



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

UŽITÍ BIM V RÁMCI VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ

THE USE OF BIM IN WATER MANAGEMENT WORK

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. ZUZANA CHLÁDOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. DAVID DUCHAN, Ph.D.

BRNO 2022



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	NPC-SIV Stavební inženýrství – vodní hospodářství a vodní stavby
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Specializace	bez specializace
Pracoviště	Ústav vodních staveb

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Zuzana Chládová
Název	Užití BIM v rámci vodního hospodářství
Vedoucí práce	Ing. David Duchan, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2021
Datum odevzdání	14. 1. 2022

V Brně dne 31. 3. 2021

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

<https://www.bimfo.cz>

<https://www.cadstudio.cz/bim>

<https://www.czbim.org>

GUILLEMET, Adrien. 5D BIM: Cost. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd. ISBN 9781118896471, ISBN 9781119163404. S. 95–100.

EASTMAN, Chuck; TEICHOLZ, Paul; SACKS, Rafael. BIM Handbook. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. ISBN 9780470261309, ISBN 9780470185285.

EASTMAN, Chuck; TEICHOLZ, Paul; SACKS, Rafael. BIM Handbook. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. ISBN 9780470261309, ISBN 9780470185285.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

V rámci práce bude popsán BIM a jeho využití pro vodní hospodářství. Praktická aplikace bude zaměřena na vytvoření BIM modelu ve vybrané úrovni pro vhodné vodohospodářské dílo.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

Ing. David Duchan, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Tato diplomová práce řeší Building Information Management (BIM) a jeho využití v oboru vodního hospodářství. Byla provedena rešerše o BIM a následně bylo na praktické ukázce demonstrováno využití BIM pro stavbu malé vodní elektrárny ve vodohospodářském uzlu Litovel. V závěru byla formulována zásadní přidaná hodnota užití BIM a jeho možné nevýhody pro vodní hospodářství.

KLÍČOVÁ SLOVA

BIM, Malá vodní elektrárna, Flow3D, vizualizace, řeka Morava, Litovel

ABSTRACT

This diploma thesis addresses Building Information Management (BIM) and its application in water management. The basis of the work is broad research on BIM. Subsequently, the application of BIM is demonstrated in the construction of a small hydroelectric power plant in the Litovel water management node. To conclude, the added value of using BIM and its possible disadvantages for water management are formulated.

KEYWORDS

BIM, Small Water Power Plant, Flow3D, Visualization, Morava River, Litovel

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Zuzana Chládová *Užití BIM v rámci vodního hospodářství*. Brno, 2022. 84 s., 6 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce Ing. David Duchan, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Užití BIM v rámci vodního hospodářství* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 14. 1. 2022

Bc. Zuzana Chládová
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu Ing. Davidu Duchanovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, diskusi a pomoc při zpracování mé diplomové práce. Poděkování také patří mým nejbližším za psychickou podporu v nejlepších letech mého života na VUT.

OBSAH

1.	ÚVOD	9
1.1.	Současný stav poznání.....	9
1.2.	Cíl práce.....	9
2.	OBEČNĚ O BUILDING INFORMATION MANAGEMENT	11
2.1.	Základní informace.....	11
2.2.	Terminologie	13
2.2.1.	Dimenze BIM.....	14
2.3.	Nedostatky stavebního procesu a důvod ke změně	15
2.4.	Přínosy BIM	15
2.4.1.	Obecné dlouhodobé přínosy používání BIM.....	16
2.4.2.	Přínosy BIM pro jednotlivé účastníky	17
2.4.3.	Přínosy BIM v jednotlivých fázích stavebního projektu.....	19
2.4.4.	Předpokládaná úspora nákladů za celý životní cyklus stavebního díla při využití BIM.....	20
2.5.	Nevýhody BIM.....	21
2.6.	Nástroje.....	21
2.6.1.	Nástroje pro modelování DiMS	21
2.6.2.	Nástroje pro efektivní spolupráci mezi účastníky stavebního procesu	24
2.6.3.	Další nástroje.....	25
2.7.	Knihovny objektů	26
2.8.	Přehled publikací a konferencí zabývajících se BIM.....	26
2.8.1.	BIM konference	26
2.9.	Datová struktura, standardy, klasifikační systémy	27
2.9.1.	Vybrané české webové portály zabývajících se BIM	28
2.9.2.	Vybrané BIM příručky, publikace a dokumenty.....	28
2.9.3.	BIM normy.....	29
3.	KONCEPCE ZAVÁDĚNÍ BIM.....	30
3.1.	Zavádění BIM v ČR	31
3.1.1.	Události při zavádění BIM v ČR a harmonogram opatření.....	32
3.1.2.	Statistiky vodohospodářských projektů	33
3.2.	Specifika zavádění BIM pro vodohospodářské stavby a dopravní stavby	33
3.2.1.	Dopravní stavby	33
3.2.2.	Vodohospodářské stavby.....	33
3.2.3.	Pilotní projekty z oblasti dopravních a vodohospodářských staveb.....	34
3.3.	Další příklady využití BIM ve vodním hospodářství v ČR	38
3.3.1.	BIM v oboru čistíren odpadních vod.....	38
3.3.2.	BIM v oboru přehrad a vodních nádrží	39
4.	PRAKTICKÁ APLIKACE VYUŽITÍ BIM PRO MALOU VODNÍ ELEKTRÁRNU LITOVEL....	41
4.1.	Popis lokality	41
4.2.	23Popis MVE a vodohospodářského uzlu Litovel	42
4.2.1.	MVE.....	42
4.2.2.	Popis vodohospodářského uzlu Litovel.....	42
4.3.	Pracovní postup a vstupní data	43
4.3.1.	Podklady a vstupní informace	43
4.3.2.	Stručný pracovní postup a použitý software	44
4.4.	Detailní popis jednotlivých modelů a způsobu modelování.....	44
4.4.1.	Tvorba BIM modelu MVE, jezu, náhonu a koryta.....	44
4.4.2.	Spojení modelů do jednoho koordinačního modelu.....	60
4.4.3.	Matematický model proudění.....	61
4.4.4.	Vizualizace modelu.....	68

4.5.	Výsledky modelů	69
4.5.1.	Výsledky BIM modelu.....	69
4.5.2.	Výsledky matematické modelování.....	69
4.5.3.	Zhodnocení dalších možnosti využití modelů	71
5.	ZÁVĚR A DISKUSE	73
5.1.	Zjištěné výhody a nevýhody užití BIM ve vodním hospodářství pro malou vodní elektrárnu..	73
5.1.1.	Výhody	73
5.1.2.	Nevýhody.....	73
5.2.	Závěr	74
6.	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	75
7.	SEZNAM TABULEK	78
8.	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	79
9.	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	81
10.	SEZNAM PŘÍLOH.....	83
11.	PŘÍLOHA Č. 3 OBRÁZKY VIZUALIZACÍ.....	84

1. Úvod

1.1. Současný stav poznání

Průmysl 4.0 je označení pro inovace a proměny výrobních procesů. Cílem inovací je pomocí internetu a digitalizace kompletně propojit a automatizovat výrobní procesy a služby s nimi spojené. S průmyslem 4.0 jsou spojeny pojmy digitální ekonomika, internet věcí, častěji se budou při práci využívat internet, datová centra, cloudová úložiště a nejrůznější chytrá zařízení. Tato iniciativa přináší nejenom technologické, ale i společenské změny, které se odrazí na pracovním trhu nebo například v oblasti vzdělávání [8].

Stavebnictví se zdá, že stojí v těchto proměnách stranou, a že digitalizace není tak značná a produktivita práce roste zvolna. To má různé příčiny, od rostoucí složitosti staveb a konstrukcí, vysokých nároků na energii, ekologické a další požadavky, či rozsáhlé uplatnění pracovních sil s nízkou produktivitou. V České republice (ČR) je tento stav doprovázen také krizí stavebnictví mezi lety 2008 až 2013 [36] a značně nesystémovým řízením a rozptýlením umisťování veřejných investic, kdy se nejzásadnějším kritériem staly nejnižší ceny projektu a dodávky stavebních prací [7].

Z uvedených skutečností vznikají iniciativy označované jako Stavebnictví 4.0. V nich je jedním ze základních diskutovaných pojmů plná digitalizace všech odvětví, a to nejenom softwarové ale i hardwarové; vytvoření kyberneticko-fyzikálních systémů, robotizace výroby, správy, údržby a recyklace staveb, digitální stavební řízení a podobně. Jedním z hlavních pojmů je i BIM [9].

Building Information Management – BIM je soubor procesů, technologií a zásad, který umožňuje účastníkům stavebního procesu společně projektovat, stavět a provozovat stavbu v reálném čase a ve virtuálním prostoru. Ve stavebnictví umožňuje udržet všechny informace v digitální formě na jednom místě v rámci jedné databáze v průběhu celého životního cyklu díla. BIM je tedy jedním ze způsobů jak zvýšit produktivitu stavebnictví, a proto vláda ČR podpořila zavádění metody BIM v usnesení vlády č.958 o významu metody BIM [10], aby tak podpořila růst ekonomiky, konkurenceschopnosti ČR a „digitalizaci“ stavebnictví. Na základě usnesení byla zpracována Koncepce zavádění BIM, která byla roku 2017 schválena vládou a stala se strategickým materiálem určujícím směřování ČR v oblasti BIM.

S uvedenými změnami v rámci BIM přichází nové požadavky a nároky i na vodní hospodářství, a proto i zde vyvstává otázka jaké výhody a nevýhody přináší BIM pro tento obor. Tyto předpoklady daly podnět k zadání předkládané práce.

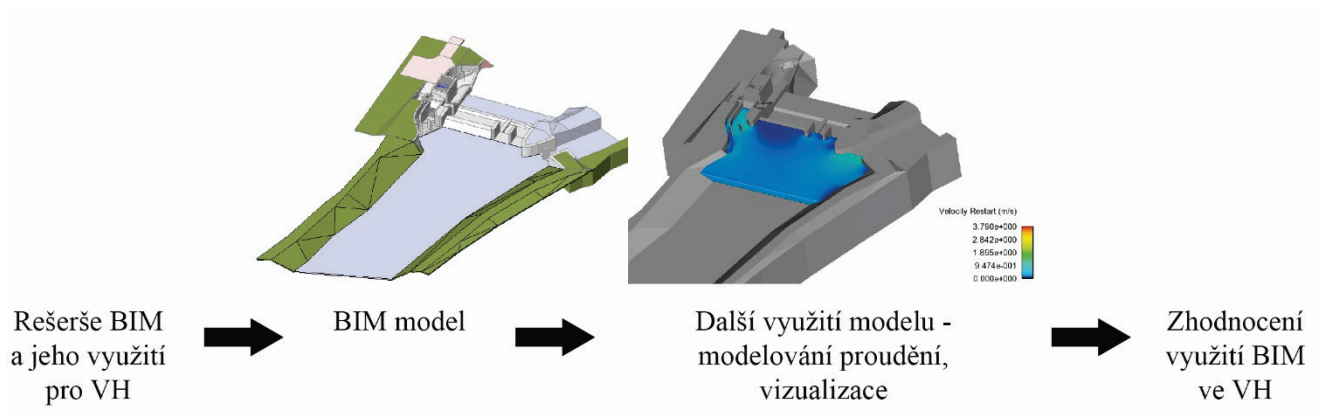
1.2. Cíl práce

Cíle práce jsou teoretický popis a následující praktická aplikace BIM pro vodní hospodářství.

V teoretické části je cílem popsat BIM a jeho využití pro specifický obor vodního hospodářství. Tato část je rozdělena na dvě části. První, popisující obecně BIM, která je platná pro celý obor stavebnictví. Druhá kapitola se zabývá koncepcí zavádění BIM a stručně popisuje vytvářené pilotní projekty v rámci koncepce, které souvisí s oborem vodního hospodářství, a další významné projekty vodohospodářských firem.

V praktické části budou aplikovány znalosti a bude vytvořen BIM model pro vhodné vodohospodářské dílo. Byl vybrán projekt studie dostavby malé vodní elektrárny (MVE) na řece Moravě v km 262,07, který byl zpracován v rámci bakalářské práce na Fakultě stavební Vysokého učení technického. Zpracovaný model bude následně zhodnocen – konkrétně jaké jsou výhody a nevýhody a jaká je přidaná hodnota vytváření BIM modelů pro vodohospodářské stavby.

Dále v rámci praktické části byl vytvořený BIM model využit pro další účely, aby byly demonstrovány jeho další možné přidané hodnoty. Konkrétně byl model využit pro modelování proudění vody na nátoky na MVE a také pro vizualizace (Obrázek 1).



Obrázek 1: Pracovní postup diplomové práce

2. Obecně o Building Information Management

2.1. Základní informace

BIM je soubor procesů, technologií a zásad, který umožňuje účastníkům stavebního procesu a budoucím správcům společně projektovat, stavět a provozovat stavbu v reálném čase a ve virtuálním prostoru [1].

BIM je podmíněn následovně:

- První podmínkou BIM je využití informačního modelu stavby (IMS). IMS je informační databáze, která obsahuje veškerá přesně pojmenovaná a strukturovaná data od prvotního návrhu, realizace, rekonstrukce až po demolici stavby.
- Druhou podmínkou BIM je používání jednoho společného datového prostředí (CDE), které obsahuje IMS a také aktuální, platné verze dokumentů, záznamů o předávání, schvalování, žádostí o změny a dalších informací souvisejících s daným stavebním procesem.
- Třetí a poslední podmínkou BIM je existence BIM protokolu, která tvoří zadání pro projektování pomocí BIM.

Cílem BIM je vytvořit spolehlivé prostředí, které obsahuje aktuální a správné informace pro účastníky tvorby projektu, stavebního procesu a správy, což umožní rychle získat srozumitelnou, zaručeně správnou, platnou a aktuální informaci pro rozhodování (lidí i technologií) v potřebný čas a potřebném místě.

Níže je zobrazen správa informací o stavbě z pohledu vlastníka stavby (Obrázek 2).

2.2. Terminologie

BIM Execution Plan (BEP) – je závazný dokument, který obsahuje výkonný plán realizace BIM [5]. Dokument popisující postupy spolupráce, odpovědnosti a datovou strukturu digitálního modelu stavby.

BIM protokol – Je souborem pravidel pro digitální spolupráce během stavebního projektu. Pokud je stavební projekt řízen metodou BIM, musí být BIM protokol součástí smluvní dokumentace [5].

Comon Data Environment (CDE) – je centrální úložiště, ve kterém jsou uloženy informace o stavebním projektu. Jedná se o 3D model a jeho negeometrická data, ale i všechny další dokumenty, komunikaci a procesy jednotlivých účastníků projektu [12].

Digitální model stavby (DiMS) – je zobrazení prostorového uspořádání a vlastností stavby v digitální podobě (Model grafických i negrafických vlastností prvků stavby i stavby jako celku) [5].

Digitální model terénu (DMT) – je digitální popis a zobrazení reálného povrchu terénu (2D nebo 3D model), který se skládá z reálných naměřených dat a interpolačních metod [5].

Datový standard staveb (DSS) – umožňuje přenosy digitálních strukturovaných informací o stavbě mezi jednotlivými účastníky výstavbových projektů, nezávisle na použitém softwaru [15].

Exchange Information Requirements (EIR) – je základním dokumentem pro výběrová řízení. Definiuje požadavky zadavatele na informační a grafickou podrobnost informačního modelu budovy, datovou strukturu modelu a organizační strukturu BIM procesu.

Industry Foundation Classes (IFC) – je otevřený datový formát souborů. Umožňuje výměnu dat mezi BIM softwary různých výrobců. IFC soubor obsahuje jak grafická data, a tak i všechny potřebné popisné informace [5].

Informační model stavby (IMS) – je DiMS a další související dokumenty v elektronické podobě, záznamy komunikace týkající se stavby a interní a externí procesy účastníků stavby sdílený napříč profesemi i životním cyklem stavby [5].

Úroveň podrobnosti geometrie (Level of Geometry – LOG) – je smluvená podrobnost geometrických údajů jednotlivých částí modelu a použitých stavebních prvků [5].

Úroveň detailu informací (Level of Information – LOI) – je smluvená podrobnost negeometrických, negrafických údajů (technických, cenových, časových apod.) jednotlivých částí modelu a použitých stavebních prvků [5].

Etapa dokumentace (Level of Development – LOD) – je fáze vývoje dokumentace stavby, jedna z BIM metrik sloužící k identifikaci, jaké informace mají být zahrnuty do modelu během procesu projektování a stavby, tedy formulace požadavků na grafickou a informační podrobnost BIM modelu [5].

Úroveň potřeby podrobnosti informací (Level of Information Needed – LOIN) – je novým pojmem, který stanovuje rámec pro specifikace požadované úrovně potřeby a podrobnosti informací. Oproti LOI, LOD, LOG je stanoven komplexně a měl by reflektovat potřeby všech účastníků projektu, tedy i definovat kdy, pro koho a pro jaký účel užití konkrétní informace o stavbách sbírat [5].

NBS National BIM Library (NBS) – je rozsáhlá sbírka generických objektů a konkrétních výrobců, která umožňuje používat BIM objekty v rozsahu celého projektu [5].

Odborná rada pro BIM (organizace CzBIM) – je nezávislou platformou pro popularizaci, propagaci, standardizaci a rozvoj BIM v České republice (ČR) [5].

Česká agentura pro standardizaci (ČAS) – je příspěvková organizace Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Jeden z oborů při ČAS je Odbor Koncepce BIM [15].

Rodiny – jsou to základní prvky pro tvorbu objektů v programu Revit, jsou to parametrické komponenty, které mohou obsahovat různé informace. S využitím parametrů je možno upravovat tvar, rozměry, materiály, cenu výrobku a další vlastnosti [32].

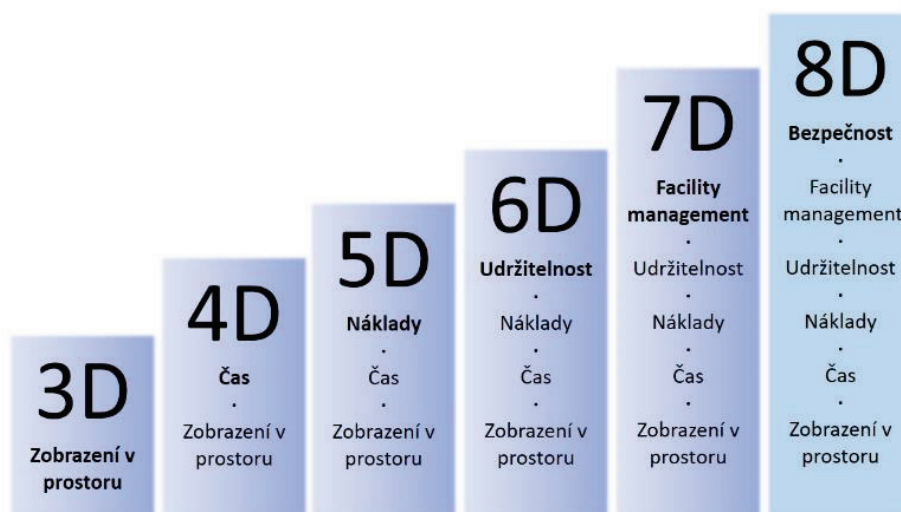
2.2.1. Dimenze BIM

BIM model není pouze 3D model, ale obsahuje i další (n-D) informace o jednotlivých částech modelu (Obrázek 3). Tyto informace následně umožňují analyzovat prvky, sestavy, vztahy mezi nimi a další simulační analýzy (například modelování postupu realizace a doplnění o náklady, což umožňuje generovat průběh čerpání nákladů) [1], [2].

BIM model umožňuje rozšířit zobrazení z klasického 2D na další n-D zobrazení (Tabulka 1) [5].

Tabulka 1: n-D zobrazení – popis parametrů a možného využití

n-D	Parametry
3D	Zobrazení v prostoru: geometrie prvků, dále například materiál prvků, nastavení maximálních rozměrů prvků.
4D	Čas: modely a prvky modelu obsahují parametr čas, takže je umožněno časové plánování výstavby či sledování postupu výstavby.
5D	Náklady: modely a prvky modelu obsahují parametr náklad, jehož účelem je oceňování staveb, sledování nákladů stavby nebo plánování plateb.
6D	Udržitelnost: parametr pro provozování, obsahuje parametry pro následné provozování a vede k celkovému snížení spotřeby energie (lze například hodnotit materiály na základě zabudované energie nebo vázaného uhlíku).
7D	Facility management: obsahuje informace o majetku a umožňuje jeho optimalizaci v celém životním cyklu stavby (stav komponent, specifikace, příručky, záruční lhůty a podobně).
8D	Bezpečnost: parametr zdraví a bezpečného užívání, obsahují informace určené k prevenci nehod.



Obrázek 3: Dimenze BIM do 8D [16]

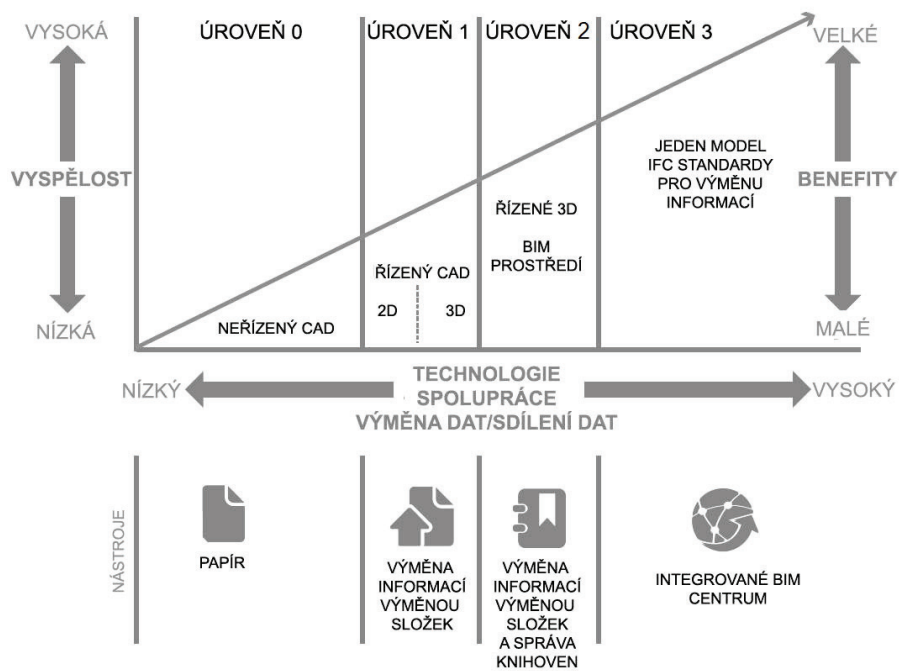
2.3. Nedostatky stavebního procesu a důvod ke změně

Stavebnictví v ČR je obecně jeden z nejméně digitalizovaných oborů průmyslu [12]. Ve stavebním procesu se často vyskytují nedostatky jako je: **nedostatečná komunikace, nedostatečná spolupráce, špatná informovanost či nedostatečná investice do technologií, výzkumu a vývoje**. Tyto nedostatky způsobují malou efektivitu a vyšší využití zdrojů spojené s možnými vyššími výdaji, změnami v dokumentaci stavby a podobně. BIM je jedním z možných způsobů, který může tyto nedostatky eliminovat nebo citelně redukovat.

Důvodem ke změně stavebních procesů je to, že přechodem na BIM nám nestoupá množství informací nebo dat. Stejně množství dat a informací je uloženo centrálně na jednom místě, data a informace jsou správně a jednotně pojmenovaná, strukturovaná a provázaná. Tato digitalizace a centralizace informací a dat následně umožní získat další informace o stavbě, které bychom ve 2D modelu nezískali – jsou to například různé přehledy, filtrace dat, možnost získat informace na jednom místě. Takto vhodně uložená povedou ke správným a podloženým podkladům pro rozhodování v potřebný čas a na potřebném místě.

2.4. Přínosy BIM

Stavebnictví potřebuje tak jako každý jiný obor inovace. Stavební projekty a zejména vodohospodářské se vyznačují dlouhou dobou trvání. Projekty jsou komplexnější, jedinečnější, vyžadují vysoký objem zdrojů a jsou složitější, a to co se týče konstrukce, tak i používaných technologií. Tradiční metody ve stavebnictví (například používání n-D nástrojů) už nevedou ke zvýšené efektivitě. Jednou z možných inovací, která je vhodná pro výše uvedené problémy, je právě využití BIM. Při implementaci vyšších úrovní BIM předpokládáme vysokou efektivitu a vyspělost stavebního procesu (Obrázek 4).



Obrázek 4: Úrovně vyspělosti BIM procesu [3]

2.4.1. Obecné dlouhodobé přínosy používání BIM

Vybrané obecné a dlouhodobé přínosy používání BIM lze shrnout do tabulky (Tabulka 2).

Tabulka 2: Vybrané nejdůležitější dlouhodobé přínosy BIM [3] [31]

Přínos	Příklad
Minimalizace nákladů	V rámci celého cyklu stavby již od návrhu. Jedná se zejména o úsporu nákladů, které lze pomocí BIM nástrojů optimalizovat (konkrétně například pomocí vzájemné koordinace, přesnějších návrhů, ...)
Zlepšení komunikace mezi účastníky stavebního procesu	Všechny potřebné profese mohou být začleněny v jednom modelu při všech fázích projektu.
Zvýšení transparentnosti a zlepšení přístupu k informacím	Při použití vhodných BIM nástrojů mají účastníci stavebního procesu přístup ke vždy aktuální verzi, všechny informace jsou na jednom místě, bez ztrát informací při předávání mezi profesemi a účastníky procesu.
Možnost snadnějšího zpracování variant a rychlejších reakcí na změny projektu, automatizace procesu	V BIM nástrojích pro modelování lze snadno provádět změny (objekty se po změně mění automaticky a ve všech pohledech a s ním i objekty závislé) a v čase se pracuje s jednou verzí, snadné generování potřebných náhledů či výkazů prvků, hmot a povrchů.
Obsahuje více informací	Tudíž dovoluje modelovat a promyslet postup realizace, plánování nákladů, zlepšuje kontrolu stavebního procesu, zlepšuje kvalitu výsledného díla, zefektivňuje ekonomického řízení staveb.
Slouží jako podklady	Digitální dvojče stavby má široké využití pro navrhování, instalaci, provozování a výměnu zařízení; facility management nebo například podklad pro demolici.
Zefektivnění stavebního procesu	Podmínkou je znalost práce s BIM nástroji. Práce s nimi je na začátku časově náročnější vzhledem ke skutečnosti, že je nutné model naplnit informacemi, avšak v pozdějších fázích stavebního procesu tyto informace zefektivní další práci.

2.4.2. Přínosy BIM pro jednotlivé účastníky

Předpokladem pro správné využití BIM je sdružení všech účastníků podílejících se na přípravě, realizaci a provozu stavby. Následující výhody a přínosy (Tabulka 3) jsou převzaty z „Koncepce zavádění metody BIM v České republice“ od Ministerstva průmyslu a obchodu (MPO) [12].

Tabulka 3: Přínosy a využití BIM pro jednotlivé účastníky stavebního procesu

Účastník	Přínos/Využití
Stavebník (Investor)	Možnost kontroly projektu a jeho nákladů ve všech jeho fázích.
	Rychlejší zpracování požadavků a změn.
	Informace zásadní pro rozhodování jsou k dispozici v dřívějších fázích.
	Snadnější komunikace s ostatními účastníky.
	Možnost zlepšit kvalitu staveb díky softwarové validaci parametrů a vlastností použitých stavebních materiálů, konstrukcí a výrobků a jejich souladu s platnými normami.
Projektant / Hlavní projektant (Architekt, Inženýr, Technik)	Snadnější modifikace návrhu na základě požadavků stavebníka, statika atd.
	Snadnější vytváření variant.
	Rychlé vizualizace (není třeba znovu vytvářet 3D model).
	Rychlá odezva od statika k možnostem konstrukce.
	Eliminace rizika konstrukčních kolizí.
	Snadnější komunikace s projektantem nad jedním modelem.
	Snadnější zpracování změn.
Snadnější komunikace se stavebníkem.	
Projektant TZB a technologické části staveb	Snadnější komunikace se stavebníkem.
	Úspora při vytváření analytického modelu.
	Možnost variantního řešení.
	Možnost energetických simulací.
Zhotovitel	Přístup k vždy aktuální dokumentaci.
	Snadnější komunikace s projektanty jednotlivých profesí nad jedním modelem.
	Kontrola dodržování časového a finančního plánu.
	Zmenšení počtu řešení kolizí zjištěných až při provádění stavby.
	Možnost přípravy prefabrikace.
	Snadnější a přehlednější rozpis dodávek a prací realizovaných podzhotoviteli, jejich koordinace a kontrola.
	Zpřesnění objednávání materiálu a tím nižší produkce odpadu.
Facility manager	Aktuální model budovy naplněný informacemi o jednotlivých stavebních výrobcích a prvcích včetně dodavatele a informací o jejich údržbě.
	Jednoduché vykazování stavebních výrobků a prvků atd.
	Možnost rozšíření modelu o specifická data pro FM.
	Zjednodušené rozhodování při provozu, údržbě a změnách dokončené stavby.
Technický a autorský dozor	Kontrola skutečného stavu podle modelu BIM.
	Komunikace s ostatními účastníky.
	Lepší možnost zaznamenání požadavků na úpravy a změny.
	Snížení rizika špatného přenosu informací.
Rozpočtář	Úspora času díky automaticky generovaným podkladům pro vytvoření soupisu stavebních prací, dodávek a služeb, včetně změnových řízení.
	Neustálý přístup k aktuálním informacím – přesnější ocenění.
	Možnost rychlé tvorby nákladových variant pro rozhodování.
	Přehlednější evidence dat pro finanční kontrolu (plán x skutečnost).
	Rychlá klasifikace jednotlivých stavebních prvků díky jejich snazší vizualizaci v modelu.
Veřejná správa	Všechny přínosy, které platí pro stavebníka.

Účastník	Přínos/Využití
	Možnost automatické kontroly souladu návrhu s požadavky závazných předpisů (při použití validátorů modelu).
	Efektivnější využití veřejných finančních prostředků.
	Snížení rizika překročení nákladů u veřejných zakázek na stavební práce.
	Zvýšení transparentnosti stavebních projektů.
	Možnost jednodušší simulace energetické náročnosti stavby a optimalizace energetické účinnosti.
	Možnost propojení různých registrů státní správy souvisejících s výstavbou pro lepší plánování infrastruktury.
	Jednodušší a důvěryhodnější komunikace a prezentace záměrů při veřejných projednáních.
	Podpora rozvoje datové základny národní infrastruktury pro prostorové informace.
Certifikace budovy	Úspora při vytváření analytického modelu.
	Možnost automatické kontroly některých aspektů modelu.
	Jednodušší kvantifikace a efektivnější posuzování některých aspektů konceptu udržitelné výstavby.

2.4.3. Přínosy BIM v jednotlivých fázích stavebního projektu

Již od prvotního záměru až k realizaci, provozu a likvidaci je BIM řešením pro efektivní realizování a řízení stavebních projektů (Tabulka 4) [3].

Tabulka 4: Přínosy a využití BIM pro jednotlivé účastníky v průběhu celého životního cyklu díla [3], [5]

Fáze	Přínos/Využití
Přípravná	Snadné zpracování více variant stavby, což umožní vybrat nejefektivnější variantu návrhu.
	Snadné zpracování připomínek klientských změn: změna se promítne ve všech pohledech. Díky automatické implementaci a koordinaci změn dochází k eliminaci potenciálních chyb.
	Zjištění a předejití potenciálních budoucích konfliktů (objektů, či kolize pracovních činností v čase a prostoru, nedostatek finančních prostředků v určitém časovém okamžiku, koordinace subdodavatelů, nedostatek stavebního materiálu, velikost zařízení a staveniště v čase).
	Transparentnější kontrola projektu ve všech stavebních stupních pro investory.
	Možné pevnostní, energetické a další analýzy.
Realizační	Zobrazení aktuálních informací o postupu stavebních prací, kvalitě, harmonogramu stavby a nákladech.
	Při reálně aktualizované dokumentaci se zpřesňuje kalkulace nákladů a časový harmonogram stavby.
	Stavební podnik má věrohodné podklady a argumenty, pomocí nichž lze lépe zdůvodnit případná navýšení stavebních nákladů a zpoždění.
	Efektivnější koordinace, procesní záležitosti a administrativní činnost vedená na jednom úložišti.
	Celková úspora nákladů vzhledem ke snížení administrativních a režijních nákladů.
	Využití modelu pro simulaci výstavby, obecně kontroly a dodržování časového a finančního plánu.
Provozní	BIM je bezedná kartotéka informací o spravované stavbě, umožňuje snadno dohledávat informace (například lokalizovat objekt).
	BIM zjednodušuje proces zpracování dokumentace pro provoz při předání stavby.
	Umožňuje plánovat změny dispozic a jiné změny, což způsobí možné efektivnější užívání.
	Pomáhá efektivně udržovat dokumentaci spravované stavby ve skutečném stavu provedení.
Likvidační	Na základě BIM podkladů je možné snadno plánovat demolici stavby.

