

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra hydrotechniky



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Didaktický model přehrady Les Království

Didactic Model of the Les Království Dam

Autorka práce: Nikol Vypior

Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur

Datum: květen 2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Vypior</u>	Jméno: <u>Nikol</u>	Osobní číslo: <u>484409</u>
Zadávající katedra: <u>142 - Katedra hydrotechniky</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor/specializace: <u>Vodní hospodářství a vodní stavby</u>		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: <u>Didaktický model přehrady Les Království</u>	
Název bakalářské práce anglicky: <u>Didactic Model of the Les Království Dam</u>	
Pokyny pro vypracování: Přehrada Les Království byla vybudována v podhůří Krkonoš na Labi v letech 1910-1919. Hlavním účelem nádrže je zmírnění průběhu povodní v níže ležícím území, nadlepšování průtoků v Labi a hydroenergetické využití. Objekt přehrady a domu hrázného v pseudogotickém stylu je vyhledávaným cílem turistů. V budově dozorství přehrady byla uvedena do provozu expozice věnovaná historii a současnosti vodního díla Les Království, které je národní kulturní památkou. Cílem bakalářské práce je kvantifikovat VH účely vodního díla a sestavit: (a) didaktický model jeho účelů formou audiovizuální prezentace, (b) 3D řez šoupátkovou věží pomocí technologie 3D tisku.	
Seznam doporučené literatury: Patera, A., Nacházel, K., Fošumpaur, P.: Nádrže a vodohospodářské soustavy. Vydavatelství ČVUT. Praha 2002. Votruba, L., Broža, V.: Hospodaření s vodou v nádržích. SNTL/ALFA. Praha 1980. Broža V. a kol.: Přehrady Čech, Moravy a Slezska. Knihy 555. Liberec, 2005.	
Jméno vedoucího bakalářské práce: <u>doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur</u>	
Datum zadání bakalářské práce: <u>20. 2. 2023</u>	Termín odevzdání BP v IS KOS: <u>22. 5. 2023</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)
-----------------------	---------------------

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“

V Praze dne 21. 5. 2023

.....

Podpis autora

Poděkování

Děkuji touto cestou doc. Dr. Ing. Pavlu Fošumpaurovi za cenné rady, trpělivost a profesionalitu při vedení mé bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat státnímu podniku Povodí Labe a jeho zaměstnancům za tuto příležitost. Mé díky taktéž patří Ing. Tomáši Kašparovi Ph. D. za praktické konzultace a rady při tisku a stavbě 3D modelu.

Nikol Vypior

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zaměřuje na kvantifikaci hlavního účelu přehrady Les Království, kterým je ochrana před povodněmi. Práce je zaměřena na praktickou realizaci projektu pro státní podnik Povodí Labe, který zahrnuje vytvoření didaktického modelu ochranné funkce nádrže formou audiovizuální prezentace a vytvoření 3D modelu Šoupátkovou věží.

Hlavním cílem práce je vytvořit tyto výstupy s kvalitou umožňující jejich prezentaci v expozici na vodním díle Les Království a poskytnutí edukace široké veřejnosti.

Klíčová slova

3D tisk, 3D model, didaktický model, přehrada Les Království, audiovizuální prezentace, video, účel vodního díla, ochranná funkce, povodně

Abstract

This bachelor's thesis focuses on quantifying the main purpose of the Les Království dam, which is flood protection. The work is aimed at the practical implementation of a project for the state enterprise Povodí Labe, which includes creating a didactic model of the reservoir's protective function through an audiovisual presentation and constructing a 3D model of a sluice tower.

The main objective of the thesis is to produce these outputs with a quality that will enable their exhibition at the Les Království water structure and provide education to the general public.

Keywords

3D printing, 3D model, didactic model, Les Království dam, audiovisual presentation, video, purpose of water structure, protective function/flood control, floods

Obsah

1	Úvod.....	3
2	Teoretická část.....	3
2.1	Funkce a účely vodních nádrží	3
2.2	Prostory v nádržích	4
2.3	Transformační účinek nádrží při povodních.....	5
2.4	Řešení ochranné funkce nádrže	6
2.4.1	Neškodný odtok	6
2.4.2	Zabezpečení ochrany před povodněmi.....	6
2.4.3	Podklady pro řešení ochranné funkce	6
2.4.4	Řešení ochranné funkce	8
2.5	Povodňové řízení odtoku	8
2.5.1	Využití ochranného účinku zásobního prostoru povypřázdněním.....	8
2.5.2	Využití neovladatelného prostoru nádrže	10
3	Vodní dílo Les Království.....	12
3.1.1	Hydrologické údaje profilu hráze přehrady Les Království.....	15
3.2	Manipulační prostory nádrže	15
3.3	Popis funkčních objektů přehrady Les Království.....	16
3.3.1	Spodní výpusti.....	16
3.3.2	Bezpečnostní přelivy.....	18
3.3.3	Vodní elektrárna.....	18
3.4	Rekonstrukce VD Les Království.....	19
3.5	Kvantifikace ochranné funkce VD Les Království.....	20
3.5.1	Manipulace na VD Les Království za povodní.....	21
3.5.2	Vyhodnocení účinku VD Les Království na historické povodně	22
3.5.3	Srovnání účinků Les Království na historické povodňové události a výstupy z vodohospodářského řešení	25
4	Tvorba didaktického modelu ochranné funkce vodního díla.....	27
4.1	Cíl didaktického modelu.....	27
4.2	Vstupní podklady pro tvorbu didaktického modelu	28
4.3	Popis přípravy a tvorby didaktického modelu	28
4.4	Zhodnocení vytvořeného didaktického modelu.....	31
5	Tvorba 3D modelu řezu šoupátkovou věží	31
5.1	Technologie 3D tisku.....	31
5.1.1	Vytvoření modelu pomocí CAD softwaru.....	31

5.1.2	Další možnosti tvorby modelu	32
5.1.3	Příprava modelu k tisku	32
5.1.4	Tisk na 3D tiskárně	34
5.2	Cíl 3D modelu řezu šoupátkovou věží.....	34
5.3	Vstupní podklady pro tvorbu 3D modelu	34
5.4	Popis přípravy, tvorby a tisku 3D modelu	34
5.5	Zhodnocení 3D modelu	37
6	Závěr.....	37
7	Seznam zkratk	38
8	Bibliografie.....	39
9	Seznam obrázků	40
10	Seznam tabulek.....	42
11	Seznam grafů	43
12	Seznam příloh	44

1 Úvod

Voda je základním zdrojem života a je nezbytná pro všechny lidské činnosti. Vodní hospodářství zahrnuje řízení vodních nádrží a přehrad, které pomáhají zajistit dostatečné množství vody pro obyvatele, zemědělství, průmysl a energetiku a ochranu před povodněmi. Proto je důležité informovat veřejnost o vlivu lidské činnosti na vodní zdroje, učit ji s vodou hospodařit, a připomínat i ničivou sílu vody, na kterou se mnohdy zapomíná. Didaktický model přehrady Les Království vytvořený v rámci této bakalářské práce má zlepšit povědomí o těchto souvislostech.

Didaktický model vysvětluje transformační účinky přehrady a její přínos při zvládnání povodní audiovizuální formou. Jako součást expozice na vodním díle Les Království pomůže návštěvníkům pochopit procesy spojené s regulací vody, a přínosy manipulace na vodním díle pro ochranu povodí pod tělesem přehrady.

Druhým fyzickým výstupem je 3D model řezu šoupátkovou věží, který také bude umístěn v expozici. Tento model vytvořený pomocí 3D tisku má návštěvníkům názorně ukázat poměr mezi velikostí šoupátkové věže a hloubkou, ve které se pod ní v pravém obtokovém tunelu nachází spodní výpust.

2 Teoretická část

2.1 Funkce a účely vodních nádrží

Hlavní funkcí vodních nádrží je regulace odtoku nakládáním či hospodařením s vodou, která do nich přiteče. Akumulace neboli uskladňování vody v nádržích při přebytku srážek nebo tání sněhu vytváří zásobu vody a umožňuje dotovat nízké průtoky v období sucha. Zároveň můžeme zadržováním vody v nádržích udržovat stálý odtok a tím chránit území pod přehradou před nepříznivými účinky velkých vod. Pokud je přítok P do nádrže větší než odtok O z nádrže, nádrž se plní a její hladina stoupá. Při opačném poměru přítoku a odtoku se nádrž vyprazdňuje a hladina v ní klesá.

Nádrže se zásobní (akumulační) funkcí nejčastěji vodou zásobují obyvatelstvo pitnou vodou, průmysl užitkovou vodou a zemědělství vodou na závlahy. Účelem nádrže ale může být i výše zmíněné nalepšování tzv. minimálních zůstatkových průtoků v toku či nalepšování za účelem plavby. Díky spádu vody mezi hladinou v nádrži a odtokem z ní můžeme gravitačního potenciálu zadržené vody využívat při jejím vypouštění pro výrobu elektřiny ve vodní elektrárně.

Jistý ochranný účinek má každá nádrž se zásobní funkcí. Nádrže s volným objemem mohou zvýšený přítok alespoň částečně zachytit a chránit tak před povodněmi. Účelem nádrží s ochrannou (retenční) funkcí je snížit povodňové průtoky na takovou hodnotu, aby (s požadovanou mírou zabezpečení) ochránily níže položené území před škodami. Na rozdíl od potřeby zásobování lze ochranu před povodněmi zajistit i jinak než stavbou nádrží, například úpravou toku či technicko-organizačními opatřeními v průběhu povodně. (Votruba, 1980)

Nádrže mohou kromě již popsaných funkcí zásobních a ochranných plnit i funkce tvorby vodního prostředí, upravovat vlastnosti vody nebo zachycovat splaveniny. Dalšími účely nádrže pak může být rekreace na nádrži a v jejím okolí, chov ryb či vodní drůbeže nebo pěstování rostlin na hladině nádrže. Speciální oblast nakonec představují nádrže se specifickými technickými funkcemi jako například nádrže usazovací, chladicí, záchytné nebo kalové.

2.2 Prostory v nádržích

Hlavními parametry nádrže jsou její objem, zatopená plocha a rozsah kolísání hladiny při plnění jejích funkcí. Pro každou funkci nádrže je pak vyhrazen určitý podíl na celkovém maximálním objemu vody, jenž je nádrž schopná zadržet:

Prostor stálého nadržení A_s zajišťuje minimální provozní hladinu v nádrži. Jeho součástí je mrtvý prostor A_m , který nelze gravitačně vyprázdnit z důvodu umístění pod spodní úroveň základové výpusti. (Patera, 2002) Prostor stálého nadržení zajišťuje minimální hladinu pro případnou vodní elektrárnu v podobě minimálního spádu na turbínu. Stálé nadržení dále zachycuje nečistoty a odděluje vodu horší jakosti v nejhlubší části nádrže.

Nad prostorem stálého nadržení se nachází *prostor zásobní* A_z , který pojímá zásobní objem nádrže V_z z výpočtu vodohospodářského řešení nádrže. Maximální provozní hladinou je zpravidla právě hladina zásobního prostoru h_z . Cílem zásobního prostoru je akumulace vody a hospodaření s ní tak, aby byly zajištěny požadavky na zajištění odběrů a/nebo na udržování minimálního zůstatkového průtoku. V zásobním prostoru je vyrovnávána časová nerovnoměrnost mezi přítokem a odtokem do, resp. z nádrže, a to s určitou předem stanovenou zabezpečeností.

Prostorem nejvýše položeným v nádrži je prostor ochranný neboli retenční A_r . Jeho objem V_r také vychází z vodohospodářského řešení a jedná se o prostor za běžného provozního stavu prázdný, aby bylo možné při výskytu povodně zachytit část objemu povodně, a dosáhnout tak na toku pod nádrží zmírnění škodlivých účinků povodně nebo došlo k časovému oddálení nástupu povodňových průtoků. Z umístění ochranného prostoru v nádrži vycházejí požadavky na návrh výpustných a přelivných zařízení na vodních dílech. Ochranný prostor může být ovladatelný, neovladatelný, nebo částečně ovladatelný a částečně neovladatelný.

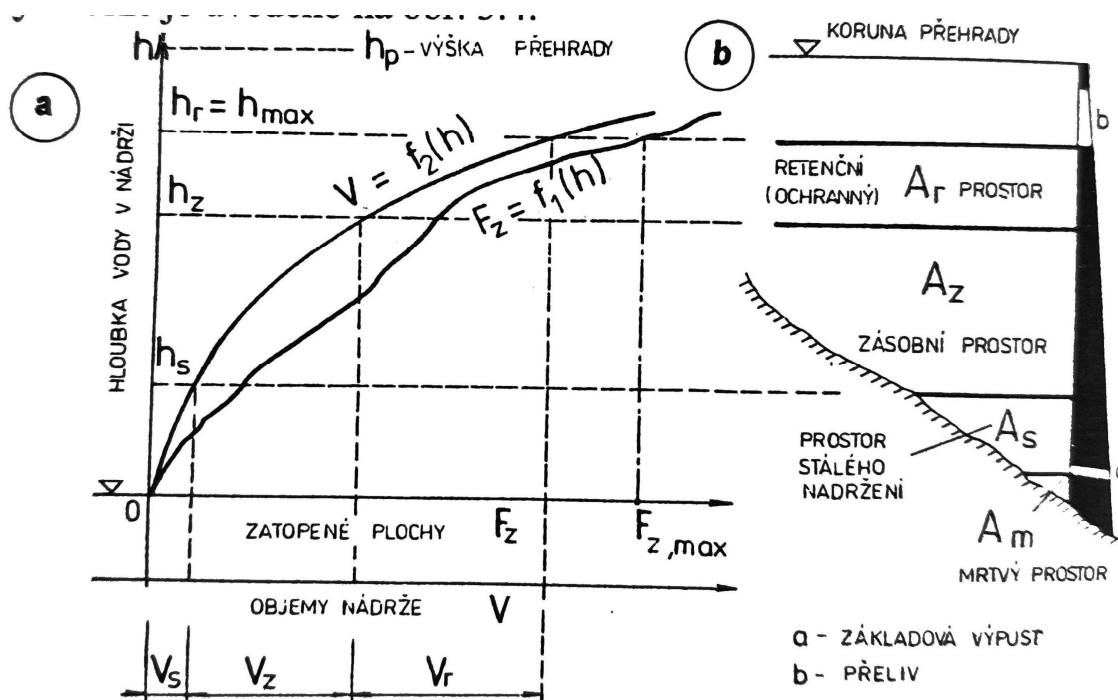
Nejčastějším požadavkem na ochranný prostor je snížení povodňových průtoků na hodnotu neškodného průtoku. Dalším častým požadavkem na ochranný prostor a povodňové řízení může být oddálení nástupu ničivých účinků povodně pod nádrží tak, aby se získal čas k provedení plánovaných technických a organizačních opatření nezbytných ke zmírnění účinků povodně.

