

## **Zpracování analýzy technického řešení stavby Lodní zdvihadlo Orlík s protizávažím**

### **B.1 Technická zpráva**

## **O B S A H**

	<b>str.</b>
1) ÚVOD.....	2
2) PŘEDEPSANÉ PARAMETRY PLAVBY.....	3
3) ÚROVEŇ VÝZNAMNÝCH HLADIN A OBJEKTŮ.....	3
4) ANALÝZA TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ TECHNOLOGIE ZDVIHADLA S PROTIZÁVAŽÍM.....	4
4.1 VARIANTA A) .....	4
4.2 VARIANTA B) .....	4
4.3 VARIANTA C) .....	4
4.4 VARIANTA D) .....	5
4.5 ZHODNOCENÍ VARIANT .....	5
4.6 TABULKA VYHODNOCENÍ VÝHODNOSTI JEDNOTLIVÝCH VARIANT .....	6
5) NAVRŽENÉ ÚPRAVY LODNÍHO ZDVIHADLA.....	7
5.1 Úprava horní stanice.....	7
5.2 Dráha.....	8
5.3 Vana lodního zdvihadla.....	8
5.4 Strojovna.....	9
5.5 Napojení na rozvodnou soustavu.....	9
6) ZÁVĚR .....	10

## 1) ÚVOD

Při výstavbě vodního díla Orlík byla vybudována stavební část lodního zdvihadla s ozubnicovou drahou, avšak k instalaci technologické části a k jeho zprovoznění nedošlo.

Na VD Orlík bylo v původním projektu navrženo překonávání spádu 63,0 až 71,5 m šikmým lodním zdvihadlem se žlabem pro lodě o nosnosti 300 tun. Zdvihadlo pozůstávalo z vjezdových objektů v horní a dolní vodě, z šikmé dráhy o délce 191 m a sklonu 22° s pojezdovými kolejnicemi a ozubnicemi a z nevyváženého přepravního žlabu o rozměrech 35,0x6,5x2,3 m, jehož pohon mělo zajišťovat 24 pohonných jednotek. Zdvihadlo bylo umístěno při pravém břehu, aby plavba nekolidovala s provozem vodní elektrárny situované u břehu opačného.

V rámci této studie byly prověřeny varianty lodního zdvihadla s protizávažím pro plavidla I třídy, tedy o užitných rozměrech vany 45x6x2,7 m. Předchozí zpracovaná projektová dokumentace (DSP) s možností využití protizávaží neuvažovala, tažné agregáty se pohybovali s lodní vanou po dráze.

Studie má sloužit jako podklad pro rozhodování o zvolené variantě technického řešení pro zadavatele.

Dostavba šikmého lodního zdvihadla na VD Orlík nepředstavuje žádný dočasný ani trvalý zásah do stávajícího okolního přírodního prostředí. Protože se jedná o dostavbu nedokončeného objektu na existujícím vodním díle, nemůže dojít k narušení krajinného rázu, ani k negativnímu ovlivnění existujících biotopů v příbřežních zónách a stávajících poměrů v nádrži.

Dostavba plavebního zařízení nebude znamenat ani narušení vodohospodářského a energetického provozu vodního díla. Vzhledem k malé spotřebě vody při proplavování lodí nebude v běžném provozu nijak narušován hladinový a hydraulický režim v přilehlých nádržích, ani docházet ke snižování výroby elektrické energie ve vodní elektrárně. Sezónnost, charakteristická pro osobní dopravu a rekreační plavbu, přitom dobře koresponduje se současným režimem udržování hladin v Orlické nádrži a i s potřebami energetiky.

## 2) PŘEDEPSANÉ PARAMETRY PLAVBY

Stavba lodního zdvihadla Orlík je součástí výstavby a modernizace dopravní infrastruktury vodní cesty. Plavební zařízení I. třídy, dle mezinárodní klasifikace vodních cest, bude součástí dopravně významné, využívané vodní cesty dle zákona č. 114/1995 Sb. dle §3 odst.4 písm. c).

