



# BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

## FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

FAKULTA STAVEBNÍ

## INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

# PROJEKT OPRAVY ASFALTOBETONOVÉHO TĚSNICÍHO PLÁŠTĚ SYPANÉ PŘEHRADY

## DIPLOMA THESIS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

### AUTHOR

AUTOR PRÁCE

Bc. Kryštof Dostál

### SUPERVISOR

VEDOUČÍ PRÁCE

prof. Ing. JAROMÍR ŘÍHA, CSc.

BRNO 2022

## **ABSTRACT**

This diploma thesis deals with the design of repairs to the asphalt concrete facing of the upper reservoir of the pump-storage power station Dlouhé Strána. The first part summarizes the knowledge about asphalt concrete facings, experience from foreign constructions and a description of the damage on this hydraulic structure. The second part defines the variants of repairs and the selection of the most suitable on the basis of decision analysis.

## **KEYWORDS**

pumped-storage power station, asphalt concrete, facing, upper reservoir, damage of the asphalt concrete facings

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá návrhem možností oprav asfaltobetonového plášťového těsnění na horní nádrži přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně. První část shrnuje poznatky o asfaltobetonových těsnicích pláštích, zkušenosti ze zahraničních vodních děl a popisem poškození vyskytujících se na tomto vodním díle. V druhé části jsou vymezeny varianty oprav a výběr té nejvhodnější na základě rozhodovací analýzy.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Přečerpávací vodní elektrárna, asfaltobeton, plášťové těsnění, puchýře, horní nádrž, poškození asfaltobetonových těsnicích plášťů



# Obsah

|          |                                                       |           |
|----------|-------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>ÚVOD</b>                                           | <b>6</b>  |
| 1.1      | Cíl a předmět práce                                   | 7         |
| 1.2      | Popis lokality                                        | 7         |
| 1.3      | Dotčená ochranná pásma a chráněná území               | 8         |
| 1.4      | Klimatické poměry lokality                            | 8         |
| 1.5      | Základní údaje a hlavní parametry HN [3]              | 9         |
| <b>2</b> | <b>TERMÍNY A DEFINICE</b>                             | <b>11</b> |
| <b>3</b> | <b>PLÁŠŤOVÁ TĚSNĚNÍ SYPANÝCH HRÁZÍ</b>                | <b>13</b> |
| 3.1      | Asfaltobetonové těsnění                               | 13        |
| 3.2      | Betonové těsnění                                      | 14        |
| 3.3      | Plastové folie                                        | 14        |
| 3.4      | Další materiály plášťových těsnění                    | 15        |
| <b>4</b> | <b>DRUHY AB PLÁŠŤOVÝCH TĚSNĚNÍ</b>                    | <b>16</b> |
| <b>5</b> | <b>POŽADAVKY NA AB PLÁŠŤ</b>                          | <b>17</b> |
| 5.1      | Ochranná vrstva                                       | 17        |
| 5.2      | Těsnicí vrstva                                        | 17        |
| 5.3      | Drenážní vrstva                                       | 17        |
| 5.4      | Spojovací vrstva                                      | 18        |
| 5.5      | Podkladní vrstva                                      | 18        |
| 5.6      | Vyrovnávací vrstva                                    | 18        |
| 5.7      | Napojení na objekty                                   | 18        |
| 5.8      | Provádění AB plášťů                                   | 18        |
| 5.9      | Doprava asfaltové směsi                               | 19        |
| 5.10     | Ukládání směsi                                        | 19        |
| 5.10.1   | <i>Pokládka na dno</i>                                | 19        |
| 5.10.2   | <i>Pokládka na svah</i>                               | 19        |
| 5.11     | Hutnění                                               | 20        |
| <b>6</b> | <b>Skladba pláště HN VD Dlouhé Stráně</b>             | <b>21</b> |
| 6.1      | Původní skladba pláště                                | 21        |
| 6.2      | Skladba pláště po rekonstrukci v roce 2007 (současná) | 21        |
| <b>7</b> | <b>Poruchy AB plášťů</b>                              | <b>25</b> |
| 7.1      | Projevy poruch AB plášťů                              | 25        |
| 7.1.1    | <i>Bodová poškození</i>                               | 25        |
| 7.1.2    | <i>Poškození mastixu</i>                              | 27        |
| 7.2      | Teorie vzniku bodových poruch                         | 28        |

|           |                                                                             |           |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>8</b>  | <b>Současné vady těsnění HN.....</b>                                        | <b>30</b> |
| 8.1       | Bodová poškození v těsnicím plášti.....                                     | 30        |
| 8.1.1     | Četnost puchýřů.....                                                        | 30        |
| 8.1.2     | Prostorové rozdělení puchýřů.....                                           | 30        |
| 8.2       | Stav drenážního systému.....                                                | 32        |
| <b>9</b>  | <b>Opravy provedené na HN .....</b>                                         | <b>34</b> |
| 9.1       | Lokální opravy puchýřů .....                                                | 34        |
| 9.2       | Obnova ochranného nátěru .....                                              | 34        |
| 9.3       | Oprava prosednutí pláště .....                                              | 35        |
| 9.4       | Oprava pláště v roce 2007 .....                                             | 36        |
| 9.5       | Přetěsnění vtokového objektu .....                                          | 38        |
| <b>10</b> | <b>Zkušenosti s poškozením plášťů na zahraničních VD .....</b>              | <b>39</b> |
| 10.1      | PVE Porabka – Žar.....                                                      | 39        |
| 10.2      | Längental .....                                                             | 40        |
| 10.4      | PVE Markersbach.....                                                        | 42        |
| 10.5      | PVE Zhanghewan .....                                                        | 42        |
| <b>11</b> | <b>Posouzení příčin vzniku bodových poškození na VD Dlouhé Stráně .....</b> | <b>44</b> |
| 11.1      | Způsob posouzení.....                                                       | 44        |
| 11.2      | Výčet jevů podílejících se na vzniku poškození v těsnicím plášti .....      | 44        |
| 11.2.1    | Difúzní jevy.....                                                           | 44        |
| 11.2.2    | Kapilarita .....                                                            | 45        |
| 11.2.3    | Průnik tlakové vody do vrstvy z ACVH.....                                   | 45        |
| 11.2.4    | Působení ledu v zimním období .....                                         | 45        |
| 11.2.5    | Klimatické a provozní podmínky.....                                         | 45        |
| 11.2.6    | Složení AB směsi.....                                                       | 46        |
| 11.2.7    | Technologie provádění.....                                                  | 46        |
| 11.2.8    | Skladba podkladních vrstev .....                                            | 46        |
| 11.2.9    | Frézování, tloušťka AB pláště .....                                         | 46        |
| <b>12</b> | <b>VYMEZENÍ A POPIS VARIANT OPRAVY .....</b>                                | <b>47</b> |
| 12.1      | Způsob vyhodnocení výhodnosti vybraných řešení .....                        | 47        |
| 12.2      | Výčet a popis variant oprav .....                                           | 52        |
| 12.2.1    | Varianta 0 – Současný stav pláště.....                                      | 52        |
| 12.2.2    | Varianta 1.1 – Obnova vrstvy z ACVH dle rekonstrukce z roku 2007.....       | 54        |
| 12.2.3    | Varianta 1.2 – Překrytí současné konstrukce vrstvou z ACVH .....            | 56        |
| 12.2.4    | Varianta 1.3 – Obnova vrstev z ACVM a ACVH.....                             | 59        |
| 12.2.5    | Varianta 1.4 – Obnova drenážní vrstvy a vrstev z ACVM a ACVH .....          | 61        |
| 12.2.6    | Varianta 1.5 – Odstranění vrstvy ACVH a pokládka vrstev ACVM a ACVH.....    | 65        |

|           |                                                                                      |           |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 12.2.7    | <i>Varianta 2.1 – Položení vrstev z ACVM a ACVH na současnou konstrukci .....</i>    | <i>68</i> |
| 12.2.8    | <i>Varianta 2.2 – Odstranění vrstvy ACVH a položení dvouplášťové konstrukce.....</i> | <i>71</i> |
| 12.3      | Vyhodnocení optimálního řešení .....                                                 | 74        |
| <b>13</b> | <b>Závěr a doporučení .....</b>                                                      | <b>76</b> |

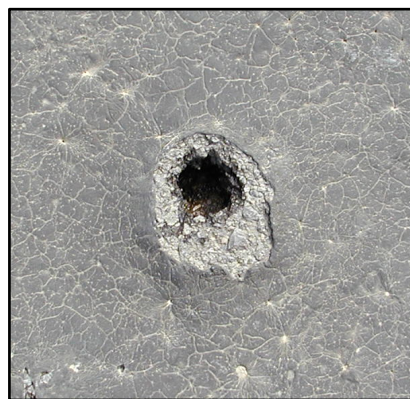
# 1 ÚVOD

Elektrizační soustava (ES) je vlivem nepravidelné spotřeby a výroby elektrické energie nerovnoměrně zatěžována. Nerovnoměrnost ve spotřebě je dána jednak denním cyklem člověka, jednak výrobou v průmyslových podnicích. Nerovnoměrnost ve výrobě elektrické energie je dána převážně nízkou regulovatelností elektráren vyrábějících elektřinu spalováním fosilních a jaderných paliv a s přibývajícím tlakem na rozvoj obnovitelných zdrojů hraje čím dál větší roli také nahodilá dostupnost přírodních zdrojů jako je síla větru nebo intenzita slunečního záření. Jako regulační prvek, který je schopný tyto nerovnoměrnosti pokrýt, se v elektrizačních soustavách po celém světě využívají přečerpávací vodní elektrárny (PVE), které v době nadbytku elektrické energie přečerpávají vodu do výše položené nádrže a v době energetické špičky elektrickou energii v opačném režimu vyrábí. PVE plní také další funkce jako je regulace napětí, řízení kmitočtu ES a slouží jako poruchová rezerva ES. V České republice tyto funkce plní PVE Štěchovice II s instalovaným výkonem 45 MW, PVE Dalešice s instalovaným výkonem 480 MW a PVE Dlouhé Stráně s instalovaným výkonem 650 MW. PVE Dlouhé Stráně je tak nejvýkonnější vodní elektrárnou v České republice a se svými cca 3700 MWh [1] kapacity také největším úložištěm energie.

PVE Dlouhé Stráně se skládá z těchto hlavních stavebních objektů [2]:

- Horní nádrž (HN) se vtokovým onjektem
- Dolní nádrž (DN)
- Tlakové přivaděče
- Podzemní elektrárna
- Komora traf
- Sdružený objekt DN

Následující text se věnuje pouze objektu HN a jejímu těsnění. Těsnicím prvkem na HN je návodní plášťové asfaltobetonové (AB) těsnění, jehož skladba je popsána v kapitole 6.2. Těsnicí plášť HN se již od roku 2001, tj. po 4 letech trvalého provozu, potýká s poškozením bodového charakteru (Obr. 1.1). První projevy bodového poškození ve formě puchýřů byly na těsnicím plášti zjištěny při technickobezpečnostní prohlídce v říjnu 2001 v řádu stovek kusů [3]. Šlo o porušení těsnicí vrstvy otvorem do hloubky 50 mm v rozsahu kolísání hladiny. V roce 2007 byla z důvodů pokračujícího rozvoje tohoto poškození provedena rozsáhlá rekonstrukce, při níž byla zcela nahrazena těsnicí AB vrstva v rozsahu celého návodního svahu. Již v květnu roku 2011, tedy opět po cca 4 letech od obnovy těsnicí vrstvy, se bodová poškození stejného charakteru objevila na zrekonstruovaném plášti znovu. V některých místech dosahují hloubky otvorů projektované tloušťky těsnicí vrstvy pláště, průsakový režim tím však zatím



*Obr. 1.1: Otevřený puchýř HN  
Dlouhé Stráně [24]*

není prakticky ovlivněn. Tento problém ovlivňuje provoz elektrárny a bude-li ignorován nebo nebude-li včas podchycen, může při pokračujícím rozvoji dojít ke zvýšeným průsakům vody do drenážního systému hráze, následnému vyplavování materiálu podsypných vrstev a k ohrožení bezpečnosti vodního díla (VD). Vzhledem k těmto skutečnostem bylo doporučeno co nejdříve zahájit přípravné činnosti vedoucí k nápravě dle schváleného technologického postupu.

## **1.1 Cíl a předmět práce**

Jak bylo v úvodu shrnuto, PVE Dlouhé Stráně se potýká s rozsáhlým poškozením AB pláště bodového charakteru, které ohrožuje bezpečnost VD. V této diplomové práci bude zpracována technicko-variantní studie opravy AB těsnicího pláště na HN PVE Dlouhé Stráně. Následující kapitoly budou věnovány převážně popisu charakteru bodového poškození, stručnému rozboru možných příčin jejich vzniku a výčtu jednotlivých potenciálních variant opravy AB pláště. Cílem této práce je všechny varianty na základě vybraných kritérií ohodnotit a pomocí rozhodovací analýzy vybrat z hlediska hodnocených kritérií tu nejvhodnější.

## **1.2 Popis lokality**

PVE Dlouhé Stráně je umístěna na severní Moravě v Olomouckém kraji, v okrese Šumperk. Lokalita je vysokohorského charakteru a nachází se v zalesněné části pohoří Hrubého Jeseníku. Celé vodní dílo spadá do katastrálního území Rejhotice [687103], pouze malá část obslužné komunikace vedoucí okolo HN spadá do katastrálního území Vernířovice u Sobotína [780235].

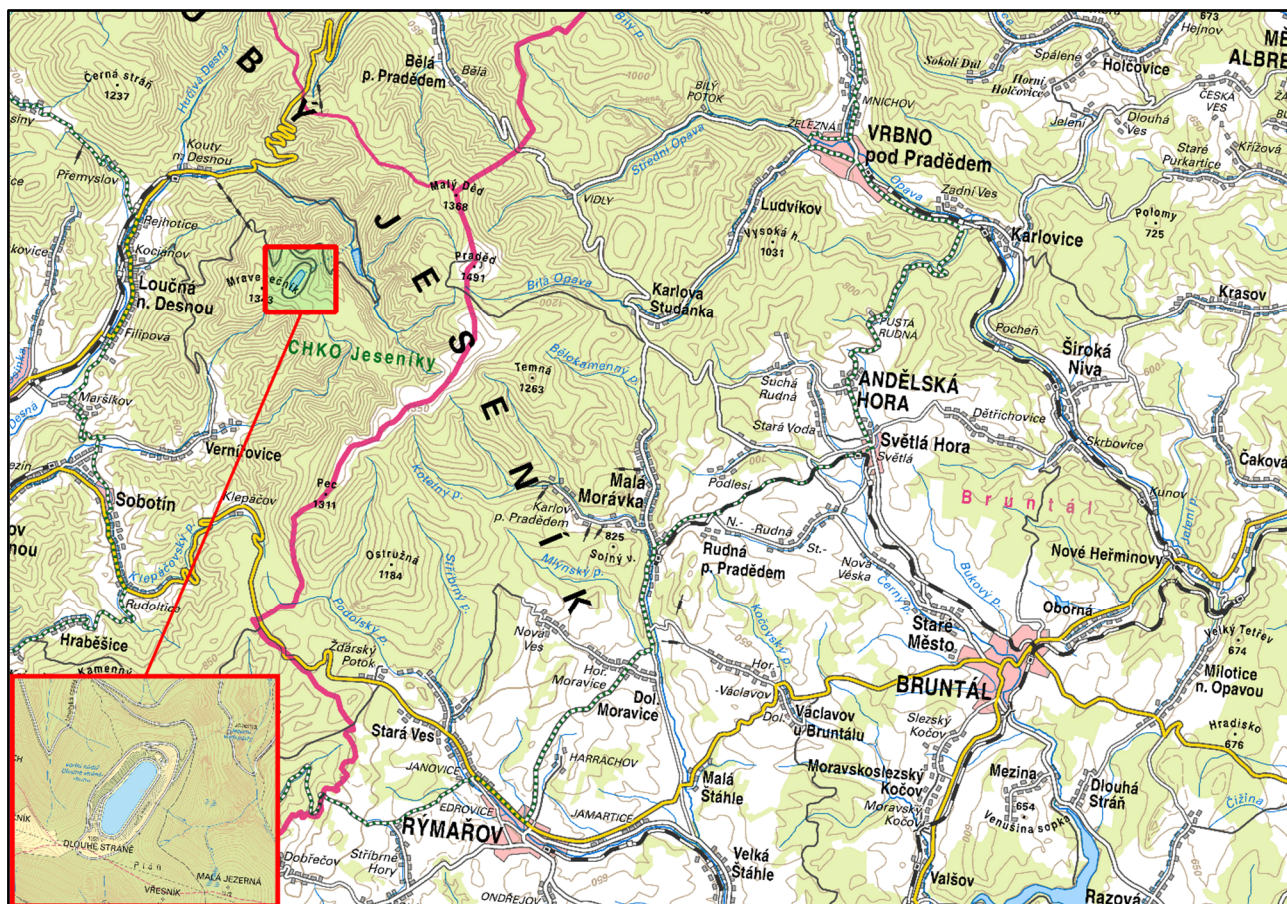
DN PVE Dlouhé Stráně se nachází na 37,94. km toku Divoká Desná a jde o klasickou údolní nádrž, který vznikla přehrazením přirozeného vodního toku. V daných geologických a morfologických podmínkách byla hráz navržena a realizována jako sypaná kamenitá s návodním AB těsněním [2].

HN je umístěna v nadmořské výšce 1350 m n.m. na vrcholu centrálního hřebenu, který začíná pod Petrovými kameny a končí Mravenečnickem [2]. HN nesymetrického oválného tvaru vznikla nasypáním obvodové hráze z kamenitého materiálu vytěženého z prostoru nádrže [3]. Jde o umělou nádrž bez přirozeného přítoku. Rozměry nádrže vycházejí z morfologie terénu a energetické potřeby, která byla stanovena potřebnou dobou turbínového provozu. Materiál hráze je biotitická rula v různém stupni magmatizace a nepodstatnými vložkami pegmatitu [2]. Návodní svahy jsou opatřeny plášťovým AB těsněním, které je uloženo souvisle také na dně nádrže a je navázáno na vtokový objekt horní nádrže.

Podzemní elektrárna, včetně souvisejícího systému tunelů a štol, je umístěna v levobřežním masivu říčního údolí. Hydraulický obvod PVE tvoří dvojice vysokotlakých pancéřovaných přiváděčů o Ø 3600 mm a nízkotlakých odpadních tunelů. V podzemní elektrárně jsou umístěna dvě přečerpávací turbosoustrojí, TG1 a TG2, ve vertikálním dvoustrojovém uspořádání.

Každá reverzibilní turbína typu FR 100 má instalovaný výkon 325 MW, návrhovou hltnost při turbinovém/čerpádkovém provozu 68,5/54,2 m<sup>3</sup>/s, při návrhovém spádu/dopravní výšce 510/534 m [3].

VD je ve vlastnictví Skupiny Českých energetických závodů (ČEZ).



Obr. 1.2: Umístění stavby

### 1.3 Dotčená ochranná pásma a chráněná území

Objekty PVE Dlouhé Stráně se nachází na území Chráněné krajinné oblasti Jeseníky. K této skutečnosti je třeba přihlížet při přípravě plánované opravy horní nádrže, zejména při stanovení rozsahu a situování objektů zařízení staveniště.

Stavbou budou dotčena především ochranná pásma objektů a zařízení horní nádrže. Rozsah dotčení bude souviset s tím, do jaké míry bude oprava prováděna za provozu PVE [3].

### 1.4 Klimatické poměry lokality

Vzhledem k situování horní nádrže v nadmořské výšce 1350 m n.m. a její expozici, je třeba při provozu PVE zohledňovat zvláštní klimatické poměry lokality. Dle klasifikace klimatu dle Quitta náleží poloha HN do chladné oblasti C5 [4].



Důležitým faktorem pro posuzování příčin vzniku bodových poruch, které se na PVE Dlouhé Stráně objevují, jsou teploty AB pláště. Za účelem získání podkladů o teplotních změnách, kterým je AB plášť během provozu v extrémních klimatických podmínkách vystaven, bylo od června 2004 zavedeno měření povrchové teploty AB pláště, a to v období možného přístupu na HN (cca červen až říjen). Od zahájení měření činila maximální a minimální povrchová teplota AB pláště  $+53\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ , což představovalo teplotní rozpětí až  $66\text{ }^{\circ}\text{C}$  [5].

Zařízení pro automatické měření vnitřní teploty AB pláště bylo instalováno v rámci jeho opravy v červenci 2007. Od srpna 2014 přestala fungovat i poslední teploměrná čidla. V červenci 2017 byla provedena instalace zařízení pro automatické měření teplot AB pláště, jako náhrada za nefunkční zařízení z roku 2007 [5].

Průměrná roční teplota HN se pohybuje okolo  $3,3^{\circ}\text{C}$ . Nejteplejším měsícem je srpen s průměrnou teplotou vzduchu  $12,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  a nejchladnější je leden s průměrnou teplotou vzduchu  $-5,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Průměr maximálních teplot vzduchu činí  $24,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  a minimálních  $-15,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  [4].



*Obr. 1.3: Zimní klimatické podmínky na HN [4]*

## 1.5 Základní údaje a hlavní parametry HN [3]

|                                                     |                 |
|-----------------------------------------------------|-----------------|
| Kóta koruny hráze                                   | 1350,00 m n. m. |
| Kóta maximální hladiny                              | 1348,00 m n. m. |
| Kóta hladiny stálého nadržení                       | 1326,20 m n. m. |
| Kóta paty návodního svahu hráze                     | 1325,20 m n. m. |
| Kóta nejnižší úrovně dna nádrže u vtokového objektu | 1322,20 m n. m. |
| Kóta prahu vtokového objektu                        | 1314,75 m n. m. |

|                                                                                         |                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Kóta koruny vtokového objektu                                                           | 1326,70 m n. m.          |
| Kóta nejnižšího terénu na vzdušné straně hráze                                          | 1301,00 m n. m.          |
| Celkový objem nádrže                                                                    | 2 720 000 m <sup>3</sup> |
| Zásobní (provozní) objem nádrže                                                         | 2 580 000 m <sup>3</sup> |
| Objem stálého nadržení                                                                  | 140 000 m <sup>3</sup>   |
| Objem násypu hráze                                                                      | 2 025 000 m <sup>3</sup> |
| Maximální zatopená plocha                                                               | 15,4 ha                  |
| Plocha AB pláště dna nádrže                                                             | 71 000 m <sup>2</sup>    |
| Plocha AB pláště svahů nádrže                                                           | 98 000 m <sup>2</sup>    |
| Maximální výška hráze v ose nad terénem                                                 | 27,5 m                   |
| Délka hráze v koruně                                                                    | 1742,50 m                |
| Šířka hráze v koruně                                                                    | 5,50 m                   |
| Sklon svahů hráze (návodní / vzdušní)                                                   | 1:2 / 1:1,75             |
| Podélný sklon dna nádrže                                                                | 0,38 – 0,75 ‰            |
| Příčný sklon dna nádrže                                                                 | 0,11 – 12,5 ‰            |
| Drenážní systém horní nádrže:                                                           |                          |
| – Drény podél návodní paty hráze                                                        | Ø400                     |
| – Pátevní drén v podélné ose nádrže                                                     | Ø400, Ø500, Ø600         |
| Součástí HN je také sjezd po návodním svahu hráze na dno nádrže a ke vtokovému objektu. |                          |



## 2 TERMÍNY A DEFINICE

Tato kapitola slouží pro snazší přehled v následujícím textu, neboť značení jednotlivých vrstev AB těsnění se v průběhu času mění a vyvíjí. Uvedená terminologie vychází z probíhajícího výzkumu [6], který sjednocuje názvosloví založené na platných technických normách a dostupných literárních zdrojích.

Tab. 1.1: Tabulka pojmů

| Pojem                              | Označení | Popis                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------------------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Asfalt                             |          | Pojivo, které tvoří asfalty ropné, přírodní a asfalty získané z R – materiálu; asfalty mohou obsahovat přísady.                                                                                                                                                                |
| Asfaltový beton vodostavební       | ACV      | Stavivo, které vznikne zpracováním a ztuhnutím vodostavební asfaltové směsi; používá se do plášťového těsnění hydrotechnických staveb.                                                                                                                                         |
| Asfaltový beton vodostavební hutný | ACVH     | ACV s plynulou čarou zrnitosti a předepsanou velmi nízkou mezerovitostí zajišťující požadovanou vodotěsnost                                                                                                                                                                    |
| Asfaltový beton vodostavební hutný | ACVM     | ACV se spojitými dutinami mezi zrny kameniva nevyplněnými pojivem; používá se na propustné (drenážní) vrstvy AB konstrukcí                                                                                                                                                     |
| Filer                              |          | Mleté kamenivo, jehož nejméně 70 % hmotnosti propadne sítím 0,063 mm a které může být přidáno ke stavebnímu materiálu pro dosažení jeho určitých vlastností – definice dle [7].                                                                                                |
| Mastix asfaltový                   | AMV      | Asfaltová směs z asfaltu a fileru.                                                                                                                                                                                                                                             |
| Degradace                          |          | Pokles, snížení kvality materiálu.                                                                                                                                                                                                                                             |
| Porucha                            |          | Ukončení schopnosti objektu plnit požadovanou funkci. Dochází k ní překročením prahových hodnot parametru nebo více parametrů. Porucha může být částečná nebo úplná. Je to jev ovlivňující negativně funkci objektu v rozsahu od snížení až po ukončení jeho provozuschopnosti |
| Poškození                          |          | Narušení bezchybného stavu objektu.                                                                                                                                                                                                                                            |
| Puchýř                             |          | Lokální poškození projevující se místním vyboulením, popř. popraskáním těsnicí vrstvy asfaltobetonového pláště.                                                                                                                                                                |
| Životnost                          |          | Schopnost objektu (díla) plnit požadovanou funkci v daných podmínkách používání a údržby do dosažení mezního stavu.                                                                                                                                                            |

Tab. 1.2: Vrstvy AB pláště [6]

| Vrstva      | Popis                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ochranná    | Povrchová úprava pláště v tloušťce několika milimetrů, která má zabránit povrchovému stárnutí těsnicí vrstvy vlivem oxidace a ultrafialového (UV) záření a kterou se vyplní také případné povrchové póry a drobné trhliny |
| Těsnicí     | Vrstva z ACVH předepsané tloušťky a mezerovitosti zajišťující požadovanou vodotěsnost                                                                                                                                     |
| Spojovací   | Po vyštěpení emulze a odpaření vody vytváří adhezni plochu pro spojení jednotlivých vrstev asfaltobetonového pláště                                                                                                       |
| Drenážní    | Vrstva z ACVM předepsané tloušťky a mezerovitosti zajišťující drenážní funkci                                                                                                                                             |
| Podkladní   | Roznáší tlaky na AB plášť do jeho podloží - do tělesa hráze, při vhodné tloušťce a zrnitosti může zajišťovat také drenážní funkci                                                                                         |
| Vyrovňovací | Vyrovňuje nerovnosti, může být současně vrstvou podkladní                                                                                                                                                                 |

V uvedených podkladech se lze setkat se značením podle technických norem ČSN 73 6851 a ČSN 75 2020 (tab. 1.3), která ji nahrazuje. ČSN 73 6851 používá značení, které vychází ze silničního stavitelství, což se nepovažuje za vhodné. Ani značení dle novější ČSN 75 2020 není zcela vhodné, protože používá označení materiálů dle funkce vrstvy, ve které jsou použity. Proto bude v navazujícím textu použita terminologie uvedená v tab. 1.4 dle probíhajícího výzkumu [6].

