



Problematika spolehlivosti technologických částí vodních děl

Materiály z 91. semináře Odborného centra Spolehlivost,
konaného dne 3. 12. 2024 v Praze

Odborný garant semináře:
doc. Ing. Pavel Fuchs, CSc. – Alopex, s.r.o.

Česká společnost pro jakost
© ČSJ 2024



Obsah

Ing. Tomáš Berit, Ing. Jan Sřeščík

Význam a účely vodních nádrží a způsob jejich provozování 3

Ing. Petr Smrž.

Výkon technickobezpečnostního dohledu nad vodními díly 12

doc. Ing. Pavel Fuchs, CSc.

Analýza spolehlivosti technického zařízení vodních děl. 23



Význam a účely vodních nádrží a způsob jejich provozování

Ing. Tomáš Berit, Ing. Jan Střeščík

Povodí Vltavy, státní podnik.

e-mail: tomas.berit@pvl.cz; jan.strestik@pvl.cz

1 Úvod

Na území o celkové rozloze 28 708 km² spravuje státní podnik Povodí Vltavy téměř 21 900 km vodních toků v hydrologickém povodí Vltavy a v dalších vymezených hydrologických povodích, z toho je 5 550 km významných vodních toků, přes 12 000 km určených drobných vodních toků a dalších téměř 4 200 km neurčených drobných vodních toků. Dále má právo hospodařit se 115 vodními nádržemi a 10 poldry, z toho je 31 významných vodních nádrží, s 21 plavebními komorami na Vltavské vodní cestě, 48 pohyblivými a 307 pevnými jezy a s 22 malými vodními elektrárnami.

2 Význam a účely vodních nádrží a způsob jejich provozování, nádrže Vltavské kaskády.

Vodní nádrže svou funkcí plní nezastupitelnou roli napříč všemi hospodářskými sektory. Od jejich využití k zásobování pitnou vodou, k výrobě špičkové elektrické energie a zajištění systémových služeb při provozu elektrizační soustavy ČR, zajištění vody pro chlazení energetických zařízení, k nadlepšování průtoků v profilech pod nádržemi, zajištění povolených odběrů vody, ředění znečištění z bodových zdrojů vypouštěných odpadních vod, k částečné ochraně před povodněmi, rekreaci, využití pro plavbu atd. Jejich primárním účelem je tedy vzdouvání a akumulace vod.

Ve většině případů plní vodní nádrže v České republice více účelů současně a tyto jsou pak označovány jako víceúčelové, přičemž jednotlivé účely, pro které byly povoleny a realizovány jsou často vzájemně protichůdné. Při hospodaření s vodou v těchto nádržích se pak vychází z předem stanovených, vodoprávně projednaných a povolených pravidel, která jsou zakotvena v manipulačních řádech vodních děl. Tato pravidla vycházejí primárně z vodohospodářského řešení každé konkrétní nádrže, jejího významu, kategorie, hydrologických charakteristik jejího povodí a množství akumulované vody.

Při vodohospodářském řešení zásobní nebo ochranné funkce nádrže nebo soustav nádrží se vychází z reálné průtokové řady průměrných měsíčních pozorovaných průtoků za určité období. Historicky většinou z průtokových řad hydrologického katastru za poslední třicetileté období, případně z řad pozorovaných průtoků za celou historii pozorování nebo ze synteticky generovaných průtokových řad, a to v kontextu nároků na akumulovanou vodu, odběry vody nebo ochrannou funkci nádrže a její význam. Vodohospodářské řešení vodních nádrží určuje norma ČSN 75 2405. Výsledkem vodohospodářského řešení nádrže je dispečerský graf, který určuje kolik je nutné mít v určitém čase v dané konkrétní nádrži akumulované vody tak, aby bylo možné za daných hydrologických podmínek plnit v průběhu roku nebo více let všechny účely této nádrže, ve vazbě na odběry nebo ochrannou funkci nebo jiné účely.

Význam a kategorie nádrže je určující z hlediska jejího pozdějšího způsobu správy a provozování. Nádrže se svým významem dělí do I. – IV. kategorie, dle potenciálních škod při

její teoretické poruše, ztrát z užitku nebo nepřímých ztrát v území pod vodním dílem a dále podle počtu potenciálních ztrát na lidských životech, dopadů do životního prostředí nebo sociálních důsledků pro společnost.

Především u nádrží I. kategorie je technický dohled, monitoring provozních veličin, jeho četnost a obecně nároky na spolehlivost jejích funkčních částí vyšší než u ostatních nádrží. Tyto jsou pak označovány jako prvky kritické infrastruktury, jelikož svou funkcí plní zcela zásadní úlohu a tato její funkce není buďto vůbec nebo jen obtížně nahraditelná.

3 Soustava nádrží Vltavské kaskády a její provozování.

Vltavská kaskáda je soustava devíti vodních děl na horní a střední části řeky Vltavy, vybudovaných mezi lety 1930 a 1992. Účely nádrží Vltavské kaskády dle komplexního manipulačního řádu, v pořadí podle důležitosti jsou následující:

1. Akumulace a vzdouvání povrchové vody.
2. Zajišťovat minimální průtok ve významném vodním toku Vltava pod vodním dílem.
3. Částečné snížení povodňových průtoků za účelem ochrany území pod vodním dílem před účinky povodní (u vodních děl, která mají vymezen ochranný prostor nádrže).
4. Využití odtoku z vodní nádrže k výrobě elektrické energie ve vodní elektrárně fungující v dohodnutém režimu, která je součástí vodního díla.
5. Vytváření podmínek pro povolená nakládání s vodami.
6. Vyrovnávání kolísání průtoků.
7. Nadlepšování průtoků ve významném vodním toku Vltava, příp. ve významném vodním toku Labe, pro zlepšení plavebních podmínek.
8. Nadlepšování průtoků pod vodními díly za účelem zlepšení jakosti vody ve významném vodním toku Vltava.
9. Ovlivňování zimního průtokového režimu pod vodními díly a omezení nežádoucích ledových jevů.
10. Plavba.
11. Rekreační a vodní sporty.
12. Extenzivní rybářské hospodaření.

Vltavskou kaskádu tvoří vodní díla Lipno I, Lipno II, Hněvkovice, Kořensko, Orlík, Kamýk, Slapy, Štěchovice a Vrané, přičemž mezi vodním dílem Lipno II a koncem vzdutí VD Hněvkovice je přibližně 100 km vodního toku, který je upraven jezý. Vyjmenovaná vodní díla tvoří při hospodaření s vodou jeden funkční celek. Tato vodní díla byla vybudována postupně, v dlouhém časovém období. Záměr výstavby těchto velkých vodních děl na významném vodním toku Vltava vznikl již počátkem století, pro plavební účely a energetické využití.

V současné době, v běžném hydrologickém režimu, za normální provozní situace, probíhá hospodaření s vodou v nádržích Vltavské kaskády tak, aby byla ve spolupráci jednotlivých vodních děl zajišťována zabezpečení průtoků v rozhodujících profilech, a to i vzhledem k platným povolením k nakládání s vodami. Rozhodující význam z hlediska této zabezpečení mají vodní díla Lipno I, Orlík a Slapy, které mají vyčleněn největší zásobní objem. Spolupráci vodních děl Lipno I a Orlík Vltavská kaskáda umožňuje i částečnou ochranu před povodněmi.



3.1 Funkce soustavy nádrží Vltavské kaskády.

Při hospodaření s vodou v nádržích Vltavské kaskády se pravidla manipulací, pohyb hladiny v nádrži a nastavení odtoku řídí manipulačním řádem schváleným ke každé jednotlivé nádrži. Funkce Vltavské kaskády jako soustavy nádrží jsou dle priorit následující:

1. Zajištění minimálního průtoku ve významném vodním toku Vltava vodními díly Lipno I, Orlík a Slapy a v součinnosti s ostatními vodními díly Vltavské kaskády v těchto profilech:

– pod VD Lipno I	1,5 m ³ .s ⁻¹
– pod VD Lipno II	6,0 m ³ .s ⁻¹ (resp. 10 m ³ .s ⁻¹)
– pod VD Hněvkovice	6,5 m ³ .s ⁻¹
– pod soutokem Vltavy s Lužnicí	9,5 m ³ .s ⁻¹
– pod VD Vrané	40 m ³ .s ⁻¹
2. Částečné snížení povodňových průtoků spoluprací vodních děl Lipno I, Orlík a Slapy za účelem ochrany území pod těmito vodními díly před účinky povodní.
3. Využití odtoku z vodních nádrží k výrobě elektrické energie ve spolupráci s provozovatelem jednotlivých vodních elektráren, které jsou součástí vodních děl Vltavské kaskády.
4. Nadlepšování průtoků ve významném vodním toku Vltava, příp. ve významném vodním toku Labe, spoluprací vodních děl Lipno I a Orlík.

V období dlouhotrvajících mrazů, při nebezpečí namrzání koryta Vltavy a tvorby ledových jevů je z VD Lipno II udržován konstantní minimální odtok v množství 10 m³.s⁻¹, při kterém nedochází k těmto negativním jevům. Tato skutečnost je ověřena dlouholetou praxí provozu nádrže, kdy nedochází jak k namrzání břehů se všemi negativními důsledky, tak ke tvorbě ledové tříště a pohybu ledové celiny, která má za následek vzdutí vody do systému kanalizace Českobudějovické nemocnice a celou řadu dalších negativních vlivů směrem po toku. Hodnoty minimálního zůstatkového průtoku v profilech VD Hněvkovice a pod soutokem Vltavy s Lužnicí se z důvodu špičkového provozu vodních elektráren uvažují v denním průměru.

Hodnota minimálního odtoku z VD Vrané může být v ojedinělých případech, po předchozím vodoprávním projednání, souhlasu oprávněného k odběru povrchové vody pro Vodárnu Podolí a dispečinkem vodních elektráren ve Štěchovicích snížena na 35 m³.s⁻¹. Takové opatření je přijímáno v případech dlouhotrvajícího sucha, nízkého přítoku do nádrže Orlík a předpokladu jeho dalšího trvání, dle dlouhodobé předpovědi Českého hydrometeorologického ústavu. Tato nádrž je svým významným objemem akumulované vody k tomuto účelu, ve spolupráci s VD Lipno I a VD Slapy, určena vodohospodářským řešením.

3.2 Kategorie vodních děl dle právního předpisu.

Vodní díla Vltavské kaskády jsou dle ustanovení § 4 vyhlášky č. 471/2001 Sb., o technickobezpečnostním dohledu nad vodními díly, ve znění pozdějších předpisů, zařazena do těchto kategorií:

- kategorie I: VD Lipno I, VD Hněvkovice, VD Orlík, VD Slapy,
- kategorie II: VD Lipno II, VD Kamýk, VD Štěchovice, VD Vrané,
- kategorie III: VD Kořensko.



3.3 Zabezpečení požadovaných nároků na využití vody u vodních děl, které akumulují nebo vzdouvají vodu

3.3.1 VD Lipno I, VD Hněvkovice, VD Kořensko

Vodní nádrž Lipno I zabezpečuje hospodařením s vodou v zásobním prostoru následující potřeby:

1. minimální průtok pod vodním dílem Lipno II ve výši $6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
2. povolená nakládání s vodami v úseku VD Lipno I až VD Hněvkovice,
3. minimální průtok ve vodním toku pod vodním dílem Lipno I ve výši $1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
4. ve spolupráci s nádrží Hněvkovice, minimální průměrný denní průtok pod VD Hněvkovice o velikosti $6,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a minimální průměrný denní průtok v profilu VD Kořensko o velikosti $9,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Celková zabezpečení dodávky vody při zabezpečení všech výše uvedených potřeb vody je při hodnocení podle:

- | | |
|--------------------------------|----------|
| – trvání bezporuchových měsíců | 99,806 % |
| – opakování bezporuchových let | 97,697 % |
| – objemu dodávky | 100,00 % |

3.3.2 VD Lipno I, VD Orlick, VD Slapy

Soustava vodních nádrží Lipno I, Orlick a Slapy zabezpečuje (kromě nároků zabezpečovaných vodní nádrží Lipno I v úseku od vlastního profilu přehrady k profilu Kořensko) hospodařením s vodou v zásobních prostorech vodních nádrží

- minimální průtok ve významném vodním toku Vltava pod vodním dílem Vrané ve výši $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (resp. $35 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ viz výše),
- povolená nakládání s vodami v úseku ve vzduší VD Orlick – VD Vrané.

Zabezpečení dodávky vody pro tyto účely v syntetické řadě délky 1000 let je:

- | | |
|--------------------------|----------|
| – zabezpečení dle trvání | 100,00 % |
| – dle opakování | 99,93 % |
| – dle objemu dodané vody | 100,00 % |

3.4 Základní požadavky, zásady a pokyny pro hospodaření s vodou na nádržích

3.4.1 VD Lipno I

Zabezpečuje hospodařením s vodou v zásobním prostoru nádrže minimální průtok ve významném vodním toku Vltava pod vodním dílem Lipno I ve výši $1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a minimální průtok $6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pod vodním dílem Lipno II. V době silných mrazů a zámrazy v korytě významného vodního toku Vltava v úseku VD Lipno II – VD Hněvkovice je pod vodním dílem Lipno II zajištěn rovnoměrný průtok $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, začátek a ukončení zimního režimu manipulací určuje vodohospodářský dispečink Povodí Vltavy, státní podnik, v Praze, podle stavu zámrazy v korytě významného vodního toku Vltava.