2.4.4. Předpokládaná úspora nákladů za celý životní cyklus stavebního díla při využití BIM

Stavebnictví je jedno z nejméně digitalizovaných odvětví a byly odhaleny systémové problémy ve stavebních procesech. Což vede k nízké efektivitě a následným vyšším finančním rizikům. Roční míra produktivity stavebnictví se za posledních dvacet let zvýšila pouze o 1 % (výrobní průmysl zvýšil produktivitu za posledních dvacet let o 3,6 %) [13].

V Evropské unii tvoří stavebnictví 9 % HDP, zaměstnává 18 milionů lidí, působí v něm 3 miliony podniků. Předpokládá se, že přijetí BIM by do roku 2025 umožnilo úspory 15-25 % na trhu infrastruktury a nemovitostí. I pokud by měla být úspora pouhých 10 %, potom to znamená úsporu v hodnotě 1,3 bilionu EUR na trhu, který má hodnotu 130 miliard EUR [13].

Veřejné zakázky na stavební práce v roce 2015 v České republice činily 118,7 miliard Kč. Za předpokladu, že využití BIM přinese úsporu až 20 %, lze využitím BIM uspořit cca 23,7 miliard Kč ročně [3].

2.5. Nevýhody BIM

BIM a jeho implementace sebou nese také možné nevýhody či jiné překážky pro jeho zavedení. Předpokládá se, že uvedené nevýhody budou v budoucnu ubývat. Příklady nevýhod jsou uvedeny níže [37]:

- Chybějící BIM odborníci.
- Nízké povědomí o BIM v řadách studentů vysokých škol.
- Vysoké celkové náklady pro implementaci BIM (náklady na lidské zdroje, nastavování procesů, účasti na školení, hardwarové a softwarové vybavení, ...).
- Zažití používání 2D dokumentace a neochota nových přístupů.
- Chybějící legislativa (ta se však chystá na následující roky).

2.6. Nástroje

BIM prostředí nelze vytvořit pouze v jednom nástroji, jsou to většinou celé sady nástrojů a postupů, které BIM tvoří. Takových vhodných nástrojů je velké množství. Dají se rozdělit do různých kategorií, například dle toho pro co je využíváme – pro navrhování, pro správu budov, pro ukládání dokumentace a komunikace, pro kontrolu kolizí a podobně.

V následujícím textu budou popsány různé BIM nástroje v kategoriích pro modelování, pro komunikaci mezi účastníky stavebního procesu a další nástroje. Tyto nástroje lze mezi sebou propojovat a vytvářet tak funkční platformu pro celkovou spolupráci.

2.6.1. Nástroje pro modelování DiMS

Ve Spojených státech, ve Skandinávii a směrem na západ od České republiky je nejvíce využívaným softwarem Revit. Zhruba polovina uživatelů v ČR a v Německu užívá Revit a druhá polovina Archicad [31]. Další software určený pro modelování DiMS je uveden v tabulce níže (Tabulka 5). Z každého níže uvedeného software je možné exportovat formát .IFC.

Tabulka 5: Příklady BIM nástrojů pro modelování

Název	Stručné informace
Revit	Revit je dle průzkumu organizace NBS nepoužívanějším softwarem, používá ho 46 % dotázaných firem ve Velké Británii [14]. Revit je leadrem na trhu DiMS nástrojů. [4]
	Výhodou Revitu je spolupráce s dalším balíkem softwarů od Autodesku. V porovnání s největším konkurenčním softwarem Archicad je Revit lepší při tvorbě rodin a možné spolupráci s velkým množstvím rozšíření od Autodesku.
	Revit mimo jiné umožňuje kvalitní spolupráci se strojírenským softwarem Inventor. Příkladem může být to, že se data z Revitu dají využít pro modelování strojírenských částí například vodních elektráren.
Allplan	Software Allplan a Vectorworks Architect jsou softwary vyvíjené skupinou Nemetschek. Využívá je asi 4% firem [14]. Je méně používaný než Revit, nicméně také disponuje balíkem výhod pro projektování v BIM [21]. Vectorworks Architect v ČR není příliš známý.
Bentley, Microstation	Bentley software využívá 4 % firem [14]. Výhodou Bentley je možnost využití mnoha dalších speciálních produktů – příkladem mohou být softwary pro hydrauliku a hydrologii například OpenFlows FLOOD pro modelování posouzení rizika povodní a návrh opatření.
Další	Graphisoft Archicad, Tekla, a další

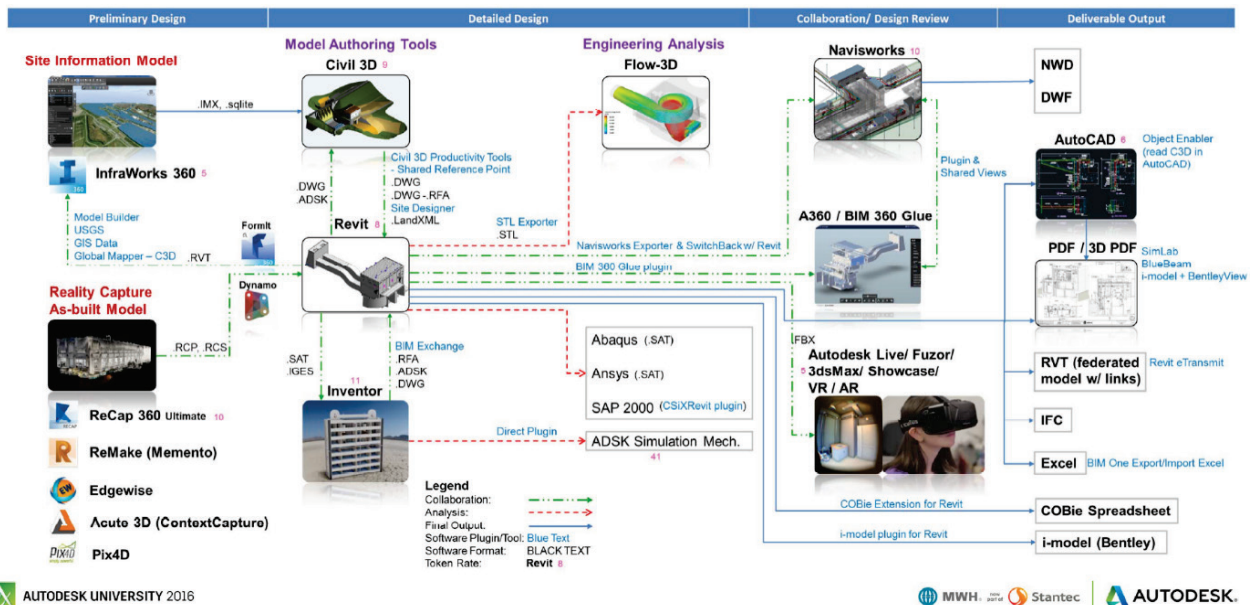
2.6.1.1. Konkrétní vybrané vodohospodářské projekty výše uvedených nástrojů

Následující kapitola uvádí ukázkové vodohospodářské projekty či ukázkové projekty zaměřené na vodohospodářské stavby jako jsou jezy, MVE a další, při jejichž návrhu byl využit jeden ze softwarů uvedených v seznamu (Tabulka 5).

2.6.1.1.1. Revit [23]

Ukázkovým projektem užití Revitu ve vodním hospodářství je workshop od Autodesk University, který na konkrétních příkladech seznamuje s možnostmi využití výhod kolaborujících softwarů nejenom od společnosti od Autodesk (Obrázek 5). Konkrétně se jedná o možnost spolupráce a koordinace mezi různými profesemi, využitelnými při návrhu vodní elektrárny.

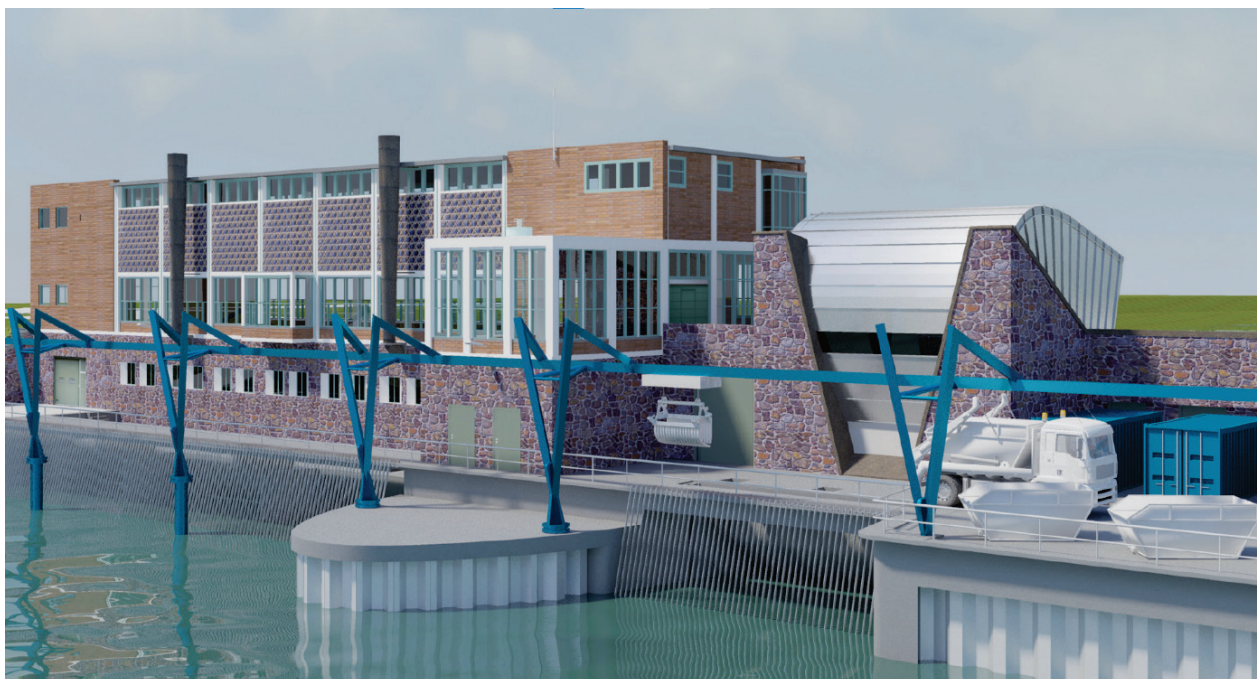
Software Autodesk InfraWorks 360 umožňuje integraci GIS dat a tvorbu digitálního modelu terénu, do kterého pak snadno vložíme návrhový model stavby již vytvořený v Revitu. Mimo jiné je možné v InfraWorks 360 společně se softwarem Hydronia (RiverFlow2D) simulovat a vizualizovat povodňové stavy ve 2D. Model terénu je možné zpřesnit pomocí integrace mračna bodů. Data z Infraworks lze importovat do programu AutoCAD Civil 3D. Dále je přidanou hodnotou možná spolupráce strojírenskými softwary jako je Inventor pro tvorbu strojírenských částí, jako jsou například uzavírací stavidla. BIM model nebo jeho část lze z Revitu importovat do softwaru ANSYS pomocí dat formátu .SAT pro kontrolu působení sil. BIM model lze importovat do Flow3D pomocí formátu .STL pro simulaci a výpočet proudění vody. Mimo jiné lze použít Navisworks pro detekci kolizí.



Obrázek 5: Diagram intergace BIM pro hydroenergetické dílo, návrhová fáze [23]

2.6.1.1.2. Allplan [24]

Allplan byl využit například při návrhu čerpací stanice Katwijk v Nizozemsku (Obrázek 6). Konkrétní přidanou hodnotou byla možnost exportu modelu do softwaru Scia Engineering na posouzení statiky, reálně tato možnost využita nebyla. BIM model byl využit na průběžnou kontrolu nákladů. Dále byl využit na výpočet množství nutného materiálu a také pro minimalizaci chyb, které vznikají při tradičních přístupech bez použití BIM.



Obrázek 6: BIM model čerpací stanice Katwijk v Nizozemsku [24]

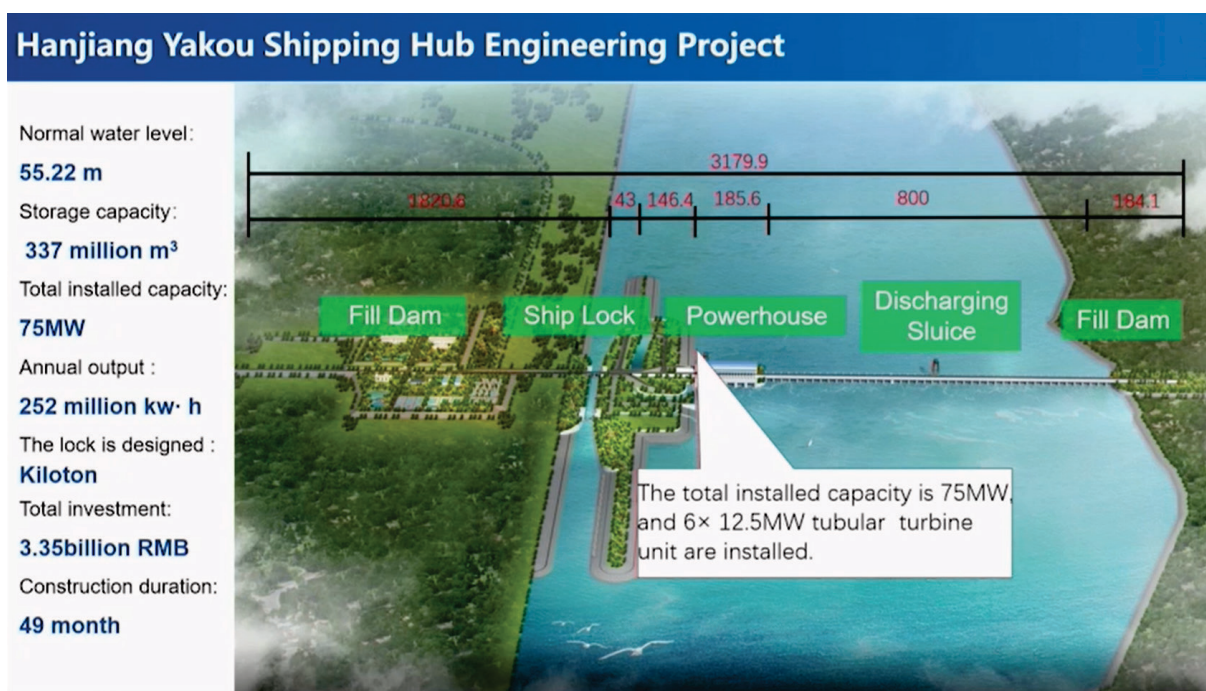
2.6.1.1.3. Bentley [25]

Bentley byl využit pro rekonstrukci dopravního centra Hunan Hydro & Power Design Institute (Obrázek 7). Projekt ve výši asi 11 miliard Kč zahrnuje plavební komoru, elektrárnu, stavidla jako hradící prvky, rybí přechod a ochrannou hráz.

Tým 32 projektantů byl řízen pomocí BIM. Byly využity BIM nástroje pro návrh a pro spolupráci bylo využito společné datové online prostředí CDE. Konkrétně byl vygenerován DMT, byly provedeny výpočty zemních prací, dále bylo kompletně vymodelováno digitální dvojče stavby včetně elektrotechnických řešení a bylo vymodelováno projektové řešení pro simulaci stavby a správu stavby po celou dobu životního cyklu.

Konkrétní využití softwarů byly od společnosti Bentley. OpenRoads a Power Civil byly využity pro vytvoření plánu zemních prací, Bentley Substation, Bentley Raceway a Cable Management pro návrh a rozložení elektrického zařízení. Dále byl v OpenBuildings Designer vytvořen celkový 3D model, který eliminoval nedostatek materiálu a chyby při výstavbě na místě. Dále software ProjectWise umožnil komunikace mezi zúčastněnými stranami. A v neposlední řadě byl využit LumenRT, ve kterém bylo vytvořeno schéma krajinného designu. Mimo jiné byl dále použit software Microstation, Navigator, OpenPlant, ProStructures a STAAD.

Výstupy z projektu tvrdí, že při použití BIM byla zlepšena přesnost návrhu o 17 % a také se zvýšila efektivita o 50 %. Návrh byl dokončen o 45 dní před původním termínem. BIM pomohl snížení kolizí, a to konkrétně napomohl k vyhnutí se více než 90 potenciálním kolizím. Dále bylo vypočteno, že kvůli kratší době výstavby (o 3 měsíce) bylo ušetřeno v přepočtu téměř 100 milionů Kč. Další výhodou uvádí poskytování vizualizací, které výrazně zlepšují komunikaci se zúčastněnými stranami projektu a zjednodušují porozumění záměru návrhu.



Obrázek 7: Komplexní projekt Hanjiang Yakou obsahující přehradní těleso, plavební komoru, vodní elektrárnu a jezovou část s hradícími prvky [25]

2.6.2. Nástroje pro efektivní spolupráci mezi účastníky stavebního procesu

Nástroje pro efektivní spolupráci mezi účastníky stavebního procesu propojují jednotlivé týmy lidí ve stavebnictví tak, aby na jednom místě a v reálném čase měli aktuální informace o projektu [22]. Konkrétně

se dají rozdělit na nástroje, které obecně nejsou vytvořeny pro stavební proces mezi něž patří například využití FTP serverů, Microsoft 365 nebo Google Workspace a druhou skupinou jsou nástroje explicitně vytvořené pro stavební proces – společné datové prostředí (CDE) (Tabulka 6).

CDE je centrálním uložištěm informací, do kterého mají přístup všichni účastníci stavebního projektu a koordinuje se pomocí něho spolupráce na projektu mezi různými dodavateli, a umožňuje efektivně sdílet, komunikovat, schvalovat a řídit BIM projekty. Vzhledem k tomu, že společné datové prostředí je jedním z pilířů metody BIM, je zásadní správný výběr nástroje pro CDE. Jednou z možností vhodného výběru CDE je webová stránka spravovaná Odbornou radou pro BIM v ČR – <https://najdicde.cz/>.

Tabulka 6: Nástroje pro efektivní spolupráci mezi účastníky stavebního procesu

Typ nástrojů	Nástroj
Řešení CDE (dle najdicde.cz)	Trimble Connect
	Dalux Build
	BIM 360 Family
	ProjectWise 365
	Asite
Nástroje pro správu, spojující týmy lidí ve stavebnictví	Autodesk BIM 360
	Bentley ProjectWise
	Allplan Bimplus
	Procore
	PlanGrid
Nástroje pro sdílení, koordinaci, analýzu, detekci kolizí	Autodesk Navisworks, BIM 360 Glue, BIM 360 Field
	Tekla BIMSight
	BIMReview
	Solibri Model Checker
	Allplan BCM
	Solibri Model Checker
Nástroje pro prohlížení .IFC formátu	Autodesk Viewer
	BIM Vision
	Bentley Viewer

2.6.3. Další nástroje

Další vybrané nástroje kompatibilní s BIM (Tabulka 7) fungují samostatně a rozšiřují možnosti využití BIM [T]. Jedná se jak o nástroje, do kterých lze importovat vytvořené modely a provést v nich další návrhy – například proudění kapalin, rozlivy povodní či kontrolu statiky modelu. Dále byly vybrány softwary vhodné pro projektování určitých vodních staveb a infrastruktury, které by bylo za jiných okolností neefektivní modelovat v BIM nástrojích uvedených v dřívější kapitole 2.6.1. V následujícím souhrnu byly vybrány pouze některé nástroje, které byly využity pro vodohospodářské stavby. Existuje řada dalších softwarů vhodných pro další profese (například technické zařízení budov (TZB) či správu budov), které však u pilotních vodohospodářských projektů uvedeny nebyly.

Tabulka 7: Další vybrané nástroje kompatibilní s BIM

Typ nástrojů	Nástroj
Nástroje vhodné pro projektanty vodních staveb a infrastruktury	Civil 3D
	Infracore
	OpenRoads
	Power Civil
Nástroje, do kterých lze importovat BIM modely pro výpočet statiky	ANSYS
	Scia Engineering
	STAAD
	ProStructures
	Autodesk Revit Structure
Nástroje, které lze využít pro 2D či 3D modelování kapalin	Aquaterra
	Flow3D
	Hydronia (RiverFlow2D)
Nástroje pro správu budov	Allplan Allfa
	ARCHIBUS
	ArchiFM
Nástroje pro vizualizace	Lumion
	Twinmotion
	Enscape

2.7. Knihovny objektů

Kromě objektů již načtených v BIM nástroji pro navrhování (v Revitu se jedná o systémové rodiny), je v projektech často třeba i jiných objektů, které se v projektu nenachází. V tom případě existují dvě možnosti – objekt si lze v nástroji přímo vytvořit, nebo je možné objekt získat z internetové databáze a do projektu jej načíst. Vzhledem k nízkému počtu vodo hospodářských projektů projektovaných v BIM byly dále vybrány knihovny, které obsahují objekty vhodné pro import do uvedených nástrojů BIM pro navrhování (Tabulka 8).

Tabulka 8: Vybrané knihovny objektů a produktů pro BIM nástroje pro navrhování

Název	Stručné informace
BIM PROJECT (také Národní BIM Knihovna)	Nástavba pro ArchiCAD, Revit a Allplan obsahující katalog založený na výrobcích produktů.
BIM OBJECT	Vedoucí světová platforma pro obsah BIM, jedná se o online katalog BIM objektů.
BIM Tech	Nástavba pro ArchiCAD, Revit, AutoCAD, Allplan pro import katastrálních map. Dále obsahuje katalogy materiálů, konstrukcí od českých společností (výrobců).
Cadforum.cz	Webová stránka obsahující BIM objekty.

2.8. Přehled publikací a konferencí zabývajících se BIM

Kapitola obsahuje seznam výběru konferencí, vybraných publikací, vybraných webových portálů a seznam BIM norem a příruček aktuálních k roku 2021.

2.8.1. BIM konference

Níže (Tabulka 9) je uveden výběr hlavních BIM konferencí, které se v blízké době konaly či konají v ČR.

Tabulka 9: Výběr BIM konferencí v České republice

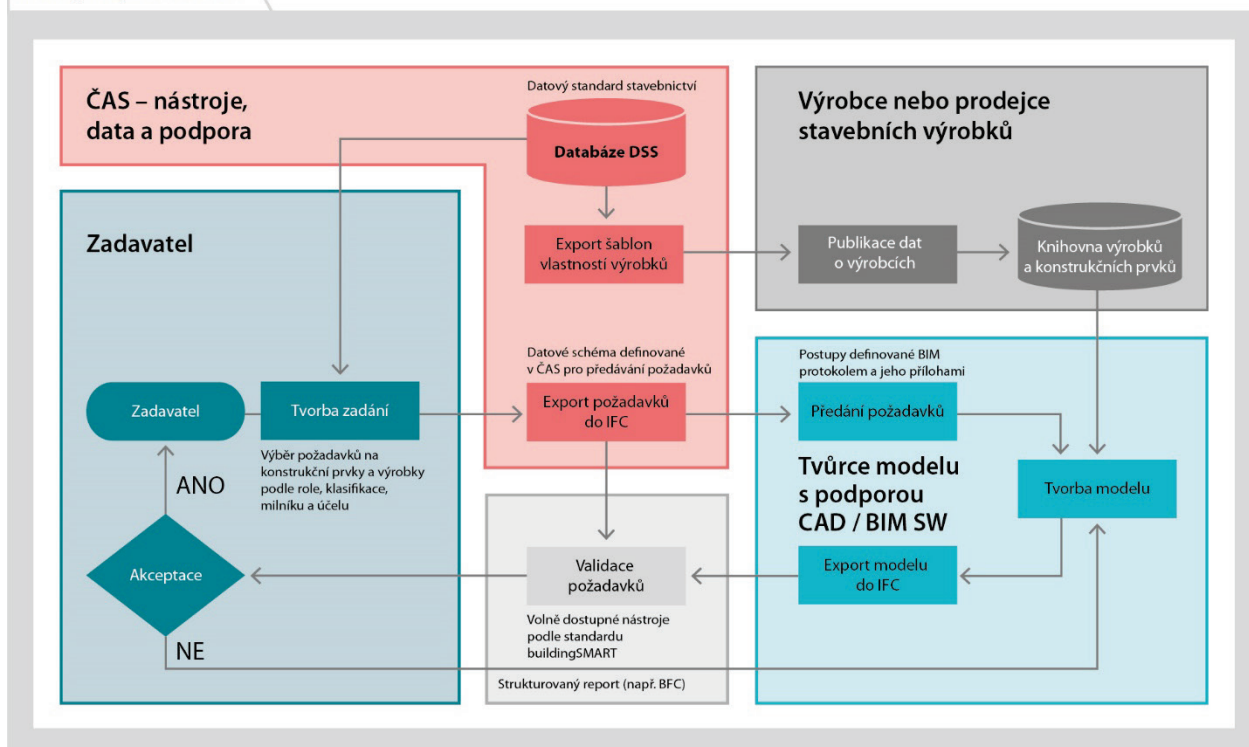
Název	Stručné informace
BIM Open	Koná se každý rok.
	Pořadatel Adeon.
	Je určena pro projektanty pozemních a liniových staveb, architektky a manažery stavebních firem, ale i odbornou veřejnost – za účelem výměny praktických zkušeností.
CADforum	Koná se každý rok.
	Pořadatel Arkance Systems (CAD Studio) a Autodesk.
	Je to konference pro výměnu praktických zkušeností v oboru strojírenství a ve stavebnictví – v roce 2021 s tématem využívání BIM technologií. Je určena pro odbornou veřejnost.
BIM ve stavebnictví	Koná se každý rok.
	Hlavní organizátor je Nadace pro rozvoj architektury a stavitelství ve spolupráci s MPO společně s odborem Koncepce BIM České agentury pro standardizaci (ČAS) a dalšími institucemi.
	Koná se každý rok. Konference je určena pro projektanty, architektky, stavebníky, stavební dodavatele, výrobce stavebních hmot a výrobků, úředníky dotčených orgánů a organizací státní správy, facility managery a odborné pedagogy, developery, zástupce samospráv, akademiky i studenty středních, vyšších odborných a vysokých škol.
Summit Koncepce BIM	Je setkání zástupců vlád a státní správy řady evropských zemí i Česka.
BIM DAY	Koná se každý rok.
	Pořadatel czBIM
	Na konferenci se setkávají odborníci věnující se nejen tématům digitalizace, BIM a stavebnictví u nás.

2.9. Datová struktura, standardy, klasifikační systémy

Datový standard ve stavebnictví je jednotný jazyk v zavádění BIM, tak aby byla data o stavbě strojově čitelná a použitelná pro všechny účastníky stavebního procesu. Jednotný formát a struktura jsou nutné pro efektivní komunikaci a spolupráci účastníků stavebního procesu, ale také nástrojů používaných ve stavebnictví [6]. Tyto datové standardy budou připraveny společně s připravovaným Zákonem o BIM a připravuje je agentura ČAS – veškeré doposud vydané dokumenty jsou k dispozici na webové stránce <https://www.koncepcbim.cz/dokumenty> [15].

Datový standard staveb (DSS) definuje strukturu dat tak, aby bylo jasné, jaké informace a kde se nacházejí a stanovuje pravidla, jak s daty uvnitř DiMS zacházet. DSS umožňuje využívat datové šablony, což jsou definované sady informací potřebné v daném okamžiku životního cyklu stavby. Při této skutečnosti existuje nutnost, aby data ve struktuře byla popsána jednotným jazykem – tzv. klasifikačním systémem (KS). V ČR zatím existuje více KS, a není určen ten, který se bude výhradně využívat. Na stránkách ČAS je uvedena rešerše KS (<https://www.koncepcbim.cz/dokumenty?z=312>) [15].

Níže je uvedena koncepce využívání DSS zadavateli, výrobci či prodejci stavebních výrobků a projektant (Obrázek 8).



Obrázek 8: Koncepce využívání datového standardu staveb

2.9.1. Vybrané české webové portály zabývající se BIM

Uvedené webové stránky jsou klíčové zdroje informací o BIM v České republice (Tabulka 10).

Tabulka 10: Vybrané české webové portály zabývající se BIM

Webová stránka	Název
www.koncepcebim.cz	Koncepce zavádění metody BIM v České republice
www.cegra.cz	Centrum pro podporu počítačové grafiky ČR s.r.o.
www.bimfo.cz	BIM info
www.czbim.org	czBIM
www.tzb-info.cz	tzb-info
www.cad.cz	CAD
www.cadforum.cz	CADforum

2.9.2. Vybrané BIM příručky, publikace a dokumenty

Níže v tabulkách (Tabulka 11, Tabulka 12) jsou uvedené vybrané zásadní publikace, příručky a jiné dokumenty z oblasti BIM a to z České republiky a ze zahraničí.

Tabulka 11: Vybrané české a slovenské BIM příručky, publikace a dokumenty

Název	Rok vydání
Základy implementace BIM na českém stavebním trhu	2012
BIM Příručka	2013
Příručka pro zavádění informačního modelování staveb evropským veřejným sektorem	2016
BIM příručka pro investory	2018
BIM Building Information Modeling	2018
BIM pro veřejné zadavatele	2018
Příručka pro aplikaci ČSN EN ISO 19650	2020
BIM Protokol – Pravidla pro tvorbu, předání a užívání informačního modelu	2021

Tabulka 12: Vybrané zahraniční BIM publikace

Název	Rok vydání
BIM Demystified – Second Edition	2014
BIM in Principle and in Practice, Second Edition	2015
The BIM Manager's Handbook: Guidance for Professionals in Architecture, Engineering, and Construction	2016
A Practical Guide to Adopting BIM in Construction Projects	2016

2.9.3. BIM normy

Aktuální standardy a normy BIM v ČR i v zahraničí jsou k nalezení na webové stránce <https://csnonline.agentura-cas.cz/vyhledavani.aspx> pod třídícím znakem 7301.