Tab. 1.3: Značení AB vrstev dle ČSN

| ČSN 73 6851 (z roku 1980)               |          | ČSN 75 2020 (z roku 2010)                                |                      |
|-----------------------------------------|----------|----------------------------------------------------------|----------------------|
| Druh asfaltobetonu                      | Označení | Druh asfaltobetonu                                       | Označení             |
| Vodostavební asfaltový beton            | VAB      | Asfaltový beton vodostavební (ložní, podkladní, těsnicí) | ACVL<br>ACVP<br>ACVT |
| Hutný vodostavební asfaltový beton      | VABH     | Asfaltový beton vodostavební těsnicí                     | ACVT                 |
| Mezerovitý vodostavební asfaltový beton | VABM     | Asfaltový koberec drenážní vodostavební                  | PAV                  |
|                                         |          | Asfaltový beton vodostavební (ložní, podkladní)          | ACVL<br>ACVP         |

Tab. 1.4: Použitá klasifikace pro značení AB vrstev [6]

| Materiál                                | Použití         | Značení |
|-----------------------------------------|-----------------|---------|
| Mastix asfaltový                        | Ochranná vrstva | AMV     |
| Asfaltový beton vodostavební hutný      | Těsnicí vrstva  | ACVH    |
| Asfaltový beton vodostavební mezerovitý | Drenážní vrstva | ACVM    |

### 3 PLÁŠŤOVÁ TĚSNĚNÍ SYPANÝCH HRÁZÍ

Na plášťová těsnění je kromě požadavku vodotěsnosti kladen také požadavek mechanické odolnosti, protože jsou přímo vystaveny vnějším vlivům. Mezi nejpoužívanější materiály plášťových těsnění patří především asfaltobeton, beton a plastové fólie označované také jako geomembrány. Tyto materiály se využívají zejména v místech s obtížnou dostupností zemin vhodných těsnění. Jsou také hojně využívány jako těsnění hrází PVE, kde je hráz zatížena velkým kolísáním hladiny. Pro tyto případy je velkou výhodou možnost vizuální kontroly. Plášťová těsnění obecně dále vynikají v jednodušší opravitelnosti a možnosti navýšení hráze.

#### 3.1 Asfaltobetonové těsnění

Asfaltobeton jako těsnicí prvek si získal velkou oblibu díky svým pevnostním a přetvárným charakteristikám, odolnosti proti mechanickým a klimatickým vlivům, dobré voděodolnosti a kladným zkušenostem se spolehlivostí tohoto typu těsnění.

Výhody AB těsnění:

- rychlost výstavby → ekonomicky výhodné,
- zdravotně nezávadný,
- pokládání za nízkých teplot (oproti betonu),
- flexibilita → schopnost přizpůsobit se drobným nerovnostem podloží a odolnost vůči sedání podloží,
- absence dilatačních nebo pracovních spár.

Nevýhody AB těsnění:

- dotvarování → stékání po svahu vlivem vlastní tíhy a vysokých teplot,
- nelze aplikovat na prudké svahy (alespoň 1:2),
- snížení flexibility v důsledku působení UV záření.

Pro ochranu AB plášťů před přímým vystavením UV záření a vzduchu se na AB povrch aplikuje mastixová ochranná vrstva. Častým problémem plášťových AB těsnění bývá napojení na objekty, kde obvykle dochází k největším průsakům. V souvislosti s AB těsněním se v současnosti nejvíce řeší bodová poškození, která se opakovaně vyskytují nejen na PVE Dlouhé Stráně (obr. 2.1), ale i zahraničních VD.



Obr. 2.1: Prázdná HN Dlouhé Stráně [24]

### 3.2 Betonové těsnění

Betonová těsnění se provádí z prostého, železového nebo výjimečně i předpjatého betonu. Těsnění je tvořeno deskami dělenými dilatačními spárami. Návrh musí garantovat vodotěsnost betonových desek a dilatačních spár. Těsnění z prostého betonu dovoluje použití desek o ploše od 10 do 15 m<sup>2</sup>. Vyztužením betonu lze použít desky s plochou od 150 do 300 m<sup>2</sup>. U nižších hrází se používá konstantní tloušťka cca 20 cm. U vyšších se provádí s proměnnou mocností se zúžením směrem ke koruně hráze [8].



*Obr.2.2: Uspořádání armatury ŽB plášťového těsnění s těsněním dilatační spáry na přehradě Quebra Queixo, USA [8]*

### 3.3 Plastové folie

Jako materiál plastových fólií se používají různé materiály jako HDPE (high density polyethylene), LLDPE (linear low density polyethylene), FPP (flexible polypropylene), PVC (polyvinyl chloride), CSPE (chlor-sulfonated polyethylene) nebo EPDM (etylenpropylen diene terpolymer). U nás byl tento typ těsnění použit poprvé na kamenité sypané hrázi Landštejn, kde byla použita těsnicí vložka Izofol tloušťky 1,1 mm, která byla instalována mezi dvěma betonovými prefabrikáty s ochrannou lepenkou. Plastové fólie jsou dodávány jako kompozitní geomembrány sestávající se z plastové fólie, geotextilie a drenážní mřížoviny. Velmi často se plastových fólií používá pro rekonstrukce již existujících přehrad všeho druhu [8].



*Obr. 2.3: Instalování plastové fólie na přehradě Palm Springs, USA [25]*



### 3.4 Další materiály plášťových těsnění

Mezi další způsoby těsnění na plášti hrází jsou dřevěné nebo ocelové štíty. Dřevěné těsnění bylo hojně využíváno v horských oblastech USA, kde byl dostatek dřeva. V našich podmínkách se kvůli malé životnosti nepoužívá. Ocelové těsnění je finančně velmi nákladné, vyžaduje pravidelnou údržbu, pro HN na PVE nejsou dostatečně tvarově flexibilní. Z ekonomických a technických důvodů se ocelová těsnění nikdy příliš neprosadily a prakticky se nepoužívají.



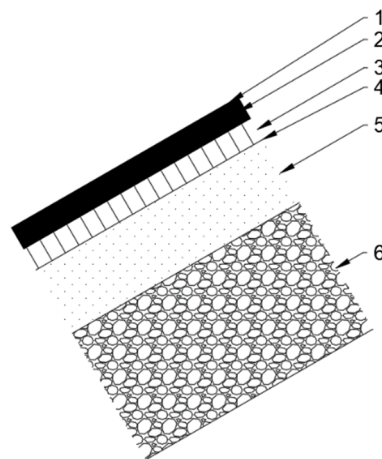
*Obr. 2.4: Ocelová hráz Redridge, USA [26]*

## 4 DRUHY AB PLÁŠŤOVÝCH TĚSNĚNÍ

Podle [9] se rozlišují dvě základní varianty složení AB plášťů. Jednoplášťová těsnění, která mají jednu vrstvu z ACVH a dvouplášťová se dvěma vrstvami z ACVH mezi kterými je mezivrstva z ACVM s drenážní funkcí. Dvouplášťová těsnění se s výhodou používají zejména v případech, kdy je hráz opatřena chodbou, do které je možné drenážní vrstvu zaústit a sledovat průsaky pláštěm.

Skladba jednoplášťového těsnění:

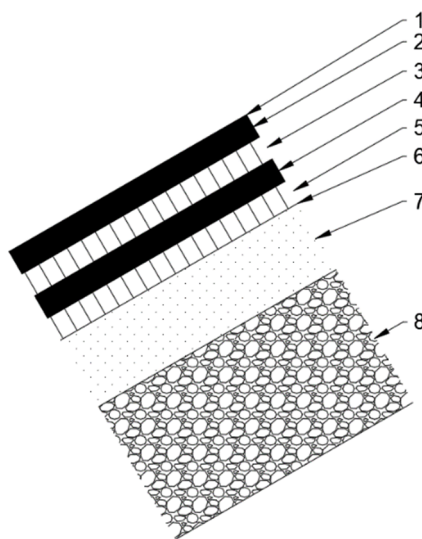
1. Ochranná vrstva – AMV
2. Těsnicí vrstva – ACVH
3. Drenážní vrstva – ACVM
4. Spojovací vrstva – Asfaltová emulze
5. Podkladní vrstva – Štěrk
6. Vyrovnávací úprava návodního svahu



Obr. 4.1: Jednoplášťové těsnění

Skladba dvouplášťového těsnění

1. Ochranná vrstva – AMV
2. Těsnicí vrstva – ACVH
3. Drenážní vrstva – ACVM
4. Těsnicí vrstva – ACVH
5. Drenážní vrstva – ACVM
6. Spojovací vrstva – Asfaltová emulze
7. Podkladní vrstva – Štěrk
8. Vyrovnávací úprava návodního svahu



Obr. 4.2: Dvouplášťové těsnění

## 5 POŽADAVKY NA AB PLÁŠTĚ

### 5.1 Ochranná vrstva

Ochranná vrstva v podobě AMV chrání těsnicí vrstvu před klimatickými účinky a zejména před UV zářením. Asfaltový mastix lze vynechat ve skladbě pláště na dně nádrže, popř. na částech svahů v rozsahu prostoru stálého nadržení. Nanáší se litím, nátěrem štětcem, stěrkou nebo stříkací pistolí bez potřeby hutnění. Mastix se pokládá na čistý a suchý povrch v hmotnosti 2 kg/m<sup>2</sup> až 5 kg/m<sup>2</sup>.

Asfaltový mastix je asfaltová směs jemného kameniva s maximální velikostí zrna do 2 mm s podílem asfaltového pojiva různé penetrace. U hydrotechnických staveb by měl být poměr asfaltu B70/100 (cca 25 až 35 %) a fileru (cca 75 až 65 %) [6].

Jako další ochranný prvek může být na plášť nanesen reflexní nátěr, který obzvláště v místě kolísání hladin snižuje teplotní namáhání AB.

### 5.2 Těsnicí vrstva

Těsnicí vrstva se provádí z ACVH a zabraňuje průsaku vody do nižších vrstev pláště a do tělesa hráze. S ohledem na vlastnosti AB a provádění hutnění se sklon těsněného svahu navrhuje nejvýše 1:1,7, s ohledem na bezpečnost práce při výstavbě se doporučuje sklon 1:2 [9].

Těsnicí vrstva musí splňovat následující požadavky [9]:

- vodotěsnost při tlakových účincích vod,
- trvanlivost a stabilita v prostředí s kolísáním hladiny vody a projevy sezónních i každodenních změn teploty a dalších klimatických vlivů,
- odolnost vůči účinkům vln, účinkům ledu a nárazům plovoucích těles na svahy,
- odolnost vůči nadměrným plastickým deformacím v důsledku zvýšeného teplotního namáhání.

Požadovaná mezerovitost pro těsnicí vrstvu je dle [9] maximálně 3 %. Minimální tloušťka na svahu 60 mm, ve vodorovné části pak 50 mm. Pro těsnicí vrstvy tloušťky do 80 mm je doporučeno použít kamenivo o zrnitosti 0/11 mm. Pro vrstvy vyšších tloušťek je možné použít kamenivo zrnitosti 0/16 mm [10].

### 5.3 Drenážní vrstva

Slouží k bezpečnému a spolehlivému odvedení průsaků těsnicí vrstvou asfaltobetonového těsnění a k jejich detekci. Drenážní soustava hráze se musí navrhnout tak, aby v místě vyústění umožňovala identifikovat případná místa zvýšeného průsaku. Nejčastěji se provádí vyústění drenážních vrstev při vzdušní patě hráze, popř. do revizní či injekční chodby, kde se měří průsaky [6]. Uspořádání se obvykle liší u údolích nádrží a hrází HN PVE. Požadovaná mezerovitost drenážní vrstvy z ACV je minimálně 15 %. Pokud slouží drenážní vrstva zároveň jako podkladní, je



požadována mezerovitost minimálně 22 %. Tloušťka drenážní vrstvy z ACV se navrhuje minimálně 60 mm, lépe 80 mm. Drenážní vrstvy se zpravidla ukládají po spádnicí [9].

## **5.4 Spojovací vrstva**

Spojovací či adhezivní vrstva je tenká kapalná asfaltová, emulzní nebo redukční vrstva aplikovaná mezi jednotlivé vrstvy asfaltového těsnění pro podporu jejich spojení. Adekvátní propojení mezi konstrukčními vrstvami a zejména při rekonstrukci těsnícího povrchu a napojení nové vrstvy je velice důležité, aby se výsledná vrstva chovala jako jeden celek a poskytovala dostatečnou pevnost [6]. Pro spojovací postřiky není povoleno použít ředěné asfalty a pojiva s obsahem dehtu.

## **5.5 Podkladní vrstva**

Podkladní vrstva zajišťuje napojení na těleso hráze. Navrhuje se v tloušťce 80 až 120 mm, bez zatlačení asfaltové směsi do podkladu. Podkladní vrstvy musí mít únosnost rovnající se hydrostatickému tlaku na plášť v příslušném místě při maximální hladině, nejméně však 0,6 MPa [6].

## **5.6 Vyrovnávací vrstva**

Při nerovnostech na povrchu tělesa hráze, se provádí vyrovnávací vrstva, se kterou je možné vyrovnat drobné nerovnosti na povrchu hráze. Vyrovnávací vrstva se navrhuje v tloušťce alespoň 80 mm [6]. Přesnost provedení povrchu zhutněného podkladu se kontroluje čtyřmetrovou latí. Největší přípustná prohlubeň pod latí smí na svahu činit do 20 mm [9].

## **5.7 Napojení na objekty**

Napojení pláště na betonový objekt musí plnit svou funkci i při rozdílných deformacích násypu hráze a objektu. Napojení pláště na betonový objekt se obvykle provádí tuhým konstrukčním spojením. Betonové plochy, na které se AB plášť napojuje, nesmějí mít náhlé výčnělky, nerovnosti a prohlubně. Nerovnost nesmí překročit 10 mm a ověřuje se 2 m latí. Betonové plochy musí být před pokládkou AB suché, zbavené nečistot a nerovností a opatřené spojovacím nátěrem [6]. Příklady některých způsobů dotěsnění AB pláště k betonovému objektu jsou popsány v kapitole 10.5.

## **5.8 Provádění AB plášťů**

Postup a doba mísení asfaltové směsi se musí volit tak, aby bylo dosaženo dokonalého a stejnoměrného obalení všech částí kameniva pojivem a aby vznikla homogenní směs. Před zavedením běžné výroby asfaltové směsi musí být vypracován výrobní předpis, který stanovuje dávkování a teplotu jednotlivých složek směsi. Mezní hodnoty teplot nesmějí být překročeny na žádném místě obalovny [6], [9].

## 5.9 Doprava asfaltové směsi

Dopravu je třeba řídit tak, aby byla vedena co nejkratší cestou a aby byl zajištěn plynulý postup pokládky. Doba přepravy nesmí při teplotě vzduchu 15 °C a nižší překročit 1 hod., v ostatních případech 1,5 hod. Použitím homogenizátorů lze tuto dobu prodloužit na 2 hod. Doba skladování v sílech nesmí překročit 2 hod., doba od výroby k pokládce nesmí překročit 3,5 hod [6]. Při dopravě asfaltových směsí na místo pokládky musí být směs chráněna zakrytím proti ochlazení a znečišťování. Vozidla pro přepravu asfaltových směsí musí mít těsnou, hladkou a čistou kovovou korbu chráněnou proti nalepování vhodným postřikem [9].

## 5.10 Ukládání směsi

Asfaltové směsi se plynule rozprostírají finišery, výjimečně je možná pokládka grejdrem nebo ručně. Pro rozprostírání je vhodné používat finišery s vysokou mírou předhutnění směsi. Pokládka asfaltových směsí a všechny související pracovní operace musí být navzájem sladěny a prováděny plynule tak, aby byla minimalizována přerušení pokládky a následných pracovních operací. Pracovní spoje ve vrstvách ležících nad sebou se musí vystřídat s přesahem nejméně 1000 mm. Příliš ochlazené a ztvrdlé kusy směsi musí být z korby finišeru odstraněny [9]. Pokládku další vrstvy nebo dopravu po nově položené vrstvě AB lze zahájit až po dostatečném vychladnutí vrstvy (obvykle + 40 °C) [6]. Asfaltová směs musí být kladena na suchý povrch.

### 5.10.1 Pokládka na dno

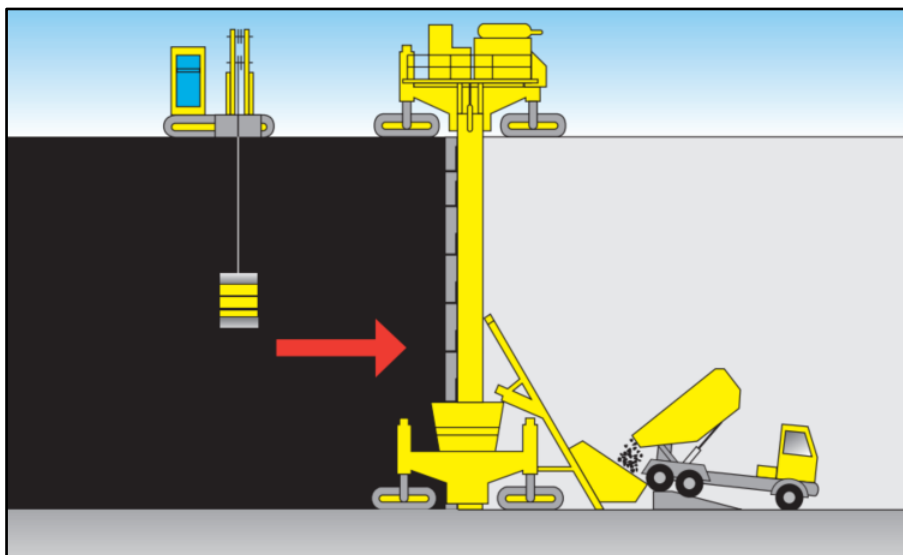
Pokládání asfaltové směsi na dno nádrže probíhá obdobným způsobem jako při pokládání AB vozovky. Zásobník finišeru je přímo zásobován zásobním vozem. Mechanizace se však od silničního stavitelství liší těžšími finišery se speciálním řízením, hutnicím vybavením a technikou pokládky [11]. Důraz je kladen na provádění spojů jednotlivých pásů, kdy musí být zajištěna dostatečná teplota obou spojovaných pásů. Proto jsou větší plochy řešeny větším počtem finišerů, kdy několik metrů za prvním finišerem jede druhý ve vedlejším pásu.

### 5.10.2 Pokládka na svah

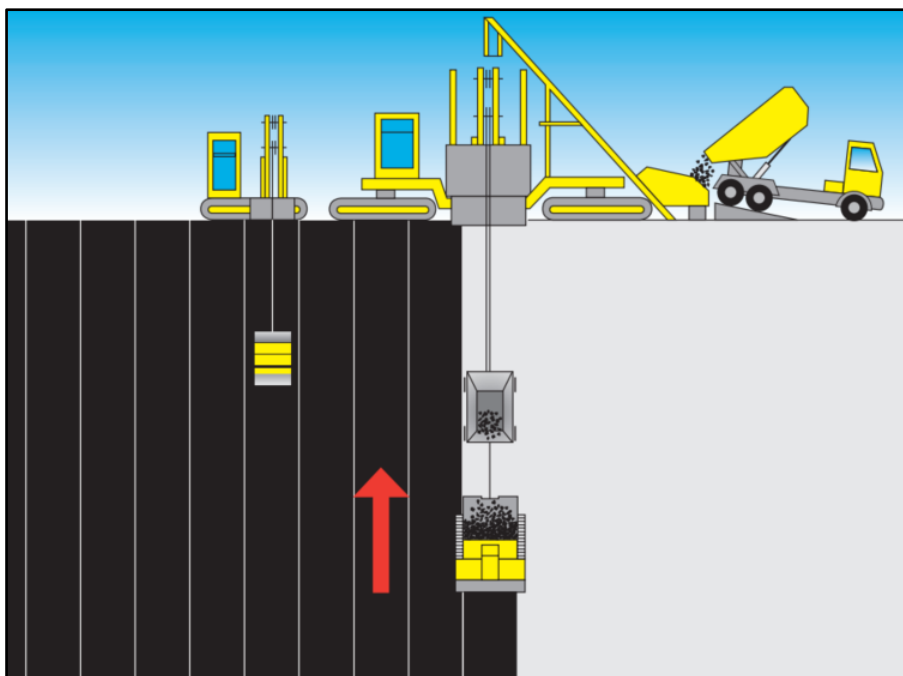
Pokládku asfaltové směsi na svazích lze provést dvěma metodami.

Pro svahy přímého tvaru s málo proměnlivým sklon lze využít horizontální pokládání (po vrstevnici). Směs je na svah ukládána mostovým finišerem, který se pohybuje rovnoběžně s osou hráze (obr. 5.1). Výhodou tohoto řešení je, že při něm nevznikají pracovní spáry.

Pro pokládání asfaltové směsi na svahy, na kterých podmínky nedovolují použít horizontálního pokládání, se využívá metody vertikální pokládky (po spádnici). Pokládací souprava je tvořena svahovým finišerem zajištěným lany k navijáku umístěného na koruně hráze (obr. 5.2). Směr pokládání je vždy od dna po korunu. U menších projektů je zásobník finišeru doplňován ze dna nádrže, u větších projektů je průběžně doplňován vozíkem spouštěným na lanech z koruny hráze [11].



Obr. 5.1: Horizontální pokládka asfaltové směsi na svah [11]



Obr. 5.2: Vertikální pokládka s průběžným doplňováním směsi z koruny hráze [11]

## 5.11 Hutnění

Primární zhutnění asfaltové směsi zajišťuje kladina finišeru. Závěrečné zhutnění se provádí svahovými vibračními válci. Ty se nacházejí na mobilních lanových navijácích za finišerem. Rychlost postupu pokládky je nutné přizpůsobit množství a teplotě dodávané směsi a klimatickým podmínkám. Návrh použitých válců a počty pojezdů stanovují technické předpisy stavby. Hutnění se provádí při co nejvyšší teplotě hutněné směsi. Musí být intenzivní, ale nesmí při něm docházet ke škodlivému drcení zrn. Pro hutnění drenážních AB vrstev lze použít jen válce s ocelovými běhouny a pouze statické hutnění [9]. Zhutňování se provádí nejméně tak dlouho, dokud není dosaženo požadovaného zhutnění nebo doku nejsou v položené ploše znatelné stopy od válce [6].

## 6 Skladba pláště HN VD Dlouhé Stráně

### 6.1 Původní skladba pláště

S výjimkou přechodové vrstvy, která má proměnnou tloušťku pro svah (600 mm), skalní zářez (400 mm) a dno nádrže (200 mm), a ochranného nátěru, který byl aplikován pouze na svahu nad kótou 1325,20 m n. m., je skladba pláště co do materiálu i mocností jednotlivých vrstev totožná pro dno i pro svahy. Skladba pláště dle [3]:

- |                                                                                 |                              |
|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| • Ochranný nátěr z AMV                                                          | 1,5 až 2,5 kg/m <sup>2</sup> |
| • Těsnicí vrstva z ACVH (původně VABH)                                          | 80 mm                        |
| • Spojovací vrstva                                                              | 0,2 kg/m <sup>2</sup>        |
| • Podkladní vrstva z ACVM (bez drenážní funkce)                                 | 2 x 50 mm                    |
| • Spojovací vrstva                                                              |                              |
| • Drenážní vrstva pod AB pláštěm z kameniva frakce 16/90 mm (s drenážní funkcí) | 200 ± 50 mm                  |
| • Vyrovnávací vrstva z kameniva frakce 0/250 mm                                 |                              |
| – na svahu                                                                      | průměrně 600 mm              |
| – ve skalním zářezu                                                             | průměrně 400 mm              |
| – na dně                                                                        | průměrně 200 mm              |

### 6.2 Skladba pláště po rekonstrukci v roce 2007 (současná)

V roce 2007 byla firmou Walo provedena celková rekonstrukce AB pláště na svazích HN PVE Dlouhé Stráně. Charakter a průběh rekonstrukce je dále popsán v kapitole 9.4. Skladba pláště zůstala po opravě prakticky stejná. Skladba AB pláště po opravě v roce 2007 dle [12]:

- |                                                                                 |                              |                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| • Ochranný nátěr z AMV                                                          | 1,5 až 2,5 kg/m <sup>2</sup> | ↑<br>Zrekonstruováno<br>v roce 2007 |
| • Spojovací vrstva z Polymer-modifikovaného lepidla                             | 0,1 kg/m <sup>2</sup>        |                                     |
| • Těsnicí vrstva z ACVH 16                                                      | min. 80 mm                   |                                     |
| • Spojovací vrstva z Polymer-modifikovaného lepidla                             | 0,2 kg/m <sup>2</sup>        |                                     |
| • Lokálně (53 ploch) položena nová vrstva z ACVM                                | max. 100 mm                  |                                     |
| • Podkladní vrstva z ACVM (bez drenážní funkce)                                 | 0 až 100 mm                  | ↓<br>Původní                        |
| • Drenážní vrstva pod AB pláštěm z kameniva frakce 16/90 mm (s drenážní funkcí) | 200 ± 50 mm                  |                                     |
| • Vyrovnávací vrstva z kameniva frakce 0/250 mm                                 |                              |                                     |
| – na svahu                                                                      | průměrně 600 mm              |                                     |
| – ve skalním zářezu                                                             | průměrně 400 mm              |                                     |
| – na dně                                                                        | průměrně 200 mm              |                                     |

## Vyrovnávací vrstva (původní)

Materiál tělesa hráze je tvořen kamenivem získaným výlomem na místě a obsahuje zrna přesahující velikost až 800 mm. Na návodním svahu měla původně být podle projektu zřízena vyrovnávací vrstva o mocnosti 3,0 m s vyloučením zrn větších než 400 mm pro zajištění vhodného podkladu pro podkladní vrstvu ze štěrkodrti. Omezení největších zrn hráze však nebylo při výstavbě dodrženo, proto bylo v r. 1988 rozhodnuto o odstranění povrchu této zóny a o zřízení přechodové vrstvy na návodním svahu hráze. Ta byla provedena z místního materiálu zrnitosti 0 až 250 mm. Za tím účelem byl na staveništi instalován drtič. Tímto materiálem bylo provedeno také vyrovnání nadvýlomů na svazích nádrže a vyrovnání pláně dna nádrže. Vlastnosti tohoto materiálu byly ověřeny průkaznými zkouškami a hutnicím pokusem. V násypové části hráze dosahuje tloušťka přechodové vrstvy průměrně 600 mm, ve skalním zářezu průměrně 400 mm a na dně nádrže průměrně 200 mm [12].

## Drenážní vrstva (původní)

Podkladní vrstva pod původní konstrukcí asfaltobetonového pláště měla být z nakupované štěrkodrti a uložena na vyrovnávací vrstvu. Byla projektem navržena tl. 200 mm, frakce 16/63 nebo 16/100 mm, při zachování vlastností předepsaných v [13]. Stejná vrstva měla být uložena na svazích nádrže ve výlomu a ve dně nádrže. Vzhledem k tomu, že na staveništi horní nádrže byl instalován drtič, bylo rozhodnuto, že podkladní vrstva ze štěrkodrti nebude zhotovena z nakupovaného materiálu (jako na hrázi dolní nádrže), ale že bude použit materiál z výkopiště horní nádrže. Podkladní vrstva byla ve dně i na svazích nádrže provedena ze štěrkodrti 16/90 mm [12].

Dle nálevných zkoušek bylo zjištěno, že propustnost podkladní i přechodové vrstvy je značně proměnná v rozsahu až dvou řádů v hodnotě hydraulické vodivosti. Dále bylo zjištěno, že tloušťka podkladní vrstvy je v řadě případů menší než projektovaných 200 mm, identifikovány byly dokonce tloušťky podkladní vrstvy pouze 80 mm a menší. Materiál podkladní vrstvy, která má mít drenážní účinek, byl pravděpodobně při hutnění do značné míry zavalčován do jemnozrnnější přechodové vrstvy, popř. drenážní hrubozrnný materiál podkladní vrstvy nebyl položen v předepsané tloušťce. Podkladní vrstva tak má místy jen velmi omezenou tloušťku a téměř splývá s přechodovou zónou, což představuje proměnné podmínky z hlediska drenážního účinku a také difúzního proudění vlhkosti AB pláštěm [14].