Navrhované plavební zařízení je ve smyslu vyhlášky č.222/1995 Sb. navrženo na užité rozměry I. třídy vodní cesty. Tzn. půdorysný rozměr přepravní vany 45,0 x 6,0 m, plavební hloubka 2,70 m (ponor plavidla 2,20 m a marže 0,50 m) a podjezdová výška 5,25 m.

## 3) ÚROVEŇ VÝZNAMNÝCH HLADIN A OBJEKTŮ

Základním technickým parametrem plavebního zařízení je definování plavební hladiny horní a dolní vody, jejich kolísání a tím celkový spád zařízení:

– horní plavební hladina (zdrž VD Orlík)	maximální hladina	351,10 m n.m.
	minimální hladina	347,60 m n.m.
	kolísání	3,50 m
úroveň plata VD		354,60 m n.m.
úroveň protipovodňové ochrany plata VD		355,70 m n.m.
dno vjezdu		344,60 m n.m.
horní hrana segmentu		355,20 m n.m.
– dolní plavební hladina (zdrž VD Kamýk)	maximální hladina	284,60 m n.m.
	minimální hladina	282,10 m n.m.
	kolísání	2,50 m
– celkový spád zařízení	maximální	69,00 m
	minimální	63,00 m

Uváděné hladiny neodpovídají údajům známým z rozdělení objemů v přehradních nádržích. Vycházejí však z hladin obvykle dosahovaných a vyhovujících plavebnímu provozu. Plavební provoz zdvihadla nebude možný při pohybu hladiny mimo výše uvedené hranice a při provozu bezpečnostních přelivů bez ohledu na okamžitou hladinu v nádržích.

## **4) ANALÝZA TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ TECHNOLOGIE ZDVIHADLA S PROTIZÁVAŽÍM**

Při návrhu technického řešení se vycházelo z provedeného průzkumu již vybudovaných stavebních částí lodního zdvihadla. Z tohoto průzkumu vyplynulo, že horní části betonových konstrukcí již nebyly prováděny s řádnou péčí a je nutno horní pracovní postupy odstranit až na pracovní spáru. Díky tomuto zjištění je možno navrhnout konstrukce tvarově odlišné od konstrukcí současných.

### **4.1 VARIANTA A)**

V této variantě je uvažováno s protizávažím o stejné hmotnosti jako vana. Protizávaží se bude pohybovat po dně žlabu pod přepravní vanou, přičemž protizávaží zabírá celou šířku žlabu. Dále je uvažováno s tím, že protizávaží bude zajíždět do vody v dolní stanici. Protizávaží je navrženo velikosti 11,5 x 7,8 x 1,5 m s pojezdem po kolejnicích přikotvených ke dnu žlabu. Strojovna umožňující pohyb vany je umístěna v přehradním bet.bloku na úrovni injekční a kontrolní chodby. Schéma podélného profilu zdvihadla je znázorněno na výkresu B.2.1.A, této variantě odpovídá příčný řez žlabu B.2.2.A.

### **4.2 VARIANTA B)**

V této variantě je uvažováno s protizávažím o dvojnásobné hmotnosti vany. Protizávaží se bude pohybovat, stejně jako ve variantě A, po dně žlabu pod přepravní vanou, přičemž protizávaží zabírá celou šířku žlabu. V tomto případě by protizávaží nezajíždělo do vody v dolní stanici. Protizávaží je navrženo velikosti 23,6 x 7,8 x 1,5 m s pojezdem po kolejnicích přikotvených ke dnu žlabu. Strojovna umožňující pohyb vany je stejně jako ve variantě A umístěna v přehradním bet.bloku na úrovni injekční a kontrolní chodby. Schéma podélného profilu zdvihadla je znázorněno na výkresu B.2.1.B, této variantě odpovídá též příčný řez žlabu B.2.2.A.