Ochranu před očekávanou povodní lze posílit operativním či dispečerským řízením odtoku z nádrže. Povyprázdněním zásobního prostoru lze v nádrži vytvořit větší volný objem než je objem retenční a zvýšit tak šanci na zmírnění povodňových účinků. Ochranná funkce se navrhuje s ekonomicky zdůvodněnou mírou zabezpečení, neboť je obtížné kalkulovat náklady na zajištění ochrany před velkými povodněmi s nízkou pravděpodobností. V případě velké povodně, na kterou není ochranná funkce nádrže navržena, nelze hospodářským škodám zabránit. (Votruba, 1980)

Hladinu ochranného prostoru vymezuje maximální výška hladiny v nádrži, a proto hladina $h_r = h_{max}$. *Maximální hladiny* h_{max} se v nádrži dosahuje při průchodu návrhové

povodně a tato hladina musí být vodoprávně projednaná. Její kóta udává záplavovou čáru po obvodu nádrže a tím vymezuje prostor, ve kterém nelze umisťovat stavby ani kempy či karavany. Při dosažení maximální hladiny h_{\max} je nutné za každou cenu ji uhájit využitím všech funkčních objektů jako jsou spodní výpusti a/nebo uzávěry a nepřekročit ji.

Mezní bezpečnou hladinou MBH se rozumí hladina, při které je bezprostředně ohrožena stabilita vodního díla a tím i jeho bezpečnost. V případě přehrad se sypanými tělesy hráze může dojít k přelití a následné erozi vzdušního líce a v případě hrází betonových může dojít ke ztrátě stability například překlopením nebo posunutím.



Obrázek 1 - Umístění prostorů nádrže do údolí a do charakteristiky nádrže (Patera, 2002)

2.3 Transformační účinek nádrží při povodních

Nástrojem nádrží při povodňovém řízení odtoku ke zmírnění škodlivých účinků povodně je volný objem, zpravidla v ochranném (retenčním) prostoru nádrže. Nádrže transformují časový průběh přítoku do nich na časový průběh odtoku, který při povodních spočívá ve zploštění hydrogramu a snížení kulminačního průtoku za současného plnění ochranného (retenčního) prostoru nádrže. (Patera, 2002) Cílem ochranné funkce je snížení povodňových průtoků v lokalitě pod přehradou na hodnotu neškodného průtoku.

Patera uvádí následující vztah mezi přítokovým hydrogramem $P(t)$ a odtokovým hydrogramem $O(t)$:

$$\frac{dV}{dt} = P(t) - O(t)$$

Vzhledem k tomu, že rovnice není analyticky řešitelná, převádí se na diferenční tvar

$$\Delta V = (P - O)\Delta t$$

přičemž hodnoty objemu V , přítoku P a odtoku O se chápou jako průměrné ve zvoleném časovém kroku Δt

$$P = \frac{P_{n-1} + P_n}{2}$$

$$O = \frac{O_{n-1} + O_n}{2}$$

Volný objem pro transformaci lze získat povyprázdněním zásobního prostoru nádrže před jejím příchodem. Dispečerským řízením odtoku lze podstatně zvýšit ochranný účinek zásobního prostoru bez narušení zásobování vodou, resp. bez snížení zabezpečení odběrů. Povyprázdnění zásobního prostoru je možné například v období s velkým rizikem povodně nebo při spolehlivé krátkodobé předpovědi průtoků bezprostředně před povodňovou událostí.

2.4 Řešení ochranné funkce nádrže

2.4.1 Neškodný odtok

V dotčených úsecích pod přehradou se stanovuje neškodný průtok Q_{ne} , který může být po délce toku různý. Neškodný odtok z nádrže O_{ne} se proto stanoví tak, že se vypočtou rozdíly neškodného průtoky Q_{ne} a přírůstku z mezipovodí ΔQ_p pro jednotlivé úseky toku pod nádrží a za neškodný odtok se z nich vezme ten nejmenší

$$O_{ne} = \min(Q_{ne} - \Delta Q_p)$$

Pokud se protipovodňová ochrana území pod přehradou realizuje v kombinaci s úpravou toku, volí se řada hodnot neškodného odtoku O_{ne} z nádrže, ze kterých se stanovuje návrhový průtok pro úpravu koryta. Při optimalizaci ochrany před povodněmi kombinací těchto dvou opatření je hlavní proměnnou požadovaná zabezpečení ochrany. (Patera, 2002)

2.4.2 Zabezpečení ochrany před povodněmi

Míra zabezpečení ochrany před povodněmi se vyjadřuje pravděpodobnou dobou překročení neškodného průtoky neboli pravděpodobnou dobou opakování povodně – a tedy také s ní spojených povodňových škod.

Volba zabezpečení ochrany před povodněmi je stanovena na základě porovnání nákladů na opatření proti povodním a přínosů ze snížení povodňových škod. (Patera, 2002) Je nutné předem stanovit metodické zásady pro výpočet povodňových škod. Návrhovou zabezpečení ochrany před povodněmi je možné také stanovit dle dosavadních zkušeností. (Votruba, 1980)

2.4.3 Podklady pro řešení ochranné funkce

Pro řešení ochranné funkce jsou základním podkladem hydrogramy povodní, které definují kulminační průtoky Q_{max} , tvary a objemy povodňových vln W_{pv} . Hydrogramy povodňových vln (PV) mohou být pozorované, s uvedeným datem výskytu, nebo teoreticky odvozené s N -letým maximální průtokem.

N-leté (maximální) průtoky Q_N jsou standardním základním hydrologickým podkladem, který zpracovává nebo ověřuje odborně způsobilá právnická osoba. Tou je podle platné legislativy Ministerstvem životního prostředí pověřený Český hydrometeorologický ústav. Q_N se udávají číselně pro vybrané hodnoty doby opakování $N = 1, 2, 5, 10, 20, 50$ a 100 let. (ČSN 75 1400 Hydrologické údaje povrchových vod)

Průběh povodní je v našich podmínkách zpravidla několikadenní, popř. trvající jen několik hodin. Empiricky zjištěné hodnoty zpravidla netvoří dostatečně dlouhou časovou řadu, proto se konstruují modely hydrogramu povodně a na jejich základě se statisticky vyhodnocují charakteristiky povodňového režimu v toku. (Patera, 2002)

Přesnosti měření průtoků za povodní jsou sniženy z několika důvodů. Prvním důvodem je snížená „citlivost“ měrné křivky průtoků vodoměrného profilu v oblasti vysokých vodních stavů. Druhým důvodem je nesnadné ověřování měrné křivky přímým měřením za povodně, zejména za velké povodně s překročením průtoků o malé pravděpodobnosti. Složitý vztah mezi vodním stavem a průtokem za povodně v důsledku změny sklonu hladiny vody je třetím důvodem. Čtvrtým důvodem jsou nahodilé překážky nebo ledové zácpy a nápěchy v zimním období, které deformují měrnou křivku.

Vstupním podkladem pro statistické vyhodnocení pravděpodobnosti překročení určitého maximálního povodňového průtoků je řada ročních maximálních průtoků. Jejich hodnoty se seřadí sestupně a přiřadí se jim pravděpodobnost překročení dle vztahu:

$$p = \frac{m}{n + 1} * 100\%$$

kde

m je pořadí hodnoty podle velikosti,

n je celkový počet hodnot v souboru.

Pravděpodobnost překročení p tak udává pravděpodobnost, se kterou bude v kterémkoli roce překročen jistý maximální průtok bez ohledu na to, kolikrát k tomuto překročení v průběhu roku dojde. (Patera, 2002) Pravděpodobnost překročení p je s pravděpodobnou dobou překročení (opakování) N téhož maximálního průtoků v tomto vztahu:

$$p = 1 - \exp\left(-\frac{1}{N}\right)$$

Pravděpodobnou dobu překročení (opakování) N je tedy možné stanovit na základě vzorce:

$$N = -\frac{0,434229}{\log_{10}(1 - p)}$$

Statistické hodnocení objemů povodňových vln je složitější. Pokud se objemy nad hodnotou neškodného odtoku O_{ne} zachytí v nádrži, je zjištěné nepřekročení neškodného průtoků i bez ohledu na velikost kulminačního průtoků. Hodnotu celkového objemu povodňové vlny nad daným průtokem Q_x lze pro reálnou povodňovou událost vyhodnotit z jejího hydrogramu, kde tento objem odpovídá ploše mezi čarou přítoku $Q=f(t)$ a čarou odtoku $Q_x = \text{konst.}$ Za Q_x se přitom zpravidla účelně volí hodnota neškodného odtoku, tedy $Q_x = O_{ne}$.

2.4.4 Řešení ochranné funkce

Povodňové řízení odtoku operuje se třemi proměnnými – velikostí neškodného odtoku O_{ne} , velikostí ochranného objemu V_r a se zabezpečeností ochrany před povodněmi (pravděpodobnou dobou překročení neškodného odtoku). Zpravidla známe dvě proměnné a navrhujeme třetí z nich. Tou je při řešení ochranné funkce nádrže obvykle velikost zásobního prostoru V_r . V závislosti na zadání můžeme řešit následující tři typy úloh:

$$V_r = f(P) \text{ pro různá } O_{ne}$$

$$V_r = f(O_{ne}) \text{ pro různá } P$$

$$O_{ne} = f(P) \text{ pro různá } V_r$$

Návrh ochranné funkce je úlohou technicko-ekonomickou. Zpravidla není ekonomicky výhodné zajišťovat ochranu před povodněmi s velmi malou pravděpodobností překročení, jelikož celkový objem N -letých povodní při $N > 1000$ nebo $N > 10000$ může být veliký natolik, že je ekonomicky příliš náročné či dokonce technicky nemožné pro něj zajistit dostatečný prostor nádrže.

U povodní s pravděpodobností překročení větší než je návrhová míra zabezpečení ochranný prostor nádrže V_r pouze zmírní povodňové jevy. V případě, kdy povodňový objem je větší než volný objem v nádrži a nádrž se zaplní ještě před vrcholem přicházející povodňové vlny, nádrž nedokáže snížit kulminační průtok na toku pod hrází pod úroveň, které by dosáhl bez přítomnosti přehrady. Doba potřebná k zaplnění volného objemu nádrže však zpozdí nástup povodňových průtoků vyšších než neškodný odtok pod hrází a tím poskytne určitý čas navíc k opatřením v záplavovém území podél toku pod hrází. V případě, že se zásobní prostor naplní až po dosažení kulminačního průtoku, přehrada nejen dokáže oddálit nástup povodně pod hrází, ale zároveň sníží i maximální povodňový průtok pod hrází oproti situaci, která by nastala na toku bez nádrže. Můžeme tedy říci, že nádrž vždy zachytí část objemu povodňové vlny a zmírňuje tak rozvoj povodňových jevů na toku pod nádrží.

2.5 Povodňové řízení odtoku

Cílem povodňového řízení odtoku je snížení průtoků během povodní na hodnotu neškodného odtoku prostřednictvím jasně vymezeného ochranného prostoru. V našich hydrologických podmínkách s typicky rychlou reakcí průtoků v tocích na srážky v povodí je obtížné sladit funkci zásobní a ochrannou. (Votruba, 1980) Přes omezení daná krátkodobostí a nespolehlivostí srážkových předpovědí se snažíme možnosti protipovodňové ochrany nádrže posilovat povyprázdňením zásobního prostoru.

Speciálním a častým požadavkem na povodňové řízení odtoku je zachycení části objemu povodňové vlny na začátku povodně tak, aby se získal čas na provedení technických protipovodňových opatření a organizačních opatření ke zmírnění povodňových škod v chráněné oblasti pod přehradou. Oddálí se tak průchod maximálního průtoku povodně.

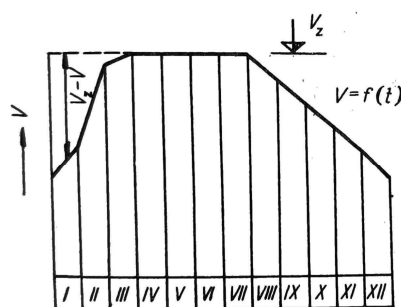
2.5.1 Využití ochranného účinku zásobního prostoru povyprázdňením

Volný objem vzniklý povyprázdňením zásobního prostoru může přispět k zachycení povodňové vlny nebo ji zachytit celou. K povyprázdňení zásobního prostoru může dojít při běžném plnění ostatních funkcí nádrže – například zajišťováním odběrů vody – nebo se provede upouštěním nádrže s cílem maximálně přispět k ochraně před povodněmi za respektování účelu zásobního prostoru.

Povyprázdňený zásobní prostor může povodňovou vlnu zachytit celou nebo částečně. V případě, že se povyprázdňený prostor zaplní až po dosažení maximálního povodňového průtoku na přítoku, povede se tak snížit maximální průtok pod přehradou. Pokud se povyprázdňený zásobní prostor zaplní ještě před dosažením kulminačního průtoku, maximální průtok pod přehradou se sice nesníží, ale povede se alespoň oddálit jeho nástup. K překročení neškodného odtoku nedojde pouze v případě, že se díky povyprázdňení zásobního prostoru podařilo povodňovou vlnu zachytit celou.

Plánované povyprázdňení je součástí pravidel pro povodňovou manipulaci, které jsou vstupními podklady pro vodohospodářské řešení a jsou součástí manipulačního řádu vodního díla. Přistupuje se k němu buď na základě dispečerského grafu nebo dle spolehlivé předpovědi průtoků.

Dispečerský graf slouží pro řízení manipulace v zásobním prostoru a na významu nabývá hlavně pro sezónní nádrže. Dispečerský graf udává nutné objemy v zásobním prostoru nádrže v závislosti na čase pro zajištění požadovaného odběru s návrhovou zabezpečeností. Sestrojení grafu je možné na základě vodohospodářského řešení a platných povolení k odběru. Prostřednictvím grafu lze zjistit, kolik vody ze zásobního prostoru V_z mohou před příchodem povodně vypustit a zvětšit tak ochranný účinek transformace povodňové vlny. Jedná se o rozdíl V_z a V jak zobrazuje Obrázek 2. Snížení objemu vody v nádrži pod úroveň přípustnou podle dispečerského grafu by znamenalo příliš velké riziko, že by se nádrž nemusela dostatečně naplnit a mohlo by dojít k poruše v dodávce vody.