3.4.2 VD Lipno I a VD Hněvkovice, resp. Kořensko

Vodní díla Lipno I a Hněvkovice zabezpečují hospodařením s vodou v zásobních prostorech minimální průměrný denní průtok pod VD Hněvkovice $6,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a minimální průměrný denní



průtok o velikosti $9,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pod soutokem významných vodních toků Vltavy a Lužnice pod VD Kořensko, a to odpouštěním potřebného doplňku průtoku (kompenzačním nadlepšováním průtoku), výjimkou je období hydrologické poruchy.

3.4.3 VD Vrané, resp. VD Lipno I, VD Orlík a VD Slapy

Vodní díla Lipno I, Orlík a Slapy zabezpečují (kromě nároků zabezpečovaných vodními díly Lipno I v úseku od profilu Lipno II k profilu Hněvkovice, resp. Kořensko) hospodařením s vodou v zásobních prostorech nádrží minimální průtok ve významném vodním toku Vltava pod VD Vrané ve výši $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Po dohodě s oprávněným k odběru povrchové vody pro Vodárnu Podolí a dispečinkem vodních elektráren ve Štěchovicích může vodohospodářský dispečink Povodí Vltavy, státní podnik, snížit minimální průtok na $35 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

3.4.4 Hydrologická porucha

Dosáhne-li při hydrologické poruše hladina VD Lipno I úrovně stálého nadržení a přítok do nádrže je nižší než $6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (současně musí zůstat plný vyrovnávací prostor VD Lipno II) je z VD Lipno II upraven odtok tak, aby se součet akumulovaných objemů v nádržích Lipno I a Lipno II dále nesnižoval.

Sníží-li se vlivem nízkých přítoků při hydrologické poruše součet celkových akumulovaných objemů v nádržích vodních děl Orlík, Slapy, Kamýk, Štěchovice a Vrané na velikost součtu objemu stálého nadržení nádrží Orlík a Slapy a celkových objemů vodních nádrží Kamýk, Štěchovice a Vrané, je nutné odtok z vodního díla Vrané snižovat tak, aby součet těchto objemů v nádržích zůstal zachován.

3.4.5 Neškodné průtoky

Neškodný průtok Vltavy pod VD Lipno II je $90 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Neškodný průtok Vltavy v měrném profilu Praha – Malá Chuchle je $1\,500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

3.5 Manipulace a hospodaření s vodou v jednotlivých prostorech nádrží

3.5.1 Hlavní zásady pro hospodaření s vodou

Manipulace s vodou ve vodních nádržích Vltavské kaskády koordinuje vodohospodářský dispečink Povodí Vltavy, státní podnik, v Praze.

Provozní režim na jednotlivých vodních dílech Vltavské kaskády dohadují a dále průběžně upřesňují v trvalé operativní spolupráci vodohospodářský dispečink Povodí Vltavy, státní podnik v Praze a dispečink vodních elektráren ve Štěchovicích tak, aby bylo dosaženo optimálního využití Vltavské kaskády.

Podle okamžitých i očekávaných výhledových potřeb elektrizační soustavy České republiky, na základě požadavků centrálního technického dispečinku a potřeb provozovatele vodních elektráren dohaduje dispečink vodních elektráren ve Štěchovicích s vodohospodářským dispečinkem Povodí Vltavy, státní podnik, v Praze, provozní režim na budoucí určené období.

Přitom se přihlíží k současné hydrologické a meteorologické situaci a k jejímu předpokládanému výhledu, k současným a plánovaným hladinám v konkrétních vodních nádržích Vltavské kaskády (se zvážením předpokladů jejich dalšího vývoje a požadavků na jejich řízení), k současné i plánované dostupnosti soustrojí vodních elektráren i ostatních výpustných zařízení, k prováděným pracím v distribuční soustavě, k probíhajícím



i připravovaným pracím na vodních dílech Vltavské kaskády a úsecích vodních toků, ovlivněných provozem jednotlivých vodních nádrží a k požadavkům na nadlepšení průtoků ve významném vodním toku Vltava.

Provoz vodních elektráren umístěných ve vodních dílech Vltavské kaskády řídí dispečink vodních elektráren ve Štěchovicích. Provoz vodních elektráren musí respektovat režim dohodnutý s vodohospodářským dispečinkem Povodí Vltavy, státní podnik, v Praze.

Kolísání odtoku z vodního díla Vrané kvůli vyrovnaní špičkového provozu vodních elektráren na vodních dílech Orlík, Kamýk, Slapy a Štěchovice je možné pouze z důvodu, kdy nastane v elektrizační soustavě havarijní situace, kterou není možné vyřešit jinými dostupnými regulačními prostředky (předcházení stavu nouze ve smyslu vyhlášky Ministerstva průmyslu a obchodu č. 79/2010 Sb., o dispečerském řízení elektrizační soustavy a o předávání údajů pro dispečerské řízení, ve znění pozdějších předpisů k zákonu č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů - energetický zákon, ve znění pozdějších předpisů). V tomto případě je možné ve výjimečných a nezbytných případech zvýšit odtok z vodního díla Vrané o $30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ bezprostředně po ohlášení dispečinkem vodních elektráren ve Štěchovicích.

Provoz vodní elektrárny Hněvkovice je možný v případě, že bude zajištěno potřebné množství povrchové vody pro Jadernou elektrárnu Temelín.

Průtoky výpustnými objekty vodních děl Vltavské kaskády koordinuje vodohospodářský dispečink Povodí Vltavy, státní podnik, v Praze, přitom respektuje provozní režim dohodnutý s dispečinkem vodních elektráren ve Štěchovicích a účely jednotlivých vodních děl Vltavské kaskády.

Hospodařením s vodou v zásobním prostoru vodních děl Lipno I, Orlík a Slapy ve spolupráci s ostatními vodními díly Vltavské kaskády jsou přednostně zajišťovány nároky na zajištění minimálních zůstatkových průtoků viz kapitola 2.1.

3.6 Hospodaření s vodou v prostorech stálého nadržení

Sníží-li se vlivem nízkých přítoků při hydrologické poruše součet celkových akumulovaných objemů v nádržích Lipno I a Lipno II na hodnotu odpovídající součtu objemu stálého nadržení nádrže Lipno I a celkovému objemu nádrže Lipno II, odtok z nádrže Lipno II je snížen tak, aby součet těchto objemů dále neklesal.

Sníží-li se vlivem nízkých přítoků při hydrologické poruše součet celkových akumulovaných objemů v nádržích Orlík, Slapy, Kamýk, Štěchovice a Vrané na hodnotu odpovídající součtu objemu stálého nadržení nádrží Orlík a Slapy a celkových objemů nádrží Kamýk, Štěchovice a Vrané je odtok z VD Vrané snížen tak, aby tento součet objemů ve vodních nádržích zůstal zachován.

Hladinu v prostorech stálého nadržení vodních nádrží Vltavské kaskády je možné snížit jen ve zcela mimořádných případech (opravy, nutné revize apod.) po předchozím vodoprávním projednání.

3.7 Hospodaření s vodou v zásobních prostorech

Vlastní manipulace s vodou v mezích zásobního prostoru jednotlivých vodních děl Vltavské kaskády se řídí podle schválených manipulačních řádů jednotlivých vodních děl, které respektují jejich funkci a účely.



3.7.1 VD Lipno I

Pravidla hospodaření s vodou na VD Lipno I jsou vázána na dispečerský graf, který zahrnuje i podmínky pro spolupráci v rámci Vltavské kaskády (kompenzační nadlepšování průtoku). Na počátku každého měsíce je stanovena hladina (a zprostředkovaně i objem) v této nádrži, potřebná pro zabezpečení všech nároků daných účelem vodního díla s danou zabezpečeností.

3.7.2 VD Orlík a VD Slapy

Pravidla hospodaření s vodou na vodních dílech Orlík a Slapy se řídí podle dispečerského grafu společnou řídicí čarou, která stanoví celkovou velikost zásobního objemu v nádržích (v mil. m³) na počátku každého měsíce potřebnou pro zajištění minimálního odtoku z Vltavské kaskády, požadovaných nároků na odběry povrchové vody a provoz špičkových vodních elektráren, s požadovanou zabezpečeností.

Při větším naplnění zásobních objemů nádrží Lipno I, Orlík a Slapy, než je objem stanovený dispečerským grafem (nad čarou dispečerského grafu) se dále hospodaří s vodou v nádržích podle operativních dohod o provozním režimu vodních děl Vltavské kaskády mezi vodohospodářským dispečinkem Povodí Vltavy, státní podnik, v Praze a dispečinkem vodních elektráren ve Štěchovicích.

Pominou-li okolnosti, které vedly k částečnému nebo úplnému vyprázdnění zásobních prostorů těchto vodních děl, naplní se jejich zásobní prostor co nejrychleji na plánovanou hladinu (minimálně na hladinu příslušného dispečerského grafu) zadržováním (akumulací) přítoku do nádrží. Přitom je nutné zajistit ve spolupráci s nádržemi VD Orlík, Slapy, Kamýk, Štěchovice a Vrané odběry povrchové vody a minimální průtok pod VD Vrané ve výši 40 m³.s⁻¹.

3.8 Hospodaření s vodou v ochranných prostorech a za povodní

Pravidla hospodaření s vodou za povodňových situací určuje vodohospodářský dispečink Povodí Vltavy, státní podnik, v Praze, v mezích schválených manipulačních řádů jednotlivých vodních děl tak, aby se snížilo nebezpečí povodňových škod, s výjimkou situací, kdy může řízení odtoku na vodních dílech prostřednictvím vodohospodářského dispečinku Povodí Vltavy, státní podnik v Praze nad rámec schválených manipulačních řádů nařídít povodňový orgán.

Podkladem pro rozhodování při hospodaření s vodou jsou údaje hydrologické a meteorologické předpovědní služby ČHMÚ. Při povodňových průtocích se plní nejprve zásobní prostory nádrží, a to podle zásad uvedených v jednotlivých manipulačních řádech těchto vodních děl. Po naplnění zásobních prostor je nutné stanovit odtok z jednotlivých nádrží s ohledem na přítok do těchto nádrží a hydrologickou situaci v povodí tak, aby nebyla překročena maximální hladina u hrází jednotlivých vodních děl a aby průtok ve významném vodním toku Vltava, pokud možno nepřekročil stanovené hodnoty neškodných průtoků. V případě, že přítok do vodní nádrže po dosažení maximální hladiny i nadále stoupá, je nutné vždy nastavit odtok tak, aby hladina v nádržích dále nestoupala.

Po kulminaci povodňové vlny na přítoku do nádrží se prázdnění ochranných prostorů nádrží vodních děl Vltavské kaskády (jsou-li stanoveny) provádí po konzultaci s předpovědní službou ČHMÚ a po zhodnocení celkové hydrologické situace v povodí a aktuální provozní situace na dolním toku Vltavy a Labi tak, aby byly tyto prostory neprodleně vyprázdněny.



Po úplném vyprázdnění ovladatelných ochranných prostorů nádrží a dosažení kót hladin zásobního prostoru se dále s vodou hospodaří tak jak je popsáno v kapitole 3.7.

Během zimního období je na základě bilančního hodnocení sněhových zásob v povodí a informací ČHMÚ možné operativně snižovat objem vody v zásobním prostoru nádrží VD Lipno I, VD Orlík a VD Slapy a zvýšit tak ochranný účinek těchto nádrží pro zachycení zvýšených jarních průtoků.

3.9 Hospodaření s vodou při ochraně před povodněmi překračující návrhové parametry vodních děl

Pokud dosáhne hladina v nádrži některého vodního díla Vltavské kaskády maximální povolené hladiny a přítok do nádrže je větší hodnoty, než je kapacita výpustných zařízení, nastává na daném vodním díle neovladatelný stav. Je nutno udržovat maximální možný průtok přes všechna výpustná zařízení daného vodního díla. Současně se v činnostech na daném vodním díle postupuje dle pokynů vodohospodářského dispečinku Povodí Vltavy, státní podnik, v Praze a pracovníků technickobezpečnostního dohledu v souladu s programem technickobezpečnostního dohledu. Zabezpečovací práce na vodních dílech se provádí po projednání s osobou odpovědnou prováděním TBD na vodním díle, pokud nehrozí nebezpečí z prodlení.

3.10 Hospodaření s vodou při ohrožení bezpečnosti a stability vodního díla

Obsluhy vodních děl Vltavské kaskády podávají vodohospodářskému dispečinku Povodí Vltavy, státní podnik, v Praze pravidelné zprávy o provozních podmínkách na daném vodním díle. K posouzení skutečností, rozhodujících o funkci a bezpečnosti daného vodního díla na základě pozorovaných a měřených jevů slouží platný Program technickobezpečnostního dohledu na daném vodním díle. Pokyny pro hospodaření s vodou při ohrožení bezpečnosti a stability vodního díla uvádí jeho manipulační řád. Obsluha daného vodního díla neprodleně informuje o všech jevech, které by mohly být důvodem přijetí mimořádných opatření. Taková opatření, přijímaných nad rámec manipulačních řádů, musí být uložena nebo povolena vodoprávním úřadem, příp. může být provedena po odsouhlasení povodňového orgánu obce s rozšířenou působností nebo kraje, a to podle možného dosahu vlivu těchto opatření.

