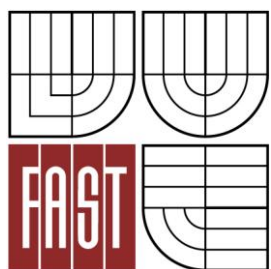




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

VIZUALIZACE HYDROTECHNICKÝCH STAVEB MALÁ VODNÍ ELEKTRÁRNA LITOMĚŘICE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Luděk Urbanec

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ DRÁB, Ph.D.

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodních staveb

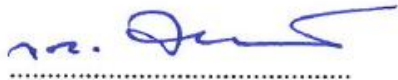
ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Luděk Urbanec
Název	Vizualizace hydrotechnických staveb
Vedoucí bakalářské práce	doc. Ing. Aleš Dráb, Ph.D.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2011
Datum odevzdání bakalářské práce	25. 5. 2012

V Brně dne 30. 11. 2011


.....
prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu




.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Odborná literatura k programovému vybavení AutoCAD 2012 a Autodesk 3ds Max Design. Výkresová dokumentace vybraných hydrotechnických staveb. Ostatní odborná literatura zaměřená na projektování přehrad a využití vodní energie.

Zásady pro vypracování

Cílem práce je realizovat celý postup vytvoření realistické vizualizace (vč. animací) na vybrané hydrotechnické stavbě. Předmětem práce je vytvoření prostorových modelů vybraných hydrotechnických objektů na základě existující výkresové dokumentace. S použitím těchto modelů budou vytvořeny vizualizace s důrazem na reálnost vytvářených scén. Důležitou součástí výstupů práce budou rovněž animace zaměřené především na ukázky funkcí technologického zařízení, manipulaci a údržbu na vodních dílech. Podstatným výstupem práce bude dokumentace postupu tvorby prostorových modelů, realistických vizualizací a animací na vybraných hydrotechnických objektech.

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací.

Průvodní zpráva.

Výsledky bakalářské práce (prostorové modely, scény, animace) v elektronické podobě.

Informační panel shrnující výsledky bakalářské práce na formátu min. A1.



.....
doc. Ing. Aleš Dráb, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Cílem práce je realizovat celý postup vytvoření realistické vizualizace (včetně animací) na malé vodní elektrárně Litoměřice. Předmětem práce je vytvoření prostorových modelů na základě existující výkresové dokumentace. S použitím těchto modelů budou vytvořeny vizualizace s důrazem na reálnost vytvářených scén. Důležitou součástí výstupů práce budou rovněž animace zaměřené především na ukázky funkcí technologického zařízení, manipulace a údržbu na vodním díle. Podstatným výstupem bude dokumentace postupu tvorby prostorových modelů, realistických vizualizací a animací.

Klíčová slova

malá vodní elektrárna, vizualizace, renderování, tvorba 3D modelů, vtoky turbín, savka, animace, materiály a osvětlení, Kaplanova turbína, PIT turbíny

Abstract

The aim is to implement the process for creating realistic visuals (including animations) for a small hydroelectric power plant Litomerice. This thesis is the creation of spatial models based on existing drawings. Using these models will be developed with an emphasis on rendering realistic scenes created. An important part of the work output will also be focused primarily on the animation feature demonstrations of technological equipment, handling and maintenance work on the water. A key outcome will be the documentation process of spatial models, realistic rendering and animation.

Keywords

small hydro power plant, visualization, rendering, creation of 3D models, turbine inlets, savka, animation, materials and lighting, Kaplan turbine, PIT turbine

Bibliografická citace VŠKP

URBANEC, Luděk. *Vizualizace hydrotechnických staveb*. Brno, 2012. 65 s., 4 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce doc. Ing. Aleš Dráb, Ph.D..

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 25.5.2012



.....
podpis autora
Luděk Urbanec

Rád bych tímto poděkoval mému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Aleši Drábovi, Ph.D. za pomoc a podporu při jejím vzniku, dále zaměstnancům firmy Dolnolabské elektrárny a.s. včetně pana Ing. Miroslava Stuchlého, dále také generálnímu projektantovi firmy Pöyry Environment, a.s. panu Ing. Milanu Kubešovi, v neposlední řadě strojnímu technikovi panu Ing. Petru Šálymu z firmy Megawatt servis s.r.o. a všem zaměstnancům a kolegům z ústavu Vodních staveb na VUT FAST v Brně.

OBSAH:

1. ÚVOD CÍLE PRÁCE	- 8 -
2. POUŽITÉ PODKLADY A JEJICH VYHODNOCENÍ	- 9 -
2.1. VÝCHOZÍ PODKLADY	- 9 -
2.1. VYHODNOCENÍ VSTUPNÍCH PODKLADŮ	- 11 -
3. METODA ŘEŠENÍ.....	- 11 -
4. NÁSTROJE ŘEŠENÍ	- 12 -
5. POPIS ZÁJMOVÉ LOKALITY	- 12 -
5.1. JEZ	- 15 -
5.2. PLAVEBNÍ ZAŘÍZENÍ.....	- 17 -
6. POPIS MVE LITOMĚŘICE	- 18 -
6.1. STAVEBNĚ - TECHNICKÉ ŘEŠENÍ.....	- 19 -
6.1.1. Členění stavby	- 19 -
6.2. STAVEBNÍ ČÁST.....	- 19 -
6.2.1. SO 1 – Vtokový objekt	- 19 -
6.2.2. SO 2 – MVE spodní stavba.....	- 20 -
6.2.3. SO 3 – MVE horní stavba.....	- 25 -
6.2.4. SO 4 – Výtokový objekt	- 28 -
6.2.5. PS 01 – Technologická část strojní – zařízení vtoku a výtoku.....	- 29 -
6.2.6. PS 02 – Technologická část strojní	- 36 -
7. POSTUP TVORBY VIZUALIZACE.....	- 41 -
7.1. TVORBA 3D MODELU	- 42 -
7.1.1. Vtoky turbín.....	- 43 -
7.1.2. Turbína.....	- 47 -
7.1.3. Savka	- 55 -
7.1.4. Horní stavba.....	- 60 -
7.2. MATERIÁLY A OSVĚTLENÍ.....	- 61 -
7.3. ANIMACE	- 63 -
8. ZÁVĚR	- 64 -
9. SEZNAM PŘÍLOH.....	- 65 -

1. Úvod cíle práce

Cílem práce je realizovat celý postup vytvoření realistické vizualizace (vč. animací) pro MVE Litoměřice. Předmětem práce je vytvoření prostorových modelů na základě existující výkresové dokumentace. S použitím těchto modelů budou vytvořeny vizualizace s důrazem na reálnost vytvářených scén. Důležitou součástí výstupů práce budou rovněž animace zaměřené především na ukázky funkcí technologického zařízení, manipulace a údržbu na vodním díle. Podstatným výstupem bude dokumentace postupu tvorby prostorových modelů, realistických vizualizací a animací.

Výstupy práce je možné rozdělit do dvou částí. První část (viz kapitola 6. Popis MVE Litoměřice) zahrnuje popis stavební a technologické části MVE Litoměřice, do kterých je zahrnut popis zájmové lokality, popis vtokového a výtokového objektu, spodní a horní stavby malé vodní elektrárny včetně provozních souborů strojní technologické části s využitím výsledků vizualizací a pořízené fotodokumentace.

Druhá část (viz kapitola 7. Postup tvorby vizualizace) je zaměřena na popis tvorby vizualizace - v kapitole 7. Postup tvorby vizualizace, ve které jsou popsány jednotlivé tvorby 3D modelů. Dále popisuje postup přiřazení materiálu a konečné osvětlení objektu. Závěrem se tato část zabývá tvorbou animace. Konečné výsledky práce jsou prezentovány v příloze včetně přiloženého CD obsahující jednotlivé animace.

2. Použité podklady a jejich vyhodnocení

2.1. Výchozí podklady

A. Projekční podklady

- [A1] MVE Litoměřice celkové výkresy, půdorysné řezy, Řez I – I (Osou turbíny), Pöyry Environment a.s., Brno, červen 2010
- [A2] MVE Litoměřice celkové výkresy, půdorysné řezy, Řez II – II (1. PP – kóta 146.30), Pöyry Environment a.s., Brno, duben 2010
- [A3] MVE Litoměřice celkové výkresy, půdorysné řezy, Řez III – III (1. NP – kóta 149.50), Pöyry Environment a.s., Brno, duben 2010
- [A4] MVE Litoměřice celkové výkresy, půdorysné řezy, Řez IV – IV (2. NP – kóta 154.35), Pöyry Environment a.s., Brno, leden 2010
- [A5] MVE Litoměřice celkové výkresy, půdorysné řezy, Řez V – V (Střecha – kóta 159.00), Pöyry Environment a.s., Brno, duben 2010
- [A6] MVE Litoměřice celkové výkresy, podélné řezy, Řez A – A (Osou turbíny), Pöyry Environment a.s., Brno, červen 2011
- [A7] MVE Litoměřice celkové výkresy, podélné řezy, Řez B – B (Osou elektrárny), Pöyry Environment a.s., Brno, červen 2011
- [A8] MVE Litoměřice celkové výkresy, podélné řezy, Řez C – C, Pöyry Environment a.s., Brno, červen 2011
- [A9] MVE Litoměřice celkové výkresy, podélné řezy, Řez D – D, Pöyry Environment a.s., Brno, červen 2011
- [A10] MVE Litoměřice celkové výkresy, příčné řezy, Řez 7 – 7 (Pitem MVE), Pöyry Environment a.s., Brno, červen 2011
- [A11] MVE Litoměřice celkové výkresy, příčné řezy, Řez 8 – 8 (Osou oběžného kola), Pöyry Environment a.s., Brno, červen 2011
- [A12] MVE Litoměřice celkové výkresy, příčné řezy, Řez 8A – 8A (Osou oběžného kola), Pöyry Environment a.s., Brno, červen 2011
- [A13] MVE Litoměřice celkové výkresy, příčné řezy, Řez 9 – 9 Provozní částí MVE, Pöyry Environment a.s., Brno, červen 2011
- [A14] MVE Litoměřice celkové výkresy, příčné řezy, Řez 9A – 9A Provozní částí MVE, Pöyry Environment a.s., Brno, červen 2011
- [A15] MVE Litoměřice celkové výkresy, příčné řezy, Řez 9B – 9B Kabelovou chodbou, Pöyry Environment a.s., Brno, červen 2011
- [A16] MVE Litoměřice celkové výkresy, pohledy, Pohled severní a jižní, Pöyry Environment a.s., Brno, leden 2010
- [A17] MVE Litoměřice celkové výkresy, pohledy, Pohled východní a západní, Pöyry Environment a.s., Brno, leden 2010
- [A18] MVE Litoměřice, Savka profily, Pöyry Environment a.s., 1. března 2012

- [A19] MVE Litoměřice, Vtok profily, Pöyry Environment a.s., 1. března 2012
- [A20] MVE Litoměřice, Dispozice hrazení savky, Montážní a výrobní sdružení, spol. s.r.o., 9. května 2012
- [A21] MVE Litoměřice, Dispozice hrazení savky, 3 Lit PP 03, Montážní a výrobní sdružení, spol. s.r.o., 9. května 2012
- [A22] MVE Litoměřice, Dispozice hrazení vtoku, 3 Lit PP 03, Montážní a výrobní sdružení, spol. s.r.o., 9. května 2012
- [A23] MVE Litoměřice, Runner assembled, Voith, spol. s.r.o., 9. května 2012
- [A24] MVE Litoměřice, Cross section distributor, Voith, spol. s.r.o., 9. května 2012
- [A25] *Technologická část strojní – zařízení vtoku a výtoku*. Megawatt servis s.r.o., 7 s.
- [A26] *Technologická část strojní – DPS 01.2 až DPS 01.4*. Megawatt servis s.r.o., 28 s.
- [A27] *MVE Štětí na řece Labi, ř km 91,580*. Aquatis a.s., červen 2006, 101 s.

B. Odborná literatura

- [B1] GAHAN, A. *3ds Max: výukový průvodce tvorbou postav, vozidel, budov a prostředí*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2009, 312 s. ISBN 978-80-251-2491-8.
- [B2] HOROVÁ, I. *3D modelování a vizualizace v AutoCadu pro verze 2009, 2008 a 2007*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2008, 256 s. ISBN 978-80-251-2194-8.
- [B3] JANEČEK, P., KASAL P., HOKE P. a KOSTKOVÁ L. *Stavební konstrukce: Malá vodní elektrárna Litoměřice. Beton: Technologie, konstrukce, sanace*. Praha: Česká betonářská společnost, 2012, roč. 12, 2/2012, s. 6. ISSN 1213-3116.
- [B4] ČSN 75 26 01. *MVE: základní požadavky*. 1.11.2010

C. Webové stránky

- [C1] Autodesk. [online]. Dostupné z: <http://www.autodesk.cz>,
- [C2] Autodesk: Services & Support. [online]. Dostupné z: <http://usa.autodesk.com/support/documentation/>
- [C3] Zdymadlo České Kopisty na Labi v ř. km 795688. [online]. Dostupné z: www.pla.cz/planet/public/vodnidila/zdl_ceskekopisty.pdf
- [C4] České Kopisty. [online]. Dostupné z: www.lavdis.cz/mapy/DL50.pdf
- [C5] Průvodce betonářskou normou. [online]. Dostupné z: http://www.zapa.cz/fck_userfiles/Pruvodce_betonarskou_normou.pdf

D. Fotodokumentace

- [D1] Dolnolabské elektrárny a.s. MVE Litoměřice, Fotografická dokumentace průběhu výstavby

E. Místní šetření

Během postupu vytváření práce proběhlo jedno místní šetření dne 14. května 2012. Stavba byla ve fázi, kdy proběhly veškeré betonářské práce na stavbě. Při prohlídce stavby byla pořízena podrobná fotodokumentace, která je doložena v textu zprávy.

2.1. Vyhodnocení vstupních podkladů

Zajišťování podkladů pro zpracování bakalářské práce bylo provedeno v součinnosti se zástupcem investora Dolnolabské elektrárny a.s. a generálního projektanta firmy Pöyry Environment, a.s.. Ve spolupráci s uvedenými subjekty se podařilo zajistit kompletní výkresovou dokumentaci potřebnou k vymodelování objektu. V průběhu realizace byl kontaktován strojní technik z firmy Megawatt servis s.r.o., který poskytl podrobnější dokumentaci k technologické části stavby.

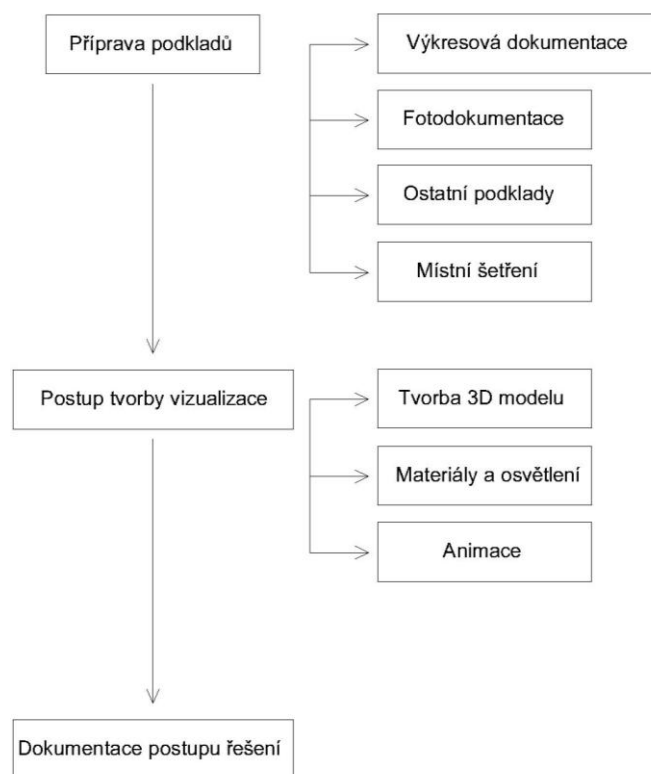
Nedílnou součástí řešení bylo místní šetření na stavbě malé vodní elektrárny, v rámci kterého byla provedena důkladná prohlídka stavby, kterou nás provedl a názorně vše vysvětlil stavbyvedoucí z realizační firmy Dolnolabské elektrárny a.s., který nám mimo jiné také poskytl doplňující fotodokumentaci z průběhu výstavby.

Na základě těchto technických podkladů byl zhotoven 3D model objektu včetně animací. Rozsah a kvalita zajištěných podkladů odpovídala.

3. Metoda řešení

K dosažení cílů definovaných zadáním práce byl zvolen postup v následujících krocích:

- příprava podkladů,
- tvorba vizualizace,
- dokumentace postupu řešení.



Obr. 3.1: Metoda řešení – schéma postupu

Ve fázi přípravy podkladů nám byla poskytnuta projektová dokumentace stavební části MVE [A1] až [A19], která se v průběhu realizace práce doplnila o podrobnější dokumentaci k technologické části stavby [A20] až [A26].

Nejdříve byly připraveny podklady. Tyto se skládaly z výkresové dokumentace (formát *.dwg) a fotodokumentace. Výkresová dokumentace byla vykreslena do formátu .pdf a vytištěna. Následovalo seznámení s technickými výkresy a fotodokumentací pro získání názornější představy o realizované stavbě.

Jako další postup byla zvolena tvorba vizualizace. Prvním krokem bylo vytvoření 3D tělesa, následovalo přiřazení materiálu a nastavení osvětlení. Takto připravený model byl následně použit pro renderování statických scén a tvorbu animací. Po všech těchto krocích, byla vytvořena dokumentace postupu řešení - pro přiblížení a seznámení s postupem vizualizace.

4. Nástroje řešení

Pro řešení bakalářské práce byly zvoleny tyto programové nástroje od společnosti Autodesk:

- AutoCAD 2012,
- 3ds Max Design.

Program AutoCAD se používá ve všech oblastech technického zaměření. Plná verze programu AutoCAD umožňuje vytváření libovolné projektové dokumentace 2D a obecných 3D modelů.

AutoCAD umožňuje vytváření obecných prostorových 3D modelů, které jsou vytvářeny pomocí těles a ploch. Model lze zobrazit pro prezentaci pomocí vizualizačních stylů nebo z modelu vytvořit fotorealistickou vizualizaci. Pro vytvoření fotorealistické vizualizace je potřeba přiřadit jednotlivým objektům materiál, nastavit světla, pozadí a poté model vyrenderovat. Výsledkem renderování je rastrový obrázek. Model vytvořený v programu AutoCAD lze vytisknout nebo publikovat do řady formátů (například pdf a dwf) [C2]. V bakalářské práci byl program AutoCAD využit hlavně na vytvoření 3D objektů a práci s 2D výkresovou dokumentací.

Program Autodesk 3ds Max Design poskytuje výkonné animační a renderovací nástroje, umožňující vytvořit vizualizaci a animaci. V rámci bakalářské práce bylo v programu 3ds Max Design vytvořeným objektům přiřazen materiál a osvětlení. Tento program byl následně využit i na tvorbu vizualizací a animací.

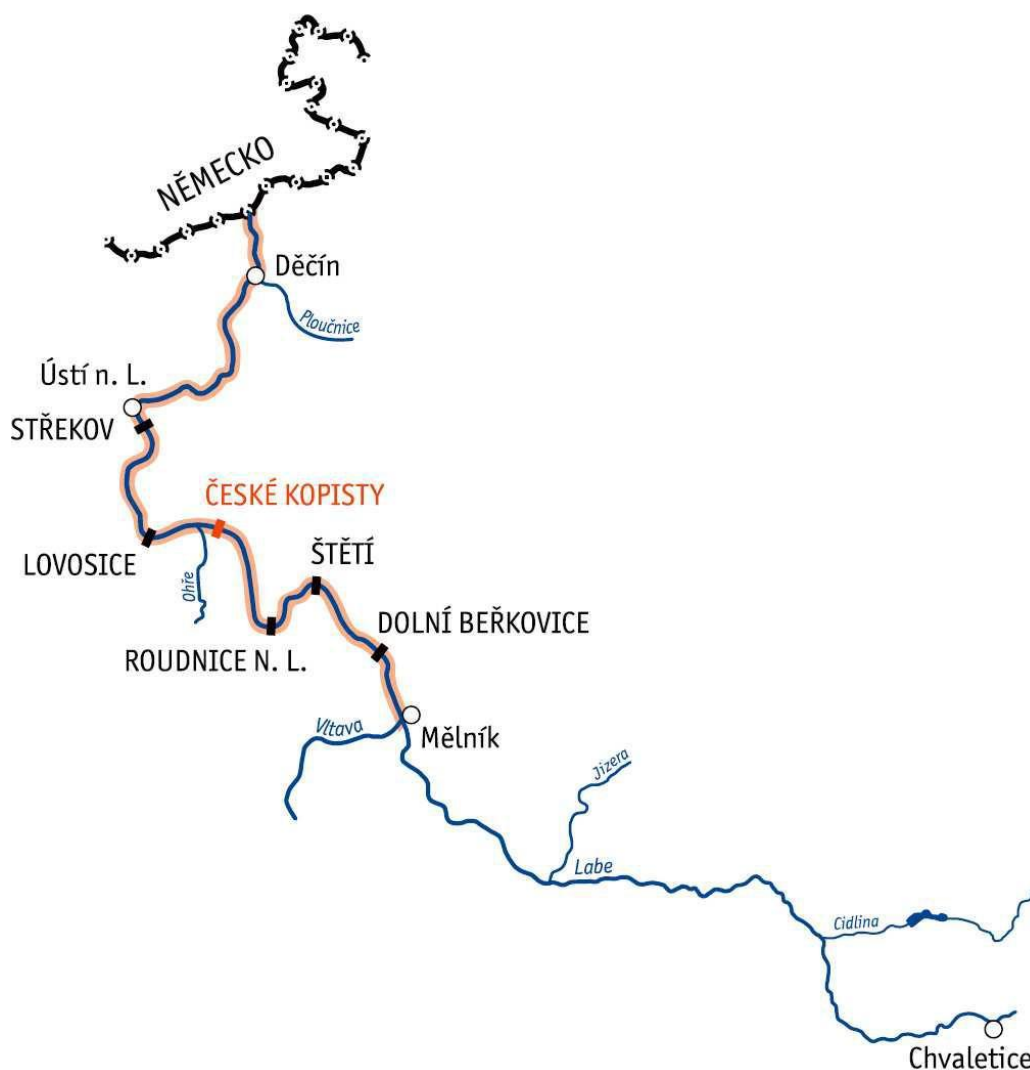
5. Popis zájmové lokality

Malá vodní elektrárna Litoměřice bude největší nízkospádovou průtočnou vodní elektrárnou na řece Labi a výrazně přispěje ke zvýšení podílu využití obnovitelných zdrojů v České republice. Elektrárna Litoměřice je dostavbou u stávajícího jezu České Kopisty (viz obr. 5.2), který se nachází na vodním toku Labe v km 795,688 (viz obr. 5.1).

