

**České vysoké učení technické v Praze**

**Fakulta stavební**

**Katedra hydrotechniky**



## **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Rekonstrukce odpadního kanálu MVE Vilémov**  
**Rehabilitation of the trailrace channel of the HPP**  
**Vilémov**

**Vedoucí bakalářské práce:**

**Doc. Ing. Ladislav Satrapa, CSc.**

**květen 2018**

**Marek KAHUDA**



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Kahuda Jméno: Marek Osobní číslo: 438120  
Zadávací katedra: K142 - Katedra hydrotechniky  
Studijní program: SI  
Studijní obor: V

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Rekonstrukce odpadního kanálu MVE Vilémov

Název bakalářské práce anglicky: Rehabilitation of the tailrace channel of the HPP Vilémov

Pokyny pro vypracování:

Prověření a dokumentace současného stavu odpadního kanálu  
Variantní návrh technologie stavebních úprav  
Hydraulická analýza odpadního koryta ve vazbě na koryto Jizery  
Posouzení stability opevnění odpadního kanálu  
Zpracování stavební dokumentace vybrané varianty

Seznam doporučené literatury:

Běžně dostupná literatura v oboru hydrotechniky a vodních toků

Jméno vedoucího bakalářské práce: doc. Ing. Ladislav Satrapa, CSc.

Datum zadání bakalářské práce: 13.2.2018 Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2018  
*Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku*

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s metodickým pokynem ČVUT 1/2009 „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Praha, 28. 5. 2018 .....

**Poděkování:**

Děkuji doc. Ing. Ladislavu Satrapovi, CSc. za cenné rady při konzultacích a dobrý start celé práce. Dále děkuji Ing. Marku Konejlovi zastupujícím STORM WATER s.r.o. za poskytnutí kvalitních podkladů. Na závěr si velký dík zaslouží rodina za jejich obětavost a trpělivost.

# **Anotace**

V bakalářské práci je řešeno technické řešení rekonstrukce odpadního kanálu MVE Vilémov. V první části je popsána lokalita, stavba MVE Vilémov a technický stav stávajícího odpadního kanálu. Dále se práce zabývá hydraulickou analýzou přílehlého úseku řeky Jizery a hydraulickou analýzou odpadního kanálu v návaznosti na koryto Jizery. V další části jsou uvedeny dvě varianty stavebně technického řešení a jejich vliv na proudění v odpadním kanále a výrobu elektrické energie elektrárnou. Jedna varianta je vybrána a je pro ni zpracována stavebně technická dokumentace.

## **Klíčová slova**

Odpadní kanál, Rekonstrukce, Malá vodní elektrárna, MVE, Vilémov, Jizera, Koryto, Hydraulická analýza, Stavební dokumentace

## **Annotation**

The bachelor's thesis solves the technical solution of the rehabilitation of the trailrace channel of the HPP Vilémov. In the first part, the current location, the HPP Vilémov and the condition of the trailrace channel are described. Below, the bachelor's thesis analyzes water flow in the adjacent reach of the Jizera river and water flow in the trailrace channel influenced by the Jizera river. In the next part, there are two construction solutions and their influence on the water flow in the trailrace channel and on the production of electricity by the power plant stated. One of the solutions is chosen and is redesigned as construction and technical documentation.

## **Keywords**

Trailrace channel, Rehabilitation, Small hydro power plant, SHPP, Vilémov, Jizera river, Channel, Hydraulic analysis, Construction documentation

# Obsah

<b>1 Úvod .....</b>	<b>6</b>
<b>2 Popis MVE Vilémov.....</b>	<b>7</b>
<b>3 Současný stav odpadního kanálu .....</b>	<b>11</b>
<b>4 Hydraulická analýza odpadního kanálu .....</b>	<b>14</b>
4.1 Hydraulická analýza přilehlého úseku koryta Jizery bez vlivu odpadního kanálu ..	14
4.2 Hydraulická analýza stávajícího odpadního kanálu ve vazbě na koryto Jizery .....	21
<b>5 Výpočet výroby MVE za stávajícího stavu .....</b>	<b>27</b>
<b>6 Variantní návrh stavebně technického řešení.....</b>	<b>30</b>
6.1 Varianta I .....	30
6.2 Varianta II .....	35
<b>7 Stavební dokumentace varianty I.....</b>	<b>39</b>
7.1 Identifikační údaje .....	39
7.2 Stavebně technické řešení objektů .....	39
7.3 Urbanistické a architektonické řešení.....	43
7.4 Převedení vody za stavby .....	43
7.5 Napojení staveniště na dopravní infrastrukturu .....	44
7.6 Vliv stavby na životní prostředí .....	44
7.7 Hydrotechnické výpočty .....	44
<b>8 Závěr .....</b>	<b>52</b>
<b>Použitá literatura.....</b>	<b>54</b>
<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>56</b>
<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>57</b>
<b>Výkresová část.....</b>	<b>58</b>

# 1 Úvod

V osadě Vilémov, která je součástí města Rokytnice nad Jizerou, proběhla rekonstrukce malé vodní elektrárny. V rámci rekonstrukce byla provedena přestavba strojovny a přívodního kanálu, odpadní kanál byl ponechán stávající. Předmětem bakalářské práce je posouzení stavebně technického stavu zmíněného odpadního kanálu a návrh jeho rekonstrukce.

MVE Vilémov je průběžná derivační elektrárna situovaná při levém břehu řeky Jizery v k.ú. Dolní Rokytnice. Rokytnice nad Jizerou se nachází v okrese Semily Libereckého kraje, v oblasti Krkonoš. Zájmové území stavby je součástí velkoplošného zvláště chráněného území Krkonošský národní park (kategorie ochrany OP) a je tedy bezpodmínečně nutno navržené konstrukce přizpůsobit krajinnému rázu údolí řeky Jizery.

## **Cíle bakalářské práce:**

1. Popis a posouzení současného stavebně technického stavu odpadního kanálu elektrárny a jeho konstrukčních závad způsobených vlivem dlouholetého užívání stavby.
2. Hydraulická analýza odpadního koryta MVE Vilémov ve vazbě na přilehlé koryto řeky Jizery.
3. Variantní návrh stavebně technického řešení rekonstrukce odpadního kanálu a vypracování hydraulické analýzy jednotlivých variant, tedy vyhodnocení změny průběhu proudění v odpadním kanále ve vazbě na koryto Jizery vlivem variantního řešení rekonstrukce.
4. Výběr jedné varianty řešení a zpracování její stavební dokumentace.

## 2 Popis MVE Vilémov

Malá vodní elektrárna Vilémov je situována v údolí řeky Jizery v malé osadě Vilémov, jež je součástí obce Rokytnice nad Jizerou, dále okresu Semily a Libereckého kraje, viz obr. 2.1. Území stavby spadá do velkoplošného zvláště chráněného území Krkonošský národní park (KRNAP), kdy objekty strojovny, odpadního a přírodního kanálu spadají do kategorie ochrany přírody (OP), vtokový objekt u jezu Vilémov již spadá do kategorie ochrany národní park (NP). Zájmová oblast Krkonoš dále spadá do stejnojmenné evropsky významné lokality, ptačí oblasti, biosférické rezervace a přírodní lesní oblasti. [14] Při provádění a provozu staveb je tedy nutno brát zřetel na ochranu přírody a požadavky Správy Krkonošského národního parku.



obr. 2.1 - Situace MVE Vilémov [10],[11]



Konkrétněji je elektrárna umístěna na pozemcích bývalé továrny, ke které byla připojena původní elektrárna. Elektrárna byla v roce 2016, kdy proběhla demolice části poničených továrních budov a výstavba nové strojovny včetně tlakového přivaděče, částečně zrekonstruována a uvedena do provozu. V roce 2017 bylo provedeno dokončení stavební části strojovny a rekonstrukce dalších objektů s elektrárnou souvisejících. [1]

**Nová strojovna** je umístěna v ose původního uzavřeného odpadního kanálu pod původní strojovnou, vzdálenost mezi objekty je cca 39,5 m a jsou nově propojeny tlakovým přivaděčem. Konstrukčně je budova řešena jako jednopodlažní, železobetonová, s odnímatelným světlíkem pro možnost revizí turbinového soustrojí, obdélníkového půdorysu o rozměrech 10,08 m x 6,70 m a výšce 13,45 m, resp. 16,65 po úroveň „věží“. Výška budovy je dána podzemním umístěním přivaděče a odpadního kanálu. Objekt strojovny je zpětně zasypán do úrovně původního terénu, do výšky cca 10,31 m a viditelná část nad úrovní terénu je tedy cca 3,14 m resp. 6,34 m vysoká. Strojovna MVE v průběhu realizace je zachycena na obr. 2.2. [1]

Technologii strojovny tvoří přímoproudá **Kaplanova turbína** o průměru oběžného kola 1150 mm. Jedná se o horizontální, pravotočivou turbínu při pohledu po vodě, s regulovatelnými lopatkami rozváděcího i oběžného kola. Rozváděcí lopatky tvoří zároveň provozní uzávěr vody. Svislý výstupní hřídel je spojen s hřídelem asynchronního **generátoru SIEMENS**. [1]

Parametry turbíny: [1]

- minimální spád 5,5 m
- maximální spád 8,0 m
- maximální průtok 7,0 m<sup>3</sup>/s
- minimální průtok 0,5 m<sup>3</sup>/s
- max. výkon na výst. hřídeli t. 372 kW
- otáčky turbíny 326 ot./min
- uspořádání horizontální

Parametry generátoru: [1]

- max. činný výkon 355 kW
- otáčky 758 ot./min
- uspořádání vertikální

**Původní strojovna** byla přebudována na provizorní česlovnu a zároveň slouží jako **vodní zámek**, tedy propojení mezi původním uzavřeným kanálem, který přivádí vodu z nadejí o volné hladině k původní strojovně, a tlakovým přivaděčem k nové strojovně. Na rok 2018 je naplánována demolice horní stavby původní strojovny a rekonstrukce její spodní stavby, tedy vodního zámku. [1]

Objekt vodního zámku a nové strojovny je propojen **tlakovým přivaděčem** - sklolaminátovým potrubím DN 2500 mm viz obr. 2.3. [1]

**Přívodní podzemní kanál** o délce cca 350 m, který slouží ke gravitačnímu přivedení vody z nadejí k vodnímu zámku, je konstrukčně rozdělen na dva úseky. [1]

V délce 53,8 m od původní strojovny proti proudu je situován železobetonový kanál obdélníkového průřezu (viz obr. 2.4) o světlé šířce 3,9 m a světlé výšce 2,2 m, který byl v roce 2017 zrekonstruován z důvodu havarijního stavu původního kanálu. V této části se dále nachází objekt jalového stavidla, které bylo v rámci rekonstrukce vyměněno za nové. [3]

Zbývající úsek přívodního kanálu od jalového stavidla po vtokový objekt je konstrukčně řešen s betonovým dnem miskovitého tvaru se stěnami ze zdiva z lomového kamene s obetonováním do výšky cca maximální provozní hladiny a klenbovým stropem z kamenného zdiva. V této části byla provedena také v roce 2017 rekonstrukce betonového dna viz obr. 2.5. [3]

Na léto 2018 je naplánována rekonstrukce **jezu Vilémov**. Jedná se o pevný jez s betonovým jádrem a obložením přelivné hrany dřevěnými fošnami. V rámci rekonstrukce bude v jezovém profilu vybudován rybí přechod a technologie **horizontálních česlí** na vtokovém objektu do přívodního kanálu MVE. [2]

Pro odvod vody ze strojovny elektrárny zpět do řeky Jizery slouží uzavřený **odpadní kanál**, který byl ponechán stávající. Zhodnocení jeho stavu a návrh jeho rekonstrukce je předmětem této práce.

Jednoduché situační uspořádání objektů je uvedeno na obr. 2.6.



obr. 2.2 - Strojovna během realizace



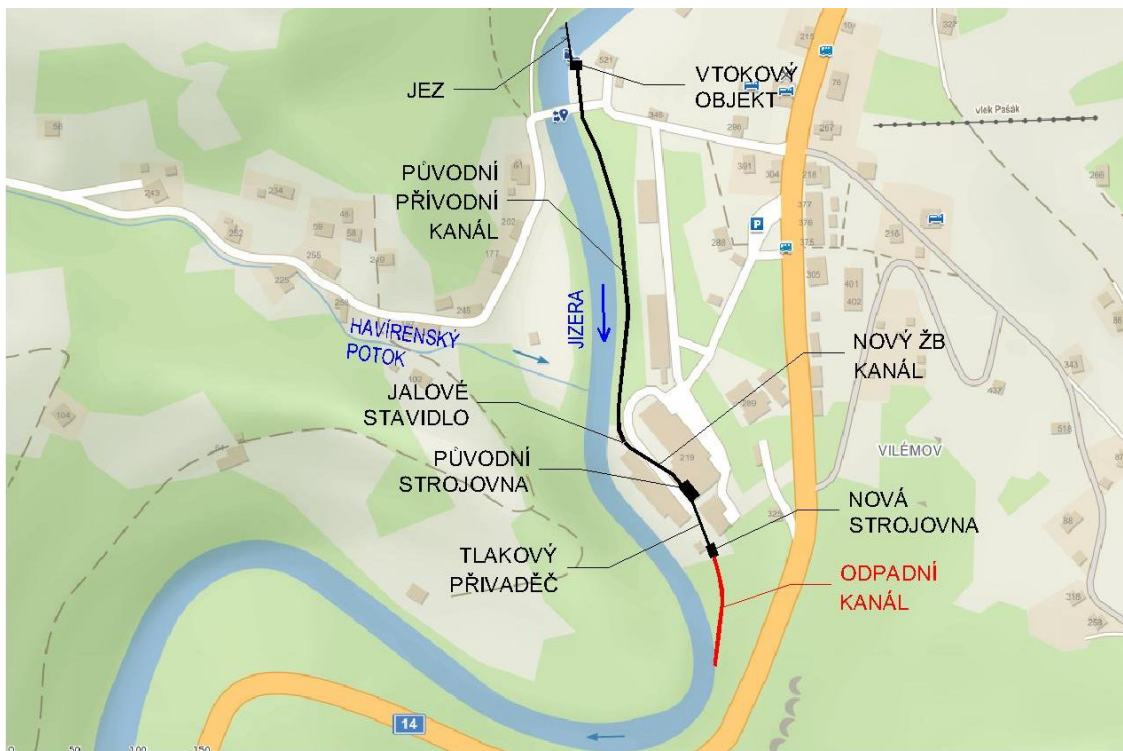
obr. 2.3 - Ukládání tlakového přivaděče



obr. 2.4 - Železobetonový kanál



obr. 2.5 - Rekonstrukce dna př. kanálu



obr. 2.6 - Situační uspořádání objektů

### 3 Současný stav odpadního kanálu

Odpadní kanál začíná pod savkou turbíny na kótě dna 475,73 m n. m., kde bylo v rámci výstavby strojovny provedeno napojení na stávající kanál zároveň sloužící jako vývar pod savkou. Jedná se železobetonovou konstrukci kanálu obdélníkového průřezu s vodorovným dnem délky 2,215 m a proměnlivé šířky – u savky 2,8 m => v místě napojení na další část 3,544 m. Dále navazuje odpadní kanál původního typu (viz odst. níže) s novým dnem o sklonu 1:4 začínajícím na kótě 475,73 m n. m. a končícím v místě průsečíku s původním dnem na kótě 477.69 m n. m. Dále pokračující kanál již byl ponechán původní. Stavebně technickým řešením je rozdělen na dvě části. [1]

Od místa napojení na vývar pod savkou ve směru proudu v délce 28,15 m je konstrukce stavebně řešena obdobně jako přírodní kanál v delší části, tedy jako uzavřený podzemní kanál s betonovým dnem miskovitého tvaru se stěnami ze zdiva z lomového kamene s obetonováním, ze kterého zbyly již jen pozůstatky, a klenbovým stropem z kamenného zdiva. Šířka kanálu v uzavřené části je cca 3,6 m a výška ode dna je cca 2,9 m. Tloušťka stěn kanálu se předpokládá 0,5 m, mocnost konstrukce dna je v nejnižším bodě předpokládána 300 mm. Dále se předpokládá založení dna na skalním podloží třídy těžitelnosti 5-6.

Na výše zmíněný úsek navazuje otevřený kanál ústící do řeky Jizery délky 26 m. Dno kanálu je provedeno stejným způsobem jako v uzavřené části, viz výše. Levý břeh je zčásti opevněn kamennou opěrnou zídou, zprava je odpadní kanál oddělen od koryta Jizery dělicí kamennou zdí.

Betonová konstrukce dna je v celé délce vlivem obrušování vodou, vlivem prostředí a samotným stárnutím betonu za desetiletí užívání značně degradovaná. Dochází k narušení krycí vrstvy a odnosu cementového pojiva i kameniva. Konstrukce obetonování stěn v uzavřené části již byla úplně destruována a místy jsou patrné spíše jen pozůstatky, betonové „proužky,“ na stěnách. Dále místy již došlo i k vypadnutí zdících prvků a tvorbě kaveren v kamenných zdech kanálu, které se budou bez technického zásahu dále zvětšovat a může dojít až ke ztrátě stability stěn kanálu v uzavřené části.

