



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

NÁVRH HORNÍ NÁDRŽE PŘEČERPÁVACÍ VODNÍ ELEKTRÁRNY

DESIGN OF RESERVOIR OF HYDROELECTRIC POWER PLANTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Kadrnoška

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. DAVID DUCHAN, Ph.D.

BRNO 2017



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	Jakub Kadrnoška
Název	Návrh horní nádrže přečerpávací vodní elektrárny
Vedoucí práce	Ing. David Duchan, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2016
Datum odevzdání	26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

Podklady:

- 1) Digitální model terénu
- 2) Předběžné umístění lokality
- 3) Podklady k horním nádržím přečerpávacích vodních elektráren

Podklady:

- 4) Odborná literatura

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Proveďte návrh horní nádrže přečerpávací vodní elektrárny v zájmové lokalitě. Horní nádrž navrhnete s ohledem na využití pozemků, na výškové umístění, na objem vody. Návrh proveďte ve vhodném programovém vybavení.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

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

ABSTRAKT

Práce se zabývá návrhem horní přečerpávací nádrže pro přečerpávací vodní elektrárnu v blízkosti města Ústí nad Labem. Byl řešen zejména tvar navrhované nádrže, její umístění a začlenění v původním terénu. Hráz byla navržena jako sypaná, s maximálním využitím vytěžené zeminy. Na základě rešerše dostupných horních nádrží byl proveden návrh vhodného těsnění hráze a vtokového objektu přivaděčů. Po návrhu byl proveden odhad objemu vody v nádrži a také kubatur výkopů a násypů. Návrh byl proveden v programu Civil 3D.

ABSTRACT

The thesis presents a design of an upper reservoir for a pumped-storage hydropower plant near the city of Ústí nad Labem. Topics concerned in the thesis include primarily the shape of the designed reservoir and its placement into the original landscape. The dam was designed as an embankment. Dam making as much use as possible of local soil. Based on the search of the available upper reservoirs, the design of a suitable sealing of the dam and the inlet of the penstock was made. After the design, an estimate of the volume of water in the tank and also of the cubes of excavations and embankments was made. The design was made in Civil 3D.

KLÍČOVÁ SLOVA

Přečerpávací vodní elektrárna

Sypaná hráz

Horní nádrž

Civil 3D

Objem nádrže

KEYWORDS

Pumped-storage hydropower plant

Embankment dam

Upper reservoir

Civil 3D

Volume of reservoir

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Jakub Kadrnoška *Návrh horní nádrže přečerpávací vodní elektrárny*. Brno, 2017. 62 s., 30 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce Ing. David Duchan, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně pod vedením Ing. Davida Duchana, Ph.D., a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně 26.5.2017

.....

Jakub Kadrnoška

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych chtěl poděkovat Ing. Davidu Duchanovi, vedoucímu bakalářské práce, za odborné vedení, vstřícný přístup, ochotu, věnovaný čas, trpělivost a pomoc při řešení problémů v průběhu zpracování práce. Za podporu při mém studiu bych chtěl rovněž poděkovat své rodině a blízkým.

OBSAH

1	ÚVOD.....	3
2	CÍLE	4
3	VSTUPNÍ DATA	5
4	VYUŽITÍ VODNÍ ENERGIE	6
4.1	VODNÍ ELEKTRÁRNY	6
4.1.1	Průtočné vodní elektrárny.....	6
4.1.2	Akumulační vodní elektrárny	7
4.1.3	Přečerpávací vodní elektrárny (PVE)	7
4.2	PŘEČERPÁVACÍ VODNÍ ELEKTRÁRNY V ČR	7
4.2.1	PVE Dlouhé Stráně.....	8
4.2.2	PVE Dalešice	9
4.2.3	PVE Štěchovice	9
4.2.4	PVE Černé jezero	11
4.3	PŘEČERPÁVACÍ VODNÍ ELEKTRÁRNY VE SVĚTĚ.....	11
4.4	Těsnění přečerpávacích vodních elektráren	13
4.5	Odběrný objekt	19
4.6	Materiál tělesa hráze	23
5	POPIS LOKALITY	25
5.1	Chráněné krajinné oblasti (CHKO)	26
5.2	Geologie a hydrogeologie.....	27
5.3	Půdy	29
5.4	Klimatické podmínky	30
5.5	Památky v okolí	31
6	ZPRACOVÁNÍ PRÁCE	33
6.1	Podkladní body – DMR5G	34
6.2	Vytvoření mračna bodů	34
6.3	Vytvoření DMT	34
6.4	Návrh osy a výšky hráze.....	35
6.5	Vytvoření tělesa hráze	36
6.6	Tvorba povrchu tělesa hráze a dna nádrže.....	36
6.7	Sloučení povrchu hráze a podkladního DMT	37
6.7.1	Výpočet objemu vody v nádrži.....	37
6.8	Vytvoření řezů hráze	38
6.9	Návrh odběrného objektu	39

7	VÝPOČTY OBJEMŮ	41
8	ZÁVĚR.....	45
8.1	Zhodnocení návrhu hráze	45
8.2	Zhodnocení návrhu odběrného objektu	46
8.3	Zhodnocení využitelnosti Civil 3D.....	46
8.4	Další směr práce	46
9	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	48
10	SEZNAM OBRÁZKŮ	53
11	SEZNAM TABULEK	54
12	SEZNAM PŘÍLOH	55

1 ÚVOD

Česká Republika, ve které pramení mnoho řek, je takřka předurčena k využívání vodní energie. Situace posledních let navíc napovídá, že vody, zejména v období letních měsíců, bývá nedostatek vody pro provoz bez omezení. Příčinou je hlavně snižování hladiny podzemní vody v letních měsících, období sucha apod. Je tedy na čase začít vodu záměrně zadržovat jak pro využití pitné vody, tak i pro využívání vodní energie.

Vodní energie se dá využívat poměrně širokým způsobem. Elektrárny rozlišujeme především podle stavebně konstrukčního hlediska a dále podle toho, jakým způsobem je voda přiváděna. V České republice se již nachází několik elektráren využívajících vodní energii. Většina z nich jsou průtočné elektrárny. Menší podíl však tvoří takzvané přečerpávací vodní elektrárny, kdy je voda přiváděna z výše položené akumulární nádrže přívodním potrubím. Asi neznámější takovouto přečerpávací elektrárnou na území ČR jsou Dlouhé Stráně.

Na území ČR jsou již vytipované lokality pro využití vodní energie přečerpávací elektrárnou a další průzkumy lokalit stále probíhají. Jednou takovou lokalitou je i obec Podlešín, nad vodním dílem Sřekov, v Ústeckém kraji. V blízkosti obce protéká řeka Labe, na níž byla v minulosti zřízena Zdymadla T. G. Masaryka. Zdymadla byla vybudována pro splavení řeky. Na levém břehu toku bude využito stávající vodní dílo Sřekov, nad kterým bude navržena horní přečerpávací nádrž.

Zásobování pitnou vodou pro obec a široké okolí mají na starosti Severočeské vodovody a kanalizace. Plánovaná nádrž bude stavěna zejména jako horní nádrž přečerpávací vodní elektrárny, ale není vyloučeno, že do budoucna by mohla kvůli možným problémům se zdrojem vody sloužit právě i jako zásobárna pitné vody pro široké okolí.

2 CÍLE

Cílem bakalářské práce je navrhnout těleso hráze s dostatečným objemem vody pro přečerpávací vodní elektrárnu. Součástí návrhu bude návrh typu hráze, tvaru hráze, výšky hráze včetně výpočtu celkového objemu vody v nádrži a také návrh vtokového objektu. Návrh tvaru hráze bude proveden v programu Civil 3D na základě dostupných podkladů. Součástí práce bude výsledná situace nádrže a příčných profilů hráze.

Cíle práce jsou:

- 1) Rešerše stávajících horních nádrží v ČR i ve světě.
- 2) Popis území a vytipování nejvhodnějšího umístění.
- 3) Návrh hráze s ohledem na požadovaný objem vody.
- 4) Návrh vtokového objektu a jeho napojení na přivaděče.

3 VSTUPNÍ DATA

[A1] VÚV TGM, v.v.i.,2016, Příčné profily. Formát DWG.

[A2] Geologická rešerše lokality Podlešín a Střekov.

[A3] DMR5G. ČÚZK, www.cuzk.cz.

[A4] Částečná výkresová dokumentace PVE Dlouhé stráně.

[A5] Schéma přivaděčů PVE Čierny Váh.

4 VYUŽITÍ VODNÍ ENERGIE

V dalším textu jsou obecně popsány vodní elektrárny, přečerpávací vodní elektrárny a také existující elektrárny v ČR i ve světě. Následuje popis používaných těsnění u horních nádrží a možné typy vtoků odběrných objektů.

4.1 VODNÍ ELEKTRÁRNY

Vodní elektrárny patří mezi obnovitelné zdroje elektřiny za využití neustálého koloběhu vody na planetě. Při získávání energie nejsou produkovány žádné vedlejší znečišťující látky. Elektrárny pracují na principu předávání energie protékající vody. Při využití vodní energie se využívá vodních toků v podobě kinetické a potenciální energie. Potenciální energie je především působení gravitace, spádu a výškového rozdílu hladin. Kinetická energie je působení rychlosti proudění toku. Protékající voda roztáčí turbínu, ta dále uvede do oběhu, za pomoci převodovky nebo napřímou, generátor. V něm je přivedená rotační energie přeměněna na základě elektromagnetické indukce na energii elektrickou. Elektrickou energii je možno distribuovat do elektrické sítě. Soustava turbíny propojená společně s generátorem se nazývá turbogenerátor. [1]

Voda přiváděná na turbínu je redukována pro optimalizaci počtu otáček turbíny za minutu. Redukce je prováděna buď oběžným kolem, rozváděcím kolem nebo jejich kombinací.

Rozdělení vodních elektráren podle výkonu elektrárny [1]:

- Malé – výkon do 10 MW,
- střední – výkon do 100 MW,
- velké – výkon nad 100 MW.

Rozdělení vodních elektráren podle využívaného spádu [1]:

- Nízkotlaké – spád do 20 m,
- středotlaké – spád od 20 do 100 m,
- vysokotlaké – spád nad 100 m.

Rozdělení vodních elektráren podle využití vodního toku [1]:

- Průtočné,
- akumulární,
- přečerpávací.

V podkapitolách jsou popsány jednotlivé typy vodních elektráren podle využití vodního toku.

4.1.1 Průtočné vodní elektrárny

Jedná se o nejpoužívanější typ vodní elektrárny. Voda je přiváděna gravitačně na turbínu elektrárny, kterou voda roztáčí. Průtočné elektrárny je možné dále rozdělit na tzv. jezové a derivační.

Jezové elektrárny jsou umístěny do jezové konstrukce, kde využívají rozdílu horní a dolní hladiny díky vzduší horní hladiny a celkovému překonání výšek dna.

U derivačních elektráren se využívá tzv. derivačního přivaděče, který částečně odklání vodu od přirozeného toku, kterou následně přivádí na elektrárnu. Tento typ se využívá například u meandrovitých toků, kdy se díky přivaděči zkrátí délka toku a tím dojde ke zvýšení spádu. Voda proteklá elektrárnou se dále vrací do původního koryta. [1]

4.1.2 Akumulační vodní elektrárny

Jak už vyplývá z názvu, elektrárna využívá množství naakumulované vody, která je přiváděna na turbíny. Tento typ elektrárny je umístěn v rámci velkého množství přehrad v ČR. [1]

4.1.3 Přečerpávací vodní elektrárny (PVE)

Přečerpávací vodní elektrárny jsou v obecném slova smyslu soustavou dvou vzájemně rozdílně výškově položených nádrží. Voda, která je akumulována ve výše položené nádrži, je přiváděna přívodním potrubím na turbíny. Zde dojde k přeměně z rotační energie způsobené rotací turbíny na energii elektrickou, která je dále rozvedena do elektrické sítě. Voda protéká přes turbínu dále teče do dolní nádrže nebo do původního koryta, ze kterého byla odčerpána při využití přebytečné elektrické energie. [1]

Výhodou tohoto typu vodních elektráren je vysoký výkon a možnost rychlého uvedení do provozu, čímž se může například doplnit deficit v případě výpadku hlavního zdroje elektriny např. při havárii.

Přečerpávací elektrárny využívají tzv. reverzibilní turbíny. Jsou to turbíny, které jsou schopny pracovat v obou směrech. Při výrobě elektrické energie je voda přiváděna na turbínu, kterou uvádí do otáček. Přiváděná voda pak vytváří na turbíně rotační energii, která se poté pomocí generátoru přeměňuje na energii elektrickou. Za stavu, kdy není potřeba výroba energie, je voda naopak za pomoci reversibilních turbín čerpána zpět do horní nádrže.

4.2 PŘEČERPÁVACÍ VODNÍ ELEKTRÁRNY V ČR

Výstavba vůbec první PVE v České Republice začala roku 1928 a již v roce 1930 byla uvedena do provozu elektrárna Černé jezero. Výkon elektrárny činil v té době 1,5 MW, ale v roce 1960 byl její provoz omezen. Druhou postavenou PVE v ČR byla elektrárna Pastviny, která byla postavena v roce 1938. Později však byla elektrárna přestavěna na elektrárnu průtočnou. V roce 1947 byla do provozu uvedena PVE Štěchovice, dále pak v roce 1978 Dalešice. Dlouhé Stráně byly dostavěny v roce 1996. V České republice se tedy v současné době (06/2017) nacházejí čtyři přečerpávací vodní elektrárny, z nichž jedna je v omezeném provozu. [1]

Přehled základních informací o PVE je uveden v tab. 1.

Tab. 1) Tabulka PVE v České Republice

Elektrárna	Rok uvedení do provozu / rekonstrukce a omezení		Počet soustrojí / typ turbíny	Výška hráze [m]	Turbínový spád [m]	Druh těsnění nádrže	Zásobní objem horní nádrže [m ³]	Nadmořská výška hráze [m n. m.]
Dlouhé Stráně [3]	1996		2 / Francis	25,0	534,3	asfaltobetonové	2,6 mil.	1350,0
Dalešice [6]	1978	2007 rekonstrukce	4 / Francis	100,0	60,5 - 90,7	jílové těsnění	127 mil.	381,5
Štěchovice II [9]	1947	1996 rekonstrukce	1 / Francis	31,0	209,8 - 219,5	jílové těsnění	0,5 mil.	220,6
Černé jezero [12]	1930	1960 provoz omezen	3 / Pelton (2x) Kaplan (1x)	15,6	270,0	dno - skalní podloží hráz - beton	15 tis.	1008,0

4.2.1 PVE Dlouhé Stráně

PVE Dlouhé Stráně (obr. 1) se nachází na Moravě v CHKO Jeseníky v okrese Šumperk. Stavba tohoto vodního díla byla zahájena již v roce 1978, poté byl její vývoj v osmdesátých letech pozastaven a celý projekt zmodernizován. V devadesátých letech byla stavba ještě jednou zpomalena kvůli odboru ochránců přírody a její dokončení a provoz byl zahájen až v roce 1996. Dlouhé Stráně jsou jedním z nejdéle budovaných vodních děl v historii ČR.

Horní nádrž PVE se nachází na vrcholu hory Dlouhé Stráně v nadmořské výšce zhruba 1350 m. Hráz nádrže, která má přibližně elipsovité tvar, je tvořena výlomem a z části násypem. Hloubka vody v horní nádrži se pohybuje okolo 25 m a její celkový zásobní objem činí 2,6 mil. m³. Těsnění dna horní nádrže a návodních svahů je tvořeno vrstvami asfaltového betonu v celkové tloušťce 180 mm.

Dolní nádrž přečerpávací elektrárny se nachází přibližně 525 m pod horní nádrží v nadmořské výšce 825 m. Konstrukce hráze dolní nádrže je sypaná z kamenitého materiálu s asfaltovým těsněním. Celkový zásobní objem dolní nádrže je zhruba 2,6 mil. m³. [2] [3]

Pro zachování okolní přírody bez většího zásahu je elektrárna řešena jako podzemní dílo. Přírodní vysokotlaké potrubí je vedeno v kaverně ke spodním turbínám také umístěných pod zemí. [4]

V roce 2001 bylo zjištěno narušení asfaltobetonového těsnění horní nádrže a následné průsaky hrází. Mezi lety 2004 a 2005 byly vypracovány studie na opravu a zároveň zjišťovány příčiny této poruchy. Po laboratorních testech se prokázalo, že porucha byla způsobena pravděpodobně nevhodným kamenivem, které se ukázalo jako nestabilní při opakovaném vystavení extrémním klimatickým podmínkám. V roce 2007 proběhla oprava těsnícího pláště frézováním a následnou pokládkou nového těsnění. [3]

Dlouhé Stráně se mohou pyšnit hned třemi „nej“. Je to elektrárna s největším spádem v ČR, největší reverzní turbínou v Evropě a je zde instalovaný i největší výkon v ČR. Pozoruhodné je i to, že v obou nádržích PVE se vyskytují pstruzi.



Obr. 1) Horní nádrž PVE Dlouhé Stráně [5]

4.2.2 PVE Dalešice

PVE Dalešice (obr. 2) se nachází na řece Jihlavě nedaleko Jaderné elektrárny Dukovany a do provozu byla uvedena v roce 1978. Elektrárna využívá spád mezi horním vodním dílem Dalešice, pod jehož hrází byla vybudována, a spodní vyrovnávací nádrží Mohelno. Hlavním úkolem PVE je dodávka elektrické energie v době špičky. Elektrárna slouží také jako okamžitá rezerva v případě poruchy nebo výpadku JE Dukovany. Elektrárna je schopna nastoupit na plný výkon během 60 sekund. Horní nádrž je tvořena sypanou rokfilovou hrází s jílovým těsněním. Výška hráze je přibližně 100 m, a tím vytváří využitelný spád 60 až 90 m.