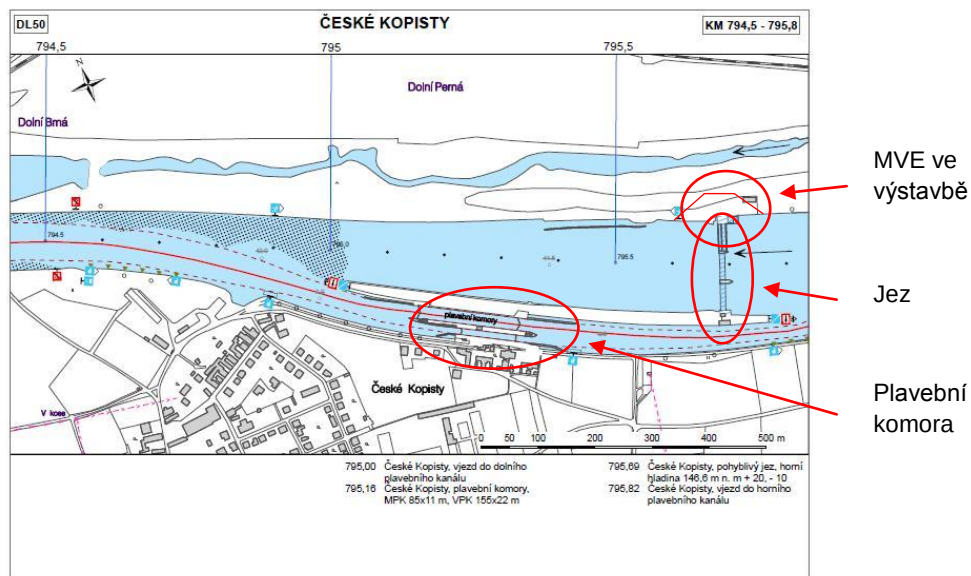
Stavba elektrárny je výsledkem mnohaletých snah o energetické využití jezu České Kopisty.

Základní identifikační údaje stavby MVE Litoměřice jsou následující:

- | | |
|--|---|
| • Investor | Dolnolabské elektrárny a.s. |
| • Generální projektant | Pöyry Environment, a.s. |
| • Dodavatel stavební části | Metrostav, a.s., divize 6 |
| • Dodavatel části bednění savek | Harsco Infrastructure Cz, s.r.o. |
| • Dodavatel betonu | DK – Beton, s.r.o., Litoměřice |
| • Návrh betonové směsi | BASF Stavební hmoty Česká republika, s.r.o. |
| • Dodavatel technologické části turbín | VOITH Hydro, GmbH, Rakousko |
| • Doba realizace | prosinec 2009 až prosinec 2012 |



Obr. 5.1: Situace jezu České Kopisty, Labe říční km 795,688 [C3]



Obr. 5.2: Jez České Kopisty a umístění malé vodní elektrárny [C4]



Obr. 5.3: Jez České Kopisty bez malé vodní elektrárny [C3]



Obr. 5.4: Jez České Kopisty s malou vodní elektrárnou ve výstavbě (září 2011) [C3]

5.1. Jez

Jez České Kopisty včetně plavební komory je součástí labsko – vltavské vodní cesty, která byla v 60. letech 20.století rekonstruována a modernizována za účelem umožnění jejího celoročního využití. Tomuto záměru však nevyhovovaly původní hradlové a členěné jezy se sklopnými slupicemi, protože jejich obsluha vyžadovala těžkou a nebezpečnou manuální práci a provoz nebylo možné zajistit v zimním období a při velkých vodách. Proto byly tyto jezy postupně nahrazeny jezy moderní konstrukce. Rekonstrukce a modernizace jezu v Českých Kopistech na jez hydrostatický sektorový byla provedena v letech 1969 – 1971. Situačně je spodní stavba nového jezu těsně přisazená ke vzdušní patě spodní stavby původního členěného jezu. [C3].

Hydrologická charakteristika jezového profilu:

- Plocha povodí 42 690 km²
- Průměrný průtok 254,1 m³/s
- Stoletý průtok 4 103 m³/s

Účel vodního díla:

- Dopravní – zajištění potřebných hloubek a vyhovujících podmínek pro plavbu ve zdrži
- Hospodářský – odběry povrchové vody z jezové zdrže
- Rekreační – využití zdrže pro vodní sporty a rekreační rybolov

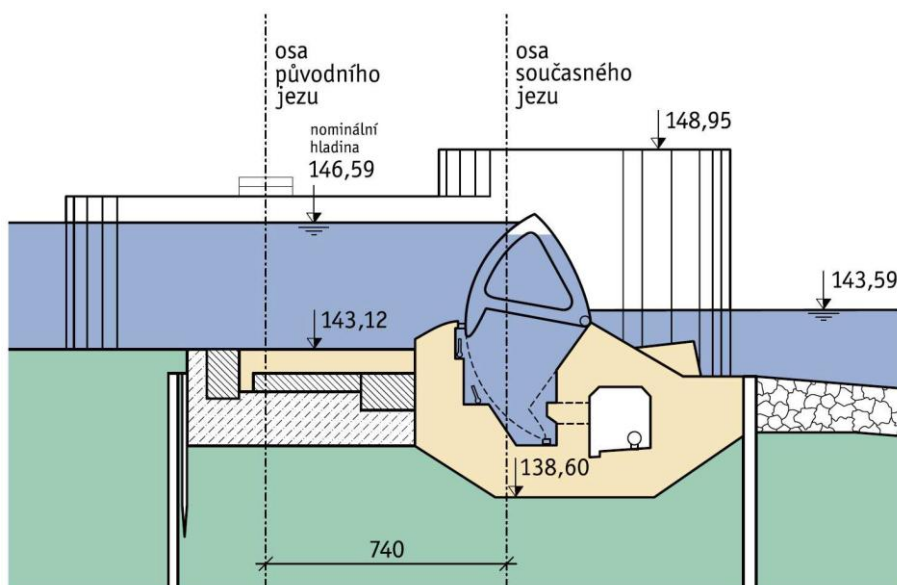
Základní parametry jezu jsou následující:

- Počet polí 3
- Světlá šířka polí pravé a střední 47,25 m, střední 46,70 m

- Šířka betonových dělicích pilířů 5,57 m (levý), 3,20 m (pravý)
- Max. konstrukčně možná hrazená výška 3,40 m
- Současná hrazená výška 3,00 m
- Hradící konstrukce hydrostatický sektorový uzávěr
- Umístění hlavní strojovny v levobřežním pilíři

Základní parametry jezové zdrže:

- Celkový objem 3,0 mil. m³
- Kóta hladiny horní vody (nominální hladina) 146,59 m n. m.
- Povolená tolerance kolísání vody -10 cm až +20 cm
- Kóta hladiny dolní vody 143,59 m n. m. – vzdutí VD Lovosice
- Délka vzdutí 14,1 km



Obr. 5.5: Schématický příčný řez jezovým polem jezu České Kopisty [C3]

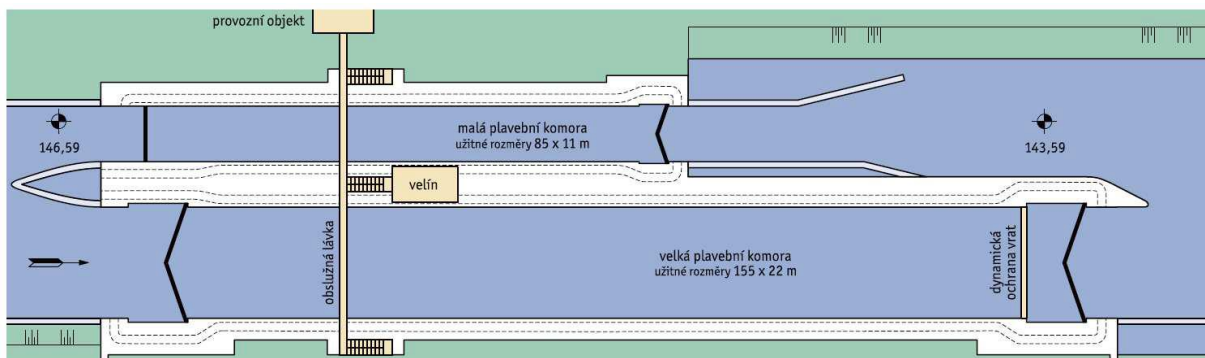


Obr. 5.6: Jez České Kopisty (foto autor)

5.2. Plavební zařízení

Plavební zařízení se nachází na levém břehu a skládá se ze dvou komor (malá a velká), horní a dolní plavební kanál s rejdami a čekací stání (viz obr. 5.7). Vzhledem k ose jezu je čelo horního ohlaví velké plavební komory posunuto o 330 m směrem po vodě. Od vlastního řečiště je plavební zařízení odděleno umělým ostrovem dlouhým 850 m a širokým až 30 m [C3].

Malá plavební komora byla celkově rekonstruována a modernizována v letech 1974 – 1976 na užitnou délku 85 m a šířku 11 m, dále byly navýšeny zdi a vyzdviženy pohybovací mechanismy, aby bylo možné trvale zvýšit hydrostatickou hladinu po rekonstrukci jezu. Do horního ohlaví byla osazena klapková vrata. Velká plavební komora byla zrekonstruována a modernizována v letech 2002 – 2004 na užitnou délku 155 m a šířku 3,3 m s rozšířením obou ohlaví na 22 m.



Obr. 5.7: Situace obou plavebních komor [C3]

6. Popis MVE Litoměřice

Kapitola zahrnuje podrobný popis stavby konstrukce MVE Litoměřice s využitím fotodokumentace z realizace stavby včetně vizualizací zhotoveného 3D modelu stavby.

Konstrukce MVE Litoměřice bezprostředně navazuje na pravou stranu jezu, kde se nachází pravobřežní jezový pilíř a plomba původní vodorovné propusti. Elektrárna bude zpracovávat průtok vody v toku až do maximální hltnosti turbín $340 \text{ m}^3/\text{s}$, instalovány jsou dvě soustrojí s přímoproudými Kaplanovými turbínami typu PIT o průměru oběžného kola $5,1 \text{ m}$. Celkový dosažitelný výkon elektrárny je $5,2 \text{ MW}$. Elektrárna byla koncipována jako bezobslužná, pouze s občasným dohledem na chod zařízení [B3].



Obr. 6.1: Celkový letecký pohled na stavbu MVE Litoměřice (podzim 2011) [D1]



Obr. 6.2: Pohled na stavbu z jeřábu – vyznačený rybochod [D1]

6.1. Stavebně - technické řešení

Strojovna MVE je umístěna na pravém břehu vedle jezu České Kopisty. Hlavní části MVE Litoměřice jsou vtokový objekt, strojovna elektrárny, která se dělí na spodní a horní stavbu, výtokový objekt a rybochod (viz obr. 6.2). Konstrukce elektrárny je železobetonová monolitická. Objekt strojovny MVE je rozdělen na spodní a horní stavbu, z nichž každá má dvě podlaží. Stavba elektrárny je navržena s ohledem na ochranu před zatápním během povodní. Všechny otvory do nadzemní části strojovny MVE budou nad úrovní historické povodně Q_{2002} .

6.1.1. Členění stavby

Pro účel bakalářské práce je stavba MVE Litoměřice členěna do následujících stavebních objektů a provozních souborů.

Stavební objekty:

SO 1 – Vtokový objekt

SO 2 – MVE spodní stavba

SO 3 – MVE horní stavba

SO 4 – Výtokový objekt

SO 5 - Rybochod

Provozní soubory:

PS 01 – Technologická část strojní – zařízení vtoku a výtoku

PS 02 – Technologická část strojní

6.2. Stavební část

6.2.1. SO 1 – Vtokový objekt

Vtokový objekt byl vybudován na pravém břehu řeky Labe nad stávajícím jezem České Kopisty. Slouží k přivádění vody z prostoru nadjezí ke vtokům turbín (viz obr. 6.1 a 6.3).



Obr. 6.3: Vtokový objekt MVE (foto autor)

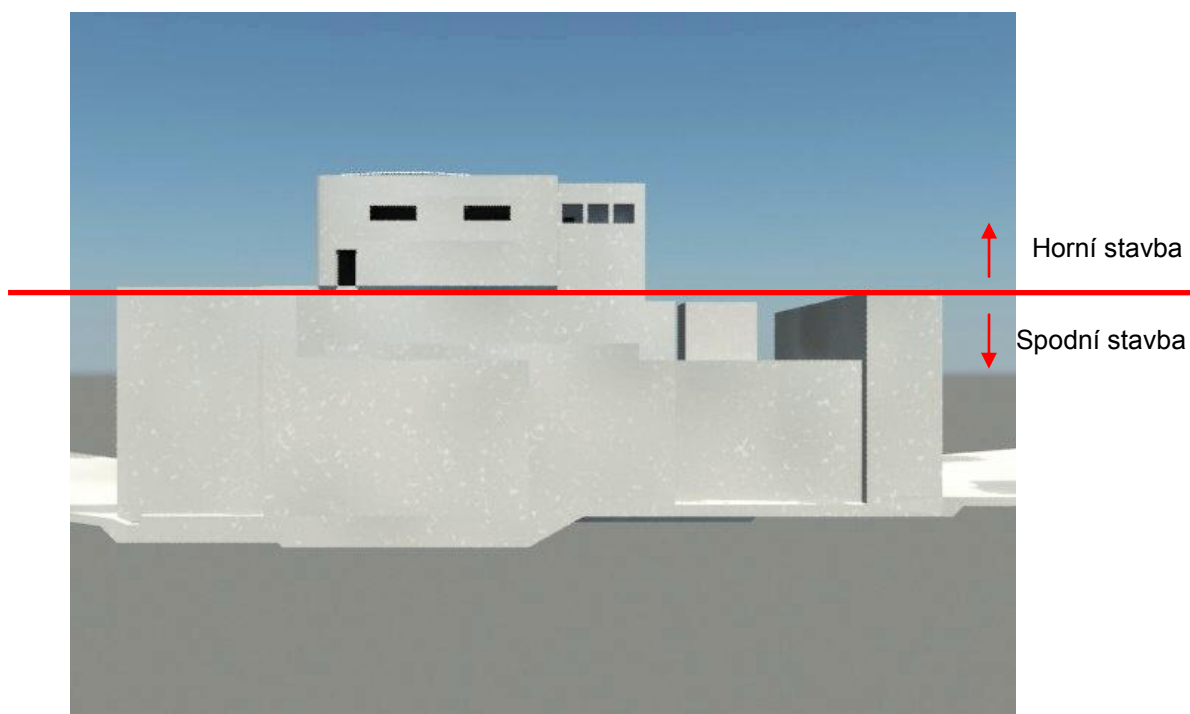
Vtokový objekt sestává z převýšeného prahu, nábrežní zdi, dna, dělicího pilíře a usměrňovacích křídel. Konstrukce tohoto objektu je z vodostavebního betonu C25/30 XC1 [C5].

Pro usměrnění proudění v oblasti nátoky do vtokového objektu bude použito usměrňovacích železobetonových křídel hydraulicky vhodného tvaru navržených dle výsledků hydraulického modelového výzkumu a výpočtu pomocí numerického modelu turbulentního proudění.

Dno je řešené jako zborcená přímková plocha. Nábrežní zdi jsou provedeny jako kotvené pilotové stěny. Za účelem snížení vzlaku od podzemní vody na železobetonovou desku je dno vtoku odlehčeno soustavou drénů.

6.2.2. SO 2 – MVE spodní stavba

Spodní stavba zahrnuje vtoky turbín (viz obr. 6.5) s drážkami pro provizorní hrazení vody a savky turbín s obdobnými drážkami od dolní vody a spodní část strojovny. Vtoky turbín jsou opatřeny jemnými česlemi podepřenými ocelovými nosníky proudnicového tvaru. Dále jsou zde umístěny ocelové PITy (šachty) turbín, ocelové části vtoků a savek, které jsou součástí technologické dodávky. Zbývající části vtoků a savek obsahují přechody z obdélníkového na kruhový profil, které byly provedeny jako železobetonové. Výstavba obou částí byla velmi náročná na přesnost a pevnost bednění. Pro bednění vtoků byly použity klasické dřevěné konstrukce.



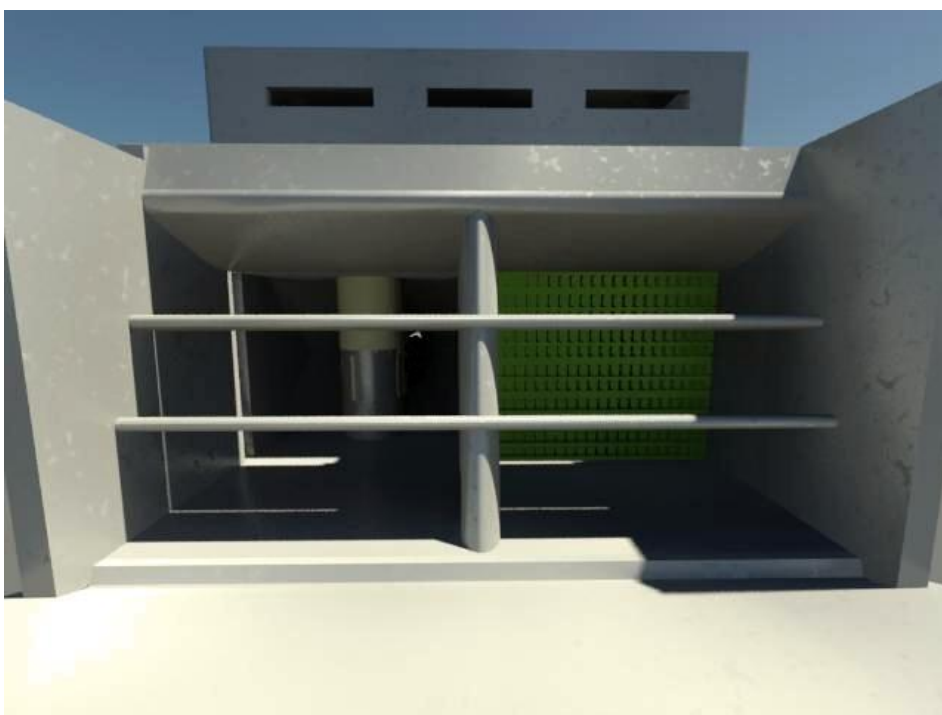
Obr. 6.4: Vizualizace stavby – celkový pohled na MVE rozdělenou na horní a spodní stavbu (vytvořeno autorem)



Obr. 6.5: Spodní stavba – vtoky turbín, kapsy pro osazení ocelových nosníků + práh pro osazení česlí (foto autor)