### **4.3 VARIANTA C)**

Tato varianta využívá protizávažím o stejné hmotnosti jako přepravní vana, jež by pojíždělo na bocích žlabu lodního zdvihadla. Schéma podélného profilu zdvihadla je znázorněno na výkresu B.2.1.C. Závaží je možno umístit v prostoru pod kolejnicemi vany (viz. příčný řez B.2.2.B.3) a nebo lépe do bočního prostoru pod plánovanými schodišti (viz. příčný řez B.2.2.B.1 a B.2.2.B.2). V této variantě jsme uvažovali o vybudování konstrukce pod kolejnicemi vany jednak z železobetonu a jednak z důvodu prostorové úspory z oceli.

Jako výhodnější je zřejmě použití železobetonové konstrukce.

Protizávaží je navrženo velikosti 2 ks 25,0 x 1,7 x 1,6 m s pojezdem po kolejnicích. Strojovna umožňující pohyb vany je umístěna nad stávajícím velínem. Výhodou tohoto umístění strojovny je vedení lan od vany a protizávaží se stejným sklonem a tudíž výhodnějším přenosem sil.

#### **4.4 VARIANTA D)**

Jiným možným řešením podobným jako varianta C je též varianta s protizávažím o stejné hmotnosti jako přepravní vana, jež by pojíždělo na bocích žlabu lodního zdvihadla. Protizávaží by byla 4, tj. 2 na každém boku zdvihadla, která by pojížděla po kolejnicích jednak v prostoru pod schodišti a též v prostoru pod kolejnicemi vany.

Schéma podélného profilu zdvihadla je znázorněno na výkresu B.2.1.D, této variantě odpovídá příčný řez žlabu B.2.2.C. V této variantě jsme uvažovali o vybudování konstrukce pod kolejnicemi vany z důvodu prostorové úspory pro protizávaží z oceli.

Protizávaží je navrženo o velikosti 2 ks 18,0 x 1,5 x 1,5 m a 2 ks 18,0 x 1,5 x 1,3 m s pojezdem po kolejnicích. Strojovna umožňující pohyb vany je umístěna nad stávajícím velínem.

#### **4.5 ZHODNOCENÍ VARIANT**

Postupným projednáváním jednotlivých variant v průběhu zpracování studie s investorem a budoucím provozovatelem zdvihadla Povodím Vltavy, státní podnik, jsme dospěli k závěru, že nejvýhodnější realizovatelnou variantou je C, tzn. protizávaží o stejné hmotnosti jako vana umístěné v bocích žlabu, na každé straně 1 ks mimo kolejnice vany, s žebet. konstrukcí pod kolejnicemi vany. Tuto variantu jsme v rámci studie dále sledovali a rozpracovali.