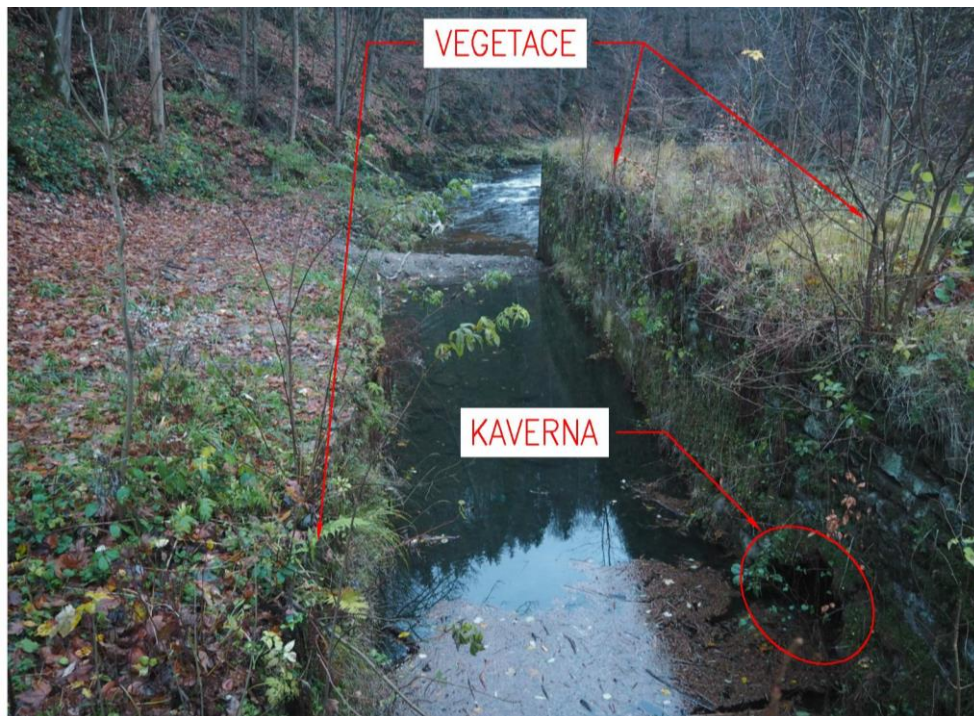
Na opěrných zdech odpadního kanálu v otevřené části dochází k růstu vegetace ve spárách zdiva, vyplavování pojiva, vypadávání jednotlivých zdících prvků a tvorbě kaveren. Na části, cca polovině původní délky, levé zídky již došlo ke ztrátě stability



konstrukce, odnosu stavebního materiálu a následnému vytvoření břehové nátrže. Stav opevnění v otevřené části zachycený 6.11.2017 je patrný z obr. 3.1 a obr. 3.2. Během užívání stavby při vysokých jarních průtocích v roce 2018 došlo k další degradaci konstrukcí a rozšíření kaveren vzniklých podemletím konstrukcí. Aktuální stav byl dne 22.5.2018 fotograficky zachycen a je uveden na obr. 3.3, obr. 3.4 a obr. 3.5.



obr. 3.1 - Otevřený kanál, pohled proti vodě, podzim 2017

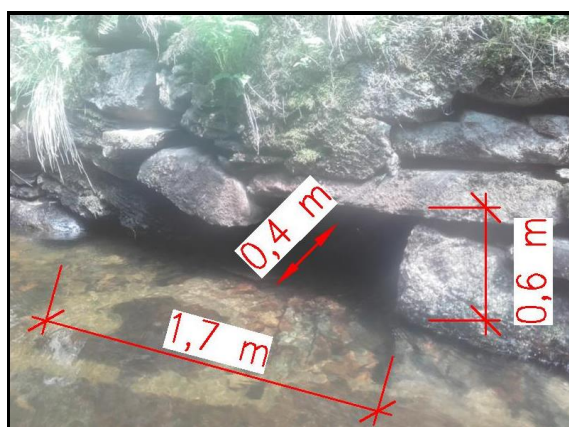


obr. 3.2 - Otevřený kanál, pohled po vodě, podzim 2017





obr. 3.3 – Kaverny v pravé dělicí zdi, jaro 2018



obr. 3.4 - Kaverna pod levou zídka



obr. 3.5 - Levá zídka, stav jaro 2018

Vlivem dlouholetého užívání odpadního kanálu došlo ke značné degradaci jednotlivých konstrukcí, která vede až k **havarijnímu stavu** některých konstrukcí, a to hlavně opěrných zdí v otevřené části. Z porovnání technického stavu na fotografiích z podzimu 2017 a jara 2018 je patrné, že se stav konstrukcí v relativně krátkých časových úsecích radikálně zhoršuje, dochází ke zvětšování oblastí podemletí konstrukcí, což bez technického zásahu povede až ke **ztrátě stability** konstrukcí. Stavebně technický zákrok je **nezbytně nutný**.

## 4 Hydraulická analýza odpadního kanálu

Předpokládá se říční proudění v odpadním kanále, které se za použití metody po úsecích počítá „směrem proti proudu.“ Okrajovou podmínkou pro výpočet nerovnoměrného ustáleného proudění v kanále je úroveň hladiny v místě soutoku s řekou Jizerou. Z toho plyne, že nutným předpokladem pro provedení hydraulické analýzy kanálu je provedení hydraulické analýzy přilehlého úseku koryta Jizery.

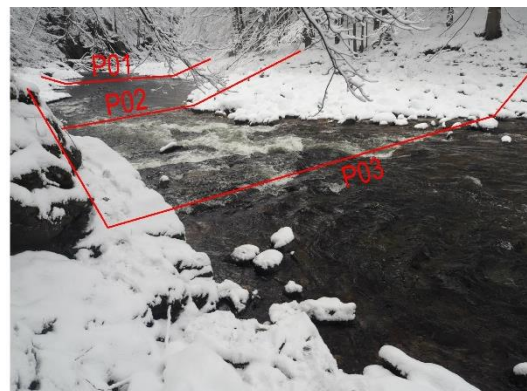
### 4.1 Hydraulická analýza přilehlého úseku koryta Jizery bez vlivu odpadního kanálu

Dne 4.12.2017 bylo pro potřeby výpočtu nerovnoměrného proudění v zájmovém úseku koryta Jizery provedeno geodetické zaměření firmou Geodézie Český Ráj s.r.o. Bylo zaměřeno 7 profilů koryta (P01 – P07) – 3 profily pod vyústěním odpadního kanálu v úseku délky cca 65 m, 3 profily nad vyústěním odpadního kanálu v úseku délky cca 63 m a jeden profil v místě vyústění odpadního kanálu. Celkově byl tedy zaměřen úsek délky cca 128 m. V rámci akce byly zaměřeny i aktuální úrovně hladin v profilech pro potřeby kalibrace hydraulického modelu. V době měření byla elektrárna z důvodu stavební činnosti odstavena a odpadní kanál byl provizorně zahrazen zemní hrázkou (viz obr. 4.1), což znamená, že proudění v korytě Jizery nebylo vlivem soutoku ovlivněno.

Zájmový úsek se nachází na přelomu horního a středního toku Jizery. Jsou zde typické střídající se peřejnaté úseky o velkých sklonech s klidnými, hlubokými úseky o malém sklonu, tvary údolí písmene V až U. Dno tvoří převážně oblázky a valouny, v klidných úsecích se nachází šterkopískové nánosy. Fotografie s orientačním zakreslením jednotlivých profilů ze dne měření viz obr. 4.2, obr. 4.3 a obr. 4.4.



obr. 4.1 - Provizorní hrázka



obr. 4.2 - Fotografie profilů P01-03





obr. 4.3 - Fotografie profilů P04-05



obr. 4.4 - Fotografie profilů P06-07

Nutným předpokladem pro provedení analýzy koryta je také znalost průtoku korytem v době měření a pro budoucí výpočet řady M-denních úseku.

Zájmový úsek začíná (P01) ve staničení ř. km 137.619, tato hodnota byla odečtena z podkladů Digitální báze vodohospodářských dat (DIBAVOD) Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka (VÚV TGM).

Pod zájmovým úsekem ve staničení ř. km 131.75 v obci Jablonec nad Jizerou se nachází hlásný profil č. 64 provozovaný Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ) Praha. Z webu Povodí Labe, s.p. [15] byly získány řady M-denních (viz tab. 4.2) a N-letých (viz tab. 4.3) průtoků hlásného profilu. Dále byla získána hodnota průtoku v hlásném profilu v době měření **4,62 m<sup>3</sup>/s**. Tato hodnota musí být redukována o hodnoty přítoků mezi profily, kterými jsou Sklenařický potok, Končinský potok, Huťský potok a Makovský potok.

Dalším podkladem pro výpočet jsou hydrologické údaje v profilu jezu Vilémov ř. km cca 138.2, které byly poskytnuty ČHMÚ jako podklad pro stavební dokumentaci rekonstrukce MVE Vilémov [1]. Součástí podkladů jsou samozřejmě řady M-denních (viz tab. 4.2) a N-letých (viz tab. 4.3) průtoků jezového profilu. Mezi jezem a zájmovým úsekem se do koryta Jizery vlévá Havířenský potok.

Přítok Havířenského potoka byl stanoven inženýrským odhadem jako procentuální podíl rozdílu průtoku v hlásném profilu Jablonec nad Jizerou a v jezovém profilu rovný procentuálnímu podílu délky toků přítoků viz tab. 4.1. Délky toků byly získány z DIBAVOD VÚV TGM. S touto znalostí mohly být dopočítány řady M-denních (viz tab. 4.2) a N-letých (viz tab. 4.3) průtoků v profilu výtoku z odpadního kanálu.



tab. 4.1 - Poměr přítoku Havírenským potokem

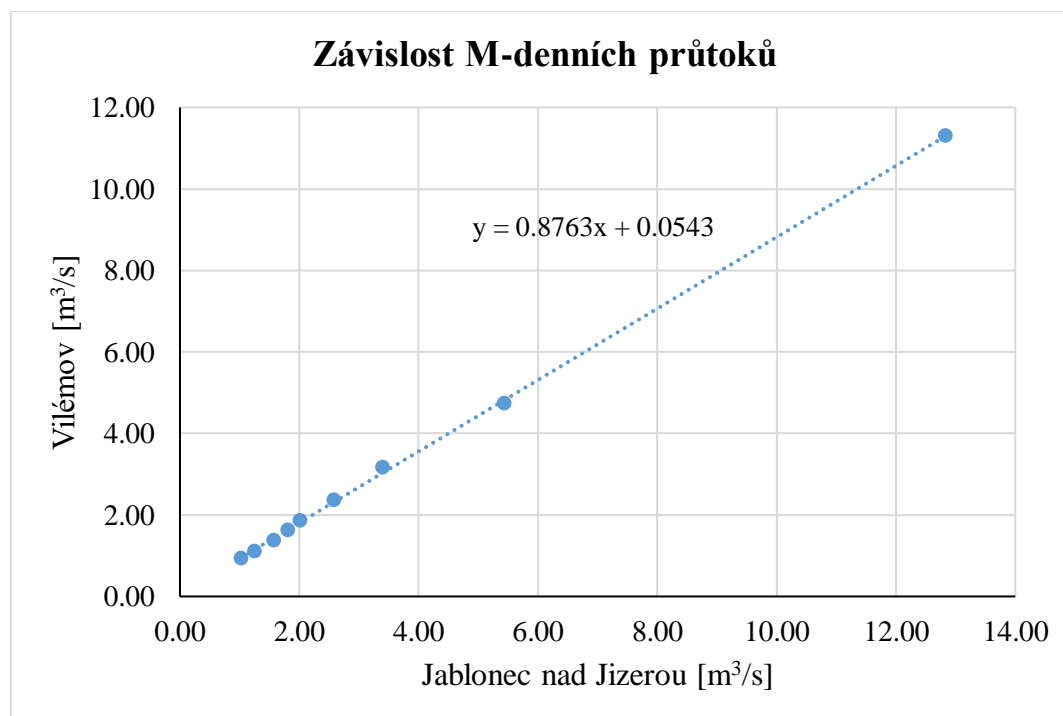
Přítoky:	délka [m]	poměr
<b>Havírenský potok</b>	<b>2324</b>	<b>12.6%</b>
Makovský potok	2967	16.1%
Huťský potok	8777	47.5%
Končinský potok	1579	8.6%
Sklenařický potok	2816	15.3%
$\Sigma$	18462	100.0%

tab. 4.2 - M-denní průtoky jednotlivých profilů

Profil	M [dny]	30	90	150	210	270	300	330	355	364
<b>Jablonec n. Jiz.</b>	$Q_{Md}$ [m <sup>3</sup> /s]	12.83	5.44	3.40	2.58	2.02	1.81	1.57	1.25	1.03
<b>jez Vilémov</b>	$Q_{Md}$ [m <sup>3</sup> /s]	11.30	4.73	3.16	2.37	1.86	1.63	1.38	1.11	0.93
<b>Havírenský p.</b>	$Q_{Md}$ [m <sup>3</sup> /s]	0.19	0.09	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01
<b>zájmový úsek</b>	$Q_{Md}$ [m <sup>3</sup> /s]	11.49	4.82	3.19	2.40	1.88	1.65	1.40	1.13	0.94

tab. 4.3 - N-leté průtoky jednotlivých profilů

Profil	N [roky]	1	5	10	20	50	100
<b>Jablonec n. Jiz.</b>	$Q_N$ [m <sup>3</sup> /s]	80	162	203	254	310	362
<b>jez Vilémov</b>	$Q_N$ [m <sup>3</sup> /s]	71	145	182	223	280	327
<b>Havírenský p.</b>	$Q_N$ [m <sup>3</sup> /s]	1.13	2.14	2.64	3.90	3.78	4.41
<b>zájmový úsek</b>	$Q_N$ [m <sup>3</sup> /s]	72.1	147.1	184.6	226.9	283.8	331.4



obr. 4.5 - Korelace M-denních průtoků jez Vilémov – stanice Jablonec nad Jizerou

Výpočet aktuálního průtoku v zájmovém úseku v době měření byl proveden za pomoci korelace hodnot M-denních průtoků pro profily jez Vilémov a hlásný profil Jablonec nad Jizerou, a následném proložení dat regresní přímkou v programu MS Excel včetně zobrazení řídicí rovnice této přímky (viz obr. 4.5).

Využitím řídicí rovnice již není problém dopočíst průtok v profilu jezu v době měření na základě tehdy aktuálního průtoku uvedeném na webové stránce hlásného profilu ČHMÚ. Následně byl připočítán přítok Havírenského potoka 12,6 % rozdílu průtoku profily (viz výše) a výsledkem je průtok zájmovým úsekem v době měření.

Hodnoty výpočtu:

- Průtok – Jablonec nad Jizerou                    4,62 m<sup>3</sup>/s
- Průtok – jezový profil                            4,10 m<sup>3</sup>/s
- Přítok – Havírenský potok                    0,07 m<sup>3</sup>/s
- **Průtok – zájmový úsek**                        **4,17 m<sup>3</sup>/s**

Pro ujasnění. Výpočet průtoků byl proveden dle rovnic:

$$Q_{jez} = 0.8763Q_{LS} + 0.0543 \text{ [m}^3\text{/s]} \quad (4.1)$$

$$Q_{Hav} = (Q_{LS} - Q_{jez}) * 0,126 \text{ [m}^3\text{/s]} \quad (4.2)$$

$$Q_{záj} = Q_{jez} + Q_{Hav} \text{ [m}^3\text{/s]} \quad (4.3)$$

kde  $Q_{LS}$  je průtok v měrném profilu limnigrafické stanice Jablonec nad Jizerou;  $Q_{jez}$  je průtok v profilu jezu Vilémov;  $Q_{Hav}$  je přítok Havírenského potoka; a  $Q_{záj}$  je průtok v zájmovém úseku.

Hydraulický model proudění zájmového úseku koryta Jizery byl proveden v programu HEC-RAS 5.0.3 vyvinutý U.S. Army Corps of Engineers. Pro účely výpočtu průběhu proudění v korytě bylo využito 1D nerovnoměrného ustáleného modelu proudění, které vychází z energetické (Bernoulliho) rovnice. [12]

Jako první bylo nutné provedení kalibrace modelu, tedy nastavení Manningových drsnostních součinitelů v řezech koryta tak, aby průběh hladin v modelu odpovídal průběhu hladin ve skutečnosti. Pro srovnání bylo využito zaměření hladin a dopočteného průtoku ze dne měření. Pro vyšší přesnost modelu byla provedena softwarová interpolace řezů – proložení zaměřených řezů interpolovanými řezy o maximální vzájemné vzdálenosti 1 m.

Aby drsnostní kalibrace modelu nebyla prováděna metodou pokus – omyl, byly pro jednotlivé úseky stanoveny základní drsnosti výpočtem metodou podle Cowana, která zní:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m_5 \quad [-] \quad (4.4)$$

kde  $n_0$  je dáno materiálem koryta,  $n_1$  zohledňuje vliv nerovností povrchu,  $n_2$  závisí na četnosti změn příčného profilu,  $n_3$  vyjadřuje vliv překážek,  $n_4$  vliv vegetace a  $m_5$  je korelační faktor, který zohledňuje meandrování koryta. Hodnoty jednotlivých parametrů viz tab. 4.4. [15]

tab. 4.4 - Hodnoty parametrů podle Cowana [15]

Charakteristika koryta		Hodnota	
Materiál	zemní	$n_0$	0,020
	ve skále		0,025
	jemný štěrk		0,024
	hrubý štěrk		0,028
Stupeň nepravidelnosti povrchu	hladký	$n_1$	0,000
	malý		0,005
	střední		0,010
	velký		0,020
Změny příčného průřezu	pozvolné	$n_2$	0,000
	příležitostné		0,005
	časté		0,010–0,015
Relativní vliv překážek	zanedbatelný	$n_3$	0,000
	malý		0,010–0,015
	citelný		0,020–0,030
	velký		0,040–0,060
Vliv vegetace	nízký	$n_4$	0,005–0,010
	střední		0,010–0,025
	velký		0,025–0,050
	velmi značný		0,050–0,100
Stupeň zakřivení	malý	$m_5$	1,00
	citelný		1,15
	velký		1,30

Charakteristika materiálu koryta  $n_0$  byla stanovena dle tab. 4.5, kterou vypracoval pan Nosov pro horské a podhorské toky. [15]

Hodnoty na stupně nepravidelnosti povrchu  $n_1$ , změn příčného průřezu  $n_2$ , vlivu vegetace  $n_4$  a stupně zakřivení  $m_5$  byly stanoveny pro celý úsek jednotně, a to takto:

- stupeň nepravidelnosti povrchu – střední  $n_1 = 0,010$
- změny příčného průřezu – pozvolné (vliv interpolace)  $n_2 = 0$
- vliv vegetace – zanedbán  $n_4 = 0$
- stupeň zakřivení – malý  $m_5 = 0$

Ostatní použité parametry a vlastní výpočet je uveden v tab. 4.6, kde jsou uvedeny již i hodnoty ze zkalibrovaného modelu HEC-RAS.

