



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Katedra hydrotechniky

Aplikace BIM na vodní elektrárnu Woolston

**The application of BIM on the hydropower plant
Woolston**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. Petr Šimánek

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

Vedoucí bakalářské práce: Dr. Ing. Petr Nowak

Praha, 2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Šimánek Jméno: Petr Osobní číslo: 468265
Zadávající katedra: Katedra Hydrotechniky
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Aplikace BIM na vodní elektrárnu Woolston

Název diplomové práce anglicky: The application of BIM on the hydropower plant Woolston

Pokyny pro vypracování:

Předmětem DP bude převedení současné PD vodní elektrárny Woolston do BIM. Na modelu bude posouzena možná úspora nákladů a návratnost použití BIM. V DP bude uvedena časová náročnost pořízení modelu. Dalšími výstupy budou: 3D model, vygenerované 2D výkresy, vizualizace, výkazy výměr, časová simulace.

Seznam doporučené literatury:

ČSN EN ISO 16739-1, EN ISO 19650, Koncepce zavádění metody BIM v České republice – schválena Vládou ČR usnesením č. 682 ze dne 25. září 2017, EU BIM Task Group; Handbook for the introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector; The European Union; 2019

Jméno vedoucího diplomové práce: Petr Nowak

Datum zadání diplomové práce: 23.09.2021 Termín odevzdání diplomové práce: 2.1.2022

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Aplikace BIM na vodní elektrárnu Woolston zpracoval samostatně za použití uvedené literatury a pramenů.

Dále prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne ...

.....
Jméno Příjmení

Poděkování

Děkuji Dr. Ing. Petru Nowakovi za jeho odborné vedení a užitečné rady při zpracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Mgr. Renatě Němcové za korekturu. Panu Ing. Jakubovi Douchovi bych tímto rád poděkoval za zaslání podkladů a odborné konzultace při zpracovávání této diplomové práce. V neposlední řadě děkuji kolegům z firmy ROCK SALT, s.r.o., jejichž prostřednictvím jsem se mohl na výstavbě elektrárny Woolston podílet.

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá informačním modelováním BIM a jeho aplikací na již dokončenou malou vodní elektrárnu Woolston na řece Mersey v hrabství Cheshire ve Spojeném království. I když je práce soustředěna na jedno konkrétní vodní dílo, metody a postupy popsané v práci jsou použitelné ve vodohospodářství obecně. V práci je popsána tvorba dílčích BIM elementů, převod do IFC formátu a možnosti automatizace návrhu.

Klíčová slova:

BIM, IFC, malé vodní elektrárna, vodohospodářství, hydrotechnika, automatizace, software

Summary

This thesis concerns building information modelling BIM and its application on the already completed small hydropower plant Woolston on the river Mersey in the county of Cheshire in the United Kingdom. Even though the work focuses on one specific water work in particular, the methods and procedures described are applicable in water management in general. The work describes the creation of partial BIM elements, conversion to IFC format and design automation options.

Key words:

BIM, IFC, small hydropower plant, water management, hydraulic engineering, automation, software

OBSAH

ÚVOD	12
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A POJMŮ.....	14
1. VODNÍ DÍLO WOOLSTON	15
1.1. MANCHESTERSKÝ PRŮPLAV.....	15
1.2. SOUSTAVA ZDYMADEL	16
1.2.1. <i>Mode Wheel Locks</i>	18
1.2.2. <i>Barton Locks</i>	18
1.2.3. <i>Irlam Locks</i>	18
1.2.4. <i>Latchford Locks</i>	19
1.2.5. <i>Woolston Guard</i>	19
1.2.6. <i>Woolston</i>	20
1.2.7. <i>Howley</i>	20
1.3. JEZ WOOLSTON	20
1.3.1. <i>Parametry násoskového jezu</i>	21
1.3.2. <i>Popis konstrukce</i>	22
1.3.3. <i>Starý rybí přechod</i>	24
1.4. VODNÍ ELEKTRÁRNA WOOLSTON	24
1.4.1. <i>Popis zemních prací a zakládání</i>	25
1.4.2. <i>Specifikace MVE</i>	26
1.4.3. <i>Napojení do elektrické sítě</i>	26
2. BIM A DIGITALIZACE STAVEBNICTVÍ.....	26
2.1. DEFINICE BIM	26
2.2. SPOLEČNÉ DATOVÉ PROSTŘEDÍ	27
2.3. PŘÍNOSY POUŽÍVÁNÍ BIM	28
2.4. NEGATIVNÍ DOPADY BIM.....	30
2.5. PROBLEMATIKA BIM A HYDROTECHNICKÝCH STAVEB	31
2.6. INDUSTRY FOUNDATION CLASSES	32
2.6.1. <i>Organizace buildingSMART</i>	32
2.6.2. <i>Popis a princip IFC</i>	33
2.6.3. <i>IFC formáty a verze</i>	34
2.7. OPEN BIM.....	35
2.7.1. <i>Definice a základní myšlenky Open BIM</i>	35

2.7.2.	Výhody open-source.....	36
2.8.	BLENDER A BLENDERBIM	37
2.8.1.	Tvorba BIM elementu pomocí BlenderBIM	37
2.8.2.	Načtení a editace BIM elementu pomocí BlenderBIM	40
2.8.3.	Jazyk Python a BlenderBIM.....	41
2.9.	VIZUÁLNÍ PROGRAMOVÁNÍ DYNAMO.....	44
2.10.	KOMERČNÍ BIM SOFTWARE.....	45
2.10.1.	Dominance Revitu	46
2.10.2.	Balíček Autodesk AEC.....	47
2.10.3.	Negativní aspekty nástrojů komerčních softwarů.....	47
3.	TVORBA BIM MODELU	49
3.1.	VSTUPNÍ DATA	49
3.2.	ZAHÁJENÍ BIM MODELU	49
3.2.1.	Struktura BIM elementů v Revitu	49
3.2.2.	Založení nového projektu a stavební šablony	49
3.2.3.	Prostorová koordinace.....	50
3.2.4.	Vynesení pater a os.....	51
3.2.5.	DWG reference a tvorba řezů	52
3.2.6.	Pracovní sady a sdílený projekt.....	53
3.2.7.	Fáze projektu.....	55
3.3.	BETONOVÉ KONSTRUKCE.....	55
3.3.1.	Železobetonové věnce.....	55
3.3.2.	Základová deska a podkladní beton	57
3.3.3.	Pilíře	58
3.3.4.	Patky pod turbíny.....	59
3.3.5.	Napojení na vývar	61
3.3.6.	Strojovna.....	61
3.3.7.	Násoskový jez.....	62
3.3.8.	Ostatní konstrukce	63
3.4.	AUTOMATIZOVANÉ MODELOVÁNÍ ŠTĚTOVNIC.....	64
3.4.1.	Definování vstupů	65
3.4.2.	Definování počtu štětovic	66
3.4.3.	Natočení štětovic vůči trajektorii	67
3.4.4.	Vytvoření štětovic v Revitu.....	68
3.5.	TVORBA ARCHIMÉDOVY TURBÍNY.....	70
3.5.1.	Nadefinování vstupů	70
3.5.2.	Tvorba šroubovic.....	71

3.5.3.	<i>Geometrie a načtení do Revitu</i>	72
3.6.	TVORBA PARAMETRICKÉ RODINY ZEMNÍ KOTVA.....	74
3.6.1.	<i>Tvorba geometrie výseče</i>	74
3.6.2.	<i>Tvorba kotvy</i>	75
3.7.	MODELOVÁNÍ TERÉNU.....	76
3.7.1.	<i>Posloupnost terénních úprav</i>	77
3.7.2.	<i>Načtení referencí z Revitu</i>	80
3.7.3.	<i>Úpravy terénu pomocí návrhových linií</i>	81
3.7.4.	<i>Kalkulace objemu zemních prací</i>	82
3.7.5.	<i>Import terénu do Revitu</i>	82
3.8.	IMPORT IFC REFERENCÍ.....	84
3.9.	IMPORT VZDUCHOTECHNIKY ZE STEP	85
3.10.	EXPORT DO IFC.....	86
4.	VYUŽITÍ BIM MODELU	88
4.1.	VYKAZOVÁNÍ VÝMĚR	88
4.1.1.	<i>Doplňk Buildingbook</i>	88
4.1.2.	<i>Standardní vykazování v Revitu</i>	88
4.1.3.	<i>Vykazování v IFC modelu</i>	89
4.2.	SIMULACE VÝSTAVBY	89
4.2.1.	<i>Načtení dat do Navisworks Manage</i>	90
4.2.2.	<i>Třídění BIM elementů</i>	90
4.2.3.	<i>Tvorba harmonogramu</i>	91
4.3.	DETEKCE KOLIZÍ.....	92
4.3.1.	<i>Kolize Archimédových turbín</i>	93
4.3.2.	<i>Kolize štetovnic a železobetonových věnců</i>	93
4.4.	PŘÍNOS BIM PRO PROJEKT WOOLSTON	94
4.5.	ČASOVÁ NÁROČNOST POŘÍZENÍ BIM MODELU.....	96
	ZÁVĚR	99
	BIBLIOGRAFIE	101
	SEZNAM OBRÁZKŮ	106
	SEZNAM TABULEK	110
	SEZNAM PŘÍLOH	111

ÚVOD

Pojem BIM se stal často skloňovaným pojmem ve stavařské komunitě. Jedná se o inovativní přístup, jak tvořit a zpracovávat informace o stavbách, který zasahuje jak do samotného projektování, tak do řízení projektu a případné správy projektu po dokončení. Zásadní rozdíl oproti klasické CAD dokumentaci je ten, že každý BIM model je složen z jednotlivých BIM prvků, které kromě geometrických dat nesou doplňující informace, na základě kterých mohou být data tříděna, upravována, vykazována atd. To nám dává k dispozici nové nástroje a možnosti, jak s informacemi o stavbě pracovat, což s sebou nese nové příležitosti a rizika.

BIM je de facto jednou z implementací digitalizace ve stavebnictví. U ostatních sektorů ekonomiky vedla digitalizace k enormnímu růstu produktivity práce, a proto zde existuje snaha, zejména ze strany státních institucí, proces BIM prosadit ve stavebnictví. Země jako Spojené království, Švédsko, Finsko, Německo a Singapur vyžadují určitou formu BIM jako součást dokumentace při zadávání státních zakázek. V České republice měla začít platit povinnost používání BIM pro nadlimitní státní zakázky od roku 2022, nicméně datum nabytí platnosti tohoto opatření bylo posunuto na rok 2023.

Hydrotechnické a vodohospodářské stavby obecně bývají hrazeny z veřejných zdrojů. Vezmeme-li v potaz pořizovací náklady takovýchto děl, bude většina nových vodohospodářských staveb spadat do nadlimitních státních zakázek, tedy jejich celkové náklady překročí 150 milionů korun. Dopady klimatické změny s sebou zároveň přinesou nutnost investovat do vodohospodářské infrastruktury, z čehož vyplývá, že implementace BIM se vodohospodářství v blízké budoucnosti zásadně dotkne.

Vodní elektrárna Woolston je hydrotechnické dílo ve Velké Británii v bezprostřední blízkosti Manchesterského průplavu. Jedná se o projekt hrazených z privátních zdrojů, a je třeba zmínit, že investor díla již řadu vodních elektráren v okolí postavil a doposud provozuje. Samotné výstavby jsem se prostřednictvím dodavatele železobetonových konstrukcí osobně účastnil. Projektová dokumentaci byla vyhotovena klasickým CAD přístupem, z čehož vyplývá, že i komunikace mezi jednotlivými účastníky stavby probíhala na základě elektronických 2D výkresů.

Práce na projektové dokumentaci u takového projektu spotřebuje značné množství času. Z hlediska zájmů investora tedy vyvstala otázka, jak dlouho by trvalo pořízení BIM modelu ve stejné podrobnosti, jako je projektová dokumentace. Dále jaké přínosy by měla případná implementace BIM při realizaci projektu a jaký je postup tvorby BIM modelu.

Model vodní elektrárny zpracovávaný v rámci diplomové práce bude tvořen pomocí kombinace komerčních softwarů, jako jsou Revit, Civil 3D, Naviswork Manage, a open-source softwarů, jako je Blender a Dynamo. V diplomové práci se dále počítá s využitím vizuálního programování jako prostředku pro umožnění částečné automatizace návrhu, zejména při umísťování ocelových štětovic v modelu. Práce bude dále popisovat tvorbu BIM elementů specifických konstrukcí, jako jsou pilíř, Archimédova turbína, zemní kotva apod.

Diplomová práce si klade za cíl popsat využití BIM modelu, a to hlavně z hlediska plánování výstavby, kde v rámci vytvořených BIM elementů dojde k propojení s harmonogramem a časové simulaci výstavby. Dalším možným využitím modelu bude kromě vizualizace i příklad vygenerované výkresové dokumentace přímo z modelu.

Při práci na tvorbě klasické projektové dokumentace se setkávají specialisté různých oborů napříč stavebním sektorem. Jinak tomu není ani při tvorbě BIM. Různí specialisté používají různé softwary, práce si tak klade za cíl nastínit, jak by mohla probíhat vzájemná koordinace a zanášení dat vytvořených v různých softwarech do jednoho informačního modelu.

Související otázkou je předávání dat, neboť pořízení softwarových licencí umožňujících práci s BIM modely představuje nezanedbatelné finanční náklady. Stěžejní je zde zejména datový standard IFC, který by měl přesně k těmto účelům sloužit. V diplomové práci je tedy i nastíněn způsob, jak převádět data z nativních soborů do IFC a jakým způsobem mohou být IFC data editována, aniž by bylo nutné zakoupit komerční software.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A POJMŮ

.dwg	Nativní formát softwaru AutoCAD
.pln	Nativní formát softwaru ArchiCAD
.rvt	Nativní formát softwaru Revit
API	Application Programming Interface, rozhraní pro programování aplikací
BCF	BIM Collaboration Format, alternativní výměnný komunikační datový formát
BIM	Building information modeling/management, informační modelování budov
BIM - BEP	BIM execution plan, smluvní dokument
BlenderBIM	Doplňek softwaru Blender pro práci s IFC
bsDD	buildingSMART data dictionary, standardizovaná terminologie pro data a výrobky
buildingSMART	Nezisková mezinárodní organizace vyvíjející standard IFC
CAD	Computer-aided design, počítačem podporované projektování
CDE	Common Data Environment, společné datové prostředí
CEN	Comité Européen de Normalisation
DPS	Dokumentace pro provedení stavby
DUR	Dokumentace pro územní rozhodnutí
Dynamo	Vizuální programovací jazyk
GIS	Geografický informační systém
GUID	Universally unique identifier, univerzální unikátní identifikátor
IAI	Alliance for Interoperability
ID	Angl. identification, identifikace
IDE	Integrated Development Environment, vývojové prostředí
IFC	Industry Foundation Classes, otevřený datový standard
IFC2x3	Verze datového standardu IFC
IFC4	Verze datového standardu IFC
Interoperabilita	Schopnost různých systémů vzájemně spolupracovat
ISO	International Organization for Standardization
LOD	Level of Development, stupeň rozpracovanosti BIM elementu
MSCC	Manchester Ship Canal Company, společnost Manchesterský průplav
MVE	Malá vodní elektrárna, s instalovaným výkonem do 5 MW
NASA	National Aeronautics and Space Administration, národní úřad pro letectví a vesmír
Nativní	"Vlastní" datový formát
NRA	National Rivers Authority, organizace zabývající se stavem britských řek
OpenBIM	Otevřený BIM, proces BIM založený na otevřených standardech
PDF	Portable document format, přenosný formát dokumentů
Python	Objektově orientovaný programovací jazyk
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition, dispečerské řízení a sběr dat
STEP	Standard for the Exchange of Product model data
TBD	Technicko bezpečnostní dohled
TZB	Technické zabezpečení budov
ZD	Základová deska
ŽB	Železobeton

1. VODNÍ DÍLO WOOLSTON

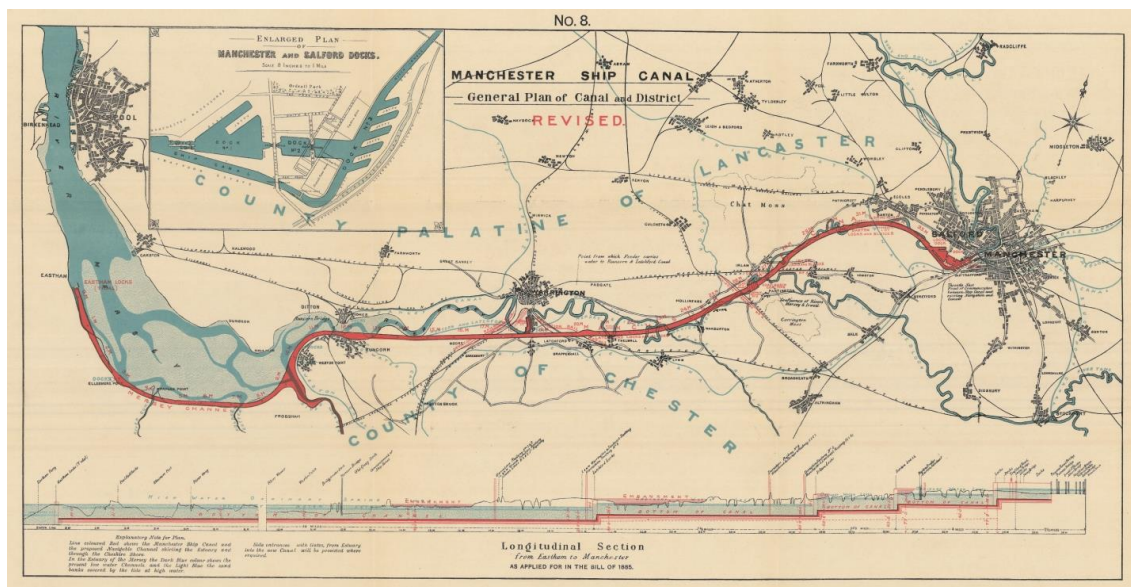
1.1. Manchesterský průplav

Vodní dílo Woolston se nachází na řece Mersey a je tak součástí Manchesterského průplavu (angl. Manchester Ship Canal). Průplav byl vybudován mezi lety 1887-1894 a svého času byl největším průplavem na světě, který předčil svojí šířkou dokonce i Suezský průplav. Průplav je 58 km dlouhý a propojuje důležitá industriální centra Manchester a Liverpool, a tedy i vnitrozemí severozápadní Anglie a Irského moře. Plavbu lodí a překonání jednotlivých plavebních stupňů zajišťují čtyři plavební komory. Zdrojem vody jsou vodní toky Mersey a Irwell. Průplav má zásadní roli v historii regionu, neboť umožnil industrializaci severozápadní Anglie. Dal vzniknout Trafford Park, který dodnes rovněž zásobuje. Trafford Park je největší průmyslovou zónu Velké Británie. Využívání hydroenergetického potenciálu tak nesmí omezovat vodní dopravu, která je i dnes na průplavu hojně využívána. [1]

Manipulace a provoz průplavu spadá do kompetencí Manchester Ship Canal Company (MSCC), která je součástí společnosti Peel Ports Group¹, jež je vlastníkem díla. MSCC zodpovídá za celoroční provozuschopnost průplavu, zajištění dostatečných plavebních hloubek a zamezení, popřípadě minimalizaci možných škod na přilehlém území v důsledku povodní. Samotná manipulace s hladinami je zajištěna pomocí systému zdymadel, která jsou rozprostřena po celé délce průplavu. [2]

Samotný průplav lze rozdělit na pomyslnou horní a spodní část, kde horní část kopíruje trajektorii řeku Irwell/Mersey a táhne se od městské části Warringtonu-Latchford až po přístav Salford Docks v Manchesteru. Dalšími zdroji vody mimo dvě výše zmíněné řeky jsou toky Salteye Brook, Sinderland Brook a řeka Bollin. Mezi Latchfordem a Easthamem můžeme vidět spodní část průplavu, která vede svým vlastním umělým přímočarým korytem. Umělé koryto je vedeno jižně od řeky Mersey a táhne se po obvodu estuáru a posléze ústí do Irského moře. [2]

¹ Více informací na: <https://www.peelports.com/>



Obrázek 1 THE JOHN RYLANDS UNIVERSITY LIBRARY, plán Manchesterského průplavu z roku 1885 [schéma]

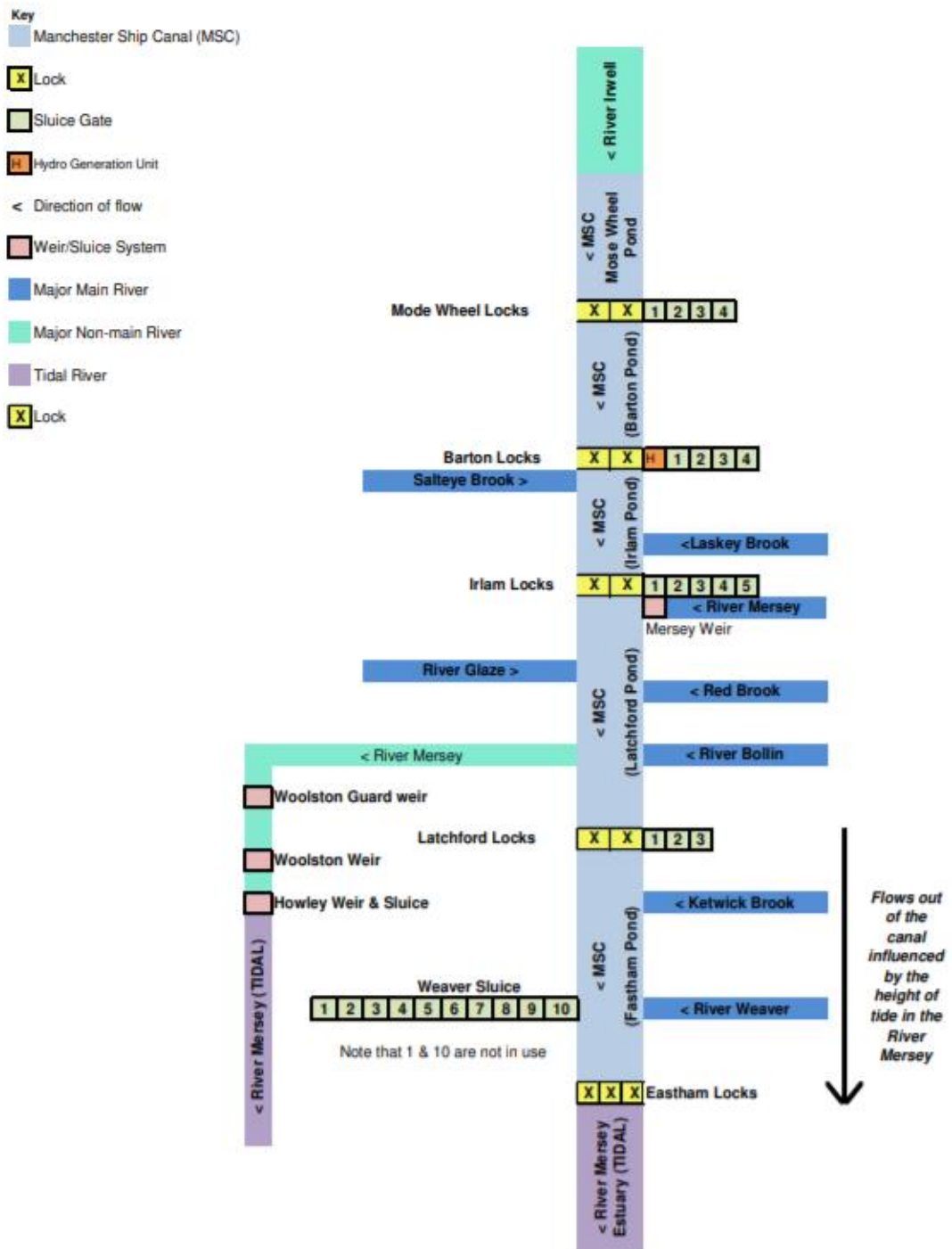
1.2. Soustava zdymadel

Manipulace s vodní hladinou v průplavu řídí soustava pěti pohyblivých zdymadel a dvou pevných jezů, které jsou níže popsány tak jak následují po sobě, směrem od Manchesteru k Irskému moři. Stavidlové jezy Mode Wheel, Barton, Irlam a Latchford se skládají z příhradově vyztužených ocelových desek, které jsou rozděleny vždy do několika polí. Pohybovací mechanismus se nachází na zděných pilířích, odkud se přenáší zatížení do zděného základu. Celkové dispoziční uspořádání stavidel je na všech vodních dílech podobné a existují pouze rozdíly v překonávaném spádu a počtu jezových polí.

Manipulace s jezovými uzávěry je zajištěna pomocí elektrických motorů a je plně automatizována. Každé vodní dílo je vybaveno dvěma navzájem nezávislými zdroji elektrické energie, které se automaticky spínají, vypadne-li druhý zdroj. Veškerá data se přeposílají pomocí SCADA systému na organizaci Port Operations Controller (POC). Kromě elektronického pohonu slouží k manipulaci s uzávěry, v nouzovém případě také hydraulický pohybový aparát. V krajních situacích lze s uzávěry manipulovat i manuálně. [2]

Na celé kaskádě byla provedena podrobná studie týkající se manipulací s vodou, která popisuje chování průplavu při různých srážkoodtokových situacích, včetně ovlivnění přílivem. Tuto studii provedla inženýrsko-konzultantská skupina Halcrow Group Ltd. [2] Příliv a odliv mají zásadní vliv na fungování celé kaskády, neboť zde hladina kolísá v rozmezí 4-10 m, a to

v závislosti na ročním období. Tato skutečnost činí z řeky Mersey druhou nejvíce rozkolísanou řeku Spojeného království. [3]

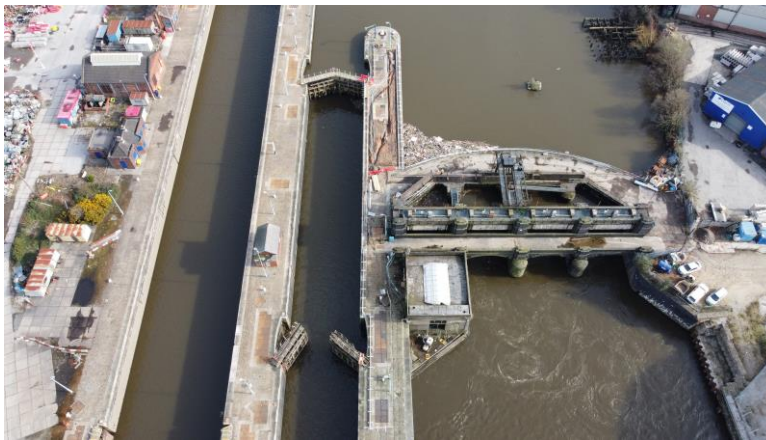


Obrázek 2 HALCROW GROUP LTD., schéma Manchesterského průplavu [schéma]

1.2.1. Mode Wheel Locks

Nachází se přímo ve městě Manchester uvnitř průmyslové zóny Trafford. Sestává ze stavidlového jezu a dvou plavebních komor. Zajišťuje manipulaci s vodní hladinou v horní jezové zdrži, kde se nachází i přístav Salford Docks. Jez je rozdělen do 4 polí. [2].

Od roku 2021 zde probíhá výstavba stejnojmenné malé vodní elektrárny, alokované přímo v jedné z plavebních komor. Projekt by měl být dokončen v roce 2022. Hydroenergetický potenciál zde bude využíván pomocí Kaplanovy turbíny s instalovaným výkonem 364 kW. Elektrárna tak využije spád o výšce 3,9 m a možný kapacitní průtok 15 m³/s. [4]



Obrázek 3 HANUS, D., pohled na vodní dílo Mode Wheel [fotografie]

1.2.2. Barton Locks

Zajišťuje manipulaci s hladinou v jezové zdrži mezi stejnojmennou městskou částí Barton až po vodní dílo Mode Wheel Locks. Jedná se rovněž o stavidlový jez, ke kterému náleží dvě plavební komory. Stejně jako předchozí jez je i vodní dílo Barton Locks rozděleno do čtyř jezových polí. Zde již byl hydroenergetický potenciál využit díky stavbě malé vodní elektrárny, která využívá spádu 5 m a kapacitního průtoku 15 m³/s o instalovaném výkonu 720 kW. [2] [5]

1.2.3. Irlam Locks

Zdymadlo zajišťuje manipulaci s hladinou na dalším plavebním stupni a je podobně řešeno jako dvě předchozí vodní díla. I zde probíhá od roku 2021 stavba malé vodní elektrárny. Instalována zde bude Kaplanova turbína. Jez je rozdělen do pěti jezových polí. [2]



Obrázek 4 HANUS, D., pohled na vodní dílo Irlam [fotografie]

1.2.4. Latchford Locks

Vodní dílo se nachází na uměle vybudovaném korytě jižně od řeky Mersey. Právě zde končí přímočarý úsek Manchesterského průplavu.

1.2.5. Woolston Guard

Woolston Guard je jez, který je umístěn výše po toku od jezu Woolston a nenachází se tedy přímo na Manchesterském průplavu. Oba jezy (Woolston Guard a Woolston) se nachází přímo na toku řeky Mersey, odkud zajišťují dostatečnou plavební hloubku pro průplav, který je od nich umístěn jižně. Hlavním účelem Woolston Guard je umožnit provádění revizí a oprav na níže položených pevných jezích Woolston a Howley. Jez samotný je složen z šestnácti polí, která mohou plně zahradit profil řeky Mersey a snížit tak průtok na níže položených jezích. Voda tak proudí z jezové zdrže pouze do průplavu. Za normálních okolností zůstávají veškeré jezové uzávěry vyhrazeny. [2]



Obrázek 5 HANUS, D., pohled na vodní jezy Woolston (vlevo) a Woolston Guard (vpravo) [fotografie]

1.2.6. Woolston

Viz 1.3

1.2.7. Howley

Pevný jez Howley je umístěn tak, aby přílivová vlna z estuáru nezatopila jez Woolston.

1.3. Jez Woolston

Systém řeky Mersey a Manchesterského průplavu svádí vodu z poměrně velké části severozápadní Anglie. Samotný jez Woolston neleží přímo na průplavu, neboť se řeka Mersey odděluje cca 3 km před jezem a průplav zde pokračuje uměle vytvořeným přímočarým korytem. Jez tak manipuluje s hladinou jak v řece, tak i v průplavu. Na již oddělené řece Mersey se pohybují průtoky za běžných srážko odtokových situací mezi 20 – 40 m³/s, odděleným průplavem proudí za běžného provozu kolem 140 m³/s. Udržování plavebních hloubek v průplavu na úseku je tak zajištěno jednak jezem Woolston a jednak vodním dílem Latchford Locks.

Až do roku 1993 stál na místě původní jez, který byl vystavěn při budování Manchesterského průplavu v 19. století. Hlavním projektantem byl Edward Leader Williams a jednalo se o

stavidlový jez rozdělený do šestnácti polí. O možném nahrazení jezu novou konstrukcí se začalo uvažovat až v 80. letech 20. století, kdy náklady a časté opravy na díle začaly ohrožovat plavbu.

Na základě vodohospodářské studie proveditelnosti (angl. hydraulic feasibility study), kterou si nechala vypracovat MSCC, byl navržen dnešní násoskový jez, který je největším svého druhu ve Spojeném království. Vzhledem ke skutečnosti, že jez musí být schopen převést požadované průtoky, aniž by významně zvedal hladinu v horní jezové zdrži, bylo přikročeno k fyzikálnímu modelování.

Před vypuknutím vlastní výstavby bylo koryto Mersey v úseku kompletně zahrazeno tak, aby výstavba samotná probíhala v suché stavební jámě. Vlastní stavba jezu proběhla mezi lety 1993-1994. Celkové náklady na vybudování konstrukce dosáhly 2 milionů liber a celková doba výstavby trvala 62 týdnů. [6]



Obrázek 6 TONKS, D. M.; HOWELLS, R.; BETTESS, R. a kol., výstavba nového jezu 1993-94 [fotografie]

1.3.1. Parametry násoskového jezu

Aplikace technologie násoskového jezu na Woolstonu umožňuje převádět průtoky mezi 20-140 m³/s, aniž by docházelo k významnému zvyšování hladiny v horní jezové zdrži. Při dodržení těchto průtoků nedochází ke vzduť vodní hladiny větší než 200 mm. Takovýto převod vody přes jez zajišťují vzduchem regulované sifony, jejichž návrh podléhal podrobnému

fyzikálnímu modelování a testování ve vodohospodářské laboratoři neziskové organizaci HR Wallingford.

Tabulka 1 Návrhové parametry násoskového jezu, přejato z „Woolston New Weir and River Mersey Diversion“, dostupné na: <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/pdf/10.1680/wame.2002.154.1.51>

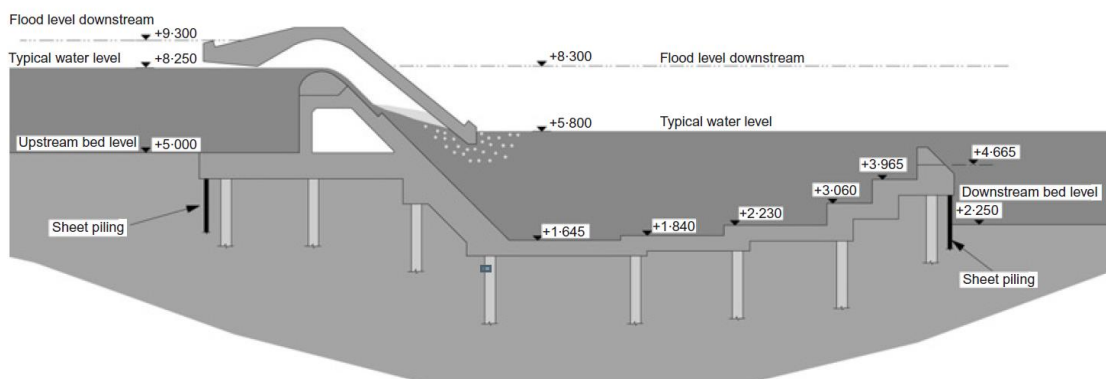
		Horní jezová zdrž	Dolní jezová zdrž
Délka jezové zdrže		80 m	490 m
Kóta dna		5,98 m n.m.	2,25 m n.m.
Průtok:	20 m ³ /s	8,1 m n.m.	5,5 m n.m.
	140 m ³ /s	8,3 m n.m.	6,0 m n.m.
	240 m ³ /s	9,3 m n.m.	8,3 m n.m.
Kóta břehu		9,8 m n.m.	8,8 m n.m.
Šířka koryta		50-60 m	50-80 m
Průřez jezu		Lichoběžník, sklon 1:2	
Délka jezu		76,5 m	
Boční přeliv		2x 17,75 m široké	
Kóta bočního přelivu		7,97 m n.m.	
Sífony		9x 4,00 m široké	
		1,2 m hluboké	
Kóta nátoky sifonu		8,12 m n.m.	

Tabulka 2 N-leté průtoky, přejato z „Woolston New Weir and River Mersey Diversion“, dostupné na: <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/pdf/10.1680/wame.2002.154.1.51>

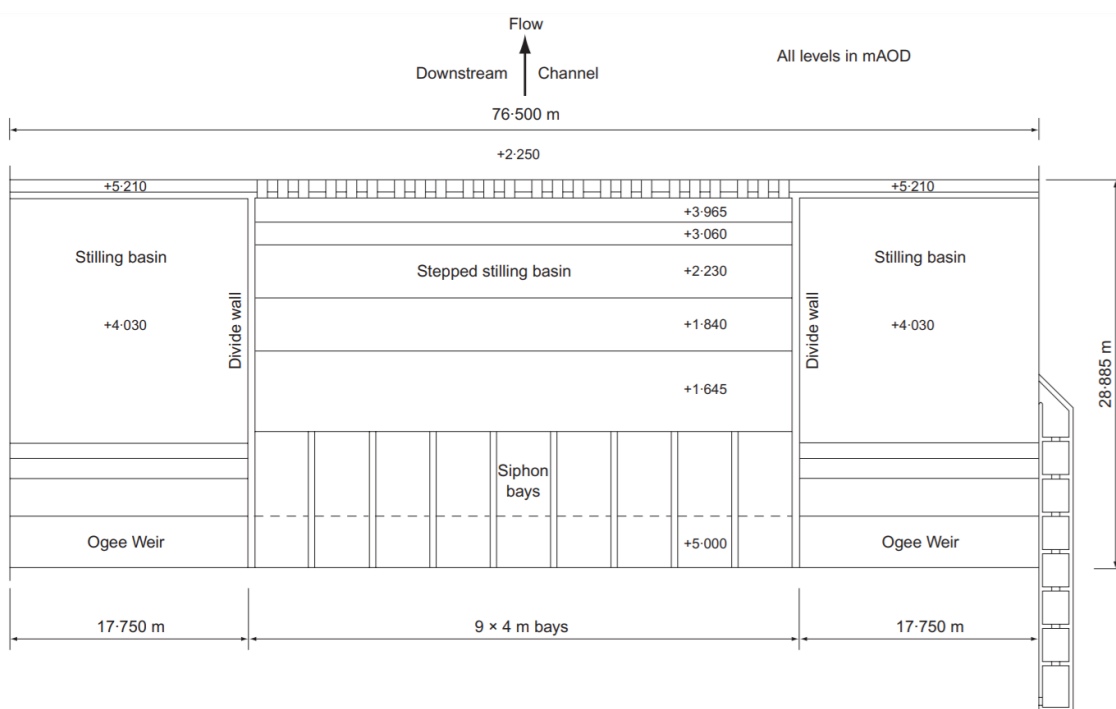
N-leté události	0.25	0.5	1	2	5	10	20	50	100	[roky]
Q_N-leté průtoky	218	267	304	378	486	583	636	≈750	≈820	[m³/s]

1.3.2. Popis konstrukce

Jez je celkem 76,500 m dlouhý a 28,885 m široký. Nátok do sifonu se nachází na kótě 7,970 m n. m. Běžná hladina v horní jezové zdrži je 8,250 m n. m., což odpovídá i standardní hladině vyžadované pro možnost plavby na daném úseku průplavu. Při povodních se počítá s hladinou v jezové zdrži na kótě 9,300 m n. m. Horní hrana základové desky se nachází na kótě 5,000 m n. m., což je i úroveň dna v horní jezové zdrži. Po celé délce horní základové desky na vtoku i výtoku se táhne štětovicová stěna z larsen. [6]



Obrázek 7 TONKS, D. M.; HOWELLS, R.; BETTESS, R. a kol., řez sifonem a vývarem [schéma]



Obrázek 8 TONKS, D. M.; HOWELLS, R.; BETTESS, R. a kol., půdorys jezu [schéma]

Konstrukce je osově symetrická a lze ji rozdělit do 3 sekcí. Prostřední sekce je dlouhá 36 m a obsahuje 9 sifonových polí. Za účelem disipace energie proudící vody je na výtok z jezu vybudován vývar, který je vystavěn formou kaskády stupňů. První stupeň je umístěn na kótě 1,645 m n. m., poslední na kótě 3,965 m n. m. Za posledním stupněm se nachází vyvýšený závěrný práh. Hladina vody pod jezem se standardně pohybuje na kótě 5,800 m n. m., avšak v případě povodní může dosahovat až 8,300 m n.m.

