



## **VD Letovice – studie návrhu opatření k bezpečnému převedení KPV<sub>10000</sub>**

Studie

E SAMOSTATNÉ PŘÍLOHY  
E.5 Rešerše oprav návodního líce

Objednatel: Povodí Moravy, státní podnik

## OBSAH:

1	ÚVOD	2
1.1	Cíle studie	2
2	PODKLADY	2
2.1	Studie a technické podklady	2
2.2	Literatura	2
2.3	Normy	3
2.4	Internet	3
3	VD LETOVICE	4
3.1	Údaje o vodním díle	4
3.2	Porušení návodního líce	4
4	ZHODNOCENÍ TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ	7
5	REALIZACE OBDOBNÉ TECHNOLOGIE	8
5.1	Realizace v České republice	8
5.2	Realizace na Slovensku	10
5.3	Realizace v zahraničí	11
5.4	Realizované rekonstrukce	11
6	MOŽNOSTI OPRAV	19
6.1	Možná technická řešení	19
6.2	Cenové zhodnocení	22
7	ZÁVĚR – DOPORUČENÍ	23

# 1 ÚVOD

## 1.1 Cíle studie

Cílem této studie je provedení rešerše oprav návodního líce u vodních děl v České republice a na Slovensku, kde bylo použito shodné technické řešení návodního opevnění, jako u VD Letovice (tj. makadam prolitý mastixem) se zaměřením na vodní díla sloužící vodárenským účelům. Součástí rešerše je dále seznam možných úprav návodního opevnění u zemních hrází a posouzení v úvahu připadajících variant opravy v případě VD Letovice.

# 2 PODKLADY

## 2.1 Studie a technické podklady

VD LETOVICE Posudek bezpečnosti VD za povodní, zpracovaný v rámci 3. Souhrnné etapové zprávy TBD, zpracovatel VODNÍ DÍLA – TBD, a.s., 06/2009.

VD LETOVICE - 3. souhrnná etapová zpráva TBD za období 04/1999 – 03/2009, zpracovatel VODNÍ DÍLA – TBD, a.s., 06/2009

VD LETOVICE - 15. etapová zpráva TBD za období 04/2009 – 03/2011, zpracovatel VODNÍ DÍLA – TBD, a.s., 06/2011

Manipulační řád pro přehradu Letovice na toku Křetínky v km 2,923. Vypracoval Povodí Moravy, s.p., prosinec 2008, schválil krajský úřad Jihomoravského kraje, odbor životního prostředí dne 13.3.2009 pod č.j. JMK 178/2009 OŽP-Bu

Hydrologická studie teoretických povodňových vln pro vodní nádrž Letovice na Křetínce, vypracoval ČHMÚ pobočka Brno v dubnu 2009.

Ověření hydrologických údajů, ČHMÚ Brno, 12/2012

Stavební dokumentace díla z archivu VD Letovice, INGSTAV Brno, n.p., 1973-1975.

Stavební dokumentace k rekonstrukci návodního líce VD Opatovice, Povodí Moravy, s.p., 2002.

## 2.2 Literatura

Abaffy, D., Lukáč, M., Liška, M., Dams in Slovakia, T.R.T. Médium, ISBN: 80-88676-03-7, Bratislava, 1995.

Bednářová, E. a kol., Priehradné staviteľstvo na Slovensku, Vydavateľstvo KUSKUS, spol. s r.o., ISBN: 978-80-970428-0-6, Bratislava, 2010.

Broža, V. a kol., Přehrady Čech, Moravy a Slezska, Knihy 555, ISBN: 80-86660-11-7, Liberec, 2005.

International Commission on Large Dams (ICOLD), Bulletin 91 - Embankment Dams Upstream Slope Protection, Review and recommendations, 1993.

Ministerstvo zemědělství, Souhrnná evidence zařazení vodních děl do I. - III. kategorie z hlediska technickobezpečnostního dohledu, leden 2012.

Raplík, M., Výbora, P., Mareš, K., Úprava tokov, ALFA – vydavatelstvo technickej a ekonomickej literatúry, ISBN 80-05-00128-2, Bratislava, 1989.

United States Society on Dams (USSD), Materials for Embankment Dams, USA, ISBN 978-1-884575-

49-5, January 2011.

## 2.3 Normy

- ČSN 75 0101 Vodní hospodářství. Základní terminologie  
ČSN 75 0124 Vodní hospodářství. Terminologie vodních nádrží a zdrží (2003)  
ČSN 75 2310 Sypané hráze (2006)  
ČSN 75 2340 Navrhování přehrad – hlavní parametry a vybavení (2004)  
ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže (1997)  
ČSN 75 0255 Výpočet účinků vln na stavby na vodních nádržích a zdržích (1987)  
ČSN 75 2405 Vodohospodářská řešení vodních nádrží (2004)  
TNV 75 2935 Posuzování vodních děl při povodních (2003)  
TNV 75 2103 Úpravy řek (1998)

## 2.4 Internet

- |   |  |
|---|--|
| <a href="http://www.pmo.cz/">http://www.pmo.cz/</a>       | Povodí Moravy, s.p.                    |
| <a href="http://www.pod.cz/">http://www.pod.cz/</a>       | Povodí Odry, s.p.                      |
| <a href="http://www.pla.cz/">http://www.pla.cz/</a>       | Povodí Labe, s.p.                      |
| <a href="http://www.pvl.cz/">http://www.pvl.cz/</a>       | Povodí Vltavy, s.p.                    |
| <a href="http://www.czcold.cz/">http://www.czcold.cz/</a> | Český přehradní výbor                  |
| <a href="http://www.skcold.sk/">http://www.skcold.sk/</a> | Slovenský priehradný výbor             |
| <a href="http://www.svp.sk/">http://www.svp.sk/</a>       | Slovenský vodohospodársky podnik, š.p. |

### 3 VD LETOVICE

#### 3.1 Údaje o vodním díle

Na vodním toku Křetínka (ČHP 4-15-02-034, km 2,923) byla v letech 1973 – 1975 realizována stavba vodního díla – údolní nádrž Křetínka (dnešní název VD Letovice). Vodní dílo bylo uvedeno do trvalého provozu v roce 1979.