Obrázek 2 - Dispečerský graf při ročním řízení odtoku a jeho využití pro povodňové řízení odtoku (Votruba, 1980)

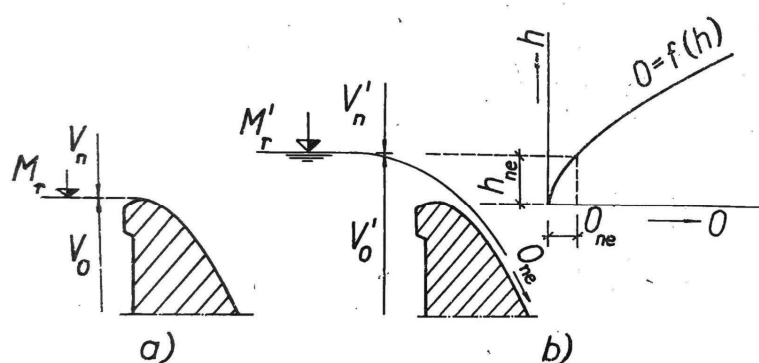
Povyprázdňení zásobního prostoru na základě předpovědi průtoků umožňuje zvětšit zásobní prostor bezprostředně před přítokem povodně. Celkový přínos je závislý na přesnosti a zejména doby předstihu předpovědi přítoku do nádrže, resp. odtoku z povodí. Povyprázdňení zásobního prostoru může ohrozit zabezpečenost zásobní funkce a je možné pouze pokud je zajištěna spolehlivá předpovědní hydrologická služba. (Patera, 2002) Předpověď může obsahovat také další očekávanou tendenci vývoje povodňové situace. Míra vyprázdňení zásobního prostoru nádrže je ovlivněna předstihem předpovědi, velikostí neškodného odtoku O_{ne} a strmostí povodňové vlny. Snaha o maximální dobu předstihu relevantní předpovědi je vhodná, protože je možné předvypouštět i v době, kdy přítok do nádrže ještě nevzrostl. Pro krátkodobou předpověď je možné využít prognózu průtoků na základě údajů z vodoměrných stanic v povodí výše nad nádrží. Dlouhodobější ale méně spolehlivou předpovědí je předpověď průtoku na základě zaznamenaných a/nebo předpovězených srážek v povodí a znalosti srážko-odtokových vztahů, která počítá kromě

postupové doby i s časem potřebným k doběhu částic vody z povodí do toku. (Votruba, 1980)

2.5.2 Využití neovladatelného prostoru nádrže

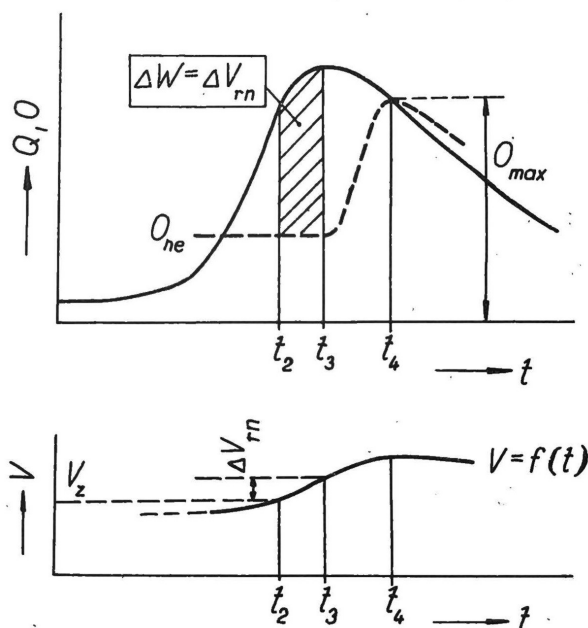
Uspořádání přelivných zařízení nádrže a podmínky pro převedení tzv. návrhové a kontrolní povodně, které zajišťují bezpečnost přehrady proti přelití, definují možnost využití neovladatelného prostoru nádrže. Ten se vyskytuje i v nádrži s hrazeným přelivem

Při přepadové výšce h_{ne} , při které přepadá odtok O menší než neškodný odtok O_{ne} , lze využít části neovladatelného prostoru pro ochranu před povodněmi. Měrná křivka průtoku přelivu je zakreslena na Obrázek 3 - Rozdíl mezi ovladatelným a neovladatelným prostorem včetně měrné křivky průtoku přelivu). Nepřekročení O_{ne} lze při využití neovladatelného prostoru nádrže zajistit snižováním odtoku spodními výpustmi, které regulaci umožňují.



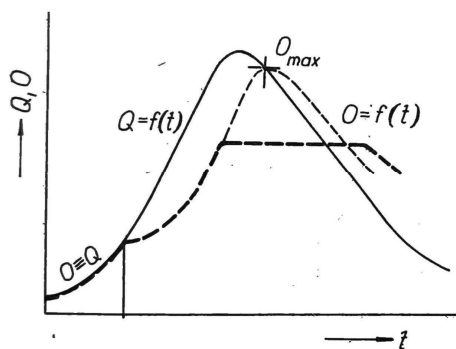
Obrázek 3 - Rozdíl mezi ovladatelným a neovladatelným prostorem včetně měrné křivky průtoku přelivu

Při vodohospodářském řešení se stanovuje počet povodní za období pozorování, které se zachytí díky využití části neovladatelného prostoru ΔV_m umožňující dodržení neškodného průtoku – jak ukazuje Obrázek 4, a posuzuje se účinek zbývající části neovladatelného prostoru na povodně, které se zcela nezachytily. (Votruba, 1980)

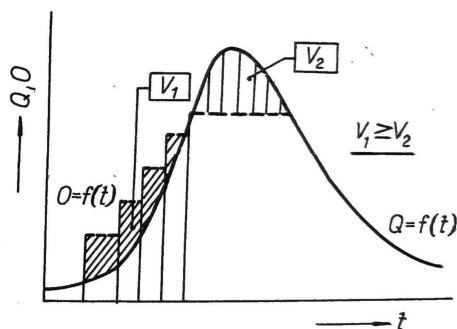


Obrázek 4 - Účinek neovladatelného prostoru nádrže na časový průběh povodně (Votruba, 1980)

Využití neovladatelného prostoru k omezení kulminačního průtoku pod přehradou lze ještě zvýšit v případě, že je k dispozici spolehlivá předpověď očekávaných průtoků nad přehradou. Jednodušším opatřením je postupné uzavírání spodních výpustí s vhodným načasováním vzhledem k době očekávané kulminace odtoku z nádrže. Průběh přítoku Q a odtoku O při aplikaci tohoto opatření zobrazuje Obrázek 5. Ještě výrazněji lze předpovědi využít u nádrže s hrazeným přelivem, kde lze přes hrazení přelivu operativně upouštět vodu z neovladatelného prostoru nádrže tak, aby se do takto povyprázdněného zásobního prostoru nakonec podařilo zachytit celou „špičku“ povodňové vlny a kulminační průtok tak výrazně snížit – jak vykresluje Obrázek 6. (Votruba, 1980)



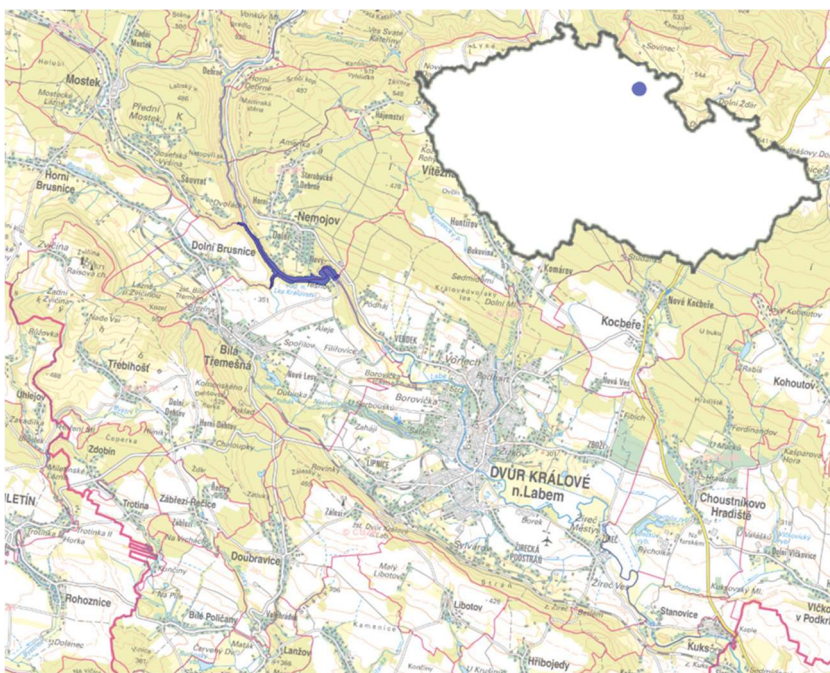
Obrázek 5 - Možnost snížení maximálního odtoku plynulým uzavíráním spodních výpustí (řešení s nehrazeným přelivem) (Votruba, 1980)



Obrázek 6 - Využití předvypouštění podle předpovědi (při hrazeném přelivu) pro zachycení povodňové špičky (Votruba, 1980)

3 Vodní dílo Les Království

Vodní dílo Les Království je 28. přehradou vybudovanou na území ČSSR. (Votruba, 1980) Nachází se na řece Labi u obce Bílá Třemešná v Královéhradeckém kraji. Polohu zobrazuje Obrázek 7. Akumulovaná voda v nádrži zaplavuje úzké kaňonovité údolí a zachycuje přítok z podhůří Krkonoš z řeky Labe a jejích přítoků (např. Malé Labe, Čistá a další) na ř. km 316,84. Přehrada je tízná zděná, vystavěná do oblouku, jak zobrazuje Obrázek 8, a její devítiletá výstavba skončila v roce 1919. V době výstavby objem nádrže činil 9,159 mil. m³ (Broža, 2005), dnes je celkový objem 7,2605 mil. m³. Výška hráze činí 32,7 m a na délku měří 218 m. Jedná se o vodní dílo II. kategorie.



Obrázek 7 - Poloha nádrže Les Království (zdroj: autorka práce)



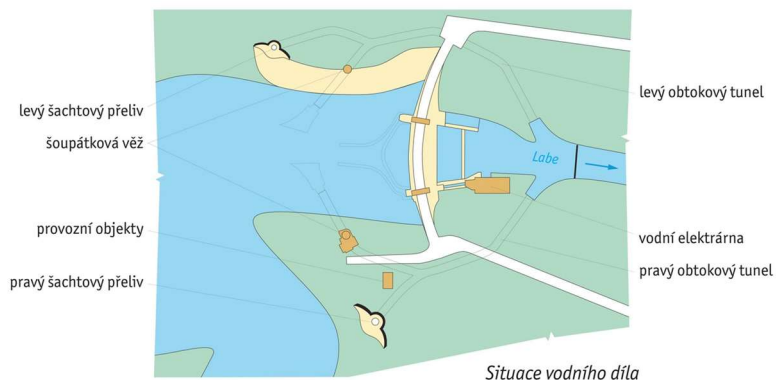
Obrázek 8 - Pohled na vzdušnou stranu hráze z pravého břehu (zdroj: autorka práce)

Hlavním účelem tohoto vodního díla je chránit území pod přehradou před účinky povodní. Dalšími účely jsou zajištění minimálního zůstatkového průtoku v Labi pod vodním dílem a využití odtoků z nádrže k výrobě elektrické energie v průběžné vodní elektrárně. (Povodí Labe, 2021)

Les Království je majetkem České republiky a právo hospodařit s ním přísluší státnímu podniku Povodí Labe, který je také správcem vodního toku Labe v dotčeném úseku. K přehradě Les Království náleží domek hrázného se šoupátkovou věží lokalizovaný na pravém břehu nádrže – viz Obrázek 9. Vodní dílo Les Království disponuje pěti spodními výpustěmi – jednou hrázovou spodní výpustí, jednou v pravém obtokovém tunelu / obtokové štole a třemi výpustmi v obtokovém tunelu levém. Obtokové tunely, resp. štole, jsou zakresleny v situaci vodního díla na Obrázek 10. Přehrada Les Království je dále vybavena třemi bezpečnostními přelivy – korunovým přelivem o pěti polích umístěným uprostřed hráze a dvěma šachtovými přelivy umístěnými na obou stranách údolí a ústícími do obtokových tunelů.



Obrázek 9 - Pohled na domek hrázného se šoupátkovou věží z pravého břehu od tělesa hráze (zdroj: autorka práce)



Obrázek 10 - Situace VD Les Království (zdroj: Povodí Labe)

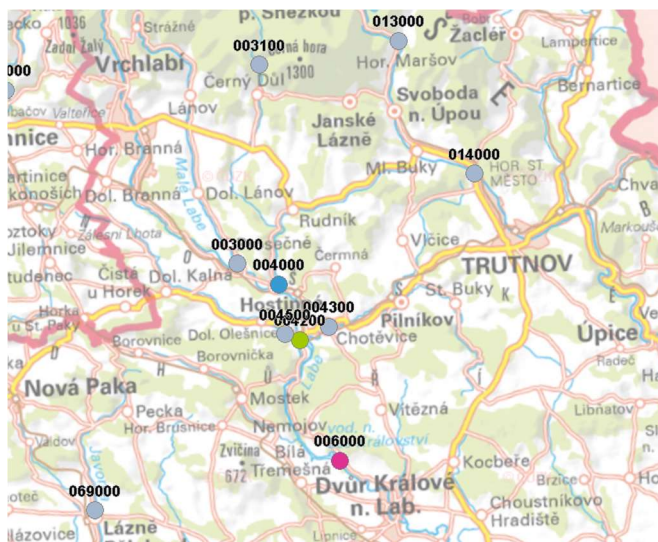
Při pravém břehu pod hrází přehrady je umístěna vodní elektrárna, kterou ukazuje Obrázek 11, ke které je voda přiváděna betonovým vtokovým objektem s rychlouzávěrem a navazujícím odběrným potrubím, které se rozděluje ve dvě potrubí přivádějící vodu na dvě horizontální Francisovy turbíny. Voda z turbín odtéká přes společný vývar do koryta pod hrází. Před uzavěry před turbínami je instalováno potrubí pro převedení minimálního zůstatkového průtoku (MZP) při výpadku vodní elektrárny. Elektrárna byla zrekonstruována v roce 2006 a v rámci rekonstrukce došlo k výměně turbín, uzavěrů před nimi a dalšího příslušenství.



Obrázek 11 - Pohled z pravého břehu na vodní elektrárnu pod VD Les Království, v pozadí vyústění levého obtokového tunelu (zdroj: autorka práce)

Pod tělesem hráze se dále nachází vyrovnávací dolní pevný jez ve vzdálenosti přibližně 100 m od prahu vývaru korunového přelivu pod vlastní hrází vodního díla.

Sledování přítoku do nádrže je zajištěno dvěma vodoměrnými stanicemi na Labi – první stanicí Povodí Labe v Hostinném – vykreslena modře na mapě na Obrázek 12 – a druhou stanicí ČHMÚ ve Vestřevi – vykreslena zeleně. Sledování odtoku z nádrže je zajištěno vodoměrnou stanicí ČHMÚ na Labi pod vodním dílem Les Království – reprezentována v mapě růžovou barvou. Všechny stanice přenášejí údaje do monitorovacího systému VHD PL. Hladina vody v nádrži je sledována limnigrafem umístěným v šachtě pravé obtokové štoly. (Povodí Labe, 2021)



Obrázek 12 - Mapa s vyznačením vodoměrných stanic (zdroj: isvs.chmi.cz)

3.1.1 Hydrologické údaje profilu hráze přehrady Les Království

Hydrologické číslo povodí	1 – 01 – 01 – 0670 – 1 – 00
Plocha povodí	530,77 km ²
Průměrná dlouhodobá roční výška srážek	956 mm
Průměrný dlouhodobý roční průtok	8,89 m ³ .s ⁻¹
Všechny uváděné údaje jsou ve smyslu ČSN 75 14 00	Třída II.