#### 4.6 TABULKA VYHODNOCENÍ VÝHODNOSTI JEDNOTLIVÝCH VARIANT

	POPIS VARIANT	TECHNICKÉ A PROVOZNÍ HODNOCENÍ	EKONOMICKÉ HODNOCENÍ (INVESTIČNÍ A PROVOZNÍ NÁKLADY)	CELKOVÉ ZHODNOCENÍ (POŘADÍ)	Pozn:
VARIANTA A.)	1 ks protizávaží stejné hmotnosti jako vana, pohyb po dně žlabu, protizávaží do vody	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ nevýhodné umístění protizávaží v případě využití žlabu pro převod velkých vod z VD Orlík</li> <li>_ umístění strojovny zdvihadla v přehradním bloku pod horní stanicí tzn. horší přístup při stavbě i při provozu</li> <li>_ lana od vany a od protizávaží nejsou vedena ve stejném sklonu tzn. nevýhodný přenos sil</li> <li>_ nevyužitý prostor v bočních stěnách žlabu</li> <li>_ provozní problémy při zajištění protizávaží do vody</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ vyšší stavební náklady na vybudování strojovny než u variant C. a D.</li> </ul>	4	<b>nejméně vhodná</b>
	body	4	3	7	
VARIANTA B.)	1 ks protizávaží dvojnásobné hmotnosti vany, pohyb po dně žlabu, protizávaží nezajišťují do vody	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ nevýhodné umístění protizávaží v případě využití žlabu pro převod velkých vod z VD Orlík</li> <li>_ umístění strojovny zdvihadla v přehradním bloku pod horní stanicí tzn. horší přístup při stavbě i při provozu</li> <li>_ lana od vany a od protizávaží nejsou vedena ve stejném sklonu tzn. nevýhodný přenos sil</li> <li>_ nevyužitý prostor v bočních stěnách žlabu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ vyšší stavební náklady na vybudování strojovny než u variant C. a D.</li> </ul>	3	<b>méně vhodná</b>
	body	3	3	6	
VARIANTA C.)	2 ks protizávaží stejné hmotnosti jako vana, pohyb v bocích žlabu pod schodišti mimo kolejničky vany, protizávaží zajišťují částečně do vody	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ možnost využití žlabu pro převedení velkých vod ze zdrže VD Orlík</li> <li>_ strojovna umístěna na stáv. velínu tzn. přístupné</li> <li>_ vedení lan od vany a protizávaží se stejným sklonem a tudíž výhodnějším přenosem sil</li> <li>_ využití prostoru v bocích žlabu</li> <li>_ bet. konstrukce pod kolejničkami vany</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ nejnižší náklady na stavbu, technologii i provoz</li> </ul>	1	<b>nejvýhodnější</b>
	body	1	1	2	
VARIANTA D.)	4 ks protizávaží stejné hmotnosti jako vana, pohyb v bocích žlabu pod schodišti a mezi kolejničkami vany, protizávaží zajišťují částečně do vody	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ možnost využití žlabu pro převedení velkých vod ze zdrže VD Orlík</li> <li>_ strojovna umístěna na stáv. velínu tzn. přístupné</li> <li>_ vedení lan od vany a protizávaží se stejným sklonem a tudíž výhodnějším přenosem sil</li> <li>_ využití prostoru v bocích žlabu</li> <li>_ z prosotrových důvodů nutnost návrhu ocel. konstrukce pod kolejničkami vany</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ vyšší náklady na technologii strojovny než u varianty C.</li> </ul>	2	<b>méně vhodná</b>
	body	2	2	4	

## 5) NAVRŽENÉ ÚPRAVY LODNÍHO ZDVIHADLA

V rámci připravované akce dostavby plavebního zařízení bude stávající stavební konstrukce přizpůsobena pro nově navrhovanou technologii šikmého lodního zdvihadla s protizávažím. Lodě budou přepravovány po šikmé dráze zdvihacím zařízením v ocelové přepravní vaně. Horní stanice na vjezdu, spodní stavba žlabu pojezdové dráhy zdvihadla a dolní stanice budou upraveny dle požadavků na osazení technologie. Všechny objekty lodního zdvihadla, tj. vjezdový objekt v horní vodě, pojezdová dráha, vlastní přepravní vana a dolní stanice, jsou navrženy na přepravní vanu délky 45,0 m. Při návrhu konstrukcí je dále přihlíženo k nutnosti umožnit převádění katastrofálních povodní betonovým žlabem spodní stavby zdvihadla a dále bylo přihlíženo k možnosti rychlé změny dolní hladiny vlivem změn v provozním režimu VE (najetí či odstavení turbín).

### 5.1 Úprava horní stanice

Celková délka úprav vjezdu činí 63 m, hloubka vjezdu je cca 10 m (dno vjezdu na kótě 344,60 m n.m., úroveň plata areálu Povodí Vltavy, s.p. cca 354,60 m n.m.).

Kolísání plavebních hladin ve zdrži VD Orlík je uvažováno 3,5 m v rozsahu maximální hladiny 351,10 m n.m. a minimální hladiny 347,60 m n.m.

Na vjezdu do horní stanice ze zdrže VD Orlík budou osazena svodidla tvořená ocelovou konstrukcí svařenou ze šětovnic III<sub>n</sub>, trubek a válcovaných profilů s výškou svodidel 1,0 m nad maximální plavební hladinou.

