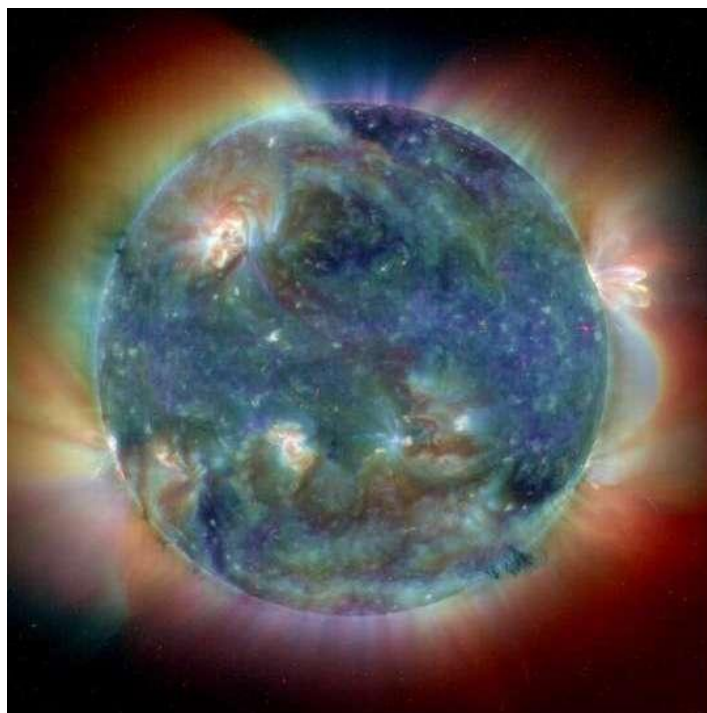




ENERSOL 2016



VZDĚLÁVACÍ PROJEKT NA TÉMATA OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ ENERGIE,
ÚSPORY ENERGIÍ A SNIŽOVÁNÍ EMISÍ V DOPRAVĚ



STŘEDOČESKÝ KRAJ



Nemocnice
Rudolfa a Stefanie
Benešov, a. s.

Středočeský kraj

(Sociální partner)

Kategorie projektu: Enersol a praxe

Jméno, příjmení žáka: Michaela Andreasová

Obor a ročník studia: Asistent zubního technika, 2. ročník

Téma projektu:

Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé Stráně

Adresa partnerské školy: Střední odborná škola a

Střední zdravotnická škola Benešov, p. o.

ANOTACE PROJEKTU

Autor (jméno, kontakt):	Michaela Andreasová, mandreasova@atlas.cz
Název projektu:	Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé Stráně
Kategorie projektu:	Enersol a praxe
Škola (název, adresa):	Střední odborná škola a Střední zdravotnická škola Benešov, příspěvková organizace, Černoleská 1997 Benešov
Obor a ročník studia:	Asistent zubního technika, 2. ročník
Vedoucí práce, koordinátor (jméno, kontakt):	Ing. Magdaléna Bořilová, MagdalenaBorilova@seznam.cz
Spolupracující firma:	IC Dlouhé Stráně
Poradce:	Iveta Floryčková
Počet stran:	15
Školní rok:	20015/2016

Anotace (krátce – 6-10 větami popište, čím se projekt zabývá):

Projekt se zabývá velkolepým vodním dílem Dlouhé Stráně. Podrobně vysvětluje jeho funkci v elektrizační soustavě - statickou, dynamickou a kompenzační. Dále zmiňuje historii stavby a průběh stavebních prací.

Je doplněn historickými fotografiemi, nákresy hrází, tabulkami s technickými údaji a fotografiemi pořízenými autorkou projektu.

Úvod

V červnu tohoto roku jsem se zúčastnila exkurze vodní elektrárny Dlouhé Stráně. V minulých obdobích jsem navštívila řadu vodních elektráren jak osobně tak virtuálně. Tato mě však uchvátila nejvíce. Uvedená elektrárna leží v katastru obce Loučná nad Desnou, v okrese Šumperk na Moravě. Průvodce nám předvedl odbornou prezentaci v přednáškovém sále a poté nás provedl štolou a ukázal spoustu zajímavostí. Nakonec jsme si vyjeli na Horní nádrž autobusem.