3. Koncepce zavádění BIM

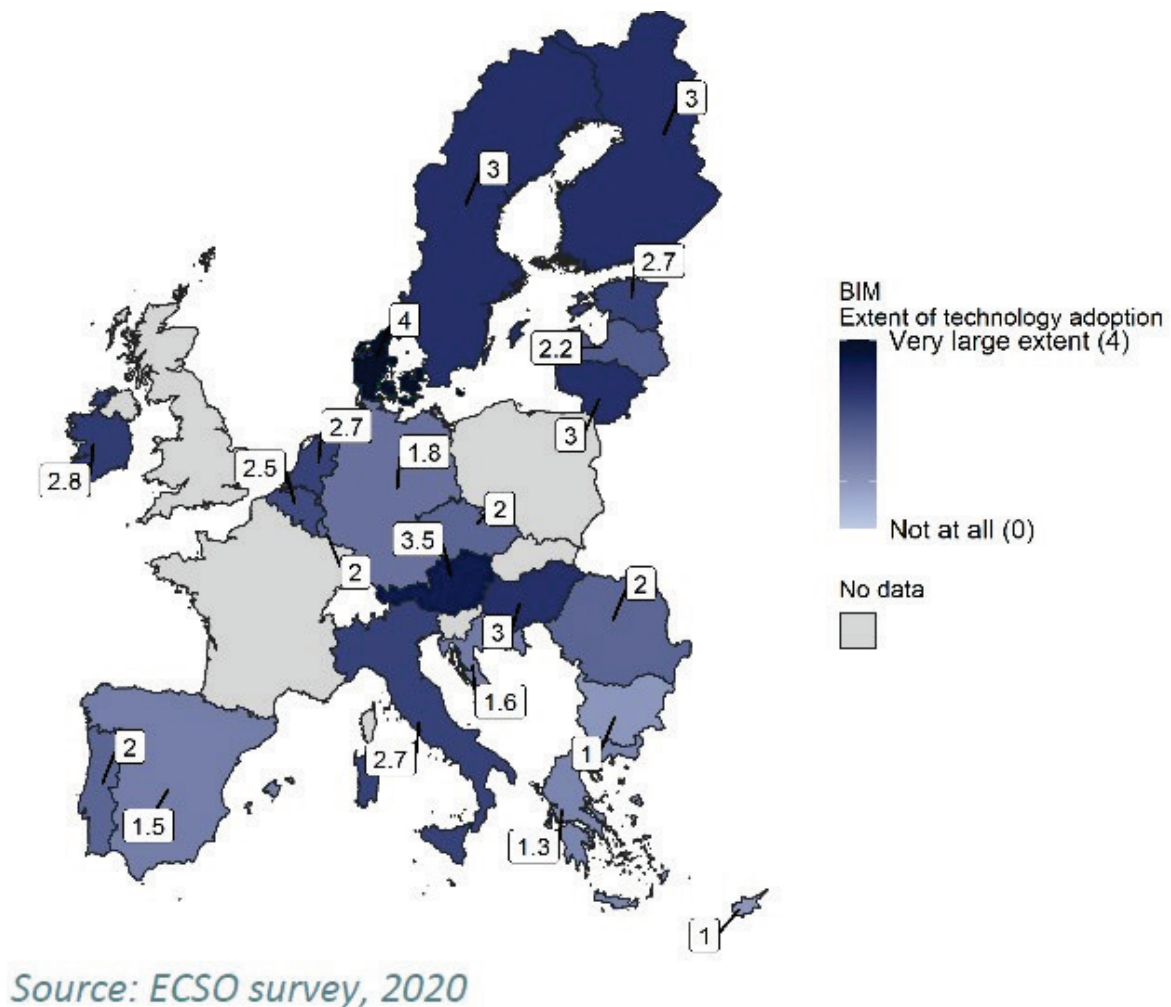
„Stavebnictví je strategicky důležité odvětví pro hospodářství České republiky, co se týče produkce, vytváření pracovních míst a výstavby i údržby veřejného prostranství. Jde nicméně o jedno z nejméně digitalizovaných odvětví se stagnující mírou produktivity práce.“ [12]

V procesu výstavby se vyskytují nedostatky viz kapitola 2.3. BIM je jedním z možných způsobů, který může tyto nedostatky eliminovat. A proto vláda ČR podpořila zavádění metody BIM v usnesení vlády č. 958 (o významu metody BIM (Building Information Modelling) pro stavební praxi v České republice a návrh dalšího postupu pro její zavedení, ze dne 2. listopadu 2016) [10], aby tak podpořila růst ekonomiky, konkurenceschopnosti ČR a „digitalizaci“ stavebnictví. Na základě usnesení byla zpracována Koncepce zavádění BIM, která byla 25. září 2017 schválena vládou usnesením č. 682 [11]. Koncepce je strategickým materiálem určujícím směřování ČR v oblasti BIM a souvisejících témat v horizontu 10 let (do roku 2027).

Na základě usnesení vlády České republiky č. 682 [11] musí veřejní zadavatelé zadávat a řídit nadlimitní zakázky pomocí metody BIM. Finančním limitem pro určení nadlimitní veřejné zakázky na stavební práce je hodnota 149 224 000 Kč na základě nařízení vlády, kterým se mění nařízení vlády č. 172/2016 Sb. ze dne 22. prosince 2017, o stanovení finančních limitů a částek pro účely zákona o zadávání veřejných zakázek.

Uložení povinnosti použití BIM pro nadlimitní veřejné zakázky na stavební práce, financované z veřejných rozpočtů (včetně zhotovení jejich přípravné a projektové dokumentace a se zohledněním závěrů z vyhodnocení pilotních projektů a s přihlédnutím ke specifikům jednotlivých druhů staveb) dojde dle [aktualizovaného harmonogramu plnění Koncepce](#) v prosinci 2022 s postupnou účinností do 1. 7. 2023.

Již v roce 2014 Evropská unie uznala užitečnost BIM pro veřejný sektor a to směrnicí 2014/24/EU o zadávání veřejných zakázek umožnila zadavatelům v celé Evropě, aby mohli při zadávání veřejných zakázek požadovat použití BIM [12]. Aktuální stav implementace BIM v Evropské unii je zobrazen níže (Obrázek 9). Statistika vydaná Evropskou komisí [19] dokládá míru používání BIM ve stavebních firmách na 29 % a 61 % nikdy BIM nepoužívalo. Dánsko a Nizozemsko jsou jediné dva státy, které mají veřejně platné BIM standardy. Mnoho států má pak na zadávání veřejných zakázek požadavky vztažené k projektům s určitými prahovými hodnotami, rozsahem nebo typem staveb (v ČR například veřejná nadlimitní zakázka na stavební práce) [19].



Obrázek 9: Implementace BIM v členských státech EU [19]

Povinnost vytvořit Konceptci byla uložena MPO za podpory ostatních ministerstev. Na vlastním zpracování koncepce se podílí zejména Ministerstvo dopravy (MD), Státní fond dopravní infrastruktury (SFDI), odborná rada pro BIM – CzBIM, a dále skupina zainteresovaných stran zastoupených v Meziřesortní expertní skupině pro BIM (PS BIM).

Odborným partnerem MPO pro zavádění BIM je Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, který tuto činnost vykonává prostřednictvím ČAS. Hlavním úkolem ČAS je realizace úkolů a opatření vyplývajících z dokumentu Konceptce zavádění metody BIM v ČR. Hlavní komunikační platformou související s Konceptcí zavádění BIM je portál www.koncepceBIM.cz, který je spravován agenturou ČAS.

3.1. Zavádění BIM v ČR

Dle výzkumu společnosti Foresite [20] z 2021, kterého se účastnilo 163 zástupců z projekčních společností (1 zástupce za společnost) z různých oblastí i včetně oblasti projektování vodních cest, jezů a hrází:

- používá proces BIM ve svých projektech více než 50 % projekčních společností v ČR a další 17 % je plánuje brzy implementovat,
- BIM je využívají BIM společnosti zaměřené prioritně na projektování budov než ty, které projektují primárně ostatní infrastrukturu.

3.1.1. Události při zavádění BIM v ČR a harmonogram opatření

Přehled událostí při zavádění BIM v ČR je uveden níže (Tabulka 13) [17], [29].

Tabulka 13: Události při zavádění BIM v ČR

Rok	Událost
2015	Rada czBIM.
2016	Vytvoření úlohy zpracovat koncepci zavádění metody BIM v ČR na základě usnesení vlády č.958 [10].
	Vláda ČR oficiálně jmenovala MPO gestorem pro zavádění BIM do praxe v ČR.
	20 % staveb se hlásí k BIM.
2017	Vytvoření Koncepce zavádění metody BIM v České republice platná 2022-2027.
	Koncepce zavádění metody BIM v ČR schválena Vládou ČR usnesením č. 682 z 25. 9. [11]
	Vydaná příručka pro zavádění informačního modelování staveb (BIM) evropským veřejným sektorem.
2018	Počátek činnosti odboru Koncepce BIM (Česká agentura pro standardizaci ČAS).
	Spuštění portálu Koncepce BIM.
	Ustanovení ČAS.
	Vyhlášení IFC formátu jako celostátně podporovaného pro BIM model.
2019	Vytvoření standardu rozsahu LOI a LOD pro fáze tvorby dokumentace stavby.
	Stanovisko k využití formátu IFC jako požadovaného otevřeného datového formátu pro výměnu informací o stavbách při informačním modelování staveb (BIM).
	Vytvoření databáze pro požadované vlastnosti stavebních výrobků.
	Zahájení projektu digitalizace stavebního řízení a územního plánování.
2020	Tvorba standardizované metodiky použití BIM v organizacích.
	Vytvoření metodiky BIM pro postup při zadávání veřejných zakázek.
2021	Promítnutí změn související legislativy v rámci zavádění metody BIM.
	Sledujeme uplatnění BIM v praxi.
	Vláda schválila aktualizaci harmonogramu Koncepce zavádění metody BIM v ČR a vzala na vědomí informaci o jejím plnění.
	Definování DSS.
	Vydána příručka pro aplikaci ČSN EN ISO 19650 (Příručka se věnuje úplným základům, bodům, které si každý, kdo chce začít využívat BIM a postupovat podle doporučených pravidel, musí zvážit a připravit.).
V platnost vešel nový Stavební zákon.	
2022	Uložení povinnosti použití BIM pro nadlimitní VZ na stavební práce.
	Summit Koncepce BIM.
2023	Zákon o informačním modelu, informačním a digitálním modelování (Zákon o BIM).
	Nabytí účinnosti nového stavebního zákona.

Obsahem Koncepce zavádění metody BIM v ČR je mimo jiné oficiální plán postupného zavádění BIM v ČR. Je dostupný v dokumentu [Koncepce zavádění metody BIM v ČR](#) a v roce 2020 byl vydán dokument s názvem [Informace o plnění Koncepce zavádění metody BIM v České republice](#). Tento plán byl aktualizován v roce 2021 usnesením vlády č. 41.

3.1.2. Statistiky vodohospodářských projektů

Od 1. 7. 2023 bude uložena povinnost pro nadlimitní veřejné zakázky využít BIM. Níže jsou uvedeny vybrané aktuální nadlimitní veřejné vodohospodářské projekty a jejich základní údaje, pro které by bylo možné využít BIM. Zdrojem informací jsou databáze zakázek některých ministerstev:

- [Ministerstvo zemědělství](#).
- [Ministerstvo dopravy – Ředitelství vodních cest](#).

Vybrané nadlimitní veřejné zakázky aktuální k roku 2022

- Zakázka [Vlára, Vodní dílo \(VD\) Vlachovice – dokumentace pro povolení stavby](#) včetně souvisejících činností, průzkumných prací a dokumentace EIA. Zakázka je otevřená pro příjem nabídek do 25. 2. 2022 a zadavatelem je Povodí Moravy. Zakázka má předpokládanou hodnotu: 169 500 000 Kč a je ideální zakázkou pro využití BIM od brzkého stupně dokumentace.
- Zakázka [VD Harcov, a jeho zajištění bezpečnosti za povodní](#). Je otevřená pro příjem nabídek do 19. 1. 2022 a zadavatelem je Povodí Labe. Zakázka má předpokládanou hodnotu 428 852 432 Kč. Jedná se o stavební úpravu stávajícího díla.
- Zakázka [VD Lipno I. – přístav](#). Je otevřená pro příjem nabídek do 31. 1. 2022 a zadavatelem je Povodí Vltavy. Zakázka má předpokládanou hodnotu 169 600 000 Kč a jedná se o stavební práce.
- Zakázka [Prodloužení splavnosti vodní cesty Otrokovice – Rohatec](#). Projekt byl zahájen a dokončení stavby je plánováno do října roku 2023 a zadavatelem je ŘVC. Finanční prostředky jsou alokovány v hodnotě 230 000 000 Kč.

3.2. Specifika zavádění BIM pro vodohospodářské stavby a dopravní stavby

Koncepce zavádění metody BIM v ČR specifikuje využití BIM pro dopravní stavby a další druhy infrastrukturních a speciálních staveb.

3.2.1. Dopravní stavby

Do působnosti ŘVC spadají povinnosti s výstavbou, opravami a údržbou dopravní infrastruktury (vodních cest). Dopravní stavby mají obecně větší rozsah majetku, a navíc je převážně ve vlastnictví státu a územních samospráv, další charakteristikou je prostorové umístění a potřeba modelů spravovat je jako geografická data, na rozdíl od jednodušších bodových pozemních staveb.

3.2.2. Vodohospodářské stavby

Metoda BIM bude uplatněna i u vybraných vodohospodářských staveb, a to zejména na takové, které mají podobný charakter jako stavby pozemní nebo dopravní. Jde o stavby bodové, v menší míře i liniové, jejichž charakteristiky se v čase nemění v závislosti na přírodních poměrech anebo se mění řízeně:

- Přehradní hráze.
- Velké jezy.
- Velké vodní nádrže.
- Plavební komory (PK).
- Vodní elektrárny (VE).
- Čistírny odpadních vod (ČOV).

- Komplexní protipovodňová opatření (PPO).
- Shybky.
- Významné úpravy vodních toků atd.

Dále existují druhy vodohospodářských staveb, které jsou konstrukčně jednoduché, jsou ovlivňovány přírodními vlivy jako je sedimentace či vliv proudící vody, a jsou proto nepředvídatelně tvarově a funkčně nestálé. I přes to, že se často jedná o stavby konstrukčně jednoduché a finančně náročné, tak se vytváření DiMS modelů nemusí vyplatit, protože model by neobsahoval dostatečné množství informací:

- Běžná úprava vodních toků.
- Opevnění koryt.
- Jednoduché protipovodňové hráze.
- Rybníky a malé vodní nádrže.
- Drobné objekty na vodních tocích (např. limnigrafy, měrné profily, příčné prahy, šterkové přehrážky, skluzy, rybí přechody atd.).
- Další činnosti (např. revitalizace toků, těžba nánosů, vegetační opevnění, a oprava a údržby výše uvedených bodů).

Z výše uvedených seznamů plyne fakt, že pro využívání metody BIM je nutné zohlednit druh stavby. Tato skutečnost bude ohodnocena v rámci hodnocení pilotních projektů. Povinné používání BIM v rámci veřejných zakázek pak bude upřesněno dle závěrů s přihlédnutím ke specifikům jednotlivých druhů staveb. Důležitou proměnnou zde bude i stupeň podrobnosti BIM pro jednotlivé typy staveb.

3.2.3. Pilotní projekty z oblasti dopravních a vodohospodářských staveb

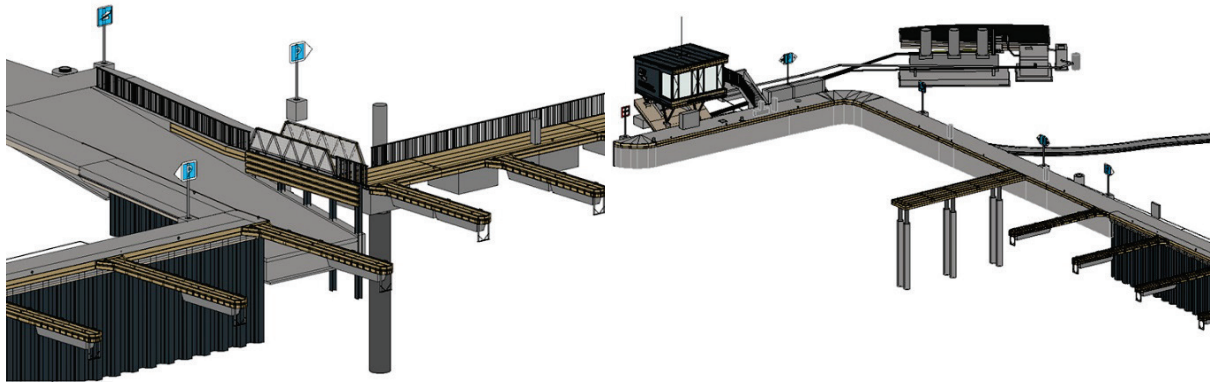
Původní harmonogram plnění koncepce předpokládal ukončení pilotních projektů v roce 2020. Nicméně pilotní projekty probíhají a budou probíhat v průběhu celého řešení koncepce. Na základě nich budou MPO a ČAS vydávat metodiky pomocí pilotních projektů ověřovat jejich funkčnost.

3.2.3.1. Ministerstvo dopravy

MD realizuje pilotní programy v rámci podřízených organizací – v případě vodního hospodářství je jím Ředitelství vodních cest (ŘVC). ŘVC se aktuálně věnuje pilotnímu projektu, kterým je Aktualizace BIM modelu dle skutečného provedení stavby: Rekreační přístav Veselí nad Moravou [18].

Rekreační přístav Veselí nad Moravou aktualizace BIM modelu dle skutečného provedení stavby [26]

Účelem stavby bylo vybudovat plnohodnotný rekreační přístav, který bude součástí veřejné sítě přístavů na Baťově kanále (Obrázek 10 **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**, Obrázek 11). Jednalo se o vůbec první případ využití BIM u vodohospodářských dopravních staveb. BIM model byl využit jak při dokumentaci pro výběr zhotovitele, tak zejména v průběhu výstavby. Byla vytvořena realizační dokumentace včetně informací o rozpočtu a harmonogramu prací pro potřeby fakturací a sledování stavby objednatel. Nakonec byl BIM model aktualizován dle skutečného provedení stavby pro správu a údržbu (facility management).



Obrázek 10: Ukázka BIM modelu rekreačního přístavu Veselí nad Moravou [26]



Obrázek 11: Ukázka rekreačního přístavu Veselí nad Moravou (vlevo servisní centrum, vpravo celkový pohled) [26]

3.2.3.2. Ministerstvo zemědělství

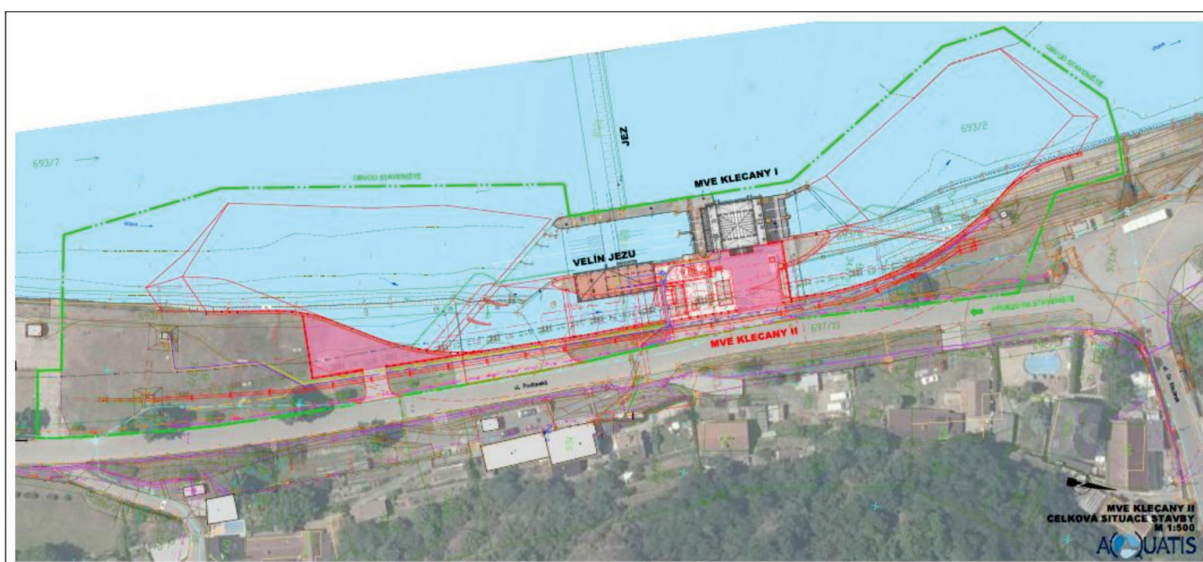
Státní podniky Povodí ustanovily pracovní skupinu BIM. Každý podnik má za úkol připravit samostatně projekt, přičemž obsah a náplň jednotlivých projektů budou vzájemně koordinovány, a to státním podnikem Povodí Vltavy. Aktuální stav plánu ve vybraných povodích (stav 01/2022):

- **Povodí Vltavy:**
 - Již zahájilo tvorbu BIM strategie.
 - Dokončuje zadávací řízení na zpracovatele dokumentace pro stavební povolení a dokumentace pro výběr zhotovitele akce MVE Klecany II.
- **Povodí Moravy:**
 - Předpokládá využití metody BIM v rámci investiční akce Rekreační přístav Napajedla – Pahrbek.
- **Obor vodovodů a kanalizací MZ** využívá metodu BIM při plánování, zadávání veřejných zakázek, realizaci a návazném provozu velkých staveb, mezi které patří i výstavba nové vodní linky ÚČOV Praha.
- **Sdružení oboru vodovodů a kanalizací ČR, z.s. (SOVAK ČR)** bude podporovat postupné zavádění metody BIM do standardů výstavby staveb vodovodů a kanalizací v rámci normalizačních úkolů pro objektové stavební normy oboru.

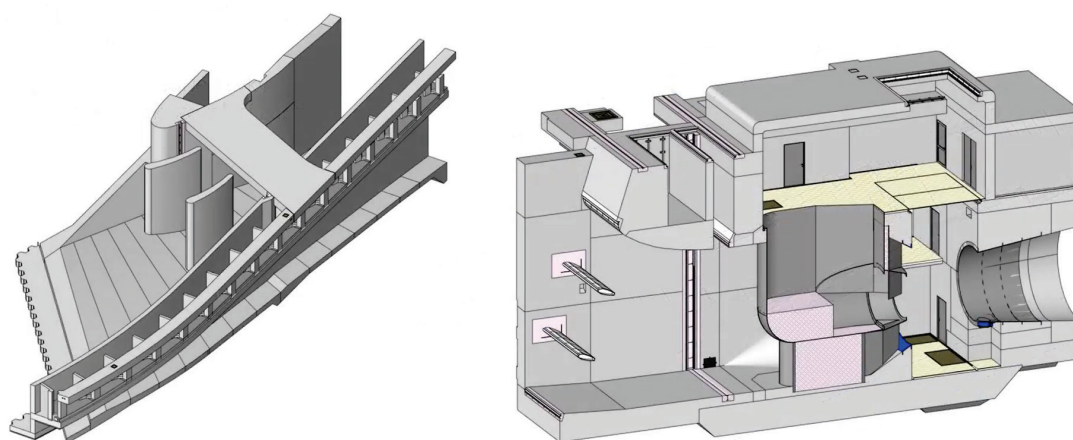
3.2.3.2.1. MVE Klecany II (Povodí Vltavy) [27]

Veřejná zakázka MVE Klecany byla zadána a vysoutěžena brněnskou firmou AQUATIS. MVE Klecany II je rozšířením stávající MVE (Obrázek 12, Obrázek 13, Obrázek 14). Předpokládá využití jednoho soustrojí přímoproudé Kaplanovy turbíny a bude umístěna na pravém břehu Vltavy. Zakázka je vypsána na vytvoření projektové dokumentace pro stavební povolení (DSP), projektové dokumentace pro výběr zhotovitele (DVZ) a autorský dozor (AD). Hlavním předmětem zadávací dokumentace je vytvoření projektové dokumentace formou modelu BIM a související náležitosti jako zpracování BEP a vytvoření a správa CDE [30].

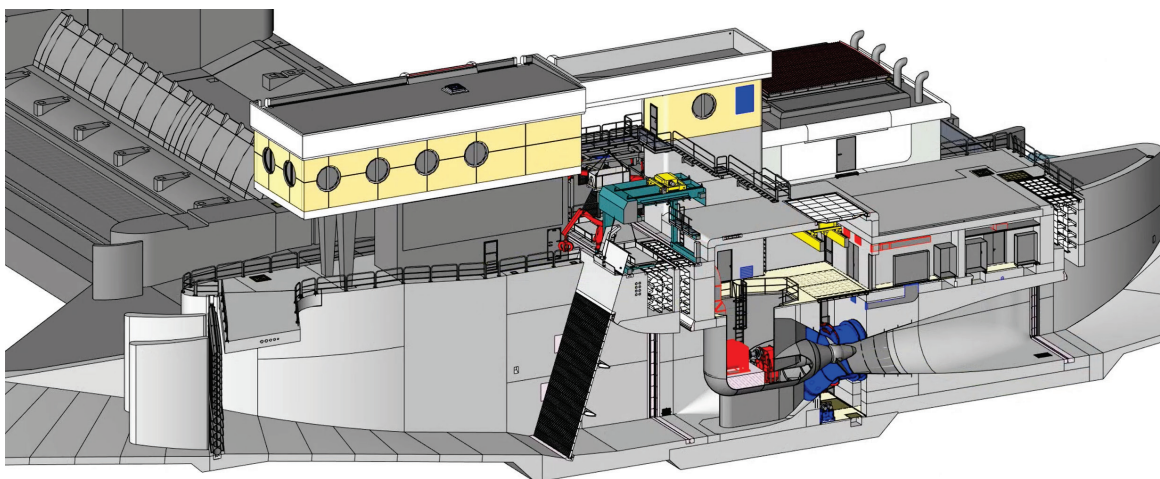
Povodí Vltavy hodlá model nadále využívat v průběhu celého životního cyklu stavby. Na model jsou také navázány související projekční činnosti, jako jsou statické výpočty, přeložky inženýrských sítí, rozpočet, model terénu a podobně. Model obsahuje model okolních objektů (včetně řešení bourání a úprav stávajících objektů), model širšího okolí (který byl vytvořen pomocí snímkování z dronu v aplikaci Recap), model přeložek inženýrských sítí, samotné nové MVE (řešení založení stavební jámy, modelování geologických vrstev, jímkování stavební jámy, pažení stěn výkopu).



Obrázek 12: Situace záměru na umístění stavby MVE Klecany II (Archiv města Klecany)



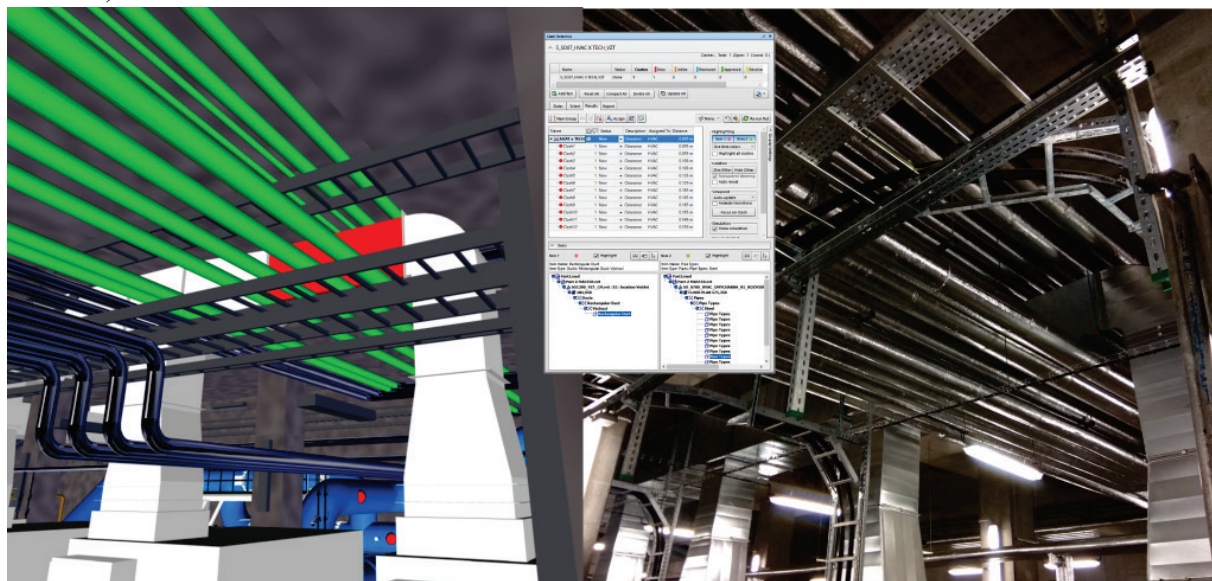
Obrázek 13: Vlevo železobetonový vtok vtokového objektu, vpravo blok spodní stavby MVE (AQUATIS) [30]



Obrázek 14: Celkový model objektů MVE, včetně technologií, zemních prací a dalších (AQUATIS) [30]

3.2.3.2.2. Nová vodní linka ÚČOV [28]

V rámci Ústřední čistírny odpadních vod (ÚČOV) v Praze na Čísařském ostrově byla 19. září 2018 uvedena do zkušebního provozu Nová vodní linka. Cílem vnitropodnikového pilotního projektu společnosti Sweco Hydroprojekt bylo využití BIM při přípravě projektové dokumentace, při následné realizaci, až po počátek zkušebního provozu. Dokumentace byla zpracovaná jako kompletní 3D modely (BIM) pro technologickou, stavební i architektonickou část včetně axonometrií a vizualizací (Obrázek 15 **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**).



Obrázek 15: Srovnání zobrazení z modelu a skutečnost, model obsahuje základní informace o všech zařízeních [28]

3.3. Další příklady využití BIM ve vodním hospodářství v ČR

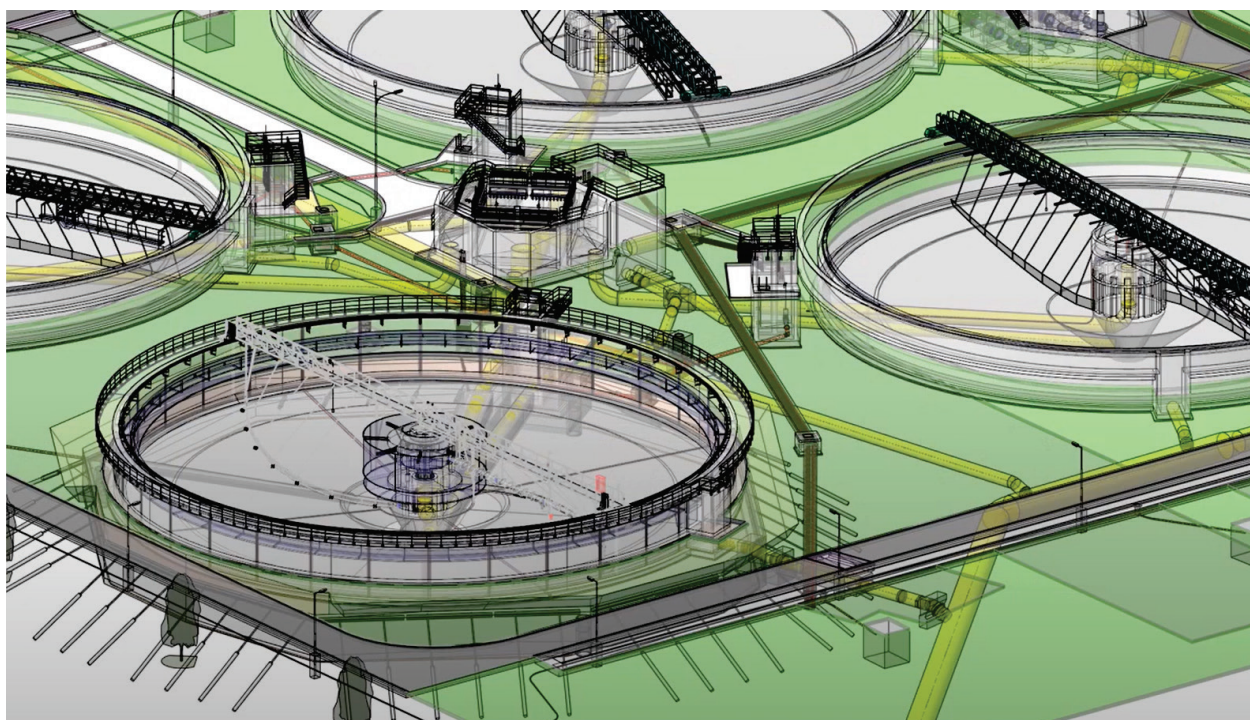
V ČR je BIM využíván stále více, níže jsou uvedeny další vodohospodářské projekty, na kterých se uplatnil BIM a nejsou pilotními projekty v rámci Koncepce zavádění BIM.