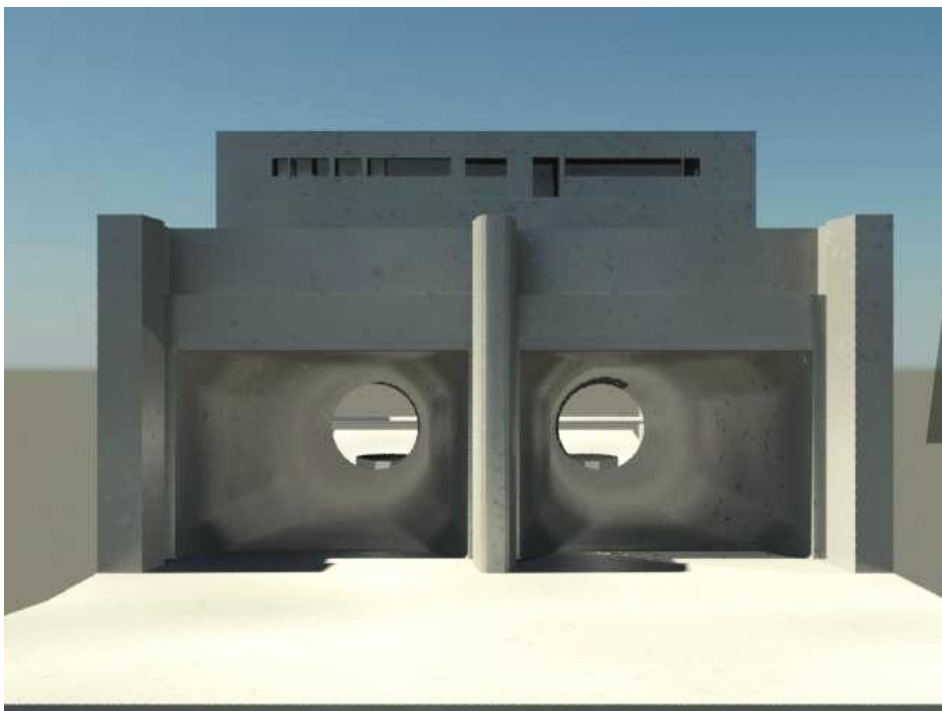
Obr. 6.6: Vizualizace spodní stavba – vtoky turbín, ocelová žebra, betonové základy pro ocelový PIT (vytvořeno autorem)



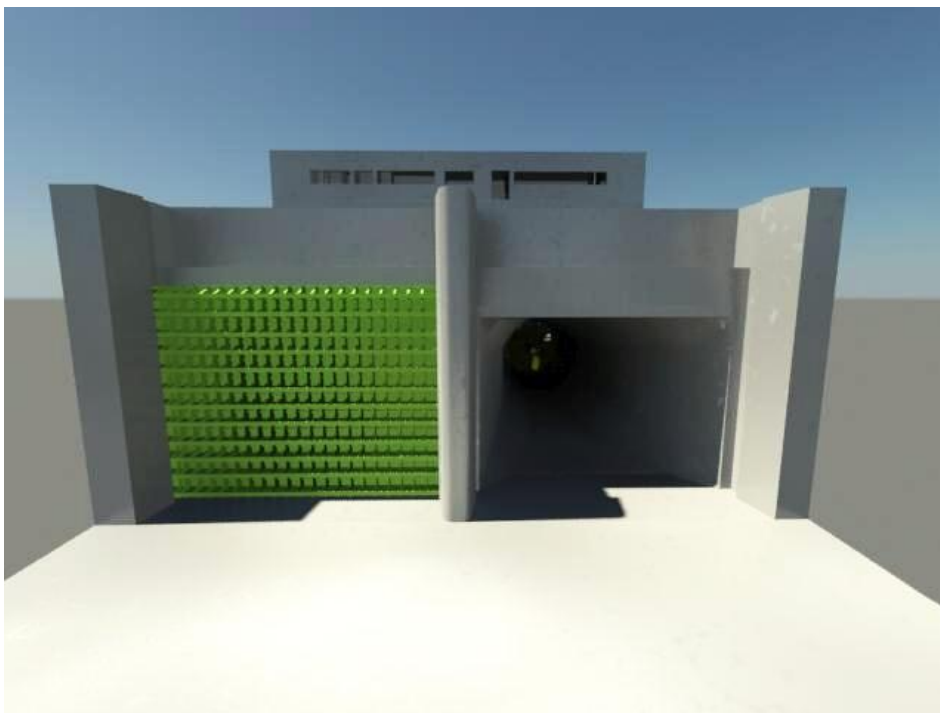
Obr. 6.7: Vizualizace spodní stavba – česle, hradidla, ocelová žebra (vytvořeno autorem)



Obr. 6.8: Spodní stavba – savka (foto autor)



Obr. 6.9: Vizualizace spodní stavba – výtoky ze savek (vytvořeno autorem)



Obr. 6.10: Vizualizace skládky hradidel na výtoku (vytvořeno autorem)

Ve spodní stavbě MVE jsou umístěny 2 přímoproudé Kaplanovy PIT turbíny o průměru oběžného kola $D = 5,10$ m. Vnější rozměry stavby, šířka 31 m, délka 55 m a výška 25,3 m (od místa základové spáry)

Na vtoku do turbín, který má obdélníkový průřez, jsou umístěny jemné česle. Pro stírání shrabků je použit automatický pojezdový čistící stroj dopravující shrabky do kontejneru, umístěném na čistícím stroji pojezdějším po kolejích na kótě 148,00 m n. m. Spodní stavba je zapuštěna pod úroveň okolního terénu. Základová spára je zalomená a leží na kótě 130,70 m n. m. Vnitřní uspořádání spodní stavby elektrárny je maximálně přizpůsobeno technologickému zařízení. Ve spodní stavbě MVE se nachází celkem 2 podlaží.

Ve 2. podzemním podlaží na kótě 130,70 m n. m. je umístěna jímka prosáklé vody, sběrná jímka, odlučovač ropných látek a příslušenství turbíny. Jímka pro vyčerpání hydraulického obvodu je od prostoru turbíny oddělena a je přístupná pomocí šachty z manipulačního prostoru nad savkami. Ve spodní stavbě jsou dále umístěny ocelové PITy (šachty) turbín, kuželové části vtoků a savky, které jsou součástí technologické dodávky. Zbývající části vtoků a savek jsou provedeny ze železobetonu (viz obr. 6.5 - 6.10). Na začátku spodní stavby a na konci savek jsou umístěny drážky provizorního hrazení. Toto hrazení je skladováno na vtoku do spodní stavby a na konci savky (viz obr. 6.10).

Podélná osa turbíny je umístěna na kótě 138,00 m n. m. PITy (šachty) turbín. PITy slouží pro umístění převodovky a generátoru a jsou ze strany strojovny otevřeny a opatřeny ochranným zábradlím.

Ve střední části ve spodní stavbě je vytvořena kabelová chodba propojující rozvodnu VN a rozvodnu NN. Chodba začíná v prostoru turbín a dále pokračuje k centrálnímu schodišti. Prostor obou podlaží je přístupný po centrálním schodišti umístěném ve středu objektu mezi savkami turbín. Rozhraní mezi spodní a horní stavbou tvoří upravený terén na kótě 148,10 m n. m.

6.2.3. SO 3 – MVE horní stavba

Horní stavba MVE bezprostředně navazuje na spodní stavbu. Vzhledem k tomu, že úroveň hladiny vody při průtoku Q_{100} dosahuje kóty 150,78 m n. m., je i horní stavba z vodostavebného železobetonu C30/35 XC4 XF1 [C5]. V traktu strojovny je umístěna prakticky pouze horní část strojovny a MVE s mostovým jeřábem, který má nosnost 32 t (viz obr. 6.11).



Obr. 6.11: Horní stavba – pohled ze vstupních dveří na manipulační prostor horní stavby, mostový jeřáb (foto autor)

V traktu příslušenství jsou umístěny dvě podlaží. V 1.NP je situována chodba, kancelář, velín s technickým zázemím, příruční sklad náhradních dílů, vodárna, strojovny vzduchotechniky a sklad. Ve 2.NP je situovaná zasedací místnost, chodba a sociální zázemí sestávající z kuchyňky, sprchy, umývárny a WC. Komunikační propojení s prostory spodní stavby a se vstupem do MVE umístěným na kótě 148,10 m n. m. je umožněno centrálním schodištěm.



Obr. 6.12: Horní stavba – pohled na boční vstup s tlakovými ocelovými dveřmi (foto autor)

Přístup do MVE je navržen na úrovni okolního terénu (viz obr. 6.12), přes tlakové ocelové dveře o rozměru 1,20 x 2,40 m. Tento vstup neslouží jen jako vchod ale je důležitý i pro dopravu menších dílů a provozních prostředků. Vnější stěny MVE tvoří pohledový beton (viz obr. 6.12 až 6.14) opatřený fasádním nátěrem dle architektonického návrhu.

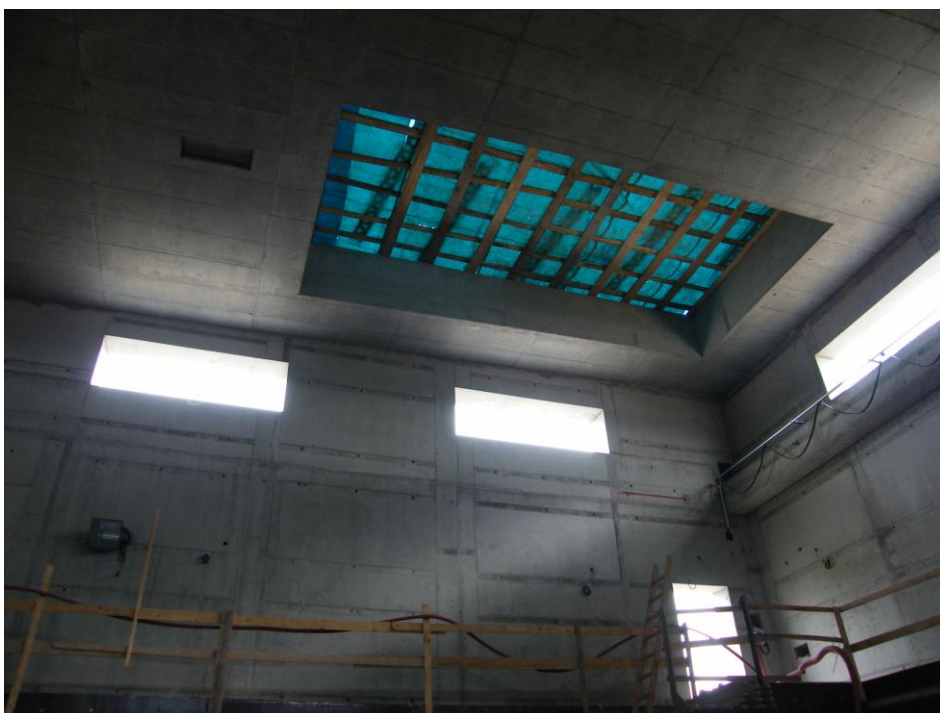


Obr. 6.13: Horní stavba – pohled ze strany vtoku (foto autor)



Obr. 6.14: Horní stavba – pohled z dělícího pilíře (foto autor)

Střecha nad traktem i příslušenstvím strojovny je tvořena železobetonovou monolitickou deskou. Pro případnou demontáž dílů technologie bude sloužit montážní otvor, krytý demontovatelným poklopem o rozměrech 8 x 4 m (viz obr. 6.15 až 6.16). Střešní krytina nad oběma trakty je tvořena ze dvou vrstev modifikovaných asfaltových pásů ELASTEK 40 kladených na spádové klíny POLYDEK ESP 100 v tloušťce 100 mm. Střešní krytina bude ve sklonu 2 % vyspádována do střešních vpustí, odkud bude odvedena svislými odpady umístěnými v obvodových stěnách do dešťové kanalizace.



Obr. 6.15: Horní stavba – montážní otvor (foto autor)



Obr. 6.16: Vizualizace horní stavba – montážní otvor (vytvořeno autorem)

Okolo celého objektu je povrch zpevněn, na tento povrch je položena zámková dlažba. Toto zpevnění je pro manipulaci s hradidly savek a k vývozu kontejneru na shrabky.

6.2.4. SO 4 – Výtokový objekt

Výtokový objekt (viz obr. 6.17) odvádí vodu od savek turbíny do prostoru koryta pod jezem. Konstrukce tohoto objektu je z vodostavebního betonu C25/30 XC1 [C5]. Dno je řešené jako zborcená přímková plocha. Nábřežní zdi jsou provedeny jako kotvené pilotové stěny. Dno výtoku je řešeno jako železobetonové s odlehčovacími drény z důvodu výskytu snížení vztlaču na železobetonovou desku.



Obr. 6.17: Výtokový objekt (foto autor)

6.2.5. PS 01 – Technologická část strojní – zařízení vtoku a výtoku

PS 01 – zahrnuje tato zařízení:

- jemné česle,
- hrazení vtoku,
- zvedací traverza,
- zařízení skládky hradidel na vtoku,
- hrazení výtoku,
- zařízení skládky hradidel savky.

Kompletní **jemné česle**, konstruované pro následující předpokládané hlavní technické parametry:

- | | |
|---------------------------------------|---------------------|
| • světlá šířka vtoku | 12,50 m |
| • světlá délka prutů | 13,20 m |
| • celková délka prutů | cca 13,80 m |
| • sklon česlic | 72° |
| • rozměry prutů | cca 120 x 12 mm |
| • rozteč prutů | 102 mm |
| • vzdálenost mezi pruty | 90 mm |
| • dimenzování průtoku na max. přetlak | 5 m vodního sloupce |
| • Počet podpěrných nosníků | 2 ks |

Na vstupu na turbínu budou osazeny česle rozdělené na česlicová pole, která budou přišroubována na kotevní prvky osazené v základním betonu. Rámy česlí budou svařeny z válcovaného materiálu. Horní práh česlicového rámu bude tvarován dle hydraulického tvaru nátoky. Česlicový rám bude uchycen pomocí šroubů. Spojovací materiál bude z nerezavějící oceli, pruty česlí a rám musí tvořit pevný celek. Konstrukce česlí musí být uzpůsoben tvaru škrabky (hrabla) čistícího stroje. Tvar česlí musí být navržen tak, aby při průtoku vody bylo dosaženo co možná nejmenší hydraulické ztráty. Materiál česlí je vyroben z běžné konstrukční oceli. Spojovací materiál je požadován nerezový. Všechny svary musí být provedeny pečlivě.

Vtok do každé turbíny bude opatřen podpěrnými nosníky, které podepírají česlicové pruty. Nosníky budou mít vhodný hydraulický tvar a budou osazeny na vtokové betonové části. Budou podepřeny a ukotveny v bočních zdech vtokové části.

Horní práh (viz obr. 6.18) a dolní práh česlicového pole bude svařen z válcovaného profilu. Prahy, česlicové pruty a jejich kotevní součásti budou vyrobeny tak, aby bylo dosaženo dokonalé roviny česlicových prutů včetně horní plochy nad česlemi.



Obr. 6.18: Horní profil pro upevnění česlí (foto autor)''

Provizorní **hrazení vtoku** (revizní uzávěr) vtoku bude využíván pro případ oprav a údržby turbíny. Pro zahrazení jednoho vtoku na turbínu bude sloužit jedna sada hradidel.

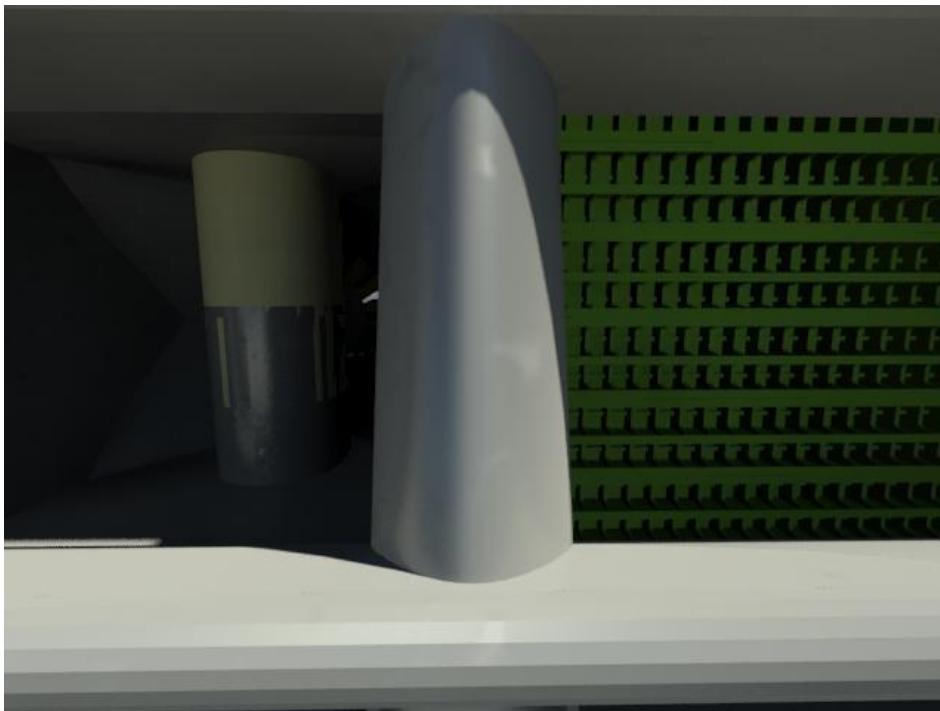
Orientační základní parametry:

- hrazený otvor - světlá šířka 12,00 m
- světlá výška 10,45 m
- délka vedení hradidel cca 15,12 m
- dimenzování na max. přetlak 18 m v. sl.
- počet hradidel v sadě cca 5 ks
- výška hradidel cca 2,15 m

Kompletní zařízení pro hrazení sestávající z:

Ocelové hradící tabule provizorního hrazení vtoku (cca 5 ks na jeden vtok viz obr. 6.19). Ocelové hradící tabule budou svařované konstrukce z krycího plechu a svařovaných nosníků. Povrchová úprava tabulí bude provedena galvanizací a následným ochranným vrchním nátěrem. Na spodní práh a mezi sebou budou těsnit plochou pryží, na boční armaturu (vedení) a horní práh notovou pryží. Manipulaci hrazení je zajištěna pomocí dvouhánkové zdvihací traverzy (viz obr. 6.20). Spojovací

materiál bude nerez, každý hradicí element bude opatřen 4 pojezdovými koly, které budou také z nerez.



Obr. 6.19: Vizualizace hrazení vtoku (vytvořeno autorem)

Zvedací traverza bude zavěšena na hácích zdvihadla pro hrazení a umožní zasunout, nebo vytáhnout jeden kus hradidla do drážky provizorního uzávěru, proto bude navržena na hmotnost jedné tabule. Předpokládá se, že zvedací traverza bude společná pro oba uzávěry (na vtoku a výtoku).

Maximální hmotnost zvedací traverzy bude cca 1200 kg, max. výška traverzy se závěsem bude cca 1300 mm, min. rozpětí mezi závěsy pro uchycení tabule bude cca 6000 mm. Rozteč úchytnů pro manipulační jeřáb čistícího stroje bude cca 3000 mm.



Obr. 6.20: Zvedací traverza (foto autor)

Zařízení skládky hradidel na vtoku se skládá z:

- 2 x 2 ks – boční vedení (délka vedení cca 5,0 m na každé straně)
- 2 ks – dosedací rám (světlná šířka cca 12,60 m)
- 1 sada – poklop skládky hradidel

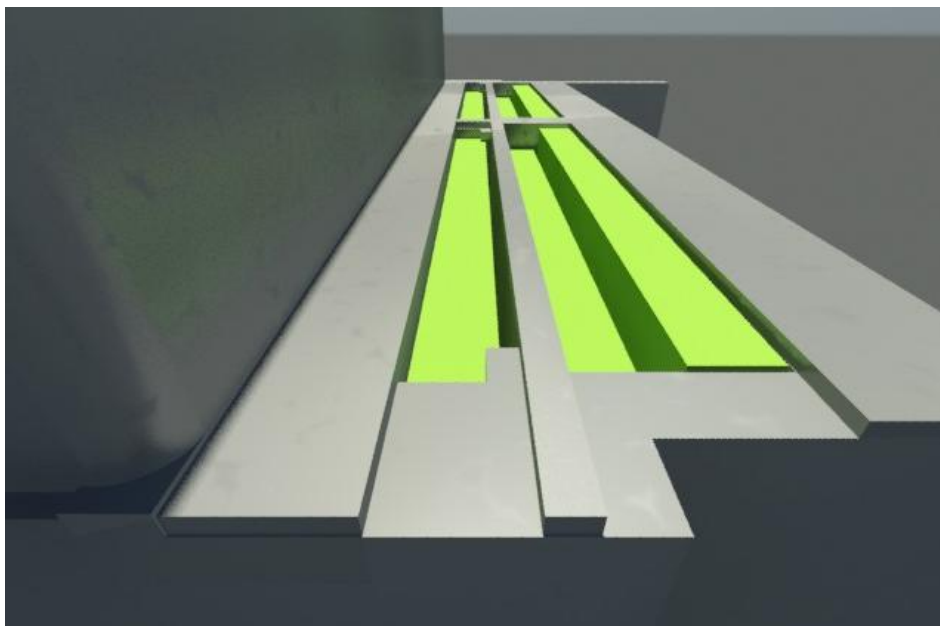
Skládka slouží pro uložení cca 4 ks hradicích elementů provizorního hrazení a zdvihací traverzy (předpokládá se, že jedna tabule zůstane zavěšena v drážce provizorního hrazení - viz obr. 6.22). Zařízení bude umístěno na betonové ploše (viz obr. 6.21 až 6.23) vtoku v dosahu jeřábu čistícího stroje.



Obr. 6.21: Skládka hradidel na vtoku (foto autor)



Obr. 6.22: Skládka hradidel na vtoku - detail (foto autor)



Obr. 6.23: Vizualizace skládky hradidel na vtoku (vytvořeno autorem)

Provizorní **hrazení výtoku** savky (viz obr. 6.24) bude zahrnuto do dodávky a bude využíváno v případě oprav nebo údržby turbíny. Uzávěr bude sestávat ze sestavy jednotlivých hradidel. Jedna sada hradidel bude společná pro obě výtokové části turbíny.