##### Účel vodního díla:

- 1) Kompenzační nalepšení průtoků ve Svitavě na  $Q_{\min} = 0,860 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  do profilu pod soutokem Svitavy a Křetínky (náhrada za ochuzené průtoky ve Svitavě jímáním vody v prameništi u Muzlova)
- 2) Zajištění minimálního zůstatkového průtoky pod přehradou MZP =  $0,100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- 3) Energetické využití odtoků z nádrže v MVE
- 4) Rekreaace
- 5) Chov ryb pro sportovní rybářství
- 6) Snížení povodňových průtoků neovladatelným retenčním prostorem

Hráz je nehomogenní se středním zemním těsnícím jádrem, které navazuje na injekční těsnící clonu ve skalním podloží hráze tvořeného amfibolity. Stabilizační části hráze na návodní i vzdušné straně byly sypany z hlinitokamenitých až kamenitohlinitých materiálů. Pata na návodní i vzdušné straně je provedena z lomového kamene z výlomu pro funkční zařízení.

Na koruně hráze šířky 5,0 m je přístupová komunikace, v koruně hráze je ze strany návodního líce osazen vlnolam.

Vzdušný líc hráze ve sklonu 1 : 2,1 je přerušen dvěma lavičkami šířky 2,0 m.

Návodní líc hráze ve sklonu 1 : 3 je chráněn dvouvrstvým filtrem v celkové tloušťce 60 cm a opevněn makadamem v tloušťce 25 cm prolitý mastixem.

#### 3.2 Porušení návodního líce

Návodní líc VD Letovice byl v průběhu výstavby (1972 – 1976) v horní části (8,54 m) opevněn makadamem (tl. 0,25 m, frakce 18/63 mm) prolévaným mastixem. Zdrsnění pod vlnolamem bylo dosaženo osazením většími soliterními kameny (cca  $1 \text{ ks/m}^2$ ) vyčnívajícími 0,2 – 0,3 m nad úroveň povrchu. Mezi svrchní a stabilizační vrstvou byly umístěny dvě vrstvy filtrační. Filtr 1 v tloušťce 0,3 m na kontaktu s násypem stabilizační části hráze je přírodní štěrkopísek dovezený z Tovačova, filtr 2 v tloušťce 0,3 m pod makadamem je proveden z drtě frakce 2/4 mm.

Vlivem dlouholetého vystavení vlnám, kolísání hladiny a mrazům došlo u návodního líce k postupné degradaci a ke vzniku nátrží a kaveren v návodním líci hráze.

V roce 2006 došlo vlivem vlnobití k masivnímu narušení mastixového opevnění návodního líce. Místy došlo k úplné destrukci původního opevnění (na několika místech o plochách 1 až 4 m<sup>2</sup>) a došlo k odhalení filtračních vrstev pod opevněním.

Svrchní vrstva makadamu s mastixem tvoří kompaktní celek. Oproti tomu filtrační vrstvy pod opevněním jsou sypké a proto byly porušených místech odplaveny. Pod opevněním tak vznikly rozsáhlé kaverny.

Poruchy se vyskytovaly od kóty cca 358,00 m n.m. do cca 360,00 m n.m. Tyto poruchy byly provizorně sanovány v roce 2008 odstraněním kompaktní vrstvy, dosypáním makadamu a překrytím drátěnou sítí a jejím ukotvením do tělesa hráze. Toto provizorní opatření by bylo vhodné v rámci plánované rekonstrukce bezpečnostního objektu nahradit opatřením trvalého charakteru.





Obr. 1 Opevnění návodního líce VD Letovice se solitérními kameny pro zdrsnění



Obr. 2 Porucha opevnění návodního líce způsobená vlnobitím





Obr. 3 Část návodního líce sanovaná překrytím drátěnou sítí



Obr. 4 Část návodního líce sanovaná překrytím drátěnou sítí – detail ukotvení sítě

## 4 ZHODNOCENÍ TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ

Zvolené technické řešení opevnění návodního líce VD Letovice bylo zvoleno dodatečně v průběhu výstavby VD v roce 1975. Cílem úpravy bylo zvýšení drsnosti povrchu hráze, které by omezilo výšku výběhu větrových vln na svah.

Živičná úprava návodního svahu byla provedena od úrovně 340,00 m n.m. po 360,00 m n.m., tj. v šířce 8,54 m (vodorovná šířka v příčném profilu) po celé délce hráze. Úprava byla řešena formou makadamu v tl. 0,25 m (v horní části pak tl. 0,6 m) prolévaného mastyxem. Pod zpevněnou svrchní vrstvou byly umístěny 2 vrstvy filtrů.