Tabulka 1 - m-denní průtoky (Povodí Labe, 2021)

m	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
Q _m [m ³ .s ⁻¹]	20,8	13,9	10,4	8,19	6,58	5,51	4,73	4,15	3,60	3,11	2,57	1,94	1,31

Tabulka 2 - N-leté průtoky (Povodí Labe, 2021)

N	1	2	5	10	20	50	100
Q _N [m ³ .s ⁻¹]	69,4	101	150	191	236	301	355

3.2 Manipulační prostory nádrže

Prostor stálého nadržení

kóta hladiny	307,60 m n. m.
objem	0,2117 mil. m ³
zatopená plocha	86,71 tis. m ²

Zásobní prostor nádrže

v zimním období (prosinec – březen)

kóta hladiny	314,60 m n. m.
objem	1,0931 mil. m ³
zatopená plocha	299,80 tis. m ²

při zámrazu hladiny	
kóta hladiny maximálně	314,30 m n. m.
objem	1,0049 mil. m ³
zatopená plocha	288,00 tis. m ²

v letním období (květen – říjen)

kóta hladiny	315,60 m n. m.
objem	1,4218 mil. m ³
zatopená plocha	367,93 tis. m ²

Ovladatelný ochranný prostor nádrže

kóta hladiny	323,40 m n. m.
objem v zimním období (prosinec – březen)	4,7776 mil. m ³
při zámrazu hladiny	4,8658 mil. m ³

objem v letním období (květen – říjen)	4,4489 mil. m ³
zatopená plocha	772,06 tis. m ²

Celkový ovladatelný objem nádrže 6,0824 mil. m³

Neovladatelný ochranný prostor nádrže

kóta hladiny	324,85 m n. m.
objem	1,1781 mil. m ³
zatopená plocha	849,79 tis. m ²

Celkový objem nádrže 7,2605 mil. m³

3.3 Popis funkčních objektů přehrady Les Království

3.3.1 Spodní výpusti

3.3.1.1 Hrázová spodní výpust

Hrázová spodní výpust se nachází na levé straně přímo v tělese hráze vodního díla a je tvořena ocelovým potrubím DN 2000 mm. Před výtokem je potrubí redukováno na čtvercový profil o straně 1700 mm. Kóta osy vtoku se nachází na 297,50 m n. m. Vtok do výpusti je chráněn ocelovou česlovou stěnou a vtokový objekt je opatřen drážkami pro osazení provizorního hrazení. Návodním uzávěrem je ocelová tabule, provozní uzávěr tvoří ocelový segment.

3.3.1.2 Spodní výpusti v obtokových tunelech

Obtokové tunely delší než 250 m již během stavby sloužily k odvádění vody mimo řeku a stavební jámu. Levý obtokový tunel je částečně zděný a částečně ražený. Pod šoupátkovou věží na levém břehu – zakreslenou na Obrázek 10 – se nachází betonová

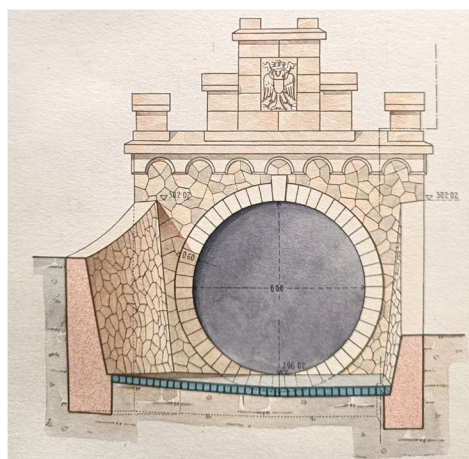
uzávěra se třemi ocelovými potrubími DN 1100 mm redukovánými na DN 1000 mm opatřenými šoupátky ovládanými z vertikální šachty seshora z levé šoupátkové věže – zachycena na Obrázek 13. Šoupátky nelze regulovat průtok, neboť jsou možné pouze polohy otevřeno – zavřeno. Každá trouba je pak opatřena dalším párem šoupátek – jedním manipulačním a druhým rezervním. Osy dvou krajních výpustí jsou na kótě 299,94 m n. m. a osa střední výpusti na kótě 298,69 m n. m.



Obrázek 13 - Pohled z dronu na levou šoupátkovou věž po rekonstrukci v roce 2019
(zdroj: Ladislav Válek, přehrada-les-kralovstvi.cz)

Podobně byl konstruován pravý obtokový tunel, který je ale celý zděný. Tento tunel prošel od výstavby dvěma rekonstrukcemi a nyní se zde nachází betonový blok (zátka) s ocelovým potrubím DN 1800 mm. Tato výpust je osazena šoupátkem jako revizním uzávěrem, klapkou jako návodním provozním uzávěrem a na výtoku regulačním taženým segmentovým uzávěrem. Provozní uzávěry jsou ovladatelné do průtoku, revizní klapkový uzávěr lze ovládat pouze při vyrovnaném tlaku před a za uzávěrem. Uzávěry jsou ovládány z domku hrázného vertikálně nad nimi. Kóta osy výpusti se nachází na 298,90 m n. m.

Vlastní vtoky do obtokových tunelů jsou chráněny česlovou stěnou. Vzhled a dispozici čelních zdí obtokových tunelů zachycuje na výkresu z projektové dokumentace pro výstavbu Obrázek 14. Do výtokových částí obtokových tunelů na obou stranách nádrže se napojují tunely od šachtových bezpečnostních přelivů.



Obrázek 14 - Pohled na čelní zeď levého obtokového tunelu z projektové dokumentace
(zdroj: Povodí Labe)

3.3.2 Bezpečnostní přelivy

3.3.2.1 Korunový přeliv

Uprostřed hráze vodního díla je umístěn korunový nehrazený bezpečnostní přeliv o pěti polích se světlou délkou jednoho pole 10,94 m. Celková světlá délka přelivu činí 54,70 m. Kóta koruny přelivu je na úrovni 324,00 m n. m. Přelivná plocha je ukloněna 1 : 0,79 a v dolním úseku přechází kruhovým obloukem o poloměru 10 m ve vývar.

3.3.2.2 Šachtové přelivy

Levý šachtový přeliv se nachází na levém břehu zhruba 80 m od hráze a pravý přeliv 150 m nad hrázi na pravém břehu nádrže. Oba přelivné objekty jsou konstruovány s půlkruhovou přelivnou hranou, která plynule navazuje na svislou kruhovou odpadní stolu, které jsou dále zaústěny do obtokových tunelů. Oba přelivy mají shodně přelivnou hranu na kótě 323,60 m n. m., tedy o 0,6 m níže než je přelivná hrana korunového přelivu. Vtoky do šachet na obou stranách nádrže jsou chráněny ocelovými brleními o výšce 2,2 m opřeny o ocelové lávky, jak je vidět na Obrázek 15.

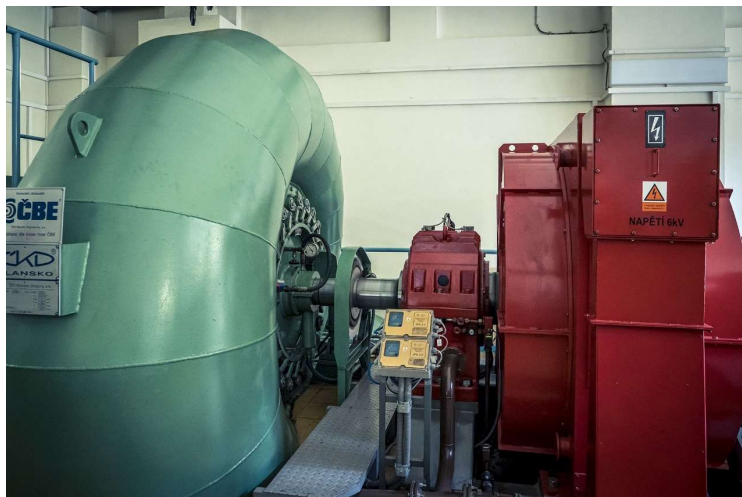


Obrázek 15 - Pohled ze šoupátkové věže na pravém břehu na pravý šachtový přeliv (zdroj: autorka práce)

3.3.3 Vodní elektrárna

Při pravém břehu pod tělesem hráze vodního díla se nachází objekt vodní elektrárny. Na návodní straně hráze vpravo se nachází vtokový objekt s deskovým rychlouzávěrem, na který plynule navazuje odběrné ocelové potrubí DN 2600 mm. Potrubí je na vtoku opatřeno česlovou stěnou s čistícím poloautomatem poháněným dvěma elektromotory. Odběrné potrubí se po necelých 50 m rozděluje na dvě přívodní potrubí DN 1700 mm, která přivádí vodu na dvě turbíny. Potrubí jsou před turbínami opatřena uzávěry – jedná se o ocelové otočné klapky. Před klapkami je instalováno potrubí DN 500 mm o kapacitě $1,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pro převedení minimálního zůstatkového průtoku (MZP) při výpadku vodní elektrárny. Kóta vtoku na VE je na úrovni 298,60 m n. m.

Dvě horizontální spirálové Francisovy turbíny – na Obrázek 16 - mají instalovaný výkon každá 1,105 MW a jejich maximální hltnost je $6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Kóta minimální provozní hladiny je 307,60 m n. m. Z turbín voda odtéká do společného vývaru o rozměrech 6 x 30 m.



Obrázek 16 - Francisova turbína a generátor ve vodní elektrárně Les Království
(zdroj: Ladislav Válek, přehrada-les-kralovstvi.cz)

3.4 Rekonstrukce VD Les Království

V letech 1952 – 1959 proběhla po několika dřívějších stavebních úpravách generální rekonstrukce. Hlavní etapy spočívaly v rekonstrukci základové výpusti v hrázi, ve výstavbě nového vývaru pod ní včetně opěrných zdí a zaslepení tří původních výpustných potrubí DN 1100 mm v pravém obtokovém kanálu. V rámci úprav došlo také k výstavbě dvou betonových přístaveb. Přístavby jsou zřejmé při pohledu na Obrázek 17 – napravo nátok na vodní elektrárnu a vlevo nátok do spodní výpusti v tělese hráze. (Válek, 2017)



Obrázek 17 - Pohled ze šoupátkové věže na hráz přehrady a betonové přístavby (zdroj: autorka práce)

Během let 2005 – 2007 došlo na vodním díle Les Království k několika dalším rekonstrukcím. První změnou byla výměna Francisových turbín a dalšího příslušenství vodní elektrárny včetně generátorů a uzávěrů. V objektu elektrárny bylo také instalováno potrubí pro převod MZP. (Povodí Labe, 2021)

Došlo také k obnově spodní výpusti v pravém obtokovém tunelu, kde byla zaslepená potrubí původní spodní výpusti nahrazena jednou výpustí DN 1800. Dále byl instalován revizní šoupátkový uzávěr, návodní provozní klapkový uzávěr a regulační segmentový

uzávěr. Po průtokové zkoušce na konci roku 2006 bylo užívání rekonstruované spodní výpusti v pravém obtokovém tunelu povoleno.

V průběhu let 2018 a 2019 proběhla oprava a renovace budov a objektů, které tvoří komplex národní kulturní památky. Rekonstrukce se týkala hlavně domu hrázného se šoupátkovou věží – na Obrázek 18, přilehlých stavení, levé šoupátkové věže a obou průjezdových bran na hrázi, jak dokládá Obrázek 19.



Obrázek 18 - Pohled z dronu na zrekonstruovaný domek hrázného v létě 2019
(zdroj: Ladislav Válek, přehrada-les-kralovstvi.cz)



Obrázek 19 - Pohled z dronu na těleso hráze a průjezdovou bránu na koruně hráze při rekonstrukci
(zdroj: Ladislav Válek, přehrada-les-kralovstvi.cz)

3.5 Kvantifikace ochranné funkce VD Les Království

Podkrkonoší bylo vždy sužováno povodněmi. Hlavním impulsem k výstavbě vodního díla Les Království a snaze celkově regulovat horní tok řeky Labe se stala ničivá povodeň v roce 1897 a před ní ještě ničivější povodeň z roku 1872. Společně s přehradou Labská byl Les Království postaven s hlavní funkcí ochrannou, která je kvantifikována níže.

Stanovení účinnosti ochrany přilehlého území před povodněmi může být provedeno pomocí celé řady matematických modelů a statistických výpočtů:

- Pro hydraulické, hydrologické a statistické výpočty, včetně stanovení pravděpodobnosti výskytu povodní, lze využít například programů MS Excel, MATLAB či R.
- Pro matematické modelování a simulace proudění jsou k dispozici programy HEC-RAS, MIKE21, ANSYS Fluent, OpenFOAM nebo FLOW-3D.
- Hydrologický srážko-odtokový model (S-O model) je možné vytvořit pomocí softwarového modelu HEC-HMS, alternativně pomocí WATFLOOD.

Tyto výpočty či jejich dílčí výsledky a postupy jsou součástí vodohospodářského řešení vodní nádrže a část výsledků je uvedena v Manipulačním řádu vodního díla.

Podklady pro tyto výpočty a vodohospodářské řešení jsou:

- Údaje o povodí
- Charakteristika nádrže – čáry zatopených ploch a objemů, popř. geometrie území pod přehradou
- Standardní hydrologické údaje od ČHMÚ
- Dlouhodobé průtokové řady v relevantních profilech
- Hydrogramy návrhových povodňových vln, jak reálných, tak teoretických (TPV)

Ochranný prostor nádrže, který zajišťuje plnění ochranné funkce, je rozdělen na ovladatelný a neovladatelný. Ovladatelný ochranný prostor je vymezen na vodním díle Les Království horní kótou hladiny 323,40 m n. m. Spodní kótou je v zimním období 314,60 m n. m., při zámru hladiny 314,30 m n. m. V letním období od května do října je spodní kótou hladiny 315,60 m n. m. V zimním období tak ovladatelný ochranný prostor pojme 4,7776 mil. m³ (při zámru hladiny 4,8658 mil. m³), v letním období 4,4489 mil. m³.

Neovladatelný ochranný prostor je vymezen přelivnou hranou bezpečnostních šachtových přelivů na kótě 323,40 m n. m. a maximální hladinou na kótě 324,85 m n. m. Při dosažení kóty 324,00 m n. m. se voda začne dále nekontrolovatelně přelévat přes bezpečnostní korunový přeliv.

Vodoprávně projednaný neškodný průtok pod vodním dílem Les Království je 100 m³.s⁻¹. Minimální zůstatkový průtok (MZP) je 1,9 m³.s⁻¹. Směrodatným profilem pro stanovení odtoku z VD je vodoměrná stanice síť ČHMÚ Les Království. (Povodí Labe, 2021)

3.5.1 Manipulace na VD Les Království za povodní

Pro odtok vody z nádrže se primárně využívá kapacity vodní elektrárny. V případě vypouštění vody až do velikosti neškodného odtoku se dále využívá kapacity spodních výpustí.

Na základě informací hydrometeorologické předpovědní služby ČHMÚ je možné před očekávaným příchodem velké vody zvýšit ochranný účinek nádrže jejím předvypuštěním o velikosti průtoku do 50 m³.s⁻¹ až po kótu 312,00 m n. m. (Povodí Labe, 2021) Toto rozhodnutí činí vodohospodářský dispečink (VHD) státního podniku Povodí Labe se sídlem v Hradci Králové.

Při dosažení 1. stupně povodňové aktivity (SPA) na limnigrafu Vestřev – zeleně zakreslen na Obrázek 12 – a nadále se zvyšujícím průtokem, je odtok z nádrže přizpůsoben

situaci a může dosahovat velikosti neškodného odtoku. Při dosažení 2. SPA VHD průběžně vyhodnocuje možné zvýšení odtoku na hodnotu mezního odtoku $130 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ dle vyhodnocení průběhu povodňové vlny z hydrologického modelu HYDROG pro VD Labská a VD Les Království. (Povodí Labe, 2021) Při rozhodnutí o zvýšení odtoku na mezní odtok je ovšem VHD povinen oznámit tuto skutečnost s tříhodinovým předstihem povodňovým komisím ORP Dvůr Králové a Jaroměř.