Krajní sekce přímo navazují na prostřední a jsou konstrukčně totožné. Každá sekce obsahuje boční přeliv, jehož koruna leží na kótě 7,970 m n. m. Za přelivem se na rozdíl od prostřední sekce nenachází kaskáda stupňů, ale prostý vývar, zakončený závěrným prahem. Sekce jsou od

prostřední odděleny stěnou tak, aby voda z bočních přelivů neovlivňovala vývar ve střední sekci. [6]

1.3.3. Starý rybí přechod

Před průmyslovou revolucí a stavbou Manchesterského průplavu udržovala řeka Mersey početnou populaci lososa atlantského, úhořů a mnoha dalších ryb. Rozvoj průmyslu zapříčinil znečištění řeky a výstavba průplavu vytvořila migrační překážky. Pomyslným vyvrcholením událostí byla 50. léta 20. století, kdy údajně z řeky vymizely všechny ryby. Od 70. let tak začala na vodním toku probíhat snaha o navrácení rybí populace. [7]

Situace se postupně na řece zlepšuje a aby vodní díla na řece nepředstavovala překážku pro migraci ryb, byly na popud organizace NRA na každém vodním díle zřízeny rybí přechody. Návrh původního rybího přechodu podléhal stejně jako jez samotný fyzikálnímu modelování. Navrhnut byl šterbinový rybí přechod, který umožňoval rybám zdolat převýšení až 3 m. [6]

Od roku 1994, kdy bylo dílo dokončeno, si problematika rybích přechodů prošla určitým vývojem a z hlediska dnešních požadavků se stal rybí přechod zastaralý a pro ryby nevhodný. Součástí vybudování MVE Woolston se stal i požadavek na rekonstrukci rybího přechodu. Nově zrekonstruovaný přechod využívá ocelové lariniéry na místo železobetonových šterbin. [8]

1.4. Vodní elektrárna Woolston

Plán na vystavění MVE a využití hydroenergetického potenciálu jezu Woolston představila organizace Peel² majiteli jezu již v roce 2012. V plánu bylo vystavění MVE, která by byla schopna vyprodukovat 2,6 GWh elektrické energie ročně, což by ušetřilo na britském energetickém trhu 1400 tun oxidu uhličitého, který by jinak vznikal v důsledku spalování fosilních paliv. Záměr byl diskutován s organizacemi MSCC, the Enviromental Agency, Natural England a lokálním správním orgánem the Warrington Borough Council. [8]

Firma Renewables First Ltd. provedla studii proveditelnosti (anglicky feasibility study) a odhalila, že přepadající voda přes jez disponuje celkovým výkonem 0,9 MW, který je disipován ve vývaru. Pro přeměnu části výkonu bylo zvažováno využít dvou druhů turbín, a to Archimédovy turbíny (anglicky: screw turbine) a Kaplanovy turbíny. Z důvodu ochrany ryb ovšem vyšla Kaplanova turbína jako nepoužitelná, neboť jemné česle by způsobily takovou ztrátu spádu, že

² Peel – britská veřejnoprávní organizace, více informací na: <https://www.peel.co.uk/>

by projekt byl nerentabilní. Jako nejlepší řešení se jevílo použití tří Archimédových turbín. Možná rentabilita projektu byla propočítána spolu s příspěvkem britské vlády na rozvoj obnovitelných zdrojů. [8]

1.4.1. Popis zemních prací a zakládání

I když plány pro výstavbu elektrárny byly představeny již v roce 2012, samotná výstavba začala až v létě roku 2020 a trvala do léta 2021. Investorem byla česká firma HYDROPOL Project & Management a.s., která projekt realizovala pod záštitou své britské dceřiné firmy Mersey Hydro Ltd.

Staveniště bylo nutné nejdříve připravit pro příjezd těžké techniky. Po délce nezpevněné příjezdové komunikace byl nasypán hrubý štěrk. Vzhledem k různorodosti podloží bylo nutné provést řadu průzkumných vrtů, které determinovaly návrhové parametry pro zakládání.

Pro výstavbu elektrárny bylo nutné vytvořit a zajistit novou břehovou linii, která je nově posunuta o 22 m severně. Stabilita nového břehu je zajištěna zámkovými ocelovými štětovnicemi typu Larsen. Uzamčené štětovnice tak působí jako opěrná stěna, jejíž statické působení je umocněno předpjatými geotechnickými kotvami, které jsou umístěny po celé délce štětovnicové stěny. Dalším prvkem chránícím stabilitu břehové linie je železobetonový věnec, který leží přímo na štětovnicích nové břehové linie.



Obrázek 9 HANUS, D., postup výstavby, vlevo-příprava staveniště, uprostřed-nová linie Larsen a železobetonový věnec, vpravo stavební jáma a armování základové desky [fotografie]

Nově vybudované štětovnice byly napojeny na stávající štětovnice, které chránily původní břehovou linii. Jejich vzájemným propojením vznikla zajištěná stavební jáma, kde mohla probíhat výstavba elektrárny. Původní železobetonová deska byla postupně demolována tak, aby pod ní mohly probíhat výkopové práce.



Obrázek 10 HANUS, D., průběh výstavby, vlevo - armování strojovny, vpravo - pohled na stavbu [fotografie]

Po výstavbě základové desky, pilířů, budovy strojovny a nátokových prvků mohly být osazeny turbíny a další komponenty jako hrubé a jemné česle, provizorní hrazení atd. Jedním z posledních úkonů před zahájením provozu byla demolice – vytažení původních štětovic. Stavební jáma tak byla zaplavena a elektrárna byla připravena zahájit provoz.

1.4.2. Specifikace MVE

Na vodním díle byly instalovány 3 Archimédovy turbíny o průměru 4,6 m a délce 5,5 m. Celkový instalovaný výkon je 486 kW. Kapacitní průtok je 30 m³/s a spád je 2,2 m. [9] Turbíny generují kroutící moment, který pohání generátory v budově strojovny. Turbíny jsou navrženy tak, aby byly schopny provozu po dobu 25 let, za předpokladu dodržování pravidelných měsíčních revizí. Po uplynutí dané lhůty bude zřejmě nutné provést celkovou rekonstrukci díla. Kontrolní nástroje zahrnují systém SCADA, který umožňuje online monitoring rozpuštěného kyslíku před i za MVE. [8]

1.4.3. Napojení do elektrické sítě

Napojení do 11 kV distribuční sítě umožnila společnost Scottish Power, která vlastní rozvodnu 500 m severovýchodně od MVE. Samotné zapojení pak bylo realizované přes 3 jádrový kabel, který je veden ve výkopu podél koryta řeky. [8]

2. BIM A DIGITALIZACE STAVEBNICTVÍ

2.1. Definice BIM

Zkratka BIM (anglicky: Building Information Modelling/Management – informační modelování/management staveb) se stala skloňovaná zejména ve spojitosti s digitalizací

stavebnictví. Je důležité zmínit, že BIM není jednoznačně definovaný napříč stavební sektorem, a tak se může definice BIM lišit napříč státy, firmami nebo organizacemi.

Pro tvorbu BIM modelu MVE Woolston byla nicméně uplatněna definice Ministerstva průmyslu a obchodu, kterou publikovalo v dokumentu „Koncepce zavádění metody BIM v České republice“. BIM lze jednak vnímat jako informační model – databázi anebo proces, který využívá informační model za účelem sdílení informací, správy dat apod. Tato databáze informací obsahuje komplexní data o návrhu stavby, průběhu výstavby, dokončení stavby ale i mnohé další informace týkající se projektu. [10]

Jedná se tedy o objektově-orientovanou, inteligentní a parametrizovanou reprezentaci skutečné stavby, popřípadě projektu, která umožňuje generovat, sdílet a analyzovat data s účastníky projektu, jako jsou dodavatelé, investoři, provozovatelé, subdodavatelé, správní orgány atd. [11]

2.2. Společné datové prostředí

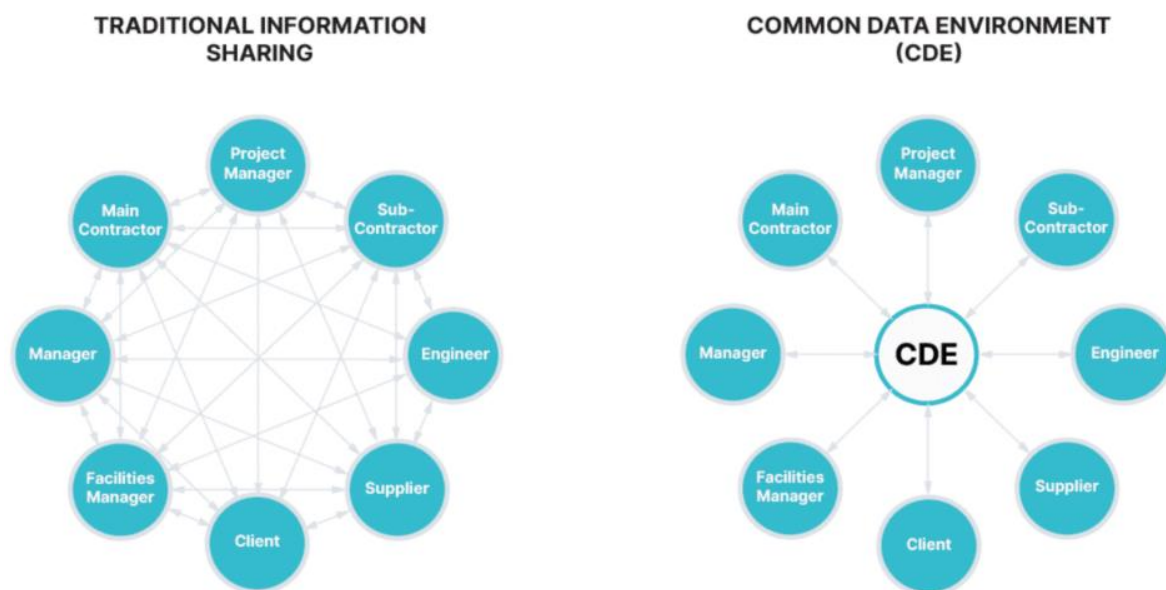
Stěžejním bodem problematiky, který nelze opomenout, je společné datové prostředí CDE. Jedná se o datové prostředí, do kterého jsou všechny informace o stavbě ukládány, spravovány a upravovány. Jde tak o jediný zdroj informací, který zahrnuje grafická i negrafická data. Zároveň lze v rámci CDE delegovat, kdo má k jakým informacím přístup, kdo má právo data editovat, ale i termíny dodání určité části projektu např.: projektové dokumentace. Na obrázku Obrázek 11 je znázorněna spolupráce účastníků stavby a jednotlivé toky informací při tradičním sdílení dat a při použití CDE. Můžeme si všimnout, že při použití CDE dochází k eliminaci značného množství informačních toků, což snižuje riziko, že někdo bude pracovat s neaktualizovanými informacemi. [10]

Důležitým přínosem CDE je možnost pracovat v interaktivním prostředí s BIM modely, a to bez nutnosti pořizování dodatečných softwarových licencí. Toto dává všem účastníkům stavby příležitost zapojit se do projektu již v raných fázích výstavby, což vede k levnějšímu a efektivnějšímu provedení. CDE tak představuje jeden z hlavních nástrojů, jak efektivně implementovat BIM. [12]

Na trhu můžeme nalézt řadu CDE řešení, jejichž ceny, možnosti i způsob práce se značně liší. Za zmínku stojí projekt „najdicde.cz“³, kde byl ve spolupráci organizací czBIM a

³ Více informací na: <https://najdicde.cz/>

buildingSMART vytvořen seznam dostupných CDE řešení, ve kterých lze zobrazovat a porovnávat vlastnosti jednotlivých CDE, což může značně ulehčit výběr. [12]



Obrázek 11 GRASS, Alexander, rozdíl mezi sdílením dat tradiční formou a ve společném datovém prostředí [schéma]

2.3. Přínosy používání BIM

BIM je již mnoho let hojně diskutované téma ve stavebnictví. Značný počet států začal určitou formu BIM vyžadovat při zadávání veřejných zakázek. Podobný vývoj lze samozřejmě sledovat i u soukromého sektoru. Jedním z častých omylů bylo chápání BIM jako přechodu od klasického 2D modelování (AutoCAD) na 3D modelování. Toto je ovšem značné podcenění toho, co BIM představuje, neboť strukturované informace v BIM modelech nám umožní upravovat, koordinovat a analyzovat data, a to při samotném projektování, výstavbě i po dokončení stavby. Zde se nachází výčet 7 přínosů BIM pro stavebnictví:

1) Zlepšení spolupráce a komunikace na stavbě

Pokud aplikujeme CDE do BIM projektu, dosáhneme značně lepší spolupráce mezi jednotlivými účastníky projektu viz 2.2.

2) Výkaz výměr a položkový rozpočet přímo z BIM modelu

BIM model nám umožňuje generovat výkazy výměr, které slouží jako podklad pro položkový rozpočet. Pokud např. při projektování vznikne potřeba měnit rozměry dílčích konstrukcí, změny budou okamžitě reflektovány v položkovém rozpočtu.

Projektant má tak téměř okamžitě zpětnou odezvu, jak se změny projeví na ceně projektu.

3) Vizualizace projektu před zahájením výstavby

Při tvorbě BIM modelu je projekt „postaven“ nejprve v digitálním prostředí ve 3D, což je pro lidské oko přirozenější vjem než pouhé 2D výkresy. S tímto přínosem se pojí i možnost využití virtuální (angl. virtual) nebo upravené (angl. augmented) reality. Investor má tak např. za pomoci brýlí pro virtuální realitu možnost projít si stavbu ještě před zahájením projektu. Technologie ale dostává své uplatnění i během výstavby samotné, kdy si např. instalatér může prohlédnout rozvody inženýrských sítí přímo na stavbě ještě před tím, než jsou realizovány.

4) Koordinace a detekce kolizí

V ideálním případě by měli být do tvorby BIM modelu zapojeni projektanti všech specializací stavebnictví. Projektanti jsou „nuceni“ k důsledné spolupráci. Vezměme v úvahu modelový příklad: projektant TZB navrhne kabelovou lávku, která vede skrz stěnu, aniž by ve stěně byl vymodelovaný otvor. Pokud o této skutečnosti nebude vědět statik, odhalí až analýza kolizí tento problém a chyba může být včas odstraněna. Pokud bychom analýzu neprovedli, vznikla by komplikace na stavbě.

5) Facility management

Pokud zapojíme od začátku personál, který bude po dokončení stavby projekt spravovat do procesu tvorby BIM modelu, dáváme správcům možnost definovat takové požadavky, aby mohl být BIM model využíván i v budoucnosti pro tzv. facility management. Příkladem u MVE mohou být výrobní čísla strojových součástí, odkaz na dodavatele, datum revize apod.

6) Parametrizace a časové úspory

Každý BIM model je složen z dílčích BIM elementů. Tyto jednotlivé elementy mohou být statické – neměnné nebo dynamické – proměnné na základě určitého parametru. Pokud víme o určitém elementu, že je často měněn, můžeme nadefinovat parametry, kterými jej budeme ovládat. Příkladem může být prostá stěna, která má parametry: výška, délka, tloušťka, krytí výztuže atd. Pokud jeden z těchto parametrů změníme, přepočítají se výkazy výměr, opraví se výkresy, změní se stupeň vyztužení. Všechny tyto úpravy by bez parametrizace na statickém elementu zabraly značné množství času.

7) Digitalizace stavebního sektoru

Produktivita ve stavebnictví ve většině vyspělých zemích dlouhodobě stagnuje. Velké zakázky nejsou dokončovány v předem daných časových limitech a častokrát se

prodraží. Stavebnictví zároveň patří k nejméně digitalizovaným sektorům ekonomiky. Digitalizace v ostatních odvětvích vedla k růstu produktivity, a proto by i stavebnictví mělo využít tohoto potenciálu. BIM by v blízké budoucnosti mohl zlepšit komunikaci nejen mezi dodavateli a investory, ale zejména orgány státní správy. K získání stavebního povolení by stačilo odeslat data stavebnímu úřadu, a to nejlépe formou BIM modelu, aniž bychom museli tisknout desítky výkresů. [13]

2.4. Negativní dopady BIM

Implementace BIM s sebou nese pouze pozitivní aspekty, ale i možné negativní dopady, které zejména souvisí s chybějícím právním rámcem a nedostatečnou kvalifikací personálu. Do sylabů na středních a vysokých školách se problematika BIM již dostala, ale stále existuje početná skupina lidí, pro které BIM představuje nicneříkající pojem. [14]

1) Vstupní náklady

Vstupní náklady pro pořízení softwarových licencí představují poměrně výraznou investici, která může mnoho organizací od implementace BIM odradit. Problémem jsou i licenční podmínky vývojářů softwarů. Platnost licencí bývá časově omezená a po vypršení lhůty je nutné licence znovu zakoupit. Nevýhodou je i určitá hardwarová náročnost, a proto implementace BIM s sebou může nést i nutnost zakoupení výkonnější výpočetní techniky.

2) Rekvalifikace pracovníků

Aby mohly být softwarové nástroje užitečně využity a potenciál BIM plně naplněn, je nutné vyškolen pracovníky tak, aby byli schopni s BIM modely pracovat. BIM je z 10 % technologickou a 90 % sociální záležitostí. Implementace BIM s sebou nese přijetí nových pracovních postupů a pravidel, které si musí osvojit nejen projektanti a architekti, ale především i stavbyvedoucí, přípravníci, facility manageři a pracovníci státních institucí. Tlak vzniká ovšem i na investora, který musí za začátku projektu poměrně přesně definovat zadání BIM a jeho provedení (BEP). To vyžaduje mít znalosti nejen ze sféry stavebnictví, ale mít především ponětí o datové náročnosti modelu a o tom, co má být v modelu obsaženo. [14]

3) Absence potřebné legislativy

Problematika BIM není zatím v českých zákonech dostatečně zakotvena a samotná definice metody není jednotná a liší se napříč státy a organizacemi. Existují sice ISO normy, které popisují datové standardy, struktury a sdílení informací. Otázkou ovšem je, jak by na problematiku nahlížela česká jurisdikce v případě soudních sporů. [10]

4) Stupně projektové dokumentace

Další problém představuje množství informací, které je pro projekt vyžadováno z hlediska stupňů projektové dokumentace. BIM model vede k větší podrobnosti informací, než je např. v rámci DUR vyžadováno. Podrobnost samotná sice nepředstavuje problém, ale časová náročnost na její dosažení ano.

5) Kybernetická bezpečnost

Implementace BIM a CDE především s sebou nese rizika odcizení citlivých dat při hackerském útoku. Zejména v blízké budoucnosti, kdy se počítá s aplikací BIM na nadlimitní státní zakázky, bude kybernetická bezpečnost zásadní.

2.5. Problematika BIM a hydrotechnických staveb

Hydrotechnické stavby obecně představují specifické odvětví stavebnictví. Svým charakterem kombinují některé prvky pozemního stavitelství, ale zároveň i liniových staveb. Při projekci i výstavbě se všeobecně setkávají experti různých oborů a vzájemná spolupráce a koordinace je klíčovým aspektem pro efektivní provedení projektu. Hydrotechnické stavby jsou především důležité prvky infrastruktury, které zajišťují protipovodňovou bezpečnost, lodní dopravu, zásobování vodou, zdroje čisté zelené energie a mnoha dalším účelům. Přitom jakákoliv chyba nebo technická závada může mít dalekosáhlé dopady na lidské životy a majetek.

V souvislosti s klimatickou změnou budeme nejspíše muset do hydrotechnické, ale i všeobecně vodohospodářské infrastruktury začít hojně investovat. Přitom hydrotechnické projekty jsou především financovány z veřejných zdrojů a jejich finanční náklady se pohybují v řádech desítek milionů.

Vzhledem k plánovaným legislativním změnám týkajících se především zákona o zadávání veřejných zakázek, bude většina hydrotechnických projektů hrazených z veřejných zdrojů spadat do tzv. nadlimitních veřejných zakázek, z čehož plyne od roku 2023 povinnost používat BIM. Při projekci i realizaci tak nově bude kladena povinnost používání CDE pro předávání a sdílení informací o projektu. Dále bude vyžadováno odevzdání 3D modelu v otevřeném formátu IFC, a to v požadované úrovni podrobnosti. S dvěma předchozími body souvisí i nutnost uzavření BIM – BEP, jako závazného smluvního dokumentu, který definuje podrobnost informací, způsob předávání, ustaví tzv. BIM manažera a definuje, kdo má jakou roli v projektu. [10; 15].

V souvislosti s dodáním BIM modelu je důležité zmínit i potřeby facility managementu, v případě hydrotechnických staveb technicko-bezpečnostního dohledu (TBD), který zajišťuje souhrn komplexních činností sloužící k zajištění provozní spolehlivosti a zajištění bezpečnosti vodních děl. Pokud tyto odborníky zapojíme již při projekci do tvorby BIM modelu, bude BIM

model použitelný i při provozu daného vodního díla. Pokud budou mít pracovníci TBD k dispozici např. IFC model, kde si dopředu u projektantů nadefinovali časové parametry revizí, mohou posléze na základě IFC modelu revize provádět a s modelem pracovat.

Vzhledem k náročnosti a úsilí, které je při tvorbě BIM modelu a následné implementaci BIM nutné vynaložit, by byla škoda model nevyužít ke správě stavby samotné, neboť už pouze při projekci samotné musíme vytvořit mnoho BIM elementů o určité podrobnosti informací, nadefinování pár dodatečných parametrů při tvorbě BIM modelu tak nepředstavuje nijak zvláště náročný úkol.

2.6. Industry Foundation Classes

Dnešní trh s BIM softwarem nabízí celou škálu různých nástrojů, jejichž specializace a využitelnost se liší pro jednotlivé sektory stavebnictví. To, jaký BIM software využíváme, je determinováno odvětvím, firmou nebo organizací, ve které pracujeme. Většina dnes používaných komerčních softwarů využívá své vlastní uzavřené proprietární formáty, které se nazývají nativní. Příkladem toho přístupu mohou být softwary Revit a jeho formát rvt., nebo ArchiCad a formát .pln. Problémem je tak vzájemná interoperabilita, kdy data vytvořená v jednom softwaru nejsou schopna komunikovat s druhým a tím je omezena efektivní spolupráce.

Pro plné využití výhod digitalizace je nutná existence otevřených, dlouhodobě spravovaných formátů, které jsou strojově čitelné a neomezují tak rozvoj technologií ve stavebním sektoru. V rámci implementace BIM se zejména uplatňuje datový standard IFC (anglicky: Industry Foundation Classes), jehož vývojářem je nezisková organizace buildingSMART. [15]

2.6.1. Organizace buildingSMART

Samotná organizace buildingSMART vznikla v rámci Aliance pro interoperabilitu (IAI), založené v roce 1994 na popud Autodesku jako konsorcium 12 společností. Od roku 2005 vystupuje organizace pod jménem buildingSMART. Dlouhodobým cílem je propagace tzv. Open BIM. Společnost se snaží neustále IFC rozvíjet a úzce spolupracuje s organizacemi ISO a CEN při tvorbě nových technických norem, jako jsou:

- ISO 16739-1. Datový formát Industry Foundation Classes (IFC) pro sdílení dat ve stavebnictví a ve facility managementu.
- CEN/TC 442 – Building Information Modelling (BIM): technická komise pro BIM.

- ISO/TC 59/SC 13 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM).

[15] [16]

Členství v organizaci je otevřené jak pro státy, tak pro individuální společnosti a instituce. Jsou to právě národní „pobočky“, které propagují a implementují datové standardy v příslušných zemích. Mimo výše zmiňované IFC organizace dále vyvíjí formáty jako BCF (anglicky BIM Collaboration Format), bsDD (buildingSMART data dictionary).

2.6.2. Popis a princip IFC

Industry Foundation Classes je neutrální, otevřený, strukturovaný datový standard, který slouží k popisu, sdílení a výměně informací o stavbách. Formát je standardizovaný prostřednictvím technické normy ISO 16739-1:2018. Jedná se o komplex definic, kterými lze popsat jakýkoliv element ve stavebnictví a textovou strukturu, kterými jsou tyto definice uspořádány v datových formátech. [16]

V knize „The BIM Manager“ zmiňuje autor Mark Baldwin analogii mezi tím, co IFC znamená pro BIM a co PDF znamená pro CAD dokumenty nebo dokumenty vytvořené v Microsoft Word, Apple pages apod. IFC sice zachovává geometrii a vlastnosti BIM elementů, ale neumožňuje jejich libovolnou editaci. [17]



Obrázek 12 HILDEBRAMDT, Nathan, spolupráce 2 BIM nástrojů pomocí IFC [schéma]

Tuto analogii si uveďme na konkrétním příkladu. Projektant vytváří projektovou dokumentaci např. v softwaru AutoCAD a chce ji sdílet s ostatními účastníky projektu. Sdílení nativních souborů .dwg není ideálním řešením, neboť druhá strana může dokumentaci bez vědomí projektanta pozměnit, ať už úmyslně nebo ne. Další možnou nevýhodou je fakt, že ne každý je schopný formáty .dwg otevřít. Vyexportuje-li projektant data do formátu PDF, může každý účastník do výkresů nahlížet, tisknout je apod.

Obdobný princip má i IFC, i když s daleko širším uplatněním. Pokud chce projektant sdílet BIM model vytvořený např. v softwaru Revit, je nativní soubor .rvt účastníkům stavby bez softwarové licence k ničemu. Naopak účastníci stavby, kteří vlastní licenci pro Revit, mají přístup k veškerým BIM objektům, které projektant vytvořil, což může představovat riziko z hlediska vlastnického práva a projektantova know-how. Vyexportuje-li projektant model do IFC, mohou všichni BIM model vizualizovat, tvořit výkazy výměr, energetické analýzy atd. Zároveň ale nemohou být data v modelu měněna.

Problém, který se s IFC standardem pojí, je fakt, že téměř nikdy není použit jako primární výstup z programů. V praxi často pracujeme v nativních souborech (např. Revit → .rvt), které posléze do IFC převádíme. Přenosem dat ovlivňujeme kvalitu předávaných informací, což se často projevuje jako nepřesná geometrie, pozměněné parametry nebo naopak ztráta celých parametrů. IFC zároveň představuje poměrně složitý koncept, jehož efektivní používání vyžaduje osvojení principů programování. [18]

2.6.3. IFC formáty a verze

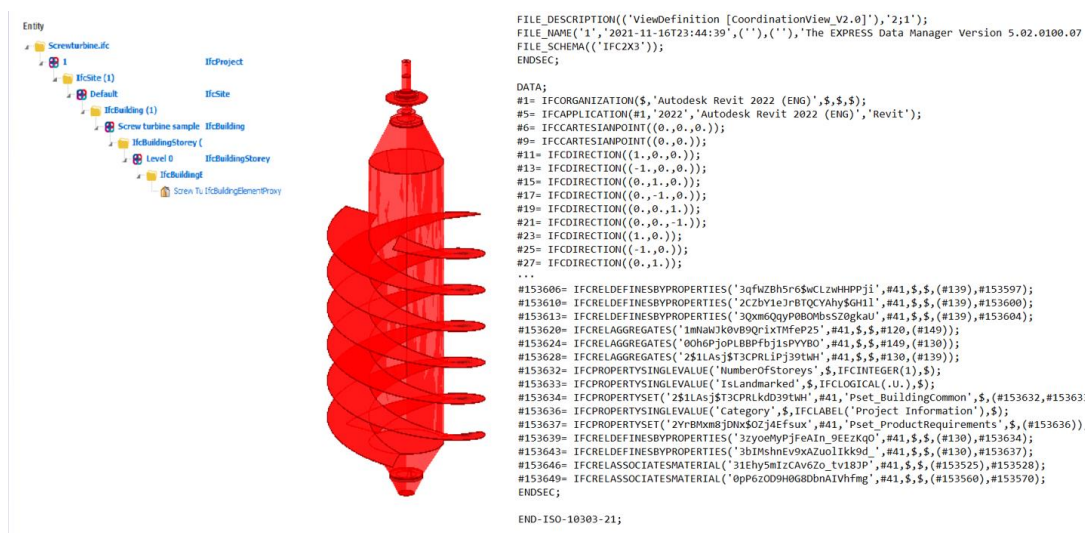
BIM model v IFC může být zapsán v mnoha elektronických formátech, jejichž použití zásadně ovlivňuje čitelnost modelu, jaké vlastnosti jsou zapsány, a samozřejmě datovou velikost modelu, viz Tabulka 3. Ze všech formátů zmíněných v tabulce je dnes nejvíce využíván Step Physical File (.ifc), který je zároveň upraven normou ISO 10303-21. [16] [19]

Tabulka 3 Datové formáty a jejich velikost, přejato z <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-formats/>

Formát	Koncovka	typ MIME	Text	Index	Velikost
Oficiálně přijaté					
STEP Physical File (SPF)	.ifc	application/x-step	Ano	Ne	100 %
Extensible Markup Language (XML)	.ifcXML	application/xml	Ano	Ne	113 %
ZIP	.ifcZIP	application/zip	Ano	Ne	17 %
Terse RDF Triple Language (Turtle)	.ttl	text/turtle	Ano	Ne	1372 %
Resource Description Framework (RDF/XML)	.rdf	application/rdf+xml	Ano	Ne	816 %
Kandidáti na přijetí					
JavaScript Object Notation (JSON)	.json	application/json	Ano	Ne	148 %
Hierarchical Data Format (HDF)	.hdf	application/x-hdf	Ne	Ano	-
Experimentální					
SQLite	.sqlite	application/x-sqlite3	Ne	Ano	-

IFC může být zobrazeno třemi různými způsoby. Jako příklad může posloužit BIM element – Archimédova turbína vyexportovaná z nativního souboru v Revitu do formátu IFC STEP Physical

File. Tento soubor můžeme zobrazit ve třech možných způsobech viz Obrázek 13. V tomto konkrétním IFC modelu se nachází pouze jeden BIM element, zatímco v běžném projektu bude model obsahovat elementů stovky. IFC ovšem respektuje vždy stejnou strukturu, která začíná názvem projektu (Screw turbine.ifc) → staveniště (ifcSite) → budova (ifcBuilding) → podlaží (ifcBuildingStorey) → BIM element (ifcBuildingElementproxy).



Obrázek 13 IFC model turbíny – zápis jako struktura (vlevo), načtení dat jako 3D modelu (střed), textový zápis STEP (vpravo) [snímek obrazovky]

2.7. Open BIM

2.7.1. Definice a základní myšlenky Open BIM

Pojem Open BIM se stává stále více skloňovaným pojmem ve stavebnictví. Představuje univerzální přístup k projekci, výstavbě a dalším úkonům na stavebním projektu, které jsou založeny na otevřených standardech a otevřené spolupráci všech účastníků stavby, nezávisle na použitých softwarech. IFC se tedy dá označit za implementaci Open BIM v praxi. Koncepce je založená na následujících tezích: [16]

- 1) Interoperabilita je klíčová aspekt k dosažení digitalizace stavebnictví.
- 2) Otevřené a neutrální standardy podpoří rozvoj interoperability.
- 3) Spolehlivá výměna dat závisí na nezávislých měřítkách kvality.
- 4) Pracovní postupy a spolupráce jsou rozšířeny o otevřené a agilní datové formáty.
- 5) Možnost výběru technologie tvoří přidanou hodnotu pro všechny zúčastněné strany.
- 6) Udržitelnost je zajištěna dlouhodobými interoperabilními datovými standardy.

Základní myšlenkou konceptu Open BIM je tedy otevřenost a spolupráce na nejvyšší možné úrovni. To z pohledu projektanta znamená jednak otevřené sdílení dat, ale i spolupráci na otevřeném BIM modelu. Bohužel, komerční BIM softwary toto neumožňují, neboť žádný ze softwarů nepracuje primárně s IFC, ale s vlastními nativními soubory. Efektivní spolupráce na tvorbě BIM modelu tak vyžaduje, aby účastníci stavby měli zakoupené softwarové licence a byli schopni je řádně používat. Cena licencí samotná je faktor, který může řadu společností od implementace BIM odradit, čímž je brzděn nástup technologie BIM jako takové. Možným řešením by bylo užití open-source softwaru, který by značně snížil náklady na implementaci BIM a umožnil spolupráci skutečně všech účastníků stavby. [20; 18]

2.7.2. Výhody open-source

Koncepce Open BIM představuje volné sdílení. Tato skutečnost je ovšem podmíněna i volným používáním a vylepšováním softwaru. Programování a výpočetní technologie proniká stále hlouběji i do konzervativnějších oborů, jako je stavebnictví, a právě proto je důležité, abychom si softwarové nástroje všichni mohli upravovat dle vlastních potřeb, neomezování licenčními podmínkami dodavatelů softwaru. Pro účely této práce je za open-source software uvažován takový software, který splňuje 4 následující svobody (anglicky: the four freedoms): [21]

- 1) **Použití (angl. use)** – software může být libovolně používán a není svázán restrikcemi jako platnost licence, geografické limitace atd.
- 2) **Sdílení (angl. share)** – software může být libovolně sdílen bez jakýchkoliv cenových nákladů.
- 3) **Vzdělávání (angl. study)** – software a jeho kód mohou být libovolně studovány bez dalších omezení.
- 4) **Vylepšení (angl. improve)** – software může být libovolně modifikován a tyto modifikace mohou být veřejně sdíleny.

Používání open-source softwaru s sebou nese řadu výhod. Jedním z hlavních přínosů open-source je sdílení a kopírování dat. Jelikož není užívání open-source softwaru podmíněno koupí drahých licencí, můžeme do procesu BIM zapojit skutečně všechny účastníky stavby.

Dalším přínosem je nezávislost na konkrétním dodavateli softwaru a jeho cenové politice. Při aplikaci open-source se koncepce BIM nebude podřizovat velkým softwarovým společnostem, ale uživatelům samotným, což může vytvořit prostředí pro rychlejší inovaci.