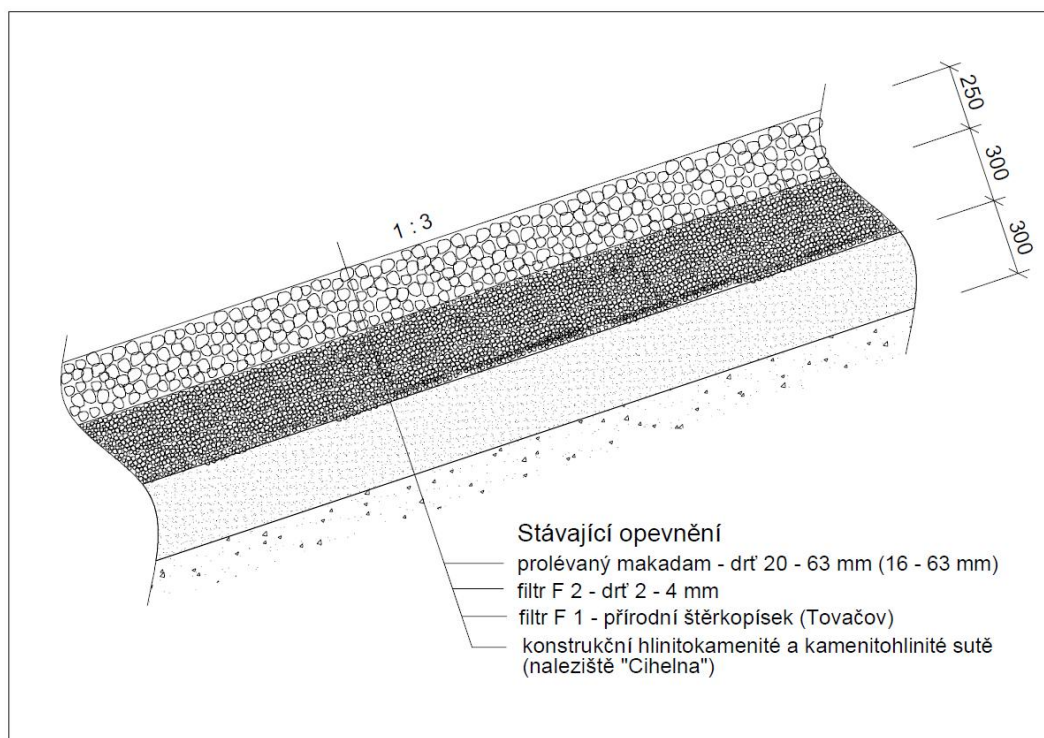
Zdrsnění líce pod vlnolamem bylo dosaženo pomocí jednotlivých větších kamenů, které byly osazeny do svrchní vrstvy tak, aby vyčnívaly 0,2 – 0,3 m nad povrch návodního líce. Průměrně byl osazen 1 kámen na 1 m<sup>2</sup> živičné úpravy. Tyto kameny byly osazovány dodatečně.

Vzhledem k rozmístění solitérních kamenů ve sponu cca 1 m a ke zmenšení drsnosti plochy mezi nimi vlivem vrstvy mastyxu je omezení výšky výběhu větrových vln touto úpravou diskutabilní.

Způsob technického provedení, kdy je vrstva uloženého makadamu dodatečně penetrována tekutým mastyxem není nejvhodnější. Tekutá složka se nedostane do míst, kde k sobě kameny již přiléhá, ale pouze tyto místa obalí. Není tedy dosaženo takové soudržnosti, jako v případě použití technologie obalovaného kamenina.

Odolnost úpravy proti účinkům větrových vln je dostatečná do doby, než dojde k degradaci soudržné vrstvy. K ní dochází převážně v místě nejčastějšího pohybu hladin pravděpodobně vlivem střídaní mrazu a vlnobití. V místě lokálního poškození opevnění jsou spod soudržné svrchní vrstvy vyplavovány vrstvy filtrů a vznikají tak kaverny. Díky nim se pak tato porucha rychle rozrůstá.

Hráz vodního díla s lícem z tmavého mastyxu nepůsobí přirozeně a není jednoduché ji vhodně začlenit do krajiny.



Obr. 5 Řez vrstvami původního opevnění návodního líce VD Letovice



## 5 REALIZACE OBDOBNÉ TECHNOLOGIE

### 5.1 Realizace v České republice

Podle evidence Ministerstva zemědělství [Ministerstvo zemědělství, 2012] bylo v ČR k 1.1.2012 v provozu nebo ve výstavbě 413 vodních děl I. až III. kategorie (z hlediska technickobezpečnostního dohledu). Z těchto vodních děl tvoří 280 (68 %) přehrady, rybníky a suché nádrže. Zbývajících 32 % tvoří jezy, ochranné hráze, přivaděče, odkaliště a vodní elektrárny. Z výše zmíněných 280 nádrží má pak 235 (84 %) hráz sypanou z místních materiálů (zemní nebo kamenitou), tzn. by u ní bylo možné použít stejnou technologii opevnění návodního líce jako na VD Letovice. Tato nebo podobná technologie (makadam prolévaný mastyxem) byla ale zjištěna pouze u 6, tj. u 2,5 % z těchto hrází. Lze tedy říci, že tato technologie není v České republice příliš rozšířena.

Tab. 1 Počet vodních děl I. - III. kategorie konstrukce podobné VD Letovice

Kraj	Počet VD I. - III. kategorie	Z toho přehrady, rybníky a suché nádrže	Z toho zemní a kamenité (s vnitřním těsněním)	Z toho prolévaný makadam na návodním líci
Hl. m. Praha	14	5	5	0
Jihočeský	57	49	45	0
Jihomoravský	21	18	15	3
Karlovarský	17	12	9	0
Královéhradecký	25	11	9	0
Liberecký	13	12	6	0
Moravskoslezský	14	11	10	0
Olomoucký	11	8	6	0
Pardubický	32	17	13	0
Plzeňský	19	16	14	0
Středočeský	72	34	28	0
Ústecký	50	28	21	0
Vysočina	52	49	45	1
Zlínský	16	10	9	2
Česká republika	413	280	235	6

V České republice bylo zjištěno použití technologie makadamu prolévaného mastyxem pro opevnění návodního líce hráze na těchto lokalitách:

- **VD Letovice** (Jihomoravský kraj) - výstavba v letech 1972 – 1976, porušené opevnění, plánovaná rekonstrukce,
- **VD Hubenov** (kraj Vysočina) - výstavba v letech 1968 – 1972, opevnění je původní od doby výstavby bez rekonstrukce,
- **VD Nové Mlýny** (Jihomoravský kraj) - výstavba v letech 1978 – 1988, opevnění je původní od doby výstavby bez rekonstrukce,
- **VD Opatovice** (Jihomoravský kraj) - výstavba v letech 1969 – 1972, poškození v místě nejčastějšího pohybu hladiny, v roce 2002 proběhla rekonstrukce návodního líce stříkaným betonem s výztuží z kari sítí,
- **VD Slušovice** (Zlínský kraj) - výstavba v letech 1972 – 1976, drobné opravy lomovým kamenem do 25 kg,
- **VD Karolinka** (Zlínský kraj) - výstavba v letech 1977 – 1985, opevnění je původní od doby výstavby bez rekonstrukce.