Obr. 6.1: Odhalení podkladní vrstvy po odfrézování AB těsnicí vrstvy při rekonstrukci v roce 2007 [15]

Při rekonstrukci AB pláště v roce 2007 byla při frézování na cca 53 místech odhalena podkladní vrstva. Jde o poměrně typický jev doprovázející opravy nádrží budovaných stejnou technologií. Příčinou je vynesení podloží nad vyprojektovanou niveletu linie svahu při ukládání podkladní vrstvy z VABM. Odhalení podkladní vrstvy při frézování je patrné na obr 6.2. V těchto místech bylo odebráno cca 50 mm materiálu podkladní vrstvy o něž je v těchto místech podkladní vrstva oslabena. Souhrnně šlo o plochu 273 m<sup>2</sup> [15]. V roce 2018 byla při opravě prosednutí pláště objevena dutina hluboká 500 – 700 mm (obr. 6.2). Dutina byla při opravě prosednutí vyplněna betonovou směsí. Podkladní a drenážní vrstva patrně nesplňuje geometrická kritéria filtrační stability jak vzájemně vůči sobě, tak vůči materiálu tělesa hráze.



*Obr. 6.2: Dutina v podkladní vrstvě objevená při opravě prosednutí pláště [5]*

### **Podkladní vrstva (původní) z ACVM**

Plášť ACVM měl být původně položen ve dvou vrstvách o projektované tloušťce 2 x 50 mm. Měření v odvrtech a kopaných sondách však prokázalo místy velmi omezenou vrstvu původního ACVM, která místy odpovídala jednotlivým centimetrům (v jedné ze sond cca 2 cm) [14]. Tuto skutečnost potvrdila oprava AB pláště v roce 2007, kdy po odfrézování vrstvy ACVM bylo v několika místech odkryto štěrkové podloží [16]. Během frézování vrstvy ACVM došlo k profrézování vrstvou ACVM až na podkladní vrstvu (cca 53 míst). V těchto místech bylo odstraněno cca 5 cm podkladní vrstvy, neodfrézovaný ACVM byl odstraněn pomocí sbíječky a malé frézy (šířky 1000 mm). Na vyspravený a důkladně očištěný a suchý povrch byla nastříkána spojovací vrstva polymerového lepidla a následně byla položena nová vrstva ACVM binder 0/16 v tloušťce až 100 mm [12], [16].



### **Spojovací vrstva (současná)**

Spojovací vrstva slouží jako spojovací můstek mezi jednotlivými AB vrstvami včetně mastixu a také mezi vrstvou z AB a podkladní vrstvou.

Dle dostupných podkladů [15] bylo při opravě v roce 2007 jako spojovací vrstva mezi vrstvami z ACV použito polymerové lepidlo PmB s obchodním názvem BÖRMEX Tack Coat pm firmy Georg Börner GmbH Bad Hersfeld. Materiál byl nanášen postřikem v množství  $0,2 \text{ kg/m}^2$ .

Stejný materiál byl v roce 2007 v množství  $0,1 \text{ kg/m}^2$  [16] použit pro zlepšení přilnavosti ochranné vrstvy z AMV a nově položené vrstvy z ACVH.

### **Těsnicí vrstva (současná)**

Těsnicí vrstva z ACVH byla položena v jedné pokládce o projektované tloušťce min. 80 mm [16]. Tloušťka pokládané vrstvy byla kontrolována dodavatelem během pokládání. Pro provedení kontroly tloušťky vrstvy a jejího zhutnění byly provedeny laboratorní zkoušky na 32 odvrtech. Dle provedených zkoušek má vrstva z ACVH tloušťku 80 až 102 mm a pórovitost 1,1 až 2,1 % (menší než požadované 3 %) [15]. Dle [12] však vrstva ACVH nesplňuje v řadě míst požadavky na tloušťku vrstvy, a to na základě laboratorních zkoušek provedených firmami Walo a STAVEXIS.

### **Ochranná vrstva (současná)**

Ochranná vrstva z AMV se skládá z moučky (filer) a asfaltu jakosti 70/100. Uzavírací nátěr nemá těsnicí funkci a slouží k uzavření povrchových pórů těsnění a také jako ochrana před UV zářením, povětrnostními podmínkami a kolísání hladiny vody v nádrži. Během oprav v roce 2007 byl Mastix byl nanesen v množství  $1,5 \text{ až } 2,5 \text{ kg/m}^2$  [16]. Během let 2018 a 2019 byl ochranný nátěr obnoven v tloušťce cca 1,2 mm (kap. 9.2).



*Obr. 6.3: Pokládka mastixu v roce 2007 [15]*

## 7 Poruchy AB plášťů

### 7.1 Projevy poruch AB plášťů

V průběhu provozu, se na plášťových AB těsněních sypaných hrází může vyvinout řada typů poškození. V této kapitole jsou shrnuty vlivy, které mají s výskytem těchto poškození na HN PVE Dlouhé Stráně souvislost. Projevují se formou:

- Trhlin, prasklin:
  - v důsledku nerovnoměrného sedání násypu hráze,
  - v místě napojení na objekty,
  - v důsledku stárnutí (křehnutí) AB,
  - vyvolané vztlakem,
- lokálního poklesu v důsledku:
  - špatného zhutnění sypaniny hráze
  - vyplavování zeminy z podloží AB pláště (sufozní jevy),
- povrchové eroze způsobené:
  - ledovými krami při pohybu hladiny,
  - uvolněním kamenů v místech zavázání hráze nebo při výstavbě,
- bodová poškození projevující se jako:
  - vyboulení pláště,
  - neštovice,
  - puchýře,
- porušení mastixu projevujícího se jako:
  - odlupování,
  - sjíždění po svahu,
  - sloní kůže.

Z dosavadních zkušeností vyplývá, že jednotlivá poškození mohou vznikat současně, případně v kombinaci, např. porušením ochranné (mastixu) vrstvy dojde k obnažení vrstvy ACVH pod ní, což vede k urychlení degradačních procesů. Následující kapitoly se budou zaměřovat na defekty související se vznikem bodových poškození, neboť je na HN VD Dlouhé Stráně v nejhojnější míře zastoupen a ohrožuje funkci těsnicího pláště [12].

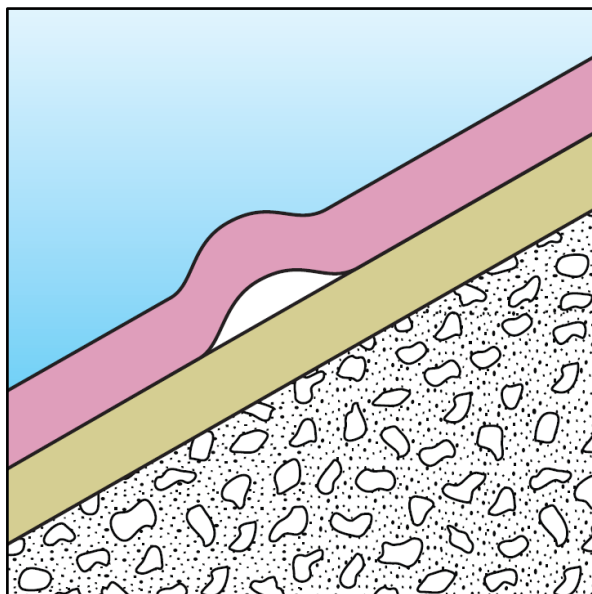
#### 7.1.1 Bodová poškození

Problematika bodových poškození (viboulení pláště, neštovice, puchýře) je hojně zastoupena na mnoha zahraničních VD s podobným typem AB pláště jako na VD Dlouhé Stráně. Jmenovitě jde např. o VD Żarnowiec, Porabka-Żar, Markersbach, Längental [12] nebo Zhanghewan [17]. Zkušenosti se zmiňovaným typem poruch z některých jmenovaných zahraničních VD jsou shrnuty v kapitole 10.

## Vyboulení pláště

Příčinou vyboulení pláště (obr. 7.1) je obvykle nedokonalé spojení vrstev vícevrstvých pláštů a vniknutí vodní páry mezi vrstvy. Hlavní příčinou jsou vodní páry uzavřené mezi jednotlivými vrstvami z ACVH, které mají malou mezerovitost a vodní pára odtud nemůže uniknout. Vodní páry se mohou do ACVH dostat jeho pokládkou na vlhký povrch nebo i při válcování [12].

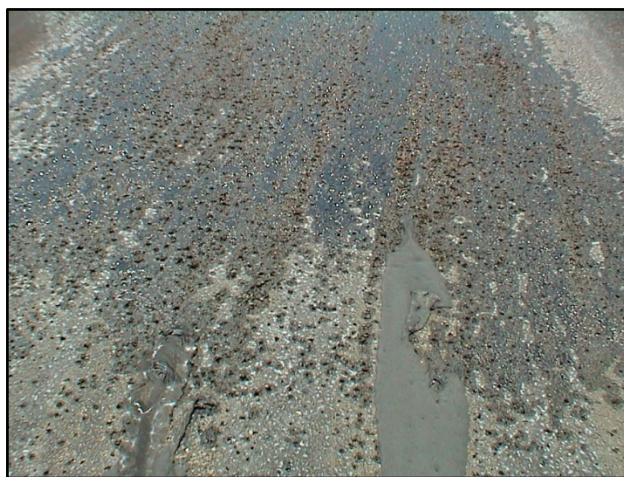
Zvýšením tlaku vodních par, např. prohřátím vodotěsného a vzduchotěsného pláště, dojde k nárůstu tlaku vodních par a k deformaci [12]. Tento jev se projevoval převážně v minulosti u AB pláštů, jejichž těsnicí vrstva byla pokládána ve více vrstvách, kvůli technologickým omezením (zejména v hutnění), která nedovolovala pokládat vrstvy AB větších tloušťek. Dnešní doba však již poskytuje výkonnou mechanizaci pro hutnění jednovrstvých pláštů až do tl. 120 mm, což riziko vzniku těchto poruch minimalizuje. AB vrstvy těsnicího pláště VD Dlouhé Stráně byly pokládány v jedné vrstvě a tento druh poruchy zde nebyl pozorován.



Obr. 7.1: Vizualizace vyboulení pláště - počáteční stádium [11]

## Neštovice

Bodová poškození ve formě „neštovic“ (obr. 7.2) mají původ zejména v nedostatku pojiva vrstvy ACVH, nedodržení technologického postupu (zejména teploty pokládané směsi), hutnění či použití nevhodného kameniva. Vrstva hutněného ACVH je na povrchu v místech chybějícího uzavíracího mastixového nátěru přímo vystavena působení povětrnostních vlivů (UV záření, mráz apod.), což má za následek rychlejší stárnutí a degradaci pláště. Následkem toho asfalt měkne a ztrácí přilnavost, což vede k vylamování kameniva z povrchu pláště. K tomu může přispívat mechanické zatížení pláště (led, kolísání hladiny apod.) [12].



Obr. 7.2: Neštovice [24]

## Puchýře

Bodová poškození ve formě puchýřů (obr. 7.3) vznikají uvnitř horní vrstvy ACVH, zejména v oblasti kolísání hladiny a v největší míře poškozují těsnicí plášť HN VD Dlouhé Stráně, kde byly dle [5] zaznamenány bodové poruchy tohoto typu již o hloubce až 8 cm, což odpovídá vyprojektované tloušťce vrstvy ACVH. Příčiny vzniku prozatím nebyly jednoznačně zjištěny (viz dále).



*Obr. 7.3: Puchýře na HN VD Dlouhé Stráně [24]*

### 7.1.2 Poškození mastixu

Mastix je ochranný povlak, který chrání AB plášť před UV zářením a oxidací, která přispívá k povrchovému stárnutí AB a k jeho křehnutí. Mastix dále vyplňuje povrchové póry pláště. Neplní těsnicí funkci, ale pouze ochrannou. Jestliže bude ochranná vrstva pláště chybět vlivem níže popsaných jevů, musí být doplněna, aby byl vlastní AB plášť chráněn. Poškození mastixu se projevuje jako odlupování, sjíždění po svahu a sloní kůže [12].

#### Odlupování

K odlupování mastixu dochází vlivem nedostatečné přilnavosti mastixové vrstvy k těsnicímu plášti. Příčinou odlupování je nedodržení technologického postupu při výrobě. Dochází k němu vlivem nízkého množství asfaltu ve směsi, velkých zrn kameniva nebo obsahu látek snižujících vaznost asfaltu. Příčinou může být také vniknutí vlhkosti na povrch pláště při pokládání mastixu [12].

#### Sjíždění po svahu

Příčinou sjíždění je vysoký obsahem asfaltu ve směsi, vyšší tloušťka mastixové vrstvy a vysoké teploty vlivem oslunění v kombinaci s vysokým sklonem pláště. Tento jev neovlivňuje ochrannou funkci mastixu a lze snadno provést sanaci nahřátím plynovými hořáky a rozetřením nebo odstraněním přebytečného materiálu [12].



## Sloní kůže

Sloní kůže je pouze optické vzezření mastixu, které nemá žádný vliv na funkci ochranného nátěru. Obecně jde o důsledek vypařování dehtů, působení klimatických vlivů a degradaci mastixu v důsledku kolísání hladiny a střídání teplot [12].

## 7.2 Teorie vzniku bodových poruch

Vznik bodových poruch ve formě puchýřů je obecně přisuzován tepelnému namáhání vyvolávajícím v plášti tepelnou napjatost nebo expanzí média v dutině pláště vyvolané např. teplotními změnami, příp. kombinaci těchto faktorů.

Asfaltobeton bez mezer, otvorů a mikrotrhlin nemůže být z fyzikálních, materiálových a technických důvodů vyroben. Do těchto dutin se za určitých podmínek může dostat expanzní médium (voda, pára, plyn). Vodní pára expanduje se zvyšující se teplotou a voda zvyšuje svůj objem při zmrznutí. Na základě dostupných znalostí může expanzní médium do dutiny AB pláště teoreticky proniknout:

- Ze strany tělesa hráze.
  - **Kapilární vzlínavostí vody** z podložních vrstev v důsledku sacích tlaků. Ta se do podloží může dostat zasakováním povrchové vody vzdušným svahem, netěsnostmi v koruně hráze, v místě napojení AB pláště na korunu hráze, prasklinami v plášti, kondenzací vodních par v podložních vrstvách nebo i již existujícími bodovým poškozením. Zkoušky prokázaly pouze zanedbatelnou kapilaritu [14].
  - **Difuzí vodních par** v důsledku tlakového gradientu vodních par. Podmínkou je přítomnost vody v plynném skupenství. Ta může v podloží vzniknout výparem zasáklé vody nebo odpařováním vody z vlhkých podkladních vrstev. Vlhkost v podložních vrstvách může být způsobena např. nedostatečným odvodňovacím účinkem drenážní vrstvy.
- Z nádrže
  - **Kapilárními účinky** v důsledku sacích tlaků s gradientem směřujícím do konstrukce pláště, za předpokladu existence kapilár na povrchu ACVH. Zkouškami nebyl tento jev ve vrstvě ACVH potvrzen.
  - **Difuzí vodních par směrem** z povrchu pláště za předpokladu vysoké vlhkosti povrchu pláště a tlakového gradientu vodních par směřujícího do konstrukce pláště. Tento jev na VD Dlouhé Stráně prakticky nenastane.
  - **Průsakem vody vlivem tlaku vody v nádrži** za předpokladu existence dostatečně velkých trhlin na povrchu pláště.

- Vývojem a vyplněním dutin uvnitř AB pláště
  - **Biodegradací** vlivem mikroorganismů. Pravděpodobnost biodegradace uvnitř pláště je minimální vzhledem k vysokým teplotám AB směsi při pokládce, které veškeré bakterie usmrtí.
  - **Vnesením vody v průběhu opravy/výstavby pláště** např. nedodržením postupu pokládání AB za suchého a teplého počasí nebo vnesením vody, kterou se při válcování skrápí válec.
  - **V důsledku špatné vzájemné přilnavosti jednotlivých složek asfaltobetonu.** To může být způsobeno použitím nevhodného kameniva, kameniva špatně očištěného od prachu nebo přítomností vody v AB směsi.
  - **Vzájemnou reakcí jednotlivých složek AB směsi**
  - **Nevhodným druhem kameniva** s obsahem jílovitých minerálů, které jsou vysoce citlivé na vlhkost

Při překročení pevnosti AB pláště v příčném tahu v místě vyboulení dochází k otevření puchýře a následnému rozšiřování vzniklého otvoru. Jde o důsledek působení faktorů popsaných výše. Pevnost materiálu ACVH je dána vlastnostmi jeho složek a také způsobem provedení. Pevnost asfaltobetonu se časem může měnit vlivem stárnutí a změnou teploty, která mění jeho přetvárné a pevnostní charakteristiky [12].

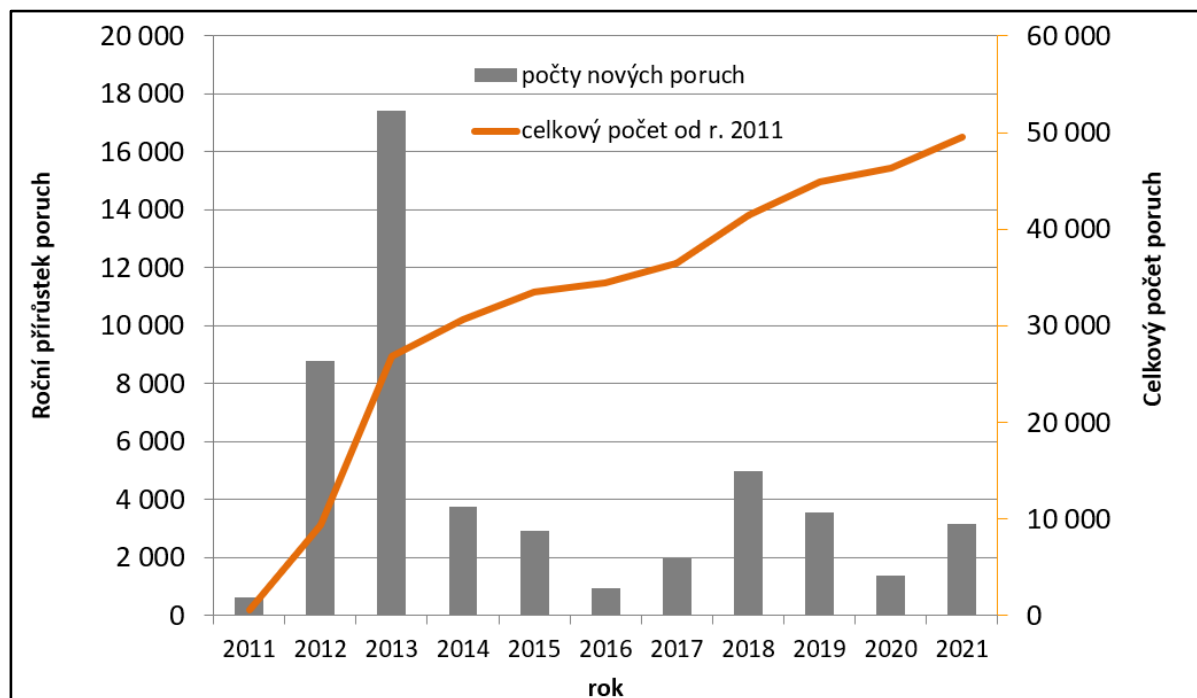


## 8 Současné vady těsnění HN

### 8.1 Bodová poškození v těsnicím plášti

#### 8.1.1 Četnost puchýřů

V květnu 2011 byly poprvé od opravy těsnicí vrstvy pláště v roce 2007 zaznamenány projevy bodového poškození stejného druhu jakým byl postižen těsnicí plášť před touto rekonstrukcí. Od té doby se vždy od jara objevují postupně nové, které se během letní odstávky, která slouží k údržbě strojního zařízení elektrárny, lokálně opravují. Pomocí geofyzikální metody byly rovněž zjištěny podpovrchové dutiny, které se ještě povrchově neprojevily. Celkový počet a výskyt těchto skrytých vad nelze efektivně zjistit. Nejčastěji se bodová poškození vyskytují v pásu 1340 až 1346 m n. m. m ve kterém probíhalo kolísání hladiny během provozu. Od roku 2017 se škody začaly rozšiřovat do celého svahu pravděpodobně vlivem změny provozního řádu VD, kdy je využíván celý objem nádrže. Na dně nádrže se zmíněná bodová poškození nikdy neprojevila, což podporuje teorii jejich vzniku vlivem expanze média popsané v předchozí kapitole. Rozvoj poruch v nižších částech svahu omezuje lokální opravy v těchto místech na jediný týden v roce, kdy je nádrž prázdná kvůli údržbě soustrojí. Přírůstek poškození v jednotlivých letech popisuje obr. 8.1, který zároveň ukazuje kumulativní množství odhalených puchýřů, kterých je do dnešního dne přibližně 49 500 ks [4].

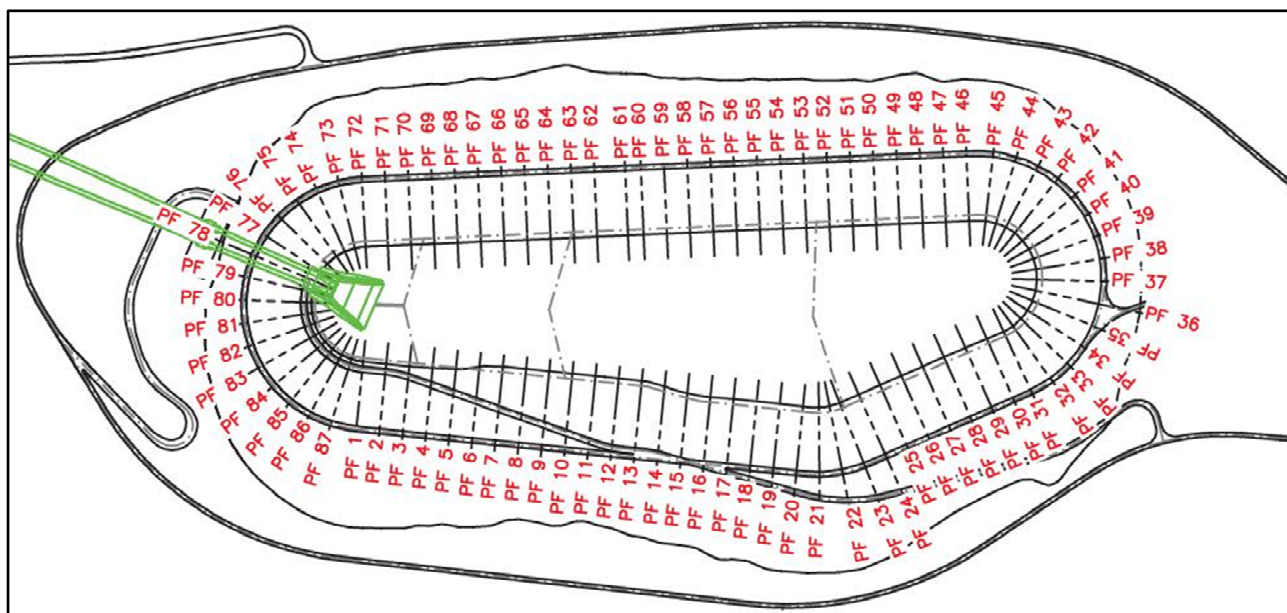


Obr 8.1: Časový průběh výskytu puchýřů [4]

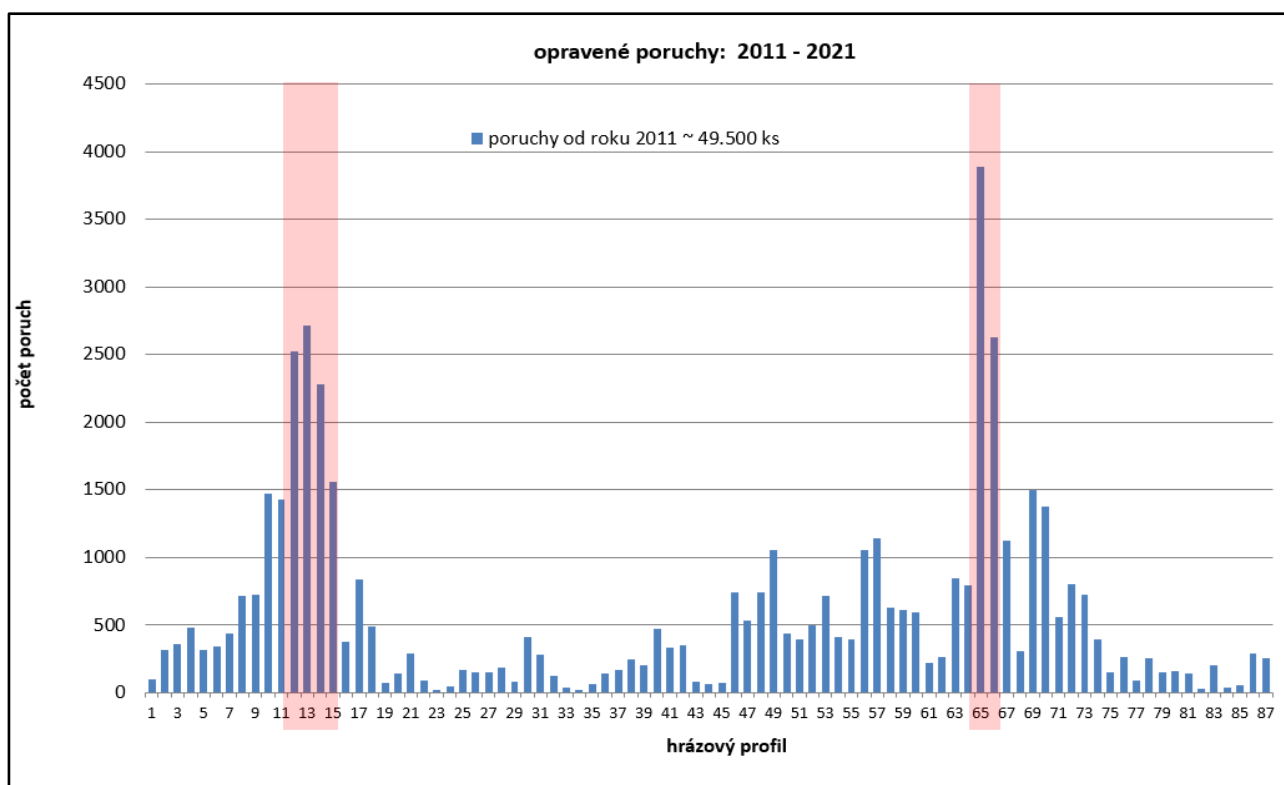
#### 8.1.2 Prostorové rozdělení puchýřů

Puchýře nejsou na plášti rozloženy rovnoměrně. Vznik puchýřů má jednoznačnou vazbu na kolísání hladiny, nebyla však potvrzena závislost na počtu změn polohy hladiny. Výskyt poruch souvisí i se zakřivením pláště, jelikož je jimi v obloucích pláště méně zasažen. Z rozboru naměřených

teplot nelze vyvodit korelaci mezi výskytem poruch a teplotou pláště a oslunění [14]. Za účelem monitorování je hráz rozčleněna na příčné profily (obr. 8.2). Rozdělení puchýřů dle těchto profilů znázorňuje obr 8.3.