Při dosažení přelivné hrany šachtových přelivů se začnou uzavírat spodní výpusti, odstaví se vodní elektrárna a se znalostí měrných křivek šachtových přelivů se udržuje odtok z nádrže na velikosti neškodného průtoku či průtoku mezního. Po dosažení kóty hladiny 324,25 m n. m. jsou všechny spodní výpusti uzavřeny a odtok je zprostředkován pouze bezpečnostními přelivy a v nádrži tak dochází pouze k přirozené transformaci povodně akumulací vody v ochranném prostoru. (Povodí Labe, 2021)

Při dále stoupající hladině a dosažení kóty maximální hladiny se otevírají spodní výpusti, tak aby nebyla tato hladina překročena. Odtok z nádrže v tuto chvíli nesmí být větší než přítok do nádrže. Spodní výpusti zůstávají otevřené až do doby opětovného poklesu hladiny pod tuto kótu.

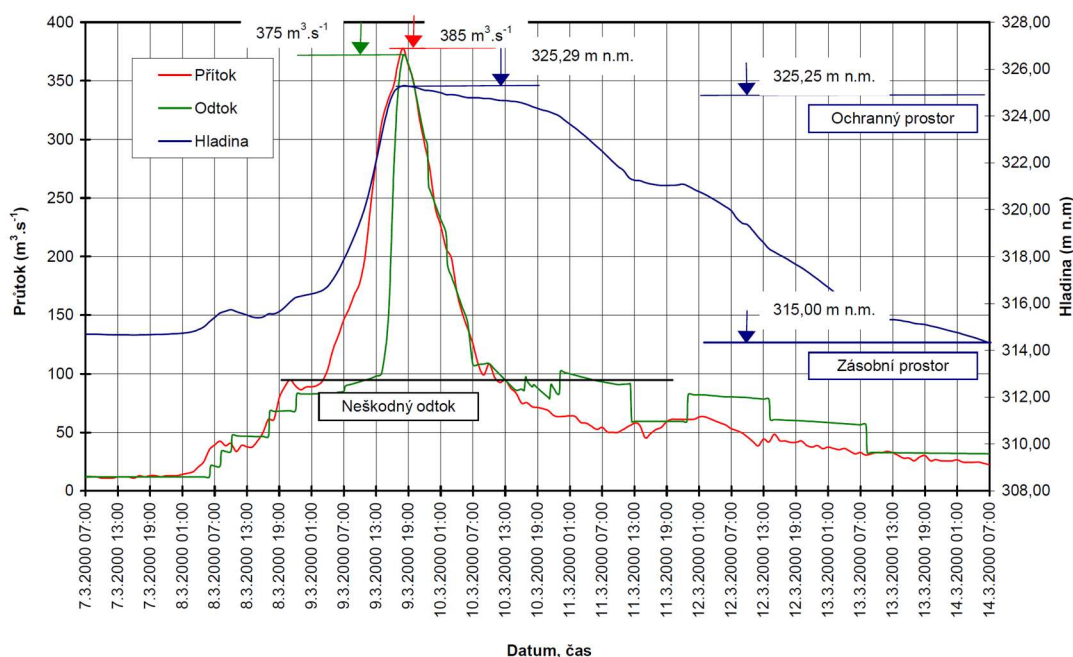
Po dosažení kulminačního průtoku a následném klesání přítoku do nádrže se stále udržuje odtok neškodný či mezní. Velikost odtoku se udržuje klesajícím průtokem přes bezpečnostní přelivy a postupným otevíráním spodních výpustí, ale s přednostním využití kapacity vodní elektrárny. Odtok z nádrže lze snižovat pro odlehčení povodí pod přehradou na základě předpokládaného dalšího vývoje hydrologické situace. Po vyprázdnění ovladatelného ochranného prostoru se dále manipuluje dle manipulačního řádu a pravidel uvedených v části „Manipulace v zásobním prostoru“. (Povodí Labe, 2021)

3.5.2 Vyhodnocení účinku VD Les Království na historické povodně

3.5.2.1 Povodeň březen 2000

Při povodni v březnu roku 2000 kulminoval přítok do nádrže na $385 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a jednalo se tak o největší povodeň na tomto VD od jeho výstavby. Tato povodeň byla vyhodnocena jako povodeň s dobou opakování 100 až 200 let. Objem povodňové vlny byl téměř dvakrát větší než je celkový objem zcela prázdné nádrže a tak není možné očekávat, že by se VD Les Království podařilo výraznou měrou snížit povodňový průtok. Nádrž byla předvypouštěna a v nádrži se podařilo zachytit téměř 8 mil. m^3 vody. Celkový objem povodňové vlny to snížilo o necelých 20 % a odtok byl snížen o 10 %. Manipulacemi ovšem bylo oddáleno překročení neškodného průtoku v Labi pod nádrží o sedm hodin a bylo tak možné informovat předem všechny dotčené povodňové komise, které tím získaly čas k zajištění nejnaléhavějších zabezpečovacích prací. (Povodí Labe, 2000) Průběh této povodně je vykreslen na Graf 1.

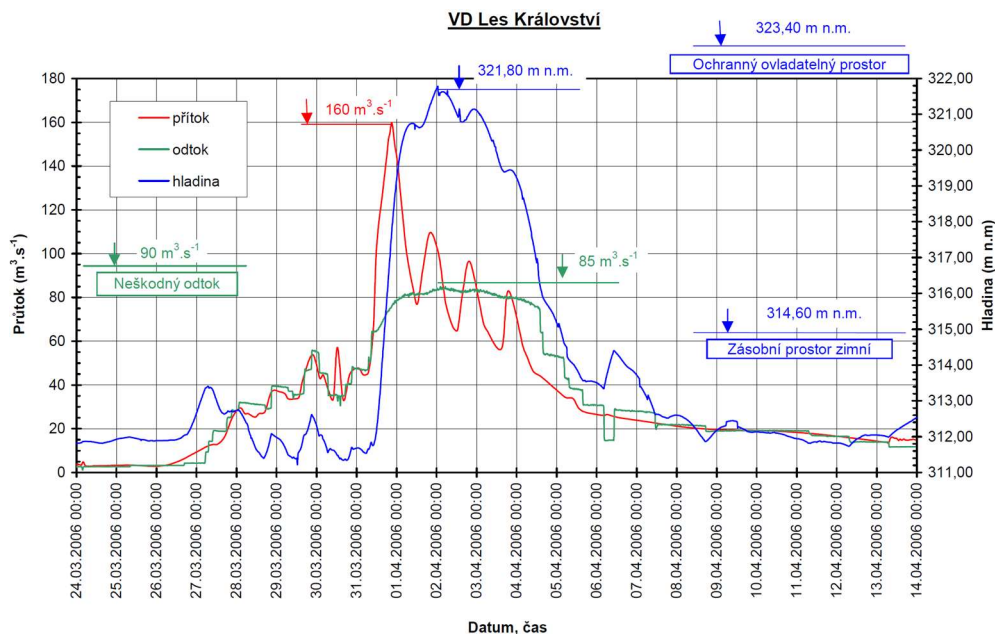
Graf 1 - Průběh povodně na VD Les Království při povodni v březnu 2000 (zdroj: Povodí Labe)



3.5.2.2 Povodeň březen 2006

Předvypouštění nádrže probíhalo také před povodní v březnu 2006. Předvypouštěním se podařilo snížit hladinu v nádrži téměř o 3 m. Zásobní prostor byl tak zaplněn pouze na 52 % a podílel se na ochraně před povodněmi. Při této povodňové události přítok kulminoval v rozmezí $Q_5 - Q_{10}$ na velikosti $160 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. VHD udržel odtok pod velikostí neškodného odtoku, konkrétně na hodnotě $85 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Ochranný prostor se zaplnil do úrovně hladiny 321,80 m n. m., tedy ze 74 %. (Povodí Labe, 2006) Celý průběh povodně vykresluje Graf 2.

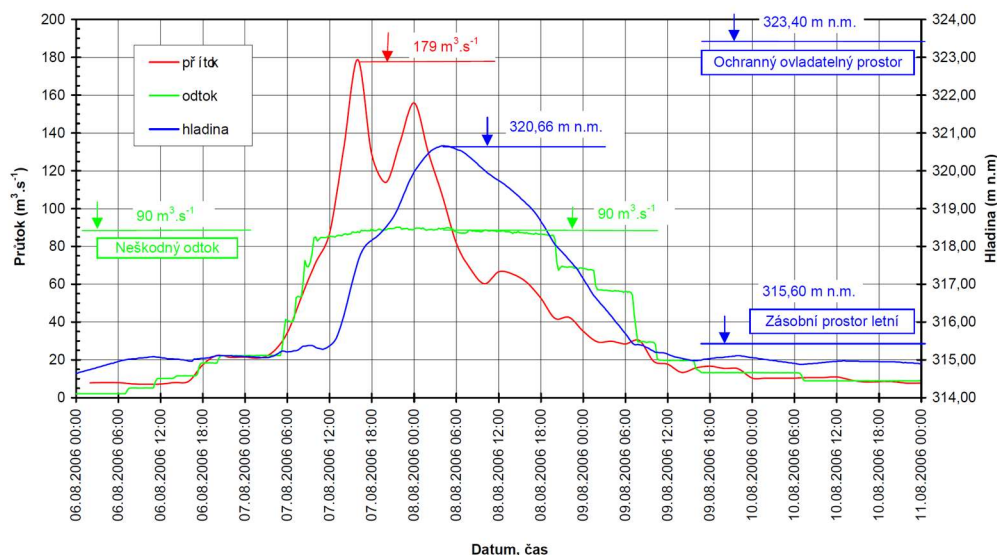
Graf 2 - Průběh povodně na VD Les Království při povodni v březnu 2006 (zdroj: Povodí Labe)



3.5.2.3 Povodeň srpen 2006

Při povodňové situaci v srpnu 2006 po intenzivních srážkách v Krkonoších kulminoval přítok v rozmezí $Q_5 - Q_{10}$ na velikosti $179 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Maximální hladina vystoupala na kótu 320,66 m n. m. V ochranném prostoru bylo zachyceno 2,6 mil m^3 vody, takže byl zaplněn na 58 %. (Povodí Labe, 2006) Odtok z vodního díla nepřesáhl velikost neškodného odtoku a činil $90 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Průběh povodně je vykreslen na Graf 3.

Graf 3 - Průběh povodně na VD Les Království při povodni v srpnu 2006 (zdroj: Povodí Labe)



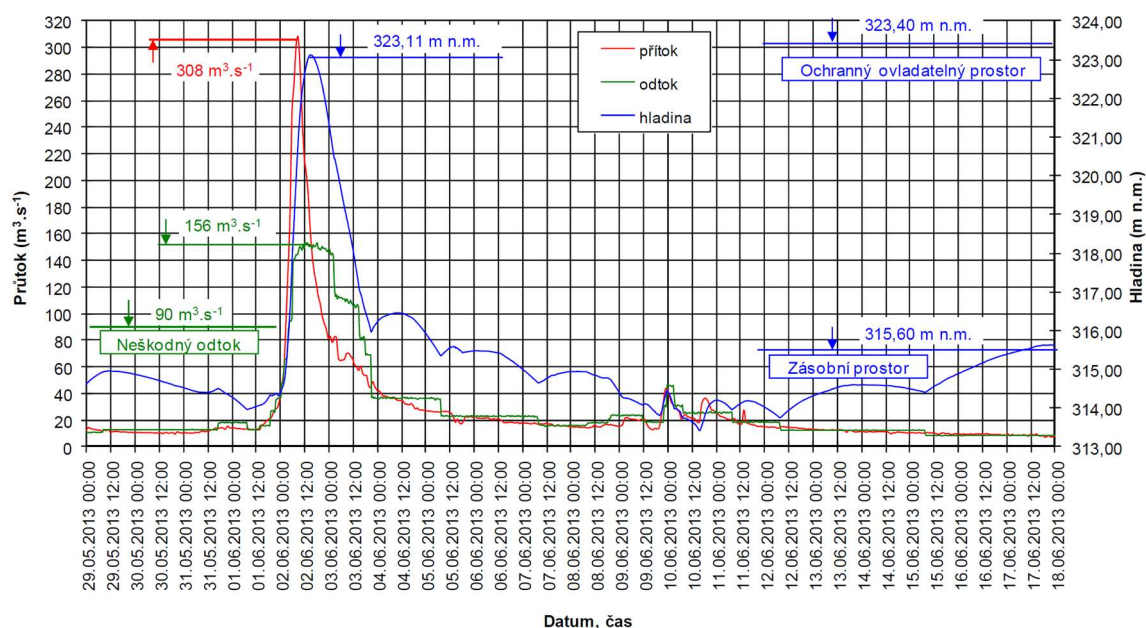
Tato povodňová situace byla vybrána státním podnikem Povodí Labe jako vhodná pro didaktický model přehrady Les Království ke znázornění účelu přehrady návštěvníkům expozice v domku hrázného na vodním díle.

3.5.2.4 Povodeň červen 2013

Před příchodem povodně v červnu 2013 byla nádrž povyprázdněna vypuštěním 0,5 mil m^3 na úroveň 1,6 m pod úroveň letního zásobního prostoru, který tak byl naplněn na 64 %. Kulminační přítok do nádrže činil $308 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, což odpovídá Q_{50} . Před jeho dosažením Krajská povodňová komise Královéhradeckého kraje na žádost Povodí Labe odsouhlasila mimořádnou manipulaci spočívající v navýšení odtoku z nádrže na hodnotu $150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a rozhodla také o omezení odtoku z přehrady Labská, kde již přítok byl po kulminaci. (Povodí Labe, 2014)

Bylo dosaženo maximální hladiny v nádrži na kótě 323,11 m n. m. a ochranný prostor se naplnil z 95 %. Celkově bylo v nádrži zachyceno 4,73 mil. m^3 . Maximální odtok z přehrady dosáhl $156 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, tedy $Q_5 - Q_{10}$. Průběh celé povodně na vodním díle Les Království je zachycen na Graf 4.

Graf 4 - Průběh povodně na VD Les Království při povodni v červnu 2013 (zdroj: Povodí Labe)



3.5.3 Srovnání účinků Les Království na historické povodňové události a výstupy z vodohospodářského řešení

Na čtyřech historických povodňových situacích, které srovnává Tabulka 3, lze ilustrovat míru ochrany v konkrétních situacích. Na základě jejich vyhodnocení lze konstatovat následující:

1. Při přítoku do nádrže v hodnotě do Q10 lze povodeň plně ztransformovat na hodnotu neškodného odtoku z nádrže.
2. Při přítoku v hodnotách vyšších je transformace pouze částečná.
3. Povyprázdnění zásobního prostoru je vhodným a účinným opatřením pro zvýšení ochranného účinku nádrže.

