

**České vysoké učení technické v Praze
Fakulta stavební
Katedra hydrotechniky**



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Přestavba suché ochranné nádrže Staré
Město pod Landštejnem na nádrž
s trvalým vodohospodářským provozem**

**Redesign of the dry retention reservoir
Staré Město pod Landštejnem to the
reservoir with water management
functions**

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Ladislav Satrapa, CSc.

leden 2019

Bc. Martin Hladík



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Hladík</u>	Jméno: <u>Martin</u>	Osobní číslo: <u>423166</u>
Zadávací katedra: <u>142 - Katedra hydrotechniky</u>		
Studijní program: <u>N3607 - Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>3607T027 - Vodní hospodářství a vodní stavby</u>		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Přestavba suché ochranné nádrže Staré Město p. Landštejnem na nádrž s trvalým vodohospodářským provozem</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Rebuilding of the dry retention reservoir Staré Město p. Landštejnem to the reservoir with water management function</u>	
Pokyny pro vypracování: 1) Získání podkladů 2) Analýza podkladů a stávajícího stavu vodního díla 3) Zpracování parametrů pro trvalý vodohospodářský provoz 4) Doplnění podkladů od správce vodního díla a správce toku 5) Návrh provozních podmínek pro nové využití vodního díla 6) Návrh doplnění a aktualizace manipulačního řádu vodního díla	
Seznam doporučené literatury: 1) BROŽA, Vojtěch, Jiří KRATOCHVÍL, Pavel PETER a Ladislav VOTRUBA. Přehrady. Praha: SNTL/ALFA, 1987. L17-C3-IV-31f/78 294. 2) VOTRUBA, Ladislav a Vojtěch BROŽA. Hospodaření s vodou v nádržích. 2., přeprac. vyd. Praha: SNTL, 1980. 3) ČSN 75 2935 Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>doc. Ing. Ladislav Satrapa, CSc.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>5. 10. 2018</u>	Termín odevzdání diplomové práce: <u>6. 1. 2019</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové 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“.</i>	
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*“.

V Praze, 6. 1. 2019

Místo zpracování, datum

Bc. Martin Hladík

Poděkování:

Mé upřímné poděkování patří všem, kteří za mnou stáli v časech lepších i v těch těžších. Děkuji celé své veliké rodině, přičemž jmenovitě bych rád vyzdvihl maminku s Milošem, obě babičky i oba dědečky, a v neposlední řadě svou drahou Janičku. Děkuji také Pavlovi s Pavlínkou. Dále můj dík patří mým přátelům a kamarádům, mezi které patří i moji drazí kolegové – spolužáci i spolupracovníci.

Zaměřím-li se věcněji na tuto diplomovou práci, pak musím předně poděkovat panu doc. Ing. Ladislavu Satrapovi, CSc. za jeho vždy vstřícný, korektní a účelný přístup; jeho pomoc a jeho rady. Dále děkuji paní Ing. Aleně Šindlerové, někdejší starostce Starého Města pod Landštejnem, za zapůjčení projektové dokumentace. Za poskytnutá data a informace děkuji také panu Ing. Vlastimilu Krejčímu, vedoucímu útvaru provozu a TBD Povodí Moravy, s. p. Za informace týkající se úpravny vody děkuji paní Ing. Olze Štíchové, vedoucí provozní oblasti Jindřichův Hradec, ČEVAK a. s.

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je zjištění možností využití stávající suché ochranné nádrže Staré Město pod Landštejnem. Nejprve je analyzován současný stav a kapacity vodního díla. Dále jsou zjištěna potřebná vstupní data (např. nestandardní N-leté průtoky, hydrogramy povodňových vln atd.). Následně je provedeno vodohospodářské řešení. Toto zahrnuje porovnání tří variant rozložení objemů a jedné varianty s uvažováním manipulací. Vodní dílo je rovněž posouzeno z hlediska bezpečnosti za povodně. Pro nevyhovující varianty jsou navržena nápravná opatření.

KLÍČOVÁ SLOVA

Klíčová slova: polder, suchá nádrž, retence, vodohospodářské řešení, ochrana před povodněmi, transformace povodňové vlny, sucho, zásobní funkce, sypaná hráz

ABSTRACT

The goal of this diploma thesis is to find out possible options of the new use of the dry retention reservoir Staré Město pod Landštejnem. At first, the current state and the capacities of this hydraulic structure are analysed. In the next part, required data are founded and computes (e.g. N-year discharges, flood hydrographs, etc.). In the next part the water management study is done. This one includes a comparison of three variants of the placement of the water volumes, and one variant where manipulations are considered. Hydraulic structure is also assessed in the aspect of flood safety. For the unsatisfactory variants the corrective measures are made.

KEYWORDS

Key words: polder, retention reservoir, retention, water management study, flood safety, flood wave transformation, drought, storage function, earth dam

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

BP	Bezpečnostní přeliv
Bpv	Balt po vyrovnání
CN (křivka)	Číslo křivky z anglického <i>curve number</i>
č. h. p.	Číslo hydrologického pořadí
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČSN EN	Česká technická norma; harmonizovaná evropská norma
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DN	Světlost potrubí v mm, z francouzského <i>diamètre nominal</i> (jmenovitý průměr)
GIS	Geografický informační systém (angl. <i>Geographic information system</i>)
k. ú.	Katastrální území
KMH	Kontrolní maximální hladina v nádrži při KPV
KPV	Kontrolní povodňová vlna
MBH	Mezní bezpečná hladina
MŘ	Manipulační řád vodního díla
MZe	Ministerstvo zemědělství
MZP	Minimální zůstatkový průtok
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
PD	Projektová dokumentace
PMO	Povodí Moravy, s. p.
PP	Povodňový plán
PPO	Protipovodňová ochrana
PŘ	Provozní řád vodního díla
PV	Povodňová vlna
Q_a	Průměrný dlouhodobý průtok
Q_m	m-denní průtok
Q_N	N-letý průtok
ř. km	Říční kilometr
SPA	Stupeň povodňové aktivity
SV	Spodní výpusť
TBD	Technickobezpečnostní dohled nad vodními díly
VD	Vodní dílo
V_N	Objem N-leté povodňové vlny
ZM 10	Základní mapa České republiky 1:10 000
ZVM	Základní vodohospodářská mapa

OBSAH

1. ÚVOD	- 3 -
2. POPIS ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ.....	- 4 -
2.1 Obecné informace	- 4 -
2.2 VD Landštejn	- 4 -
2.3 Geologické a hydrogeologické poměry	- 5 -
2.4 Hydrologické poměry.....	- 5 -
2.5 Úpravna vody Staré Město pod Landštejnem	- 6 -
3. POPIS SUCHÉ NÁDRŽE	- 8 -
3.1 Těleso hráze	- 8 -
3.2 Manipulační objekt.....	- 8 -
3.3 Bezpečnostní přeliv	- 10 -
3.4 Zátopa.....	- 12 -
3.5 Odtok z VD	- 13 -
4. HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY	- 14 -
4.1 Extrapolace N-letých průtoků	- 14 -
4.2 Výpočet povodňových vln	- 14 -
4.3 Výběh větrových vln.....	- 15 -
5. VODOHOSPODÁŘSKÉ ŘEŠENÍ.....	- 16 -
5.1 Průsak tělesem hráze	- 16 -
5.2 Bilance nádrže.....	- 17 -
Přítok do nádrže	- 17 -
Odtok z nádrže	- 17 -
Výpar z vodní hladiny.....	- 17 -
Průsak tělesem hráze	- 18 -
Výsledná bilance	- 18 -
5.2 Plnění nádrže.....	- 18 -
5.3 Řešení zásobní funkce nádrže	- 20 -
5.3 Transformace povodňové vlny.....	- 21 -
Varianta I – suchá nádrž.....	- 22 -

Varianta II – zásobní nádrž	- 23 -
Varianta III – víceúčelová nádrž	- 24 -
Varianta IV – nádrž s obsluhou.....	- 25 -
Zhodnocení variant.....	- 27 -
5.4 Bezpečnost za povodně	- 28 -
Posouzení	- 28 -
Nápravná opatření	- 29 -
6. ZÁVĚR	- 31 -
7. SEZNAMY	- 32 -
7.1 Citované zdroje	- 32 -
7.2 Seznam obrázků	- 34 -
7.3 Seznam tabulek	- 36 -
8. PŘÍLOHY	- 37 -
8.1 Tabulky	- 37 -
8.2 Obrázky	- 39 -
8.3 Fotodokumentace	- 59 -

1. ÚVOD

Problematika sucha, respektive boje proti němu se v posledních letech stala velice aktuální otázkou, a to nejen mezi odbornou veřejností. Odborná veřejnost by ovšem měla společnosti nabízet odpovědi na tuto otázku. Nabízené odpovědi, stejně jako názory vodohospodářů, se různí. Některé jsou více technické a některé bližší přírodě. Pro všechny by ale mělo být společným cílem efektivní řešení. Mimo jiná opatření se tak řadí i přestavba suchých nádrží na nádrže se stálým zásobním objemem vody. Právě odhalení možností konkrétního vodního díla si klade za cíl tato diplomová práce. Tato motivace je navíc podpořena skutečností, že výše ležící vodárenská nádrž VD Landštejn bude v brzké době rekonstruována. Tato práce se tedy zaměří i na možnost podpory ÚV Staré Město pod Landštejnem v době výpadku této zásobní nádrže.

V počátku této práce je zjištěn a popsán současný stav vodního díla a souvisejícího území. Především se práce zaměřuje na hydrotechnické charakteristiky, jako jsou: kapacita bezpečnostního přelivu, kapacita spodní výpusti, vlastnosti zátopy, a podobně. Potřebnou znalostí je rovněž hydrologie povodí nádrže. Tyto údaje slouží jako důležité vstupy pro následné úvahy a výpočty.

Další fáze zabezpečuje znalosti dalších charakteristik. Jedná se o zjištění a výpočty nestandardních či neposkytnutých údajů. Těmito jsou například průběhy povodňových vln o nižších či vyšších kulminačních průtocích, či průtoky s nižší dobou opakování (a tedy vyšší N-letostí).

Po zajištění a zjištění všech potřebných dat je provedeno vodohospodářské řešení nádrže. Nejprve je jednoduchou bilancí ověřena možnost naplnění nádrže v reálně dlouhém čase. Následně jsou variantně zohledněny potřeby odběrů vody. Zásobní funkce je řešena s ohledem na požadovanou zabezpečení. Kromě toho je zohledněna také ochrana před povodněmi (ochranná funkce). Nádrž je tedy zatěžována různými povodňovými vlnami, a následně je posuzován účinek nádrže na jejich průběh – tj. transformace povodňových vln.

V poslední části jsou navrhované varianty postupně zatěžovány kontrolní povodňovou vlnou, čímž je ověřována bezpečnost celého vodního díla za povodně. Pro nevyhovující stavy jsou navržena nápravná opatření k zajištění dostatečné bezpečnosti.

Na následujících stranách se tato práce zabývá:

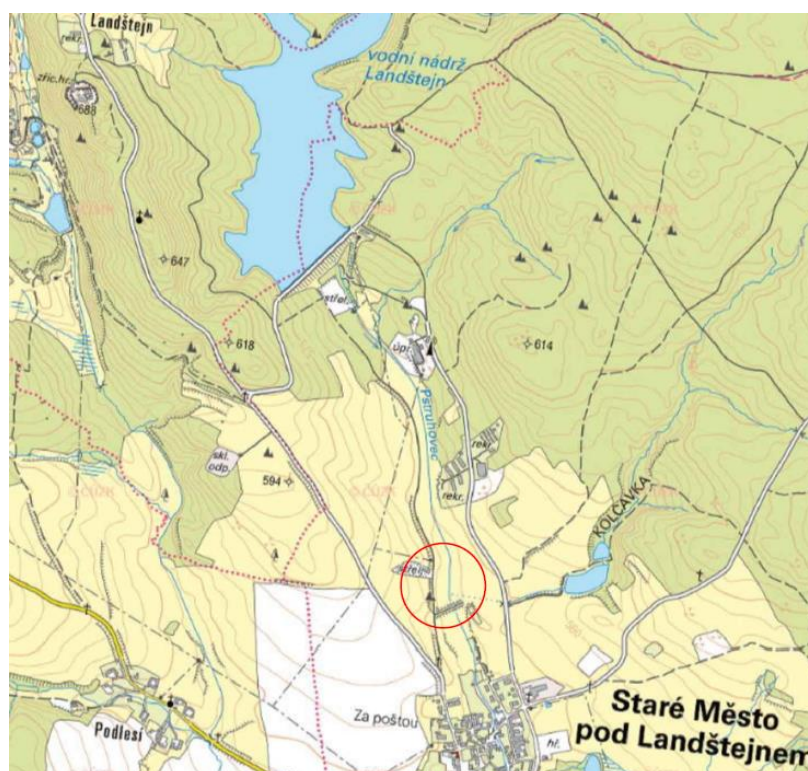
1. Analýzou stávajícího stavu vodního díla
2. Přípravnými výpočty a zjištěním dalších vstupů
3. Variantním vodohospodářským řešením různých funkcí nádrže
4. Posouzením bezpečnosti vodního díla za povodně
5. Návrhem nápravných opatření

2. POPIS ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

2.1 Obecné informace

Zájmové území se nachází v Jihočeském kraji, v okrese Jindřichův Hradec v katastrálním území Staré Město pod Landštejnem.

Hlavním přítokem do nádrže je potok Pstruhovec (č. h. p. 4-14-01-065). Tento pramení v Javořické vrchovině, jižně od Matějovce ve výšce 675 m n. m. a po 13,7 km ústí zleva do Rakouské Dyje ve výšce 460 m n. m. Jeho povodí má plochu 155,6 km². [1] Jeho významnými přítoky jsou Podleský potok, Navarský potok a Veclovský potok.



Obrázek 2.1 – Mapa řešené lokality s vyznačením suché nádrže [2]

2.2 VD Landštejn

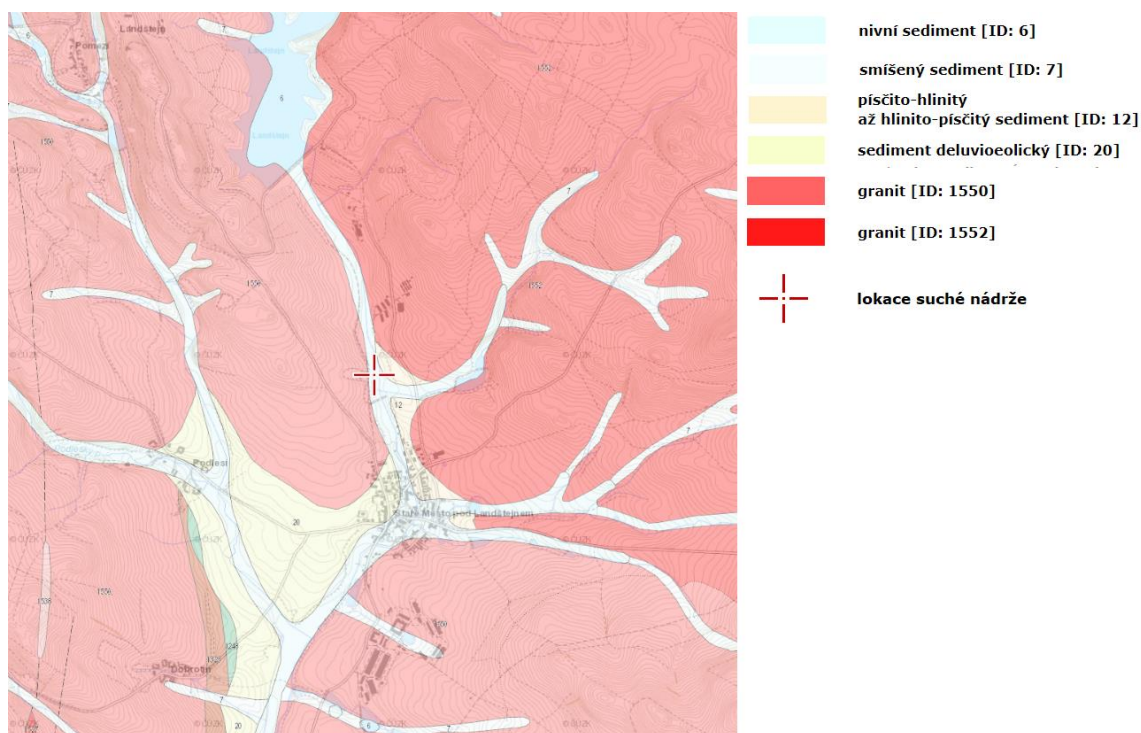
Vodní dílo Landštejn leží asi 1 400 m výše na toku nad řešenou suchou nádrží. Jeho hlavním účelem je zabezpečení odběrů pro úpravnu vody ve Starém Městě pod Landštejnem. Dalšími funkcemi je zajištění minimálního zůstatkového průtoku v Pstruhovci a ochrana proti povodním. Vybudováno bylo v letech 1971-1973. [3]

Hráz je sypaná kamenitá s návodním těsněním z PVC folie, chráněné betonovými prefabrikáty. Návodní i vzdušní svah jsou ve sklonu 1:2. Délka hráze v koruně činí 376 m, a je vysoká 23,4 m nade dnem. V levobřežním zavázání hráze se nachází boční bezpečnostní

přeliv s přelivnou hranou délky 10,95 m. [4] Nádrž má objem 3,3 mil. m³ a zátopa dosahuje plochy 40 ha. [3]

2.3 Geologické a hydrogeologické poměry

Ve zkoumané lokalitě je skalní podloží tvořeno převážně granitem, který je ve vyšších vrstvách zvětralý. Podložní horniny jsou překryty svahovými sedimenty – písčítými hlínami, hlinitými písky a písčítými štěrky. V levobřežním zavázání, tj. v místě bezpečnostního přelivu suché nádrže, se nachází skalní žulový masiv. [5]



Obrázek 2.2 – Geologická mapa řešené lokality [6]

Podle [5] byla průzkumnými vrty zastižena zvodeň s volnou hladinou a autoři průzkumu předpokládají souvislou zvodeň. Odebraný vzorek podzemní vody ukazuje, že podzemní vodu lze podle ČSN EN 206-1 klasifikovat jako slabě agresivní. [5]

2.4 Hydrologické poměry

Průměrný roční srážkový úhrn v povodí Pstruhovce činí 650 mm. N-leté průtoky s dobou opakování 1-100 let byly poskytnuty ČHMÚ pro projekční práce. Převzaty byly z projektové dokumentace suché nádrže. [7]

Obdržená data jsou vztažena k profilu hráze suché nádrže a „mezipovodí“ od VD Landštejn po tuto hráz. Data vztažená k profilu VD Landštejn byla převzata z jeho manipulačního řádu. [8]

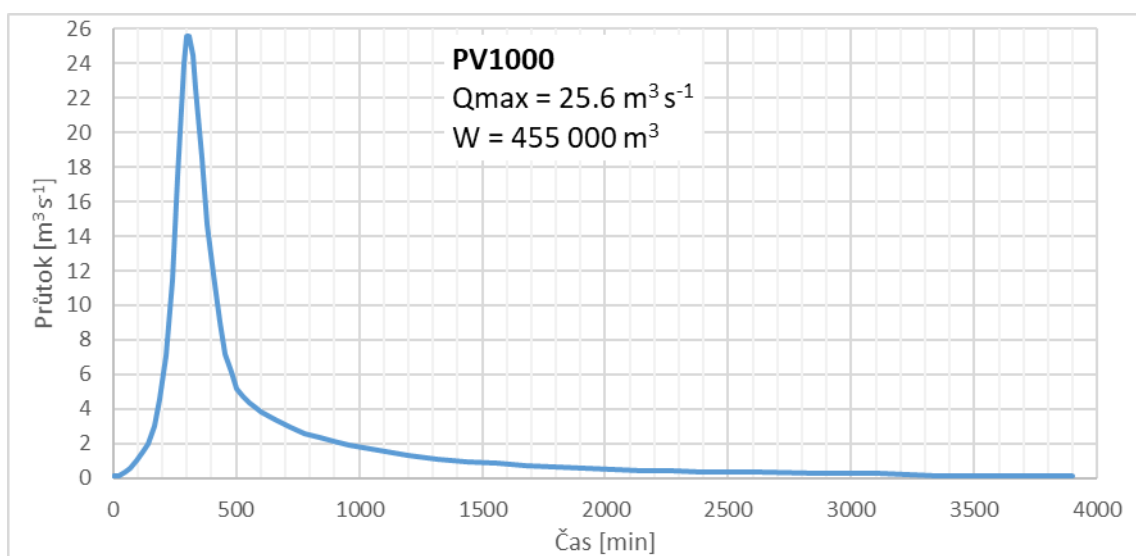
Tabulka 2.1 – N-leté průtoky v profilu hráze suché nádrže

N [roky]	1	2	5	10	20	50	100
Q_N [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	0.7	1.3	2.6	3.9	5.7	8.7	11.5

Tabulka 2.2 – N-leté průtoky v profilu hráze VD Landštejn

N [roky]	1	2	5	10	20	50	100
Q_N [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	3.5	5.2	8.0	10.0	13.0	16.5	20.0

Dále byla ČHMÚ poskytnuta tisíciletá teoretická povodňová vlna. [7] Její hydrogram je viditelný na obrázku níže.