3.11 Hospodaření s vodou při poškození objektů a zařízení vodních děl

Revize a údržba funkčních zařízení vodních děl, jakou jsou spodní výpusti, hradící konstrukce bezpečnostních přelivů nebo vodní elektrárny které jsou vždy součástí vodního díla, se provádí podle předem stanoveného plánu. V rámci hospodaření s vodou na Vltavské kaskádě vodohospodářský dispečink Povodí Vltavy, státní podnik, v Praze koordinuje odtok z nádrží a pohyby hladiny na všech vodních dílech tak, aby byl jejich normální provoz co nejméně narušen. Rozsah povinností spojených s provozem, kontrolou a údržbou vodního díla je uveden v provozním řádu vodního díla, programu technickobezpečnostního dohledu a ostatních dokumentech souvisejících s každým konkrétním vodním dílem. V případě poruchy vodní elektrárny, která má za následek potřebu využití jiné funkční části vodního díla informuje dispečink vodních elektráren ve Štěchovicích o této skutečnosti a potřebě vodohospodářský dispečink Povodí Vltavy v Praze.



3.12 Hospodaření s vodou při havárii na vodních dílech nebo na vodním toku nad a pod vodními díly (zhoršení jakosti vody)

Jakost vody ve vodním toku Vltavy se sleduje v četnosti, která je dána příslušným programem monitoringu jakosti vody. Sledování zajišťují a provádí laboratoře státního podniku Povodí Vltavy. Hospodaření s vodou pro zajištění vhodné jakosti vody v jednotlivých havarijních případech znečištění na vodním toku pod vodními díly Vltavské kaskády probíhá v rámci schválených manipulačních řádů jednotlivých vodních děl, případně s povolením vodoprávního úřadu nebo na základě uložené mimořádné manipulace vodoprávním úřadem a v koordinaci s ostatními vodními díly Vltavské kaskády. Při takovém zhoršení jakosti vody v nádrži, které způsobí, že vodní dílo Vltavské kaskády nemůže sloužit svému účelu, řeší vlastník vodního díla situaci s příslušným vodoprávním úřadem dle ustanovení vodního zákona.

4 Závěr

Při hospodaření s vodou v nádržích Vltavské kaskády, za všech výše uvedených podmínek je zřejmé, že jejich vlastníci, respektive provozovatel musí bezpodmínečně zajistit celou řadu činností tak, aby byly plněny jejich účely, zajištěna jejich provozuschopnost a především bezpečnost. Kromě vodohospodářského řízení při distribuci povrchových vod se provozovatel těchto nádrží jako subjekt s právem hospodařit k vodním dílům Vltavské kaskády účastní hlásné povodňové služby, informuje o nebezpečí a průběhu mimořádných událostí povodňové orgány a orgány krizového řízení, zajišťuje nepřetržitý monitoring množství a jakosti akumulovaných vod, nepřetržitý dohled nad technickým stavem konstrukcí vodních děl a technologie jejich funkčních částí, zajišťuje opravy a rozvoj, a to v souladu s nejlepší vodohospodářskou praxí, s cílem zlepšovat možnosti všestranného využívání povrchových a podzemních vod v celém hydrologickém povodí Vltavy.



Výkon technickobezpečnostního dohledu nad vodními díly

Ing. Petr Smrž

VD TBD, a.s.

e-mail: smrz@vdtbd.cz

1 Úvod

Technickobezpečnostní dohled (TBD) nad vodními díly je definován jako odborná činnost ke zjišťování technického stavu vodních děl (VD), sloužících ke vzdouvání nebo zadržování vody, z hlediska jejich bezpečnosti, stability a možných příčin poruch. TBD je zaměřen zejména na posuzování bezpečnosti a provozní spolehlivosti vodních děl, na předcházení vzniku jejich poruch a na hledání efektivních nápravných opatření. Péče o bezpečnost a provozní spolehlivost VD zahrnuje:

- soubor povinností uložených subjektům, které se podílejí na přípravě a výstavbě VD a vlastníkům VD pro jejich provoz, včetně všech období oprav a změn až po eventuální ukončení provozu a odstranění stavby,
- činnost státu spočívající ve vymezení povinností a úkolů pro výše uvedené subjekty a následně pak v kontrole plnění uložených povinností.

Systém TBD je legislativně vymezen zákonem č. 254/2001 Sb., prováděcí vyhláška č. 471/2001 Sb. stanovuje odstupňovaně pro jednotlivé kategorie děl rozsah a četnost provádění dohledu v jednotlivých etapách jejich přípravy, výstavby, změny stavby nebo provozu. TBD provádí vodní díla od úvodních studií a projektových řešení přes období výstavby až po celé období provozu až do případného ukončení funkce díla, kdy budou objekty vodního díla odstraněny nebo stanoveným způsobem upraveny. TBD je nedílnou součástí komplexní ochrany před povodněmi a prevence před vznikem tzv. zvláštních povodní.

Garantem spolehlivého a bezpečného provozu díla je jeho vlastník. Výkon TBD je odbornou pomocí vlastníkovu a mechanismem k vyloučení, případně k omezení rizik vzniklých poruchou vodního díla. Kontrolní činnost orgánů státní správy v rámci TBD je ze zákona uložena úřadům obcí s rozšířenou působností a krajským úřadům, které ji provádějí jako součást dozoru nad vodními díly, jejichž stav by mohl ohrozit bezpečnost osob nebo majetku. Orgány státní správy dozírají, jak vlastníci či uživatelé vodních děl zajišťují TBD a jak provádějí potřebná opatření k zajištění jejich bezpečnosti. Hlavním podkladem pro kontrolu jsou písemné dokumenty TBD.

2 Systémy péče o bezpečnost vodních děl v zahraničí

Systém péče o bezpečnost vodních děl zahrnující předpisy povinností i kontrolu jejich plnění je v každé zemi s rozvinutým hydrotechnickým stavitelstvím trochu jiný a má své specifické prvky. Hlavně je to způsobeno tím, jaké jsou, v té které zemi, zkušenosti s provozem vodních děl a jaké závady byly shledány při poruchách a katastrofách vodních děl v minulosti. Rozdíly jsou ovlivněny také tím, v jakém rozsahu a zda vůbec jsou budována nová vodní díla v různých zemích. Ve většině evropských zemí se nové přehrady již delší dobu až na výjimky (např. Turecko, Španělsko) nestaví. Rozsáhlá výstavba vodních děl probíhá v některých mimoevropských zemích (Čína, Brazílie, Irán, Vietnam aj.). I z těchto důvodů je dnes v popředí



zájmu problematika stárnutí konstrukcí vodních děl, jejich včasných oprav a rekonstrukcí (změny vodního díla).

Legislativa a právní síla předpisů zabývajících se povinnostmi péče o bezpečnost vodních děl, eventuelně i uspořádáním výkonu těchto povinností, se v různých zemích liší. Mezinárodní přehradní organizace ICOLD, výbor pro bezpečnost přehrad, provedla v letech 2008 – 2013 průzkum současné praxe ve 44 zemích celého světa (25 zemí z Evropy, 8 z Asie, po 3 ze severní a jižní Ameriky a z Afriky, 2 z Oceánie).

Z průzkumu ICOLD vyplynuly tyto hlavní poznatky:

- ve 32 zemích je bezpečnost přehrad právně kryta buď samostatným zákonem nebo má své místo ve vodním zákoně či v jiném zákoně, např. na ochranu veřejnosti. Jen 12 zemí (většinou mimoevropských) nemá bezpečnost přehrad zakotvenu v zákoně. Ve většině zemí existuje také nižší úroveň předpisů týkajících se bezpečnosti vodních děl a nezávazných technických předpisů, norem či metodických pokynů.
- v téměř všech zemích je zaveden tzv. „princip čtyř očí“ v péči o bezpečnost přehrad (vlastní dohled zajišťovaný vlastníkem nebo provozovatelem a nezávislý dozor zajišťovaný třetí stranou).
- ve většině zemí jsou přehrady kategorizovány. Jen ve 4 ze 44 prověřených zemí není kategorizace zavedena. V 16 zemích jsou základním kritériem pro zařazení do kategorie parametry přehrady (výška hráze a objem vody v nádrži). V 10 zemích se kategorizuje podle míry rizika a důsledků případného protržení hráze pro níže situované území. Ve 14 zemích se při kategorizaci zohledňují jak parametry, tak i důsledky protržení hráze.
- v téměř 50 % zemí se mezi vodní díla řadí i ochranné hráze podél toků, odkaliště, hydrotechnické štoly a podobné stavby. Tato vodní díla pak rovněž podléhají kategorizaci.
- pravomoc regulujícího orgánu státní správy (autorita, stát, státní úřad, vodoprávní (stavební) úřad, ministerstvo apod..) kontrolovat technickobezpečnostní prohlídky a odmítnout souhrnnou zprávu vlastníka je ustanovena v mnoha zemích (např. Argentina, Rakousko, Kanada, Čína, Finsko, Francie, Indie, Mexiko, Norsko, Německo, Portugalsko, Jižní Afrika, Španělsko, Spojené Království a Spojené státy.)
- pravomoc státních pověřených úřadů vykonávat prohlídky byla zjištěna v 15 zemích (Austrálie, Rakousko, Čína, Finsko, Francie, Indie, Itálie, Holandsko, Norsko, Portugalsko, Rumunsko, Jižní Afrika, Švédsko, Španělsko a Spojené státy). Povinnost zajistit na svůj náklad pravidelné prohlídky a technickobezpečnostní dohled však v drtivé většině případů zůstává na vlastníkovi díla.
- v 7 státech (Argentina, Mexiko, Německo, Švýcarsko, Španělsko, Švédsko a Spojené království) mají státní úřady pravomoc ovlivňovat výběr společnosti, případně osoby, kterou si vlastník vybere a najme pro provádění technickobezpečnostního dohledu.
- v zemích jako Kanada, Čína, Finsko, Francie, Indie, Itálie, Irsko, Mexiko, Německo, Norsko, Jižní Afrika, Španělsko, Švýcarsko, Švédsko, Spojené království a Spojené státy je vlastník přehrady plně zodpovědný za její bezpečnost a za zajištění technickobezpečnostního dohledu. V dalších státech pak vlastník nese většinu, tedy primární zodpovědnost za bezpečnost.
- ve většině zemí nejsou v platné legislativě podrobně popsány a definovány standardy a pravidla pro provádění technickobezpečnostního dohledu, tedy na způsob provádění prohlídek, možnosti měření a vyhodnocování. Výjimkou je především Švýcarsko, některé státy USA, Itálie a Německo. Obvyklou praxí je tedy to, že tyto podrobné předpisy pro dohled nejsou přímo zakotveny v legislativě, ale jsou vytvářeny a vyvíjeny



odpovědnou organizací (např. různé komise, odbory ministerstev apod.), která je pak implementuje do praxe.

- v současné době se začínají se prosazovat metody řízení rizika (risk management), zejména jeho částí rizikové analýzy (risk analysis) a posouzení rizika (risk assessment) do sféry bezpečnosti přehrad. Příklady těchto zemí jsou Holandsko, Norsko, Finsko, Portugalsko a další.
- v mnoha zemích jsou kladeny požadavky na osoby dohlížející na bezpečnost přehrad, resp. provádějící dohled. Obvykle je vyžadováno, aby osobou byl kvalifikovaný, zkušený a nezávislý stavební inženýr. Ve Spojeném království je pak dohled zajišťován panelem inženýrů, tedy jakousi pracovní skupinou s přesně definovanými požadavky na členství.
- četnost technickobezpečnostních prohlídek je v různých zemích odlišná, obvykle jsou pravidelné prohlídky prováděny nebo zajišťovány vlastníkem díla jednou ročně, nezávislé podrobnější prohlídky jsou pak realizovány obvykle jednou za 5 až 10 let. Četnost prohlídek většinou vychází z kategorizace vodních děl.

Odpovědnost za bezpečnost vodních děl je prakticky ve všech zemích jednoznačně na vlastníkově (přeneseně pak na správci, provozovateli, uživateli) vodního díla. V podrobnostech záleží na tom, zda vlastníkem vodního díla je přímo stát nebo soukromá organizace a na vztahu státu k této organizaci.

V zákonných předpisech různých zemí je ojediněle uveden pojem bezpečné vodní dílo a jeho definice. Žádný právní předpis však nepřipouští, že v zásadě každé vodní dílo je provozováno s určitou mírou rizika. Není reálné získat informace o ustanoveních, za jakých okolností a s jakými výhradami a omezeními lze alespoň na určitý čas předem připustit tzv. „rizikový provoz“, resp. „provoz se zvýšenou mírou rizika“.

Zákonodárci vesměs předpokládají, že každá porucha má viníka a i zavinění „z vyšší moci“ („vix maior“) ponechávají až na případný nález soudů.

Nejvyšší různorodost panuje v technických předpisech, ať už jsou přímou součástí zákonných předpisů, směrnic, metodických pokynů či je jejich závaznost definována jakkoliv.

Ve velmi závažné problematice bezpečnosti a provozní spolehlivosti vodních děl je obvykle vyžadována jejich oprava s různým stupněm naléhavosti nebo dokonce okamžitá nouzová řešení kritické situace. To není možné realizovat bez zvláštních kritérií a individuálního posouzení odpovědnou osobou. Obvykle jde o správné určení naléhavosti konkrétního případu a zdůvodnění často vysokých finančních nákladů.

3 Systém péče o bezpečnost vodních děl v ČR

Technicko-organizační uspořádání péče o bezpečnost vodních děl v České republice, zejména systém technickobezpečnostního dohledu (TBD) vycházející ze současně platných zákonných předpisů (zákon č. 254/2001 Sb. o vodách v platném znění a vyhláška MZe č. 471/2001 Sb., o technickobezpečnostním dohledu nad vodními díly v platném znění), má několik specifických rysů. Tím nejdůležitějším je přenesení hlavní váhy požadavků odbornosti na subjekty statutárně pověřené výkonem TBD. Postavení těchto subjektů je mezi primárně odpovědným vlastníkem vodních děl I. až III. kategorie a státním kontrolním orgánem. Specializovaný subjekt pověřený výkonem TBD přitom není součástí kontroly, ale spolupracuje při výkonu TBD s vlastníkem díla a podílí se na jeho odpovědnosti ve smluvně upraveném rozsahu.