Dalešická PVE byla v roce 2007 rekonstruována. Jednalo se pouze o zvýšení výkonu turbín a v roce 2015 byl rekonstruován řídicí systém elektrárny. Žádné jiné poruchy a opravy nebyly doposud nutné. [6]

Horní nádrž elektrárny je využívána i k rekreačním účelům. [7]



Obr. 2) PVE Dalešice [7]

4.2.3 PVE Štěchovice

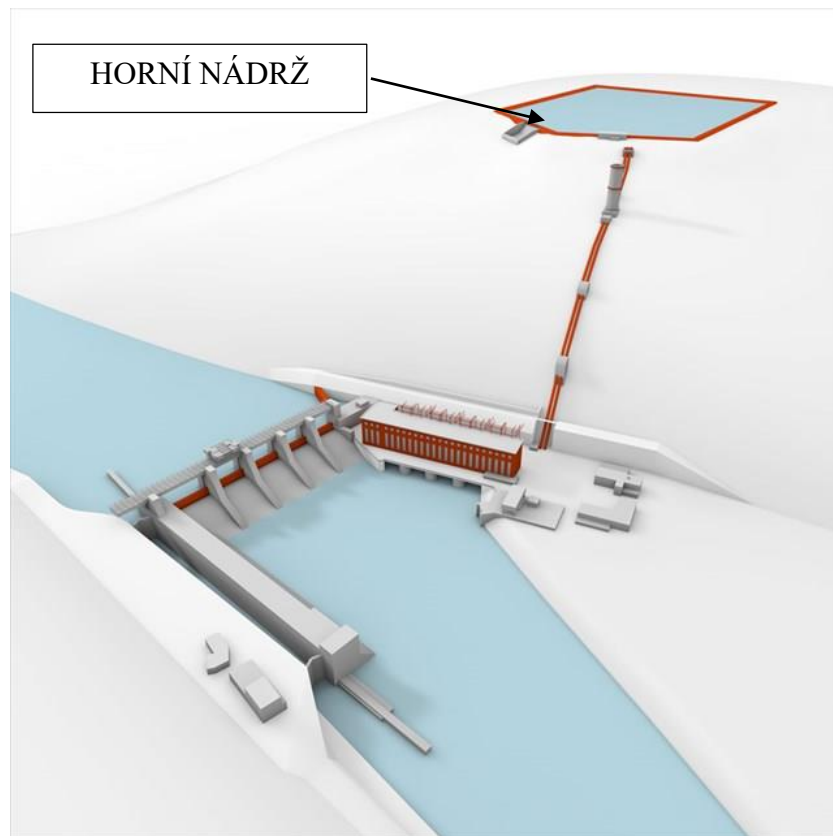
Vodní dílo Štěchovice (obr. 3) se nachází zhruba 30 km jižně od Prahy. Součástí Vltavské kaskády jsou dvě vodní elektrárny. Štěchovice I je průtočná elektrárna vybudovaná na konci druhé světové války mezi roky 1943-1944. Elektrárna především slouží k vyrovnání kolísavého odtoku z vodní elektrárny Slapy nacházející se nad Štěchovicemi.

Druhá přečerpávací elektrárna Štěchovice II byla uvedena do provozu v roce 1947. Horní nádrž elektrárny o objemu zhruba 0,5 mil. m³ se nachází na kopci Homole (obr. 4). Hloubka nádrže je 10 m a její dno je těsněno jemným jílem. Horní nádrž je ve tvaru nepravidelného pětiúhelníku. Elektrárna byla v devadesátých letech modernizována a původní dvě turbíny byly nahrazeny jednou Francisovou turbínou. Převážná část ocelového přivaděče je původní.

Privaděč byl při modernizaci v horní a spodní části upraven. Celková délka privaděče je 524 m při převýšení 219,5 m. [8] [9]



Obr. 3) PVE Štěchovice [8]



Obr. 4) Schéma VD Štěchovice [10]

4.2.4 PVE Černé jezero

V České Republice byla v zimě roku 1930 uvedena do provozu první PVE Černé jezero (obr. 5). Elektrárna se nachází na Šumavě ve vzdálenosti zhruba 10 kilometrů od města Železná Ruda v Plzeňském kraji v nadmořské výšce 1008 m. Horní nádrž je tvořena gravitační betonovou hrází o výšce 7 m. Dno jezera je tvořeno skalní horninou. Celkový užitečný objem nádrže činí 15 000 m³. [11] [12]

Elektrárna dnes již není v aktivním provozu a je zachována spíše jako historická památka.



Obr. 5) Horní nádrž PVE Černé jezero [11]

4.3 PŘEČERPÁVACÍ VODNÍ ELEKTRÁRNY VE SVĚTĚ

Přečerpávací vodní elektrárny jsou ve světě naprosto běžným obnovitelným zdrojem energie. Jejich výstavba je prováděna zejména v horských oblastech, kde je využíváno přirozeného spádu, ale i v místech, kde je spádu dosaženo vybudováním nové boční nádrže na toku.

Mezi nejproduktivnější státy Evropy, které využívají vodní energii, patří například Německo, Rakousko, Švýcarsko, Belgie nebo Norsko.

Zatímco v Evropě se PVE navrhují spíše s nižšími výkony (nejvýkonnější PVE Evropy se nachází ve Francii), ve světě jsou zcela běžné elektrárny s výkonem až 3000 MW. Dosud (06/2017) nejvýkonnější PVE se nachází ve Spojených státech amerických.

Spojené státy americké, Čína a také Japonsko jsou vlastníky šesti největších přečerpávacích elektráren na světě. [31, 32, 33, 34]

Na základě nalezených informací [41 až 60] byl vytvořen přehled přečerpávacích vodních elektráren a jejich horních nádrží. Přehled je uveden v tab. 2, kde jsou zároveň uvedeny zdroje, odkud bylo čerpáno. Přehled vybraných nádrží s fotografiemi je uveden v příloze č. 1 této práce.

Tab. 2) Tabulka PVE ve světě

Země	Elektrárna	Umístění nádrže	Rok výstavby	Turbínový spád [m]	Druh těsnění nádrže	Zásobní objem horní nádrže [mil. m ³]	Výška hráze [m]	Instalovaný výkon [MW]
DEU	Hohenwarte I [41]	Durynsko, Německo	1936 - 1942	56,5	nezjištěno	182,00	75,0	62,80
	Hohenwarte II [42,43]	Durynsko, Německo	1956 - 1963	302,0	nezjištěno	3,30	30,0	320,00
	Waldeck II [42,44]	NP Kellerwald - Edersee, Hesse, Německo	1974	329,0	asfaltobetonové	4,40	56,5	480,00
	Eggbergbecken [45,46]	Jižní Bádensko, Německo	1963 - 1966	413,0	asfaltobetonové	2,00	35,0	353,00
	Glems [42,]	Jižní Bádensko, Německo	1963 - 1964	292,0	asfaltobetonové	0,90	19,5	90,00
	Markersbach [47]	Jižní Sasko, Německo	1979	288,3	asfaltobetonové	6,46	26,0	1050,00
	Bleiloch [48]	Durynsko, Německo	1926 - 1932	49,4	nezjištěno	215,00	65,0	80,00
SVK	Čierný Váh [49,50]	NP Nízke tatre, Slovensko	1976 - 1983	434,0	asfaltobetonové	3,85	75,7	735,16
	Vlčia Dolina [51]	NP Slovenský ráj, Slovensko	1948 - 1952	285,5	nezjištěno	0,18	20,5	24,00
	Ružín [52]	Košický kraj, Slovensko	1963 - 1968	63,0	hlinité	45,30	57,0	60,00
	Liptovská Mara [53]	Žilinský kraj, Slovensko	1967 - 1975	52,5	hlinité	361,90	45,0	198,00
AUT	Roßhag [54]	Jižní Tyrolsko, Rakousko	1965 - 1972	630,0	nezjištěno	126,50	131,0	231,00
	Häusling [55]	Jižní Tyrolsko, Rakousko	1974 - 1988	696,0	nezjištěno	86,70	186,0	360,00
JPN	Kurokawa Reservoir [56]	Oblast Kansai, Japonsko	1970 - 1974	nezjištěno	nezjištěno	33,39	98,0	1932,00
CHN	Guangdong [57,58]	Provincie Guangdong, Čína	1989 - 1994	535,0	nezjištěno	24,08	43,5	2400,00
USA	Rocky Mountain [59]	Floyd County , Georgia, USA	1977 - 1995	187,0	nezjištěno	13,14	37,0	1095,00
	Ludington [60]	Ludington, Michigan, USA	1969 - 1973	111,0	nezjištěno	90,85	34,0	1872,00

4.4 Těsnění přečerpávacích vodních elektráren

Druh těsnění a jeho funkčnost u PVE a všeobecně u vodních děl je velmi důležitým aspektem při návrhu, realizaci a provozu těchto děl. Netěsnosti u vodních děl a jejich následné průsaky vody mají za následek mnohdy fatální dopad na celou stavbu. U nádrží PVE se nejčastěji využívá těsnění umístěné na návodním líci hráze a na dně nádrže. Častou poruchou u těsnění na návodním líci je tvorba prasklin. Prasklinami dochází k průsakům vody hrází a ty mohou vést k porušení stability tělesa hráze. Stabilita tělesa hráze může být narušena např. tvorbou privilegovaných cest, vnitřní sufozí, promrzání tělesa hráze. Vyplavování částic z tělesa sypané hráze má za následek ztrátu stability a následné protržení nádrže.

Používané druhy těsnění tělesa hráze horní nádrže PVE:

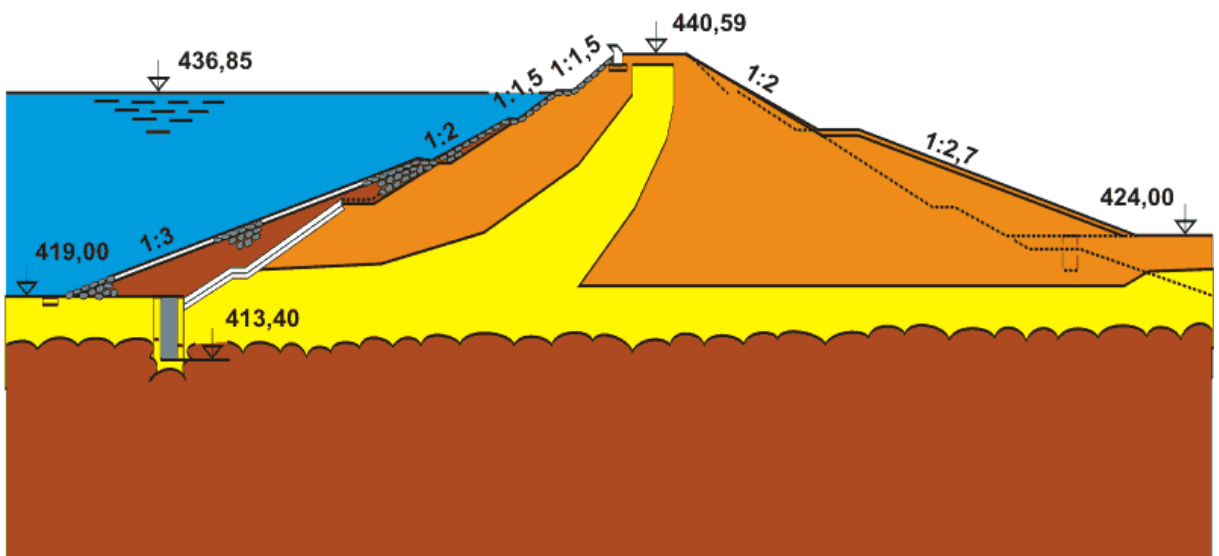
- Asfaltobetonové (obr. 6),
- fóliové (obr. 7),
- jílové návodní a středové (obr. 8, 9),
- betonové návodní a středové (obr. 10).



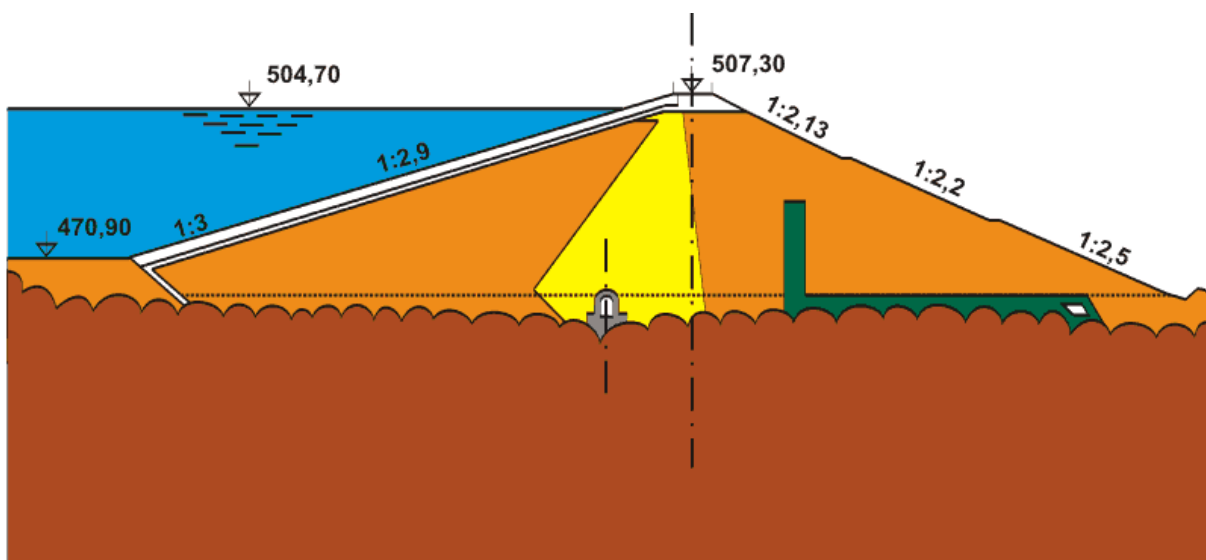
Obr. 6) Asfaltobetonové těsnění na PVE Dlouhé Stráně [18]



Obr. 7) Fóliové těsnění nádrže [17]



Obr. 8) Jílové těsnění při návodním líci (těsnění je vyznačeno žlutou barvou) [21]



Obr. 9) Jílové středové těsnění (těsnění je vyznačeno žlutou barvou) [22]



Obr. 10) Betonové těsnění návodního líce zemní hráze [23]

Ve světě je jedním z nejčastějších typů těsnění sypaných hrází, přehrad a horních nádrží PVE asfaltobeton (dále jen AB). V České republice je podobně jako ve světě často využíváno AB těsnění pro jeho dobré těsnicí vlastnosti a jeho poměrně snadnou opravu. Na některých nádržích v ČR již došlo k poruchám a jejich následným rekonstrukcím. K těmto poruchám AB těsnění dochází zejména při chybách ve výstavbě nebo nedodržení technologických postupů. Častou chybou při výstavbě AB těsnění bývá použití nesprávného kameniva nebo jeho nevhodné zpracování. U AB těsnění poté může docházet k sedání podkladu a tvorbě trhlin (obr. 12, 13). Trhliny se mohou objevit buď bodově (lokálně), nebo v celém rozsahu svahu (obr. 14, 15). V rámci opravy je poté nutné snížení požadované hladiny, vysušení poškozeného místa, vyfrézování porušené části a položení nové těsnicí vrstvy.

K dalším poruchám těsnění dochází také často v prostoru kolísání vodní hladiny na návodním líci hráze. Těsnění je zde všeobecně namáháno nejvíce. Dochází zde k neustálé změně hladiny, těsnění je smáčeno a následně vysychá. Degradace AB těsnění je způsobena např. slunečním zářením, vysokým teplotám v letních měsících (až 60 °C) a kolísání mezi kladnými a zápornými teplotami v zimních měsících. Degradace AB těsnění může projevit ve formě puchýřů (obr. 11).

Asfaltobetonová těsnicí část tedy může být narušena z různých důvodů, kterými jsou například:

- Klimatické vlivy (změna teploty),
- kolísání hladiny vody,
- sedání podkladní vrstvy,
- prosakování vody těsněním,
- stáří AB těsnění.



Obr. 11) Příklad poruchy AB pláště použitím nevhodného kameniva [20]



Obr. 12) Ukázka poruchy AB pláště trhlinou vlivem sedání hráze [19]



Obr. 13) Ukázka trhlin AB pláště [24]



Obr. 14) Ukázka lokální tvorby trhlin [25]



Obr. 15) Příklad plošné poruchy AB pláště [26]

AB těsnění se pokládá v jedné nebo více vrstvách na upravený návodní líc. Tato pokládka je realizována například finišery v pásech, které se vzájemně napojují (obr. 16).



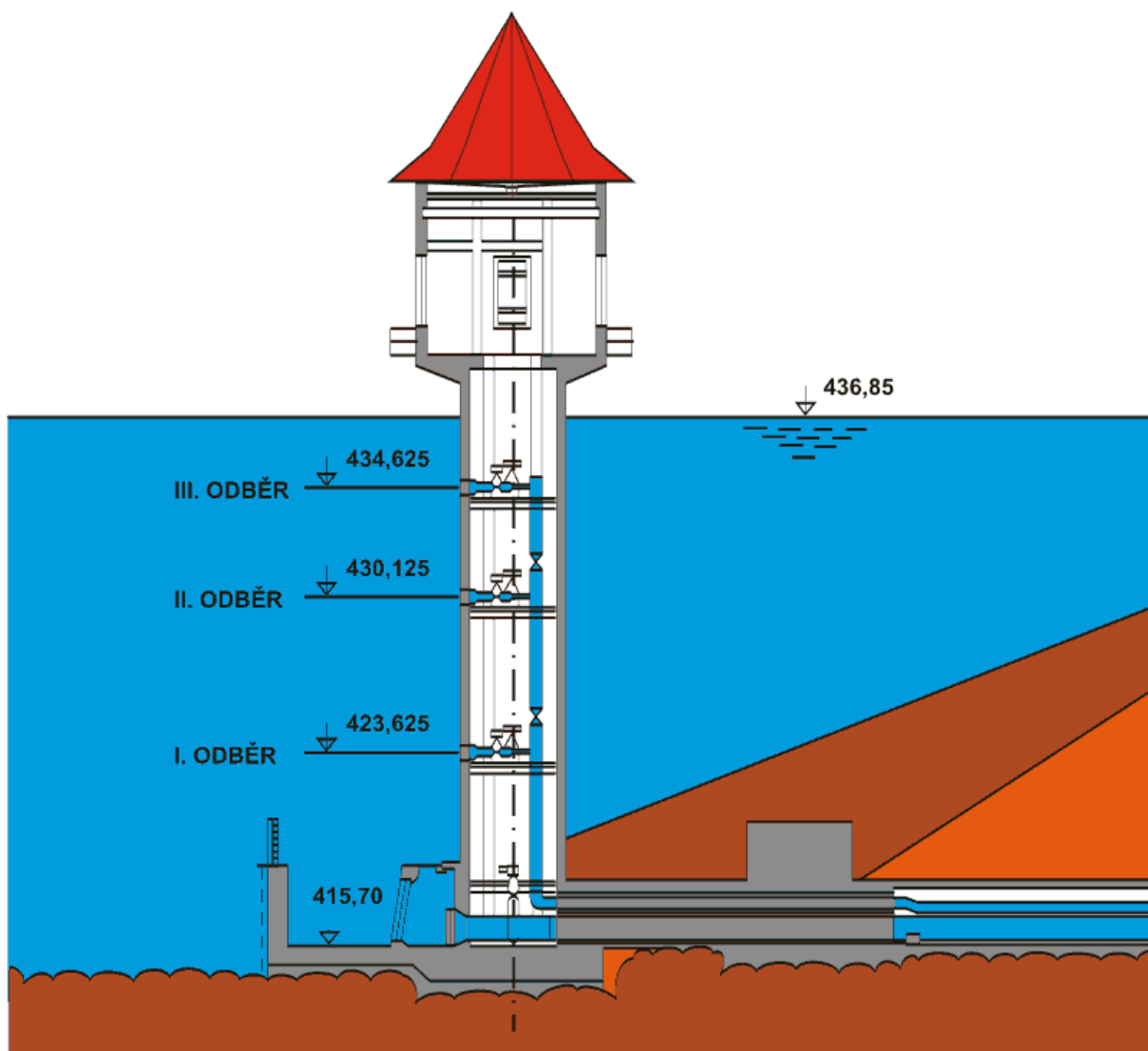
Obr. 16) Ukázka postupu pokládky AB těsnění [29]

Pro návrh horní nádrže PVE bude použito AB těsnění pro jeho vhodné vlastnosti, technologii výstavby a údržbu při nutných opravách, které vychází ze zkušeností s těsněním horních nádrží v ČR.