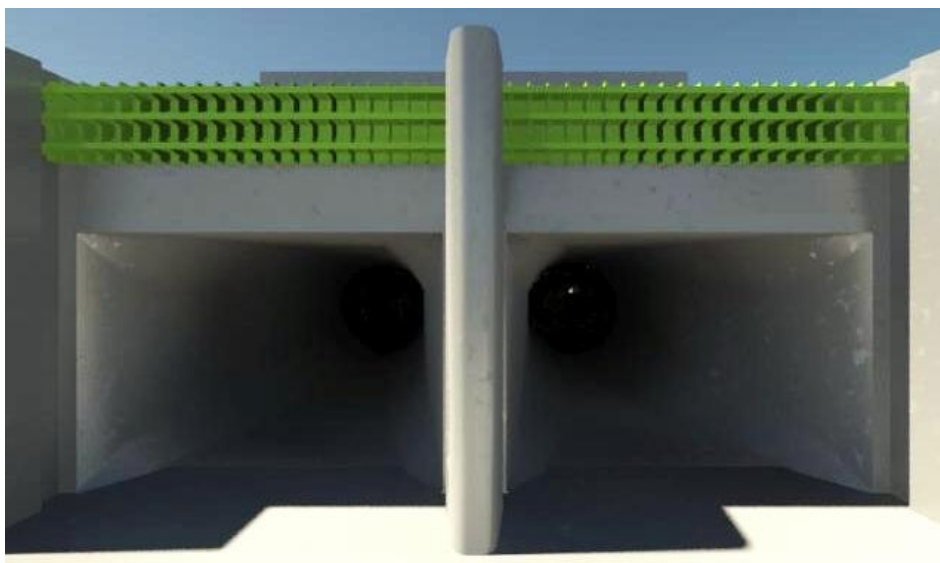
Základní technické parametry:

- | | | |
|-------------------------------|----------------|----------------|
| • hrazený otvor | - světlá šířka | 12,00 m |
| | - světlá výška | 8,50 m |
| • délka vedení hradidel | | cca 13,85 m |
| • dimenzování na max. přetlak | | 16,80 m v. sl. |
| • počet hradidel v sadě | | cca 4 ks |
| • výška 1 hradidla | | cca 2,20 m |

Každá sada hrazení se stává z následujících hlavních částí:

Ocelové hradicí tabule (cca 4 ks) budou svařované konstrukce z krycího plechu a svařených nosníků. Povrchová úprava tabulí bude provedena galvanizací a následným ochranným vrchním nátěrem. Na spodní práh a mezi sebou budou těsnit plochou pryží, na boční armaturu a horní práh notovou pryží. Hradicí tabule budou uzpůsobeny pro manipulaci pomocí dvouhřákové zdvihací traverzy za vyrovnaných hladin pomocí autojeřábu. Z tohoto důvodu je nutno vybavit tabule závěsnými oky, spojovací materiál bude nerez.

Materiál hradidlové tabule je dimenzován pro plné zatížení jednostranným tlakem vody při hladině vody v nádrži Q_{100} .

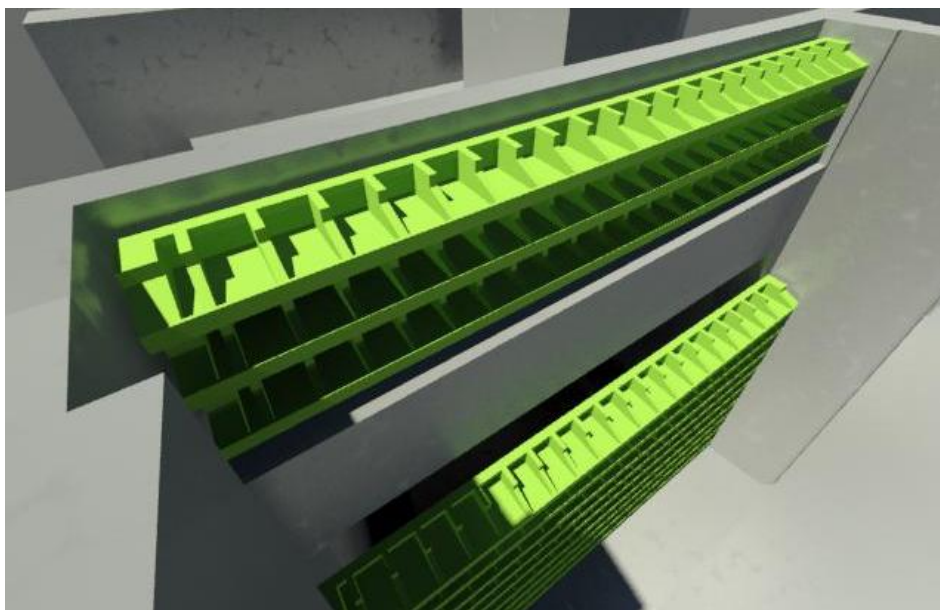


Obr. 6.24: Vizualizace skládky hradidel na výtoku – vytažená hradidla (vytvořeno autorem)

Zařízení skládky hradidel savky pro uložení 1 sady (cca 2 tabulí) hrazení savky, 2 ks tabulí budou uloženy v drážkách hrazení. Zařízení bude skladováno přímo nad výtokem ze savky (viz obr. 6.25 až 6.27).

1 sada zařízení skládky se stávají z:

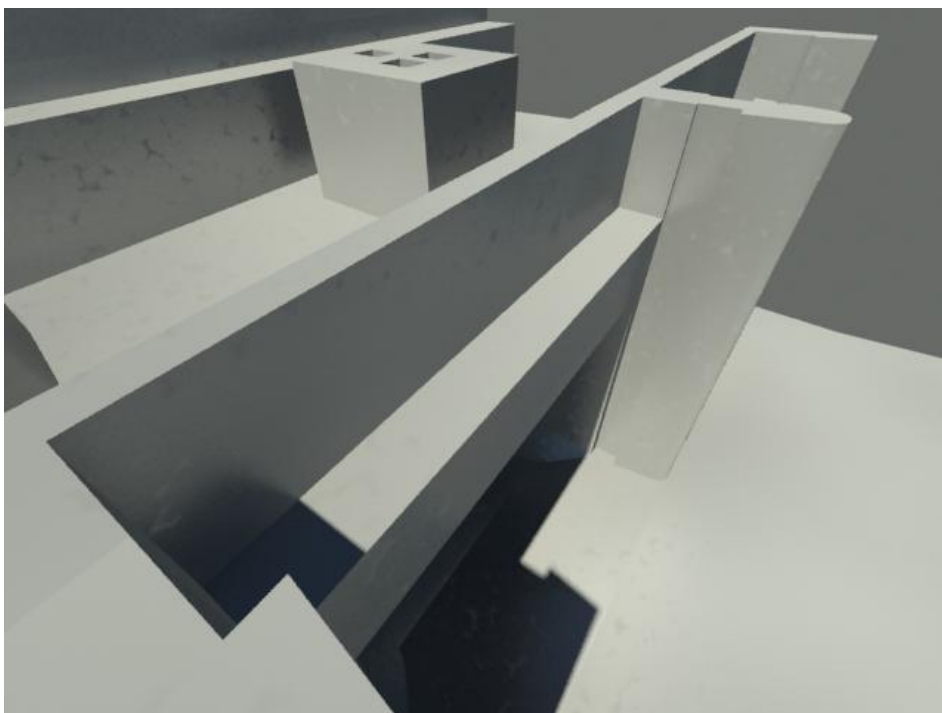
- 2 ks – boční vedení (vodící a opěrné hranolky)
- 1 ks – dosedací práh



Obr. 6.25: Vizualizace skládky hradidel na výtoku (vytvořeno autorem)



Obr. 6.26: Skládka hradidel na výtoku - detail (foto autor)



Obr. 6.27: Vizualizace skládky hradidel na výtoku – bez hradidel (vytvořeno autorem)

6.2.6. PS 02 – Technologická část strojn

Kompletní **přímoproudá horizontální Kaplanova turbína** (viz obr. 6.28) o průměru oběžného kola cca 5100 mm v provedení PIT s obtékanou šachtou, s regulovatelným oběžným i rozváděcím kolem. Turbína bude přes převodovou skříň pohánět horizontální synchronní generátor.

Turbína je konstruována pro následující předpokládané základní parametry (parametry jsou udávány pro jednu turbínu):

• průměr OK	D = cca 5100 mm
• počet oběžných lopatek	3
• otáčky - jmenovité	$n = \text{cca } 54 - 60 \text{ min}^{-1}$
- průběžné	$n_p = \text{max } 2,8 * n$
• čistý spád - návrhový	$H_n = \text{cca } 2,5 - 2,7 \text{ m}$
- minimální	$H_{\min} = 1,00 \text{ m}$
- maximální	$H_{\max} = 2,95 \text{ m}$
• průtok - návrhový	$Q_n = \text{cca } 80 - 100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- minimální	$Q_{\min} = 45 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- maximální	$Q_{\max} = 150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
• max. výkon (na hřídeli turbíny)	$P_{\text{tmax}} = \text{cca } 3500 \text{ kW}$
• kóta osy oběžného kola	cca 138,00 m n. m.

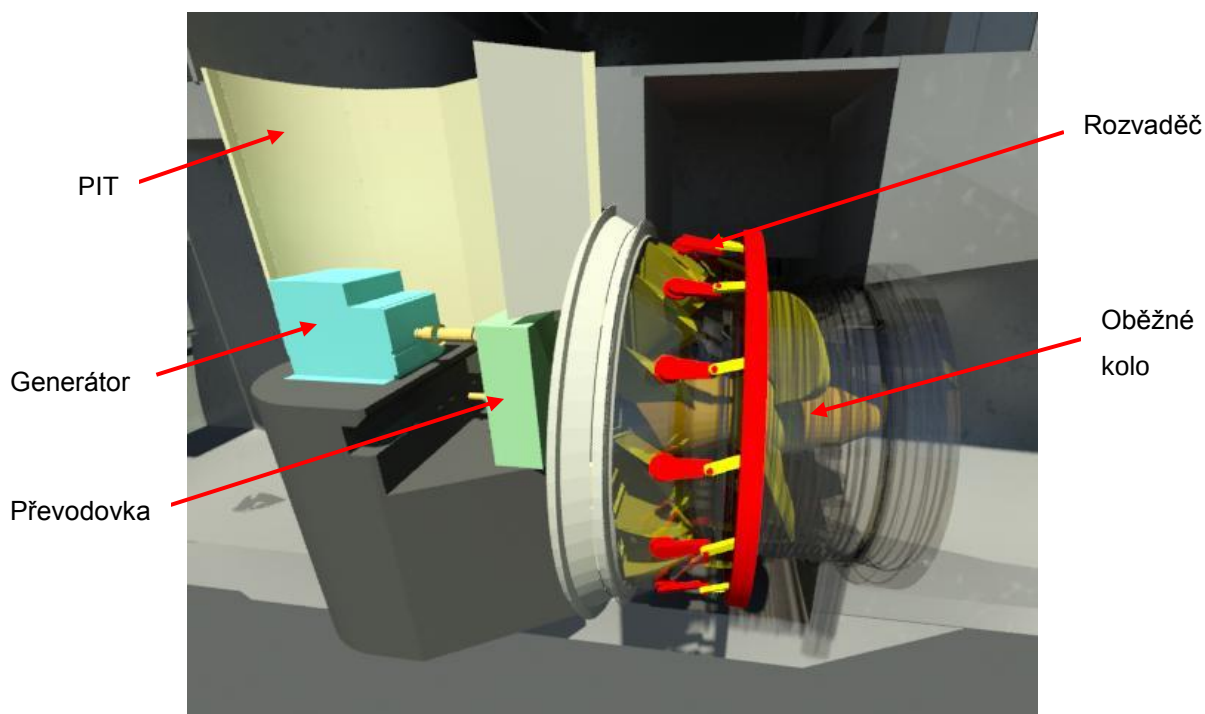
Turbína se skládá z těchto základních částí:

- oběžné kolo,
- rozvaděč,
- hřídel turbíny,
- savka turbíny,
- PIT turbíny,
- vstup do generátorové šachty (PITu),
- převodová skříň,
- synchronní generátor.

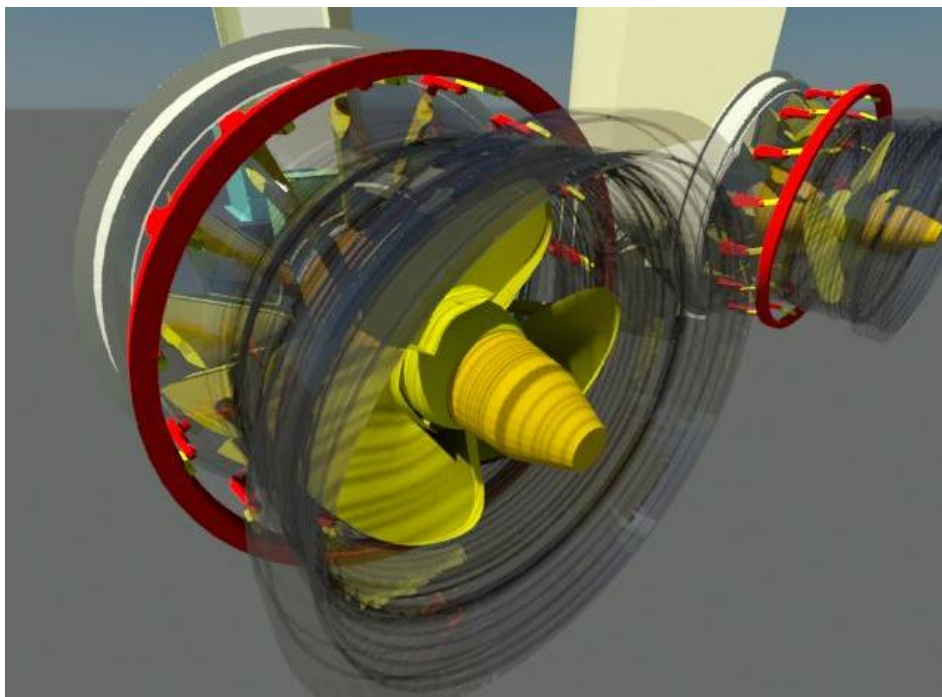
Oběžné kolo (OK) se servomotorem oběžného kola (SM OK) a s oběžnými lopatkami přestavitelnými pomocí tohoto servomotoru OK (viz obr. 6.29). Kolo bude sestávat z hrotu náboje, vnitřního a přestavného mechanismu včetně táhel, pák, čepů a samomazných pouzder. Bude staticky vyvážené. Náboj kola bude proveden jako odlitek, obtékaný povrch bude povážen nerezí. Lopatky kola

budou vyrobeny z nerez materiálu. Lopatky budou uloženy v samomazných pouzdrech. SM OK bude zásobován tlakovým olejem trubkami v hřídeli přes rotační dělič průtoku/rozdělovací hlavu, která bude uchycena na pomaloběžném hřídeli převodovky. Mechanismus OK se skládá z pák, táhel, čepů, atd.. Případný průsak ze SM OK (z prostoru OK) a případný průsak vody do OK bude vrtáním hřídele vyveden do prostoru za ucpávku hřídele do sběrné nádrže a odkud olej bude přepadat potrubím do separátoru.

Oběžné kolo musí pracovat spolehlivě při plném zatížení s plně otevřenými oběžnými lopatkami při maximální hladině v nádrži (max. spád). Oběžné lopatky musí být schopny regulace v celém rozsahu otevření. Lopatky budou vyrobeny z oceli nejlepší kvality (nerez oceli odolné proti kavitaci). Spojení oběžných lopatek s nábojem musí umožnit montáž a demontáž lopatek ve vertikální i horizontální poloze. Ocelové šrouby vysoké trvanlivosti, které budou předepjaty během konečné montáže, musí zabránit možnosti uvolnění během provozu [A26].



Obr. 6.28: Vizualizace kompletní přímoproudé horizontální Kaplanovy turbíny – generátor, převodovka, rozvaděč, oběžné kolo, PIT (vytvořeno autorem)



Obr. 6.29: Vizualizace kompletní přímoproudé horizontální Kaplanovy turbíny – oběžné kolo + rozvaděč (vytvořeno autorem)

Rozvaděč turbíny a regulační mechanismus vnitřní a vnější strany rozvaděče turbíny bude kulovitého tvaru, aby byly zaručeny co nejmenší mezery. Rozváděcí lopatky budou regulovatelné v axiálním směru vymezeném po nastavení vnější a vnitřní vůle. Turbínový rozvaděč, ovládaný regulačním kruhem, je navržený k regulaci průtoku vody turbínou. Jeho vnější tělo bude vyrobeno z několika částí. Vodou obtékaný povrch rozvaděče je kulovitého tvaru, aby byly zaručeny minimální průtoky mezi komorou a rozváděcími lopatkami – ty budou propojeny regulačním kruhem za pomoci pružného elementu a budou vyměnitelné bez nutnosti rozebrání dalších součástí turbíny. Rozsah natočení regulačního kruhu bude z 0% do 100%.

Kotevní příruba na vtokové části rozvaděče je tvořena jako svařenec z plechů. Příruba bude sloužit pro upevnění vnějšího a vnitřního lopatkového kruhu rozvaděče. Na vnější ocelové části kuželového přechodového kusu bude provedeno těsnění, které musí zabránit průsakům ve spáře mezi ocelovou konstrukcí a betonem.

Diagonální rozvaděč je tvořen z rozvádějících lopatek, z mechanismu rozvaděče a regulačního kruhu. Rozváděcí kolo musí být provedeno jako provozní uzávěr, aby bezpečně uzavřelo průtok přes turbínu. Revizní lopatky budou vyrobeny z ocelolityny a budou opatřeny vhodnou povrchovou ochranou.

Všechny použité **hřídele turbíny** budou vyrobeny z prvotřídní zušlechťené oceli. Hřídele budou navrženy tak, aby přenesly maximální výkon a zajistily bezpečný provoz bez škodlivých účinků způsobených vibrací v celém pracovním rozsahu turbíny. Spojky hřídele musí být provedeny pečlivě s přesným spojením (slícováním) konců hřídele. Součástí hřídele budou i spojovací šrouby a kolíky pro spojení s OK a převodovou skříní.

Savka turbíny je tvořena přechodový kuželovým kusem připojeným ke komoře oběžného kola bude napojen z hydraulického hlediska velmi pečlivě, aby bylo zabráněno vzniku kavitace, nebo ztrát vlivem narušení proudění. Na vnější ocelové části kuželového přechodového kusu bude provedeno celoobvodové těsnění (plastové, přišroubované na výztužný prstenec savky), které musí zabránit průsakům ve spáře mezi ocelovou konstrukcí a betonem.

Ocelové části savky budou vhodně vyztuženy, aby odolaly deformacím během montáže a betonáže. Dále musí být vyztuženy výztuhami s podporami ukotvenými do betonu, aby snížily vibrace na minimum, a budou provedeny s odpovídajícím kotvením pro zachycení do primárního betonu.

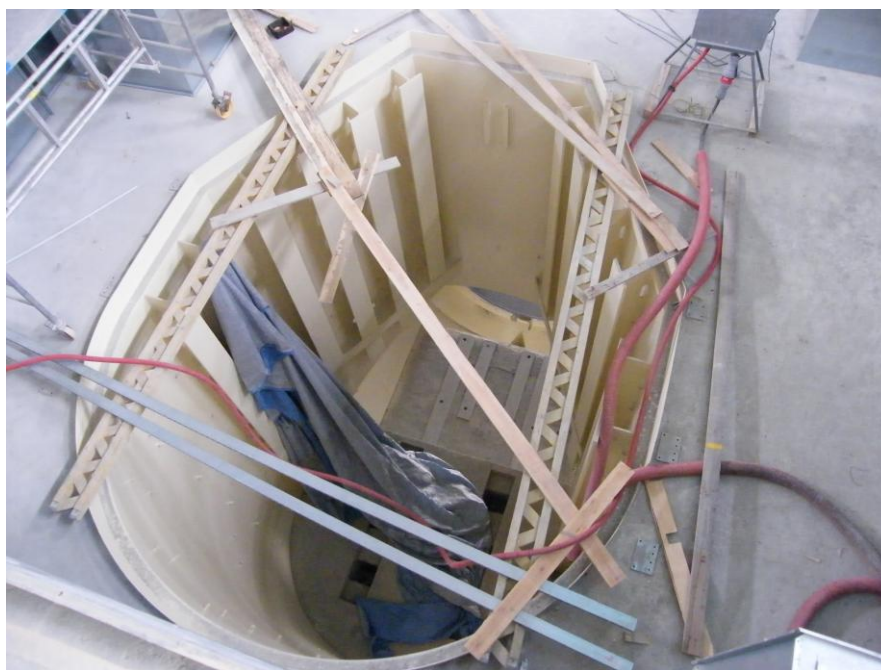
Kotvení, uchycení a kotevní šroubová spojení a výztuhy, závěsná oka aj. budou součástí dodávky. Poslední část savky bude tvarována v betonu.