V horní stanici budou osazeny dva uzávěry, segmentový jako uzávěr bezpečnostní a sloužící též pro převod velkých vod a poklopový jako provozní pro účely lodního zdvihadla. Horní hrana segmentu je navržena na kótě 355,20 m n.m. a horní hrana poklopových vrat je navržena na kótě 351,60 m n.m. V rozsahu nutném pro vytvoření výklenků pro osazení obou uzávěrů budou odbourány části povrchů stávajících bočních zdí a dna.

Dále bude osazen ocelový těsnící štít na stěny a dno žlabu v místě dojezdu vany v horní stanici v rozsahu min. a max. plavební hladiny ve zdrži VD Orlík. V horní stanici v přechodu vodorovného dna do šikmého je navrženo dno žlabu hydraulicky vhodně zaoblené pro lepší převedení velkých vod žlabem.

Kontrolní chodba v bloku přehradního tělesa s vyústěním do dna žlabu šikmého zdvihadla bude částečně zabetonována s průchodkami pro potrubí DN 500 vypouštějící vodu mezi poklopovými vraty a vanou, a dále pro potrubí DN 200 umožňující vypuštění prostoru mezi poklopovými vraty a vraty segmentovými.

Pro umožnění dotlačení vany při dojezdu do dolní stanice je navrženo v horní stanici



v prostoru podél dráhy pod strojovnou umístění pomocného pohonu, který je složen ze série Gallových řetězů a hnacích kladek se samostatným pohonem. Při dojíždění vany do dolní stanice bude opěrný segment na protizávaží zachycen uchopovací tyčí na Gallově řetězu a pomocí hnací kladky dotlačen tak, aby vana došla ve spodní stanici do úrovně odpovídající provoznímu stavu VE.

## **5.2 Dráha**

Po kolejnicích bude pojíždět vana zdvihadla. Jedná se o dvojici v podélném směru šikmých drah se sklonem  $22^\circ$ , přičemž na každé dráze jsou 2 kolejnice. Dráha bude dole ukončena u konstrukce dolní stanice, nahoře 1 m nad maximální možnou polohou vany. Rozchod kolejnic je navržen 1,0 m, osová vzdálenost páru kolejí je 9,5 m. K nosné konstrukci budou kolejnice přichyceny šrouby s podložkami.

Mezi kolejnicemi je navržen žlábek (0,8 x 0,5 m) pro vedení lan z vany (8 lan  $\varnothing$  50 mm). Vedle kolejnic pod schodištěm je navržen prostor pro pojezd protizávaží (1,7 x 1,6 m). Protizávaží se bude rovněž pohybovat po šikmé kolejové dráze se sklonem  $22^\circ$  po 2 kolejnicích s rozchodem 1,3 m.

Na obou bocích zdvihadla nad dráhou protizávaží je navrženo schodiště, které bude sloužit jednak pro havarijní opuštění vany zdvihadla, jednak jako provozní schodiště pro obsluhu při kontrolách a revizích. Schodiště je navrženo 1,9 m široké. Po schodišti bude možný pohyb i podél vany a bude tedy možný havarijní únik oběma směry.

## **5.3 Vana lodního zdvihadla**

Vana lodního zdvihadla slouží k převozu plavidla z prostoru dolní stanice do horní stanice a opačně. Užité rozměry vany jsou délka 45 m, šířka 6 m a hloubka 2,7 m. Při návrhu pohybu vany lodního zdvihadla je uvažována jízda vany rychlostí  $0,2 \text{ ms}^{-1}$  s navrženým zpomalením při dojezdu do horní i dolní stanice. Vzhledem k nebezpečí náhlého kolísání vody ve zdrži VD Kamýk je vana navržena s navýšenými pochozími lávkami. Tím je zajištěna možnost hlubšího zanoření vany při provozu VE nebo eliminace náhlého zvýšení hladiny při najetí VE.