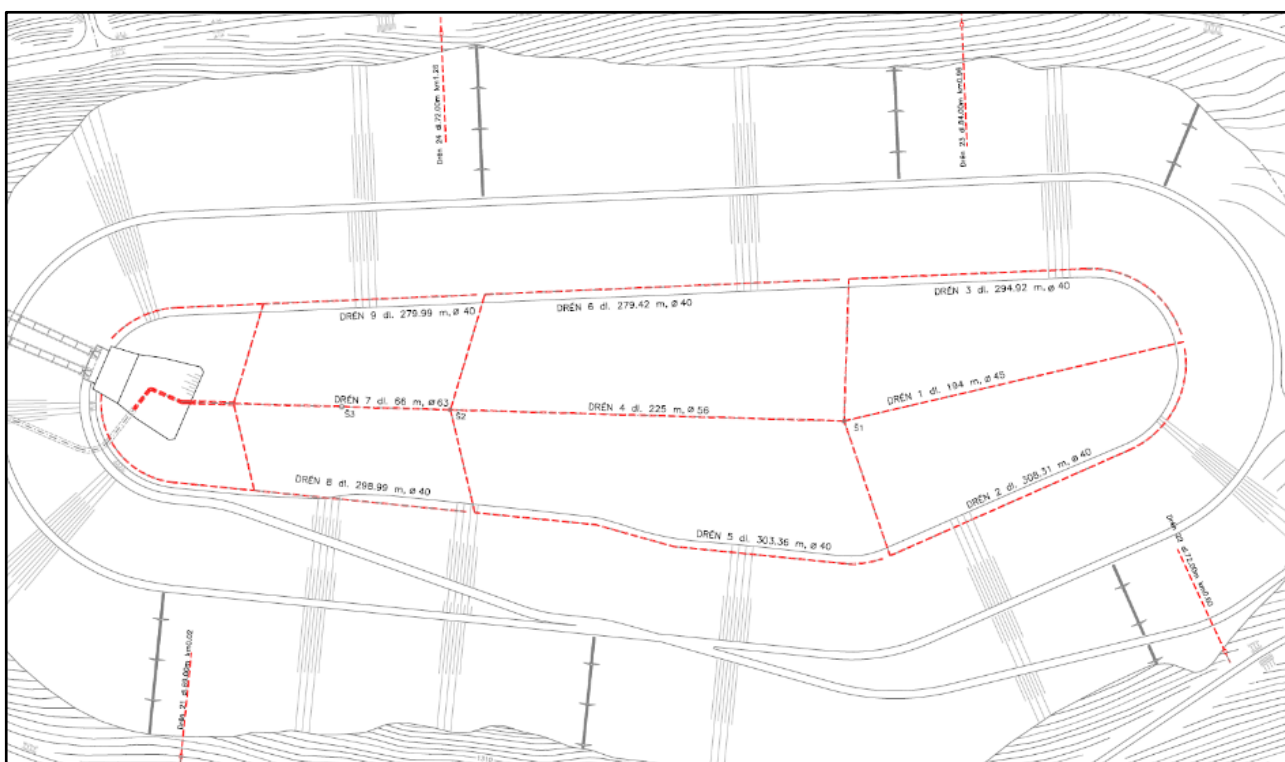
Obr. 8.2: Situace HN s rozdělením na profily [16]



Obr 8.3: Prostorové rozdělení puchýřů dle profilů [4]

## 8.2 Stav drenážního systému

Drenážní systém HN je tvořen drenážní šterkovou vrstvou a systémem perforovaného drenážního potrubí, který sestává z patního drénu vedoucího po celém obvodu hráze v patě návodního svahu a z páteřního drénu vedoucího v ose nádrže a zaústěného do přístupové štoly pod vtokovým objektem. Patní a páteřní drén jsou propojeny příčnými pery (obr. 8.4). Prosáklá voda je do drenážního potrubí odváděna šterkovou vrstvou z kameniva 16/90 mm položenou ve dně i ve svazích. Stav podkladní vrstvy je popsán v kap. 6.2. Drenáž je rozdělena do sekcí za účelem snazší lokalizace případných poruch AB pláště nebo zdrojů podzemní vody. Páteřní drén tvoří sekce 1, 4, 7, 10 a patní drén sekce 2, 3, 5, 6, 8a, 8b, 9a, 9b [4]. Drény č. 2, 3, 5 a 6 jsou svedeny a zaústěny do 2 „soutokových“ měrných šachet Š1 a Š2, umístěných na páteřním drénu.



Obr. 8.4: Odvodňovací systém HN [4]

Patní drén a příčná pera jsou z betonových trub o  $\varnothing$  400 mm položených na sraz pod úroveň dna v rýze vyplněné šterkodrtí. Páteřní drén byl původně tvořen betonovými troukami s  $\varnothing$  400, 500 a 600 mm. Z důvodů provalení trub (obr. 8.5) bylo v roce 2007 během oprav těsnicího pláště na svazích poškozené potrubí nahrazeno v sekcích 1 (dl. 194 m, DN 450), 4 (dl. 225 m, DN 560) a v části sekce 7 (dl. 66 m, DN 630) plastovým potrubím, které bylo v rýze osazeno ve spodní třetině do sedla z drenážního mezerovitého betonu a obsypáno drenážní



Obr. 8.5: Poškozená roura páteřního drénu [15]



vrstvou ze štěrkodrti (obr. 8.6) [5]. Stávající šachty (obr. 8.7) byly odkryty, vyčištěny, byla provedena sanace stávajících degradovaných betonových ploch, osazení ocelových měrných profilů a montáž měřicích přenosových zařízení, umožňujících přenos dat nově položenou kabelizací do dispečinku [15]. Zvolený technologický postup rekonstrukce je považován za nevhodný, protože bylo použito potrubí perforované po celém obvodu a část průsaků odeče vodopropustným dnem do podložních vrstev.



*Obr. 8.6: Obsyp nového plastového centrálního drénu [15]*



*Obr. 8.7: Opravená soutoková šachta [15]*

## 9 Opravy provedené na HN

### 9.1 Lokální opravy puchýřů

Do roku 2007, kdy došlo na kompletní obnovu těsnicí vrstvy pláště, byly prováděny provizorní opravy puchýřů za použití různých materiálů a postupů. Většina takto opravených míst trpěla vyplavováním výplňového materiálu. Postup oprav se v průběhu let zefektivňoval plánováním oprav v souběhu s odstávkou elektrárny a vylepšováním technického vybavení a technologického postupu. Bylo nahrazeno plynové vyhřívání hutnicích pěchů (obr. 9.1), které vlivem počasí často zhasínalo, elektrickým vyhříváním. Druhou zásadní změnou baly náhrada plynového kotle pro rozechřívání AB směsi dieselaagregátovou miniobalovnou. Drobnou změnou bylo také nasazení pojízdných vozíků pro dodávku materiálu po svahu nádrže. Díky těmto modernizacím je nyní možné opravit až 3500 poškozených míst za 9 dní (dříve 18 dní) [4].



Obr. 9.1: Plynovým hořákem nahříváný vibrační pěch [4]



Obr. 9.2: Vybouraná a napenetrovaná jamka [24]

Postup opravy spočívá ve vybourání poškozeného místa do kónického (miskovitého) tvaru (obr. 9.2) pomocí elektrického kladiva tak, aby byla uzavřená voda a vzduch zcela uvolněny. Po vybourání je pracovní spára vyčištěna, vysušena a napenetrována asfaltovou emulzí. Po zaschnutí nátěru je prostor vyplněn horkou asfaltovou směsí a ztuhne nahříváním elektrickým vibračním pěchem do úrovně cca 10 mm nad okolní plochu. Po vychladnutí AB je směs opět nahřívána infračerveným zářičem a dohutněna do okrajů stávajícího AB. Následně je povrch opatřen ochranným nátěrem (mastixem) [5]. Od roku 2011 bylo dle [4] opraveno cca 49 500 ks bodových poškození za cca 10,3 mil. Kč. Kvůli kumulaci poškození v některých hrázových profilech dochází k tomu, že se v nich opravy překrývají a tvoří nehomogenní pás těsnění. V těchto místech již některé starší opravy ztrácí soudržnost [4].

### 9.2 Obnova ochranného nátěru

Vlivem účinku UV záření a místních provozních i klimatických podmínek došlo k degradaci ochranného asfaltového nátěru aplikovaného při rekonstrukci těsnění v roce 2007. Sledováním za 10 let byl zjištěn úbytek v celé své mocnosti na 11% plochy návodního svahu. Během odstávek v letech

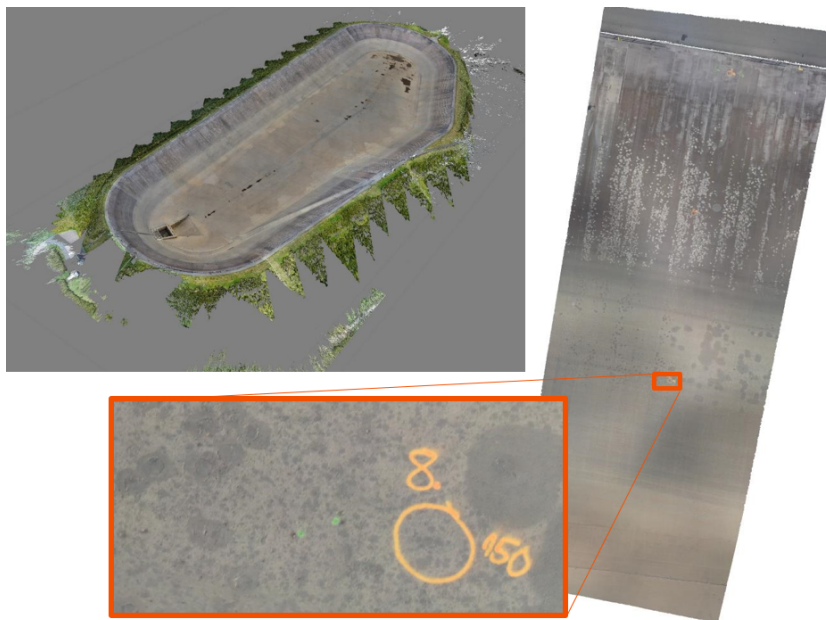


2018 a 2019 byl ochranný nátěr obnoven po celém obvodu nádrže v rozsahu úrovní 1336,5 až 1350,0 m n. m. Pod úrovní kóty 1336,50 m n. m. byl nátěr obnoven za omezeného provozu elektrárny.

Nátěr byl aplikován v mocnosti cca 1,2 mm závěsným vozíkem s vyhřívaným zásobníkem a přítlačnou aplikační lištou. Horizontální pohyb zajišťoval vůz s navijákem a rampou pro závěsný vozík.

Před aplikací ochranného nátěru byl povrch ručně ošetřen penetračním nástřikem (polymerové lepidlo C 40 BF1-S) v množství 100 g/m<sup>2</sup>. Teplota směsi měřená na před aplikační lištou se pohybovala v rozmezí 200 až 220 °C.

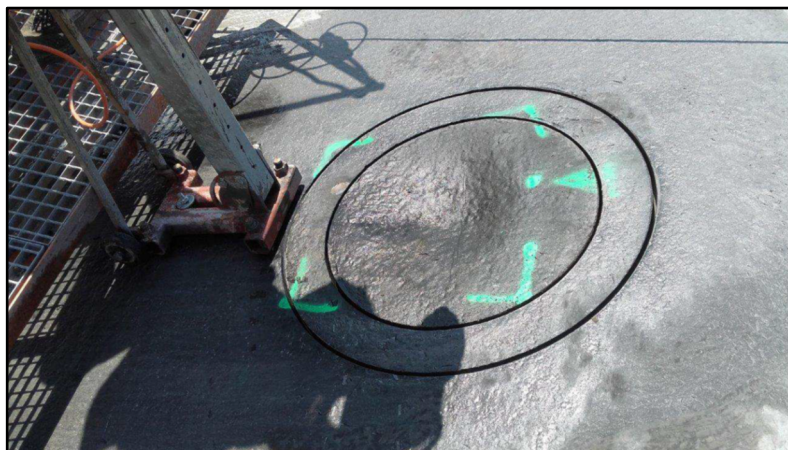
Aplikaci nového ochranného nátěru došlo k vizuálnímu zakrytí současného stavu pláště, proto byl jeho stav v roce 2018 zdokumentován pomocí fotogrammetrie s přesností cca 2 cm, což umožní dohledání dřívějších poruch.



Obr. 9.3: Podrobná fotogrammetrická dokumentace stavu pláště k roku 2018 [4]

### 9.3 Oprava prosednutí pláště

Prosednutí pláště bylo odhaleno během pochůzky technickobezpečnostní prohlídky dne 19.4. 2018 v profilech 23 až 24 (viz obr. 8.2). Půdorysná velikost prosednutí byla cca 400 x 300 mm s hloubkou 40 mm. Oprava spočívala v provedení jádrového odvrtu (obr. 9.4) Ø 600 mm v místě prosednutí až na podsypnou vrstvu a převrtáním korunkou Ø 800 mm do hloubky 70 mm pro vytvoření zazubení pracovní spáry ve tvaru zámku. V podsypné vrstvě byla nalezena dutina hluboká 500 až 700 mm, která měla téměř horizontální směr. Dutina byla vyplněna cca 45 l betonové směsi. Odvrt z vrstvy ACVH byl kromě prosednutí bez viditelných vad. Vrstva z ACVM měla proměnnou mocnost, na nižší úrovni byla oslabená a nad drenážním podsypem byla rozpadlá a nekompaktní [5].



Obr. 9.4: Odvrtání v místě prosednutí [5]



Pracovní spára byla penetrována asfaltovou emulzí a dutina byla zapravena po vrstvách hutněnou horkou AB směsí. Povrch byl opatřen ochrannou stěrkou [4].



*Obr. 9.4: Jádrový vrt z místa prosednutí [5]*

## 9.4 Oprava pláště v roce 2007

Přípravné práce rekonstrukce těsnicího pláště byly zahájeny v roce 2004 na základě rozsáhlé studie, která se zabývala příčinou vzniku poruch a variantami opravy.

Za hlavní příčinu bylo tenkrát označeno drcené čedičové kamenivo z lomu Bílčice, u něhož byly prokázány jílové minerály s úlomky nestabilních hornin [4]. Na plášti se ojediněle vyskytují místa, kde k degradaci pláště přispěly i některé nedostatky spojené s nedodržením předepsané technologie provádění prací. Tyto příčiny byly důvodem vyloučení možnosti sanace formou nátěrů nebo nástřiků, protože by docházelo k nepřerušnému rozpadu konstrukce vrstvy z ACVH. V rámci přípravných prací byla posuzována také možnost přenesení těsnicí funkce pláště na těsnicí plastovou fólii (geomembránou). V rámci vyhodnocení technických aspektů spojených s realizací tohoto způsobu opravy však nebylo toto řešení doporučeno kvůli rizikům spojených s podmínkami na HN. Dle doporučení byla zvolena obnova vrstvy z ACVH na celém návodním svahu HN.



*Obr. 9.5: Vertikální frézování 2007 [15]*

Rekonstrukce byla zahájena v červnu 2007 (v květnu bylo zřízeno zařízení staveniště). Hlavní stavební práce byly zahájeny frézováním těsnicí AB vrstvy s průměrnou hloubkou 10,7 cm. V místech nedodržení projektové skladby AB pláště došlo k odkrytí štěrkové podkladní vrstvy, která byla zapravena způsobem popsáním v kap. 6.2. Na očištěný a suchý povrch byla aplikována spojovací vrstva polymer-modifikovaného lepidla. Asfaltová směs byla přivážena na horní nádrž z obalovny v Bruntálu nákladními auty s dojezdovou dobou cca 100 minut [4]. Směs



*Obr. 9.6: Pokládka nové vrstvy z ACVH za současného hutnění vibračními válci 2007 [15]*

byla pokládána finišerem zavěšeným na lanech navijáku umístěného na koruně hráze. Postup pokládky byl směrem od vodorovné spáry v patě svahu směrem ke koruně hráze. Na cílovou tloušťku byla směs hutněna vibračními válci. Hutnění bylo prováděno do dosažení předepsaných hodnot hutnění, které bylo signalizováno zánikem viditelných stop při pojezdu válců na povrchu nově ukládané vrstvy. Maximální mezerovitost v hotové těsnicí vrstvě musela dosahovat hodnoty méně než 3 %. Pásky byly ukládány kontinuálně po celou dobu pracovního dne. Pracovní spáry po ukončení pracovního dne byly následující den ošetřeny před navázáním dalšího pokládaného pole, jako studený spoj se spojovanou vrstvou přípravkem Estol N. Pro zlepšení přilnavosti mastixu a nově položené těsnicí vrstvy byla nástřikem provedena spojovací vrstva polymerového lepidla. Na takto upravený a suchý povrch byla postupně aplikována ochranná vrstva z AMV [15].

V místě styku těsnicího pláště s betonovou zídou vlnolamu vznikala problém s utěsněním spáry, která se v tomto místě otevírala vlivem rozdílných vlastností materiálů. Dále byly při pochůzce v roce 2002 zjištěny vodorovné trhliny v místě přechodu mezi vodorovnou a šikmou částí pláště u koruny hráze, které se v těchto místech po následném zapravení znovu objevily. Tyto skutečnosti vedly k protažení pláště (obr. 9.7), který byl do té doby zakončen 600 mm pod hranou vlnolamu, do úrovně koruny hráze. K vyrovnání rozdílu úrovní mezi stávajícím AB pláštěm a projektovanou úrovní byl použit drenážní ACVM - 0/16 mm. Vyrovnávací vrstva z ACVM byla ukládána vrstvami po 150 mm s hutněním každé vrstvy [15].



*Obr. 9.7: Vyrovnání pláště do úrovně koruny hráze [15]*



## 9.5 Přetěsnění vtokového objektu

Vtokový objekt je situován v severovýchodní části HN. Jde o ponořený objekt s korunou vyvedenou nad úroveň hladiny stálého nadržení. Celoročně sledovaný průsakový režim v zimním období pravidelně narůstá. Tento jev byl přisuzován rozdílné dilataci betonů vtokového objektu a AB dna nádrže, která způsobila porušení drenáží umístěných kolem vtokového objektu. Proto bylo rozhodnuto o provedení nové drenáže okolo vtokového objektu a přetěsnění zmiňované spáry. Rekonstrukce spočívala v provedení vyspádovaného výkopu ve dně nádrže podél vtoku betonového objektu a uložení nového drenážního PE potrubí DN 160 mm, perforovaného po celém obvodu, do betonového nepropustného lože. Potrubí bylo obandážováno filtrační tkaninou a prostor kolem něj by vyplněn mezerovitým betonem. Drenážní vrstva z mezerovitého betonu byla překryta asfaltobetonovým klínem, na který bylo upevněno nové těsnění spáry mezi betonovým objektem a dnem nádrže (namísto původního pryžového). Nové těsnění je z měděných plechů kotvených do betonu vtokového objektu. Závěrem byla položena vrstva z ACVH. Bezprostředně po rekonstrukci bylo přistoupeno k dotěsnění dilatačních spár v betonu PVC fólií. Při sledování stavu v následujících letech bylo však zjištěno, že se voda dostává i za tuto fólii, a to buď díky netěsnosti, nebo ze strany podloží. Na jaře v roce 2018, kdy byla 2 měsíce horní nádrž udržována při maximální hladině kvůli těžbě sedimentu na nádrži dolní, se průsaky nezvykle zvýšily. V následujících letech byla několikrát překročena mezní hodnota technickobezpečnostního dohledu (TBD), a proto musela být maximální provozní hladina omezována. Tyto průsaky byly stále přisuzovány netěsnosti spáry mezi asfaltobetonem dna a betonem vtokového objektu, případně netěsnosti dilatačních spár vtokového objektu. Zkušebně se přistoupiilo k dodatečnému přetěsnění celého levého vtokového křídla, které se jevilo na průsaky horší, membránou ze syntetické pryže (z EPDM) tloušťky 1,5 mm. Po roce od aplikace EPDM membrány na levém křídle se průsakový režim nezměnil. Pro eliminaci možnosti vzniku průsaků na styku asfaltobetonu a betonu nebo dilatacemi v betonu bylo v roce 2021 přetěsněno stejně i pravé křídlo vtokového objektu. O aplikaci EMPD membrány by bylo možné uvažovat i v případě urgentního řešení závady na těsnicím plášti [4].



Obr. 9.8. Mechanické kotvení EPDM membrány [4]

## 10 Zkušenosti s poškozením pláštěů na zahraničních VD

### 10.1 PVE Porabka – Žar

VD Porabka – Žar je první PVE postavená v Polsku. Nachází se poblíž českých hranic cca 70 km od Ostravy. Koruna HN se nachází na kótě 761 m n. m. HN je těsněna návodním AB těsněním ve dně i na svazích. Dle [18] šlo na svazích původně o dvouplášťovou konstrukci následující skladby:

- mastix
- horní těsnicí vrstva z ACVH tl. 70 mm
- mezilehlá drenážní vrstva z ACVM tl. 100 mm
- dolní těsnicí vrstva z ACVH tl. 50 mm
- podkladní vrstva z ACVM tl. 60 mm
- bitumenový spojovací nástřik asfaltem D-200 3 kg/m<sup>2</sup>
- dodatečné vyrovnaní kamenivem o zrnitosti 10/40 mm
- vyrovnávací vrstva z kameniva 40/150 mm tl. 80 až 150 mm
- drenážní vrstva z kameniva 0/40 mm tl. 150 mm
- kamenitý násyp hráze

Dílo bylo uvedeno do provozu v roce 1979 a již ve třetím roce provozu (1981) byly na povrchu pláště zjištěny vyduté puchýře podobného charakteru jako na HN VD Dlouhé Stráně. Puchýře měly průměr 10 až 60 mm a výšku nad okolní povrch 10 až 40 mm. Otvory měly hloubku 15 až 60 mm a byly vyplněné kalem. Hladina v nádrži se udržuje převážně na maximální úrovni a poškození se vyskytovala především v oblasti kolísání hladin 743 až 754 m n.m. Počet bodových poškození v následujících letech rychle narůstal v řádu mnoha tisíc kusů ročně. Poškození byla každoročně sanována různými metodami na bázi asfaltu.

Stav nádrže byl průběžně monitorován a současně byl prováděn průzkum příčin degradace pláště. Z výsledků průzkumu vyplynulo, že příčinou poruch byla jedna frakce drceného čedičového kameniva použitého v AB plášti. Frakce obsahovala nestabilní příměsi, které citlivé na vlhkost (podrobněji v kap. 11.2.6).

V roce 1995 provedla švýcarská firma Walo obnovu těsnicí vrstvy. Po odfrézování horní vrstvy z ACVH v tl. 70 mm byla položena nová vrstva z ACVH o tl. 80 mm. Obnova byla provedena v rozsahu od hladiny stálého nadržení po korunu hráze, o ploše 73 000 m<sup>2</sup>. V důsledku použití zčásti nekvalitního dolomitického kameniva došlo k opětovnému výskytu poruch v množství cca 100 ks již v roce 1996. V roce 1998 provedla firma Walo v rámci záruky opravu cca 10 % nejvíce postižených ploch. Bylo provedeno odfrézování a položení nové těsnicí vrstvy tl. 80 mm. Do směsi bylo použito kamenivo žulo-rula původem ze Švédska používané na jiné stavbě v Polsku. Takto provedená konstrukce vykazuje poruchy jen ojediněle, oproti tomu se na zbylých 90 % plochy každoročně objevují nová poškození v rádech tisíců kusů. Tato poškození se každoročně sanují asfaltovou směsí speciální receptury navrženou Wroclawskou polytechnikou pro PVE Porabka – Žar. Opravy

provedené touto směsí vykazují po mnoha letech bezvadný stav. Poškození se nikdy neprojevila zvýšeným průsakem z drenážní mezivrstvy do kontrolní chodby pode dnem pláště.

Mechanismus poruch se částečně liší od poruch AB pláště z čedičového kameniva. Díky značné pórovitosti, nasákavosti a nedostatečné mrazuvzdornosti dochází při cyklickém zmrazování ke kumulovaným objemovým změnám a narušování konstrukce při vzniku menších, cca 30 až 40 mm hlubokých poškození než na PVE Dlouhé Stráně [19].

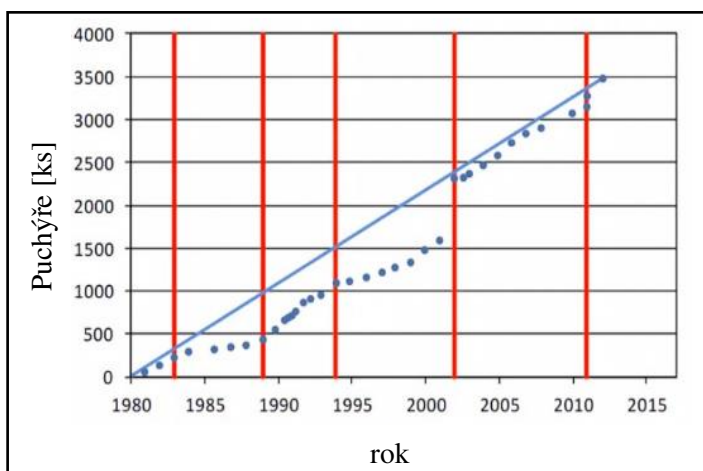
## 10.2 Längental

Vodní nádrž Längental je dolní nádrž v hydroenergetické soustavě Sellrain – Silz. Nachází se v rakouském Tyrolsku cca 30 km západně od města Innsbruck a jde o 45 m vysokou kamenitou hráz vybudovanou z materiálu získaného z výlomů tunelů a šachty PVE. Koruna hráze se nachází na kótě 1904 m n.m., hladina kolísá v rozsahu 1882 až 1901 m n. m. Těsnění návodního svahu hráze se sklonem 1:1,6 bylo původně zhotoveno z jedné vrstvy z ACVH tl. 80 mm (D1) položené na vrstvě z ACVM tl. 60 mm (B1). Po ukončení zkušebního provozu byla po celé ploše těsnicího pláště položena dodatečná drenážní vrstva z ACVM tl. 40 mm (B2) a těsnicí vrstva z ACVH tl. 70 mm (D2) z důvodu velkých průsaků v místě napojení pláště na kotevní blok. Horní drenážní vrstva (B2) byla s původní drenážní vrstvou (B1) propojena otvory vyvrtanými do původní těsnicí vrstvy (D1) v dolní části svahu [20], [21].

VD bylo uvedeno do provozu roku 1980 a již v prvním roce provozu byla zjištěna bodová poškození AB vrstvy (obr. 10.1). Ročně přibývalo v průměru 60 až 100 bodových poškození (obr.10.2), která byla opravována odvrtáním a zaplněním asfaltovou směsí. Povrch byl upraven za tepla. Poškození vznikala převážně v zóně nejčastějšího kolísání hladiny mezi kótami 1888 a 1900 m n. m [20].



Obr. 10.1: Puchýř na Plášti VD Längental [21]



Obr. 10.2: Vývoj puchýřů v čase. Červené linie označují, kdy došlo k opravám puchýřů [21]

Za 30 let měření nebyl zaznamenán vzestup v množství prosakující vody a jak je zřejmé z řezů přes vrtná jádra, otvory se dále nerozvíjeli směrem do hloubky a směřovali k povrchu pláště. Zvýšení průsakového množství nebylo pozorováno. Vzhledem ke stáří pláště, které se blížilo standartní životnosti AB povrchů však bylo rozhodnuto o celkové opravě těsnicího pláště. Ta byla provedena v



roce 2020 a spočívala v odfrézování horní těsnicí (D2) a drenážní (B2) vrstvy a položení nově těsnicí vrstvy z ACVH (D3) a drenážní vrstvy z ACVM (B3) nad kótou 1882 m n. m. Nová drenážní vrstva z ACVM (B3) byla položena v tloušťce 70 mm a těsnicí vrstva z ACVH (D3) byla položena v tloušťce 80 mm. Po odfrézování starých vrstev D2 a B2 byly znaky puchýřů i v původní těsnicí vrstvě D1 nicméně nebyla nalezena souvislost mezi puchýři ve vrstvě D1 a ve vrstvě D2 [20], [21]. Drenážní vrstvy B3 a B1 byly propojeny vyvrtáním otvorů Ø 150 mm v rozestupu 2,5 m do původní těsnicí vrstvy D1 v dolní části nově položené těsnicí vrstvy.



