD, S. 2009. Estimation of Clark's instantaneous unit hydrograph parameters and development of direct surface runoff hydrograph. *Water resources management*, 23.12: 2417-2435.
- BECKER, A., SERBAN, P. 1990. Hydrological models for water – resources system design and operation. Operational Hydrology Report No. 34, WMO, Geneva, 80 s.
- BOOR, B., KUNŠTÁTSKÝ, J., PATOČKA, C. 1968. *Hydraulika pro vodohospodářské stavby*, SNTL Praha, 1968.
- BRANS, J. P., MARESCHAL, B. 2005. PROMETHEE methods. In: *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, edited by: Figueira, J., Greco, S., Ehrgott, M., Springer, New York, s. 163–195.
- BRÁZDOVÁ, M., ŘÍHA, J. A simple model for the estimation of the number of fatalities due to floods in central Europe, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 14, 1663-1676, doi:10.5194/nhess-14-1663-2014, 2014.
- BRUNNER, G. W. 2016. HEC-RAS: River Analysis System, Hydraulic Reference Manual. 2016. Verze 5.0, U. S. Army Corps of Engineers.
- CIRIA, 2013. *The International Levee Handbook*. CIRIA, Griffin Court, 15 Long Lane, London, EC1A 9PN, UK, 1349 p. ISBN: 978-0-86017-734-0.
- CLARK, C. O. 1945. Storage and the Unit Hydrograph. *Soc. Civil Engineers Trans*, 110: 1419-1488.
- CLARKE, R. T. 1973. Mathematical models in hydrology. Irrigation and Drainage paper No. 19, FAO, Rome.
- ČÚZK. 2019. Mapové podklady. Geoportál ČÚZK. [online]. Dostupné z: <https://geoportal.cuzk.cz>.
- DAŇHELKA, J., KREJČÍ, J., ŠÁLEK, M., ŠERCL, P., ZEŽULÁK, J. 2002. Posouzení vhodnosti aplikace srážkovodtokových modelů s ohledem na simulaci povodňových stavů pro lokality na území ČR. ČZÚ, Praha, 214 s.
- FLEMING, G. 1979. Deterministic models in hydrology. Irrigation and Drainage paper, 32, FAO, Rome, 80 s.
- HEC-HMS. 2020a. Hydrologic Engineering Center. HEC-HMS Users Manual. Army Corps of Engineers Institute for Water Resources. [online] Přístupné z: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsum/4.4>.
- HEC-HMS. 2020b. Hydrologic Engineering Center. HEC-HMS Applications Guide. Army Corps of Engineers Institute for Water Resources. [online] Přístupné z: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsag/>.
- HEC. 1973. Introduction and Application of Kinematic Wave Routing Techniques Using HEC-1. Hydrologic Engineering Center.

- ICPSR. 2012. Guide to Social Science Data Preparation and Archiving. Best Practice Throughout the Data Life Cycle. 5th edition. Inter-university Consortium for PSR. Institute for Social Research University of Michigan.
- JAIN, S. C. 2000. Open Channel Flow. John Wiley 7 sons, New Yourk, 328 p.
- JONKMAN, S.N., BRINKHUIS-JAK, M., KOK, M. 2004. Cost benefit analysis and flood damage mitigation in the Netherlands, HERON, Vol. 49, No. 1, 17 s.
- KIRPICH, Z. P. 1940. Time of Concentration of Small Agricultural Watersheds. Civil Engineering, 10.6: 362.
- KLENKHART, C., NACHTNEBEL, H.P., LEROCH, K. 2004. Flood Risk Cluster E3: Executive Summary: Festlegung des Freibordes und von Kriterien für die Anordnung von Überströmstrecken bei Hochwasserschutzdeichen, Wien 6/2004.
- LANGHAMMER, J. 2014. Metodika monitoringu hydromorfologických ukazatelů ekologické kvality vodních toků. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Praha 2014, 72 p.
- MELCHING, C. S., MARQUARDT, J. S. 1997. Equations for estimating synthetic unit-hydrograph parameter values for small watersheds in Lake County, Illinois. US Geological Survey.
- MIKLÓS, L. 1986. Stabilita krajiny v ekologickom genereli SSR. Životné prostredie, Vol. 20, No. 2, Bratislava: ÚKE SAV, pp. 87–93.
- MOSLEY, M., BRACKETT, MH., EARLEY, S., HENDERSON, D. 2009. DAMA guide to the data management body knowledge, 1st edn. Bradley Beach: Technics Publications.
- MZe ČR. 2000. Strategie ochrany před povodněmi pro území ČR schválená vládním usnesením ze dne 19. dubna č. 382. Praktická příručka, MZe, 35/2000.
- MZe ČR. 2006. Dokumentace programu 129 120 „Podpora prevence před povodněmi II“. Ministerstvo zemědělství ČR, Praha.
- MZe ČR. 2010. Dokumentace programu 129 260 „Podpora prevence před povodněmi III“ (2014–2019). Ministerstvo zemědělství ČR, Praha.
- QGCIO. 2019. Information security policy. Queensland Government Chief Information Office (<https://www.qgcio.qld.gov.au/documents/information-security-policy>, 1.10.2019).
- ŘÍHA, J. 2010. Ochranné hráze na vodních tocích, Grada Publishing, 2010, 224 s.
- SABOL, G. V. 1988. Clark Unit Hydrograph and R-parameter Estimation. Journal of Hydraulic Engineering, 1988, 114.1: 103-111.
- USDA. 1986. Natural Resources Conservation Service, 1986, National Engineering Manual Section 4 Hydrology, USDA. National Engineering Manual 630.
- VREUGDENHIL, C. B. 1994. Numerical methods for shallow-water flow. Kluwer academic publishers, Volume 13. Dodrecht, Netherlands, 261 p.
- ZABAGED. 2020. Základní báze geografických dat. Digitální podklad. 2020. ČÚZK.