Obr. 6 VD Hubenov



Obr. 7 VD Nové Mlýny

## 5.2 Realizace na Slovensku

Ve světovém registru mezinárodního přehradního výboru ICOLD se nachází 50 slovenských přehrad a nádrží, případně jejich soustav. Ty byly s použitím dostupné literatury [Bednárová, 2010; Abaffy, 1995] a internetu posuzovány, zda by na nich bylo možné použít stejnou technologii opevnění návodního líce jako na VD Letovice (makadam proléváný mastyxem). Byly vybrána vodní díla s hrází sypanou z místních materiálů (zemní nebo kamenitou). Z těch pak byly vyřazeny ty VD, která mají úpravu návodního pláště neslučitelnou s výše zmíněnou technologií. Jedná se o hráže s návodním těsněním (geotextilním, asfaltobetonovým, atd.) nebo o hráže s kompaktním opevněním návodního líce (betonové panely, kamenná dlažba, atd.).

Zbývajících 15 vodních děl [Tab. 2] má návodní líc hráže opevněný převážně kamenným záhoze různí tloušťky a frakce. Provozovatelé těchto vodních děl byli dotázáni, zda na u nich je (nebo byla) použita na návodním líci hráže technologie prolévání kameniva mastyxem. Dále byl zjišťován stav konstrukce, případně zda proběhla v průběhu provozu díla rekonstrukce návodního líce hráže.

Tab. 2 Vytipovaná VD na Slovensku

Povodí	Vodní dílo	Zjištění
POVODIE VÁHU	Tvrdošín	Vodní díla na Oravě nejsou budovány uvedenou technologií.
	Liptovská Mara	Na VS Liptovská Mara je návodní strana zemní hráže opevněná čistě kamenným záhozem bez přelití, který se i v současné době postupně doplňuje a vzdušná strana zemní hráže je zahumusovaná. Správce VS Liptovská Mara nemá povědomí o jiných VD s použitím hledaného typu opevnění.
	Bešeňová	
POVODIE HRONU	Hriňová	Na hrázi VD nebyly použity uvedené materiály.
	Ružiná	Nezjištěno.
	Málinec	Opevnění návodních svahu VN Málinec je provedeno čistě kamenným záhozem se strojním (bagrem) urovnáním líce tloušťky 80 cm. Opevnění je od počátku provozu (1994) dosud bez oprav, ačkoliv dochází na úrovni max. provozní hladiny vlnobitím k jeho místním deformacím.
	Klenovec	Nezjištěno.
	Teplý vrch	Hráz nebyla stavěná uvedenou technologií.
	Ľuboreč	Správce VD nemá informace o realizovaných opevňovacích prvcích s využitím uvedené technologie.
	Krupiná	Na hrázi VD Krupiná nebyly použity uvedené materiály. P. Viliam Hollý (Správa povodia stredného Hrona – prevádzkové stredisko Krupina, vedúci prevádzkového úseku) <b>potvrdil použití uvedené technologie na VD Sebechleby.</b>
POVODIE BODROGU A HORNADU	Bukovec I	Ani jedna z vodních nádrží ve správě Povodie Bodrogu a Hornadu nemá přehradní hráz s opevněním návodního svahu při které by byla použita obdobná technologie.
	Bukovec II	
	Veľká Domaša	
	Starina	
	Vihorlat	

Obdobná úprava byla tedy zjištěna pouze na **VD Sebechleby** (okres Krupina, výstavba v letech 1970 – 1973).



### 5.3 Realizace v zahraničí

V zahraničí je opevnění hrází pomocí kombinace kameniva různých frakcí a asfaltu poměrně běžné. Kromě návodního líce zemních hrází se používají i pro zpevnění mořských břehů, nebo zvýšení odolnosti vzdušního líce proti přelití u ochranných hrází.

V zahraničí však používají odlišnou technologii. Nejedná se o prolévání již uloženého kameniva mastixem, nebo obdobným materiálem, ale o ukládání finální směsi kameniva a pojiva za tepla [ICOLD, Bulletin 91, 1993]. Různé složení směsi pak ovlivňuje její výslednou pevnost, propustnost, drsnost povrchu, apod.



Obr. 8 Rekonstrukce návodního líce vodárenské nádrže Rivelin Dam ve Velké Británii  
[zdroj: Hesselberg Hydro, Ltd.]

### 5.4 Realizované rekonstrukce

V České republice a na Slovensku bylo zjištěno 7 vodních děl (včetně VD Letovice) s obdobnou úpravou opevnění návodního líce. Všechny byla zbudována v letech 1968 – 1988. Z nich u 4 byly v posledních 10-ti letech zaznamenány poruchy opevnění návodního líce.

#### 5.4.1 VD Opatovice

Koruna hráze je zpevněna obslužnou komunikací se zídou na návodní straně. Svahy hráze mají sklon 1 : 1,3 a jsou přerušeny několika lavičkami. Na pravém břehu je umístěn i nehrazený boční přeliv s délkou přelivné hrany 31 m a s kapacitou 36 m<sup>3</sup>/s při maximální hladině. Přepadající voda je odváděna spadištěm a skluzem do vývaru pod hrází. Hráz je kamenitá se středním hlinitým těsnicím jádrem, které je do podloží zavázáno betonovým injekčním blokem.