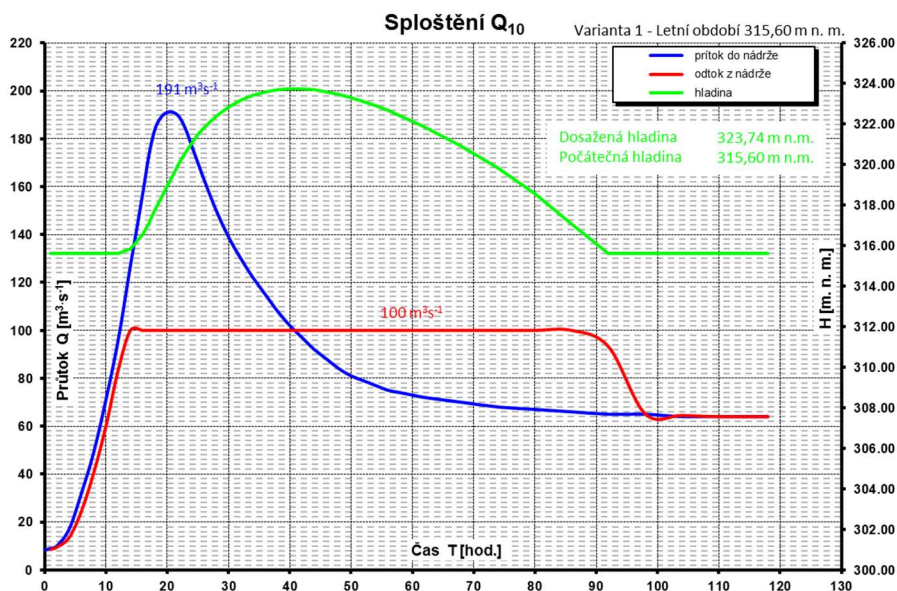
Tabulka 3 - Srovnání povodňových událostí a účinku vodního díla na ně

	03/2000	03/2006	08/2006	03/2013
Kulminační přítok [m³.s⁻¹]	385	160	179	308
N-letost přítoku	100 - 200	5 - 10	5 - 10	50
Odtok [m³.s⁻¹]	375	85	90	156
N-letost odtoku	100 - 200	1 - 2	1 - 2	5 - 10
Překročení O_{ne}	ano	ne	ne	ano
Dosažená max. hladina [m n. m.]	325.29	321.8	320.66	323.11
% využití ochranného prostoru	100	74	58	95

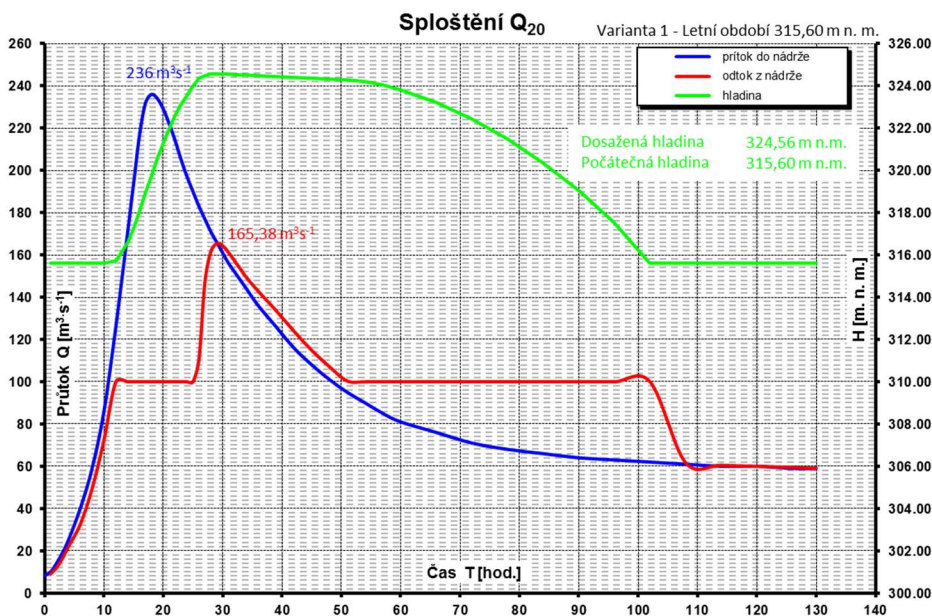
Z výsledků vodohospodářského řešení vodního díla Les Království z roku 2016 vyplývá, že „nádrž je schopna ztransformovat povodeň Q10 na neškodný průtok 100 m³.s⁻¹. Povodeň Q₂₀ lze ztransformovat na mezní odtok 130 m³.s⁻¹ pouze při předvypuštěné nádrži na kótu 312,00 m n.m. Povodňové vlny Q₅₀ a Q₁₀₀ lze transformovat pouze částečně. Pro povodně s delší dobou opakování ovlivní povyprázdnění nádrže

především oddálení překročení neškodného průtoku, částečně pak i kulminačního odtoku.“ (Povodí Labe, 2021) Úspěšné zploštění návrhové povodně s maximálním průtokem Q_{10} bez povyprázdnění zobrazuje Graf 5. Graf 6 dokládá, že zploštění povodně s maximálním průtokem Q_{20} již není možné při dodržení neškodného odtoku z nádrže. Stejně výsledky dosahují varianty i v zimním období.

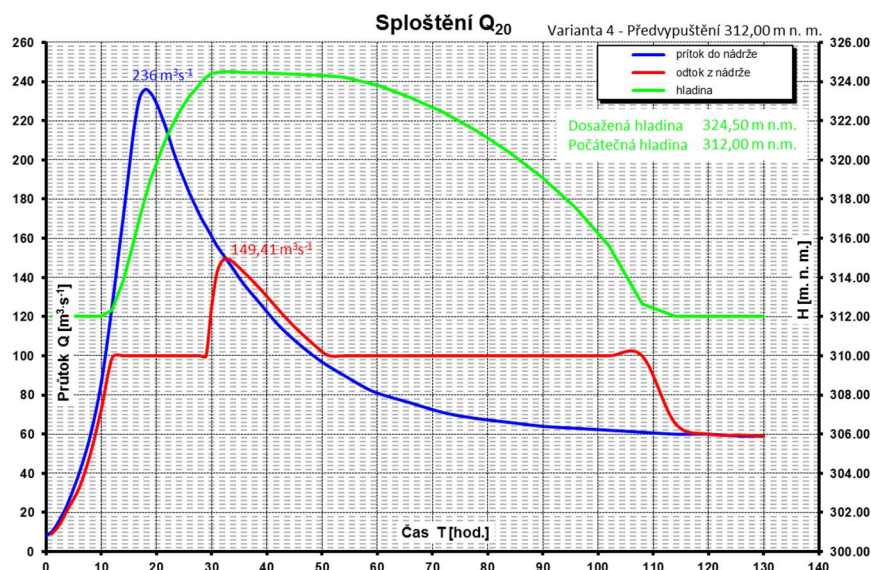
Graf 5 - Zploštění návrhové povodně o maximálním průtoku Q_{10} (zdroj: Povodí Labe)



Graf 6 - Zploštění návrhové povodně o maximálním průtoku Q_{20} (zdroj: Povodí Labe)



I v případě povyprázdnění zásobního prostoru o 3,6 m a maximálního průtoku Q_{20} není možné transformovat povodeň zcela na neškodný odtok z nádrže, jak dokládá Graf 7.

Graf 7 - Zploštění návrhové povodně o maximálním průtoku Q_{20} při povyprázdnění (zdroj: Povodí Labe)

V roce 1919, kdy byla výstavba vodního díla Les Království dokončena, byl celkový objem nádrže 9,159 mil. m^3 (Broža, 2005), nyní celkový objem nádrže činí 7,2605 mil. m^3 . Rozdíl v těchto údajích činí téměř 2 mil. m^3 , které ovlivňují zásobní funkci, ale do jisté míry mohou mít vliv i na funkci ochrannou. Toto obrovské množství sedimentů se v nádrži začalo zadržovat pravděpodobně v 50. letech minulého století pod vlivem kolektivizace půdy a změn v zemědělství. (Válek, 2017) K odtěžení části nánosů v prostoru stálého nadržení došlo při rekonstrukci spodní výpusti v pravém obtokovém tunelu v roce 2006. I přes vysoké finanční náklady tak tento problém zůstává nedořešen.

4 Tvorba didaktického modelu ochranné funkce vodního díla

4.1 Cíl didaktického modelu

Hlavním cílem didaktického modelu je ukázat návštěvníkům expozice účely vodního díla Les Království, především pak jeho hlavní účel – částečnou ochranu před povodněmi – formou audiovizuální prezentace v podobě krátkého videa s komentářem. Dle požadavků Povodí Labe by si návštěvník z okruhu široké veřejnosti měl odnést dvě důležité informace. Tou první je jasná představa, co způsobí nádrží netransformovaný povodňový průtok. Tou druhou je poznatek, že i u velké povodně, kterou vodní nádrž nemůže zmírnit, dokáže přetvořením povodňové vlny alespoň oddálit její nástup v oblasti pod přehradou a tím umožňuje postavit protipovodňovou ochranu (PPO).

Během diskuze se zástupci státního Povodí Labe jsme se dohodli, že se v připravovaném videu pro návštěvníky expozice v domku hrázného na vodním díle soustředím na hlavní účel přehrady Les Království a pokusím se jej zasadit do širšího kontextu protipovodňové ochrany.

4.2 Vstupní podklady pro tvorbu didaktického modelu

Pro tvorbu modelu byly Povodím Labe poskytnuty následující materiály:

- Podklady k povodňovým epizodám v letech 2006 a 2013 v rozsahu zpráv o povodňových událostech s hydrologickými daty
- Manipulační řád vodního díla Les Království
- Projektová a výkresová dokumentace vodního díla

4.3 Popis přípravy a tvorby didaktického modelu

Před samotnou přípravou didaktického modelu bylo nezbytné se zástupci státního podniku Povodí Labe objasnit požadavky a specifikace dílčích cílů audiovizuální prezentace. Prvním krokem k vytvoření modelu bylo mé setkání se zástupci státního podniku Povodí Labe dne 7.3.2023 v Hradci Králové, kde se rozsáhle diskutovalo o cíli, obsahu, délce a formátu videa.

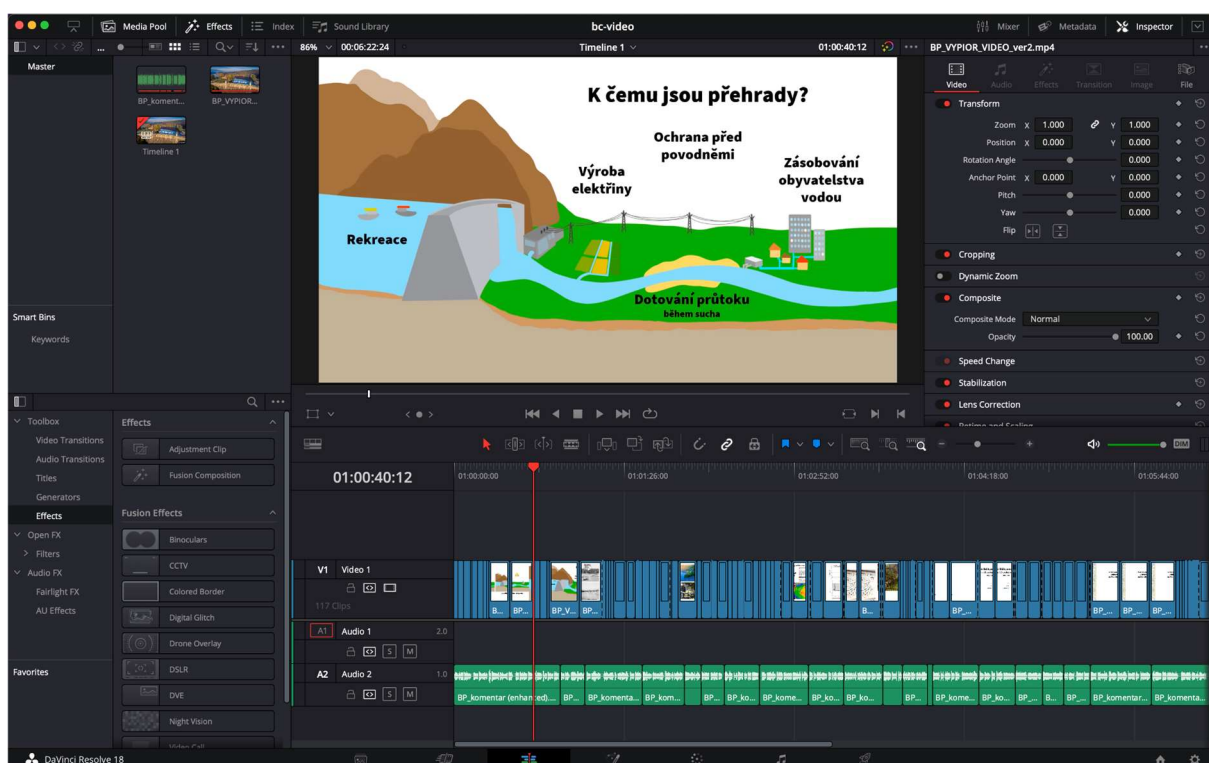
Povodí Labe následně poskytlo podklady ke dvěma povodňovým epizodám v srpnu 2006 a červnu 2013, které podle předchozí domluvy měly posloužit jako hlavní linie videa. S podklady jsem se seznámila a doplnila jsem je o relevantní informace z dalších volně dostupných zdrojů. Následně jsem vytvořila první koncepci videa, kterou zachycuje Obrázek 20. Pak jsem jednotlivé oblasti začala rozepisovat do delších komentářů a doplňovala je o vizuální informace – obrázky, grafy, tabulky. Komentáře jsem postupně během jejich tvorby zároveň skládala tak, aby tvořily ucelený logický celek, navazovaly na sebe a předávané informace gradovaly. Finální verzi konceptu, který sloužil jako podklad pro sepsání komentáře a vytvořil linii celého videa, ukazuje Obrázek 21. Tuto OrgStránku (dynamické interaktivní schéma vytvořené ve webové aplikaci OrgPad) jsem zpřístupnila veřejnosti, čtenář této bakalářské práce si ji může otevřít prostřednictvím webového odkazu <https://orgpad.com/s/les-kralovstvi-bp>.

Finální podoba komentáře k videu je uvedena v Příloze 1 této práce. Komentář k videu byl namluven pomocí mikrofону a softwaru Audacity. Zvuková stopa byla následně upravena pomocí webového nástroje Enhance speech (český překlad Zlepšení řeči) od Adobe, která využívá algoritmů z kategorie AI (zkratka z angl. artificial intelligence, česky umělá inteligence).



Obrázek 22 - Prostředí softwaru Procreate s přípravou grafických materiálů pro video (zdroj: autorka práce)

Spojení záznamu prezentace a vylepšené zvukové stopy komentáře proběhlo v softwaru pro stříhání videa DaVinci Resolve – viz Obrázek 23. Vložené video i audiostopu lze pomocí tohoto nástroje stříhat na jednotlivé klipy, u nich lze následně nastavovat jejich rychlost, délku apod. a tím docílit synchronizace audia a videa. Po těchto úpravách nástroj DaVinci Resolve vykreslením (angl. rendering) vytvoří finální video ve formátu mp4.



Obrázek 23 - Prostředí softwaru DaVinci Resolve určenému ke stříhání videa (zdroj: autorka práce)

Takto vytvořenou finální podobu videa vytvořeného pro expozici v domku hrázního na VD Les Království jsem vložila do výše zmíněné OrgStránky. Čtenář této práce si video může

z této OrgStránky přímo spustit přes webový odkaz <https://orgpad.com/s/video-les-kralovstvi>.

4.4 Zhodnocení vytvořeného didaktického modelu

Audiovizuální prezentace je názorným prostředkem vhodným pro sdělení informací a vysvětlení souvislostí široké veřejnosti. Video je poutavé, zábavné a zároveň naučné. Ve videu pro účely této práce byly použity zjednodušující obrázky a animace pro zdůraznění podstatných informací. Předávané myšlenky jsou uspořádány v logickém sledu, který byl v průběhu tvorby testován na zástupcích z neodborné veřejnosti. Nasbíraná zpětná vazba byla posléze zohledněna při zlepšování scénáře videa. Informace postupně gradují a vysvětlují důležitost přehrad a nádrží při povodních.