3.3.1. BIM v oboru čistíren odpadních vod

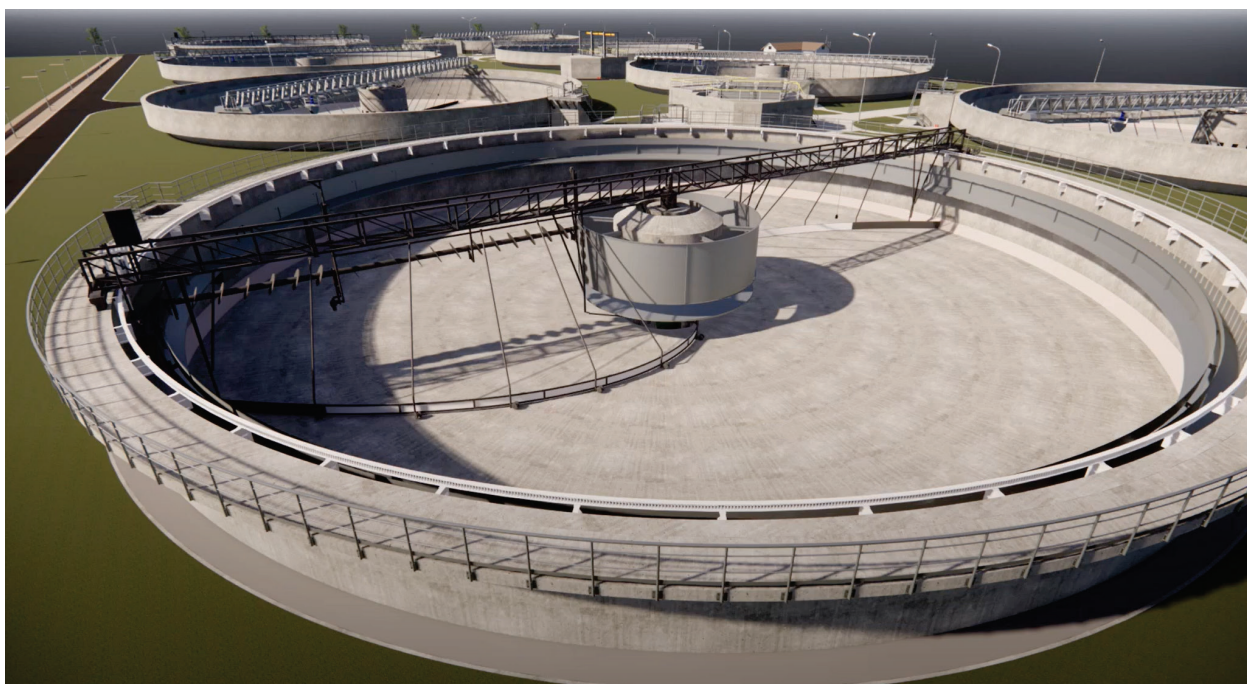
3.3.1.1. ČOV Modřice dostavba dosazovacích nádrží

Pomocí BIM byly vyprojektovány dvě železobetonové kruhové dosazovací nádrže o průměru 50 m, včetně technologického vstrojení a navázaných potrubí (Obrázek 16, Obrázek 17). Dále je součástí modelu celý areál dosazovacích nádrží se zkoordinovanými podzemními sítěmi a navázáním na stávající technologii. Jako další přidanou hodnotu uvádí zpracovatel projektu možnost odkazování se na externí informační zdroje v parametrech jednotlivých prvků.

Stavební konstrukce a technologie je vymodelována včetně těsnících spár, dilatací. Trubní systémy obsahují veškeré příruby, těsnění a armatury. Technologická část obsahuje kromě strojů a zařízení veškerá čidla a sondy.



Obrázek 16: Ukázka stavební konstrukce a technologií dosazovacích nádrží ČOV Modřice, projektant společnost AQUATIS [30]



Obrázek 17: Ukázka vizualizace dosazovacích nádrží ČOV Modřice, projektant společnost AQUATIS [30]

3.3.2. BIM v oboru přehrad a vodních nádrží

3.3.2.1. VD Orlík – zabezpečení VD před účinky velkých vod

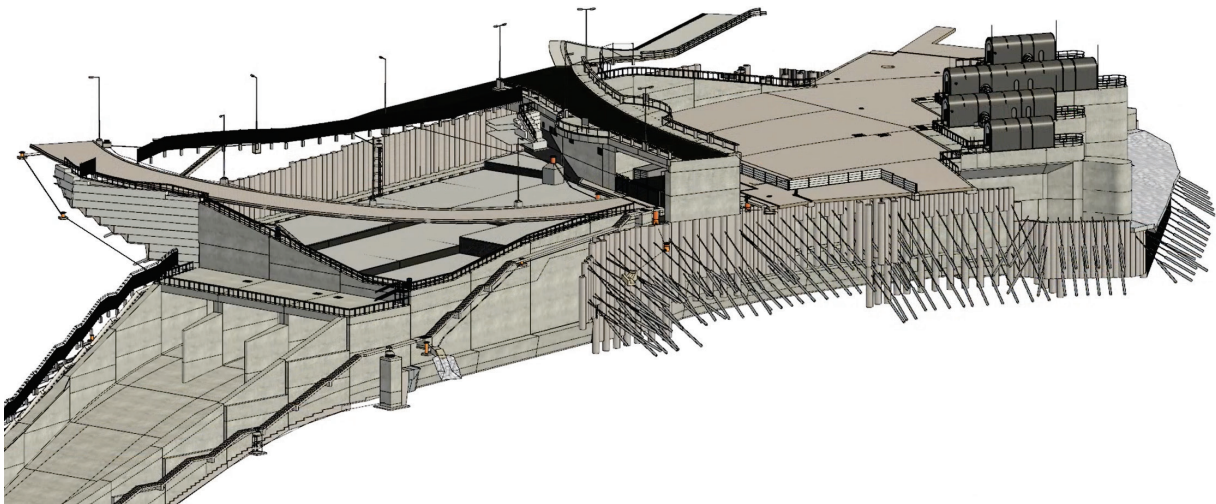
Jedná se o modelování velmi složitých betonových konstrukcí, se zakřivením ve všech rovinách a v náročném terénu. Na základě těchto skutečností zpracovatel dokumentace zvolil spolupráci v programech Revit a Civil3D. Jako přidanou hodnotu uvádí zpracovatel odhalení množství chyb, protože původně měl k projektu vytvořenou pouze 2D dokumentaci. Možnost 3D projekce odhalilo řadu kolizí.

VD Orlík tvoří 450 m dlouhá betonová tížní hráz, její výška v koruně je 91 m. Vzduť je dlouhá na Vltavě 68 km, na Otavě 23 km a na Lužnici 7 km. Největší hloubka je 74 m.

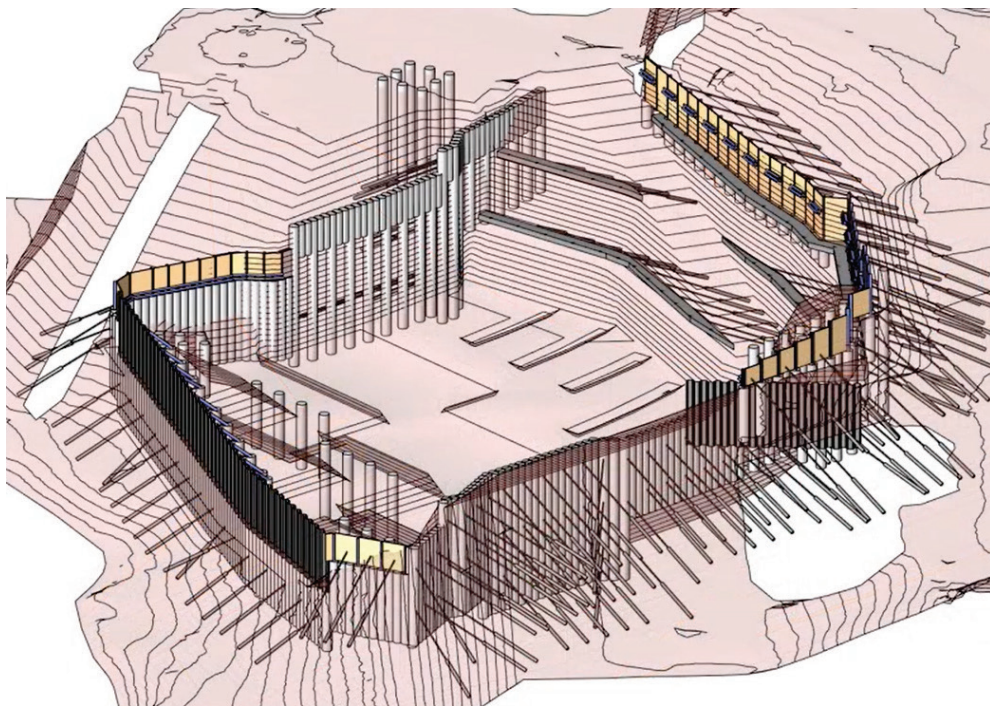
Parametry betonových konstrukcí – objem konstrukčního betonu je asi 50 000 m³ konstrukčního betonu, v 75 dilatačních blocích, a ve více než 760 pracovních blocích.

Model obsahuje kabelové trasy, odvodnění, těsnění spár, dále způsob zajištění stavební jámy vtokového objektu. V civil 3D byl vypracován model těles výkopu, vymodelovány byly jednotlivé geologické vrstvy zjištěné z inženýrskogeologických průzkumů. V rámci modelu zemních těles je umožněno dynamické vykazování objemů, výkopů a násypů.

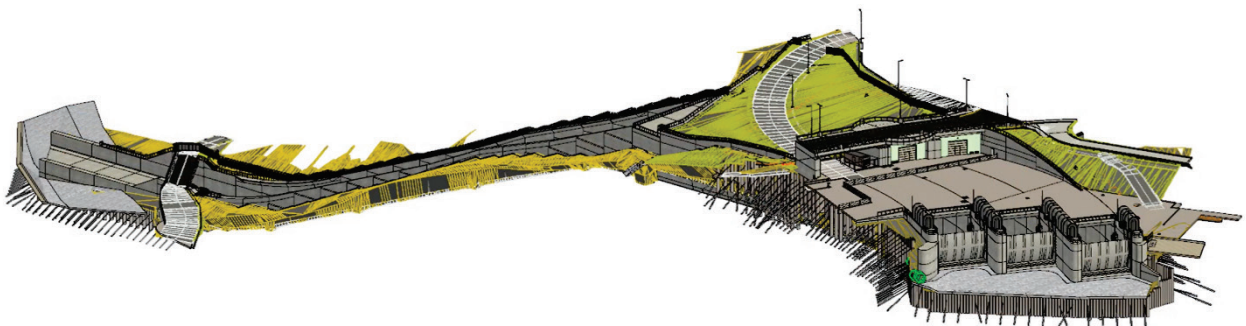
Ukázky modelu uvedeného díla jsou zobrazeny níže (Obrázek 18, Obrázek 19, Obrázek 20).



Obrázek 18: Kompletní model zabezpečení VD Orlík (AQUATIS) [30]



Obrázek 19: Zajištění stavební jámy vtokového objektu (AQUATIS) [30]



Obrázek 20: Koordinační model – Revit / Civil3D (AQUATIS) [30]

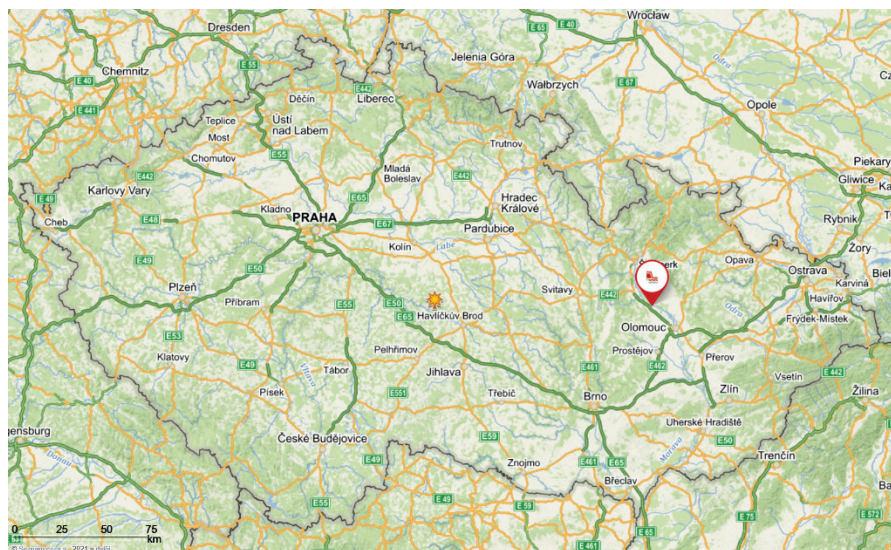
4. Praktická aplikace využití BIM pro malou vodní elektrárnu Litovel

V roce 2016 byla zpracována závěrečná práce s názvem Studie MVE u jezů Litovel na řece Moravě v km 262,07. Autorem práce je Jaroslav Stríž, vedoucím práce je doc. Ing. Aleš Dráb, Ph.D. V rámci závěrečné práce byla vypracována studie dostavby MVE ve vodohospodářském uzlu v obci Litovel se zaměřením na využití zbylého hydroenergetického potenciálu Moravy. Součástí práce je výpočet energetického potenciálu, návrhu strojního zařízení a výkresové dokumentace.

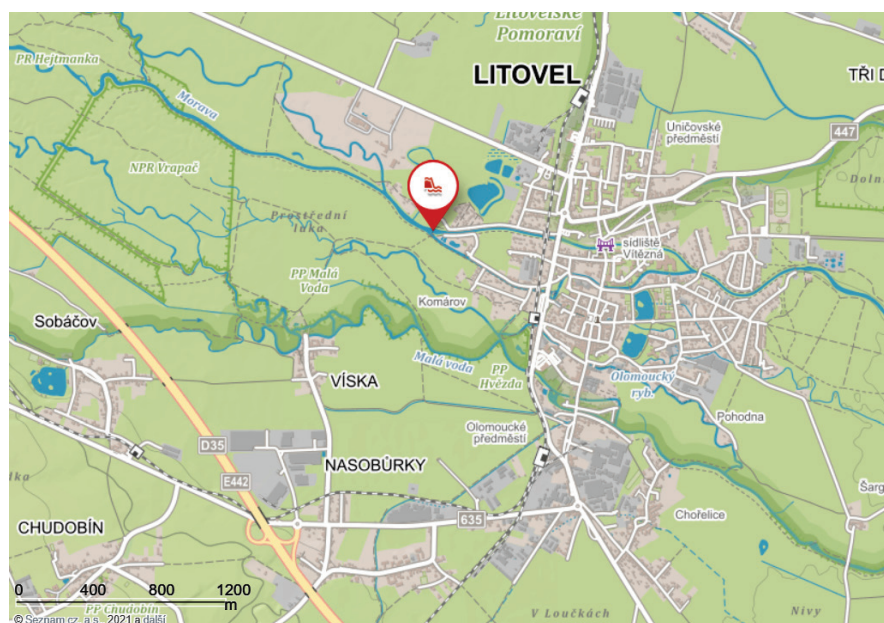
V rámci předkládané diplomové práce bylo na základě uvedených podkladů vytvořen BIM model studie MVE. V rámci práce budou také vymodelovány okolní objekty a okolní terén na základě podkladů z veřejných internetových zdrojů a podkladů poskytnutých vedoucím práce.

4.1. Popis lokality

Lokalita studie MVE se nachází na říčním km 262,07 a na levém břehu řeky Moravy, v severozápadní části obce Litovel v Olomouckém kraji (Obrázek 21, Obrázek 2223).



Obrázek 21: Lokalita dostavby MVE v ČR



Obrázek 22: Lokalita studie dostavby MVE (mapy.cz, 2021)

4.2. 23 Popis MVE a vodohospodářského uzlu Litovel

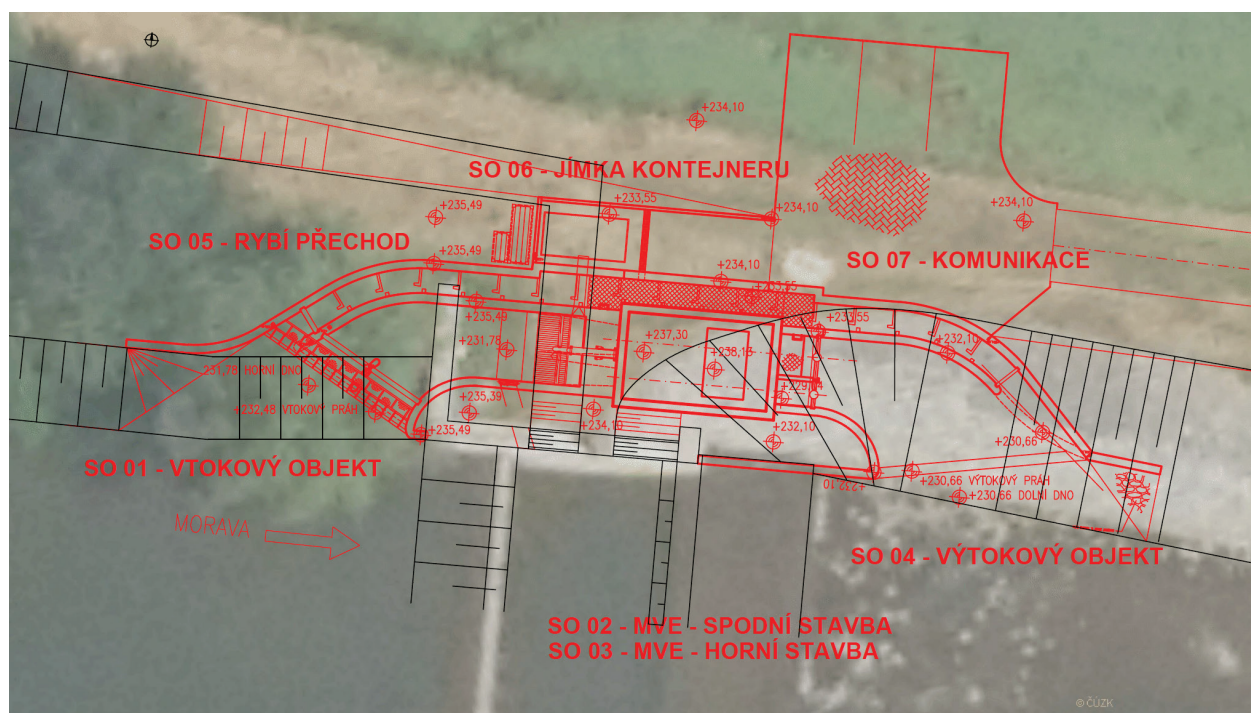
4.2.1. MVE

MVE je navržena na levém břehu řeky Moravy. Nátok v nadjezí se na vtokovém prahu dělí na beztlakový přivaděč na MVE a na rybí přechod. Nátok na MVE je navržen v nadmořské výšce 231,78 m n. m. v oblasti před jezem, výtok z MVE je v nadmořské výšce 230,66 m n. m. pod jezem (viz celková situace – Obrázek 24). Budova MVE se dělí na dvě hlavní části: spodní stavbu a horní stavbu.

Maximálního výkonu elektrárny 91,69 kW je dosaženo při průtoku odpovídajícímu $Q_{120} = 5,20 \text{ m}^3/\text{s}$. Jsou navrženy dvě Semi-Kaplanovy turbíny – jedna s průměrem oběžného kola (OK) 600 mm a druhá s OK 1000 mm.

Členění stavby na stavební objekty a provozní soubory:

- SO 01 – Vtokový objekt.
- SO 02 – MVE spodní stavby.
- SO 03 – MVE horní stavba.
- SO 04 – Výtokový objekt.
- SO 05 – Rybí přechod.
- SO 06 – Jímka kontejneru.
- SO 07 – Obslužná komunikace.
- PS 01 – Strojní část.
- PS 02 – Elektro část.



Obrázek 24: Celková situace MVE [33]

4.2.2. Popis vodohospodářského uzlu Litovel

V uzlu se nachází původní jez a náhon (Obrázek 25). Jez je tvořen třemi jezovými poli. První jezové pole má délku pevného přelivu dlouhou 15,25 m a je na něm umístěno pohyblivé hrazení – klapka. Další dvě jezová pole o délce 4,44 m a 4,56 m jsou hrazená stavidly.

Dále se v uzlu nachází náhon, který odvádí vodu do radniční Moravy. Dále je zde odběr vody pro stávající MVE. Náhon je tvořen dvěma jezovými poli s délkou pevného přelivu 3,03 m a 2,94 m. Jez je hrazený stavidly.



Obrázek 25: Zobrazení situace stávajícího jezu a náhonu (mapy.cz, 2021)

4.3. Pracovní postup a vstupní data

Níže je uveden pracovní postup zpracování BIM modelu a jeho následné možné využití.

4.3.1. Podklady a vstupní informace

Účelem předkládané práce je demonstrace užití BIM modelu pro studii dostavby MVE. Pro tvorbu modelu byl zvolen detail zobrazení pro demonstrování umístění a fungování stavby a zobrazení okolí, výhod BIM modelu a možnosti využití 3D modelu pro simulaci průtoků. Stavební část bude natolik přesná, aby bylo následně možné provést simulaci proudění; strojní a mechanické části v modelu slouží pouze pro demonstrativní účely a byly značně zjednodušeny.

Informační podrobnost modelu určuje, jaké informace bude mít každý prvek modelu. Dělí se na:

1. Geometrické informace – tvoří je software a nelze je upravovat (příklad: betonový prvek nátokový pilíř na vtoku – geometrický parametr objem je vyplňován automaticky).
2. Negeometrické informace – jsou vyplňované ručně, poloautomaticky či automaticky a podávají další informace o prvku (příklad: betonový prvek nátokový pilíř na vtoku – negeometrický parametr materiál je zvolen a vybrán železobeton, který je vybrán z nabídky materiálů).

V projektu pro zjednodušení nebyl použit žádný datový standard. Pro prověření modelu byly však všechny prvky modelu MVE naplněny základní paletou informací (základní prostorová geometrii, jednoduchý název či účel, povrchový materiál a kategorizace prvků).

4.3.2. Stručný pracovní postup a použitý software

Stručný pracovní postup:

1. Vytvoření BIM modelu MVE, modelu jezu, náhonu a koryta:
 - V softwaru Revit byly vytvořeny dva dílčí modely – jeden MVE a druhý tvořil jez náhon a koryto.
 - Model MVE byl vytvořen včetně stavební i strojní části. Některé strojní části byly vytvořeny v softwaru Inventor.
 - Model jezu, náhonu a koryta tvoří stavební část a strojní část a byl vytvořen v Revitu.
2. Spojení modelů do jednoho koordinačního modelu:
 - Tyto dva modely (model MVE; model jezu, náhonu a koryta) byly propojeny do jednoho koordinačního modelu pomocí Revitu.
 - Celkový koordinační model byl umístěn do reálného souřadnicového systému S-JTSK a jako podklad byla přidána katastrální mapa pomocí pluginu BIMTech Tools (<https://bimtech.cz/>).
3. Matematický model proudění:
 - Nejdříve byl celkový koordinační model vyexportován do formátu .stl, který se dále dá použít při modelování proudění vody.
 - Další příprava modelu v .stl proběhla v softwaru Netfabb, kde byla opravena geometrie tak, aby vyhovovala výpočtovému softwaru.
 - Pro modelování proudění byl využit software Flow-3D.
 - Vytvoření modelu proudění včetně okrajových podmínek.
 - Následně byly zadány parametry výpočtu a proběhl výpočet.
 - Vizualizace výsledků proběhla v softwaru FlowSight, který slouží k zobrazení výsledků z Flow-3D.
4. Vizualizace modelu:
 - Jako poslední krok proběhla vizualizace celkové situace v softwaru Twinmotion.
 - Model byl importován do softwaru, následně byly přidány materiály jednotlivým objektům, byl přidán terén a prvky terénu, dále byly nastaveny okolní podmínky (počasí, denní a roční doba) a byly vyexportovány obrázky a videa.

4.4. Detailní popis jednotlivých modelů a způsobu modelování

V textu níže jsou detailně popsány tvorby jednotlivých modelů.

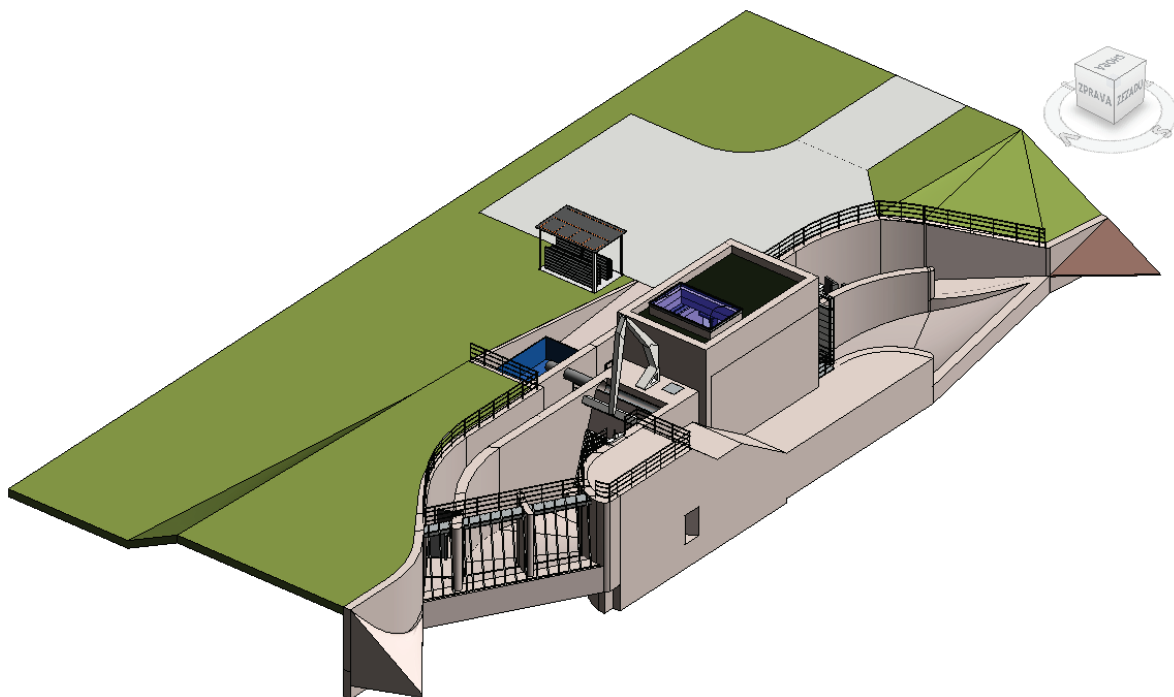
4.4.1. Tvorba BIM modelu MVE, jezu, náhonu a koryta

Pro účely modelování vodohospodářského uzlu Litovel byly BIM modely rozděleny na dvě části:

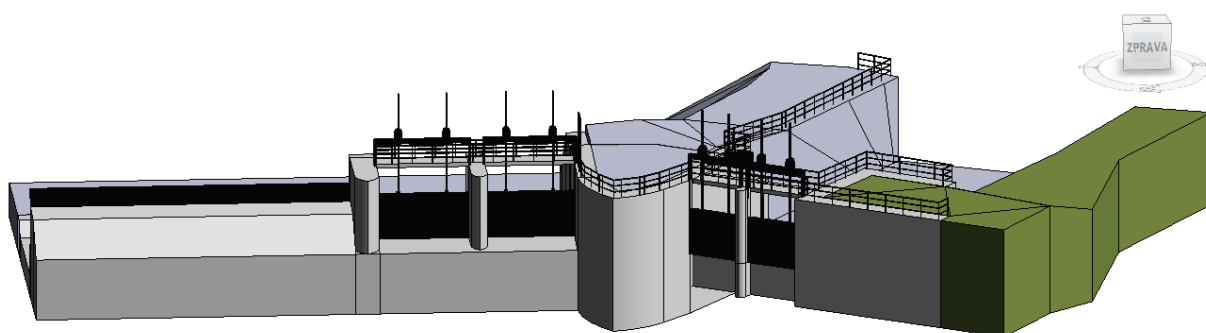
- část první - MVE a terénu v okolí (první Revit soubor s příponou .rtv),
- část druhá - jezu, náhonu, včetně koryta (druhý .rtv soubor).

První část (MVE) byla propracována s větším detailem, protože se jedná o hlavní část této práce a bylo k dispozici dostatek podkladů pro vytvoření detailního modelu. Druhý model je vytvořen s menším detailem, protože nebylo primárním cílem vytvořit i tento model.

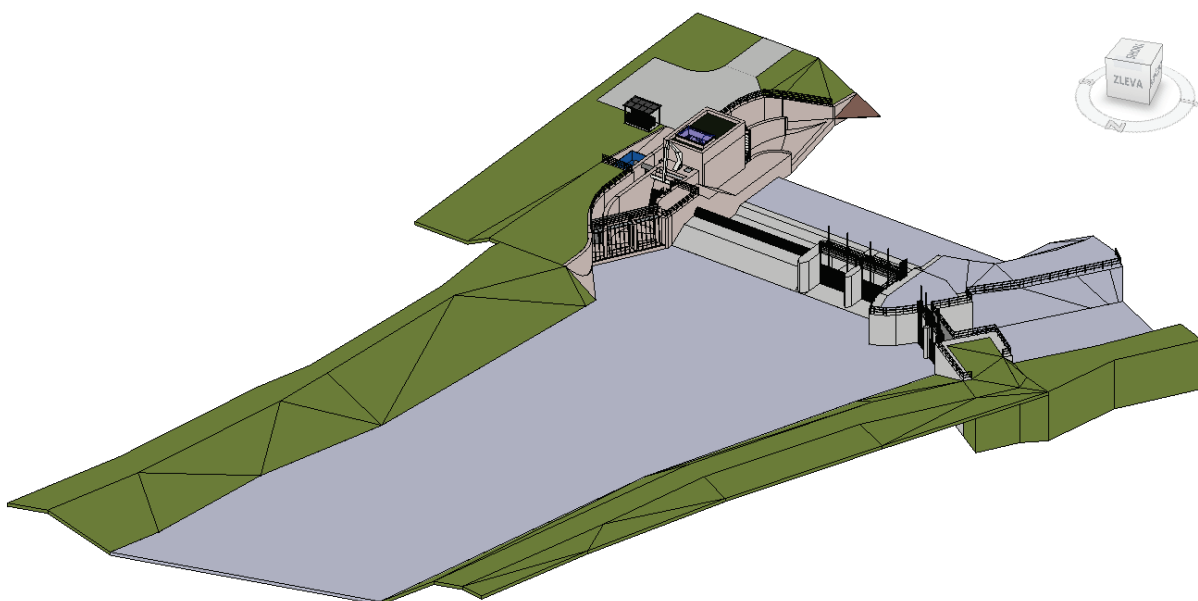
Tvorba BIM modelů proběhla v programu Revit, kde byl každý model zpracován samostatně (Obrázek 26, Obrázek 27, Obrázek 28). Je také možné zpracovávat pro jednu budovu více modelů a ty pak v jednom hlavním souboru kombinovat například stavebně-architektonický model a v jiném souboru technický model (například TZB) té samé budovy. Toto umožňuje snadnou koordinaci profesí, protože mohou další návrhy přizpůsobovat již existujícím modelům.



Obrázek 26: Model MVE Litovel včetně strojní části



Obrázek 27: Model jezu a náhonu



Obrázek 28: Celkový koordinační model

4.4.1.1. Detailní popis vytvoření modelu MVE, modelu jezu a náhonu

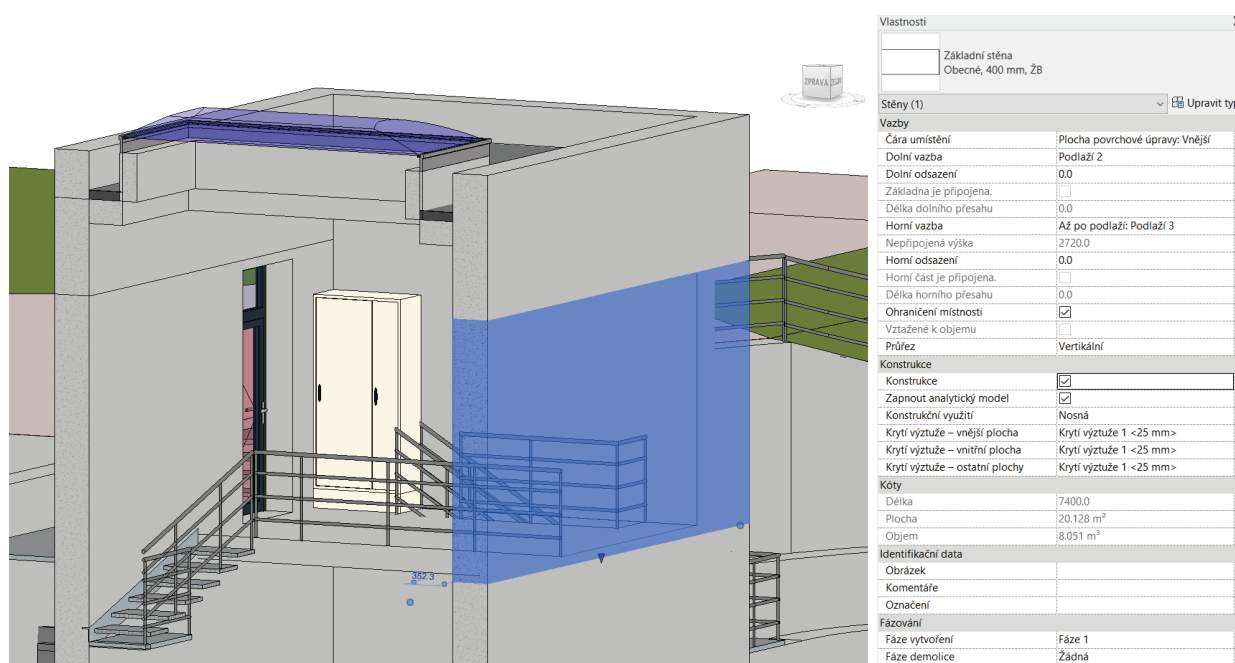
Základním způsobem modelování v Revitu je tvorba rodin. V následujícím přehledu je uvedena tvorba rodin:

- systémových,
- načitatelných
- a tvořených na místě.