Vana je navržena z ocelové konstrukce. Vana bude opatřena na obou stranách segmentovými sklopnými vraty s hydraulickým pohybovacím mechanismem uchyceným do stěny vany. Oboje vrata budou opatřena dynamickou ochranou, která bude pohybována spolu s vraty. Při sklopené poloze vrat bude dynamická ochrana zasunuta do roviny vrat. Na koruně vrat jsou navrženy lávky se zábradlím. Součástí vany bude úniková cesta, která



umožní posádce opustit vanu směrem na únikové schodiště podél dráhy. Pod horními vraty vany je těsnicí štít, který je vyklopen nahoru a při dojezdu do horní stanice těsní prostor mezi vanou a provozními vraty. Štít je ovládán hydraulicky a vysunut před vanu, aby nemohlo dojít k jeho vzpříčení při stání vany v horní poloze.

Další součástí vany je též navrženo vyvazovací zařízení (pacholata, vázací tyče), které umožní bezpečné vyvázání plavidel i při kolísání hladiny a při změnách průtoku vodní elektrárnou pod VD Orlík. Rozmístění vázacích prvků bude dle standardů Ředitelství vodních cest. Vyvazovací zařízení musí být navržena tak, aby zajistila bezpečné stání plavidel i při náhlých změnách rychlosti při pohybu přepravní vany.

#### **5.4 Strojovna**

Objekt strojovny bude umístěn nad stávající objekt velínu zdvihadla. Jeho monolitická železobetonová konstrukce bude staticky navázána na blok 1 lodního zdvihadla pro přenesení silových složek od strojního zařízení. V objektu strojovny je navrženo umístění zařízení ovládající pohyb zdvihadla a zajišťující jeho vyvážení. Pro každou stranu uchycení systému lan (vana x závaží) se jedná o převáděcí kladku Ø 4,0 m a hnací kladku Ø 5,9 m s koaxiální elektropohonem a 2 planetovými převody. Výkon hnacího stroje lanové kladky je dimenzován na 75 kW, tzn. celkově pro obě pohonné jednotky bude výkon stroje 150 kW. Podrobnosti o technickém řešení pohybovacích mechanismů jsou v samostatné zprávě.

Strojovna jako celek bude zastřešená a bude zahrnovat nejenom prostor vlastního pohybovacího mechanismu, ale též prostor pohonu pomocných Gallových řetězů.

#### **5.5 Napojení na rozvodnou soustavu**

Energetické nároky jsou vypočteny na základě předpokládané rychlosti pohybu vany zdvihadla a na základě předpokládaných odporů zařízení. Z těchto výpočtů bylo určeno, že okamžitý současný příkon pohybovacích mechanismů zdvihadla nepřekročí 150 kW. Pro potřeby rozběhových proudů je nutné jištění na 450 A. Připojení lodního zdvihadla na elektrické vedení je možno realizovat v objektu rozvodny vodní elektrárny Orlík v úrovni NN z rozvaděčového pole rezervovaného od začátku provozu VE pro lodní zdvihadlo. Z této rozvodny bude vedení NN propojeno do rozvodny v rámci lodního zdvihadla. Vybrané spotřebiče budou v případě výpadku el. proudu z veřejné sítě zajištěny napojením na náhradní zdroj. el. energie (NZ). Zálohované napájení bude zajišťovat náhradní zdroj, který je dnes umístěn v areálu Povodí Vltavy s.p.

## **6) ZÁVĚR**

Závěrem je možno potvrdit, že studie prokázala reálnost návrhu technického řešení lodního zdvihadla na VD Orlík s použitím protizávaží.

V dalším stupni projektových prací je nutno věnovat pozornost vhodnému řešení jednotlivých částí lodního zdvihadla zejména s ohledem na následný provoz a údržbu. Vhodným návrhem je možno zásadním způsobem ovlivnit nejen budoucí provozní náklady, ale i náklady investiční

*V Praze dne 27.9.2010*

*Ing. Michael Trnka, CSc.*

*Ing. Kateřina Boříková*