Obr. 1: Přednášková místnost



Obr. 2: Vystavená turbína a náš autobus



Obr. 3: Vevnitř je štola barevně zpříjemněna, je to lepší na psychiku

Elektrárna

Elektrárna plní v elektrizační soustavě několik významných funkcí - **statickou, dynamickou a kompenzační**. Statickou funkcí se rozumí přeměna nadbytečné energie v soustavě na energii špičkovou - v době přebytku elektrické energie v síti (především v noci) se voda čerpá z dolní nádrže do horní a ve špičkách, v době nedostatku elektřiny, se v turbínovém režimu vyrábí elektrický proud. Dynamickou funkcí přečerpávací vodní elektrárny se rozumí schopnost plnit funkci výkonové rezervy systému, vyrábět regulační výkon a energii a podílet se na řízení kmitočtu soustavy. Kompenzační provoz slouží k regulaci napětí v soustavě.

Výstavba elektrárny byla zahájena v květnu 1978. Na počátku osmdesátých let však byla z rozhodnutí centrálních orgánů převedena do útlumového programu. V roce 1985 došlo k modernizaci projektu a po roce 1989 bylo rozhodnuto stavbu dokončit. Do provozu byla elektrárna uvedena v roce 1996.

Elektrárna je řešena jako podzemní dílo. Obě soustrojí jsou umístěna v podzemí, v kaverně o rozměrech 87,5 x 25,5 x 50 m. Souběžně s kavernou turbín se v podzemí nachází komora transformátorů, která má rozměry 115 x 16 x 21,7 m. V této komoře jsou dva blokové trojfázové transformátory, rozvodny 22 kV a další zařízení.



Obr. 4: Letecký pohled na horní nádrž



Obr. 5: Nádrž se neustále kontroluje, voda šplouchá jako na moři a je cítit asfalt

Horní nádrž je s podzemní elektrárnou spojena dvěma přivaděči, každým pro jedno soustrojí. Přivaděče mají délku 1 547 m a 1 499 m. Elektrárna je spojena s dolní nádrží dvěma odpadními tunely o průměru 5,2 m. Tunely jsou dlouhé 354 a 390 metrů. Dolní nádrž se nachází na říčce Divoká Desná. Nádrž má celkový objem 3,4 mil. m³, výšku hráze 56 m, kolísání hladiny 22,2 m. Horní nádrž se nachází na hoře Dlouhé Stráně v nadmořské výšce 1350 m. Má celkový objem 2,72 mil. m³.

Technologický proces zajišťují dvě reverzní turbosoustrojí, každé o výkonu 325 MW. Výkon reverzní turbíny při čerpadlovém režimu činí 312 MW, při turbínovém až 325 MW.

Kromě správních budovy s velínem se na povrchu nachází objekt vývodového pole se zapouzdřenou rozvodnou 400 kV, dílny a sklady, garáže, čistírna odpadních vod a úpravna vody.

Výrobní jednotka - Dlouhé stráně

Instalovaný výkon	2 x 325 MW
Rok uvedení do provozu	1996
Typ turbíny	Francis



Obr. 6: Já a Francisova turbína

Historie je také velice zajímavá a proto zde uvádím částečně podrobný popis:

Horní nádrž

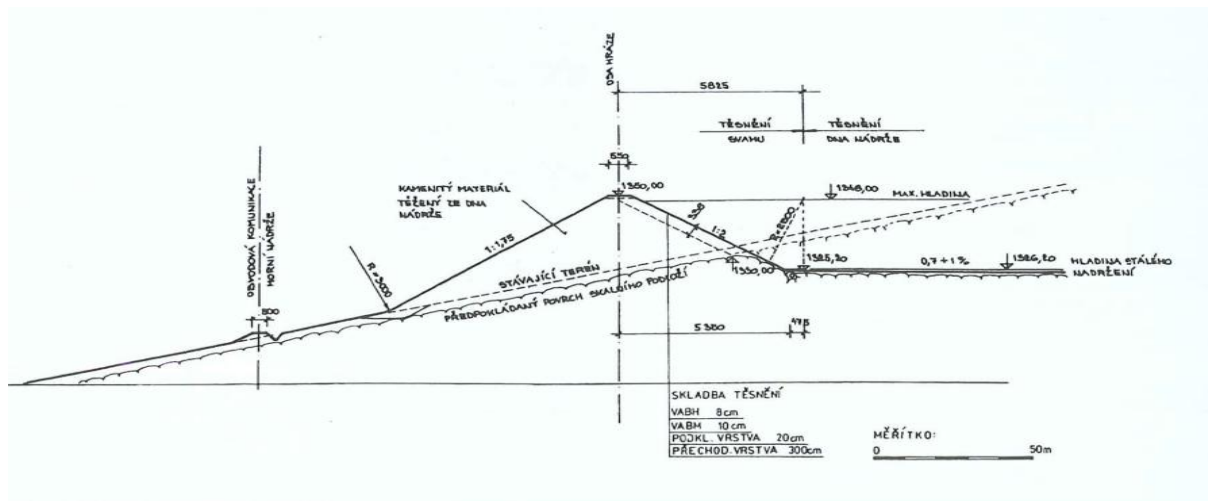
Velikost nádrže je dána základní koncepcí PVE. Rozměry vycházejí z morfolgie terénu a z energetické potřeby, která je zase stanovena potřebnou dobou turbínového provozu. Zejména s ohledem na poslední jmenovanou podmínku došlo v průběhu výstavby ke zvětšení provozního objemu o 900 000 m³. Obvodová hráz je nasypána z kamenitého materiálu.

Na návodním lici je opatřena asfaltobetonovým těsnícím pláštěm. Materiálem násypu je biotitická rula (označení nestejnorodých hornin složených nejčastěji ze dvou složek) v různém stupni migmatizace (proces, jehož výsledkem je vznik migmatitů, se nazývá migmatizace) s nepodstatnými vložkami pegmatitu (plutonické horniny – pegmatit). Pegmatity vytváří okrajové partie plutonických těles, žíly, hnízda nebo čočky. Nejčastěji se setkáme s pegmatity granitového složení).

■ objem stálého nadržení		0,140 mil. m ³
■ zásobní objem (provozní objem)		2,580 mil. m ³
■ celkový objem		2,720 mil. m ³
■ hladina stálého nadržení		1326,20 m n.m.
■ hladina maximální		1348,00 m n.m.
■ maximální zatopená plocha		15,4 ha
■ kóta koruny hráze		1350,00 m n.m.
■ provozní kolísání hladiny		21,8 m
■ kóta dna nádrže minimální		1322,20 m n.m.
■ délka koruny hráze v koruně		1742,50 m
■ max. výška hráze v ose nad terénem		27,5 m
■ sklony svahů:	návodní vzdušný	1:2 1:1,75
■ kubatura násypu hráze		2,025 mil. m ³
■ plocha AB pláště:	dna svahů	71 000 m ² 98 000 m ²

Tab. 1: Hlavní technické parametry

Rozhodující činností na tomto staveništi byly zemní práce. Investor připravil staveniště v průběhu let 1979 – 1980. Zahájilo se skrývkou lesní půdy o objemu 145 000 m³ v roce 1981. Průměrná tloušťka této vrstvy činila 0,97 m. Jelikož plocha nebyla celá zalesněna, neodstraňovaly se pařezy jednotlivě, nýbrž zároveň s lesní půdou. Ta se deponovala na vymezené ploše 1,8 ha v jihovýchodním sektoru staveniště. Průměrná výška deponie činila 9,7 m. V průběhu násypu byla lesní půda prohazována vápenným substrátem. Pro snadnější pohyb dopravních prostředků se na figuře deponie vytvářeli dočasné komunikace pomocí geotextilních folií.