Klíčovým tématem je i zabezpečení. Pokud je kód softwaru otevřený, může takřka kdokoli zkontrolovat bezpečnost, čímž lze předejít možným hackerským útokům a odcizení dat. Při

používání uzavřeného softwaru (Revit, ArchiCAD, Allplan) vkládáme veškerou důvěru ve vývojáře. [21]

2.8. Blender a BlenderBIM

Software Blender, který je především znám jako nástroj pro tvorbu 3D modelů, simulace, animace, rendering apod., je dobrou ukázkou open-source v praxi. Software spravuje organizace GNU General Public License, která zajišťuje financování, aktualizace a vývoj softwaru celkově. Jedná se zároveň o prověřený software, mezi jehož uživatele patří agentura NASA nebo herní vývojář Ubisoft. Velkou výhodou Blenderu je možnost programovat v jazyce Python přímo v softwaru pomocí „Blender’s API for Python“. To dává vývojářům možnost tvořit vlastní aplikace a vytvářet nové nástroje, které jsou často veřejně dostupné i pro ostatní uživatele formou doplňků (angl. add-on). [22; 23]

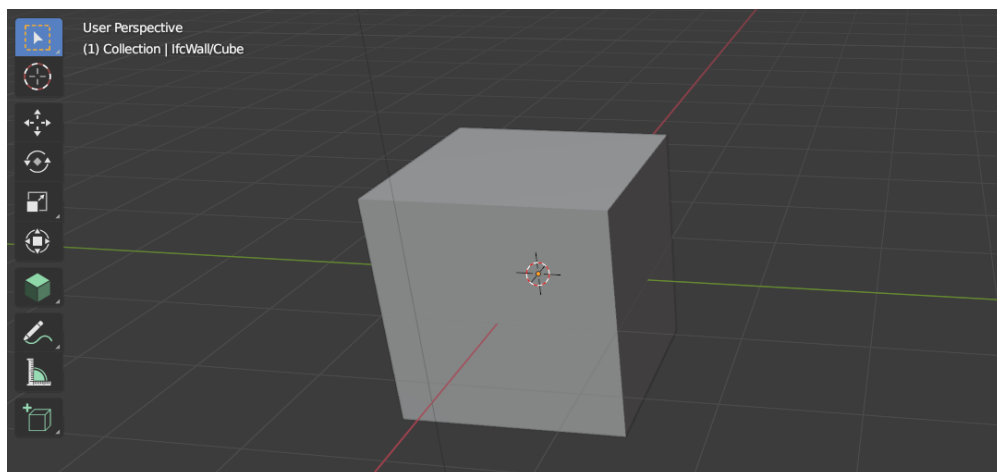
Z hlediska implementace BIM je zajímavý zejména doplněk BlenderBIM, který vydala skupina dobrovolníků ifcOpenShell. BlenderBIM umožňuje jednak načtení IFC modelů vytvořených v jiných softwarech, ale hlavně tvorbu BIM modelu přímo nativně v IFC. Toto je zásadní rozdíl oproti komerčním softwarovým nástrojům, které vytváří své vlastní nativní formáty, které jsou následně do IFC exportovány. [18]

Na rozdíl od komerčních softwarů typu Revit, ArchiCAD, Allplan atd. nepoužívá Blender objektově orientované modelování, tzn. že projektant musí nejdříve vytvořit geometrii BIM elementu a tu následně popsat dalšími parametry. Toto je velmi odlišný přístup od komerčních BIM softwarů, kdy geometrie a parametry jsou vytvořeny přímo s BIM elementem. [18]

2.8.1. Tvorba BIM elementu pomocí BlenderBIM

BlenderBIM je stále ve vývoji, a proto nemusí být všechny deklarované schopnosti doplňku plně funkční. Nicméně zkušební verze jsou již volně dostupné ke stažení, a tak je možné BlenderBIM zkoumat. Vytvoříme-li v Blenderu libovolnou geometrii např. krychle o ohraně 2 m

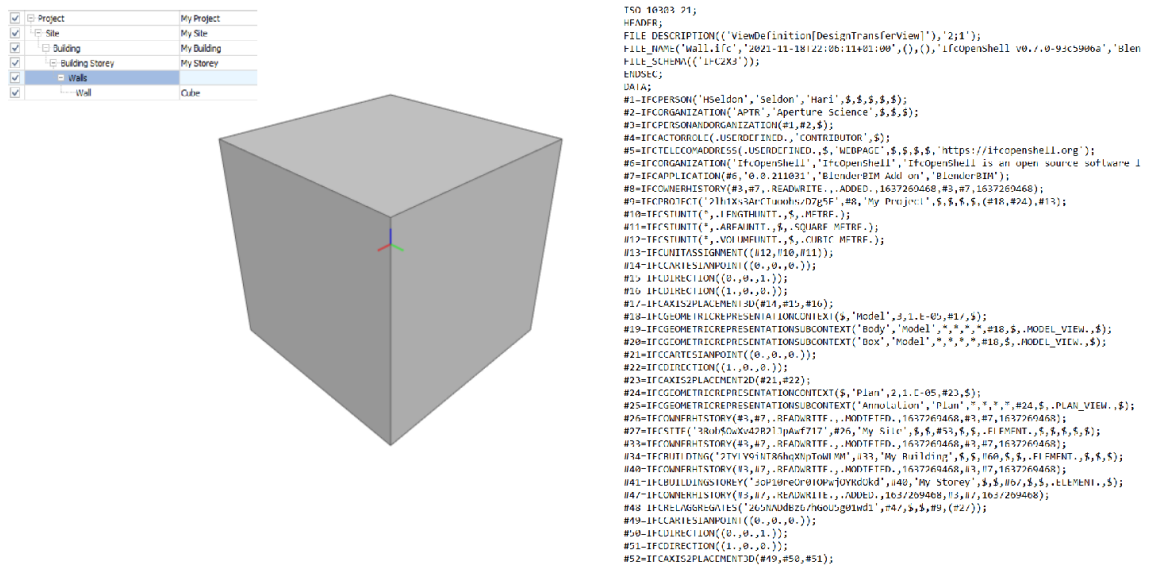
viz **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**, je následný převod na IFC element poměrně jednoduchou záležitostí. Pro účel této demonstrace převedeme geometrii krychle na stěnu (ifcWall).



Obrázek 14 Prostá geometrie vytvořená v Blenderu - krychle o hraně 2 m [snímek obrazovky]

V prostředí Blenderu založíme nový IFC project, na výběr máme 2 varianty, a to starší verzi IFC2x3 a novější verzi IFC4. Ačkoliv se jedná o pouhý jeden element stěny, i tak musí IFC obsahovat klasifikace (angl. class) ifcProject (Projekt) → ifcSite (Staveniště) → ifcBuilding (Budova) → ifcBuildingStorey (poschodí). Právě do klasifikace poschodí (ifcBuildingStorey) umístíme naši geometrii krychle.

Samotné umístění/propojení geometrie s klasifikací poschodí ovšem ještě neznamená, že byla vytvořena IFC stěna, tuto klasifikaci (ifcWall) musíme geometrii přiřadit. Po přiřazení klasifikace již máme vytvořeno a nedefinováno vše, co k publikaci modelu potřebujeme. Výsledné IFC je zapsáno jako STEP Physical File (.ifc), což znamená, že ho stejně jako u modelu IFC modelu turbíny (viz Obrázek 13) můžeme zobrazit jako strukturu, geometrii i textový zápis.



Obrázek 15 ifcWall, jako datová struktura (vlevo), geometrie (střed), textový zápis ve STEP (vpravo) [snímek obrazovky]

Pokud si zobrazíme vlastnosti vytvořené IFC stěny, zjistíme, že obsahuje pouze skutečně základní atributy, jako jsou název, IFC entita a vygenerovaný GUID. Podobně strohá jsou i geometrická data, kde se dozvíme v jakém podlaží se prvek nachází, zdali má vlastní geometrii, prostorové souřadnice apod. IFC sice neobsahuje informace o objemu, ploše nebo rozměrech stěny. Tyto atributy bychom museli dodatečně elementu přiřadit, a to buď v prostředí Blenderu, nebo přímou editací textového zobrazení IFC.

IFC Structure			
Active	Type	Name	Description
<input checked="" type="checkbox"/>	Project	My Project	
<input checked="" type="checkbox"/>	Site	My Site	
<input checked="" type="checkbox"/>	Building	My Building	
<input checked="" type="checkbox"/>	Building Storey	My Storey	
<input checked="" type="checkbox"/>	Walls		
<input checked="" type="checkbox"/>	Wall	Cube	

Properties			
Location		Classification	Relations
Name	Value		Unit
Element Specific			
Guid	0\$EcfRsbz5nedYvalR984u		
IfcEntity	IfcWall		
Name	Cube		

Obrázek 16 Vygenerované atributy [snímek obrazovky]

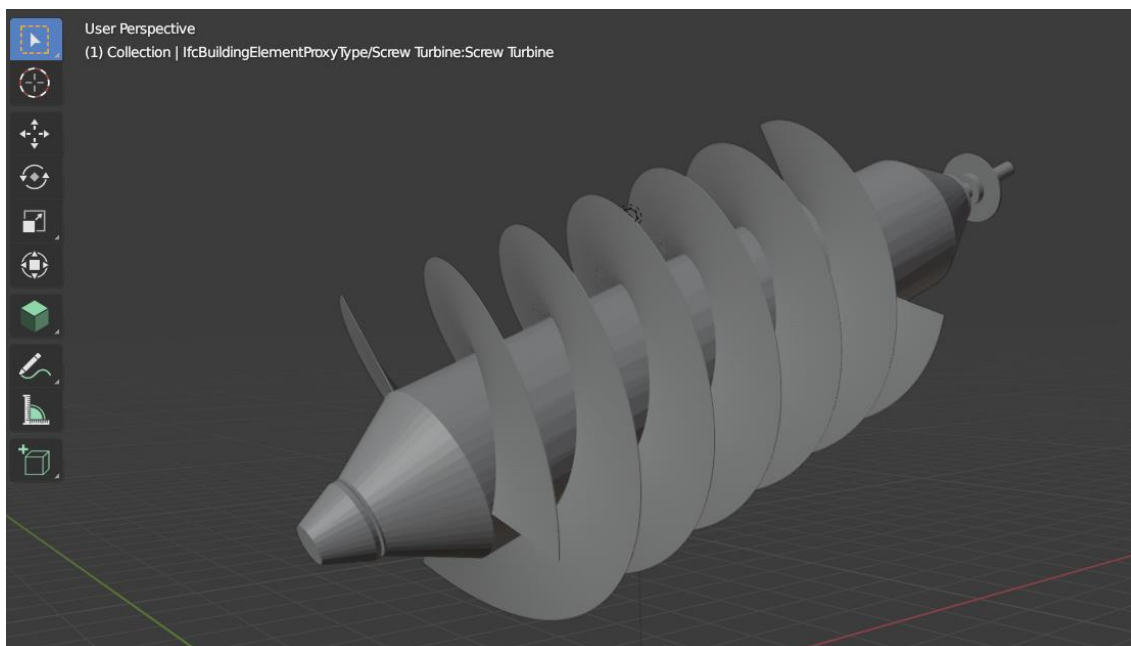
2.8.2. Načtení a editace BIM elementu pomocí BlenderBIM

Pomocí BlenderBIM jsme schopní načíst i již hotové IFC modely, přičemž IFC je plně editovatelné. Pro účel demonstrace byl do programu načten IFC model Achimédovy turbíny. Kromě editace geometrie lze i změnit IFC klasifikaci elementu. Blender BIM tak může v budoucnosti představovat vhodný nástroj pro úpravu již publikovaných IFC modelů.

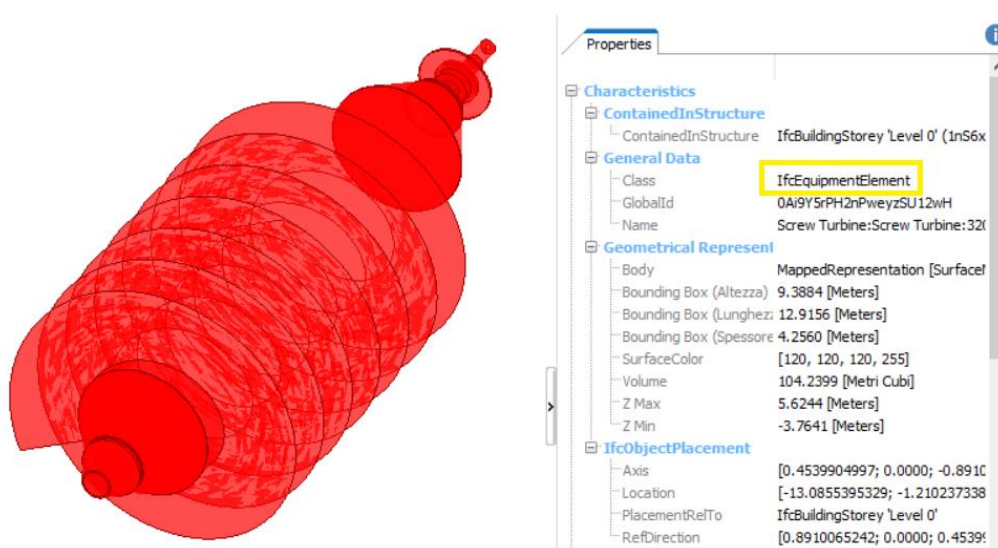
Vzhledem k tomu, že komerční softwary typu Revit, ArchiCAD, Allplan pracují primárně s nativními datovými formáty, je nutné pro získání IFC modelu nechat software všechna tato data exportovat do IFC. Tento samotný export je často nedokonalý a během převodu může vzniknout spousta chyb. Kromě pozměněné geometrie, nedokonalé triangulace může software špatně přiřadit IFC klasifikaci, a tak se nám např. element „Archimedova turbína“ přiřadí chybně do klasifikace „ifcBuildingElementProxy“ viz Obrázek 17.

Tuto chybu lze odstranit různými způsoby. Jednou z možností je využít textové zobrazení IFC, kdy element v textu dohledáme a klasifikaci přepíšeme. Tento způsob řešení je ovšem pro běžného člověka poměrně složitý, neboť vyžaduje určitou znalost programování. Vezmeme-li v potaz, že průměrný BIM model se skládá ze stovek, možná tisíců BIM elementů a zároveň jeden BIM element vyžaduje několik řádků textu, je editace přímo v textovém zápisu velmi náročná.

Další možností je načtení IFC v Blenderu (pomocí BlenderBIM) a změna klasifikace přímo ve 3D prostředí viz Obrázek 17. Tento způsob provádění změn je pro běžného uživatele mnohem přijatelnější, neboť nevyžaduje zkoumání tisíců řádků textového zápisu. Uživatel si zároveň může zkontrolovat geometrické zobrazení elementu a editovat atributy IFC jako název, popis, označení atd.



Obrázek 17 IFC model archimédovy turbíny načtený v Blenderu pomocí BlenderBIM [snímek obrazovky]



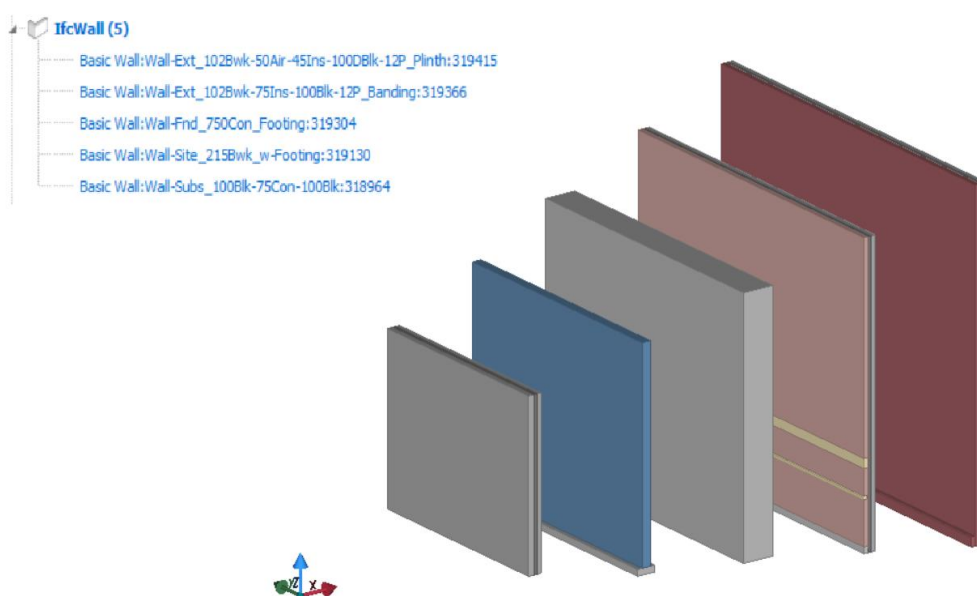
Obrázek 18 Změna klasifikace elementu z IfcBuildingElementProxy na IfcEquipmentElement v usBIM.viewer [snímek obrazovky]

2.8.3. Jazyk Python a BlenderBIM

Součástí softwaru Blender je i automaticky předinstalovaný programovací jazyk Python. Jedná se o objektově orientovaný programovací jazyk, který je po více než 20 let používán vědci, designéry ale i inženýry pro řešení komplexních problémů a analýzu dat. Mezi jeho uživatele

patří společnosti jako Google, Mozilla, Youtube nebo dokonce Esri, vývojář GIS softwaru ArcGIS. [24]

K editaci dat v IFC pomocí jazyka Python přitom Blender ani vyloženě nepotřebujeme. Jak již bylo několikrát zmíněno, IFC lze zobrazit i jako textový soubor, se kterým Python dokáže dobře spolupracovat. Zkombinujeme-li ovšem IFC, Blender a Python, dostáváme skutečně interaktivní prostředí, kde můžeme jednak data editovat hromadně (pomocí programovacího jazyka), ale zároveň se můžeme zaměřit i na jeden konkrétní BIM element a ten pozměnit „manuálně“ (v prostředí Blender).



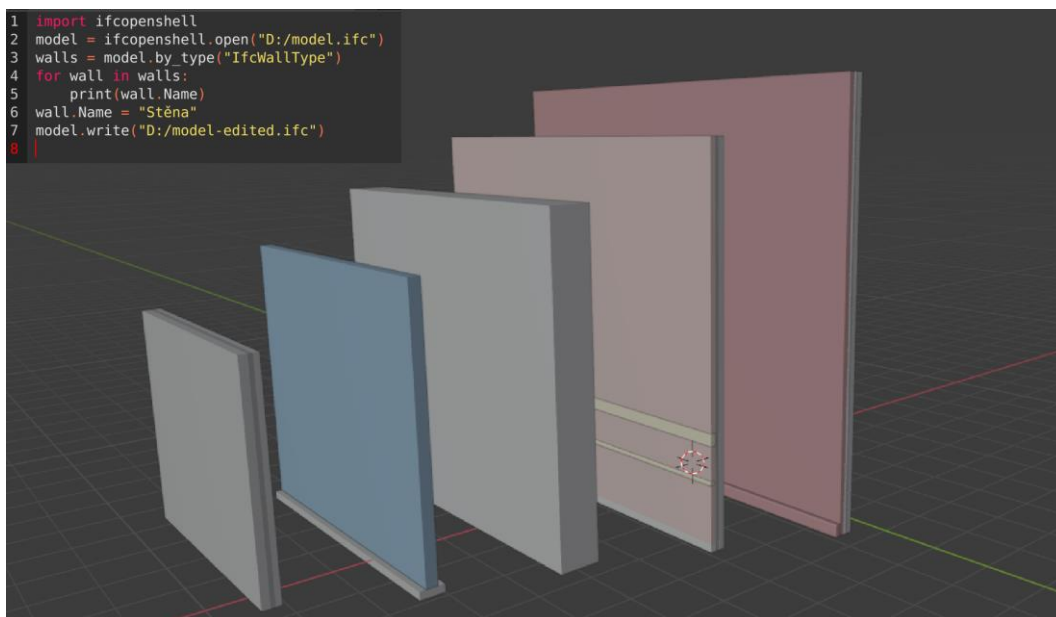
Obrázek 19 BIM model v IFC obsahující 5 různých stěn usBIM.viewer [snímek obrazovky]

Ukažme si modelovou situaci. V softwaru Revit je vytvořen BIM model, který obsahuje 5 stěn různých vlastností. Kromě odlišných rozměrů a materiálových atributů nese každá stěna odlišný název. Software Revit necháme vyexportovat nový IFC soubor (IFC4) viz **Chyba! Nenašel jsem zdroj odkazů.** Názvy stěn odpovídají přednastaveným termínům v Revitu, které sice mohou být při tvorbě modelu užitečné, ale z hlediska IFC představují poměrně nepřehledné pojmenování. Chceme-li např., aby všechny stěny nesly název „Stěna“, můžeme IFC editovat pomocí Pythonu.

Pokud tuto editaci provedeme přímo v prostředí Blenderu, zobrazí se nám zároveň 3D model IFC, který je rovněž editovatelný viz Obrázek 20. Toho samého bychom dosáhli, pokud bychom Blender vůbec nepoužili a využili libovolné vývojové prostředí (IDE).

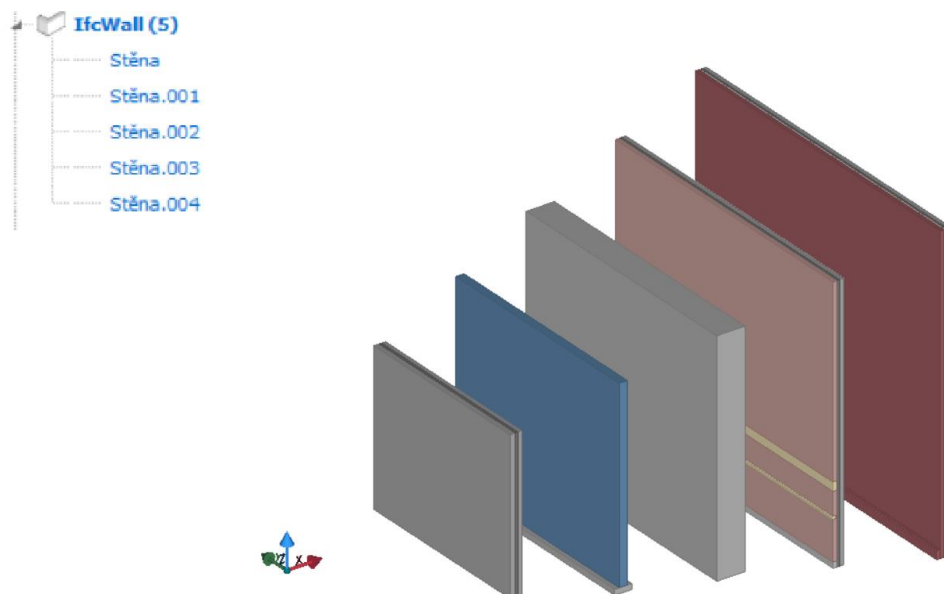
Obrázek 21 pak zobrazuje editovaný IFC model, kde byly přepsány původní názvy stěn. Zajímavé je, že IFC neumožňuje, aby typy stěn, které mají odlišné vlastnosti, nesly stejné pojmenování, a proto byly automaticky doplněny číslici za pojmenováním.

Je zřejmé, že implementace BlenderBIM v kombinaci s Pythonem je na začátku svého vývoje. Nicméně se jedná o velmi zajímavý nástroj z hlediska budoucnosti. Open-source charakter doplňku umožňuje de facto komukoliv vyvíjet další nástroje. Kolem BlenderBIM zároveň existuje aktivní skupina dobrovolníků, která se snaží doplněk dále rozvíjet.⁴



Obrázek 20 Editace IFC za pomoci Pythonu v Blenderu [snímek obrazovky]

⁴ Více informací na: https://wiki.osarch.org/index.php?title=IfcOpenShell_code_examples a <https://github.com/ifcopenshell/ifcopenshell/>

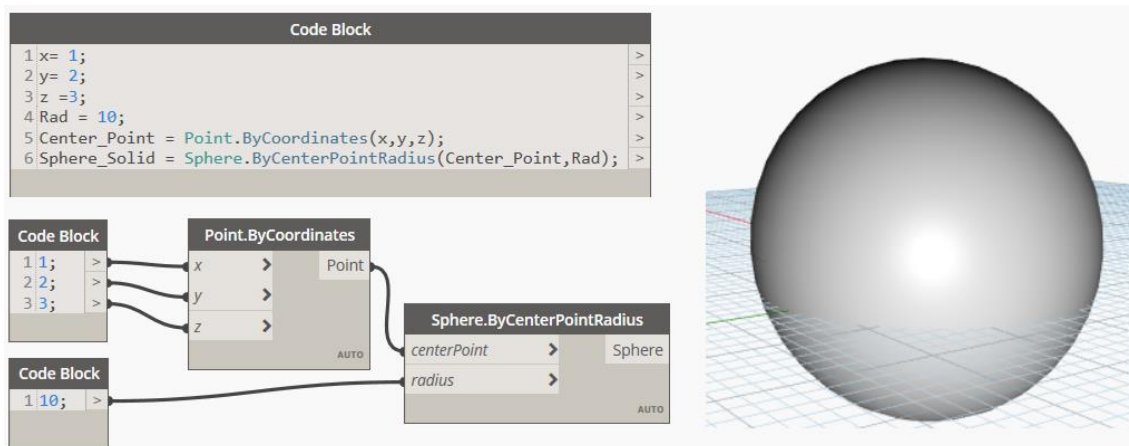


Obrázek 21 Zobrazení editovaného IFC modelu v usBIM.viewer [snímek obrazovky]

2.9. Vizuální programování Dynamo

Dynamo představuje open-source vizuálně programovací jazyk, který je používán ve formě doplňku (angl. plug-in) v softwarech Revit a Civil 3D. Dynamo umožňuje psát kód, ale i vytvářet tzv. uzly (angl. node), pomocí kterých můžeme tvořit různé algoritmy a automatizovat návrh BIM modelu. S nadsázkou se dá konstatovat, že se jedná o ekvivalent od Autodesku pro ostatní vizuálně programovací nástroje, jako je např. Grasshopper pro software Rhino 3D, Serpens pro Blender atd. [25]

Princip vizuálního programování můžeme ilustrovat na následující situaci. V momentě, kdybychom chtěli v softwaru Dynamo vytvořit geometrii koule, můžeme tvorbu geometrie jednak popsat pomocí textového editoru, anebo využít uzlů, které po vzájemném propojení okamžitě geometrii vygenerují. Díky vizualizaci ve 3D prostředí máme okamžitou zpětnou vazbu k našemu kódu/uzlům.



Obrázek 22 Vizuelní programování, vlevo nahoře pomocí textového editoru, vlevo dole pomocí uzlů, vpravo vygenerovaná geometrie [snímek obrazovky]

Dynamo nám tedy dává rozšířenou sadu nástrojů, pomocí kterých můžeme tvořit a parametrizovat geometrii, automatizovat jednotlivé úkony a celkově upravovat chování softwarů Revit a Civil 3D dle svých potřeb. Z tohoto důvodu bude Dynamo použito při tvorbě modelu MVE Woolston, a to konkrétně u automatizovaného ovládání štětovnic a tvorbě geometrie Archimédovy turbíny.

2.10. Komerční BIM softwary

Na současném trhu je k dostání mnoho komerčních BIM softwarů, jejichž vlastnosti, pořizovací náklady i použitelnost v praxi se liší. BIM přitom slouží jako propojení různých oborů napříč stavebnictvím, propojuje architekty se statiky, TZB specialisty a rozpočtáře apod. Volba vhodného softwarového nástroje tak má zásadní vliv pro implementaci BIM. Společným znakem BIM softwarů je objektově orientovaný přístup, kdy každý BIM model je složen z jednotlivých objektů – BIM elementů, které mají kromě vlastní geometrie i další atributy jako materiálové vlastnosti, časové údaje, mechanické charakteristiky atd.

Zřejmě nejstarším vývojářem BIM softwaru je finská společnost Tekla, která byla založena roku 1966. Mezi její stěžejní softwarové řešení patří Tekla Structure, software pro návrh nosných konstrukcí, Tekla Structural Designer pro analýzu efektivity a profitability projektů, Trimble Connect, CDE řešení a mnohé další softwary. [26; 27]

Dalším důležitým vývojářem softwaru je americká společnost Autodesk, která byla založena roku 1982. Společnost nabízí celou řadu produktů nejen pro stavebnictví, ale i strojírenství a herní průmysl. Mezi stěžejní produkty Autodesku patří jednoznačně AutoCAD, nástroj pro tvorbu

2D projektové dokumentace, Revit, komplexní nástroj pro tvorbu BIM modelů, Navisworks, software pro propojování BIM modelů a časovou simulaci, Civil 3D, nástroj pro projektování liniových staveb a zemních prací. [26; 28]

Developer Nemetshek Corporation nabízí rovněž softwarové BIM řešení pro architektky, stavební inženýry a konstruktéry. Mezi nejznámější produkty společnosti patří Vectorworks, software pro modelování a tvorbu projektové dokumentace. Pod společnost Nemetshek spadá i skupina Graphisoft a její produkt ArchiCAD, komplexní nástroj pro tvorbu BIM. [26; 29]

Trh s BIM softwarem samozřejmě nabízí i další významné produkty jako Allpan, Bentley Rhino apod., ovšem cílem této podkapitoly bylo představit některé majoritní vývojáře na trhu a stručně popsat jejich produkty.

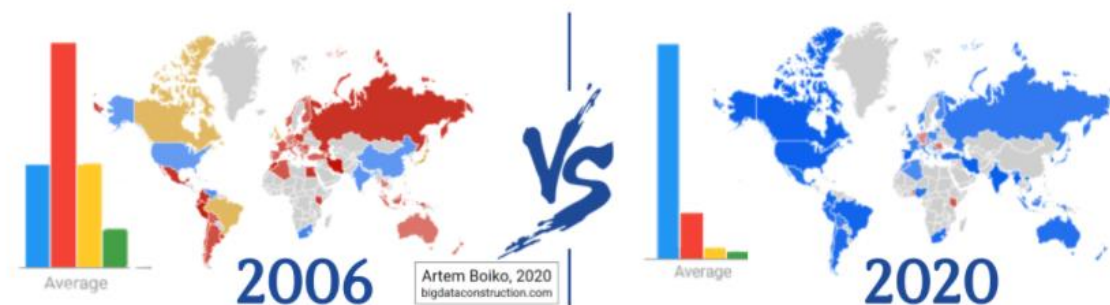
2.10.1. Dominance Revitu

Na Obrázek 23 si můžeme všimnout odlišných poměrů, které panovaly na světovém trhu v letech 2006 a 2020. V roce 2006 byly nejvíce používanými softwary ArchiCAD a Vectorworks, oba od německé společnosti Nemetshek. Revit měl majoritní postavení na trhu pouze v USA, Číně, Indii a JAR. [30]

Celý trh se transformoval zejména během světové ekonomické krize 2008, která dopadla i na sektor stavebnictví, kde bylo propuštěno až 30 % pracovní síly. Obor tak hledal nové efektivnější prostředky jak tvořit a řídit stavební projekty, a právě v tuto dobu můžeme sledovat pronikání Revitu na nové trhy. V roce 2020 existovaly pouze tři země, kde Revit neměl dominantní postavení na trhu, a to Německo, domovská země skupiny Nemetshek, Rumunsko a Keňa. Ztrátu pozic na světových trzích společnosti Nemetshek lze přičítat počáteční nedostatečné implementaci IFC jako nastupujícího datového standardu pro BIM, kde byl konkurent Autodesk proaktivnější. Společnost Nemetshek nicméně IFC dnes již důsledně implementuje a spolupracuje s organizací buildingSMART na propagaci koncepce Open BIM. V blízké budoucnosti bude zajímavé sledovat, zdali se podaří získat klíčové světové trhy zpět. [30; 31]

BIM Software for 2006 vs 2020

● Revit ● ArchiCAD ● Vectorworks ● Allplan



Obrázek 23 BOIKO, Artem, vývoj používání BIM softwarů mezi lety 2006 a 2020 [mapa]

Při nástupu Revitu jako dominantního softwarového BIM nástroje sehrál roli i odlišný přístup k tvorbě BIM elementů. BIM elementy Revit tvoří v grafickém parametrickém prostředí (editor rodin), zatímco konkurenční řešení vyžadovala znalost programování. [31]

2.10.2. Balíček Autodesk AEC

Pro zpracování praktické části této práce bylo využito softwarů z balíčku Autodesk AEC (angl. Architecture, Engineering & Construction, Architektura, Inženýrství & Konstrukce). Mezi hlavní produkty, které sada nástrojů nabízí, patří Revit, Civil 3D, AutoCAD, InfraWorks a Navisworks Manage. Cena roční licence pro jednoho uživatele je stanovena na 104 442 Kč, přičemž pokud bychom 5 výše zmíněných produktů koupili samostatně, vyšlo by nás pořízení licencí na 368 277 Kč za rok. [32]

Součástí sady je i 12 dalších produktů sloužících pro analýzu, vizualizaci, tvorbu detailů automatizaci apod. Jsou to např. Advance Steel, software pro 3D modelování ocelových konstrukcí, Robot Structural Analysis, software pro konstrukční analýzu a navrhování výztuže nebo 3ds Max, software pro vizualizace. [32]

2.10.3. Negativní aspekty nástrojů komerčních softwarů

Jak již bylo zmíněno v 2.7.2, používání komerčních softwarů s sebou nese řadu negativních aspektů, se kterými se u open-source softwaru nesetkáme. Prvním aspektem, který nás napadne, je zřejmě cena. Pořizování softwarových licencí je skutečně nákladné, a to zejména pro menší firmy, které tvoří jen pár zaměstnanců. Závazné jsou ovšem i licenční podmínky, se kterými při koupi softwaru musíme souhlasit.

U společnosti Autodesk může být používání licencí geograficky omezeno. Pokud máme software nainstalovaný např. na notebooku a charakter naší práce vyžaduje cestování, může nastat problém z hlediska licenčních podmínek. Licence softwaru od Autodesku zakoupená v České republice sice platí i v ostatních zemích EU, ale v případě cestování do Spojeného království, které EU opustilo, dochází k porušení smlouvy. [33]

Dalším negativním aspektem používání komerčních softwarů, zde konkrétně u Autodesku, je povinnost umožnit ve své firmě či organizaci audit softwarových licencí. Ve smlouvě, kterou s Autodeskem uzavíráme (angl. 21.5 Compliance), je přímo uvedeno, jakým způsobem tento audit probíhá a na co konkrétně bude zaměřen. V praxi probíhá audit následovně: prostřednictvím emailu informuje zástupce Autodesku danou firmu či organizaci o probíhající kontrole a vyžaduje zaslání reportu o všech používaných počítačích, ať už mají nainstalovaný Autodesk software nebo ne. K tomuto „screeningu“ poskytne Autodesk vlastní aplikaci (ScanWin), která vyhledává na daném počítači jakýkoliv software od Autodesku. V případě jakýchkoliv nesounáležitostí vyžaduje Autodesk okamžité dokoupení licencí. [34]

Při využívání produktů Autodesku je tedy důležitý důsledný management licencí. Riziko představuje překročení počtu instalací softwaru, neodinstalování předchozích verzí softwaru, využívání softwaru mimo území, na které se licence vztahuje apod. Pro případné právní spory na území EU zodpovídá Irská pobočka Autodesk Ireland Operations Limited. [34]

3. TVORBA BIM MODELU

Jak již bylo v podkapitole 2.10.2 zmíněno, bude pro převedení stávající DPS na BIM model použit balíček Autodesk AEC, který obsahuje mimo jiné softwary Revit, Civil 3D, Autocad a Navisworks Manage. Stěžejními bodem převedení dokumentace bude modelování v prostředí Revit, který bude použit posléze i k exportu dat do IFC formátu.

3.1. Vstupní data

Všechny vstupní podklady (až na fotodokumentaci a IFC modely) byly poskytnuty investorem MVE Woolston, českou společností HYDROPOL Project & Management a.s., která prostřednictvím své britské pobočky Mersey Hydro Ltd. vlastní a provozuje vodní elektrárny na Manchesterském průplavu. Poskytnutá dokumentace se nachází ve fázi dokumentace provedení stavby a obsahuje výkresy v .dwg a PDF formátu, technické zprávy a výkazy výměr.

Dalšími vstupními podklady je fotodokumentace a další dodatečné informace z průběhu výstavby, poskytnuté českou firmou ROCK SALR, s.r.o., která byla dodavatelem železobetonových konstrukcí. IFC modely stavidla, hrubých a jemných česlí a provizorního hrazení byly poskytnuty firmou Konstrukce Kovařík. Modely Vzduchotechniky ve formátu STEP byla poskytnuta firmou Greif-akustika, s.r.o.

3.2. Zahájení BIM modelu

3.2.1. Struktura BIM elementů v Revitu

Každý BIM model je složen z mnoha BIM elementů. V případě softwaru Revit jsou BIM elementy strukturovány následujícím způsobem:

- 1) Kategorie – nadřazeno rodinám např. „dveře“,
- 2) Rodiny – nadřazeno typům např. „s ocelovým rámem“,
- 3) Typy – nadřazeno instancím např. „800x1970 mm“,
- 4) Instance

3.2.2. Založení nového projektu a stavební šablony

Při zakládání nového projektu v Revitu nás software vyzve, abychom použili určitou pracovní šablonu. Standartní předinstalované šablony jsou:

- stavební šablona,
- architektonická šablona,



- konstrukční šablona,
- mechanická šablona,
- systémová šablona,
- elektrická šablona,
- instalační zařizovací šablona.

Jak název napovídá, připadá ke každé šabloně přednastavený určitý styl vizualizace, načtené rodiny (BIM elementy v Revitu), kótovací styly, šrafy, knihovna materiálů apod. V ideálním případě bychom měli k dispozici vlastní personalizovanou šablonu, která by odpovídala konkrétnímu projektu a firemním standardům. V našem případě ovšem takováto šablona neexistuje, a proto použijeme prostou stavební šablonu, kterou v průběhu tvoření BIM modelu budeme upravovat. Principem šablon je tedy co možná nejvíce ulehčit práci projektantovi, aby nemusel dlouze přednastavovat Revit a mohl se rovnou soustředit na tvorbu BIM modelu.

3.2.3. Prostorová koordinace

Software Revit pracuje odlišně s koordinačním systémem než např. AutoCAD nebo Civil 3D. Zatímco u zmíněných CAD softwarů se kdesi daleko od modelu nachází počátek koordinačního systému (bod o souřadnicích $x=0$, $y=0$, $z=0$), Revit (a většina BIM softwarů) funguje na základě odlišného principu⁵. [35]

Revit pracuje se 2 základními body: [36]

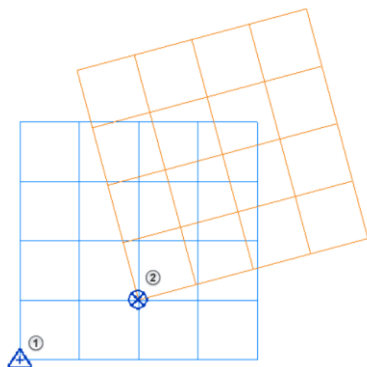
- Zeměměřičský bod (angl. the survey point)  definuje skutečnou lokaci jako např. bod zaměření.
- Základní bod projektu (angl. the project base point)  definuje počátek projektového koordinačního systému.