Úsekem v tab. 4.6 je myšlena oblast od jednoho zaměřeného profilu k druhému včetně interpolovaných řezů (např. úsek 1-2 zahrnuje oblast od příčného řezu P01 k příčnému řezu P02).

tab. 4.5 - Součinitel drsnosti horských a podhorských řek podle Nosova (1979) [15]

Sklon [‰]	Q [m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]	Materiál koryta	n [-]
0,5–1	< 1000	jíl, písek, drobný štěrč	0,022
	> 1000		0,028
1–10	< 200	štěrč	0,029
		oblázky	0,035
		oblázky a valouny; řeka v hlubokém kaňonu nebo v úžlabině sevřená mezi skalami	0,043
	> 200	štěrč a oblázky	0,031
		oblázky s valouny	0,041
		oblázky a valouny; řeka v hlubokém kaňonu nebo v úžlabině sevřená mezi skalami	0,053
10–20	< 100	štěrč a oblázky	0,038
		oblázky a valouny	0,048
	> 100	štěrč a oblázky	0,048
		oblázky a valouny	0,058
20–40	< 50	oblázky	0,058
		valouny	0,067
	> 50	oblázky	0,067
		valouny	0,078
40–80		valouny a oblázky	0,092
		úlomky skal a valouny	0,112

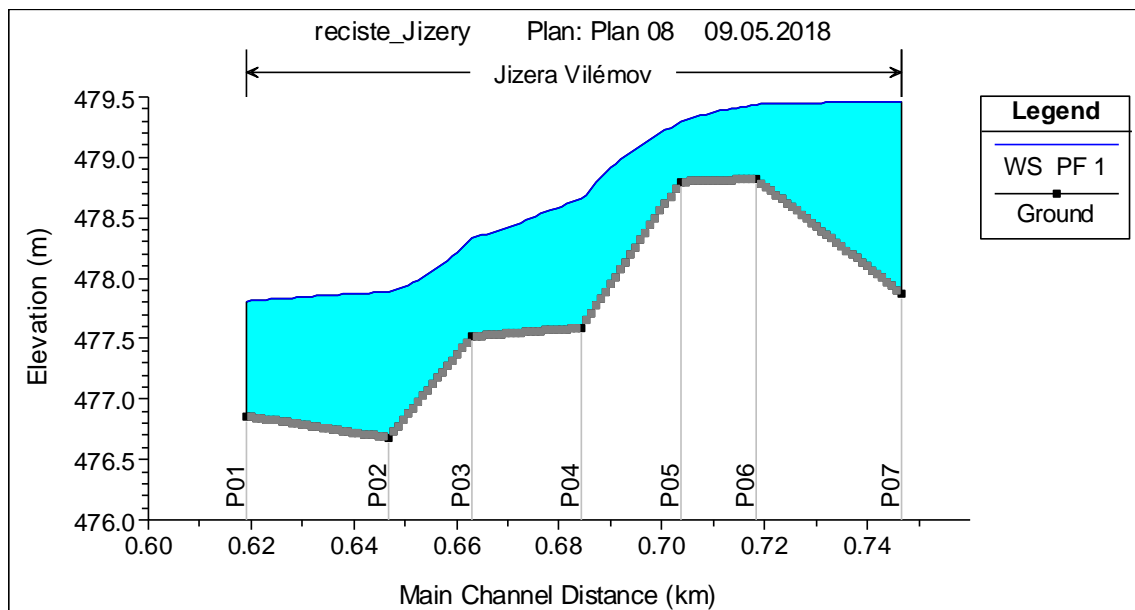
tab. 4.6 - Stanovení Manningových drsnostních součinitelů

Cowanova metoda drsnosti			HEC-RAS
úsek	materiál	vliv překážek	drsnostní souč.
	$n_0$	$n_3$	$n$
1-2	oblázky s valouny ( $i < 1\%$ )	malý	0.063
	0.043	0.01	
2-3	oblázky s valouny ( $i > 4\%$ )	citelný	0.132
	0.092	0.03	
3-4	oblázky s valouny ( $i < 1\%$ )	citelný	0.073
	0.043	0.02	
4-5	oblázky s valouny ( $i > 4\%$ )	citelný	0.132
	0.092	0.03	
5-6	oblázky s valouny ( $i < 1\%$ )	citelný	0.083
	0.043	0.03	
6-7	oblázky s valouny ( $i < 1\%$ )	zanedbatelný	0.053
	0.043	0	

tab. 4.7 – Úrovně hladin v [m n. m.]

Nadmořské výšky zaměřených hladin profilů a vypočtené výšky hladiny jsou uvedeny v tab. 4.7. Průběh hladin je graficky znázorněn v podélném profilu – výstupu z programu HEC-RAS – viz obr. 4.6 (pozn. z praktických důvodů bylo v HEC-RASu použito relativní staničení ř. km 137.619 = 0.619 HEC-RAS km).

Profil	zaměření	HEC -RAS
P07	479.46	479.46
P06	479.44	479.44
P05	479.29	479.29
P04	-	478.66
P03	478.33	478.33
P02	477.89	477.89
P01	477.81	477.81

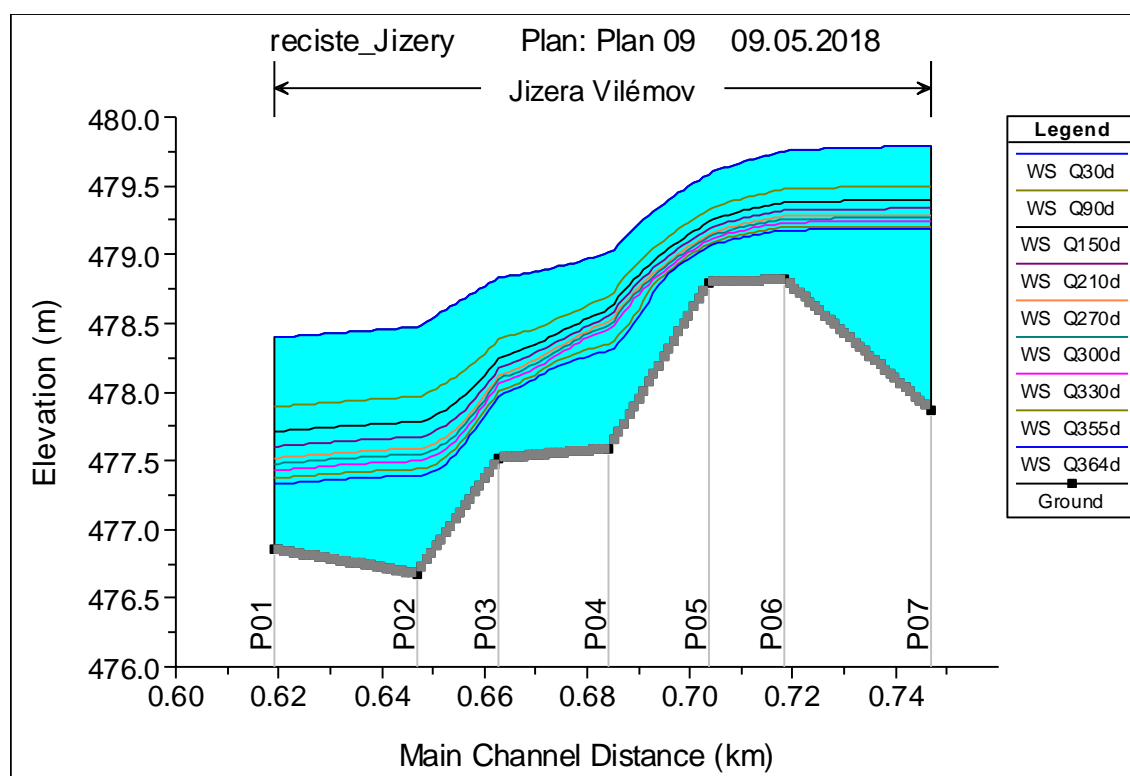


obr. 4.6 - Průběh hladin ze dne měření vytvořený v programu HEC-RAS

Dále byly vypočteny průběhy hladin pro M-denní průtoky, viz tab. 4.8 a obr. 4.7.

tab. 4.8 - Nadmořské výšky vypočtených hladin pro M-denní průtoky

průtok\profil	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07
Q <sub>30d</sub>	478.4	478.48	478.83	479.01	479.59	479.75	479.79
Q <sub>90d</sub>	477.89	477.97	478.38	478.7	479.32	479.47	479.5
Q <sub>150d</sub>	477.71	477.78	478.24	478.6	479.24	479.38	479.39
Q <sub>210d</sub>	477.6	477.67	478.17	478.55	479.18	479.32	479.33
Q <sub>270d</sub>	477.52	477.59	478.12	478.51	479.14	479.28	479.29
Q <sub>300d</sub>	477.48	477.55	478.09	478.49	479.13	479.26	479.27
Q <sub>330d</sub>	477.43	477.5	478.06	478.46	479.1	479.23	479.24
Q <sub>355d</sub>	477.37	477.44	478.01	478.35	479.08	479.2	479.21
Q <sub>364d</sub>	477.33	477.39	477.97	478.3	479.06	479.17	479.18



obr. 4.7 - Průběhy hladin M-denních průtoků v zájmovém úseku Jizery

## 4.2 Hydraulická analýza stávajícího odpadního kanálu ve vazbě na koryto Jizery

V rámci zaměření koryta Jizery dne 4.12.2017 byly zaměřeny i čtyři příčné profily odpadního kanálu v otevřené části. Geodetické zaměření kanálu v uzavřené části bylo převzato z podkladů pro realizaci stavby MVE. Geometrie nových konstrukcí pod savkou

turbíny byla převzata ze skutečného vytyčení stavby strojovny a z výkresové dokumentace strojovny. Celkem bylo pro potřeby výpočtu vytvořeno 13 příčných řezů K01 – K13.

V případě odpadního kanálu bohužel nebyla možnost zaměření průběhu hladin v uzavřené části a v otevřené části bylo dne 9.2.2018 provedeno orientační zaměření, a to v profilech K03 a K04. Zaměření bylo provedeno 9.2.2018 v cca 13:00 hodin. Pro dobu měření byly provozovatelem elektrárny autorovi poskytnuty informace o tehdejší výkonu elektrárny – 106 kW, při kterém by měl dle podkladů průtok elektrárnou být **2,10 m<sup>3</sup>/s**. Hydraulické drsnosti kanálu byly stanoveny z tabulek podle Chowa [15] a jsou pro jednotlivé úseky uvedeny v tab. 4.9. S přihlédnutím k současnému stavu konstrukcí byly hodnoty Manningova drsnostního součinitele starých konstrukcí uvažovány jako maximální (špatný stav), nových konstrukcí pod savkou jako minimální (dobrý stav) a opravených konstrukcí pod savkou jako střední (průměrný stav).

tab. 4.9 – Stanovení Manningových součinitelů drsnosti odpadního kanálu

Platnost	typ povrchu	levý břeh	dno	pravý břeh
K01 - K02	Popis povrchu	břehová nátrž	bet. dno, stěna z LK na M	
	n [-]	0.04	0.024	
K03 - K10	Popis povrchu	betonové dno se stěnami z lomového kamene na maltu		
	n [-]	0.024		
K11	Popis povrchu	betonové dno se stěnami z LK na maltu, po opravě		
	n [-]	0.02		
K12 - K13	Popis povrchu	beton do kovové formy		
	n [-]	0.012		

pozn. LK – lomový kámen, M – malta

V programu HEC-RAS byla ke geometrii přilehlého úseku koryta Jizery z kap. 4.1, který byl rozdělen na horní (nad soutokem) a dolní (pod soutokem) úsek, připojena geometrie odpadního kanálu, osový soutok je uvažován v profilu P03. Orientační kontrola modelu byla provedena porovnáním s měřením ze dne 9.2.2018, viz tab. 4.10. V profilu K03 je zaměřená hladina s hladinou v modelu shodná, v profilu K04 došlo k výchylce 4 cm, která je autorem ještě tolerována.

tab. 4.10 - Nadmořské výšky v kontrolních profilech

Profil	Zaměření	HEC-RAS
K04	478.49	478.53
K03	478.50	478.50

Hodnoty průtoků použitých pro kontrolní výpočet jsou uvedeny v tab. 4.11. Postup výpočtu průtoků na základě údaje z měrného profilu Jablonec nad Jizerou viz kap. 4.1– rovnice 4.1, 4.2 a 4.3. Nově však platí:

$$Q_{hor} = Q_{jez} - Q_{MVE} + Q_{Hav} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (4.5)$$

$$Q_{dol} = Q_{hor} + Q_{MVE} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (4.6)$$

kde  $Q_{hor}$  je průtok korytem Jizery nad výtokem z odpadního kanálu;  $Q_{dol}$  je průtok korytem Jizery pod výtokem z odpadního kanálu elektrárny; a  $Q_{MVE}$  je průtok zpracováváný elektrárnou získaný od provozovatele elektrárny.

tab. 4.11 - Hodnoty průtoků ze dne 9.2.2018

Profil	Průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]
Jablonec nad Jizerou	4.41
Průtok-jez	3.92
Přítok Havírenský potok	0.06
Zpracováváný průtok elektrárnou	2.13
Jizera nad výtokem	1.85
Jizera pod výtokem	3.98

Model je nyní považován za zkalibrovaný a je možno přistoupit k výpočtu průběhu hladin v odpadním kanále pro M-denní průtoky, které jsou uvedeny v tab. 4.12, kde jsou kurzívou uvedeny i *interpolované hodnoty* podstatných bodů –  $Q_{1d}$  je považován za stav dosažení maximální provozní hladiny,  $Q_{45d}$  odpovídá stavu dosažení maximálního turbínového průtoku  $7 \text{ m}^3/\text{s}$  a při  $Q_{267d}$  je průtok turbínou roven minimálnímu provoznímu průtoku  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Pro každý nižší průtok je elektrárna odstavena, což je patrné i z vypracovaných vybraných čar trvání M-denních průtoků viz graf na obr. 4.8. Průběhy hladin těchto „zlomových“ průtoků jsou uvedeny na obr. 4.9 a obr. 4.10, a podrobněji ve výkresové části. Příčné profily charakterizující jednotlivé úseky viz obr. 4.11, obr. 4.12, obr. 4.13 a obr. 4.14. V případě příčných profilů v uzavřené části byly zaměřeny pouze body v ose koryta a u stěn (zaměřený tvar V), pro dosažení miskovitěho tvaru dna, byl průběh dna mezi body interpolován. Průtoky menší než  $Q_{267d}$  nejsou v tab. 4.12 uvedeny, protože je za nich elektrárna odstavena a jsou pro výpočet irelevantní.

Pro celý rozsah provozních M-denních průtoků byla vypracována čára trvání úrovně hladiny v profilu pod savkou K13, která je uvedena v grafu na obr. 4.15. Hladina v tomto profilu je v následujících výpočtech použita jako dolní hladina pro stanovení hydraulického spádu pro výpočet výkonu elektrárny.



Interpolace (a extrapolace) M-denních průtoků a dna koryta byla provedena v softwaru MATLAB R2017a jako jednorozměrná interpolace metodou „pchip“, která odpovídá kubické interpolaci.

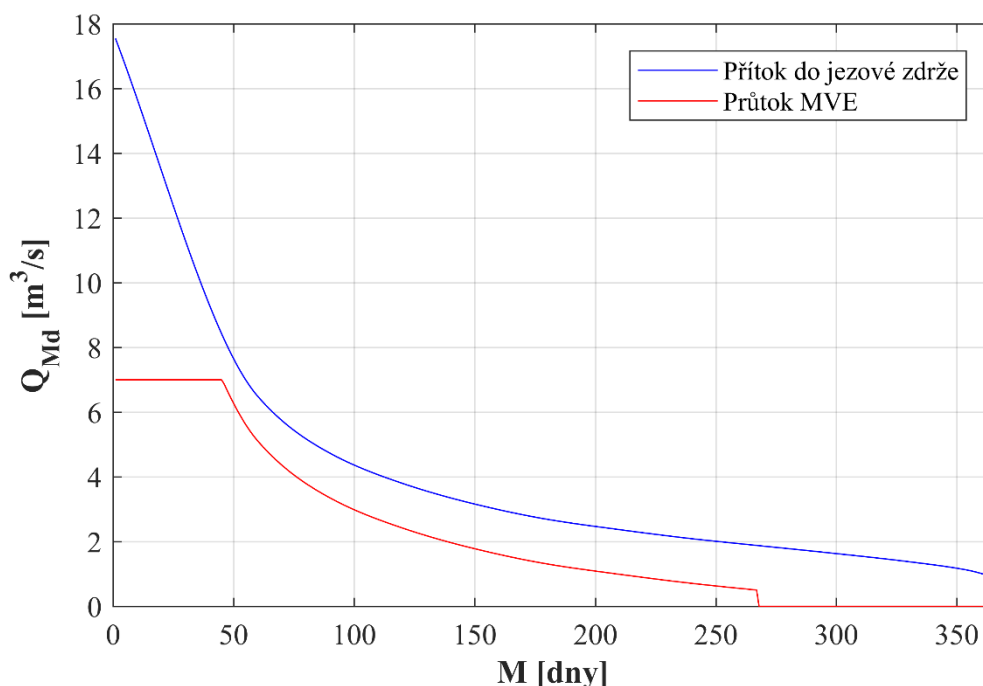
Výpočet hodnot průtoků turbínou v tab. 4.12 je proveden na základě rovnice:

$$Q_{Md,MVE} = Q_{Md,jez} - MZP \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (4.7)$$

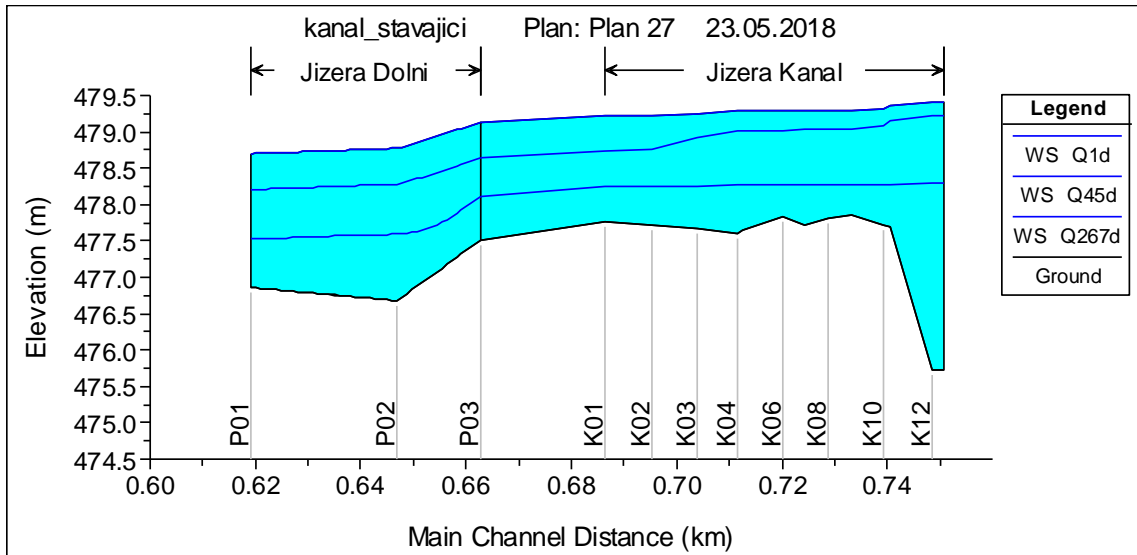
kde  $Q_{Md,MVE}$  je průtok zpracováváný elektrárnou odpovídající jednotlivým dnům, avšak maximální hodnota je  $7 \text{ m}^3/\text{s}$  a hodnoty pod  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  jsou rovny nule;  $Q_{Md,jez}$  je M-denní průtok v jezovém profilu poskytnutý ČHMÚ; a MZP je minimální zůstatkový průtok odpovídající  $Q_{330d,jez} = 1,38 \text{ m}^3/\text{s}$ . Ostatní hodnoty jsou vypočteny dle rovnic 4.2, 4.4 a 4.5.