4.4.1.1.1. Vytváření hrubé stavby budovy MVE pomocí systémových rodin

Systémové rodiny jsou prvky, které Revit již obsahuje. Tyto rodiny bychom sestavovali na staveništi (stěny, podlahy, a další). Uvedené systémové rodiny byly použity na tvorbu samotné budovy malé vodní elektrárny. Stěny, podlahy a střechu bylo možné vymodelovat pomocí systémových rodin.

Jako konkrétní příklad je uvedena rodina v kategorii prvků základní stěna (Obrázek 29). Geometricky je stěna navázána na určitá podlaží (zvolené výškové úrovně), proto je výška, objem a další geometrické parametry vypočteny automaticky. Negeometrická data jako například materiálové složení jsou parametry, které je nutné vyplnit ručně.



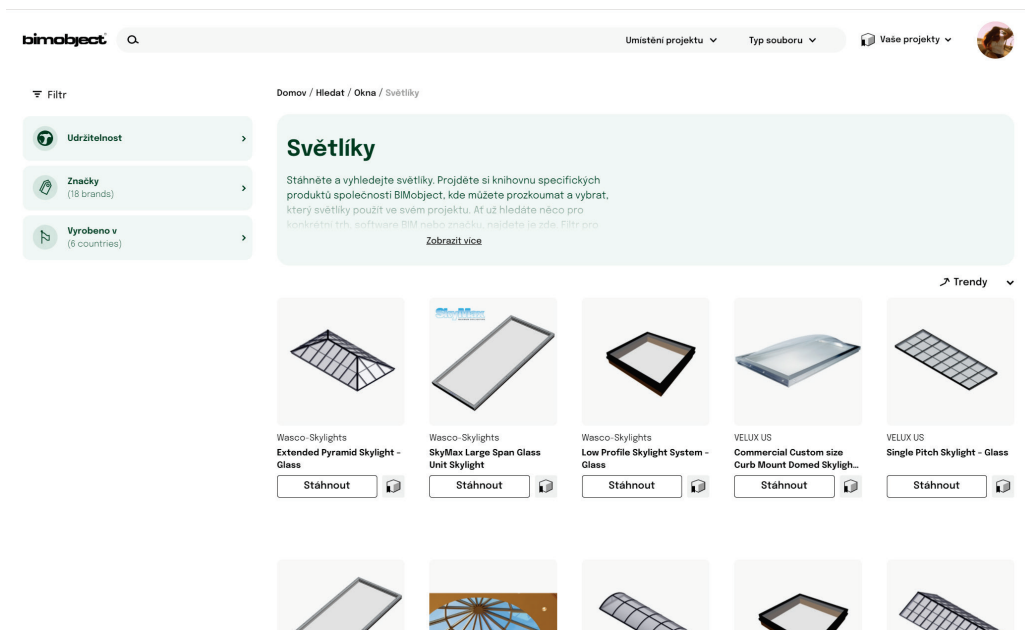
Obrázek 29: Ukázka tvorby systémové rodiny stěna

4.4.1.1.2. Tvorba zařízení budovy MVE – Načitatelné vlastní rodiny /rodiny načtené z externích internetových zdrojů

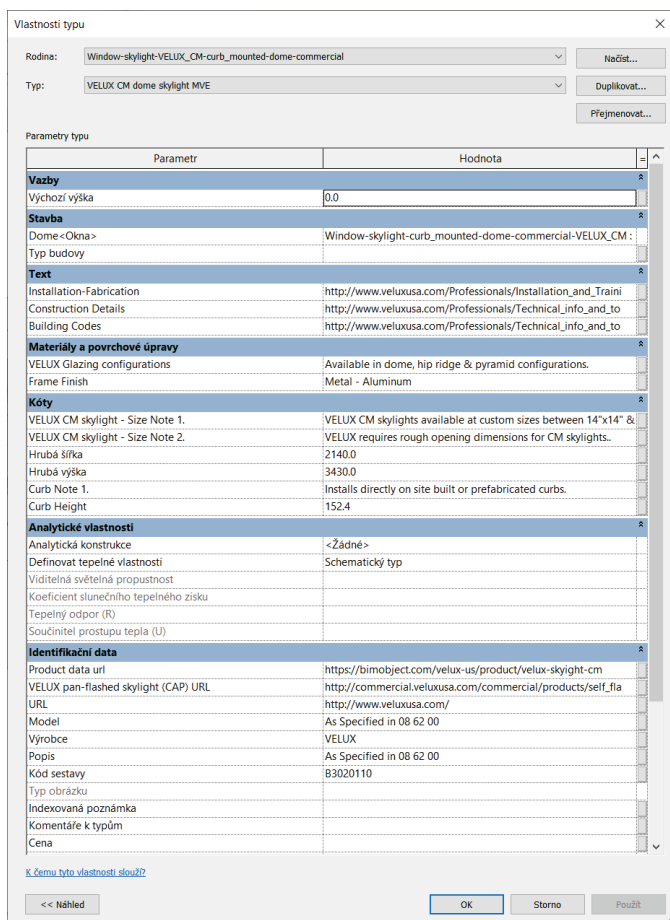
Načitatelné rodiny slouží k vytváření prvků komponent budov, které je možné nakoupit, dodat a instalovat (příkladem jsou okna, dveře, nábytek, zařizovací předměty, a další). Načitatelné rodiny jsou vytvářeny v externích souborech a jsou do projektu importovány.

Rodiny načtené z knihoven Revitu, případně načtené z internetových zdrojů často obsahují více typů – příkladem je okno, které má v sobě více typů / různých rozměrů okna, ze kterého je možné si vybírat, případně je v průběhu práce měnit. V projektu byly pro demonstraci využití reálných prvků výrobců použity konkrétní produkty těchto výrobců, stažené z veřejných databází. Tato skutečnost sebou ale nese rizika – rodiny stažené z veřejných databází často obsahují množství informací, které nejsou často třeba a tak je nutné je upravovat a některé parametry navíc mazat. Jako příklad načitatelné rodiny z projektu je uveden světlík (Obrázek 31). V původní dokumentaci na základě které byla budova MVE tvořena, jsou uvedeny

pouze rozměry světlíku. Do projektu byl vybrán konkrétní typ světlíku od výrobce Velux v daných rozměrech. Tento prvek je možné stáhnout z internetových zdrojů, jako je například stránka bimobjects.com (Obrázek 30).



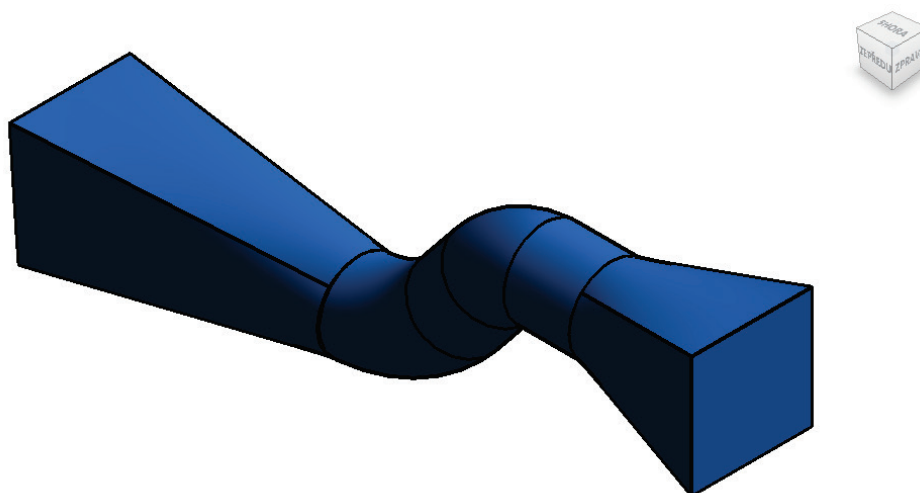
Obrázek 30: Katalog světlíků na webu bimobject



Obrázek 31: Ukázka konkrétní rodiny světlíku od firmy Velux, stažená ze stránek bimobjects.com včetně parametrů typu

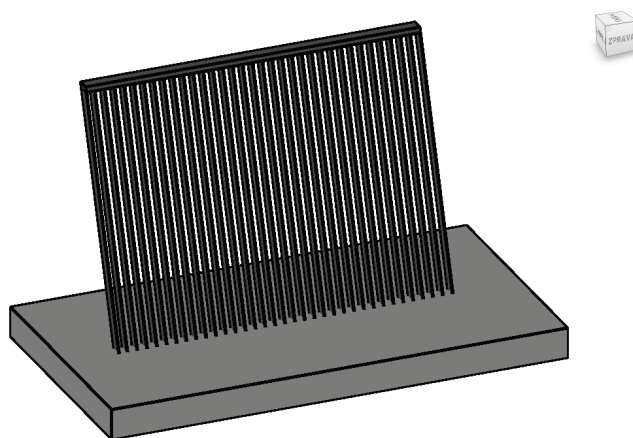
Druhým typem načítatelných rodin jsou načítatelné vlastní rodiny. Ty byly vytvořeny v Revitu, ale mimo projekt, a jsou uloženy jako rodina do souboru s příponou .rfa a do projektu jsou importovány. Příklady jsou například vytvoření rodiny turbíny a hrubých česlí.

Vzhledem ke složitosti konstrukce tvaru turbíny byl pro její vytvoření použit CAD software Inventor určený pro konstruování strojírenských komponent. V něm byl vytvořen tvar a vyexportován ve formátu .sat. Tento formát se pak snadno exportuje do prostoru vytváření rodiny (Obrázek 32). Každá rodina je vytvářena na určité šabloně, která určuje kategorii prvku, v tomto případě byla zvolena kategorie mechanických zařízení.



Obrázek 32: Ukázka importovaného souboru s příponou .sat do prostředí Revitu při vytváření rodiny Turbíny T1

Rodina česlí (Obrázek 33) nemá příliš složitý tvar, a proto bylo možné je vymodelovat přímo v Revitu. Jedná se o česle sestavené ze železných pásů stejných profilů. Tato rodina by byla vhodná pro parametrizaci – podle hydroenergetických výpočtů by se zadaly nutné velikosti a úhly dle možných rozmezí velikostí (volila by se výška a šířka česel, úhel, velikosti železných pásů a mezerami mezi nimi dle možností daných výrobou). Nicméně v rámci projektu byly česle vymodelovány tak, že se tyto vlastnosti nedají automaticky měnit a je pouze konstatováno, že tato možnost existuje.



Obrázek 33: Ukázka rodiny česlí, tvořená přímo v Revitu

4.4.1.1.3. Rodina na místě – tvorba vlastních rodin pro MVE i jez a náhon

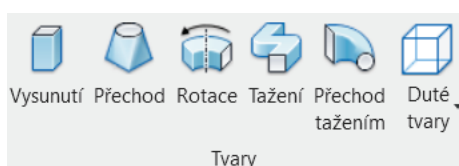
Rodina na místě je vždy součástí pouze jednoho projektu, pro který byla speciálně vytvořena. Tento typ rodin je v MVE použit nejvíce, protože je v něm navrženo velké množství ŽB prvků, které jsou speciální právě pro tuto konkrétní stavbu.

Většina VD obsahuje množství prvků velmi specifických, které se na jiném VD nevyskytují. Jedná se zejména o prvky nátoků na turbíny a výtoku. Prvky musí být navrženy hydraulicky tak, aby byly rychlosti při vtoku na turbíny rovnoměrné v průřezu. Vzhledem k tomu, že není žádný malá vodní elektrárna stejná, tyto nátoky jsou pokaždé jiné – například pokaždé se jedná o jiné prostorové umístění, nebo nátoky na různé typy a velikosti turbín. Díky této skutečnosti je nutné tyto unikátní prvky pro každý projekt vytvářet.

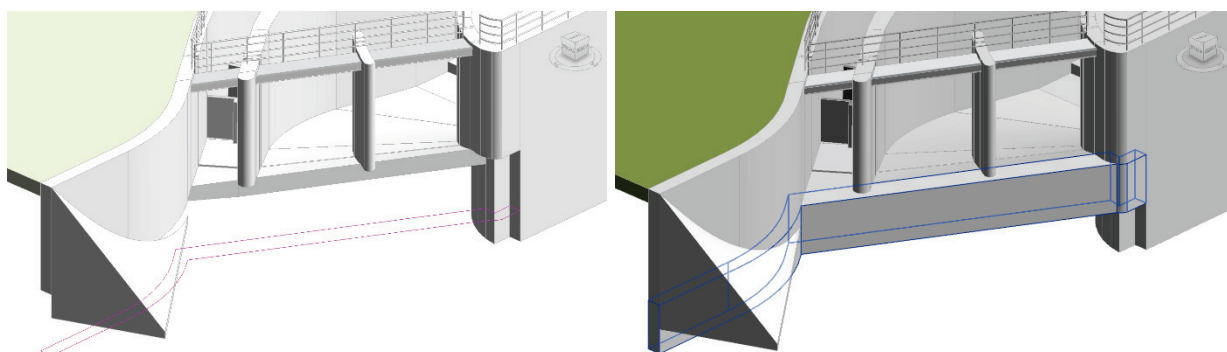
Tvorba vlastních rodin probíhá tak, že se rodina přímo vytvoří v projektu a stane se jeho součástí. Vzhledem ke skutečnosti, že prvky na sebe přímo navazují, bylo nejvhodnější variantou ŽB rodiny tvořit na místě v projektu. V projektu proběhla tvorba vlastních rodin dvojím způsobem, jako tvorba obecných modelů a tvorba objemů. Obě dvě varianty jsou kategorií rodin a umožňují vytvářet složitější tvary ŽB konstrukcí.

Tvorba obecných modelů

Obecné modely se v Revitu tvoří pomocí geometrických definic (Obrázek 34). Takovým způsobem byly tvořeny rodiny, které je možné definovat jednou z níže uvedených možností tvarování. Příkladem je vtokový práh – ten je definován pomocí tvaru vysunutí, je vykreslen půdorysný tvar vysunutí a je definováno, jak vysoko je tento tvar vysunut (Obrázek 35). Obecný model umožňuje například umístění výztuže.



Obrázek 34: Panel nástrojů pro tvorbu obecných modelů



Obrázek 35: Ukázka tvorby obecného modelu prahu pomocí tvaru vysunutí

Tvorba objemů

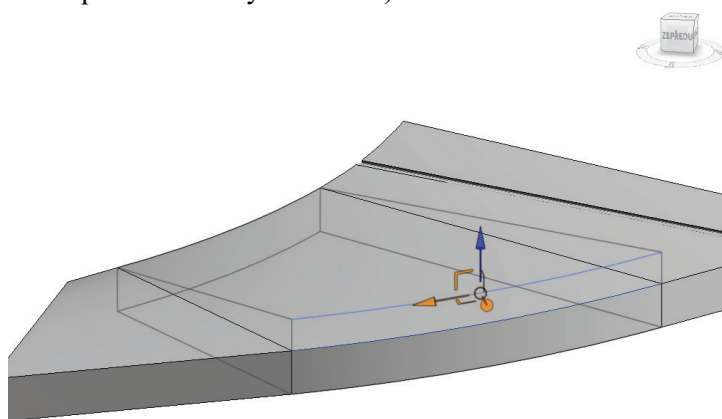
V projektu se vyskytují velmi složité prvky, které nelze jednoduše modelovat. Jedná se o ŽB prvky nátoků – jako jsou stěny a dna. Dna nátoků jsou tvořena zakřivenými plochami a stěny jsou postaveny na nich, a proto i spodní část stěn je tvořena zakřivenou plochou. Tudíž nebylo možné využít systémové rodiny podlahy nebo stěny, což by se zdálo jako nejsnazší varianta.

Tvorba objemů byla nejsložitější částí modelování. V průběhu práce bylo vyzkoušeno více variant modelování. Jako nejvhodnější kategorie pro tyto prvky se jevily obecné modely, pomocí nich ale nešlo

dobře vymodelovat zakřivené plochy. Proto byla využita právě tvorba objemů, ta ale není ideální, neumožňuje například vytváření vyztužení přímo v Revitu. Způsob tvorby objemů byl zvolen právě pro svou jednoduchost a snadnou modelaci zakřivených ploch, v rámci objemů lze také nastavovat parametry materiálu i geometrické parametry jako je objem.

Níže je uveden příklad nátoky, modelovaného pomocí objemů (Obrázek 36). Modelování objemů probíhá tak, že je načrtnut půdorys a jeho objem vysunut podobně jako při tvorbě obecných modelů. Tento objem je nadále možné snáze editovat – lze posunovat s body objemu, hranami či celými stěnami objemu. Tento postup umožňuje modelovat i zakřivené plochy. Tímto způsobem byla vymodelována největší část projektu.

V reálných projektech by bylo vhodnější využít obecné modely (objemy rozdělit na větší množství dílčích částí, které lze vymodelovat pomocí obecných modelů).



Obrázek 36: Ukázka způsobu tvorby a úpravy objemů v Revitu

Pomocí objemů byla také vymodelována stavební část jezu a náhonu (Obrázek 41).

4.4.1.2. Výpis jednotlivých prvků a jejich parametrů v modelech

Níže je uveden výčet jednotlivých prvků modelů. U prvků je popsáno, jak byly vytvářeny a jaké obsahují využitelné parametry. Každý prvek obsahuje vždy parametr materiálu. Výkazy jsou vytvářeny automaticky v Revitu (Obrázek 37), lze je exportovat například do formátu csv a dále s nimi pracovat. V rámci projektu byly ponechány výkazy v Revitu a níže jsou uvedeny obrázky výkazů přímo z prostředí softwaru (Tabulka 14, Tabulka 15, Tabulka 16, Tabulka 17)

<Výkaz materiálu pro obecný model>				
	A	B	C	D
	Rodina	Počet	Materiál: Název	Objem
	Dolní stavba MVE	1	Železobeton	45,82 m³
	Dílčí pilíř	1	Železobeton	209,52 m³
	Korozní na jeřábovou dráhu	1	Železobeton	1,37 m³
	Nátok, tvar 1	1	Železobeton	55,00 m³
	Nátok, tvar 2	1	Železobeton	16,06 m³
	Obetonování T1	1	Železobeton	4,80 m³
	Proplachovací kanál - konstrukce pro stavidlo	1	Železobeton	0,93 m³
	Rybí přechod - prvky	15	Beton odtýl na mísě	0,18 m³
	SKlna vybochod 2	1	Železobeton	6,46 m³
	T2 obetonování	1	Železobeton	2,60 m³
	Výtokový práh	1	Železobeton	12,75 m³
	Výtok tvar	1	Železobeton	8,55 m³
	Výtokový práh	1	Železobeton	6,15 m³
	Celkový součet: 27			

Obrázek 37: Tvorba výkazů v Revitu

4.4.1.2.1. Model MVE

Model MVE obsahuje všechny tři druhy dříve uvedených rodin.

Systémové rodiny byly použity pro prvky stěny, podlahy, schodiště, konstrukční nosníky a vzpěry, střechy a zábradlí (Obrázek 38). Prvky kromě parametru materiál obsahují i další geometrické parametry (délky, objemy) případně jejich návaznost na podlaží, ve kterém byly tvořeny (Tabulka 14).

Tabulka 14: Výkazy systémových rodin modelu MVE

Výkaz stěn dle sestavy							
Rodina	Sestava stěny	Délka, od středu ke středu	Šířka	Plocha	Konstrukční materiál	Horní vazba	Dolní vazba
Základní stěna	Obecné, 200mm - ŽB	2.00 m	0.20 m	1 m ²	Železobeton	Až po podlaží: Podlaží (11) - horní okraj budovy	Podlaží (10) - střeška budovy
Základní stěna	Obecné, 200mm - ŽB	2.00 m	0.20 m	1 m ²	Železobeton	Až po podlaží: Podlaží (11) - horní okraj budovy	Podlaží (10) - střeška budovy
Základní stěna	Obecné, 200mm - ŽB	3.10 m	0.20 m	6 m ²	Železobeton	Nepřipojený	Podlaží (6) - 2NP
Základní stěna	Obecné, 200mm - ŽB	3.30 m	0.20 m	1 m ²	Železobeton	Až po podlaží: Podlaží (11) - horní okraj budovy	Podlaží (10) - střeška budovy
Základní stěna	Obecné, 200mm - ŽB	3.30 m	0.20 m	1 m ²	Železobeton	Až po podlaží: Podlaží (11) - horní okraj budovy	Podlaží (10) - střeška budovy
Základní stěna	Obecné, 400 mm, ŽB	4.60 m	0.40 m	14 m ²	Železobeton	Až po podlaží: Podlaží (6) - 2NP	Podlaží (1) - 1NP
Základní stěna	Obecné, 400 mm, ŽB	4.60 m	0.40 m	10 m ²	Železobeton	Až po podlaží: Podlaží (6) - 2NP	Podlaží (1) - 1NP
Základní stěna	Obecné, 400 mm, ŽB	4.60 m	0.40 m	12 m ²	Železobeton	Až po podlaží: Podlaží (9) - jeřábová dráha	Podlaží (6) - 2NP
Základní stěna	Obecné, 400 mm, ŽB	4.60 m	0.40 m	12 m ²	Železobeton	Až po podlaží: Podlaží (9) - jeřábová dráha	Podlaží (6) - 2NP
Základní stěna	Obecné, 400 mm, ŽB	4.60 m	0.40 m	5 m ²	Železobeton	Až po podlaží: Podlaží (10) - střeška budovy	Podlaží (9) - jeřábová dráha
Základní stěna	Obecné, 400 mm, ŽB	4.60 m	0.40 m	5 m ²	Železobeton	Až po podlaží: Podlaží (10) - střeška budovy	Podlaží (9) - jeřábová dráha
Základní stěna	Obecné, 400 mm, ŽB	4.60 m	0.40 m	2 m ²	Železobeton	Až po podlaží: Podlaží (11) - horní okraj budovy	Podlaží (10) - střeška budovy
Základní stěna	Obecné, 400 mm, ŽB	4.60 m	0.40 m	2 m ²	Železobeton	Až po podlaží: Podlaží (11) - horní okraj budovy	Podlaží (10) - střeška budovy
Základní stěna	Obecné, 400 mm, ŽB	7.40 m	0.40 m	21 m ²	Železobeton	Až po podlaží: Podlaží (6) - 2NP	Podlaží (1) - 1NP
Základní stěna	Obecné, 400 mm, ŽB	7.40 m	0.40 m	20 m ²	Železobeton	Až po podlaží: Podlaží (6) - 2NP	Podlaží (1) - 1NP
Základní stěna	Obecné, 400 mm, ŽB	7.40 m	0.40 m	20 m ²	Železobeton	Až po podlaží: Podlaží (9) - jeřábová dráha	Podlaží (6) - 2NP
Základní stěna	Obecné, 400 mm, ŽB	7.40 m	0.40 m	18 m ²	Železobeton	Až po podlaží: Podlaží (9) - jeřábová dráha	Podlaží (6) - 2NP
Základní stěna	Obecné, 400 mm, ŽB	7.40 m	0.40 m	8 m ²	Železobeton	Až po podlaží: Podlaží (10) - střeška budovy	Podlaží (9) - jeřábová dráha
Základní stěna	Obecné, 400 mm, ŽB	7.40 m	0.40 m	8 m ²	Železobeton	Až po podlaží: Podlaží (10) - střeška budovy	Podlaží (9) - jeřábová dráha
Základní stěna	Obecné, 400 mm, ŽB	7.40 m	0.40 m	4 m ²	Železobeton	Až po podlaží: Podlaží (11) - horní okraj budovy	Podlaží (10) - střeška budovy
Základní stěna	Obecné, 400 mm, ŽB	7.40 m	0.40 m	4 m ²	Železobeton	Až po podlaží: Podlaží (11) - horní okraj budovy	Podlaží (10) - střeška budovy
Základní stěna	Obecné, 200mm - ŽB	11.40 m	0.20 m	13 m ²	Železobeton	Nepřipojený	Podlaží (6) - 2NP
Celková suma: 23				194 m ²			

Výkaz materiálu pro střechy							Výkaz střech	
Rodina	Typ	Materiál: Název	Podlaží základny	Plocha	Objem	Tloušťka	Typ	Počet
Základní střecha	Střeška MVE	Zemina - hlína	Podlaží (10) - střeška budovy	24 m ²	8.24 m ³	0.35 m	Střeška MVE	1
Základní střecha	Střeška MVE	Tráva	Podlaží (10) - střeška budovy	24 m ²	8.24 m ³	0.35 m	Střeška přístřešku proviz. hr.	1
Základní střecha	Střeška MVE	Železobeton	Podlaží (10) - střeška budovy	24 m ²	8.24 m ³	0.35 m	Celkový součet: 2	
Základní střecha	Střeška přístřešku proviz. hr.	Polykarbonát	Podlaží (9) - jeřábová dráha	7 m ²	0.22 m ³	0.03 m		

Výkaz ramp				Výkaz konstrukčních nosníků a vzpěr				
Rodina	Šířka	Podlaží základny	Horní podlaží	Konstrukční prvek	Typ	Délka	Počet	Materiál
Rampa	3.20 m	Podlaží (6) - 2NP	Podlaží (7) - obslužná lávka vně budovy	HSS dutý konstrukční průřez	HSS101.6X101.6X3.2	15.70 m	2	Ocel, 45-345
				Čtvercové tyče	RV47.63	22.85 m	11	Ocel, 45-345
				Celková suma: 13		38.55 m		

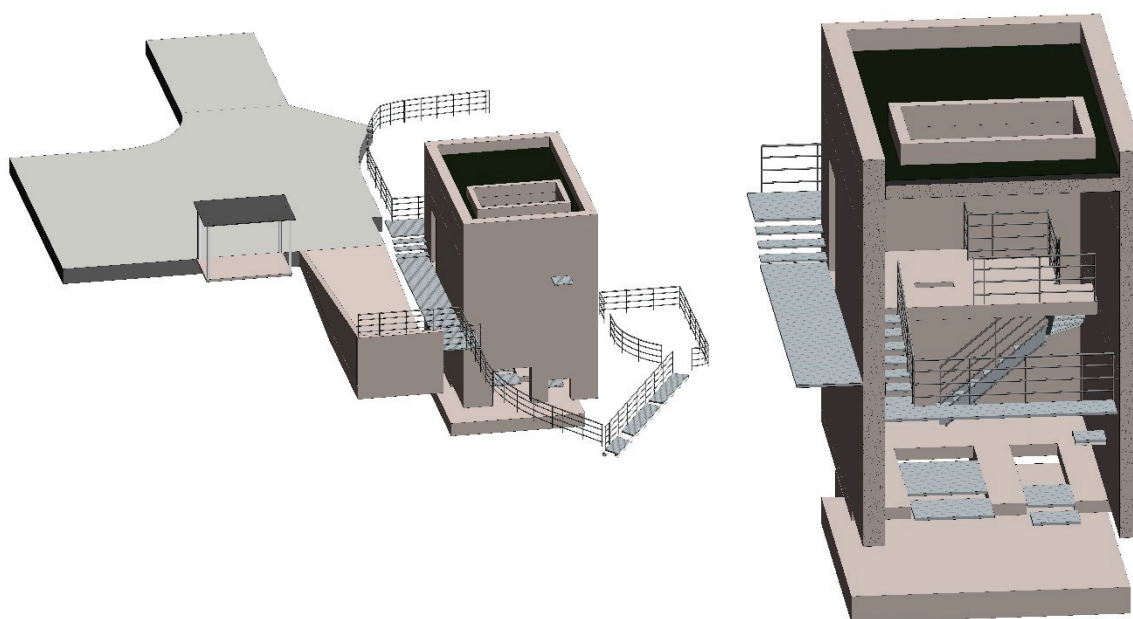
Výkaz schodišť							
Rodina	Typ	Skutečný počet podstupnic	Skutečná hloubka stupnice	Skutečná výška podstupnice	Podlaží základny	Horní podlaží	
Montované schodiště	Ocelové průmyslové	7	0.387 m	0.121 m	Podlaží (4) - obslužná lávka v budově	Podlaží (6) - 2NP	
Montované schodiště	Ocelové průmyslové	4	0.355 m	0.138 m	Podlaží (6) - 2NP	Podlaží (7) - obslužná lávka vně budovy	
Montované schodiště	Ocelové průmyslové	15	0.280 m	0.207 m	Podlaží (1) - 1NP	Podlaží (6) - 2NP	

Výkaz podlah dle sestavy					
Rodina	Sestava podlahy	Plocha	Výchozí tloušťka	Konstrukční materiál	Podlaží
Podlaha	Beton, litý na místě, 225mm	22 m ²	0.225 m	Železobeton	Podlaží (1) - INP
Podlaha	Dno, beton 100 mm	6 m ²	0.100 m	Železobeton	Podlaží (7) - obslužná lávka vně budovy
Podlaha	Dno, beton 250 mm	20 m ²	0.250 m	Železobeton	Podlaží (6) - 2NP
Podlaha	Dno, beton 500 mm	33 m ²	0.500 m	Železobeton	Podlaží (-1) - dno výtoku z turbíny
Podlaha	Dno, beton 500 mm	18 m ²	0.500 m	Železobeton	Podlaží (6) - 2NP
Podlaha	Obslužná komunikace	149 m ²	0.600 m	Štěrka zpevněná	Podlaží (7) - obslužná lávka vně budovy
Podlaha	Obslužná komunikace	27 m ²	0.600 m	Štěrka zpevněná	Podlaží (7) - obslužná lávka vně budovy
Podlaha	ocelový rošt 50 mm	3 m ²	0.050 m	CZ - Ocelový svařovaný rošt	Podlaží (4) - obslužná lávka v budově
Podlaha	ocelový rošt 50 mm	11 m ²	0.050 m	CZ - Ocelový svařovaný rošt	Podlaží (6) - 2NP
Podlaha	ocelový rošt 50 mm	2 m ²	0.050 m	CZ - Ocelový svařovaný rošt	Podlaží (6) - 2NP
Podlaha	ocelový rošt 50 mm	6 m ²	0.050 m	CZ - Ocelový svařovaný rošt	Podlaží (3) - pilíř, výtok z MVE
Podlaha	ocelový rošt 50 mm	4 m ²	0.050 m	CZ - Ocelový svařovaný rošt	Podlaží (8) - pilíře, nátok
Podlaha	ocelový rošt 50 mm	0 m ²	0.050 m	CZ - Ocelový svařovaný rošt	Podlaží (8) - pilíře, nátok
Podlaha	ocelový rošt 50 mm	0 m ²	0.050 m	CZ - Ocelový svařovaný rošt	Podlaží (1) - INP
Podlaha	ocelový rošt 50 mm	5 m ²	0.050 m	CZ - Ocelový svařovaný rošt	Podlaží (1) - INP