S tím souvisí i přítomnost 2 koordinačních systémů v Revitu, a to: [36]

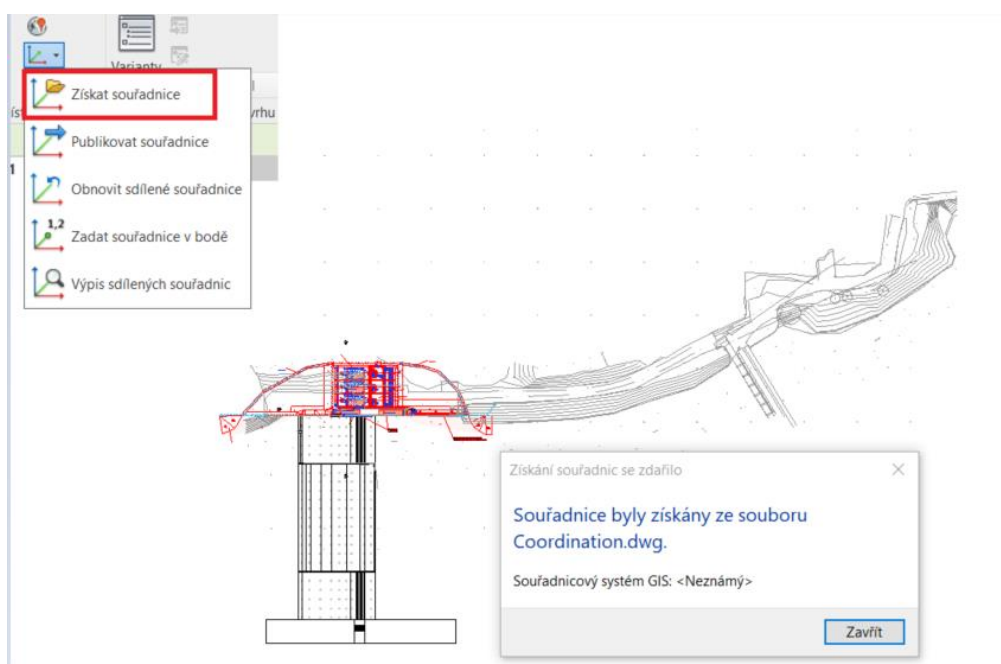
- Zeměměřičský koordinační systém (angl. the survey coordinate system) – vztahuje se ke skutečné poloze na zemi.
- Projektový koordinační systém (angl. the project coordinate systém) – vztahuje se k projektu samotnému (např. natočení projektového severu vůči skutečnému severu).

⁵ Pokud bychom se pokoušeli s koordinačním systémem v Revitu pracovat stejně jako s CAD softwarem, „poskakovaly“ by nám rodiny a zejména CAD reference po obrazovce, což znemožňuje efektivní modelování

Máme-li k dispozici koordinační výkres, v případě MVE Woolston výkres (Coordination.dwg), který obsahuje koordinační systém (OSGB36 National Grid), dokáže Revit tento koordinační systém převzít. Soubor stačí načíst do softwarového prostředí a posléze nechat Revit převzít systém souřadnic. Vzhledem k orientaci MVE Woolston k severu není nutné natáčet projektový koordinační systém. Nicméně i to by bylo možné.



Obrázek 24 AUTODESK, Help, 1) Zeměměřičský koordinační systém 2) Projektový koordinační systém [schéma]



Obrázek 25 Zobrazení koordinačního výkresu a převzetí souřadnicového systému [snímek obrazovky]

3.2.4. Vynesení pater a os

Při rozdělení hydrotechnického projektu do pater a os vyvstává problém, a to skutečnost, že rozdělit takováto díla na osy a patra je problematické. Hydrotechnické stavby nemají charakter pozemních staveb a nenajdeme u nich klasické 1.PP, 1. NP atd. Přitom rozdělení do

pater je poměrně důležité, neboť nám pomáhá s koordinací projektu a např. pomocí pater můžeme vykazovat jednotlivé rodiny.

Nicméně pro rozvržení pater vycházejme z DPS, kde jsou patra rozdělena následovně:

- 0,00 – (v úrovni 0 mm), značí patro⁶, ke kterému se budeme odkazovat zejména u zakládání a zemních prací.
- Plan A – (v úrovni 7400 mm), přímo jeden z výkresů v projektové dokumentaci
- Engine room – (v úrovni 8700 mm), strojovna
- Plan B – (v úrovni 11098 mm), přímo jeden z výkresů v projektové dokumentaci
- Roof – (v úrovni 13750 mm), střecha

Ačkoliv nemá v tomto projektu použití os (angl. grid) velký význam, byly osy 1 a 2 demonstrativně použity s vazbou na středové pilíře.

3.2.5. DWG reference a tvorba řezů

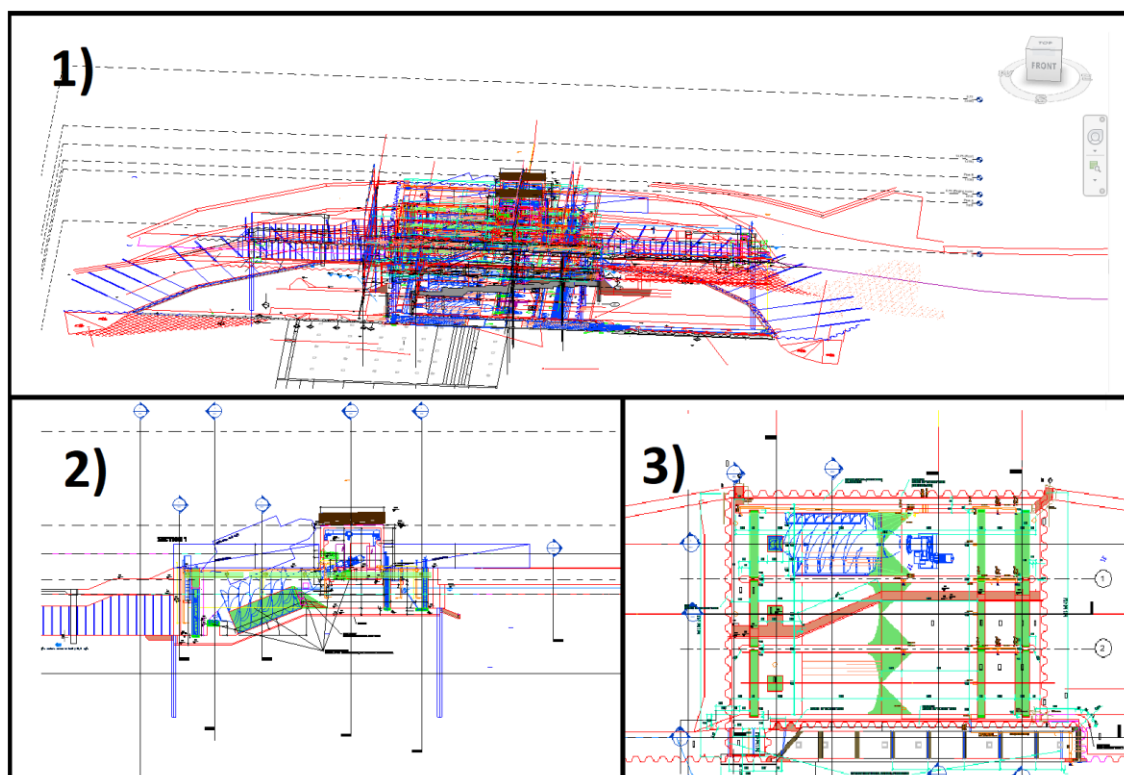
Máme-li k dispozici projektovou CAD dokumentaci (v .dwg formátu), můžeme ji použít jako referenci při tvorbě BIM modelu. K načtení dokumentace do prostředí Revitu přitom v zásadě máme 2 možnosti, a to **importovat** CAD (angl. import CAD) anebo **připojit** CAD (angl. link CAD). Zásadní rozdíl mezi výše zmíněným je v tom, že připojením CAD získáváme další možnosti, jak s dokumentací pracovat. Pokud např. v CAD dokumentaci provedeme jakékoliv změny, tyto změny se přenesou automaticky i do Revitu, při využití příkazu import bychom museli znovu dokumentaci do Revitu načítat. Je tedy logické, že v případě MVE Woolston je vhodnější variantou CAD dokumentaci připojit.

Projektová dokumentace obsahuje mimo půdorysů a situací samozřejmě i řezy. Chceme-li tyto řezy „kopírovat“ do BIM modelu, je nutné nejdříve vynést tzv. pracovní roviny (angl. workplane), na které budeme jednotlivé CAD řezy umísťovat⁷. Dle originální projektové dokumentace tak byly vyneseny pracovní roviny a korespondující řezy „Section 1 až 7“. Do těchto řezů byly za pomoci pracovních rovin připojeny CAD výkresy, čímž jsme de facto do BIM modelu převedli DPS. jako referenci viz **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

⁶ V angličtině nese Revit poměrně vhodnější označení „Level“, což můžeme do češtiny přeložit i jako úroveň.

⁷ Je vhodné, aby se každá CAD reference nacházela ve vlastním CAD souboru. Díky tomu můžeme reference snadněji ovládat. V případě, že máme projektovou dokumentaci vytvořenou v jednom CAD souboru, je nutné tento soubor „rozřezat“ na několik dílčích souborů.

CAD reference by ovšem neměly obsahovat nepoužité bloky a hladiny, vhodné je i referenční soubor „rozbít“ na jednotlivé entity typu čára, oblouk, křivka atd., protože zásadně ovlivňují velikost souboru a tím i náročnost pro Revit takovýto soubor zpracovat. V zásadě platí pravidlo, že CAD reference by měly být po dokončení modelu z Revitu odstraněny, neboť zbytečně zvětšují velikost souboru. [35]



Obrázek 26 Načtené CAD reference, 1) zobrazení ve 3D pohledu, 2) řez "Section 1", 3) půdorys "Plan A" [snímek obrazovky]

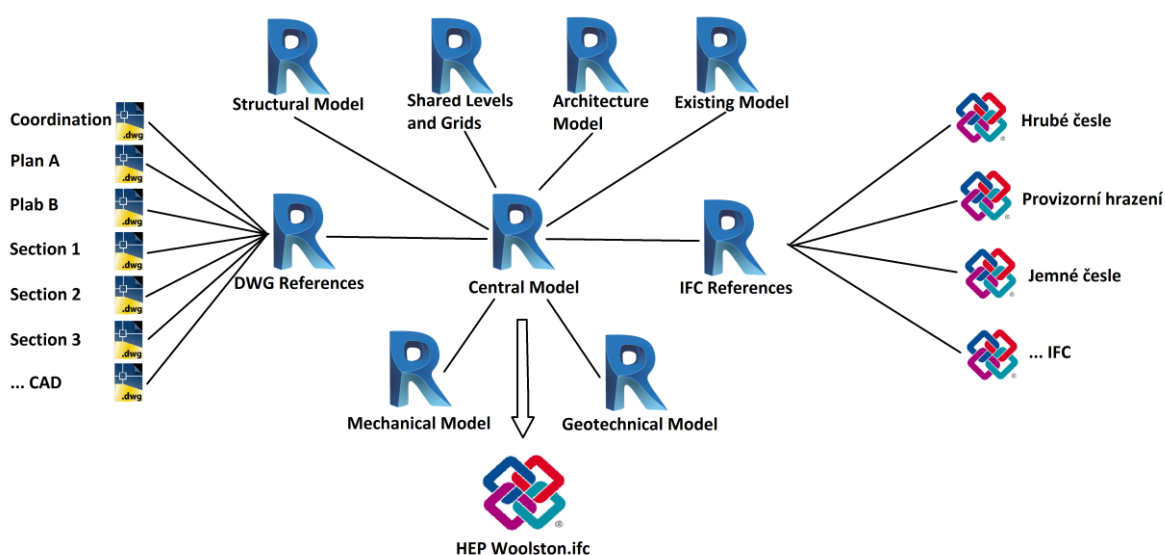
3.2.6. Pracovní sady a sdílený projekt

V praxi se nejspíše nesetkáme s tím, že by se veškeré modelování provádělo na jednom BIM modelu. Za prvé by to znemožňovalo práci více lidí najednou a za druhé by nebylo možné nastavit, kdo má jaké právo editovat informace. V případě, že chceme práci na BIM modelu delegovat a nastavit kdo má právo jaká data editovat, máme v zásadě 2 možnosti.

Prvním řešením jsou tzv. sdružené informační modely (angl. federated information model) [37]. Jde o sdílení dílčích BIM modelů např. prostřednictvím CDE, kdy každý účastník pracuje s vlastním modelem a zároveň umožňuje ostatním si dílčí model načíst do vlastního modelu, ovšem pouze jako referenci. Typický příklad by byl model stavby s připojeným modelem terénu. Jelikož každý pracuje na svém vlastním modelu, nestane se, že by někdo cizí BIM model editoval.

Zároveň platí, že díky společnému koordinačnímu systému mohou být jednotlivé dílčí modely poskládány do jednoho sdruženého BIM modelu.

Druhou možností je využití tzv. pracovních sad (angl. worksets). V zásadě se jedná o režim sdíleného projektu, kdy se např. na CDE nachází centrální BIM model. S tímto centrálním BIM modelem ovšem nikdo přímo nepracuje. Pomocí pracovních sad se centrální model „rozštěpí“ na jednotlivé dílčí modely. Pokud tedy provedeme určité změny v dílčím modelu, uloží se změny i do centrálního modelu. Naopak potřebujeme-li aktualizovat informace v dílčím modelu, provedeme synchronizaci s centrálním modelem. Centrální model tak de facto slouží jako úložiště dat pro dílčí modely.



Obrázek 27 Schéma spolupráce v rámci pracovních sad [schéma]

Práce na dílčích modelech při použití pracovních sad pak probíhá tak, že projektant vymodeluje určitou konstrukci, např. štětové stěny a nechá dílčí model synchronizovat s centrálním modelem. Posléze přijde architekt a bude chtít vytvořit do vlastního dílčího modelu např. rodinu zábradlí. V momentě, kdy nechá architekt svůj model synchronizovat s centrálním, zobrazí se štětová stěna i v jeho dílčím modelu, ovšem bez práva editace.

Další výhodou pracovních sad je to, že dokud nedáme dílčí model synchronizovat s centrálním, žádné změny se nepřepíší. Pokud tedy budeme mít rozdělanou konstrukci, kterou nestihneme během jednoho pracovního dne dokončit, můžeme s klidem pokračovat v práci následující den, aniž bychom zmátli další účastníky projektu rozpracovaným dílem.

3.2.7. Fáze projektu

Při výstavbě MVE Woolston se nezačínalo na „zelené louce“, na staveništi se nacházela řada původních konstrukcí jako zábradlí, základová deska, schody, rybí přechod, stěny, štětovnice atd. Vzhledem k tomu, že část těchto prvků byla demolována a část byla zachována, je nutné i do BIM modelu zahrnout tyto původní konstrukce.

Pro určení, které konstrukce se na stavbě již nacházely, které byly dočasně přítomny a které zůstanou i po dokončení výstavby, využijeme nástroj fázování. V případě MVE Woolston se jedná konkrétně o fáze:

- **Existing** – existující, zahrnuje původní základovou desku – platformu, původní konstrukce rybího přechodu, násoskový jez, původní štětovnice apod.
- **New Construction** – nová konstrukce, jedná se o všechny nově vybudované konstrukce, včetně dočasných.
- **Finished** – dokončené, představuje poslední finální fázi výstavby.

Důležitou vlastností každé rodiny v Revitu je možnost přiřazení v jaké fázi byla vytvořena a v jaké fázi byla demolována. Pro rodinu původní základové desky – platformy bude tedy platit, že byla vytvořena ve fázi „Existing“, a vzhledem k tomu, že byla během výstavby postupně demolována, zadáme fázi demolice „New Construction“.

Pro rodinu dočasných štětovnic (které byly raženy během stavby) naopak bude platit fáze vytvoření „New Construction“ a fáze demolice „Finished“. Tímto reflektujeme skutečnost, že se jedná o dočasnou konstrukci. V případě původních stěn rybího přechodu, které nebyly demolovány, bude platit fáze vytvoření „Existing“, ale fázi demolice necháme prázdnou, neboť konstrukce se i dnes na stavbě fyzicky nachází.

Díky tomuto rozřazení BIM elementů můžeme do projektové dokumentace automaticky zanést demolice. Pokud bychom fáze nevyužili, existující a nově vytvořené konstrukce by se překrývaly a vzájemně by kolidovaly. To by v zásadě nemuselo představovat problém, neboť demolice můžeme přesněji specifikovat např. v softwaru Naviswork Manage, nicméně BIM model by působil značně nepřehledně.

3.3. Betonové konstrukce

3.3.1. Železobetonové věnce

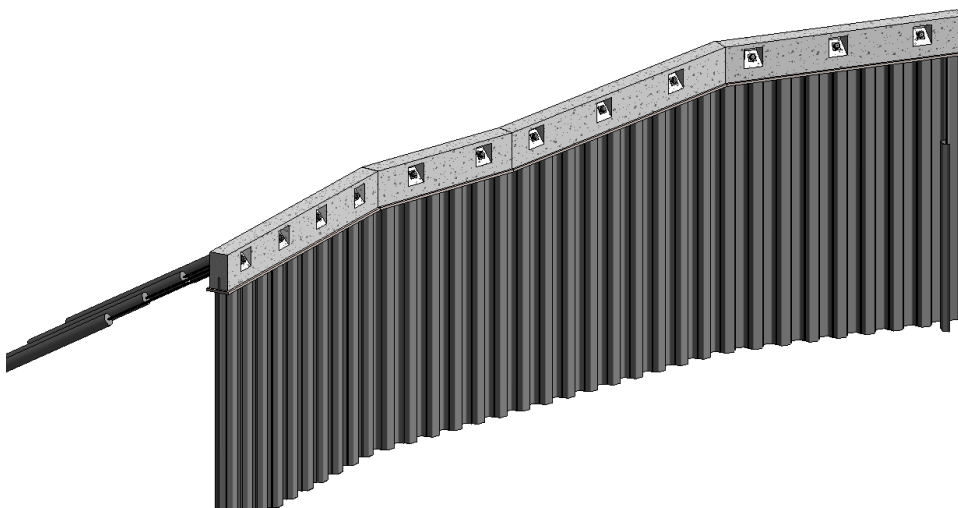
Věnce tvořily vůbec první železobetonovou konstrukci, která byla na MVE Woolston realizována. Před vlastní výstavbou ŽB věnců bylo nutné provést výkopové práce a ražení štětových stěn. Následně mohla být vylita podkladní vrstva betonu a zhotoveno bednění věnců.

ŽB věnce jsou kotveny sérií geotechnických kotev, pro které jsou ve věncích připravené šikmé výseče (angl. washer).

Pro vymodelování ŽB věnců se nejlépe hodí předinstalovaná rodina „betonový nosník“ (angl. concrete beam)⁸. Jelikož se jedná o dynamickou rodinu, není nutné profil věnců upravovat, ale stačí pozměnit hodnoty parametrů ve vlastnostech typu (šířka, výška). Máme-li vynesené věnce, je vhodné přiřadit konstrukční využití věnců – průvlak (angl. girder). Toto usnadní sdílení informací např. se statikem.

Dalším bodem je tvorba šikmých výsečí (angl. washer) pro geotechnické kotvy. Jedna z možností, jak výseče do modelu zanést, je otevřít editor rodin a pomocí tzv. „dutých tvarů“ (angl. void) výseče vyříznout. To je ovšem poměrně náročný úkol, neboť bychom museli nadefinovat řadu nových parametrů, pomocí kterých bychom umístění výsečí ovládali. Mnohem jednodušší variantou je využití vlastní rodiny geotechnických kotev pro tvorbu výsečí viz 3.6.1.

Vzhledem ke skutečnosti, že ocelové štětovnice zasahují do ŽB věnců, nabízí se otázka, zdali tento průnik rodin nezohlednit v modelu. To je samozřejmě možné úpravou štětovnic v editoru rodin. Ke hrotu štětovnice bychom přidali parametrický dutý tvar, který by v modelu „prořízl“ ŽB věnec a automaticky odečetl množství betonu. Ve skutečnosti se jedná o poměrně nepraktické řešení, neboť takto odečtený objem je vzhledem k profilu štětovnic zanedbatelný a geometrie ŽB věnců by se stala zbytečně složitou.



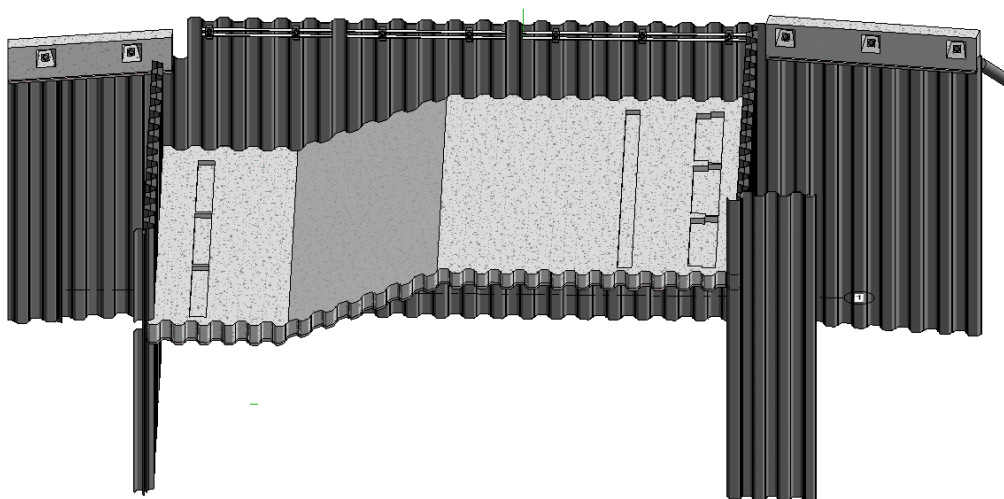
Obrázek 28 ŽB věnce, s geotechnickými kotvami a ocelovými štětovnicemi [snímek obrazovky]

⁸ Od verze Revit 2022 je vkládání rodin do Revitu řešeno přes předinstalovanou cloudovou aplikaci, nicméně i nadále můžeme využívat a sami tvořit vlastní knihovny rodin.

3.3.2. Základová deska a podkladní beton

Základová deska představovala v časové posloupnosti hned další konstrukci realizovanou na MVE Woolston. Vzhledem k umístění strojovny a pozici Archimédových turbín bylo nutné desku 2x zalomit. Spodní část desky se nacházela ve výšce 3600 mm, zatímco horní část ve výšce 6100 mm. U ZD nebylo nutné bednit čílka, neboť doléhala až k ocelovým štětovnicím

Pro tvorbu ZD máme k dispozici několik možností, první je použití rodiny „základová deska (angl. foundation slab)“, dále použití rodiny „podlaha (angl. floor)“ a třetí možnost tzv. „vytvoření komponenty na místě (angl. component model – in place)“. Vzhledem ke geometrické náročnosti, tedy navázání desky na štětovnicové stěny, byla využita třetí možnost.



Obrázek 29 Pohled na Základovou desku kopírující po obvodu tvar štětovnic [snímek obrazovky]

Pomocí nástroje komponenty na místě můžeme vytvořit ZD, která představuje vlastní rodinu – konstrukční základ (angl. structural foundation), aniž bychom otevřeli editor rodin. Konstrukci zkrátka vymodelujeme přímo v modelu, čímž můžeme využít načtených ocelových štětovnic pro vytvoření přesného tvaru⁹.

Při modelování ZD je nutné si položit otázku, zdali je skutečně nutné, aby hrany desky přesně doléhaly na štětovnice. Jedná se totiž o úlohu poměrně časově náročnou na modelování, která zároveň zásadně ovlivní geometrii a tedy i datovou náročnost. Vzhledem k tomu, že ZD má

⁹ Tvorbu komponent na místě je vhodné použít pouze v případě, kdy se jedná o unikátní rodinu, která bude v modelu použita pouze jednou. S každou kopií takto vytvořené rodiny totiž vytvoříme duplicitní rodiny na místo instancí, což je nežádoucí.

místy až 800 mm, může případné zjednodušení hran zásadně ovlivnit objem desky, a tedy i výkaz výměr¹⁰. ZD tedy byla modelována tak, aby doléhala až na štětovnice.

Zde narážíme na zásadní rozdíl mezi BIM a klasickým 2D projektováním např. v AutoCAD. Při klasickém 2D projektování úloha nepředstavuje časově náročný úkol, při použití BIM se jedná naopak o velmi náročný úkol. Přínosem tvorby ZD v BIM je ovšem přesnější výkaz výměr, otázkou je, kdy se přesné modelování vyplatí a kdy nikoliv. Pokud by se např. změnilo uspořádání štětovnic nebo by byla zvolena jiná velikost, přišla by práce vložená do tvorby ZD vniveč a my bychom museli časově náročnou editaci opakovat.

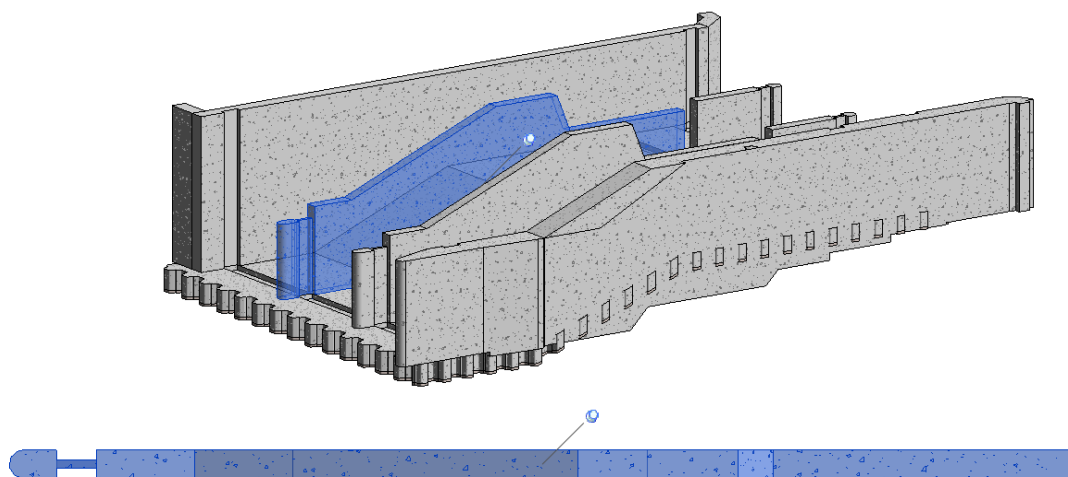
Dá se tedy doporučit, že nacházíme-li se např. ve stádiu dokumentace o územním rozhodnutí, kdy očekáváme, že do projektu bude nutno promítnout mnoho změn, nemá přesné modelování smysl. Jedná-li se ale o prováděcí dokumentaci, je vhodné se podrobnému modelování věnovat.

3.3.3. Pilíře

Pilíře představují u hydrotechnických konstrukcí prvky s různorodou geometrií. Často bývají zkosené, zaoblené nebo upravené tak, aby odpovídaly třeba proudnicovému tvaru. Samotná konstrukce pilíře obsahuje mnoho drážek, prostupů pro instalaci stavidel, provizorního hrazení, technologie atd., což činí z každého pilíře unikátní prvek.

V softwaru Revit nenajdeme přímo kategorii pilíře a ani IFC standard zatím s tímto pojmenováním nepočítá. Nejblíže pilíři odpovídá kategorie stěna. Pokud však použijeme standardní rodinu z kategorie stěna, nebudeme moci konstrukci zaoblit, vymodelovat proudnicový tvar, a modelování drážek je také značně omezené. V zásadě jsme tedy opět odkázáni na modelování komponenty na místě. Variantou by bylo vytvoření nové rodiny stěn – pilíře, která by mohla být buď statická, tzn. použitelná pouze pro MVE Woolston, nebo dynamická, kdybychom geometrii nadefinovali pomocí editovatelných parametrů. Vzhledem k charakteru pilířů se ovšem jeví tvorba dynamické rodiny jako časově velmi náročný úkol.

¹⁰ Pro porovnání, ZD se zjednodušenými hranami má objem 281,456 m³. ZD s hranami, které kopírují štětovnice, má objem 267,966 m³, což představuje rozdíl 13,490 m³.

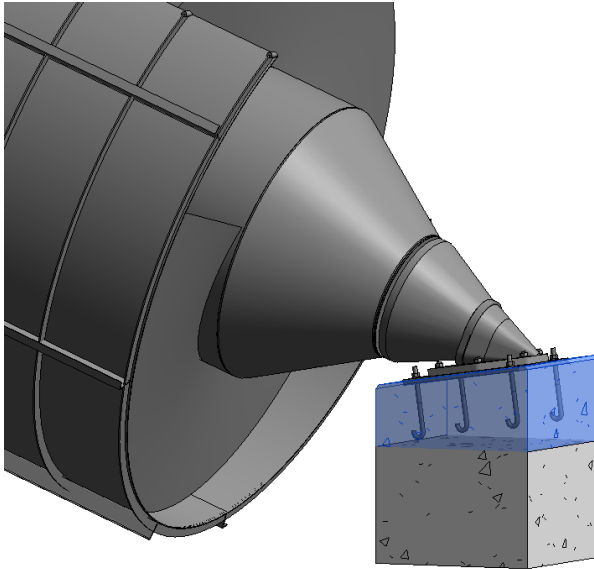


Obrázek 30 Zobrazení středového pilíře ve 3D a v půdorysu [snímek obrazovky]

3.3.4. Patky pod turbíny

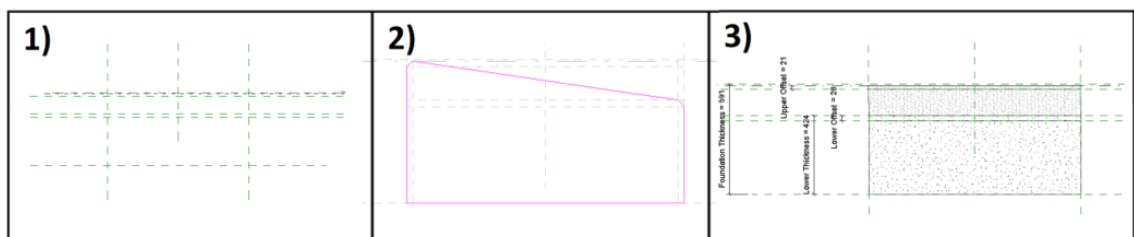
Patka pod turbínu představuje ŽB konstrukční prvek, na kterém je ukotveno ložisko Archimédovy turbíny. Na MVE Woolston byla realizace řešena následujícím způsobem, nejprve byla zhotovena spodní část v podobě ŽB kvádrů. Posléze byla zhotovena horní část se zašikmenou horní plochou, na kterou bylo přikotveno ložisko pro Archimédovu turbínu.

Vzhledem k tomu, že konstrukce byla realizována na 2 takty, je vhodné tuto skutečnost zohlednit i v BIM modelu. Konstrukci tedy bude nutné rozdělit do 2 samostatných rodin, kde první rodina bude představovat primární konstrukci – ŽB kvádr a druhá rodina bude představovat sekundární konstrukci – element se zašikmenou horní plochou. Tento typ konstrukce byl zároveň použit na jiných projektech, které má firma Hydropol ve Velké Británii, ovšem s odlišnými rozměry. V tomto případě tedy připadá v úvahu vytvoření dynamické rodiny a parametrů, pomocí kterých lze geometrii, ale i jiné atributy měnit.



Obrázek 31 Patka pod turbínu s vyobrazením kotevního ložiska. Sekundární část je vyznačena modře [snímek obrazovky]

Tvorba rodiny patky je poměrně jednoduchá záležitost. V editoru rodin vytvoříme sérii pracovních rovin a geometrii, kterou k jednotlivým rovinám „přikotvíme“ pomocí tzv. vazby (angl. constraint). Chceme-li pomocí parametrů ovládat geometrii, stačí okótovat pracovní roviny a posléze z kót vytvořit parametry. Při tvorbě rodiny definujeme i negeometrické parametry jako např. materiál, který nám umožní měnit materiálové vlastnosti rodiny. Dalším parametrem mohou být plochy bednění, kdy pomocí jednoduché matematické formulace určíme, jak má software počítat plochy pro výkaz výměr.



Obrázek 32 Tvorba sekundární patky v editoru rodin, 1) vynesení pracovních rovin, 2) Tvorba geometrie a vazeb, 3) Tvorba parametrů upravující rozměry [snímek obrazovky]

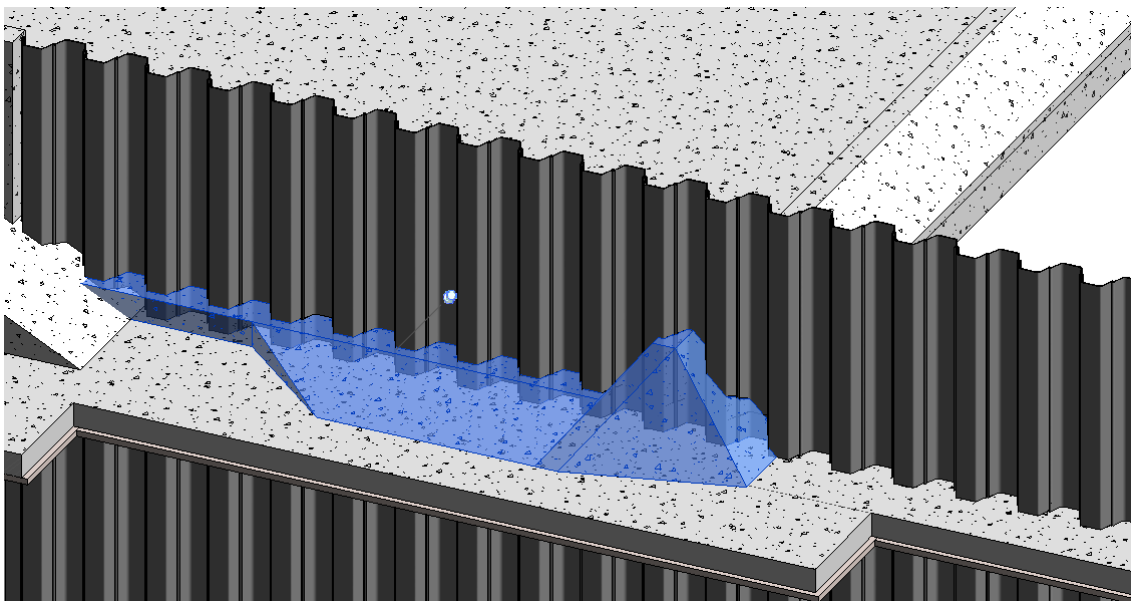
Důležité je dodat, že hodnoty těchto parametrů jsme schopni měnit i přímo v modelu, aniž bychom u toho potřebovali použít editor rodin. Zároveň můžeme vytvářet i různé typy rodin, tzn. jedna rodina může obsahovat více variant prvku. Vzhledem k tomu, že jsme k tvorbě rodiny využili předpřipravený editor přímo pro konstrukční základy (angl. structural foundations),

obsahuje rodina rovnou parametry jako krytí výztuže (angl. rebar cover), konstrukční materiál (angl. structural material) apod.

3.3.5. Napojení na vývar

Napojení na vývar představuje další specifickou konstrukci, kterou bychom jenom stěží hledali v kategoriích Revitu nebo datovém standardu IFC. Konstrukce je stejně jako základová deska vedena podél stěny z ocelových štetovnic a má tedy i poměrně složitou geometrii. Zároveň se jedná o natolik specifický element, že ho zřejmě již nikdy na žádném jiném projektu nepoužijeme. V zásadě tedy platí, že můžeme zvolit komponentu modelovanou na místě, konkrétně kategorii konstrukční základ (angl. structural foundation).

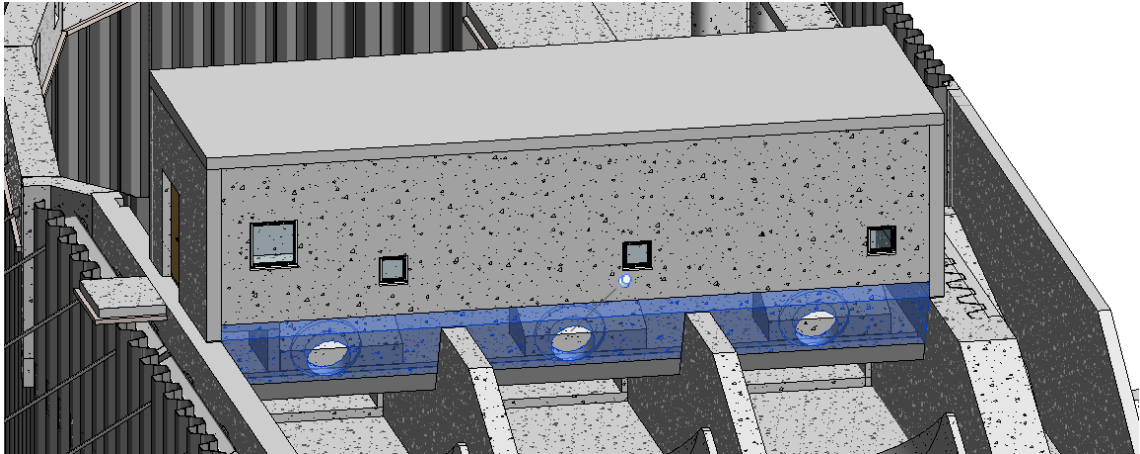
Stejně jako u předchozích případů vytvoříme pomocí dostupných nástrojů Revit geometrii, dále vytvoříme parametry materiálu a v zásadě jsme s tvorbou prvku hotoví. Vzhledem k tomu, že se jedná o železobetonovou konstrukci nově vytvořenou a trvalou, přiřadíme fázi vytvoření „New Construction“ a fázi demolice necháme prázdnou.