Návodní líc hráze byl době výstavby zpevněn vrstvou makadamu prolévanou asfaltem. V průběhu provozu vodního díla došlo k postupné degradaci opevnění svrchní vrstvy v místě nejčastějšího pohybu hladiny. V roce 2002 proto proběhla rekonstrukce návodního líce hráze. Byla použita

technologie stříkaného betonu s výztuží z kari sítě [Povodí Moravy, s.p., 2002].

Parametry líce hráze byly ponechány dle provedení z roku 1976 s lavičkou o proměnné šířce 90 - 250 cm na kótě 333,50 tj. 10 cm nad úroveň bezpečnostního přepadu. Svah pod i nad lavičkou byl proveden ve sklonu 1 : 1,3. Sanace byla provedena v pruhu od kóty 332,60 po kótu 333,85 m n.m. a zahrnovala pruh šířky 150 cm pod lavičkou, vlastní lavičku a 60 cm šikmé výšky nad úroveň lavičky.

Návodní líc byl opraven v celé délce hráze tj. 160 m. Pro sanaci návodního líce byl použit následující technologický postup:

- 1) Vyčištění hráze od organických látek a naplavených dřevin,
- 2) omytí konstrukce tlakovou vodou s rotační tryskou do 230 bar,
- 3) provedení adhezního můstku z hydroizolační sanační silikátové hmoty IZOETRIN,
- 4) torkretáž kaveren speciální betonovou směsí NOVA 40 suchou cestou o tl. 6 bar,
- 5) osazení sítě KARI 6,3 x 150 x 150 mm,
- 6) torkretáž směsí NOVA 40 do tvaru hráze a krytím výztuže min. 3 cm suchou cestou o tl. 6 bar,
- 7) řezání dilatací.

Použitá betonová směs NOVA 40 se skládala z kameniva, portlandského cementu 42,5 R, portlandského bezsádrovcového cementu a pitné vody. Směs neobsahovala žádné chemické přísady, které by mohly ohrozit kvalitu pitné vody.



Obr. 9 Umístění KARI sítě v sanované části návodního líce [zdroj: Povodí Moravy, s.p.]





Obr. 10 Betonáž sanované části návodního líce [zdroj: Povodí Moravy, s.p.]



Obr. 11 Pohled na hotovou sanaci návodního líce [zdroj: Povodí Moravy, s.p.]





Obr. 12 Celkový pohled na hotovou sanaci návodního líce [zdroj: Povodí Moravy, s.p.]

Tento způsob sanace porušeného návodního líce je nestandardní a v případě umístění mimo lavičku by byl technicky obtížně řešitelný z důvodu zajištění stability železobetonové desky. Ani z pohledu začlenění hráze vodního díla do krajiny není tento způsob rekonstrukce příliš vhodný.

Z výše uvedených důvodů tedy toto řešení **nedoporučujeme používat při rekonstrukci návodního líce VD Letovice.**

#### 5.4.2 VD Slušovice

Vodárenská nádrž Slušovice na toku Dřevnice se nachází nad obcí Slušovice, nad soutokem Dřevnice s Trnávkou. Vodní dílo zajišťuje vodu pro úpravnu vody nacházející se ve Slušovicích, zabezpečuje minimální průtok v toku pod nádrží, má vliv na snížení povodňových průtoků a slouží také k výrobě elektrické energie.

Hráz je zemní sypaná, se středním jílovým těsněním. Do podloží hráze je těsnicí jádro zavázáno jílovcementovou těsnicí membránou, na kterou navazuje injekční clona. Koruna hráze má šířku 4 m a vede po ní obslužná komunikace. Návodní svah hráze je opevněn hrubým štěrkem prolitým mastyxem, vzdušní líc je oset trávou. V nádrži u hráze levého břehu se nachází odběrná věž.

Opevnění návodního líce je původní s drobnými opravami. Ty bylo nutné provést v místech lokálních poruch obdobného charakteru jako na VD Letovice. Tyto poruchy se nacházejí v místech nejčastějšího pohybu hladin. Opravy jsou prováděny zasypáním lomovým kamenem do 25 kg.

Tento způsob sanace porušeného návodního líce je možné použít jako krátkodobé řešení v případě lokálních poruch. **Pro opravu takového rozsahu jako u VD Letovice je toto řešení nedostatečné.**





Obr. 13 Celkový pohled na návodní líc VD Slušovice



Obr. 14 VD Slušovice – detail návodního líce, vegetace v porušeném místě





Obr. 15 VD Slušovice – místo poruchy sanované lomovým kamenem

#### 5.4.3 VD Sebechleby

Vodní dílo Sebechleby se nachází na Belujskom potoce v ř. km 9,700. Vodní dílo má sypanou zemní homogenní hráz ze sprašových hlín a je opatřeno sruženým objektem pro manipulaci s hladinou v nádrži a pro převádění velkých vod. Výstavba vodního díla probíhala v letech 1970 až 1973 a dílo bylo uvedeno do provozu v roce 1974. Vlastníkem díla byla po jeho dokončení Státní meliorační správa, později bylo předáno do správy Povodí Hronu (Provozní středisko Krupíná). Projektantem vodního díla byl Hydroprojekt n.p. (Divize Brno). Jedná se o relativně malou nádrž s celkovým

Copyright © Pöyry Environment a.s.



objemem 565 883 m<sup>3</sup> vody.

Návodní svah hráze je opevněn hrubým štěrkem prolitým mastyxem. Tato ochranná vrstva byla v průběhu provozu díla na některých místech porušena. Sanace proběhla nejdříve pomocí asfaltobetonu. Tento způsob se ale neosvědčil, nová vrstva se rozpadala. Druhá sanace byla provedena zasypáním makadamem frakce 63-120 ručně prolévaným asfaltem a posypaným štěrkem frakce 4-8 mm. Takto opravená místa jsou v provozu až do současnosti.