České předpisy představují v současné době určitý vyvážený střed v širokém spektru možného uspořádání kontroly státu vůči vlastníkům vodních děl. Hlavním podkladem pro tuto kontrolu jsou za běžného provozu písemné dokumenty, jimiž vlastník vodního díla informuje příslušné úřady o tom, že TBD je vykonáván a s jakými výsledky.

V každé situaci je nutné při výkonu TBD posuzovat vodní dílo s potřebou podrobností po dílčích stavebních i strojních částech, ale vždy s vazbou na celek. Hodnocen je tedy stav a existence díla z hlediska bezpečnosti, plné provozuschopnosti a dopadů jeho provozu na okolí. Často je nutné, pro komplexní řešení zadaného problému, využít poznatků z několika specializovaných technických oborů. Proto jsou navazovány cílené spolupráce se specializovaně zaměřenými pracovišti, vědeckými a výzkumnými ústavami, s katedrami vysokých škol. Výsledkem je interdisciplinární výstup s návrhem nápravných opatření, který vyžaduje podrobnou, dlouholetou znalost posuzovaného vodního díla a vývoje změn na něm, způsobu provozu i funkčních návazností.

Pro včasná podchycení a vyhodnocení neobvyklých nebo nebezpečných situací, získání základních vstupů do hodnocení chování, stability, bezpečnosti i stárnutí vodních děl, mají nezastupitelný význam speciální měření vybraných fyzikálních jevů. Umocněno je to tím, že tyto stavby jsou vzhledem ke svým rozměrům, prostorovému uspořádání a částečnému zakrytí vodou pro běžná sledování nepřístupné.

Komplexní charakter takto prováděného TBD, dlouhodobě rozvíjeného i v kontaktu se zahraničními specialisty, zkušenostmi a poznatky, nemůže v žádném případě nahradit jen posudková, expertní činnost jednotlivých znalců nebo obecně pojímaná inženýrská činnost jinak specializovaných podniků a organizací.

4 Kategorizace vodních děl

Vodní zákon deklaruje v úvodním ustanovení svůj účel, mimo jiné tak, že spočívá i v zajištění bezpečnosti vodních děl. Z tohoto hlediska se vodní zákon ve zvláštním ustanovení specificky zaměřuje na vodní díla, která zadržují nebo mohou zadržovat vodu. Jejich taxativní vymezení je provedeno rovněž vodním zákonem („určená vodní díla“). Protože zákon předpokládá rozdělení vodních děl do čtyř kategorií a se stupněm kategorie spojuje postupy a povinnosti stavebníka nebo vlastníka určeného vodního díla, je třeba určení kategorie pokládat za jeden z výchozích a elementárních dokumentů v oblasti technickobezpečnostního dohledu.

Kategorizace určených vodních děl v ČR je založena výhradně na kvantifikaci potenciálního nebezpečí, vyplývajícího z pouhé existence VD. Možné následky případné havárie vodního díla se posuzují podle čtyř základních hledisek:

- ohrožení lidských životů,
- výše ekonomických škod,
- poškození životního prostředí,
- sociální a ekonomické důsledky pro vlastníka, region, stát.

Ekonomické škody se dále člení na:

- přímé škody na vodním díle,
- přímé škody v území pod vodním dílem,
- ztráty z užitků,
- nepřímé ztráty v území pod vodním dílem.



Hodnocení jednotlivých typů následků se provádí bodovým systémem, dílčí výsledky se sečtou a podle dosažené hodnoty se dílo zařadí do kategorie I až IV. Při kategorizaci určeného VD se nezvažuje jeho technický stav, stabilita, vlastnosti podloží, vlivy prostředí atd. To vše je součástí povinného TBD nad dílem. Kategorizací určeného vodního díla je pouze stanoven minimální rozsah tohoto dohledu v souladu s příslušnými ustanoveními vyhlášky č. 471/2001 Sb.

V případě zhoršeného technického stavu vodního díla může být rozsah dohledu přechodně podstatně zvýšen, a to až do doby realizace nápravných opatření. Toto však není důvodem ke změně kategorie, do níž je dílo zařazeno. Důvodem pro změnu kategorie mohou být změny v území pod VD. Nezařazením vodního díla do kategorie z hlediska TBD není dotčena povinnost vlastníka udržovat dílo v řádném technickém stavu podle zákona č. 254/2001 Sb.

5 Rozsah výkonu TBD nad VD

Jak bylo uvedeno v předchozích kapitolách, technickobezpečnostní dohled nad určenými vodními díly se v ČR řídí, co do rozsahu a četnosti, podle zákona č. 254/2001 Sb. a jeho prováděcí vyhlášky č. 471/2001 Sb. V souladu s touto vyhláškou se TBD připravuje v etapě přípravy stavby vodního díla a provádí se v etapách jeho výstavby nebo změny stavby po jeho dokončení, v období ověřovacího a po celou dobu trvalého provozu díla až do jeho odstranění.

Metody, rozsah a četnost dohledu se řídí:

- a) kategorií určeného vodního díla,
- b) etapou určeného vodního díla,
- c) typem určeného vodního díla z hlediska provozních podmínek a zatěžovacích stavů.

První činností v problematice TBD v přípravě realizace VD je jeho zařazení do kategorie, které provede příslušný stavební úřad podle odborného posudku, který na základě požadavku vlastníka vypracuje subjekt s pověřením od Ministerstva zemědělství.

Velká většina VD je z hlediska TBD zařazena do IV. kategorie. Provádění TBD u VD IV. kategorie je založeno především na periodických obhůzkách a vizuálním pozorování stavu těchto děl. Měření se zavádějí jen účelově, např. měření průsaků vody v průběhu plnění nádrže, ověření nivelety koruny hráze nebo lokálních deformací. Problémy při výkonu TBD může způsobovat neudržovaná vegetace na vzdušných svazích hrází a v podhráží, která znemožňuje pozorování.

U VD zařazených do kategorie I. až III. je rozsah technickobezpečnostního dohledu určen Programem TBD (viz níže). Provádět technickobezpečnostní dohled nad vodními díly kategorie I. až III. může na základě ustanovení § 61 odst. 10 zákona č. 254/2001 Sb. pouze odborně způsobilá osoba pověřená k tomu Ministerstvem zemědělství.

Pokud je vodní dílo navrženo k zařazení do III. a vyšší kategorie, vyplývá z této situace pro projektanta již ve fázi přípravy povinnost zabývat se ve spolupráci se subjektem pověřeným výkonem TBD scénáři možných situací, jejichž následkem mohou být zvláštní povodně a odvozením jejich parametrů. Vznik zvláštní povodně bezprostředně souvisí s bezpečností VD, a proto při určování parametrů zvláštní povodně a směrodatných limitů stupňů povodňové aktivity (SPA) je nezbytná spolupráce s určeným pracovníkem, který nad konkrétním dílem TBD vykonává nebo bude vykonávat. Výsledky (zejména charakteristiky povodňových vln a rozsah ohroženého území) je třeba poskytnout příslušným povodňovým orgánům pro zapracování těchto údajů do povodňových plánů územních celků, orgánům krizového řízení a



orgánům integrovaného záchranného systému. Další povinností je v rámci Programu TBD stanovení SPA ve vazbě na nebezpečí vzniku zvláštních povodní a varování povodňových orgánů níže na toku a Hasičského záchranného sboru ČR.

5.1 TBD při přípravě výstavby vodního díla

V etapě přípravy stavby vodního díla se pro určené vodní dílo I. až III. kategorie dohled zajišťuje zpracováním rozsahu měření podle § 6 vyhlášky č. 471/2001 Sb. Pro určené vodní dílo IV. kategorie v etapě přípravy stavby vodního díla se projekt měření zpracovává, jestliže povinnost předložení projektu měření uloží vlastníkovvi, popřípadě stavebníkovvi příslušný stavební úřad jako podmínku provádění dohledu. Rozsah měření je technickým dokumentem obsahujícím:

- přehled důležitých předpokladů bezpečnosti VD pro etapu ověřovacího provozu a dále pro etapu trvalého provozu a návrh sledovaných jevů,
- návrh způsobu sledování potřebných jevů a skutečností,
- návrh druhu, rozsahu a přesnosti metod měření, přístrojů a zařízení k provádění TBD,
- přehled mezních hodnot sledovaných jevů a skutečností ovlivňujících bezpečnost a stabilitu vodního díla a jím ohroženého území,
- návrh bezpečných přístupů k měřicím zařízením a návrh opatření na zajištění bezpečného výkonu měření a údržby měřicích zařízení, včetně jejich ochrany před poškozením,
- harmonogram instalací a prvních měření podle postupu výstavby nebo změny stavby VD,
- požadavky na obnovu a modernizaci měřicích přístrojů a zařízení,
- návrh období, ve kterém se bude měření a pozorování provádět,
- dokumentaci kontrolních přístrojů.

5.2 TBD v etapách stavby, změny po dokončení, ověřovacího provozu a trvalého provozu

V etapě stavby nebo změny vodního díla po jeho dokončení, v etapě ověřovacího provozu a v etapě trvalého provozu určeného vodního díla I. až III. kategorie se dohled provádí:

- a) zpracováním Programu dohledu,
- b) pozorováním a měřením určených jevů a skutečností stanovených Programem dohledu,
- c) obchůzkami a prováděním fotodokumentace,
- d) zpracováním zpráv o dohledu s návrhy opatření k odstranění zjištěných nedostatků,
- e) prohlídkami,
- f) hodnocením výsledků všech pozorování a měření.

Dohled u určeného VD IV. kategorie se v uvedených etapách provádí obchůzkami, při kterých se zjišťují a hodnotí jevy a skutečnosti v rozsahu dle přílohy 2 vyhlášky č. 471/2001 Sb. v platném znění.

Programy TBD jsou základními technickými dokumenty pro provádění TBD v jednotlivých, výše uvedených etapách „života“ díla. Obsahují všechny činnosti, které jsou významné pro jeho bezpečnost a stabilitu. Obsah Programu TBD se pro jednotlivé etapy může účelově lišit, ale základem vždy jsou:

- četnosti a rozsahy všech pozorování a měření jevů nebo skutečností, které jsou významné pro bezpečnost a stabilitu vodního díla,
- četnosti a rozsahy obchůzek,



- způsoby zaznamenávání získaných výsledků a zjištění, pracovní postupy k pozorování a měření,
- pokyny obsluhy VD, které výsledky a zjištění je nutné neprodleně hlásit určené fyzické osobě odpovědné za dohled (hlavnímu pracovníkovi TBD) a pověřené odborně způsobilé osobě,
- způsoby a termíny zpracování a hodnocení získaných výsledků ve zprávách o TBD, režim jejich zpracování,
- meze bdělosti sledovaných jevů a skutečností,
- mezní a kritické hodnoty sledovaných jevů a skutečností a jejich časové vývoje,
- údaje o parametrech zvláštních povodní způsobených poruchou vzdouvací konstrukce, výpustných a přelivných zařízení na vodním díle nebo nouzovým řešením kritických situací na něm a vazby těchto situací na provádění TBD, stupně povodňové aktivity a kritických stavů,
- odkazy na dokumentaci zabudovaných měřicích přístrojů a zařízení, místo uložení Programu TBD.

Obchůzky vodního díla mají nezastupitelnou funkci při provádění TBD. I přes rychlý rozvoj možností moderních měřicích přístrojů a monitorovacích systémů stále platí, že „oko zaškoleného a znalého pracovníka obsluhy vodního díla je nejlepším kontrolním přístrojem“, protože pozorované skutečnosti a jevy jsou vnímány a bezprostředně hodnoceny v potřebných souvislostech.

Při obchůzkách se sleduje dílo jako celek i s blízkým okolím. Pozornost je přitom zaměřena zejména na všechny možné projevy deformací stavebních konstrukcí i přilehlého terénu, na výskyt trhlin, posunů, sesuvů, průsaků a vývěrů vody, zmokřelých až zbahnělých míst, změn v růstu vegetace, na vliv provozu a prostředí na technický stav objektů a technologických zařízení, pravidelnost chodu všech mechanismů, zejména u konstrukcí výpustných a bezpečnostních zařízení, průtokové poměry atd. Obchůzky se provádí po stanovené trase, která je u VD I. až III. kategorie určena v Programu TBD, a to u vodních děl:

I. kategorie		1× denně.
II. kategorie	nejméně	3× týdně.
III. kategorie	nejméně	1× týdně.
IV. kategorie	nejméně	1× měsíčně.

Zprávy o dohledu shrnují a hodnotí období konkrétní etapy VD. Zprávy obsahují souhrnné zpracování výsledků pozorování a měření za dané období se zhodnocením všech sledovaných jevů a skutečností, posouzením vlivu prostředí a provozu na funkční spolehlivost, stabilitu a celkovou bezpečnost díla.

5.2.1 Etapa výstavby nebo změny VD po jeho dokončení

V etapě výstavby VD I. až III. kategorie nebo změny VD po jeho dokončení se zpracovávají Programy TBD, Dílčí zprávy o TBD a Souhrnné zprávy o TBD. Při realizaci nového vodního díla jsou všechny dokumenty koncipovány pro etapu výstavby. Při stavebních činnostech na existujícím vodním díle jsou dokumenty vyhotoveny pro etapu změny vodního díla po jeho dokončení. Pro vodní díla IV. kategorie se tyto dokumenty nezpracovávají.