tab. 4.12 - M-denní průtoky

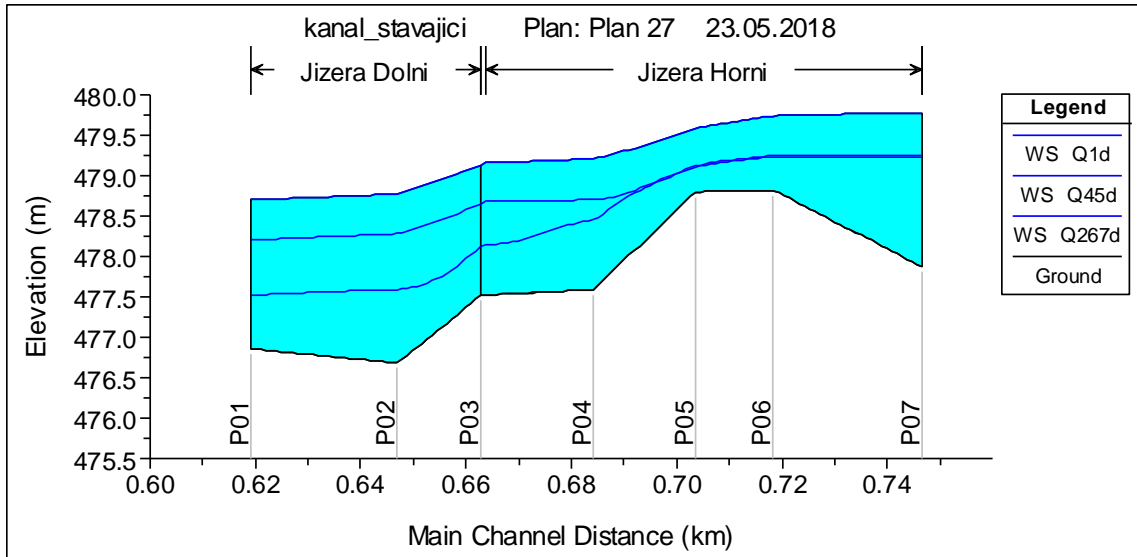
Profil	M [dny]	1	30	45	90	150	210	267
Jablonec n. Jiz.	$Q_{Md,Jabl} \text{ [m}^3/\text{s]}$	19.96	12.83	9.55	5.44	3.4	2.58	2.04
jez Vilémov	$Q_{Md,jez} \text{ [m}^3/\text{s]}$	17.55	11.30	8.43	4.73	3.16	2.37	1.88
Havířenský p.	$Q_{Md,Hav} \text{ [m}^3/\text{s]}$	0.30	0.19	0.14	0.09	0.03	0.03	0.02
průtok MVE	$Q_{Md,MVE} \text{ [m}^3/\text{s]}$	7.00	7.00	7.00	3.35	1.78	0.99	0.50
nad ústím OK	$Q_{Md,hor} \text{ [m}^3/\text{s]}$	10.85	4.49	1.57	1.47	1.41	1.41	1.40
pod ústím OK	$Q_{Md,dol} \text{ [m}^3/\text{s]}$	17.85	11.49	8.57	4.82	3.19	2.40	1.90



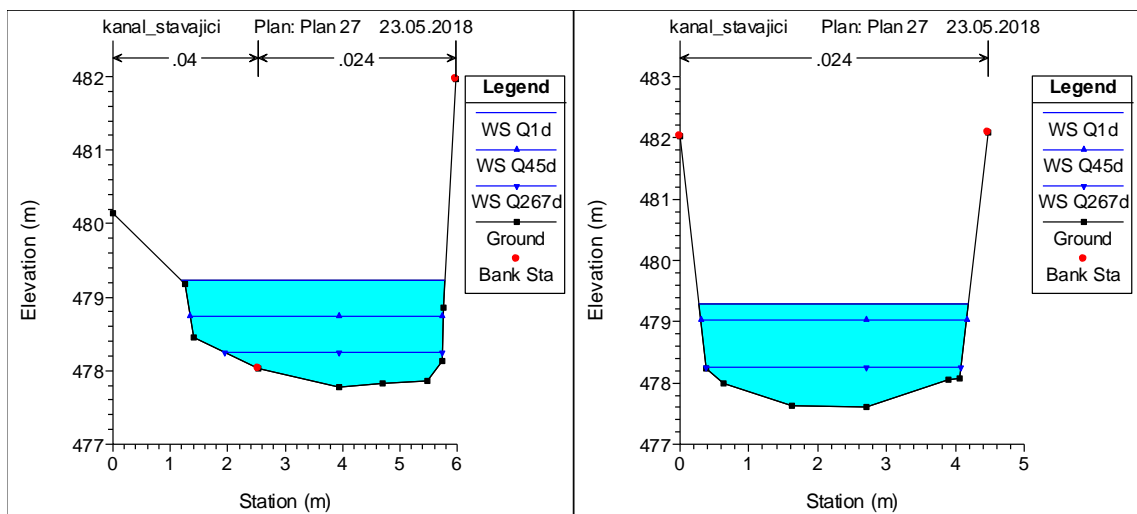
obr. 4.8 - Čáry trvání M-denních průtoků



obr. 4.9 - Průběh hladin  $Q_{1d}$ ,  $Q_{45d}$  a  $Q_{267d}$  – odpadní kanál

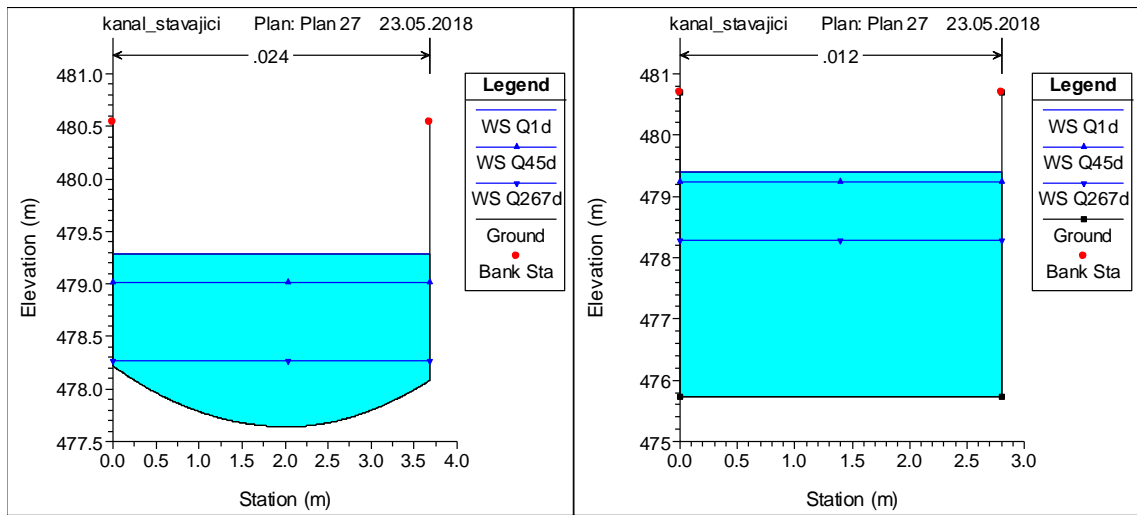


obr. 4.10 - Průběh hladin  $Q_{1d}$ ,  $Q_{45d}$  a  $Q_{267d}$  – přílehlý úsek Jizery



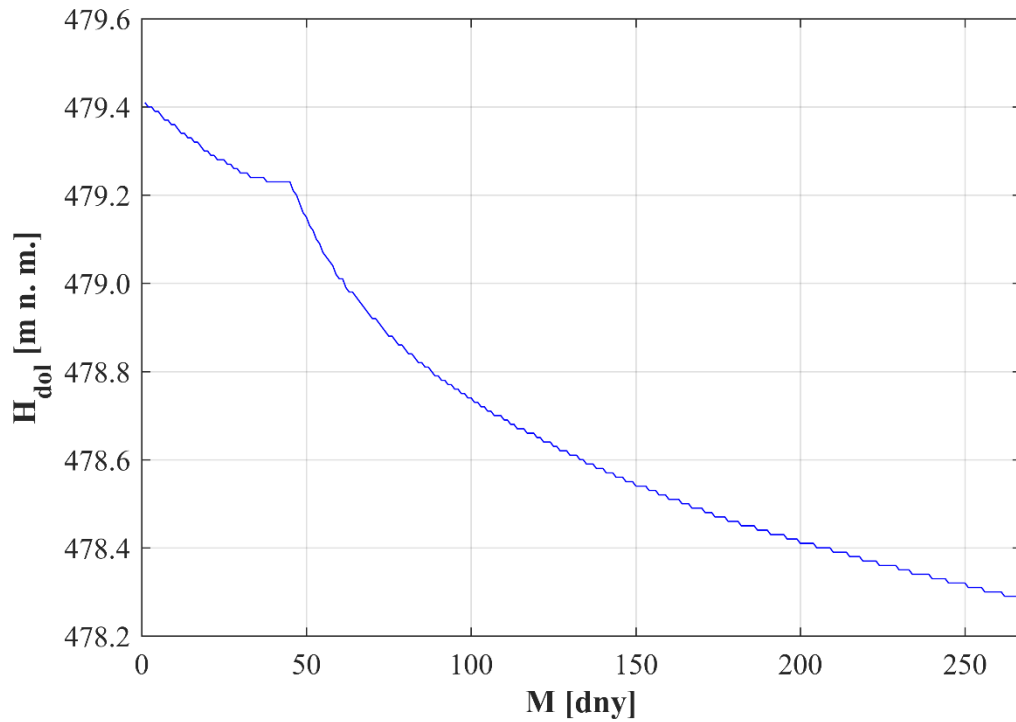
obr. 4.11 – Příčný profil K01 – otevřený

obr. 4.12 - Příčný profil K04 – otevřený



obr. 4.13 - Příčný profil K05 – uzavřená část

obr. 4.14 - Příčný profil K13 – pod savkou



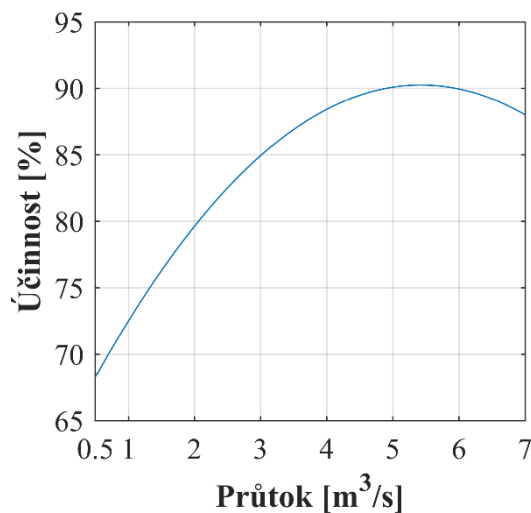
obr. 4.15 - Čára trvání úrovně hladiny dolní vody pod savkou

## 5 Výpočet výroby MVE za stávajícího stavu

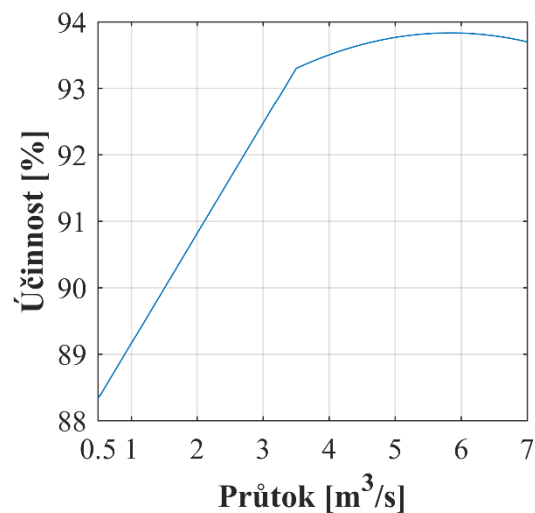
Pro potřeby výpočtu navýšení výroby elektrické energie malou vodní elektrárnou Vilémov variantami stavebně technického řešení rekonstrukce odpadního kanálu v kapitole 6 je nutno znát výrobu aktuální, jejíž stanovení je předmětem této kapitoly.

Poskytnuté podklady pro výpočet:

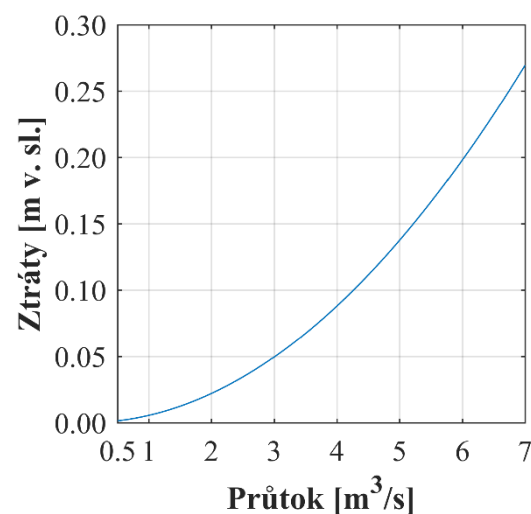
- účinnost turbíny v závislosti na zpracovávaném průtoku, viz obr. 5.1
- účinnost generátoru v závislosti na zpracovávaném průtoku, viz obr. 5.2
- koeficient hydraulických ztrát na přivaděči  $K = 0,055$
- úroveň hladiny na vtoku do přivaděče v závislosti na zprac. průtoku, viz obr. 5.4



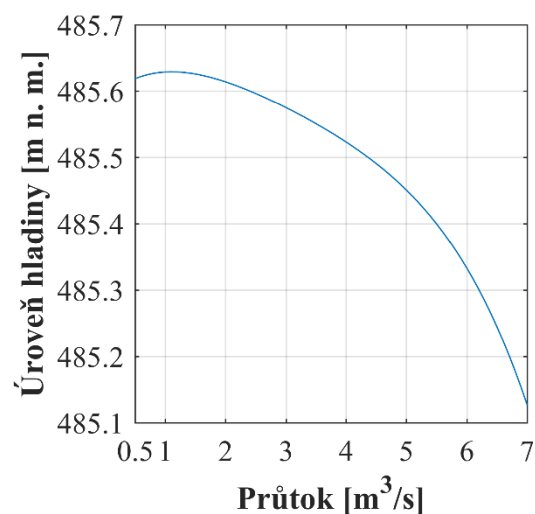
obr. 5.1 – Graf účinnosti turbíny



obr. 5.2 - Graf účinnosti generátoru



obr. 5.3 – Hydr. ztráty na přivaděči



obr. 5.4 - Hladiny ve vodním zámku

Průběh hydraulických ztrát na přivaděči na obr. 5.3 je předepsán rovnicí:

$$H_{zt} = KQ^2 \text{ [m v. sl.]} \quad (5.1)$$

kde  $K = 0,055$  je koeficient ztrát na přivaděči;  $Q$  je průtok MVE v  $\text{m}^3/\text{s}$ .

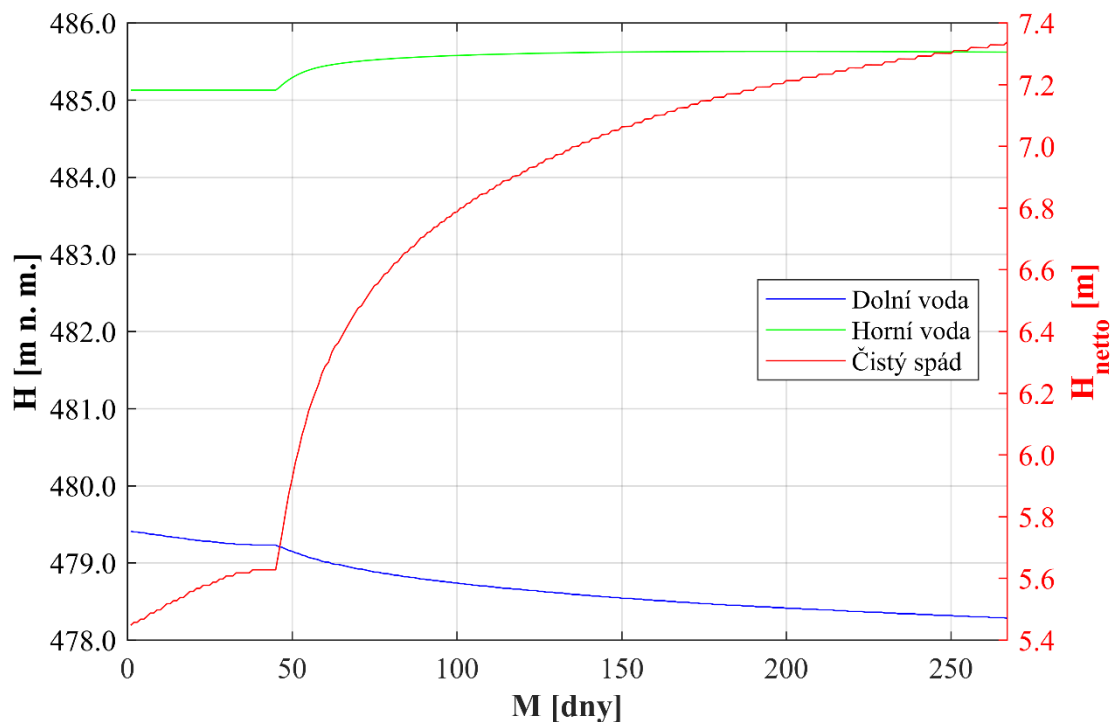
Výpočet výroby el. energie MVE byl pro  $i$ -tý den čáry trvání proveden dle rovnic:

$$H_{netto,i} = H_{hor,i} - H_{dol,i} - H_{zt,i} \text{ [m]} \quad (5.2)$$

$$P_i = \rho g Q H_{netto} \eta_{turb} \eta_{gen} \eta_{trans} / 1000 \text{ [kW]} \quad (5.3)$$

$$E_i = P_i * 24 \text{ [kWh]} \quad (5.4)$$

kde  $H_{netto}$  je čistý spád viz obr. 5.5;  $H_{hor}$  je úroveň hladiny horní vody dle obr. 5.5 v m n. m.;  $H_{dol}$  je úroveň hladiny dolní vody dle obr. 5.5 v m n. m.;  $P$  je čistý výkon na prahu vodní elektrárny, čára trvání výkonu viz obr. 5.6;  $\rho$  je objemová hmotnost vody uvažována  $1000 \text{ kg/m}^3$ ;  $g$  je gravitační zrychlení uvažované  $9,81 \text{ m.s}^{-2}$ ;  $Q$  je průtok elektrárnou dle obr. 4.8;  $\eta_{turb}$  je účinnost turbíny dle obr. 5.1;  $\eta_{gen}$  je účinnost generátoru dle obr. 5.2;  $\eta_{trans}$  je účinnost transformátoru uvažována  $98,75 \%$ ; a  $E_i$  je výroba el. energie v  $i$ -tém dni čáry trvání.