*Obr. 10.3: Vyznačení dolní úrovně opravy na kótě 1882 m n. m. [21]*

Příčinu vzniku puchýřů v těsnicí vrstvě D2 provozovatel jednoznačně neurčil. Důvodem baly patrně tvorba páry uvnitř těsnicí vrstvy, kde dochází vlivem časté změny zátěže ke vzniku dutiny a otevření puchýře. Možnými příčinami mohou být [20]:

- příliš vysoký obsah asfaltového pojiva ve směsi (7,1 %),
- vápencová moučka jako filer,
- vnesení vlhkosti do pláště při hutnění,
- příliš dlouhé pásy při pokládce a s tím spojené vychladnutí směsi a její nedokonalé zpracování,
- difuze vodních par,
- sluneční záření.

## 10.4 PVE Markersbach

VD Markersbach se nachází v Německu poblíž českých hranic cca 30 km severně od Karlových Varů. HN je tvořena kamenitou hrází s korunou na kótě 848 m n.m. Hráz má výšku 16 až 26 m se sklonem návodního svahu 1:2. Maximální kolísání hladiny je 15,15 m. Hráz je těsněna jednoplášťovým návodním AB těsněním následující skladby [12]:

- mastix
- těsnicí vrstva z ACVH tl. 2 x 40 mm
- drenážní vrstva z ACVM tl. 80 mm
- podkladní vrstva

VD bylo uvedeno do provozu v letech 1979 až 1981. Asi po čtyřech letech poté se na AB plášti začaly objevovat puchýře. Za použití různých směsí AB byly prováděny opravy. Vlastník díla a oddělení TBD vypracovali studie za účelem určení příčin porušení. Závěry vedly ke konstatování, že důvodem porušení bylo nedodržení kvality prováděných prací, zejména nevhodné kamenivo z hlediska mrazuvzdornosti a nedodržení teploty při pokládce asfaltobetonu a špatné přilnutí vrstev AB pláště. I přes tyto defekty nedošlo ke zvýšení průsaků vody AB pláštěm. Po několika letech v roce 1990, kdy byly neúspěšně prováděny dílčí opravy, bylo rozhodnuto provést celkovou opravu AB pláště na návodním svahu HN. Oprava spočívala v odfrézování horní těsnicí vrstvy v tloušťce 70 mm a položení nové AB vrstvy tloušťky 80 mm. Z návštěvy vodního díla 10. 2. 2014 vyplývá, že se od roku 1998 na opraveném plášti HN opět vyvíjí puchýře v množství cca 500 ks za rok. Ty byly do roku 2012 lokálně opravovány technologií Walo za tepla. V současnosti nejsou lokální opravy prováděny s ohledem na příznivý vývoj průsaků a předpokládanou celkovou opravu [12].

## 10.5 PVE Zhangewan

VD Zhangewan se nachází v Číně cca 30 km jihozápadně od města Shijiazhuang. HN PVE Zhangewan je těsněna návodním dvouplášťovým AB těsněním na svazích se sklonem 1:1,75. Koruna hráze HN je v úrovni kóty 812 m n. m. Pro AB byl použit čistý vápenec a asfalt B90. Skladba pláště je následující [17]:

- mastix tl. 2 mm
- horní těsnicí vrstva z ACVH tl. 100 mm
- drenážní mezivrstva z ACVM tl. 80 – 100 mm
- dolní těsnicí vrstva z ACVH tl. 80 mm

VD bylo uvedeno do provozu v prosinci 2007 a v září 2009 byla poprvé zjištěna bodová poškození pláště s průměrem od 100 do 400 mm. Od roku 2009 do roku 2014 bylo zapraveno přes 500 puchýřů. Zpočátku se předpokládalo, že vznik puchýřů byl způsoben ucpáním drenážní vrstvy v místě puchýře, přičemž vlivem vysoké teploty došlo ke zvýšení tlaku vodních par a vzniku puchýře. V souladu s tím byly v listopadu 2014 do drenážní vrstvy skrze vyvrtané otvory vloženy trubičky o

průměru 76 mm pro snížení tlaku vodních par. Přesto se nadále objevovaly puchýře nové, což zcela nepotvrzovalo teorii o jejich vzniku. Pro zjištění příčiny vzniku bylo provedeno zkoumání na jádrových vrtech a laboratorních modelech.

V dubnu 2016 byla během rozsáhlé obchůzky zjištěna nová poškození v počtu 193 ks. Puchýře se objevily v rozsahu kót 795 až 811 m n. m. což víceméně korespondovalo s rozsahem kolísání hladiny. Z otevřeného puchýře o  $\varnothing$  400 mm by vyvrtán jádrový vrt o  $\varnothing$  300 mm (obr. 10.4). Po navrtání cca 50 mm se uvolnila tlaková voda a horní těsnicí vrstva jádrového vrtu se rozdělila na dvě části v hloubce cca 40 až 50 mm. Spodní vrstvy nevykazovaly žádné vady. Stejně chování vykazalo všech dalších 9 testovacích jádrových vrtů. Na základě navazujících rozborů jádrových vrtů a laboratorních modelů byly vyvozeny následující závěry [17]:



*Obr. 10.4: Jádrový vrt v místě puchýře  $\varnothing$  30 cm [17]*

- Mezerovitost horní těsnicí hutné vrstvy byla 2,47 % - 2,95 %, tedy nižší než požadované 3 % pro těsnicí vrstvu, což eliminuje možnost vniknutí vody do horní těsnicí vrstvy se strany nádrže.
- Z podmínek okolní teploty v Zhanghewanu generovala uzavřená vlhkost tlak vodních par 13 – 22 kPa
- Voda se do horní těsnicí vrstvy pravděpodobně dostala z rostřikování vody hutnicím válcem při hutnění. V místech nad vodní hladinou, kde nebylo použito vlhčení válce nejsou prakticky žádné puchýře

# 11 Posouzení příčin vzniku bodových poškození na VD Dlouhé Stráně

## 11.1 Způsob posouzení

Stanovení jednoznačné příčiny vzniku bodových poruch je velmi složitý problém, jímž se zabývá mnoho odborníků, kteří se prozatím nedokázali shodnout na jeho jednoznačném řešení. V této kapitole proto budou popsány pouze stádia vzniku poškození a jevy, které se pravděpodobně do jisté míry na jednotlivých stádiích vzniku bodových poškození podílejí. Tyto jevy byly rozčleněny dle časového vývoje poškození následovně [14]:

### A. Vznik dutiny malých rozměrů uvnitř pláště.

- Difúzní jevy (kap. 11.2.1).
- Kapilarita (kap. 11.2.2).
- Klimatické a provozní podmínky (kap. 11.2.5).
- Složení AB směsi (kap. 11.2.6).
- Technologie provádění (kap. 11.2.7).

### B. Skryté poškození, dutina bez zjevných projevů na povrchu pláště.

- Působení ledu (kap. 11.2.4).
- Klimatické a provozní podmínky (kap. 11.2.5).
- Složení AB směsi (kap. 11.2.6).
- Technologie provádění (kap. 11.2.7).
- Skladba podkladních vrstev (kap. 11.2.8).

### C. Zjevné poškození (trhliny v povrchu, otevřený puchýř v různém stadiu vývoje)

- Průnik tlakové vody (kap. 11.2.3).
- Působení ledu (kap. 11.2.4).
- Složení AB směsi (kap. 11.2.6).
- Skladba podkladních vrstev (kap. 11.2.8).

## 11.2 Výčet jevů podílejících se na vzniku poškození v těsnicím plášti

### 11.2.1 Difúzní jevy

Asfaltobeton je obecně (byť velmi málo) difúzně propustný materiál. Transport vlhkosti v AB plášti závisí na gradientu parciálního tlaku vodních par v konstrukci. Parciální tlak vodních par je závislý na teplotě, proto je směr šíření vlhkosti ovlivněn teplotními a vlhkostními podmínkami v tělese hráze a na vnější straně AB pláště. Difúzní tok je nejintenzivnější v období vyšších



venkovních teplot, kdy dochází zvýšení parciálního tlaku vodních par v osluněném plášti. Vodní páry se tak difúzním tokem dostanou do dutin AB vrstev, kde při poklesu teploty v AB plášti pod rosný bod (při napuštění hráze, ochlazení v noci) dosáhnou termodynamické rovnováhy s vodou o stejné teplotě a tlaku a kondenzují [14].

### **11.2.2 Kapilarita**

Díky schopnosti kapalin vzlínat vlivem povrchového napětí úzkou kapilárou se může voda do pláště dostat i směrem z tělesa hráze. V rámci průzkumů bylo zjištěno, že v největší míře se kapilární jevy uplatňují ve vrstvě ACVM, kde místně dosahovala výška kapilární vzlínivosti až 5 cm. Výrazně menší (prakticky nulové) kapilární vzlínání bylo identifikováno do vrstvy z ACVH s tím, že z povrchu pláště bylo prakticky zanedbatelné, ze strany ACVM bylo velmi malé (max. 2,4 cm) [14].

### **11.2.3 Průnik tlakové vody do vrstvy z ACVH**

Vliv tlaku vody na těsnicí plášť ze strany nádrže na průnik vody do konstrukce AB vrstev může nastat v případě narušení povrchu AB pláště trhlinami vzniklými v důsledku jiných vlivů jako je tepelné namáhání, nevhodné kamenivo nebo zmrazovací cykly uzavřené vody v dutinách AB vrstev. Zkoušky provedené dodavatelem VD Dlouhé Stráně i následující průzkumy však prokázaly praktickou vodotěsnost pláště vůči vnikání tlakové vody do pláště neporušeného lokálními poruchami [14].

### **11.2.4 Působení ledu v zimním období**

Průzkumy a modelovými výpočty byl potvrzen difúzní tok vodních par do vrstvy ACVH popsáný v kap. 7.2. V zimním období, kdy je pravděpodobnost kondenzace vodních par vyšší, navíc může v dutinách zaplněných vodou dojít k tvorbě ledových krystalů a vzniku trhlin v okolí uzavřených dutin. Dle dosavadních měření teplot AB pláště na HN PVE Dlouhé Stráně vyplývá, že AB plášť promrzá na celou tloušťku své konstrukce. Výsledkem je prakticky jistá expanze vody v dutinách AB vrstev [14].

### **11.2.5 Klimatické a provozní podmínky**

Klimatickými a provozními podmínkami jsou zde myšleny především teplotní jevy, zejména kolísání teplot a prohřívání AB pláště, kolísání hladiny v nádrži a ochlazování AB pláště. Z hlediska vlhkosti materiálu v násypu hráze jsou významné srážky a tání sněhu, které mohou vyvolat zatékání do tělesa hráze a zvyšovat vlhkost ve vrstvách pod AB pláštěm. Dle modelových výpočtů dojde při oslunění k prohřátí AB pláště v celé jeho tloušťce až do podkladních vrstev. Naopak v zimních obdobích plášť promrzá v celé tloušťce [14].

### **11.2.6 Složení AB směsi**

Z výsledků detailní studie drob a kameniva získaného extrakcí z vrtů asfaltobetonu vyplývá, že do směsi ACVH bylo použito drcené kamenivo-droba s vysokým obsahem nevhodných jemných částic. Obdobně tyto částice ve značném množství obsahuje vlastní filer. Bylo prokázáno, že v kamenivu pocházejícím z lomu v Bělkovicích jsou přítomny jílové minerály (6 ~ 19 %) a úlomky nestabilních hornin (průměrně 10 %). Jílové minerály výrazně snižují životnost AB. Jsou vysoce citlivé na vlhkost, která způsobuje jejich objemové změny, zároveň působí jako účinná bariéra proti přilnavosti asfaltu k povrchu kameniva. Koagulace jílových minerálů a chloritů vlastního fileru může také způsobit, že v pórech mezi shlukujícími se krystalky, bude uzavřena vodní pára. Ta poté může sloužit jako expanzní médium [14].

### **11.2.7 Technologie provádění**

Sem se řadí například pokládka na vlhký a/nebo neočištěný povrch od prachu, nedodržení teplot v obalovně, vychladnutí směsi při pokládce/transportu, nedostatečně zhutnění, nedodržení technologického postupu při napojování spár, segregace kameniva při transportu a ukládání asfaltové směsi apod. Průzkum podkladů a také místní šetření ukázaly, že v řadě případů pravidla pro dopravu a pokládání směsi dodržena nebyla (pokládka za deště, resp. na vlhký povrch, pravděpodobná segregace apod.) [14].

### **11.2.8 Skladba podkladních vrstev**

Skutečná skladba podkladní a vyrovnávací vrstvy a také jejich vlastnosti (tloušťka, zrnitost materiálu, vlhkost) se liší od předpokladů, za nichž byla provedena projektová dokumentace opravy a také samotná oprava AB pláště v roce 2007 [14].

### **11.2.9 Frézování, tloušťka AB pláště**

Při frézování bylo odhaleno, že původní vrstva ACVM má místy tloušťku jen několik centimetrů a na několika místech byla profrézována až na drenážní vrstvu. V těchto místech byla položena nová vrstva ACVM na úkor oslabení drenážní vrstvy. Tloušťka nové vrstvy ACVH v řadě případů nedosahuje smluvené minimální mezní hodnoty (min. 80 mm). Oba jevy vedou k intenzivnějším difúzním jevům (menší tloušťka vrstev) a také k rychlejšímu vývoji poruch a dřívejšímu narušení pláště přes celou jeho tloušťku [14].

## 12 VYMEZENÍ A POPIS VARIANT OPRAVY

Na základě studie podkladů o zahraničních VD s AB plášt'ovým těsněním (kap. 10) a příslušných norem a předpisů, byl sestaven soupis možných alternativ technického návrhu opravy. Tento soupis byl konzultován s vlastníkem díla ČEZ. Z materiálových řešení byl zvolen AB plášť pro své vlastnosti uvedené v kap. 3.1. Provedení vybraných řešení je myšleno v rozsahu celého návodního svahu hráze HN. Vybraná řešení jsou rozdělena na jednoplášť'ová (Varianta 1.X) a dvouplášť'ová (Varianta 2.X). Vybraná řešení rekonstrukce jsou následující:

- Varianta 0 Současný stav pláště
- Varianta 1.1 Obnova vrstvy z ACVH dle rekonstrukce z roku 2007
- Varianta 1.2 Překrytí současné konstrukce vrstvou z ACVH
- Varianta 1.3 Obnova vrstev z ACVM a ACVH
- Varianta 1.4 Obnova drenážní vrstvy a vrstev z ACVM a ACVH
- Varianta 1.5 Odstranění vrstvy ACVH a pokládka vrstev ACVM a ACVH
- Varianta 2.1 Položení vrstev z ACVM a ACVH na současnou konstrukci
- Varianta 2.2 Odstranění vrstvy ACVH a položení dvouplášť'ové konstrukce

Rozsah poškození těsnicího pláště puchýři a příčiny vzniku tohoto poškození, které mají s vysokou pravděpodobností původ v kvalitě jednotlivých konstrukčních vrstev, vylučuje možnost úspěšného provedení sanace pláště pouze formou nátěrů nebo nástřiků stávající konstrukce nebo změnou provozu VD.

Kvůli nízké spolehlivosti rekonstrukce provedené v roce 2007 se předpokládá provedení pokusných ploch s různou skladbou konstrukce a sledování jejich chování v podmínkách HN. Výběr konstrukcí by mohla respektovat výsledky následujícího hodnocení.

### 12.1 Způsob vyhodnocení výhodnosti vybraných řešení

Všechny varianty budou hodnoceny ve vybraných kritériích, která byla zvolena na základě konzultací se zástupci vlastníka VD (ČEZ) a dostupných podkladů. Hodnocenými kritérii jsou **cena** a **spolehlivost / životnost** konstrukce AB pláště. Váhy kritérií byly po konzultaci s pracovníky vlastníka VD stanoveny shodně pro obě kritéria.

Tab.12.1: Kritéria rozhodovací analýzy

| Hodnocené kritérium      | Index kritéria | Váha hodnocení <i>P</i> |
|--------------------------|----------------|-------------------------|
| Cena                     | C              | 0,5                     |
| Spolehlivost / Životnost | S              | 0,5                     |

Protože hodnocení v kritériu spolehlivosti / životnosti částečně ovlivňuje hodnocení v kritériu ceny, bylo hodnocení provedeno v tomto pořadí:

1. Hodnocení kritéria spolehlivosti
2. Hodnocení kritéria ceny

Součástí příloh k této studii je excelovský soubor s možností úpravy dat hodnocení.

### **Hodnocení spolehlivosti / životnosti**

Spolehlivost je dle definice schopnost díla plnit požadovanou funkci v daných podmínkách používání a údržby do dosažení mezního stavu. Určení spolehlivosti je nesnadným úkolem. Je nutné prognózovat chování konstrukce AB pláště v jednotlivých variantách opravy. Budoucí skutečné chování se od projektového chování nutně více či méně liší.

Pro objektivní zhodnocení všech variant bylo nutné stanovit způsob hodnocení aplikovatelný na všechny varianty. Jako způsob hodnocení bylo zvoleno určení předpokládaného kumulativního počtu vzniklých puchýřů za období 30 let ( $T_s = 30$ ), které představuje standartní dobu životnosti AB plášťů. Počet puchýřů je značen jako  $S_j$  pro j-tou variantu. Postup hodnocení spolehlivosti následující:

1. **Určení počátku vzniku prvních puchýřů od uvedení j-té varianty do provozu.** Doba od počátku vzniku puchýřů pro j-tou variantu je značena  $t_{p,j}$ . Při určení této doby se vycházelo z varianty 0, která reprezentuje současný stav pláště. Na současném plášti byly první puchýře objeveny po 4 letech ( $t_v = 4$ ). Hodnota  $t_{p,j}$  závisí na dalších faktorech uvedených v tab. 12.2 a byla spočítána pomocí následujícího vztahu:

$$t_{p,j} = t_v + \Delta t_{p,j} \quad (1)$$

2. **Určení ročního přírůstku počtu puchýřů pro j-tou variantu.**

Roční přírůstek počtu puchýřů pro j-tou variantu je značen  $v_j$ . Výchozí hodnota ročního přírůstku počtu puchýřů  $v_v$  opět vychází ze zkušeností se současným stavem pláště (varianta 0), kde byl s výjimkou prvních tří let, které byly atypické, zaznamenán výskyt puchýřů cca 3000 ks/rok ( $v_v = 3000$ ). Hodnota  $v_j$  závisí na dalších faktorech uvedených v tab. 12.2 a byla spočítána pomocí následujícího vztahu:

$$v_j = v_v - \Delta v_j \quad (2)$$

3. **Určení doby tvorby puchýřů.**

Doba tvorby puchýřů pro j-tou variantu je značena  $t_j$  a byla počítána dle následujícího vztahu:

$$t_j = T_s - t_{p,j} \quad (3)$$

4. **Určení počtu puchýřů.**

Výsledný kumulativní počet puchýřů za období 30 let  $S_j$  byl počítán dle následujícího vztahu

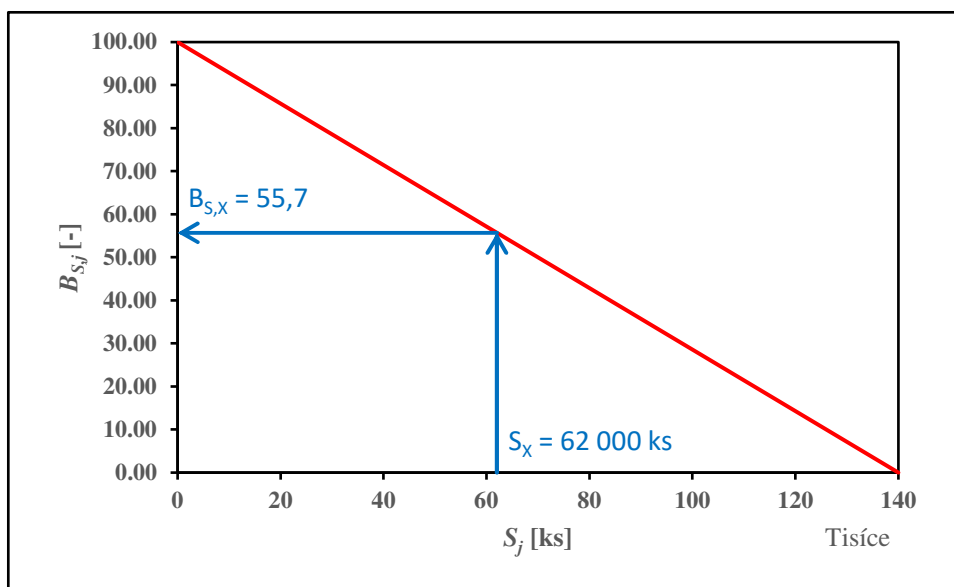
$$S_j = \frac{t_j}{v_j} \quad (4)$$



## 5. Stanovení bodového hodnocení spolehlivosti.

Vypočítaný počet puchýřů pro j-tou variantu byl převeden na bodové hodnocení  $B_{S,j}$ . Bodové hodnocení spolehlivosti je na škále od 0 do 100. Hodnocení  $B_S = 100$  odpovídá počtu puchýřů  $S = 0$  ks. Hodnocení  $B_S = 0$  odpovídá počtu puchýřů  $S = 140\,000$  ks (obr. 12.1) a bylo určeno jako výsledek nejhůře hodnocené varianty zaokrouhlený nahoru na tisíce ks. Vztah mezi hodnocením  $S_j$  a bodovým hodnocením  $B_{S,j}$  byl zvolen jako lineární:

$$B_{S,j} = -\frac{100}{140\,000} \cdot S_j + 100 \quad (5)$$



Obr.12.1: Vztah mezi počtem puchýřů a bodovým hodnocením. Příklad fiktivní varianty X

Tab. 12.2: Faktory ovlivňující hodnocení spolehlivosti

| Faktor                                            | Vliv faktoru na počátek výskytu puchýřů $\Delta t_{p,j}$ | Vliv faktoru na rychlost nárůstu počtu puchýřů $\Delta v_j$ [ks/rok] |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Oprava drenážní vrstvy                            | 2                                                        | 500                                                                  |
| Oprava podkladní vrstvy                           | 0                                                        | 100                                                                  |
| Dvouplášťová konstrukce                           | 1                                                        | 500                                                                  |
| Větší tloušťka těsnicí vrstvy (+50 mm)            | 1                                                        | 0                                                                    |
| Použití kvalitnějšího kameniva pro těsnicí vrstvu | 4                                                        | 1500                                                                 |

Ze zkušeností a výsledků výzkumů zaměřených na příčiny vzniku bodových poruch na HN VD Dlouhé Stráně i zahraničních děl je zřejmé, že značný podíl na tvorbě bodových poškození může mít nekvalitní kamenivo. Proto byl zaveden předpoklad přísnějších požadavků na kontrolu kvality kameniva a technologické kázně, než bývá standardem. Přesto v mnoha případech i při splnění doposud známých opatření dochází k poruchám těsnicích plášťů s potřebou jejich oprav a

rekonstrukcí, které snižující efektivitu využití vodních děl. Zároveň s tím nebyla příčina vzniku puchýřů jednoznačně přisouzena pouze kvalitě kameniva a nelze tak počítat s tím, že bude nová konstrukce při použití vhodného kameniva problému se vznikem bodových poškození zcela zbavena.

Hodnoty uvedené v tab. 12.2 byly určeny odhadem na základě studia podkladů, které se týkají výskytu bodových poškození stejného nebo podobného typu jako na VD Dlouhé Stráně (viz kap. 10 a 8.1).

Hodnoty  $S_j$  dále vstupují do hodnocení kritéria ceny.

## Hodnocení ceny

Výchozím podkladem pro stanovení ceny jednotlivých cenových položek byl cenový rozbor rekonstrukce z roku 2007 [22], cenová databáze URS a harmonogram opravy pláště v roce 2007 [16]. Cenové položky týkající se šterkové drenážní vrstvy byly exportovány ze softwaru KROS 4, který čerpá data z cenové databáze URS. Ceny staveních hmot a činností, které jsou shodné s rekonstrukcí v roce 2007 byly převzaty z [22] a pomocí cenového indexu dle [23] byly přepočítány na ceny pro rok 2021. Kromě stavebních prací a stavebních hmot je v ceně zahrnut ušlý zisk způsobený odstávkou VD, ztracená výroba způsobená navýšením tloušťky konstrukce pláště a s tím související ztrátou objemu nádrže, cena za opravu přístupových komunikací na stavenišť a cena za lokální opravy bodových poškození, jejichž vznik se předpokládá. Cenové položky v Kč bez DPH jsou shrnuty tabulkou 12.3.

Cena v Kč je značena  $C_j$  pro j-tou variantu. Postup hodnocení ceny byl následující:

### 1. Výběr cenových položek dle dané varianty.

### 2. Určení doby odstávky.

Mezi cenové položky patří také doba odstávky způsobená prováděním dané varianty a opravou puchýřů v následujících letech. Doba odstávky způsobená prováděním dané varianty byla určena odhadem na základě [16]. Doba odstávky způsobená opravou puchýřů  $T_O$  byla spočítána jako:

$$T_O = \frac{S_j}{v_R} \quad (6)$$

Kde  $v_R$  je rychlost oprav puchýřů stanovená na 350 ks/den ( $v_R = 350$ ) [4].

### 3. Dosazení výměr do položkového rozpočtu vytvořeném v prvním kroku.

Mezi cenové položky patří také oprava puchýřů. Jejich počet závisí na spolehlivosti dané varianty a jde o hodnotu  $S_j$  vypočítanou v hodnocení spolehlivosti. Dále sem patří také ztracená výroba, která je dána zmenšením objemu HN kvůli vyšší tloušťce pláště dané varianty.

### 4. Stanovení výsledné ceny.

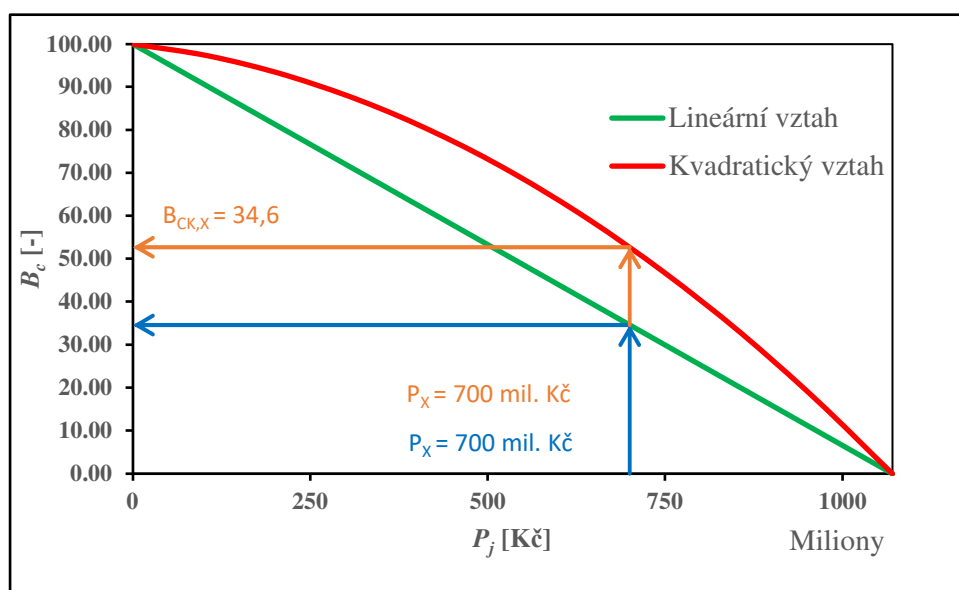
Výsledná cena je spočítána jako suma cen všech cenových položek.