Výkaz zábradlí				
Rodina	Typ	Délka	Výška zábradlí	Podlaží základny
Zábradlí	900mm potrubí	2.20 m	0.9 m	Podlaží (6) - 2NP
Zábradlí	900mm potrubí	2.84 m	0.9 m	
Zábradlí	900mm potrubí	3.78 m	0.9 m	Podlaží (4) - obslužná lávka v budově
Zábradlí	900mm potrubí	1.53 m	0.9 m	Podlaží (6) - 2NP
Zábradlí	900mm potrubí	10.51 m	0.9 m	Podlaží (7) - obslužná lávka vně budovy
Zábradlí	900mm potrubí	7.47 m	0.9 m	Podlaží (8) - pilíře, nátok
Zábradlí	900mm potrubí	10.09 m	0.9 m	Podlaží (8) - pilíře, nátok
Zábradlí	900mm potrubí	3.64 m	0.9 m	Podlaží (8) - pilíře, nátok
Zábradlí	900mm potrubí	16.33 m	0.9 m	Podlaží (8) - pilíře, nátok
Zábradlí	900mm potrubí	5.29 m	0.9 m	
Zábradlí	900mm potrubí	7.59 m	0.9 m	
Zábradlí	900mm potrubí	4.52 m	0.9 m	
Zábradlí	900mm potrubí	3.50 m	0.9 m	

Celkový součet: 13

79.29 m

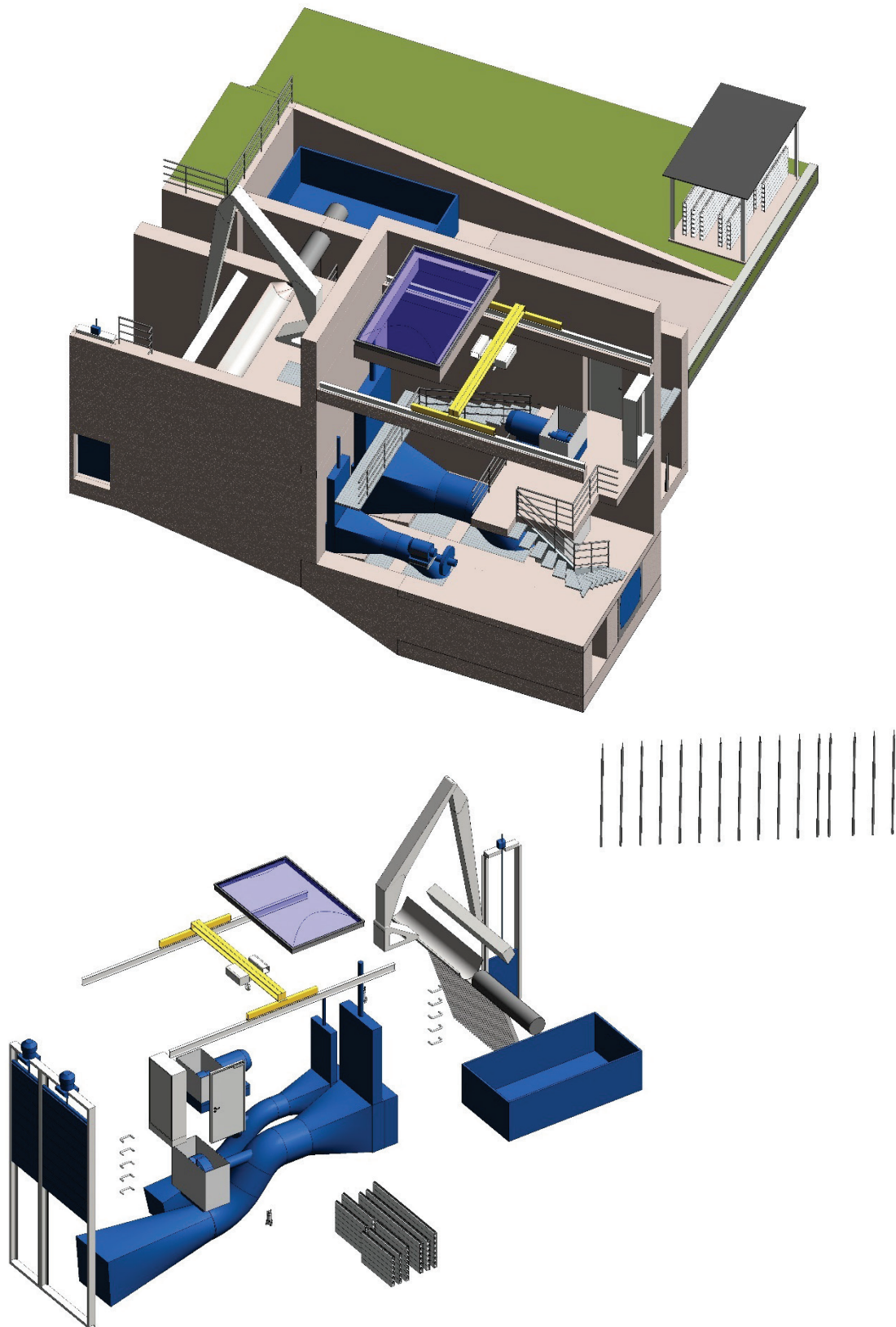


Obrázek 38: Zobrazení systémových rodin (různé pohledy)

Další prvky modelu jsou rodiny načítatelné – to jsou v případě projektu okna, dveře a další speciální vybavení MVE, tak byly nazvány všechny ostatní prvky jako například česle, čistící stroj, čerpadla a podobně (Obrázek 39). V případě dveří a oken byly jako parametry uvedeny ještě výrobci, šířka a výška. V případě speciálního vybavení MVE byl vždy uveden pouze materiál (Tabulka 15).

Tabulka 15: Výkazy načítatelných rodin modelu MVE

Výkaz oken							
Popis okna	Typ	Počet	Šířka	Výška	Glazing Material	Výrobce	
Window-skylight-VELUX_CM-curb_mounted-dome-commercial	VELUX CM dome skylight MVE	1	2.20 m	3.49 m	Plastic - VELUX - Clear Over Clear Acrylic	VELUX	
Výkaz dveří							
Popis dveří	Typ	Počet	Šířka	Výška	Materiál rámu	Materiál panelu	Výrobce
H16-OD_SL_T90_BETA_EN	H16 OD, 90-1	1	1.01 m	2.14 m	Hörmann - RAL 9002	Hörmann - RAL 9002	HÖRMANN
Výkaz materiálu pro speciální vybavení					Výkaz speciálního vybavení		
Rodina		Materiál: Název			Rodina		Počet
Generátor T1		Nerez - keramický modrý nátěr			Generátor T1		1
Generátor T1		Ocelová síť			Generátor T2		1
Generátor T2		Nerez - keramický modrý nátěr			Hrazení - nátok MVE		19
Hrazení - nátok MVE		Hliník – plochý			Hrazení - rybochod		32
Hrazení - rybochod		Hliník – plochý			Hrubé česle		16
Hrubé česle		Nerezová ocel			Jemné česle		1
Jemné česle		Nerezová ocel			Jeřábová dráha		1
Jeřábová dráha		Ocel			kontejner na shrabky		1
Jeřábová dráha		Ocel s povrchovou úpravou			Nosná konstrukce, kladkostroj, tabule provizorního hrazení		1
kontejner na shrabky		Modrá			Rozvaděč		1
Nosná konstrukce, kladkostroj, tabule provizorního hrazení		Nerez - keramický modrý nátěr			Stavidlo proplachovacího kanálu		1
Nosná konstrukce, kladkostroj, tabule provizorního hrazení		Ocel			T1 - provozní tabulový uzávěr		1
Rozvaděč		Glass			T2 - provozní tabulový uzávěr		1
Rozvaděč		Ocel			Turbína T1		1
Rozvaděč		Plast			Turbína T2		1
Stavidlo proplachovacího kanálu		Nerez - keramický modrý nátěr			Čerpadlo		3
Stavidlo proplachovacího kanálu		Ocel			Čistící stroj		1
T1 - provozní tabulový uzávěr		Nerez - keramický modrý nátěr			Řemenice		1
T2 - provozní tabulový uzávěr		Nerez - keramický modrý nátěr			Žebřík		2
Turbína T1		Nerez - keramický modrý nátěr			Žlab shrabků		1
Turbína T2		Nerez - keramický modrý nátěr			Celkový součet: 87		
Čerpadlo		Nerezová ocel - čerpadla Ebara - AISI 304					
Čistící stroj		Ocel					
Řemenice		Nerez - keramický modrý nátěr					
Řemenice		Ocelová síť					
Žebřík		Železo					
Žlab shrabků		Nerezová ocel					
Celkový součet: 94							



Obrázek 39: Zobrazení načítatelných rodin (nahore i včetně ostatních typů rodin, dole celkový pohled)

Zbylá část projektu byla tvořena pomocí obecných modelů a objemů – rodiny vytvořené na místě (Obrázek 40). Jako výkaz je uveden materiál a jejich celkový hrubý objem (Tabulka 16).

Tabulka 16: Výkazy rodin na místě modelu MVE

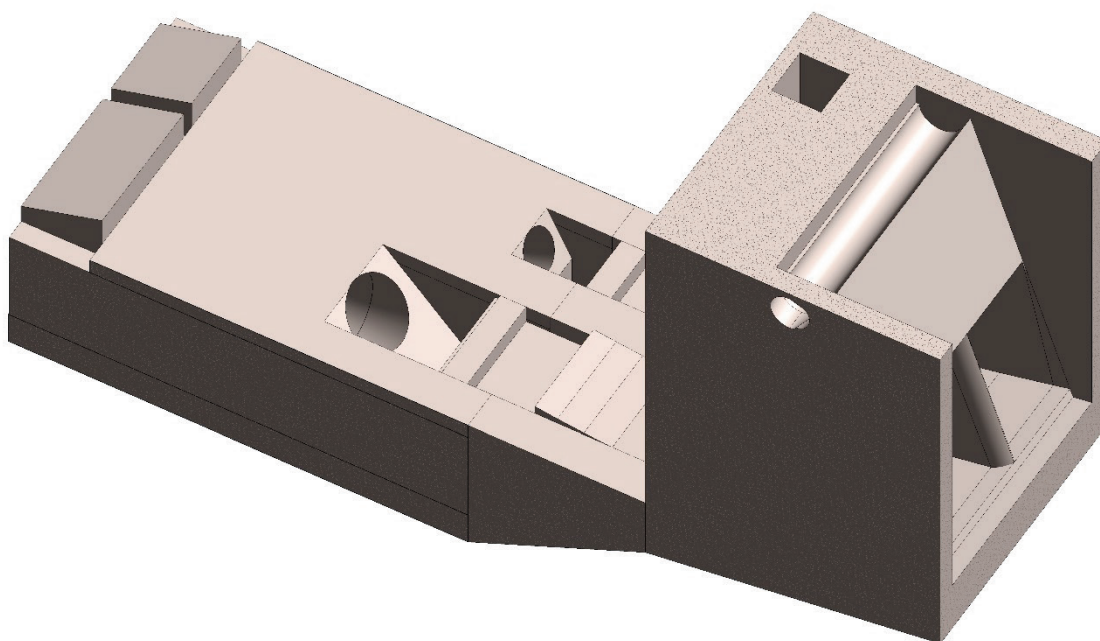
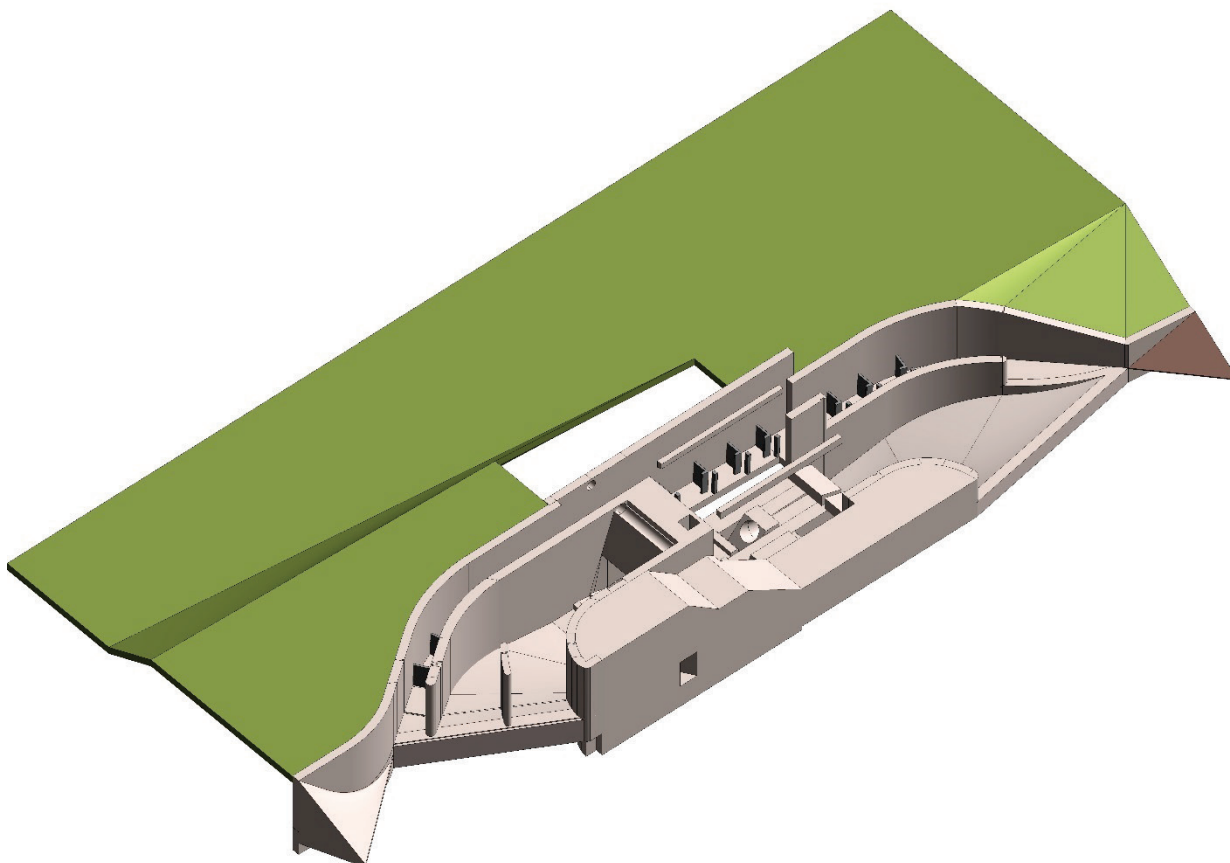
Výkaz materiálu pro obecný model			
Rodina	Počet	Materiál: Název	Objem
Dolní stavba MVE	1	Železobeton	45.82 m ³
Dělicí pilíř	1	Železobeton	209.52 m ³
Konzola na jeřábovou dráhu	1	Železobeton	1.37 m ³
Nátok, tvar 1	1	Železobeton	54.97 m ³
Nátok, tvar 2	1	Železobeton	16.06 m ³
Obetonování T1	1	Železobeton	4.80 m ³
Proplachovací kanál - konstrukce pro stavidlo	1	Železobeton	0.93 m ³
Rybí přechod - prvky	15	Beton odlitý na místě	0.18 m ³
Stěna rybochod 2	1	Železobeton	6.46 m ³
T2 obetonování	1	Železobeton	3.70 m ³
Vtokový práh	1	Železobeton	12.75 m ³
Výtok tvar	1	Železobeton	8.55 m ³
Výtokový práh	1	Železobeton	6.15 m ³

Celkový součet: 27

Výkaz objemů			
Rodina	Počet	Materiál	Hrubý objem
Dno nátoku	1	Železobeton	17.90 m ³
Stěny nátoku	1	Železobeton	27.30 m ³
Dno výtoku	1	Železobeton	15.81 m ³
Stěny výtoku	1	Železobeton	15.08 m ³
Práh na výtoku z rybochodu	1	Železobeton	1.53 m ³
Dno rybochodu	1	Železobeton	26.48 m ³
Vnější stěna rybochodu	1	Železobeton	53.87 m ³
Zavázání do břehu v nadjezí	1	Železobeton	10.69 m ³
Terén v okolí MVE	1	Zemina	301.28 m ³
Zavázání do břehu v podjezí	1	Kámen - zához	3.11 m ³
Nátoky na turbíny - zúžení podél stěn, dělicí pilíř	1	Železobeton	3.80 m ³
Nátokový dělicí pilíř	1	Železobeton	1.85 m ³

Celkový součet: 12

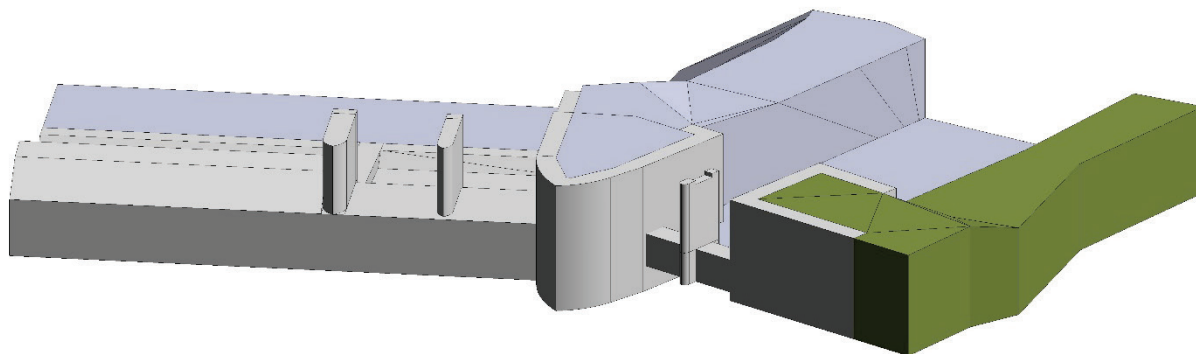
478.70 m³



Obrázek 40: Zobrazení rovin na místě (nahore celkový pohled, dole pohled na nátok na turbíny a dolní stavbu)

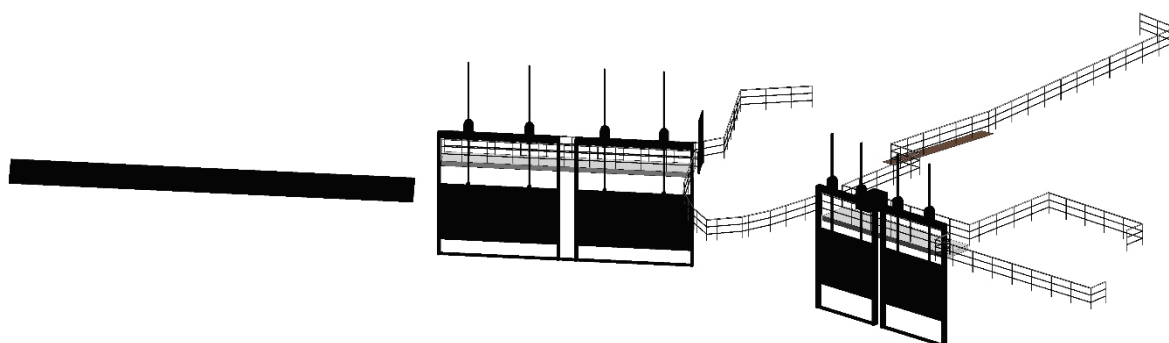
4.4.1.2.2. Model jezu

Stavební část jezu a náhonu byla vytvořena jako rodina na místě a je v kategorii objemů (Obrázek 41). Terén včetně koryta byl také vytvořen jako rodina na místě v kategorii objem.



Obrázek 41: Stavební část jezu a náhonu, terén koryta a břehů

Ostatní součásti jezu jako jsou stavidla a klapkový jez byla také vytvořena pomocí rodin na místě, v kategoriích mechanických zařízení (Obrázek 42). Dále bylo vytvořeno zábradlí pomocí systémové rodiny zábradlí.



Obrázek 42: Vyfiltrované ostatní součásti jezu a náhonu

Celkový model jezu, náhonu a koryta je zobrazen výše v textu (Obrázek 27). Výkaz prvků a jejich parametru v modelu je zobrazen v tabulce níže (Tabulka 17).

Tabulka 17: Výkaz všech prvků v modelu jezu, náhonu a koryta

Výkaz rodiny zábradlí			
Rodina	Typ	Délka	Výška zábradlí
Zábradlí	Zábradlí - svařované potrubí	6.04 m	0.90 m
Zábradlí	Zábradlí - svařované potrubí	8.72 m	0.90 m
Zábradlí	Zábradlí - svařované potrubí	10.08 m	0.90 m
Zábradlí	Zábradlí - svařované potrubí	10.10 m	0.90 m
Zábradlí	Zábradlí - svařované potrubí	13.43 m	0.90 m
Zábradlí	Zábradlí - svařované potrubí	22.83 m	0.90 m
Zábradlí	Zábradlí - svařované potrubí	28.43 m	0.90 m
Délka celkem		99.63 m	

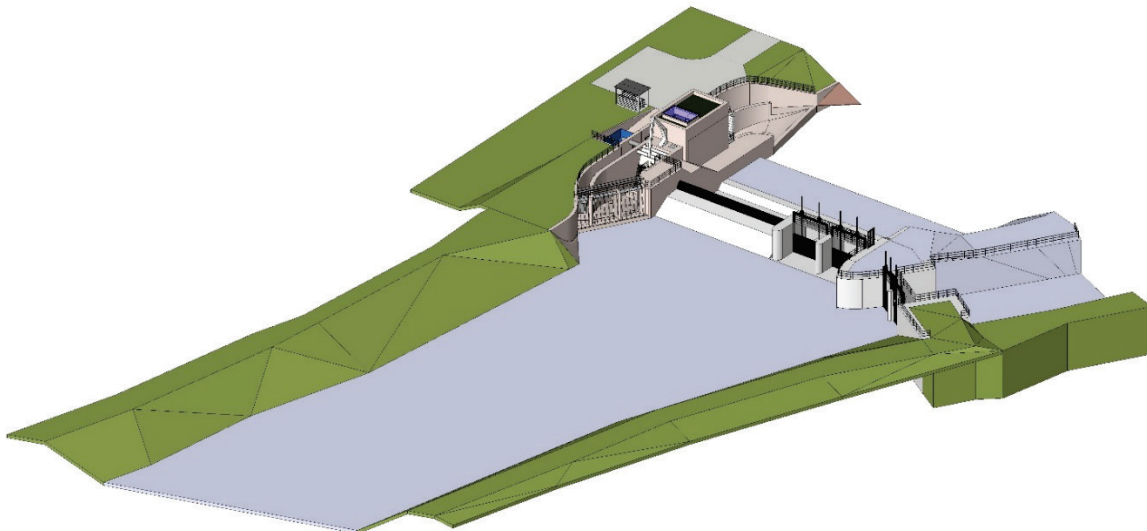
Výkaz objemů			
Rodina	Počet	Materiál prvku	Hrubý objem
Náhon těleso	1	Betonová konstrukce jezu	119.50 m ³
Terén břeh	1	Trávník - hrubé pole	846.83 m ³
Dno náhonu	1	Říční kámen, modrý	154.01 m ³
Dno podjezí	1	Říční kámen, modrý	299.87 m ³
Zemní těleso dělicího pilíře	1	Říční kámen, modrý	1351.15 m ³
Jezové těleso	1	Betonová konstrukce jezu	737.33 m ³
Celkový součet: 6			3508.69 m ³

Výkaz speciálního vybavení	
Rodina	Počet
Branka	1
Stavidlo jez	1
Stavidlo náhon	1
Klapka jez	1
Celkový součet: 4	

4.4.2. Spojení modelů do jednoho koordinačního modelu

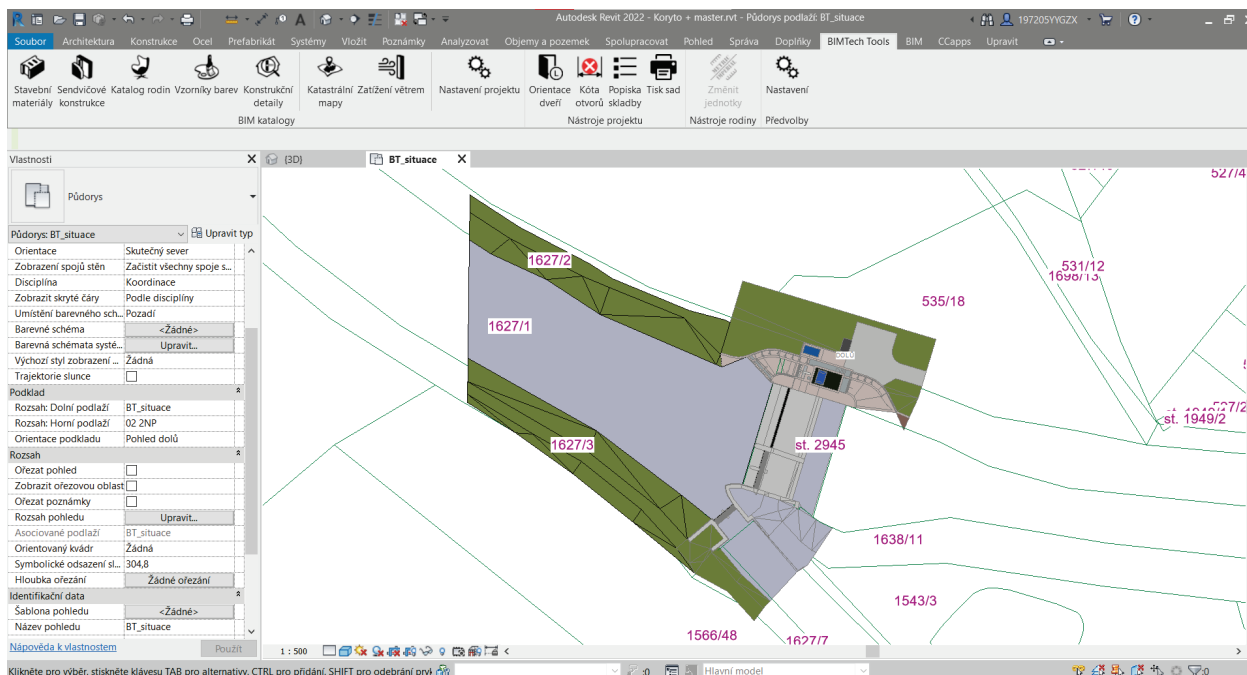
Dva existující modely (model MVE a model jezu s náhonem) byly propojeny pomocí Revitu do jednoho koordinačního modelu. Modely mohly být upravovány v samostatných souborech a v jednom koordinačním zůstávala vždy aktuální verze. Do koordinačního modelu byl ještě přidán objem koryta řeky Moravy pro doplnění celkové situace.

Ve spojeném modelu byl ještě vytvořen okolní terén včetně koryta v softwaru Revit (Obrázek 43). Pro vytváření okolního terénu je mnohdy výhodnější využít software Civil 3D a to z důvodu, že je vhodnější pro modelování liniových prvků jako je koryto řeky (Návrh nového tvaru koryta řeky, tvorby řezů, výkazů výkopů a násypů a podobně).



Obrázek 43: Vytvořený celkový model i včetně terénu

Celkový koordinační model MVE, jezu, náhonu a okolního terénu byl umístěn do reálného souřadnicového systému S-JTSK a jako podklad byla přidána katastrální mapa pomocí pluginu BIMTech Tools (<https://bimtech.cz/>) (Obrázek 44).



Obrázek 44: Umístění modelu do katastru nemovitostí

4.4.3. Matematický model proudění

Jedním z možných využití BIM modelu MVE je právě modelování proudění vody na nátoku na MVE. Toto je možné demonstrovat použitím softwaru Flow-3D.

V rámci práce bude vymodelování proudění vody na MVE včetně rybiho přechodu, na jez a náhon a v korytě 25 m protiproudě nad jezem. Jako podklady pro zadání okrajových podmínek byly využity hydroenergetické výpočty [30]. Podklady pro matematický model proudění byly připraveny pomocí Revitu, dále byly upraveny pomocí softwaru Netfabb a Blender (<https://www.blender.org/>). Samotné modelování proudění povrchové vody bylo provedeno pomocí softwaru Flow-3D.

Teorie matematického modelování je uveden v textu níže. Zdroj následujících informací je [34] a [35].

4.4.3.1. Matematické modelování – teorie

Model je účelově zjednodušené zobrazení reálného nebo abstraktního světa. Matematický model je popis určitého vnějšího výseku světa matematickými prostředky. Sestává z matematického vyjádření fyzikálních vztahů mezi veličinami, které se ve zkoumaném jevu vyskytují.

Postup při tvorbě matematického modelu:

1. Stanovení cílů – specifikují se cíle modelování a přesnost modelu.
2. Podrobná analýza problému, matematická formulace problému. Základní teorie jsou:
 - a. Zákon zachování hmotnosti.
 - b. Zákon zachování hybnosti.
 - c. Zákon zachování energie.
 - d. Stavové rovnice.
3. Zjednodušující předpoklady – dle účelu se přijmou zjednodušení (např. izotermie, nestlačitelnost kapaliny, ...)
4. Výběr aplikace metody řešení – většinou numerické. Numerické metody příklady:
 - a. Konečných diferencí
 - b. Konečných prvků
 - c. Konečných objemů
5. Algoritmizace úlohy a sestavení zdrojového programu.
6. Numerické testy – ověří se správnost algoritmu a najdou se případné chyby.

7. Kalibrace modelu – účelem je získání souboru vstupních a výstupních dat, určí se parametry modelu.
8. Citlivostní analýza – slouží k posouzení závislosti vlivu vstupních veličin a parametrů modelu na výsledky řešení.
9. Verifikace modelu – jiný soubor dat než kalibrační (hodnoty se pak mají shodovat s naměřenými).
10. Simulace vybraných stavů – kalibrovaným a verifikovaným modelem pro sledování průběhu fyzikálního děje.

Spolehlivost matematického modelování je závislá na přesnosti, s jakou matematický model vystihuje reálný děj, dále na numerické přesnosti závislé na diskrétní metodě – ta obsahuje zjednodušení, která mohou být z hlediska přesnosti získaných výsledků značné. V poslední řadě je spolehlivost dána spolehlivostí vstupních údajů.

V rámci matematického modelování se přijímají zjednodušující předpoklady, které se promítnou do počtu neznámých. Příklady zjednodušujících předpokladů:

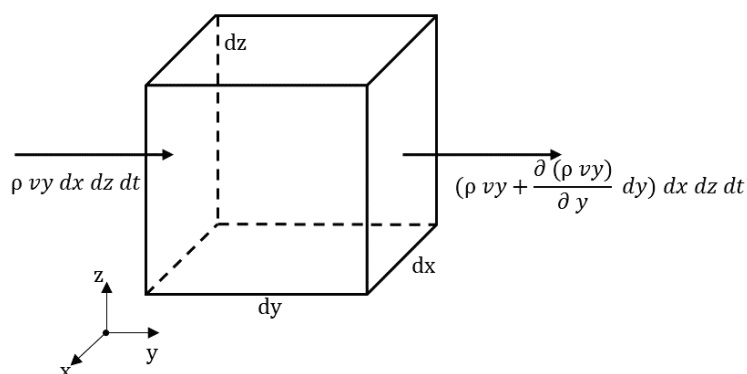
- dimenze (1D, 2D, 3D);
- časová závislost (stacionární × nestacionární);
- hydraulický režim proudění (laminární × turbulentní);
- charakteristiky kapaliny;
- teplotní podmínky (izotermické, neizotermické);
- účel (simulační, řídicí, optimalizační);
- povaha vstupních veličin a parametrů a výstupních veličin (deterministické a stochastické modely).

4.4.3.1.1. Základní rovnice mechaniky kapalin

Základní rovnice proudění jsou Navier-Stokesovy rovnice, které vychází ze zákona zachování hmotnosti a z věty o změně hybnosti [34], [35].

Zákon zachování hmotnosti

Rovnice kontinuity je diskrétní vyjádření zákona zachování hmotnosti (ZZH). Uvažujeme ZZH proudící kapaliny aplikované na infinitesimální kontrolní element vyjmutý z oblasti proudění. Ze ZZH vyplývá, že rozdíl mezi hmotností kapaliny do elementu vtékající a z elementu vytékající za časový interval dt se musí rovnat časové změně hmotnosti kapaliny obsažené v tomto elementu (Obrázek 45).