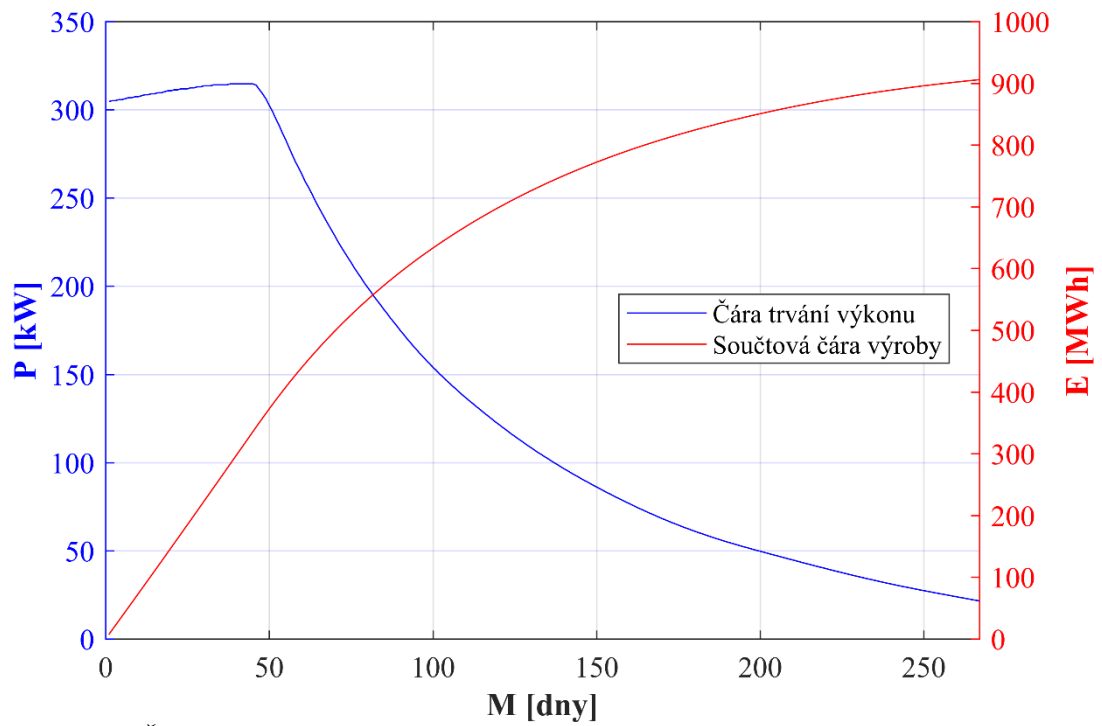


obr. 5.5 - Čára trvání čistého spádu

Výroba v průměrném roce je pak:

$$E = \sum_1^n E_i \text{ [kWh]} \quad (5.5)$$

kde  $n$  je počet dní provozu MVE v roce. Součtová čára výroby viz obr. 5.6.



obr. 5.6 - Čára trvání výkonu a součtová čára výroby

Roční výroba na prahu MVE Vilémov v průměrném roce tedy je **905 812 kWh**.

## 6 Variantní návrh stavebně technického řešení

V rámci práce byl proveden návrh dvou variant stavebně technického řešení rekonstrukce odpadního kanálu MVE Vilémov.

První variantou je přebudování dna kanálu, provedení nového obetonování stěn v uzavřené části kanálu, rekonstrukce opěrné kamenné zídky opevňující levý břeh kanálu v otevřené části a sanace konstrukce pravé dělicí kamenné zdi. Jedná se o méně náročnou variantu, co se týče provádění a financování.

Ve druhé variantě je problematika odpadního kanálu řešena poněkud radikálněji. Návrhem je kompletní rekonstrukce odpadního kanálu v uzavřené části, dna kanálu v otevřené části, levé opěrné zídky a oprava lícového zdiva pravé opěrné stěny. Oproti první variantě je mnohem náročnější na provádění a její finanční náklady jsou několikanásobně vyšší. Výhodou je možné rozšíření průtočného profilu a delší životnost konstrukcí.

### 6.1 Varianta I

Dno kanálu bude vybouráno v celé délce, v uzavřené části budou v rámci bourání dna dobourány pozůstatky obetonování stěn. Následně dojde k betonáži nového vodorovného dna tl. 250 mm a nového obetonování stěn tl. 100 mm do výšky 1,65 m od navrženého dna. Nové dno bude pod savkou napojeno ve výšce 477,60 m n. m. a ve sklonu 1,0 ‰ bude v délce 54,52 m vedeno až k ústí odpadního kanálu ve výšce 477,54 m n. m. Bude použito betonu prostého C30/37 XF3-XA2-XC4 vyztuženého konstrukční výztuží pro zabránění vzniku trhlin vlivem objemových změn. Betonáž dna bude provedena čerpaným betonem a betonáž stěn technologií stříkaného betonu (tzv. torkret) metodou za mokra, kdy je před trysku dopravována již kompletní směs včetně záměsové vody.

Pro zachování stability kamenných zdí kanálu v uzavřené části a opěrné stěny v otevřené části bude výše zmíněné provedeno metodou po úsecích dlouhých 2 m, tzn. bude vybourán a vybetonován úsek dlouhý 2 m a po zatvrdnutí betonové směsi bude proveden další úsek dlouhý 2 m. Předpokládá se provádění několika úseků najednou, tedy vybourání dvoumetrového úseku, vynechání dvoumetrového úseku, vybourání dvoumetrového úseku atd. Pracovní spáry vzniklé prováděním po úsecích budou těsněny

bentonitovým páskem na bentonitový tmel pro zajištění vodotěsnosti a dále budou zajištěny tak, aby byla zachována soudržnost konstrukce.

Betonová konstrukce bude rozdělena do tří dilatačních bloků dlouhých v ose 18,52 a 2 x 18 m. Dilatační spáry budou těsněny těsníci pásky a budou uzavřeny těsnícím tmelem po celém obvodu, tedy ve dně i ve stěnách.

Levá opěrná zídka bude strojně odkopána a zdemolována. Po celé délce levého břehu odpadního kanálu v otevřené části bude proveden výkop o dostatečné šířce dna pro realizaci nové opěrné zídky. Maximální sklon svahu výkopu bude 1:1, v případě naražení na skalní podloží není nutno sklon dodržet. Nová opěrná zídka bude provedena jako tížná z betonu prostého C30/37 XF3-XA2-XC4 o sklonu návodního líce 10:1 s obkladem z kamene místní provincie na cementovou maltu s vyspárováním. Konstrukce bude založena na betonovém pasu do nezámrzné hloubky. Pro zabránění tlakových sil od podzemní vody bude za konstrukcí zídky zhotovena drenáž.

Pravá opěrná stěna bude očištěna od vegetace. Stávající zdivo bude vyspárováno cementovou maltou. Kaverny vzniklé vypadnutím stávajícího zdiva budou dozděny lomovým kamenem místní provincie na cementovou maltu.

Ve vzdálenosti cca 8 m od vyústění uzavřené části kanálu po proudu bude konstrukce opatřena drážkami provizorního hrazení.

Pro zabránění vniku vody na stavenišťe bude v profilu vyústění kanálu nasypána homogenní zemní hrázka po vzoru obr. 4.1., prosáklá voda hrázkou bude přečerpávána zpět do řeky.

### **6.1.1 Vliv na proudění v odpadním kanále a na výrobu el. energie**

Stávající profily byly v modelu upraveny dle technického popisu, průtočná šířka profilů byla v uzavřené části zmenšena o 0,2 m (obetonování stěn), dno bylo zarovnáno a sníženo. V otevřené části je šířka dna uvažována 3,6 m a sklon nové opěrné zídky 10:1. Dále byl přidán nový profil K11' na konec úpravy, 0,386 m nad stávající profil K11. Příčné profily charakterizující jednotlivé oblasti viz obr. 6.2 a obr. 6.3.

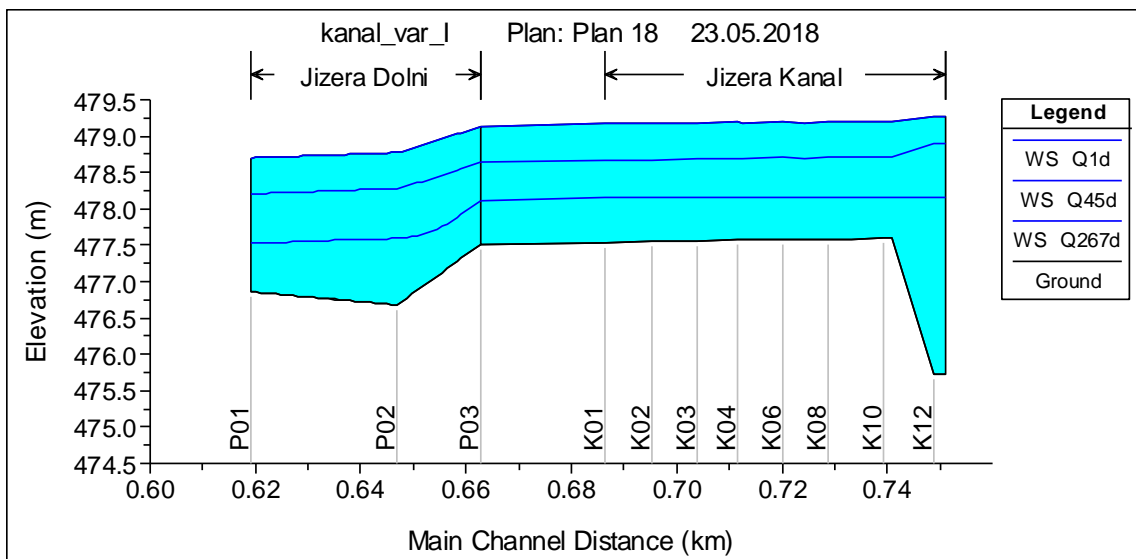
Drsnostní součinitelé kanálu po úpravě byly stanoveny dle Chowa [15] jako minimální hodnoty (dobrý stav) a jsou pro jednotlivé úseky uvedeny v tab. 6.1. M-denní průtoky byly zachovány stejné, tedy dle tab. 4.12.



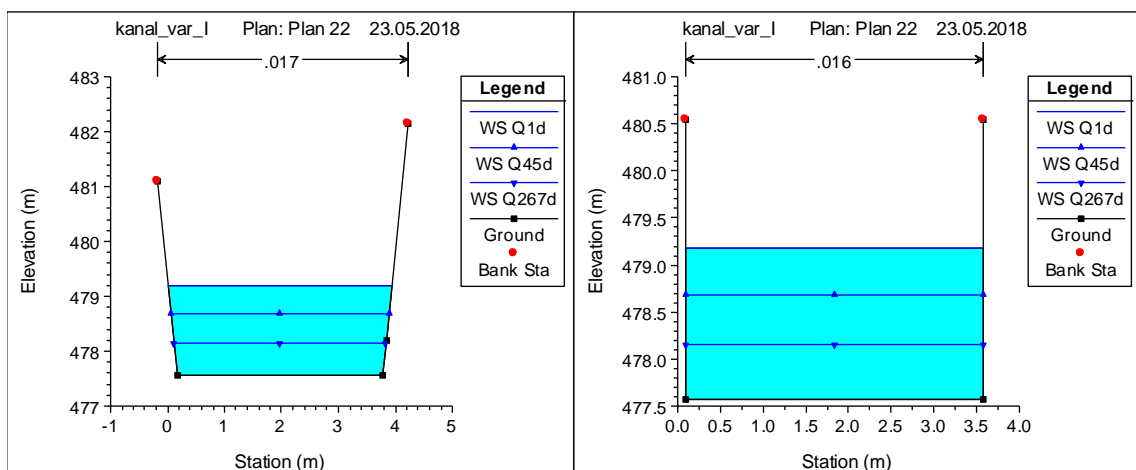
Nový průběh hladin v odpadním kanále je patrný z podélného profilu na obr. 6.1, a podrobněji je uveden ve výkresové části. Pro nový stav byla sestrojena čára trvání hladiny dolní vody (profil K13) a čára trvání čistého spádu, a je uvedena na obr. 6.4, kde je pro porovnání uveden i stávající stav. Čistý spád je vypočten dle postupu v kap. 5.

tab. 6.1 - Manningovy drsnostní součinitelé profilů odpadního kanálu podle Chowa

K01 - K04	Popis povrchu	betonové dno se stěnami z lomového kamene na MC
	n [-]	0.017
K05 - K11'	Popis povrchu	beton torkretovaný
	n [-]	0.016
K12 - K13	Popis povrchu	beton do kovové formy
	n [-]	0.012

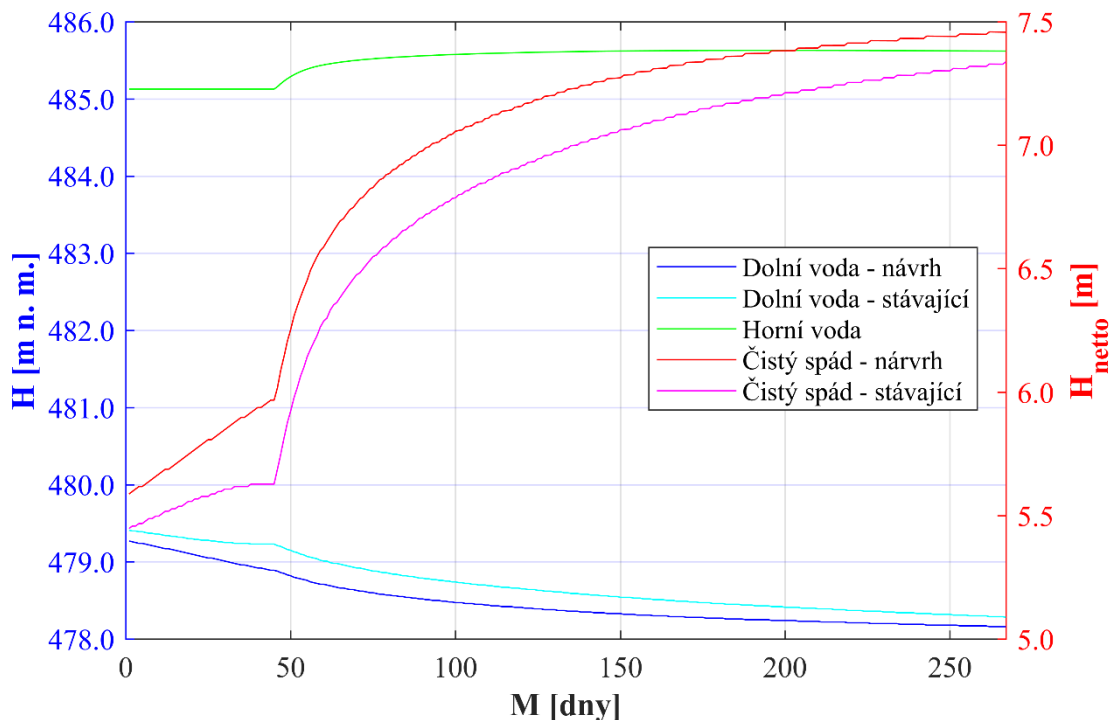


obr. 6.1 - Průběh hladin  $Q_{1d}$ ,  $Q_{45d}$  a  $Q_{267d}$  v kanále upraveném variantou I



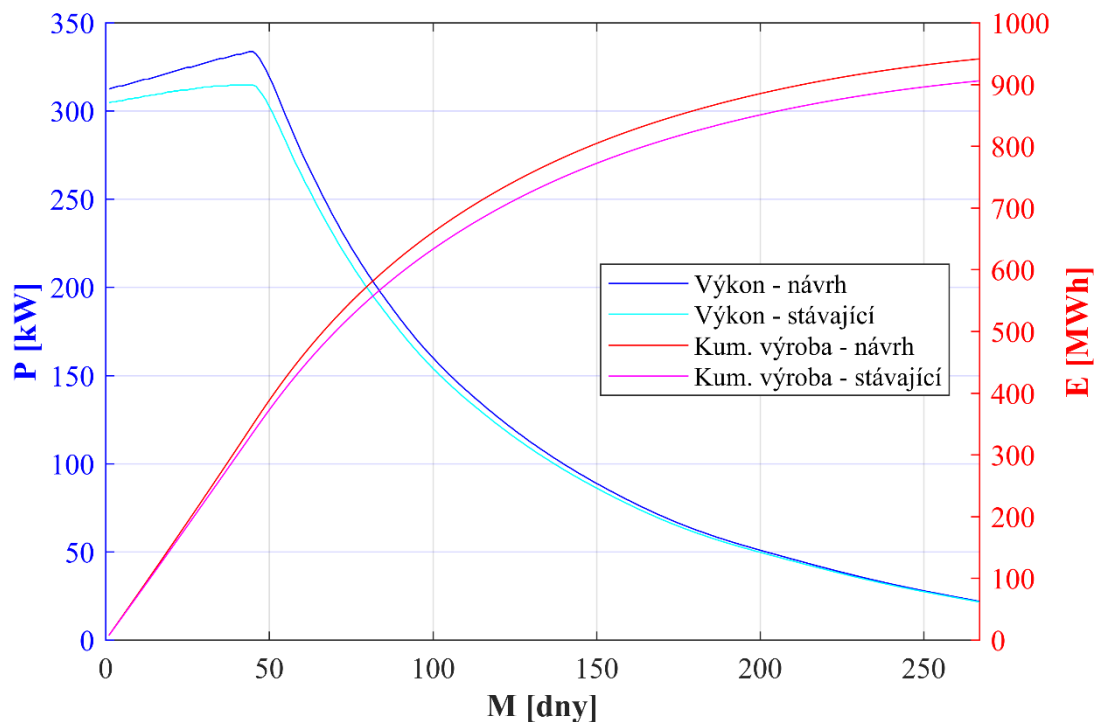
obr. 6.2 - K03, kanál v otevřené části

obr. 6.3 - K05, kanál v uzavřené části



obr. 6.4 - Čáry trvání hladin horní a dolní vody a čistého spádu – varianta I

V další fázi byla vypočtena čára trvání čistého výkonu a součtová čára výroby na prahu MVE Vilémov. Výpočet byl proveden dle kap. 5. Výsledek včetně uvedení čar charakterizujících stávající stav viz obr. 6.5.



obr. 6.5 - Čáry trvání čistého výkonu a kum. výroby v průměrném roce – var. I

**Výsledky:**

- navýšení spádu: 12 – 34 cm
- navýšení čistého výkonu: 0,35 – 19,01 kW
- roční výroba: 941 426 kWh
- navýšení roční výroby: 35 614 kWh

## 6.2 Varianta II

Stávající odpadní kanál v uzavřené části bude odkryt a strojně zdemolován až ke konstrukci strojovny, tedy až k novým napojovacím křídům pod savkou. Odtěžená zemina bude uložena na deponii a bude použita pro zpětné zásypy nové konstrukce kanálu. Vzniklá stavební suť bude zvlášť uložena na deponii, odkud bude odvezena k ekologické likvidaci.