## 5. Stanovení bodového hodnocení ceny.

Cena  $C_j$  stanovená v Kč pro  $j$ -tou variantu byla převedena na bodové hodnocení  $B_{C,j}$ . Bodové hodnocení ceny je na škále od 0 do 100. Hodnocení  $B_C = 100$  odpovídá ceně  $C = 0$  Kč. Hodnocení  $B_C = 100$  odpovídá ceně  $C = 1,070$  mld. Kč (obr. 12.2) a bylo určeno jako výsledek nejhůře hodnocené varianty zaokrouhlený nahoru na desítky mil. Kč. Pro stanovení bodového hodnocení  $B_{C,j}$  byly zvoleny následující dva vztahy:

$$B_{CL,j} = -\frac{100}{1,07 \cdot 10^9} \cdot C_j + 100 \quad (7)$$

$$B_{CK,j} = -6,9875 \cdot 10^{-17} \cdot C_j^2 - 1,8692 \cdot 10^{-8} \cdot C_j + 100 \quad (8)$$



Obr. 12.2: Vztah mezi cenou v Kč a bodovým hodnocením. Příklad fiktivní varianty X

Záměrem přepočtu cen v Kč na bodové hodnocení více funkcemi je zjistit citlivost výsledného hodnocení na způsobu přepočtu. Lineární funkce (7) vyjadřuje přímou úměru mezi bodovým hodnocením a cenou, zatímco kvadratická funkce (8) znevýhodňuje dražší řešení. Volba funkce pro výsledné hodnocení bude záviset na citlivosti výsledku.

Tab. 12.3: Cenové položky

| Položka          | Poznámka                    | Cena 2007                        | Cenový index | Cena 2021                        |
|------------------|-----------------------------|----------------------------------|--------------|----------------------------------|
| ACV              | frézování, odvoz, likvidace | [Kč/m <sup>3</sup> ]<br>5 400.00 | 1.45         | [Kč/m <sup>3</sup> ]<br>7 830.00 |
| ACV              | výroba, doprava             | [Kč/m <sup>3</sup> ]<br>6 000.00 | 1.45         | [Kč/m <sup>3</sup> ]<br>8 700    |
| ACV              | pokládka                    | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>570.00   | 1.45         | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>826.50   |
| Spojovací vrstva |                             | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>25.00    | 1.45         | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>36.25    |
| AMV              |                             | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>91.00    | 1.45         | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>131.95   |

| Položka                  | Poznámka                                                  | Cena 2007                     | Cenový index | Cena 2021                          |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------|------------------------------------|
| Vyčištění AB             |                                                           | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>20.00 | 1.45         | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>29.00      |
| Drenážní vrstva          | Odstranění podkladu z kameniva drceného tl. 200 až 300 mm |                               |              | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>60.00      |
| Drenážní vrstva          | Přesun materiálu                                          |                               |              | [Kč/t/km]<br>15.00                 |
| Drenážní vrstva          | Poplatek za uložení na skládce                            |                               |              | [Kč/t]<br>300.00                   |
| Drenážní vrstva          | Uložení štěrkodrti se zhutněním                           |                               |              | [Kč/m <sup>3</sup> ]<br>1 250.00   |
| Oprava příjezdových cest |                                                           | [Kč]<br>90 000 000            | 1.45         | [Kč]<br>130 500 000                |
| Oprava puchýřů           |                                                           |                               |              | [Kč/ks]<br>(1)470.00               |
| Ušlý zisk                | vlivem odstávky VD                                        |                               |              | [Kč/den]<br>(1)2 000 000           |
| Ztracená výroba          | vlivem ztraceného objemu HN                               |                               |              | [Kč/m <sup>3</sup> /rok]<br>(1)315 |

<sup>(1)</sup>Hodnoty byly získány od zástupců vlastníka VD (ČEZ)

<sup>(2)</sup>Cena platí pro 300 cyklů za rok, ceně 30 EURO za 1 MWh a ceně 25,50 Kč za EURO

## Vyhodnocení

Výsledné bodové hodnocení  $H_j$  je součtem bodového hodnocení ceny a spolehlivosti přenásobené příslušnou váhou daného kritéria (tab. 12.1.).

$$H_j = P_S \cdot B_{S,j} + P_C \cdot B_{C,j} \quad (9)$$

Řešení, které je ohodnocenou nejvyšším počtem bodů dle rovnice (9) bude doporučeno jako nejvhodnější.

## 12.2 Výčet a popis variant oprav

### 12.2.1 Varianta 0 – Současný stav pláště

Varianta 0 spočívá v provozu za současného stavu těsnicího pláště a v sanování puchýřů lokálně. Puchýře budou i nadále sanovány dle postupu pro údržbu dodaného zhotovitelem nové těsnicí vrstvy z roku 2007. Postup lokálního sanování je následující [5]:

- Vybourání AB v místě bodového porušení na celou hloubku otvoru elektrickým kládíkem
- Vyčištění pracovní spáry tlakovým vzduchem

- Vysušení pracovní spáry plamenem
- Penetrace pracovní spáry asfaltovou emulzí
- Vyplnění prostoru horkou AB směsí
- Hutnění cca 10 mm nad stávající úroveň AB pláště
- Vychladnutí výplňového AB
- Prohřátí infračerveným zářičem na teplotu min. 60 °C
- Dohutnění vyhřívaným pěchem s dotlačením výplňového AB ke stávajícímu AB
- Vychladnutí hutněného povrchu
- Opatření povrchu novou ochrannou vrstvou (mastixem)

## Hodnocení

Při vyhodnocení spolehlivosti varianty 0 bylo k hodnotě výsledného počtu puchýřů  $S_0$  připočteno 49 500 ks puchýřů. Tyto puchýře již byly lokálně opraveny, proto nejsou v hodnocení ceny oprav puchýřů započteny. Hodnocení spolehlivosti varianty 0 dle postupu popsaného výše shrnuje tab. 12.4, hodnocení ceny shrnuje tab. 12.5 a výsledné hodnocení je shrnuto v tab. 12.6.

Tab. 12.4: Varianta 0 - hodnocení spolehlivosti

| $T_S$ [let] | $t_{p,0}$ [let] | $v_v = v_0$ [ks/rok] | $t_0$ [let] | $S_0$ [ks] | $B_{S,0}$ |
|-------------|-----------------|----------------------|-------------|------------|-----------|
| 30          | 0               | 3000                 | 30          | 139 500    | 0,4       |

Tab. 12.5: Varianta 0 - hodnocení ceny

| Položka        | Poznámka                                | měrné jednotky | jednotková cena          | Cena bez DPH [Kč]  |
|----------------|-----------------------------------------|----------------|--------------------------|--------------------|
| Opravy puchýřů |                                         | [ks]<br>90 000 | [Kč/ks]<br>470.00        | 42 300 000         |
| Ušlý zisk      | Odstávka kvůli lokálním opravám puchýřů | [dní]<br>259   | [Kč/den]<br>2 000 000.00 | 518 000 000        |
| $\Sigma$       |                                         |                |                          | <b>560 300 000</b> |

Tab. 12.6: Varianta 0 - výsledné hodnocení

| Bodové hodnocení ceny |            | Bodové hodnocení spolehlivosti $B_{S,0}$ | Celkové hodnocení |           |
|-----------------------|------------|------------------------------------------|-------------------|-----------|
| $B_{CL,0}$            | $B_{CK,0}$ |                                          | $H_{L,0}$         | $H_{K,0}$ |
| 47,64                 | 67,59      | 0,4                                      | 24,00             | 33,97     |



### 12.2.2 Varianta 1.1 – Obnova vrstvy z ACVH dle rekonstrukce z roku 2007

Varianta 1.1 řeší nevyhovující stav těsnicího pláště na svazích HN obnovou svrchní AB vrstvy z ACVH na ploše cca 96 500 m<sup>2</sup>. Zahrnuje tento rozsah hlavních prací:

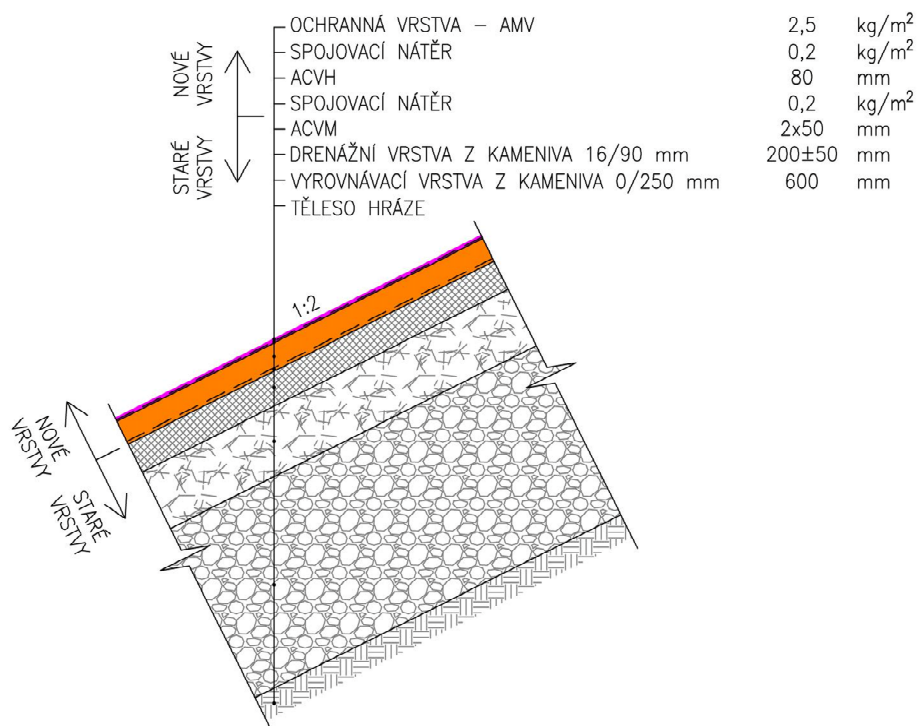
- Odstranění konstrukce z ACVH tl. 80 mm, včetně ochranného nátěru mastix, na návodním svahu hráze
- Položení nové konstrukce z ACVH tl. 80 mm, včetně ochranného nátěru mastix, na návodním svahu hráze

Varianta 1.1 bude provedena dle následujícího postupu stavebních prací:

- Přípravné práce (zhotovení výhyben, vytvoření montážního prostoru, montáž lanových navijáků, uvedení infrastruktury na staveništi do provozu, odstranění zábradlí apod.)
- Frézování na hloubku vrstvy ACVH po vypuštění HN během odstávky elektrárny
- Horizontální frézování v patě svahu pro vytvoření ukončovací hrany napojení
- Čištění a příprava odfrézovaných ploch
- Aplikace spojovací vrstvy na suchý a očištěný povrch v množství cca 0,2 kg/m<sup>2</sup>
- Vertikální pokládka nové vrstvy z ACVH na zatuhlou spojovací vrstvu za současného hutnění svahovými vibračním válci
- Úprava spár
- Aplikace spojovací vrstvy na suchý a očištěný povrch v množství cca 0,2 kg/m<sup>2</sup>
- Uložení ochranného nátěru Mastix
- Ukončovací práce

Výsledná skladba konstrukce po provedení varianty 1.1 (obr. 12.3) je následující:

|                                                             |                        |                    |
|-------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------|
| • Ochranná vrstva (mastix)                                  | 2,5 kg/m <sup>2</sup>  | Nová konstrukce    |
| • Spojovací vrstva                                          | 0,2 kg/m <sup>2</sup>  |                    |
| • ACVH                                                      | 80 mm                  |                    |
| • Spojovací vrstva                                          | 0,2 kg/m <sup>2</sup>  |                    |
| • ACVM                                                      | 0 až 100 mm            | Původní konstrukce |
| • Drenážní vrstva pod AB pláštěm z kameniva frakce 16/90 mm | teoreticky 200 ± 50 mm |                    |
| • Vyrovnávací vrstva z kameniva frakce 0/250 mm na svahu    | průměrně 600 mm        |                    |



Obr.12.3: Varianta 1.1 - skladba konstrukce

## Hodnocení

Mezi faktory ovlivňující hodnocení spolehlivosti patří pouze použití lepšího kameniva →  $\Delta t_{p,1.1} = 4$ ,  $\Delta v_{1.1} = 1500$ . Hodnocení spolehlivosti varianty 1.1 dle postupu popsaného výše shrnuje tab. 12.7, hodnocení ceny shrnuje tab. 12.8 a výsledné hodnocení je shrnuto v tab. 12.9.

Tab. 12.7: Varianta 1.1 - hodnocení spolehlivosti

| $T_S$ [let] | $t_{p,1.1}$ [let] | $v_{1.1}$ [ks/rok] | $t_{1.1}$ [let] | $S_{1.1}$ [ks] | $B_{S,1.1}$ |
|-------------|-------------------|--------------------|-----------------|----------------|-------------|
| 30          | 8                 | 1500               | 22              | 33 000         | 76,4        |

Tab. 12.8: Varianta 1.1 – hodnocení ceny

| Položka          | Poznámka                    | měrné jednotky  | jednotková cena     | Cena bez DPH [Kč] |
|------------------|-----------------------------|-----------------|---------------------|-------------------|
| ACVH             | frézování, odvoz, likvidace | [m³]<br>8 000   | [Kč/m³]<br>7 830.00 | 62 640 000        |
| Spojovací vrstva |                             | [m²]<br>100 000 | [Kč/m²]<br>36.25    | 3 625 000         |
| ACVH             | výroba, doprava             | [m³]<br>8 000   | [Kč/m³]<br>8 700    | 69 600 000        |
| ACVH             | pokládka                    | [m²]<br>100 000 | [Kč/m²]<br>826.50   | 82 650 000        |
| AMV              |                             | [m²]<br>100 000 | [Kč/m²]<br>131.95   | 13 195 000        |

| Položka                  | Poznámka                                | měrné jednotky               | jednotková cena                    | Cena bez DPH [Kč] |
|--------------------------|-----------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| Vyčištění AB             |                                         | [m <sup>2</sup> ]<br>100 000 | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>29.00      | 2 900 000         |
| Ušlý zisk                | odstávka kvůli stavební činnosti        | [dní]<br>65                  | [Kč/den]<br>2 000 000.00           | 130 000 000       |
| Ušlý zisk                | odstávka kvůli lokálním opravám puchýřů | [dní]<br>95                  | [Kč/den]<br>2 000 000.00           | 190 000 000       |
| Ztracená výroba          | vlivem ztraceného objemu HN             | [m <sup>3</sup> ]<br>0       | [Kč/m <sup>3</sup> /rok]<br>315.00 | 0                 |
| Oprava příjezdových cest |                                         |                              |                                    | 130 500 000       |
| Opravy puchýřů           |                                         | [ks]<br>33 000               | [Kč/ks]<br>470.00                  | 15 510 000        |
| Σ                        |                                         |                              |                                    | 700 620 000       |

Tab. 12.9: Varianta 1.1 - výsledné hodnocení

| Bodové hodnocení ceny |              | Bodové hodnocení spolehlivosti $B_{S,1.1}$ | Celkové hodnocení |             |
|-----------------------|--------------|--------------------------------------------|-------------------|-------------|
| $B_{CL,1.1}$          | $B_{CK,1.1}$ |                                            | $H_{L,1.1}$       | $H_{K,1.1}$ |
| 34,52                 | 52,60        | 76,4                                       | 55,48             | 64,52       |

### 12.2.3 Varianta 1.2 – Překrytí současné konstrukce vrstvou z ACVH

Varianta 1.2 řeší nevyhovující stav těsnicího pláště na svazích HN pokládkou nové vrstvy z ACVH na stávající konstrukci v nevyhovujícím stavu na ploše cca 96 500 m<sup>2</sup>. Pokládka zahrnuje tento rozsah hlavních prací:

- Odfrézování vrstvy z ACVH včetně ochranného nátěru mastix do hloubky 30 mm na návodním svahu hráze
- Položení nové konstrukce z ACVH tl. 80 mm, včetně ochranného nátěru mastix, na návodní svah hráze

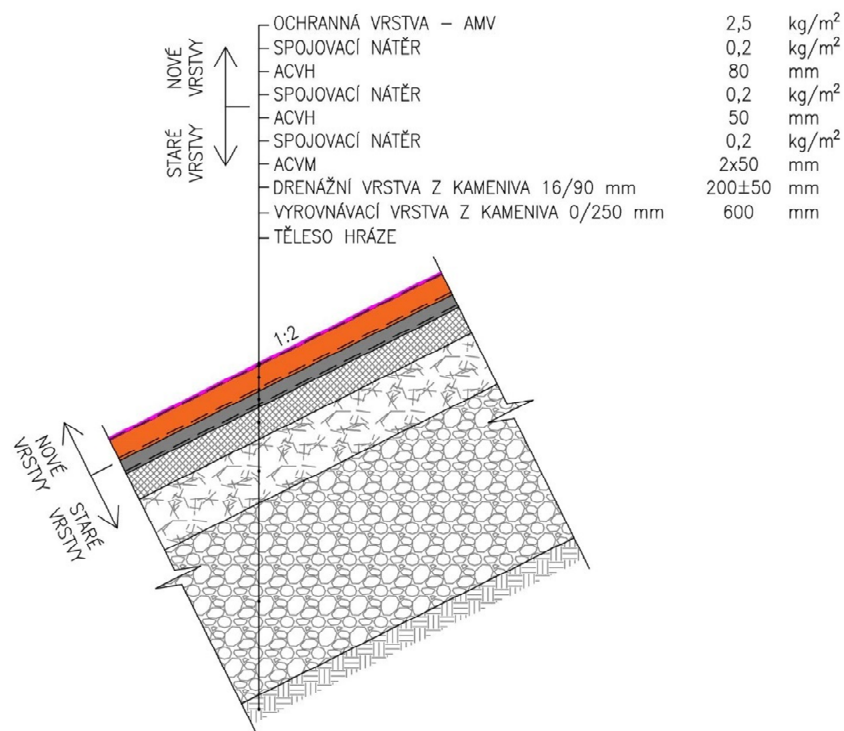
Varianta 1.2 bude provedena dle následujícího postupu stavebních prací:

- Přípravné práce (zhotovení výhyben, vytvoření montážního prostoru, montáž lanových navijáků, uvedení infrastruktury na staveništi do provozu, odstranění zábradlí apod.)
- Frézování vrstvy z ACVH na hloubku 30 mm po vypuštění HN během odstávky elektrárny
- Horizontální frézování v patě svahu pro vytvoření ukončovací hrany napojení
- Čištění a příprava odfrézovaných ploch
- Aplikace spojovací vrstvy na suchý a očištěný povrch v množství cca 0,2 kg/m<sup>2</sup>

- Vertikální pokládka nové vrstvy ACVH na zatuhlou spojovací vrstvu za současného hutnění svahovými vibračními válci
- Úprava spár
- Aplikace spojovací vrstvy na suchý a očištěný povrch v množství cca 0,2 kg/m<sup>2</sup>
- Uložení ochranného nátěru Mastix
- Ukončovací práce

Výsledná skladba konstrukce po provedení varianty 1.2 (obr. 12.4) je následující:

|                                                             |                        |                    |
|-------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------|
| • Ochranná vrstva mastix                                    | 2,5 kg/m <sup>2</sup>  | Nová konstrukce    |
| • Spojovací vrstva                                          | 0,2 kg/m <sup>2</sup>  |                    |
| • ACVH                                                      | 80 mm                  |                    |
| • Spojovací vrstva                                          | 0,2 kg/m <sup>2</sup>  |                    |
| • ACVH                                                      | min. 50 mm             | Původní konstrukce |
| • Polymer – modifikované lepidlo                            | 0,2 kg/m <sup>2</sup>  |                    |
| • ACVM                                                      | 0 až 100 mm            |                    |
| • Drenážní vrstva pod AB pláštěm z kameniva frakce 16/90 mm | teoreticky 200 ± 50 mm |                    |
| • Vyrovňovací vrstva z kameniva frakce 0/250 mm na svahu    | průměrně 600 mm        |                    |



Obr. 12.4: Varianta 1.2 - skladba konstrukce

## Hodnocení

Mezi faktory ovlivňující hodnocení spolehlivosti patří použití lepšího kameniva a vyšší tloušťka těsnicí vrstvy  $\rightarrow \Delta t_{p,1.1} = 5$ ,  $\Delta v_{1.1} = 1500$ . Hodnocení spolehlivosti varianty 1.2 dle postupu popsaného výše shrnuje tab. 12.10, hodnocení ceny shrnuje tab. 12.11 a výsledné hodnocení je shrnuto v tab. 12.12.

Tab. 12.10: Varianta 1.2 - hodnocení spolehlivosti

| $T_S$ [let] | $t_{p,1.2}$ [let] | $v_{1.2}$ [ks/rok] | $t_{1.2}$ [let] | $S_{1.2}$ [ks] | $B_{S,1.2}$ |
|-------------|-------------------|--------------------|-----------------|----------------|-------------|
| 30          | 9                 | 1500               | 21              | 31 500         | 77,5        |

Tab. 12.11: Varianta 1.2 - hodnocení ceny

| Položka                  | Poznámka                                | měrné jednotky               | jednotková cena                    | Cena bez DPH [Kč] |
|--------------------------|-----------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| ACVH                     | frézování, odvoz, likvidace             | [m <sup>3</sup> ]<br>3 000   | [Kč/m <sup>3</sup> ]<br>7 830.00   | 23 490 000        |
| Spojovací vrstva         |                                         | [m <sup>2</sup> ]<br>100 000 | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>36.25      | 3 625 000         |
| ACVH                     | výroba, doprava                         | [m <sup>3</sup> ]<br>8 000   | [Kč/m <sup>3</sup> ]<br>8 700.00   | 69 600 000        |
| ACVH                     | pokládka                                | [m <sup>2</sup> ]<br>100 000 | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>826.50     | 82 650 000        |
| AMV                      |                                         | [m <sup>2</sup> ]<br>100 000 | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>131.95     | 13 195 000        |
| Vyčištění AB             |                                         | [m <sup>2</sup> ]<br>100 000 | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>29.00      | 2 900 000         |
| Ušlý zisk                | odstávka kvůli stavební činnosti        | [dní]<br>65                  | [Kč/den]<br>2 000 000.00           | 130 000 000       |
| Ušlý zisk                | odstávka kvůli lokálním opravám puchýřů | [dní]<br>90                  | [Kč/den]<br>2 000 000.00           | 180 000 000       |
| Ztracená výroba          | vlivem ztraceného objemu HN             | [m <sup>3</sup> ]<br>5 000   | [Kč/m <sup>3</sup> /rok]<br>315.00 | 47 250 000        |
| Oprava příjezdových cest |                                         |                              |                                    | 130 500 000       |
| Opravy puchýřů           |                                         | [ks]<br>31 500               | [Kč/ks]<br>470.00                  | 14 805 000        |
| $\Sigma$                 |                                         |                              |                                    | 698 015 000       |

Tab. 12.12: Varianta 1.2 – výsledné hodnocení

| Bodové hodnocení ceny |              | Bodové hodnocení spolehlivosti $B_{S,1.2}$ | Celkové hodnocení |             |
|-----------------------|--------------|--------------------------------------------|-------------------|-------------|
| $B_{CL,1.2}$          | $B_{CK,1.2}$ |                                            | $H_{L,1.2}$       | $H_{K,1.2}$ |
| 34,76                 | 52,91        | 77,5                                       | 56,13             | 65,20       |



### 12.2.4 Varianta 1.3 – Obnova vrstev z ACVM a ACVH

Varianta 1.3 řeší nevyhovující stav těsnicího pláště na svazích HN obnovou vrstev z ACVH a ACVM na ploše cca 96 500 m<sup>2</sup>. Zahrnuje tento rozsah hlavních prací:

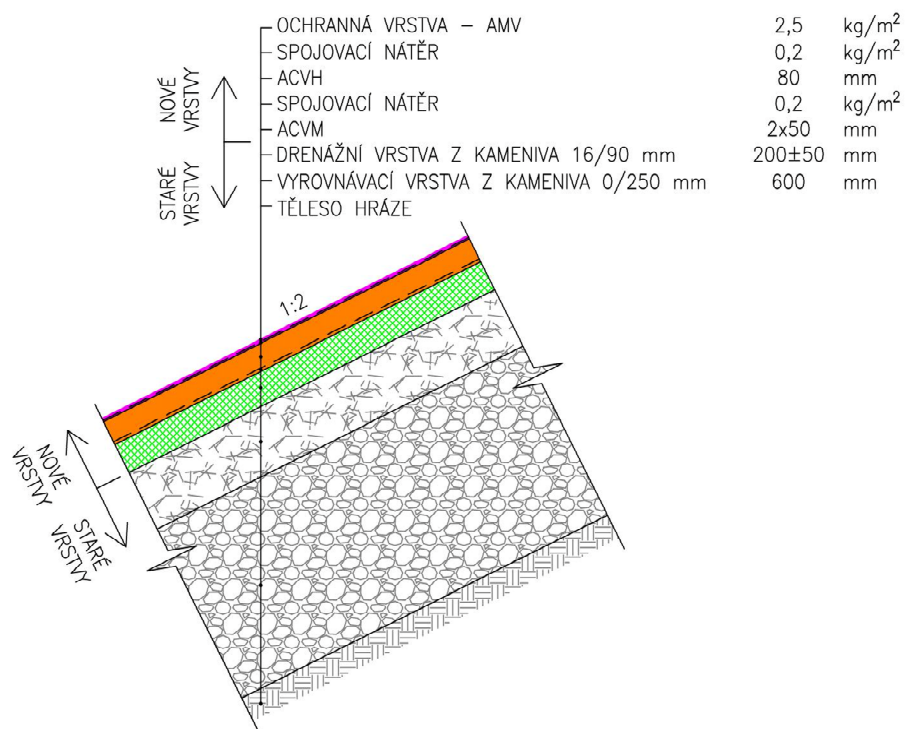
- Odstranění konstrukce z ACVH tl. 80 mm, včetně ochranného nátěru mastix, na návodním svahu hráze
- Odstranění konstrukce z ACVM tl. 100 mm na návodním svahu hráze
- Položení nové konstrukce z ACVM s drenážní funkcí tl. 100 mm na návodním svahu hráze
- Položení nové konstrukce z ACVH tl. 80 mm, včetně ochranného nátěru mastix, na návodním svahu hráze

Varianta 1.3 bude provedena dle následujícího postupu stavebních prací:

- Přípravné práce (zhotovení výhyben, vytvoření montážního prostoru, montáž lanových navijáků, uvedení infrastruktury na staveništi do provozu, odstranění zábradlí apod.)
- Frézování na hloubku vrstev ACVH a ACVM po vypuštění HN během odstávky elektrárny
- Horizontální frézování v patě svahu pro vytvoření ukončovací hrany napojení
- Aplikace spojovací vrstvy na suchý a očištěný povrch v množství cca 0,2 kg/m<sup>2</sup>
- Vertikální pokládka nové vrstvy ACVM za současného hutnění svahovými vibračním válci
- Aplikace spojovací vrstvy na suchý a očištěný povrch v množství cca 0,2 kg/m<sup>2</sup>
- Vertikální pokládka nové vrstvy ACVH na zatuhlou spojovací vrstvu za současného hutnění svahovými vibračním válci
- Úprava spár
- Aplikace spojovací vrstvy na suchý a očištěný povrch v množství cca 0,2 kg/m<sup>2</sup>
- Uložení ochranného nátěru Mastix
- Ukončovací práce

Výsledná skladba konstrukce po provedení varianty 1.3 (obr. 12.5) je následující:

|                                                             |                        |                    |
|-------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------|
| • Ochranná vrstva (mastix)                                  | 2,5 kg/m <sup>2</sup>  | Nová konstrukce    |
| • Spojovací vrstva                                          | 0,2 kg/m <sup>2</sup>  |                    |
| • ACVH                                                      | 80 mm                  |                    |
| • Spojovací vrstva                                          | 0,2 kg/m <sup>2</sup>  |                    |
| • ACVM s drenážní funkcí                                    | 100 mm                 |                    |
| • Drenážní vrstva pod AB pláštěm z kameniva frakce 16/90 mm | teoreticky 200 ± 50 mm | Původní konstrukce |
| • Vyrovnávací vrstva z kameniva frakce 0/250 mm na svahu    | průměrně 600 mm        |                    |



Obr. 12.5: Varianta 1.3 - skladba konstrukce

## Hodnocení

Mezi faktory ovlivňující hodnocení spolehlivosti patří použití lepšího kameniva a provedení drenážní a podkladní vrstvy  $\rightarrow \Delta t_{p,1.1} = 6$ ,  $\Delta v_{1.1} = 2100$ . Hodnocení spolehlivosti varianty 1.3 dle postupu popsaného výše shrnuje tab. 12.13, hodnocení ceny shrnuje tab. 12.14 a výsledné hodnocení je shrnuto v tab. 12.15.