Obr. 7: Vzorový příčný řez hrázi horní nádrže

Těžba ve vlastním výkopišti horní nádrže byla zahájena na jaře roku 1981. Probíhala v sestavě strojů: buldozer Caterpillar D9, buldozer S100, kolový nakladač Caterpillar, pásový nakladač Caterpillar, bagr RH25, vozidla Tatra. Dozery se lesní půda shrnovala od temene vrcholu k úpatím, vznikaly podélné hromady (ve směru podélné osy budoucí nádrže), které se pak následně nakládaly a odvážely na deponii. Počet vozidel Tatra závisel na vzdálenosti místa nakládky od deponie, přičemž pohyb dopravních prostředků nesměl vykazovat prostoje u nakladače a nakladač nesměl vykazovat prostoje z důvodu čekání na vozidlo. Vzhledem k tomu, že na celé ploše byla po natěžení dostatečného množství materiálu otevřena dvě pracoviště, nepřevýšil počet dopravních prostředků pod jedním nakladačem 4 auta. Bagr RH25 se používal jako záloha v případě poruchy některého z nakladačů. Průměrný výkon při dvousměrném provozu činil 90 m³ za hodinu. Pracovní sezóna probíhala od května do poloviny listopadu.

Další činností, která započala již na sklonku sezóny 1981, bylo odtěžování navětralého kvartérního pokryvu o celkovém množství 112 500 m³. Hornina se rozrušovala ripováním těžkým dozerem CAT D9, a to bez předstřelení. Se získaným materiálem se manipulovalo jako při odvozu lesní půdy. Natěžená sypanina se selektivně ukládala na deponii materiálu nevhodného do hráze, která postupně vznikala při jižním oblouku hráze na vzdušné straně jako její integrální přísyp. Ripovaný materiál v množství cca 93 000 m³ se následně použil pouze do střední části násypu tělesa hráze.

Za touto činností následovalo téměř současně odtěžování horniny trhavinami. Výkopíště bylo rozděleno na tři etáže takto:

Etáž C – mezi kótami 1320 až 1325.....49 800 m³

Etáž B – mezi kótami 1325 až 1335.....469 000 m³

Etáž A – mezi kótami 1325 až 1348.....502 000 m³

Otevřela se tři pracoviště, a to na východní, jižní a jihozápadní straně plochy v místech tektonických linií, které probíhaly naznačenými směry. Na rozpojování trhavinami se používalo plošných a clonových odstřelů. Pokusnými odstřely se v roce 1982 určily jejich rozhodující technické parametry.

Jednotlivé odstřely se detailně dokumentovaly, přičemž každý odstřel měl svůj protokol, ve kterém se sledovaly mimo jiné základní údaje:

- skutečná rozpojená kubatura
- výtěžnost
- měrná spotřeba trhaviny
- kubatura rozpojené horniny na jeden vrt



Obr. 8: Nabíjení vrtů pro clonové odstřely v etáži A výkopiště



Obr. 9 a 10: Clonový odstřel v etáži A výkopiště horní nádrže

Vytěžený materiál ve výkopišti horní nádrže se ukládal až na malé výjimky přímo do násypů obvodových hrází. Požadované fyzikálně-mechanické vlastnosti sypaniny a jejich kontrola vycházely z vlastností horniny, která byla v dané lokalitě k dispozici.

■ objemová hmotnost	2 600–2 800 kg/ m ³
■ měrná hmotnost	2 700–2 850 kg/ m ³
■ pórovitost	1–2 %
■ nasákavost	0,7–1,2 %
■ hutnost	98,15–99,28 %
■ pevnost v prostém tlaku ⊥	110–151 MPa
■ pevnost v prostém tlaku //	150–181 MPa
■ koeficient změknutí ⊥	0,87–0,95
■ koeficient změknutí //	0,70–0,74

Tab. 2: Vlastnosti horniny

■ minimální objemová hmotnost po zhutnění	2 100 kg/ m ³
■ pórovitost maximálně	24 %
■ modul přetvárnosti v oboru 0–0,6 MPa: pro materiál ripovaný minimálně	19 MPa
pro materiál střílený minimálně	40 MPa
■ smyková pevnost minimálně	C = 0; φ = 26°
■ zrnitost	směrné křivky zrnitosti pro materiál před zhutněním a po něm.