Obr. 16 VD Sebechleby – návodní líc a sdružený objekt [zdroj: [www.mosrzkrupina.sk](http://www.mosrzkrupina.sk)]



Obr. 17 VD Sebechleby – návodní líc [zdroj: [www.mosrzkrupina.sk](http://www.mosrzkrupina.sk)]

## 6 MOŽNOSTI OPRAV

### 6.1 Možná technická řešení

#### 6.1.1 Požadavky na opevnění návodního svahu hráze dle ČSN 75 2310

Opevnění návodního svahu hráze musí chránit hráz před účinky vln, ledu, povětrnosti a před jinými rušivými vlivy.

S rušivými účinky větrových vln se počítá nejméně od úrovně dané kótou hladiny stálého nadržení zmenšené o polovinu výšky vlny, po úroveň danou kótou maximální hladiny při převedení kontrolní povodňové vlny zvětšenou o výšku výběhu postupové vlny na svah.

Opevnění návodního svahu nesmí být ohroženo tlakem vody, vytékající z tělesa hráze při poklesu hladiny v nádrži, a musí být stabilní vůči usmyknutí po svahu. Jeho funkce a stabilita nesmí být porušena při sedání hráze.

Opevnění návodního svahu musí být odolné vůči případným agresivním účinkům vody v nádrži.

Opevnění se spolehlivě zaváže do svahů a dna údolí. Opevnění dlažbou se opře o kamenný nebo betonový prvek (práh, pas apod.).

V případě nutnosti se přilehlé svahy nádrže opevní, např. obdobně jako návodní svah hráze, do takové vzdálenosti od návodní paty, aby nebyla ohrožena stabilita návodního svahu.

Druh a tloušťka opevnění se navrhne na základě výpočtu podle povahy a intenzity namáhání. Přitom je nutno přihlédnout k využití materiálů, které jsou v blízkosti přehradního místa. (Konstrukční úpravu jednotlivých druhů opevnění návodního svahu je možno navrhnout podle TNV 75 2103).

Betonové opevnění z desek větších rozměrů je třeba vybavit tak, aby bylo umožněno vytékání vody z tělesa hráze. Tuto funkci mohou plnit i netěsněné spáry mezi deskami. Otvory se zajistí proti vyplavování podkladu.

Opevnění se uloží na podložní vrstvu, která má povahu filtru. Tuto vrstvu je možno vynechat jen tehdy, pokud její funkci může plnit sypanina stabilizační částí.

U opevnění betonovými deskami (prefabrikáty) musí mít střední zrna podkladní vrstvy průměr v rozsahu dvojnásobku až trojnásobku šířky spáry mezi deskami.

#### 6.1.2 Způsoby opevnění

Mezinárodní přehradní výbor (ICOLD) definuje v bulletinu zabývajícím se opevněním návodního líce u zemních hrází [ICOLD, *Bulletin 91*, 1993] definuje následující možné způsoby opevnění:

- kamenný zához,
- kamenná rovnanina,
- kamenná rovnanina zpevněná cementovou maltou,
- válcovaný beton,
- betonové panely, prefabrikáty,
- asfaltobeton,
- gabiony, gabionové matrace,
- ocelové a dřevěné pláště.

Z těchto způsobů opevnění mají všechny své klady i zápory. Některé z nich stručně uvádíme:

##### Kamenný zához

Tradiční a trvanlivé řešení. Je nutná relativně silná vrstva závislá na velikosti zrna. Pro dodržení podmínek filtrační stability většinou vyžaduje použití filtrů (příp. v kombinaci s geotextilií) pro přechod mezi záhozem a stabilizační částí hráze. Bezproblémové začlenění hráze vodního díla do krajiny.



**Kamenná rovnanina**

Tradiční a trvanlivé řešení. Oproti kamennému záhozu je provedení dražší díky nutnosti ruční práce. Pro dodržení podmínek filtrační stability většinou vyžaduje použití filtrů (příp. v kombinaci s geotextilií) pro přechod mezi rovnaninou a stabilizační částí hráze. Bezproblémové začlenění hráze vodního díla do krajiny.

**Válcovaný beton (RCC)**

Není vhodný pro dodatečnou rekonstrukci, protože se ukládá ve vodorovných vrstvách za využití těžké mechanizace. Nevhodný z pohledu začlenění hráze vodního díla do krajiny.

**Směs zeminy a cementu (soil-cement)**

Není to řešení tradičně používané v České republice. Lze použít v případě nedostatku jiných materiálů k opevnění návodního líce. Není vhodný pro dodatečnou rekonstrukci, protože se ukládá ve vodorovných, relativně širokých vrstvách za využití těžké mechanizace.

**Betonové panely, prefabrikáty**

Jsou cenově nákladné. Plnostěnné betonové panely mohou být ohroženy tlakem vody vytékajícím z tělesa hráze při poklesu hladiny v nádrži. Dále nejsou vhodné z pohledu začlenění hráze vodního díla do krajiny.

**Asfaltobeton**

Využití většinou zároveň jako návodní těsnění. Nevhodné z pohledu začlenění hráze vodního díla do krajiny.

**Gabiony, gabionové matrace**

Nejsou to materiály používané tradičně k opevnění návodního líce. Nedostatečné životnost drátěných košů v tomto prostředí. Při kombinaci silného ledu a změně polohy hladiny hrozí jejich porušení.

**Ocelové a dřevěné pláště**

Nejsou to materiály tradičně používané v České republice. Dřevo vykazuje v případě trvalého zatopení velkou životnost. V případě častých změn suchého a mokrého prostředí rychle degraduje. Ocelové pláště jsou poměrně drahé, vyžadují zvýšenou péči o povrchovou úpravu a je u nich riziko zcizení tzv. „sběrači kovů“.