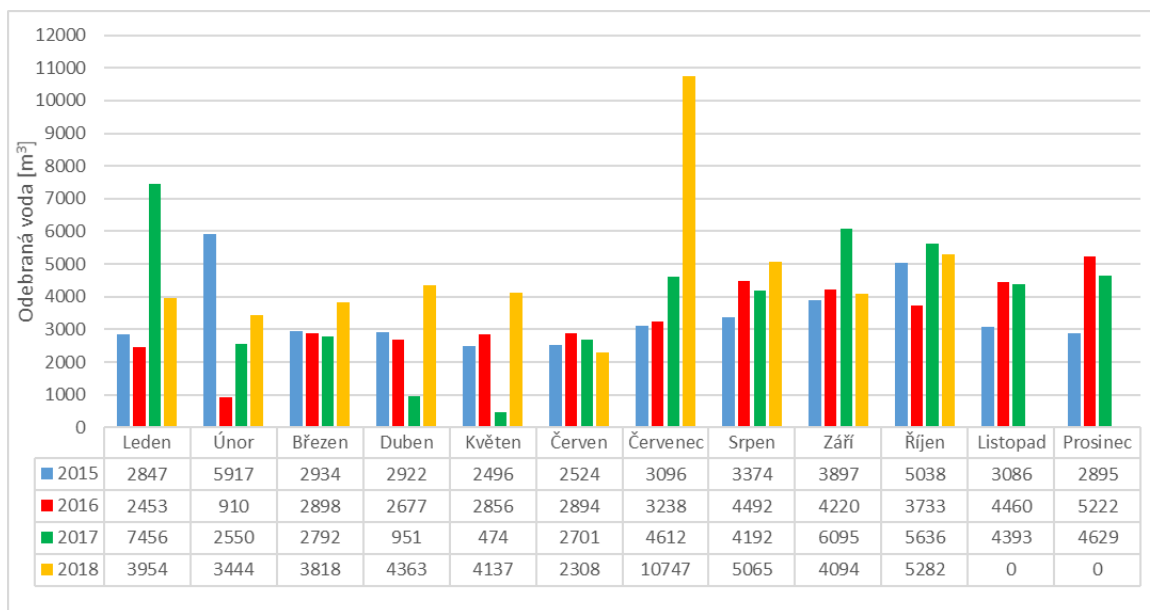


Obrázek 2.3 – Hydrogram tisícileté povodňové vlny

2.5 Úpravna vody Staré Město pod Landštejnem

Úpravna vody byla postavena v roce 1977 a v roce 2018 byla modernizována. Každá z jejích dvou instalovaných linek má kapacitu až 35 l s^{-1} . [9]

Společností ČEVAK, a. s. byla poskytnuta data o měsíčních objemech odebrané surové vody z VD Landštejn a měsíčních objemech vody vyrobené. Rozdíl těchto dvou objemů je pak roven objemu technologické vody, určené pro praní filtrů na úpravně vody. Hodnota průměrného odběru technologické vody se pohybuje kolem 2 l s^{-1} . Objemy odebrané technologické vody jsou viditelné na *Obrázku 2.4* níže.



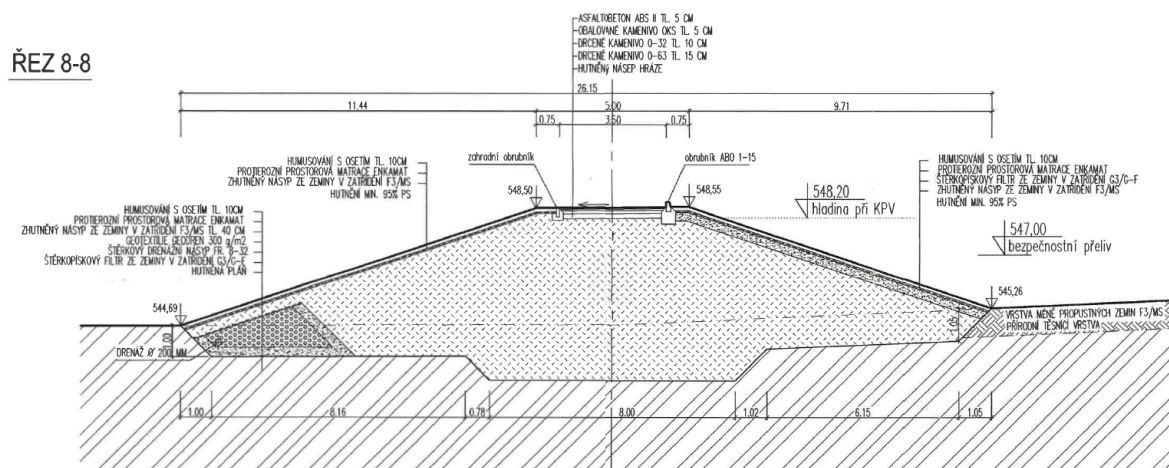
Obrázek 2.4 – Graf a tabulka objemů technologické vody

3. POPIS SUCHÉ NÁDRŽE

3.1 Těleso hráze

Hráz vodního díla je sypaná homogenní. Materiál pro její stavbu byl těžen ze zemníku v zátopě a podle projektové dokumentace se jedná o zeminu F3/MS, tj. hlínu písčitou. [7]

Koruna hráze je dlouhá 114 m a široká 5 m, z nichž 3,5 m je tvořeno zpevněným povrchem z asfaltobetonu. Kóta koruny hráze je 548,55 m n. m. V nejširším místě, tj. v místě umístění spodní výpusti, má hráz v patě šířku 54 m. Ve stejném místě pak dosahuje výšky 7 m. Návodní i vzdušní svah mají sklon 1:3 a jsou opevněny prostorovou geomatrací a travním porostem. Návodní svah je opatřen ještě šterkopískovým filtrem. Na oba svahy navazují přítěžovací lavice. Lavice na vzdušní straně je opatřena patním drénem. [7]



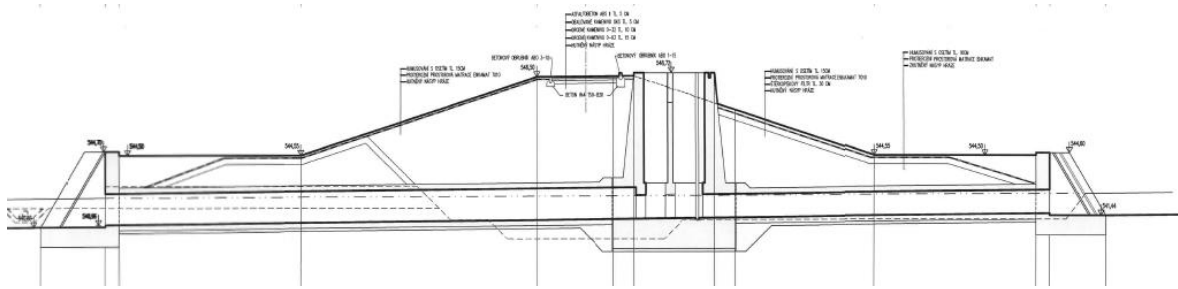
Obrázek 3.1 – Příčný řez tělesem hráze [7]

Těleso je v dobrém technickém stavu, to jest bez viditelných známek poškození a opotřebení.

3.2 Manipulační objekt

Manipulační objekt je tvořen typovým objektem „VOOM 700/120“ (z typového podkladu III-D-31 Hydroconsult Bratislava a Hydroprojekt Praha, r. 1990). Jedná se o železobetonový objekt o půdorysných rozměrech 4,3x7,2 m a výšce 9 m (od základové spáry). Vtokové potrubí je ocelové DN 1200, je osazeno česlemi a stavidlovým uzávěrem. Výtokové ocelové potrubí má DN 1600 a na konci je opatřeno mřížovými dveřmi. Obě potrubí jsou ve sklonu 1,20 %. Pod spodní výpustí není vybudován vývar. [7]

Konstrukce objektu nejeví známky opotřebení či poškození.



Obrázek 3.2 – Řez manipulačním objektem [7]

Pro potřeby této práce byla nutná znalost průběhu konsumční křivky spodní výpusti. Ta byla částečně převzata z projektové dokumentace. [7]

Řešeným hydraulickým jevem je v tomto případě výtok malým otvorem. Tento se vypočte podle rovnice (3.1), v níž vystupuje součinitel výtoku. Výtokový součinitel μ_v je komplexní a zohledňuje místní ztráty (součinitel ζ), součinitel zúžení (ε) a Coriolisovo číslo (α), blíže specifikované v rovnicích (3.2) a (3.3). [10]

$$Q = \mu_v a b \sqrt{2gz} \quad (3.1)$$

$$\mu_v = \varepsilon \varphi \quad (3.2)$$

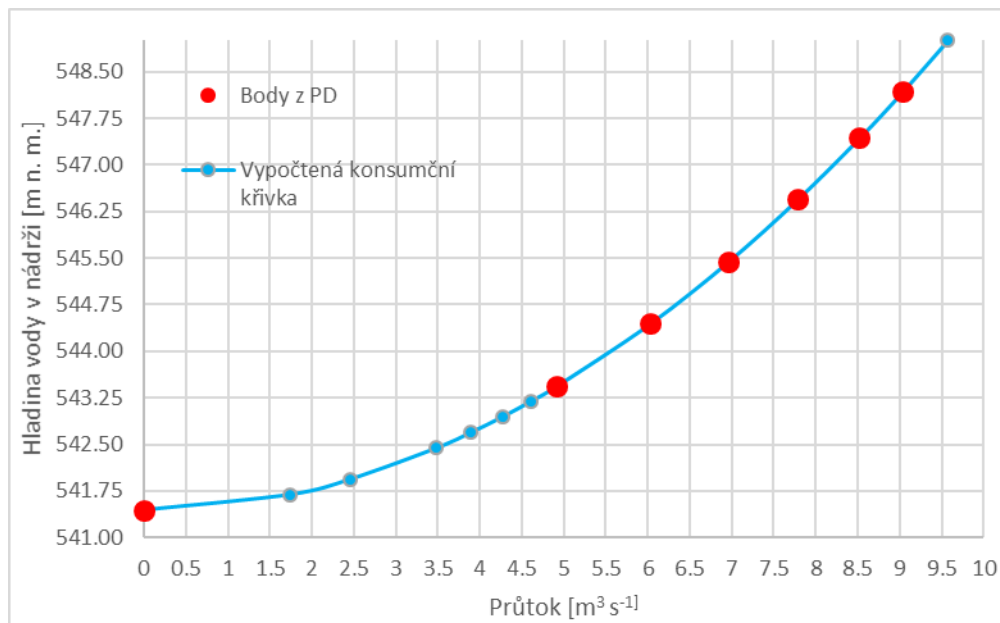
$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \zeta}} \quad (3.3)$$

- kde
- Q ...je průtok ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)
 - μ_v ...je výtokový součinitel (-)
 - a ...je výška otvoru (otevření) spodní výpusti (m)
 - b ...je šířka otvoru spodní výpusti (m)
 - g ...je tíhové zrychlení (m s^{-2})
 - z ...je vzdálenost od těžiště otvoru ke hladině (m)

Pro dodržení souladu s projektovou dokumentací, byl součinitel výtoku odvozen iterativním postupem:

Součinitel byl nejprve odhadnut podle hydraulických tabulek. Poté byly vypočteny body konsumční křivky. Tyto byly porovnány s body křivky z projektové dokumentace. Metodou nejmenších čtverců byla zjištěna odchylka obou křivek. Iterací součinitele byla odchylka minimalizována (suma čtverců odchylek rovna $0,15 \text{ ls}^{-1}$), a určena hodnota součinitele $\mu_v = 0,695$.

Vypočtenou konsumční křivku spodní výpusti ukazuje *Obrázek 3.3*.



Obrázek 3.3 – Konsumční křivka spodní výpusti

3.3 Bezpečnostní přeliv

Bezpečnostní přeliv je boční, umístěný v levobřežním závázání hráze. Zaoblená přelivná hrana délky 17 m má kótu 547,00 m n. m.

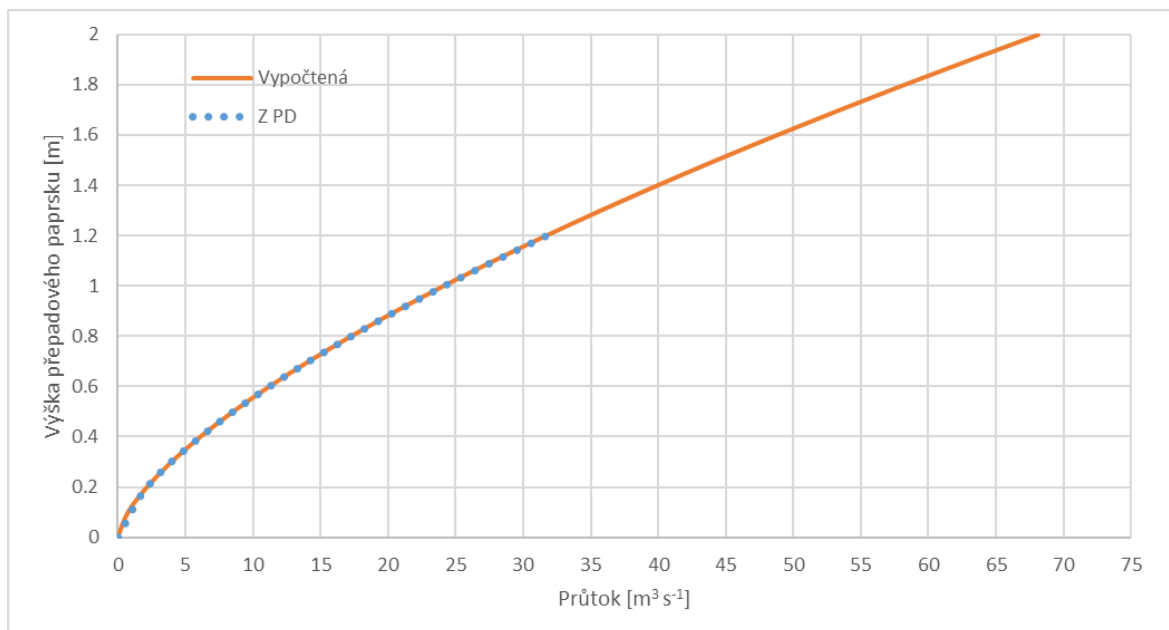
Skluž od bezpečnostního přelivu je opevněn kamennou dlažbou a ukončen těžkým kamenným záhozem. Pod skluzem není vývar, projektová dokumentace počítá se vzdutým vodním skokem. [7]

Skalní masiv v levé části bezpečnostního přelivu (v pohledu po vodě) se vyznačuje mírným navětráním. Toto však zjevně nikterak neohrožuje konstrukci, a tedy ani bezpečnost vodního díla.



Obrázek 3.4 – Pohled na bezpečnostní přeliv (vlevo zátopa)

Pro úlohy řešené níže v této práci je nutná znalost průběhu konsumční křivky bezpečnostního přelivu. K jejímu výpočtu bylo užito součinitele přepadu dle projektové dokumentace ($m=0,32$). [7] Její průběh je viditelný na *Obrázku 3.4*.



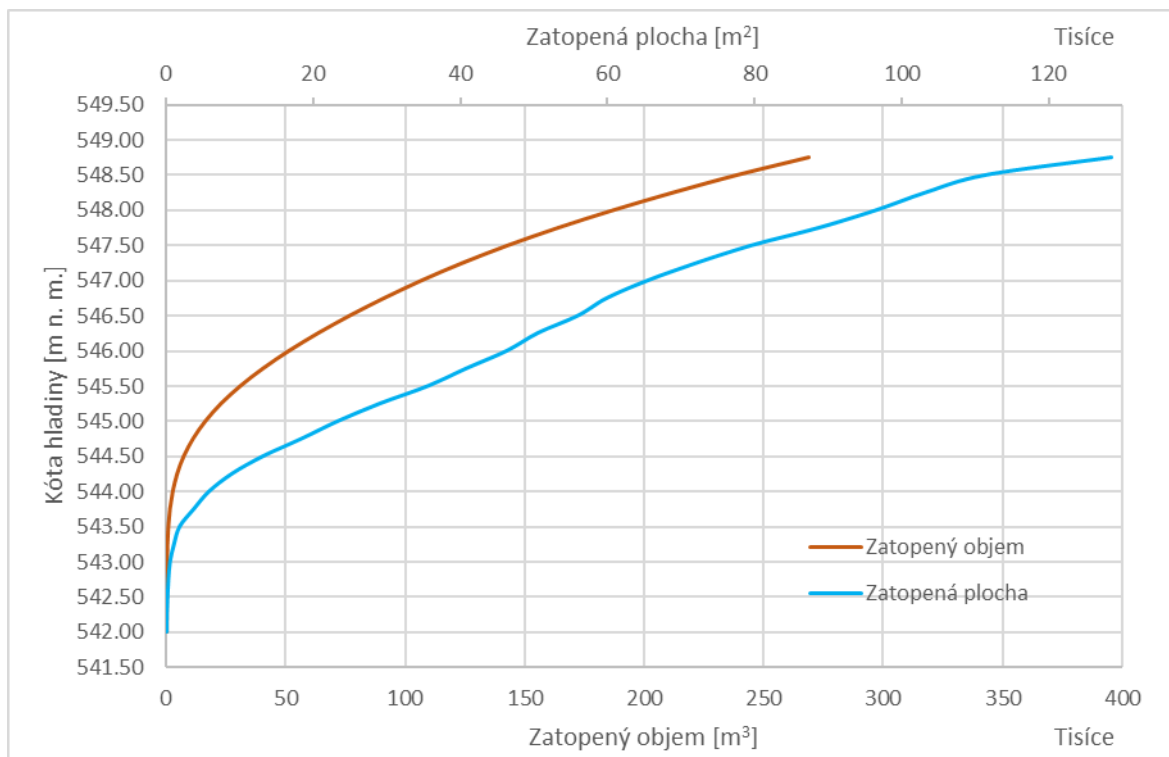
Obrázek 3.5 – konsumční křivka bezpečnostního přelivu

3.4 Zátopa

Charakteristické čáry nádrže nebyly k dispozici, proto byly pro účely této práce odvozeny z digitálního modelu reliéfu 5. generace. Tento je tvořen nepravidelnou trojúhelníkovou sítí o prostorových souřadnicích X, Y, H, kde souřadnice H odpovídá nadmořské výšce v systému Balt po vyrovnání. Úplná střední chyba výšek je 0,18 m (v odkrytém terénu), respektive 0,3 m (v zalesněném terénu). [11] S užitím nástrojů GIS byly v oblasti zátopy vygenerovány zatopené plochy, odpovídající vrstevnicím ve výškovém kroku 0,25 m. Ze zatopených ploch byly poté vypočteny zatopené objemy, a tak sestaveny charakteristické čáry nádrže.

Tabulka 3.1 – Základní charakteristiky nádrže (podrobně viz přílohy)

Popis	Nadmořská výška [m n. m.]	Hloubka [m]	Zatopená plocha [m ²]	Objem vody [m ³]
Dno	542,00	0,00	0	0
Bezp. přeliv	547,00	5,00	65 500	106 800
Koruna hráze	548,55	6,55	111 400	239 000



Obrázek 3.6 – Charakteristické čáry nádrže

V současné době má zátoka charakter louky s převážně travní vegetací. Břehy jsou porostlé stromy a nejsou opevněny. Koryto vodního toku má převážně přírodní charakter. Na konci vzdutí se nachází ocelová lávka pro pěší.



Obrázek 3.7 – Vizualizace naplněné nádrže [12]

3.5 Odtok z VD

Jediným účelem vodního díla je ochrana níže ležícího městysu Staré Město pod Landštejnem před účinkem velkých vod. V době projekčních prací, výstavby a prvních let provozu byla kapacita koryta pod vodním dílem cca $2,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. V roce 2011 byly podnikem Povodí Moravy, s. p. provedeny úpravy koryta v intravilánu, čímž došlo ke zvýšení jeho kapacity na $8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. [13] Tento byl v dalších výpočtech uvažován jako neškodný odtok ($O_{neš}$).

4. HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY

K dispozici byly základní údaje od ČHMÚ, ale pro účely této práce bylo potřeba využít i průtoky a povodňové vlny o nižší době opakování. Jejich dosažení je popsáno v následující kapitole.

4.1 Extrapolace N-letých průtoků

Průtoky s nižší dobou opakování, tj. 200, 1 000 a 10 00 let, byly zjištěny extrapolací. Extrapolace vychází z předpokladu znalosti distributivní funkce tříparametrického logaritmicko-normálního rozdělení, kterou byla proložena data poskytnutá ČHMÚ. Postup extrapolace je následující:

- 1) Ze základních hydrologických údajů od ČHMÚ jsou určeny hodnoty distribuční funkce $F(x)$
- 2) Inverzní funkcí k normálnímu rozdělení pravděpodobnosti se střední hodnotou 0 a směrodatnou odchylkou 1 je pro každou hodnotu distribuční funkce F_i vypočtena hodnota z_i
- 3) Parametr posunu x_0 je zjištěn z platnosti pravidla, jenž praví, že mezi hodnotami kvantilů normálních rozdělení je přímá regresní závislost (a tedy korelační koeficient $r = 1$)
- 4) Z této závislosti je dále odvozena rovnice přímky ($y_i = a z_i + b$) a z této je pro zadané z_i vypočteno y_i . Zde z_i je hodnota inverzní funkce k součtovému normálnímu rozdělení pravděpodobnosti se střední hodnotou 0 a směrodatnou odchylkou 1.
- 5) Ze znalosti distributivní funkce tříparametrického logaritmicko-normálního rozdělení je následně vypočten N-letý průtok Q_N .

Tabulka 4.1 – Extrapolované N-leté průtoky pro profil suché nádrže

PROFIL	N [roky]	200	500	1 000
hráz suché nádrže	Q [m ³ s ⁻¹]	15.0	20.5	25.6

Tabulka 4.2 – Extrapolované N-leté průtoky pro profil VD Landštejn

PROFIL	N [roky]	200	500	1 000
hráz suché nádrže	Q [m ³ s ⁻¹]	23.4	29.0	33.0

4.2 Výpočet povodňových vln

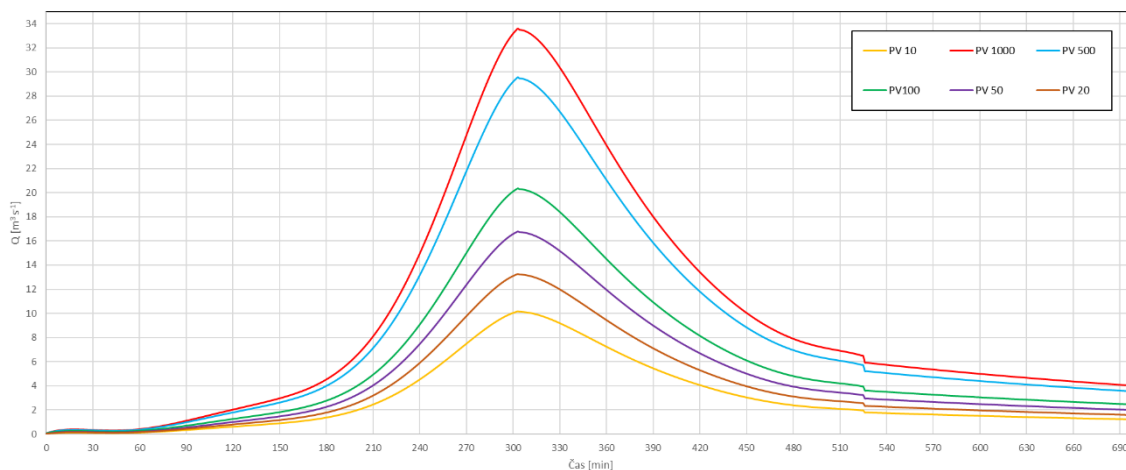
Pro účely této práce byly vypočteny další povodňové vlny s nižšími dobami opakování. K tomu bylo použito poměrového zmenšení původní tisícileté povodňové vlny poskytnuté ČHMÚ. Předpokládá se, že díky prakticky shodné poloze „povodí“ a

„mezipovodí“ budou charakteristiky vln budou podobné a lze je tedy poměrově zvětšovat či zmenšovat. Toto bylo provedeno následujícím postupem:

1) Povodňová vlna získaná od ČHMÚ byla dodána s nekonstantním časovým krokem. Tento má v prvních hodinách délku 24 min, následně 12 minut, a v pozdějších časech se krok prodlužuje na 2 h respektive 4 h. Hydrogram byl proložen třemi polynomickými funkcemi – jedna pro vzestupnou větev a dvě pro sestupnou větev hydrogramu. Díky tomu bylo možné interpolovat hodnoty průtoků a získat tak průběh celé povodňové vlny s konstantním časovým krokem 1 minuta.