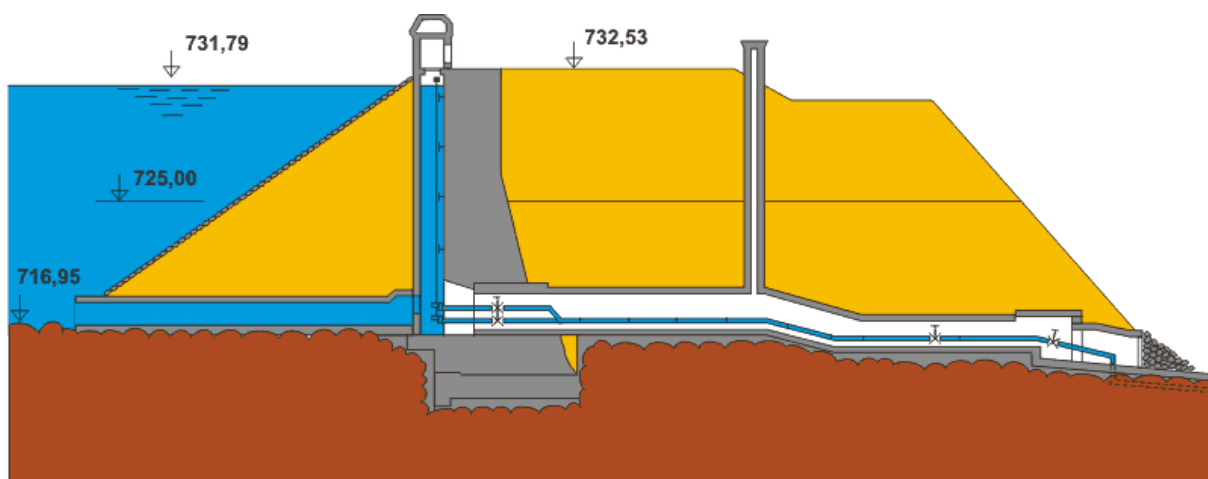
4.5 Odběrný objekt

V rámci dohledaných nádrží (kap. 4.2 a 4.3) jsou realizovány různé typy odběrných objektů. Tyto odběrné objekty se liší zejména umístěním objektu v hrázi. Odběrné objekty napojené na přivaděče mohou být v rámci hráze umístěny takto:

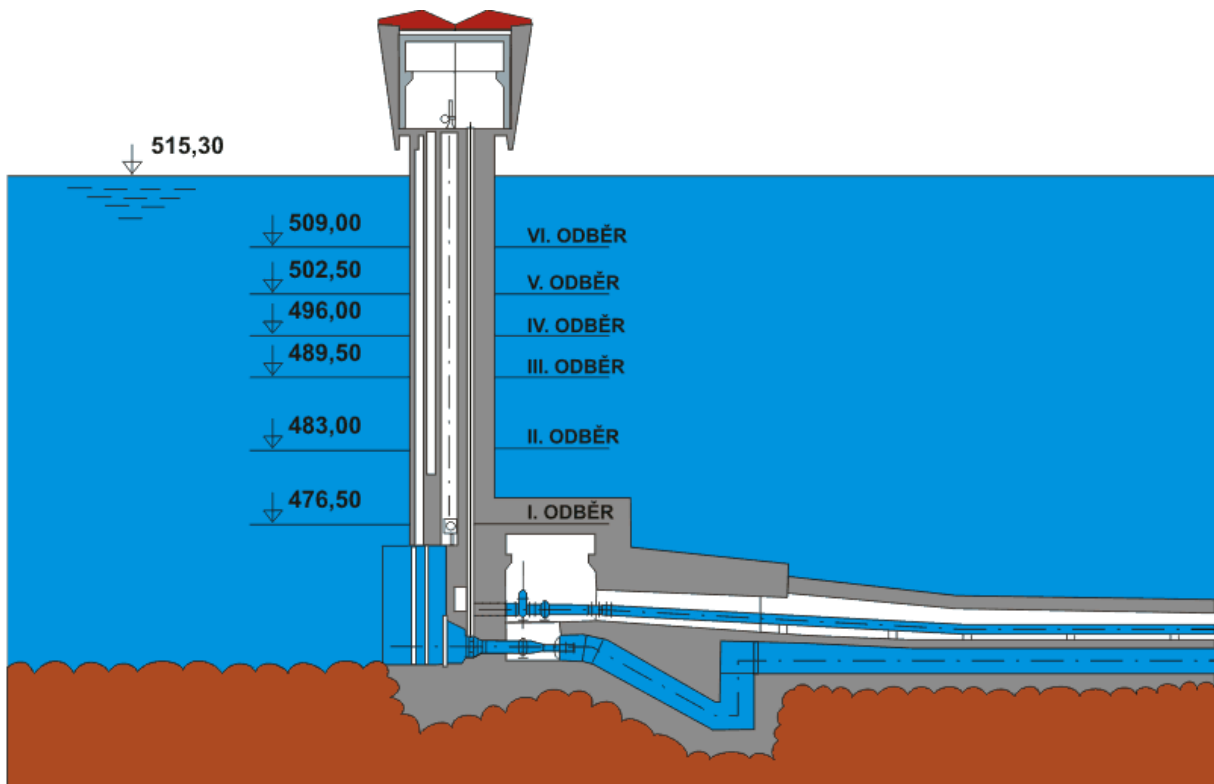
- Věžový objekt v patě hráze (obr. 17),
- věžový objekt v místě koruny hráze (obr. 18),
- věžový objekt před patou návodního líce (obr. 19),
- dnový odběr v návodní patě hráze s ovládací věží v patě vzdušného líce (obr. 20, 21).



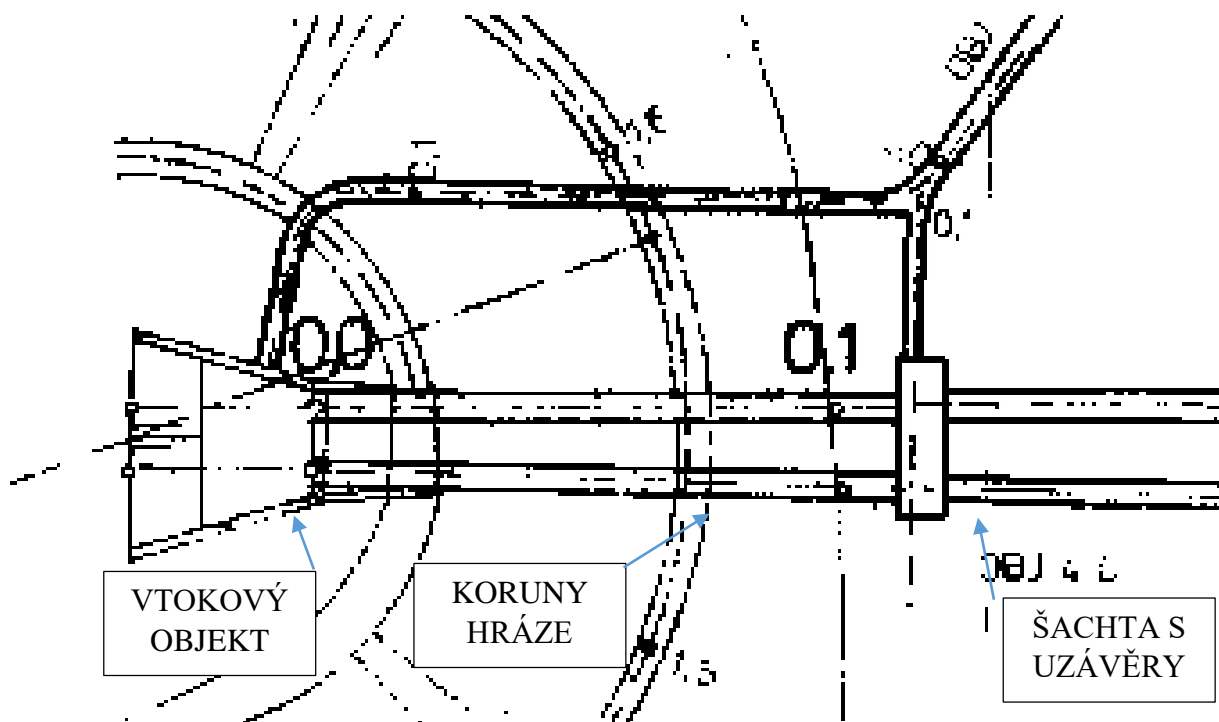
Obr. 17) Věžový objekt v patě hráze [21]



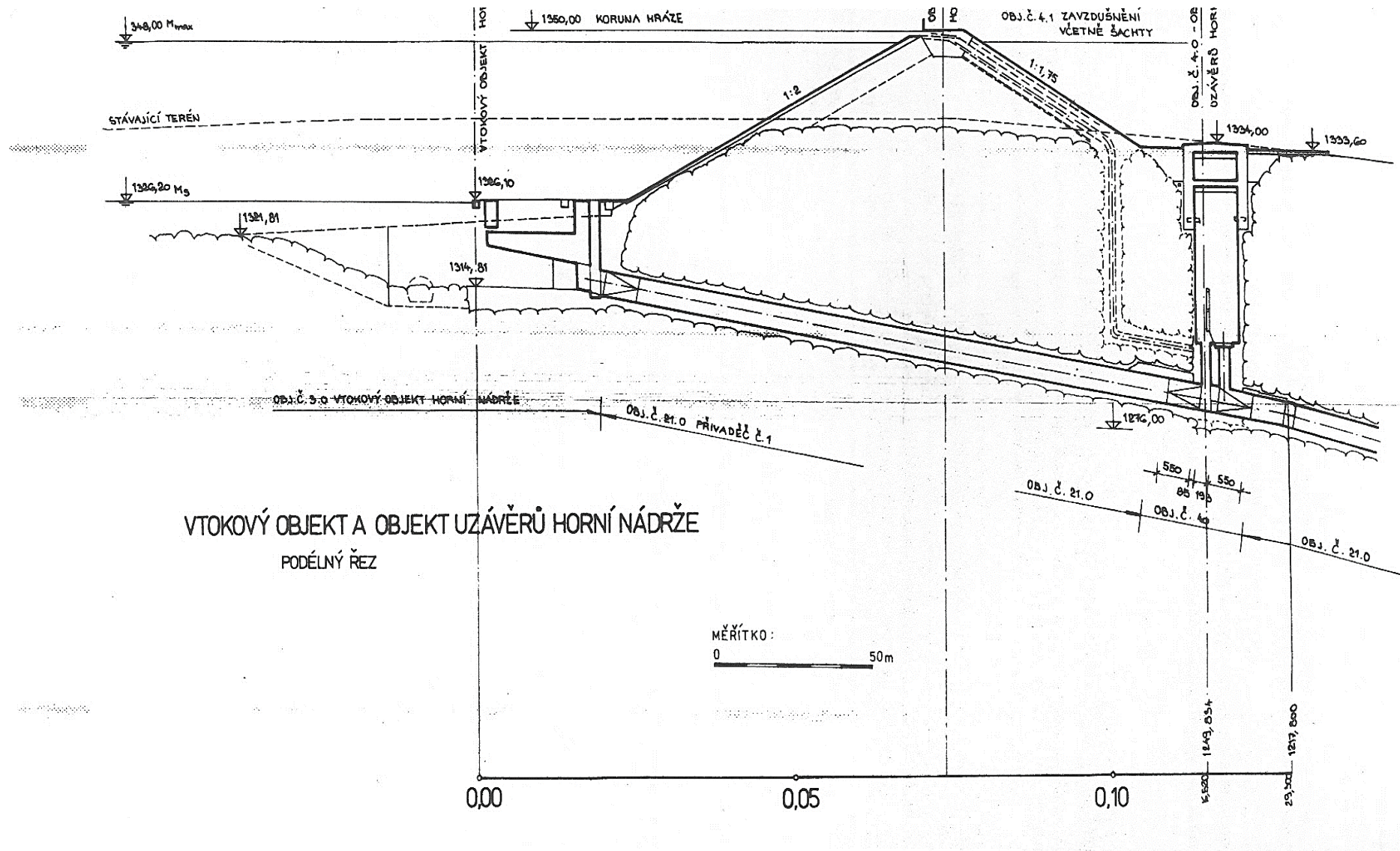
Obr. 18) Věžový objekt v koruně hráze [27]



Obr. 19) Předsazený věžový odběrný objekt [28]



Obr. 20) Půdorys dnového odběrného objektu [35]

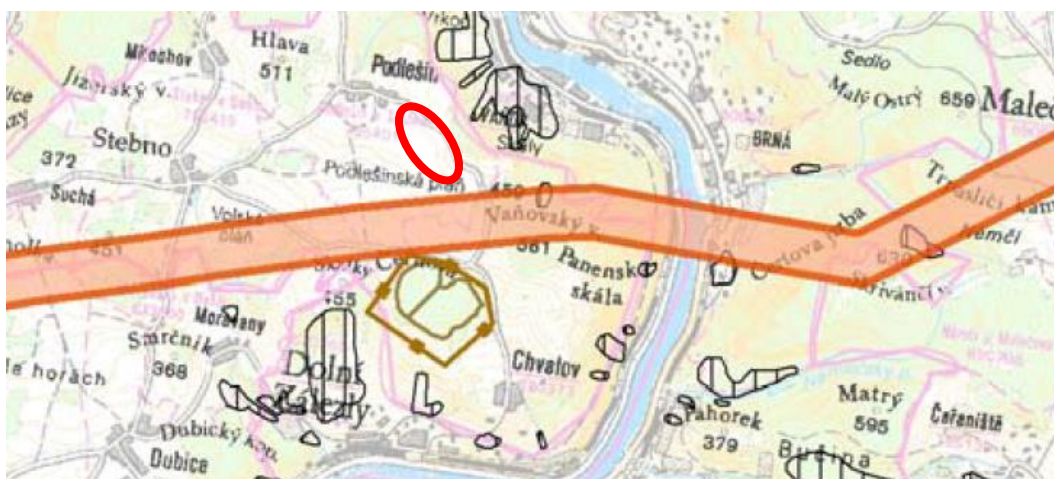


Obr. 21) Dnový odběrný objekt s ovládáním za hrází [30]

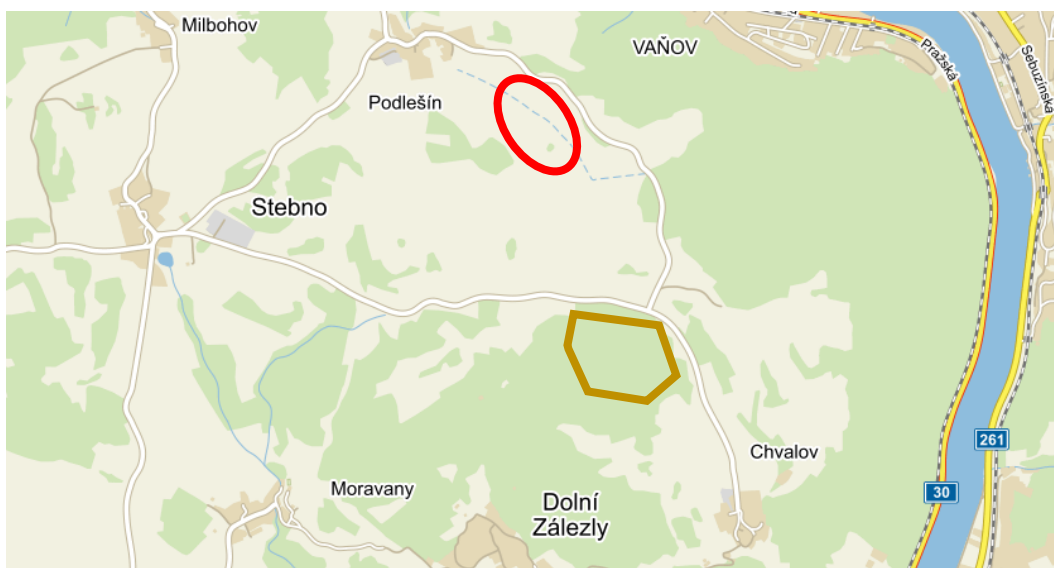
Dnový odběrný objekt může být zhotoven s přístupovou kontrolní stolou do místa nátoků. Tato šachta bývá vedena z objektu pro ovládání uzávěrů. Pro navrženou nádrž bude použit odběrný objekt dnový bez přístupové stoly. Ovládání uzávěrů přivaděčů, bude umístěno za patou vzdušného líce hráze.

4.6 Materiál tělesa hráze

Navrhované těleso bude sypaná hráz s AB těsněním (kap. 4.4). Materiál pro stavbu tělesa hráze bude primárně dovážen z nedalekého starého lomu (obr. 22, 23).



Obr. 22) Mapa horninového prostředí Ústeckého kraje (hnědě zakresleno chráněné ložiskové území, červeně vyznačen návrh nádrže) [A2]



Obr. 23) Mapa lokality (hnědě vyznačeno ložiskové území, červeně vyznačen návrh nádrže)

V tabulce číslo 3, jsou zaříděny zeminy dle vhodnosti pro těleso hráze. Zařídění je provedeno dle ČSN 72 1001 a 73 1001.