Obrázek 45: Spojitost proudu v elementárním hranolu ve směru osy y

Rovnici kontinuity pro stlačitelnou tekutinu lze s využitím Einsteinovy sumační konvence zapsat ve tvaru:

$$\frac{\partial (\rho v_i)}{\partial x_i} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad 4.1$$

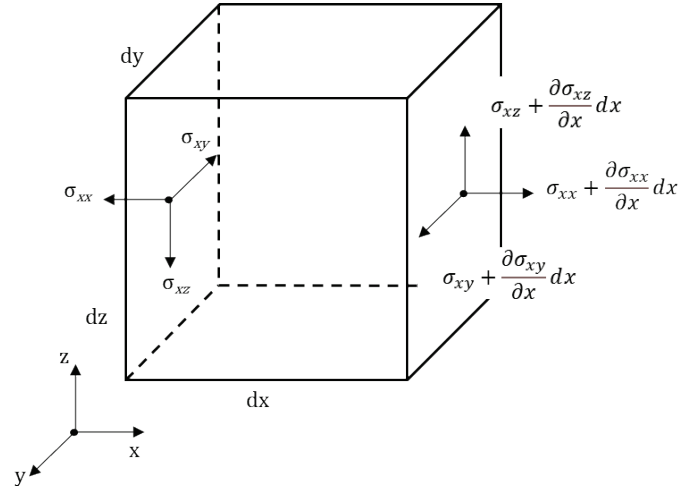
Kde ρ je hustota, v_i je složka vektoru rychlosti v a x_i prostorové souřadnice. V případě nestlačitelné kapaliny přejde rovnice nahoře na tvar:

$$\frac{\partial v_i}{\partial x_i} = 0$$

4.2

Věta o změně hybnosti

Podle druhého pohybového zákona je časová změna hybnosti tělesa úměrná působícím silám objemovými a povrchovými a má s nimi stejný směr (Obrázek 46).



Pokud využijeme druhý pohybový zákon na infinitezimálním kontrolním objemu získáme vztah (pohybová rovnice):

$$\rho \frac{\partial v_i}{\partial t} + \rho v_j \frac{\partial v_i}{\partial x_j} = \rho f_i + \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} \quad 4.3$$

Kde v_i je vektor rychlosti, x_i je vektor polohy, t je čas, ρ je hustota, f_i je složka vektoru objemového zatížení vztaheného na jednotku hmotnosti a σ_{ij} je tenzor napětí.

Konstitutivní vztahy

Konstitutivní vztah vyjadřuje závislost mezi tenzorem napětí σ_{ij} a tenzorem rychlosti přetvoření ϵ_{ij} . Tenzor napětí pro stlačitelnou kapalinu je definován jako:

$$\sigma_{ij} = -p\delta_{ij} + \lambda\epsilon_v\delta_{ij} + 2\mu\epsilon_{ij} \quad 4.4$$

Kde p je tlak, δ_{ij} je Kronockerovo delta, $\lambda(\delta, T)$ součinitel rychlosti objemového přetvoření, ϵ_v rychlost objemového přetvoření, $\mu(\rho, T)$ součinitel dynamické viskozity a ϵ_{ij} tenzor rychlosti přetvoření.

Tenzor rychlosti přetvoření se vyjádří vztahem:

$$\epsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) \quad 4.5$$

Součinitel rychlosti objemového přetvoření se vyjádří vztahem:

$$\lambda = -\frac{2}{3}\mu \quad 4.6$$

Rychlost objemového přetvoření se vyjádří vztahem:

$$\varepsilon_v = \frac{\partial v_i}{\partial x_i} \quad 4.7$$

Navier-Stokesovy rovnice

Navier-Stokesovy rovnice vznikají dosazením konstitutivních vztahů σ_{ij} do pohybové rovnice. Následně se dosadí i součinitel rychlosti objemového přetvoření λ a tenzor rychlosti přetvoření ε_{ij} .

$$\rho f_i - \frac{\partial p}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \frac{\partial(\mu \varepsilon_v)}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) \right] = \rho \frac{\partial v_i}{\partial t} + \rho v_j \frac{\partial v_i}{\partial x_j} \quad 4.8$$

4.4.3.1.2. Turbulentní proudění

Pohyb skutečné vazké tekutiny může být laminární anebo turbulentní. Pohyb tekutin v přírodě je obecně nestacionární a třídimenzionální.

Modelování turbulentního proudění pro nestlačitelné vazké tekutiny lze matematicky popsat pomocí Navier-Stokesových rovnic.

Přístupy k modelování turbulence jsou například DNS, LES nebo RANS. Převážná většina praktických úloh v CFD využívá pro řešení turbulentního proudění právě metodu RANS. Používají se Reynoldsovy rovnice, které vzniknou časovým zprůměrováním Navier-Stokesových rovnic (metoda časového středování).

4.4.3.1.3. Modelování charakteristik ve 3D pomocí CFD

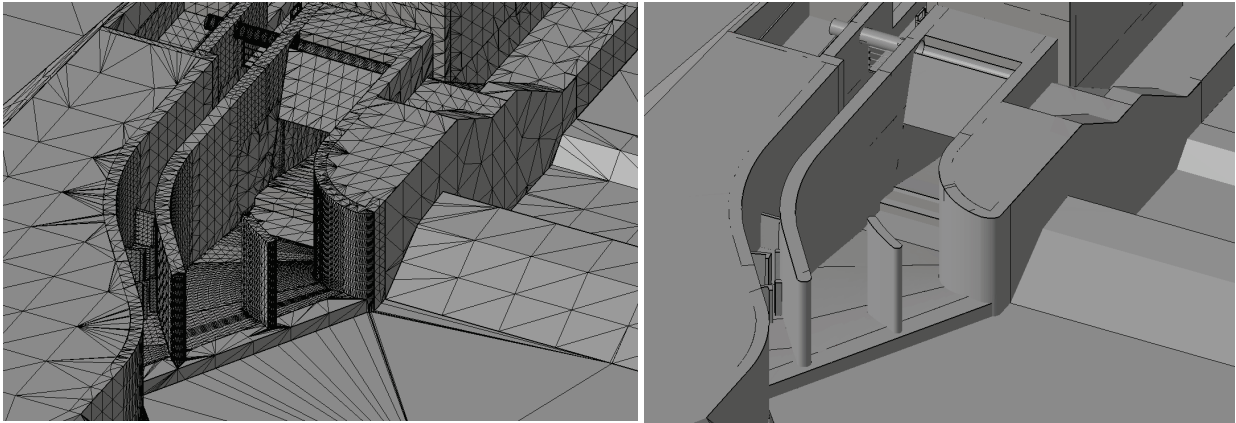
Computational Fluid Dynamics (CFD) je druh numerického modelování. Základem CFD je Navier-Stokesova rovnice. CFD lze použít při různých úlohách proudění. Při řešení úloh popsaných Navier-Stokesovou rovnicí se použijí metody numerické matematiky. Spojitý problém je diskretizován: diferenciální rovnice je převedena na soustavu lineárních rovnic, na jejich řešení se používá iteračních metod. Nevýhodou CFD jsou nároky na výpočetní techniku a čas, nicméně výhodou oproti fyzikálnímu modelování jsou ty, že není třeba laboratoře a lze snadno vytvářet různé varianty.

4.4.3.1.4. Software

Pro modelování 3D proudění je možné využít software, například Ansys-Flotran, Fluent nebo Flow-3D, které jsou vhodné pro modelování detailů – například nátoků, vývaru či obtékání pilířů. Pro účely diplomové práce bude zvolen software Flow-3D. Jedná se o CFD nástroj pro řešení 3D fyzikálních problémů, které řeší metodou konečných objemů (Volume of Fluids – VOF) za použití RANS rovnic v definované výpočtové oblasti se specifikovanými okrajovými a počátečními podmínkami.

4.4.3.2. Příprava podkladů pro 3D model proudění povrchové vody

Celkový koordinační model byl bez všech strojních částí (bez česel, hradidel, a podobně) vyexportován z Revitu do souboru s příponou .stl. Tento CAD formát lze běžně upravovat v jiných modelovacích softwarech. Takový model nelze přímo využít pro modelaci proudění, neboť nebyl vytvořen přímo k těmto účelům, a tak exportem vznikají geometrické nedokonalosti, které by mohli způsobit značné nepřesnosti ve výpočtu proudění. Nejdříve byly provedeny automatické opravy v programu Netfabb. V dalším kroku byl model dále upraven v 3D modelovacím softwaru Blender, který umožňuje úpravy triangulační sítě, která tvoří model (Obrázek 47). Opravy v programech Netfabb a Blender měly za cíl získat skořepinu modelu stavby bez netěsností (voda by mohla případně zatékat dovnitř skořepiny).



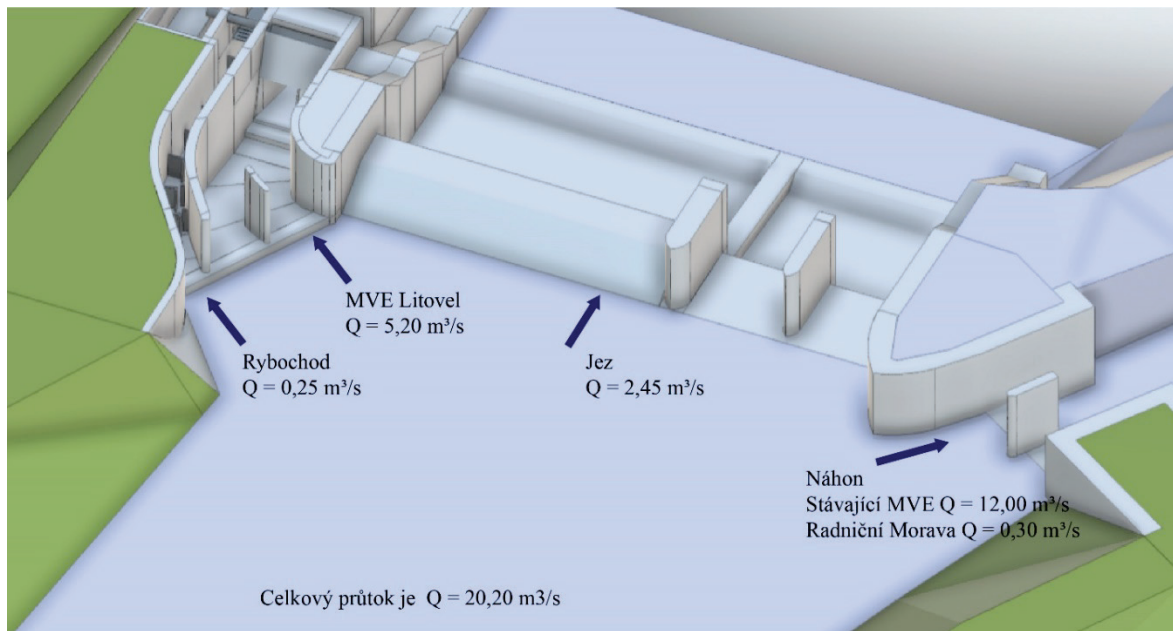
4.4.3.3. Modelování proudění povrchové vody ve Flow-3D

Jako zjednodušující předpoklad je ustálené proudění, jako tekutina byla uvažována nestlačitelná čistá voda bez sedimentů a nerozpuštěných látek.

V programu Flow-3D je nejprve nutné nastavit parametry a podmínky výpočtu. Nejdříve byly zvoleny jednotky výpočtu – jednotky SI soustavy a čas výpočtu na 200 sekund. Dále byla nastavena hodnota gravitačního zrychlení ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$) a pro jednoduchost byl zvolen výpočet viskózního proudu, což znamená, že proběhne výpočet pro laminární proudění, které je jednodušší než turbulentní a pro demonstrační účely využití modelu postačí. Dále byly nastaveny parametry proudící kapaliny, byly vybrány přednastavené vlastnosti vody při 20°C .

Pro modelování proudění na nátok MVE Litovel byly jako okrajové podmínky vybrány průtoky odpovídající Q_{120} (Obrázek 48):

- Celkový průtok je $Q = 20,20 \text{ m}^3/\text{s}$.
- V rybím přechodu $Q = 0,25 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Na nově navrženou MVE Litovel $Q = 5,20 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Přes jez $Q = 2,45 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Náhon:
 - o Odběr na stávající MVE $Q = 12,00 \text{ m}^3/\text{s}$.
 - o Odběr Radniční Morava $Q = 0,30 \text{ m}^3/\text{s}$.

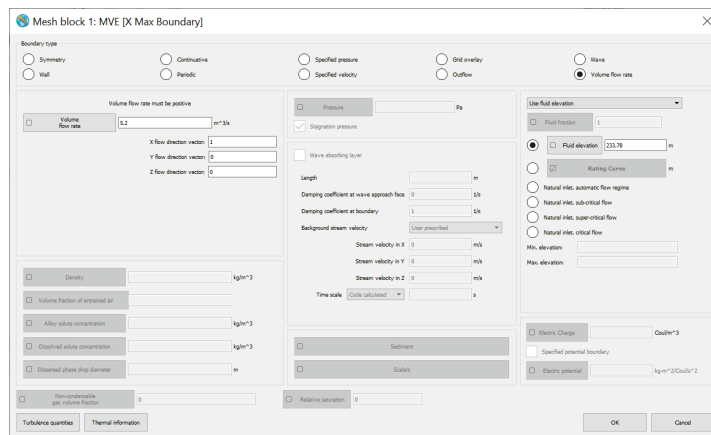
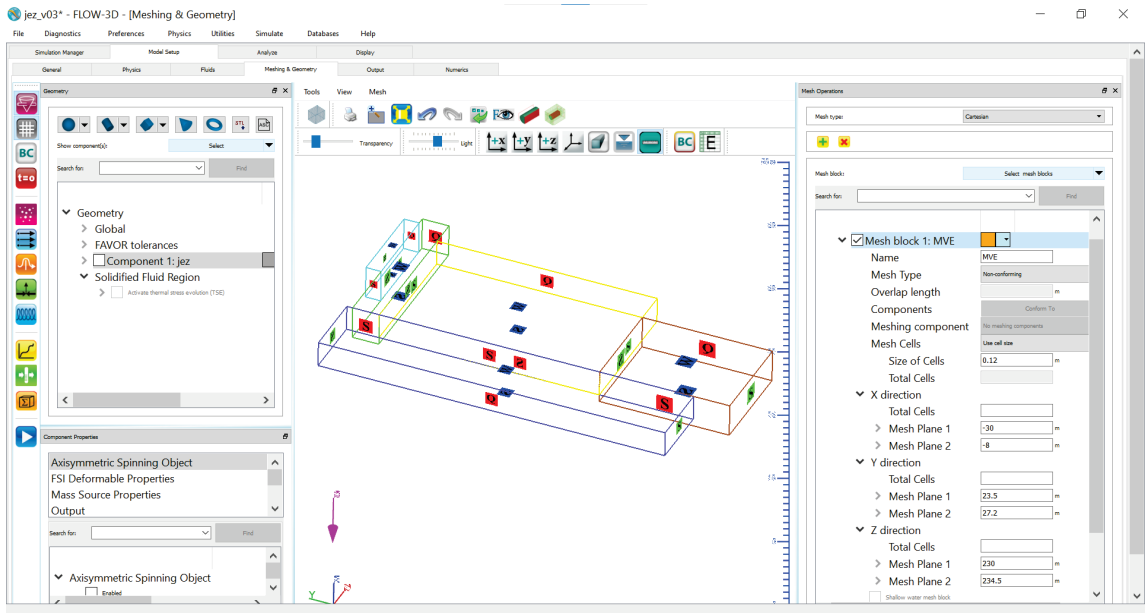
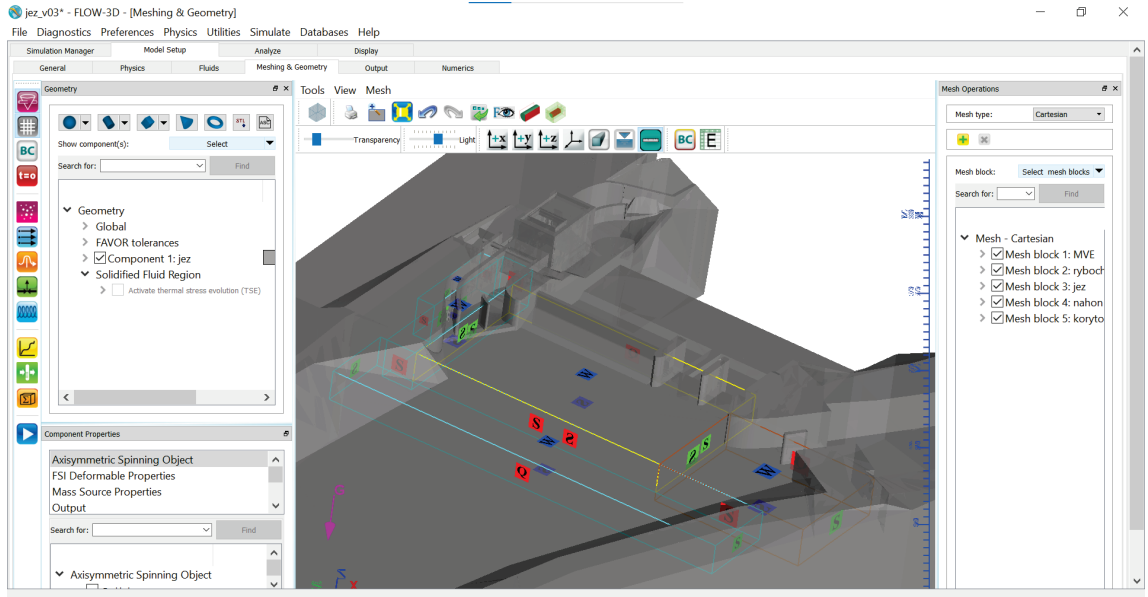


Horní okrajová podmínka (OP) byla volena hladina a odpovídající průtok v Moravě.

Dolní okrajová podmínka byla volena ve formě hladiny vody a odpovídající průtoky pro rybí přechod, MVE, jez a náhon.

Před nastavením okrajových podmínek bylo nutné vytvořit geometrii (model) a „mesh“ výpočtu (výpočetní síť na jejíž okrajích zadáváme okrajové a počáteční podmínky. Byl nahrán opravený .stl formát koordinačního modelu, a bylo určeno 5 meshů (Obrázek 49) a jejich okrajových podmínek (Obrázek 48):

- Mesh 1: MVE.
- Mesh 2: rybochod.
- Mesh 3: jez.
- Mesh 4: náhon.
- Mesh 5: koryto.

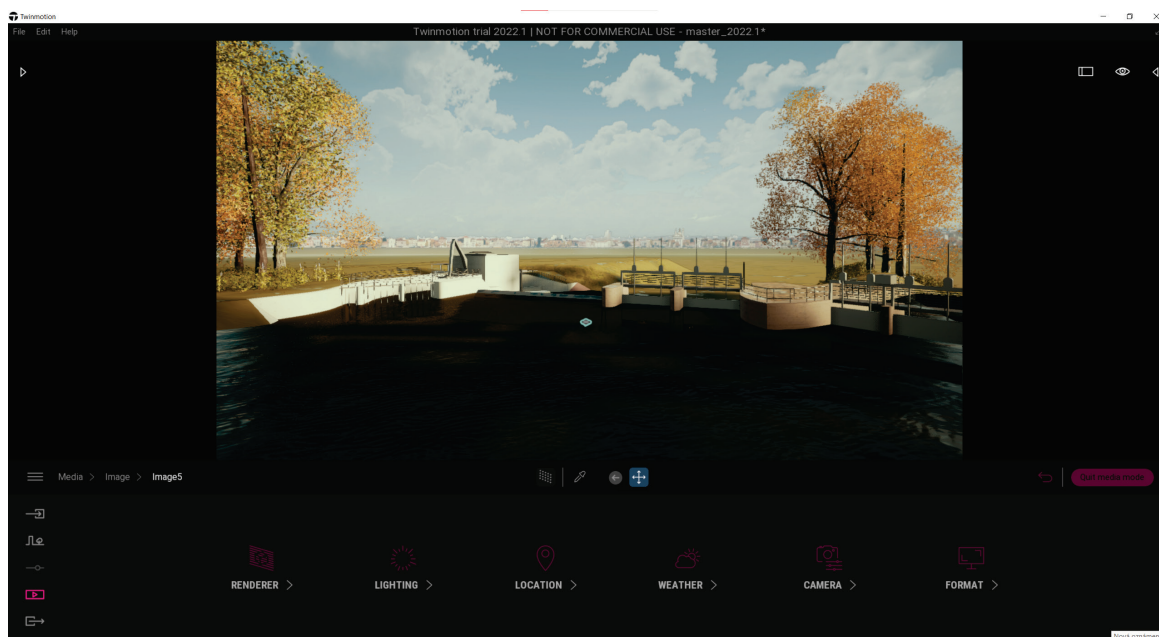


4.4.4. Vizualizace modelu

Dalším možným využitím již existujícího BIM modelu je tvorba vizualizace. Pro vizualizace je možné využít různé softwary uvedené například v Tabulka 7. Z výběru byl použit software Twinmotion.

Nejdříve byl do Twinmotionu importován model. Modelu byly přiřazeny materiály. Dále byl vytvořen okolní terén přímo v prostředí softwaru a byly přidány prvky terénu (stromy, keře, a další). Nakonec byly nastaveny scény vizualizace (jaká je denní doba, jaké je počasí či roční období) a byly vyexportovány různé pohledy a videa (Obrázek 50).

Níže je zobrazen výsledek vizualizací (Obrázek 51). Další obrázky vizualizací jsou uvedeny v části Příloha č. 3 obrázky vizualizací.



Obrázek 51: Vizualizace vodohospodářského uzlu Litovel

4.5. Výsledky modelů

Následuje zhodnocení výsledků jednotlivých modelů – BIM modelu, modelu proudění a úvaha o dalších možných využití vytvořeného modelu.

4.5.1. Výsledky BIM modelu

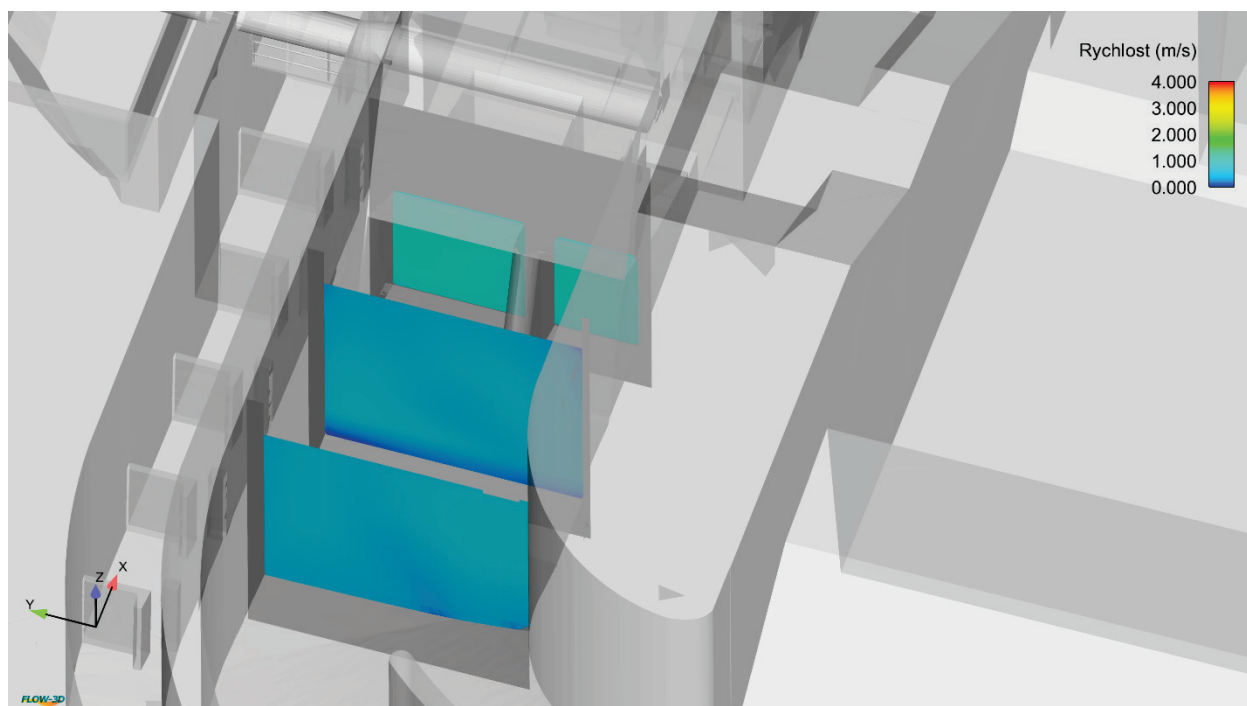
Při vytváření BIM modelu bylo dosaženo dimenze 3D. Do modelu byly vždy zavedeny informace o materiálu (viz kapitola 4.4.1.2). Vzhledem ke skutečnosti, že se zatím jedná pouze o studii díla, další parametry pro zvýšení dimenze díla nebyly přidány. Jako CDE prostředí byl vybrán vzhledem k jednoduché komunikaci G-drive, kam byly ukládány vždy aktuální verze modelů a všech souvisejících dokumentů.

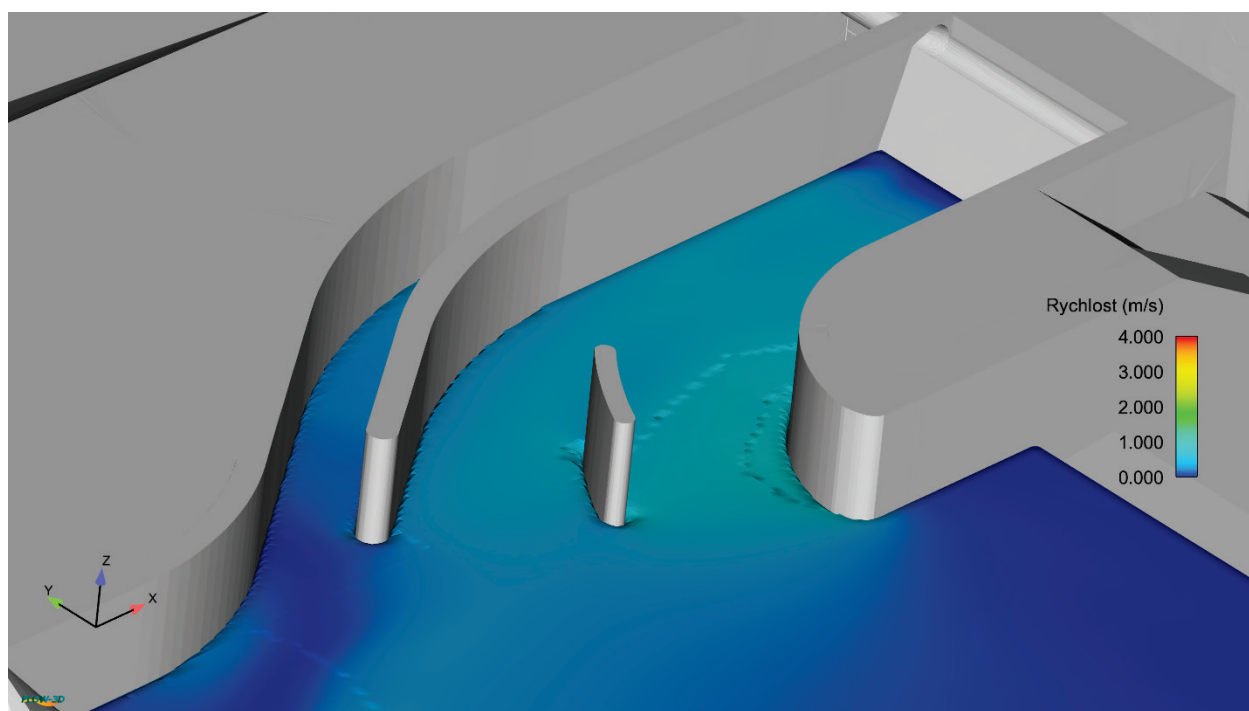
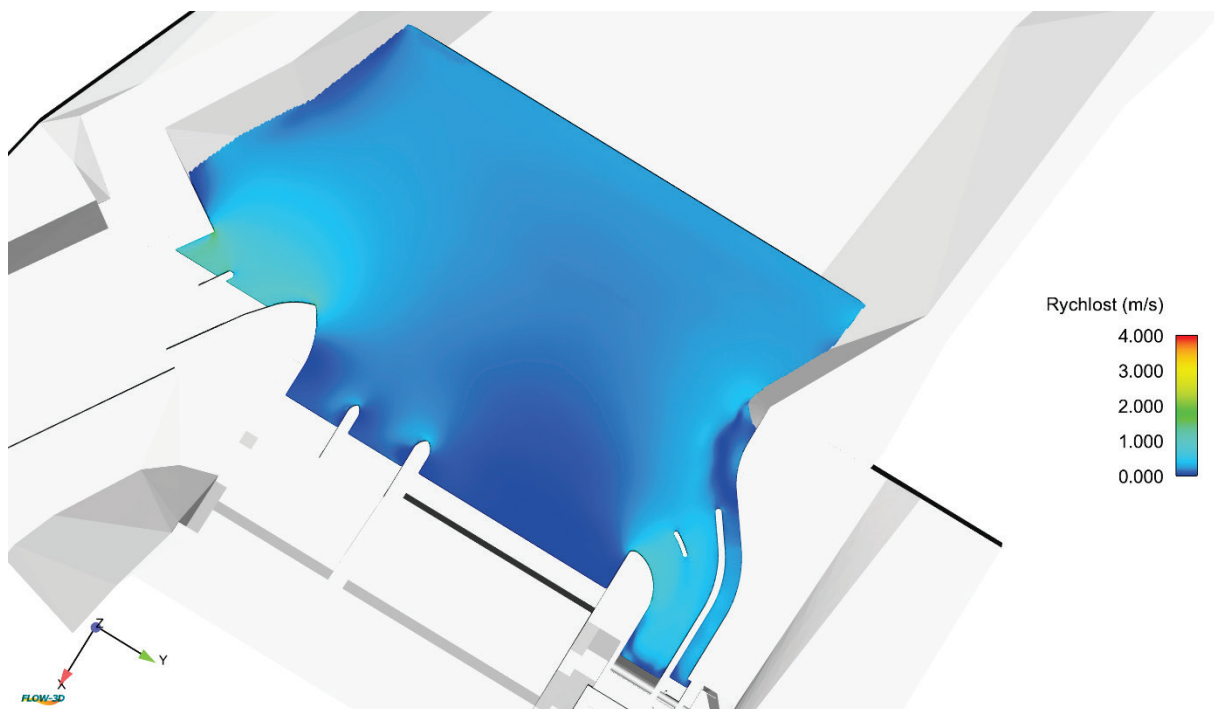
4.5.2. Výsledky matematického modelování

Vytvořený celkový koordinační model lze použít i pro účely matematického modelování, nicméně model vyžadoval pracné úpravy před samotnou simulací proudění. Vytvořený BIM model je po úpravách vhodný i pro modelování proudění.