2) Dále byl zjišťován poměrový koeficient „ k “, který je zjištěn v každém časovém kroku, jako poměr kulminačního průtoků ku průtoků v daném kroku aktuálnímu.

3) Následně byly inverzním způsobem, kdy byl kulminační průtok v každém časovém kroku přenásoben vypočteným poměrovým koeficientem, vypočteny průběhy dalších povodňových vln.



Obrázek 4.1 – Hydrogramy povodňových vln

4.3 Výběh větrových vln

Pro posouzení bezpečnosti vodního díla je nutná znalost také výšky výběhu větrových vln. Při výpočtu bylo postupováno podle normy ČSN 75 0255, za předpokladu hlubokého pásma:

1) Z mapy větrných oblastí ČR byla odečtena základní rychlost větru ($w_{10a} = 27.5 m s^{-1}$) a převládající směr větrů pro danou lokalitu [14]

2) Byla stanovena efektivní délka rozběhu vln ($L_{ef} = 122 m$) podle rovnice (4.1)

Tabulka 4.3 – Tabulka paprsků pro výpočet L_{ef}

φ [°]	$\cos \varphi$	$\cos^2 \varphi$	L_i	$L_i \cos^2 \varphi$	φ [°]	$\cos \varphi$	$\cos^2 \varphi$	L_i	$L_i \cos^2 \varphi$
-42	0.743	0.552	411	226.981	6	0.995	0.989	104	102.864
-36	0.809	0.655	264	172.790	12	0.978	0.957	102	97.591
-30	0.866	0.750	161	120.750	18	0.951	0.905	99	89.546
-24	0.914	0.835	138	115.170	24	0.914	0.835	97	80.953
-18	0.951	0.905	130	117.586	30	0.866	0.750	99	74.250
-12	0.978	0.957	121	115.770	36	0.809	0.655	102	66.760
-6	0.995	0.989	114	112.754	42	0.743	0.552	81	44.733
0	1.000	1.000	109	109.000					

$$L_{ef} = \frac{\sum_{i=1}^n \cos^2 \varphi_i}{\sum_{i=1}^n \cos \varphi_i} \quad (4.1)$$

kde L_{ef} ... je efektivní délka rozběhu (m)
 φ ... je úhel mezi osou nádrže a směrem větru (°)

3) Z grafů v normě byla odečtena charakteristická výška a perioda vlny v hlubokém pásmu a z nich byla vypočtena délka vlny, postupová rychlost vlny a minimální doba trvání větru

4) Pro parametry hráze je vypočtena výška výběhu větrové vlny na návodní svah s pravděpodobností překročení 13 %, $h_{v13\%} = 0,39 \text{ m}$

5. VODOHOSPODÁŘSKÉ ŘEŠENÍ

5.1 Průsak tělesem hráze

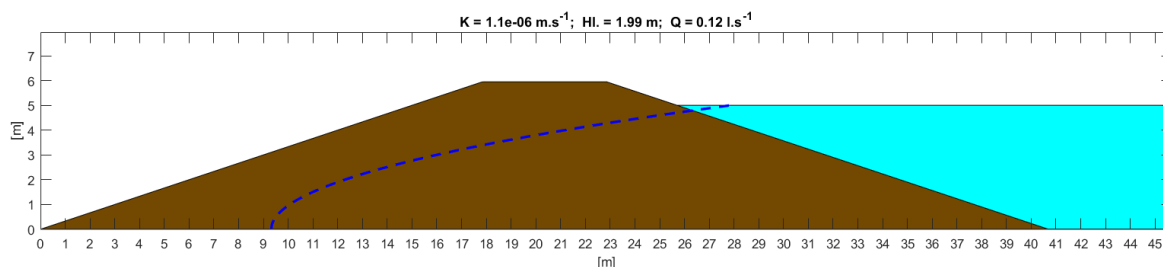
Jelikož původním účelem vodního díla je pouze nárazové zadržení vody při povodňové události, a nikoliv tedy její dlouhodobé udržení, nemusel být při návrhu brán zřetel na množství vody prosáklé tělesem hráze.

Posouzení bylo provedeno pomocí funkce napsané v programu Matlab. Vstupy pro tuto funkci jsou: hloubka vody v nádrži, rozměry hráze, sklony obou svahů a součinitel hydraulické vodivosti. Výpočet je proveden podle Darcyho, rovnicí (5.1). [17] Pro celkový průsak je zaveden zjednodušující předpoklad konstantní výšky hráze (údolí s obdélníkovým profilem). Funkce ze zadaných parametrů vypočte průběh průsakové křivky, její minimální vzdálenost od povrchu hráze a průsakové množství po délce celého tělesa. Výsledky byly vykresleny do obrázkového výstupu níže.

$$q = K \frac{H^2}{2L} \quad (5.1)$$

kde q ... je specifický průsak hrází ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)
 K ... je součinitel hydraulické vodivosti ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)

- H ... je hloubka vody v nádrži (m)
 L ... je vodorovná délka průsakové křivky (m)



Obrázek 5.1 – Schéma hráze s vykreslením průsakové křivky

Průsakové množství celým tělesem činí cca **0,12 l s⁻¹**. Průsaková křivka, tj. hladina podzemní vody v hrázi, dosahuje od povrchu vzdálenosti téměř 2 m, a tedy vyšší, než je tzv. nezámrazná hloubka. Výpočet tedy ukazuje, že z hlediska průsaků je těleso hráze vyhovující, navíc ve skutečnosti je hráz vybavena ještě patním drénem.

5.2 Bilance nádrže

K základnímu posouzení schopnosti nádrže plnit svou vodohospodářskou funkci slouží roční objemová bilance nádrže. Pro roční bilanci je použito průměrných hodnot.

Přítok do nádrže

Dlouhodobý průměrný roční průtok přinese do nádrže ročně objem V_a

$$V_a = Q_a \cdot 31\,536\,000 = 0,087 \cdot 31\,536\,000 = 2\,743\,632 \text{ m}^3 \quad (4.2)$$

Pro výpočet plnění nádrže je uvažován průměrný měsíční přítok příslušného měsíce.

Odtok z nádrže

K určení objemu odteklé vody je potřeba nejprve stanovit minimální zůstatkový průtok. Ve výpočtu bilance nádrže je to minimální odtok, jehož hodnotu je nutná pro udržení základní ekologické a vodohospodářské funkce vodního toku. K jeho stanovení slouží metodický pokyn Ministerstva životního prostředí. [15]

Jelikož Q_{355d} je menší než $0,05 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, MZP má hodnotu Q_{330d} , tj. $MZP = 0,01 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Z MZP byl následně stanoven ročně odteklý objem V_o .

$$V_o = MZP \cdot 31\,536\,000 = 0,01 \cdot 31\,536\,000 = 315\,360 \text{ m}^3 \quad (4.3)$$

Výpar z vodní hladiny

Předpokládá se, že hladina vody v nádrži je udržována na kótě bezpečnostního přelivu, tj. 547,00 m n. m. Hladina má poté plochu $A = 65\,500 \text{ m}^2$. K výpočtu výparu z vodní hladiny bylo použito normy ČSN 75 2410. [16] Z v ní uvedeného grafu závislosti výparu na nadmořské výšce byla odečtena roční výparná výška $h_v = 720 \text{ mm}$.

$$V_v = h_v \cdot A = 0,72 \cdot 65\,500 = 47\,160 \text{ m}^3 \quad (4.4)$$

Průsak tělesem hráze

Další ztrátou vody z nádrže je průsak hrázovým tělesem. Výše vypočtený průsak má hodnotu $Q_p = 0,000\,12 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

$$V_p = Q_a \cdot 31\,536\,000 = 0,000\,12 \cdot 31\,536\,000 = 3\,784 \text{ m}^3 \quad (4.5)$$

Výsledná bilance

Závěrem byl proveden celkový součet dílčích bilančních položek:

$$V_b = V_a - V_o - V_v - V_p = 2\,743\,632 - 315\,360 - 47\,160 - 3\,784 = 2\,377\,328 \text{ m}^3 \quad (4.6)$$

Vypočtená bilance je kladná, což značí, že nádrž je možno naplnit za dobu kratší, než je jeden rok.

5.2 Plnění nádrže

Pro výpočet plnění nádrže byly použity průměrné měsíční hodnoty průtoků (tj. přítoků do nádrže) – výpočet tak lépe vystihuje skutečnost, kdy k plnění nádrže dochází za nepříznivého stavu. Tímto stavem je myšlena situace, kdy rekonstrukce VD Landštejn, a tak i plnění řešené nádrže, započne v květnu, tedy v období nižších průtoků.

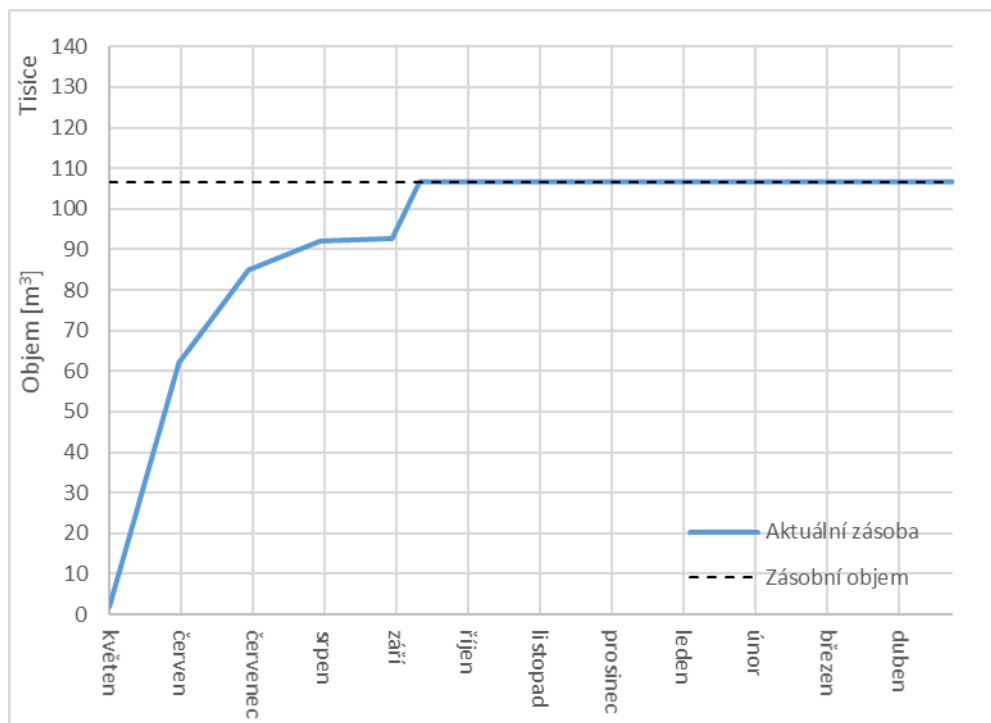
Tabulka 5.1 – Měsíční bilance při plnění nádrže

Měsíc	Přítok	Přítok	Odtok	Průsak	Výpar	Objem	Hladina
	$\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$	m^3	m^3	m^3	m^3	m^3	m n. m.
Květen	0.035	94342	26784	321	5188	62049	546.20
Červen	0.022	55924	25920	311	6838	84904	546.65
Červenec	0.016	42721	26784	321	8489	92030	546.78
Srpen	0.013	35749	26784	321	8017	92656	546.79
Září	0.026	66847	25920	311	5423	106631	547.00
Říjen	0.052	138261	26784	321	3301	106631	547.00
Listopad	0.036	92140	25920	311	1886	106631	547.00
Prosinec	0.041	111112	26784	321	1415	106631	547.00
Leden	0.084	225280	26784	321	943	106631	547.00
Únor	0.092	222081	24192	290	943	106631	547.00
Březen	0.097	258907	26784	321	1886	106631	547.00
Duben	0.057	148731	25920	311	2830	106631	547.00

Výše uvedená Tabulka 5.1 představuje bilanční data za jednotlivé měsíce v roce. Pro názornější grafické zobrazení (viz Obrázek 5.2) byla nádrž bilancována v jednodenním kroku. Jako zásobní objem byl uvažován objem vody v nádrži při kótě hladiny 547 m n. m.,

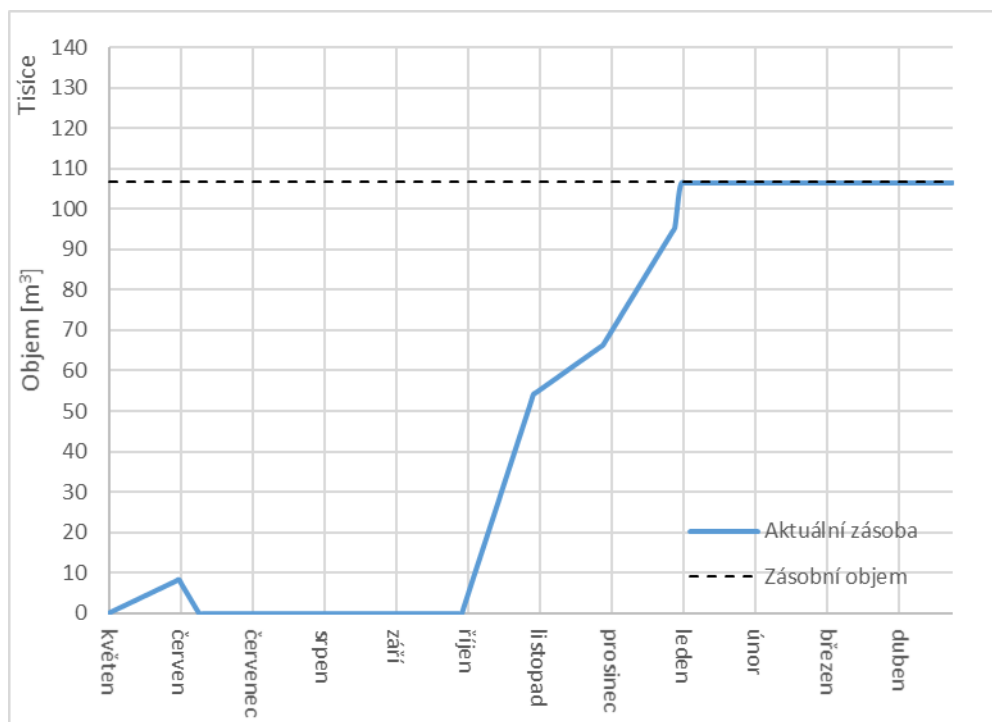
kteřá odpovídá kóte bezpečnostního přelivu. Zásobní objem tak dosahuje hodnoty 106,6 tisíc m³.

Z této bilance vyplývá, že nádrž je při dodržení minimálního zůstatkového průtoku ($MZP = 0,01 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) možno naplnit přibližně za dobu **4 měsíců a 11 dnů**.



Obrázek 5.2 – Průběh plnění nádrže při dodržení MZP

Pokud by byl udržován odtok z nádrže na hodnotě vyšší, než je hodnota minimální zůstatkového průtoku, docházelo by od června k prázdnění dosud nenaplněné nádrže. Na následujícím obrázku lze vidět průběh plnění nádrže během roku, při udržování trojnásobného odtoku, tj. $0,03 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. V tomto případě nastane počátek plnění na počátku měsíce října a k úplnému naplnění nádrže dojde v prvních dnech měsíce ledna.



Obrázek 5.3 – Průběh plnění nádrže při dodržení odtoku $0,03 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Úvaha v předchozím odstavci bere v potaz nepříznivou variantu začátku plnění při současném udržování nadstandardního odtoku z nádrže. Ve skutečném případě je vhodné uvažovat především o zachycení odtoku z výše položeného VD Landštejn. Tím je myšleno naplnění řešené nádrže během prázdnění nádrže VD Landštejn před počátkem jeho rekonstrukce.

Norma ČSN 75 2410 předepisuje maximální rychlost vzestupu hladiny na hodnotu $0,2 \text{ m den}^{-1}$. V obou testovaných variantách je tento požadavek splněn.

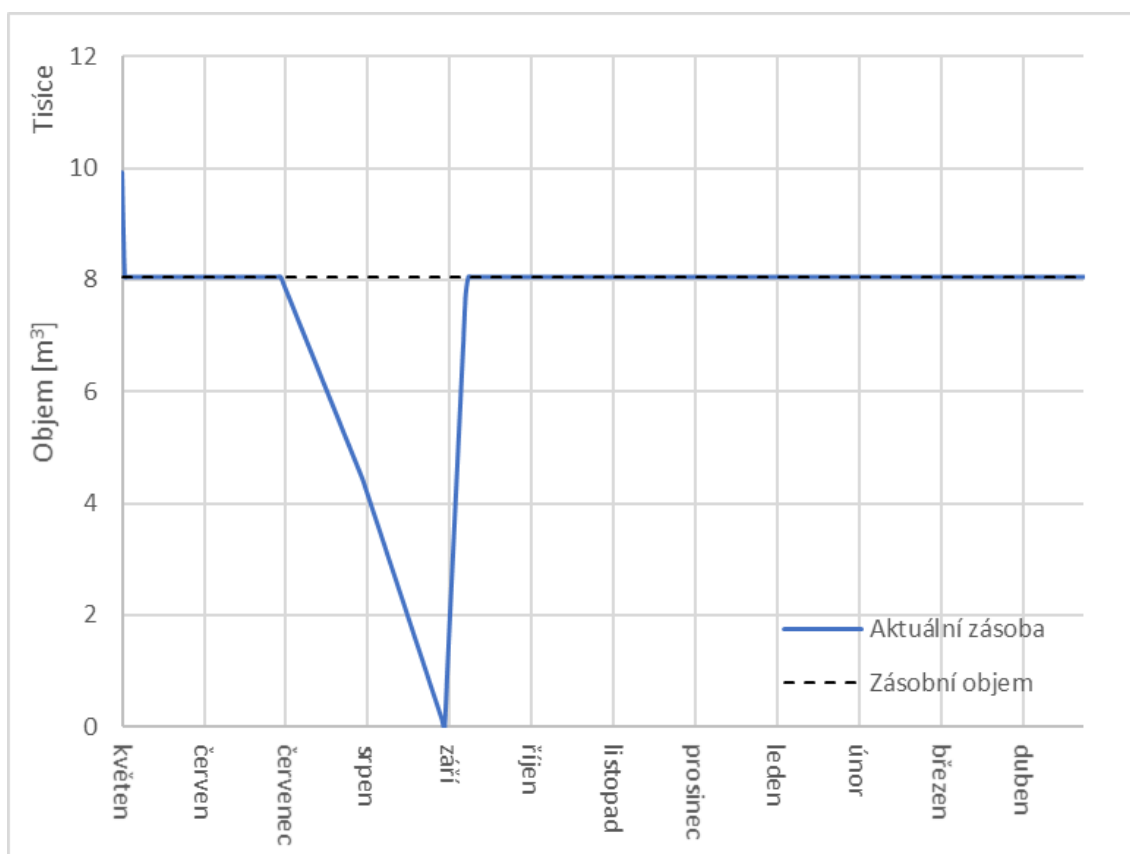
5.3 Řešení zásobní funkce nádrže

Pro správnou zásobní funkci nádrže byla rozhodující zabezpečení odběrů vody pro ÚV Staré Město pod Landštejnem během jednoho roku. S uvážením ochranné funkce nádrže byl iterován zásobní objem, respektive hladina vody v nádrži, dokud zabezpečení podle opakování, vypočtená vzorcem podle Čegodajeva (5.6), nedosáhla hodnoty minimálně 99,5 %. [18] Výsledná minimální kóta hladiny zásobního prostoru je **544,55 m n. m.**

$$P = \frac{m - 0,3}{n + 0,4} \quad (5.6)$$

- kde P ... je pravděpodobnost výskytu, tj. zabezpečení (-, %)
 m ... je počet poruchových dnů v roce (-)
 n ... je celkový počet dnů v roce (-)

Z Obrázku 5.4 je vidět, že k výpadku dojde pouze krátkodobě, a to 1 den v roce.



Obrázek 5.4 – Průběh náplní nádrže během roku

5.3 Transformace povodňové vlny

Další z funkcí nádrže je kromě zachycení objemu povodně také její transformace. K výpočtu je potřebná znalost vlastností objektů (konsumční křivky spodní výpusti a bezpečnostního přelivu) a nádrže (čáry zatopených ploch a objemů). Výpočet transformace povodňové vlny vychází ze základní diferenciální rovnice nádrže (5.2).

$$\frac{dV}{dt} = P(t) - O(t) \quad (5.2)$$

kde V ... je aktuální objem vody v nádrži (m^3)
 P ... je přítok vody do nádrže ($m^3 s^{-1}$)
 O ... je odtok vody z nádrže ($m^3 s^{-1}$)

K jejímu řešení bylo užito Eulerovy aproximace kóty hladiny (5.3). Tato je sama o sobě poměrně málo přesná, další zpřesnění proto bylo provedeno metodou Runge-Kutta 2. řádu (5.4). K výpočtu byl použit výpočetní krok o velikosti 1 minuty – delší výpočetní krok se totiž ukázal jako nevhodný. Toto řešení již poskytuje dostačující přesnost. [19]

$$h_{n+1} = h_n + \Delta t F(t, h) \quad (5.3)$$

$$h_{n+1} = h_n + \frac{1}{2}(k_1 + k_2) \quad (5.4)$$

$$k_1 = \Delta t F(t_n, h_n) \quad (5.5)$$

$$k_2 = \Delta t F(t_n + \Delta t, h_n + k_1)$$

kde h ... je aktuální kóta hladiny vody v nádrži (m n. m.)