Tab. 3) Tabulka vhodnosti zeminy pro těleso hráze dle ČSN 72 1001 a 73 1001 [61]

Znak skupiny	Název zeminy	Homogenní	Těsnicí část	Stabilizační část
GW	štěrk dobře zrněný	nevhodná	nevhodná	výborná
GP	štěrk špatně zrněný	nevhodná	nevhodná	výborná
G-F	štěrk s příměsí jemnozrnné zeminy	málo vhodná	nevhodná	velmi vhodná
GM	štěrk hlinitý	výborná	velmi vhodná	málo vhodná
GC	štěrk jílovitý	výborná	velmi vhodná	málo vhodná
SW	písek dobře zrněný	nevhodná	nevhodná	vhodná
SP	písek špatně zrněný	nevhodná	nevhodná	vhodná
S-F	písek s příměsí jemnozrnné zeminy	nevhodná	nevhodná	vhodná
SM	písek hlinitý	vhodná	vhodná	málo vhodná
SC	písek jílovitý	velmi vhodná	výborná	nevhodná
MG	hlína štěrkovitá	velmi vhodná	velmi vhodná	nevhodná
CG	jíl štěrkovitý	velmi vhodná	výborná	nevhodná
MS	hlína písčitá	vhodná	vhodná	nevhodná
CS	jíl písčitý	velmi vhodná	velmi vhodná	nevhodná
ML-MI	hlína s nízkou až střední plasticitou	málo vhodná	vhodná	nevhodná
CL-CI	jíl s nízkou až střední plasticitou	vhodná	velmi vhodná	nevhodná
MH-ME	hlína s vysokou – extr. vysokou plasticitou	málo vhodná	nevhodná	nevhodná
CH-CE	jíl s vysokou - extrémně vysokou plasticitou	málo vhodná	nevhodná	nevhodná

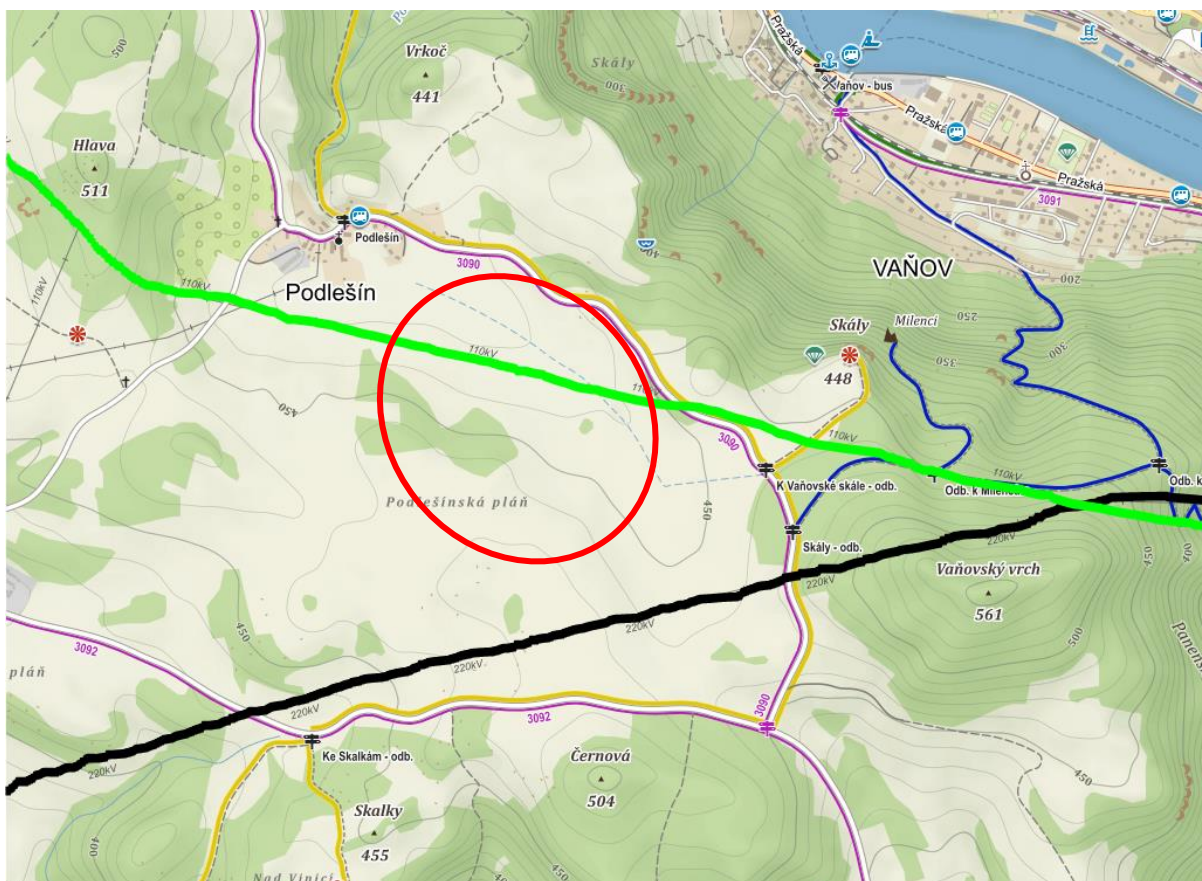
5 POPIS LOKALITY

Zájmové území se nachází v CHKO České Středohoří a v okolí se najdeme mnoho přírodních památek a chráněných míst. Samotné nedaleké krajské město Ústí nad Labem spadá zhruba ze 40 % do CHKO České Středohoří. V blízkosti se dále mimo CHKO České Středohoří nachází i chráněné území Labské údolí, maloplošné zvláště chráněné území Vrkoč, vodopád U Čertova mlýna a Vaňovský vodopád.

Lokalita výstavby se nachází na levém břehu protékající řeky Labe. Horní nádrž bude vybudována v blízkosti Vaňovského vrchu (561 m n. m.). Na svahu směrem k řece jsou potenciální a aktivní sesuvy půdy. Poslední zaznamenaná revize z roku 2004 odhalila 3 aktivní a 4 potenciální sesuvy půdy o nemalé rozloze.

V zájmovém území jsou vedeny dráty vysokého napětí (obr. 24), které budou odkloněny od navrhované nádrže tak, aby nikterak nenarušovaly bezpečný a spolehlivý provoz.

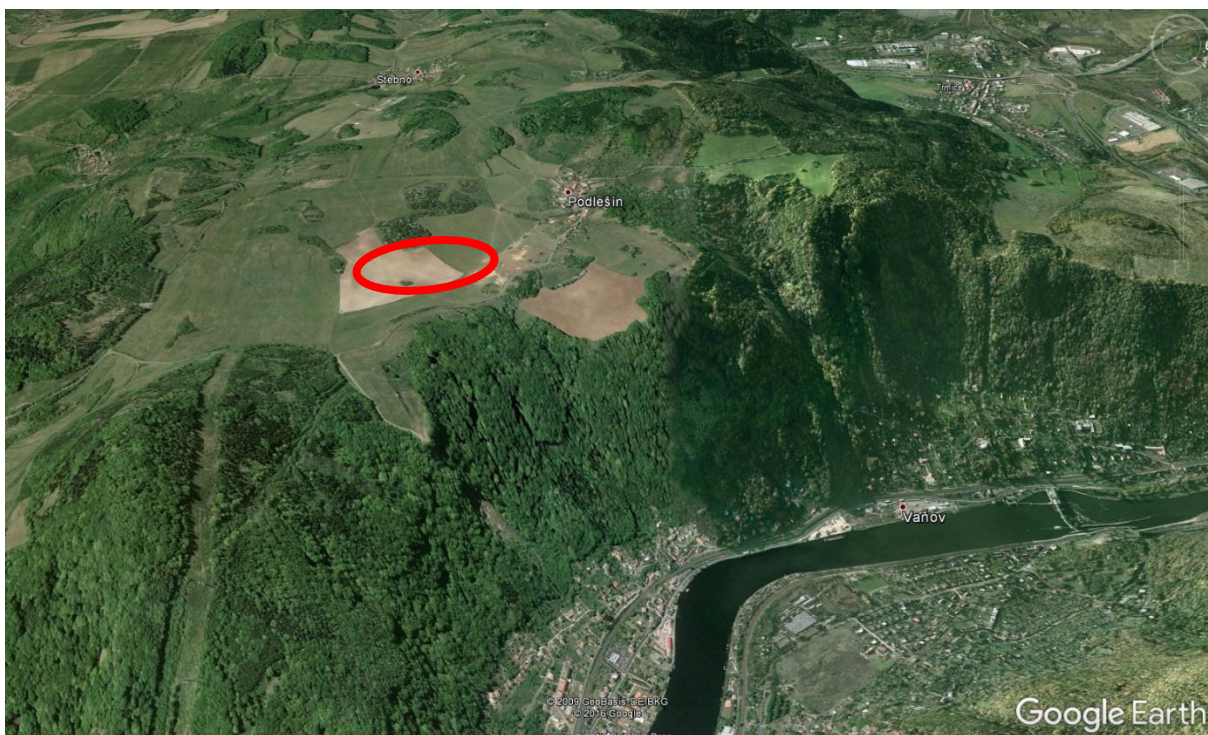
V severní části navrhované hráze vede silnice třetí třídy. Trasa silnice bude upravena a napojena na korunu horní nádrže.



Obr. 24) Vedení velmi vysokého napětí (černě zvýrazněno 220 kV, zeleně zvýrazněno 110 kV, červeně zvýrazněn návrh nádrže) [36]



Obr. 25) Situace zájmového území (červeně vyznačena lokalita)



Obr. 26) 3D pohled na zájmové území (červeně vyznačena lokalita)

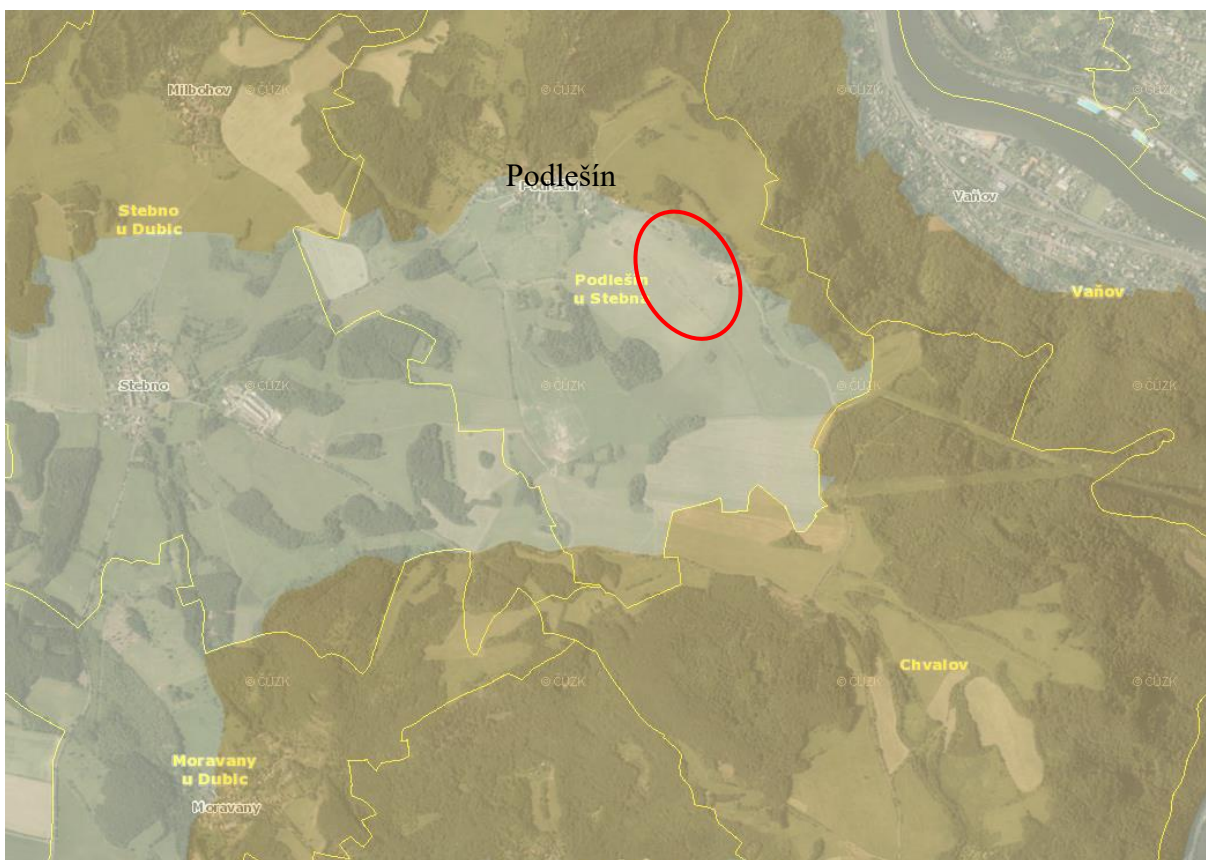
5.1 Chráněné krajinné oblasti (CHKO)

Na území stavby a v jejím blízkém okolí se nalézají řada přírodních zajímavostí a památek. Nachází se zde národní přírodní památka Vrkoč, která patří mezi nejvýznamnější přírodní památky na světě. V blízkosti je i nejvyšší vodopád celého Českého středohoří. Ten leží na Podlešínském potoce a je vysoký 12 m.

Území výstavby spadá do Chráněné krajinné oblasti České středohoří, ve které je jedna z největších CHKO na našem území. Zájmové území spadá do IV. zóny chráněné oblasti (obr. 27). CHKO leží na severu Čech na obou březích řeky Dolní Labe a její celková rozloha

činí 1063 km². Díky třetihorní vulkanické činnosti, která vytlačila vyvřeliny převážně čediče, je území typické svými kuželovými tvary zdejších kopců.

České středohoří je také velmi bohatou oblastí výskytu různých rostlin a živočichů v České republice. [13]



Obr. 27) Mapa zón chráněného území (světlejší barva vyznačuje zóna IV., tmavší barva vyznačuje III. zóna, červeně je vykresleno umístění hráze) [40]

5.2 Geologie a hydrogeologie

Podle členění geologie zájmového území spadá oblast do Českého masivu. Z geologických průzkumných vrtů je zjištěno, že v místě návrhu se po sejmutí ornice nachází soudržná zemina vhodná pro výstavbu hrázového tělesa [A2].

Na svahu pod obcí Vaňov, který se nachází pod navrhovanou nádrží, jsou aktivní a potenciální sesuvy půdy. Lokalita pro umístění nádrže, přivaděčů a elektrárny je evidována jako nestabilní území (obr. 28).



Obr. 28) Obrázek ukazující hrozby míst sesuvu půdy (červeně označen návrh nádrže)
[14]

Zájmová lokalita má dobré podmínky pro vznik pramenných vývěřů. Díky tomu se v okolí nachází prameny a chráněné vodopády.

Převážná část vody dopadající na povrch území volně odtéká koryty nebo je zadržována v kvarterních a třetihorních horninách. Největší roční úhrny jsou zaznamenávány v červnu, nejmenší naopak v únoru.

O hladině podzemní vody v zájmovém území stavby nejsou vedeny archivní podklady. V archivních vrtech nacházejících se v blízkosti horní nádrže nejsou od hloubky 34 až do 263 m žádné údaje o hladině podzemní vody [A2].

Základní litologická data zájmového území jsou zobrazena v tabulce 4. Tabulka 4 obsahuje data ze čtyř průzkumných vrtů, které se nacházejí ve dně předpokládané nádrže a jejího okolí.

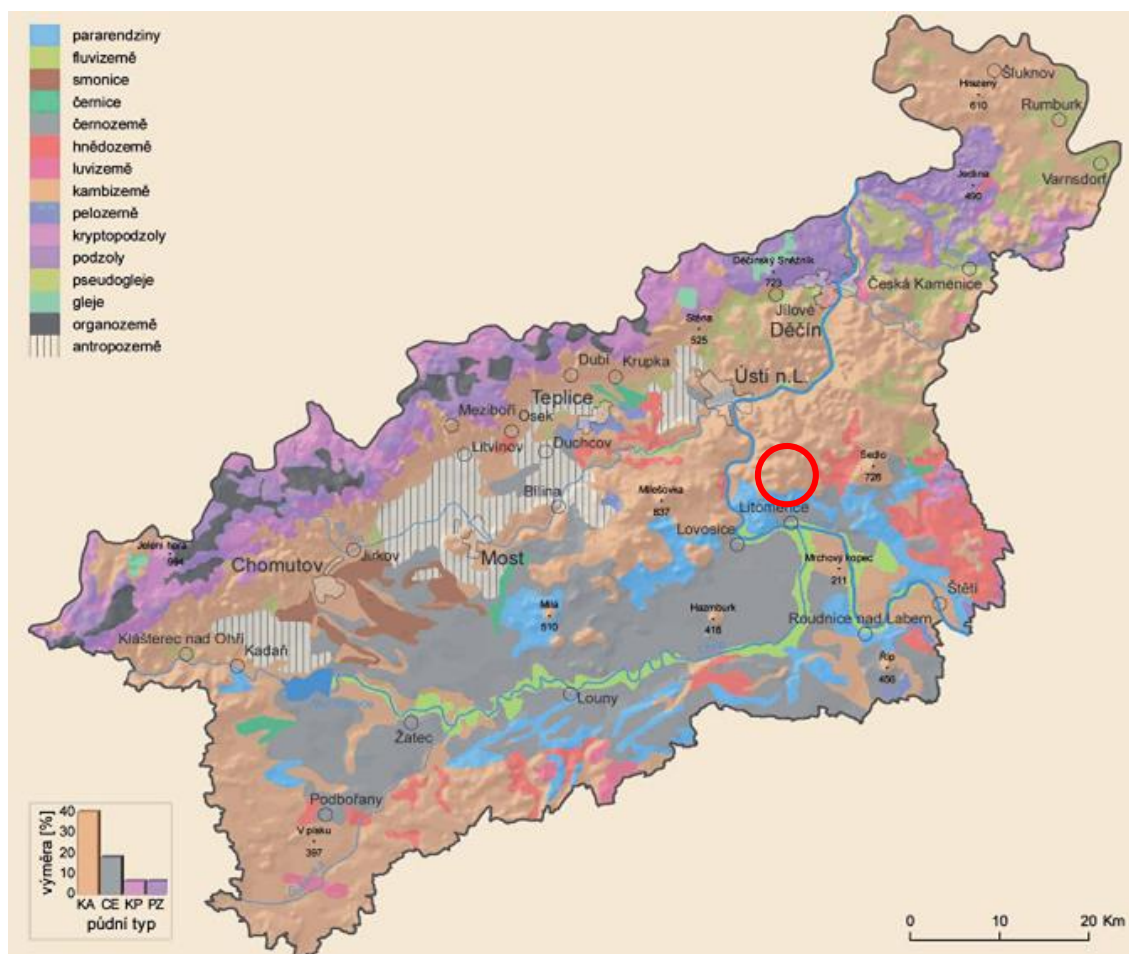
Tab. 4) Tabulka z průzkumných vrtů zeminy [A2]

Hloubka [m]	Popis
0,00 - 0,25	ornice
0,25 - 3,00	hlína (jílovitá, šedá, hnědá)
3,00 - 9,00	tuf (písečný, jílovitý navětralý, jemnozrnný)
	čedič (slabě zvětralý)
9,00 - 30,00	pískovec
	čedič (zvětralý)
	tuf (hrubozrnný)

Tufy a čediče, které se nacházejí v únosné vrstvě podloží, jsou potencionálně vhodné pro stavbu hráze. [A2]

5.3 Půdy

Podle půdní mapy ČR se v zájmové oblasti nachází půda KAe – kambizem eutrofní (obr. 29, 30). Kambizem eutrofní patří mezi nejrozšířenější půdní typ zeminy v České republice. Přítomnost této zeminy nasvědčuje faktu, že v minulosti se zde rozkládaly listnaté lesy. Pojem kambizem byl dříve nazýván těž hnědou (lesní) půdou. [39]

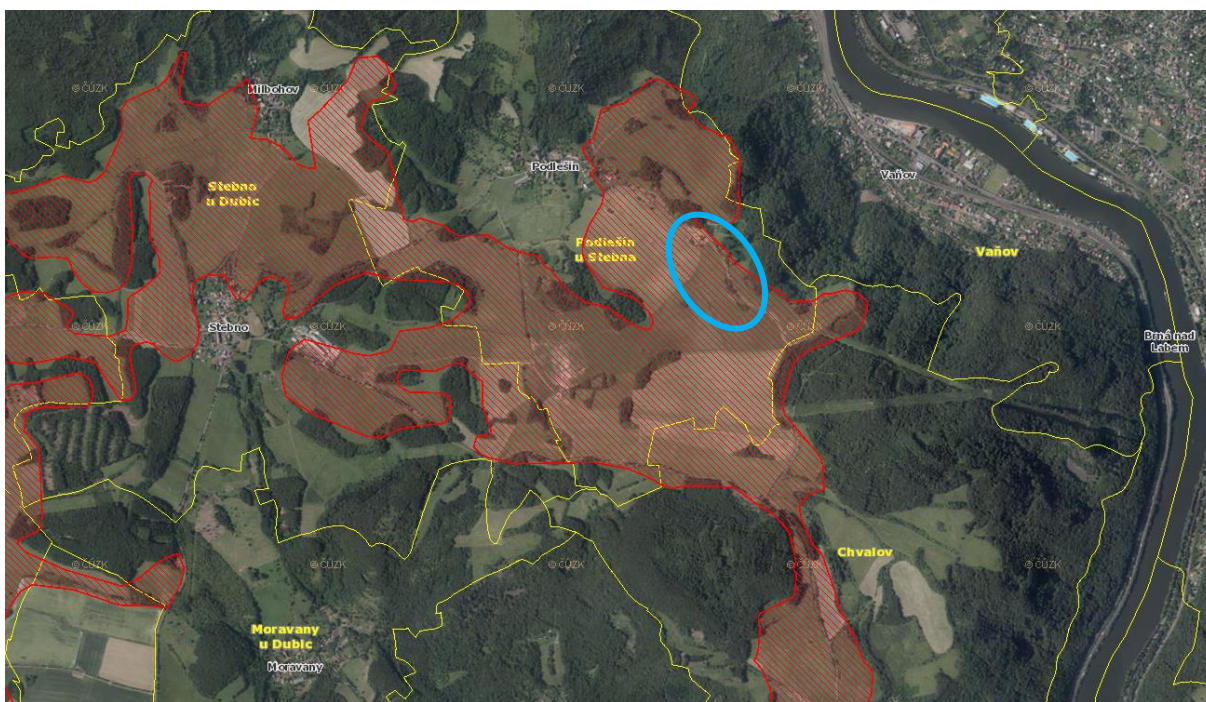


Obr. 29) Půdní mapa Ústeckého kraje (červeně označeno zájmové území) [38]



Obr. 30) Půdní mapa zájmového území (KAe - kambizem, WA – vodní plochy) [40]

Z mapy zájmového území je patrný úbytek orné půdy v místě výstavby a jejím okolí (obr. 31).