Stavební výkop bude z prostorových a majetkoprávních důvodů pažen záporovým pažením. Výkop bude proveden o světlé šířce dna 5,70 m, maximální hloubka výkopu je uvažována u napojení pod savkou (cca 10,1 m) minimální u vyústění uzavřené části (cca 4,9 m). Základová spára bude strojně očištěna a následně zarovnána podkladním betonem C12/15 tl. min. 100 mm.

Nový objekt odpadního kanálu v uzavřené části bude řešen jako železobetonový z C30/37 XF3-XA2-XC4, výztuž B500B, krytí min. 40 mm, obdélníkového průřezu o světlé šířce 4,0 m, tedy o cca 0,4 m větší než je původní stav. Světlá výška kanálu bude v místě napojení pod savkou 3,87 m, odkud se bude ve směru proudění snižovat v poměru 1:4 až do hodnoty 2,0 m, která bude dodržena až do místa vyústění uzavřené části. Předpokládá se tloušťka stěn 350 mm, mocnost dna, resp. základové desky 300 mm a tloušťka stropu 350 mm. Napojení na stávající konstrukci pod savkou bude provedeno prodloužením stávající půdorysně šikmé ŽB stěny – napojovacího křídla. Konstrukce bude rozdělena do dvou dilatačních bloků délky v ose 2 x 18,14 m. Vně bude podél konstrukce položeno drenážní potrubí se sěrčkovým obsypem a po výšce stěn bude nasypán sloupec ze šěrčkopísku pro zamezení případného tlaku a vztlaku podzemní vody na konstrukci.

Rekonstrukce v otevřené části je navržena stejně jako ve variantě I (viz kap. 6.1) s těmito rozdíly. Dno bude provedeno po vzoru kanálu v uzavřené části, tedy jako ŽB deska šířky 4 m, a bude rozdělena do dvou dilatačních bloků dlouhých 2 x 13 m. V místě napojení na uzavřený kanál bude provedena dilatační spára. Z důvodu šířky dna 4,0 m bude nová levá opěrná zídka oproti variantě I posunuta o 0,4 m „od vody.“ Drenáž za zídkou bude navazovat na drenáž vně levé stěny kanálu v uzavřené části.

Dilatační spáry budou těsněny těsníci pásy a budou uzavřeny těsnícím tmelem po celém obvodu. Pracovní spáry budou těsněny těsnícím plechem a 2 x bentonitovým páskem na bentonitový tmel.

Směrově je osa kanálu vedena tak, aby byla pravá stěna rozšířeného profilu napojena na stávající konstrukce co nejplynuleji, což vede z důvodu rozšíření příčného profilu k osovému vychýlení od původního stavu a prodloužení konstrukce oproti stávajícímu stavu. Navržená délka stavby je v ose v otevřené části 26 m, v uzavřené části 36,29 m, celkem 62,29 m.

Výškově je niveleta dna kanálu vedena od napojení pod savkou na kótě 475,73 m n. m. vodorovně v délce 1,375 m, poté po vzoru stávajícího stavu ve sklonu 1:4 až do výšky 477,60 m n. m., odkud je vedena stejně jako ve variantě I ve sklonu 1,0 ‰ až k ústí odpadního kanálu ve výšce 477,55 m n. m.

Pro zabránění vniku vody na staveništi bude v profilu vyústění kanálu nasypána homogenní zemní hrázka po vzoru obr. 4.1., prosáklá voda hrázkou bude přečerpávána zpět do řeky.

### 6.2.1 Vliv na proudění v odpadním kanále a na výrobu el. energie

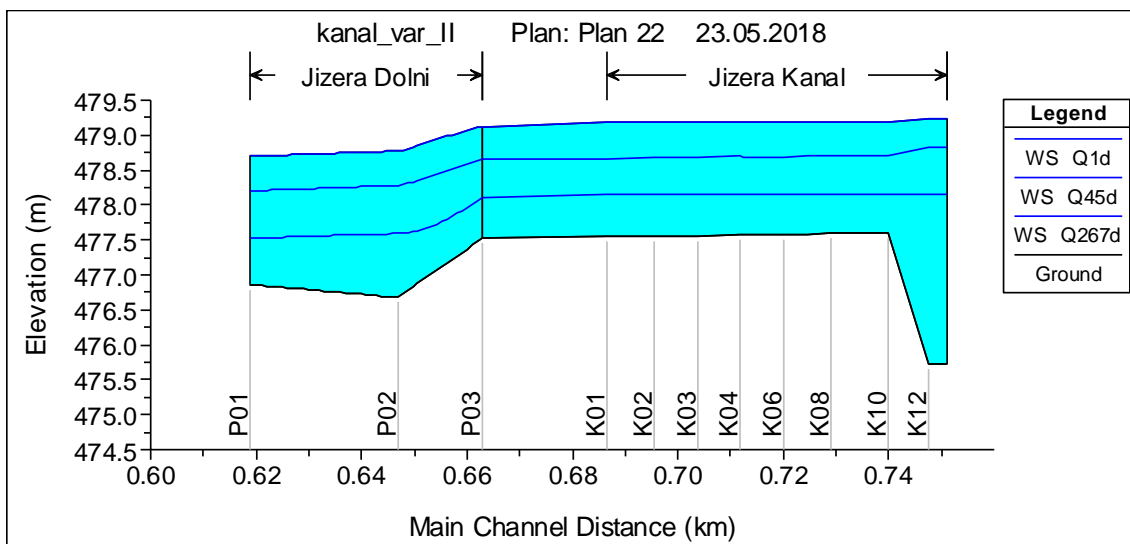
Pro výpočet bylo využito stávajících profilů, které byly v modelu upraveny dle technického popisu, došlo ke změně jejich rozestupů, profil K11 byl z výpočtu odebrán. V celé délce je šířka dna uvažována 4 m, sklon nové opěrné zídky je uvažován 10:1. Příčné profily charakterizující jednotlivé oblasti viz obr. 6.7 a obr. 6.8.

Drsnostní součinitelé kanálu po úpravě byly stanoveny dle Chowa [15] jako minimální hodnoty (dobrý stav) a jsou pro jednotlivé úseky uvedeny v tab. 6.2. M-denní průtoky byly zachovány stejné, tedy dle tab. 4.12.

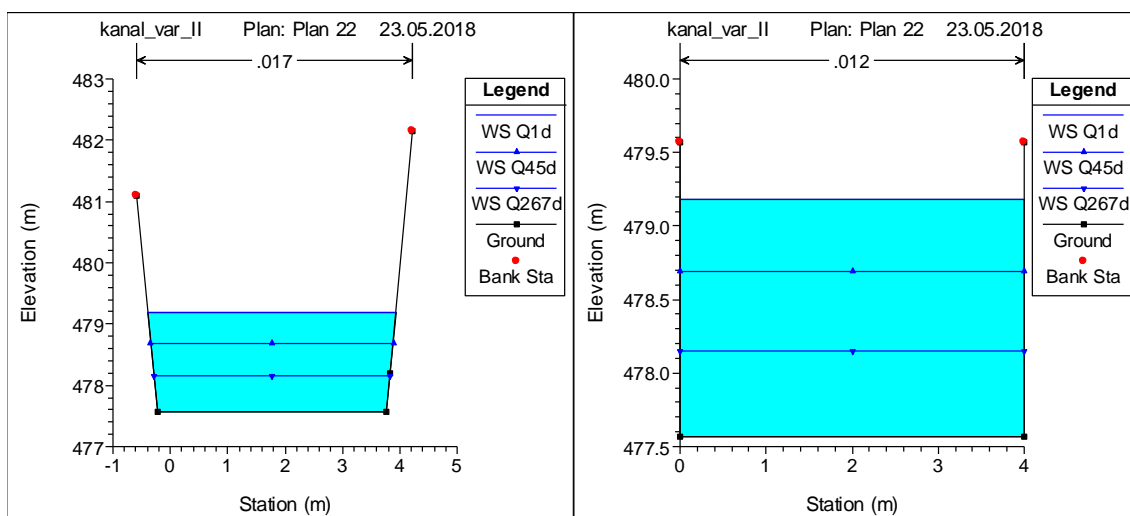
Nový průběh hladin v odpadním kanále je patrný z podélného profilu na obr. 6.6. Pro nový stav byla sestrojena čára trvání hladiny dolní vody (profil K13) a čára trvání čistého spádu, a je uvedena na obr. 6.9, kde je pro porovnání uveden i stávající stav. Čistý spád je vypočten dle postupu v kap. 5.

tab. 6.2 – Manningovy drsnostní součinitelé profilů odpadního kanálu podle Chowa

K01 - K04	Popis povrchu	betonové dno se stěnami z lomového kamene na MC
	n [-]	0.017
K05 - K13	Popis povrchu	beton do kovové formy
	n [-]	0.012

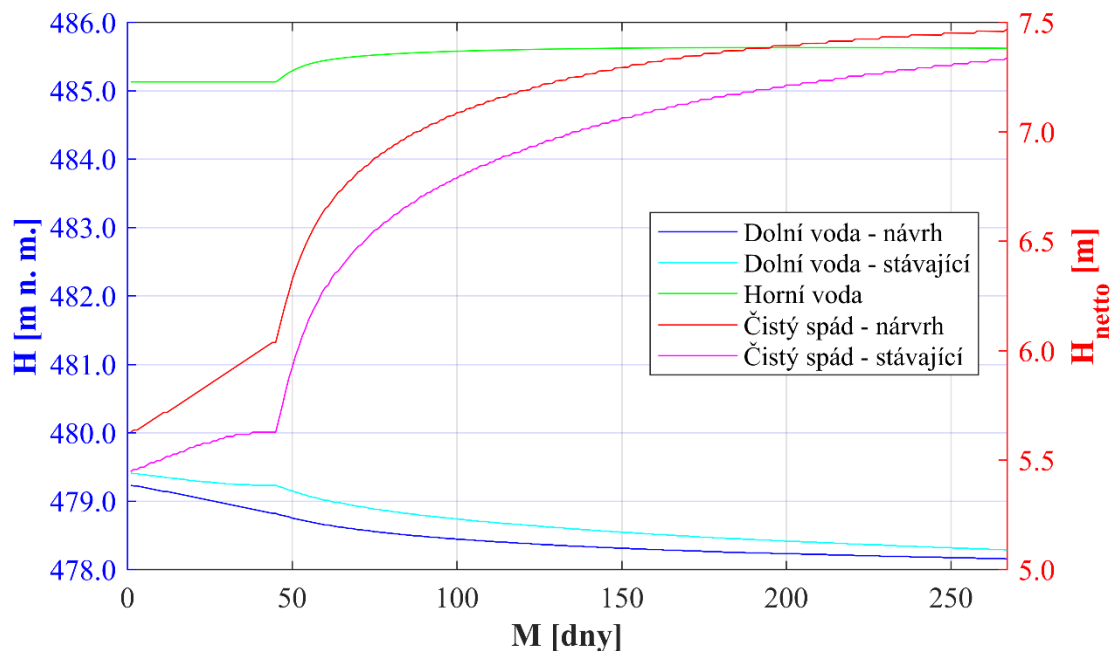


obr. 6.6 - Průběh hladin  $Q_{1d}$ ,  $Q_{45d}$  a  $Q_{267d}$  v kanále upraveném variantou II



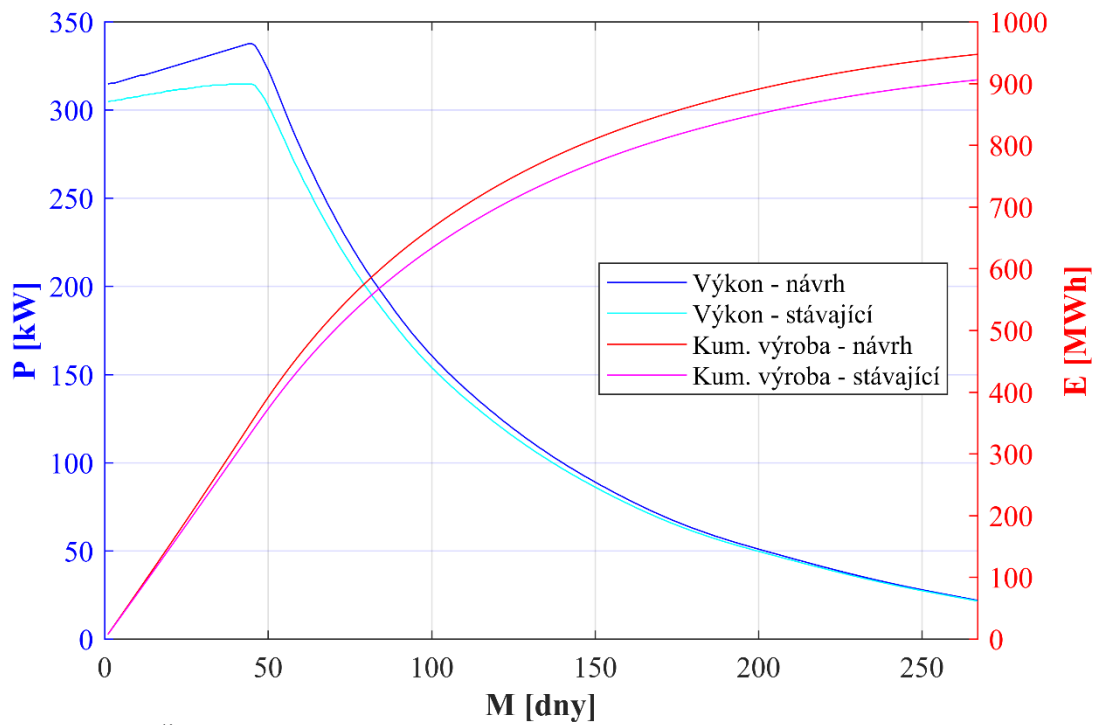
obr. 6.7 – K03 – kanál v otevřené části

obr. 6.8 – K05 – kanál v uzavřené části



obr. 6.9 - Čáry trvání hladin horní a dolní vody a čistého spádu – varianta II

V další fázi byla vypočtena čára trvání čistého výkonu a součtová čára výroby na prahu MVE Vilémov. Výpočet byl proveden dle kap. 5. Výsledek včetně uvedení čar charakterizujících stávající stav viz obr. 6.10.



obr. 6.10 - Čáry trvání čistého výkonu a kum. výroby v průměrném roce – var. II

#### Výsledky:

- navýšení spádu: 13 – 41 cm
- navýšení čistého výkonu: 0,38 – 22,9 kW
- roční výroba: 947 213 kWh
- navýšení roční výroby: 41 401 kWh

## 7 Stavební dokumentace varianty I

### 7.1 Identifikační údaje

- Název stavby Rekonstrukce odpadního kanálu MVE Vilémov
- Místo stavby Vilémov, k.ú. Dolní Rokytnice [740900]
- Parcelní čísla dotčených pozemků viz tab. 7.1

tab. 7.1 – Seznam pozemků a staveb dotčených umístěním stavby

Č. pozemku	Majitel/správce	Druh pozemku	Způsob ochrany
3064/2	Povodí Labe, státní podnik, Víta Nejedlého 951/8, Slezské Předměstí, 50003 Hradec Králové	vodní plocha	rozsáhlé chráněné území
1396/6	Správa Krkonošského národního parku, Dobrovského 3, 54301 Vrchlabí	lesní pozemek	PUKFL, rozsáhlé chráněné území
1397/2	Správa Krkonošského národního parku, Dobrovského 3, 54301 Vrchlabí	vodní plocha	rozsáhlé chráněné území
1396/10	Správa Krkonošského národního parku, Dobrovského 3, 54301 Vrchlabí	lesní pozemek	PUKFL, rozsáhlé chráněné území
1396/8	Správa Krkonošského národního parku, Dobrovského 3, 54301 Vrchlabí	lesní pozemek	PUKFL, rozsáhlé chráněné území
1397/1	FER s.r.o., Sodomkova 1474/6, Hostivař, 10200 Praha 10	ostatní plocha	rozsáhlé chráněné území
1418/1	FER s.r.o., Sodomkova 1474/6, Hostivař, 10200 Praha 10	ostatní plocha	rozsáhlé chráněné území

### 7.2 Stavebně technické řešení objektů

Stavba je rozčleněna na tyto stavební objekty:

- SO 01 – Rekonstrukce betonového dna a stěn odpadního kanálu
- SO 02 – Rekonstrukce levé opěrné zidky
- SO 03 – Sanace lícového zdiva pravé dělicí zdi
- SO 04 – Provizorní hrazení

#### 7.2.1 SO 01 Rekonstrukce betonového dna a stěn odpadního kanálu

Dno kanálu bude vybouráno v celé délce, v uzavřené části budou v rámci bourání dna dobourány pozůstatky obetonování stěn. Bourací práce budou prováděny ručně za



pomocí bouracích kladiv připojených ke kompresoru. Stavební suť bude nakládána minirypadlem (obr. 2.5) na minidumper (obr. 7.1), kterým bude odvážena na mezideponii u otevřené části kanálu. Odtud bude suť odvážena tradiční stavební technikou na deponii zřízenou pro účely provádění stavby MVE Vilémov, odkud bude odvážena k ekologické likvidaci.



obr. 7.1 – Minidumper v akci

Následně dojde k betonáži nového vodorovného dna tl. 250 mm a nového obetonování stěn tl. 100 mm do výšky 1,65 m od navrženého dna. Nové dno bude pod savkou napojeno ve výšce 477,60 m n. m. a ve sklonu 1,0 ‰ bude v délce 54,52 m vedeno až k ústí odpadního kanálu ve výšce 477,54 m n. m. Bude použito betonu prostého C30/37 XF3-XA2-XC4 vyztuženého kari sítí KY 49 Ø8@10x10 mm pro zabránění vzniku trhlin vlivem objemových změn. Pro betonáž dna bude použito technologie čerpaného betonu viz obr. 7.2. Obetonávka stěn bude provedena technologií stříkaného betonu (tzv. torkret) metodou za mokra, kdy je před trysku dopravována již kompletní směs včetně záměsové vody. Konstrukční výztuž obetonávky stěn i betonového dna bude přikotvena ke stávajícím stěnám, resp. skalnímu podloží odpadního kanálu trny/výztuží Ø12 mm tvaru L navrtaných na chemickou maltu. Budou použity minimálně 4 trny na 1 m<sup>2</sup> stěny, resp. dna.



obr. 7.2 – Čerpadlo betonové směsi

Pro zachování stability kamenných zdí kanálu v uzavřené části a opěrné stěny v otevřené části bude výše zmíněné provedeno metodou po úsecích dlouhých 2 m, tzn. bude vybourán a vybetonován úsek dlouhý 2 m a po zatvrdnutí betonové směsi bude proveden další úsek dlouhý 2 m. Předpokládá se provádění několika úseků najednou, tedy vybourání dvoumetrového úseku, vynechání dvoumetrového úseku, vybourání dvoumetrového úseku atd. Pracovní spáry vzniklé prováděním po úsecích budou těsněy bentonitovým páskem na bentonitový tmel pro zajištění vodotěsnosti. Dále musí být zajištěna soudržnost konstrukce v pracovních spárách, to bude provedeno přesahem konstrukční výztuže o „jedno oko“ kari sítě.