PIT turbíny [A26] je svařenec z plechů a výztužných profilů. Součástí PITu budou kotevní patky pro generátor a pro převodovku. Na stavbu bude PIT dopraven po částech a svařen až na stavbě. Po vyrovnání vůči savce a přivaření kotevní příruby bude pomocí příložek přivařen k zabetonované kotevní desce a pomocí kotevních tyčí k armatuře stavby. Po zabetonování budou odstraněny výztuhy pro betonáž a provedeny vrchní nátěry.

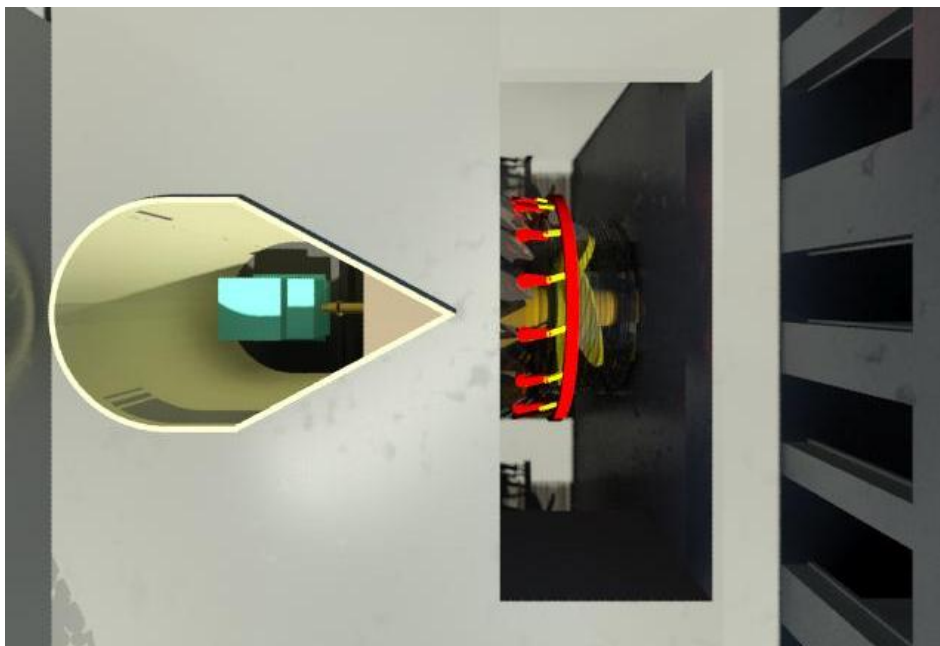
Parametry PITu:

- o konstrukce PITu bude opatřena podélnými a příčnými výztuhami,
- o po obvodu horní části PITu bude dodáno průběžné těsnění spáry (plastové, přišroubované na výztužný prstenec PITu) mezi ocelovou částí PITu a betonovou konstrukcí provedené ve dvou výškových úrovních.

Na výrobu PITu bude použito tabulí válcovaného plechu z běžné konstrukční oceli vhodné pro svařování.



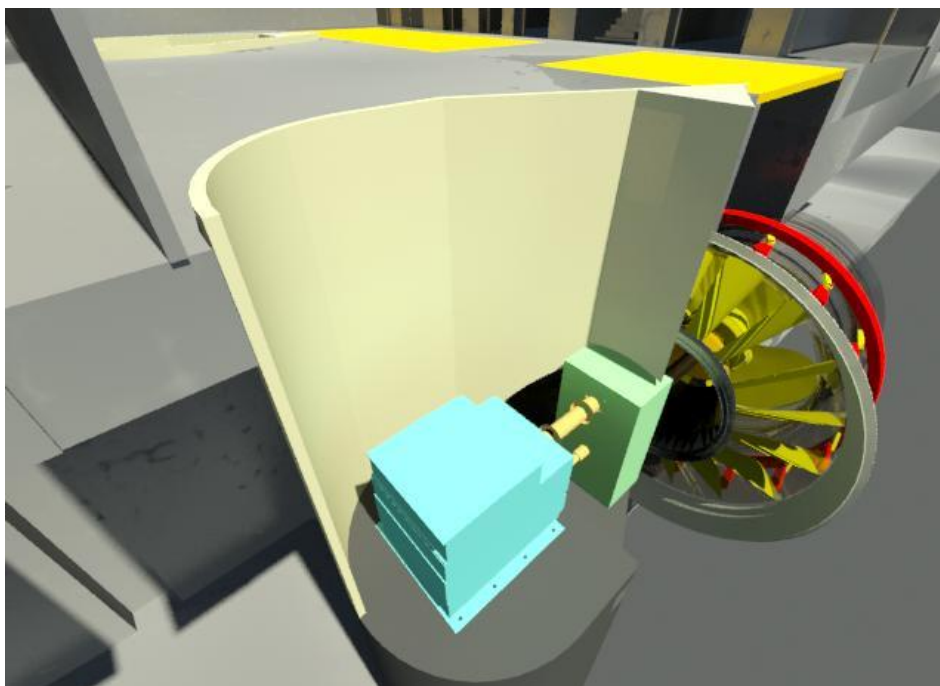
Obr. 6.30: Ocelový PIT (foto autor)



Obr. 6.31: Vizualizace PITů turbín (vytvořeno autorem)

Vstup do generátorové šachty (PITu) se stává ze zábradlí okolo PITu, z pevného žebříku pro vstup do PITu, vše provedeno z nerezového materiálu.

Převodová skříň propojující turbínu se synchronním generátorem. Převodovka je umístěna na betonové patce, kde je pevně upevněna. Materiál převodovky a kola převodovky budou vyrobeny z prvotřídně tepelně zpracované oceli.



Obr. 6.32: Vizualizace svislého řezu převodové skříň, generátoru a rozváděcích lopatek (vytvořeno autorem)

Hlavní technické parametry:

- maximální výkon před převodem cca 3850 kW
- nominální (návrhový) výkon pře převodem cca 2800 kW
- vstupní jmenovité otáčky cca 54 – 60 ot/min
- výstupní jmenovité otáčky cca 750 ot/min
- vstupní max. průběžné otáčky cca 2,8 *n ot/min
- axiální tah cca 650 kN

Synchronní generátor [A26] je horizontální stroj skříňové konstrukce a je umístěn v místě PITu na kotvící patce, tato patka je tvořena z betonu. Generátor je pevně připevněn k betonové patce. Chlazení generátoru je zajištěno vzduchotechnikou, která je umístěna přímo v PITu turbíny.

Základně technické parametry:

- činný výkon $P_{gmax} = 3230 \text{ kW}$
- účinník $\cos\varphi = 0,85$
- jmenovitý zdánlivý výkon $S_g = 3800 \text{ kVA}$
- otáčky - jmenovité $n_q = 750 \text{ min}^{-1}$
- průběžné (min. 15 min) $n_{qp} = \max. 2,8 * n_q \text{ min}^{-1}$
- frekvence $f = 50 \text{ Hz}$
- krytí IP 23
- chlazení vzduchové

7. Postup tvorby vizualizace

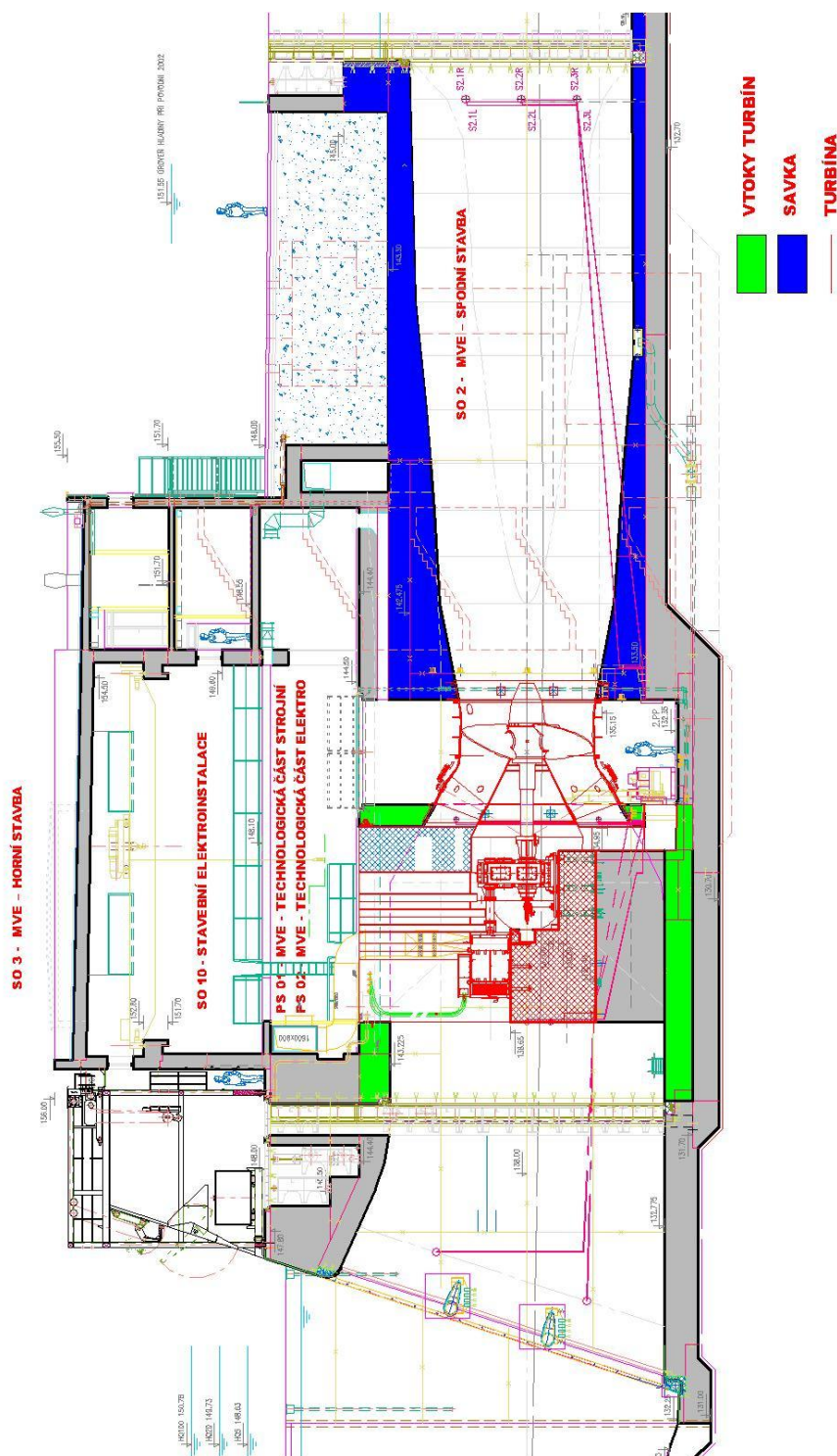
Při tvorbě vizualizace byla použita převážně výkresová dokumentace [A1] - [A22].

Vlastní postup tvorby vizualizace zahrnoval tyto základní kroky:

1. Tvorba 3D modelu.
2. Přiřazení materiálu a osvětlení.
3. Vytvoření animace.

7.1. Tvorba 3D modelu

Tento krok zahrnoval vytvoření prostorového (3D) modelu objektů SO 2 a SO 3 včetně technologického zařízení. Prostorové modely byly vytvořeny za použití programu AutoCAD 2012. Základním výchozím podkladem pro tvorbu 3D modelu byla výkresová dokumentace [A1] - [A22] poskytnutá ve formátu *.dwg. S ohledem na značnou složitost modelované stavby bylo nutno jednotlivé skupiny objektů rozdělit na jednoduchá tělesa.



Obr. 7.1: Rozdělení spodní stavby na jednotlivé části

Popis tvorby 3D modelů je strukturován dle následujících bodů:

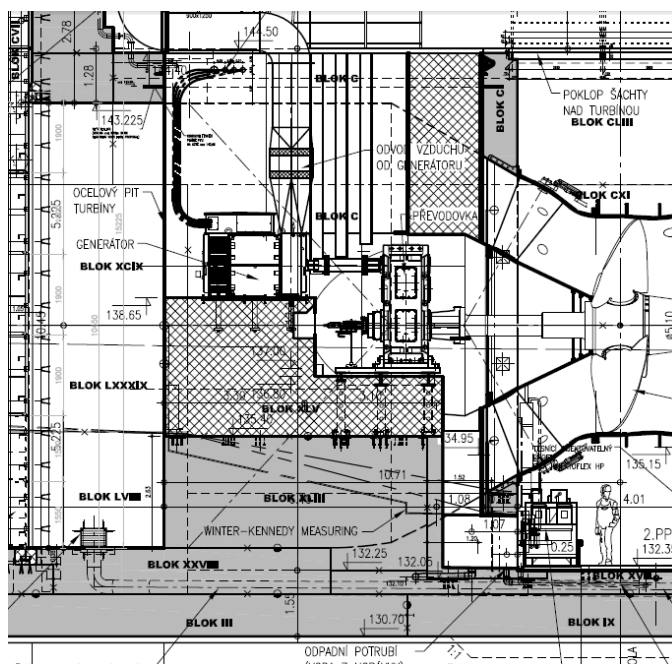
- použití 2D výkresů z technické dokumentace pro vytvoření profilů objektu,
- převod 2D profilů do 3D profilů,
- na základě vytvoření 3D profilu sítě, která tvoří povrch těles,
- vytvoření objemového tělesa na základě síťového modelu.

7.1.1. Vtoky turbín

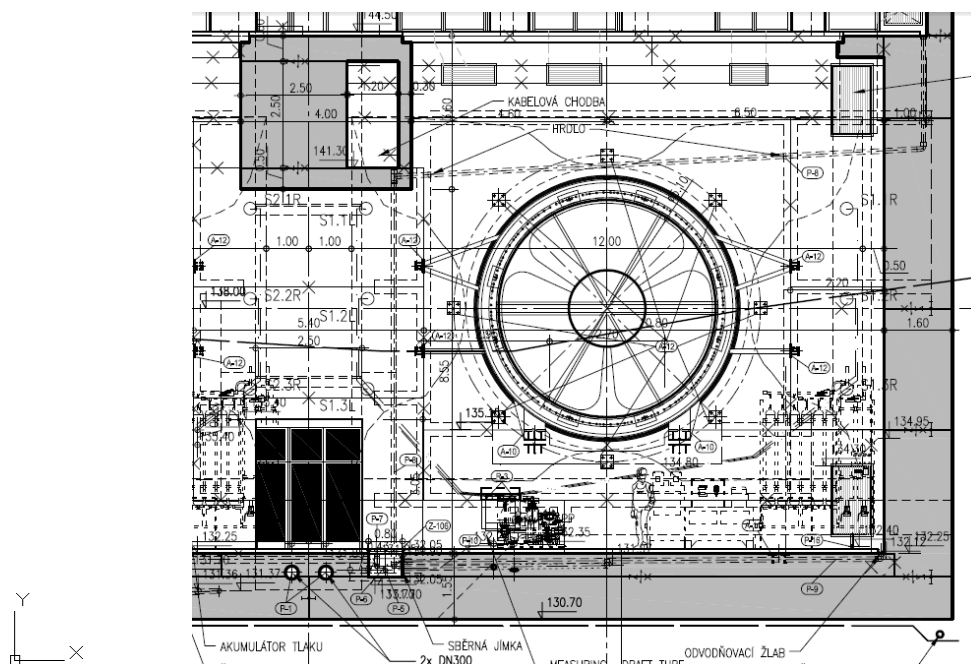
Vtoky turbín jsou součástí spodní stavby. Po délce mění příčný profil. Její první část, nátok, je tvořen obdélníkem, který přechází přímkovou zborcenou plochou do kruhového průřezu v místě příruby turbíny.

Modelování tohoto objektu probíhalo v těchto krocích:

1. Prvním krok zahrnoval podrobné seznámení s výkresovou dokumentací, jejíž dílčí výřezy jsou uvedeny na obrázku 7.2 až 7.5.

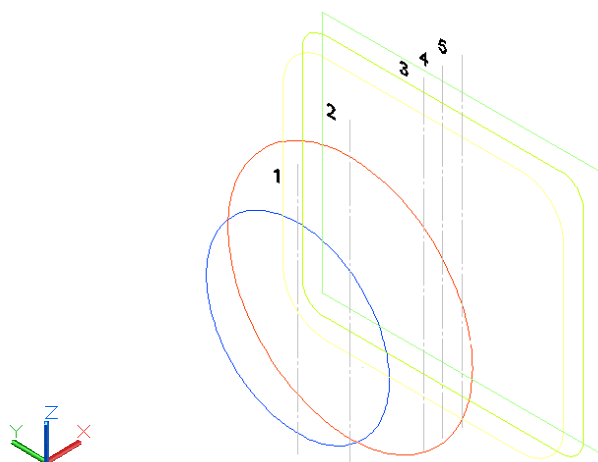


Obr. 7.2: Výřez z podkladů – přechodový kus vtoku turbín, svislý řez v ose turbíny [A6]



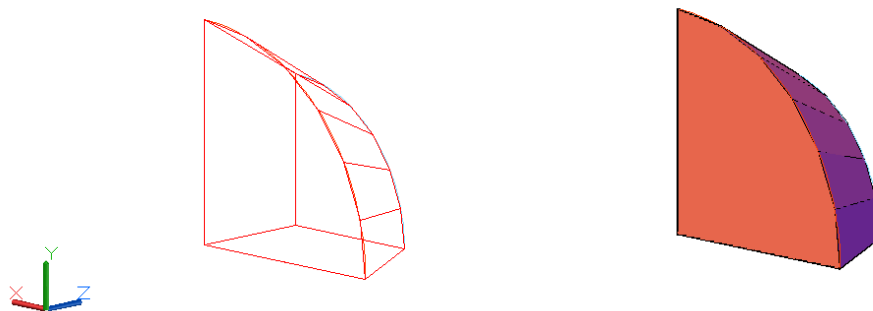
Obr. 7.5: Výřez z podkladů – příčný řez osou oběžného kola [A11]

2. Poté z těchto podkladů byly vykresleny jednotlivé profily objektů s použitím nástrojů ÚSEČKA a KRUŽNICE.



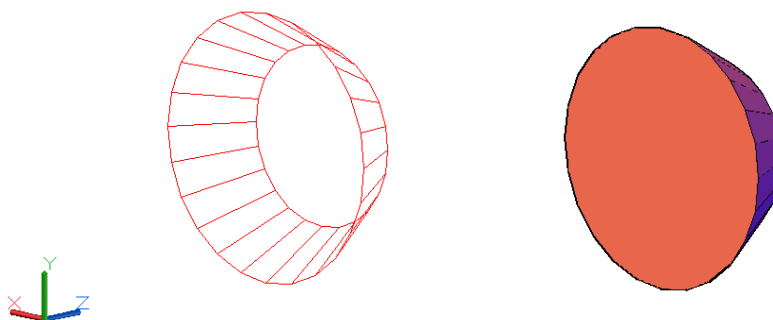
Obr. 7.6: Rozdělení průřezů vtoku

3. Z těchto částí byly vytvořeny charakteristické 3D profily umístěné v prostoru. Konkrétně se jednalo o profily 1 a 2 (viz obr. 7.6) Na tyto profily byly vykresleny sítě pomocí příkazu PŘÍPL. Poté co byla síť narýsována, byla připojena pomocí nástroje SJEDNOCEN k ostatním. Následující příkaz vytvořil povrch, kterými nástrojem PŘEVNATĚLESO vytvořil 3D těleso (viz obr. 7.3).