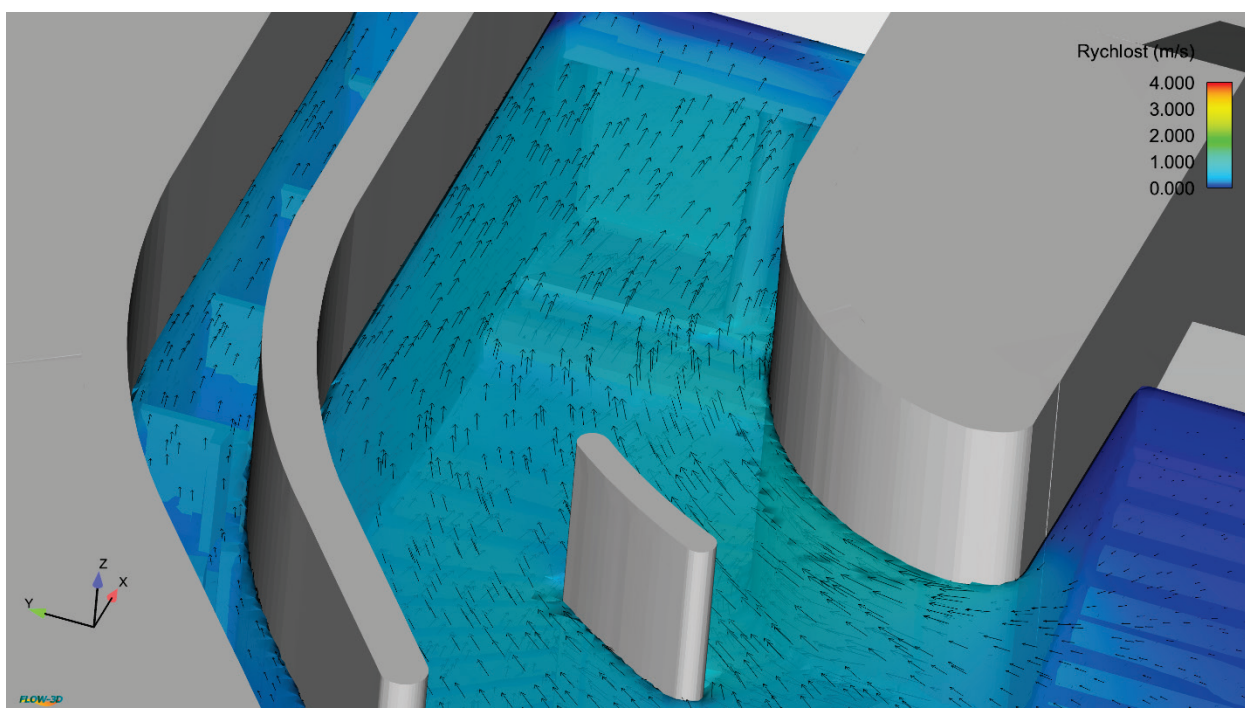
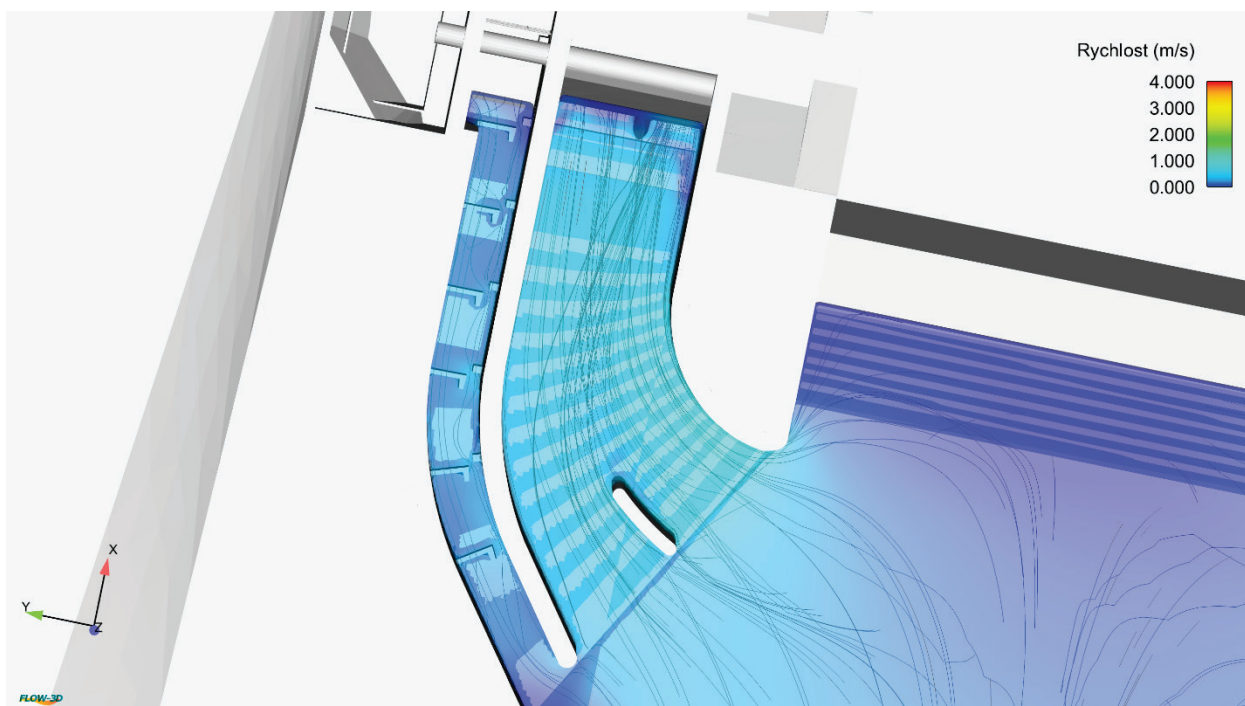
V této fázi je díky modelu vhodné vytváření variant nátoku, a tak vybrat ideální prostorové uspořádání nátoku v daných intervalech zjištěných hydraulickými výpočty s nejméně ideálními výsledky ze simulace proudění.

Pro kompletnost jsou níže uvedeny výsledky simulací a jejich stručné ohodnocení. Výsledky provedených simulací proudění jsou zobrazeny na obrázcích, na kterých jsou vybrané veličiny zobrazeny pomocí barevné škály. Hlavním řešením bylo zobrazení rychlosti proudění (Obrázek 53, Obrázek 52, Obrázek 54).





Obrázek 53: Model vodohospodářského uzlu Litovel – rychlosti proudění na hladině (různé pohledy)



Obrázek 54: Zobrazení proudnic na nátoku na MVE

4.5.3. Zhodnocení dalších možností využití modelů

V rámci práce bylo vybráno využití BIM modelu vodohospodářského uzlu pro simulaci proudění povrchové vody a vizualizace. Takto vytvořený model může mít přidanou hodnotu i v jiných oblastech. Dále bude uveden výčet a krátký popis možných dalších využití modelu.

Použití modelu v dalších fázích stavebního procesu

Uvedený BIM model vodohospodářského uzlu Litovel lze použít i pro další stupně projektové dokumentace, je možné jej přetvořit s větším detailem.

Vytvoření více dimenzionálního modelu

Do BIM modelu se dají vložit další informace, a tak zvýšit dimenzi, dá se například přidat parametr fáze a tím je možné simulovat výstavbu, a tak předejít kolizím. Dále je možné vložit parametr ceny a další parametry uvedené v kapitole 2.2.1 Dimenze BIM.

Využití BIM modelu pro facility management

Pokud bude BIM model aktualizován dle skutečného provedení stavby a bude obsahovat potřebné informace pro správu a údržbu, může být dále použit pro facility management (dimenze 7D).

Vytvoření výkazu výměr

Model umožňuje vytváření tabulky výkazu výměr, a jeho následné užití pro ověření nákladu na stavbu.

Použití modelu pro zhodnocení statiky a působení sil

V Revitu při modelování lze vytvořit přímo analytické schéma, které se dá dále využít pro statickou analýzu (lze přímo modelovat a upravovat analytický model včetně zadání zatížení). Na takto připraveném analytickém 3D modelu může být provedena statická analýza například v softwaru [Scia Engineering](#), [Dlubal Software CS](#), SOFisTiK Analysis, Autodesk Robot Professional.

5. Závěr a diskuse

V části Zjištěné výhody a nevýhody užití BIM ve vodním hospodářství budou konstatovány výhody a nevýhody zjištěné v rámci tvorby BIM modelu vodohospodářského uzlu Litovel.

5.1. Zjištěné výhody a nevýhody užití BIM ve vodním hospodářství pro malou vodní elektrárnu

Níže jsou uvedeny výhody a nevýhody užití BIM zejména pro MVE, některé z nich jsou platné obecně pro všechny stavby, ale pro MVE jsou zásadní. Ve výčtu nejsou uvedeny obecné výhody BIM, z důvodu, že podobné výhody a nevýhody jsou uvedeny v kapitolách dříve uvedených.

5.1.1. Výhody

- **Snadné vytváření variantních řešení**
 - Vytvoření více variant 3D modelu, následně je možná simulace nátoků a vybrání nejvhodnější varianty.
- **Databáze informací v celém životním cyklu díla**
 - Od fáze studie se o díle udržuje jedna databáze informací. Buďto ve formě DiMS modelu a ideálně v kombinaci s vhodně používaným CDE.
- **Možnost využití databáze informací pro správu budovy**
 - Každá MVE vyžaduje následnou náročnou správu. Díky BIM jsou tyto informace dopředu nachystané.
- **Vytváření výkazů**
 - Pomocí IMS se snadno vytváří výkazy – například objemů výkopů a násypů, množství betonu, počtů oken a podobně. Tyto výkazy reagují okamžitě na změny provedené na díle, a proto není třeba složitých manuálních výpočtů geometrií.
- **Komunikace mezi všemi účastníky**
 - Při správném použití umožňuje BIM a využití správného CDE prostředí jednoduchou a přehlednou komunikaci mezi všemi účastníky stavebního procesu.
- **Rychlá reakce na změny na díle**
 - Pokud v návrhu provedeme změnu, tato změna se promítne ve všech výkresech a výkazech okamžitě.
- **Generování 2D výstupů**
 - 2D výkresy jsou stále vyžadovány i přes existenci IMS modelu.
 - Pomocí IMS jsou vytvářeny přímo z modelu.
 - Pomocí filtrování prvků a různých změn zobrazení lze generovat více výkresů (například generují stejný výkres, v jednom budou viditelné stavební prvky, v druhém strojní části).
- **Nesčetné možnosti využití 3D modelu**
 - Například pro simulace proudění povrchových a podzemních vod nebo statické výpočty.
- **Příprava na digitální stavební řízení**

5.1.2. Nevýhody

- **Tvorba velkého množství tvarově složitých atypických betonových prvků**
 - MVE obsahuje velké množství atypických betonových prvků (tvarově často velice složitých), které je nutné vymodelovat pro každé dílo zvlášť.
 - Mimo jiné je nutné dbát na rozdělení těchto betonových prvků do pracovních bloků, vytváření jejich těsnění proti průnikům vody.
- **Tvorba množství složitých strojírenských technologií**

- MVE obsahuje velké množství složitých technologií navazujících na betonové prvky, které je nutné vymodelovat pro každé dílo zvlášť podle jeho potřeb.
- **Nemožnost použití standardních prvků, které se ve vodních stavbách téměř nepoužívají**
 - Jedná se o prvky jako třeba okna, dveře.
- **Řešení složitého zakládání**
 - MVE a podobná vodohospodářská díla často řeší složité podmínky, protože jejich značná část je umístěna pod zemí, a proto je pokaždé nutné řešit často velmi složité zakládání staveb.
- **Cena softwaru a implementace BIM**
 - Pro malé vodohospodářské firmy je implementace BIM značná překážka, vyžaduje velké finanční, případně lidské zdroje při zavádění a pilotních projektech.
- **Neznalost problematiky BIM studentů vysokých škol.**
- **BIM nástroje cílí primárně na pozemní stavitelství a dopravní stavby.**

5.2. Závěr

Cílem práce byl teoretický popis BIM a následná praktická aplikace BIM pro vodní hospodářství na studii malé vodní elektrárny Litovel.

V rámci práce byly shrnuty zásadní výhody a nevýhody využití BIM ve vodním hospodářství. Mezi hlavní nevýhody patří skutečnost, že každé vodohospodářské dílo jako MVE obsahuje množství unikátních například betonových a strojních prvků či speciálních dveří oken a podobně, které se musí pro každé dílo modelovat dle jeho potřeb. Mezi další problémy specifické pro vodohospodářské stavby patří řešení složitého zakládání. Oproti tomu při využití BIM značně převládají jeho výhody platné pro všechny stavby obecně jako jsou snadné vytváření variant, možnost snadných změn a jejich okamžité zobrazení ve výkresech a výkresích. Snadná komunikace mezi účastníky a vytvořená jednotná databáze v celém životním cyklu díla a další značné výhody. Tato přidaná hodnota BIM značně převyšuje množství nevýhod, které budou v rámci dalších let, kdy budou studenti i firmy o této problematice vzdělávání, eliminovány.

Pro bodové vodohospodářské stavby jako je hodnocená malá vodní elektrárna, případně pro další díla jako velké jezy, plavební komory, přehradu, ČOV a další díla uvedená v kapitole 3.2.2 lze konstatovat, že využití BIM je značným přínosem ve všech životních fázích díla jak v části projekční a realizační, tak při facility managementu. Tento fakt platí i přes tu skutečnost, že vodohospodářská díla jsou značně unikátní a je nutné celý model vytvářet pro každé dílo nově. Pro ty druhy vodohospodářských staveb, které jsou konstrukčně jednoduché, často ovlivňované sedimentací, proudící vodou (jako jsou například úpravy vodních toků, revitalizace, rybníky, malé vodní nádrže, drobné objekty na vodních tocích a podobně) se zdá, že BIM model se nevyplatí, protože by neobsahoval dostatečné množství informací. Je však nutné konstatovat, že BIM se nerovná 3D model, a proto i liniové stavby, které obsahují informace (například GIS model s atributovou tabulkou) se dají považovat za BIM model.

Stav využití BIM ve stavebnictví v oboru vodního hospodářství se dle veřejných zdrojů zdá být nevalný. Ve světě i v České republice není mnoho firem, které na svých webových stránkách, příspěvcích na konferencích či sociálních sítích sdílí svá díla či svoji implementaci BIM. Většinou se jedná o větší podniky.

Digitalizace ve stavebnictví přinese mnoho výhod a zefektivnění procesů a tato evoluce je nevyhnutelná. BIM pro vodohospodářské stavby má význam ve všech směrech.

6. Seznam použitých zdrojů

- [1] Building information modeling. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-09-16]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Building_information_modeling
- [2] MCPARLAND, Richard. BIM dimensions - 3D, 4D, 5D, 6D BIM explained. In: *Www.thenbs.com/* [online]. United Kingdom: NBS, 2017, 10 July 2017 [cit. 2020-10-03]. Dostupné z: <https://www.thenbs.com/knowledge/bim-dimensions-3d-4d-5d-6d-bim-explained>
- [3] MATĚJKA, Petr a Nataliya ANISIMOVA. *Základy implementace BIM na českém stavebním trhu*. Praha: FinEco, 2012. ISBN 978-80-86590-10-3.
- [4] *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. Druhé. United Kingdom: John Wiley, 2011. ISBN 978-0-470-54137-1.
- [5] *BIMfo* [online]. Praha: Arkance Systems CZ s.r.o. a CASUA., 2021 [cit. 2021-7-30]. Dostupné z: <https://www.bimfo.cz/Home.aspx#>
- [6] *Tzb-info* [online]. Praha: Portál TZB-info, 2021 [cit. 2021-8-2]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/>
- [7] FIBIGER, CSC, Ing. arch. Jan. *Stavebnictví 4.0. TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, 2017, 14.5.2017 [cit. 2022-01-04]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/15752-stavebnictvi-4-0>
- [8] Jak rozumět konceptu Průmysl 4.0. *Svaz průmyslu a dopravy České republiky* [online]. Praha: Svaz průmyslu a dopravy České republiky, 2019, 19.8.2019 [cit. 2022-01-04]. Dostupné z: <https://www.spcr.cz/aktivity/z-hospodarske-politiky/12973-jak-rozumet-konceptu-prumysl-4-0>
- [9] Digitalizace stavebnictví v souvislostech. *Stavitel.cz* [online]. Praha: Business Media One, 2020, 27. 2. 2020 [cit. 2022-01-04]. Dostupné z: <https://www.stavitel.cz/ekonomika/digitalizace-stavebnictvi-v-souvislostech/>
- [10] Usnesení vlády č. 958 ze dne 2. listopadu 2016 o Významu metody BIM (Building Information Modelling) pro stavební praxi v České republice a návrh dalšího postupu pro její zavedení
- [11] Usnesení vlády č. 682 ze dne 25. září 2017 o Konceptu zavádění metody BIM (Building Information Modelling) v České republice
- [12] Koncepce zavádění metody BIM v České republice. In: <https://www.mpo.cz/> [online]. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2017, 2. listopadu 2016 [cit. 2020-09-16]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/stavebnictvi-a-suroviny/bim/2017/10/Koncepce-zavadeni-metody-BIM-v-CR.pdf>
- [13] EU BIM. Příručka pro zavádění informačního modelování staveb evropským veřejným sektorem. In: *Www.mpo.cz* [online]. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2017, 26.9.2017 [cit. 2020-10-03]. Dostupné z: <https://mpo.cz/assets/cz/stavebnictvi-a-suroviny/bim/2018/4/GROW-2017-01356-00-00-CS-TRA-00.pdf>
- [14] NBS. NATIONAL BUILDING SPECIFICATION. *National BIM Report 2019: The definitive industry update*. Velká Británie, 17 May 2019n. 1., 29 s. Dostupné také z: <https://www.thenbs.com/knowledge/national-bim-report-2019>
- [15] *Koncepce BIM v ČR* [online]. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2021 [cit. 2021-8-2]. Dostupné z: <https://www.koncepcebim.cz/>
- [16] ŠVAMBERKOVÁ, PhDr. Lucie M. a A KOLEKTIV AUTORŮ BIM EDU. *Soupis potřebných dovedností a oblastí znalostí v souvislosti s BIM*. Praha: Agentura ČAS 2021, 2021. ISBN 978-80-907243-3-4.

- [17] ZAVÁDĚNÍ BIM V ČR. *Cegra.cz* [online]. Cegra [cit. 2021-8-17]. Dostupné z: <https://www.cegra.cz/bim/zavadeni-bim-v-cr/>
- [18] Informace o plnění Koncepce zavádění metody BIM v České republice. *Mpo.cz* [online]. Praha: Ministerstvo obchodu a průmyslu, 2020, červen 2020 [cit. 2021-8-27]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/stavebnictvi-a-suroviny/bim/2021/1/Informace-o-plneni-Koncepce-zavadeni-metody-BIM-v-CR.pdf>
- [19] Digitalisation in the construction sector. *Ec.europa.eu* [online]. EU: Evropská komise, 2021, 09. 4. 2021 [cit. 2021-8-17]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/45547>
- [20] UNIKÁTNÍ VÝZKUM: JAK SI STOJÍ DIGITALIZACE V ČESKÝCH PROJEKČNÍCH FIRMÁCH. *Autodesk.com* [online]. Praha: Foresite, 2021, 29. 7. 2021 [cit. 2021-8-17]. Dostupné z: <https://boards.autodesk.com/aec-market-study/home>
- [21] BIM řešení pro infrastrukturní stavby. In: *Www.allplan.com* [online]. Německo: Nemetschek group [cit. 2020-10-04]. Dostupné z: <https://www.allplan.com/cz/reseni/software-pro-infrastrukturni-stavby/>
- [22] Ultimate BIM software list for BIM Coordinators. In: *Www.bimcorner.com* [online]. Oslo: bimcorner.com, 2020 [cit. 2020-10-04]. Dostupné z: <https://bimcorner.com/ultimate-bim-software-list-for-bim-coordinators/>
- [23] BHAT, Raghavendra a Joseph HUANG. Thinking Inside of the Box: Using Autodesk BIM Technology for Hydropower Projects. *Autodesk.com* [online]. USA: Autodesk University, 2016 [cit. 2021-8-1]. Dostupné z: <https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/Thinking-Inside-Box-Using-Autodesk-BIM-Technology-Hydropower-Projects-2016>
- [24] MAN THE PUMPS! *Allplan.com* [online]. Allplan, 2010 [cit. 2021-8-1]. Dostupné z: https://www.allplan.com/fileadmin/user_upload/countries/international/pdfs/references/Case_Study_Pump_station_Katwijk_EN_UK.pdf
- [25] Hunan Hydro & Power Design Institute: Hanjiang Yakou Shipping Hub Engineering Project Yicheng City, Hubei, China. *Bentley.com* [online]. Yicheng City, Hubei, China: Bentley, 2019 [cit. 2021-8-2]. Dostupné z: <https://www.bentley.com/en/project-profiles/2019/hunan-hydro-power-hanjiang-yakou-shipping>
- [26] Rekreační přístav Veselí nad Moravou. *Sweco.cz* [online]. Praha: Sweco Hydroprojekt, 2021, 2021 [cit. 2021-8-27]. Dostupné z: <https://www.sweco.cz/projekty/rekrecni-pristav-veseli-nad-moravou/>
- [27] Veřejná zakázka: MVE Klecany II - IG a HG průzkum, DSP, DVZ, AD. *Zakazky.eagri.cz* [online]. Praha: Ministerstvo Zemědělství, 2020 [cit. 2021-8-27]. Dostupné z: https://zakazky.eagri.cz/contract_display_14163.html
- [28] KUBA, WALLENFELS. Nová vodní linka ÚČOV: cesta od projektování 2D k projektování 3D a BIM. *Stavebnictví*. 2019 (04), 54-57
- [29] *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. Praha: MPO, 2005 - 2021 [cit. 2021-9-12]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/>
- [30] HLADÍK, POSPÍŠIL (AQUATIS a.s.), prezentace BIM ve vodohospodářských stavbách, prezentováno na konferenci CADforum 2021, Brno, 20. 9. 2021
- [31] Pavel Šimák - ústní sdělení (školitel BIM, Fakulta stavební Vysokého učení technického v Brně) dne 22. 6. 2021

- [32] BILOVÁ, prezentace Rodiny a BIM standardy v projektování, prezentováno na konferenci BIM Open 2019 [cit. 2022-4-1]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=oDy2HFvzuwA>
- [33] STRÍŽ, Jaroslav. *Studie MVE u jezů Litovel na řece Moravě v km 262,07* [online]. Brno, 2016 [cit. 2021-12-14]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/62599>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav vodních staveb. Vedoucí práce Aleš Dráb.
- [34] JANDORA, prezentace Matematické modelování ve vodním hospodářství, přednášky v rámci předmětu Matematické modelování ve vodním hospodářství, Fakulta stavební Vysokého učení technického, 2021
- [35] STUDNIČKA, Tomáš. *Matematické modelování odlehčovacích komor na stokových sítích*. Brno, 2013. 116 str. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí disertační práce Ing. Petr Prax, Ph.D.
- [36] DUFEK, Zdeněk, Jana KORYTÁROVÁ, Tomáš APELTAUER, Vít HROMÁDKA, Petr FIALA, Rostislav DROCHYTKA, Jiří BYDŽOVSKÝ, Jan VANĚREK, Petr AIGEL, et al. *Veřejné stavební investice*. Praha: Leges, 2018. ISBN 978-80-7502-322-3.
- [37] Bc. Martin Pecen *Rozpočet stavebního díla sestavený ve variantních strukturách*. Brno, 2018. 66 s., 37 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební ekonomiky a řízení. Vedoucí práce doc. Ing. Alena Tichá, Ph.D.

7. Seznam tabulek

Tabulka 1: n-D zobrazení – popis parametrů a možného využití	14
Tabulka 2: Vybrané nejdůležitější dlouhodobé přínosy BIM [3] [31]	17
Tabulka 3: Přínosy a využití BIM pro jednotlivé účastníky stavebního procesu	18
Tabulka 4: Přínosy a využití BIM pro jednotlivé účastníky v průběhu celého životního cyklu díla [3], [5]	20
Tabulka 5: Příklady BIM nástrojů pro modelování	22
Tabulka 6: Nástroje pro efektivní spolupráci mezi účastníky stavebního procesu.....	25
Tabulka 7: Další vybrané nástroje kompatibilní s BIM.....	26
Tabulka 8: Vybrané knihovny objektů a produktů pro BIM nástroje pro navrhování	26
Tabulka 9: Výběr BIM konferencí v České republice.....	27
Tabulka 10: Vybrané české webové portály zabývající se BIM	28
Tabulka 11: Vybrané české a slovenské BIM příručky, publikace a dokumenty.....	29
Tabulka 12: Vybrané zahraniční BIM publikace.....	29
Tabulka 13: Události při zavádění BIM v ČR.....	32
Tabulka 14: Výkazy systémových rodin modelu MVE	52
Tabulka 15: Výkazy načitatelných rodin modelu MVE.....	55
Tabulka 16: Výkazy rodin na místě modelu MVE.....	57
Tabulka 17: Výkaz všech prvků v modelu jezu, náhonu a koryta.....	59

8. Seznam obrázků

Obrázek 1: Pracovní postup diplomové práce	10
Obrázek 2: BIM – Správa informací o stavbě z pohledu vlastníka stavby [15].....	12
Obrázek 3: Dimenze BIM do 8D [16]	15
Obrázek 4: Úrovně vyspělosti BIM procesu [3]	16
Obrázek 5: Diagram intergace BIM pro hydroenergetické dílo, návrhová fáze [23].....	23
Obrázek 6: BIM model čerpací stanice Katwijk v Nizozemsku [24]	23
Obrázek 7: Komplexní projekt Hanjiang Yakou obsahující přehradní těleso, plavební komoru, vodní elektrárnu a jezovou část s hradíci prvky [25]	24
Obrázek 8: Koncepce využívání datového standardu staveb.....	28
Obrázek 9: Implementace BIM v členských státech EU [19].....	31
Obrázek 10: Ukázka BIM modelu rekreačního přístavu Veselí nad Moravou [26]	35
Obrázek 11: Ukázka rekreačního přístavu Veselí nad Moravou (vlevo servisní centrum, vpravo celkový pohled) [26].....	35
Obrázek 12: Situace záměru na umístění stavby MVE Klecany II (Archiv města Klecany)	36
Obrázek 13: Vlevo železobetonový vtok vtokového objektu, vpravo blok spodní stavby MVE (AQUATIS) [30].....	36
Obrázek 14: Celkový model objektů MVE, včetně technologií, zemních prací a dalších (AQUATIS) [30]	37
Obrázek 15: Srovnání zobrazení z modelu a skutečnost, model obsahuje základní informace o všech zařízeních [28]	37
Obrázek 16: Ukázka stavební konstrukce a technologií dosazovacích nádrží ČOV Modřice, projektant společnost AQUATIS [30]	38
Obrázek 17: Ukázka vizualizace dosazovacích nádrží ČOV Modřice, projektant společnost AQUATIS [30]	39
Obrázek 18: Kompletní model zabezpečení VD Orlík (AQUATIS) [30]	40
Obrázek 19: Zajištění stavební jámy vtokového objektu (AQUATIS) [30]	40
Obrázek 20: Koordinační model – Revit / Civil3D (AQUATIS) [30].....	40
Obrázek 21: Lokalita dostavby MVE v ČR.....	41
Obrázek 22: Lokalita studie dostavby MVE (mapy.cz, 2021).....	41
4.2. 23Popis MVE a vodohospodářského uzlu Litovel.....	42
Obrázek 24: Celková situace MVE [33].....	42
Obrázek 25: Zobrazení situace stávajícího jezu a náhonu (mapy.cz, 2021)	43
Obrázek 26: Model MVE Litovel včetně strojní části	45
Obrázek 27: Model jezu a náhonu	45
Obrázek 28: Celkový koordinační model	45
Obrázek 29: Ukázka tvorby systémové rodiny stěna.....	46
Obrázek 30: Katalog světlíků na webu bimobject	47
Obrázek 31: Ukázka konkrétní rodiny světlíku od firmy Velux, stažená ze stránek bimobjects.com včetně parametrů typu	47
Obrázek 32: Ukázka importovaného souboru s příponou .sat do prostředí Revitu při vytváření rodiny Turbíny T1	48
Obrázek 33: Ukázka rodiny česlí, tvořená přímo v Revitu.....	48
Obrázek 34: Panel nástrojů pro tvorbu obecných modelů	49
Obrázek 35: Ukázka tvorby obecného modelu prahu pomocí tvaru vysunutí	49
Obrázek 36: Ukázka způsobu tvorby a úpravy objemů v Revitu.....	50
Obrázek 37: Tvorba výkazů v Revitu	50
Obrázek 38: Zobrazení systémových rodin (různé pohledy).....	53
Obrázek 39: Zobrazení načitatelných rodin (nahore i včetně ostatních typů rodin, dole celkový pohled)..	56
Obrázek 40: Zobrazení rodin na místě (nahore celkový pohled, dole pohled na nátok na turbíny a dolní stavbu).....	58
Obrázek 41: Stavební část jezu a náhonu, terén koryta a břehů.....	59
Obrázek 42: Vyfiltrované ostatní součásti jezu a náhonu.....	59
Obrázek 43: Vytvořený celkový model i včetně terénu.....	60

Obrázek 44: Umístění modelu do katastru nemovitostí	61
Obrázek 45: Spojitost proudu v elementárním hranolu ve směru osy y.....	62
Obrázek 46: Složky napětí působící na stěny (pro přehlednost jsou zobrazeny složky napětí působící na stěny rovnoběžné s rovinou yz)	63
Obrázek 47: Model ve formátu .stl připravený pro modelování proudění	65
Obrázek 48: Rozdělení průtoků pro modelování proudění.....	66
Obrázek 49: Ukázka nastavení geometrie a meshů ve Flow-3D (nahore: celkový pohled na geometrii včetně meshů, uprostřed: detail na nastavení polohy jednoho z meshů, dole: nastavení okrajové podmínky průtoku v meshi pro MVE).....	67
Obrázek 50: Tvorba vizualizací v softwaru Twinmotion (nastavení scény obrázku)	68
Obrázek 51: Vizualizace vodohospodářského uzlu Litovel	68
Obrázek 52: Příčné řezy nátoku na nově navrhovanou malou vodní elektrárnu a zobrazení rychlostí na nátoku na turbíny	69
Obrázek 53: Model vodohospodářského uzlu Litovel – rychlosti proudění na hladině (různé pohledy)....	70
Obrázek 54: Zobrazení proudnic na nátoku na MVE.....	71
Obrázek 55: Pohled na vodohospodářský uzel Litovel 1	84
Obrázek 56: Pohled na vodohospodářský uzel Litovel 2	84
Obrázek 57: Pohled na celý vodohospodářský uzel Litovel 3.....	85
Obrázek 58: Pohled na MVE z parkoviště	85
Obrázek 59: Pohled na MVE z výšky 1	86
Obrázek 60: Pohled na MVE z výšky 2	86
Obrázek 61: Pohled na výtokovou část MVE.....	87
Obrázek 62: Pohled na vtokovou část MVE.....	87
Obrázek 63: Vnitřek budovy MVE – horní stavba.....	88
Obrázek 64: Vnitřek budovy MVE – pohled z horní části stavby na dolní.....	88
Obrázek 65: Vnitřek budovy MVE – pohled na turbíny 1	89
Obrázek 66: Vnitřek budovy MVE – pohled na turbíny 2	89

9. Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratka	Význam
BIM	Building Information Management
VH	Vodní hospodářství
ČR	Česká republika
IMS	Informační model stavby
BEP	BIM Execution Plan
EIR	Exchange Information Requirements
CDE	Common Data Environment
DiMS	Digitální model stavby
IFC	Industry Foundation Classes
IMS	Informační model stavby
DMT	Digitální model terénu
DSS	Datová standard staveb
LOG	Level of Geometry
LOI	Level of Information
LOD	Level of Development
NBS	National BIM Library
CzBIM	Odborná rada pro BIM
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
FM	Facility Management
MVE	Malá vodní elektrárna
GIS	Geografické informační systémy
FTP	File Transfer Protocol
TZB	Technická zařízení budov
CAD	Computer Aided Design
ČAS	Česká agentura pro standardizaci
KS	Klasifikační systém
EU	Evropská unie
MD	Ministerstvo dopravy
SFDI	Státní fond dopravní infrastruktury
ŘVC	Ředitelství vodních cest
PK	Plavební komory
VE	Vodní elektrárny
ČOV	Čistírny odpadních vod
PPO	Protipovodňová opatření
ÚČOV	Ústřední čistírna odpadních vod
SOVAK	Sdružení oboru vodovodů a kanalizací
DSP	Dokumentace pro stavební povolení
DVZ	Dokumentace pro výběr zhotovitele
AD	Autorský dozor
VD	Vodní dílo
CFD	Computational Fluid Dynamics
VOF	Volume of Fluids
DNS	Direct Numerical Simulation
LES	Large Eddy Simulation
RANS	Reynolds-Averaged Navier-Stokes
ŽB	Železobeton
SO	Stavební objekt
PS	Provozní soubor
OK	Oběžné kolo
OP	Okrajové podmínky

Symbol	Název	Jednotka
v_i	složka vektoru rychlosti	m/s
ρ	hustota	kg/m ³
T	teplota	°
v	střední průřezová rychlost	m/s
x_i	prostorová souřadnice	m
t	čas	s
f_i	složka vektoru objwmového zatížení	-
σ_{ij}	tenzor napětí	Pa
\mathcal{E}_{ij}	tenzor rychlosti přetvoření	-
\mathcal{E}_v	rychlost objemového přetvoření	-
δ_{ij}	Kronockerovo delta	-
λ	součinitel rychlosti objemového přetvoření	-
μ	součinitel dynamické viskozity	-
Q	průtok	m ³ /s
Q_{120}	m-denní průtok	m ³ /s
P	Výkon	W

10. Seznam příloh

1. Revit soubory
2. Video vizualizace
3. Příloha obrázky vizualizací (kapitola 11 Příloha č. 3 obrázky vizualizací)

11. Příloha č. 3 obrázky vizualizací