Tab. 12.3: Varianta 1.3 - hodnocení spolehlivosti

| $T_S$ [let] | $t_{p,1.3}$ [let] | $v_{1.3}$ [ks/rok] | $t_{1.3}$ [let] | $S_{1.3}$ [ks] | $B_{S,1.3}$ |
|-------------|-------------------|--------------------|-----------------|----------------|-------------|
| 30          | 10                | 900                | 20              | 18 000         | 87,1        |

Tab. 12.4: Varianta 1.3 - hodnocení ceny

| Položka          | Poznámka                    | měrné jednotky               | Jednotková cena                  | Cena bez DPH [Kč] |
|------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| ACVH, ACVM       | frézování, odvoz, likvidace | [m <sup>3</sup> ]<br>18 000  | [Kč/m <sup>3</sup> ]<br>7 830.00 | 140 940 000       |
| ACVM             | výroba, doprava             | [m <sup>3</sup> ]<br>12 000  | [Kč/m <sup>3</sup> ]<br>8 700.00 | 104 400 000       |
| ACVM             | pokládka                    | [m <sup>2</sup> ]<br>100 000 | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>826.50   | 82 650 000        |
| Spojovací vrstva |                             | [m <sup>2</sup> ]<br>100 000 | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>36.25    | 3 625 000         |
| ACVH             | výroba, doprava             | [m <sup>3</sup> ]<br>8 000   | [Kč/m <sup>3</sup> ]<br>8 700.00 | 69 600 000        |

| Položka                  | Poznámka                                | měrné jednotky               | Jednotková cena                    | Cena bez DPH [Kč] |
|--------------------------|-----------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| ACVH                     | pokládka                                | [m <sup>2</sup> ]<br>100 000 | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>826.50     | 82 650 000        |
| AMV                      |                                         | [m <sup>2</sup> ]<br>100 000 | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>131.95     | 13 195 000        |
| Vyčištění AB             |                                         | [m <sup>2</sup> ]<br>100 000 | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>29.00      | 2 900 000         |
| Ušlý zisk                | odstávka kvůli stavební činnosti        | [dní]<br>85                  | [Kč/den]<br>2 000 000.00           | 170 000 000       |
| Ušlý zisk                | odstávka kvůli lokálním opravám puchýřů | [dní]<br>52                  | [Kč/den]<br>2 000 000.00           | 104 000 000       |
| Ztracená výroba          | vlivem ztraceného objemu HN             | [m <sup>3</sup> ]<br>0       | [Kč/m <sup>3</sup> /rok]<br>315.00 | 0                 |
| Oprava příjezdových cest |                                         |                              |                                    | 130 500 000       |
| Opravy puchýřů           |                                         | [ks]<br>18 000               | [Kč/ks]<br>470.00                  | 8 460 000         |
| Σ                        |                                         |                              |                                    | 912 920 000       |

Tab. 12.5: Varianta 1.3 – výsledné hodnocení

| Bodové hodnocení ceny |              | Bodové hodnocení spolehlivosti $B_{S,1.3}$ | Celkové hodnocení |             |
|-----------------------|--------------|--------------------------------------------|-------------------|-------------|
| $B_{CL,1.3}$          | $B_{CK,1.3}$ |                                            | $H_{L,1.3}$       | $H_{K,1.3}$ |
| 14,68                 | 24,70        | 87,1                                       | 50,91             | 55,92       |

#### 12.2.5 Varianta 1.4 – Obnova drenážní vrstvy a vrstev z ACVM a ACVH

Varianta 1.4 řeší nevyhovující stav těsnicího pláště na svazích HN obnovou vrstev z ACVH a ACVM na ploše cca 96 500 m<sup>2</sup>. Zahrnuje tento rozsah hlavních prací:

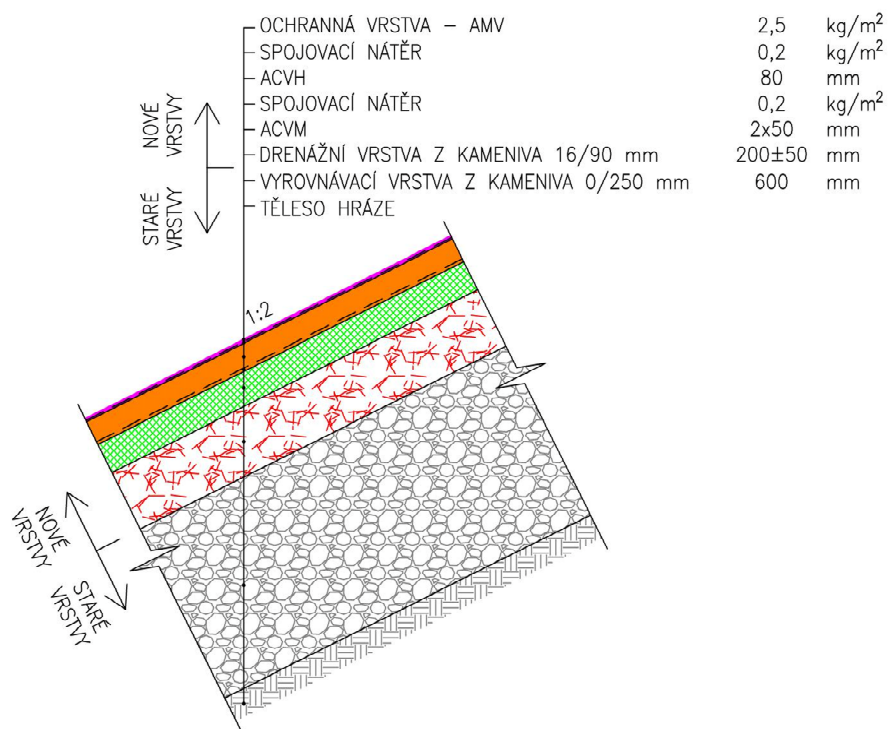
- Odstranění konstrukce z ACVH tl. 80 mm, včetně ochranného nátěru mastix, na návodním svahu hráze
- Odstranění konstrukce z ACVM tl. 100 mm na návodním svahu hráze
- Odstranění podkladní vrstvy tl. 200 ± 50 mm, včetně ochranného nátěru mastix, na návodním svahu hráze
- Položení nové šterkové vrstvy tl. 200 mm s drenážním účinkem na návodním svahu hráze
- Položení nové konstrukce z ACVM tl. 100 mm na návodním svahu hráze
- Položení nové konstrukce z ACVH tl. 80 mm, včetně ochranného nátěru mastix, na návodním svahu hráze

Varianta 1.4 bude provedena dle následujícího postupu stavebních prací:

- Přípravné práce (zhotovení výhyben, vytvoření montážního prostoru, montáž lanových navijáků, uvedení infrastruktury na staveništi do provozu, odstranění zábradlí apod.)
- Frézování na hloubku vrstev ACVH a ACVM po vypuštění HN během odstávky elektrárny
- Horizontální frézování v patě svahu pro vytvoření ukončovací hrany napojení
- Odstranění podkladní šterkové vrstvy
- Položení nové šterkové vrstvy s drenážní funkcí
- Hutnění šterkové vrstvy na požadovanou hodnotu zhutnění
- Aplikace spojovací vrstvy na suchý a očištěný povrch v množství cca 0,2 kg/m<sup>2</sup>
- Vertikální pokládka nové vrstvy ACVM na zatuhlou spojovací vrstvu za současného hutnění svahovými vibračním válci
- Úprava spár
- Aplikace spojovací vrstvy na suchý a očištěný povrch v množství cca 0,2 kg/m<sup>2</sup>
- Vertikální pokládka nové vrstvy ACVH na zatuhlou spojovací vrstvu za současného hutnění svahovými vibračním válci
- Úprava spár
- Aplikace spojovací vrstvy na suchý a očištěný povrch v množství cca 0,2 kg/m<sup>2</sup>
- Uložení ochranného nátěru Mastix
- Ukončovací práce

Výsledná skladba konstrukce po provedení varianty 1.4 (obr. 12.6) je následující:

|                                                             |                        |                    |
|-------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------|
| • Ochranná vrstva (mastix)                                  | 2,5 kg/m <sup>2</sup>  | Nová konstrukce    |
| • Spojovací vrstva                                          | 0,2 kg/m <sup>2</sup>  |                    |
| • ACVH                                                      | min. 50 mm             |                    |
| • Spojovací vrstva                                          | 0,2 kg/m <sup>2</sup>  |                    |
| • ACVM                                                      | 100 mm                 |                    |
| • Drenážní vrstva pod AB pláštěm z kameniva frakce 16/90 mm | teoreticky 200 ± 50 mm | Původní konstrukce |
| • Vyrovnávací vrstva z kameniva frakce 0/250 mm na svahu    | průměrně 600 mm        |                    |



Obr. 12.6: Varianta 1.4 - skladba konstrukce

## Hodnocení

Mezi faktory ovlivňující hodnocení spolehlivosti patří použití lepšího kameniva a provedení drenážní a podkladní vrstvy  $\rightarrow \Delta t_{p,1.1} = 6$ ,  $\Delta v_{1.1} = 2100$ . Hodnocení spolehlivosti varianty 1.4 dle postupu popsaného výše shrnuje tab. 12.16, hodnocení ceny shrnuje tab. 12.17 a výsledné hodnocení je shrnuto v tab. 12.18.

Tab. 12.16: Varianta 1.4 - hodnocení spolehlivosti

| $T_S$ [let] | $t_{p,1.4}$ [let] | $v_{1.4}$ [ks/rok] | $t_{1.4}$ [let] | $S_{1.4}$ [ks] | $B_{S,1.4}$ |
|-------------|-------------------|--------------------|-----------------|----------------|-------------|
| 30          | 10                | 900                | 20              | 18 000         | 87,1        |

Tab. 12.17: Varianta 1.4 - hodnocení ceny

| Položka         | Poznámka                                                  | měrné jednotky  | jednotková cena     | Cena bez DPH [Kč]         |
|-----------------|-----------------------------------------------------------|-----------------|---------------------|---------------------------|
| ACVH, ACVM      | frézování, odvoz, likvidace                               | [m³]<br>18 000  | [Kč/m³]<br>7 830.00 | 140 940 000               |
| drenážní vrstva | Odstranění podkladu z kameniva drceného tl. 200 až 300 mm | [m²]<br>100 000 | [Kč/m²]<br>60.00    | 6 000 000                 |
| drenážní vrstva | Přesun materiálu na skládku                               | [t]<br>30 000   | [Kč/t/km]<br>15.00  | <sup>(1)</sup> 18 000 000 |
| drenážní vrstva | Poplatek za uložení na skládce                            | [t]<br>30 000   | [Kč/t]<br>300.00    | 9 000 000                 |
| drenážní vrstva | Přesun materiálu z kamenolomu                             | [t]<br>30 000   | [Kč/t/km]<br>15.00  | <sup>(2)</sup> 36 000 000 |



| Položka                  | Poznámka                                | měrné jednotky               | jednotková cena                    | Cena bez DPH [Kč] |
|--------------------------|-----------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| drenážní vrstva          | Uložení štěrkodrti se zhutněním         | [m <sup>3</sup> ]<br>8 000   | [Kč/m <sup>3</sup> ]<br>1 250.00   | 10 000 000        |
| ACVM                     | výroba, doprava                         | [m <sup>3</sup> ]<br>10 000  | [Kč/m <sup>3</sup> ]<br>8 700.00   | 87 000 000        |
| ACVM                     | pokládka                                | [m <sup>2</sup> ]<br>100 000 | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>826.50     | 82 650 000        |
| Spojovací vrstva         |                                         | [m <sup>2</sup> ]<br>100 000 | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>36.25      | 3 625 000         |
| ACVH                     | výroba, doprava                         | [m <sup>3</sup> ]<br>8 000   | [Kč/m <sup>3</sup> ]<br>8 700.00   | 69 600 000        |
| ACVH                     | pokládka                                | [m <sup>2</sup> ]<br>100 000 | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>826.50     | 82 650 000        |
| AMV                      |                                         | [m <sup>2</sup> ]<br>100 000 | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>131.95     | 13 195 000        |
| Vyčištění AB             |                                         | [m <sup>2</sup> ]<br>100 000 | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>29.00      | 2 900 000         |
| Ušlý zisk                | odstávka kvůli stavební činnosti        | [dní]<br>115                 | [Kč/den]<br>2 000 000.00           | 230 000 000       |
| Ušlý zisk                | odstávka kvůli lokálním opravám puchýřů | [dní]<br>52.00               | [Kč/den]<br>2 000 000.00           | 104 000 000       |
| Ztracená výroba          | vlivem ztraceného objemu HN             | [m <sup>3</sup> ]<br>0       | [Kč/m <sup>3</sup> /rok]<br>315.00 | 0                 |
| Oprava příjezdových cest |                                         |                              |                                    | 130 500 000       |
| Opravy puchýřů           |                                         | [ks]<br>18 000               | [Kč/ks]<br>470.00                  | 8 460 000         |
| Σ                        |                                         |                              |                                    | 1 034 520 000     |

<sup>(1)</sup> Přesun na vzdálenost 40 km

<sup>(2)</sup> Přesun na vzdálenost 80 km

Tab. 12.18: Varianta 1.4 - výsledné hodnocení

| Bodové hodnocení ceny |              | Bodové hodnocení spolehlivosti $B_{S,1.4}$ | Celkové hodnocení |             |
|-----------------------|--------------|--------------------------------------------|-------------------|-------------|
| $B_{CL,1.4}$          | $B_{CK,1.4}$ |                                            | $H_{L,1.4}$       | $H_{K,1.4}$ |
| 3,32                  | 5,88         | 87,1                                       | 45,23             | 46,51       |

### 12.2.6 Varianta 1.5 – Odstranění vrstvy ACVH a pokládka vrstev ACVM a ACVH

Varianta 1.5 řeší nevyhovující stav těsnicího pláště na svazích HN nahrazením porušené vrstvy z ACVH vrstvou ACVM s funkcí drenáže a novým ACVH na ploše cca 96 500 m<sup>2</sup>. Zahrnuje tento rozsah hlavních prací:

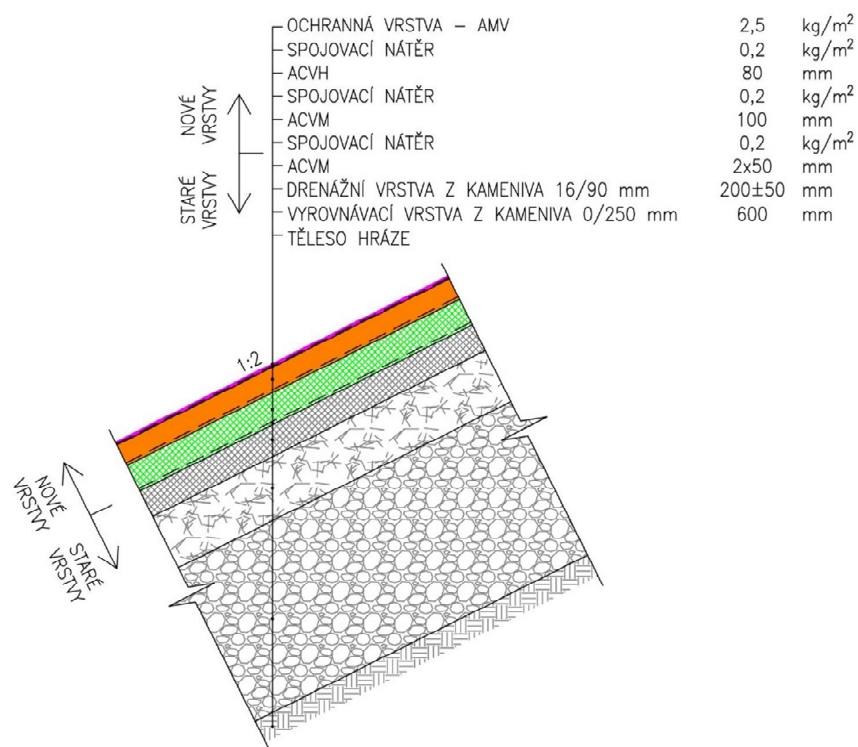
- Odstranění konstrukce z ACVH tl. 80 mm, včetně ochranného nátěru mastix, na návodním hráze
- Položení nové vrstvy z drenážního ACVM tl. 100 mm na návodním svahu hráze
- Položení nové konstrukce z ACVH tl. 80 mm, včetně ochranného nátěru mastix, na návodním svahu hráze

Varianta 1.5 bude provedena dle následujícího postupu stavebních prací:

- Přípravné práce (zhotovení výhyben, vytvoření montážního prostoru, montáž lanových navijáků, uvedení infrastruktury na staveništi do provozu, odstranění zábradlí apod.)
- Frézování na hloubku vrstvy ACVH po vypuštění HN během odstávky elektrárny
- Horizontální frézování v patě svahu na hloubku vrstvy ACVM pro vytvoření ukončovací hrany napojení a propojení nové drenážní vrstvy z ACVM se starou šterkovou drenážní vrstvou
- Vyplnění vyfrézovaného pruhu v místě návodní paty hráze drenážním ACVM na tloušťku staré vrstvy z ACVM
- Aplikace spojovací vrstvy na suchý a očištěný povrch v množství cca 0,2 kg/m<sup>2</sup>
- Vertikální pokládka nové vrstvy ACVM s drenážní funkcí na zatuhlou spojovací vrstvu za současného hutnění svahovými vibračním válci
- Úprava spár
- Aplikace spojovací vrstvy na suchý a očištěný povrch v množství cca 0,2 kg/m<sup>2</sup>
- Vertikální pokládka nové vrstvy ACVH na zatuhlou spojovací vrstvu za současného hutnění svahovými vibračním válci
- Úprava spár
- Aplikace spojovací vrstvy na suchý a očištěný povrch v množství cca 0,2 kg/m<sup>2</sup>
- Uložení ochranného nátěru Mastix
- Ukončovací práce

Výsledná skladba konstrukce po provedení varianty 1.5 (obr. 12.7) je následující:

|                                                             |                        |                    |
|-------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------|
| • Ochranná vrstva (mastix)                                  | 2,5 kg/m <sup>2</sup>  | Nová konstrukce    |
| • Spojovací vrstva                                          | 0,2 kg/m <sup>2</sup>  |                    |
| • ACVH                                                      | 80 mm                  |                    |
| • Spojovací vrstva                                          | 0,2 kg/m <sup>2</sup>  |                    |
| • ACVM s funkcí drenáže                                     | 100 mm                 |                    |
| • Spojovací vrstva                                          | 0,2 kg/m <sup>2</sup>  |                    |
| • ACVM                                                      | 0 až 100 mm            | Původní konstrukce |
| • Drenážní vrstva pod AB pláštěm z kameniva frakce 16/90 mm | teoreticky 200 ± 50 mm |                    |
| • Vyrovňovací vrstva z kameniva frakce 0/250 mm na svahu    | průměrně 600 mm        |                    |



Obr. 12.7: Varianta 1.5 - skladba konstrukce

## Hodnocení

Mezi faktory ovlivňující hodnocení spolehlivosti patří použití lepšího kameniva a provedení drenážní a podkladní vrstvy →  $\Delta t_{p,1.1} = 6$ ,  $\Delta v_{1.1} = 2100$ . Hodnocení spolehlivosti varianty 1.4 dle postupu popsaného výše shrnuje tab. 12.19, hodnocení ceny shrnuje tab. 12.20 a výsledné hodnocení je shrnuto v tab. 12.21.

Tab. 12.19: Varianta 1.5 - hodnocení spolehlivosti

| $T_S$ [let] | $t_{p,1.5}$ [let] | $v_{1.5}$ [ks/rok] | $t_{1.5}$ [let] | $S_{1.5}$ [ks] | $B_{S,1.5}$ |
|-------------|-------------------|--------------------|-----------------|----------------|-------------|
| 30          | 10                | 900                | 20              | 18 000         | 87,1        |

Tab. 12.20: Varianta 1.5 - hodnocení ceny

| Položka                  | Poznámka                                | měrné jednotky               | jednotková cena                    | Cena bez DPH [Kč] |
|--------------------------|-----------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| ACVH                     | frézování, odvoz, likvidace             | [m <sup>3</sup> ]<br>8 000   | [Kč/m <sup>3</sup> ]<br>7 830.00   | 62 640 000        |
| Spojovací vrstva         |                                         | [m <sup>2</sup> ]<br>200 000 | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>36.25      | 7 250 000         |
| ACVM                     | výroba, doprava                         | [m <sup>3</sup> ]<br>10 000  | [Kč/m <sup>3</sup> ]<br>8 700.00   | 87 000 000        |
| ACVM                     | pokládka                                | [m <sup>2</sup> ]<br>100 000 | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>826.50     | 82 650 000        |
| ACVH                     | výroba, doprava                         | [m <sup>3</sup> ]<br>8 000   | [Kč/m <sup>3</sup> ]<br>8 700.00   | 69 600 000        |
| ACVH                     | pokládka                                | [m <sup>2</sup> ]<br>100 000 | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>826.50     | 82 650 000        |
| AMV                      |                                         | [m <sup>2</sup> ]<br>100 000 | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>131.95     | 13 195 000        |
| Vyčištění AB             |                                         | [m <sup>2</sup> ]<br>100 000 | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>29.00      | 2 900 000         |
| Ušlý zisk                | odstávka kvůli stavební činnosti        | [dní]<br>85                  | [Kč/den]<br>2 000 000.00           | 170 000 000       |
| Ušlý zisk                | odstávka kvůli lokálním opravám puchýřů | [dní]<br>52                  | [Kč/den]<br>2 000 000.00           | 104 000 000       |
| Ztracená výroba          | vlivem ztraceného objemu HN             | [m <sup>3</sup> ]<br>10 000  | [Kč/m <sup>3</sup> /rok]<br>315.00 | 94 500 000        |
| Oprava příjezdových cest |                                         |                              |                                    | 130 500 000       |
| Opravy puchýřů           |                                         | [ks]<br>18 000               | [Kč/ks]<br>470.00                  | 8 460 000         |
| $\Sigma$                 |                                         |                              |                                    | 915 345 000       |

Tab. 12.21: Varianta 1.5 - výsledné hodnocení

| Bodové hodnocení ceny |              | Bodové hodnocení spolehlivosti $B_{S,1.5}$ | Celkové hodnocení |             |
|-----------------------|--------------|--------------------------------------------|-------------------|-------------|
| $B_{CL,1.5}$          | $B_{CK,1.5}$ |                                            | $H_{L,1.5}$       | $H_{K,1.5}$ |
| 14,45                 | 24,35        | 87,1                                       | 50,80             | 55,74       |

### 12.2.7 Varianta 2.1 – Položení vrstev z ACVM a ACVH na současnou konstrukci

Varianta 2.1 řeší nevyhovující stav těsnicího pláště na svazích HN pokládkou nové vrstvy z ACVM s funkcí drenáže a ACVH na stávající konstrukci v nevyhovujícím stavu na ploše cca 96 500 m<sup>2</sup>. Pokládka zahrnuje tento rozsah hlavních prací:

- Odfrézování vrstvy z ACVH včetně ochranného nátěru mastix do hloubky 30 mm na návodním svahu hráze
- Položení nové vrstvy z drenážního ACVM tl. 100 mm na návodním svahu hráze
- Položení nové konstrukce z ACVH tl. 80 mm, včetně ochranného nátěru mastix, na návodním svahu hráze

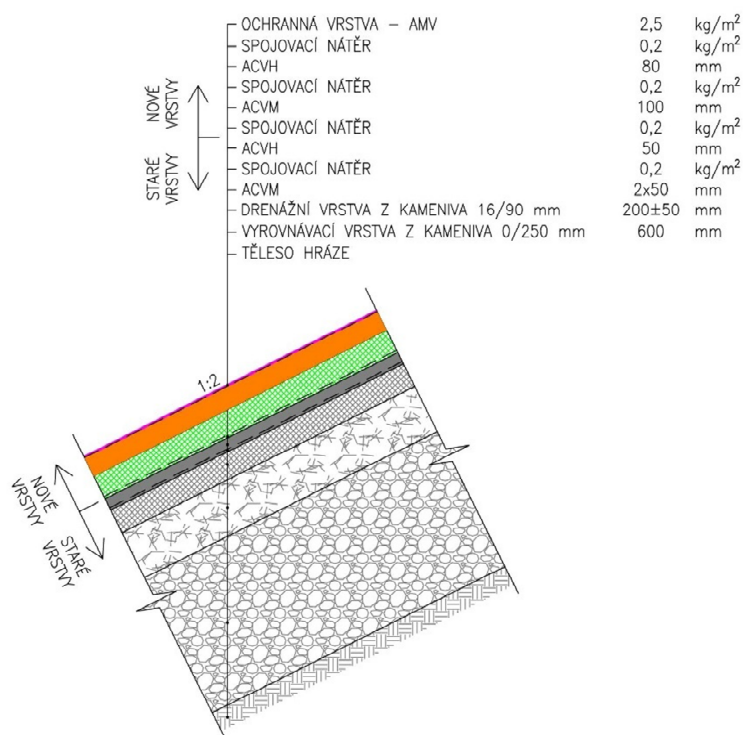
Varianta 2.1 bude provedena dle následujícího postupu stavebních prací:

- Přípravné práce (zhotovení výhyben, vytvoření montážního prostoru, montáž lanových navijáků, uvedení infrastruktury na staveništi do provozu, odstranění zábradlí apod.)
- Frézování vrstvy z ACVH na hloubku 30 mm po vypuštění HN během odstávky elektrárny
- Horizontální frézování v patě svahu až na starou drenážní šterkovou vrstvu pro vytvoření ukončovací hrany napojení a propojení nové drenážní vrstvy z ACVM se starou šterkovou drenážní vrstvou
- Vyplnění vyfrézovaného pruhu v místě návodní paty hráze drenážním ACVM na tloušťku staré vrstvy z ACVM
- Čištění a příprava odfrézovaných ploch
- Aplikace spojovací vrstvy na suchý a očištěný povrch v množství cca 0,2 kg/m<sup>2</sup>
- Vertikální pokládka nové vrstvy ACVM na zatuhlou spojovací vrstvu za současného hutnění svahovými vibračním válci
- Úprava spár
- Aplikace spojovací vrstvy na suchý a očištěný povrch v množství cca 0,2 kg/m<sup>2</sup>
- Vertikální pokládka nové vrstvy ACVH na zatuhlou spojovací vrstvu za současného hutnění svahovými vibračním válci
- Úprava spár
- Aplikace spojovací vrstvy na suchý a očištěný povrch v množství cca 0,2 kg/m<sup>2</sup>
- Uložení ochranného nátěru Mastix
- Ukončovací práce



Výsledná skladba konstrukce po provedení varianty 2.1 (obr. 12.8) je následující:

|                                                             |                        |                    |
|-------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------|
| • Ochranná vrstva (mastix)                                  | 2,5 kg/m <sup>2</sup>  | Nová konstrukce    |
| • Spojovací nátěr                                           | 0,2 kg/m <sup>2</sup>  |                    |
| • ACVH                                                      | 80 mm                  |                    |
| • Spojovací nátěr                                           | 0,2 kg/m <sup>2</sup>  |                    |
| • ACVM s drenážní funkcí                                    | 100 mm                 |                    |
| • Spojovací nátěr                                           | 0,2 kg/m <sup>2</sup>  |                    |
| • ACVH                                                      | min. 50 mm             | Původní konstrukce |
| • Polymer – modifikované lepidlo                            | 0,2 kg/m <sup>2</sup>  |                    |
| • ACVM                                                      | 0 až 100 mm            |                    |
| • Drenážní vrstva pod AB pláštěm z kameniva frakce 16/90 mm | teoreticky 200 ± 50 mm |                    |
| • Vyrovnávací vrstva z kameniva frakce 0/250 mm na svahu    | průměrně 600 mm        |                    |



Obr. 12.8: Varianta 2.1 - skladba konstrukce

## Hodnocení

Mezi faktory ovlivňující hodnocení spolehlivosti patří použití lepšího kameniva a provedení drenážní a dvouplášťové konstrukce  $\rightarrow \Delta t_{p,1.1} = 7$ ,  $\Delta v_{1.1} = 2500$ . Hodnocení spolehlivosti varianty 1.4 dle postupu popsáno výše shrnuje tab. 12.22, hodnocení ceny shrnuje tab. 12.23 a výsledné hodnocení je shrnuto v tab. 12.24.