Program TBD pro období výstavby, resp. změny vodního díla po jeho dokončení musí mimo jiné zohlednit zejména harmonogram stavebních prací, postupy instalací měřicích zařízení, možnosti rozsahu měření a požadavky na jejich četnost. V návaznosti na postupnou, často



několikaletou stavební činností na vodním díle, je nutno v několika variantách řešit i parametry zvláštních povodní.

Dílní zprávy o TBD v období výstavby, resp. změny VD po jeho dokončení se zpracovávají po ukončení jednotlivých etap stavební činnosti a zahrnují:

- přehled postupu výstavby nebo změny vodního díla po jeho dokončení, změn zatěžovacích stavů, postupu v instalacích měřicích zařízení,
- přehled všech výsledků pozorování a měření,
- poznatky z obchůzek,
- zhodnocení sledovaných jevů a zjištěných skutečností, případné návrhy opatření k nápravě.

Souhrnná zpráva o TBD během výstavby, resp. změny VD po jeho dokončení, se zpracovává po ukončení stavební činnosti na vodním díle. Jejím obsahem je:

- popis průběhu TBD,
- dokumentace umístění a popis všech zabudovaných měřicích přístrojů a zařízení určených k výkonu TBD,
- souhrnné zpracování všech sledovaných jevů a zjištěných skutečností ve srovnání s předpoklady projektové dokumentace a vyhodnocením jejich vlivu na bezpečnost a stabilitu vodního díla a jeho podloží,
- Program TBD v ověřovacím provozu (obvykle je zpracován jako samostatný dokument).

5.2.2 *Ověřovací provoz*

Ověřovací provoz je z pohledu TBD velmi důležitou etapou provozu, kdy se prakticky ověří předpoklady projektu a kvalita výstavby. Jeho výklad je uveden v základních pojmech ve vyhlášce č. 471/2001 Sb. Etapou ověřovacího provozu se rozumí období prvního zatížení vodního díla nebo jeho části vzdušnou vodou, zahrnující vyzkoušení provozu v takovém rozsahu, že lze naplnění předpokladů projektu, spolehlivou funkci, bezpečnost a stabilitu vodního díla zhodnotit. Etapa ověřovacího provozu má zásadní vliv na posouzení jejich bezpečnosti a stability v dalším provozu.

V této etapě se zpracovávají pro vodní díla I. až III. kategorie

- Program TBD pro období ověřovacího provozu, jehož součástí je postup řízeného napouštění,
- dílní zprávy o TBD v období ověřovacího provozu,
- celková zpráva o TBD v období ověřovacího provozu.

Pro vodní díla IV. kategorie se tyto dokumenty nezpracovávají.

Program TBD pro období ověřovacího provozu je především zaměřen na problematiku prvního zatížení vodního díla vzdušnou vodou a tomu je zcela podřízeno související sledování, vyhodnocování získaných výsledků a jejich porovnávání s předpoklady projektu, technickými normami nebo současnými technickými znalostmi.

Dílní zprávy o TBD v období ověřovacího provozu se zpracovávají po ukončení jednotlivých etap napouštění nádrže vodou a obsahují:

- popis průběhu TBD,
- přehled postupu napouštění a změn zatěžovacích stavů,
- přehled všech výsledků pozorování a měření,



- poznatky z obchůzek,
- zhodnocení sledovaných jevů a skutečností, případně návrhy nápravných opatření.

Celková zpráva o TBD za období ověřovacího provozu se zpracovává po ukončení napouštění nádrže a zahrnuje:

- popis průběhu TBD,
- zhodnocení všech sledovaných jevů a skutečností,
- zjištění, zda vodní dílo po prověrcce všech hlavních zatěžovacích stavů a provozních situací, popřípadě po provedení opatření k nápravě, má nebo nemá z hlediska TBD závady, které by bránily jeho trvalému provozu.

5.2.3 Etapa trvalého provozu

Etapa trvalého provozu je nejdlejší etapou v „životě“ vodního díla. TBD je řízen Programem TBD pro období trvalého provozu a jeho výsledky jsou dokládány Etapovými zprávami o TBD a Souhrnnými etapovými zprávami o TBD. Pro vodní díla IV. kategorie stávající legislativa tyto dokumenty nevyžaduje, ale může si je vyžádat stavební úřad. Zprávy o TBD obsahují vedle textových částí i řadu příloh hlavně s tabulkovým nebo grafickým znázorněním časových průběhů či vzájemných závislostí hodnot měřených jevů. Základními přílohami jsou obvykle záznamy o povětrnostních a provozních poměrech na vodním díle v hodnoceném období. Dalšími jsou pak časové nebo jiné závislosti výsledků speciálních měření, např. posunů, náklonů, deformací, průsakových poměrů, tlaků a režimů vod. Tato speciální měření udávají výsledky sledovaných jevů v absolutních nebo relativních hodnotách a jsou získávány manuálním měřením nebo na významných vodních dílech I., II. a III. kategorie moderním monitorovacím systémem.

Program TBD pro období trvalého provozu má plně předepsaný obsah a v jeho náplni se uplatní všechny poznatky a zkušenosti získané v období výstavby a ověřovacího provozu vodního díla.

Etapové zprávy o TBD zahrnují:

- popis TBD za období trvalého provozu od jeho zahájení nebo za období od poslední Etapové zprávy, případně Souhrnné etapové zprávy,
- stručný přehled výsledků pozorování a měření,
- zhodnocení všech sledovaných jevů a skutečností ve vztahu k mezním hodnotám,
- návrhy opatření k nápravě.

Souhrnné etapové zprávy o TBD zahrnují:

- popis průběhu TBD za období od poslední Etapové zprávy,
- dokumentaci všech změn ve vybavení měřicími přístroji a zařízeními,
- návrh obnovy nebo modernizace měřících přístrojů a zařízení,
- souhrnné zpracování výsledků pozorování a měření,
- zhodnocení všech sledovaných jevů a skutečností,
- výsledky přezkoumání stability hlavních konstrukcí VD na základě nově získaných poznatků,
- výsledky přezkoumání bezpečnosti díla při povodních podle aktuálních hydrologických podkladů (posudek bezpečnosti VD při povodních je obvykle zpracováván jako samostatný dokument),
- posouzení vlivů prostředí a provozu na stárnutí, funkční spolehlivost a celkovou bezpečnost vodního díla,



- prověrku Programu TBD včetně mezí bdělosti, mezních a kritických hodnot sledovaných jevů skutečností,
- návrhy opatření k nápravě.

Etapové zprávy hodnotí časové období podle kategorie vodního díla:

I. kat.	roční,
II. kat.	dvouleté.
III. kat.	čtyřleté.

Souhrnné etapové zprávy hodnotí časové období podle kategorie vodního díla:

I. kat.	pětileté,
II. kat.	desetileté,
III. kat.	dvacetileté.

Pro vodní díla IV. kategorie vyhláška č. 471/2001 Sb. Etapové ani Souhrnné etapové nevyžaduje.

Uvedené zprávy se vydávají k termínu konání prohlídek vodního díla a při prohlídkách se předkládají zástupcům stavebních úřadů.

Vlastníci (správci) vodních děl jsou povinni uvedené zprávy o výsledcích TBD podávat ve stanovených termínech, popř. nastaly-li mimořádné okolnosti dotýkající se bezpečnosti vodního díla, příslušnému stavebnímu úřadu a u vodních děl I. a II. kategorie zajistit jejich předložení prostřednictvím pověřené odborně způsobilé právnické osoby.

Další dokumenty TBD jsou např. posudky mimořádných statických i dynamických zatížení zemních nebo betonových konstrukcí, posudky bezpečnosti vodních děl při průchodu povodní, vyhodnocení mimořádných měření deformací staveb a s tím spojená statická přešetření, statistická zpracování hodnot dlouhodobě sledovaných jevů na vodních dílech a jejich trendové a regresní analýzy.

Prohlídky vodních děl zahrnují především hodnocení:

- provozní schopnosti a funkční spolehlivosti ve vztahu k bezpečnosti a stabilitě určeného vodního díla,
- neobvyklých skutečností vzniklých při provozu,
- provádění dohledu.

Při prohlídkách se projednají návrhy opatření k nápravě a plánované termíny jejich realizace a náměty na zlepšení technického stavu, způsobu užívání, provozu a údržby ke zvýšení bezpečnosti a stability určeného vodního díla. O prohlídce určeného vodního díla se pořizuje zápis, jehož obsah je stanoven vyhláškou č. 471/2001 Sb.

5.3 Rozsah účasti vlastníka, popřípadě stavebníka při TBD

Tuto činnost upravuje § 12 vyhlášky č. 471/2001 Sb., v platném znění. U vodních děl I. a III. kategorie vlastník nebo stavebník při provádění TBD:

- shromažďuje výsledky pozorování, měření a obchůzek ke zhodnocení ve stanovených termínech,
- zajišťuje údržbu a opravy zařízení pro kontrolní měření,
- svolává pravidelné a podle potřeby i mimořádné prohlídky,
- předem uvědomuje pověřenou odborně způsobilou osobu o přípravě projektových a stavebních prací nebo o jiných zásazích na vodním díle a jeho okolí, pokud mohou mít vliv na bezpečnost a stabilitu vodního díla nebo na výsledky kontrolních měření,



- informuje pověřenou odborně způsobilou osobu o zpracování a schválení manipulačních řádů vodního díla.

5.4 Kontrolní měření a pozorování

Vybavení VD zařízeními pro kontrolní měření musí odpovídat požadavkům TBD nad vodními díly příslušné kategorie. Zaměřuje se na hráz, funkční objekty, povodí VD a sledování hydrometeorologické situace.

Případné kontrolní měření a pozorování během výstavby hráze se u děl I. až III. kategorie provádějí podle samostatného návrhu – Rozsahu měření dohledu, který je součástí projektu VD.

Pro vodní díla I. až III. kategorie se zpracovává Program TBD podle vyhlášky č. 471/2001 Sb., a to pro období výstavby a provozu.

Pro sledování vodních stavů v nádrži musí být každá nádrž vybavena alespoň vodočetnou latí umístěnou tak, aby bylo možno při průchodu povodně sledovat hladinu až po korunu hráze.

Vždy po dosažení specifikovaného zatěžovacího stavu (po průchodu povodně, která vyvolá naplnění nádrže nebo odtok z nádrže větší než zadané kritérium) se provede dohodnutá činnost TBD, zejména geodetické měření deformací včetně jeho vyhodnocení a místní šetření, se zhodnocením skutečného stavu díla z hlediska TBD v písemné zprávě.

Pravidelné vizuální kontroly objektů díla, popřípadě ověřování funkčnosti jednotlivých zařízení, se provádí během provozu nádrže ve stanovených intervalech, uvedených v Programu TBD. U děl IV. kategorie, která Program TBD nemají zpracován, se obchůzky a vizuální kontroly provádí podle podmínek uvedených v kategorizačním posudku nebo podle zákona č. 254/2001 Sb. a vyhlášky č. 471/2001 Sb. V době, kdy VD nebude zatíženo vodou, musí být kontrolní prohlídka díla provedena určenou osobou minimálně 1× za měsíc. O výsledku prohlídky bude učiněn zápis do provozního deníku díla. V době zatížení vodního díla povodní se předpokládá kontrola nejméně 1× denně. Četnost kontrolních prohlídek se v případě zjištění skutečností, které by mohly ohrozit bezpečnost a stabilitu díla v době povodní, se zvýší podle potřeby.

Pokyny pro výkon TBD se v těchto případech zapracují do provozního nebo manipulačního řádu.

Analýza spolehlivosti technického zařízení vodních děl

doc. Ing. Pavel Fuchs, CSc.