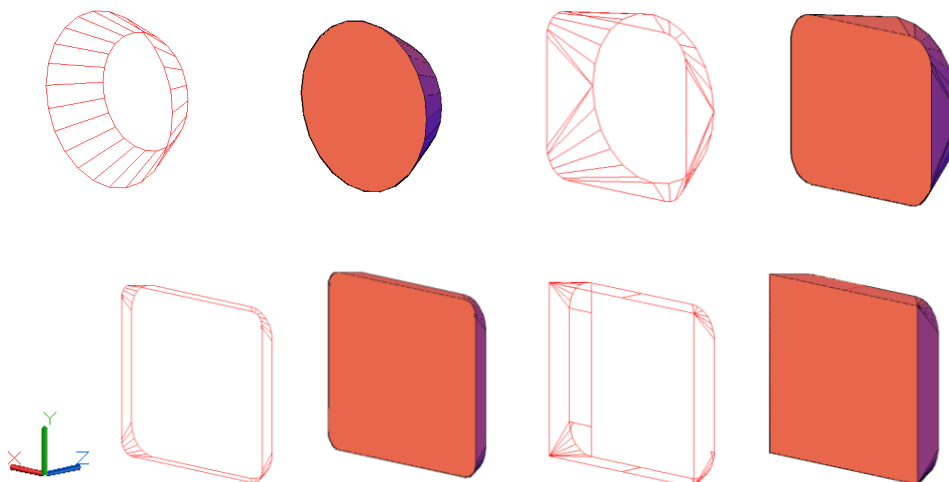
Obr. 7.7: Převedený objekt na 3D těleso – použity dva druhy zobrazení (drátové a koncepční)

4. Po vzniku tohoto tělesa bylo použito ZRCADLI3D a poté SJEDNOCEN pro vytvoření celkové jedné části vtoku turbín.



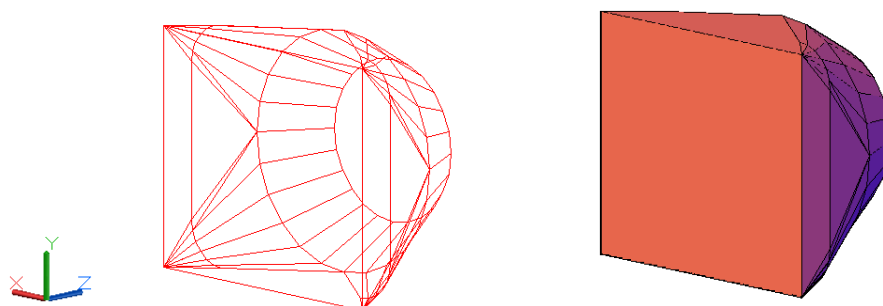
Obr. 7.8: Vytvořeno jedno těleso vtoku turbín

5. Pro vytvoření ostatních těles byl postup stejný jako v krocích 2 – 4.



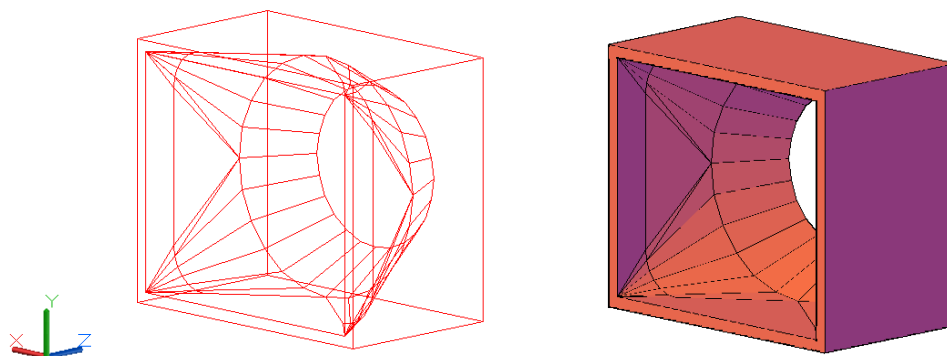
Obr. 7.9: Hotová jednotlivá tělesa vtoku turbín

6. Všechna vytvořená tělesa byla umístěna k sobě pomocí POSUN a použit nástroj sjednocen SJEDNOCEN. Vznikla vtoková část turbín, které jsou součástí spodní stavby.



Obr. 7.10: Vytvořena vtoková část turbín spojením všech těles (obr. 7.4 - 7.5),

7. Pro zařazení vymodelovaného tělesa do celého výsledného objektu byla vytvořena krychle, od které bylo toto těleso pomocí nástroje ROZDÍL odečteno.



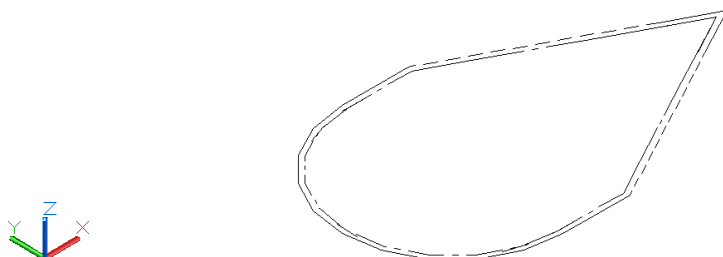
Obr. 7.11: Konečný vzhled tělesa vtoku turbín

7.1.2. Turbína

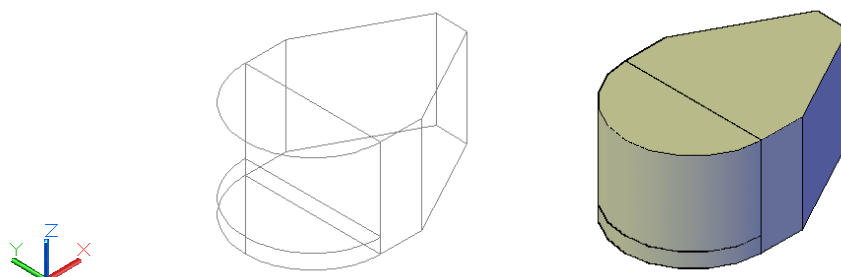
Turbína je součástí spodní stavby a je tvořená z několika dílčích částí, jako je:

- ocelový PIT turbíny
- betonový podklad PITu
- turbína – oběžné kolo, generátor, převodovka, rozváděcí kolo

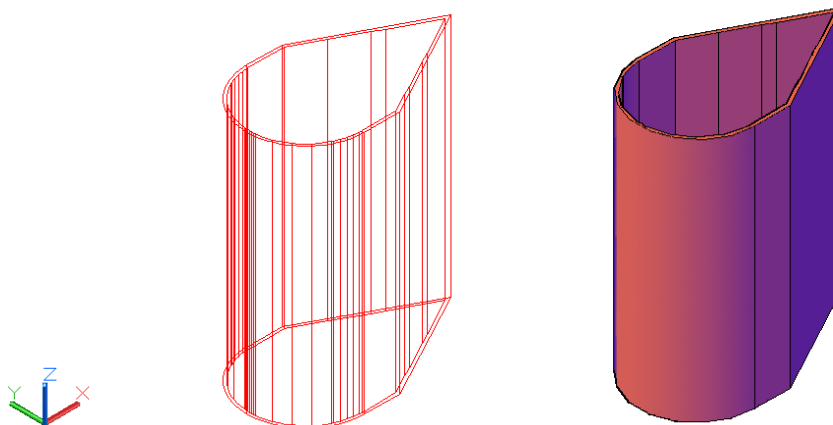
1. Při vyrýsování turbíny bylo vycházeno z technických podkladů, které byly použity v kroku jedna v kapitole 7.1.1. Vtoky turbín.
2. Tvoření ocelového pláště PITu turbíny. Z technických podkladů bylo příkazem TLAČTÁHNI vytvořen betonový základ (viz obr. 7.12). Na tento podklad byla nasazena ocelová skořepina PITu.



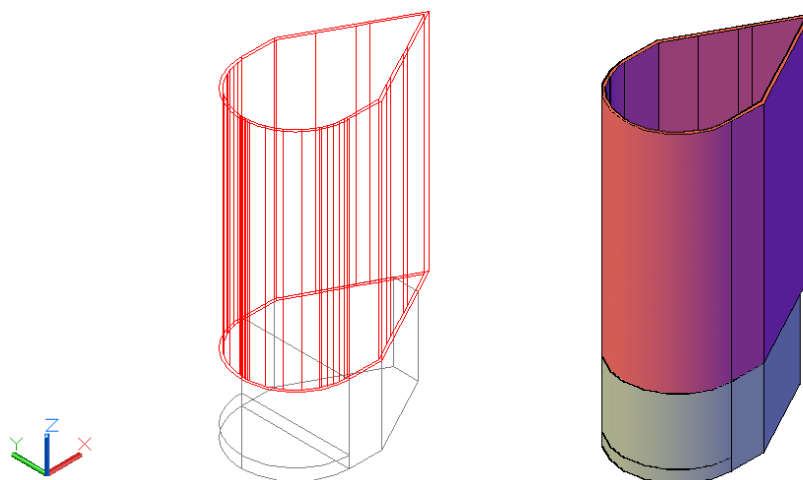
Obr. 7.12: Betonový základ - půdorys



Obr. 7.13: Betonový základ – půdorys po vytažení

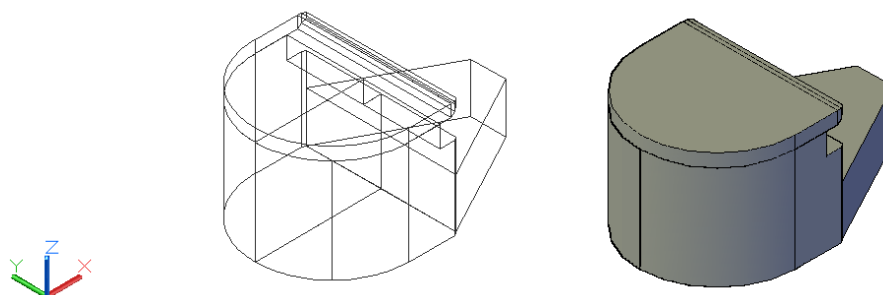


Obr. 7.14: Ocelový plášť šachty turbíny (PIT)

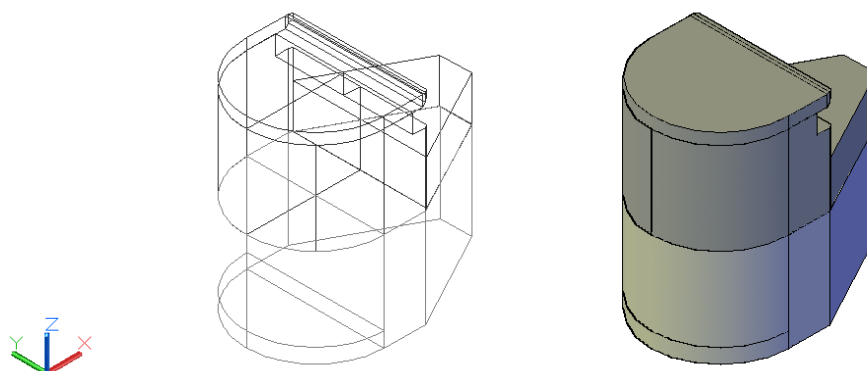


Obr. 7.15: Ocelový plášť PITu s betonovým základem

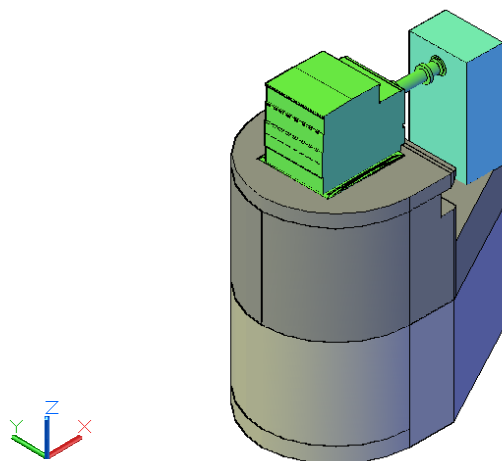
3. V ocelovém PITu byl vymodelován základ pro generátor a převodovku (viz obr. 7.18). Tento podklad byl vytvořen pomocí příkazu TLAČTÁHNI a ÚSEČKA.



Obr. 7.16: Betonový základ uvnitř PITu

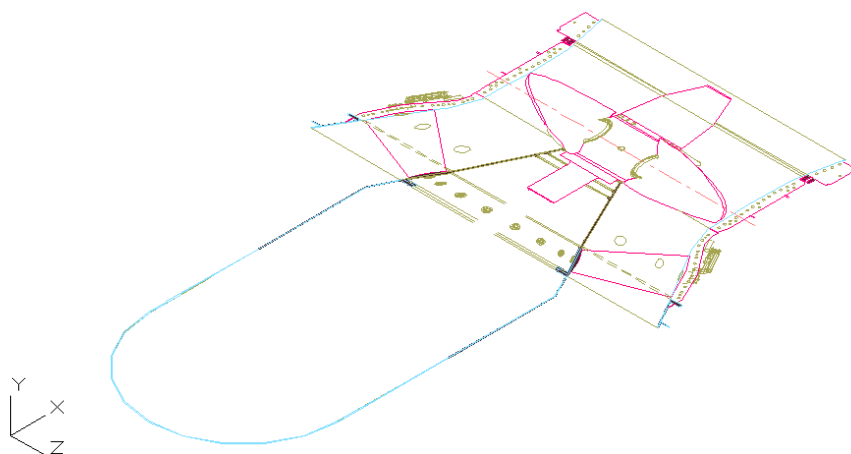


Obr. 7.17: Betonový základ pod generátor a převodovku

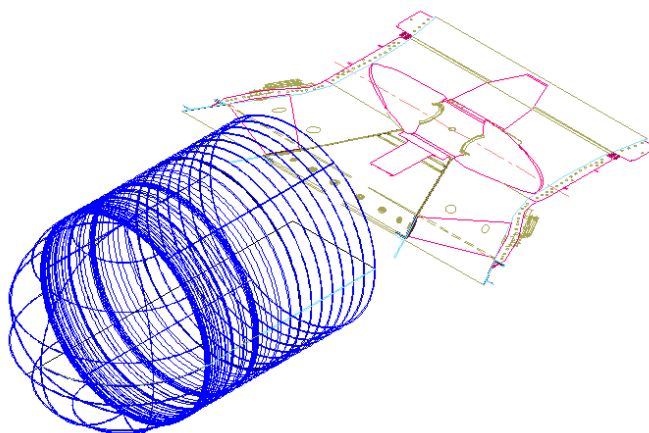


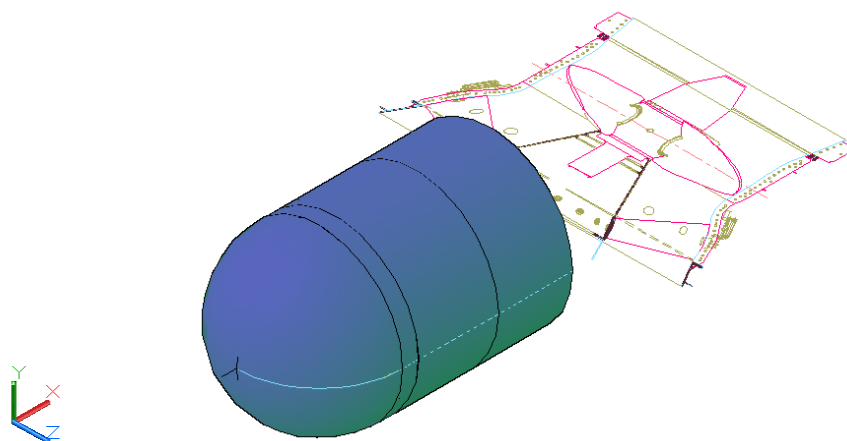
Obr. 7.18: Betonový základ s generátorem a převodovkou

4. Náboj turbíny byl vymodelován z technických podkladů (viz obr. 7.19). Při vytváření 3D tělesa byl použit příkaz `OROTUJ` (viz obr. 7.20).



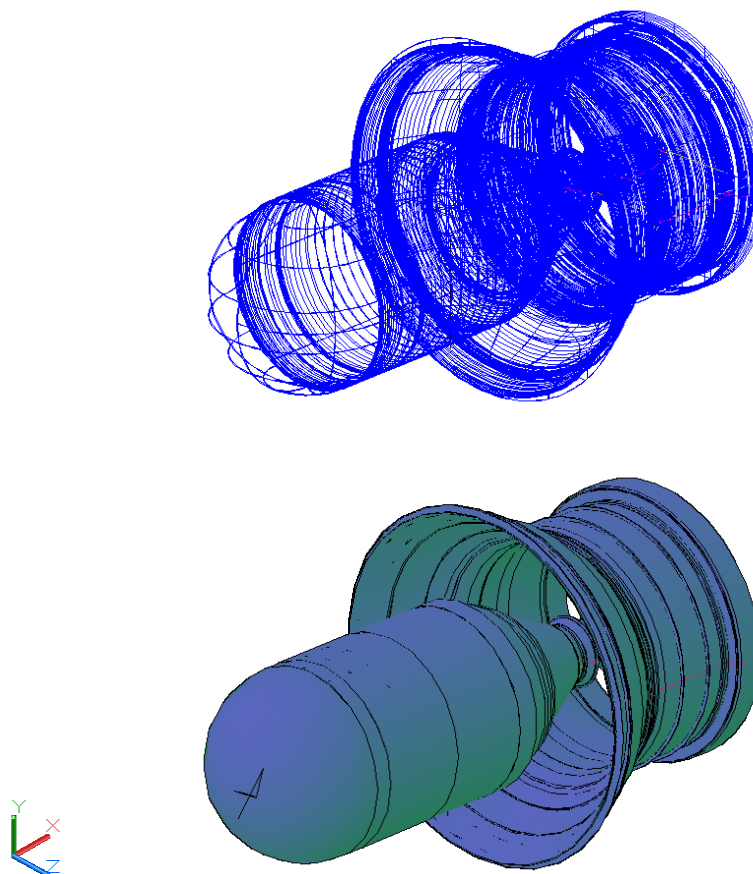
Obr. 7.19: Podklady pro vytvoření náboje turbíny





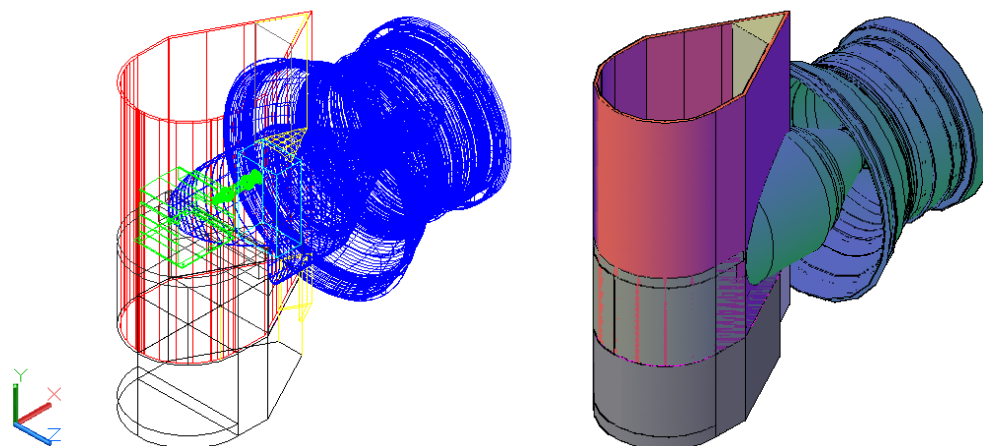
Obr. 7.20: Vytvořený náboj turbíny pomocí příkazu OROTUJ

5. Další část turbíny byla vymodelována pomocí příkazu OROTUJ.

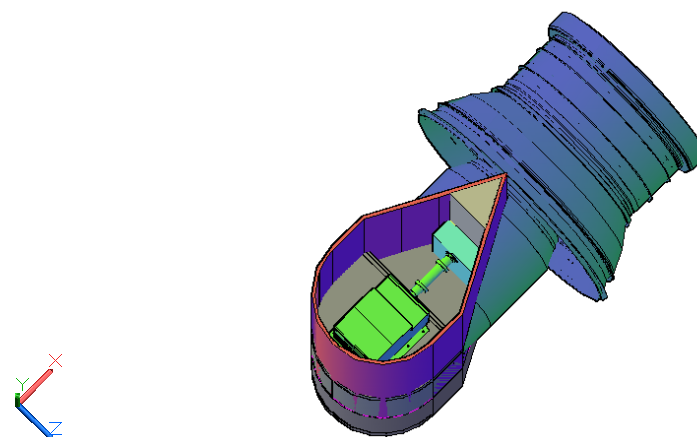


Obr. 7.21: Vytvořený náboj turbíny

6. Průnik ocelového PITu a náboje turbíny byl vytvořen pomocí příkazu ODŘÍZNI. Všechny vzniklé části byly umístěny dle výkresové technické dokumentace (viz obr. 7.22).

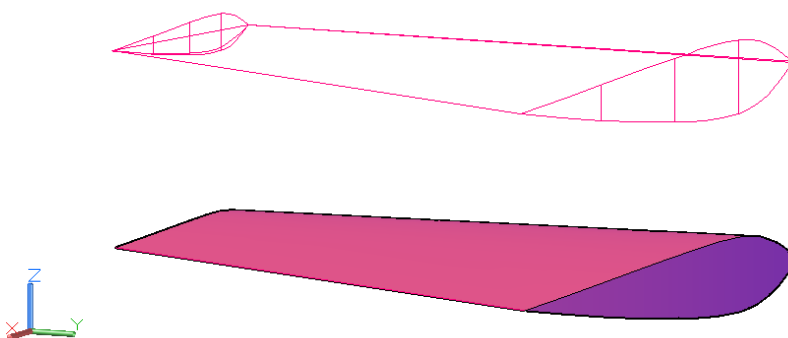


Obr. 7.22: Spojení všech částí turbíny – průnik ocelového PITu a turbíny



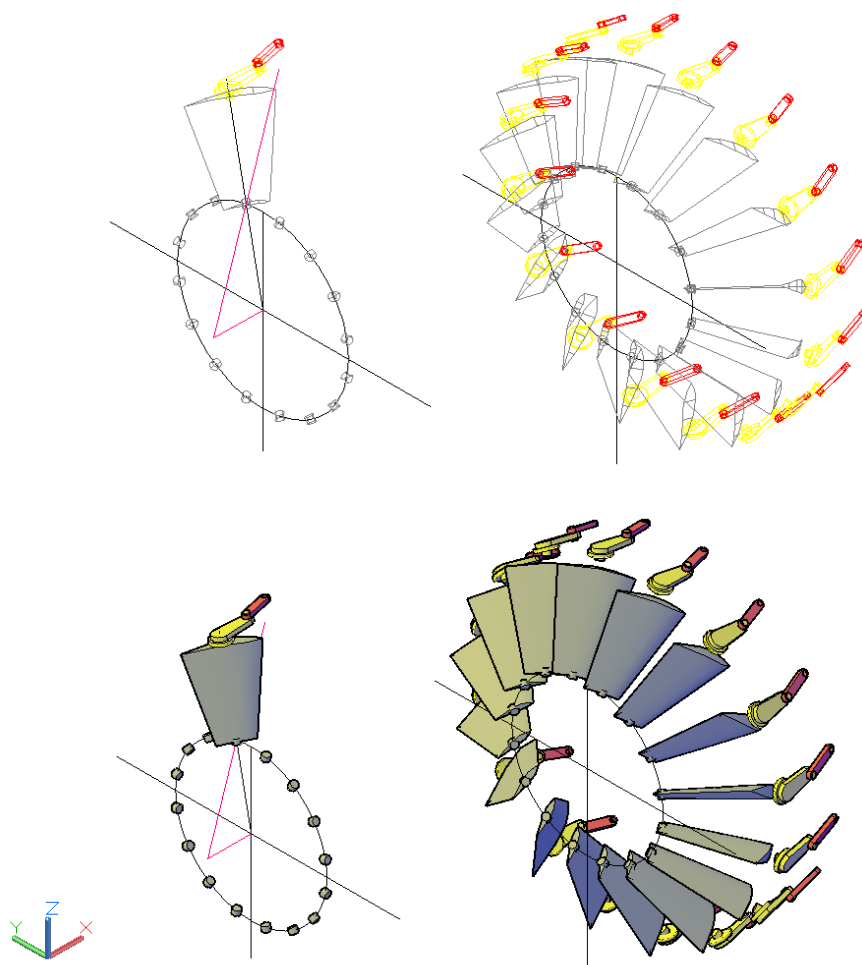
Obr. 7.23: Pohled na pit s umístěním generátoru a převodovky

7. Rozvaděč byl vymodelován z technických podkladů [A24] (viz obr. 7.19). Před vytvořením 3D tělesa byl narýsován 2D profil pomocí příkazu `SPLINE`.
8. Z 2D profilu bylo vytvořeno 3D těleso pomocí nástroje `TLAČTÁHNI` (viz obr. 7.24).