F ... je aktuální zatopená plocha nádrže (m²)

Výpočty byly prováděny v tabulkovém procesoru *MS Excel*. Posuzovány byly 4 varianty rozložení funkčních prostor nádrže, zatížené 4 povodňovými vlnami – *PV20*, *PV50*, *PV100* a *PV500*. Souhrnné výsledky transformací přehledně uvádí *Tabulka 5.6* na konci této kapitoly. Veškeré hydrogramy transformací povodňových vln a související průběhy hladin vody v nádrži jsou uvedeny v přílohách.

Varianta I – suchá nádrž

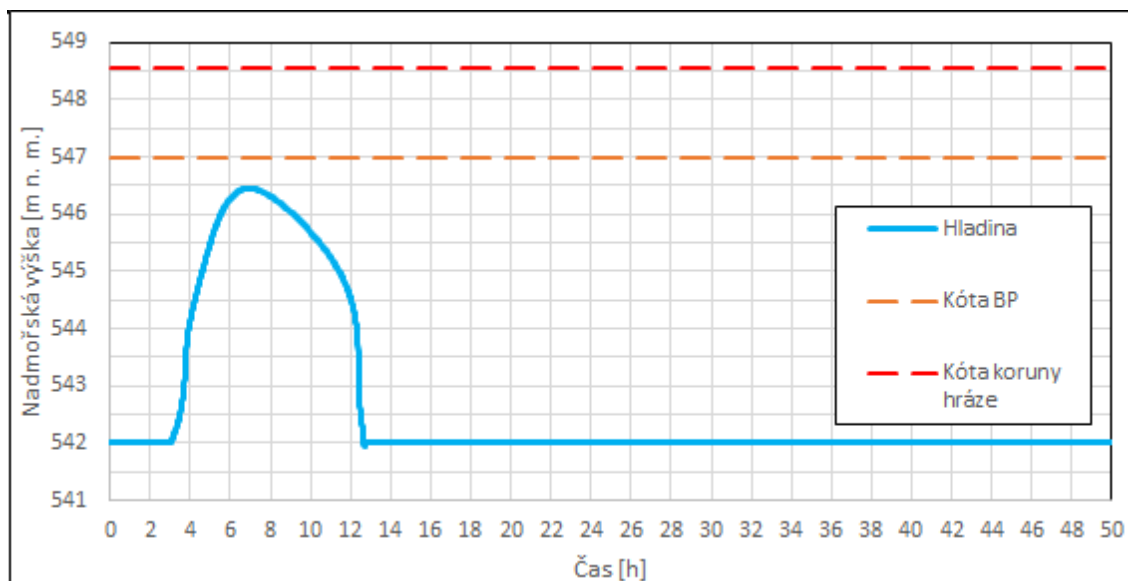
Tato varianta představuje stávající stav, kterým je suchá nádrž. Uváděna je pro srovnání s ostatními variantami. V této variantě není uvažováno žádné nadržení vody a pro výpočet je tedy jako počáteční podmínka nastavena hladina vody na kótu 542,00 m n. m.

Kalibrační výpočty docházejí k obdobným výsledkům, jako projektant vodního díla. Podrobný postup výpočtů, užitých v projektové dokumentaci, však není znám. Odchytky budou pravděpodobně způsobeny rozdílnými charakteristickými čarami nádrže (postup jejich odvození pro projektovou dokumentaci znám není), které se navíc vlivem otevření zemníku v prostoru zátopy změnil. Další výsledky se výrazně liší, což je způsobeno především skutečností, že projektová dokumentace uvažuje rovněž transformační schopnosti výše ležícího VD Landštejn, kdežto tato práce považuje VD Landštejn za nefunkční.

Tabulka 5.2 – Výsledky transformací ve variantě I

Varianta I	PV 20	PV 50	PV 100	PV 500	PV 1000
max. přítok (m ³ s ⁻¹)	19.1	25.7	32.1	50.4	59.7
max. odtok SV (m ³ s ⁻¹)	7.8	8.4	8.3	8.8	9.0
max. odtok BP (m ³ s ⁻¹)	0.0	2.0	1.6	18.1	26.0
max. odtok celkem (m ³ s ⁻¹)	7.8	10.4	10.0	27.0	35.0
účinnost transformace	59 %	59 %	69 %	47 %	41 %
posun kulminace (min)	115	115	143	87	77

Ve výše uvedené tabulce (*Tabulka 5.2*) a na níže uvedeném grafu (*Obrázek 5.5*) jsou k vidění výsledky transformace povodňových vln suchou nádrží.



Obrázek 5.5 – Průběh hladiny v nádrži varianty I při průchodu PV20

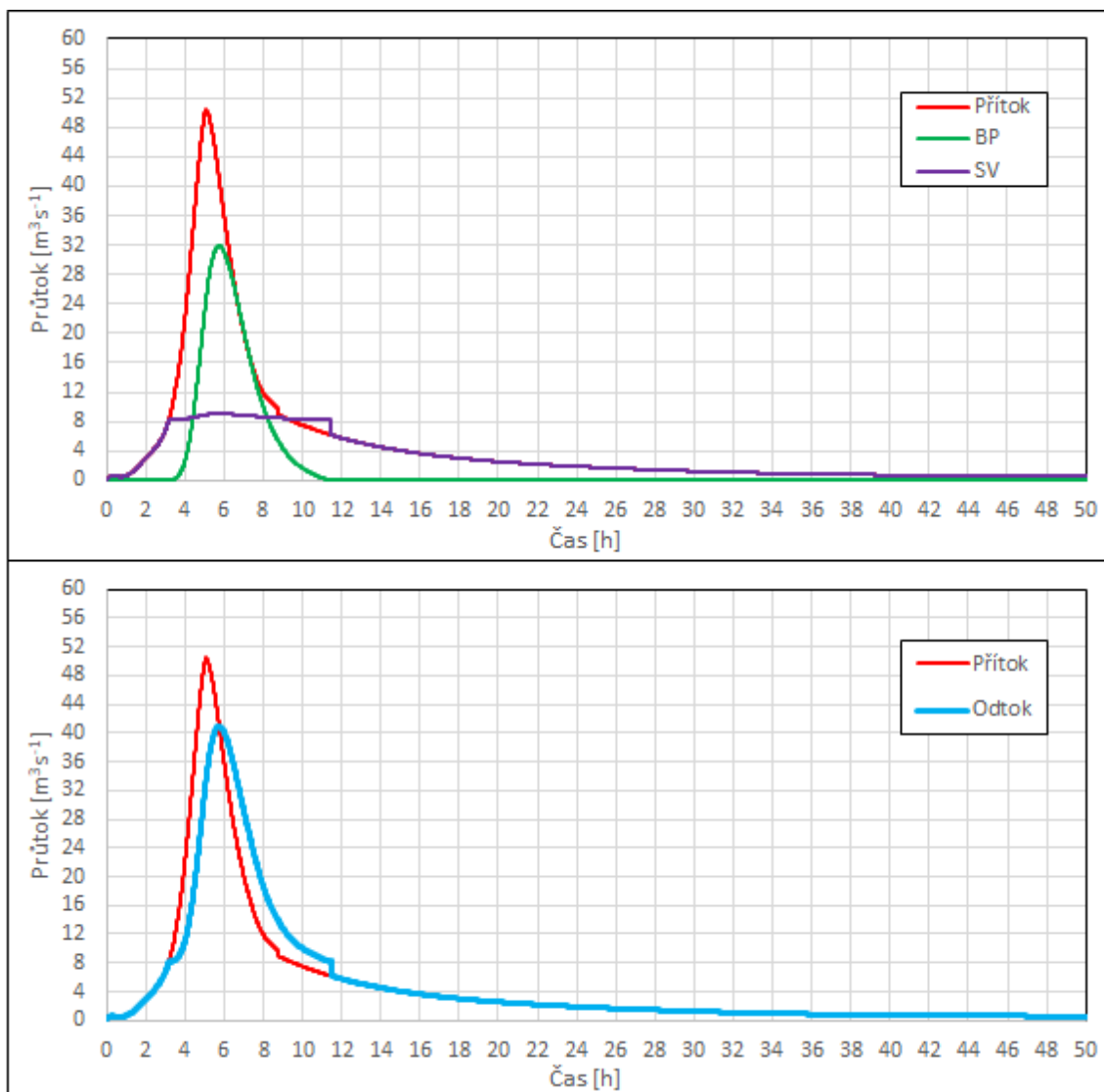
Varianta II – zásobní nádrž

Druhá varianta má jako primární účel zásobní funkci. Tato je nadřazena funkci ochranné, a je tedy uvažován maximální možný zásobní objem. Hladina vody je nastavena na kótu bezpečnostního přelivu čítající 547 m n. m. To se podle očekávání projevuje negativně v transformační schopnosti nádrže.

Tabulka 5.3 – Výsledky transformací ve variantě II

Varianta II	PV 20	PV 50	PV 100	PV 500	PV 1000
max. přítok ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	19.1	25.7	32.1	50.4	59.7
max. odtok SV ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	8.5	8.7	8.8	9.1	9.2
max. odtok BP ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	6.2	11.5	16.7	31.9	39.7
max. odtok celkem ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	14.7	20.1	25.5	40.9	48.5
účinnost transformace	23 %	22 %	20 %	19 %	19 %
posun kulminace (min)	47	45	44	41	41

Jak je vidno v tabulce výše (Tabulka 5.3) a na obrázku níže (Obrázek 5.6), účinnost transformace (poměr transformovaného odtoku ku kulminačnímu průtoku povodně) se v této variantě pohybuje kolem 20 %. Již při dvacetileté povodni dochází k výraznému překročení neškodného průtoku. Posun špičky povodňové vlny je rovněž nevýrazný s hodnotou kolem 45 minut.



Obrázek 5.6 – Hydrogram přítoku a odtoků spodní výpustí a bezp. přelivem varianty II při průchodu PV500

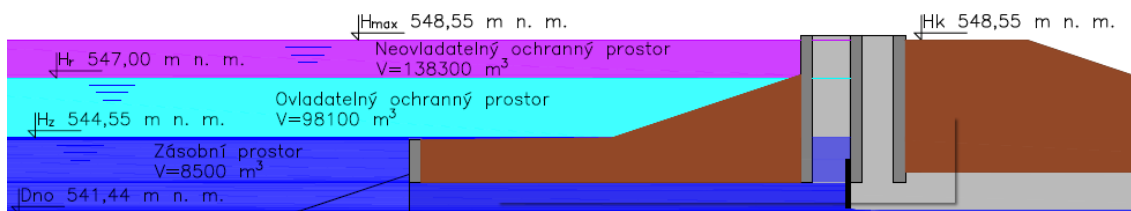
Varianta III – víceúčelová nádrž

Pro tuto variantu byla optimalizována hladina vody v nádrži tak, aby bylo možno zajistit odběry vody a zároveň byla zachována dostatečná ochranná funkce vodního díla. Hladina zásobního prostoru byla stanovena na kótě 544,55 m n. m.

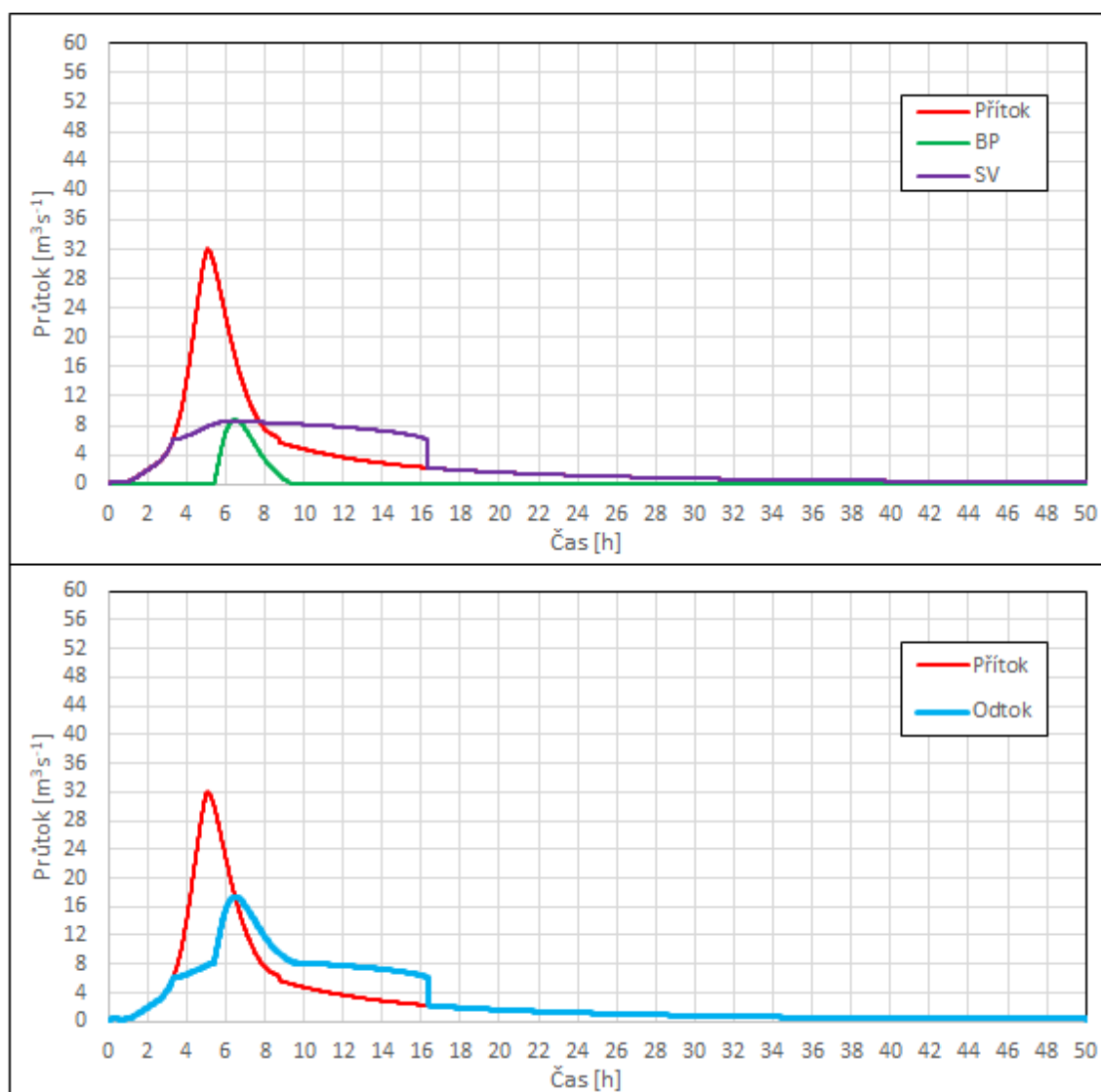
Tabulka 5.4 – Výsledky transformací ve variantě III

Varianta III	PV 20	PV 50	PV 100	PV 500	PV 1000
max. přítok ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	19.1	25.7	32.1	50.4	59.7
max. odtok SV ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	7.8	8.4	8.6	9.0	9.1
max. odtok BP ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	0.0	2.5	8.8	26.1	34.6
max. odtok celkem ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	7.8	10.9	17.4	35.1	43.6
účinnost transformace	59 %	57 %	46 %	30 %	27 %
posun kulminace (min)	114	111	85	59	54

Ochranná funkce nádrže byla potvrzena a dosahuje dobré úrovně. Je tedy vhodné využít tuto variantu rozložení prostor v nádrži.



Obrázek 5.7 – Schéma rozložení prostor v nádrži



Obrázek 5.8 – Hydrogram přítoku a odtoků spodní výpustí a bezp. přelivem varianty III při průchodu PV100

Varianta IV – nádrž s obsluhou

V předchozích variantách nebyla uvažována možnost obsluhy na VD, a tedy ani možnost provádět manipulace, tj. řídit nádrž operativně. Tuto možnost tak zohledňuje varianta IV. Jedná se o řízení nádrže varianty III.

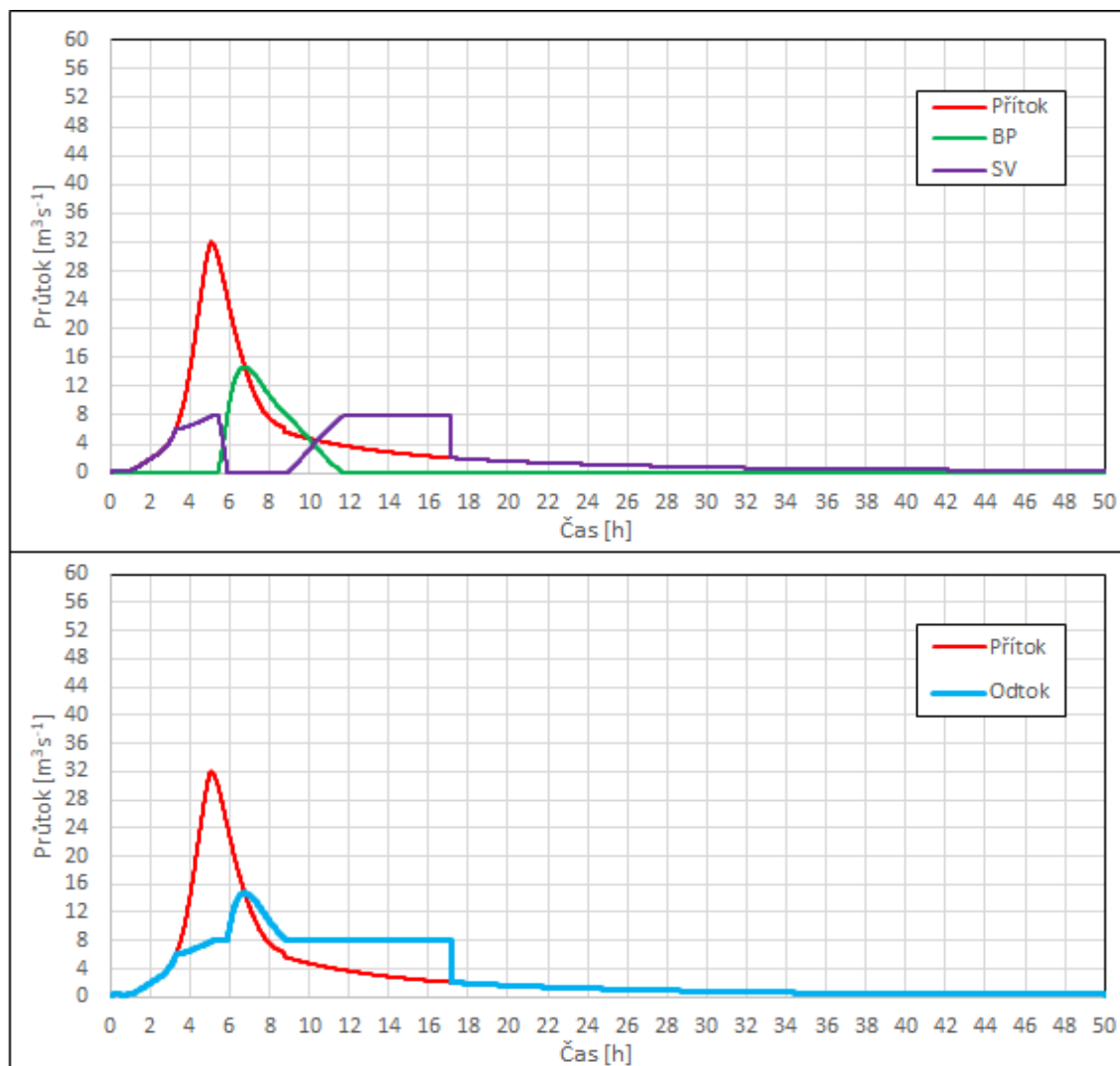
V této variantě bylo simulováno operativní řízení odtoku z nádrže. Vzhledem k charakteru a důležitosti vodního díla nebyla zohledněna možnost zvětšení ochranného prostoru zvýšením odtoku z nádrže s ohledem na předpověď povodně. Manipulováno bylo podle následujících pravidel:

- 1) Při nástupu povodně je hladina udržována na kótě zásobního prostoru, tj. 544,55 m n. m. Toho je docíleno tím, že manipulací se spodní výpustí je odtok udržován roven přítoku, a to až do hodnoty neškodného průtoku, tj. $8,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.
- 2) S rostoucí hladinou je nadále uzavírána spodní výpust a odtok udržován na hodnotě neškodného průtoku.
- 3) Dosáhne-li hladina kóty bezpečnostního přelivu, tj. 547,00 m n. m., započne se uzavírat spodní výpust. Uzavírá se tak, aby odtok celkový, tj. součet odtoků spodní výpustí a bezpečnostním přelivem, byl roven neškodnému průtoku.
- 4) Po úplném uzavření spodní výpusti je manipulace přerušena a vyčkává se, až hladina v nádrži začne klesat.
- 5) Poklesne-li hladina na takovou úroveň, kdy odtok bezpečnostním přelivem klesne pod hodnotu neškodného průtoku, započne se otevírat spodní výpust. Otevírá se tak, aby odtok celkový, tj. součet odtoků spodní výpustí a bezpečnostním přelivem, byl roven neškodnému průtoku.
- 6) S klesající hladinou je nadále otevírána spodní výpust a odtok udržován na hodnotě neškodného průtoku tak, aby byl ochranný prostor nádrže vyprázdněn v co nejkratším čase.
- 7) Po vyprázdnění ochranného prostoru, tj. zaklesne-li hladina na kótu 544,55 m n. m., je nadále tato hladina udržována. Toho je docíleno tím, že manipulací se spodní výpustí je odtok udržován roven přítoku, a to až do hodnoty neškodného průtoku, tj. $8,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Tabulka 5.5 – Výsledky transformací ve variantě IV

Varianta IV	PV 20	PV 50	PV 100	PV 500	PV 1000
max. přítok ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)	19.1	25.7	32.1	50.4	59.7
max. odtok SV ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)	7.8	8.0	8.0	8.0	8.0
max. odtok BP ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)	0.0	4.8	14.7	33.2	41.6
max. odtok celkem ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)	7.8	8.0	14.7	33.2	41.6
<i>účinnost transformace</i>	59 %	69 %	54 %	34 %	30 %
posun kulminace (min)	114	33	102	65	58

Tabulka 5.5 shrnuje výsledky transformační schopnosti této varianty rozložení prostor v nádrži. Ta je na velice dobré úrovni. Tento průběh je viditelný na hydrogramu níže (Obrázek 5.9).