Obr. 31) Mapa úbytku orné půdy v zájmovém území a jeho okolí (úbytek je označen červenou plochou, modře označen návrh nádrže) [40]

5.4 Klimatické podmínky

Klimatické poměry jsou v Českém středohoří velmi pestré. Na celém území dochází díky členitosti zdejšího terénu k velkým klimatickým rozdílům. To je zapříčiněno zejména výškovými rozdíly, orientací svahů na světové strany a také jejich svazitostí.

Nejbližší meteorologická stanice se nachází ve městě Ústí nad Labem. Roční průměrná teplota se v CHKO České středohoří pohybuje od 5 °C do 9 °C. Průměrný roční úhrn srážek se projevuje poměrně velkým teplotním gradientem, od 450 mm a do 800 mm. [15]

5.5 Památky v okolí

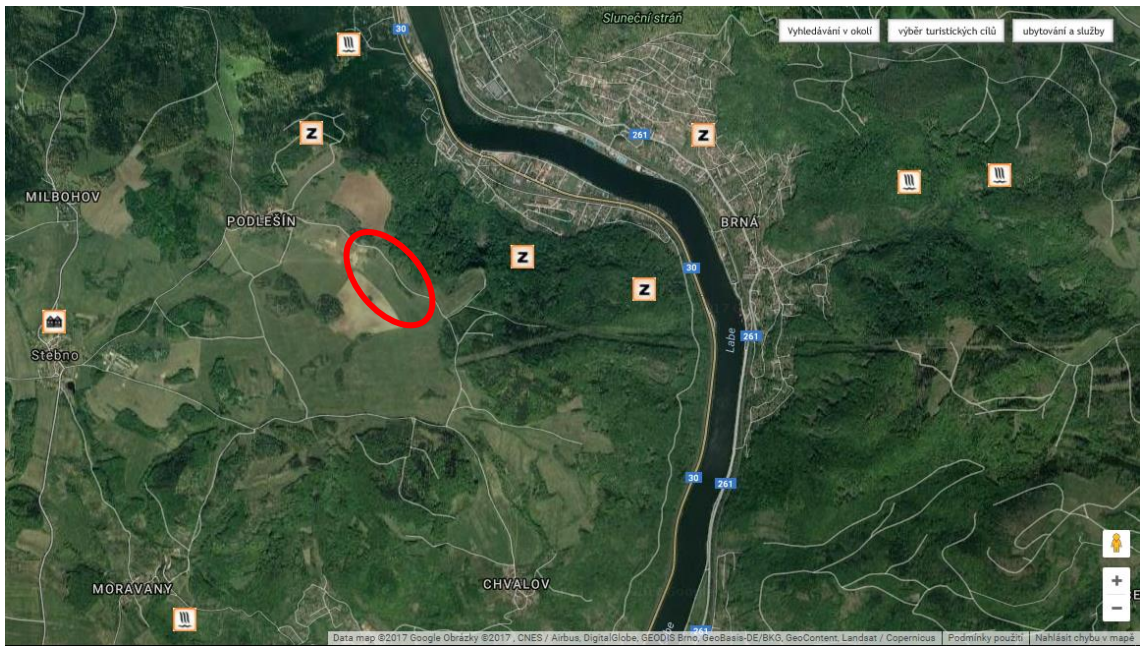
V zájmové lokalitě se nalézá hned několik památek. Asi nejvýznamnější památkou je chráněné území Vrkoč. Jedná se o skalní útvar z čediče ve tvaru obráceného vějíře. Mezi další patří například Vaňovský vodopád, Beutelova studánka nebo vodopád U Čertova mlýna.

Zajímavosti v okolí jsou zakreslené na obrázcích 32 a 33.

- Vrkoč – národní přírodní památka patřící mezi nejvýznamnější přírodní památky na celém světě. Je zajímavý pro svůj tvar (obr. 34),
- vodopád na Podlešínském potoce – nejvyšší vodopád v celém Českém středohoří,
- vodopád na Kojetickém potoce – napůl přírodní a napůl umělý vodopád,
- naučná stezka Pod Vysokým Ostrým – stezka upozorňuje na všechny zajímavosti v jejím okolí,
- Vysoký Ostrý – zalesněný čedičový kužel s vyhlídkou,
- Vaňovské skály,
- Bertino údolí,
- Erbenova vyhlídka.



Obr. 32) Ukázka mapy zájmového území s okolními památkami [36]



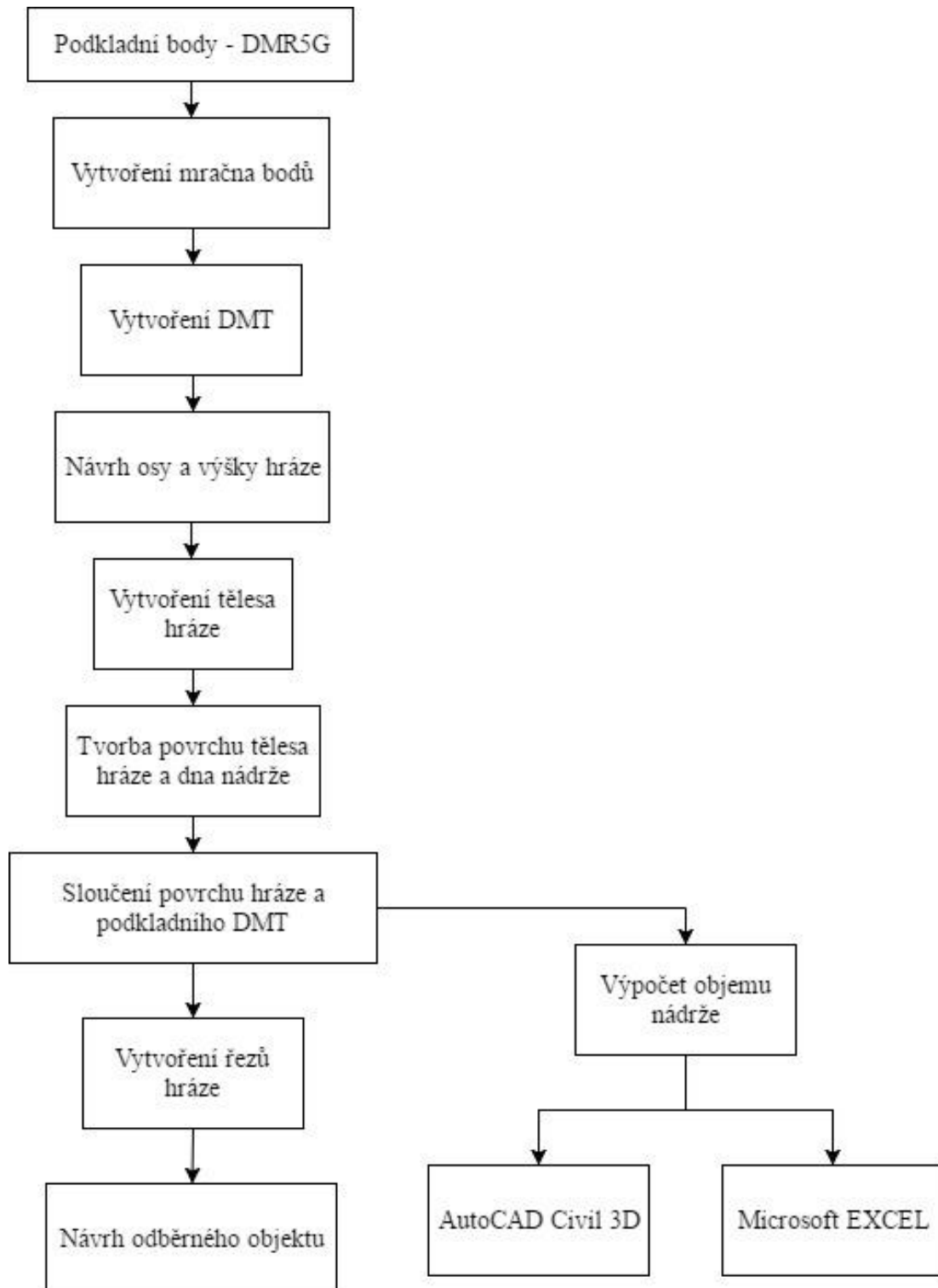
Obr. 33) Ukázka mapy zájmového území s okolními památkami [37]



Obr. 34) NPP Vrkoč [13]

6 ZPRACOVÁNÍ PRÁCE

Práce byla zpracována v programu AutoCAD Civil 3D (C3D). Jedná se o aplikaci pro modelování a projekci především v oblastech dopravy, liniové stavby, projekce obytných zón, práci a úpravy krajiny, inženýrských sítí a dalších. [16]



Obr. 35) Diagram postupu návrhu

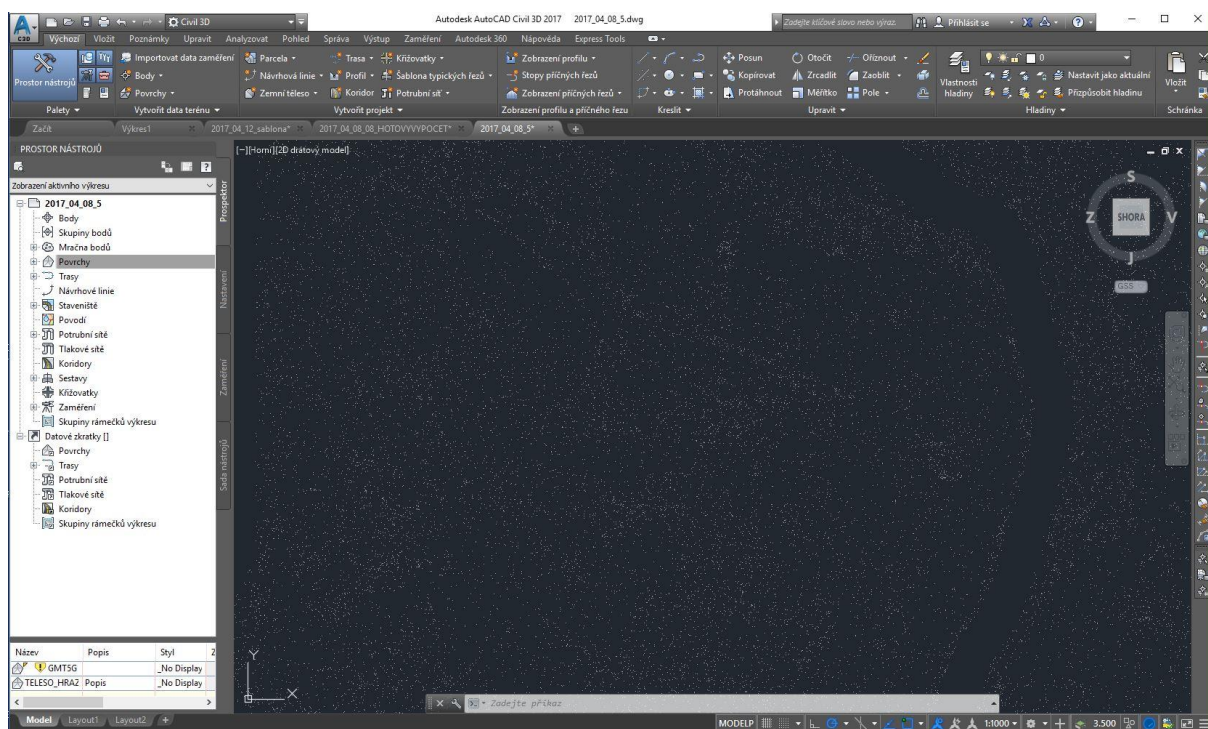
6.1 Podkladní body – DMR5G

Základním podkladem pro návrh horní nádrže PVE byl souhrn výškopisných a souřadnicových bodů České Republiky (DMR5G) [A2]. Jedná se o textový soubor se souřadnicemi XYZ, určenými zeměměřickými pracemi. Podklady byly poskytnuty Povodím Labe, s. p., pro účely projektu a této práce.

6.2 Vytvoření mračna bodů

Po zpracování množství bodů [A2] programem C3D byla vytvořena síť mračna bodů. Mračno bodů bylo vytvořeno pomocí příkazu C3D:

Mračna bodů → Vytvořit mračno bodů. Zde byl vybrán textový soubor TXT se souřadnicemi XYZ.

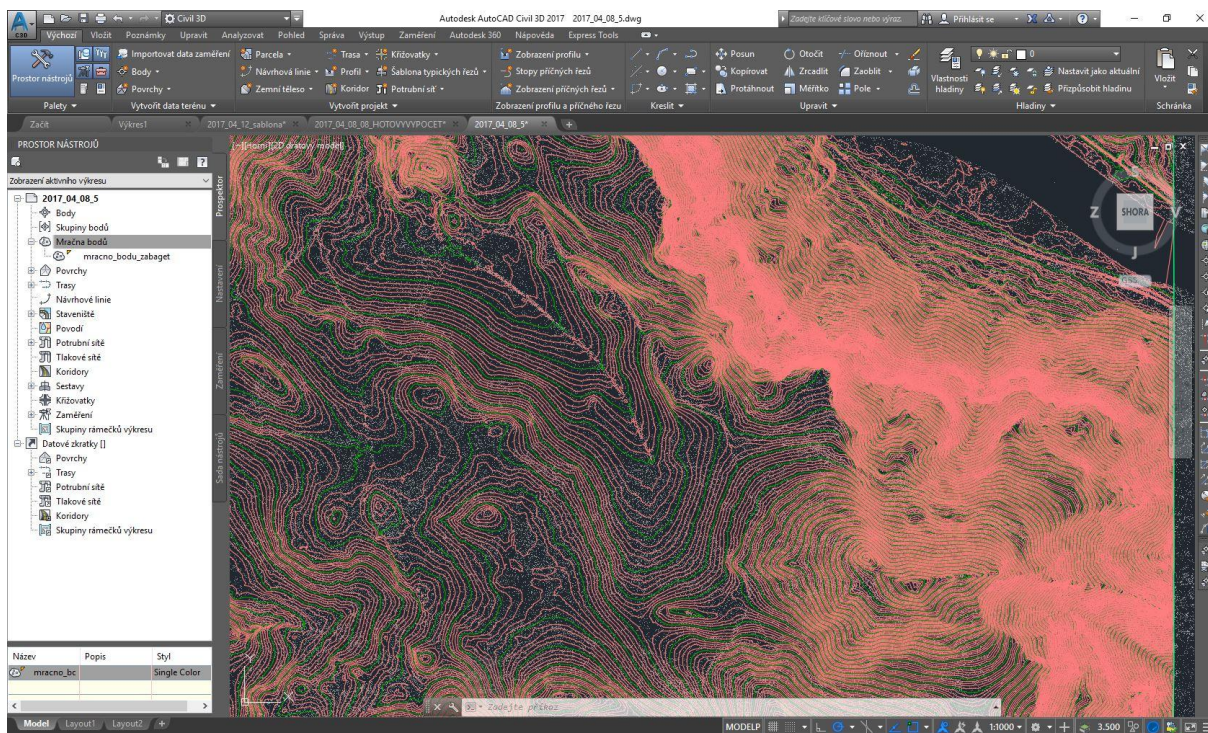


Obr. 36) Vytvořené mračno bodů (C3D)

6.3 Vytvoření DMT

Z vytvořeného mračna bodů byl vytvořen povrch terénu. Povrch byl vytvořen pomocí příkazu C3D:

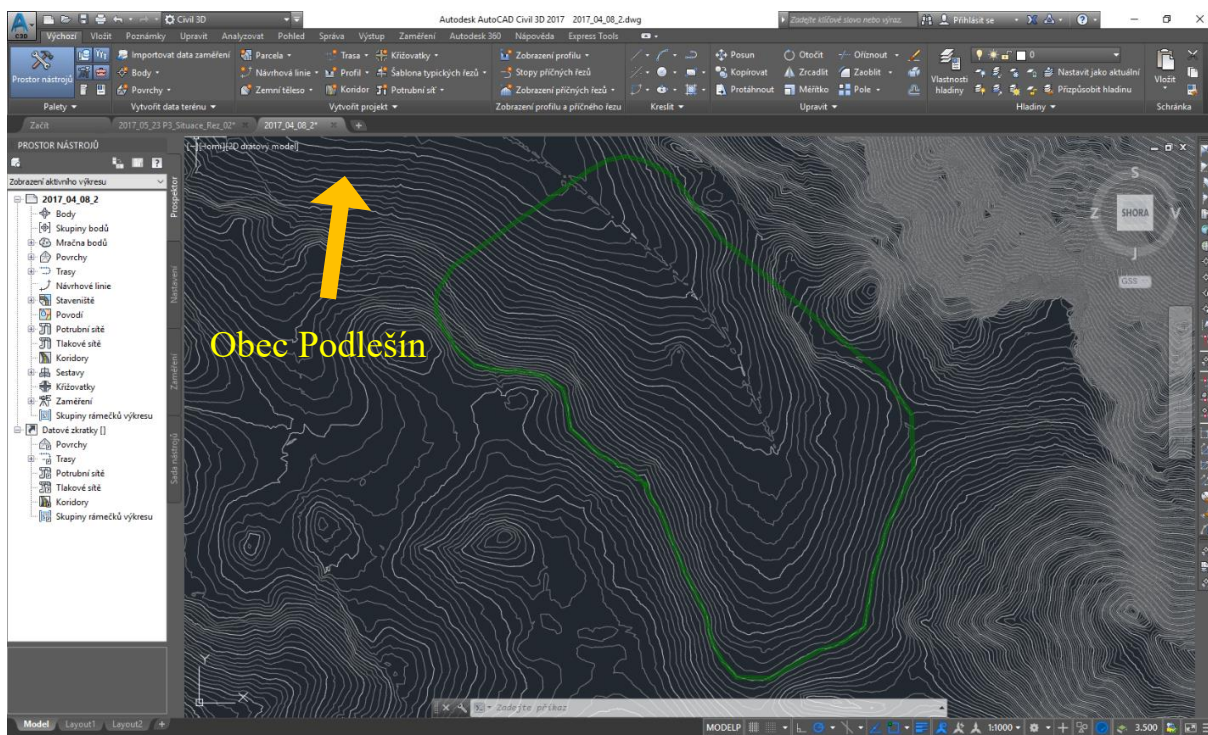
Povrchy → Vytvořit nový TIN povrch z mračna bodů (obr. 37). Typ povrchu byl zvolen „Povrch TIN“.