Tab. 3: Požadované vlastnosti sypaniny:

Technologie ukládání sypaniny byla určena na základě rozsáhlého programu hutnicích zkoušek. Tloušťka sypané vrstvy pro ripovaný materiál činila 1,20 m a pro materiál střílený pak 1,50 m. Hutnilo se 6 pojezdy, vibračními vály, Dynapac CH61, SAW186 nebo CA51S. Sypané vrstvy navazovaly jak v podélném tak v příčném směru na předcházející vrstvy zazubením minimálně jeden metr. Kontrola zhutnění se prováděla geodeticky na 6 hřbových značkách, přičemž kritériem pro střílený materiál byl jejich průměrný pokles po dalších dvou vibrovaných pojezdech o maximálně 14 mm. Pro ripovaný materiál činil přípustný pokles za stejných podmínek 10 mm.

Vlastní násyp tělesa hráze započal v místech nejnižší základové spáry kolem profilu 1a 63, a to ve dvou podélných figurách v různých výškových úrovních. Souběžně se na zazubeny vzdušný líc ukládala lesní půda do konečné figury. Rozpojený materiál se v začátku těžil dvěma bagry RH25, které však pro značnou poruchovost byly v třetím roce výstavby nahrazeny novým bagrem Poclain350. Pod bagry jezdily nákladní vozy Tatra. K rozpojování horniny se používala převážně vrtací soupravy Ingersoll Rand350. V letech 1982-1987 se do hrázi uložilo:

1982.....192 500 m ³	1985.....480 000 m ³
1983.....520 000 m ³	1986.....226 000 m ³
1984.....600 000 m ³	1987.....7 000 m ³

Průměrný hodinový výkon za celé období představoval 150 m³ uložených do násypů s maximem 210 m³ za hodinu v roce 1984.

Násyp tělesa hráze byl ukončen úpravou třímetrové přechodové vrstvy. Ta se prováděla dozerem Cat D9 a bagrem. V násypové části se doplňovalo a rozprostíralo průměrně 60 cm, ve skalním zářezu 40 cm a ve dně 20 cm sypaniny frakce 0-250mm. Zhutněním na předepsanou únosnost skončila příprava fáze „násyp hráze“. Následovalo rozprostírání a hutnění drenážní vrstvy frakce 16-63 mm o tloušťce 20 cm.

Hlavní zárukou úspěchu však bylo nekompromisní dodržování technologického předpisu a technologická kázeň.

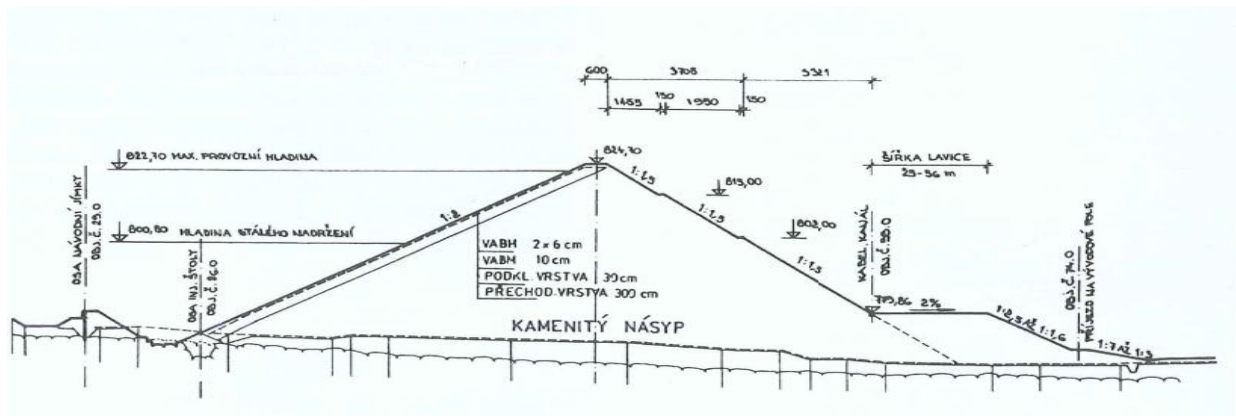
Odvedení prosáklých vod je realizováno systémem drénů, které jsou umístěny pode dnem nádrže. V patě svahu po jeho celém obvodu je patní drén Js 400mm. Odtud se voda vede příčnými pery do páteřního drénu Js500 a 600. Tento drén vede v ose nádrže a je zaústěn do vtokového objektu. Zde je zřízena jímka, ve které se měří průsaky. Na jednotlivých větvích drenážního systému jsou ještě instalovány silové průtokoměry a piezoelektrické krabice s dálkovým odečtem, který signalizuje nastavenou max. hodnotu. Chybí zde tedy zcela osvědčený způsob zjišťování velikosti a místa průsaku pomocí průchozí štol. Zjišťování průsaků a tlaků vody v podsypné vrstvě jiným způsobem než využitím štol se při uvádění horní nádrže PVE Dlouhé Stráně do provozu ukázalo vesměs jako negativní.