Obrázek 5.9 – Hydrogram přítoku a odtoků spodní výpustí a bezp. přelivem varianty IV při průchodu PV100

Jelikož se jedná o modifikovanou variantu III, a ta samotná zjevně poskytuje dobrou transformační schopnost a tím i dobrou protipovodňovou ochranu, jsou výsledky operativním řízením odtoku ještě vylepšeny. Zároveň je dostatečně zajištěna zabezpečení odběrů technologické vody pro úpravnu vody.

Zhodnocení variant

Porovnání jednotlivých variant uvádí Tabulka 5.6.

Tabulka 5.6 – Souhrn výsledků transformací ve variantách I až IV

Varianta	Hz	Vz	PV 20	PV 50	PV 100	PV 500	PV 1000
	m n. m.	m ³	m ³ s ⁻¹	m ³ s ⁻¹	m ³ s ⁻¹	m ³ s ⁻¹	m ³ s ⁻¹
Bez VD	-	-	19.1	25.7	32.1	50.4	59.7
I	542.00	0	7.8	10.4	10.0	27.0	35.0
II	547.00	106631	14.7	20.1	25.5	40.9	48.5
III	544.55	8051	7.8	10.9	17.4	35.1	43.6
IV	544.55	8051	8.0	8.1	13.9	32.6	41.0

Z ní je mimo jiné patrné, že z hlediska protipovodňové ochrany je nejméně vhodná *varianta II*. Naopak jako vhodná se jeví *varianta III*, která dokáže obstojně zajišťovat jak funkci zásobní, tak i funkci ochrannou. Jako nejvhodnější se pak jeví *varianta IV*, kdy vhodnou manipulací se spodní výpustí lze docílit zlepšení transformačního účinku nádrže až na hodnoty srovnatelné s *variantou I* – suchou nádrží. Nevýhodou je nutnost výměny uzávěru spodní výpusti za takový, aby byla umožněna plynulá manipulace (nahrazení stavidlového uzávěru např. za šoupě), navíc tato možnost vyžaduje přítomnost obsluhy a její schopnost řízení odtoku. Varianty *I až III* vlastně pracují se stávající konstrukcí, kdežto *varianta IV* vyžaduje stavební úpravy.

5.4 Bezpečnost za povodně

Vodní dílo je z hlediska technickobezpečnostního dohledu zařazeno do III. kategorie. To znamená, že pro stanovení bezpečnosti vodního díla za povodně je potřeba užít 1000leté povodňové vlny (*PVI000*) – takzvané „kontrolní povodňové vlny“ (*KPV*). Vodní dílo je vyhovující, pokud mezní kontrolní maximální hladina (*KMH*) je nižší, mezní bezpečná hladina (*MBH*). Musí tedy platit nerovnost (5.6) [20]

$$MBH \geq KMH \quad (5.6)$$

Jedná se o sypanou homogenní hráz. Pro hráze tohoto typu je z pravidla rozhodující bezpečnost proti přelítí hráze, proto bude při určení kóty mezní bezpečné hladiny (*MBH*), tj. nejvyšší možné kóty hladiny vody, při které ještě není ohrožena bezpečnost vodního díla, vycházeno z kóty koruny hráze (548,55 m n. m.). Dále je nutné zohlednit výšku výběhu větrových vln $h_{v13\%} = 0,39 \text{ m}$ (výpočet viz kapitola 4.3).

Kóta mezní bezpečné hladiny pro vodní dílo byla stanovena na hodnotu ***MBH = 548,16 m n. m.***

Posouzení

Posouzení bezpečnosti při povodni bylo provedeno podle metodického pokynu Ministerstva životního prostředí. [20] Při něm bylo uvažováno s rozložením prostor v nádrži ve *variantě III* z kapitoly 5.3. Vodní dílo bylo vystaveno třem zatěžovacím stavům, při nichž byla zjišťována kontrolní maximální hladina v nádrži (*KMH*).

Prvním zatěžovacím stavem je situace, kdy je hladina zásobního prostoru na kótě 544,55 m n. m. a všechna zařízení jsou plně funkční, ale není s nimi manipulováno. Při průchodu *PVI000* maximální hladina vystoupá na kótu 548,27 m n. m.

***KMH > MBH* → NEVYHOVUJE**

Ve druhém zatěžovacím stavu je hladina zásobního prostoru udržována na kótě 544,55 m n. m. Bezpečnostní přeliv je plně funkční. Dochází však k zanešení česlové stěny

před spodní výpustí a její kapacita je tak snížena na jednu třetinu. Při průchodu *PVI000* maximální hladina dosáhne kóty 548,46 m n. m.

$KMH > MBH \rightarrow$ NEVYHOVUJE

Třetí zatěžovací stav představuje nejhorší možnost – selhání spodní výpusti. Hladina je v počátku průchodu *PVI000* na kótě 544,55 m n. m. Bezpečnostní přeliv zůstává plně funkční. Hladina vystoupá na maximální úroveň 548,55 m n. m.

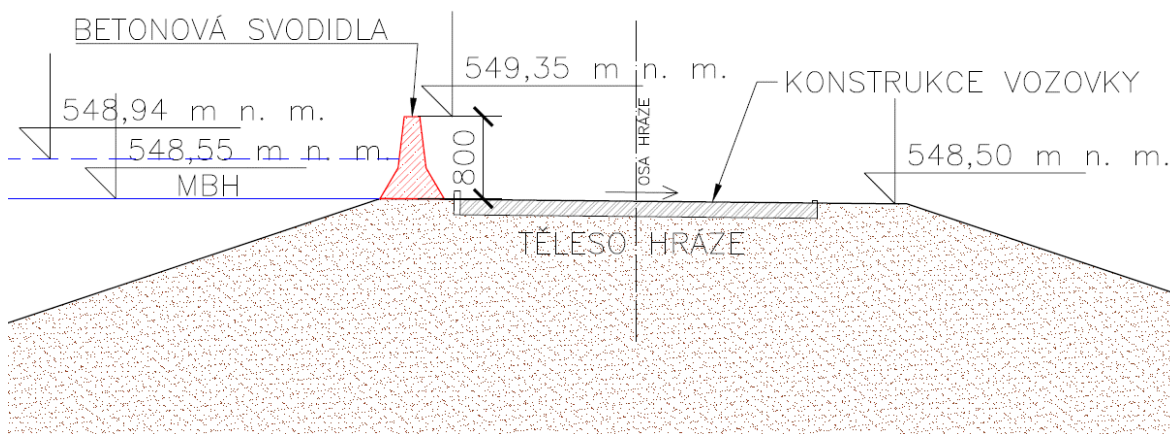
$KMH > MBH \rightarrow$ NEVYHOVUJE

Nápravná opatření

Hladina vody v nádrži ani při nejnepříznivější variantě nepřekročí kótu koruny hráze. Problematické je tedy především riziko větrových vln. Mohlo by jimi dojít k přelití hráze, následné erozi vzdušního svahu, která by mohla vést až k prolomení hráze, a tím ke vzniku zvláštní povodně.

Navrženo je opatřit korunu hráze vlnolamy. Tyto budou tvořeny betonovými svodidly jinak běžně užívanými v dopravním stavitelství. Svodidla výšky 800 mm budou osazena vedle konstrukce vozovky a jejich koruna bude na kótě 549,35 m n. m. Tím bude zaručeno dostatečné bezpečnostní převýšení. Kótu mezní bezpečné hladiny (MBH) tak lze posunout na kótu koruny hráze, tj. 548,55 m n. m. Tím je splněna podmínka bezpečnosti vodního díla za povodně.

$KMH = MBH \rightarrow$ VYHOVUJE



Obrázek 5.10 – Návrh opatření na koruně hráze

Další z možností je vytvoření nouzového přelivu v pravobřežním závázání hráze. Toto opatření je sice náročnější na realizaci, ale za to vizuálně přívětivější. Nouzový přeliv by byl tvořen opevněným zemním průlehem délky 20 m. Kóta přelivu by byla ve výšce 547,25 m n. m. Na něj by dále navazovalo odpadní koryto s kapacitou $23 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, které by bylo pod hrází zaústěno do koryta toku. Při průchodu kontrolní povodňové vlny vystoupá hladina na kótu 548.16 m n. m., což vyhovuje posouzení bezpečnosti.

KMH = MBH → VYHOVUJE



Obrázek 5.11 – Schéma návrhu nouzového přelivu

6. ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo zjištění možností využití stávající suché nádrže v kontextu aktuální problematiky boje proti hydrologickému suchu a zajištění zásobování obyvatelstva pitnou vodou.

Průzkumnou obchůzkou vodního díla byly zjištěny základní popisné charakteristiky jeho funkčních objektů a byla pořízena fotodokumentace. Podstatná část popisu, a to především hydraulických vlastností, byla převzata ze zapůjčené projektové dokumentace.

Získané údaje byly zpracovány a byly z nich vypočteny konsumční křivky objektů. Dále byly sestrojeny charakteristické čáry nádrže. Rovněž byla extrapolována základní sada hydrologických údajů poskytovaných ČHMÚ a vypočteny průběhy dalších povodňových vln. Jako podklad pro další výpočty byla vypočtena výška výběhu větrových vln.

V následující části bylo provedeno vodohospodářské řešení vodní nádrže. Pro potřeby bilance nádrže byl určen průsak tělesem hráze. Základní objemovou bilancí bylo zjištěno, že nádrž je možno naplnit během jednoho roku. Obdobným postupem bylo vypočteno i plnění nádrže.

V další části byly navrženy čtyři varianty rozložení prostor nádrže. Od varianty suché nádrže přes variantu čistě zásobní nádrže až po nádrž víceúčelovou. Spíše idealistickou, přesto však reálnou variantou pak byla ta, ve které bylo uvažováno s trvalou obsluhou vodního díla, která by prováděla manipulace. Správná zásobní funkce nádrže byla řešena s důrazem na požadovanou zabezpečení odběrů vody. Všechny varianty byly zatíženy povodňovými vlnami, které více či méně úspěšně transformovaly a tím zvýšily ochranu níže ležícího městysu. Ochranná funkce nádrže byla porovnávána snížením kulminačního průtoku a oddálením doby kulminace povodňové vlny. Potvrzena byla i původní funkce suché nádrže, která byla zahrnuta mezi variantami.

Poslední část této práce se zabírala posouzením bezpečnosti vodního díla za povodně. Toto bylo provedeno standardním postupem podle metodického pokynu Ministerstva životního prostředí. Posuzovaná varianta tomuto posouzení nevyhověla. Byla navržena nápravná opatření. Jedno z nich uvažuje s navýšením koruny v podobě betonových vlnolamů. Další opatření je trvalejšího charakteru a spočívá ve vybudování nouzového přelivu. Obě možnosti byly znovu posouzeny a vodní dílo s nimi vyhovuje z hlediska bezpečnosti za povodní.

Procesy provedenými v této práci byly zjištěny následující skutečnosti:

1. Základní charakteristiky, dimenze vodního díla a popis jeho technického stavu
2. Vstupní data pro následné řešení funkce nádrže
3. Variantní vodohospodářské řešení a vyhodnocení nejvhodnější varianty
4. Vhodné varianty nevyhovují posouzení bezpečnosti vodního díla za povodní
5. Možnosti nápravy nevyhovujícího stavu z hlediska bezpečnosti za povodní

7. SEZNAMY

7.1 Citované zdroje

1. VLČEK, Vladimír a kol. *Vodní toky a nádrže*. Praha : Academia, 1984.
2. Český úřad zeměměřický a katastrální. Základní mapy ČR. *Geoportál ČÚZK*. [Online] <http://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec>.
3. BROŽA, Vojtěch a kolektiv. *Přehrady Čech, Moravy a Slezska*. Liberec : KNIHY 555, 2005. ISBN 80-86660-11-7.
4. Povodí Moravy, s. p. VD Landštejn. *Povodí Moravy*. [Online] Únor 2016. <http://www.pmo.cz/cz/uzitecne/vodni-dila/landstejn/>.
5. JANDA, Martin a Lubomír, ŠETINA. Závěrečná zpráva o výsledcích IG průzkumu. *PD Suchá ochranná nádrž Staré Město pod Landštejnem*. Křemže : autor neznámý, 2007.
6. Česká geologická služba. Geologická mapa 1:50 000. *Česká geologická služba*. [Online] Česká geologická služba. [Citace: 23. Březen 2017.] http://mapy.geology.cz/geocr_50/.
7. RŮŽIČKA, Martin. „Suchá ochranná nádrž Staré Město pod Landštejnem“. *Projektová dokumentace*. Jindřichův Hradec : Alcedo, 2007.
8. Povodí Moravy. Manipulační řád VD Landštejn. Brno : autor neznámý, 2016.
9. PRAGER, Zdeněk. Rekonstrukce úpravny vody u Landštejna přišla na 43 milionů korun. *Jindřichohradecký deník*. [Online] 1. Říjen 2018. [Citace: 21. 11 2018.] https://jindrichohradecky.denik.cz/zpravy_region/rekonstrukce-upravny-vody-u-landstejna-prisla-na-43-milionu-korun-20180923.html.
10. KOLÁŘ, Václav, Cyril, PATOČKA a Jiří, BÉM. *Hydraulika*. Praha : SNTL, 1983. L17-C3-V-41/78 115.
11. Český úřad zeměměřický a katastrální. *Prohlížeč služba WMS - DMR 5G (Stínovaný model reliéfu)*. 2018.
12. KEJDANOVÁ, Pavla. *Vizualizace zátopy suché retenční nádrže Staré Město pod Landštejnem*. University of Ljubljana, Lublaň : 2018.
13. Povodí Moravy, s. p. Výroční zpráva 2011. *Portál eAGRI*. [Online] 2012. [Citace: 8. Prosinec 2018.] http://eagri.cz/public/web/file/191733/pmo_vyrocní_zprava_2011_nahled_web_final_a.pdf.
14. Český hydrometeorologický ústav. *Mapa větrných oblastí na území ČR*. 2006.

15. **VRÁNA, Karel a BERAN, Jan.** *Rybníky a účelové nádrže*. Praha : ČVUT, 2005. ISBN 80-01-02570-5.
16. **Ministerstvo životního prostředí.** Metodický pokyn odboru ochrany vod MŽP ke stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků ve vodních tocích. *Věstník 5/98*. 1998.
17. **ČSN 75 2410.** *Malé vodní nádrže*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
18. **VOTRUBA, Ladislav a Vojtěch BROŽA.** *Hospodaření s vodou v nádržích*. Praha : SNTL, 1966.
19. **PATERA, Adolf a Karel, NACHÁZEL a Pavel FOŠUMPAUR.** *Nádrže a vodohospodářské soustavy 10*. Praha : ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02620-5..
20. **Ministerstvo životního prostředí ČR.** Metodický pokyn odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí k posuzování bezpečnosti přehrad za povodní . *Věstník 4/99*. 1999.
21. **KEMEL, Miroslav.** *Klimatologie, meteorologie, hydrologie*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-01-01456-8.
22. **HOLTANOVÁ Eva, Petr SKALÁK.** *Mapy charakteristik klimatu. Český hydrometeorologický ústav*. [Online] [Citace: 5. Březen 2017.] <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mapy-charakteristik-klimatu#>.
23. **BROŽA, Vojtěch a kolektiv.** *Přehrady*. Praha : SNTL/ALFA, 1987. L17-C3-IV-31f/78 294.
24. **BROŽA, Vojtěch a Ladislav, SATRAPA.** *HYDROTECHNICKÉ STAVBY 10 Přehrady*. Praha : ČVUT, 2000.
25. **Česká geologická služba.** Půdní mapa 1:50 000. *Mapové aplikace - Česká geologická služba*. [Online] Česká geologická služba, 2014. [Citace: 3. Duben 2017.] <http://mapy.geology.cz/pudy/>.
26. **Český úřad zeměměřický a katastrální.** *Nahlížení do katastru nemovitostí. ČÚZK*. [Online] Český úřad zeměměřický a katastrální. [Citace: 3. Duben 2017.] <http://sgi.nahlizenidokn.cuzk.cz/marushka/default.aspx?themeid=3&&MarQueryId=6D2BCEB5&MarQParam0=777650&MarQParamCount=1&MarWindowName=Marushka>.
27. **Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka.** *Charakteristiky toků a povodí ČR. DIBAVOD*. [Online] 2006. [Citace: 28. Únor 2017.] <http://www.dibavod.cz>.
28. **Kolektiv pracovníků hydrometeorologického ústavu.** *Hydrologické poměry Československé socialistické republiky, díl III.* [editor] ZÍTEK Josef. [305 stran + 9 map]. Praha : HMÚ, 1970.
29. **ČSN 75 0255.** *Výpočet účinků vln na stavby na vodních nádržích a zdržích*. 1988.

7.2 Seznam obrázků

Text práce:

- Obrázek 2.1 – Mapa řešené lokality s vyznačením suché nádrže
Obrázek 2.2 – Geologická mapa řešené lokality
Obrázek 2.3 – Hydrogram tisícileté povodňové vlny
Obrázek 2.4 – Graf a tabulka objemů technologické vody
Obrázek 3.1 – Příčný řez tělesem hráze
Obrázek 3.2 – Řez manipulačním objektem
Obrázek 3.3 – Konsumční křivka spodní výpusti
Obrázek 3.4 – Pohled na bezpečnostní přeliv
Obrázek 3.5 – Konsumční křivka bezpečnostního přelivu
Obrázek 3.6 – Charakteristické čáry nádrže
Obrázek 4.1 – Hydrogramy povodňových vln
Obrázek 5.1 – Schéma hráze s vykreslením průsakové křivky
Obrázek 5.2 – Průběh plnění nádrže při dodržení MZP
Obrázek 5.3 – Průběh plnění nádrže při dodržení odtoku $0,03 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$
Obrázek 5.4 – Průběh náplní nádrže během roku
Obrázek 5.5 – Průběh hladiny v nádrži varianty I při průchodu PV20
Obrázek 5.6 – Hydrogram přítoku a odtoků spodní výpustí a bezp. přelivem varianty II při průchodu PV500
Obrázek 5.7 – Schéma rozložení prostor v nádrži
Obrázek 5.8 – Hydrogram přítoku a odtoků spodní výpustí a bezp. přelivem varianty III při průchodu PV100
Obrázek 5.9 – Hydrogram přítoku a odtoků spodní výpustí a bezp. přelivem varianty IV při průchodu PV100
Obrázek 5.10 – Návrh opatření na koruně hráze
Obrázek 5.11 – Schéma návrhu nouzového přelivu

Přílohy:

- Obrázek 8.1 – Transformace PV20 ve variantě I
Obrázek 8.2 – Transformace PV50 ve variantě I
Obrázek 8.3 – Transformace PV100 ve variantě I
Obrázek 8.4 – Transformace PV500 ve variantě I
Obrázek 8.5 – Transformace PV1000 ve variantě I
Obrázek 8.6 – Transformace PV20 ve variantě II
Obrázek 8.7 – Transformace PV50 ve variantě II
Obrázek 8.8 – Transformace PV100 ve variantě II
Obrázek 8.9 – Transformace PV500 ve variantě II
Obrázek 8.10 – Transformace PV1000 ve variantě II

- Obrázek 8.11 – Transformace PV20 ve variantě III
Obrázek 8.12 – Transformace PV50 ve variantě III
Obrázek 8.13 – Transformace PV100 ve variantě III
Obrázek 8.14 – Transformace PV500 ve variantě III
Obrázek 8.15 – Transformace PV1000 ve variantě III
Obrázek 8.16 – Transformace PV20 ve variantě IV
Obrázek 8.17 – Transformace PV50 ve variantě IV
Obrázek 8.18 – Transformace PV100 ve variantě IV
Obrázek 8.19 – Transformace PV500 ve variantě IV
Obrázek 8.20 – Transformace PV1000 ve variantě IV
Obrázek 8.21 – Pohled na vzdušný svah hráze
Obrázek 8.22 – Pohled na návodní svah hráze
Obrázek 8.23 – Vyústění odpadního a drenážního potrubí
Obrázek 8.24 – Zařízení manipulačního objektu
Obrázek 8.25 – Odpadní koryto bezpečnostního přelivu
Obrázek 8.26 – Pohled na těleso hráze ze zátopy

7.3 Seznam tabulek

Text práce:

- Tabulka 2.1 – N-leté průtoky v profilu hráze suché nádrže
- Tabulka 2.2 – N-leté průtoky v profilu hráze VD Landštejn
- Tabulka 3.1 – Základní charakteristiky nádrže (podrobně viz přílohy)
- Tabulka 4.1 – Extrapolované N-leté průtoky pro profil suché nádrže
- Tabulka 4.2 – Extrapolované N-leté průtoky pro profil VD Landštejn
- Tabulka 4.3 – Tabulka paprsků pro výpočet Lef
- Tabulka 5.1 – Měsíční bilance při plnění nádrže
- Tabulka 5.2 – Výsledky transformací ve variantě I
- Tabulka 5.3 – Výsledky transformací ve variantě II
- Tabulka 5.4 – Výsledky transformací ve variantě III
- Tabulka 5.5 – Výsledky transformací ve variantě IV
- Tabulka 5.6 – Souhrn výsledků transformací ve variantách I až IV

Přílohy:

- Tabulka 8.1 – Konsumční křivka spodní výpusti
- Tabulka 8.2 – Konsumční křivka bezpečnostního přelivu
- Tabulka 8.3 – Charakteristické čáry nádrže

8. PŘÍLOHY

8.1 Tabulky

Tabulka 8.1 – Konsumční křivka spodní výpusti

Z	h	Q	Z	h	Q
<i>m</i>	<i>m n. m.</i>	$m^3 s^{-1}$	<i>m</i>	<i>m n. m.</i>	$m^3 s^{-1}$
0.00	541.44	0.00	2.00	543.44	4.92
0.25	541.69	1.74	3.00	544.44	6.03
0.50	541.94	2.46	4.00	545.44	6.96
1.00	542.44	3.48	5.00	546.44	7.79
1.25	542.69	3.89	6.00	547.44	8.53
1.50	542.94	4.26	6.75	548.19	9.05
1.75	543.19	4.61	7.56	549.00	9.57