**6.1.3 Navržené řešení**

Vhodné technické řešení rekonstrukce opevnění VD Letovice bylo vybíráno s ohledem na následující kritéria:

- trvanlivost,
- odolnost proti větrovným vlnám,
- odolnost proti působení ledu,
- náklady,
- zkušenosti z jiných vodních děl,
- možnost provedení u stávající hráze,
- sedání hráze,
- začlenění do krajiny.

Z možných řešení se jako nejvhodnější způsob opevnění návodního líce VD Letovice jeví kamenná rovnanina nebo kamenný zához. Provedení kamenné rovnaniny je dražší díky větší pracnosti. Oproti kamennému záhozu však nemusí být uložena v tak silné vrstvě, což je vhodnější pro napojení na

vlnolam.

Po konzultaci těchto variant s objednatelem **doporučujeme provést rekonstrukci opevnění návodního líce VD Letovice pomocí kamenné rovnaniny.**

Opevnění kamennou rovnaninou bude provedeno od úrovně 347,59 m n.m., tj. od lavičky na vrcholku kamenné návodní patky hráze, až po korunu hráze, respektive po vlnolam. Mezery mezi kameny budou vyplněny a vyklínovány menšími kameny. Kameny budou zavázány v podélném i příčném směru (běhouny a vazáky). Mezi kamennou rovnaninou a stabilizační částí tělesa hráze budou vrstvy filtrů odpovídajícího zrnitostního složení, jako ochrana před filtračními deformacemi. Použití geotextilií se vylučuje. Návodní líc bude možno navýšit nad současnou úroveň s ohledem na skladbu opevnění a napojení na vlnolam.

Návrh velikosti použitého kameniva vychází z výšky větrových vln dle [VD-TBD, 2009], kde charakteristická výška  $h_c = 0,749$  m. ICOLD doporučuje v bulletinu zabývajícím se opevněním návodního líce u zemních hrází [ICOLD, *Bulletin 91, 1993*] pro tuto výšku vlny (u zemních hrází se sklonem návodního líce 1 : 2 až 1 : 4) opevnění kamenným záhozem o průměru zrna  $D_{50} = 0,3$  m, maximální hmotnosti jednoho kamene 230 kg a vrstvě tloušťky 0,45 m.

Česká technická norma pro sypané přehradní hráze ČSN 75 2310 odkazuje u návrhu opevnění návodního líce hráze na TNV 75 2103, která požaduje pro zához z lomového kamene minimální tloušťkou  $H_{min}$  2x větší než průměr efektivního zrna  $d_{ef}$ . Starší literatura, např. [Raplík, Výbora, Mareš, 1989], většinou uvádí požadavek minimální tloušťky 3x větší než průměr efektivního zrna  $d_{ef}$ . Pro kamennou rovnaninu norma minimální tloušťku nestanovuje. Požaduje pouze zavázání kamenů v podélném i příčném směru (běhouny a vazáky) a velikost kamene minimálně 0,2 m.

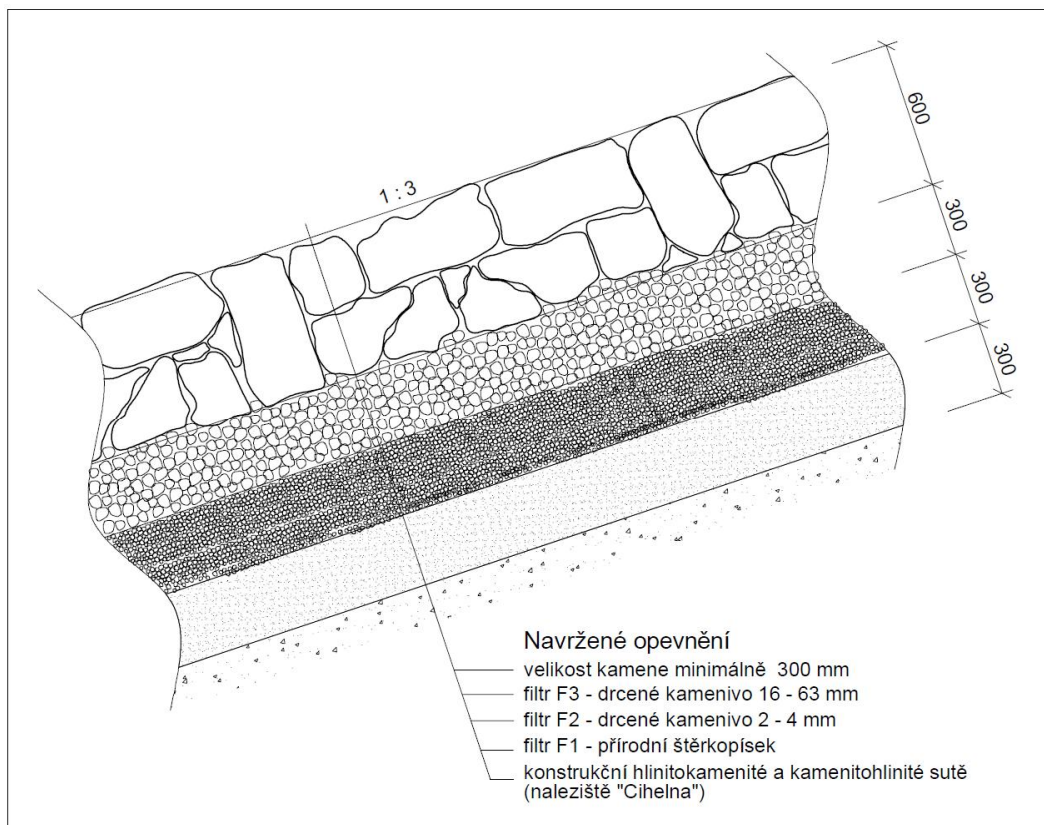
S přihlédnutím ke všem výše zmíněným podkladům navrhujeme následující parametry kamenné rovnaniny:

- velikost kamene minimálně 0,3 m,
- tloušťka vrstvy 0,6 m,
- 3 filtry F1, F2 a F3.