8.2 Právní, normativní a metodické podklady

8.2.1 Zákony

Zákon č. 114/1992 Sb. o ochraně přírody a krajiny v platném znění.

Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) v platném znění (zákon č. 113/2018 Sb.).

8.2.2 Vyhlášky

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

Vyhláška č. 590/2002 Sb., o technických požadavcích pro VD v platném znění.

Vyhláška č. 98/2011 Sb., o způsobu hodnocení stavu útvarů povrchových vod, způsobu hodnocení ekologického potenciálu silně ovlivněných a umělých útvarů povrchových vod a náležitostech programů zjišťování a hodnocení stavu povrchových vod.

Vyhláška č. 79/2018 Sb. o způsobu a rozsahu zpracovávání návrhu a stanovování záplavových území a jejich dokumentace.

8.2.3 Technické normy

ČSN 01 0102 IEC 50(191) (01 0102) Mezinárodní elektrotechnický slovník. Kapitola 191: Spolehlivost a akost' služieb. 1993.

ČSN 73 0039 Navrhování objektů na poddolovaném území. Základní ustanovení (1989).

ČSN 73 1000 EN 1997 Eurokód 7. Navrhování geotechnických konstrukcí (2006).

ČSN 73 1001 Zakládání staveb. Základová půda pod plošnými základy (1988).

ČSN 73 1208 Navrhování betonových konstrukcí vodohospodářských objektů.

ČSN 73 6110 Projektování místních komunikací (2007).

ČSN 73 6201 Projektování mostních objektů (1995).

ČSN 73 6820 Úpravy toků (1973).

ON 73 6821 Opevnění koryt vodních toků (1974).

ON 73 6822 Úpravy vodních tokov. Ochranné hrádze (1964).

ČSN 73 6824 Nízké sypané přehrady (1964, 1966). Malé vodní nádrže (1978).

ON 73 6827 Vegetační doprovod vodních toků (1974).

ČSN 75 2200 Liniová protipovodňová opatření (2020 koncept k projednání).

ČSN 75 0101 Vodní hospodářství – Základní terminologie (2003)

ČSN 75 0120 Vodní hospodářství – Terminologie hydrotechniky (2009).

ČSN 75 1400 Hydrologické údaje povrchových vod (1990).

ČSN 75 2101 Ekologizace úprav vodních toků (1993).

TNV 75 2102 Úpravy potoků (1995).

ODN 75 2103 Úpravy řek (1993).

TNV 75 2103 Úpravy řek (1998).

ČSN 75 2130 Křížení a souběhy vodních toků s dráhami, pozemními komunikacemi a vedeními (2000).

ČSN 75 2200 Liniová protipovodňová opatření (před vydáním).

ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže (2011).

ČSN 75 7723 (EN 14614) Jakost vod – Návod pro hodnocení hydromorfologických charakteristik řek (2005).

DIN 19712:2013-01, Flußdeiche (2013).