Betonová konstrukce bude rozdělena do tří dilatačních bloků dlouhých v ose 18,52 a 2 x 18 m. Dilatační spáry budou těsněy těsníci pásky a budou uzavřeny těsnícím tmelem po celém obvodu, tedy ve dně i ve stěnách.

### 7.2.2 SO 02 – Rekonstrukce levé opěrné zídky

Stávající levá opěrná zídka bude strojně odkopána a zdemolována. Zemní práce budou z důvodu náročnosti terénu v místě stavby prováděny kráčejičím rypadlem Menzi Muck viz obr. 7.3.

Po celé délce levého břehu odpadního kanálu v otevřené části bude proveden výkop o šířce dna 2,5 m. Maximální sklon svahu výkopu bude 1:1, v případě naražení na skalní podloží není nutno sklon dodržet. Nová opěrná zídka bude provedena jako tížná z betonu prostého C30/37 XF3-XA2-XC4 o sklonu návodního líce 10:1 s obkladem z kamene místní provincie tl. 20 cm na cementovou maltu s vyspárováním. Spáry budou zataženy pod lícovou hranu obkladu cca 2 cm. Kamenný obklad bude k betonovému jádru

náhodně ukotven výztuži/trny  $\varnothing$  12 mm, minimálně 4 trny/m<sup>2</sup>. Maximální výšky 4,50 m konstrukce dosahuje u vstupního portálu do uzavřené části kanálu, odkud v jednotném sklonu klesá v délce 26 m do výšky 2,70 m. Šířka v koruně zídky je navržena 0,85 m, v patě pak 1,12 až 1,30 m dle výšky zídky. Konstrukce bude založena na betonovém pasu o výšce 1 m a šířce 1,5 m.



obr. 7.3 – Kráčející rypadlo Menzi Muck

Pro zabránění tlakových sil od podzemní vody bude za konstrukcí zídky položeno flexibilní drenážní potrubí PE-HD SN 8 DN 100 s krycím obsypem ze štěrku frakce 4/8 o minimální tloušťce obsypu 150 mm. Na tuto figuru bude během zásypů nasypán sloupec propustného štěrkopísku, kterým bude napomoženo odvodnění spáry mezi rubem zdi a zeminou.

### 7.2.3 SO 03 – Sanace lícového zdiva pravé dělicí zdi

Jak již bylo uvedeno v kap. 3, ke kanálu návodní líc pravé dělicí stěny se nachází v havarijním stavu. Pro technické zabezpečení konstrukce je navrženo zazdění kaveren vzniklých vlivem podemíláním konstrukce. Bude použito lomového kamene, který bude ukládán na cementovou maltu, s vyspárováním.

Dále je navrženo očištění líce stavby od vegetace, která musí být ze spár vytrhána, pokud možno i s kořeny. Následně dojde k očištění spár tlakovou vodou a jejich vyspárování cementovou maltou.



#### **7.2.4 SO 04 – Provizorní hrazení**

Cca 18 m proti proud před vstupním portálem do uzavřené části kanálu budou připraveny drážky provizorního hrazení pro možnost zahrazení odpadního kanálu v případě potřeby provedení revizí či oprav.

Drážky budou provedeny z ocelových profilů U240 s přivařenými trny z nastřižené pásové oceli tl. 8 mm na rubové straně. Takto budou vloženy do bednění a budou zabetonovány. Výška profilu při levém břehu kanálu je dána výškou opěrné zídky, která je v profilu hrazení 3,25 m. Na této straně bude profil seříznut ve sklonu opěrné zídky. Konstrukce pravé dělicí stěny bude připravena pro uložení profilu naříznutím lícového zdiva rozbrusem s diamantovým kotoučem a následným ručním dobouráním za použití bouracích kladiv. Na této straně bude drážka vysoká 3,4 m pro usnadnění vládání hradidel.

Dnový dosedací práh bude proveden z pásové ploché oceli 250 x 8 mm s navařenými trny z nastřižené pásové oceli tl. 8 mm na rubové straně, která bude zabetonována do dnové desky.

Hradidla jsou navržena jako hranoly z konstrukčního dřeva modřín C22 průřezu 160x100 mm a délky 4,06 m.

### **7.3 Urbanistické a architektonické řešení**

Návrhem je rekonstrukce stávajících objektů. Nedojde k jejich přemístění ani změně účelu. Způsob využití území se tedy nemění a stavba není v rozporu s územním plánem.

Architektonicky jsou z okolí viditelné objekty navrženy jako přírodě blízké. Obklad levé nábrežní zídky je navržen z kamenů místní provincie a je tedy předpokládáno zapadnutí konstrukce do krajinného rázu údolí řeky Jizery. Opravou lícového zdiva pravé dělicí stěny se také předpokládá pozitivní vliv na estetiku oblasti. Betonové konstrukce, které by mohly přírodní ráz lokality narušit jsou navrženy pouze na špatně viditelných místech, jako je uzavřená část odpadního kanálu.

### **7.4 Převedení vody za stavby**

Pro zabránění vniku vody na staveniště bude v profilu vyústění kanálu nasypána homogenní zemní hrázka po vzoru obr. 4.1. Průsaky na staveniště budou odváděny buď

gravitačně k profilu hrázky, odkud budou přečerpávány společně s prosáklou vodou hrázkou zpět do řeky, nebo budou přečerpávány přímo z oblasti jejich výskytu rovnou zpět do řeky Jizery. Druhá varianta se týká situací, kdy není možné vodu skrze staveniště převést gravitačně.

V rámci odstranění provizorní hrázky bude, pokud bude potřeba, v místě umístění hrázky provedena drobná prohrábka dna tak, aby napojení koryta kanálu na kynetu Jizery nebylo v záporném sklonu, což by mohlo vytvářet zpětné vzdutí.

## **7.5 Napojení staveniště na dopravní infrastrukturu**

Příjezd na staveniště je možný po místní komunikaci vedoucí až k objektu strojovny viz obr. 2.6.

## **7.6 Vliv stavby na životní prostředí**

Nepředpokládá se negativní ovlivnění životního prostředí vlivem užívání stavby.

Během realizace se předpokládá negativní vliv na životní prostředí vlivem zvýšené hlučnosti a prašnosti. Stavební technika musí být před výjezdem ze staveniště na místní komunikace řádně očištěna, aby nedošlo ke znečištění okolí.

Stavební práce budou probíhat v bezprostřední blízkosti vodního toku. Stavební stroje musí být vybaveny ekologickými olejovými náplněmi a dále musí být vypracován havarijný plán pro případ úniku ropných látek do vodoteče. Při provádění „mokrých“ konstrukcí je třeba dbát na to, aby práce probíhaly na suchu a nemohlo dojít k úniku cementového pojiva do toku.

## **7.7 Hydrotechnické výpočty**

### **7.7.1 Posouzení stability SO 02 - Levá opěrná zídka**

Objekt opěrné zídky byl posouzen na posunutí a překlopení v pracovní spáře dělicí vlastní konstrukci zídky a konstrukci základu. Stanovení zemního tlaku na konstrukci bylo provedeno dle skript Mechanika zemin a zakládání staveb [7], kde je uveden postup platný dle ČSN 73 0037 – Zemní tlak na stavební konstrukce.

Zásyp rubu zdi je uvažován z hutněného šterkopísku, jehož materiálové charakteristiky ( $\gamma$  – objemová hmotnost,  $\varphi'$  – úhel vnitřního tření,  $c'$  – soudržnost) jsou

vedeny v tab. 7.2, kde jsou zároveň uvedeny i návrhové hodnoty redukované součiniteli spolehlivosti zeminy  $\gamma_m$  a součinitelem spolehlivosti zatížení  $\gamma_F$  (viz tab. 7.3).

tab. 7.2 – Parametry zeminy za rubem zídky [9]

Charakteristické parametry			Návrhové parametry		
$\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi_k'$ [°]	$c_k'$ [kPa]	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi_k'$ [°]	$c_d'$ [kPa]
20	40	0	22	37.34	0

tab. 7.3 – Součinitelé spolehlivosti zeminy, zatížení [MZ], účelu a stability polohy [jezy]

PARAMETRY ZEMIN			PRO POSOUZENÍ		
$\gamma_{mc}$	$\gamma_{m\varphi}$	$\gamma_{F\gamma}$	$\gamma_n$	$\gamma_{stp,pos}$	$\gamma_{stp,ot}$
1.25	1.1	1.1	1	0.9	1.0

Pro výpočet byla uvažována aktivace smykové pevnosti zeminy a vznik aktivního zemního tlaku, který nastává vlivem vychýlení konstrukce směrem od zeminy v řádu několika tisíců výšky konstrukce [7]. Dále je uvažováno přitížení zeminy 10 kN/m<sup>2</sup>, které může nastat například vlivem pojezdu lehké techniky, který je předpokládán.

Výpočet hodnoty aktivního zemního tlaku na konstrukci byl proveden dle vzorce:

$$\sigma_a = \gamma_d * H * K_a \text{ [kPa]} \quad (7.1)$$

kde H je výška konstrukce v m; a  $K_a$  je součinitel aktivního tlaku dle vzorce:

$$K_a = \frac{\cos^2(\varphi_d + \alpha)}{\cos^2 \alpha \cos(\alpha + \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\alpha + \delta) \cos(\alpha - \beta)}} \right]^2} \quad (7.2)$$

kde  $\alpha$  je úhel vychýlení rubu zdi od svislé roviny;  $\beta$  je úhel odklonění terénu od vodorovné roviny; a  $\delta$  je úhel tření mezi zeminou a konstrukcí zdi, uváděný jako  $(1/3 - 2/3)\varphi$ , v našem případě je uvažována hodnota u spodní hranice 13°.

Výslednice aktivního zemního tlaku na konstrukci zídky je spočtena dle vzorce:

$$S_a = 0,5H\sigma_a \text{ [kN/m']} \quad (7.3)$$

Působíště výslednice je ve spodní 1/3 konstrukce a svírá s normálou na rub stěny úhel  $\delta$ . Jednotlivé složky výslednice jsou spočteny dle rovnic:

$$S_{ax} = S_a \cos \delta \quad [\text{kN/m}'] \quad (7.4)$$

$$S_{az} = S_a \sin \delta \quad [\text{kN/m}'] \quad (7.5)$$

Vliv přitížení terénu  $q = 10 \text{ kN/m}^2$  se spočte obdobně dle rovnic:

$$\Delta \sigma_a = q K_a \quad [\text{kN/m}^2] \quad (7.6)$$

$$\Delta S_a = H \Delta \sigma_a \quad [\text{kN/m}'] \quad (7.7)$$

$$\Delta S_{ax} = \Delta S_a \cos \delta \quad [\text{kN/m}'] \quad (7.8)$$

$$\Delta S_{az} = \Delta S_a \sin \delta \quad [\text{kN/m}'] \quad (7.9)$$

kde působí v 1/2 výšky konstrukce.

Následně byla spočtena vlastní tíha konstrukce dle rovnic:

$$G_1 = 0,5 \gamma_B H B \quad [\text{kN/m}'] \quad (7.10)$$

$$G_2 = \gamma_B H A \quad [\text{kN/m}'] \quad (7.11)$$

kde  $\gamma_B$  je vlastní objemová tíha konstrukce v  $\text{kN/m}^3$ ; H, A, B jsou rozměry konstrukce dle výpočtového schématu na obr. 7.4.

Stabilita konstrukce byla následně posouzena dle podmínek: [5]

$$\gamma_{stp} \mu \Sigma V \geq \gamma_n \Sigma H \quad (7.12)$$

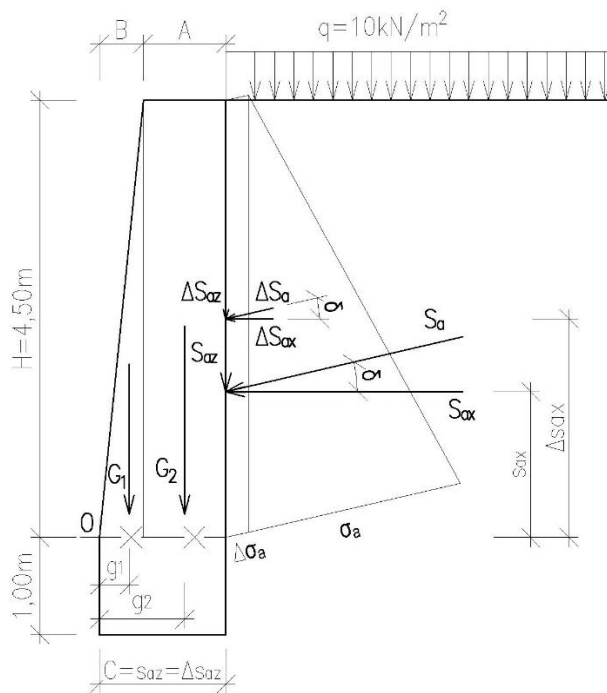
$$\gamma_{stp} \Sigma M_{pas} \geq \gamma_n \Sigma M_{act} \quad (7.13)$$

kde  $\gamma_{stp}$  jsou součinitelé stability polohy proti posunutí a překlopení a  $\gamma_n$  je součinitel účelu, viz tab. 7.3;  $\Sigma V$  je součet všech sil působících vertikálně;  $\mu$  je součinitel tření v pracovní spáře;  $\Sigma H$  je součet všech horizontálních sil;  $\Sigma M_{pas}$  je součet všech momentů působících proti překlopení konstrukce; a  $\Sigma M_{act}$  je součet všech momentů způsobujících překlopení konstrukce.

Vlastní výpočet je uveden v následující tab. 7.4.

Základ konstrukce nebylo třeba z hlediska stability posuzovat. Jeho stabilita je zajištěna vlivem založení do skalního podloží a následným zabetonováním výkopu. Pokud někdy nastane situace odtěžení materiálu u paty základu, pak bude nutné stabilitu konstrukce zajistit jiným způsobem.





obr. 7.4 – Zatěžovací schéma konstrukce

tab. 7.4 – Výpočet a posouzení stability konstrukce

$\gamma_B$ [kN/m <sup>3</sup> ]	H [m]	A [m]	B [m]	C [m]	$\delta$ [°]	$\beta$ [°]	$\alpha$ [°]
23	4.5	0.85	0.45	1.3	13	0	0
$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$K_a$ [-]	$\sigma_a$ [kPa]	$S_a$ [kN/m']	$S_{ax}$ [kN/m']	$S_{az}$ [kN/m']	$\Delta\sigma_a$ [kPa]	$\Delta S_a$ [kN/m']
10	0.227	22.43	50.47	49.17	11.35	2.27	10.20
$\Delta S_{ax}$ [kN/m']	$\Delta S_{az}$ [kN/m']	$G_1$ [kN/m']	$G_2$ [kN/m']	$s_{ax}$ [m]	$s_{az}$ [m]	$\Delta s_{ax}$ [m]	$\Delta s_{az}$ [m]
9.93	2.29	23.29	87.98	1.5	1.3	2.25	0.425
$g_1$ [m]	$g_2$ [m]	$\Sigma V$ [kN/m']	$\Sigma H$ [kN/m']	$\mu$ [-]	$\Sigma M_{act}$ [kNm/m']	$\Sigma M_{pas}$ [kNm/m']	
0.3	0.88	124.91	59.11	0.6	96.11	99.70	
<b>POSOUZENÍ:</b>							
POSUNUTÍ V PRACOVNÍ SPÁŘE:							
$\gamma_{stp} * \mu * \Sigma V = 67.45 \text{ kN/m}' > 59.11 \text{ kN/m}' = \gamma_n * \Sigma H$							
<b>VYHOVUJE</b>							
PŘEKLOPENÍ OKOLO OSY O:							
$\gamma_{stp} * \Sigma M_{pas} = 99.7 \text{ kNm/m}' > 96.11 \text{ kNm/m}' = \gamma_n * \Sigma M_{act}$							
<b>VYHOVUJE</b>							

### 7.7.2 Posouzení hradidla provizorního hrazení

Bylo posouzeno nejzatíženější hradidlo u dna, které bylo posouzeno na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti podle příručky k Eurokódu 5 [8]. Hradidlo je navrženo jako dřevěná hranol z konstrukčního dřeva C22.

Nejspodnější hranol je zatěžován největším hydraulickým tlakem, obrazcem lichoběžníkového tvaru, který byl pro zjednodušení zprůměrován na obdélník. Tlak na spodní hranu hranolu se spočte dle rovnice:

$$p_d = \rho g H \text{ [kPa]} \quad (7.14)$$

kde  $\rho$  je hustota vody  $1000 \text{ kg/m}^3$ ;  $g$  je gravitační zrychlení  $9,81 \text{ m/s}^2$ ;  $H$  je hloubka vody v místě tlaku v m.

Tlak na horní hranolu se spočte obdobně:

$$p_h = \rho g (H - b) \text{ [kPa]} \quad (7.15)$$

kde  $b$  je šířka hranolu v m.

Zprůměrování obrazce na obdélník je provedeno aritmetickým průměrem tlaků:

$$p = \frac{p_d + p_h}{2} \text{ [kPa]} \quad (7.16)$$

Výslednice tlaků pak je:

$$F_k = p * b \text{ [kN/m]} \quad (7.17)$$

kde index  $k$  symbolizuje, že jde o charakteristickou hodnotu. Návrhové zatížení se spočte:

$$F_d = F_k * \gamma_F \text{ [kN/m]} \quad (7.18)$$

kde  $\gamma_F$  je součinitel spolehlivosti stálého zatížení 1,35.