Obrázek 33 Napojení na vývar [snímek obrazovky]

3.3.6. Strojovna

Budova strojovny, na rozdíl od přechozích konstrukcí, nepředstavuje specifické hydrotechnické konstrukce a jedná se o stavbu ryze domény pozemního stavitelství. Pro tyto účely je software Revit velmi dobře uzpůsobený a prakticky tak můžeme využít standardní předinstalované rodiny jako konstrukční podlaha (angl. structural floor), nosná stěna (angl. structural wall), dveře (angl. door), okno (angl. window) apod.



Obrázek 34 Budova strojovny, modře označená šikmá stěna s prostupy pro Archimédovu turbínu [snímek obrazovky]

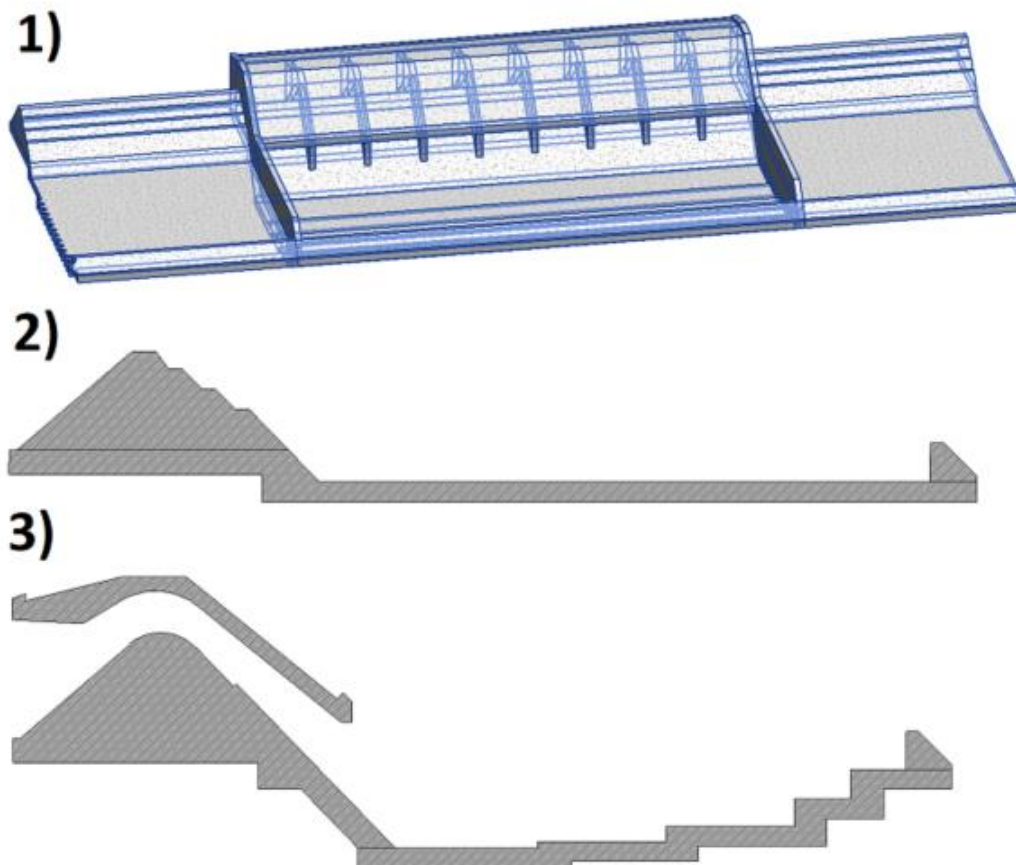
Vzhledem k charakteru budovy a skutečnosti, že jsme až dosud umísťovali veškeré elementy do patra „0,00“, byla strojovna vytvořena s vazbami na patro „Engine room“. V případě vykazování výměr nám to značně ulehčí práci, neboť veškeré elementy strojovny budou moci, na základě této vazby, být odděleny od ostatních.

Modelování budovy probíhá standardním postupem. Přímo na výškové úrovni patra „Engine room“ se nachází ŽB podlahová deska, na které jsou umístěny horní podpěrné patky pro turbínu a generátor, vytvořené podobně jako patky pod turbínu viz 3.3.4. Kolem podlahové desky byly vytvořeny obvodové zdi, kde bylo opět využito rozdělení do pater. Dolní vazba stěn představuje patro „Engine room“, zatímco horní vazba představuje patro „Roof“ (střecha). S vazbou na patro „Roof“ byla vytvořena i ŽB střešní deska. Osazení oken a dveří je jednoduchou záležitostí, kdy ani nemusíme vytvářet otvory, neboť ty jsou již přímo zaneseny v rovinách samotných, což znamená, že se v modelu automaticky vytvoří otvor při použití rodiny. Všechny prvky strojovny jsou součástí dílčího modelu „Structural Model“ a spadají do fáze vytvoření „New Construction“.

3.3.7. Násoskový jez

Model násoskového jezu představuje v modelu MVE Woolston spíše referenční objekt, a i když by jez samotný šlo rozdělit na základovou desku, sifony, stěny, vývar apod., bude v rámci jednoduchosti celá konstrukce vytvořena v jedné rovině. Toto si můžeme dovolit v případě, že nepotřebujeme dílčí prvky konstrukce separátně vykazovat nebo je např. demolovat. Jez je ovšem již existující konstrukce (z čehož vyplývá i zařazení do pracovní sady „Existing Model“), do které nebylo během výstavby nijak zasahováno. Skutečnosti, že se jedná o konstrukci již existující a stálou odpovídá i rozdělení do fází. Fáze vytvoření odpovídá „Existing“ a fáze demolice zůstává prázdná.

Pro přesné vymodelování jezu chybí podrobná dokumentace. Jednotlivé rozměry byly aproximovány na základě fotek, obrázků (.jpeg) a souborů PDF, které byly podobně jako CAD dokumentace do modelu načteny jako reference.



Obrázek 35 Násoskový jez, 1) 3D zobrazení se zvýrazněním hran 2) Řez bočním přelivem 3) Řez sifonem a vývarem

3.3.8. Ostatní konstrukce

Obdobným způsobem, jako byly vytvořeny konstrukce popsané v této podkapitole, byly vytvořeny i ostatní železobetonové konstrukce. Pro rozhodnutí, zda modelovat pomocí komponenty na místě nebo využít editoru rodin byla vždy reflektována otázka, zdali se instance rodiny nachází v modelu vícekrát nebo pouze jednou.

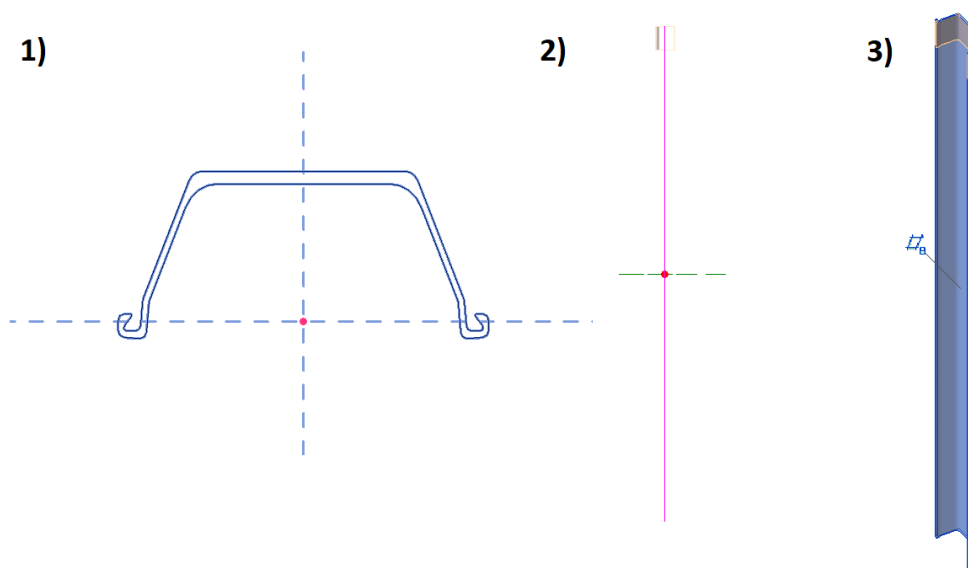
Z toho vyplývá, že např. pro sloupy podpírající lávku u nátoků byla vytvořena nová rodina sloupů, neboť se v modelu nachází celkem 3 instance této rodiny. Obdobně tomu bylo s „výplňovým“ betonem pod Archimédovy turbíny. Naopak nátokový práh doléhající k ocelovým štetovnicím byl vytvořen pomocí komponenty na místě, protože se jedná o ojedinělou konstrukci, která je nevhodná pro použití na jakémkoliv dalším projektu. Prvky jako podkladní vrstva betonu, ŽB lávky, obvodové stěny apod. byly vytvořeny za pomoci předinstalovaných

rodin Revitu. K vymodelovaným konstrukcím bylo vždy přiřazeno, v jaké fázi byly vytvořeny a v jaké fázi demolovány.

3.4. Automatizované modelování štětovic

Ocelové štětovicové stěny představují důležitý prvek zakládání nejen pro hydrotechnické stavby. Jsou charakteristické svým profilem a jednotlivými zámky, které do sebe zapadají a díky kterým mohou štětovnice sloužit ke stabilizaci a odvodnění stavebních jam. Typicky tedy musí jednotlivé dílčí profily sledovat určitou trajektorii. Z hlediska BIM modelování ovšem štětovicové stěny zdaleka neodpovídají charakteru klasických stěn, neboť jsou tvořeny mnoha dílčími prvky – štětovicemi, namísto jedné unitární geometrie, jako je tomu v případě třeba železobetonových stěn.

Štětovnice v Revitu, jako rodinu kategorie konstrukční základ, není těžké vytvořit. Stačí nám pouze nadefinovat jeden nebo více profilů v editoru rodin a vzdálenost, po které má být tento profil vytažen. Zároveň je vhodné nadefinovat parametry jako délka štětovnice a materiál, aby bylo možné rozměry snadno měnit a tedy i použít v dalších projektech. Problémem je ovšem samotné použití štětovic v modelu. Jak již bylo uvedeno výše, zámky musí sledovat určitou trajektorii a tedy do sebe i dobře zapadat. Na projektech jako MVE Woolston se přitom nachází stovky štětovic.



Obrázek 36 Tvorba rodiny štětovic, 1) definování profilu, 2) trajektorie pro vysunutí profilu, 3) 3D geometrie popsaná dalšími parametry [snímek obrazovky]

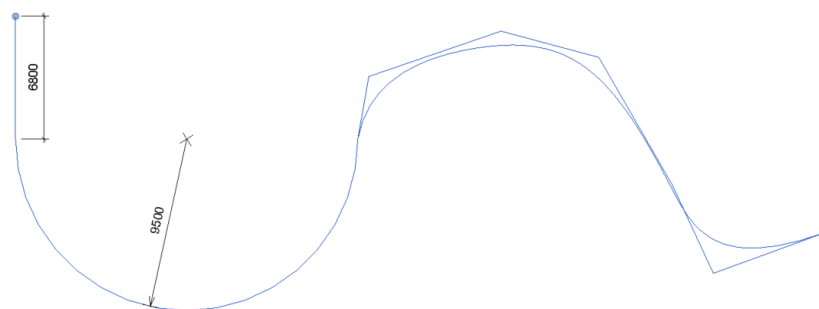
Samotné kopírování jednotlivých štětovic v případě přímé trajektorie nepředstavuje časově náročný úkol, ale v případě různě zakřivených trajektorií, v podobě oblouků o různých

poloměrech, zalomení apod., může umístování a pootáčení štětovnic dle zámků představovat časově velmi náročný, možná až neproveditelný úkol. Opravdu zásadní problém představuje situace, kdy je z jakéhokoliv důvodu nutné trajektorii štětovnic změnit, neboť právě v takovémto případě musí projektant přemísťovat a pootáčet stovky prvků, které do sebe musí zapadat.

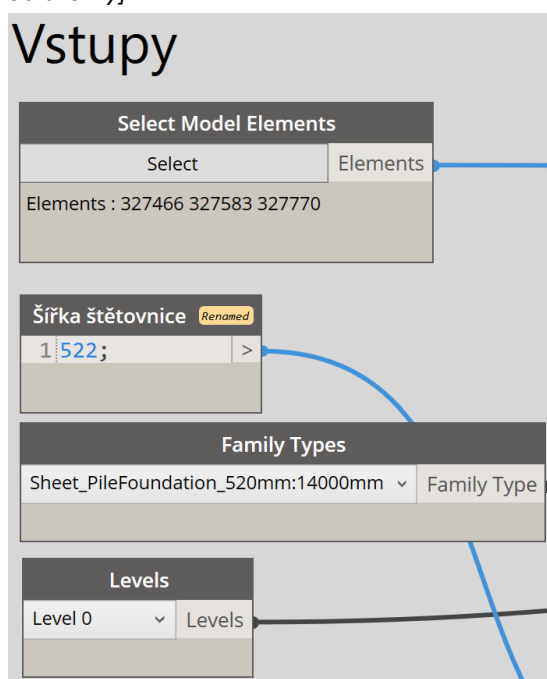
Použijme tedy rozšíření softwaru Revit – vizuálně programovacího jazyka Dynamo k automatizaci umístování jednotlivých štětovnic. Štětové stěny jsou hojně využívané prvky zakládání, a proto je vhodné, aby tento program byl zároveň použitelný i na jiném projektu, a to i při použití jiného profilu štětovnic. Následující text pojednává o tvorbě aplikace, která pomůže automatizovat rozmístění štětovnic v modelu za použití klasické rodiny – konstrukční základ.

3.4.1. Definování vstupů

Máme vytvořenou rodinu štětovnic, která spadá do kategorie konstrukční základ viz Obrázek 36. V BIM modelu budeme potřebovat, aby aplikace fungovala na základě jednoduchých vstupů, nakresleme tedy v Revitu pomocí nástroje čára (angl. line) trajektorii budoucího rozmístění štětovnic. Pro účely demonstrace byly v novém BIM modelu nakresleny přímka, oblouk a tzv „spline“ viz Obrázek 38.



Obrázek 387 Budoucí trajektorie stěny z ocelových štětovnic obsahující přímku, oblouk a tzv. spline [snímek obrazovky]



Obrázek 378 Vstupy do Dynamo [snímek obrazovky]

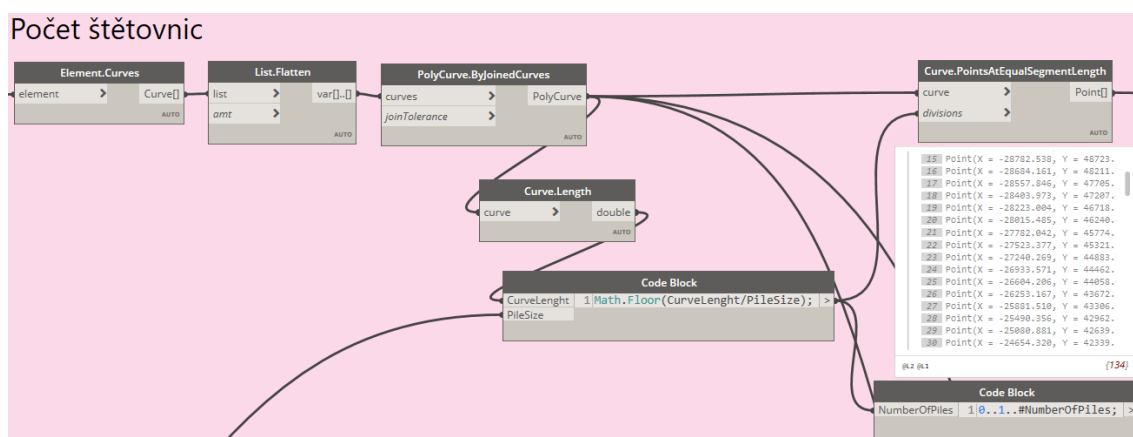
Přes kartu správa (angl. manage) v Revitu otevřeme Dynamo a založíme nový projekt. První uzly, které musíme definovat budou tvořit vstupy, neboli počáteční hodnoty, které umožní aplikaci použít i na jiném projektu. Uzel „Select Model Elements“ nám umožní vybrat čáry přímo v softwaru Revit, které se po načtení do Dynamo objeví v rámečku pod číslem svého ID. Uzel „Code Block“, která byl přejmenován na „Šířka štětovnice“ určuje vzdálenost 2 zámků u štětovnice. Pomocí uzlu „Family Types“ vybereme rodinu, kterou bude Dynamo vynášet podél naší definované trajektorie. Uzel „Levels“ nám zvolí patro, na které se štětovnice budou umísťovat.

3.4.2. Definování počtu štětovnic

V Dynamu máme načteny 3 čáry, které tvoří jednu trajektorii. Potřebujeme tedy 3 čáry spojit do jedné křivky (angl. polycurve). Toho dosáhneme za pomoci uzlu „PolyCrue.ByJoinedCurves“, nejdříve je ovšem nutné čáry spojit do jednoho listu (datová struktura). Zároveň potřebujeme znát celkovou délku trajektorie, abychom mohli určit počet štětovnic. Délku získáme pomocí uzlu „Curve.Length“, kde vstupem bude nově vytvořený list čar.

V momentě, kdy známe délku trajektorie, určíme počet štětovnic, a to podílem délky trajektorie a šířkou štětovnice. V tomto konkrétním případě je trajektorie dlouhá 70391 mm a šířka štětovnice je 522 mm, čímž po zaokrouhlení získáme číslo 134, které odpovídá počtu štětovnic. Díky nadefinovaným vstupům můžeme rozměry měnit a software bude počet štětovnic automaticky přepočítávat.

Vzhledem k tomu, že jednotlivé štětovnice budeme vytvářet pomocí bodů (angl. point), je nutné získat list, který bude obsahovat body o souřadnicích x, y, z. Ten získáme za pomoci „Curve.PointsAtEqualSegmentLength“, který rozdělí trajektorii podle počtu štětovnic. Posledním úkonem, kterým se v této části budeme zabývat, je vytvoření listu čísel, který bude v tomto případě obsahovat 134 čísel na intervalu 0 až 1. Pomocí tohoto listu později určíme vektory, podle kterých se jednotlivé dílčí štětovnice budou pootáčet vůči tečnám k trajektorii, definovaným v každém ze 134 bodů.



Obrázek 39 Uzly, pomocí kterých byl definován počet potřebných štětovnic [snímek obrazovky]

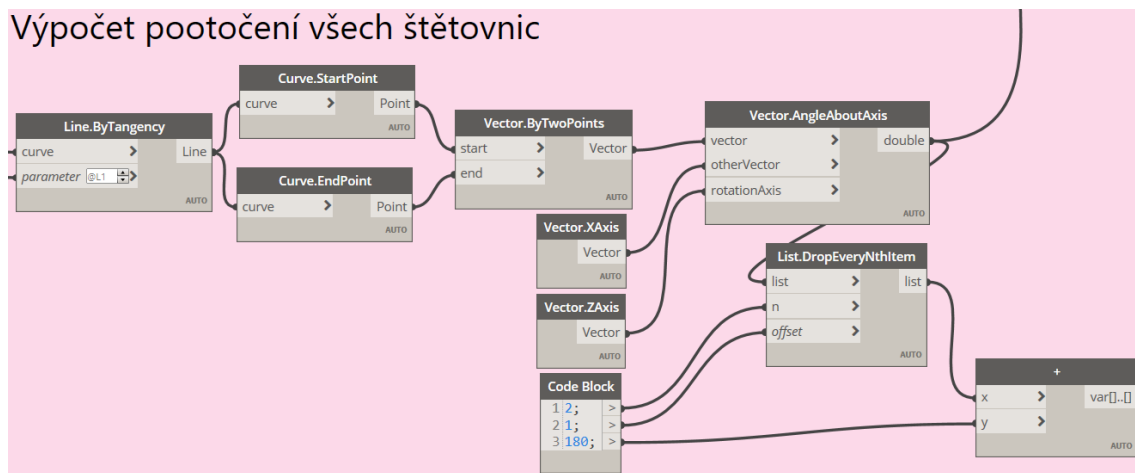
V případě, kdy by nezáleželo na natočení prvků, bychom mohli již nyní použít list bodů a pomocí uzlu „FamilyInstance.ByPointAndLevel“ vytvořit v Revitu instance rodiny. Štětovnice jsou ovšem složitější elementy, které musí být vůči trajektorii správně natočené a v takovémto stavu aplikace by byly všechny orientovány stejným směrem, což je nežádoucí.

3.4.3. Natočení štětovnic vůči trajektorii

Pro vytvoření listu úhlu, pomocí kterých se bude každá jedna štětovnice pootáčet, je nutné vytvořit tečny ke trajektorii, a to v každém ze 134 bodů. Tečny vytvoříme pomocí uzlu „Line.ByTangency“, kde vstupy jsou trajektorie a list parametrů (134 číslic mezi 0 až 1), které byly definovány v předchozí podkapitole.

Na základě 134 parametrů jsme získali 134 tečen a pomocí prvního a posledního bodu každé tečny jsme schopni sestavit list vektorů (uzel „Vector.ByTwoPoints“). Pro vytvoření listu úhlů použijeme uzel „Vector.AngleAboutAxis“. Dynamo tak bude zkoumat úhly, který svírá každý vektor s osou x a výsledné úhly uloží do nového listu.

Pro štětovnice nicméně platí, že každá druhá musí být vůči první natočená o 180°. Toto náš list úhlů nereflektuje a pokud bychom ho použili v nynější podobě, byly by všechny štětovnice pootočené pouze vůči trajektorii. Řešením je vytvoření nového listu úhlů z původního tak, že odstraníme všechny sudé položky (pomocí uzlu „List.DropEveryNthItem“). Ke každé položce v tomto nově vytvořeném listu přičteme hodnotu 180, která představuje pootočení každé druhé štětovnice.



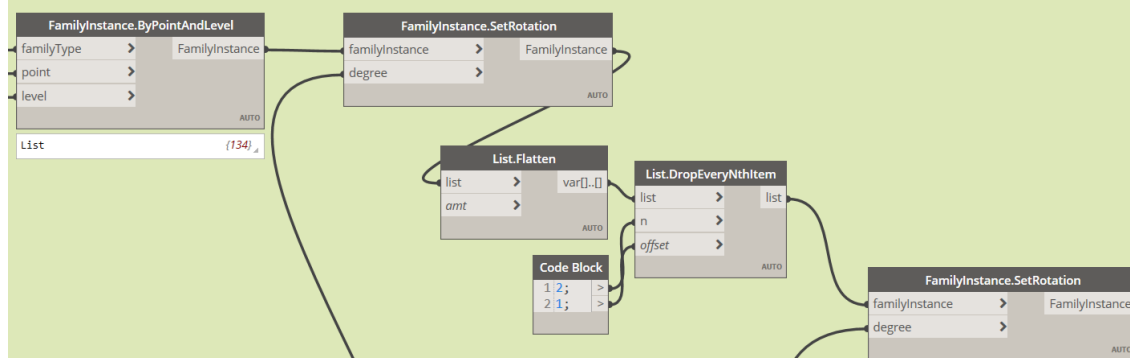
Obrázek 40 Tvorba dvou listů úhlů, které určují pootočení pro každou jednu štětovnici vůči tečnám vedeným v bodech na trajektorii [snímek obrazovky]

3.4.4. Vytvoření štětovnic v Revitu

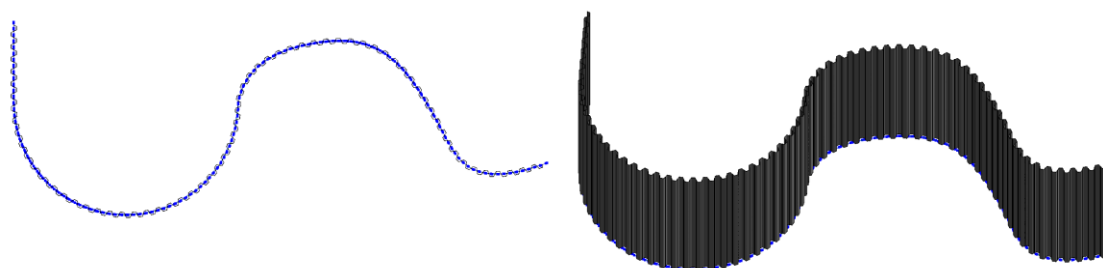
Nyní již nic nebrání tvorbě štětovnic v Revitu, a tak za pomoci listu bodů a vstupů vytvoříme jednotlivé štětovnice (uzel „FamilyInstance.ByPointAndLevel“). Tyto štětovnice je nutné správně pootočit vůči trajektorii, k čemuž poslouží uzel „FamilyInstance.SetRotation“ a původní list úhlů. Výsledkem je list jednotlivých štětovnic.

Z tohoto listu je nyní nutné vyřadit každou sudou položku, podobně jako v přechozí podkapitole, a to za pomoci uzlu „ListDropEveryNthItem“. Získali jsme nový list, který obsahuje pouze liché štětovnice a jehož počet položek odpovídá položkám v upraveném listu úhlu (upraveném o 180°). V tento moment stačí za pomoci stejného uzlu „FamilyInstance.SetRotation“ upravit vybrané liché štětovnice pomocí upraveného listu úhlů a štětovnicová stěna je hotová.

Vytvoření štětovic v Revitu



Obrázek 41 Tvorba instancí rodin v Revitu a pootáčení instancí vůči trajektorii [snímek obrazovky]



Obrázek 42 Nově vytvořená štětovicová stěna, vlevo zobrazení v půdorysu, vpravo zobrazení ve 3D

Aplikace je samozřejmě uzpůsobená k použití i na dalších projektech, nebo i pro tvorbu více štětovicových stěn v jednom projektu (např. MVE Woolston). Jediné, co musíme vždy definovat, je typ štětovic, který chceme použít, dále patro a čáry, které reprezentují trajektorii štětovicové stěny. Aplikaci by samozřejmě šlo i dále vylepšovat, např. aby na místo patra byly štětovnice umísťovány na určitou topografii – terén, nicméně pro použití v BIM modelu Woolston toto není třeba.

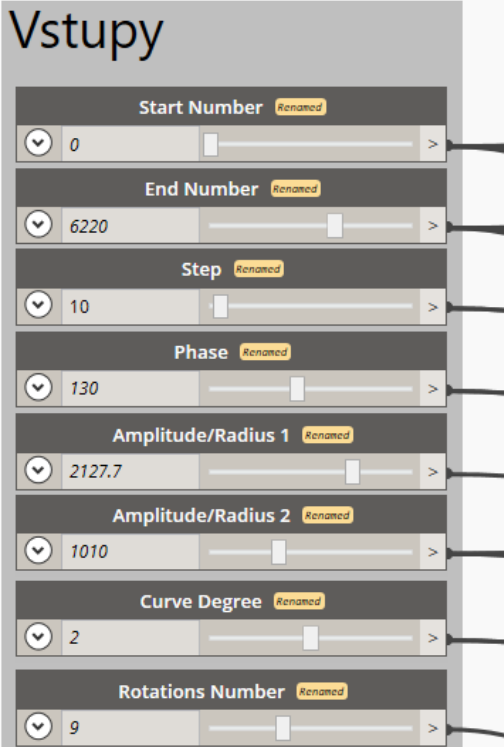
Bohužel, u oblouků o malých poloměrech na sebe jednotlivé štětovnice nenasazují přesně. To je zapříčiněno tím, že pro vkládání štětovnice do modelu používáme jeden vkládací bod. Pro štětovnice jsou ovšem důležité 2 vkládací body, které jsou umístěné na zámkách štětovic. Řešením by bylo na místo rodiny štětovic samotných využít rodinu tzv. obecného adaptivního modelu (angl. Generic Model Adaptive). Do této nové rodiny bychom „vnořili (angl. to nest)“ stávající rodinu štětovic a k oběma zámkům přiřadili body. V Dynamu bychom následně na místo jednoho vkládacího bodu pro každou štětovnici pracovali se 2 body, což by zaručilo lepší přesnost a navázání jednotlivých štětovic na sebe.

3.5. Tvorba Archimédovy turbíny

V případě Archimédovy turbíny, nebylo možné od dodavatele sehnat 3D geometrii, natož IFC model. Toto je situace, se kterou se bohužel u BIM modelování můžeme poměrně často setkat. Jedná-li se navíc o takto stěžejní prvek, jako je právě turbína, jsme odkázáni na vlastní modelování. Archimédova turbína představuje geometricky poměrně jednoduchý element složený z válců a kuželů. Z hlediska modelování v Revitu je ovšem problémem tvorba spirál a šroubovic. Určitou možnost sice představuje použití tzv. koncepčního objemu přímo v Revitu (angl. conceptual mass), ale z hlediska přesnosti se jako mnohem vhodnější řešení jeví využití Dynamo. Na rozdíl od předchozí podkapitoly využijeme na místo uzlů více psaný zápis kódu. Veškeré údaje o turbíně byly přežaty z CAD dokumentace.

3.5.1. Nadefinování vstupů

Abychom mohli geometrii turbíny upravovat, je třeba nadefinovat vstupní informace, na základě kterých bude geometrie generována. Tyto vstupní informace, které jsou zároveň plně editovatelné, umožní využití aplikace i na jiných projektech o rozdílných vstupních hodnotách. Mezi vstupní parametry patří¹¹:



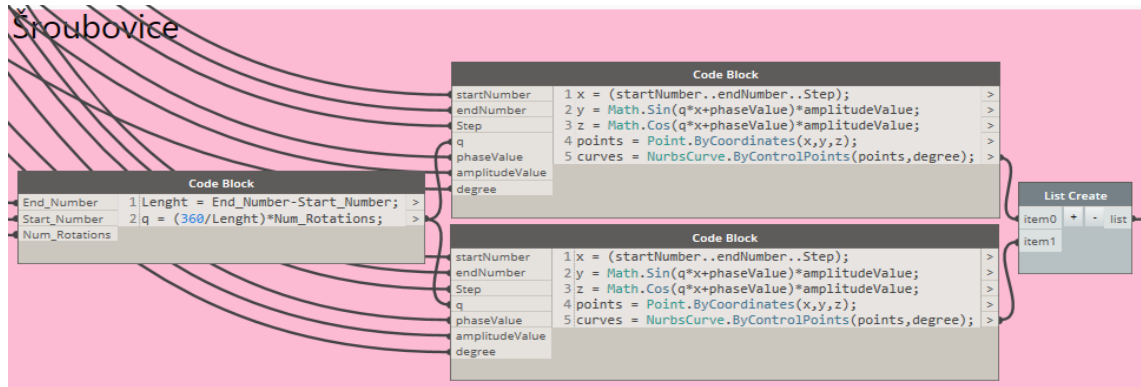
- **Start Number** – počáteční bod geometrie spirály,
- **End Number** – konečný bod geometrie spirály,
- **Step** – krok, přesnost geometrie (každých 10 mm bude generován 1 bod geometrie),
- **Phase** – v jaké počáteční fázi se šroubovice nachází,
- **Amplitude/Radius1** – poloměr větší šroubovice,
- **Amplitude/Radius2** – poloměr menší šroubovice,
- **Curve Degree** – stupeň křivky spojující body šroubovice,
- **Rotations Number** – kolikrát se šroubovice otočí o 360°,

Obrázek 43 Definování vstupů pro tvorbu geometrie turbíny [snímek obrazovky]

¹¹ Spirálou je myšlena plocha, šroubovicí 3D křivka

3.5.2. Tvorba šroubovic

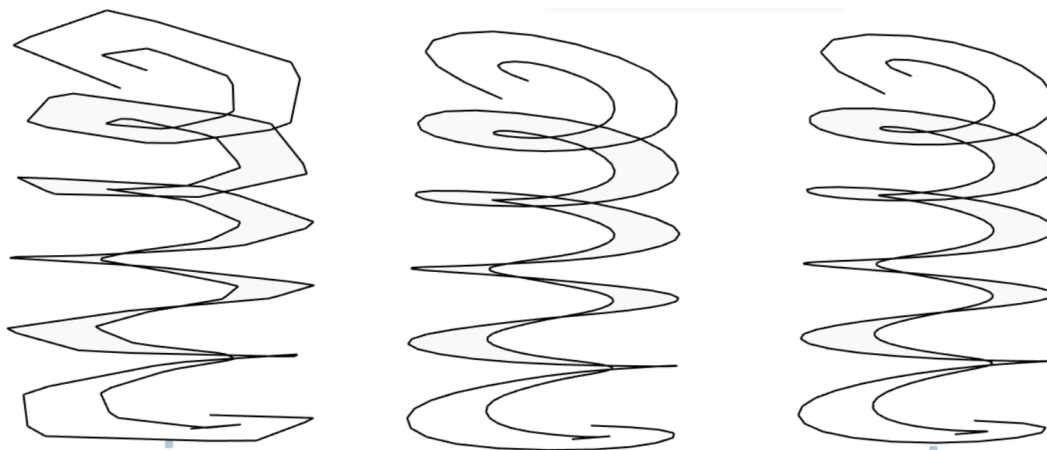
Pro vytvoření geometrie spirály je nutné nejdříve vytvořit 2 šroubovice (3D křivky), pomocí kterých bude plocha spirály jasně určena. Zároveň platí, že abychom mohli vytvořit 3D křivky šroubovic, musíme vytvořit sérii bodů o souřadnicích x, y, z, jejichž propojením vzniknou samotné šroubovice.



Obrázek 44 Definování geometrie šroubovic a jejich parametrů [snímek obrazovky]

Definování souřadnic x je poměrně jednoduchý úkol, mezi počátečním bodem (startNumber) a koncovým bodem (endNumber) vytvoříme sérii čísel (po 10 mm). Souřadnice y a z pak definujeme jako funkce souřadnice x, do které vstupují další parametry jako poloměr šroubovic (amplitudeValue), parametr počtu rotací (q) a fáze, v jaké se šroubovice nachází.

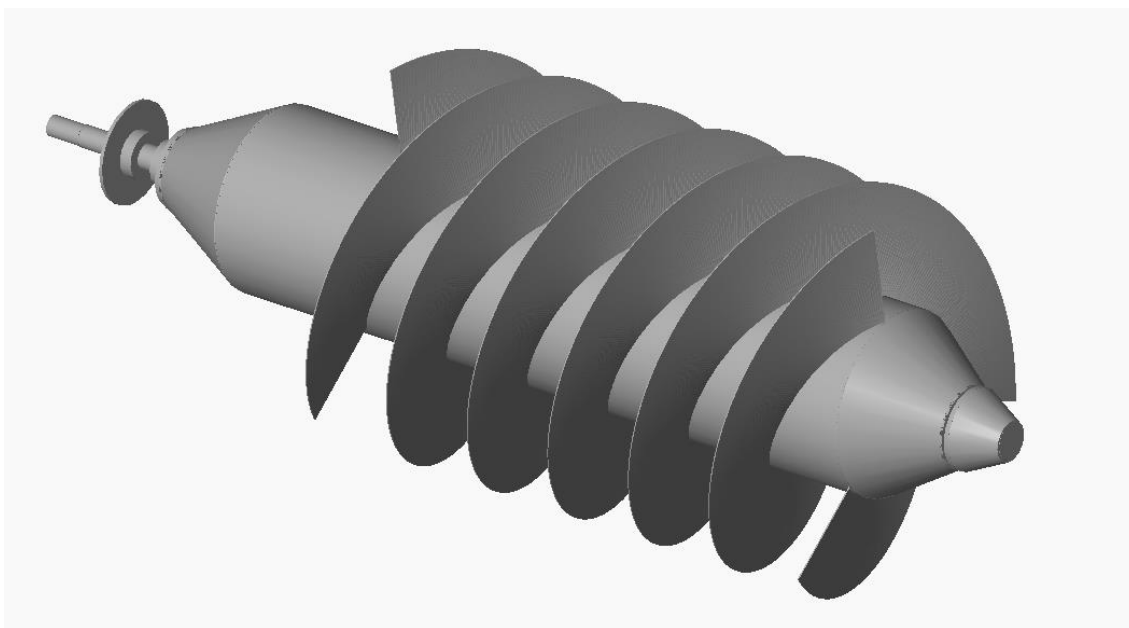
V momentě, kdy máme nadefinované souřadnice x, y, z, můžeme vytvořit samotné body šroubovice pomocí příkazu „Point.ByCoordinates“. Spojením bodů pomocí „NurbsCurve.ByControlPoints“ získáme šroubovice. Stěžejním parametrem je zde (degree), určující stupeň křivky propojující body. Rozdíl geometrií mezi 1., 2. a 3. stupněm křivek je znázorněn na Obrázek 45.



Obrázek 45 Zobrazení generovaných šroubovic při rozdílném nastavení parametru q (stupeň křivky), pro znázornění rozdílu byl zvětšen výpočetní krok z 10 mm na 200 mm, vlevo 1. stupeň, uprostřed 2. stupeň, vpravo 3. stupeň [snímek obrazovky]

3.5.3. Geometrie a načtení do Revitu

Pomocí příkazu „Surface.ByLoft“ vytvoříme plochu spirály ze 2 nadefinovaných šroubovic. Dále pomocí „Surface.Thicken“ vytvoříme z plochy spirály skutečnou 3D geometrii, a to tak, že ploše přiřadíme tloušťku (Blade_Thickness). Jak již bylo zmíněno výše, zbytek geometrie turbíny je definován válci a kuželi, které můžeme vytvořit v Dynamu, nebo načíst spirálu do Revitu a zbytek geometrie dotvoříme tam. Nicméně, aby mohla být geometrie skutečně parametrická a její generování plně automatizované, je vhodnější celou geometrii vytvořit v Dynamu.