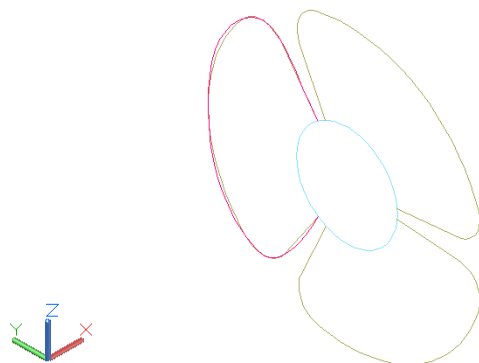
Obr. 7.24: Pohled na vymodelovanou rozváděcí lopatku

9. Pro vytvoření celkového tělesa byla jeho část použítím příkazu `POLE` pravidelně rozmístěna (viz obr. 7.25) po zadané trajektorii. Vzniklý objekt byl umístěn dle výkresové dokumentace.



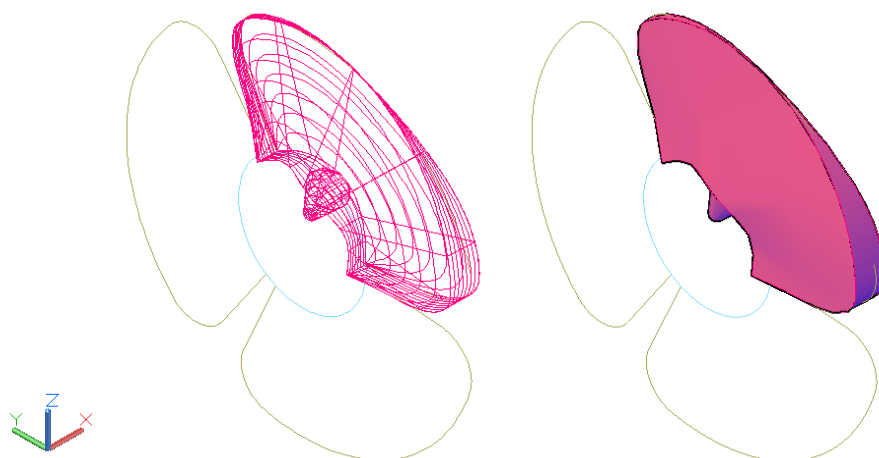
Obr. 7.25: Pohled na vymodelovaný rozvaděč

10. Oběžné kolo bylo vymodelováno z technických podkladů (viz obr. 7.19). Před vytvořením 3D tělesa byl narýsován 2D profil pomocí příkazu `SPLINE` (viz obr. 7.26).



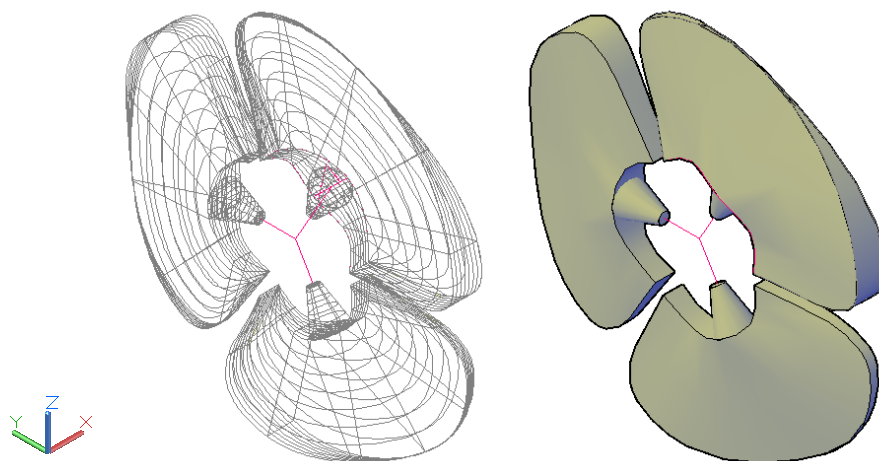
Obr. 7.26: Pohled na oběžné kolo

11. Pomocí příkazu ŠABLONOVÁNÍ byl vytvořen povrch. Vytvořené povrchy byly pomocí nástroje SJEDNOCENÍ spojeny (viz obr. 7.27).



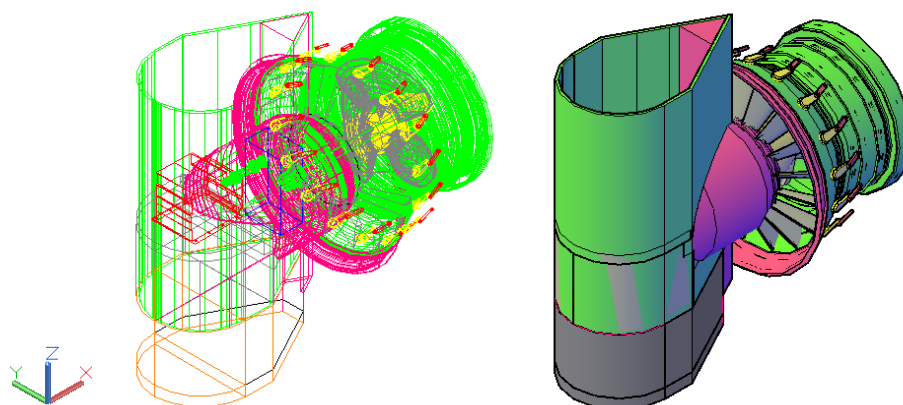
Obr. 7.27: Vytvořený povrch

12. Sjedené plochy byly pomocí příkazu POLE pravidelně rozmístěny po dané trajektorii a vznikl výsledný objekt (viz obr. 7.28).



Obr. 7.28: Vymodelované oběžné kolo

13. Sjednocení jednotlivých částí do jednoho modelu (viz obr. 7.29)

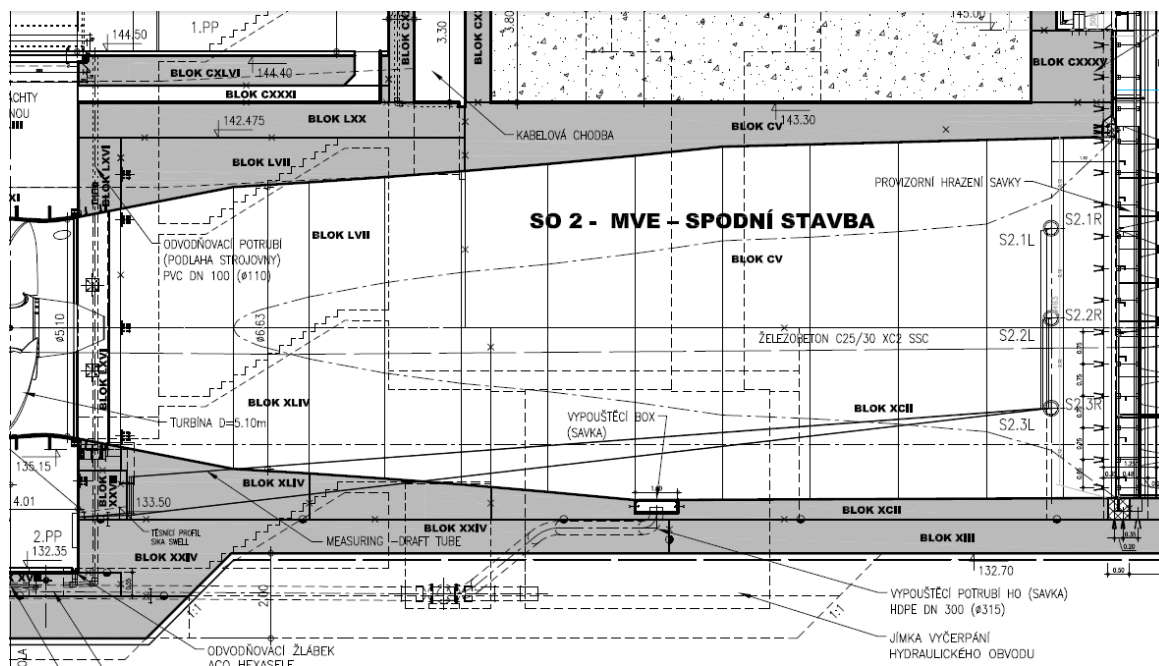


Obr. 7.29: Sjednocení všech částí turbíny

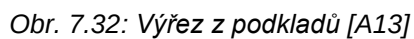
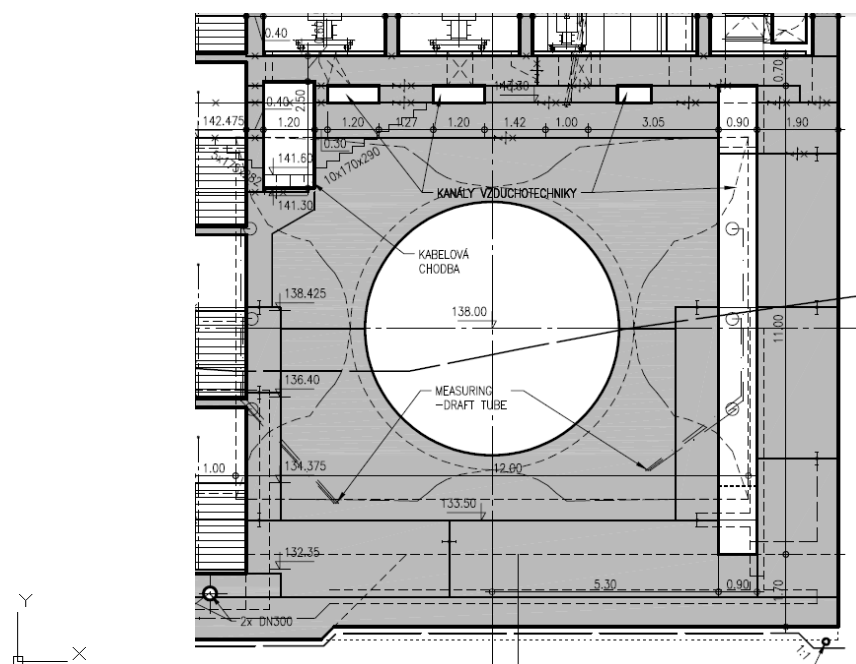
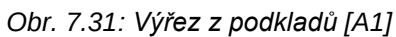
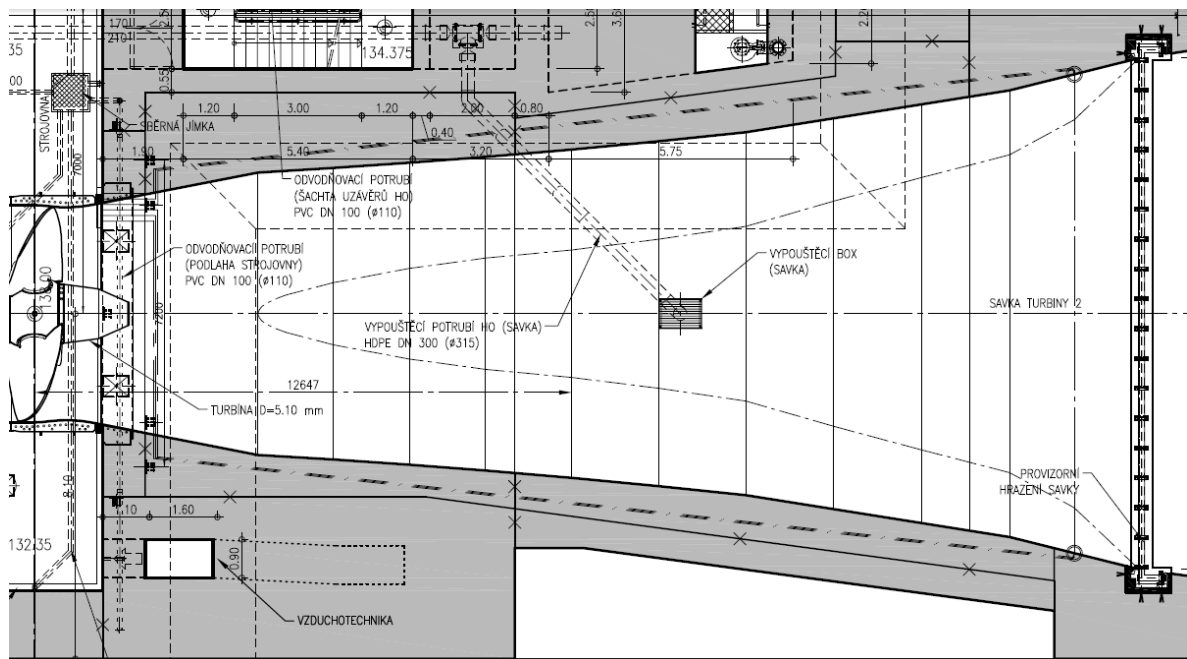
7.1.3. Savka

Poslední částí spodní stavby je savka, která je zařazena za turbínou. Na svém začátku má kruhový průřez a postupně přechází do obdélníkového průřezu. V přechodech mezi těmito průřezy je tvořena přímkovými plochami.

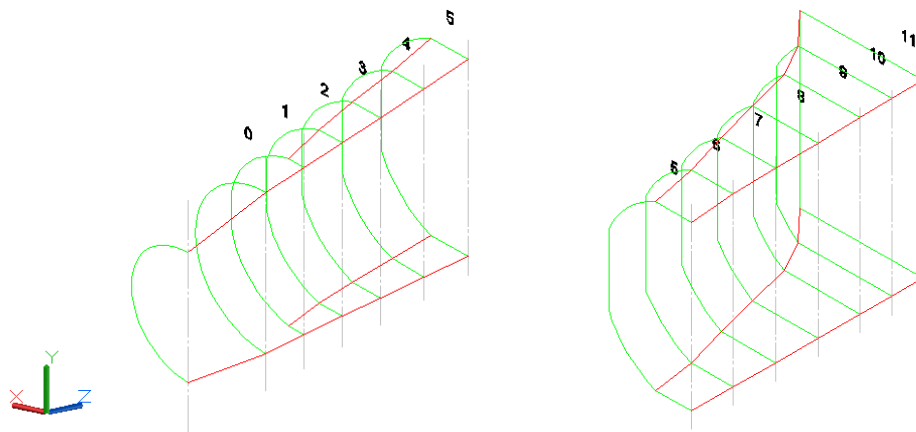
1. Před modelováním savky byly použity vytištěné technické podklady (viz obr. 7.30, 7.31, 7.32) a dále i podklady v elektronické podobě [B1].



Obr. 7.30: Výřez z podkladů [A6]

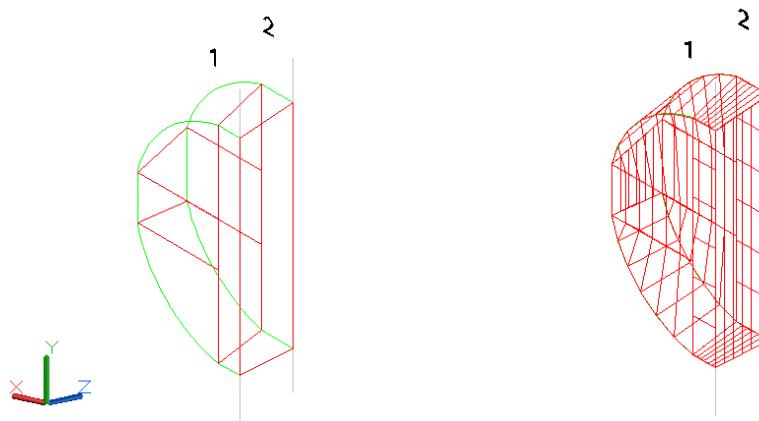


2. Po prostudování podkladů a zjištění vzdáleností jednotlivých průřezů, byly vykresleny jednotlivé obrysy. Každý průřez byl vytvořen pomocí příkazů ÚSEČKA, KRUŽNICE a OŘEŽ.
3. Všechny narýsované průřezy savky byly očíslovány a rozděleny na polovinu, pomocí PŘERUŠ. Celá savka byla rozdělena na dvě části (viz obr. 7.33).



Obr. 7.33: Řezy savkou ve 3D

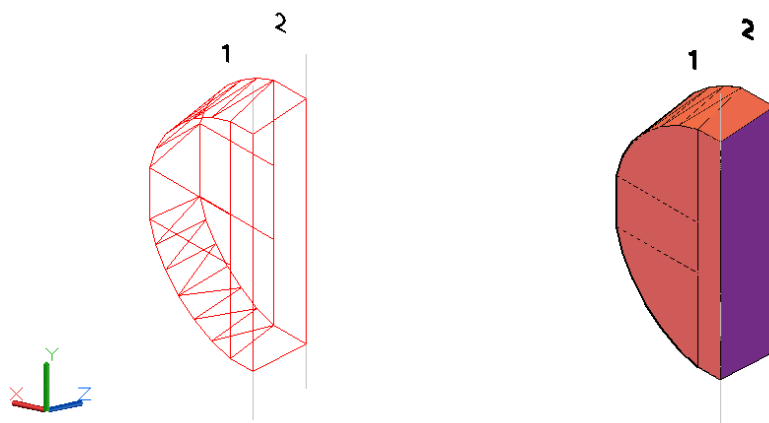
4. Při vytváření jednotlivých částí savky byly využity očíslované průřezy a na nich postupně vytvářeny jednoduché obrazce příkazem ÚSEČKA (viz obr. 7.34). Na vytvořených obrazcích byla vyrýsována síť pomocí PŘÍPL (viz obr. 7.35).



Obr. 7.34: Na levé straně – průřez rozdělen na jednodušší obrazce

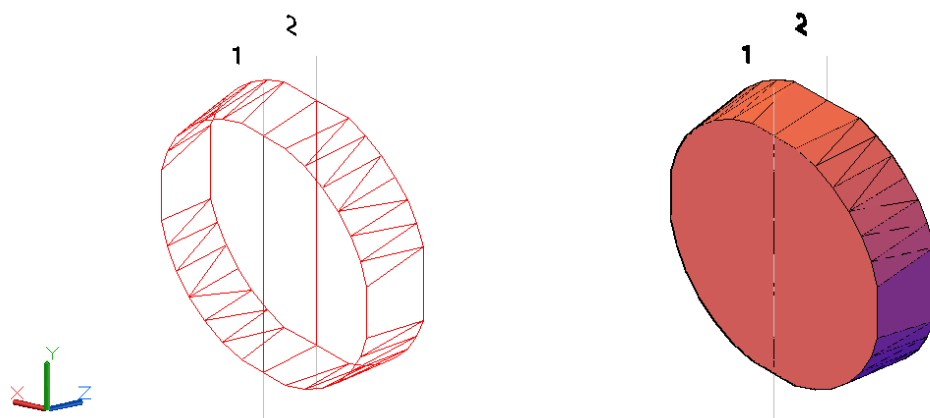
Obr. 7.35: Na pravé straně – vytvořená síť

5. Vzniklá síť byla spojena pomocí SJEDNOCENÍ. Příkazem byl vytvořen povrch. Dále pak nástrojem PŘEVNATĚLESO, bylo následně těleso vymodelováno (viz obr. 7.36).