Výpočet je uveden v

tab. 7.5 – Výpočet zatížení hradidla

H [m]	$p_h$ [kPa]	$p_d$ [kPa]	$p$ [kPa]	$F_k$ [kN/m']	$F_d$ [kN/m']
1.6	14.72	15.70	15.21	1.52	2.05

Pro výpočet dle mezních stavů je nutno znát charakteristické parametry použitého materiálu – konstrukční dřevo C22. Ty jsou uvedeny v tab. 7.6, kde jsou uvedeny i hodnoty návrhové, které byly doloženy dle vzorců:

$$E_d = \frac{E_{mean}}{\gamma_M} \text{ [GPa]} \quad (7.19)$$

$$f_{m,d} = k_{mod} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} \text{ [MPa]} \quad (7.20)$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \frac{E_{mean}}{\gamma_M} \text{ [MPa]} \quad (7.21)$$

kde  $f_m$  je pevnost dřeva za ohybu;  $f_v$  je pevnost dřeva ve smyku.  $\gamma_M$  je součinitel spolehlivosti materiálu, pro řezivo je rovný 1,3;  $k_{mod}$  je modifikační součinitel pevnosti pro třídy provozu a třídy trvání zatížení rovný 2 (třída provozu 3  $\leq$  100 % rel. vlhkost a střednědobé trvání zatížení – týden až 6 měsíců).

tab. 7.6 – Charakteristické a návrhové parametry konstrukčního dřeva C22

$E_{mean}$ [GPa]	$f_{m,k}$ [MPa]	$f_{v,k}$ [MPa]
10	22	2.4
$E_d$ [GPa]	$f_{m,d}$ [MPa]	$f_{v,d}$ [MPa]
7.69	11	1.2

Na mezní stav únosnosti byl hranol posouzen na únosnost v ohybu a únosnost ve smyku. Únosnost v ohybu je dána podmínkou:

$$\sigma_{md} \leq f_{md} \quad (7.22)$$

kde  $\sigma_{md}$  je maximální napětí v průřezu vzniklé momentovým zatížením a spočte se dle rovnice:

$$\sigma_{md} = \frac{M_{Ed}}{W_y} \text{ [MPa]} \quad (7.23)$$

kde  $M_{Ed}$  je maximální zatěžovací moment vypočtený dle rovnice 7.25; a  $W_y$  je průřezový modul vypočtený dle rovnice:

$$W_y = 1/6bh^2 \text{ [m}^3\text{]} \quad (7.24)$$

kde  $b$  je šířka průřezu a  $h$  je výška průřezu.

$$M_{Ed} = 1/8 F_d L^2 \quad [\text{kNm}] \quad (7.25)$$

kde L je statická šířka nosníku 3,927 m.

Posouzení na smyk je provedeno dle podmínky:

$$\tau_{vd} \leq f_{vd} \quad (7.26)$$

kde  $\tau_{vd}$  je maximální smykové napětí od posouvající síly spočtený dle rovnice:

$$\tau_{vd} = \frac{3V_{Ed}}{2bh} \quad [\text{MPa}] \quad (7.27)$$

kde  $V_{Ed}$  je návrhová posouvající síla vypočtena dle:

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} F_d * L \quad [\text{kN}] \quad (7.28)$$

Vlastní výpočet včetně posouzení je uveden v následující tab. 7.7.

tab. 7.7 - Posouzení mezních stavů únosnosti hradidla

L [m]	h [m]	b [m]	$M_{Ed}$ [kNm]	$W_y$ [m <sup>3</sup> ]	$\sigma_{md}$ [MPa]	$V_{Ed}$ [kN]	$\tau_{vd}$ [Mpa]
3.927	0.2	0.1	3.96	6.67E-04	<b>5.94</b>	4.031	<b>0.302</b>
<b>POSOUZENÍ:</b>							
<b>OHYB</b>							
	$\sigma_{md} =$	5.94 Mpa < 11 MPa			$= f_{m,d}$		
<b>VYHOVUJE</b>							
<b>SMYK</b>							
	$\tau_{vd} =$	0.3 MPa < 1.2 MPa			$= f_{v,d}$		
<b>VYHOVUJE</b>							

V případě velkých průhybů konstrukce se mohou vytvořit průliny mezi jednotlivými hradidly a tím zvýšit průsaky hrazením. Proto byl proveden výpočet mezního stavu použitelnosti vlivem průhybu.

Průhyb konstrukci vlivem zatížení po instalaci se vypočte dle rovnice:

$$u_{inst} = \frac{5}{384} * \frac{F_k * L^4}{E_{mean} I_y} \quad [\text{m, mm}] \quad (7.29)$$

kde  $I_y$  je moment setrvačnosti k ose y vypočtený dle rovnice 7.30 na další straně

$$I_y = \frac{1}{12}bh^3 \quad [\text{m}^4] \quad (7.30)$$

Celkový průhyb konstrukce vlivem prostředí je vypočten dle rovnice:

$$u_{fin} = u_{inst} + (1 + k_{def}) \quad [\text{m, mm}] \quad (7.31)$$

kde  $k_{def}$  je deformační modul konstrukce zohledňující vliv prostředí, v tomto případě byla použita hodnota 2,0.

Posouzení mezního stavu se provádí porovnáním finálního průhybu s hodnotou  $L/300$  až  $L/150$ . Pro potřeby provizorního hrazení postačí hodnota  $L/150$ .

Vlastní výpočet a posouzení mezního stavu použitelnosti viz tab. 7.8.

tab. 7.8 – Posouzení mezního stavu použitelnosti hradidla

$I_y$ [m <sup>4</sup> ]	$u_{inst}$ [mm]	$u_{fin}$ [mm]	L/150 [mm]
6.7E-05	7.1	21.2	26.2
<b>POSOUZENÍ:</b>  <b>PRŮHYB</b> $u_{fin} = 21.2 \text{ mm} < 26.2 \text{ mm} = L/150$ <b>VYHOVUJE</b>			

## 8 Závěr

### Zhodnocení cílů bakalářské práce:

1. Stávající odpadní kanál je stavebně technickým řešením rozčleněn na dvě části. Uzavřená část, která je napojena na nově provedený vývar pod savkou turbíny a dále pokračuje v délce 28,15 m, je stavebně řešena jako zděná z lomového kamene s betonovým miskovitým dnem a s obetonováním stěn. Na uzavřenou část navazuje otevřený úsek dlouhý 26 m ústící zleva do řeky Jizery. Dno je zde řešeno stejným způsobem jako v uzavřené části, levý břeh je opevněn nábrežní zídkou z kamenného zdiva a zprava je kanál oddělen od řeky Jizery masivní kamennou dělicí stěnou.  
  
Vlivem dlouholetého užívání stavby odpadního kanálu došlo ke značné degradaci jednotlivých konstrukcí. Dochází k narušení krycí vrstvy betonu a odnosu plniva a cementového pojiva vodou, výsledkem je vytvoření prohlubní ve dně a téměř úplná absence původního obetonování stěn v uzavřené části. V případě levé zídky již došlo k překročení stability v cca polovině délky konstrukce a k její úplné destrukci. Pravá dělicí stěna na tom není o moc lépe, vlivem podemílání zdiva dochází k odnosu cementové malty, rozpadu lícového zdiva a tvorbě kaveren, které se v relativně krátkých časových úsecích radikálně zvětšují. Stav odpadního kanálu byl vyhodnocen jako **havarijní** a stavebně technický zákrok je nezbytně nutný.
2. V rámci práce byl vytvořen matematický hydraulický model proudění v programu HEC-RAS přilehlého úseku Jizery ve stavu bez vlivu odpadního kanálu. Model byl zkalibrován dle zaměření skutečného průběhu hladin v době, kdy byla elektrárna odstavena. Následně byl model rozšířen o úsek odpadního kanálu a mohl být vypočítán průběh hladin v odpadním kanále ovlivněný soutokem s řekou Jizerou.
3. Byly vypracovány dvě varianty stavebně technického řešení rekonstrukce odpadního kanálu. První variantou je přebudování a prohloubení dna kanálu, provedení nového obetonování stěn v uzavřené části kanálu, rekonstrukce opěrné kamenné zídky opevňující levý břeh kanálu v otevřené části a sanace konstrukce pravé dělicí kamenné zdi. Jedná se o méně náročnou variantu, co se týče provádění a financování.

Ve druhé variantě je problematika odpadního kanálu řešena poněkud radikálněji. Návrhem je kompletní rekonstrukce odpadního kanálu v uzavřené části, dna kanálu v otevřené části, levé opěrné zídky a oprava lícového zdiva pravé opěrné stěny. Oproti první variantě je mnohem náročnější na provádění a její finanční náklady jsou několikanásobně vyšší. Výhodou je možné rozšíření průtočného profilu a delší životnost konstrukcí.

Vlivem stavebních úprav první variantou dojde k navýšení spádu o **12 – 34 cm** a navýšení roční výroby o **35 614 kWh**. Druhá varianta přináší navýšení spádu o **13 – 41 cm** a navýšení výroby o **41 401 kWh**.

4. S přihlédnutím k předpokládané vysoké finanční náročnosti varianty II byla pro vypracování stavebně technické dokumentace vybrána **varianta I**. Řešení bylo rozděleno na stavební objekty SO 01 – Rekonstrukce betonového dna a stěn odpadního kanálu, SO 02 – Rekonstrukce levé opěrné zídky, SO 03 Sanace lícového zdiva pravé dělicí zdi a SO 04 – Provizorní hrazení.



## Použitá literatura

- [1] Konejl, Marek, Kraml, Karel: *Projekt pro stavební povolení stavby MVE Vilémov*, Stream s.r.o.
- [2] Konejl, Marek, Kraml, Karel: *Projekt pro stavební povolení stavby Rybí přechod a rekonstrukce jezu Vilémov*, Stream s.r.o.
- [3] Konejl, Marek, Kahuda, Marek: *Dokumentace pro ohlášení stavby Rekonstrukce přívodního kanálu MVE Vilémov*, STORM WATER s.r.o.
- [4] Gabriel, Pavel, Čihák, František, Kalandra, Petr: *Malé vodní elektrárny*, nakladatelství ČVUT, Praha 1998, © Pavel Gabriel, František Čihák, Petr Kalandra, 1998, 321 s, ISBN 80-01-01812-1
- [5] Medřický, Vladimír, Valenta, Petr: *Hydrotechnické stavby I – Navrhování jezů*, nakladatelství ČVUT, Praha 2009, 151 s, ISBN 978-80-01-04309-7
- [6] Kohoutková, Alena, Trtík, Karel, Vašková, Jitka, Vodička, Jan: *Betonové konstrukce I*, nakladatelství ČVUT, Praha 2005, © Alena Kohoutková, Karel Trtík, Jitka Vašková, Jan Vodička, 2005, 178 s, ISBN 80-01-03197-7
- [7] Lamboj, Ladislav, Štěpánek, Zdeněk: *Mechanika zemin a zakládání staveb*, nakladatelství ČVUT, Praha 2005, 218 s, ISBN 80-01-03094-6
- [8] *Příručka 2 – Navrhování dřevěných konstrukcí podle Eurokódu 5*, © autoři 2008, 130 s. Dostupné z [www](http://fast10.vsb.cz/temtis/documents/handbook_2_CZ.pdf):
- [http://fast10.vsb.cz/temtis/documents/handbook\\_2\\_CZ.pdf](http://fast10.vsb.cz/temtis/documents/handbook_2_CZ.pdf)
- [9] *ČSN 73 1001 – příloha 3*, dostupné z [www](http://departments.fsv.cvut.cz/k135/data/wp-upload/2010/03/normy_plosne.pdf):
- [http://departments.fsv.cvut.cz/k135/data/wp-upload/2010/03/normy\\_plosne.pdf](http://departments.fsv.cvut.cz/k135/data/wp-upload/2010/03/normy_plosne.pdf)
- [10] *Základní vodohospodářská mapa 1:50000, mapový list 03-23 Harrachov*, © Český ústav geodetický a kartografický, 1971, [online]. [vid. 30.11.1988]. Dostupné z [www](http://www):
- <https://heis.vuv.cz/data/webmap/datovesady/HEIS/ZVM50/mapovelistyn/0323.tif>
- [11] *Základní vodohospodářská mapa 1:50000, mapový list 03-41 Semily*, © Český ústav geodetický a kartografický, 1971, [online]. [vid. 30.11.1988]. Dostupné z [www](http://www):
- <https://heis.vuv.cz/data/webmap/datovesady/HEIS/ZVM50/mapovelistyn/0341.tif>
- [12] *HEC - RAS, River analysis system, User's Manual, Version 5.0*, © US Army Corps of engineers, 2016

- [13] *Výpis atributu objektu z tematických vrstev – point (-663089 -981405)*, © AOPK ČR, 2012, [online]. [vid. 12.5.2018]. Dostupné z www:  
[http://webgis.nature.cz/AopkReport/Report.aspx?S\\_RepType=01&S\\_ShpDefType=shape&S\\_ShpDef=point%28-663089%20-981405%29](http://webgis.nature.cz/AopkReport/Report.aspx?S_RepType=01&S_ShpDefType=shape&S_ShpDef=point%28-663089%20-981405%29)
- [14] *Odvozené M-denní průtoky za období 1961-2010 pro vybrané vodoměrné stanice, Povodí Labe, státní podnik*, [online]. Dostupné z www:  
[http://plapdp.cz/PDP\\_HSL/V/2\\_TABULKOVA\\_CAST/HSL\\_V\\_4\\_1a\\_M\\_DENN\\_I\\_Q\\_1961\\_2010.pdf](http://plapdp.cz/PDP_HSL/V/2_TABULKOVA_CAST/HSL_V_4_1a_M_DENN_I_Q_1961_2010.pdf)
- [15] Mattas, Daniel: *Výpočet průtoku v otevřených korytech*, vydal VÚV TGM, Praha 2014, © Daniel Mattas, 2014, 110 s, ISBN 978-80-87402-27-6

## Seznam obrázků

obr. 2.1 - Situace MVE Vilémov [10],[11].....	7
obr. 2.2 - Strojovna během realizace.....	10
obr. 2.3 - Ukládání tlakového přivaděče.....	10
obr. 2.4 - Železobetonový kanál.....	10
obr. 2.5 - Rekonstrukce dna př. kanálu.....	10
obr. 2.6 - Situační uspořádání objektů.....	10
obr. 3.1 - Otevřený kanál, pohled proti vodě, podzim 2017 .....	12
obr. 3.2 - Otevřený kanál, pohled po vodě, podzim 2017 .....	12
obr. 3.3 – Kaverny v pravé dělicí zdi, jaro 2018.....	13
obr. 3.4 - Kaverna pod levou zídka.....	13
obr. 3.5 - Levá zídka, stav jaro 2018.....	13
obr. 4.1 - Provizorní hrázka .....	14
obr. 4.2 - Fotografie profilů P01-03 .....	14
obr. 4.3 - Fotografie profilů P04-05 .....	15
obr. 4.4 - Fotografie profilů P06-07 .....	15
obr. 4.5 - Korelace M-denních průtoků jez Vilémov – stanice Jablonec nad Jizerou.....	16
obr. 4.6 - Průběh hladin ze dne měření vytvořený v programu HEC-RAS .....	20
obr. 4.7 - Průběhy hladin M-denních průtoků v zájmovém úseku Jizery.....	21
obr. 4.8 - Čáry trvání M-denních průtoků .....	24
obr. 4.9 - Průběh hladin $Q_{1d}$ , $Q_{45d}$ a $Q_{267d}$ – odpadní kanál .....	25
obr. 4.10 - Průběh hladin $Q_{1d}$ , $Q_{45d}$ a $Q_{267d}$ – přilehlý úsek Jizery .....	25
obr. 4.11 – Příčný profil K01 – otevřený.....	25
obr. 4.12 - Příčný profil K04 – otevřený .....	25
obr. 4.13 - Příčný profil K05 – uzavřená část.....	26
obr. 4.14 - Příčný profil K13 – pod savkou .....	26
obr. 4.15 - Čára trvání úrovně hladiny dolní vody pod savkou .....	26
obr. 5.1 – Graf účinnosti turbíny.....	27
obr. 5.2 - Graf účinnosti generátoru .....	27
obr. 5.3 – Hydr. ztráty na přivaděči.....	27
obr. 5.4 - Hladiny ve vodním zámku.....	27
obr. 5.5 - Čára trvání čistého spádu.....	28
obr. 5.6 - Čára trvání výkonu a součtová čára výroby .....	29
obr. 6.1 - Průběh hladin $Q_{1d}$ , $Q_{45d}$ a $Q_{267d}$ v kanále upraveném variantou I.....	32
obr. 6.2 - K03, kanál v otevřené části.....	32
obr. 6.3 - K05, kanál v uzavřené části.....	32
obr. 6.4 - Čáry trvání hladin horní a dolní vody a čistého spádu – varianta I .....	33
obr. 6.5 - Čáry trvání čistého výkonu a kum. výroby v průměrném roce – var. I.....	33
obr. 6.6 - Průběh hladin $Q_{1d}$ , $Q_{45d}$ a $Q_{267d}$ v kanále upraveném variantou II.....	37
obr. 6.7 – K03 – kanál v otevřené části .....	37
obr. 6.8 – K05 – kanál v uzavřené části .....	37
obr. 6.9 - Čáry trvání hladin horní a dolní vody a čistého spádu – varianta II .....	37
obr. 6.10 - Čáry trvání čistého výkonu a kum. výroby v průměrném roce – var. II .....	38
obr. 7.1 – Minidumper v akci.....	40
obr. 7.2 – Čerpadlo betonové směsi .....	41
obr. 7.3 – Krácející rypadlo Menzi Muck .....	42
obr. 7.4 – Zatěžovací schéma konstrukce.....	47

## Seznam tabulek

tab. 4.1 - Poměr přítoku Havírenským potokem.....	16
tab. 4.2 - M-denní průtoky jednotlivých profilů .....	16
tab. 4.3 - N-leté průtoky jednotlivých profilů .....	16
tab. 4.4 - Hodnoty parametrů podle Cowana [15].....	18
tab. 4.5 - Součinitel drsnosti horských a podhorských řek podle Nosova (1979) [15] ...	19
tab. 4.6 - Stanovení Manningových drsnostních součinitelů .....	20
tab. 4.7 – Úrovně hladin v [m n. m.] .....	20
tab. 4.8 - Nadmořské výšky vypočtených hladin pro M-denní průtoky.....	21
tab. 4.9 – Stanovení Manningových součinitelů drsnosti odpadního kanálu .....	22
tab. 4.10 - Nadmořské výšky v kontrolních profilech.....	22
tab. 4.11 - Hodnoty průtoků ze dne 9.2.2018 .....	23
tab. 4.12 - M-denní průtoky .....	24
tab. 6.1 - Manningovy drsnostní součinitelé profilů odpadního kanálu podle Chowa....	32
tab. 6.2 – Manningovy drsnostní součinitelé profilů odpadního kanálu podle Chowa ...	36
tab. 7.1 – Seznam pozemků a staveb dotčených umístěním stavby .....	39
tab. 7.2 – Parametry zeminy za rubem zídky [9] .....	45
tab. 7.3 – Součinitelé spolehlivosti zeminy, zatížení [MZ], účelu a stability polohy [jezy] .....	45
tab. 7.4 – Výpočet a posouzení stability konstrukce .....	47
tab. 7.5 – Výpočet zatížení hradidla .....	48
tab. 7.6 – Charakteristické a návrhové parametry konstrukčního dřeva C22 .....	49
tab. 7.7 - Posouzení mezních stavů únosnosti hradidla .....	50
tab. 7.8 – Posouzení mezního stavu použitelnosti hradidla .....	51

## Výkresová část

- 7.1 Situace širších vztahů
- 7.2 Celkový situační výkres
- 7.3 Katastrální situační výkres
- 7.4 Podélný profil – přilehlé koryto Jizery
- 7.5 Podélný profil – odpadní kanál
- 7.6 Vzorový příčný řez – otevřený úsek
- 7.7 Vzorový příčný řez – uzavřený úsek
- 7.8 Výkres SO 04 – Provizorní hrazení