Alopex, s.r.o.

e-mail: pavel.fuchs1@gmail.com

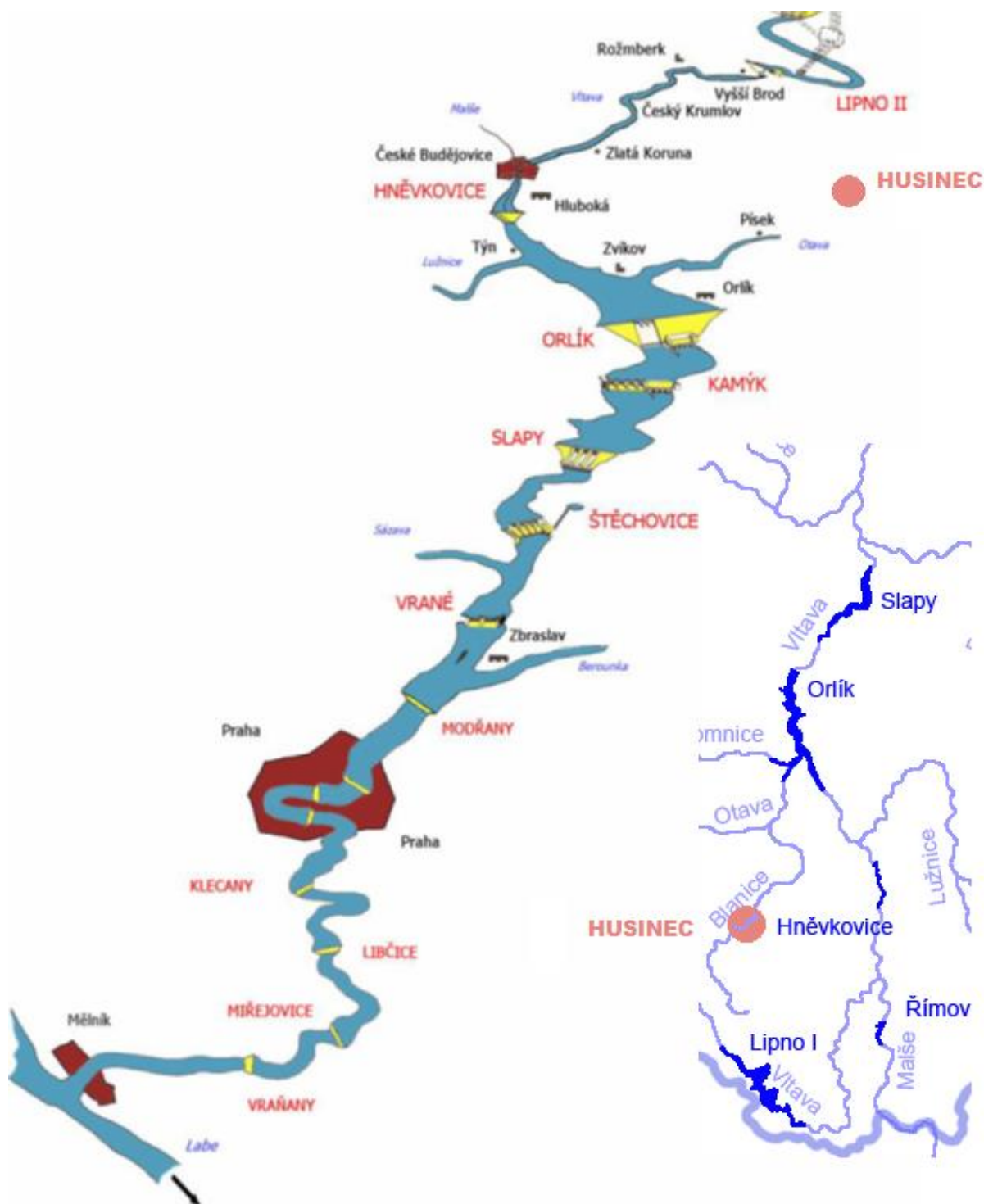
1 Úvod

Na základě požadavku Povodí Vltavy, státní podnik, bylo provedeno posouzení provozní spolehlivosti Vodního díla Slapy, Vodního díla Kamýk na řece Vltavě a Vodního díla Husinec na řece Blanici. **Posouzení provozní spolehlivosti se netýká stavební části a dále části pro výrobu elektrické energie ČEZ, a.s.** Posouzení vyžadovalo aktivní spoluúčast pracovníků Povodí Vltavy, státní podnik, a to zejména v oblasti konkrétních technických informací a provozních postupů příslušného vodního díla. Za tím účelem byl vytvořen pracovní tým, který společně prováděl příslušné analýzy pod vedením pracovníka Alopex, s.r.o.

Základní poznatky a závěry vzešlé z analýzy jsou popsány v následujících kapitolách a týkají se Vodního díla Slapy, viz obrázek 1. Na přednášce budou prezentovány další informace, které se týkají aplikovaných metod spolehlivosti a jejich výstupů pro VD Slapy, VD Kamýk a VD Husinec. Situování zmíněných vodních děl je uvedeno na obrázku 2.



Obrázek 1: Vodní dílo Slapy – přepouštění bezpečnostními přelivy při povodni (převzato z Výroční zprávy 2023 Povodí Vltavy, s.p.)



Obrázek 2: Topologie Vltavské kaskády se zakreslením VD Husinec na Blanici (převzato z nečíslovaného dokumentu DHI Hydroinform a.s. Praha, 2005)



2 Přehled použitých zkratk a symbolů

CCF	Common Cause Failure (porucha ze společné příčiny)
ETA	Event Tree Analysis (analýza stromu událostí)
FMEA	Failure Modes and Effects Analysis (analýza způsobů a důsledků poruch)
FMECA	Failure Modes, Effects and Criticality Analysis (analýza způsobů, důsledků a kritičnosti poruch)
LOPA	Layer of Protection Analysis (analýza vrstvy ochrany)
MEM	Minimum Endogenous Mortality (nejnižší přirozená úmrtnost)
MTBF	Mean Operating Time Between Failures (střední doba provozu mezi poruchami)
MTTR	Mean Time to Restoration (střední doba do obnovy)
PCA	Parts Count Analysis (analýza počítáním z dílů)
TBD	Technickobezpečnostní dohled
VD	Vodní dílo
U	Steady State Unavailability (ustálená nepohotovost)
λ	Failure rate (intenzita poruch)

3 Posouzení provozní spolehlivosti

3.1 Technická bezpečnost vodního díla

3.1.1 Přijatelná míra rizika

Přijatelná (akceptovatelná) míra rizika VD Slapy je normativně [1] určena požadovanou mírou bezpečnosti VD a legislativně [2] je specifikována zařazením VD do příslušné kategorie z hlediska technickobezpečnostního dohledu. Z uvedených dokumentů vyplývá, že VD Slapy je zařazeno do I. kategorie s požadovanou mírou bezpečnosti dle rovnice (1).

$$p = \frac{1}{N} \quad (1)$$

Kde

p pravděpodobnost (frekvence) výskytu povodně [rok⁻¹],
 N doba mezi opakováním povodně [rok].

Pro VD Slapy, zařazené do I. kategorie, je požadováno, aby převedlo kontrolní povodňovou vlnu $Q_{10\,000}$, která se vyskytuje jednou za 10 000 let. Přijatelná míra selhání VD Slapy má tedy hodnotu $p < 0,0001 \text{ rok}^{-1}$. Tuto skutečnost potvrzuje posudek společnosti, která vykonává technickobezpečnostní dohled (VODNÍ DÍLA - TBD a.s.) nad vodními díly. V posudku je uvedeno, že vodní dílo je v současném stavu schopno bezpečně převést kontrolní povodňovou vlnu $Q_{10\,000}$.

3.1.2 Mezní pravděpodobnost selhání technické části

Přijatelná míra selhání $p < 0,0001 \text{ rok}^{-1}$ platí za předpokladu bezchybného fungování technické části VD (strojní zařízení, elektrická zařízení, systém kontroly a řízení). Byla stanovena na základě klasifikace VD podle potenciálního rozsahu škod při hypotetické havárii VD Slapy. Předpokládané ohrožení životů při vzniku průlomové vlny se dle odborného posudku TBD týká přibližně **27 700 osob**.

Odhad mezní pravděpodobnosti založený na legislativě

Pro stanovení mezní pravděpodobnosti selhání technické části VD Slapy je použito kritérium společenského (skupinového) rizika. Společenské riziko je vyjádřeno jako hodnota frekvence havárie vedoucí k úmrtí N osob. Obecně platí, že čím více úmrtí, tím menší je přípustná hodnota frekvence havárie. Pro podmínky České republiky lze za určité vodítko považovat vyhlášku č. 227/2015 Sb. [3], přičemž tato vyhláška vychází ze zákona č. 224/2015 Sb. [4], který je v souladu s příslušnou legislativou EU.

Uvedená vyhláška stanovuje přijatelnost společenského (skupinového) rizika závažné havárie stávajících zařízení podle rovnice (2).

$$F_p = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{N^2} \quad (2)$$

Kde

F_p přijatelná roční frekvence závažné havárie [rok⁻¹],
 N počet potenciálních úmrtí [osoba].

Pokud se uvažuje 27 700 osob ohrožených na životě, je třeba expertně stanovit, kolik bude úmrtí. Včasná varování, evakuace a záchranné operace povedou k redukci úmrtí. Pokud ztráty

na životech budou činit cca 10 % ohrožených osob (cca 3 000 osob) je při použití rovnice (2) přijatelná roční četnost (frekvence) havárie VD Slapy vypočítána dle (3).

$$F_{pVD} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{N^2} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{3000^2} = 1,1 \cdot 10^{-10} \text{ rok}^{-1} \quad (3)$$

Pokud hodnota $p < 0,0001 \text{ rok}^{-1}$ platí za podmínky naprosté (ideální) spolehlivosti technické části VD, znamená to, že pravděpodobnost selhání funkce technické části VD se určí z rovnice (4).

$$U < \frac{F_{pVD}}{p} < \frac{1,1 \cdot 10^{-10}}{1 \cdot 10^{-4}} < 1,1 \cdot 10^{-6} \quad (4)$$

Kde

U	pravděpodobnost selhání (poruchy),
F_{pVD}	přijatelná roční frekvence havárie VD Slapy [rok^{-1}],
p	pravděpodobnost (frekvence) výskytu povodně [rok^{-1}].

Jinými slovy řečeno, při vzniku povodňové vlny s hodnotou $Q_{10\,000}$ musí být pravděpodobnost selhání technického zařízení, které je potřebné pro její bezpečné převedení $U = 1,1 \cdot 10^{-6}$. V oboru spolehlivosti je tato bezrozměrná pravděpodobnost označována jako nepohotovost (nedostupnost) [5].

Při tomto přístupu k přijatelné frekvenci havárie VD Slapy dle [3] je hodnota roční frekvence F_{pVD} na úrovni astronomických jevů (dopad velkého meteoritu na zemský povrch) a je přísnější, než bezpečnostní cíle v jaderné energetice¹.

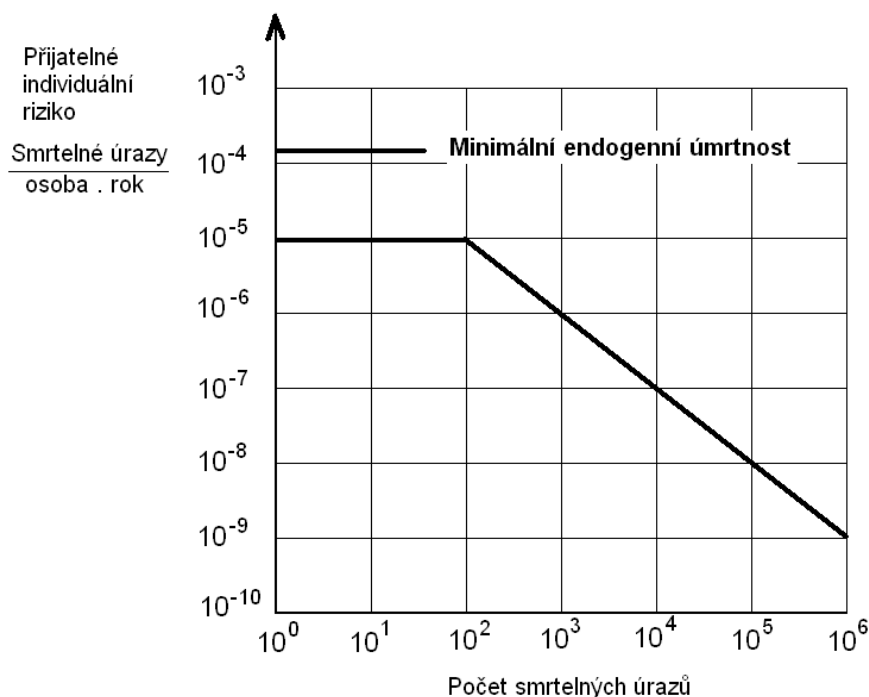
Je možné vést diskusi, zda počet obětí z celkového počtu ohrožených osob bude menší, např. 1 %, tedy cca 300 osob. Nástup velké povodně z extrémních srážek je pozvolný a projevuje se s dostatečným předstihem. I při nepřevedení povodně při havárii VD je k dispozici určitý čas na řešení krizové situace. S ohledem na hodnoty postupových dob kulminačních průtoků v centru Prahy uvedené v posudku TBD lze předpokládat, že účinný systém včasného varování a evakuace by při velké povodni počet obětí minimalizovat. Po dosažení příslušných hodnot počtu obětí (300 osob) do rovnice (3) a (4) bude v tomto případě hodnota $F_{pVD} = 1,1 \cdot 10^{-8} \text{ rok}^{-1}$ a hodnota $U = 1,1 \cdot 10^{-4}$.

Odhad mezní pravděpodobnosti založený na technické normě

Pro stanovení mezní pravděpodobnosti selhání lze využít v technické praxi používanou zásadu MEM – Minimum Endogenous Mortality: Nové zařízení nesmí výrazně zvýšit endogenní úmrtnost (tj. úmrtnost z přirozených příčin). Tento přístup založen na práci A. Kuhlmana [6] a je popsán v ČSN EN 50126-2 [7]. Jeho grafická interpretace je uvedena na obrázku 3.

V zásadě MEM se uplatňuje poznatek, že nejnižší endogenní úmrtnost vykazují děti ve věku 5 – 15 let. Jejich úmrtnost má hodnotu $2 \cdot 10^{-4} \text{ osoba}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Úmrtnost ze selhání technických zařízení by měla být pod touto hodnotou. A protože se předpokládá, že každý jedinec je ohrožen paralelně 20 různými technickými systémy, je na technický systém kladen požadavek, že riziko úmrtí jednotlivce (individuální riziko) by mělo být menší než $1 \cdot 10^{-5} \text{ osoba}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Zásada MEM též zohledňuje hledisko přijatelnost rizika většího počtu usmrcených a zraněných.

¹ Vyhláška č. 359/2016 Sb., o podrobnostech k zajištění zvládnutí radiační mimořádné události. Zóna je stanovena tam, kde je pravděpodobnost radiační havárie větší nebo rovná $1 \cdot 10^{-7} \text{ rok}^{-1}$.