Tab. 12.22: Varianta 2.1 - hodnocení spolehlivosti

| $T_S$ [let] | $t_{p,2.1}$ [let] | $v_{2.1}$ [ks/rok] | $t_{2.1}$ [let] | $S_{2.1}$ [ks] | $B_{S,2.1}$ |
|-------------|-------------------|--------------------|-----------------|----------------|-------------|
| 30          | 11                | 500                | 19              | 9500           | 93,2        |

Tab. 12.23. Varianta 2.1 - hodnocení ceny

| Položka                     | Poznámka                                   | měrné jednotky               | jednotková cena                    | Cena bez DPH [Kč] |
|-----------------------------|--------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| ACVH                        | frézování, odvoz,<br>likvidace             | [m <sup>3</sup> ]<br>3 000   | [Kč/m <sup>3</sup> ]<br>7 830.00   | 23 490 000        |
| Spojovací vrstva            |                                            | [m <sup>2</sup> ]<br>100 000 | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>36.25      | 3 625 000         |
| ACVM                        | výroba, doprava                            | [m <sup>3</sup> ]<br>10 000  | [Kč/m <sup>3</sup> ]<br>8 700.00   | 87 000 000        |
| ACVM                        | pokládka                                   | [m <sup>2</sup> ]<br>100 000 | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>826.50     | 82 650 000        |
| Spojovací vrstva            |                                            | [m <sup>2</sup> ]<br>100 000 | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>36.25      | 3 625 000         |
| ACVH                        | výroba, doprava                            | [m <sup>3</sup> ]<br>8 000   | [Kč/m <sup>3</sup> ]<br>8 700.00   | 69 600 000        |
| ACVH                        | pokládka                                   | [m <sup>2</sup> ]<br>100 000 | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>826.50     | 82 650 000        |
| AMV                         |                                            | [m <sup>2</sup> ]<br>100 000 | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>131.95     | 13 195 000        |
| Vyčištění AB                |                                            | [m <sup>2</sup> ]<br>100 000 | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>29.00      | 2 900 000         |
| Ušlý zisk                   | odstávka kvůli stavební<br>činnosti        | [dní]<br>85                  | [Kč/den]<br>2 000 000.00           | 170 000 000       |
| Ušlý zisk                   | odstávka kvůli lokálním<br>opravám puchýřů | [dní]<br>28                  | [Kč/den]<br>2 000 000.00           | 56 000 000        |
| Ztracená výroba             | vlivem ztraceného<br>objemu HN             | [m <sup>3</sup> ]<br>15 000  | [Kč/m <sup>3</sup> /rok]<br>315.00 | 141 750 000       |
| Oprava<br>příjezdových cest |                                            |                              |                                    | 130 500 000       |
| Opravy puchýřů              |                                            | [ks]<br>9 500                | [Kč/ks]<br>470.00                  | 4 465 000         |
| $\Sigma$                    |                                            |                              |                                    | 871 450 000       |

Tab. 12.24: Varianta 2.1 - výsledné hodnocení

| Bodové hodnocení ceny |              | Bodové hodnocení<br>spolehlivosti $B_{S,1.5}$ | Celkové hodnocení |             |
|-----------------------|--------------|-----------------------------------------------|-------------------|-------------|
| $B_{CL,1.5}$          | $B_{CK,1.5}$ |                                               | $H_{L,1.5}$       | $H_{K,1.5}$ |
| 18,56                 | 30,65        | 93,2                                          | 55,89             | 61,93       |

### 12.2.8 Varianta 2.2 – Odstranění vrstvy ACVH a položení dvouplášťové konstrukce

Varianta 2.2 řeší nevyhovující stav těsnicího pláště na svazích HN nahrazení vrstvy z ACVH dvouplášťovou konstrukcí na ploše cca 96 500 m<sup>2</sup>. Pokládka zahrnuje tento rozsah hlavních prací:

- Odstranění konstrukce z ACVH tl. 80 mm, včetně ochranného nátěru mastix, na návodním svahu hráze
- Položení nové konstrukce z ACVH tl. 40 mm, včetně ochranného nátěru mastix, na návodním svahu hráze
- Položení nové vrstvy z ACVM s drenážní funkcí tl. 100 mm na návodním svahu hráze
- Položení nové konstrukce z ACVH tl. 80 mm, včetně ochranného nátěru mastix, na návodním svahu hráze

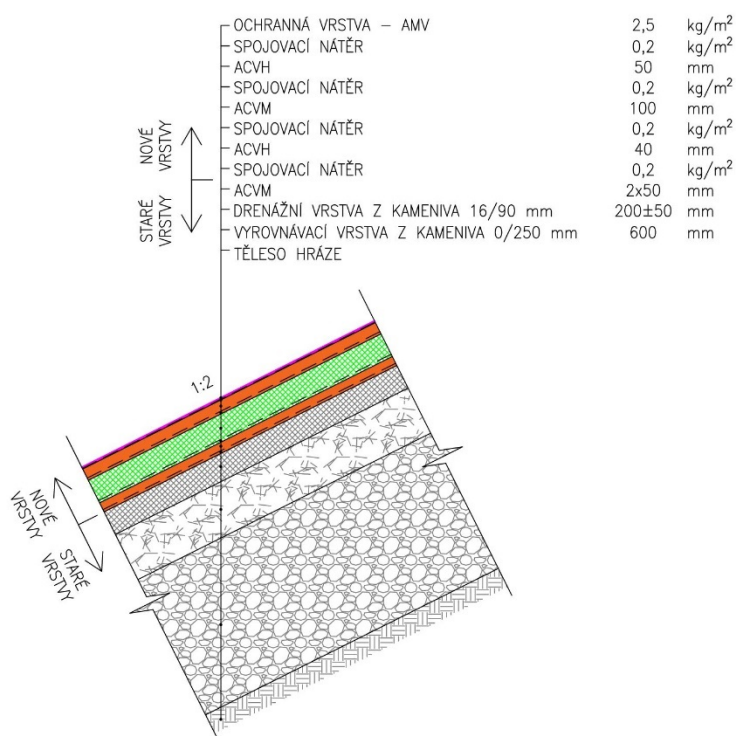
Varianta 2.2 bude provedena dle následujícího postupu stavebních prací:

- Přípravné práce (zhotovení výhyben, vytvoření montážního prostoru, montáž lanových navijáků, uvedení infrastruktury na staveništi do provozu, odstranění zábradlí apod.)
- Frézování na hloubku vrstvy ACVH po vypuštění HN během odstávky elektrárny
- Horizontální frézování v patě svahu na až na starou drenážní štěrkovou vrstvu pro vytvoření ukončovací hrany napojení a propojení nové drenážní vrstvy z ACVM se starou štěrkovou drenážní vrstvou
- Vyplnění vyfrézovaného pruhu v místě návodní paty hráze drenážním ACVM na tloušťku staré vrstvy z ACVM
- Čištění a příprava odfrézovaných ploch
- Aplikace spojovací vrstvy na suchý a očištěný povrch v množství cca 0,2 kg/m<sup>2</sup>
- Vertikální pokládka nové vrstvy ACVH na zatuhlou spojovací vrstvu za současného hutnění svahovými vibračním válci
- Úprava spár
- Aplikace spojovací vrstvy na suchý a očištěný povrch v množství cca 0,2 kg/m<sup>2</sup>
- Vertikální pokládka nové vrstvy drenážního ACVM na zatuhlou spojovací vrstvu za současného hutnění svahovými vibračním válci
- Úprava spár
- Aplikace spojovací vrstvy na suchý a očištěný povrch v množství cca 0,2 kg/m<sup>2</sup>
- Vertikální pokládka nové vrstvy ACVH na zatuhlou spojovací vrstvu za současného hutnění svahovými vibračním válci
- Úprava spár

- Aplikace spojovací vrstvy na suchý a očištěný povrch v množství cca 0,2 kg/m<sup>2</sup>
- Uložení ochranného nátěru Mastix
- Ukončovací práce

Výsledná skladba konstrukce po provedení varianty 2.2 (obr. 12.9) je následující:

|                                                             |                        |                    |
|-------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------|
| • Uzavírací nátěr mastix                                    | 2,5 kg/m <sup>2</sup>  | Nová konstrukce    |
| • Spojovací vrstva                                          | 0,2 kg/m <sup>2</sup>  |                    |
| • ACVH                                                      | 80 mm                  |                    |
| • Spojovací vrstva                                          | 0,2 kg/m <sup>2</sup>  |                    |
| • ACVM s drenážní funkcí                                    | 100 mm                 |                    |
| • Spojovací vrstva                                          | 0,2 kg/m <sup>2</sup>  |                    |
| • ACVH                                                      | 40 mm                  |                    |
| • Spojovací vrstva                                          | 0,2 kg/m <sup>2</sup>  | Původní konstrukce |
| • ACVM                                                      | 0 až 100 mm            |                    |
| • Drenážní vrstva pod AB pláštěm z kameniva frakce 16/90 mm | teoreticky 200 ± 50 mm |                    |
| • Vyrovnávací vrstva z kameniva frakce 0/250 mm na svahu    | průměrně 600 mm        |                    |



Obr. 12.9: Varianta 2.1 - skladba konstrukce

## Hodnocení

Mezi faktory ovlivňující hodnocení spolehlivosti patří použití lepšího kameniva a provedení drenážní a dvouplášťové konstrukce  $\rightarrow \Delta t_{p,1.1} = 7$ ,  $\Delta v_{1.1} = 2500$ . Hodnocení spolehlivosti varianty 1.4 dle postupu popsaného výše shrnuje tab. 12.25, hodnocení ceny shrnuje tab. 12.26 a výsledné hodnocení je shrnuto v tab. 12.27.

Tab. 12.25: Varianta 2.2 - hodnocení spolehlivosti

| $T_S$ [let] | $t_{p,2.2}$ [let] | $v_{2.2}$ [ks/rok] | $t_{2.2}$ [let] | $S_{2.2}$ [ks] | $B_{S,2.2}$ |
|-------------|-------------------|--------------------|-----------------|----------------|-------------|
| 30          | 11                | 500                | 19              | 9500           | 93,2        |

Tab. 12.26: Varianta 2.2 - hodnocení ceny

| Položka                  | Poznámka                                | měrné jednotky               | jednotková cena                    | Cena bez DPH [Kč] |
|--------------------------|-----------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| ACVH                     | frézování, odvoz, likvidace             | [m <sup>3</sup> ]<br>8 000   | [Kč/m <sup>3</sup> ]<br>7 830.00   | 62 640 000        |
| Spojovací vrstva         |                                         | [m <sup>2</sup> ]<br>300 000 | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>36.25      | 10 875 000        |
| ACVH                     | výroba, doprava                         | [m <sup>3</sup> ]<br>12 000  | [Kč/m <sup>3</sup> ]<br>8 700.00   | 104 400 000       |
| ACVH                     | pokládka                                | [m <sup>2</sup> ]<br>200 000 | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>826.50     | 165 300 000       |
| ACVM                     | výroba, doprava                         | [m <sup>3</sup> ]<br>10 000  | [Kč/m <sup>3</sup> ]<br>8 700.00   | 87 000 000        |
| ACVM                     | pokládka                                | [m <sup>2</sup> ]<br>100 000 | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>826.50     | 82 650 000        |
| AMV                      |                                         | [m <sup>2</sup> ]<br>100 000 | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>131.95     | 13 195 000        |
| Vyčištění AB             |                                         | [m <sup>2</sup> ]<br>100 000 | [Kč/m <sup>2</sup> ]<br>29.00      | 2 900 000         |
| Ušlý zisk                | odstávka kvůli stavební činnosti        | [dní]<br>105                 | [Kč/den]<br>2 000 000.00           | 210 000 000       |
| Ušlý zisk                | odstávka kvůli lokálním opravám puchýřů | [dní]<br>28                  | [Kč/den]<br>2 000 000.00           | 56 000 000        |
| Ztracená výroba          | vlivem ztraceného objemu HN             | [m <sup>3</sup> ]<br>14 000  | [Kč/m <sup>3</sup> /rok]<br>315.00 | 132 300 000       |
| Oprava příjezdových cest |                                         |                              |                                    | 130 500 000       |
| Opravy puchýřů           |                                         | [ks]<br>9 500                | [Kč/ks]<br>470.00                  | 4 465 000         |
| $\Sigma$                 |                                         |                              |                                    | 1 062 225 000     |

Tab. 12.27: Varianta 2.2 - výsledné hodnocení

| Bodové hodnocení ceny |              | Bodové hodnocení<br>spolehlivosti $B_{S,1.5}$ | Celkové hodnocení |             |
|-----------------------|--------------|-----------------------------------------------|-------------------|-------------|
| $B_{CL,1.5}$          | $B_{CK,1.5}$ |                                               | $H_{L,1.5}$       | $H_{K,1.5}$ |
| 0,73                  | 1,30         | 93,2                                          | 46,97             | 47,26       |

### 12.3 Vyhodnocení optimálního řešení

Všechny varianty byly zhodnoceny v kritériu spolehlivosti / životnosti a ceny. Tab. 12.28 shrnuje výsledné hodnocení spolehlivosti / životnosti všech hodnocených variant.

Tab. 12.28: Souhrn hodnocení spolehlivosti

|               | Varianta |        |        |        |        |        |       |       |
|---------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| j-tá varianta | 0        | 1.1    | 1.2    | 1.3    | 1.4    | 1.5    | 2.1   | 2.2   |
| $S_j$ [ks]    | 139 500  | 33 000 | 31 500 | 18 000 | 18 000 | 18 000 | 9 500 | 9 500 |
| $B_{S,j}$ [-] | 0,4      | 76,4   | 77,5   | 87,1   | 87,1   | 87,1   | 93,2  | 93,2  |

Tab. 12.29 shrnuje výsledné ceny.

Tab. 12.29: Souhrn hodnocení ceny

|                 | Varianta |         |         |         |           |         |         |           |
|-----------------|----------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|-----------|
| j-tá varianta   | 0        | 1.1     | 1.2     | 1.3     | 1.4       | 1.5     | 2.1     | 2.2       |
| $C_j$ [mil. Kč] | 560,300  | 700,620 | 698,015 | 912,920 | 1 034, 52 | 915,345 | 871,450 | 1 062,225 |
| $B_{CL,j}$ [-]  | 47,64    | 34,52   | 34,76   | 14,68   | 3,32      | 14,45   | 18,56   | 0,73      |
| $B_{CK,j}$ [-]  | 67,59    | 52,60   | 52,91   | 24,70   | 5,88      | 24,35   | 30,65   | 1,30      |



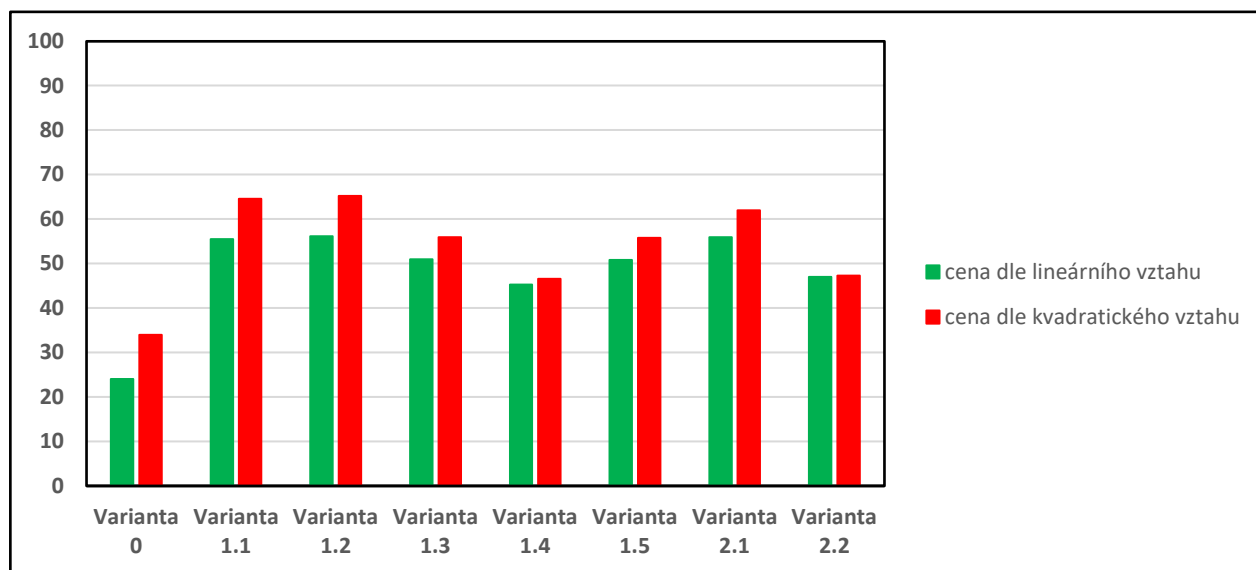
Celkové výsledky shrnuje tabulka 12.30 a obr. 12.10.

Tab. 12.30: Souhrn výsledného bodového hodnocení

|                               | Varianta |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| j-tá varianta                 | 0        | 1.1   | 1.2   | 1.3   | 1.4   | 1.5   | 2.1   | 2.2   |
| $H_{L,j}$ [-]                 | 24,00    | 55,48 | 56,13 | 50,91 | 45,23 | 50,80 | 55,89 | 46,97 |
| $B_{K,j}$ [-]                 | 33,97    | 64,82 | 65,20 | 55,92 | 46,51 | 55,74 | 61,93 | 47,26 |
| Pořadí dle lineární funkce    | 8.       | 3.    | 1.    | 4.    | 7.    | 5.    | 2.    | 6.    |
| Pořadí dle kvadratické funkce | 8.       | 2.    | 1.    | 4.    | 7.    | 5.    | 3.    | 6.    |

Citlivostní analýza ukázala, že pořadí se v závislosti na použité funkci pro převod ceny v Kč na bodové hodnocení příliš nemění. V závislosti na použité funkci se mění pouze pořadí varianty 2.1 a 1.1. Při použití lineární funkce je odchylka obou variant pouhých 0,41 bodu což je odchylka v rámci chyby hodnocení. Proto se zdá hodnocení ceny podle kvadratické funkce, která vykazuje větší odchylku, jako vhodnější. Citlivostní analýza však neměla vliv na výsledné hodnocení nejvýhodnější varianty.

Jako nejvýhodnější varianta v poměru spolehlivost/cena vyšla **varianta 1.2** – překrytí stávající konstrukce novou těsnicí vrstvou z ACVH tloušťky 80 mm. Všechny vybrané varianty opravy jsou z tohoto pohledu výhodnější, než provozovat VD v současném stavu a provádět lokální opravy.



Obr. 12.10: Přehled výsledků hodnocení

## 13 Závěr a doporučení

Plášťové těsnění HN VD Dlouhé Stráně opakovaně trpí na vývoj bodových poškození ve formě puchýřů. Tomuto problému čelí také mnoho zahraničních VD s plášťovým těsněním stejného typu, které je použito na Dlouhých Stráních.

Tato práce shrnuje poznatky o AB těsnění na HN VD Dlouhé Stráně, ale i zahraničních VD s cílem navrhnout možnosti opravy těsnicího AB pláště na tomto VD a pomocí rozhodovací analýzy zvolit objektivně nejvýhodnější variantu.

Na základě rozhodovací analýzy vyšla jako nejvýhodnější varianta 1.2, která spočívá v překrytí současného těsnicího pláště novou těsnicí vrstvou z ACVH tl. 80 mm. Cena této varianty byla odhadnuta na 698 mil. Kč. Cena zahrnuje stavební práce, materiál, ušlý zisk vlivem odstávky VD, ztracenou výrobní kapacitu vlivem navýšení tloušťky pláště a budoucí opravu puchýřů, jejichž výskyt se vzhledem ke zkušenostem předpokládá. Rozhodovací analýza předpokládá využití kvalitního kameniva, neboť právě nekvalitní kamenivo bylo v minulosti označeno jako hlavní příčina vzniku puchýřů, a to jak na VD Dlouhé stráně, tak na zahraničních VD. Přesto nelze vznik puchýřů zcela vyloučit.

Dále se doporučuje provést zkoušku filtrační stability současné drenážní šterkové vrstvy a provedení zkušebních ploch s různou skladbou konstrukce s cílem získat data o chování různých druhů konstrukce v podmínkách HN. Na základě rozhodovací analýzy byly nejlépe hodnoceny tyto tři varianty vhodné pro zhotovení zkušebních ploch:

- Varianta 1.2 – překrytí stávajícího těsnicího pláště novou těsnicí vrstvou z ACVH
- Varianta 1.1 – obnova současné těsnicí vrstvy z ACVH po vzoru rekonstrukce v roce 2007
- Varianta 2.1 – Položení nové drenážní vrstvy z ACVM a nové těsnicí vrstvy z ACVH na současnou konstrukci.

## Bibliografie

- [1] Dlouhé stráně využívají k výrobě elektřiny více vody, na jeden zátah teď vyrobí až o šest procent elektřiny více. In: *SKUPINA ČEZ* [online]. [cit. 2021-08-10]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/dlouhe-strane-vyuzivaji-k-vyrobe-elektřiny-více-vody-na-jeden-zatah-ved-vyrobi-az-o-sest-procent-elektřiny-více-141827>
- [2] KOPŘIVA, Miroslav. *Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé Stráně v Jeseníkách*. 1. vyd. Šumperk: Reklamní studio PVT, a.s., 1997.
- [3] HANÁK, Roman a Ervín ŠIMA. *PVE Dlouhé Stráně - oprava AB pláště horní nádrže*. Brno, 2004.
- [4] RUDOLFOVÁ, Mirka. *Optimalizace výstavby, oprav a provozování asfaltobetonových těsnících plášťů: Údržba těsnícího pláště vodního díla Dlouhé stráně*. Praha, 2021.
- [5] *18. etapová zpráva o technickobezpečnostním dohledu: Elektrárna Dlouhé Stráně - horní nádrž*. Brno: Vodní díla - TBD a.s., 2018.
- [6] ŘÍHA, Jaromír a Miroslav ŠPANO. *Asfaltobetonová plášťová těsnění hydrotechnických staveb: Navrhování, provádění, provozování a opravy*. Brno, 2021.
- [7] ČSN 72 1187. *Zkoušení jemných částic pro asfaltové směsi: Zkouška ztrátou sušením*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2001.
- [8] ŘÍHA, J. *Hydrotechnické stavby II, studijní opora*. VUT Brno, 2006. (CS).
- [9] ČSN 75 2020. *Asfaltové vrstvy hydrotechnických staveb*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [10] *The Shell Bitumen Hydraulics Engineering Handbook* [SE1 7NA (CD ROM version)]. Shell Centre London: Shell International Petroleum Company Ltd. [cit. 2021-05-07].
- [11] *Asphalt hydraulic engineering* [online]. Edition 2003. Zurich: Walo Bertschinger Ltd., 2003 [cit. 2021-11-05].
- [12] ŘÍHA, Jaromír. *Posouzení příčin degradace AB pláště horní nádrže přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně: Část I - Analýza podkladů*. Brno, 2014.
- [13] ČSN 73 6852. *ASFALTOBETONOVÉ PLÁŠŤOVÉ TĚSNĚNÍ*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1981.
- [14] ŘÍHA, Jaromír. *Posouzení příčin degradace AB pláště horní nádrže přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně: Část II - Průzkumy a studijní práce a jejich vyhodnocení*. Brno, 2014.
- [15] *Oprava asfaltobetonového těsnění horní nádrže elektrárny Dlouhé Stráně, Technická dokumentace postupu výstavby část I-VII: zpráva technického dozoru investora*. Dlouhé Stráně, 2007.
- [16] *Oprava AB pláště horní nádrže Dlouhé Stráně v roce 2007: Dokumentace skutečného provedení*. Curych, 2007.
- [17] WANG, HAO, SUN, MA, XIA a LI. Blistering Mechanism Analysis of Hydraulic Asphalt Concrete Facing. *Applied Sciences* [online]. 2019, 9(14), 13 [cit. 2021-05-24]. ISSN 2076-3417. Dostupné z: [doi:10.3390/app9142903](https://doi.org/10.3390/app9142903)

- [18] BIAŁEK, Tadeusz, Edward BINKIEWICZ, Krzysztof FIEDLER et al., Magdalena LEGENDŹ, ed. *Monografia Elektrowni Szczytowo - Pompowej Porąbka - Żar*. Wydanie II poprawione. Bielsko-Biała: AUGUSTANA Sp. z o.o., 2010.
- [19] *Zpráva ze služební cesty na PVE Porábka-Žar 6. a 7.9. 2011*. 2011.
- [20] *Materiály o VD Längental v Rakousku*. 2011.
- [21] *Optimalizace výstavby, oprav a provozování asfaltobetonových pláštů: Vodní dílo Längental*. Brno: Technologická agentura České republiky, 2020.
- [22] *Cenový rozbor, výkaz výměr rekonstrukce těsnicího pláště horní nádrže Dlouhé Stráně*. 2007.
- [23] Indexy cen stavebních prací, indexy cen stavebních děl a indexy nákladů stavební výroby: čtvrtletní časové řady - 1. čtvrtletí 2021. *Český statistický úřad* [online]. [cit. 2022-01-08]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/indexy-cen-stavebnich-praci-indexy-cen-stavebnich-del-a-indexy-nakladu-stavebni-vyroby-ctvrtletni-casove-rady-1-ctvrtleti-2021>
- [24] HANÁK, Roman a Ervín ŠIMA. *PVE Dlouhé Stráně - oprava AB pláště horní nádrže: Fotodokumentace*. Brno, 2004.
- [25] A permanent solution at Salt Springs dam. In: *Www.waterpowermagazine.com* [online]. [cit. 2021-11-22]. Dostupné z: <https://www.waterpowermagazine.com/features/featurea-permanent-solution-at-salt-springs-dam/featurea-permanent-solution-at-salt-springs-dam-422539.html>
- [26] File:Redridge Steel Dam.JPG. In: *Wikimedia commons* [online]. Wikimedia Commons, the free media repository, 2021 [cit. 2022-01-07]. Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Redridge\\_Steel\\_Dam.JPG&oldid=566785115](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Redridge_Steel_Dam.JPG&oldid=566785115)