Obr. 37) Vytvořený DMT z mračna bodů (C3D)

6.4 Návrh osy a výšky hráze

Do vytvořeného povrchu zájmového území byla umístěna osa navrhované hráze do předpokládané úrovně 460 m n. m. Pro návrh osy hráze nádrže a jejího výškového umístění byla použita funkce „Návrhová linie“ (obr. 38). Osa hráze v situaci v maximální možné míře kopírovala terén tak, aby došlo k minimalizaci násypů hráze v jižní části.



Obr. 38) Návrh osy hráze označena zeleně (C3D)

6.5 Vytvoření tělesa hráze

Z vytvořené osy hráze byla dále funkcí „Zemní těleso“ vytvořena koruna hráze, návodní a vzdušní svahy. Pro vytvoření jednotlivých částí hráze (koruna, návodní a vzdušní líc) je nutné nastavit jednotlivá kritéria tělesa jako je sklon, šířka, výška a možnost napojení na terén.

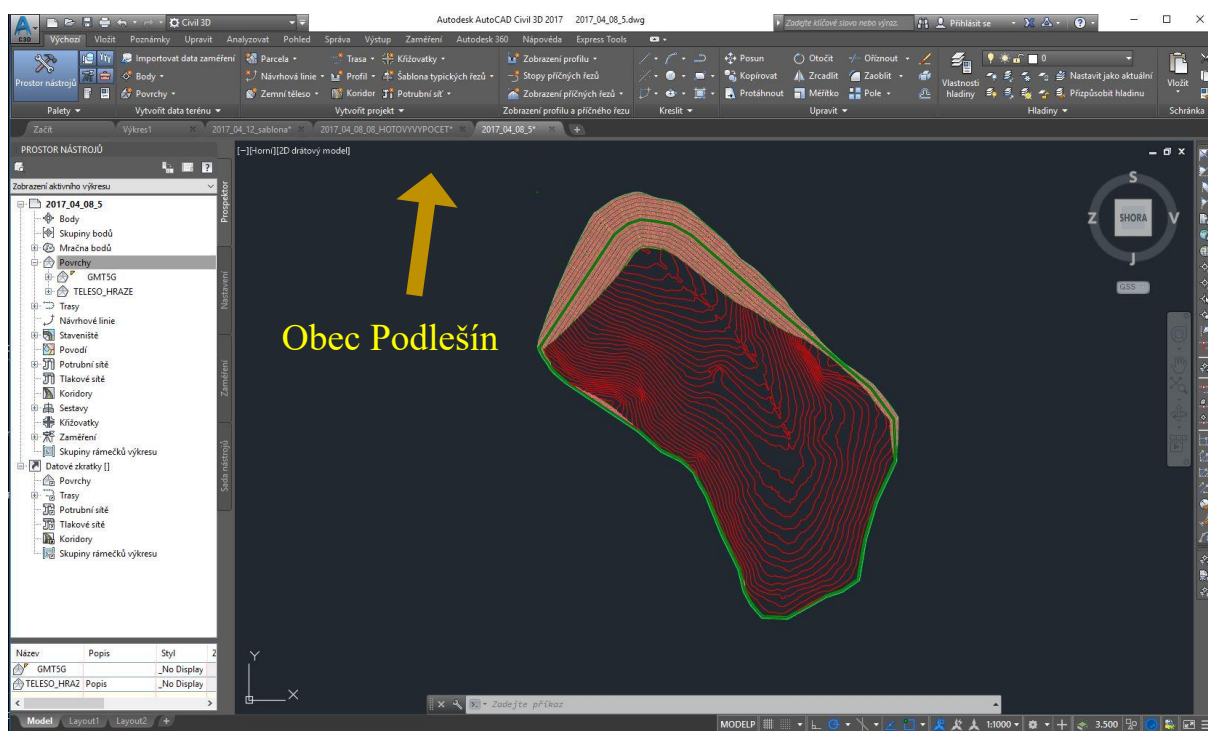
Návrh hráze vycházel z rešerše horních nádrží, z požadavků na výškové umístění (manipulace hladin v rozmezí 444 až 458 m n. m.) a z požadavků na objem vody (min. 3,5 mil. m³). V rámci C3D bylo provedeno nastavení zemních těles s těmito parametry, viz. tab. 5.

Tab. 5) Tabulka parametrů navrhovaného tělesa hráze

Objekt	Nadmořská výška	Sklon	Šířka [m]	Napojení na terén
koruna hráze	460 m n. m.	1%	6	-
návodní líc	-	1:2	-	ano/jako násyp
vzdušní líc	-	1:2	-	ano/jako násyp

Po vytvoření tělesa hráze byly vrstevnice Z DMT oříznuty návodní patou hráze. Tyto vrstevnice byly využity pro vytvoření dna nádrže (obr. 39). Oříznutí bylo provedeno příkazem C3D:

Upravit → Oříznout. Zde byly zvoleny ořezávací prvky a poté prvky ořezávané.



Obr. 39) Těleso hráze s oříznutým dnem nádrže (zeleně označena osa hráze, červeně označeny vrstevnice)

6.6 Tvorba povrchu tělesa hráze a dna nádrže

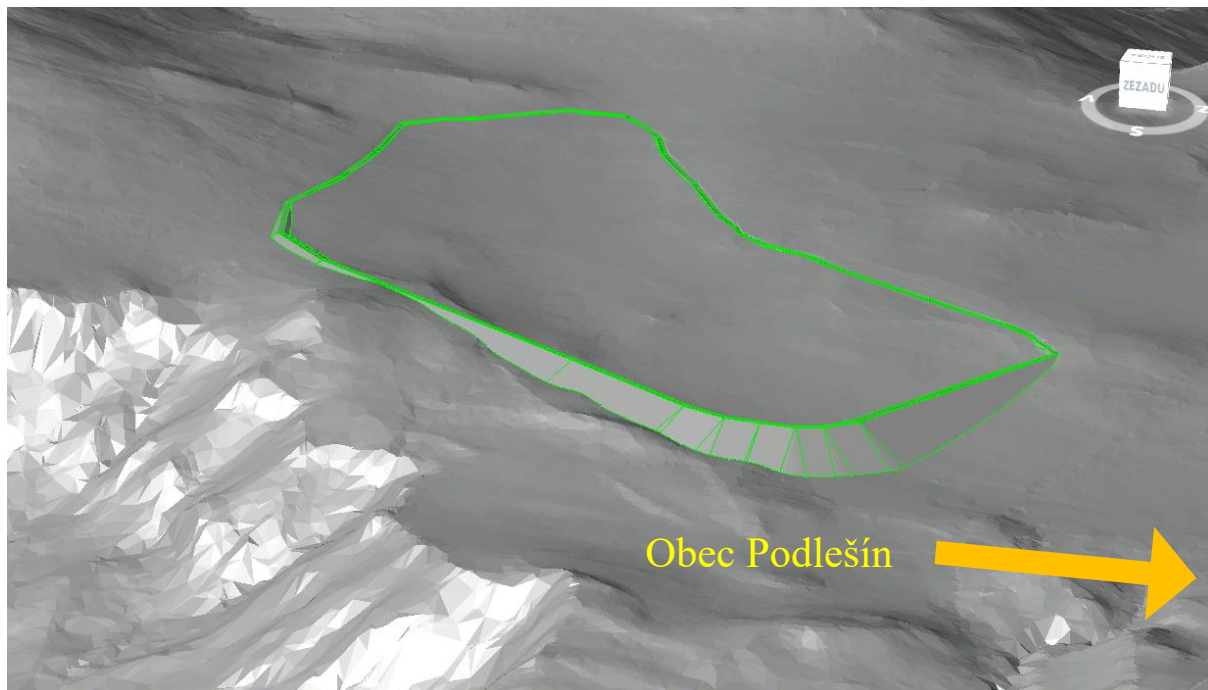
Pro vytvoření povrchu navrhované nádrže bylo nutno převést vrstevnice tělesa hráze a dna na povrch TIN, který byl definovaný povinnými spojnici. Převedení vrstevnic na povrch TIN příkazem C3D:

Prostor nástrojů → Povrchy → Vytvořit povrch → Definice → Povinné spojnice → Výběr spojnic definující nový povrch.

6.7 Sloučení povrchu hráze a podkladního DMT

Sloučením povrchu navržené hráze s původním terénem bylo docíleno konečného povrchu terénu včetně nádrže. Sloučení povrchů bylo provedeno příkazem C3D:

Nástroje povrchu → Extrahovat z povrchu → Extrahovat objekty → Výběr objektů → Oříznutí terénu tělesem hráze. Dále byl vytvořen povrch TIN z oříznutých vrstevnic definující konečný povrch (obr. 40).



Obr. 40) Konečný vzhled navržené horní nádrže (zeleně označeno těleso hráze)

6.7.1 Výpočet objemu vody v nádrži

V rámci návrhu nádrže byl ověřen požadovaný objem vody, který byl stanoven na cca 3,5 mil. m³. Výpočet objemu vody v nádrži byl proveden pomocí programu Civil 3D a zároveň bylo provedeno ověření pomocí MS Excel.

AutoCAD Civil 3D

Program AutoCAD Civil 3D umožňuje automatický výpočet objemu zadáním vstupních hodnot pro výpočet. Vstupními hodnotami byly vrstevnice tvořící vnitřní prostor nádrže. Po zadání vstupních hodnot ve formě vrstevnic v nádrži byl realizován výpočet objemu a ve formě tabulky uložen ve výkresu. Celkový objem vody v nádrži od kóty 458 m n. m. po 429 m n. m. v C3D byl stanoven na 4,509 mil. m³. Manipulační prostor nádrže je uvažován od 444 m n. m. do 458 m n. m. Objem vody v manipulačním prostoru činí 3,668 mil. m³. Postup a konkrétní výsledky jsou uvedeny v kapitole 7.

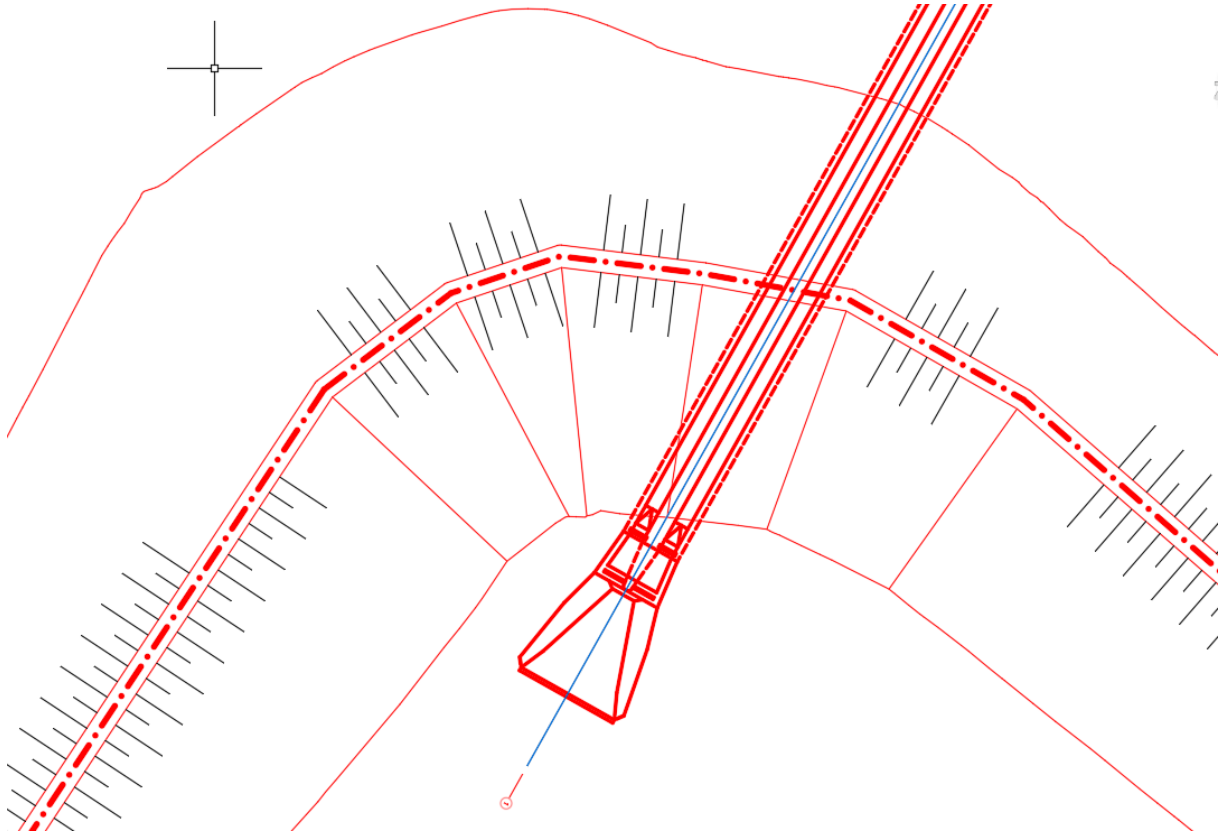
Microsoft EXCEL

Pro kontrolu správnosti výpočtu objemu byl proveden ruční výpočet pomocí ploch vrstevnic. Kontrolní ruční výpočet stanovil objem nádrže na 3,669 mil. m³. Postup a konkrétní výsledky jsou uvedeny v kapitole 7.

6.8 Vytvoření řezů hráze

Návrhová osa hráze určující tvar a výšku hráze byla převedena na trasu. Na této trase byla následně pomocí křivky vyznačena stopa příčného řezu (obr. 41). Z vytvořené stopy příčného řezu bylo dále vygenerováno zobrazení příčného řezu dle zvolené šablony (obr. 42). Stopa příčného řezu byla vygenerována příkazem C3D:

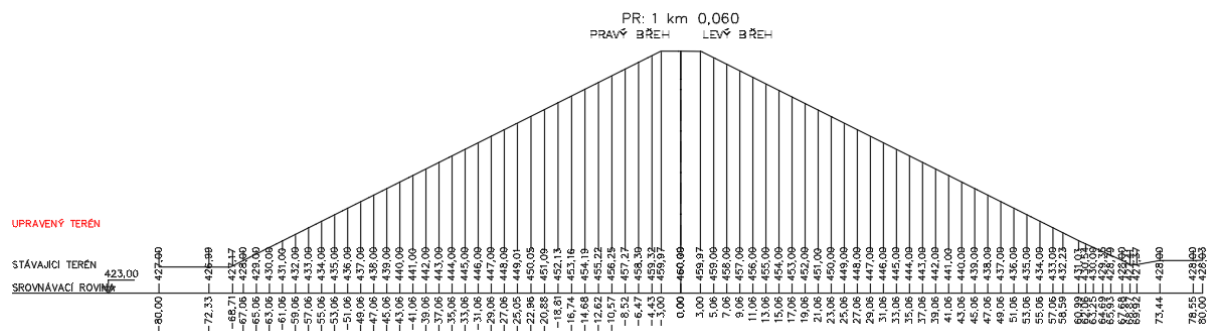
Zobrazení profilu a příčného řezu → Stopy příčných řezů → Zvolit existující křivky → Vytvoření stopy.



Obr. 41) Ukázka stop příčných řezů (červeně trasa hráze, modrá stopy řezů)

Zobrazení příčných řezů příkazem C3D:

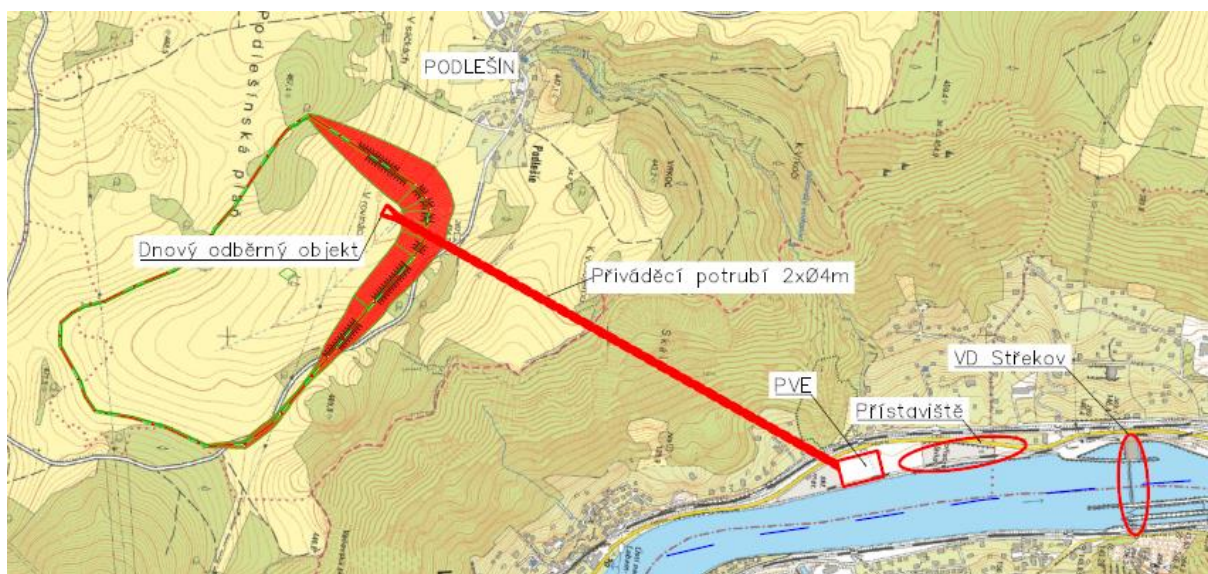
Zobrazení profilu a příčného řezu → Zobrazení příčných profilů → Vytvořit zobrazení příčného řezu → Zadání kritérií řezů → Umístění řezů.