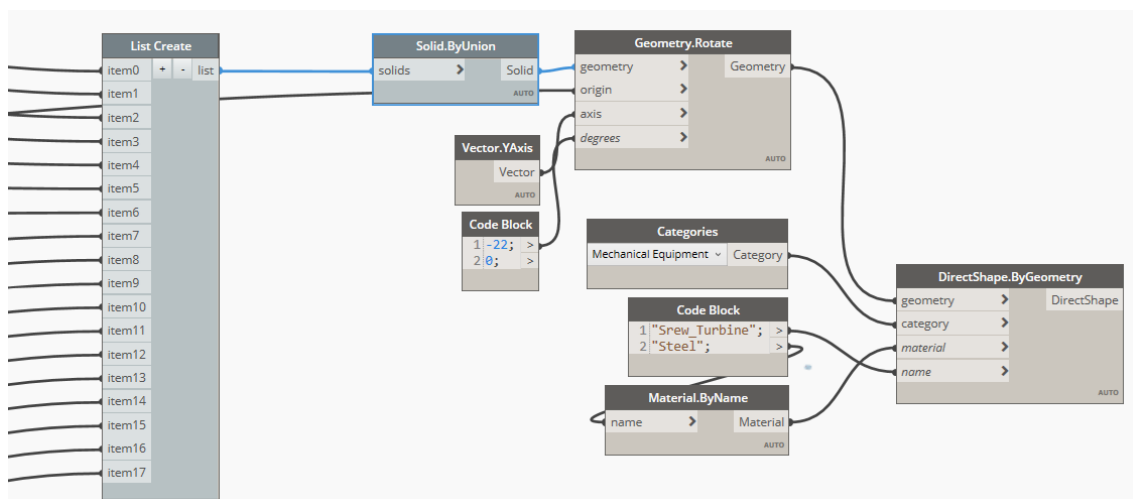
Obrázek 46 Zobrazení geometrie archimédovy turbíny vygenerované v Dynamu [snímek obrazovky]

Spirála, kužely a válce tvoří samostatné geometrické prvky, které je vhodné spojit do jedné geometrie. Toho dosáhneme tak, že jednotlivé geometrie zařadíme do společného listu a pomocí uzlu „Solid.ByUnion“ spojíme dílčí prvky do jednoho. To nám umožní snadnější manipulaci s celou Archimédovou turbínou, neboť geometrii budeme muset ještě potočit a načíst do Revitu.

Dynamo v zásadě nabízí 4 uzly pro export geometrie:

1. Spring.Form.ByGeometr – z balíčku „spring“,
2. DirectShape.Bygeometry – z balíčku „direct“,
3. ImportInstance.ByGeometry – pro jedinou geometrii,¹²
4. ImportInstance.ByGeometry – pro více geometrií.

Další možností by samozřejmě bylo využití jazyka Python a naprogramovat si vlastní uzel, nicméně pro účely tvorby Archimédovy turbíny byl využit uzel „DirectShape.Bygeometry“, který umožňuje definovat kategorie, materiál a název exportované geometrie. Výsledkem je přesná geometrie turbíny načtená v Revitu ve správných jednotkách (mm).



Obrázek 47 Příprava a export geometrie do Revitu, spojení dílčích prvků do jedné geometrie pomocí "Solid.ByUnion", natočení geometrie o 22° pomocí "Geometry.Rotate" a export do Revitu pomocí "DirectShape.ByGeometry" [snímek obrazovky]

¹² Pokud bychom pro export geometrie do Revitu použili uzel „ImportInstance.ByGeometry“, zjistili bychom, že jednotky Dynama a Revitu spolu nekorespondují. Zatímco v prostředí Dynama jsme pracovali v mm a editor rodiny v Revitu máme rovněž nastavený na mm, načtená geometrie je v imperiálních jednotkách, stopách.

3.6. Tvorba parametrické rodiny zemní kotva

Zemní předepnuté kotvy představují speciální prvek zakládání staveb, který nenajdeme ve standardních knihovnách Revitu. Je tedy nutné vytvořit novou rodinu, která bude tento prvek obsahovat. Zároveň platí, že zemní kotvy jsou při zakládání poměrně často využívány, a proto je vhodné u nově vytvořené rodiny definovat parametry, které nám umožní měnit geometrii, materiálové vlastnosti, kotevní délky atd., což umožní další využívání rodiny pro jiné projekty. Zemní předepnutá kotva tedy bude tzv. dynamická rodina.

Vzhledem k tomu, že kotvy budou mít vazbu k ŽB věncům viz 3.3.1, je vhodné utvořit takovou rodinu, která nám toto tvoření vazeb maximálně ulehčí. Pro tvorbu rodiny tedy zvolme „Obecný model plošný (angl. Generic Model face based), který bude při používání rodiny v modelu automaticky vytvářet vazbu na námi vybranou plochu.

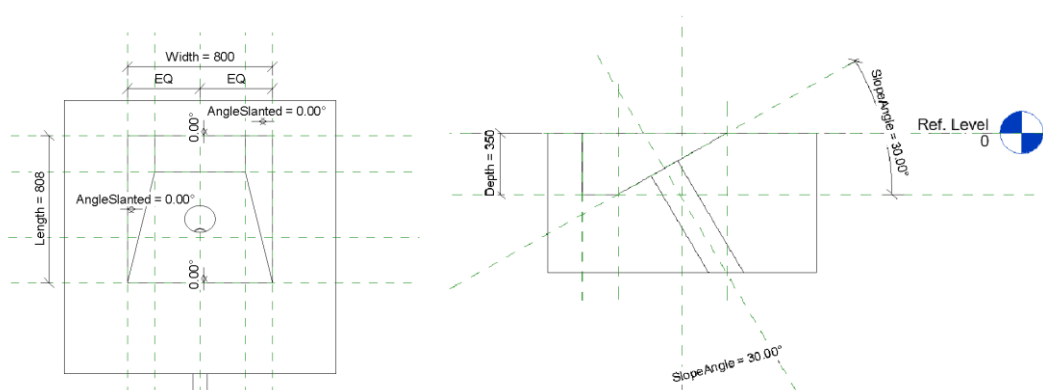
3.6.1. Tvorba geometrie výseče

Po otevření editoru rodin se nám zobrazí referenční element – obecný model, který představuje plochu, na kterou později v modelu budeme jednotlivé kotvy umísťovat. Jde tedy o pomocný prvek, který se na rozdíl od všech námi vytvořených elementů do samotného modelu nenačte. Můžeme ho tedy chápat např. jako část ŽB věnce, do kterého je potřeba umístit kotvu.

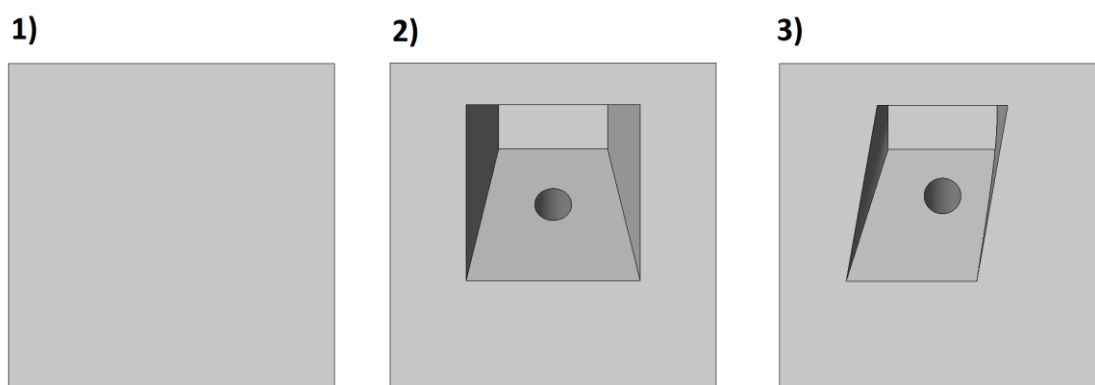
Prvním úkonem, co při tvorbě rodiny provedeme je příprava výseče – niky (angl. washer) pro kotevní hlavu. Jak již bylo zmíněno v podkapitole 3.3.1., bude tato výseč vytvořena pomocí dutého tvaru (angl. void), který vyřízne výseč do referenčního elementu dle námi nadefinovaných parametrů.

Nejdříve musíme určit pracovní roviny, které budou upravovat geometrii dutého tvaru. Jednotlivé geometrické parametry vytvoříme tak, že okótujeme geometrii výseče jako např. úhel natočení (AngleSlanted), hloubka výseče (Depth), délka výseče (Length) apod. Z těchto rozměrů následně vytvoříme parametry. Pokud tedy přepíšeme hodnotu např. natočení (AngleSlanted) z nuly na 30°, parametr pootočí příslušné pracovní roviny, které zase pootočí samotnou geometrii.

V případě tvorby parametrů je zásadní používat správná pojmenování. Vhodné je i vytvořit nový parametr komentář, kde vysvětlíme chování rodiny a jak jednotlivé parametry upravují geometrii formou prostého textu. Je důležité, aby i člověk, který rodinu netvořil, chápal její fungování, neboť bez řádného pochopení fungování je rodina nepoužitelná, a úsilí, které věnujeme parametrizaci, přijde vniveč.



Obrázek 48 Tvorba výseče pro kotevní hlavu a jednotlivých parametrů, které tuto výseč upravují [snímek obrazovky]



Obrázek 49 Referenční element a změny provedené pomocí parametrů. 1) Bez výseče, 2) Výseč při přednastavených hodnotách parametrů, 3) Výseč při pozmeněných hodnotách parametru natočení bočnic a šířky výseče [snímek obrazovky]

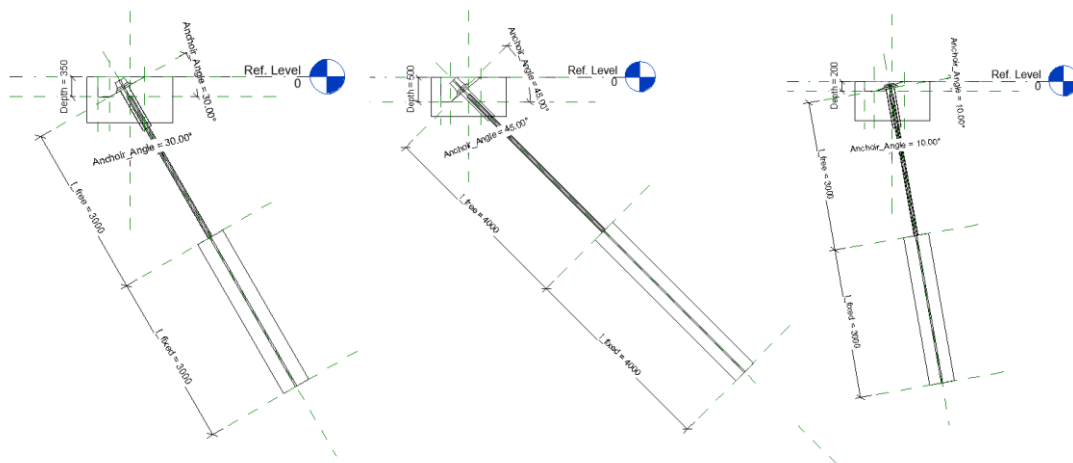
3.6.2. Tvorba kotvy

Podobně jako v předchozím případě je nutné i pro tvorbu kotev nejdříve vytvořit pracovní roviny, které budou svými vazbami ovlivňovat rozměry konstrukce. V momentě, kdy máme vytvořené roviny, okótuje potřebné rozměry, které následně převedeme v parametry. Zásadní jsou především úhel, pod kterým je předeprnuté lano (Anchoir_Angle), volná délka kotvy (l_{free}) a délka kořene kotvy (l_{fixed}).

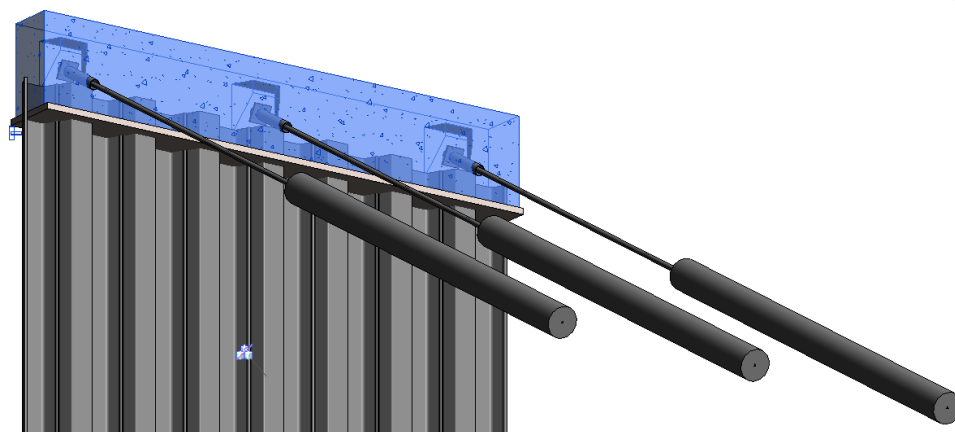
Pokud máme pracovní roviny a parametry vytvořené, můžeme začít s modelováním geometrie, kterou pomocí vazeb „připevníme“ k jednotlivým pracovním rovinám. Vytvořená geometrie by měla být flexibilní a stejně jako v případě výseče plně editovatelná prostřednictvím parametrů. Dalším bodem je přiřazení materiálu k jednotlivým geometriím, to provedeme za

pomocí materiálových parametrů. Důležité je zmínit, že i poté, co načteme rodinu do BIM modelu, zůstávají hodnoty parametrů editovatelné. Výsledkem je tedy dynamická rodina zemních kotev.

Charakter kategorie rodiny – obecný model plošný, umožní umísťovat rodinu na jakoukoliv plochu v modelu. V případě MVE Woolston to jsou železobetonové věnce a štětovnice, ale plochou může být i stěna, deska, sloup, v zásadě jakýkoliv prvek, který má určitou plochu. Tím necháváme projektantovi poměrně velkou svobodu, jak s rodinou nakládat.



Obrázek 50 Zobrazení 3 typů kotev s pozměněnými hodnotami parametrů [snímek obrazovky]



Obrázek 51 Použití rodiny zemních kotev v modelu, zde konkrétně vazba na ŽB věnec [snímek obrazovky]

3.7. Modelování terénu

Modelování terénu a zemních prací je nedílnou součástí projektu Woolston. Revit samotný sice obsahuje nástroje, kterými lze model terénu vytvořit, ale existují i jiné softwarové nástroje, které jsou pro toto modelování lépe uzpůsobené. Jedním z takových to softwarů je Civil 3D, který

umožňuje modelování terénu a jeho úprav, a to za pomoci pokročilých nástrojů, jako jsou koridory a návrhové linie.

Pro získání vstupů pro tvorbu modelu původního terénu byl stejně jako v případě začátku modelování v Revitu viz 3.2.3, využit koordinační výkres. Tento výkres udává stejně jako v případě modelu v Revitu pozici staveniště v systému souřadnic a zároveň určuje výškové úrovně. Pro tvorbu modelu původního terénu byly použity téměř všechny možné definice terénu, mezi které patří:

- body – o souřadnicích x, y, z,
- objekty – různé elementy o souřadnicích x, y, z,
- čáry – 2D linie o určité souřadnici z,
- křivky – 2D linie o určité souřadnici z,
- 3D polylinie – 3D linie o různých souřadnicích z.

Model terénu byl rozdělen do 3 samostatných modelů, a to:

- severní břeh (angl. Northbank), zde se nachází MVE Woolston,
- dno řeky (angl. Riverbed), terén mezi břehy,
- jižní břeh (angl. Southbank).

Toto rozdělení nám později ulehčí práci při kalkulaci objemu výkopových prací, úpravě dat a importu zpět do Revitu. Možností by bylo vytvoření jednoho modelu původního a jednoho modelu upraveného terénu, nicméně toto by nám značně omezilo možnosti jak vizualizovat terénní úpravy v Navisworks Manage.

3.7.1. Posloupnost terénních úprav

Abychom mohli reflektovat skutečný průběh terénních úprav na projektu, bude nutné vytvořit hned několik modelů severního břehu, kde každý model ponese určité úpravy dle časové posloupnosti stavby. Prvním upraveným modelem tedy bude terén zahrnující výkopy pro ŽB věnce. Druhý upravený terén bude kopií prvního upraveného terénu, který bude obsahovat stavební jámu. Celý výčet terénů, a to, v jakém pořadí byly vytvořeny, můžeme popsat takto¹³:

- **0_Original terrain – původní terén**
 - OT_Northbank – severní břeh
 - OT_Riverbed – koryto řeky
 - OT_Southbank – jižní břeh

¹³ Zkratka OT značí anglicky „Original Terrain“, tedy původní terén

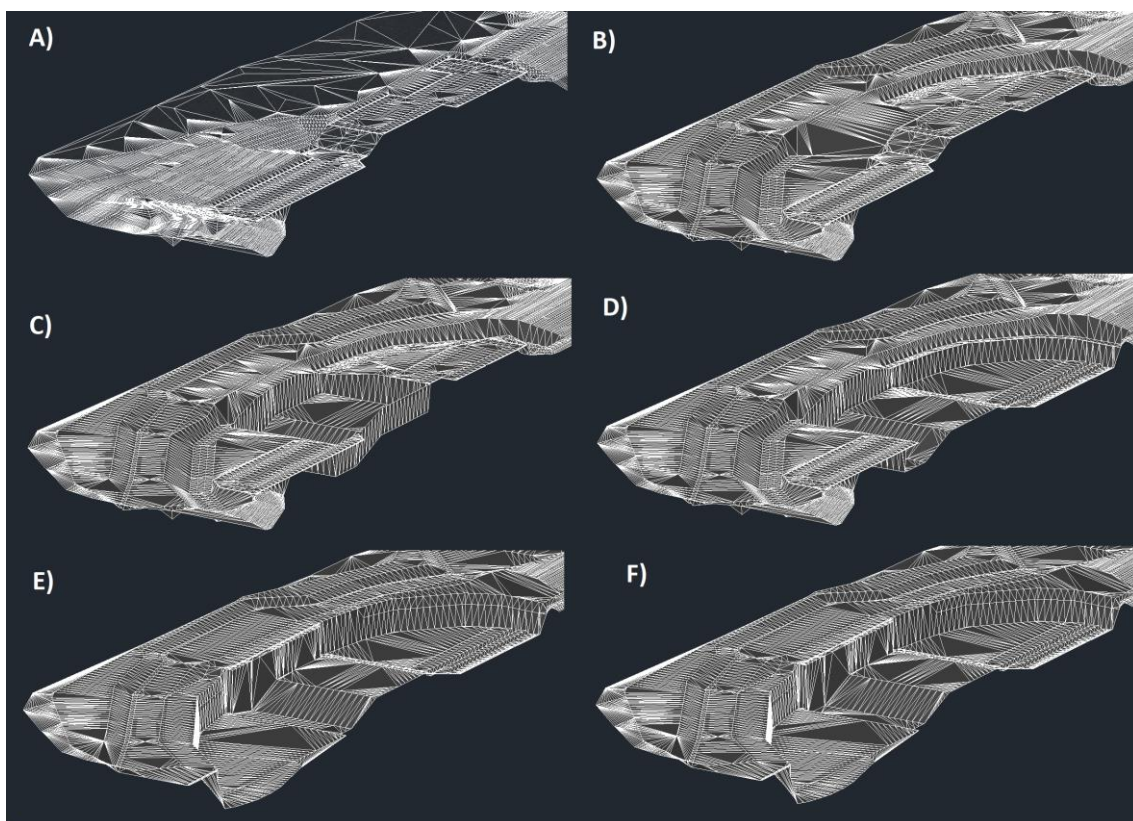
Zkratka ET značí anglicky „Edited Terrain“, tedy upravený terén

- **1_Girders – ŽB věnce**
 - 1_ET-Girders_Only – pouze výkopy pro ŽB věnce
 - 1_ET-Girders – výkopy pro ŽB věnce + OT_Northbank
- **2_FoundationSlab – základová deska**
 - 2_ET-FoundationSlab_Only – pouze stavební jáma pro ZD
 - 2_ET-FoundationSlab – stavební jáma pro ZD + 1_ET-Girders
- **3_Intake – stavební jáma, vtok**
 - 3_ET-Intake_Only – pouze stavební jáma, vtok
 - 3_ET-Intake – stavební jáma, vtok + 2_ET-FoundationSlab
- **4_Outtake – stavební jáma, vtok**
 - 4_ET-Outtake_Only – pouze stavební jáma, výtok
 - 4_ET-Outtake – stavební jáma, výtok + 3_ET-Intake
- **5_Final – upravený terén**
 - 5_ET-Final_Only – pouze poslední úpravy
 - 5_ET-Final – poslední úpravy + 4_ET-Outtake

Ze struktury je zřejmé, že pokud chceme postupně popsat jednotlivé terénní úpravy, je nutné pro 5 úprav vytvořit 10 dílčích modelů terénu, přičemž nový terén vzniká vždy kombinací předchozího terénu a určitých úprav. Postupně se propracujeme od původního terénu (OT_Northbank) až k finální verzi terénu (5_ET-Final), která reflektuje stav během dokončení projektu. Pokud provedeme úpravy v jakémkoliv dílčím terénu, necháme přes příkaz „přebudovat (angl. rebuild)“ software přenést úpravy do všech ostatních modelů, které se nachází níže ve struktuře.



Obrázek 52 Modely původních terénů, nahoře severní břeh, uprostřed dno řeky, dole jižní břeh [snímek obrazovky]

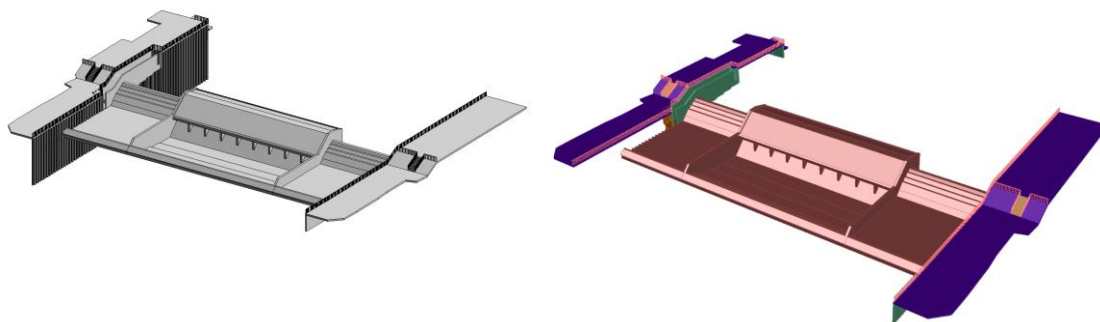


Obrázek 53 Postupný vývoj modelu terénu, A) OT_Northbank – původní terén, B) 1_ET-Girders – výkopy pro ŽB věnce, C) 2_ET-FoundationSlab – stavební jáma, základová deska, D) 3_ET-Intake – stavební jáma, vtok, E) 4_ET-Outtake – stavební jáma, výtok, F) 5_ET-Final – konečný upravený terén

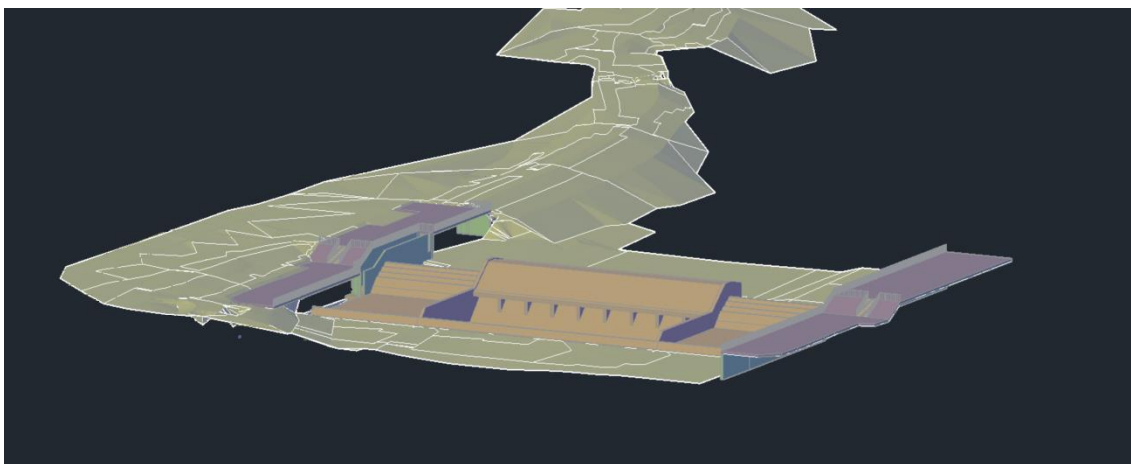
3.7.2. Načtení referencí z Revitu

Pro tvorbu jednotlivých terénních úprav bude zřejmě nutné znát polohu konstrukcí jezu a MVE Woolston. Civil 3D sice neumí načíst přímo nativní .rvt soubory, ale umožňuje načíst klasické CAD soubory jako reference. Revit zároveň dokáže převést BIM model na CAD. U tohoto exportu je ovšem důležité zvolit sdílení souřadnic (angl. Shared Coordinates). Oba softwary tak budou pracovat se stejným koordinačním systémem, což znamená, že reference se v Civil 3D načte přesně na správné místo, aniž bychom potřebovali model nějak natáčet nebo posouvat. Stejně tak důležité je správné nastavení jednotek. Zatímco model v Revitu byl dělán v mm, terénní úpravy v Civil 3D v našem případě pracují s m, proto je nutné při exportu v Revitu nastavit jako exportovanou jednotku m.

Na základě tohoto principu může probíhat komunikace např. mezi projektantem zemních prací a statikem. Jediné úskalí exportování je datová náročnost modelu. V případě MVE Woolston je např. zbytečné exportovat i ocelové štetovnice, neboť jich jsou v modelu stovky a exportovaná CAD reference naroste do obřích rozměrů. Reference se štetovnicemi má pro porovnání 454 MB, zatímco reference bez pouze 22 kB.



Obrázek 54 Zobrazení modelu původní stavby, vlevo v Revitu, v pravo exportovaná CAD reference [snímek obrazovky]



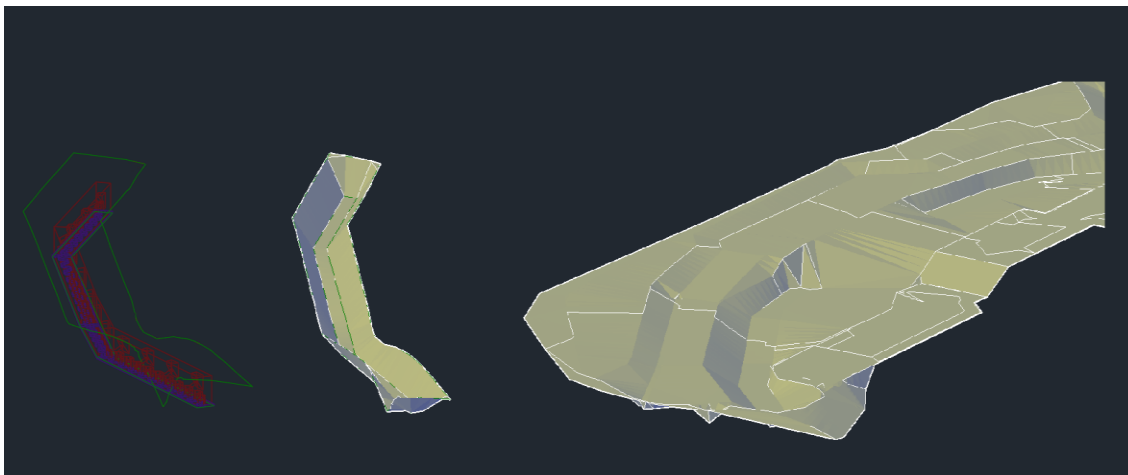
Obrázek 55 Načtená CAD reference v modelu původního terénu [snímek obrazovky]

Bohužel jsou tyto reference statické, tzn., že v momentě, kdy v Revitu provedeme jakékoliv změny, nepřepíše se automaticky do referencí a posléze tedy ani do Civil 3D. V zásadě jsme tedy nuceni během projektu pravidelně exportovat reference, protože jinak hrozí, že některá z účastníků projektu bude pracovat s neaktualizovanými daty.

3.7.3. Úpravy terénu pomocí návrhových linií

Civil 3D obsahuje celou řadu nástrojů pro provádění úprav terénu, mezi ty nejnámější patří koridory a návrhové linie (angl. feature line). Koridory bychom využili v případě liniové stavby typu potrubí, příjezdová cesta, revitalizace toku apod. Pro zakreslování a parametrizaci návrhu jednotlivých terénních úprav jsou zejména vhodné návrhové linie. Jedná se o editovatelné 3D „křivky“, které v našem případě poslouží vždy jako definice pro jednotlivé terénní úpravy.

To, jak návrhové linie používat si demonstrováme na tvorbě výkopu pro ŽB věnce, tedy upravený terén „1_ET-Girders_Only“. Do Civil 3D si načteme referenci z Revitu obsahující ŽB věnce a původní základovou desku – platformu na břehu. Abychom mohli vytvořit výkop kolem ŽB věnců, je nutné vytvořit minimálně 2 návrhové linie. První návrhová linie se bude táhnout po obvodu podkladního betonu, od kterého převezme i výškové souřadnice. Druhá návrhová linie bude odsazenou kopií té první, např. 1,5 m vzdálenou, a výškové údaje převezme z modelu původního terénu „OT_Northbank“. Pomocí těchto 2 linií vytvoříme nový terén „1_ET-Girders_Only“, který obsahuje terénní úpravy. My ovšem potřebujeme tyto změny promítnout i do vazby nad původním terénem. Toho dosáhneme tak, že vytvoříme třetí terén „1_ET-Girders“, který v sobě bude kombinovat původní terén a provedené změny. Stejným způsobem byly vytvořeny veškeré další modely terénu.



Obrázek 56 Postup terénních úprav, vlevo návrhové linie (zeleně), uprostřed terénní úpravy, vpravo nový upravený terén [snímek obrazovky]

3.7.4. Kalkulace objemu zemních prací

Na základě modelu původního terénu a jednotlivých úprav byla vytvořena kalkulační objemu zemních prací. Software vždy proti sobě porovnává 2 terény. Pro určení objemu výkopů železobetonových věnců, konkrétně původní terén „OT_Northbank“ a upravený terén „1_ET-Girders“. Stejným způsobem byl určen objem zemních prací i pro ostatní modely terénu. Výsledky jsou popsány v následující tabulce:

Tabulka 4 Kalkulace objemu zemních prací, „Girders“ – železobetonové věnce, „Foundation Slab“ – základová deska, „Intake“ – vtok, „Outtake“ – výtok

Volume Summary							
Name	Type	Cut Factor	Fill Factor	2d Area (sq.m)	Cut (Cu. M.)	Fill (Cu. M.)	Net (Cu. M.)
Girders	full	1.000	1.000	9568.28	1675.85	20.42	1655.43<Cut>
Foundation Slab	full	1.000	1.000	9573.17	1806.63	0.05	1806.58<Cut>
Intake	full	1.000	1.000	9547.77	1547.77	0.00	1547.77<Cut>
Outtake	full	1.000	1.000	9540.48	1820.16	539.73	1280.43<Cut>
Final	full	1.000	1.000	9586.10	29.61	0.82	28.80<Cut>

Totals					
		2d Area (sq.m)	Cut (Cu. M.)	Fill (Cu. M.)	Net (Cu. M.)
Total		47815.80	6880.02	561.02	6319.00<Cut>

* Value adjusted by cut or fill factor other than 1.0

Tabulka 4 Kalkulace objemu zemních prací zobrazuje vždy název (angl. Name) dílčí části, které byly pro účely MVE Woolston pojmenovány dle jednotlivých stavebních úkonů. V každé části je zároveň uveden výkop (angl. Cut) a násyp (angl. Fill). Na základě těchto údajů software stanovil celkový objem výkopových prací na 6 319 m³.

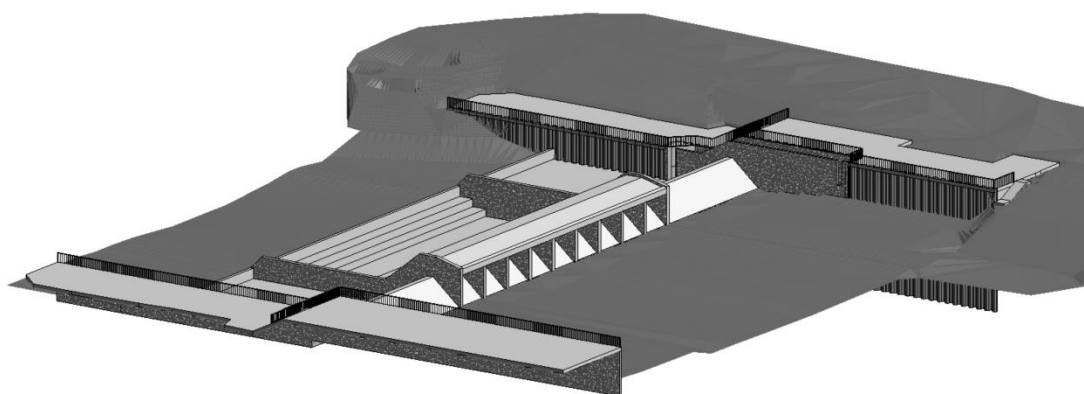
3.7.5. Import terénu do Revitu

Abychom mohli modely terénu převést ze Civil 3D do Revitu, je nutné nejdříve terén upravit a CAD soubor celkově očistit od přebytečných elementů a referencí, které by později pouze práci v Revitu zpomalovaly. Prvním bodem je exportování konkrétního modelu terénu přes příkaz: „export výkresu Civil 3D (angl. export Civil 3D Drawing)“.

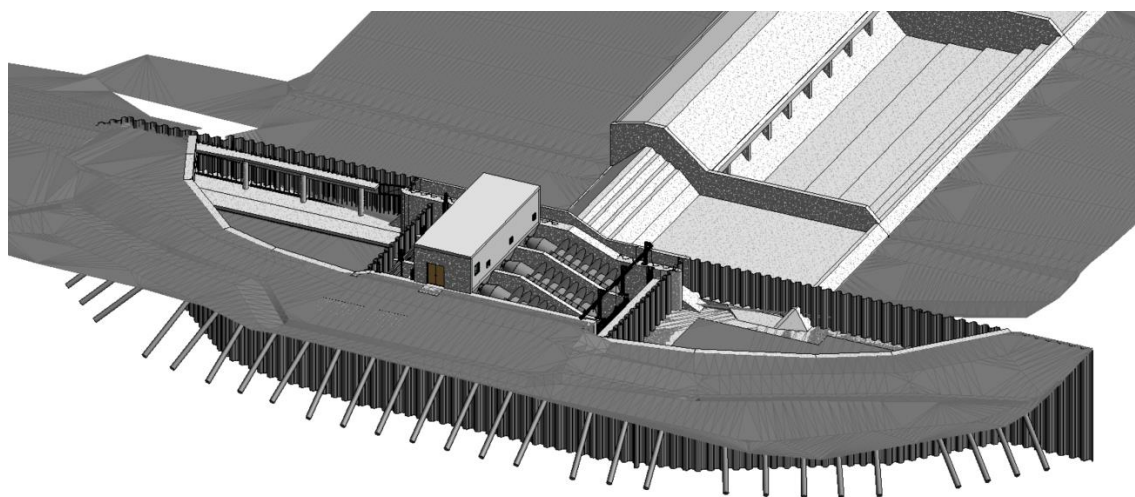
Pro odstranění nadbytečných dat z nově vyexportovaného souboru použijeme příkaz „vyčistit nepoužité (angl. purge)“. Dalším příkazem, který použijeme, je „-Purge“, a zvolíme možnost „Regaps“. Tento příkaz nadobro odstraní veškeré prvky Civil 3D a nám zbývá terén

v podobě prosté CAD geometrie. Posledním příkazem pro očištění souboru je tzv „Audit“, který opraví případné chyby v modelu. Stejný proces provedeme pro všechny modely terénu, které chceme do Revitu načíst.

Samotné načtení CAD modelů terénu probíhá obdobným způsobem jako načítání CAD referencí viz 3.2.5. Důležité je při načítání souboru v Revitu zvolit importované jednotky jako metry, neboť to jsou jednotky, se kterými jsme v Civil 3D pracovali, dále umístit terén do patra „0,00“, protože zde se nachází i nulová hladina v Revitu. V neposlední řadě zvolíme umístění dle sdílených souřadnic. Model terénu by se měl načíst správně prostorově zkoordinovaný.