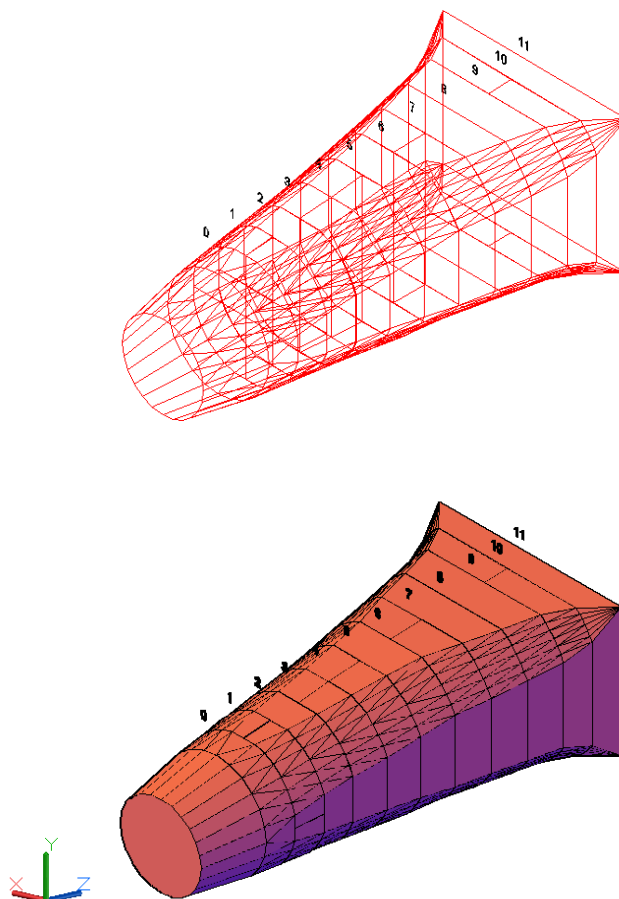
Obr. 7.36: Část tělesa

6. Po vytvoření tělesa byl použit nástroj ZRCADLI3D a poté SJEDNOCENÍ.



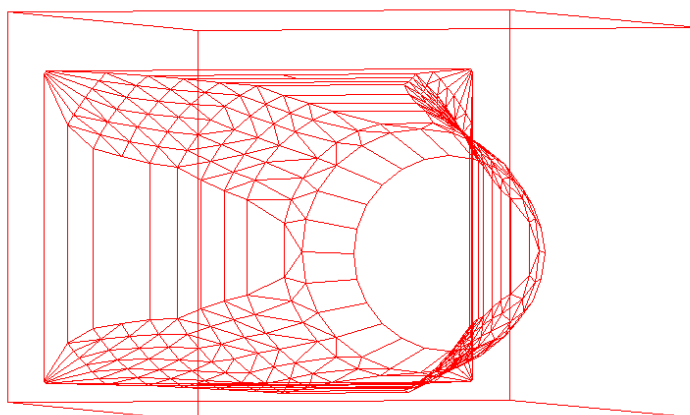
Obr. 7.37 Hotové těleso

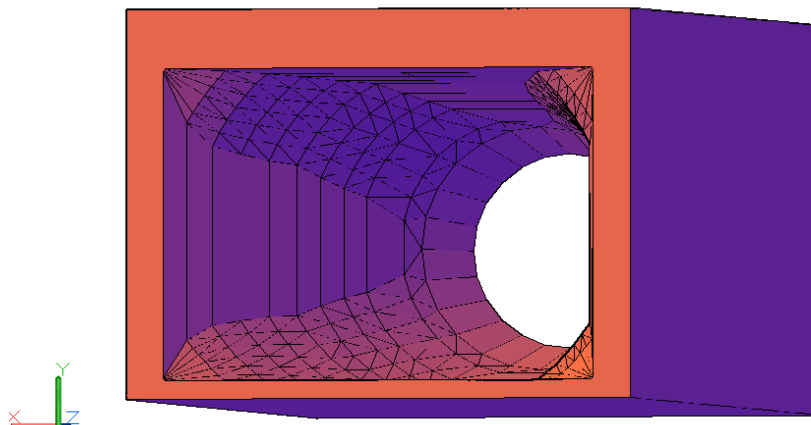
7. Při vytvoření dalších těles bylo postupováno dále podle číselného označení jednotlivých průřezů. Ostatní tělesa byla vytvořena stejným postupem jako v krocích 4 – 6.
8. Po spojení jednotlivých částí vzniklo hotové kompletní těleso.



Obr. 7.38: Spojené části

9. Aby mohlo být vymodelované těleso zařazeno do celkového výsledného objektu, byla nejprve vyrýsována krychle, od které bylo toto těleso (savka) pomocí ROZDÍL odečteno.

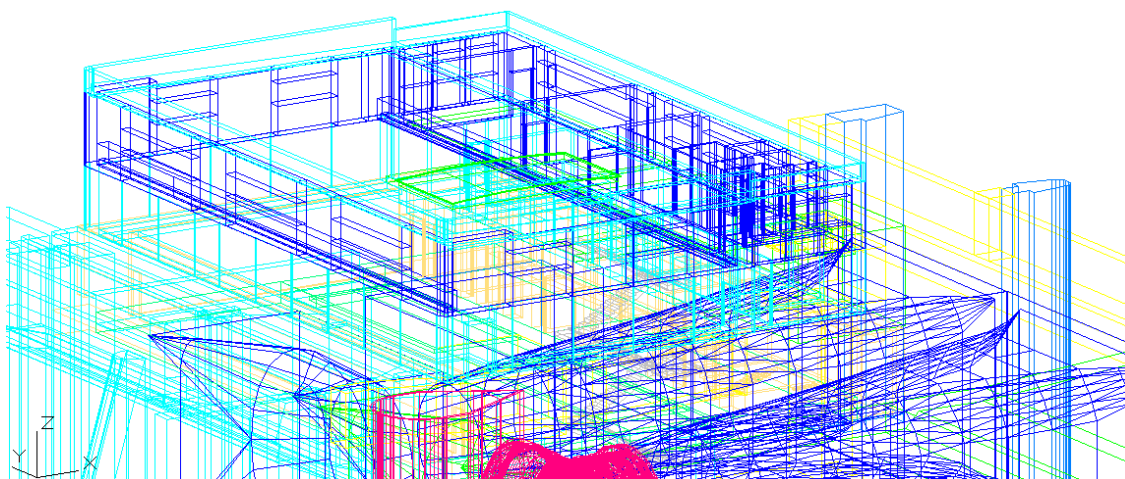




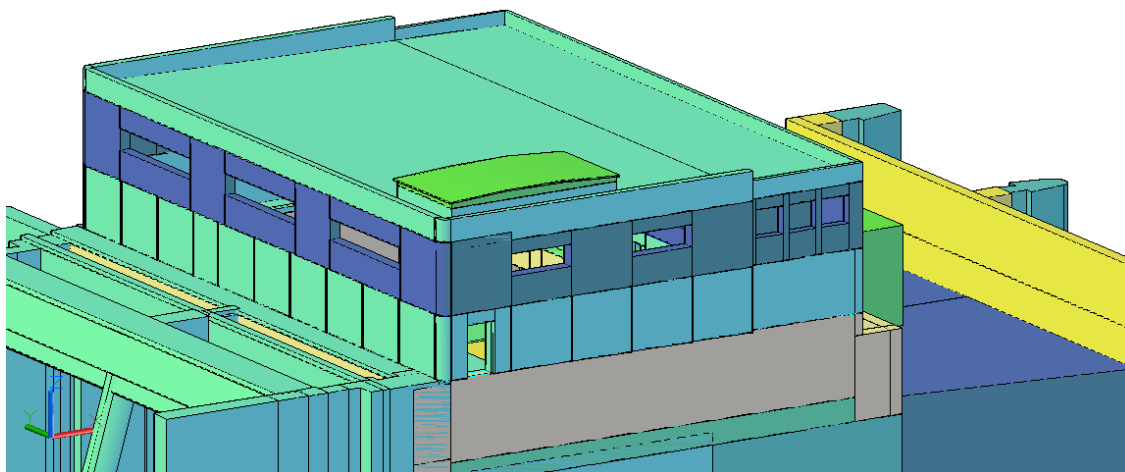
Obr. 7.39: Konečný vzhled tělesa

7.1.4. Horní stavba

1. Pro vytvoření 3D modelu horní stavby byly použity technické podklady [A2 – A17].
2. Z těchto podkladů byly pomocí příkazu TLAČTÁHNI vytaženy všechny stěny.
3. Na vytvoření stropů a podlah byl použit příkaz KVÁDR.
4. Při vytváření otvorů, jako jsou například okna a dveře, byly tyto objekty pomocí ROZDÍL odečteny od stěn.



Obr. 7.40: Konečný vzhled tělesa



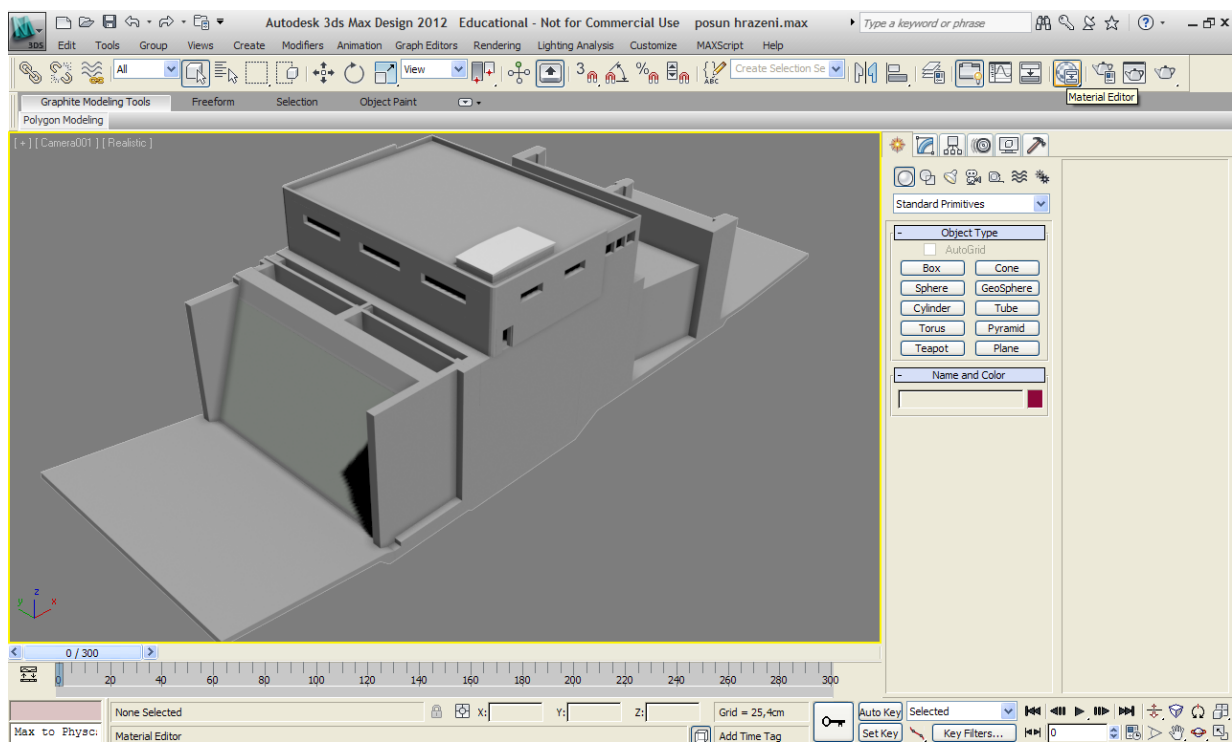
Obr. 7.41: Konečný vzhled tělesa

7.2. Materiály a osvětlení

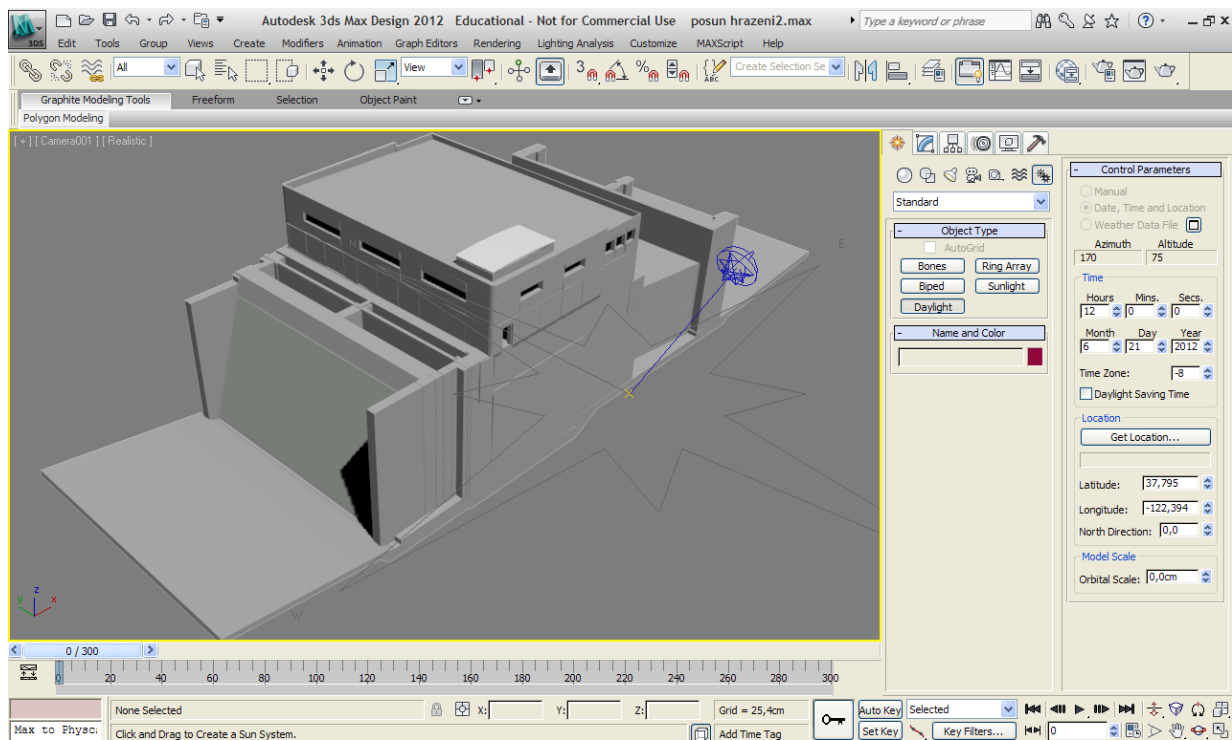
Na tvorbu vizualizace byl použit program 3ds Max Design. Do tohoto programu bylo pomocí nástroje `IMPORT` vloženo těleso (jeho vytvoření je popsáno v kapitole 7.1. Tvorba 3D modelu). Toto těleso bylo programem rozděleno na dílčí tělesa, těm byl přiřazen materiál pomocí `MATERIAL EDITOR` (viz obr. 7.42). Z nabídky materiálů byly použity tyto:

- STANDARD
 - STANDARD
- MENTAL RAY
 - AUTODESK CONCRETE
 - AUTODESK GLAZING (u tohoto materiálu je možné nastavit jeho průhlednost)
 - AUTODESK WATER

Dalším krokem je nasvětlení scény. To bylo vytvořeno pomocí nástroje `SYSTEMS`. Poté byl zvolen příkaz `DAYLIGHT` (viz obr. 7.43). Pro osvětlení temnějších částí objektu bylo použito standardní osvětlení `OMNI`.



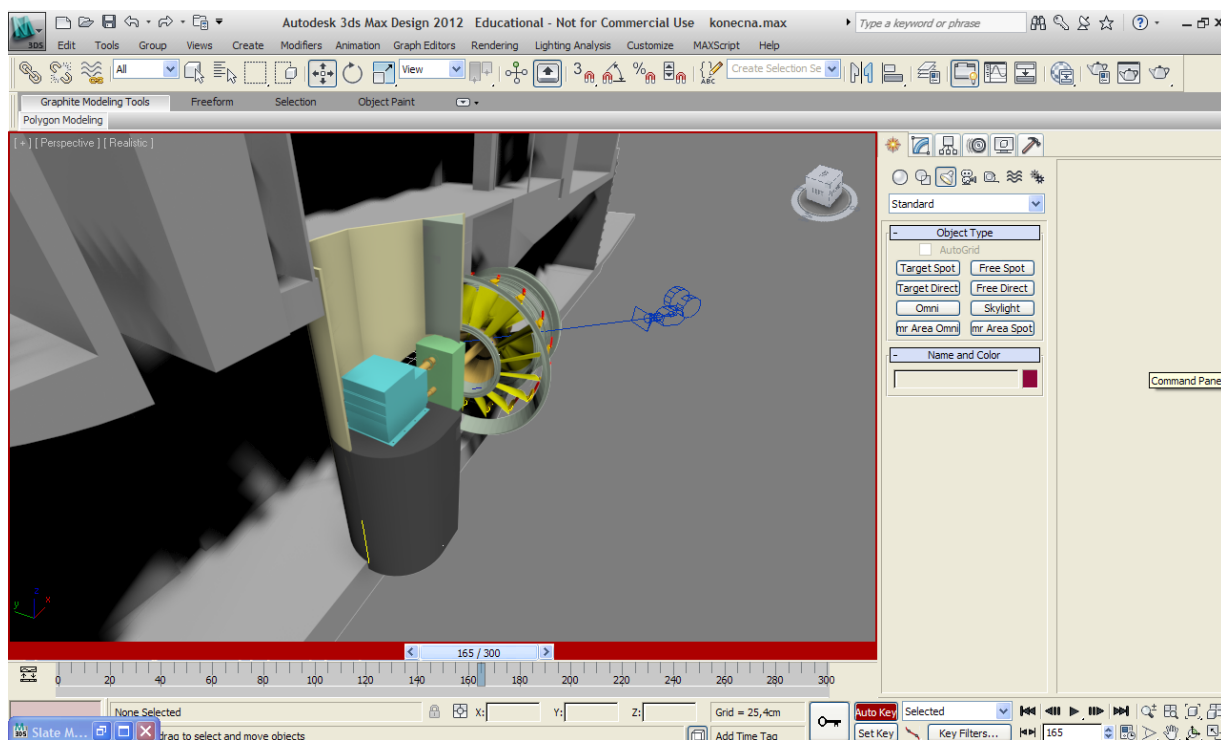
Obr. 7.42: Prostředí 3ds Max Design, MATERIAL EDITOR



Obr. 7.43: Prostředí 3ds Max Design, DAYLIGHT

7.3. Animace

Výsledná animace byla vytvořena v programu 3ds Max Design. Před vytvořením animace byl nejprve nastaven pohled (umístění kamery) a dále časový úsek animace. Při zadávání pohybu tělesům byl pohyb ukládán do časové řady a vytvářel snímek (viz obr. 7.44). Poté byl každý snímek zvlášť vyrenderován a snímky tak utvořily výslednou animaci.



Obr. 7.44: Prostředí 3ds Max Design, tvorba animace

8. Závěr

Tvorba 3D realistických vizualizací v programu AutoCAD 2012 poskytuje širokou škálu možností pro tvorbu prostorových 3D modelů z technických 2D podkladů pro prezentaci vizualizačních stylů nebo pro vytvoření fotorealistické vizualizace i v případě, kdy je potřeba dodržovat striktně rozměry a detaily jednotlivých modelovaných objektů na základě projektové technické dokumentace. Práce v tomto programu je relativně rychlá a efektivní. Jak již bylo uvedeno v kapitole 4. Výsledkem práce bylo vytvoření vizualizací, které byly dotvořeny nasvětlením a přiřazením materiálů v modelovacím softwaru Autodesk 3ds Max Design. Program AutoCAD 2012 osobně považuji za velmi kvalitní a určitě stojí za to, se mu i nadále věnovat při mé další navazující projekční stavební činnosti.

Také 3D modelovací, animační a renderovací software Autodesk 3ds Max Design poskytuje výkonné animační a renderovací nástroje, které je možné zvládnout a následně s nimi pracovat již po základním zaškolení odbornou firmou. Pro náš účel byl program použit pro přiřazování materiálů k jednotlivým objektům modelu a následně nastavení osvětlení pro vytvoření animací a konečných výstupních vizualizací. Program je velmi náročný časově a na hardwarové vybavení počítače. Pokud je ale s těmito aspekty počítáno, lze dosáhnout velmi kvalitních výstupů.

S náležitým softwarovým vybavením programů AutoCAD 2012 a Autodesk 3ds Max Design lze velmi kvalitně prezentovat svoji práci. Kladným aspektem je výborná vzájemná spolupráce a synchronizace těchto dvou programů, která je ale kompenzována záporem a to velkou časovou náročností provádění, se kterou je ale u tohoto druhu práce nutno počítat. Co se týče nabytých vědomostí a rozšíření si obzorů v projekční činnosti mi tato bakalářská práce byla velkým přínosem, protože se neobešla bez řádného prostudování technických podkladů, fotodokumentace z průběhu výstavby a osobní prohlídky celého staveniště.

9. Seznam příloh

1. Podélný řez osou turbíny ve formátu A3
2. Půdorysný řez A – A' ve formátu A3
3. Příčný řez B – B' ve formátu A3
4. Plakát prezentující výsledky práce ve formátu A1
5. Příložené CD obsahující bakalářskou práci a veškeré přílohy v elektronické podobě