Obr. 42) Ukázka vygenerovaného příčného řezu hráze

6.9 Návrh odběrného objektu

Návrh vtokového objektu vycházel z rešerše typů odběrných objektů. Konečným návrhem byl odběrný dnový objekt dle dokumentace PVE Dlouhé Stráně. Do výsledné situace navržené nádrže byl umístěn dnový odběrný objekt do nejnižšího místa dna nádrže (severní část). Poloha vtokového objektu byla volena v závislosti na trase přiváděčů a na napojení AB těsnění svahů a dna. Objekt pro ovládání uzávěrů byl umístěn za patou vzdušního líce tělesa hráze. Přiváděcí potrubí jsou uvažována dvě s vnitřním průměrem 4 m. Vedení přiváděcí potrubí je uvažováno v podzemní kaverně do místa vodní elektrárny ležící na levém břehu toku Labe v místě stávajícího přístaviště viz obr. 43.



Obr. 43) Přehledné zobrazení umístění stavby

Popis vtokového objektu je rozdělen na tyto části:

- Popis objektu nátoky,
- popis založení objektu,
- popis navržených materiálů.

Nátok do odběrného objektu byl navržen lichoběžníkového tvaru a jeho umístění bylo situováno do severní části nádrže. Samotné umístění vtokového objektu v nádrži bylo zvoleno s ohledem na:

- Odvodnění nádrže,
- přímé vedení přiváděcího potrubí,
- napojení AB těsnění dna a návodního líce,
- napojení objektu na AB těsnění dna.

Odvodnění nádrže je řešeno gravitačně do místa odběrného objektu umístěného v nejnižším místě dna nádrže.

Přívodní potrubí mezi nádrží a elektrárnou je vedeno směrově z hlediska ztrát přímě. V rámci napojení AB těsnění dna a nádrže, bylo uvažováno s využitím přechodových oblouků o poloměrech cca 2500 m. Odběrný objekt byl umístěn v dostatečné vzdálenosti od obloukového přechodu a současně do rovny oblasti v nejnižším místě nádrže.

Založení objektu bude provedeno na únosném skalním podloží. Únosné podloží tvoří tufy a čediče dle tabulky 4 v kapitole 5.2, stanovené z průzkumných vrtů. Těleso hráze bude tvořeno

tufy a čediči, které budou separovány od ostatních zemin. Materiál tělesa hráze by bylo nutno ověřit laboratorními zkouškami. Objekt byl výškově založen s ohledem na umístění šachtě s uzavěry, na výškovém umístění přivaděče a na geologických vrstvách.

Odběrný objekt bude zhotoven z vodostavebního betonu, třídy určené výpočty v rámci podrobnějšího návrhu. Přivaděče budou tvořeny dvěma ocelovými potrubími průměru 4,0 m, která bude vložena do vyražené štoly. Potrubí se spustí do vyražené štoly a následně se obetonuje vrstvou betonu. Část potrubí v blízkosti paty návodního líce, které se z části nachází ve stabilizační části hráze, bude obetonováno silnější vrstvou betonu.

Samotný návrh vtokového objektu vychází částečně z projektové dokumentace Dlouhé Stráně [A4].

7 VÝPOČTY OBJEMŮ

Pro návrh horní nádrže je nejdůležitějším kritériem její požadovaný zásobní objem. Zásobní objem se stanovuje ze zdroje, ze kterého bude do horní nádrže čerpán. Tento objem následně určuje možnost manipulace s hladinou, dobu vykrytí špičkových odběrů elektrické energie, počet a průměr přívadčích potrubí nebo velikost instalovaného generátoru.

Zdrojem vody bude řeka Labe, která se v plánovaném místě odběru vzdouvá díky jezové konstrukci. Zdrojový objem vody pro horní nádrž je maximálně 4 mil. m³.

Při návrhu tělesa hráze byla stanovena osa hráze na 460 m n. m. Dno nádrže se nachází na vrstevnici 429 m n. m. a minimální manipulační hladina vody je uvažována na 444 m n. m. Maximální manipulační hladina vody je snížena o bezpečnostní výběh vlny na 458 m n. m.

Výpočet objemu byl stanoven pomocí programu C3D. Program nabízí funkci analýzy a výpočtu retence nádrže, které jsou definovány jednotlivými vrstevnicemi s průnikem tělesa hráze. Konečný manipulační objem nádrže byl programem stanoven na 3,668 mil. m³ (tab. 6).

Kontrolní ruční výpočet objemu se téměř shoduje s výpočtem programu C3D. Pro ruční výpočet jsou potřeba plochy jednotlivých vrstevnic. Nejprve byla vytvořena tabulka v programu MS EXCEL s hodnotami vrstevnic. K daným hodnotám byly následně odměřeny plochy v m² a příslušná hloubka vody. Celkový objem stanovený kontrolním ručním výpočtem je 3,669 mil. m³ (tab. 7). Při tvorbě ověřovacího výpočtu byly použity rovnice (1), (2), (3).

Výpočet manipulačního objemu vody programem C3D a ručním výpočtem MS EXCEL se při porovnání liší o 0,001 mil. m³. Ověření správnosti výpočtu pro tuto variantu bylo vyhodnoceno jako vyhovující.

Tab. 6) Tabulka výpočtu objemu programem C3D

VRSTEVNICE v_i	A [m ²]	Δh [m]	$\emptyset A$ [m ³]	V [m ³]
429.00	2406.49	1.000	1276.42	1048.76
430.00	7598.37	1.000	5002.43	5809.09
431.00	13558.73	1.000	10578.55	16244.82
432.00	19767.00	1.000	16662.86	32810.46
433.00	26840.91	1.000	23303.96	56024.43
434.00	33965.57	1.000	30403.24	86357.86
435.00	41762.86	1.000	37864.22	124154.99
436.00	48840.93	1.000	45301.90	169410.74
437.00	55983.49	1.000	52412.21	221782.34
438.00	62890.05	1.000	59436.77	281185.65
439.00	71113.94	1.000	67002.00	348145.54
440.00	80589.49	1.000	75851.72	423947.89
441.00	91371.67	1.000	85980.58	509872.08
442.00	102905.49	1.000	97138.58	606953.55
443.00	117124.02	1.000	110014.75	716891.65
444.00	131955.18	1.000	124539.60	841357.59
445.00	145585.18	1.000	138770.18	980071.96
446.00	163672.74	1.000	154628.96	1134612.68
447.00	184383.21	1.000	174027.97	1308537.87
448.00	204806.98	1.000	194595.09	1503043.58
449.00	223866.99	1.000	214336.98	1717309.91
450.00	242316.78	1.000	233091.88	1950340.92
451.00	262957.96	1.000	252637.37	2202907.99
452.00	282762.81	1.000	272860.38	2475708.46
453.00	301155.31	1.000	291959.06	2767619.23
454.00	320003.67	1.000	310579.49	3078151.04
455.00	339198.35	1.000	329601.01	3407705.47
456.00	358007.01	1.000	348602.68	3756265.86
457.00	376103.44	1.000	367055.22	4123283.90
458.00	395733.47	1.000	385918.45	4509160.75
459.00	415371.06	1.000	405552.27	4914673.39
460.00	438155.44	1.000	426763.25	5341385.94

ROZSAH HLADIN MANIPULACE (444 - 458 m n. m.)

Tab. 7) Tabulka ručního výpočtu objemu programem MS EXCEL

VRSTEVNICE v_i	A [m ²]	Δh [m] (1)	$\emptyset A$ [m ³] (2)	V [m ³] (3)
429,00	2406,49	2,00	1276,41	1349,58
430,00	7595,37	3,00	5000,932	6350,52
431,00	13558,72	4,00	10577,05	16927,57
432,00	19767,00	5,00	16662,86	33590,43
433,00	26840,91	6,00	23303,95	56894,39
434,00	33965,56	7,00	30403,24	87297,63
435,00	41762,86	8,00	37864,21	125161,85
436,00	48840,92	9,00	45301,89	170463,74
437,00	55983,48	10,00	52412,20	222875,95
438,00	62890,05	11,00	59436,77	282312,72
439,00	71113,94	12,00	67001,99	349314,72
440,00	80589,49	13,00	75851,71	425166,43
441,00	91371,66	14,00	85980,58	511147,01
442,00	102905,48	15,00	97138,57	608285,59
443,00	117124,02	16,00	110014,75	718300,34
444,00	131955,17	17,00	124539,59	842839,94
445,00	145585,17	18,00	138770,17	981610,12
446,00	163672,73	19,00	154628,95	1136239,08
447,00	184383,20	20,00	174027,97	1310267,05
448,00	204806,97	21,00	194595,09	1504862,14
449,00	223866,98	22,00	214336,98	1719199,12
450,00	242316,77	23,00	233091,88	1952291,01
451,00	262957,95	24,00	252637,36	2204928,37
452,00	282762,51	25,00	272860,23	2477788,61
453,00	301155,30	26,00	291958,90	2769747,52
454,00	320003,66	27,00	310579,48	3080327,01
455,00	339198,35	28,00	329601,01	3409928,01
456,00	358007,01	29,00	348602,68	3758530,70
457,00	376103,43	30,00	367055,22	4125585,92
458,00	395733,47	31,00	385918,45	4511504,38
459,00	415371,06	32,00	405552,26	4917056,64
460,00	438155,43	33,00	426763,24	5343819,89

ROZSAH HLADIN MANIPULACE (444 - 458 m n. m.)

Použité vzorce:

$$\Delta h = v_{n+1} - v_n \quad (1)$$

$$\emptyset A = \frac{A_{n+1} + A_n}{2} \quad (2)$$

$$V_n = \emptyset A_n * (\Delta h_n - \Delta h_{n-1}) + V_{n-1} \quad (3)$$

Kde:

 v_n nadmořská výška vrstevnice Δh rozdíl hladin $\emptyset A$ průměrná plocha A_n plocha V_n objem vody

Program C3D umožňuje analyzovat kubaturu výkopů a násypů. Výpočet se vztahoval pouze na práce spojené s výstavbou tělesa hráze. Úprava dna a okolních svahů nebyla do výpočtu započítána. Při úpravě bude odstraněna ornice v rozsahu 15 až 20 cm a následně bude provedeno vyrovnaní dna a svahů pro pokládku AB těsnění. Výpočet kubatury byl stanoven programem C3D na 0,04 mil. m³ výkopů a 1,147 mil. m³. Celková kubatura po rozdílu je 1,107 mil. m³ násypů. Přehledný výpočet v tab. 8 a grafické zobrazení poměru výkopu a násypu v obr. 44.

Tab. 8) Přehled spočtených výkopů a násypů pomocí programu C3D

Název	2D plocha [m ²]	Výkop [m ³]	Násyp [m ³]	Celková kubatura [m ³]
surface14	489431,73	40483,72	1147603,18	1107119,46 (násyp)
celkové součty	489431,73	40483,72	1147603,18	1107119,46 (násyp)



Obr. 44) Grafické znázornění poměru výkopu a násypu

8 ZÁVĚR

Pro zpracování práce se vycházelo z podkladních materiálů (kap. 3). Zbylé zdroje informací týkající se práce jsou uvedeny v seznamu použité literatury (kap. 9). Pro návrh nádrže byl použit program Civil 3D. Zadáním práce bylo provedení návrhu horní nádrže pro navrženou přečerpávací vodní elektrárnu. V zájmovém území výstavby bylo navrženo těleso hráze tak, aby došlo k co největšímu využití okolního terénu bez nutnosti výstavby dalších hrází a k maximálnímu využití dostupného spádu pro výrobu elektrické energie. Zároveň bylo nutno dodržet požadovaný manipulační objem vody nádrže.

Pro postup návrhu byly vyhledávány tyto informace:

- Přehledný seznam PVE v ČR a ve světě,
- těsnění vodních nádrží,
- typy odběrných objektů,
- materiál pro stavbu tělesa hráze.

Před provedením návrhu práce byl zpracován přehled PVE v ČR a ve světě. Přehledný seznam PVE v ČR je uveden v kapitole 4.2 v tab. 1. Seznam vybraných světových PVE byl také zpracován do tab. 2 v kapitole 4.3 a v příloze č. 1 jsou uvedeny jednotlivé elektrárny s fotografiemi.

8.1 Zhodnocení návrhu hráze

Ze zdrojových dat a nalezených informací byla navržena varianta horní nádrže. Navržená nádrž odpovídá zadanému rozmezí objemu, který je možno odebrat ze zdrojového toku.

Finální údaje o navrženém tělese hráze a nádrži:

- Celkový manipulační objem nádrže je 3,67 mil. m³,
- délka navržené hráze je 2 763 m,
- koruna hráze je umístěna ve výšce 460 m n.m.,
- maximální výška hráze je 34 m (severní část nádrže),
- odběrný objekt dnový umístěný nejnižším místě dna nádrže (severní část dna) s ovládáním uzávěrů za vzdušným lícem hráze, s provizorním hrazením na vtoku a s česlemi,
- sypaná hráz se sklonem svahů 1:2 a s návodním AB těsněním,
- mírně upravené dno nádrže s AB těsněním napojeným na AB těsnění svahů.

Bylo provedeno několik návrhů osy hráze dle požadovaných parametrů viz. Tab. 5. Na základě výpočtu objemů vody, výkopů a násypů byla vybrána nejvhodnější varianta umístění osy hráze.

Z geologických průzkumných vrtů (kapitola 5.2 tab. 4) vyplývá, že v zájmovém území je nepropustné podloží tvořeno vrstvou tufů a čedičů. Materiál pro stavbu tělesa hráze bude tedy tvořen převážně tufy a čediči. Materiál bude získáván z nedalekého starého lomu. Ornice, která bude odstraněna před pokládkou těsnění ze dna a svahů, bude použita na vzdušném líci tělesa hráze.

Z rešerše vyplývá, že těsnění nádrží se provádí různými typy materiálů. Těsnění se používá jak na dno, tak i na svahy tělesa hráze. U navržené nádrže bylo proto uvažováno těsnění dna i svahů. Těsnění bylo zvoleno na základě získaných informací o pokládce, vlastnostech a náročnosti nutných oprav. V podloží dna nádrže se nacházejí málo propustné jílovito hlinité zeminy, které budou současně sloužit jako těsnění dna. Nad jílovito hlinitou zeminou bude umístěno AB

těsnění. Pod AB těsněním se ve většině případů uvažuje s drenážním systémem, kterým jsou sledovány průsaky těsnění. Drenážní systém nebyl součástí návrhu. Dno nádrže by bylo nutno vyrovnat kvůli technologii pokládky AB těsnění.

8.2 Zhodnocení návrhu odběrného objektu

Při návrhu odběrného objektu bylo rozhodnuto o dnovém objektu s ovládáním uzávěrů umístěným za patou vzdušního líce hráze horní nádrže. Tento typ odběrného objektu byl zvolen ze zpracovaného seznamu používaných odběrných objektů v kapitole 4.5. Důvodem pro zvolení dnového objektu bylo menší zatížení dna nádrže, pracná výstavba věžového objektu včetně přístupu z hráze a napojování AB těsnění na odběrný objekt. Dnový objekt byl navržen bez možnosti přístupu v případě napuštěné nádrže. Při případné poruchy odběrného objektu bude nutno nejprve nádrž vyprázdnit a poté dopravit techniku k objektu. Přístup k dnovému objektu se uvažuje po dně nádrže s nájezdem v jižní části nádrže z hráze. Založení odběrného objektu bude provedeno na únosném skalním podloží, které se nachází přibližně 3 m pod původním terénem. Odběrný objekt na vtoku bude umístěn zhruba 7 m pod původním terénem. Hloubka vtoku je odvozena z průměru přivaděčů a také odvodnění nádrže. Výškové umístění celé varianty návrhu včetně přivaděčů a elektrárny je doložen v příloze č. 4. V rámci návrhu výškového umístění, byly navrženy dvě varianty přivaděčů, které jsou zobrazeny v příloze 4. Varianty návrhu sklonu přivaděčů byly řešeny pod úhly 45° (dle PVE Čierný Váh [A5]) a 30° (dle Dlouhé Stráně [A4]). Napojení těsnění dna a svahů, jsou řešena přechodnými oblouky v patě svahů. Podrobnější řešení vtokového objektu je zobrazeno v příloze 5. Tento typ napojení byl použit v projektu horní nádrže Dlouhé Stráně [A4].

8.3 Zhodnocení využitelnosti Civil 3D

Po rozhodnutí základních údajů nádrže se přistoupilo k samotnému návrhu. V programu C3D byl vytvořen podkladní terén zájmového území. Bylo nutné omezení množství podkladních bodů (DMR5G), které způsobovaly komplikace a nestabilitu programu C3D. Dále byla navržena osa hráze a její výškový rozsah. Výškové umístění hráze bylo navrženo tak, aby se co nejvíce využil okolní terén bez nutnosti výstavby dalších menších hrází. Po navržení osy hráze, byla vytvořena koruna hráze a navazujících svahů. Po vytvoření tělesa hráze byl ověřen manipulační objem vody nádrže. Manipulační objem vody byl určen ze zdroje vody, kterým bude vodní tok Labe. Při tvorbě příčného řezu, byla vytvořena křivka spojující odběrný objekt s předpokládaným umístěním elektrárny. Křivka byla dále převedena na stopu příčného řezu, ze které byl vygenerován příčný řez.

Program C3D, ve kterém byla práce zpracována, nabízí spoustu různých funkcí, které byly při navrhování využity. Přesnost výpočtů objemů vody navržené nádrže, byly ověřeny ručním výpočtem a tím prokázána přesnost na 2 desetinná místa. Následný výpočet objemu výkopů a násypů zeminy, lze považovat za relevantní. Program je využitelný pro podobné návrhy zemních hrází a některé nastavení nebo kroky návrhu by mohly být zapracovány pro další využití ve formě šablon.

8.4 Další směr práce

V rámci bakalářské práce byla navržena horní nádrž z různých hledisek. V rámci návrhu však nejsou některé oblasti podrobněji řešeny. Pro komplexní návrh by bylo nutno vyřešit pozemkové majetkoprávní vyrovnání a odkup pozemků zasahujících do záplavového území

a do místa hráze. Co se týče odborné problematiky, zde by bylo nutno vyřešit další aspekty související s navrhovanou nádrží:

- Odvedení srážkových vod a odvodnění,
- vedení přivaděčů a jejich propojení s elektrárnou,
- zachování průtoků původního koryta
- manipulace hladin vody,
- ověření stability navrženého tělesa hráze,
- vyrovnaní dna z hlediska technologie pokládky AB,
- napojení AB svahů a těsnění dna,
- drenážní systém v patě návodního líce,
- možnost využít jílovito hlinité zeminy pro těsnění dna nádrže namísto AB těsnění,
- rozhodnutí o výškovém směru vedení přivaděčů a způsobu ražení na základě podrobnější geologie a finanční analýzy.

Před osazením nádrže do situace byl proveden průzkum zájmové lokality. Získané informace o zájmovém území ukázaly lokalitu jako vhodnou pro výstavbu nádrže.