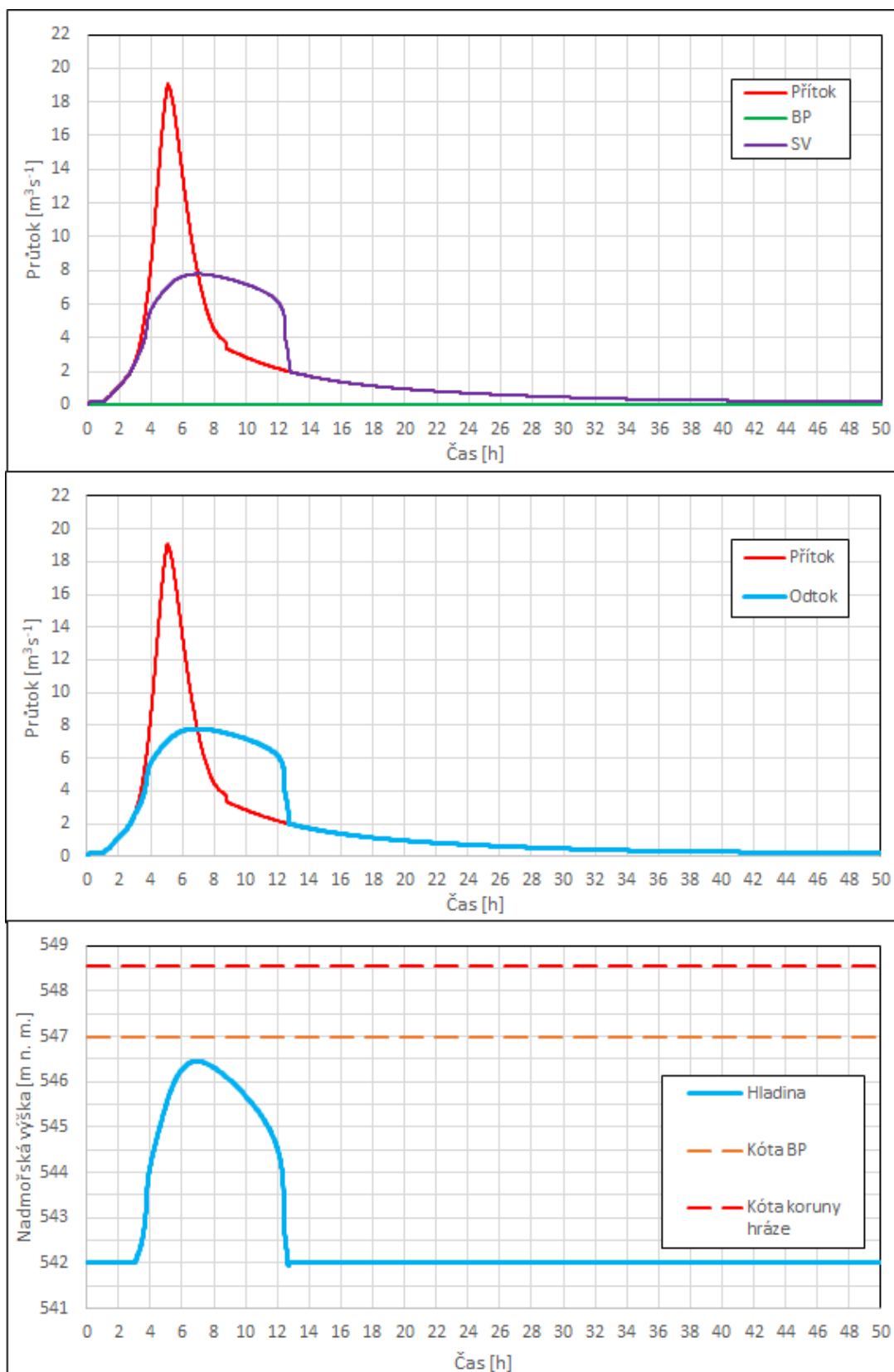
Tabulka 8.2 – Konsumční křivka bezpečnostního přelivu

H	Q	H	Q
<i>m</i>	$m^3 s^{-1}$	<i>m</i>	$m^3 s^{-1}$
0.00	0.00	1.10	27.80
0.10	0.76	1.20	31.68
0.20	2.16	1.30	35.72
0.30	3.96	1.40	39.92
0.40	6.10	1.50	44.27
0.50	8.52	1.60	48.77
0.60	11.20	1.70	53.41
0.70	14.11	1.80	58.19
0.80	17.24	1.90	63.11
0.90	20.57	2.00	68.15
1.00	24.10		

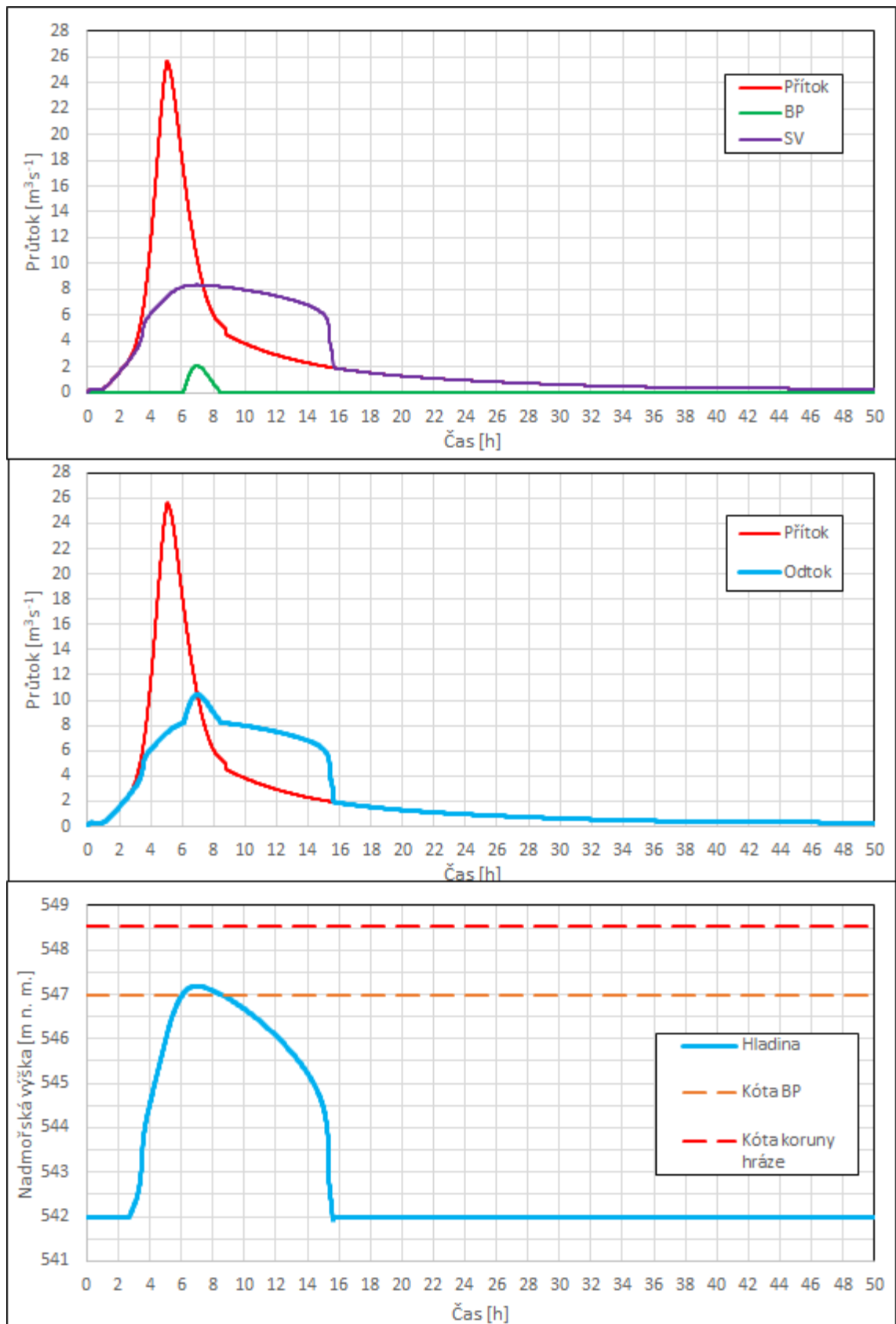
Tabulka 8.3 – Charakteristické čáry nádrže

Kóta <i>m n. m.</i>	Hloubka <i>m</i>	Plocha <i>m²</i>	Objem <i>m³</i>	Kóta <i>m n. m.</i>	Hloubka <i>m</i>	Plocha <i>m²</i>	Objem <i>m³</i>
542.00	0	0	0	545.50	3.50	35565	30874
542.25	0.25	30	4	545.75	3.75	40773	40417
542.50	0.50	110	21	546.00	4.00	46294	51300
542.75	0.75	237	65	546.25	4.25	50438	63392
543.00	1.00	454	151	546.50	4.50	55950	76690
543.25	1.25	995	332	546.75	4.75	59877	91168
543.50	1.50	1760	677	547.00	5.00	65447	106834
543.75	1.75	3687	1357	547.25	5.25	72110	124029
544.00	2.00	5782	2541	547.50	5.50	79610	142994
544.25	2.25	8861	4371	547.75	5.75	88727	164036
544.50	2.50	13099	7116	548.00	6.00	96528	187193
544.75	2.75	18350	11048	548.25	6.25	103215	212160
545.00	3.00	23320	16256	548.50	6.50	111434	238992
545.25	3.25	29030	22800	548.55	6.55	128510	244990

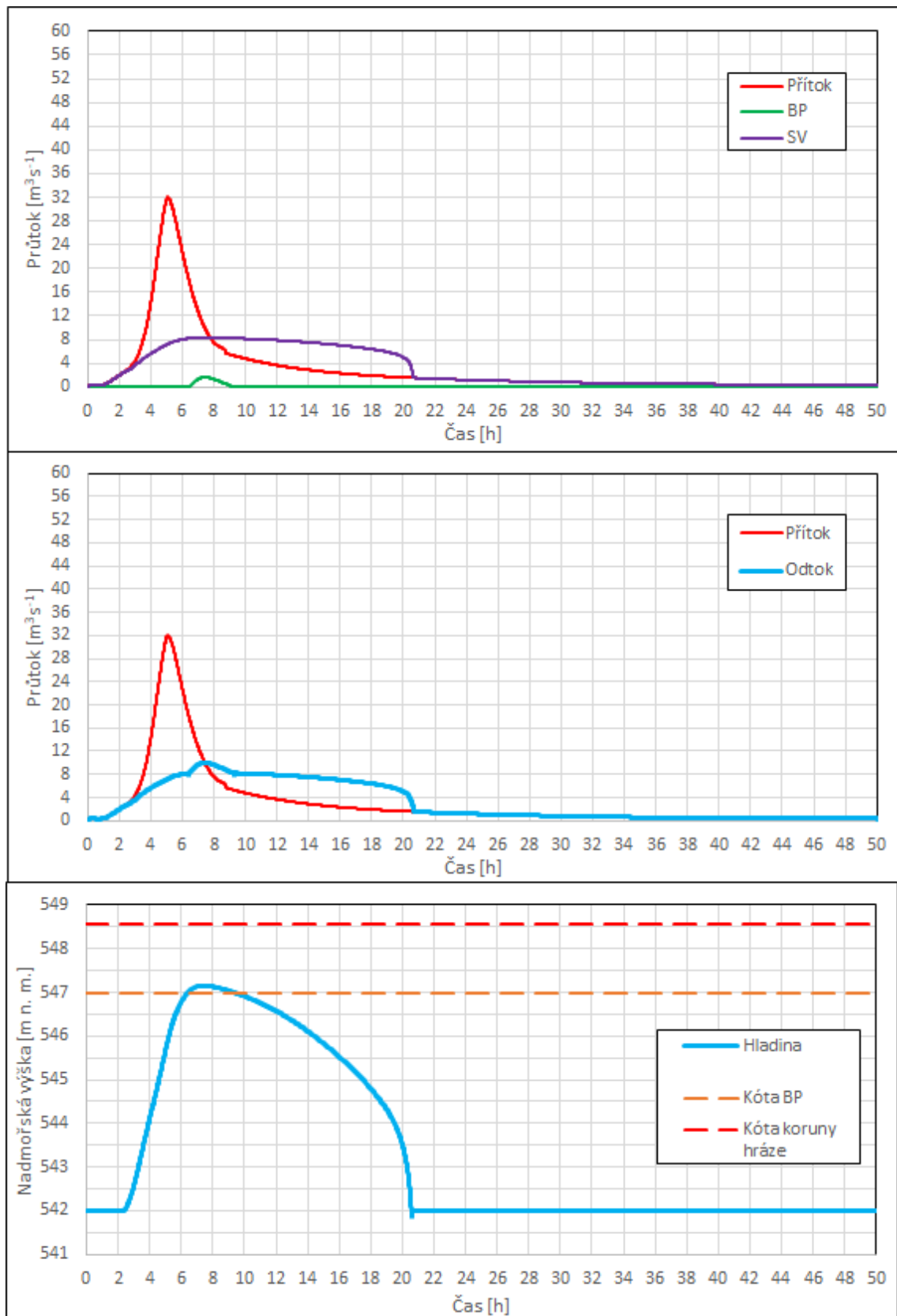
8.2 Obrázky



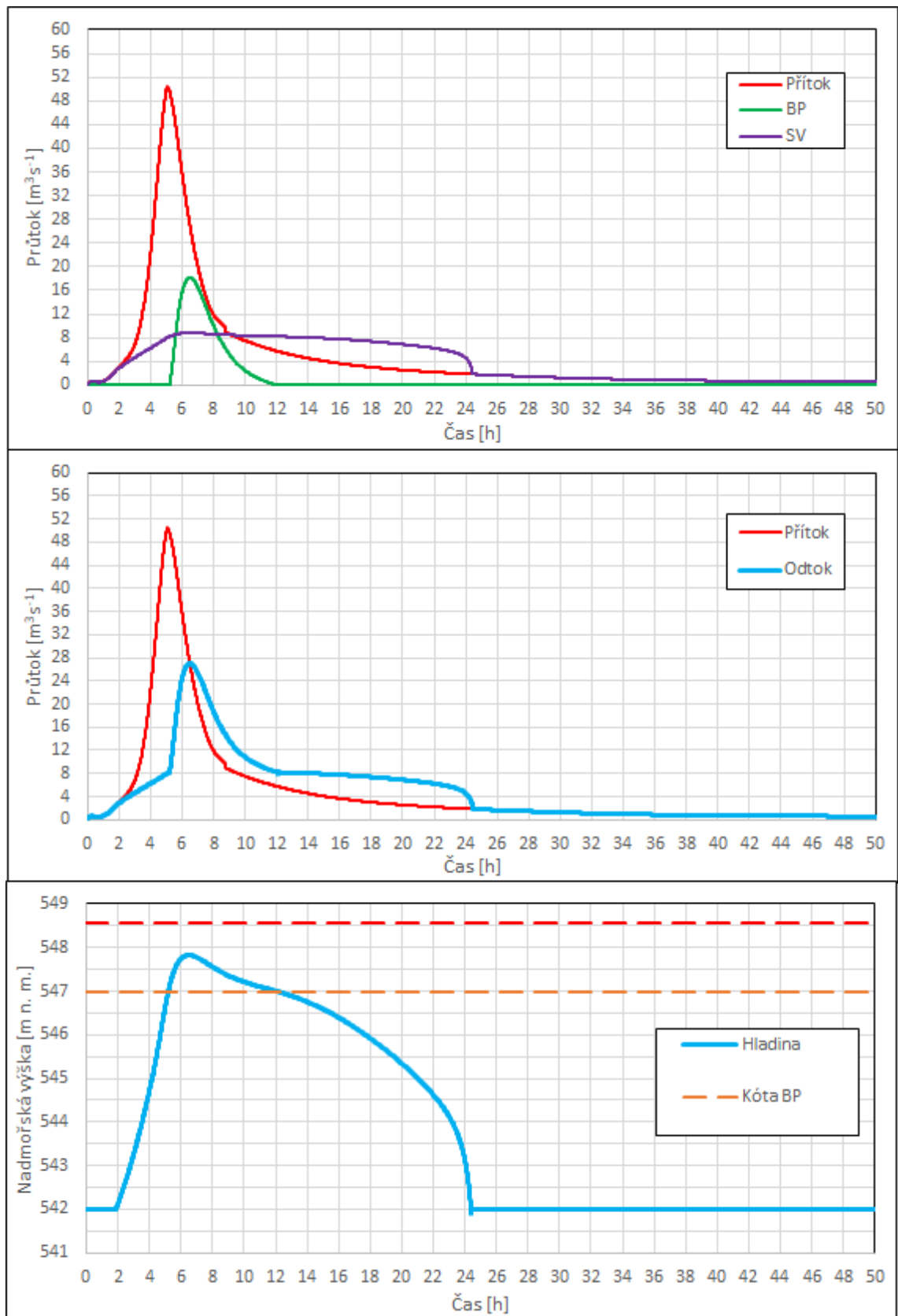
Obrázek 8.1 – Transformace PV20 ve variantě I



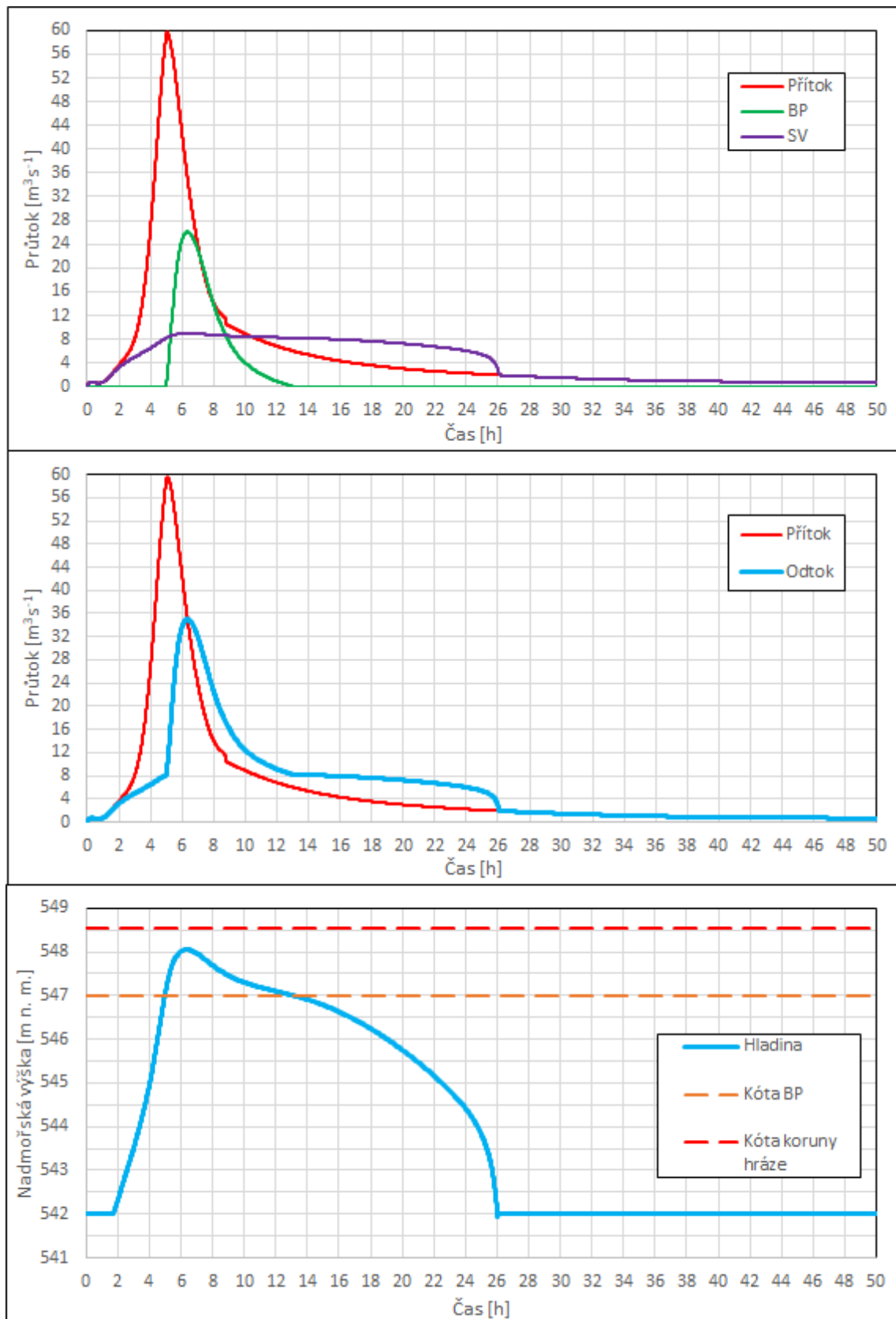
Obrázek 8.2 – Transformace PV50 ve variantě I