Dolní nádrž

■ objem stálého nadržení	0,825 mil. m ³	
■ zásobní objem (provozní objem)	2,580 mil. m ³	
■ celkový objem	3,405 mil. m ³	
■ hladina stálého nadržení	800,50 m n.m.	
■ hladina maximální	822,70 m n.m.	
■ maximální zatopená plocha	16,13 ha	
■ kóta koruny hráze	824,70 m n.m.	
■ provozní kolísání hladiny	22,2 m	
■ délka koruny hráze v ose	306,00 m	
■ maximální výška hráze v ose nad terénem	56,50 m	
■ kubatura násypu hrze	0,840 mil. m ³	
■ sklony svahů	návodní	1:2
	vzdušný	1:1,5

Tab. 4: Hlavní technické parametry

Dolní nádrž PVE Dlouhé Stráně je klasická údolní nádrž, která vznikla přehrazením přirozeného toku Divoké Desné u někdejší jezerní chaty. V daných geologických a morfologických podmínkách je hráz navržena a realizována jako kamenitá s návodním asfaltobetonovým těsněním. Z hlediska tektoniky se přehradní profil nachází v prostoru silně exponovaném. Rozvolnění skalního podkladu zasahuje pod jeho povrch do hloubky 4 až 5 m na pravém svahu a v údolí. Na levém svahu je to 2,5 až 3 m. Navětrávání zasahuje do hloubky 7 až 15 m a je výrazné hlavně na pravém svahu. Kvartéerními pokryvy jsou deluviální sedimenty, zastoupené ve svrchních polohách hlinitokamenitými sutěmi, které přecházejí do sutí kamenitých a balvanitých. Mocnost pokryvů v místě zavázání hráze se pohybuje kolem šesti metrů. Svahový pokryv je bez vody.



Obr. 11: Vzorový příčný řez hráze dolní nádrže

Hydrologické údaje:

- plocha povodí nádrže 17,1 km²,
- průměrné roční srážky 1 255 mm,
- průměrný roční průtok 0,46 m³s⁻¹,
- průměrná roční teplota 3-5 °C,
- N-leté průtoky:

N	roky	1	2	5	10	20	50	100	1000
Q	m ³ s ⁻¹	13	18	25	30	35	42	47	65

Hrázové těleso je založeno na zhutněné základové spáře po odtěžení svrchní zahliněné vrstvy o tloušťce cca 0,50 m. Sypaná vrstva činila 1,20 m, při omezené velikosti zrna max. rozměrem 0,9 m. Hutnilo se 6 pojezdy vibračního válu Dinapac CH61. Alternativně bylo povoláno používat vály SAW 186 nebo CA 51S.