V Brně 26.5.2017

.....
Jakub Kadrnoška

9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] O energetice.cz. *O energetice.cz: Vodní elektrárny-princip, rozdělení, elektrárny v ČR* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/>
- [2] Časopis Stavebnictví: Sedmý div České republiky. *Časopis Stavebnictví: Sedmý div České republiky* [online]. Brno: EXPO DATA spol. s r.o., 2007 [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: <http://www.casopisstavebnictvi.cz>
- [3] Neviditelný pes: Technický šperk v srdci Jeseníků. *Neviditelný pes: Technický šperk v srdci Jeseníků* [online]. Praha, 2004, **2004**(-), 1 [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: http://archiv.neviditelnypes.zpravy.cz/clanky/2004/07/38339_21_0_0.html
- [4] Skupina ČEZ: Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé stráně. *Skupina ČEZ: Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé stráně* [online]. 2004 [cit. 2017-03-5]. Dostupné z: <https://www.cez.cz>
- [5] Technický portál.cz. In: <http://www.technickytydenik.cz/obrazek/5735a92e22b13/1-5735a97fabd17.png> [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.technickytydenik.cz/obrazek/5735a92e22b13/1-5735a97fabd17.png>
- [6] Dalešická přehrada.cz: Vodní elektrárna Dalešice. *Dalešická přehrada.cz: Vodní elektrárna Dalešice* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.dalesickaprehrada.cz>
- [7] Skupina ČEZ: Přečerpávací vodní elektrárna Dalešice. *Skupina ČEZ: Přečerpávací vodní elektrárna Dalešice* [online]. 2004 [cit. 2017-03-05]. Dostupné z: <https://www.cez.cz>
- [8] Skupina ČEZ: Vodní elektrárny Štěchovice. *Skupina ČEZ: Vodní elektrárny Štěchovice* [online]. [cit. 2017-03-05]. Dostupné z: <https://www.cez.cz>
- [9] Skupina ČEZ: Oprava přivaděče v přečerpávací vodní elektrárně Štěchovice úspěšně skončila. *Skupina ČEZ: Oprava přivaděče v přečerpávací vodní elektrárně Štěchovice úspěšně skončila* [online]. [cit. 2017-03-13]. Dostupné z: <https://www.cez.cz>
- [10] Geocaching: Přečerpávací vodní elektrárna Štěchovice 2. In: *Geocaching: Přečerpávací vodní elektrárna Štěchovice 2* [online]. 2016 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: https://www.geocaching.com/geocache/GC6GKPZ_sve3-precerpavaci-vodni-elektrarna-stechovice-2?guid=278e5f55-0f7d-4fc0-9b76-dc9d1472576b
- [11] Skupina ČEZ: Černé jezero. *Skupina ČEZ: Černé jezero* [online]. 2004 [cit. 2017-03-05]. Dostupné z: <https://www.cez.cz>
- [12] O energetice.cz: Přečerpávací vodní elektrárny v České republice. *O Energetice.cz: Přečerpávací vodní elektrárny v České republice* [online]. [cit. 2017-03-05]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz>
- [13] Resort životního prostředí: Správa CHKO České středohoří. *Resort životního prostředí: Správa CHKO České středohoří* [online]. [cit. 2017-04-03]. Dostupné z: <http://ceskestredohori.ochranaprirody.cz>

- [14] Portál krizového řízení: Zdroje ohrožení. In: *Portál krizového řízení: Zdroje ohrožení* [online]. Ústí nad Labem [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://pkr.kr-ustecky.cz/pkr/zdroje-ohrozeni/?fmt=map>
- [15] Resort životního prostředí: Klimatické poměry. *Resort životního prostředí: Klimatické poměry* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://ceskestredohori.ochranaprirody.cz>
- [16] CAD Studio: AutoCAD Civil 3D. *CAD Studio: AutoCAD Civil 3D* [online]. 2017 [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://www.cadstudio.cz>
- [17] Waterplex: Dam Liners. In: *Waterplex: Dam Liners* [online]. Sydney, 2017 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://waterplex.com.au>
- [18] Hydrotechnické stavby II: Poruchy přehrad a jejich řešení. *Hydrotechnické stavby II: Poruchy přehrad a jejich řešení* [prezentace]. Brno, 2016, (44), 157 [cit. 2017-05-16].
- [19] Hydrotechnické stavby II: Poruchy přehrad a jejich řešení. *Hydrotechnické stavby II: Poruchy přehrad a jejich řešení* [prezentace]. Brno, 2016, (54), 157 [cit. 2017-05-16].
- [20] Hydrotechnické stavby II: Poruchy přehrad a jejich řešení. *Hydrotechnické stavby II: Poruchy přehrad a jejich řešení* [prezentace]. Brno, 2016, (49), 157 [cit. 2017-05-16].
- [21] Povodí Ohře: Vodní dílo Chřibská. In: *Povodí Ohře: Vodní dílo Chřibská* [online]. 2016 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.poh.cz>
- [22] Povodí Ohře: Vodní dílo Horka. In: *Povodí Ohře: Vodní dílo Horka* [online]. 2016 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.poh.cz>
- [23] WALLIS, Shani. Tunnel Talk: Panama adopts EPC contracting for Esti scheme. In: *Tunnel Talk: Panama adopts EPC contracting for Esti scheme* [online]. 2011 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <https://www.tunneltalk.com/Panama-hydro-development-june03-EPC-contracting-for-Esti.php>
- [24] Dam Safety in California: LA Dam. In: *Dam Safety in California: LA Dam* [online]. 2008 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://damsafetyca.blogspot.cz>
- [25] Hydrotechnické stavby II: Poruchy přehrad a jejich řešení. *Hydrotechnické stavby II: Poruchy přehrad a jejich řešení* [prezentace]. Brno, 2016, (50), 157 [cit. 2017-05-16].
- [26] Hydrotechnické stavby II: Poruchy přehrad a jejich řešení. *Hydrotechnické stavby II: Poruchy přehrad a jejich řešení* [prezentace]. Brno, 2016, (47), 157 [cit. 2017-05-16].
- [27] HARLACHER. Povodí Ohře: Vodní dílo Mariánské Lázně. In: *Povodí Ohře: Vodní dílo Mariánské Lázně* [online]. 2016 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.poh.cz>
- [28] Povodí Ohře: Vodní dílo Stanovice. In: *Povodí Ohře: Vodní dílo Stanovice* [online]. 2016 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.poh.cz>

[29] BRATUN, Julijan, Alida REJEC, Miran KOMEL a Matjaž MEŽA. PUMPED STORAGE HYDROPOWER PLANT AVČE: CONSTRUCTION OF UPPER STORAGE RESERVOIRES WITH TWO DAMS AND TECHNICAL MONITORING. : *CONSTRUCTION OF UPPER STORAGE RESERVOIRES WITH TWO DAMS AND TECHNICAL MONITORING*. Nova Gorica, 2013, , 13.

[30] *PVE Dlouhé stráně: Řez Hydraulickým obvodem*.

[31] Revolvy: Okutataragi Pumped Storage Power Station. *Revolvy: Okutataragi Pumped Storage Power Station* [online]. 2016 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: https://www.revolvy.com/topic/Okutataragi%20Pumped%20Storage%20Power%20Station&item_type=topic

[32] Guangzhou pumped-storage power station. : *Guangzhou* [PDF]. Chinese, 2011, , 3 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.chincold.org.cn>

[33] Rocky Mountain Hydroelectric Plant: Rocky Mountain. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Rocky_Mountain_Hydroelectric_Plant

[34] Ludington Pumped Storage Power Plant: Ludington. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Ludington_Pumped_Storage_Power_Plant

[35] ŠIMA. *Hydroprojekt: PVE Dlouhé stráně*. Projekt. Brno, 1988.

[36] Tourmapy.cz: Podlešín u Stebna. *Tourmapy.cz: Podlešín u Stebna* [online]. [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.tourmapy.cz>

[37] Mapy: Výletník.cz. *Trasy mapy ubytování: Výletník.cz* [online]. Brno: Geodis, 2017 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://mapy.vyletnik.cz>

[38] Ministerstvo životního prostředí: Půdní mapy. In: *Ministerstvo životního prostředí: Půdní mapy* [online]. Praha 10, 2015 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: http://www.mzp.cz/cz/pudni_mapy

[39] Taxonomický klasifikační systém půd ČR: Kambizem KA. *Taxonomický klasifikační systém půd ČR: Kambizem KA* [online]. ÚVT, 2004 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://klasifikace.pedologie.cz>

[40] GEO portál: Mapy. *GEO portál: Mapy* [online mapy]. 2017 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <https://geoportal.gov.cz>

[41] Talsperren in Deutschland: Hohenwarte. *Talsperren in Deutschland: Hohenwarte* [online]. 2016 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.talsperren.net>

[42] Liste von Talsperren in Deutschland. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_von_Talsperren_in_Deutschland

[43] GRUNDMANN, Luise. Saalfeld und das Thüringer Schiefergebirge: Landschaften in Deutschland. Herausgeber. Německo: Böhlau Cologne, 2001. ISBN 3412108006.

[44] Wikiwand: Pumpspeicherkraftwerk Waldeck. *Wikiwand: Pumpspeicherkraftwerk Waldeck* [online]. [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.wikiwand.com>

[45] Trianel: Pumpspeicherkraftwerke in Deutschland. *Trianel: Pumpspeicherkraftwerke in Deutschland* [online]. 2017 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.trianel-nethe.de>

[46] Eggbergbecken. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <https://de.wikipedia.org/wiki/Eggbergbecken>

[47] Talsperren: Markersbach. *Talsperren: Markersbach* [online]. 2016 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.talsperren.net>

[48] Talsperren: Bleiloch. *Talsperren: Bleiloch* [online]. 2016 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.talsperren.net>

[49] Slovenské elektrárne: Čierny váh. *Slovenské elektrárne: Čierny váh* [online]. 2016 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <https://www.seas.sk>

[50] Slovenský priehradný výbor: PVE Čierny váh. *Slovenský priehradný výbor: PVE Čierny váh* [online]. Bratislava, 2008 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.skcold.sk>

[51] Slovenský priehradný výbor: PVE Vlčia Dolina. *Slovenský priehradný výbor: PVE Vlčia Dolina* [online]. Bratislava, 2008 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.skcold.sk>

[52] Slovenský priehradný výbor: PVE Ružín. *Slovenský priehradný výbor: PVE Ružín* [online]. Bratislava, 2008 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.skcold.sk>

[53] Slovenský priehradný výbor: PVE Liptovská Mara. *Slovenský priehradný výbor: PVE Liptovská Mara* [online]. Bratislava, 2008 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.skcold.sk>

[54] Verbund: Pumpspeicherkraftwerk Roßhag. *Verbund: Pumpspeicherkraftwerk Roßhag* [online]. Wien, 2017 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <https://www.verbund.com>

[55] Verbund: Kraftwerk Häusling Speicherkraftwerk Häusling. *Verbund: Kraftwerk Häusling Speicherkraftwerk Häusling* [online]. Wien, 2017 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <https://www.verbund.com>

[56] Revolvy: Okutataragi Pumped Storage Power Station. *Revolvy: Okutataragi Pumped Storage Power Station* [online]. CC-BY-SA, 2017 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <https://www.revolvy.com>

[57] Guangdong Pumped Storage Power Station. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Guangdong_Pumped_Storage_Power_Station

[58] Guangzhou pumped-storage power station: Guangzhou. *Guangzhou pumped-storage power station* [online PDF]. , 3 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.chincold.org.cn/dams/rootfiles/2010/07/20/1279253974055450-1279253974057795.pdf>

[59] Rocky Mountain Hydroelectric Plant. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Rocky_Mountain_Hydroelectric_Plant

[60] Ludington Pumped Storage Power Plant. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Ludington_Pumped_Storage_Power_Plant

[61] Hydrotechnické stavby II: Sypané přehrady. *Hydrotechnické stavby II: Sypané přehrady* [prezentace]. Brno, 2016, (18), 31 [cit. 2017-05-21].

10 SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 1)	HORNÍ NÁDRŽ PVE DLOUHÉ STRÁNĚ [5]	8
OBR. 2)	PVE DALEŠICE [7]	9
OBR. 3)	PVE ŠTĚCHOVICE [8]	10
OBR. 4)	SCHÉMA VD ŠTĚCHOVICE [10].....	10
OBR. 5)	HORNÍ NÁDRŽ PVE ČERNÉ JEZERO [11].....	11
OBR. 6)	ASFALTOBETONOVÉ TĚSNĚNÍ NA PVE DLOUHÉ STRÁNĚ [18]	13
OBR. 7)	FÓLIOVÉ TĚSNĚNÍ NÁDRŽE [17].....	14
OBR. 8)	JÍLOVÉ TĚSNĚNÍ PŘI NÁVODNÍM LÍCI (TĚSNĚNÍ JE VYZNAČENO ŽLUTOU BARVOU) [21]	14
OBR. 9)	JÍLOVÉ STŘEDOVÉ TĚSNĚNÍ (TĚSNĚNÍ JE VYZNAČENO ŽLUTOU BARVOU) [22].....	15
OBR. 10)	BETONOVÉ TĚSNĚNÍ NÁVODNÍHO LÍCE ZEMNÍ HRÁZE [23]	15
OBR. 11)	PŘÍKLAD PORUCHY AB PLÁŠTĚ POUŽITÍM NEVHODNÉHO KAMENIVA [20]	16
OBR. 12)	UKÁZKA PORUCHY AB PLÁŠTĚ TRHLINOU VLIVEM SEDÁNÍ HRÁZE [19].....	17
OBR. 13)	UKÁZKA TRHLIN AB PLÁŠTĚ [24].....	17
OBR. 14)	UKÁZKA LOKÁLNÍ TVORBY TRHLIN [25].....	18
OBR. 15)	PŘÍKLAD PLOŠNÉ PORUCHY AB PLÁŠTĚ [26]	18
OBR. 16)	UKÁZKA POSTUPU POKLÁDKY AB TĚSNĚNÍ [29].....	19
OBR. 17)	VĚŽOVÝ OBJEKT V PATĚ HRÁZE [21].....	20
OBR. 18)	VĚŽOVÝ OBJEKT V KORUNĚ HRÁZE [27]	20
OBR. 19)	PŘEDSAZENÝ VĚŽOVÝ ODBĚRNÝ OBJEKT [28]	21
OBR. 20)	PŮDORYS DNOVÉHO ODBĚRNÉHO OBJEKTU [35].....	21
OBR. 21)	DNOVÝ ODBĚRNÝ OBJEKT S OVLÁDÁNÍM ZA HRÁZÍ [30]	22
OBR. 22)	MAPA HORNINOVÉHO PROSTŘEDÍ ÚSTECKÉHO KRAJE (HNĚDĚ ZAKRESLENO CHRÁNĚNÉ LOŽISKOVÉ ÚZEMÍ, ČERVENĚ VYZNAČEN NÁVRH NÁDRŽE) [A2]	23
OBR. 23)	MAPA LOKALITY (HNĚDĚ VYZNAČENO LOŽISKOVÉ ÚZEMÍ, ČERVENĚ VYZNAČEN NÁVRH NÁDRŽE)..	23
OBR. 24)	VEDENÍ VELMI VYSOKÉHO NAPĚTÍ (ČERNĚ ZVÝRAZNĚNO 220 KV, ZELENĚ ZVÝRAZNĚNO 110 KV, ČERVENĚ ZVÝRAZNĚN NÁVRH NÁDRŽE) [36].....	25
OBR. 25)	SITUACE ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ (ČERVENĚ VYZNAČENA LOKALITA)	26
OBR. 26)	3D POHLED NA ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ (ČERVENĚ VYZNAČENA LOKALITA)	26
OBR. 27)	MAPA ZÓN CHRÁNĚNÉHO ÚZEMÍ (SVĚTLEJŠÍ BARVA VYZNAČUJE ZÓNA IV., TMAVŠÍ BARVA VYZNAČUJE III. ZÓNA, ČERVENĚ JE VYKRESLENO UMÍSTĚNÍ HRÁZE) [40]	27
OBR. 28)	OBRÁZEK UKAZUJÍCÍ HROZBY MÍST SESUVU PŮDY (ČERVENĚ OZNAČEN NÁVRH NÁDRŽE) [14]	28
OBR. 29)	PŮDNÍ MAPA ÚSTECKÉHO KRAJE (ČERVENĚ OZNAČENO ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ) [38]	29
OBR. 30)	PŮDNÍ MAPA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ (KAE - KAMBIZEM, WA – VODNÍ PLOCHY) [40].....	30
OBR. 31)	MAPA ÚBYTKU ORNÉ PŮDY V ZÁJMOVÉM ÚZEMÍ A JEHO OKOLÍ (ÚBYTEK JE OZNAČEN ČERVENOU PLOCHOU, MODŘE OZNAČEN NÁVRH NÁDRŽE) [40].....	30
OBR. 32)	UKÁZKA MAPY ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ S OKOLNÍMI PAMÁTKAMI [36]	31
OBR. 33)	UKÁZKA MAPY ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ S OKOLNÍMI PAMÁTKAMI [37]	32
OBR. 34)	NPP VRKOČ [13].....	32
OBR. 35)	DIAGRAM POSTUPU NÁVRHU	33
OBR. 36)	VYTVOŘENÉ MRAČNO BODŮ (C3D).....	34
OBR. 37)	VYTVOŘENÝ DMT Z MRAČNA BODŮ (C3D)	35
OBR. 38)	NÁVRH OSY HRÁZE OZNAČENA ZELENĚ (C3D)	35
OBR. 39)	TĚLESO HRÁZE S OŘÍZNUTÝM DNEM NÁDRŽE (ZELENĚ OZNAČENA OSA HRÁZE, ČERVENĚ OZNAČENY VRSTEVNICE)	36
OBR. 40)	KONEČNÝ VZHLED NAVRŽENÉ HORNÍ NÁDRŽE (ZELENĚ OZNAČENO TĚLESO HRÁZE)	37
OBR. 41)	UKÁZKA STOP PŘÍČNÝCH ŘEZŮ (ČERVENĚ TRASA HRÁZE, MODRÁ STOPY ŘEZŮ).....	38
OBR. 42)	UKÁZKA VYGENEROVANÉHO PŘÍČNÉHO ŘEZU HRÁZE	38
OBR. 43)	PŘEHLEDNÉ ZOBRAZENÍ UMÍSTĚNÍ STAVBY.....	39
OBR. 44)	GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ POMĚRU VÝKOPU A NÁSYPU	44

11 SEZNAM TABULEK

TAB. 1)	TABULKA PVE V ČESKÉ REPUBLICE	7
TAB. 2)	TABULKA PVE VE SVĚTĚ	12
TAB. 3)	TABULKA VHODNOSTI ZEMINY PRO TĚLESO HRÁZE DLE ČSN 72 1001 A 73 1001 [61].....	24
TAB. 4)	TABULKA Z PRŮZKUMNÝCH VRTŮ ZEMINY [A2]	29
TAB. 5)	TABULKA PARAMETRŮ NAVRHOVANÉHO TĚLESA HRÁZE.....	36
TAB. 6)	TABULKA VÝPOČTU OBJEMU PROGRAMEM C3D.....	42
TAB. 7)	TABULKA RUČNÍHO VÝPOČTU OBJEMU PROGRAMEM MS EXCEL	43
TAB. 8)	PŘEHLED SPOČTENÝCH VÝKOPŮ A NÁSYŤŮ POMOCÍ PROGRAMU C3D”	44

12 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Přehled vybraných horních nádrží pro PVE

Příloha 2: Situace zájmového území

Příloha 3: Situace hráze a vtokového objektu

Příloha 4: Schematické výškové umístění jednotlivých objektů PVE

Příloha 5: Řez hrází horní nádrže v místě vtokového objektu