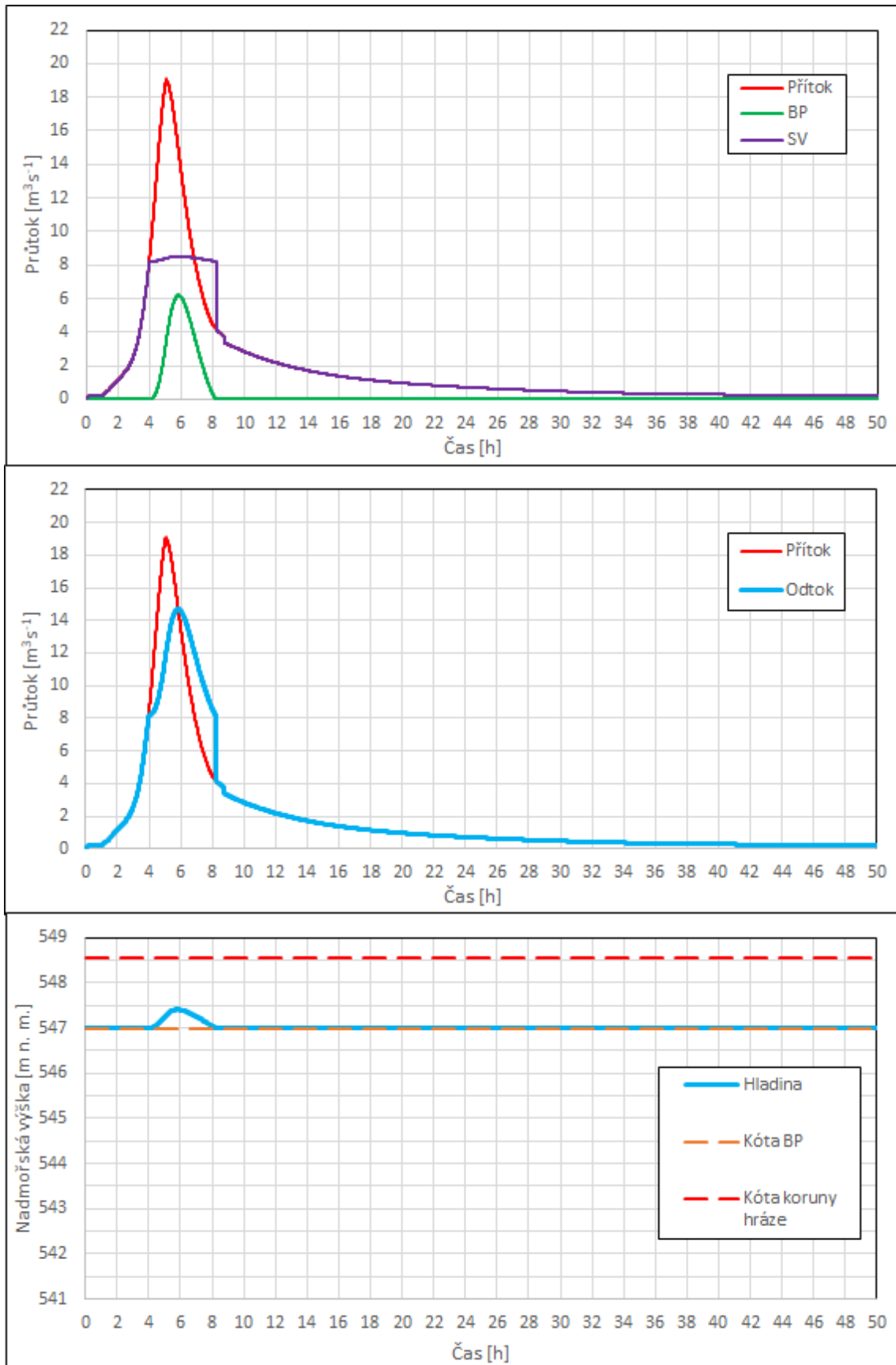
Obrázek 8.3 – Transformace PV100 ve variantě I



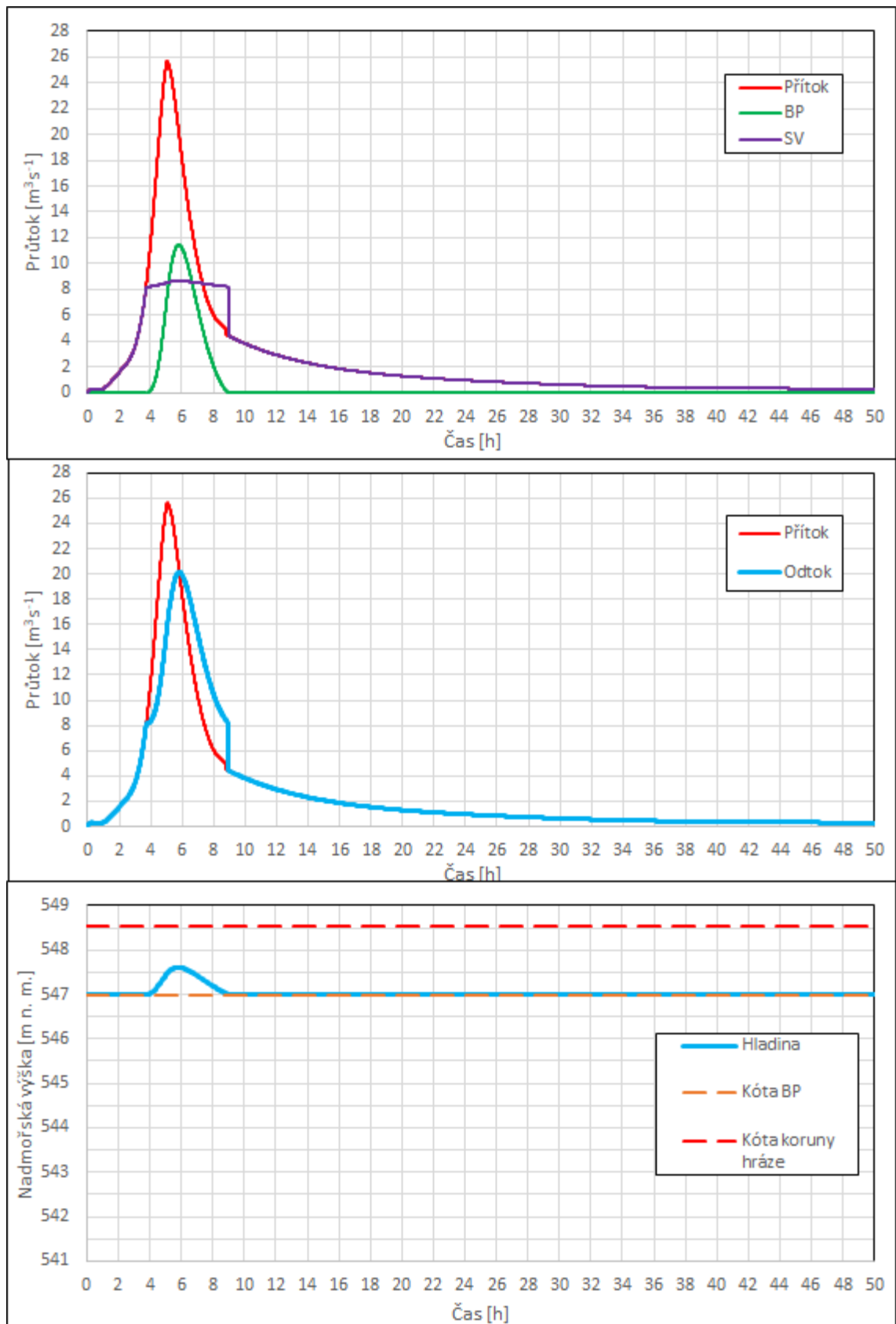
Obrázek 8.4 – Transformace PV500 ve variantě I



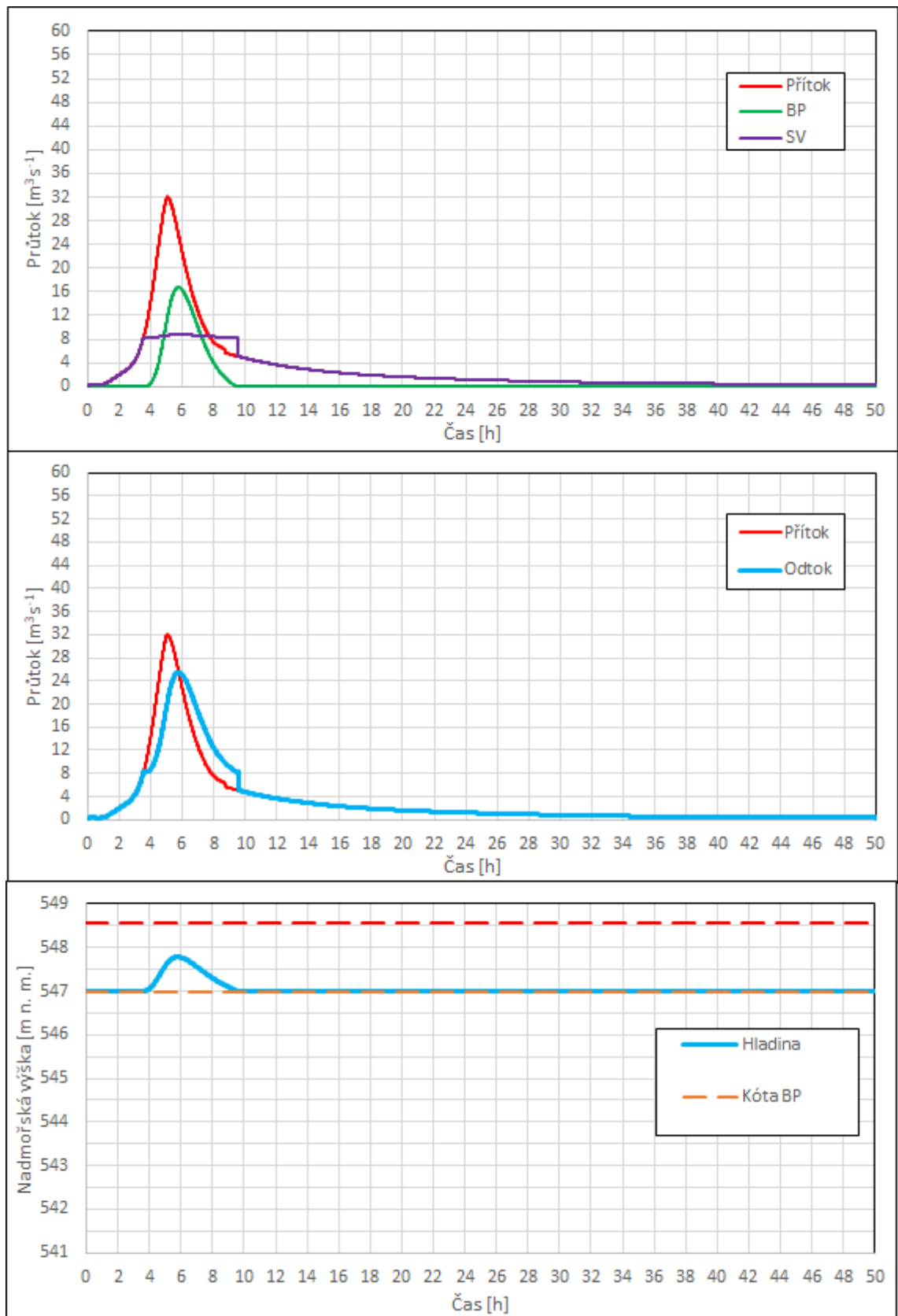
Obrázek 8.5 – Transformace PV1000 ve variantě I



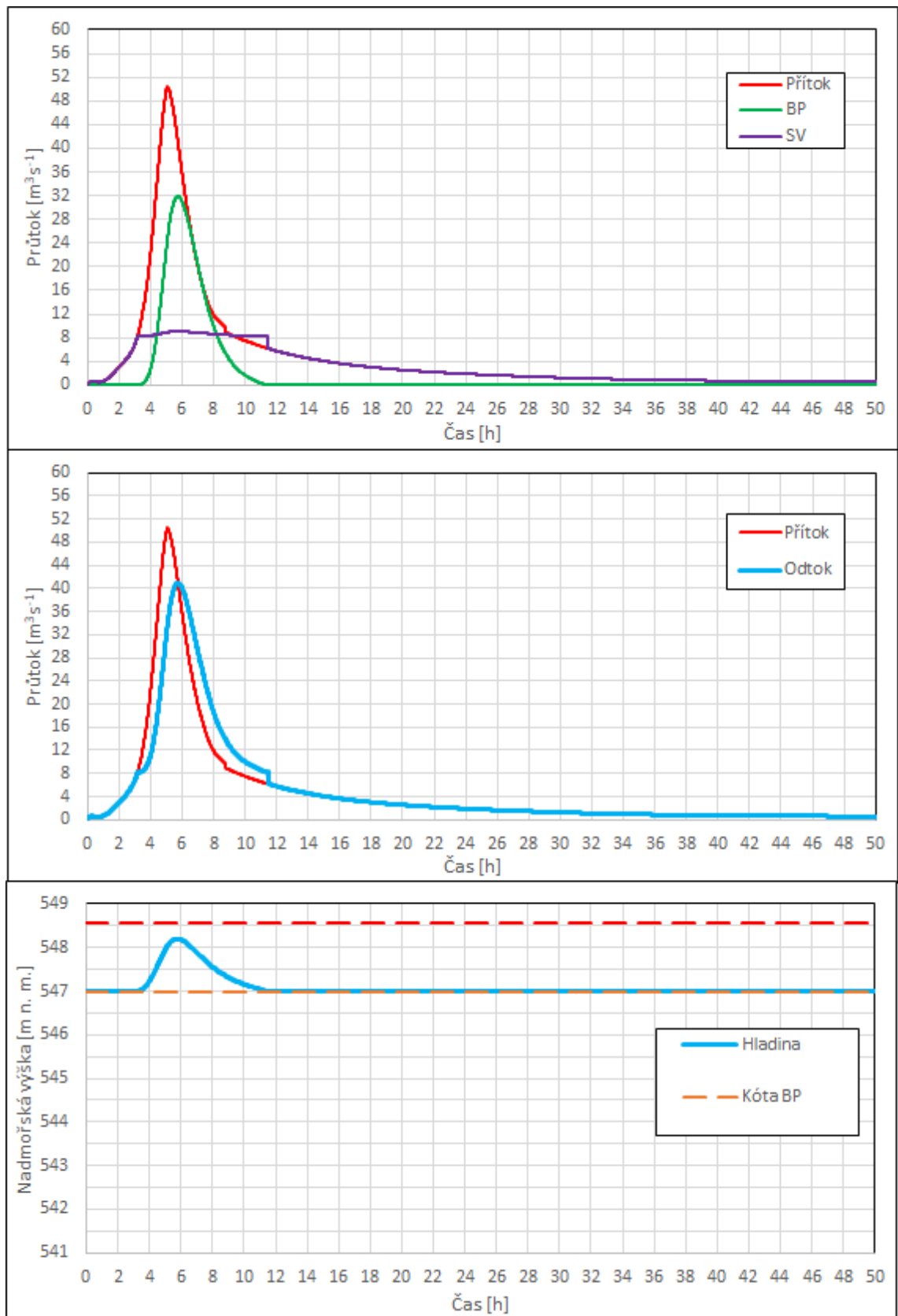
Obrázek 8.6 – Transformace PV20 ve variantě II



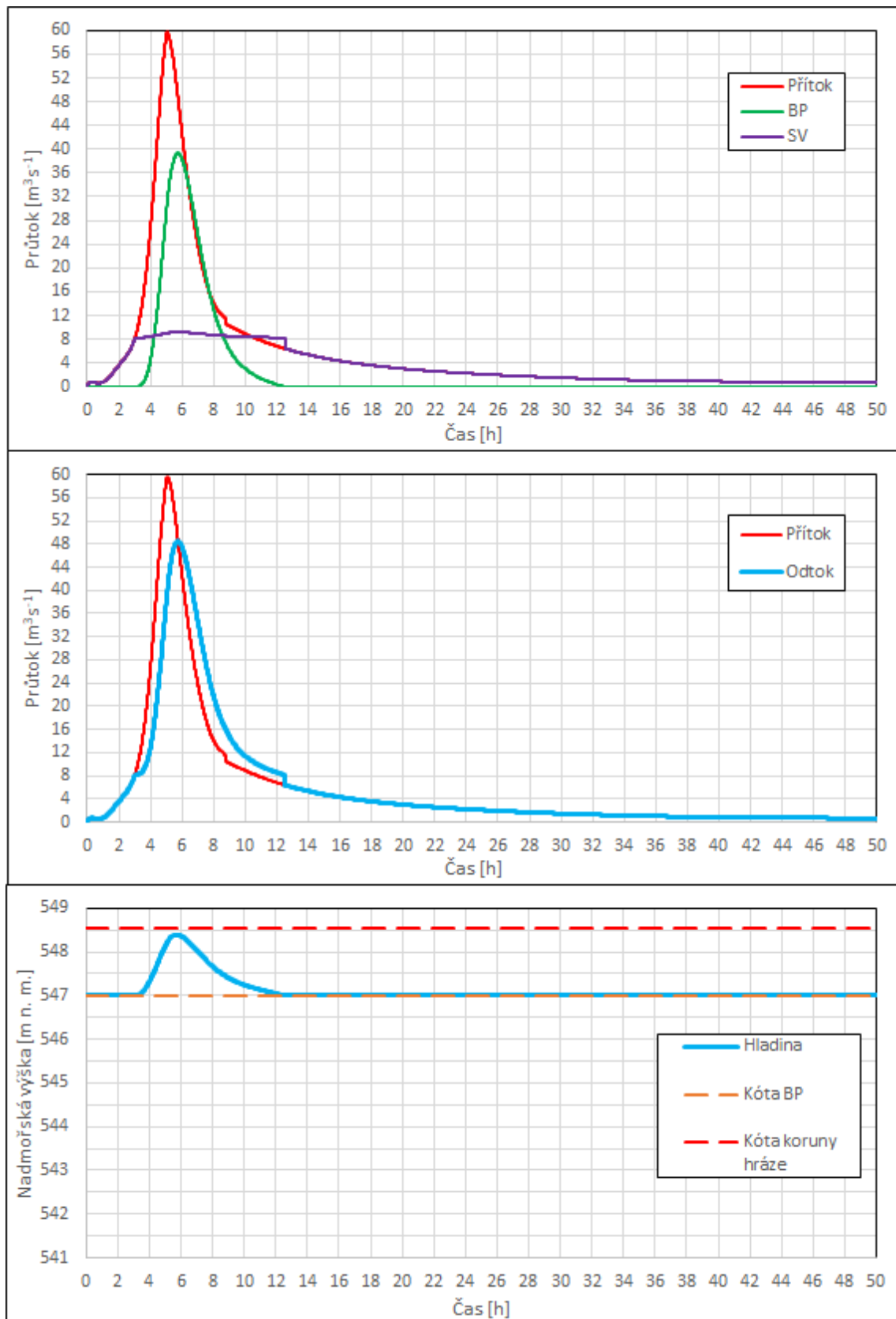
Obrázek 8.7 – Transformace PV50 ve variantě II



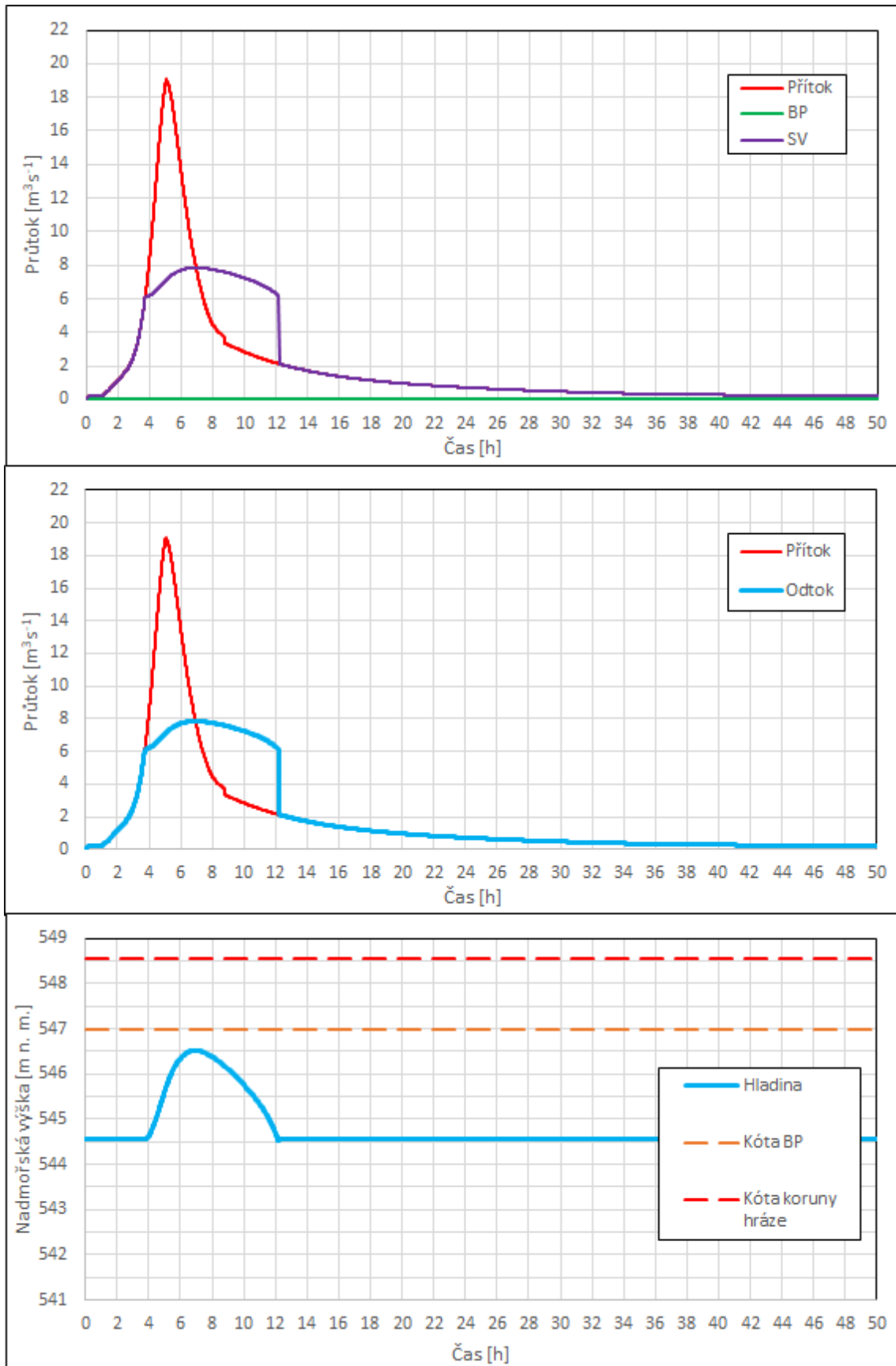
Obrázek 8.8 – Transformace PV100 ve variantě II