Zhutnění se kontrolovalo geodeticky podle stejných zásad jako na horní nádrži. Hráz se sypala od roku 1987 do roku 1990 v těchto objemech:

1987.....253 000 m³

1988.....260 000 m³

1989.....327 000 m³

Obr. 12: Příprava základové spáry, pohled z pravého břehu

Obr. 13: Skrývkové práce v kamenolomu Zámčisko

Obr. 14: Těžký dozer CAT 9H při skrývkách na svazích kamenolomu Zámčisko



Zdrojem násypového materiálu byl kamenolom Zámčisko ve vzdálenosti 2,7 km. Zde se natěžilo a odvezlo do hráze 522 000 m³ sypaniny. Z výlomu podzemních objektů se do hráze uložilo přímo nebo přes deponii v zátopě na konci vzduť 318 000 m³ rubaniny.

Materiálové naleziště Zámčisko byl vysoký hřeben se skalní věží délky cca 1,5 km, modelovaný převážně z tvrdé křemité biotitické ruly. Při těžbě trhavinami vznikaly výrazně ostrohranné kameny a úlomky. Při návodním líci byla vytvořená přechodová zóna o mocnosti 3 m, do níž se použil materiál o velikosti zrna do 40 cm. Stejným materiálem se zasypal rub injekční štoly. Konstrukci asfaltobetonového plášťového těsnění tvoří vodostavebný asfaltový beton mezerovitý 10 cm, vodostavebný asfaltový beton hutný 2x6 cm a uzavírací nátěr asfaltový (pečeť), aplikovaný zastudena.

Současně se sypaním hráze se na vzdušném líci ukládala vrstva zahliněného materiálu o tloušťce 50 cm. Vegetační úpravy jsou navrženy tak, aby vzdušný líc hráze tvořil přirozený přechod původní vegetaci. Výsledný dojem vyznívá jako vegetačně zacelené suťové pole.

Dolní nádrž se začala napouštět 1. 7. 1992. Přes omezení způsobená extrémně suchým létem 1992 a požadavky technicko-bezpečnostního dohledu dosáhla hladina 31. 12. 1992 kóty 807,18 m. n. m, čemuž odpovídal objem vody 1 393 500 m³. Maximální kóty 822,70 m dosáhla hladina poprvé dne 23. 5. 1993.

Závěr

Elektrárna má tři "nej":

- **největší reverzní vodní turbínu v Evropě - 325 MW,**
- **elektrárnu s největším spádem v České republice - 510,7 m**
- **a největší instalovaný výkon v ČR - 2 x 325 MW**

Celkové náklady na stavbu činily kolem 6,5 miliardy korun. Těžko je možné zhodnotit, kolik bylo potřeba pohonných hmot a jiné energie při její stavbě, a tím i kolik uniklo emisí do ovzduší. A také nelze význam elektrárny hodnotit jen z hlediska množství vyrobené elektřiny, protože je především významné, **kdy** vyrábí elektřinu.

Každopádně se však elektrárna zaplatila za sedm let provozu.

Myslím si, že elektrárna Dlouhé Stráně je opravdové veledílo, které účelně a ekologicky přináší člověku přínos jak ve výrobě elektřiny, tak jako ukázka lidské inteligence.

Zdroje:

- Materiály získané z elektrárny Dlouhé Stráně, kniha Dlouhé Stráně
- soukromý fotoarchiv
- *Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé stráně* [online]. [cit. 2015-12-11]. Dostupné z: <http://www.dlouhe-strane.cz/strane/fotogalerie>
- Voda: Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé stráně. *Skupina ČEZ* [online]. [cit. 2015-12-11]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/voda/dlouhe-strane.html>
- Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé stráně. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. [cit. 2015-12-11]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/P%C5%99e%C4%8Derp%C3%A1vac%C3%AD_vodn%C3%AD_elektr%C3%A1rna_Dlouh%C3%A9_str%C3%A1n%C4%9B

Obsah

Úvod.....	3
Elektrárna	4
Horní nádrž	7
Dolní nádrž.....	12
Závěr	14
Zdroje:.....	15
Obsah	15