Předběžná charakteristika filtrů:

- F1 - na styku se stabilizační částí hráze (hlinitokamenité sutě) – přírodní štěrkopísek, tloušťka vrstvy 0,3 m,
- F2 – drcené kamenivo 2 – 4 mm, tloušťka vrstvy 0,3 m,
- F3 - drcené kamenivo 16 – 63 mm (kombinace frakcí 16 – 32 mm a 32 – 63 mm), tloušťka vrstvy 0,3 m,

Přesný počet a složení filtrů bude stanoven v dalších stupních projektové dokumentace a bude doložen výpočtem na základě velikosti zrn kamenné rovnaniny a na základě granulometrické křivky vzorků odebraných ze stabilizační části návodní strany hráze.



Obr. 18 Řez vrstvami navrhovaného opevnění návodního líce VD Letovice

## 6.2 Cenové zhodnocení

Bylo provedeno jednoduché cenové zhodnocení [Tab. 3] navržené varianty dle ceníku *URS Praha 2013/I*. Do jednotkových cen nejsou započítány náklady na přesuny hmot.

Pro možnost srovnání byla výsledná varianta, tj. opevnění kamennou rovnalinou porovnávána s dalšími dvěma uvažovanými variantami (kamenný zához, gabionové matrace):

- kamenná rovnalina -  $H = 0,6$  m, filtry F1, F2 a F3,
- kamenný zához -  $H = 0,9$  m, filtry F1, F2 a F3,
- gabionové matrace -  $H = 0,3$  m, filtry F1, F2 a F3.

Charakteristika filtrů:

- F1 - přírodní štěrkopísek, tloušťka vrstvy 0,3 m,
- F2 - drcené kamenivo 2 – 4 mm, tloušťka vrstvy 0,3 m,
- F3 - drcené kamenivo 16 – 63 mm (kombinace frakcí 16 – 32 mm a 32 – 63 mm), v případě gabionových matic drcené kamenivo 16 – 32 mm, tloušťka vrstvy 0,3 m,



Tab. 3 Cenové zhodnocení

	Rozměry			Cena							
	Tl. opevnění	Tl. 1 filtru	Celk. plocha	Opevnění	Urovnání	Filtr F1	Filtr F2	Filtr F3	Celkem za 1 m <sup>2</sup>	Celkem	Srovnání nákladů
	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[Kč/m <sup>3</sup> ]	[Kč/m <sup>2</sup> ]	[Kč/m <sup>3</sup> ]	[Kč/m <sup>3</sup> ]	[Kč/m <sup>3</sup> ]	[Kč]	[mil.Kč]	[%]
Kamenná rovinanina	0,6	0,3	5250	2130	100	579	875	861	2073	10,88	100
Kamenný zához	0,9	0,3	5250	1320	112	579	875	861	1995	10,47	96
Gabionové matrace	0,3	0,3	5250	2800	0	579	875	861	1535	8,06	74

Navržená oprava pomocí kamenné rovinaniny je nákladnější oproti dalším dvěma uvedeným způsobům řešení. Nicméně cena úpravy je pouze jedno z posuzovaných kritérií. Ve většině z nich je pak kamenná rovinanina nejvhodnější. Proto ji doporučujeme navzdory vyšším nákladům na vybudování.

## 7 ZÁVĚR – DOPORUČENÍ

Byla provedena rešerše oprav návodního líce u vodních děl v České republice, na Slovensku a zběžně i v zahraničí, u kterých bylo použito shodné technické řešení návodního opevnění, jako u VD Letovice (tj. makadam prolitý mastixem). Bylo zjištěno, že tato technologie není příliš rozšířená. Bylo nalezeno celkem 6 VD (včetně VD Letovice) v České republice a 1 VD na Slovensku, u kterých bylo prokázáno užití obdobné technologie pro opevnění návodního líce hráze. V zahraničí je využití mastixu pro opevnění návodního líce hrází rozšířenější, jedná se ale o odlišnou technologii.

U 3 z nalezených VD došlo v průběhu provozu k poruchám opevnění návodního líce podobného charakteru, jakou VD Letovice. Tyto poruchy byly sanovány různými způsoby, přičemž bylo jednou zvoleno komplexní řešení a 2x pouze sanace lokálních poruch. Žádný ze zjištěných způsobů ale nebyl vyhodnocen jako vhodný pro použití u VD Letovice.

Součástí rešerše je dále seznam možných úprav návodního opevnění u zemních hrází a posouzení v úvahu připadajících variant opravy v případě VD Letovice. Byly porovnány všechny varianty technické řešení opevnění návodního líce u zemních hrází doporučené mezinárodním přehradním výborem [ICOLD, Bulletin 91, 1993]. Podle zvolených kritérií pak byla hledána úprava vhodná k použití v podmínkách VD Letovice.

Jako nejvhodnější způsob pak bylo doporučeno provést rekonstrukci opevnění návodního líce VD Letovice pomocí kamenné rovinaniny. Návrh uvažuje 0,6 m širokou vrstvu kamenné rovinaniny se zavázáním kamenů v podélném i příčném směru a velikost kamene minimálně 0,3 m. Jako podložní vrstva byly předběžně navrženy 3 vrstvy filtrů po 0,3 m. Přesný počet a složení filtrů bude stanoven v dalších stupních projektová dokumentace.

V Brně, březen 2013

Ing. Marek Čejda