Obrázek 3: Přípustné riziko podle zásady MEM (dle [7])

Při výpočtu rizika se uvažují kromě usmrcených i těžce a lehce zranění. K dispozici je přepočítávací koeficient podle vztahu 1 úmrtí = 10 těžkých zranění = 100 lehkých zranění.

Při použití tohoto přístupu lze stanovit podle obr. 1 přibližnou hodnotu přijatelné frekvence havárie $F_{pVD} = 5,5 \cdot 10^{-7} \text{ rok}^{-1}$ pro úmrtí cca 3 000 osob a hodnotu $F_{pVD} = 5,5 \cdot 10^{-6} \text{ rok}^{-1}$ pro úmrtí cca 300 osob.

Uvedené hodnoty F_{pVD} platí pro případ, kdy VD Slapy nepřevede povodňovou vlnu s hodnotou $Q_{10\,000}$ z důvodu selhání technického zařízení. Mezní hodnota pravděpodobnosti selhání (nepohotovosti) technického zařízení bude dle vztahu (4) $U = 5,5 \cdot 10^{-3}$ pro úmrtí 3 000 osob a $U = 5,5 \cdot 10^{-2}$ pro úmrtí 300 osob.

Použitý odhad mezní pravděpodobnosti

Přístupy ke stanovení přijatelné frekvence havárií se liší jak mezi jednotlivými odvětvími, tak mezi státy. A také záleží na postoji, který zaujímá společnost k riziku. Výše uvedené přístupy byly vybrány jako ukázka v jak širokém rozmezí se mohou pohybovat kritéria přijatelnosti rizika a požadavky na spolehlivost technických systémů určených k plnění bezpečnostních funkcí. Porovnání výsledků získaných při aplikaci obou přístupů je uvedeno v tabulce 1.

Tabulka 1: Porovnání výsledků obou přístupů pro 10 % a 1 % počtu obětí

Počet obětí	Přístup podle legislativy		Přístup podle normy	
	$F_{pVD} [\text{rok}^{-1}]$	$U [1]$	$F_{pVD} [\text{rok}^{-1}]$	$U [1]$
3 000	$1,1 \cdot 10^{-10}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$5,5 \cdot 10^{-7}$	$5,5 \cdot 10^{-3}$
300	$1,1 \cdot 10^{-8}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$5,5 \cdot 10^{-6}$	$5,5 \cdot 10^{-2}$

Z tabulky je zřejmé, v jakých mezích lze volit hodnotu mezní pravděpodobnosti selhání (nepohotovosti) technické části VD Slapy.

Arbitrárně bylo rozhodnuto použít hodnotu $U \leq 1,0 \cdot 10^{-4}$.

Hodnota nepohotovosti $U \leq 1,0 \cdot 10^{-4}$ se vztahuje k technické části VD Slapy jako celku. A platí pro případ selhání jakékoli části technického zařízení, které znemožní bezpečné převedení povodňové vlny s hodnotou $Q_{10\,000}$.

3.2 Funkční analýza vodního díla

V provozních manuálech je uvedeno, že VD Slapy zajišťuje v pořadí podle důležitosti tyto funkce:

1. akumulaci a vzdouvání povrchové vody;
2. minimální průtok ve významném vodním toku Vltava v profilu Vrané 40 m³.s⁻¹ (ve spolupráci při hospodaření s vodou s vodními díly Lipno I a Orlík a v součinnosti s ostatními vodními díly Vltavské kaskády);
3. částečné snížení povodňových průtoků za účelem ochrany území pod vodním dílem před účinky povodně;
4. využití odtoku z vodní nádrže k výrobě elektrické energie ve špičkové vodní elektrárně, která je součástí vodního díla;
5. vytváření podmínek pro povolená nakládání s vodami;
6. nadlepšování průtoků ve významném vodním toku Vltava (příp. ve významném vodním toku Labe, pro zlepšení plavebních podmínek);
7. nadlepšování průtoků pod vodním dílem za účelem zlepšení jakosti vody ve významném vodním toku Vltava;
8. ovlivňování zimního průtokového režimu pod vodním dílem a omezení nežádoucích ledových jevů;
9. plavbu v nádrži (vodní cesta využívaná pro plavidla o nosnosti do 300 tun);
10. rekreaci a vodní sporty;
11. rybí hospodářství.

Vyjmenované účely nejsou disjunktní (vylučující se). Např. účel (1) akumulace a vzdouvání vody zahrnuje i účel (3) částečné snížení povodňových průtoků, účel (9) plavba v nádrži (hladina 269,10 m n.m. až 270,60 m n.m. s ohledem na plavební komoru VD Kamýk), účel (10) rekreace a účel (11) rybí hospodářství.

Je evidentní, že funkční analýza použitelná pro analýzu spolehlivosti musí vycházet z účelu VD Slapy v souvislosti jeho funkčním začleněním ve Vltavské kaskádě.

Proto byla provedena identifikace funkcí, které jsou potřebné k tomu, aby VD Slapy bylo schopno výše uvedené účely plnit. Přehled těchto funkcí je uveden v tabulce 2.

Tabulka 2: Funkce VD Slapy

Položka	Funkční třída	Číslo funkce	Popis funkce
1	Akumulace a vzdouvání vody	1.1	Hrazení přelivu segmentem
		1.2	Hrazení spodní výpustí
2	Průtok vody	2.1	Regulace průtoků spodní výpustí
3	Transformace povodňových průtoků (převod velkých vod)	3.1	Přepouštění přelivem (segmentem)
		3.2	Odpouštění spodní výpustí
4	Podpora	4.1	Nouzové napájení dieselagregátem
		4.2	Hrazení jeřábem

Tyto funkce byly dále posouzeny podle kategorie funkce (hlavní, vedlejší, s důsledkem pro provoz, s důsledkem pro bezpečnost). Přičemž hlavní funkce spadají pod položky 1 až 3,

vedlejší funkce odpovídají položce 4. Selhání každé z funkcí (1.1 až 4.2) má důsledek pro provoz VD. Totéž platí pro důsledek pro bezpečnost VD s výjimkou funkce č. 4.2.

Za regulační funkce lze považovat funkce č. 1.1, 1.2 a 2.1, za ochranné (bezpečnostní) funkce lze považovat funkci č. 3.1 a 3.2. Zařízení, která vykonávají ochranné funkce č. 3.1, 3.2 také vykonávají regulační funkce č. 1.1, 1.2, 2.1.

3.3 Rozčlenění vodního díla na ucelené funkční části

Protože VD Slapy představuje soubor zařízení, které ve vzájemné součinnosti realizují příslušné funkce, je třeba provést rozčlenění (dekompozici) zařízení do potřebné úrovně detailu. Pro rozčlenění VD Slapy bylo použito rozčlenění do čtyř úrovní, kdy na první úrovni se nacházejí ucelené funkční části a na čtvrté úrovni individuální komponenty.

3.4 Stanovení požadavků na spolehlivost vybraných funkcí

3.4.1 Analýza funkčních poruch

Z funkční analýzy jsou stanoveny funkce zařízení a je třeba identifikovat, jaké jsou možné způsoby a důsledky poruch. K tomu je využita FMEA, resp. FMECA [8]. K funkcím, specifikovaným na úrovni VD Slapy jako celku, jsou přiřazována zařízení, která se na vykonání funkce podílejí. Funkce se přiřazují k zařízení na příslušné úrovni rozčlenění. Následně je zpracována FMEA na potřebné úrovni rozčlenění.

Nejprve byla zpracována FMEA na 1. úrovni rozčlenění (technologické celky), která analyzovala způsoby a důsledky poruch pro VD Slapy jako celek se zaměřením na důsledky pro minimální průtok, a pro průtok $Q_{10\,000}$.

Následně byla zpracována FMEA na 2. úrovni rozčlenění, která analyzovala způsoby poruch funkčních bloků/komponent a jejich důsledky pro funkční bloky/komponenty, pro funkční části a pro technologické celky.

FMEA na 2. úrovni rozčlenění byla dále rozšířena o položky, které identifikují postiženou funkci vodního díla a analyzují udržitelnost. Udržitelnost je popsána odhalitelností poruchy a prostředkem jejího odhalení, opatřením pro předcházení poruchám, hodnotou $MTTR$ a $MTTR_{korig}$. Přičemž $MTTR_{korig}$ je doba, kdy porouchanou komponentu lze nahradit komponentou vymontovanou z jiného zařízení VD Slapy či jiným způsobem.

3.4.2 Požadavky na spolehlivost a jejich alokace – ochranné funkce

Jako ochranné (bezpečnostní) funkce VD Slapy jsou v odst. 4.2 identifikovány funkce č. 3.1 (přepouštění přelivem/segmentem) a funkce č. 3.2 (odpouštění spodní výpustí). Hodnota mezní pravděpodobnosti selhání (nepohotovosti) $U \leq 1,0 \cdot 10^{-4}$ musí být vhodným způsobem přidělena k jednotlivým technologickým celkům, které ochranné funkce vykonávají. Podle posudku TBD nebude mezní bezpečná hladina při $Q_{10\,000}$ překročena ani v případě nefunkčnosti obou spodních výpustí. Proto spodní výpusti nejsou do přidělení požadavků na nepohotovost zahrnuty.

Z výsledků FMEA provedené na 1. úrovni je zřejmé, že havárie vodního díla je možná jen v případě selhání bezpečnostního přelivu a souběhu ztráty elektrického napájení z vnější sítě současně s poruchou dieselaagregátu.

Pro zvládnutí $Q_{10\,000}$ je třeba, aby byly funkční všechny čtyři bezpečnostní přelivy (viz situace na obrázku 1) a elektrické napájení. Pro alokaci přípustné celkové nepohotovosti VD Slapy na příslušné technologické celky platí rovnice (5).

$$U_Q = 4 * U_{BP} + U_E * U_D \leq 1,0 \cdot 10^{-4} \quad (5)$$

Kde

U_Q	nepohotovost VD Slapy při $Q_{10\,000}$,
U_{BP}	nepohotovost bezpečnostního přelivu,
U_E	nepohotovost vnějšího elektrického napájení,
U_D	nepohotovost dieselagregátu.

První člen v rovnici (5) odpovídá součtu pravděpodobnosti selhání (nepohotovosti) jednotlivých bezpečnostních přelivů, druhý člen odpovídá součinu pravděpodobností selhání napájení vnějšího elektrického napájení a dieselagregátu.

Lze oprávněně předpokládat, že hodnota součinu pravděpodobností bude řádově menší, než hodnota součtu pravděpodobností a bude platit rovnice (6).

$$U_{BP} > U_E * U_D \quad (6)$$

Za tohoto předpokladu je pro bezpečný provoz VD Slapy rozhodující nepohotovost bezpečnostního přelivu U_{BP} . Pro stanovení hodnoty nepohotovosti přelivu lze použít rovnici (7) a rovnici (8).

$$U_Q = 4 * U_{BP} \leq 1 \cdot 10^{-4} \quad (7)$$

$$U_{BP} = \frac{U_Q}{4} \leq 2,5 \cdot 10^{-5} \quad (8)$$

Z výsledků FMEA pro bezpečnostní přeliv provedené na 2. úrovni je zřejmé, že v nouzovém případě lze přeliv „zprovoznit“ odstřelením segmentu. Pro všechny komponenty tak lze použít stejnou hodnotu korigované střední doby do obnovy, která pak platí i pro bezpečnostní přeliv jako celek, $MTTR_{korig} = 2 \text{ dny} = 48 \text{ h}$.

Pro stanovení hodnoty střední doby mezi poruchami $MTBF$ lze při znalosti hodnot nepohotovosti U a střední doby do obnovy $MTTR$ použít rovnici (9).

$$MTBF = \frac{MTTR * (1 - U_{BP})}{U_{BP}} = \frac{48 * (1 - 2,5 \cdot 10^{-5})}{2,5 \cdot 10^{-5}} = 1,92 \cdot 10^6 \text{ h} \quad (9)$$

Převrácená hodnota $MTBF$ určuje hodnotu intenzity poruch $\lambda = 5,2 \cdot 10^{-7} \text{ h}^{-1}$.

Je třeba si uvědomit, že hodnoty $MTBF = 1,92 \cdot 10^6 \text{ h}$, $\lambda = 5,2 \cdot 10^{-7} \text{ h}^{-1}$ platí pro jeden (každý) bezpečnostní přeliv jako celek. Proto by tyto hodnoty měly být dále přerozděleny na jednotlivé komponenty funkčního řetězce, který zajišťuje funkci pohybu segmentu bezpečnostního přelivu. Těchto komponent je několik desítek, viz FMEA bezpečnostního přelivu. Mechanická část přelivu je historicky zřejmě předimenzovaná, četnost manipulací (pohybů) malá a pravděpodobnost poruchy lze uvažovat výrazně menší než u ostatních částí. V případě, že poruchovost mechanické části bude zanedbána, měly by individuální komponenty ostatních částí dosahovat hodnot intenzity poruch o jeden až dva řády nižší. Jedná se tedy o hodnoty, které se v technické praxi dosahují obtížně a příslušné komponenty jsou drahé.

Proto byla provedena rámcová analýza spolehlivosti bezpečnostního přelivu metodou počítáním z dílů (PCA). V provedené PCA jsou zahrnuty komponenty, u kterých porucha měla dle FMEA vliv na funkčnost bezpečnostního přelivu. Hodnoty intenzit poruch komponent λ

byly stanoveny jako řádové expertní odhady s ohledem na režim jejich provozování a na základě poznatků z praxe.