Po obsahové stránce je vytvořené video možné dále doplnit či rozšířit, nebo k němu vytvořit volné pokračování. Nabízí se zejména zpracování původní představy Povodí Labe, které by veřejnosti rádo nabídlo detailnější popis práce vodohospodářských dispečerů a jejich rozhodování během povodňové situace. Logickým pokračováním vytvořeného videa by byl například druhý díl, ukazující tvorbu hydrologických předpovědí a jejich využití při rozhodování VHD. Na videa o práci dispečerů by bylo dále možné navázat počítačovou hrou na téma simulované povodňové situace. Při ní by návštěvníci mohli využít svých nových znalostí, zažít rozhodovací proces dispečerů na vlastní kůži a vyzkoušet si, zda by jejich práci zvládli.

Po technické stránce by se kvalita vytvořeného videa dala dále zlepšovat například pořízením kvalitnější zvukové nahrávky lepším mikrofonom v místnosti uzpůsobené pro nahrávání zvuku, využitím aktuálních videozáznamů z přehrady, archivních záběrů z povodňových událostí, nebo leteckých záběrů s využitím dronu. Ve videu zatím chybí úvodní znělka a doprovodná hudba, které se běžně používají jako prostředek k navození nálady diváka. Další možností, jak video vylepšit, je zapojení komentátora. Díky nonverbálním projevům, jako jsou mimika obličeje či gestikulace, bývají videa s komentátorem pro diváka příjemnější a srozumitelnější. Zkušený profesionál umí v divákovi vzbudit dojem, že promlouvá přímo k němu, a tím opět zvyšuje potenciál videa zaujmout širší publikum. Vzhledem k omezenému rozpočtu a časovým možnostem bohužel žádná z těchto variant nebyla reálná.

5 Tvorba 3D modelu řezu šoupátkovou věží

5.1 Technologie 3D tisku

Principem technologie 3D tisku je přenesení digitálního modelu do fyzické podoby. Nejdostupnější a nyní nejpoužívanější technologií 3D tisku je FFF, která byla zvolena i pro tuto bakalářskou práci. Technologie FFF (z angl. fused filament fabrication) spočívá ve vytlačování materiálu v podobě tiskové struny (filamentu) přes rozehřátou trysku. Tryskou nahřátý plastický materiál se nanáší na předchozí již ztuhlou vrstvu a postupně po vrstvách se takto vytvoří celé prostorové těleso.

5.1.1 Vytvoření modelu pomocí CAD softwaru

CAD (zkratka z angl. Computer-Aided Design) softwaru slouží k modelování v 2D nebo 3D. Umožňují uživatelům vytvářet složité geometrické tvary a vektorovou grafiku, ve

stavebnictví pak výkresovou dokumentaci nebo 3D modely objektů. V kontextu 3D tisku jsou důležité funkcionality CAD programů, které umožňují vytvářet 3D modely založené na různých geometrických tvarech, jejich spojování, rozdíly, rotací a dalšími úpravami.

Jedním z nejpopulárnějších CAD software je program AutoCAD od společnosti Autodesk. Velmi užívaným softwarem pro modelování u začátečníků či dětí je Tinkercad, naopak profesionálové využívají software Fusion 360, oba též od společnosti Autodesk.

Po vytvoření 3D modelu je možné jej z programu AutoCAD vyexportovat příkazem EXPORT ve formátu, který je kompatibilní s většinou 3D tiskáren, například ve formátu STL. Jinou možností převedení 3D modelu z CAD software do formátů používaných 3D tiskárnami je využití speciálního softwaru nazývaného slicer.

Vyrenderovaný (vykreslený) hotový model řezu šoupátkovou věží je součástí této práce v Příloze 3.

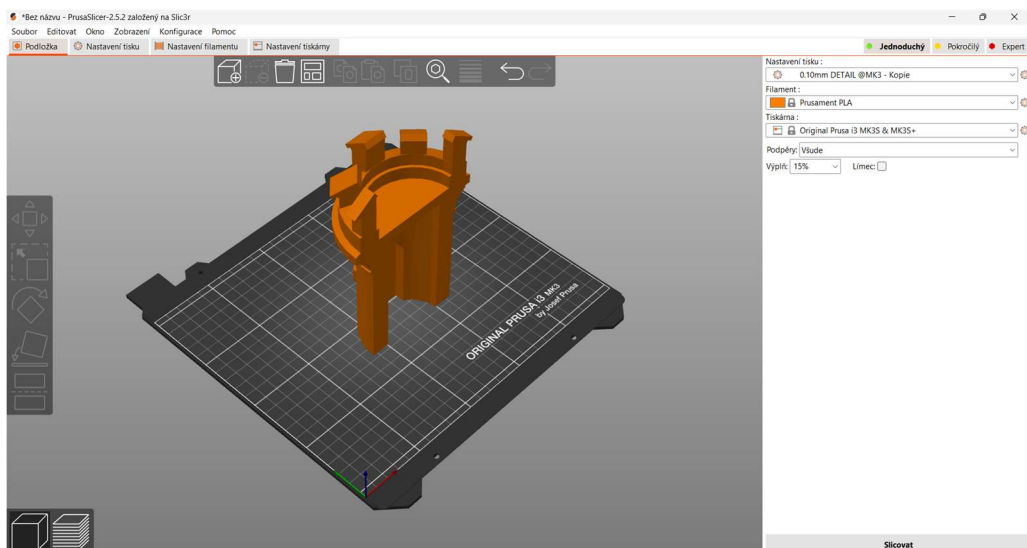
5.1.2 Další možnosti tvorby modelu

Existují také další možnosti tvorby 3D modelů – například využití 3D skeneru nebo fotogrammetrie. 3D skener je zařízení, které fyzický objekt naskenuje a vytváří z něj 3D model. Skener využívá různých technologií, nejčastěji skenování pomocí laseru. Fotogrammetrie k vytvoření 3D modelu využívá fotografie. Kombinuje přitom snímky z různých úhlů a využívá matematických algoritmů k vytvoření 3D reprezentace objektu.

Tyto metody jsou užitečné pro tvorbu 3D modelů přímo na základě existujícího trojrozměrného objektu. K modelování domku hrázného pro tuto bakalářskou práci jsem se však rozhodla využít dostupné výkresové dokumentace. Ta se ukázala díky své podrobnosti a kvalitnímu provedení jako dostačující k přesnému vytvoření 3D modelu v CAD softwaru.

5.1.3 Příprava modelu k tisku

Příprava hotového 3D modelu k tisku pomocí softwaru slicer je podmínkou pro samotný tisk. Slicer je software, který převede digitální 3D model na instrukce pro tiskárnu, tzv. G-code, reps. popíše sekvenci pohybů v jednotlivých vrstvách tisku. Existuje mnoho různých slicerů od různých výrobců. Mezi nejznámější a nejpoužívanější patří český PrusaSlicer nebo Cura. K vytvoření modelu pro potřeby této práce byl použit PrusaSlicer, jehož prostředí ukazuje Obrázek 24.

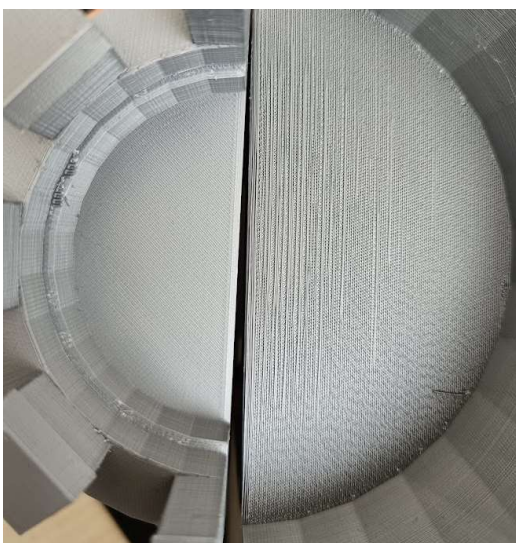


Obrázek 24 - Prostředí softwaru PrusaSlicer s modelem

Slicer umožňuje nastavit mnoho parametrů pro 3D tisk, jako je teplota tiskové hlavy, rychlost tisku, tloušťka vrstvy, tvar a množství výplně, podpůrné struktury (podpory) a další. Tyto parametry se mohou lišit v závislosti na používaném materiálu a na požadované kvalitě tisku. Podpůrné struktury jsou nutné pro podporu převyšujících částí, aby nedošlo k deformaci vytvářeného tělesa během tisku. (Stříteský, 2020) Po dokončení tisku se podpěry musí ručně vylámat.

3D tisk lze ve sliceru pro různé typy modelů dále optimalizovat. Například pro modely s mnoha detaily lze nastavit nižší rychlost tisku pro dosažení větší přesnosti detailů. Pro modely s většími rovnými plochami lze naopak nastavit vyšší rychlost tisku.

V každém případě je však nutno mít na paměti, že kvalita 3D tisku má své meze. Podstatným parametrem pro kvalitu výtisku je například i volba jeho orientace na tiskové podložce, viz Obrázek 25. Při tisku tělesa zobrazeného na Obrázek 24 bude i přes využití podpor pro tisk vodorovných konstrukcí kvalita spodní strany vodorovného patra nižší než horní strany, jak je vidět ze struktury povrchů na Obrázek 25.



Obrázek 25 - Kvalita povrchu výtisku dle orientace při tisku - vlevo vodorovný povrch při tisku nahore, vpravo vodorovný povrch při tisku dole umístěný na podpěrách (zdroj: autorka práce)

Před tiskem je důležité zkontrolovat náhled tisku a všechna nastavení, hlavně pak správné umístění modelu na tiskové podložce a zda jsou všechny podpůrné struktury správně vytvořeny. Výsledný soubor s instrukcemi pro tisk ve formátu G-code se poté nahraje do 3D tiskárny a může se spustit tisk.

5.1.4 Tisk na 3D tiskárně

Před samotným tiskem je nutné připravit tiskárnu. Tisková podložka musí být odmaštěna a vycentrována na vyhřívané podložce tiskárny. Následně se do přehřáté tiskové hlavy (extrudéru) zavede filament. Do tiskárny se vloží paměťová karta s G-code nebo se do tiskárny odešle a je možné spustit tisk.

Tisk na 3D tiskárně pak probíhá postupným nanášením vrstev materiálu na sebe, přičemž každá vrstva odpovídá řezu vodorovné roviny 3D modelu. Výsledný objekt se nakonec skládá z mnoha vrstev materiálu, postupně spojených v jednotlivých fázích tisku.

Po dokončení tisku je hotový tisknutý objekt nutné odebrat z tiskové podložky, vylámat podpěry a případně vyčistit od zbytků materiálu, který se může nacházet na povrchu objektu. (Stříteský, 2020)

5.2 Cíl 3D modelu řezu šoupátkovou věží

Cílem 3D řezu šoupátkovou věží je znázornit návštěvníkům expozice v prostoru rozměry věže a štoly, aby si tak mohli představit, jak hluboko pod nimi se nachází spodní výpust v pravém obtokovém kanálu. 3D model šoupátkové věže pomocí 3D tisku bude umístěn přímo v šoupátkové věži domku hrázného na vodním díle.

5.3 Vstupní podklady pro tvorbu 3D modelu

Pro tvorbu modelu byly Povodím Labe poskytnuty následující materiály:

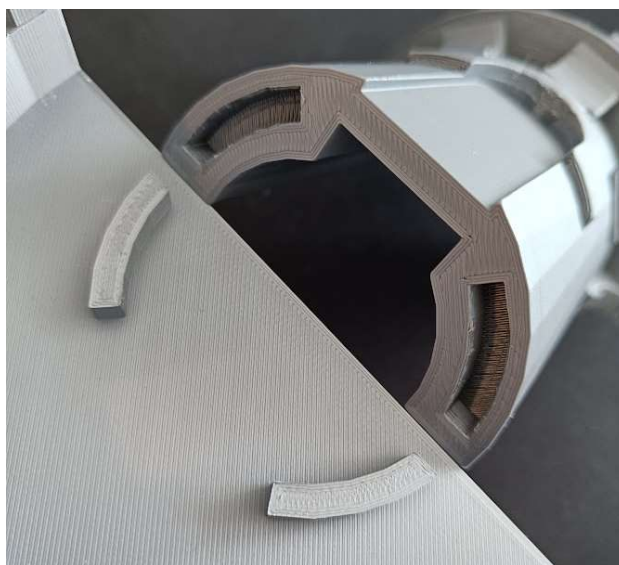
- Manipulační řád VD Les Království - s kompletní výkresovou dokumentací
- Výkresová dokumentace objektu domku hrázného a rekonstrukce pravé obtokové štoly

5.4 Popis přípravy, tvorby a tisku 3D modelu

Pro tvorbu 3D modelu byl použit software AutoCAD. V průběhu modelování bylo nutné uvažovat měřítko finálního fyzického modelu, které jsem zvolila 1:35, a tedy zvažovat míru detailnosti modelu. Bylo tedy opakovaně nutné dopouštět se zjednodušení konstrukce, které ovšem nemá vliv na předávanou informaci. Hotový celistvý model bylo následně nutné rozdělit na dílce, které je možné vytisknout na 3D tiskárně. K dispozici byla tiskárna Original Prusa i3 MK3S, která má maximální tiskové rozměry 250 x 210 x 210 mm. Dílce byly dle zamýšlené orientace tisku rozděleny v maximálních možných rozměrech a povrchy doteku jednotlivých dílců doplněny o vhodné výstupky a vybrání tak, aby do sebe při složení celého tělesa zapadly a tak zvýšily pevnost lepených spojů. Úpravu spojovaných ploch doplněním vzájemně zapadajících výstupků a drážek ilustrují na modelu v AutoCADu Obrázek 26 a v realitě Obrázek 27.



Obrázek 26 - Úprava pro lepší spojení na vyrenderovaném (vykresleném) modelu

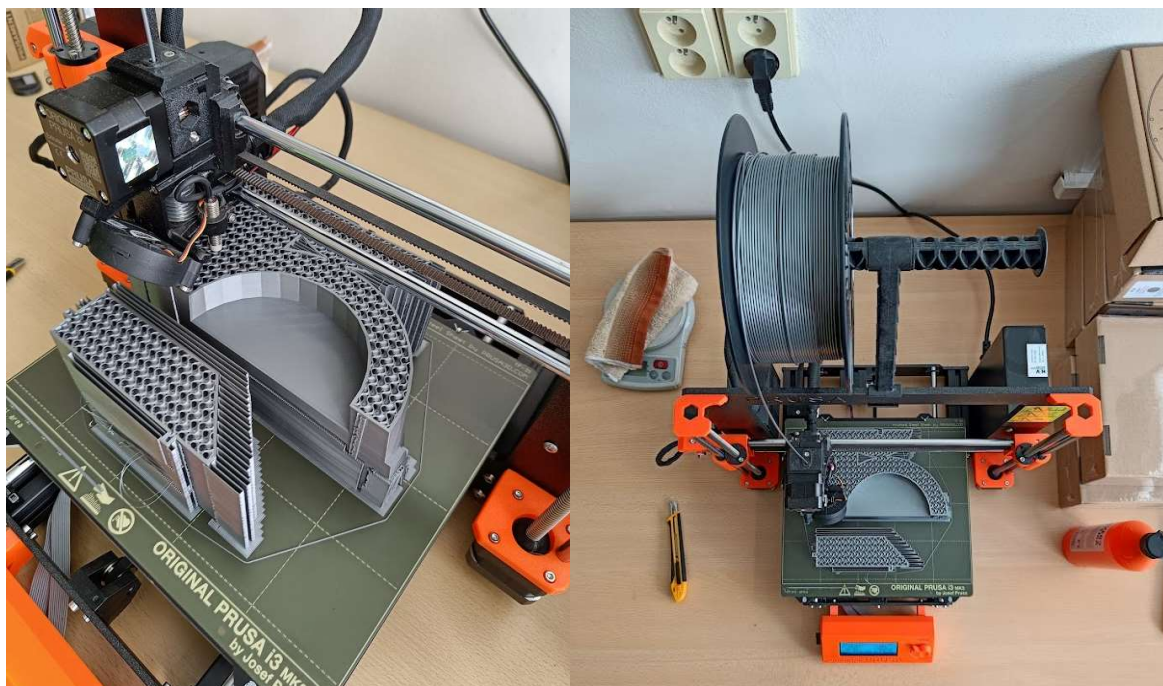


Obrázek 27 - Úprava pro lepší spojení na vytištěných dílcích

Vyrenderovaný (vykreslený) hotový model řezu šoupátkovou věží před rozdělením i po rozdělení na dílce je součástí této práce v Příloze 3.