8.2.4 Metodické pokyny, směrnice a další podklady

- [1] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/60/ES o vyhodnocování a zvládání povodňových rizik v oblastech s významným povodňovým rizikem (Povodňová směrnice) ze dne 27. října 2007.
- [2] Metodika pro posuzování protipovodňových opatření navržených do III. etapy programu „Prevence před povodněmi“, MZe, Praha, 7/2014.
- [3] Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik. Výzkumný ústav vodohospodářský TGM., v.v.i. Brno, aktualizace 03/2012.
- [4] Koncepce řešení problematiky ochrany před povodněmi v České republice s využitím technických a přírodně blízkých opatření, MZe, MŽP, Praha, 2010.
- [5] Dokumentace programu 129 120 Podpora prevence před povodněmi II, II. etapa programu Prevence před povodněmi, MZe, ČVUT v Praze, 2006.
- [6] Aktualizovaná metodika výpočtu ztrát z dopravní nehodovosti na pozemních komunikacích, CDV, 2017.
- [7] Metodický pokyn MZe č.j. 720/2003-6000 k ošetřování, údržbě a ochraně vegetace na sypaných hrázích malých vodních nádrží při jejich výstavbě, stavebních změnách a provozu. 2003.
- [8] Metodický pokyn MZe č.j. 721/2003-6000 k provádění technicko-bezpečnostního dohledu na hrázích malých vodních nádrží IV. kategorie. 2003.
- [9] Merkblatt DWA-M 507-1. Deiche an Fließgewässern. Teil 1: Planung, Bau und Betrieb. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef 2011, 109 s.
- [10] DVWK-Merkblatt 226/1993 Landschaftsökologische Gesichtspunkte bei Flußdeichen.
- [11] BWV TP 02 Analyse der Hochwasserereignisse vom August 2002 – FloodRisk. WP Naturgefahren BWV TP 02. November 2004. Lebensministerium Österreich. Wien. 53 p.
- [12] Deichquerschnitte, Hochwasserschutzdämme. Empfehlungen für die Ausbildung. Fassung 2007, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Sektion Wasser, Wien 2007.
- [13] Tvorba specializovaných map. Dílčí odborná zpráva 03/2020 úkolu TAČR TH4030087 Nástroje pro optimalizaci managementu správy hrázových systémů. VUT FAST Brno. 12/2020.
- [14] Plány pro zvládání povodňových rizik, MŽP, Praha 12/2015.
- [15] Postup pro uznání výsledku druhu „Metodika“ platný od 1. 2. 2021. MZe, Odbor vědy, výzkumu a vzdělávání. 5 s.

8.3 *Publikace, které předcházely metodice*

- BRÁZDOVÁ, M., ŘÍHA, J. A simple model for the estimation of the number of fatalities due to floods in central Europe, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 14, 1663-1676, doi:10.5194/nhess-14-1663-2014, 2014.
- ŘÍHA, J. 2010. Ochranné hráze na vodních tocích, Grada Publishing, 2010, 224 s.
- MZe ČR. 2000. Strategie ochrany před povodněmi pro území ČR schválená vládním usnesením ze dne 19. dubna č. 382. Praktická příručka, MZe, 35/2000.
- Metodika pro posuzování protipovodňových opatření navržených do III. etapy programu „Prevence před povodněmi“, MZe, Praha, 7/2014.

9. SEZNAM ZKRATEK

AOPK	Agentura ochrany přírody a krajiny
CENIA	Česká informační agentura životního prostředí
CDS	Centrální datový sklad
ČGS	Česká geologická služba
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČR	Česká republika
ČÚZK	Český úřad zeměměřičský a katastrální
DHM	Dlouhodobý hmotný majetek
DIBAVOD	Digitální báze vodohospodářských dat
DIN	Deutsches Institut für Normung (Německý normalizační institut)
DMT	Digitální model terénu
DMR5G	Digitální model reliéfu 5. generace
DVWK	Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (Německý svaz vodního hospodářství a kulturních staveb)
GIS	Geografický informační systém
HEIS	Hydroekologický informační systém
INSPIRE	Infrastructure for Spatial information in the European Community
JISŽP	Jednotný informační systém o životním prostředí
LGS	Limnigrafická stanice
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
MZe	Ministerstvo zemědělství
OH	Ochranná hráz
OP	Okrajové podmínky
POVIS	Povodňový informační systém
PPO	Protipovodňová ochrana
PÚP	Portál územního rozvoje
RA	Riziková analýza
SHP	Shapefile, formát vektorových dat využívaný systémy GIS
SRN	Spolková republika Německo
TBD	Technickobezpečnostní dohled
ÚPD	Územně plánovací dokumentace
ÚSES	Územní systém ekologické stability
VD	Vodní dílo
VKP	Významný krajinný prvek
VT	Vodní tok
VÚV TGM	Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i.
WMO	Světová meteorologická organizace (World Meteorological Organisation)
ZABAGED	Základní báze geografických dat

Cílem certifikované metodiky je vytvoření metodické podpory pro optimalizaci systému ochranných hrází a postupů aplikovatelných v rámci územního plánování směrem k dosažení vyváženého rozvoje území. Dílčím cílem je poskytnout souhrnný a systematický přehled postupů pro optimalizaci hrázových systémů na základě domácích i zahraničních zkušeností a dostupných pramenů. Metodika poskytuje podklad pro optimalizaci využití stávající soustavy z hlediska finančních nákladů, řízení a úpravy konstrukcí, jako je např. odstranění nefunkčních nebo nepotřebných hrázových konstrukcí nebo jejich optimální doplnění.

Certifikovaná metodika najde uplatnění při návrzích na budování nových ochranných hrází, při jejich správě a rekonstrukcích a zejména může být podkladem pro návrh odstranění stávajících neefektivních konstrukcí. Je tak vhodným podkladem pro činnost správců povodí a významných vodních toků, projektantů a výzkumných pracovníků.

Tato publikace byla certifikována Odborem státní správy ve vodním hospodářství a správy povodí Ministerstva zemědělství.