Obrázek 57 Načtené CAD modely terénu v Revitu, zobrazení původního stavu vodního díla, před zahájením výstavby MVE Woolston [snímek obrazovky]

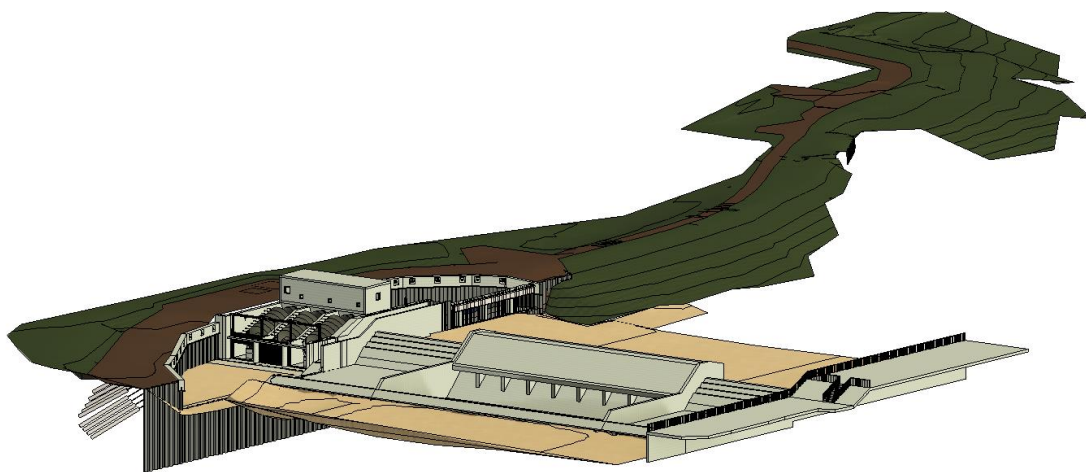


Obrázek 58 Načtené CAD modely terénu v Revitu, zobrazení stavu během výstavby MVE Woolston [snímek obrazovky]

Načtené CAD modely by ovšem měly pouze sloužit jako podklady pro tvorbu povrchu terénu (angl. toposurface) a po dokončení modelování je vhodné je z Revitu odstranit. Důležité je

zmínit, že terén se chová v modelu staticky, pokud model v Civil 3D jakkoliv upravíme, vlastní terén v Revitu se neupraví automaticky a my tedy musíme celý proces načítání dat a tvorby povrchu terénu absolvovat znova.

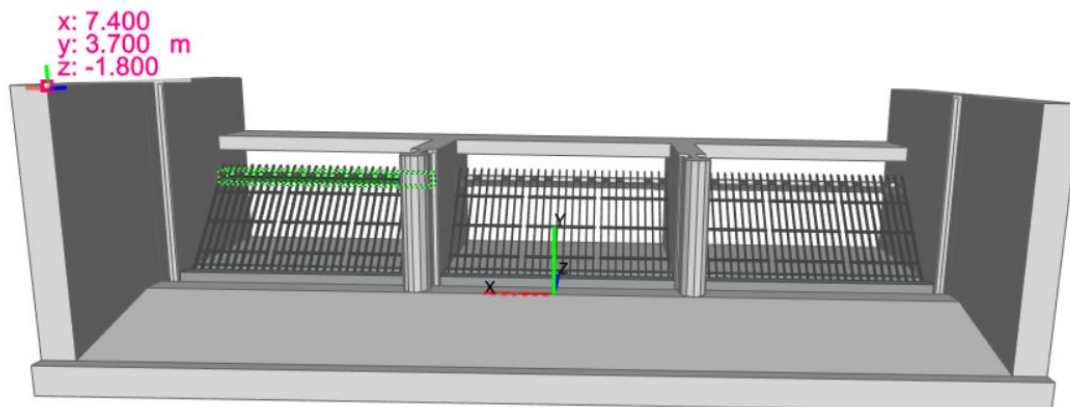
Pracování s terénem v Revitu má celou řadu výhod. Jednou z těchto výhod je tzv. rozdělení do podoblastí (angl. subregion). V jednom terénu nadefinujeme různé části, které mohou mít různé materiálové vlastnosti a přesto být součástí jednoho modelu terénu. Příkladem tohoto principu je vymodelování příjezdové cesty, staveniště a okolní krajiny u MVE Woolston. Zatímco příjezdová cesta a staveniště tvoří materiál „Earth“ (zemina), zbytek modelu terénu tvoří materiál „Grass“ (trávník).



Obrázek 59 Model terénu v Revitu, rozdělení do podoblastí s vyobrazením příjezdové cesty, staveniště a okolního terénu [snímek obrazovky]

3.8. Import IFC referencí

Při tvorbě BIM modelu MVE Woolston bylo nutné propojit data vytvořená v různých softwarech viz 2.6. Pomocí IFC byly do BIM modelu načteny ocelářské výrobky česlí, provizorní hrazení rychlouzávěrů a stavidel poskytnutých projektantem ocelářských výrobků firmou Konstrukce Kovařík. V ideálním případě by sdílená IFC data byla správně prostorově zkoordinovaná a zapsaná ve správné formě. To bohužel není případ poskytnutých IFC modelů ocelářských výrobků, které nejsou správně prostorově zkoordinované, IFC zápis jednotlivých dílčích prvků je nepřesný a modely obsahují nadbytečné konstrukce. Tyto vady si uvedme na konkrétním případě, a to IFC modelu jemných česlí viz Obrázek 60 IFC model jemných česlí [snímek obrazovky]



Obrázek 60 IFC model jemných česlí [snímek obrazovky]

IFC model jemných česlí není správně prostorově zkoordinovaný. Pokud bychom ho načetli do BIM modelu, česle by se načetly velmi daleko od ostatních BIM elementů, navíc s prohozenými souřadnicemi x a z. Dalším problémem je nesprávný zápis jednotlivých IFC elementů, které jsou zapsány do chybných IFC tříd. Příkladem mohou být jednotlivé šrouby česlí, které jsou zapsané v obecné třídě *IfcBuildingElementProxy* namísto *IfcMechanicalFastener*. Dalším problémem jsou betonové konstrukce, které model obsahuje. Ty je nutné odstranit, neboť by v BIM modelu docházelo k duplikování konstrukcí a posléze i chybnému výkazu výměr.

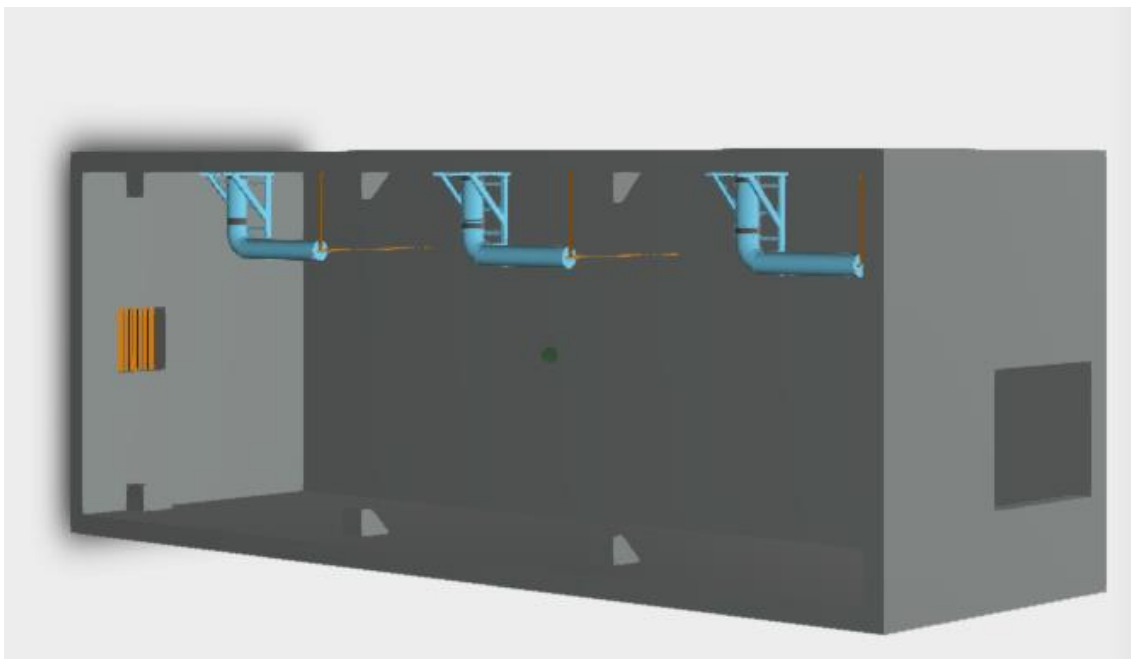
Všechny tyto vady IFC modelu by šlo snadno odstranit při spolupráci s projektantem ocelářských výrobků. Vhodné by bylo používat od začátku projektu sdílené souřadnice. Pootáčení a posouvání modelu do správných souřadnic zcela jistě není efektivní způsob spolupráce, a navíc se zde můžeme dopustit řady chyb. Správný IFC zápis je rovněž stěžejní pro kvalitní BIM model, přepisování tříd představuje časově velmi náročný úkol.

Po postupné úpravě prostorových souřadnic a IFC tříd byly do BIM modelu MVE Woolston postupně načteny všechny ocelářské výrobky. IFC data je možné načíst buď jako reference, v takovémto případě nebudeme moci data dále editovat, nebo využít konverze mezi IFC a Revitem, kdy se IFC data převedou do Revit rodin. Při konverzi jsou sice data editovatelná, ale samotný převod je nedokonalý a spousta rodin se převede chybně.

3.9. Import vzduchotechniky ze STEP

Při sdílení dat se může stát, že používaný software některého z projektantů neumožňuje export do IFC. V takovémto případě je spolupráce značně omezena a v zásadě může dojít

k předání pouze 3D dat. Přesně tak tomu bylo při sdílení dat o vzduchotechnice, která byla předána ve formátu STEP.



Obrázek 61 Geometrie ve formátu STEP, prohozené souřadnice x a z [snímek obrazovky]

Revit není schopný s daty ve formátu STEP pracovat, a tak je nutné využít 3. formátu, který nám umožní geometrii načíst do editoru rodin, kde vytvoříme novou Revit rodinu vzduchotechniky. K dispozici máme celou řadu formátů, do kterých můžeme data převést, ovšem pro tvorbu vzduchotechniky byl využit formát *.stl*.

Bohužel dochází k převodu pouze geometrických dat, což znamená, že veškeré další charakteristiky vzduchotechniky budeme muset ručně doplnit. Mezi tyto charakteristiky patří materiál, objemový průtok, hmotnost atd. Nově vytvořenou Revit rodinu načteme do BIM modelu, kde se chová jako plnohodnotná rodina vzduchotechniky.

3.10. Export do IFC

Jak již bylo několikrát zmíněno, plnohodnotné sdílení BIM dat s sebou nese nutnost používat otevřené datové standardy, mezi nimiž převládá zejména formát IFC. Pokud BIM model vytvořený v Revitu vyexportujeme do IFC, získáme do jisté míry „zmrazený stav“ BIM modelu, který můžeme předat objednateli/správci díla. Tomu tak nevznikají žádné nové náklady na pořizování drahých licencí, neboť IFC samotné je zadarmo.

Pokud by bylo někdy v budoucnosti nutné IFC model jakkoliv pozměnit, např. při rekonstrukci apod., můžeme buďto zakoupit licenci BIM softwaru a jednotlivé změny do IFC

modelu promítnout, nebo využít určitého open-source řešení a úpravy provádět přímo v IFC modelu samotném viz 2.8.

Software Revit obsahuje poměrně rozsáhlé možnosti, jak nativní data do IFC převádět. Při správném nastavení je schopný tvořit kvalitní IFC modely s minimem chyb. Důležité je dodat, že i vzniklé chyby při exportu jsme schopni odstranit, ovšem v rámci efektivity práce je vhodné těmto chybám předejít. V zásadě máme 2 možnosti, jak nastavit správný export dat.

První možností je karta „IFC možnosti“ (angl. IFC options), kde formou textu popíšeme, jak se mají rodiny Revitu převést na IFC třídy. Například rodina zábradlí „Railings“ se převede na třídu „IfcRailing“, rodina základové desky se převede do třídy „IfcSlab“ apod. Tato nastavení je možné uložit v textovém formátu a použít na dalším projektu.

Další možností je popsání IFC tříd přímo v jednotlivých rodinách formou parametru. Při použití této metody vytvoříme v jednotlivých rodinách 2 parametry, které musí být pojmenovány následujícím způsobem¹⁴:

- **IFCExportAs** – přiřadí k rodině IFC třídu, např. elektrický motor bude „IfcElectricMotorType“,
- **IFCExportType** – přiřadí k IFC třídě určitý typ, např. pro třídu elektrického motoru to bude typ „DC“.

Výhodou druhé možnosti oproti první je skutečnost, že nemusíme nikde v IFC možnostech měnit nastavení a rodina se vždy převede do správné IFC třídy, a to i při použití v jiném projektu.

V momentě, kdy máme nastavené, jak se jednotlivé Revit rodiny mají převést do IFC tříd, můžeme přejít k exportu samotnému. Revit je schopen převést data do řady IFC verzí, která je dále možné různě modifikovat. Do IFC jsme tak schopni převést informace z výkazu výměr, materiálové charakteristiky, LOD nebo dokonce všechny Revit charakteristiky. Pro export dat z BIM modelu MVE Woolston byla využita verze „IFC2x3 Coordination View“.

¹⁴ Jednotlivé IFC třídy a jejich typy pro verzi IFC 2x3 můžeme najít zde https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC2x3/TC1/HTML/alphabeticalorder_entities.htm

4. VYUŽITÍ BIM MODELU

Vytvořený BIM model MVE Woolston obsahuje kromě grafických informací i řadu negrafických informací, se kterými můžeme dále libovolně nakládat. Jedná se o strukturovaný zápis informací, který lze různě třídit, doplňovat, filtrovat apod. V zásadě není důležité, zdali pracujeme s nativním BIM modelem v Revitu nebo vyexportovaným IFC modelem, oba BIM modely umožňují další práci s daty, což si ukážeme v následující kapitole.

4.1. Vykazování výměr

Stěžejní částí každého projektu je správný výkaz výměr, který slouží jako podklad pro položkový rozpočet. Informace o nákladech jsme prakticky schopni zahrnout do BIM modelu již při jeho samotné tvorbě formou cenových parametrů, jako jednotková cena za m³, m² nebo metr běžný. V této podkapitole je ovšem popsáno pouze stanovení výkazu výměr bez cenových parametrů. Výkaz výměr představuje strukturovaný seznam elementů stavby, který obsahuje informace o objemu, ploše, materiálu a dalších atributů, které jsou vztaženy k určitému prvku stavby. V následujících podkapitolách jsou vyjmenovány 3 způsoby, jak BIM elementy vykazovat, i když lze samozřejmě tvořit výkazy i mnoha dalšími způsoby.

4.1.1. Doplněk Buildingbook

Doplněk „Buildingbook“ je aplikace v Revitu, která je zdarma ke stažení na internetových stránkách společnosti Autodesk. Základní verze obsahuje 2 možná nastavení, a to mezinárodní standard (angl. international standard) a německý VOB standard. Prakticky je vždy vhodné přednastavit, jaké kategorie chceme vykazovat, jinak aplikace vykáže absolutně všechny prvky v BIM modelu. Vytvořený výkaz je následně možné převést do MS Excel nebo exportovat do textového formátu CSV. Nevýhodou je, že při vykazování nemáme kontrolu nad vykazovanými parametry, které jsou předefinované dle použitého standardu.

4.1.2. Standardní vykazování v Revitu

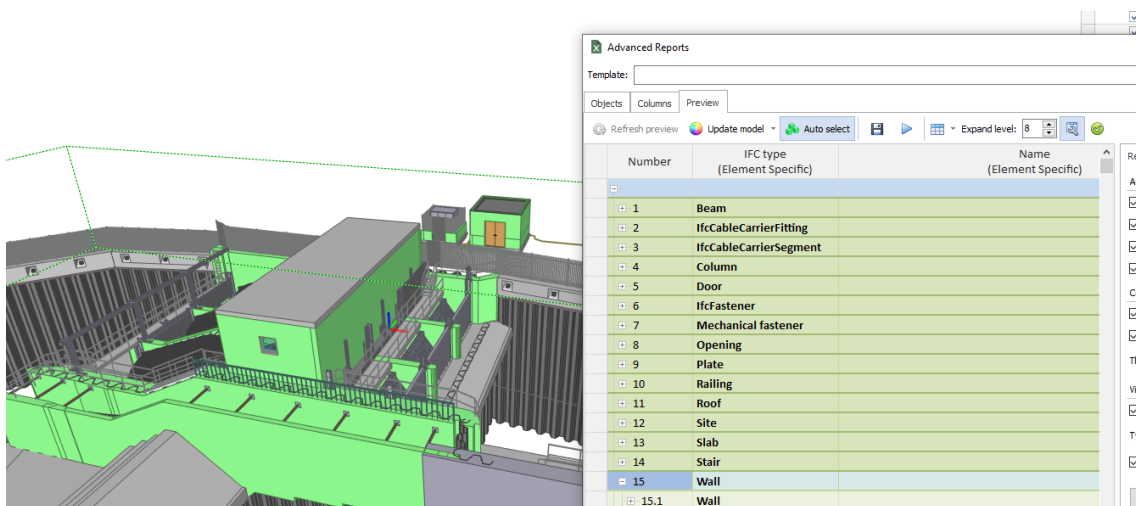
Software Revit obsahuje pokročilý nástroj, jak data v modelu vykazovat. V podstatě neděláme nic jiného, než že data filtrujeme a řadíme na základě námi definovaných pravidel. Pokud budeme např. požadovat výkaz železobetonových konstrukcí, necháme Revit vykázat veškeré rodiny, které jsou tvořeny materiálem železobeton. Pokud zároveň nechceme do výkazu zahrnout již existující konstrukce (násoskový jez, platforma apod.), bude další podmínku

představovat fáze, v jaké byla rodina vytvořena, např. nezahrnout do výkazu veškeré rodiny, které byly vytvořeny ve fázi „Existing“.

Stejně tak můžeme zvolit, které atributy má výkaz obsahovat. U výkazu železobetonu to zřejmě bude objem, plocha, název materiálu a další specifikace. Výhodou je, že již při projektování máme zpětnou odezvu, kolik materiálu spotřebujeme. Výkazy v Revitu jsou plně dynamické a jakékoliv změny v projektu se zobrazí okamžitě i ve výkazech. Výkaz je následně možné exportovat do textového formátu .txt, se kterým lze dále pracovat např. v MS Excel.

4.1.3. Vykazování v IFC modelu

Vykazování výměr je samozřejmě možné i v IFC modelu. Jedním z možných řešení je software BIMvision a placený doplněk „Advanced Reports“. Pomocí doplňku jsme schopni třídít a vykazovat BIM elementy podobně jako v Revitu viz 4.1.2. Výsledný výkaz výměr lze rovněž vyexportovat do MS Excel. Výhodou aplikace je, že přednastavená pravidla pro vykazování je možné uložit a použít na dalších projektech.



Obrázek 62 Výkaz výměr vytvořený přímo v IFC modelu za pomoci softwaru BIMvision aplikace Advanced Reports [snímek obrazovky]

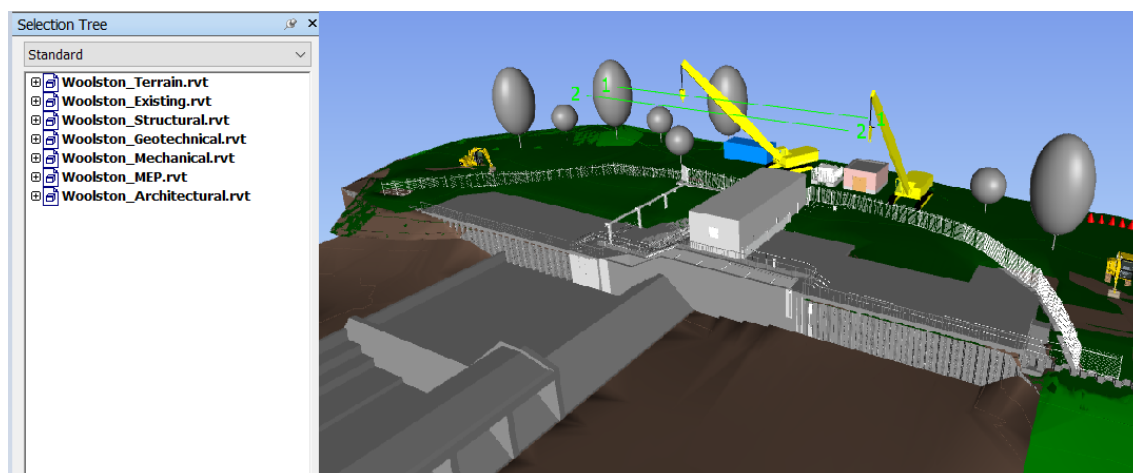
4.2. Simulace výstavby

Následující podkapitola pojednává o tvorbě harmonogramu a s tím spojené simulaci výstavby. Tyto úkony budou provedené v softwaru Navisworks Manage, který je stejně jako Revit produktem společnosti Autodesk a zároveň je součástí již zmiňovaného balíčku „Autodesk AEC“.

4.2.1. Načtení dat do Navisworks Manage

Software Navisworks Manage podporuje import obrovského množství datových formátů napříč softwarovými dodavateli. Díky tomu může sloužit jako prostředek pro výměnu a koordinaci dat. Do softwaru byla načtena data přímo v nativní formě Revitu, a to jako 7 sdružených modelů, které přesně odpovídají pracovním sadám použitým při tvorbě BIM modelu. Jedná se o modely:

- Woolston_Terrain – obsahující model terénu,
- Woolston_Existing – obsahující již existující konstrukce,
- Woolston_Structural – obsahující nosné konstrukce, zejména ŽB prvky,
- Woolston_Geotechnical – obsahující zemní kotvy a štětovnice,
- Woolston_Mechanical – obsahující mechanické prvky jako turbíny, česle atd.,
- Woolston_MEP – obsahující trubní rozvody, kabelové lávky a zařízení strojovny,
- Woolston_Architectural – obsahující prvky jako zábradlí, schodiště a zařízení staveniště.



Obrázek 63 Načtená data v prostředí Navisworks Manage [snímek obrazovky]

Do softwaru jsme tedy načetli každou pracovní sadu zvlášť. Je nutné podotknout, že stejně tak by bylo možné načíst všechna data formou jednoho centrálního modelu. Zároveň platí, že pokud v Revit modelech provedeme jakékoliv změny, převedou se tyto změny automaticky i do Navisworks Manage, nejedná se tedy o statický model, který by nebyl schopný reflektovat proměny v projektu.

4.2.2. Třídění BIM elementů

Jednotlivé BIM elementy je nutné roztrdit do položek, které chceme v harmonogramu a tedy i v časové simulaci zohlednit. Pro roztrdění máme v zásadě k dispozici 2 možnosti:

1. „Search set“ – vyhledání BIM elementů na základě nastavených kritérií,
2. „Selection set“ – jednotlivé BIM elementy označíme ručně a uložíme do položky.

Z praktického hlediska tak představuje 1. možnost „Search set“ podobný proces jako tvorba výkazu výměr v Revitu. Hledáme parametry, na základě kterých jsme schopni vyfiltrovat pouze ty BIM elementy, které obsahují určité parametry a mají určité vlastnosti. Příkladem může být „Search set“, který umožní vyhledat veškeré zemní kotvy v modelu. Stačí zvolit, že požadujeme, aby program hledal v elementech, hledal konkrétně parametr název a tento parametr název musí obsahovat text „Anchor“ z anglického kotva. Program vybere veškeré BIM elementy, které výše uvedené pravidlo splňují. Pokud například v Revitu zvýšíme počet kotev, projeví se tyto změny i v Navisworks Manage, neboť „Search set“ zahrne do položky i nově vytvořené zemní kotvy. Tato pravidla pro vyhledávání lze samozřejmě uložit a použít i na jiném projektu.

„Selection set“ naproti tomu představuje méně komplexní řešení, neboť BIM elementy musíme ručně vybrat a do položky uložit. Pokud se v nativním souboru v Revitu provedou jakékoliv změny, nebudou automaticky reflektovány v Navisworks Manage a nám zůstává pouze ten stejný výběr BIM elementů, se kterými jsme na začátku pracovali.

4.2.3. Tvorba harmonogramu

Harmonogram můžeme v Navisworks Manage tvořit pod kartou „Timeliner“. Prakticky přiřazujeme k jednotlivým položkám, které jsme vytvořili v předchozí podkapitole, údaje o plánovaném počátku a konci, skutečném počátku a konci, materiálových nákladech, nákladech na pracovníky, nákladech na subdodavatele atd.

Harmonogram v Navisworks Manage je možné propojit i z externího zdroje, a to jako:

- Textový formát CSV,
- Microsoft Project,
- Primavera.

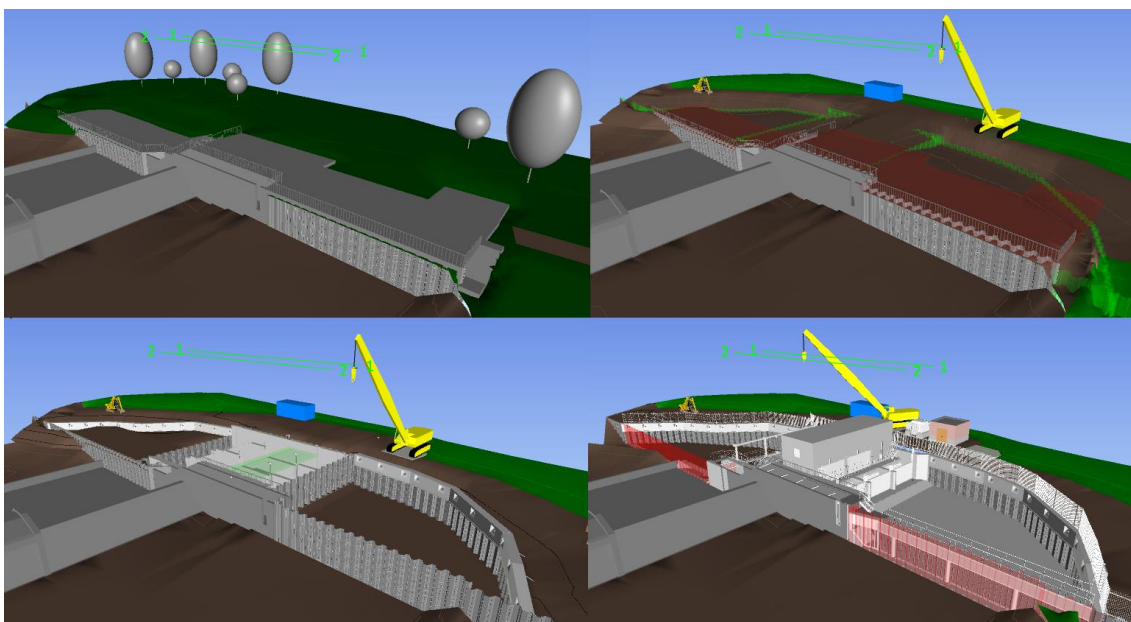
Pro účely tvorby harmonogramu MVE Woolston byl použit MS Excel, ze kterého byl následně vytvořen textový formát CSV, který byl načten do Navisworks Manage. Harmonogram obsahuje názvy položek¹⁵, datum plánovaného začátku a konce, datum skutečného počátku a konce a typ úlohy, kterou má software s položkou vykonat. Celkem se jedná o 5 typů úloh, a to konkrétně:

1. „Construct“ (postavení) – vytvoří v časové simulaci položku,

¹⁵ Je nutné, aby název položky v Navisworks Manage přesně odpovídal názvu položky v CSV (MS Excel) souboru, jinak nedojde k automatickému propojení dat softwarem a harmonogram se nevytvoří.

2. „Demolish“ (demolice) – odstraní v časové simulaci položku,
3. „Temporary“ (dočasné) – položka se vyskytuje pouze po určitou dobu,
4. „Stage“ (fáze) – sdružuje více položek dohromady, např. fáze „STAGE 2 GRID CONNECTION“,
5. „Site component“ (zařízení staveniště) – představuje zařízení staveniště jako jeřáby, bagry, stavební buňky apod.

V momentě, kdy máme vytvořený harmonogram, můžeme spustit časovou simulaci. Ve dnech se nám postupně zobrazují jednotlivé úkony přesně tak, jak jdou po sobě. Výslednou simulaci lze vyexportovat např. do videa pro účely vizualizace. Podstatné ovšem je, že pokud pozměníme časové údaje v CSV souboru (MS Excel), přepíší se automaticky údaje i do Navisworks Manage, čímž jsme získali opět dynamický systém, který je schopný reflektovat změny.



Obrázek 64 Zobrazení časové simulace ve 4 různých časových momentech, vlevo nahoře původní stav, vpravo nahoře vibrování štětovnic, vlevo dole konstrukce podlahy strojovny, vpravo dole - upalování štětovnic na vtoku a výtoku [snímek obrazovky]

4.3. Detekce kolizí

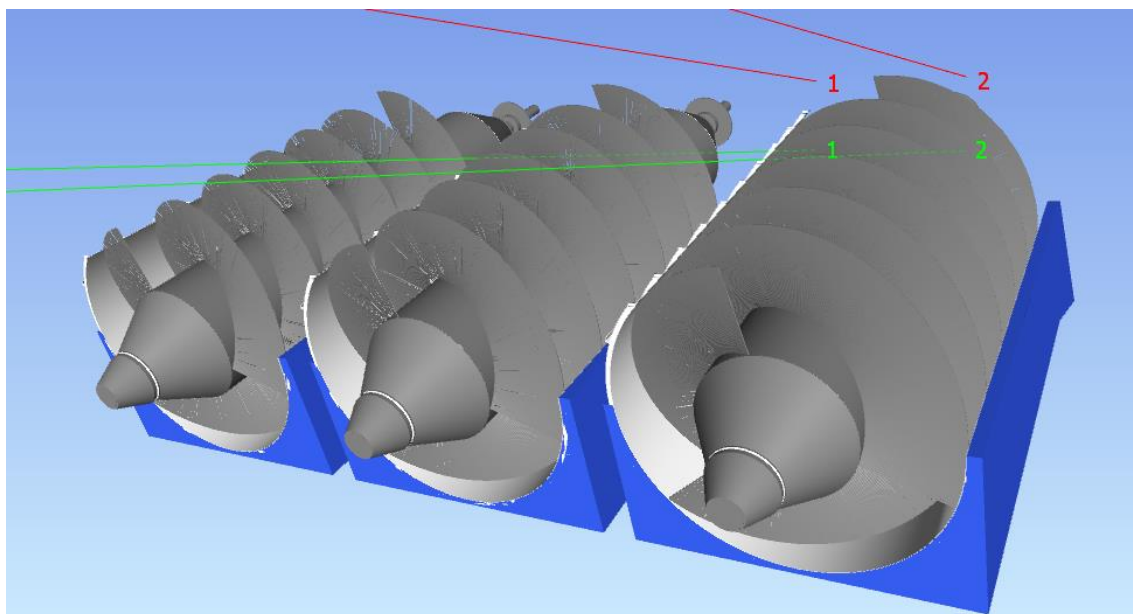
Dalším možným využitím softwaru Navisworks Manage je provádění tzv. detekce kolizí. Jak již z názvu plyne, jedná se o porovnání BIM elementů a určení, zdali geometrie jednoho koliduje s geometrií druhého. V zásadě nemá smysl kontrolovat všechny BIM elementy vůči sobě, neboť bychom dostali tisíce možných kolizí, které by stejně nikdo nebyl schopný zpracovat. To je dáno i tím, že v prostředí softwaru máme načtené BIM elementy v různých fázích výstavby a např.

informace o tom, že původní demolovaná deska koliduje s turbínou, která je na stavbu přivezena reálně až po dokončení demolic, o ničem nevypráví.

Své uplatnění získává detekce kolizí při aplikaci na konkrétnější problémy jako např. kolize výztuže a ocelových štětovic, nebo Archimédovy turbíny a železobetonového základu nebo trubních „chrániček“ a železobetonových stěn. V tomto duchu byly demonstrativně provedeny 2 následující testy kolizí. První sleduje geometrii Archimédových turbín a jejich železobetonového základu, zde kolizi rozhodně nesmíme dopustit, neboť turbína se musí otáčet. Druhý test porovnává geometrii ocelových štětovic a železobetonových věnců, zde naopak software musí zobrazit kolizi viz 3.3.1.

4.3.1. Kolize Archimédových turbín

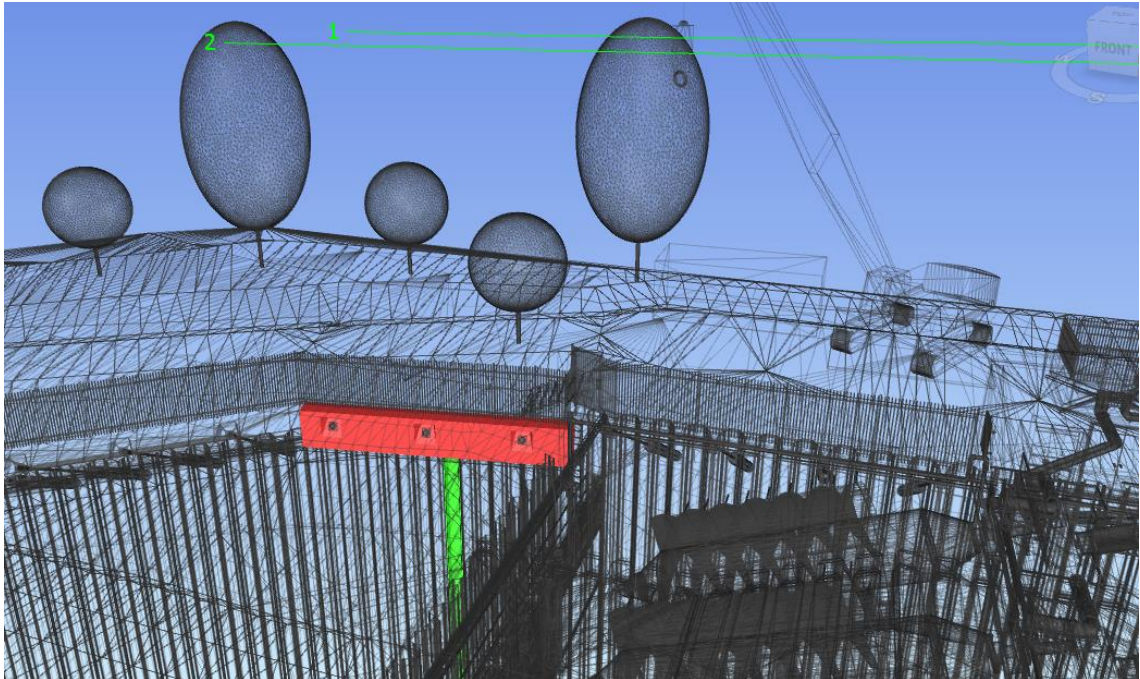
První test kolizí se tedy týká konkrétně Archimédových turbín a jejich železobetonového základu. Test byl proveden s přesností 0.001 m a neodhalil žádné kolize. Z toho vyplývá, že návrh je správný a turbína by měla být schopná fungovat.



Obrázek 65 Vybrané BIM elementy pro detekci kolizí v prvním testu [snímek obrazovky]

4.3.2. Kolize štětovic a železobetonových věnců

V druhém testu pro porovnání zvolíme nově vytvořené štětovnice a železobetonové věnce. Zde není nutné volit tak vysokou přesnost, jako v přechozím případě, a proto jí stanovíme na 0.01 m. Software odhalil celkem 92 kolizí, které odpovídají počtu štětovic a železobetonových věnců. Kolize jsou samozřejmě dány tím, že jsme nevytvářeli pro každou štětovnici zvlášť otvor, který vytvoří svým průnikem v železobetonovém věnci.



Obrázek 66 Zobrazení jedné z kolízi mezi ocelovou štětovnicí a železobetonovým věncem [snímek obrazovky]

4.4. Přínos BIM pro projekt Woolston

V ideálním případě by byl proces BIM implementován pro projekt MVE Woolston již v prvotní fázi příprav. Retrospektivně je definování možných přínosů na projekt poměrně problematické, neboť hlavní přínosy BIM jako provádění změn v projektu, vykazování výměr, koordinace profesí apod. není možné vyzkoušet v praxi.