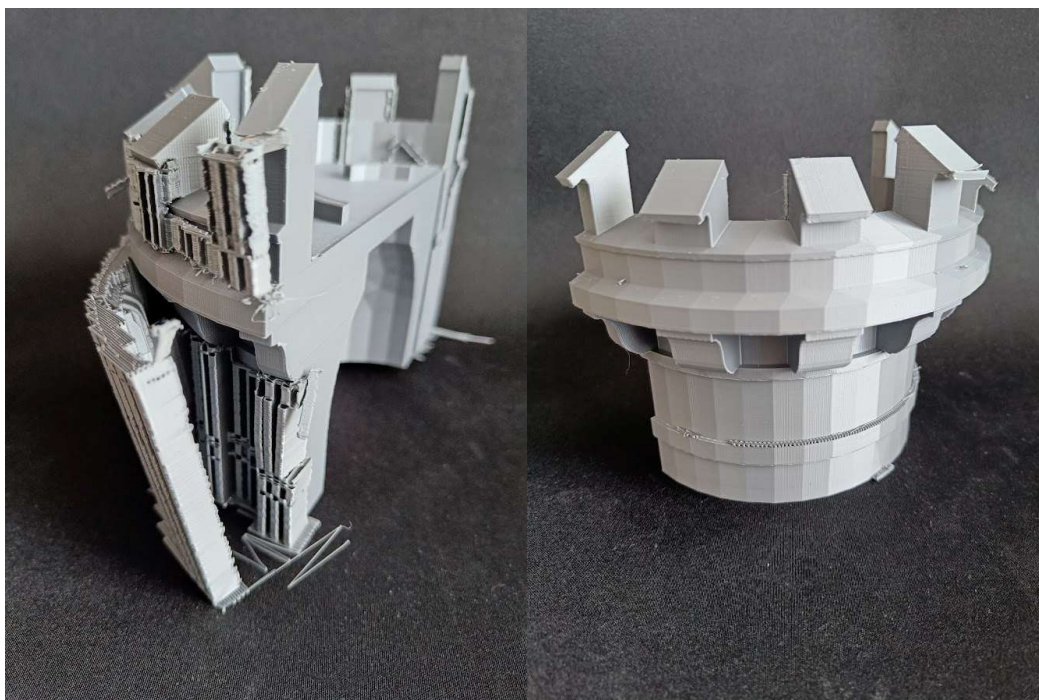
Po dokončení úpravy dílců byly soubory pro jednotlivé dílce z programu AutoCAD samostatně vyexportovány ve formátu litografie (.STL). Tyto soubory pak posloužily jako vstup pro software slicer; konkrétně byl využit s tiskárnou nejvíce kompatibilní PrusaSlicer. V něm byl vytvořen G-code obsahující instrukce pro 3D tiskárnu a o všech parametrech tisku. Tento kód byl uložen na SD kartu, která se vkládá do 3D tiskárny a umožňuje spuštění tisku.

Dle velikosti dílce či více dílců tisknutých najednou se odvíjí doba tisku a potřebné množství filamentu. V průběhu tisku je příhodné jej občas kontrolovat, zda nedošlo k významné tiskové chybě a není potřeba tisk předčasně ukončit a opakovat. Fotografie z kontroly tisku jsou na Obrázek 28.



Obrázek 28 – Fotografie 3D tiskárny v průběhu tisku

Po skončení tisku se dílec sejme z tiskové podložky 3D tiskárny a hrubě se očistí od podpěr – vlevo na Obrázek 29. Při následném jemném dočištění případných drobných nedostatků se kontroluje kvalita tisku jednotlivých dílců. Hotové dílce se skládají dohromady a slepují se.



Obrázek 29 - 3D tisk při hrubém čištění (vlevo) a po hrubém očištění (vpravo)

5.5 Zhodnocení 3D modelu

Názornost 3D modelu má podpořit a doplnit informaci podanou didaktickým modelem a celou expozicí. Z poměru výšky věže a hloubky šachty na modelu si návštěvník porovnáním s výškou věže, kterou viděl při vstupu do expozice, snáz představí skutečnou hloubku šachty a polohy spodní výpusti pod věží. Tomuto cíli napomáhá i přidání lidských postav v měřítku modelu. Nad rámec zadání jsou barevně odlišeny jednotlivé uzávěry spodních výpustí a návštěvník si tak může udělat lepší představu o jejich umístění a funkci.

Vzhledem k dostupné technologii 3D tisku má vytvořený model povrchovou strukturu na kruhových plochách, která plně neodpovídá realitě. Dokonalejší model by bylo možné vytvořit například jinou technologií 3D tisku nebo tiskem ve větším měřítku.

6 Závěr

Práce se zabývá problematikou vodních nádrží a zejména jejich ochrannou funkcí před povodněmi. Teoretická část popisuje funkce a účely vodních nádrží, transformační účinek nádrží při povodních, řešení ochranné funkce nádrže a povodňové řízení odtoku. Dále je podrobně analyzováno vodní dílo Les Království, včetně jeho manipulačních prostorů a funkčních objektů. Pro kvantifikaci ochranné funkce vodního díla byly využity výpočty z vodohospodářského řešení v rámci Manipulačního řádu vodního díla a zprávy o historických povodňových událostech.

V rámci praktické části byl vytvořen didaktický model ochranné funkce vodního díla ve formě audiovizuální prezentace (videa s komentářem) a 3D model řezu šoupátkové věže. Oba výstupy mají posílit osvětovou funkci expozice na vodním díle Les Království. Video s názvem „Les Království jako ochrana před povodněmi“ je možné využít i při jiných příležitostech, neboť povodňovou událost na přehradě ze srpna 2006 zasazuje do širšího kontextu a divák si z něj může odnést informace nad rámec zadání této práce.

3D model šoupátkové věže přiblíží návštěvníkům expozice opravdovou velikost šoupátkové věže a hloubku šachty sahající ke spodním výpustem pod věží. Zároveň se dozví o přítomnosti třech různých uzávěrů ve spodní výpusti díky jejich barevnému odlišení od zbytku modelu.

Celkově lze konstatovat, že vodní díla jako je Les Království mají významný vliv na ochranu před povodněmi. Kvantifikace ochranné funkce je zásadní pro hodnocení efektivity těchto staveb a řízení odtoku během povodní. Výsledky této práce zároveň přispívají k informování veřejnosti o přínosu přehrad.

7 Seznam zkratk

3D	trojdimenzionální, trojrozměrný
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
MZP	Minimální zůstatkový průtok
PL	Povodí Labe
PV	povodňová vlna
TPV	teoretická povodňová vlna
VD	vodní dílo
VHD	vodohospodářský dispečink

8 Bibliografie

BROŽA, Vojtěch, 2005. *Přehrady Čech, Moravy a Slezska*. Vyd. 1. Liberec: Knihy 555. ISBN 80-86660-11-7.

ČSN 75 1400 Hydrologické údaje povrchových vod.

PATERA, Adolf, Karel NACHÁZEL a Pavel FOŠUMPAUR, 2002. *Nádrže a vodohospodářské soustavy 10*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT. ISBN 80-01-02620-5.

POVODÍ LABE, 2000. *Souhrnná zpráva o povodni v březnu 2000 v uceleném povodí Labe*. Hradec Králové.

POVODÍ LABE, 2006. *Souhrnná zpráva o povodni v březnu 2006 v oblasti povodí Horního a středního Labe a na vlastním toku Labe v oblasti povodí Ohře a Dolního Labe (24.3. - 13.4.2006)*. Hradec Králové.

POVODÍ LABE, 2006. *Souhrnná zpráva povodni v srpnu 2006 v oblasti povodí Horního a středního Labe a na vlastním toku Labe v oblasti povodí Ohře a Dolního Labe (6.8. - 10.8.2006)* Hradec Králové Září. 2006. Hradec Králové.

POVODÍ LABE, 2014. *Souhrnná zpráva o povodních v červnu 2013 v oblasti povodí Horního a středního Labe a na vlastním toku Labe v oblasti povodí Ohře a Dolního Labe*. Hradec Králové.

POVODÍ LABE, 2021. *Manipulační řád vodního díla Les Království*. Revize červenec 2021. Hradec Králové: Povodí Labe, statní podnik.

STŘÍTESKÝ, Ondřej, Josef PRŮŠA a Martin BACH, 2020. *Základy 3D tisku s Josefem Průšou*. Praha: Prusa research a.s. ISBN 978-80-907798-0-8.

VÁLEK, Ladislav, 2017. Přehrada Les Království: bývalá samota Tešnov. In: *Přehrada Les Království* [online]. Dvůr Králové: Volis [cit. 2023-05-02]. Dostupné z: <https://prehrada-les-kralovstvi.cz/>

VOTRUBA, Ladislav a Vojtěch BROŽA, 1980. *Hospodaření s vodou v nádržích*. 2., přeprac. vyd. Praha: SNTL.

9 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Umístění prostorů nádrže do údolí a do charakteristiky nádrže (Patera, 2002). 5	
Obrázek 2 - Dispečerský graf při ročním řízení odtoku a jeho využití pro povodňové řízení odtoku (Votruba, 1980)	9
Obrázek 3 - Rozdíl mezi ovladatelným a neovladatelným prostorem včetně měrné křivky průtoku přelivu	10
Obrázek 4 - Účinek neovladatelného prostoru nádrže na časový průběh povodně (Votruba, 1980).....	11
Obrázek 5 - Možnost snížení maximálního odtoku plynulým uzavíráním spodních výpustí (řešení s nehrazeným přelivem) (Votruba, 1980).....	11
Obrázek 6 - Využití předvypouštění podle předpovědi (při hrazeném přelivu) pro zachycení povodňové špičky (Votruba, 1980)	12
Obrázek 7 - Poloha nádrže Les Království (zdroj: autorka práce)	12
Obrázek 8 - Pohled na vzdušnou stranu hráze z pravého břehu (zdroj: autorka práce).....	13
Obrázek 9 - Pohled na domek hrázného se šoupátkovou věží z pravého břehu od tělesa hráze (zdroj: autorka práce).....	13
Obrázek 10 - Situace VD Les Království (zdroj: Povodí Labe).....	14
Obrázek 11 - Pohled z pravého břehu na vodní elektrárnu pod VD Les Království, v pozadí vyústění levého obtokového tunelu (zdroj: autorka práce)	14
Obrázek 12 - Mapa s vyznačením vodoměrných stanic (zdroj: isvs.chmi.cz)	15
Obrázek 13 - Pohled z dronu na levou šoupátkovou věž po rekonstrukci v roce 2019 (zdroj: Ladislav Válek, přehrada-les-kralovstvi.cz).....	17
Obrázek 14 - Pohled na čelní zeď levého obtokového tunelu z projektové dokumentace (zdroj: Povodí Labe).....	17
Obrázek 15 - Pohled ze šoupátkové věže na pravém břehu na pravý šachtový přeliv (zdroj: autorka práce)	18
Obrázek 16 - Francisova turbína a generátor ve vodní elektrárně Les Království (zdroj: Ladislav Válek, přehrada-les-kralovstvi.cz).....	19
Obrázek 17 - Pohled ze šoupátkové věže na hráz přehrady a betonové přístavby (zdroj: autorka práce)	19
Obrázek 18 - Pohled z dronu na zrekonstruovaný domek hrázného v létě 2019 (zdroj: Ladislav Válek, přehrada-les-kralovstvi.cz).....	20
Obrázek 19 - Pohled z dronu na těleso hráze a průjezdovou bránu na koruně hráze při rekonstrukci (zdroj: Ladislav Válek, přehrada-les-kralovstvi.cz)	20
Obrázek 20 - První koncept didaktického modelu (vytvořeno v softwaru OrgPad autorkou práce)	29
Obrázek 21 - Finální koncept didaktického modelu pro přípravu komentáře (vytvořeno v softwaru OrgPad autorkou práce).....	29
Obrázek 22 - Prostředí softwaru Procreate s přípravou grafických materiálů pro video (zdroj: autorka práce)	30
Obrázek 23 - Prostředí softwaru DaVinci Resolve určenému ke střihu videa (zdroj: autorka práce)	30
Obrázek 24 - Prostředí softwaru PrusaSlicer s modelem	33
Obrázek 25 - Kvalita povrchu výtisku dle orientace při tisku - vlevo vodorovný povrch při tisku nahoře, vpravo vodorovný povrch při tisku dole umístěný na podpěrách (zdroj: autorka práce)	33
Obrázek 26 - Úprava pro lepší spojení na vyrenderovaném (vykresleném) modelu	35

Obrázek 27 - Úprava pro lepší spojení na vytištěných dílcích.....	35
Obrázek 28 – Fotografie 3D tiskárny v průběhu tisku	36
Obrázek 29 - 3D tisk při hrubém čištění (vlevo) a po hrubém očištění (vpravo).....	36

10 Seznam tabulek

Tabulka 1 - m-denní průtoky (Povodí Labe, 2021).....	15
Tabulka 2 - N-leté průtoky (Povodí Labe, 2021)	15
Tabulka 3 - Srovnání povodňových událostí a účinku vodního díla na ně	25

11 Seznam grafů

Graf 1 - Průběh povodně na VD Les Království při povodni v březnu 2000 (zdroj: Povodí Labe).....	23
Graf 2 - Průběh povodně na VD Les Království při povodni v březnu 2006 (zdroj: Povodí Labe).....	23
Graf 3 - Průběh povodně na VD Les Království při povodni v srpnu 2006 (zdroj: Povodí Labe).....	24
Graf 4 - Průběh povodně na VD Les Království při povodni v červnu 2013 (zdroj: Povodí Labe).....	25
Graf 5 - Zploštění návrhové povodně o maximálním průtoku Q_{10} (zdroj: Povodí Labe) ...	26
Graf 6 - Zploštění návrhové povodně o maximálním průtoku Q_{20} (zdroj: Povodí Labe) ...	26
Graf 7 - Zploštění návrhové povodně o maximálním průtoku Q_{20} při povyprázdnění (zdroj: Povodí Labe)	27

12 Seznam příloh

1. Text komentáře k audiovizuální prezentaci didaktického modelu
2. Vizuální prezentace didaktického modelu
3. Vyrenderované obrázky 3D modelu šoupátkové věže ze softwaru AutoCAD