Z výsledků PCA jasně vyplývá, že limitní hodnota nepohotovosti vztahovaná k jednomu bezpečnostnímu přelivu $U_{BP} \leq 2,5 \cdot 10^{-5}$ **je překročena**, a to i při uvažování hodnot korigované střední doby do obnovy.

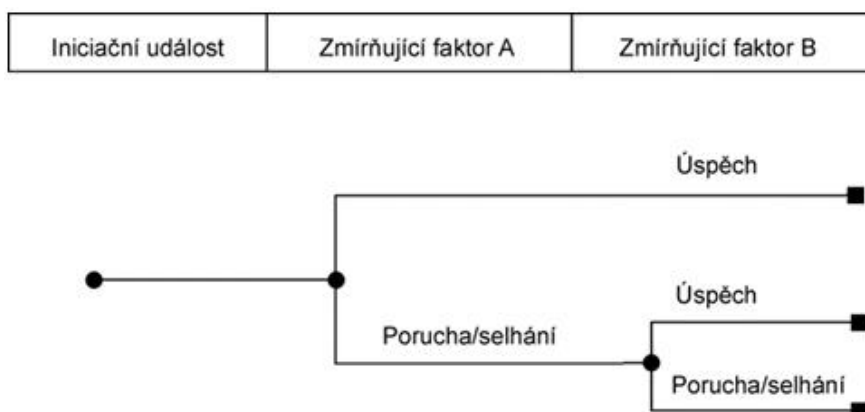
Při uvažování hodnot korigované střední doby do obnovy dosahuje je nepohotovost jednoho bezpečnostního přelivu hodnoty $1,02 \cdot 10^{-3}$. Takže nepohotovost funkce č. 2.1 (přepouštění přelivem (segmentem)) reprezentovaná selháním kteréhokoliv ze čtyř bezpečnostních přelivů je $4,08 \cdot 10^{-3}$. Což **nesplňuje požadavek na pravděpodobnost selhání** (nepohotovost) $U_Q \leq 1,0 \cdot 10^{-4}$.

Kritickými komponentami jsou frekvenční měniče. K přiblížení se k limitní požadované hodnotě nepohotovosti je třeba, aby byly k dispozici frekvenční měniče, jejichž intenzita poruch pro selhání funkce bude na úrovni $\lambda = 1 \cdot 10^{-7} \text{ h}^{-1}$ a lepší, což může být obtížně dosažitelné. Za selhání funkce frekvenčního měniče bude uvažováno neschopnost řídit otáčky elektromotoru a synchronizovat otáčky.

Vhodným řešením bude zřejmě kombinace obou přístupů. Uvedený postup je v technické praxi znám pod zkratkou LOPA (Layer of Protection Analysis) a popsán v normě [9]. To znamená volit komponenty bezpečnostního přelivu s přiměřenou mírou spolehlivosti od renomovaných dodavatelů a zároveň být připraven na nouzové zprovoznění bezpečnostního přelivu odstřelením segmentu v případě poruchy komponent s dlouho dobou do obnovy (MTTR).

V takovémto případě je ochranná funkce realizována technickým zařízením a organizačním opatřením. Technické zařízení bezpečnostního přelivu uvažováno jako první vrstva ochrany. Druhou vrstvou ochrany je organizační opatření (připravenost na nouzové odstřelení segmentu). Mezní hodnota nepohotovosti je pak dána součinem pravděpodobnosti selhání první a druhé vrstvy ochrany.

Tuto skutečnost lze dokumentovat na stromu událostí pro scénář havárie VD Slapy. Analýza stromu událostí (ETA) je jednou ze základních metod spolehlivosti a je popsána v [10]. Počáteční (iniciační) událost je úspěšně či neúspěšně zmírněna vhodným opatřením a vyvíjí se do množiny možných scénářů, viz obrázek 4 (volně dle [10]).



Obrázek 4: Jednoduchá grafická reprezentace stromu událostí

Pravděpodobnost iniciační události se zpravidla zadává jako frekvence nebezpečné události. Pravděpodobnost úspěchu/neúspěchu zmírňujícího faktoru se zadává jako hodnota bez

fyzikální jednotky. Pravděpodobnost koncového scénáře je pak udávána jako frekvence. Platí, že součet pravděpodobnosti koncových scénářů je roven pravděpodobnosti iniciační události.

Hodnota pravděpodobnosti selhání organizačního opatření je expertně stanovena $q = 0,1$. Bezpečnostní kritérium scénáře je dle tabulky 1 stanoveno $F_{pVD} = 1,1 \cdot 10^{-8} \text{ rok}^{-1}$ jako hodnota přijatelné frekvence havárie pro úmrtí 300 osob.

Varianta 1 uvažuje, že technická zařízení vodního díla umožní dosáhnout hodnoty nepohotovosti $U_Q \leq 1,0 \cdot 10^{-4}$, čímž bude dosažena přijatelná roční frekvence havárie $F_{pVD} = 1,1 \cdot 10^{-8} \text{ rok}^{-1}$. Tato varianta se může při bližší analýze ukázat jako investičně nákladná, případně nerealizovatelná.

Varianta 2 uvažuje, že technická zařízení vodního díla budou disponovat řádově horší hodnotou nepohotovosti $U_Q \leq 1,0 \cdot 10^{-3}$ a bude přijato vhodné organizační opatření spočívající v nouzovém zprovoznění bezpečnostního přelivu. Pravděpodobnost, že opatření selže se konzervativně uvažuje 0,1. Tím bude dosažena přijatelná roční frekvence havárie $F_{pVD} = 1,1 \cdot 10^{-8} \text{ rok}^{-1}$. Tato varianta již uvažuje frekvenční měniče s intenzitou poruch na úrovni $\lambda = 1 \cdot 10^{-6} \text{ h}^{-1}$.

3.4.3 Požadavky na spolehlivost a jejich alokace – regulační funkce

Požadavky na spolehlivost regulačních funkcí by se měly stanovit na základě ekonomických kritérií podle ztrát, které by vznikly nedostatečnou regulací akumulace a průtoku. Tato však kritéria však nejsou stanovena. Proto jsou v následujícím textu uvedena jen základní zjištění vyplývající z analýzy spolehlivosti.

Jako regulační funkce VD Slapy jsou v odst. 4.2 identifikovány funkce č. 1.1 (hrazení přelivu segmentem), 1.2 (hrazení spodní výpustí), 2.1 (regulace průtoku spodní výpustí) a 3.2 (odpouštění spodní výpustí).

Protože funkce č. 1.1 (hrazení přelivu segmentem) je vykonávána identickým technickým zařízením jako ochranná funkce č. 3.1 (přepouštění přelivem (segmentem)) platí pro ni stejné výsledky jako pro funkci č. 3.1. S tím rozdílem, že nelze plně uplatnit U_{Ckorig} , protože nelze použít řešení spočívající v odstřelení segmentu.

Při uvažování hodnot nekorigované střední doby do obnovy dosahuje je nepohotovost jednoho bezpečnostního přelivu hodnoty $1,27 \cdot 10^{-3}$. Takže nepohotovost funkce č. 1.1 (hrazení přelivu segmentem) reprezentovaná selháním kteréhokoliv ze čtyř bezpečnostních přelivů má hodnotu nepohotovosti $5,08 \cdot 10^{-3}$.

Funkce č. 1.2 (hrazení spodní výpustí), č. 2.1 (regulace průtoku spodní výpustí) a č. 3.2 (odpouštění spodní výpustí) selžou jen při současném selhání obou spodních výpustí nebo při selhání napájení vnějšího elektrického napájení a dieselaagregátu, viz rovnice (10).

$$U_R = U_{SV}^2 + U_E * U_D \quad (10)$$

Kde

U_R	nepohotovost VD Slapy pro minimální průtok,
U_{SV}	nepohotovost spodní výpustí,
U_E	nepohotovost vnějšího elektrického napájení,
U_D	nepohotovost dieselaagregátu.

Z uvedeného vyplývá, že regulace průtoku spodní výpustí splňuje kritérium odolnosti proti jedné poruše, což je předpoklad dostatečné úrovně spolehlivosti. I při málo pravděpodobném selhání regulace průtoku spodní výpustí bude možné minimální průtok vody zajistit přes vodní

elektrárnu. Toto potvrzuje i FMEA. Výpočet hodnot parametrů spolehlivosti nebyl tedy proveden.

3.4.4 Poruchy se společnou příčinou

Poruchy se společnou příčinou (CCF) nebyly do výpočtu spolehlivosti zahrnuty. Uplatnily by se jen v součinu nepohotovosti pro spodní výpusti. Příspěvek CCF se zpravidla uplatňuje u zálohování na úrovni komponent stejného typu a výrobce. Na úrovni zařízení tvořených z více a typově odlišných komponent se CCF prakticky neuplatní. To je případ technologického celku spodní výpusti, kde se vyskytují strojní, hydraulické, elektromechanické, elektronické a elektrické komponenty.

Pokud jde o součin nepohotovosti vnějšího elektrického napájení a dieselařegátu, nelze možnost výskytu CCF vyloučit. Např. při tzv. kaskádové poruše. Je třeba prověřit faktickou nezávislost obou zdrojů elektrického napájení, a to na úrovni rozvoden a rozvaděčů.

3.5 Shrnutí výsledků analýz spolehlivosti

Jako základní postupy k prošetření spolehlivosti VD Slapy byly aplikovány funkční analýza, FMEA na potřebné úrovni rozčlenění a odhad hodnot ukazatelů spolehlivosti metodou PCA pro specifikované funkce vodního díla. Výsledky shrnuje tabulka 5.

Tabulka 3: Spolehlivost VD Slapy

Číslo funkce	Popis funkce	Ustálená nepohotovost U [1]	
		Požadovaná	Dosahovaná
1.1	Hrazení přelivu segmentem	neurčeno	$5,08 \cdot 10^{-3}$
1.2	Hrazení spodní výpustí	neurčeno	–
2.1	Regulace průtoku spodní výpustí	neurčeno	–
3.1	Přepouštění přelivem (segmentem)	$\leq 1 \cdot 10^{-4}$	$4,12 \cdot 10^{-3}$
3.2	Odpouštění spodní výpustí	neurčeno	–
4.1	Nouzové napájení dieselařegátem	neaplikuje se*	neaplikuje se*
4.2	Hrazení jeřábem	neaplikuje se*	neaplikuje se*

* Výpočet nepohotovosti podpůrné funkce nebyl potřebný pro výpočty nepohotovosti základních funkcí. Byla provedena jen kvantitativní analýza.

Požadované hodnoty nepohotovosti funkcí nebyly určovány, protože nejsou k dispozici relevantní ekonomická kritéria ztrát k funkcím č. 1.1, 1.2, 2.1 a 3.2.

Z hodnot parametrů spolehlivosti uvedených v PCA je patrné, že největší podíl na nepohotovosti bezpečnostního přelivu má frekvenční měnič. Tento podíl činí cca 75 % pro funkci č.1.1 (hrazení přelivu segmentem) a cca 95 % pro funkci č. 3.1 (přepouštění přelivem (segmentem)).

4 Závěr

Na základě zařazení VD Slapy do bezpečnostní kategorie vodních děl a počtu ohrožených osob při hypotetické havárii byla stanovena přijatelná frekvence havárie podle dvou různých metodických přístupů. To posloužilo ke stanovení mezní hodnoty pravděpodobnosti selhání technických zařízení, která plní ochranné funkce.

Použitá literatura

- [1] ČSN 75 2935:2014 *Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních*.
- [2] Souhrnná evidence zařazení vodních děl do I. – III. kategorie z hlediska technickobezpečnostního dohledu (stav k 31. prosinci 2022). Dostupné na WWW: <https://eagri.cz/public/portal/mze/voda/technickobezpecentni-dohled/seznam-vodnich-del-i-iii-kategorie-tbd>
- [3] Vyhláška č. 227/2015 Sb., o náležitostech bezpečnostní dokumentace a rozsahu informací poskytovaných zpracovateli posudku.
- [4] Zákon č. 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými směsmi a o změně zákona č. 634/2004 Sb., o správních poplatcích, ve znění pozdějších předpisů, (zákon o prevenci závažných havárií).
- [5] ČSN IEC 60050-192:2016 *Mezinárodní elektrotechnický slovník – Část 192: Spolehlivost*.
- [6] Kuhlmann, A.: Einführung in die Sicherheitstechnik (Introduction into Safety Technology), Friedr. Vieweg & Sohn, Verlag TÜV Rheinland, 1981.
- [7] ČSN EN 50126-2 ed. 2:2019 *Drážní zařízení – Stanovení a prokázání bezporuchovosti, pohotovosti, udržovatelnosti a bezpečnosti (RAMS) – Část 2: Systémový přístup k bezpečnosti*.
- [8] ČSN EN IEC 60812 ed.2:2019 *Analýza způsobů a důsledků poruch (FMEA a FMECA)*.
- [9] ČSN EN 61511-3 ed. 2:2018 *Funkční bezpečnost – Bezpečnostní přístrojové systémy pro sektor průmyslových procesů – Část 3: Pokyn pro stanovení požadované úrovně integrity bezpečnosti*.
- [10] ČSN EN 62502:2011 *Techniky analýzy spolehlivosti – Analýza stromu událostí (ETA)*.



Česká společnost pro jakost, Novotného lávka 5, 110 00 Praha 1
Problematika spolehlivosti technologických částí vodních děl

ISBN 978-80-02-03076-8

Problematika spolehlivosti technologických částí vodních děl

Sborník přednášek

kolektiv autorů

1. vydání

rok vydání 2024, Česká společnost pro jakost

vazba brožovaná, 36 stran