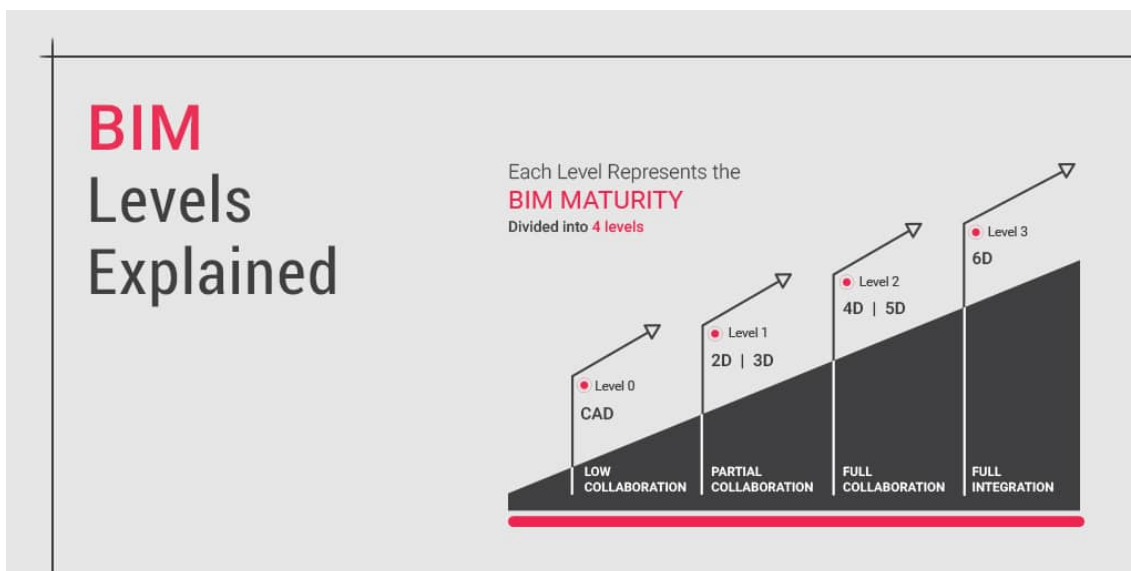
Retrospektivní analýza nákladů a přínosu metody BIM je nicméně možná pomocí materiálu vypracovaného mezinárodní skupinou EU BIM Task Group¹⁶. Skupina vytvořila veřejně dostupný dokument (MS Excel), kde lze na základě indikátorů vyhodnotit, zdali má použití BIM na konkrétní projekt smysl, a to i retrospektivně. Na dokumentu se podíleli experti napříč zeměmi EU a v analýze jsou zohledněny poznatky ze skutečných projektů realizovaných za pomoci metody BIM. [38]

Na přání investora nejsou zveřejněny konkrétní finanční náklady, nicméně indikátory jako poměr přínosů a nákladů jsou uvedeny níže. Prázdný dokument „Analýza nákladů a přínosů metody BIM“ je součástí příloh. Vstupy do analýzy tvoří informace jako:

¹⁶ Dokument je veřejně dostupný na <https://www.koncepcebim.cz/1001-vyplati-se-pouzit-bim-spocitejte-si-to>

- informace popisující zkušenost organizace s informačním modelováním,
- zdali se analyzovaný projekt týká nové nebo již existující stavby,
- výše nákladových položek,
- počet let fáze provádění stavby a plánování projektu,
- zdali bude použito CDE,
- míra inflace,
- úroveň podrobnosti BIM modelu,
- zdali se jedná o infrastrukturální stavbu,
- složitost systémů chlazení, potrubí, elektroinstalací apod.

Dokument pracuje se 2 úrovněmi vyspělosti BIM, a to konkrétně s úrovněmi 1 a 2¹⁷.



Obrázek 67 United-BIM.com, úrovně vyspělosti informačního modelování BIM [schéma]

Na základě vstupních informací o projektu Woolston byla vypracována následující tabulka, která zobrazuje celkový poměr přínosů a nákladů a jednotlivé ekonomické poměry přínosů a nákladů. Hodnoty jednotlivých indikátorů jsou stanoveny pro 2 různé úrovně vyspělosti BIM a zohledňují 3 možné scénáře, které mohou během adopce BIM do projektu nastat. Konkrétně odhad optimistický, základní a pesimistický.

Tabulka 5 Vyhodnocení analýzy nákladů a přínosů metody BIM na projekt

Malá vodní elektrárna Woolston		
Benefit-Cost Ratio	Odhad:	BIM úroveň vyspělosti

¹⁷ Více informací na: <https://www.united-bim.com/bim-maturity-levels-explained-level-0-1-2-3/>

		Level 1	Level 2
Celkový poměr přínosů a nákladů	Optimistický	3.50	3.76
	Základní	3.14	3.14
	Pesimistický	2.80	2.93
Celkový ekonomický poměr přínosů a nákladů	Optimistický	4.28	4.55
	Základní	3.91	4.09
	Pesimistický	3.56	3.65
Ekonomický poměr přínosů a nákladů při plánování a navrhování	Optimistický	-	2.50
	Základní	-	2.18
	Pesimistický	-	1.89
Ekonomický poměr přínosů a nákladů při provádění stavby	Optimistický	66.07	27.63
	Základní	56.80	23.31
	Pesimistický	48.98	19.79
Ekonomický poměr přínosů a nákladů při provoz a údržbu	Optimistický	0.73	1.40
	Základní	0.68	1.30
	Pesimistický	0.64	1.20

Indikátor poměru přínosů a výdajů (angl. Benefit-Cost Ratio) popisuje vztah mezi přínosy a náklady spojenými s implementací BIM do projektu. Je důležité zmínit, že indikátor nezohledňuje sociální ani environmentální aspekty. Indikátor ekonomického poměru přínosů a nákladů, na rozdíl od předchozího indikátoru, zohledňuje sociální a environmentální aspekty.

- Pokud je hodnota indikátoru větší než 1 ($i > 1$), znamená to, že přínosy (vyjádřené ve finančních prostředcích) převažují nad výdaji, tzn. BIM je vhodné implementovat.
- Pokud je hodnota indikátoru rovna 1 ($i = 1$), znamená to, že přínosy přesně odpovídají výdajům.
- Pokud je hodnota indikátoru menší než 1 ($i < 1$), znamená to, že výdaje převažují nad přínosy a implementace BIM není rentabilní.

Z Tabulka 5 je patrné, že celkově by měla implementace BIM na projekt MVE Woolston kladný dopad. Celkový poměr přínosů a výdajů vyšel větší než 1, a to pro všechny 3 scénáře. Jedinou fází, kde by přínosy nepřekonal výdaje je fáze provozu a údržby, a to pouze při úrovni vyspělosti 1.

4.5. Časová náročnost pořízení BIM modelu

BIM model byl vyhotoven na základě dostupných DWG výkresů a dalších podkladů ve stupni DPS. Celková časová náročnost pořízení modelu je uvedena v Tabulka 6. Časová náročnost byla rozdělena zvlášť do samotného modelování BIM (ČAS) a tvorby jednotlivých rodin, BIM

elementů (RODINY). Důvodem tohoto rozdělení je skutečnost, že na dalším projektu mohou být rodiny znovu použité, čímž dojde ke zkrácení celkové doby pořízení modelu.

Tabulka 6 Časová náročnost převedení stávající DPS dokumentace do BIM, časová jednotka 1 den byl uvažován jako 8 pracovních hodin

Tvorba BIM modelu		ČAS [DEN]	RODINY [DEN]	ČAS + RODINY [DEN]
TVORBA BIM MODELU	Betonové konstrukce (Woolston_Structural)	4	4	8
	Existující konstrukce (Woolston_Existing)	3	0	3
	Zakládání (Woolston_Geotechnical)	3	4	7
	Mechanické prvky (Woolston_Mechanical)	2	7	10
	TZB (Woolston_MEP)	5	0	5
	Teréní úpravy (Woolston_Terrain)	5	0	5
	CELKEM	22	16	38
PRÁCE S BIM MODELEM	Harmonogram a časová simulace	5	0	5
	Výkazy výměr	1	0	1
	Export do IFC	2	2	4
	Vizualizace	1	0	1
	Výkresy	3	0	4
	Provádění změn v modelu	2	0	4
	CELKEM	15	2	21
CELKEM		36	17	53

Je nutné podotknout, že na rozdíl od pořízení původní 2D dokumentace představuje převedení do BIM zjednodušený proces, neboť návrh MVE Woolston již byl vytvořen a BIM model je pouze jiný způsob uložení informací. Za zmínku ovšem stojí časová náročnost provádění změn, kde BIM značně ulehčuje práci.

Velkou výhodou je skutečnost, že změna provedená v řezu, 3D pohledu nebo půdorysu se automaticky převede i do ostatních výkresů. Tato změna bude automaticky reflektována i ve výkazu výměr, a prostřednictvím Navisworks Manage se promítne i do harmonogramu a časové simulace. Pokud bychom např. museli změnit rozměry strojovny, jako tomu bylo i při projektování MVE Woolston, stačí nám pro provedení této změny poměrně krátká časová doba, v řádu několika hodin (pokud nebude nutné změnit rozvržení výztuže).

Pro referenční účely je níže uvedena i Tabulka 7, které obsahuje čas, který strávil projektant MVE Woolston na tvorbě projektové dokumentace. Z tabulky vyplývá, že bylo nutné změnit rozměry strojovny, a takováto aktualizace výkresové dokumentace trvala 15 pracovních dní.

Tabulka 7 Časová náročnost pořízení klasické 2D dokumentace projektu Woolston

Tvorba původní projektové dokumentace		ČAS [DEN]
DSP	STUDIUM PODKLADŮ	5
	OPTIMALIZACE A VÝPOČTY, INTERNÍ PROJEDNÁNÍ	5
	VÝKRESY	10
	VIZUALIZACE - SKETCH UP	2
	TECHNICKÁ ZPRÁVA	3
	CELKEM	25
DPS 1	OPTIMALIZACE A VÝPOČTY, INTERNÍ PROJEDNÁNÍ	4
	TECHNICKÁ ZPRÁVA	8
	VÝKRESY	15
	KOORDINACE PROFESE - TECHNOLOGIE, VZDUCHOTECHNIKA, ELEKTROSTATIKA	3
	CELKEM	30
DPS 2	VÝKRESY STAVEBNÍ, ZMENŠENÍ STROJOVNY	15
	KOORDINACE PROFESE - TECHNOLOGIE, VZDUCHOTECHNIKA ELEKTRO	4
	ZADÁNÍ + KONTROLA STATIKA VÝZTUŽE	8
	CELKEM	27
DPS 3	VÝKRESY STAVEBNÍ	20
	VÝKRESY - DROBNÉ OCELOVÉ PRVKY	20
	CELKEM	40
CELKEM		122

ZÁVĚR

Předkládaná diplomová práce byla věnována informačnímu modelování BIM a jeho aplikaci na projekt malé vodní elektrárny Woolston. Na základě investorem poskytnuté projektové dokumentace ve fázi DPS se podařilo vytvořit BIM model elektrárny. Pro tvorbu modelu byl využit software Revit, v kombinaci s AutoCAD referencemi. Dále se při tvorbě modelu uplatnil software Civil 3D pro tvorbu terénních úprav a Naviswork Manage pro propojení BIM modelu s harmonogramem.

Při tvorbě modelu bylo nutné vytvořit řadu nových Revit rodin – BIM elementů, které použité softwary standardně neobsahují. Jedním z takovýchto elementů je rodina zemních kotev, která je díky parametrizaci použitelná i na dalších projektech s tím, že stačí pouze přepsat hodnoty parametrů a geometrie, a další vlastnosti rodiny se automaticky přebudují.

V práci jsou i nastíněny možnosti, jakými lze využívat vizuální programování, konkrétně Dynamo pro tvorbu složitějších geometrií a částečnou automatizaci návrhu. Příkladem aplikace Dynama pro generování složité geometrie je Archimédova turbína, neboť pomocí standardních nástrojů Revitu by turbínu nebylo možné vytvořit. Rodina ocelových štětovnic a aplikace pro jejich automatické vkládání do modelu pak představuje ukázkou automatizovaného návrhu. Štětovnice se automaticky vkládají podél předem definované trajektorie a šetří tak čas, který je nutný k jejich zanesení do modelu. Případná změna trajektorie nebo profilu štětovnice v modelu je otázkou několika minut. Aplikace je samozřejmě použitelná na dalších projektech.

Kromě tvorby BIM modelu jsou v práci zmíněny i způsoby jeho využití. Konkrétně vykazování výměr, vizualizace, generování výkresů a propojení BIM elementů s harmonogramem. Výkazy výměr byly provedeny přímo v Revitu jednak pomocí doplňku „Buildingbook“, který vykázal vybrané elementy v MS Excel, tak i pomocí standardních nástrojů Revitu, kde máme přece jenom větší svobodu, jak výkaz tvořit. Třetím způsobem zmiňovaným v práci je vykazování přímo v IFC modelu. Vizualizace, které jsou součástí příloh, byly tvořeny jednak pomocí renderování v Revitu, tak i pomocí doplňku Enscape.

Tvorba výkresů, jako jsou řezy a půdorysy probíhala po celou dobu tvorby BIM modelu. Zužitkována zde konkrétně byla skutečnost, že změna provedená v jednom výkresu se projeví i ve všech ostatních výkresech a BIM modelu jako celku. Pro publikování výkresů stačilo řezy a půdorysy okótovat a doplnit dalšími popisky.

Pro tvorbu harmonogramu a tedy i časové simulace bylo využito prostředí Navisworks Manage a MS Excel. BIM elementy byly načteny a roztříděny do jednotlivých položek, které odpovídaly položkám harmonogramu v MS Excel. Časové údaje jako plánované zahájení

činnosti, plánované ukončení činnosti, skutečné zahájení činnosti a skutečné ukončení činnosti byly z MS Excel do Navisworks Manage načteny pomocí textového formátu CSV. Tímto byl vytvořen dynamický systém, který je schopný reagovat na změny. Pokud přepíšeme údaje v MS Excel, promítnou se změny i v Navisworks Manage. Pokud v Revitu odstraníme nebo naopak přidáme některé konstrukce, promítnou se tyto změny automaticky i v Navisworks Manage.

Práce obsahuje i to, jako dlouho trvá pořízení BIM modelu a jeho jednotlivých částí. Časové údaje zahrnují i čas strávený na tvorbě nových rodin – BIM elementů. Podařilo se i prokázat, alespoň na teoretické bázi, že implementace BIM by na projektu byla rentabilní, a to pro optimistický i pesimistický scénář zároveň. Důležité je zmínit, že skutečný přínos a rentabilitu BIM by bylo možné kvantifikovat pouze v případě, že by na projektu byl BIM od začátku použit. Výhody BIM jako částečná automatizace návrhu, rychlejší provádění změn, koordinace, vykazování výměr a indikátory přínosů a nákladů nasvědčují tomu, že BIM rentabilní je.

Modely stavidel, vzduchotechniky, provizorní hrazení apod. vytvořené specializovanými projektanty ve vlastních programech se podařilo převést do Revit rodin a následně použít v BIM modelu. Nativní data vytvořená v Revitu se podařilo převést do IFC. K nově vytvořeným rodinám – BIM elementům jako Archimédova turbína, ocelová štetovnice, stavidla apod. se přiřadily odpovídající IFC třídy. Samotná práce a možná editace IFC dat je možná prostřednictvím open-source programů jako je Blender a jeho doplňku BlenderBIM.

BIBLIOGRAFIE

- STRUTHERS, T. The Greater Manchester Experience. WHITE, K.N., E.G. BELLINGER, A.J.
- 1] SAUL, M. SYMES a K. HENDRY. *Urban Waterside Regeneration: Problems and Prospects*. 1st. Chichester, England: Ellis Horwood Ltd, 1993, s. 61-71. ISBN 9780139286230.

STORK, David. AECOM LIMITED. *Manchester Ship Canal Company Water Level Control*

 - 2] - *Operational Protocol* [online]. Liverpool, England: AECOM Limited, 2011, 32 s. 60144094/REPORT/001. Dostupné také z: <http://www.hwa.uk.com/site/wp-content/uploads/2018/02/MP.6.C.4-Appendix-D-MSCC-Water-Level-Control-Operational-Protocol.pdf>

About tides – The River Mersey. *National Tidal and Sea Level Facility* [online].

 - 3] Liverpool: Tucows Domains Inc., 2008 [cit. 2021-11-09]. Dostupné z: <https://ntslf.org/about-tides/river-mersey>

MODE WHEEL. In: *Hydropol.cz* [online]. Praha: Hydropol s.r.o., 2006 [cit. 2021-11-08].

 - 4] Dostupné z: <https://www.hydropol.cz/1998-2019/mode-wheel/>

BARTON LOCKS. *Hydropol.cz* [online]. Praha: Hydropol s.r.o., 2006 [cit. 2021-11-08].

 - 5] Dostupné z: <https://www.hydropol.cz/1998-2019/barton-locks/>

TONKS, Dace, Ray HOWELLS, Roger BETTESS a Mark MORRIS. *Woolston New Weir and River Mersey Diversion* [online]. **2002**, 51-61 [cit. 2021-11-10]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1680/wame.2002.154.1.51>

IKEDIASHI, Charles, Sam BILINGTON a Jamie STEVENS. The origins of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) recolonizing the River Mersey in northwest England. *Ecology and Evolution* [online]. University of Exeter, 2012, **2012**(2), 1-12 [cit. 2021-11-10]. Dostupné z: doi:[10.1002/ece3.353](https://doi.org/10.1002/ece3.353)

RIDER, Richard a Oliver KIRKHAM. Woolston Weir Hydroelectric Project: Planning Application Supporting Document. <https://myplanning.warrington.gov.uk/> [online]. Brimscombe, Anglie, 2013, **2013**(3), 1-33 [cit. 2021-11-10]. Dostupné z: <https://myplanning.warrington.gov.uk/Planning/StreamDocPage/obj.pdf?DocNo=7431354&PageNo=1&content=obj.pdf>

Woolston. *Hydropol.cz* [online]. Praha: Hydropol s.r.o., 2006 [cit. 2021-11-10].

 - 9] Dostupné z: <https://www.hydropol.cz/1998-2019/woolston/>

- ČESKÁ REPUBLIKA. *Koncepce zavádění metody BIM v České republice*. In: . Praha:
- 10] Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2017, ročník 2017, číslo 1. Dostupné také z: <https://www.koncepcebim.cz/uploads/inq/files/Koncepce%20zav%C3%A1d%C4%9Bn%C3%AD%20metody%20BIM%20v%20C4%8CR.pdf>
- ANTWI-AFARI, M.F, H. LI, E.A. PÄRN a D.J. EDWARDS. Critical success factors for
- 11] implementing building information modelling (BIM): A longitudinal review. *Automation in Construction* [online]. Hong Kong Polytechnic University, 2018, **2018**(2018), 1-11 [cit. 2021-11-13]. Dostupné z: doi:10.1016/j.autcon.2018.03.010
- Najdicde.cz* [online]. Ktis, Jihočeský Kraj: najdicde.cz, 2011 [cit. 2021-11-23].
- 12] Dostupné z: <https://najdicde.cz/>
- AGARWAL, Rajat, Shankar CHANDRASEKARAN a Mukund SRIDHAR. *Imagining*
- 13] *construction's digital future: Capital Projects and Infrastructure*. 1. Singapur: McKinsey Productivity Sciences Center, 2016, 1-14 s. Dostupné také z: <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Capital%20Projects%20and%20Infrastructure/Our%20Insights/Imagining%20constructions%20digital%20future/Imagining-constructions-digital-future.pdf>
- MATĚJKA, Petr. *Rizika související s implementací Informačního modelování budov*
- 14] *(BIM)*. Praha, 2017. DISERTAČNÍ PRÁCE. ČVUT. Vedoucí práce Ing. Vilém Berka, PhD.
- Stanovisko k využití formátu IFC v návaznosti na opatření č. 7 UV č. 682*. In: . Praha:
- 15] Česká agentura pro standardizaci, 2019, ročník 2019, č.7 UV č.682. Dostupné také z: https://www.koncepcebim.cz/uploads/inq/files/CAS_Stnovisko_vyuzitii_IFC%20%281%29.pdf
- BuildingSmart International Ltd* [online]. Hertfordshire: BUILDINGSMART.ORG, 2004
- 16] [cit. 2021-11-16]. Dostupné z: <https://www.buildingsmart.org/>
- BALDWIN, Mark. *The BIM-Manager: A Practical Guide for BIM Project Management*.
- 17] 1. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2019. ISBN 978-3-410-26821-5.
- MALEWCZYK, Michał. The usage of the openBIM idea in architectural design on the
- 18] example of Blender and BlenderBIM add-on. *Architecturs* [online]. Gdansk: Gdansk University of Technology, 2021, (2), 99-14 [cit. 2021-11-18]. Dostupné z: doi:10.37190/arc210210

- ISO 16739-1:2018. *Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the*
 19] *construction and facility management industries*. 1. Ženeva, Švýcarski: International
 standardisation organisation, 2018.
- OLATUNJ, A.O. Modelling the costs of corporate implementation of building
 20] information modelling. *Journal of Financial Management of Property and Construction*.
 Emerald insight, 2011, **2011**(16), 211-231. Dostupné z: doi:10.1108/13664381111179206.
- What is Free Software: The Four Freedoms. *Fsfe.org* [online]. Nuernberg: Free
 21] Software Foundation Europe e.V., 2001 [cit. 2021-11-18]. Dostupné z:
<https://fsfe.org/freesoftware/freesoftware.en.html#translations>
- Blender.org. *Blender.org* [online]. 2014: blender, 2000 [cit. 2021-11-20]. Dostupné z:
 22] <https://www.blender.org/>
- Blenderbim.org. *Blenderbim.org* [online]. Nuernberg: Hetzner Online Ag, 2019 [cit.
 23] 202-11-20]. Dostupné z: <https://blenderbim.org/>
- STRPSS-RADSCHINSKI, Armin C. PSF Python Brochure: a programming language
 24] changes the world. *Python.org* [online]. Praha: Hetzner Online GmbH, 2011, , s. 1-32 [cit.
 2021-11-21]. Dostupné z: <https://brochure.getpython.info/media/releases/psf-python-brochure-vol.-i-final-download.pdf/view>
- Dynamo: Primer* [online]. Lansing, Michigan, USA: Autodesk, Inc, 2013 [cit. 2021-11-
 25] 28]. Dostupné z: <https://primer.dynamobim.org/>
- KALFA, Sibel Maçka. Building information modeling (BIM) systems and their
 26] applications in Turkey. *Journal of Construction Engineering, Management and Innovation*
 [online]. 2018, **2018**(1), 55-66 [cit. 2021-11-21]. Dostupné z:
 doi:10.31462/jcemi.2018.01055066
- Tekla: Software Solutions. *Tekla.com* [online]. Dublin: Instra Corporation Pty Ltd.,
 27] 1996 [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: <https://www.tekla.com/products>
- Autodesk.cz: Produkty* [online]. Seattle, Washington: Akamai Technologies Inc., 2019
 28] [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: <https://www.autodesk.cz/>
- ONUR, Zeynep a Fatemeh NOUBAN. BIM Software in Architectural Modelling.
 29] *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering* [online]. Blue
 Eyes Intelligence Engineering and Sciences Publication, 2019, **2019**(8), 2089-2093 [cit.
 2021-11-21]. Dostupné z: doi:10.35940/ijitee.K1968.0981119

BOIKO, Artem. Lobbyist Wars and the Development of BIM: Part 1: Format STEP-IFC
30] and how Revit conquered the CAD world. In: *Linkedin.com* [online]. Sunnyvale, CA, USA: LinkedIn Corporation, 2002 [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/pulse/lobbyist-wars-bim-development-part-1-format-step-ifc-creation-artem/>

BOIKO, Artem. Lobbyist Wars and the Development of BIM: art 2: open BIM VS closed
31] BIM. Revit vs ArchiCAD and Europe VS the Rest of the World. In: *Linkedin.com* [online]. Sunnyvale, CA, USA: LinkedIn Corporation, 2002 [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/pulse/lobbyist-wars-development-bim-part-2-open-vs-closed-revit-boiko-artem>

AEC Collection. *Www.autodesk.cz* [online]. Seattle, Washington: Akamai
32] Technologies Inc., 2000 [cit. 2021-11-23]. Dostupné z: <https://www.autodesk.cz/collections/architecture-engineering-construction/included-software>

Account Management: Global travel rights. *Knowledge.autodesk.com* [online].
33] Seattle, Washington: Akamai Technologies Inc., 2000 [cit. 2021-11-23]. Dostupné z: <https://knowledge.autodesk.com/customer-service/account-management/users-software/global-travel-rights>

Terms of use. *Autodesk.com* [online]. Seattle, Washington: Akamai Technologies Inc.,
34] 2000 [cit. 2021-11-23]. Dostupné z: <https://www.autodesk.com/company/terms-of-use/en/general-terms>

CIMALA, Lukáš, Jakub NOVOTNÝ, Josef REMEŠ a Rudolf VYHNÁLEK. *Revit ve stavební*
35] *praxi*. 1. Brni: VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, FAKULTA STAVEBNÍ, 2014. ISBN 978-80-214-4966-4.

About Coordinate Systems. *Knowledge.autodesk.com* [online]. Seattle, Washington:
36] Autodesk, Inc, 1989 [cit. 2021-11-24]. Dostupné z: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2020/ENU/Revit-Model/files/GUID-E67ED082-2556-475B-84A7-4605329F612F-htm.html>

ČSN EN ISO 19650-1. *Organizace a digitalizace informací o budovách a inženýrských*
37] *stavebách včetně informačního modelování staveb (BIM) – Management informací s*

využitím informačního modelování staveb: Část 1: Pojmy a principy. 1. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2019.

Koncepbim.cz [online]. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018 [cit. 2020-38] 04-15]. Dostupné z: <https://www.koncepbim.cz/>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 THE JOHN RYLANDS UNIVERSITY LIBRARY, plán Manchesterského průplavu z roku 1885 [schéma], dostupné na WWW: https://personalpages.manchester.ac.uk/staff/m.dodge/mappingmanchester/leech/Manchester_Ship_Canal.html	16
Obrázek 2 HALCROW GROUP LTD., schéma Manchesterského průplavu [schéma], dostupné na WWW: http://www.hwa.uk.com/site/wp-content/uploads/2018/02/MP.6.C.4-Appendix-D-MSCC-Water-Level-Control-Operational-Protocol.pdf	17
Obrázek 3 HANUS, D., pohled na vodní dílo Mode Wheel [fotografie]	18
Obrázek 4 HANUS, D., pohled na vodní dílo Irlam [fotografie]	19
Obrázek 5 HANUS, D., pohled na vodní jezy Woolston (vlevo) a Woolston Guard (vpravo) [fotografie]	20
Obrázek 6 TONKS, D. M.; HOWELLS, R.; BETTESS, R. a kol., výstavba nového jezu 1993-94 [fotografie], dostupné na WWW: https://www.icevirtuallibrary.com/doi/pdf/10.1680/wame.2002.154.1.51	21
Obrázek 7 TONKS, D. M.; HOWELLS, R.; BETTESS, R. a kol., řez sifonem a vývarem [schéma], dostupné na WWW: https://www.icevirtuallibrary.com/doi/pdf/10.1680/wame.2002.154.1.51	23
Obrázek 8 TONKS, D. M.; HOWELLS, R.; BETTESS, R. a kol., půdorys jezu [schéma], dostupné na WWW: https://www.icevirtuallibrary.com/doi/pdf/10.1680/wame.2002.154.1.51	23
Obrázek 9 HANUS, D., postup výstavby, vlevo - příprava staveniště, uprostřed - nová linie Larsen a železobetonový věnec, vpravo stavební jáma a armování základové desky [fotografie]	25
Obrázek 10 HANUS, D., průběh výstavby, vlevo - armování strojovny, vpravo - pohled na stavbu [fotografie]	26
Obrázek 11 GRASS, Alexander, rozdíl mezi sdílením dat tradiční formou a ve společném datovém prostředí [schéma], dostupné na WWW: https://www.bimspot.io/blogs/common-data-environments-cde-for-bim-projects/	28
Obrázek 12 HILDEBRAMDT, Nathan, spolupráce 2 BIM nástrojů pomocí IFC [schéma], dostupné na WWW: https://www.skewed.com.au/blog/reasons-openbim-necessary#.YZQiLmDMJEY.. 33	33
Obrázek 13 IFC model turbíny – zápis jako struktura (vlevo), načtení dat jako 3D modelu (střed), textový zápis STEP (vpravo) [snímek obrazovky]	35
Obrázek 14 Prostá geometrie vytvořená v Blenderu - krychle o hraně 2 m [snímek obrazovky]	38

Obrázek 15 ifcWall, jako datová struktura (vlevo), geometrie (střed), textový zápis ve STEP (vpravo) [snímek obrazovky].....	39
Obrázek 16 Vygenerované atributy [snímek obrazovky].....	39
Obrázek 17 IFC model archimédovy turbíny načtený v Blenderu pomocí BlenderBIM [snímek obrazovky].....	41
Obrázek 18 Změna klasifikace elementu z IfcBuildingElementProxy na IfcEquipmentElement v usBIM.viewer [snímek obrazovky].....	41
Obrázek 19 BIM model v IFC obsahující 5 různých stěn usBIM.viewer [snímek obrazovky].....	42
Obrázek 20 Editace IFC za pomoci Pythonu v Blenderu [snímek obrazovky].....	43
Obrázek 21 Zobrazení editovaného IFC modelu v usBIM.viewer [snímek obrazovky].....	44
Obrázek 22 Vizualní programování, vlevo nahoře pomocí textového editoru, vlevo dole pomocí uzlů, vpravo vygenerovaná geometrie [snímek obrazovky]	45
Obrázek 23 BOIKO, Artem, vývoj používání BIM softwarů mezi lety 2006 a 2020 [mapa], dostupné na WWW: https://www.linkedin.com/pulse/lobbyist-wars-development-bim-part-2-open-vs-closed-revit-boiko-artem	47
Obrázek 24 AUTODESK, Help, 1) Zeměměřičský koordinační systém 2) Projektový koordinační systém [schéma], dostupné na WWW: https://knowledge.autodesk.com/support/revit/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2020/ENU/Revit-Model/files/GUID-E67ED082-2556-475B-84A7-4605329F612F-htm.html	51
Obrázek 25 Zobrazení koordinačního výkresu a převzetí souřadnicového systému [snímek obrazovky].....	51
Obrázek 26 Načtené CAD reference, 1) zobrazení ve 3D pohledu, 2) řez "Section 1", 3) půdorys "Plan A" [snímek obrazovky].....	53
Obrázek 27 Schéma spolupráce v rámci pracovních sad [schéma]	54
Obrázek 28 ŽB věnce, s geotechnickými kotvami a ocelovými štetovnicemi [snímek obrazovky]	56
Obrázek 29 Pohled na Základovou desku kopírující po obvodu tvar štetovnic [snímek obrazovky]	57
Obrázek 30 Zobrazení středového pilíře ve 3D a v půdorysu [snímek obrazovky].....	59
Obrázek 31 Patka pod turbínu s vyobrazením kotevního ložiska. Sekundární část je vyznačena modře [snímek obrazovky]	60
Obrázek 32 Tvorba sekundární patky v editoru rovin, 1) vynesení pracovních rovin, 2) Tvorba geometrie a vazeb, 3) Tvorba parametrů upravující rozměry [snímek obrazovky].....	60
Obrázek 33 Napojení na vývar [snímek obrazovky].....	61

Obrázek 34 Budova strojovny, modře označená šikmá stěna s prostupy pro Archimédovu turbínu [snímek obrazovky]	62
Obrázek 35 Násoskový jez, 1) 3D zobrazení se zvýrazněním hran 2) Řez bočním přelivem 3) Řez sifonem a vývarem	63
Obrázek 36 Tvorba rodiny štětovnic, 1) definování profilu, 2) trajektorie pro vysunutí profilu, 3) 3D geometrie popsána dalšími parametry [snímek obrazovky]	64
Obrázek 37 Budoucí trajektorie stěny z ocelových štětovnic obsahující přímku, oblouk a tzv. spline [snímek obrazovky]	66
Obrázek 38 Vstupy do Dynama [snímek obrazovky]	66
Obrázek 39 Uzly, pomocí kterých byl definován počet potřebných štětovnic [snímek obrazovky]	67
Obrázek 40 Tvorba dvou listů úhlů, které určují pootočení pro každou jednu štětovnici vůči tečnám vedeným v bodech na trajektorii [snímek obrazovky].....	68
Obrázek 41 Tvorba instancí rodin v Revitu a pootáčení instancí vůči trajektorii [snímek obrazovky].....	69
Obrázek 42 Nově vytvořená štětovnicová stěna, vlevo zobrazení v půdorysu, vpravo zobrazení ve 3D	69
Obrázek 43 Definování vstupů pro tvorbu geometrie turbíny [snímek obrazovky]	70
Obrázek 44 Definování geometrie šroubovic a jejich parametrů [snímek obrazovky].....	71
Obrázek 45 Zobrazení generovaných šroubovic při rozdílném nastavení parametru q (stupeň křivky), pro znázornění rozdílu byl zvětšen výpočetní krok z 10 mm na 200 mm, vlevo 1. stupeň, uprostřed 2. stupeň, vpravo 3. stupeň [snímek obrazovky]	72
Obrázek 46 Zobrazení geometrie archimédovy turbíny vygenerované v Dynamu [snímek obrazovky].....	72
Obrázek 47 Příprava a export geometrie do Revitu, spojení dílčích prvků do jedné geometrie pomocí "Solid.ByUnion", natočení geometrie o 22° pomocí "Geometry.Rotate" a export do Revitu pomocí "DirectShape.ByGeometry" [snímek obrazovky].....	73
Obrázek 48 Tvorba výseče pro kotevní hlavu a jednotlivých parametrů, které tuto výseč upravují [snímek obrazovky]	75
Obrázek 49 Referenční element a změny provedené pomocí parametrů. 1) Bez výseče, 2) Výseč při přednastavených hodnotách parametrů, 3) Výseč při pozměněných hodnotách parametru natočení bočnic a šířky výseče [snímek obrazovky].....	75
Obrázek 50 Zobrazení 3 typů kotev s pozměněnými hodnotami parametrů [snímek obrazovky]	76

Obrázek 51 Použití rodiny zemních kotev v modelu, zde konkrétně vazba na ŽB věnec [snímek obrazovky].....	76
Obrázek 52 Modely původních terénů, nahoře severní břeh, uprostřed dna řeky, dole jižní břeh [snímek obrazovky]	79
Obrázek 53 Postupný vývoj modelu terénu, A) OT_Northbank – původní terén, B) 1_ET-Girders – výkopy pro ŽB věnce, C) 2_ET-FoundationSlab – stavební jáma, základová deska, D) 3_ET-Intake – stavební jáma, vtok, E) 4_ET-Outtake – stavební jáma, výtok, F) 5_ET-Final – konečný upravený terén.....	79
Obrázek 54 Zobrazení modelu původní stavby, vlevo v Revitu, v pravo exportovaná CAD reference [snímek obrazovky]	80
Obrázek 55 Načtená CAD reference v modelu původního terénu [snímek obrazovky].....	80
Obrázek 56 Postup terénních úprav, vlevo návrhové linie (zeleně), uprostřed terénní úpravy, vpravo nový upravený terén [snímek obrazovky]	81
Obrázek 57 Načtené CAD modely terénu v Revitu, zobrazení původního stavu vodního díla, před zahájením výstavby MVE Woolston [snímek obrazovky]	83
Obrázek 58 Načtené CAD modely terénu v Revitu, zobrazení stavu během výstavby MVE Woolston [snímek obrazovky]	83
Obrázek 59 Model terénu v Revitu, rozdělení do podoblastí s vyobrazením příjezdové cesty, staveniště a okolního terénu [snímek obrazovky]	84
Obrázek 60 IFC model jemných česlí [snímek obrazovky]	85
Obrázek 61 Geometrie ve formátu STEP, prohozené souřadnice x a z [snímek obrazovky]	86
Obrázek 62 Výkaz výměr vytvořený přímo v IFC modelu za pomoci softwaru BIMvision aplikace Advanced Reports [snímek obrazovky].....	89
Obrázek 63 Načtená data v prostředí Navisworks Manage [snímek obrazovky]	90
Obrázek 64 Zobrazení časové simulace ve 4 různých časových momentech, vlevo nahoře původní stav, vpravo nahoře vibrování štětovnic, vlevo dole konstrukce podlahy strojovny, vpravo dole - upalování štětovnic na vtoku a výtoku [snímek obrazovky].....	92
Obrázek 65 Vybrané BIM elementy pro detekci kolizí v prvním testu [snímek obrazovky]	93
Obrázek 66 Zobrazení jedné z kolizí mezi ocelovou štětovnicí a železobetonovým věncem [snímek obrazovky]	94
Obrázek 67 United-BIM.com, úroveň vyspělosti informačního modelování BIM [schéma], dostupné na: https://www.united-bim.com/bim-maturity-levels-explained-level-0-1-2-3/	95

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Návrhové parametry násoskového jezu, přejato z „Woolston New Weir and River Mersey Diversion“, dostupné na: https://www.icevirtuallibrary.com/doi/pdf/10.1680/wame.2002.154.1.51	22
Tabulka 2 N-leté průtoky, přejato z „Woolston New Weir and River Mersey Diversion“, dostupné na: https://www.icevirtuallibrary.com/doi/pdf/10.1680/wame.2002.154.1.51	22
Tabulka 3 Datové formáty a jejich velikost, přejato z https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-formats/	34
Tabulka 4 Kalkulace objemu zemních prací, „Girders“ – železobetonové věnce, „Foundation Slab“ – základová deska, „Intake“ – vtok, „Outtake - výtok	82
Tabulka 5 Vyhodnocení analýzy nákladů a přínosů metody BIM na projekt.....	95
Tabulka 6 Časová náročnost převedení stávající DPS dokumentace do BIM, časová jednotka 1 den byl uvažován jako 8 pracovních hodin	97
Tabulka 7 Časová náročnost pořízení klasické 2D dokumentace projektu Woolston	98

SEZNAM PŘÍLOH

- A. Woolston_Structural
- B. Woolston_MEP
- C. Revit_Woolston_Mechanical 1
- D. IFC_Woolston_Mechanical 1
- E. Woolston_Mechanical 2
- F. Woolston_Mechanical 3
- G. Woolston_Existing
- H. Woolston_Architectural
- I. Woolston_Geotechnical
- J. Vizualizace
- K. Video – Vizualizace
- L. Shared Parameters – sdílené parametry
- M. Revit_Woolston_Terrain
- N. Generovaná projektová dokumentace
- O. Dynamo soubory
- P. Časová simulace a harmonogram
- Q. Analýza nakladu a prinosu metody BIM_kalkulator_CZ

Odkazy pro otevírání souborů:

.rvt soubory – Autodesk online Viewer [<https://viewer.autodesk.com/>]

.ifc soubory – BIMVision [<https://bimvision.eu/download/>]

.nwd soubory – Naviswork Freedom

[<https://www.autodesk.com/products/navisworks/3d-viewers>]