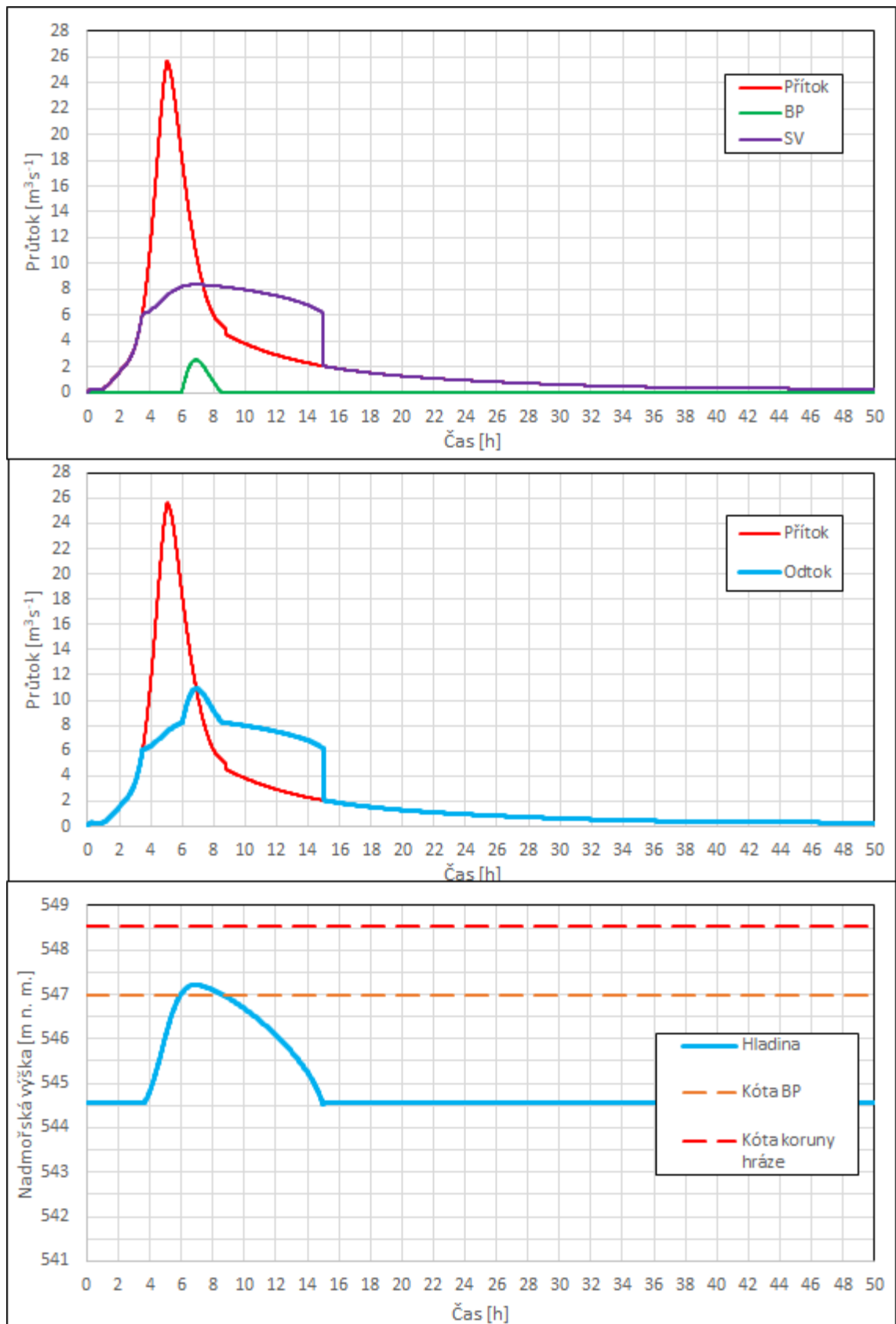
Obrázek 8.9 – Transformace PV500 ve variantě II



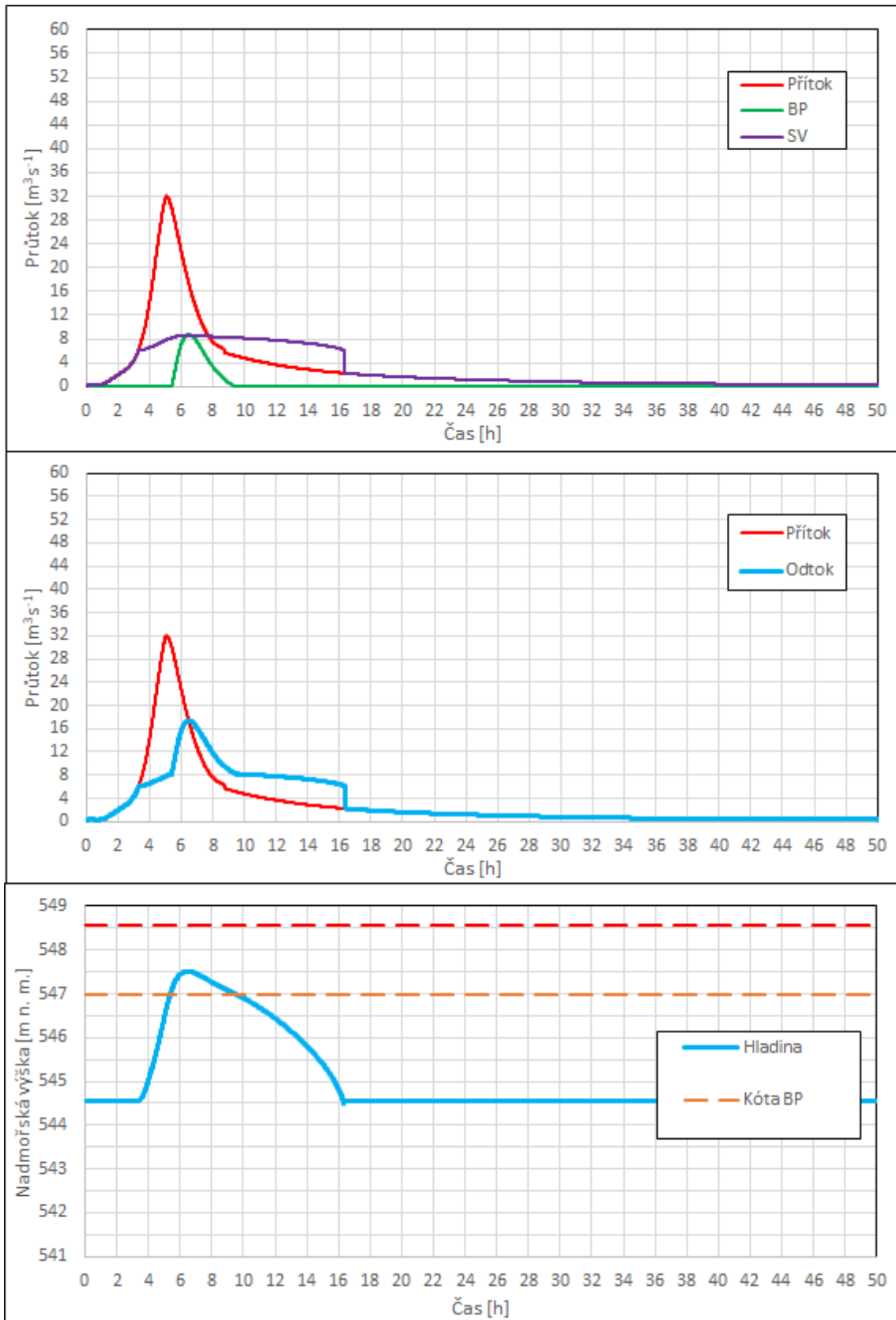
Obrázek 8.10 – Transformace PV1000 ve variantě II



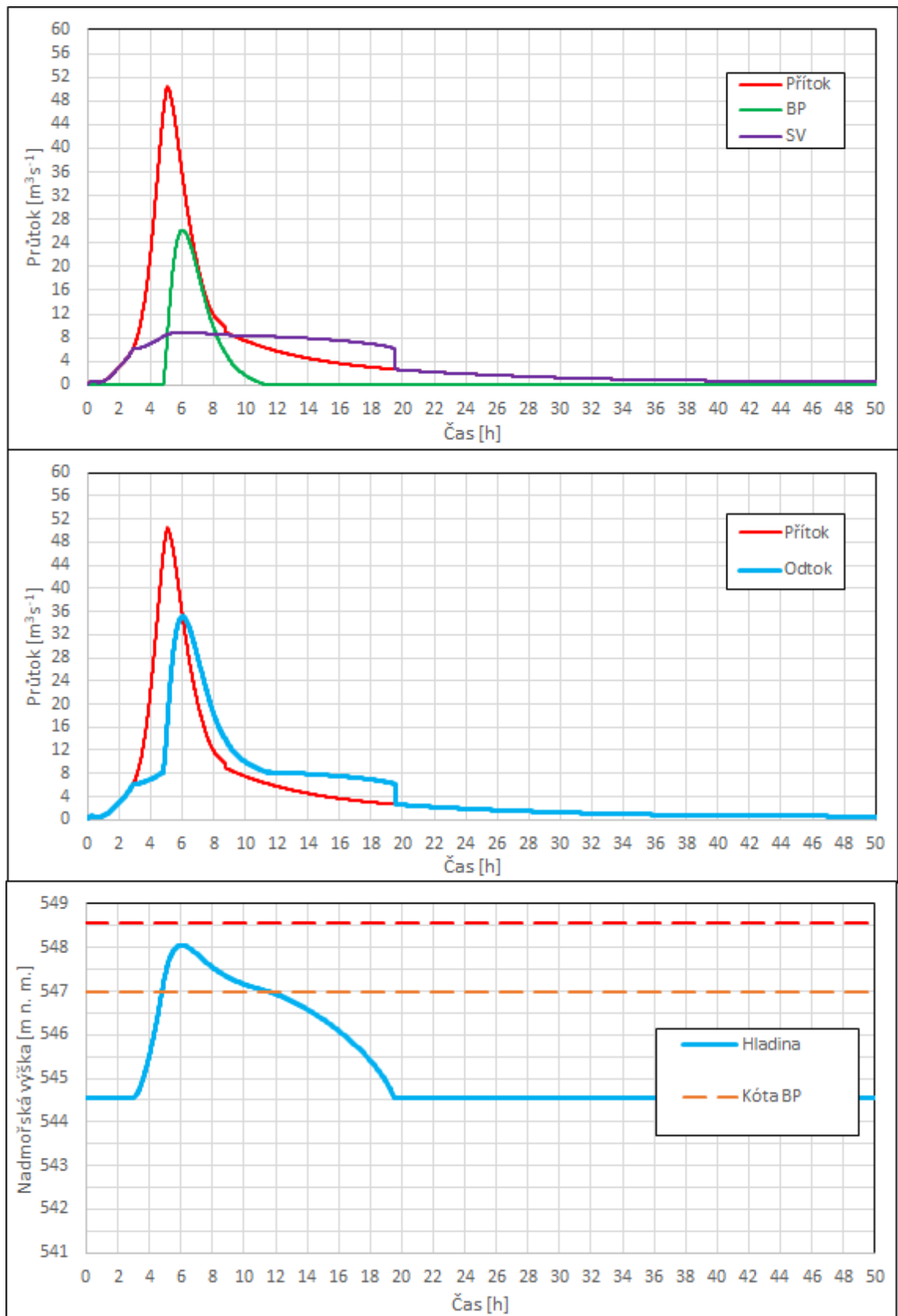
Obrázek 8.11 – Transformace PV20 ve variantě III



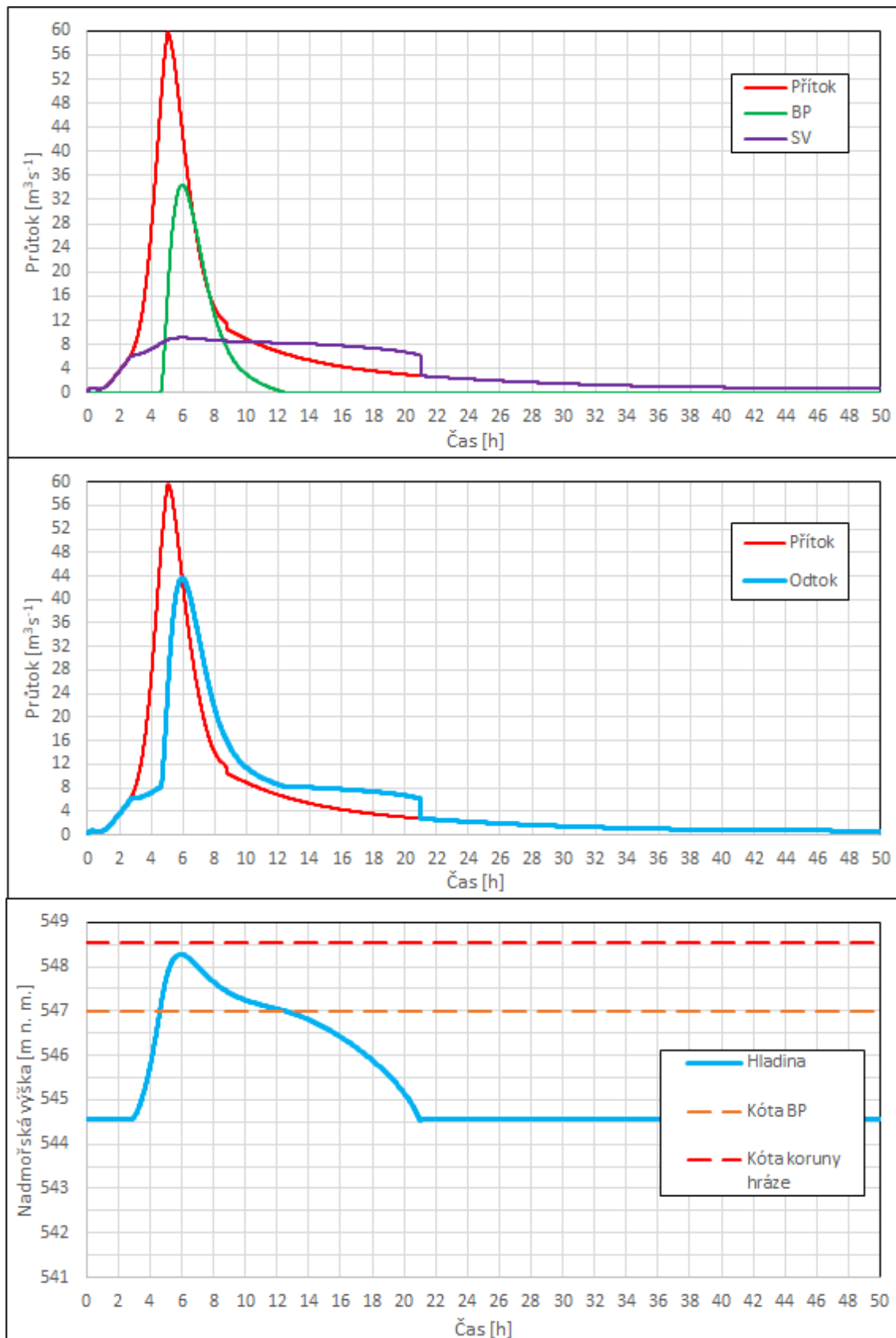
Obrázek 8.12 – Transformace PV50 ve variantě III



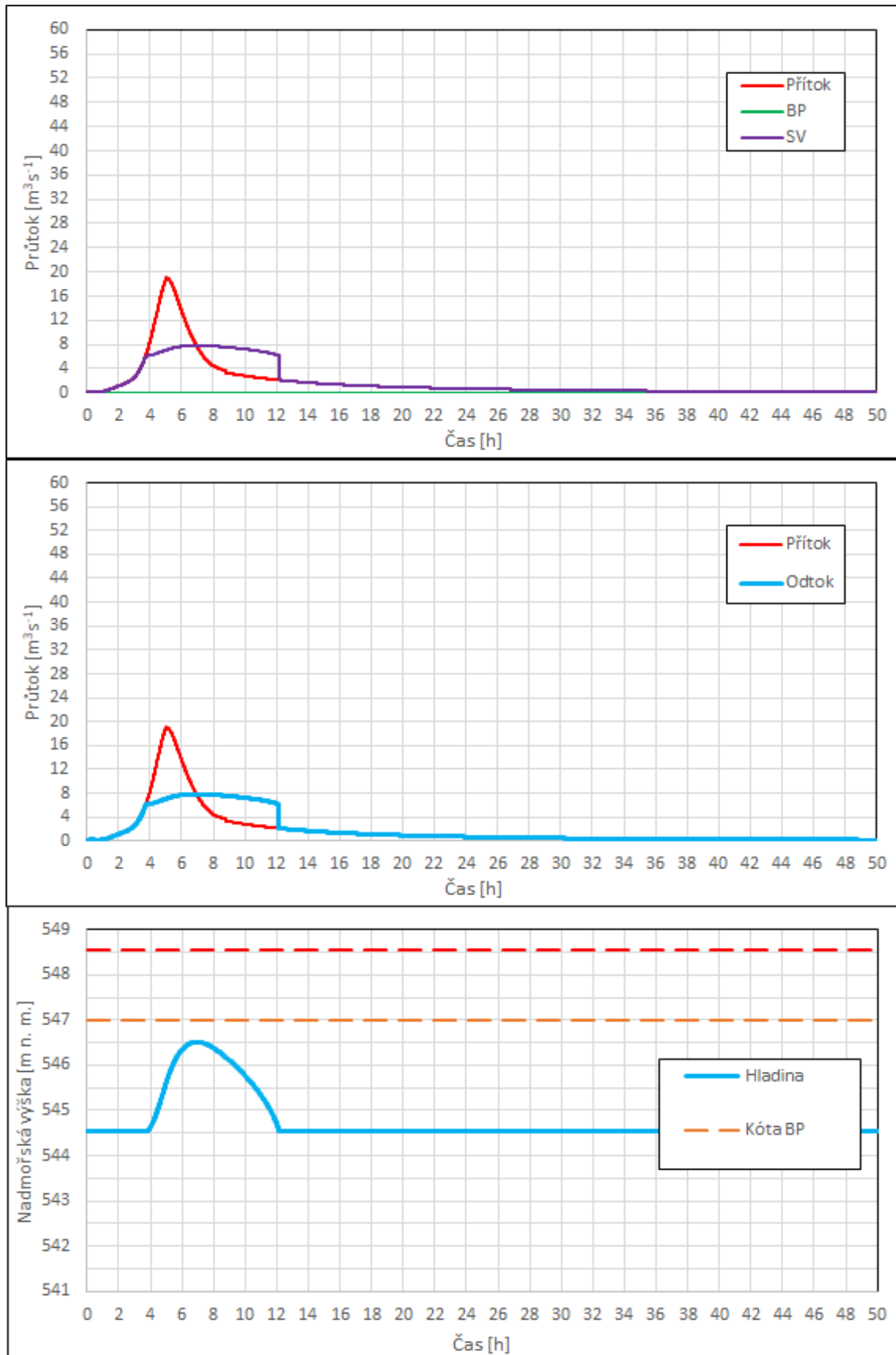
Obrázek 8.13 – Transformace PV100 ve variantě III



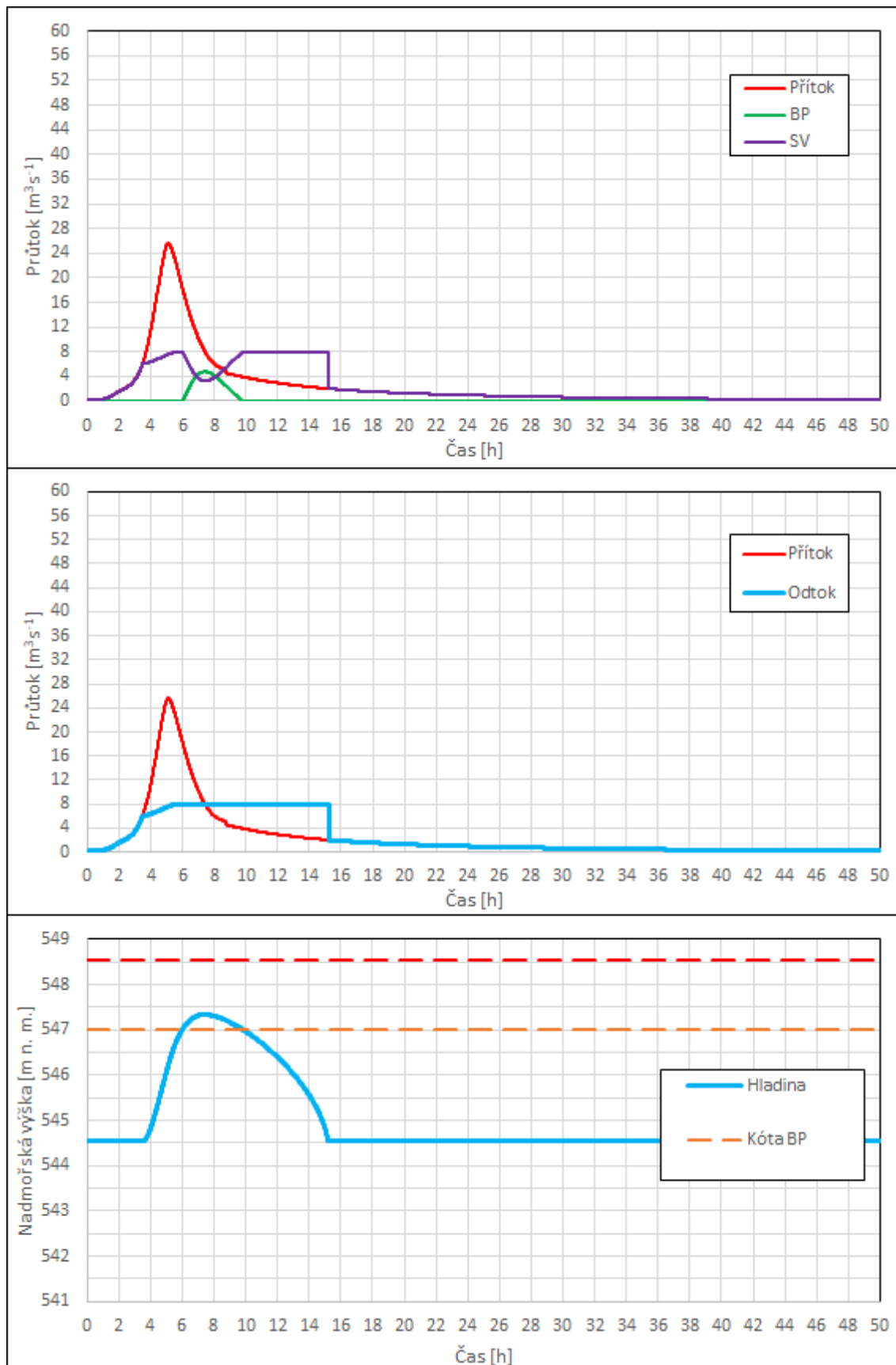
Obrázek 8.14 – Transformace PV500 ve variantě III



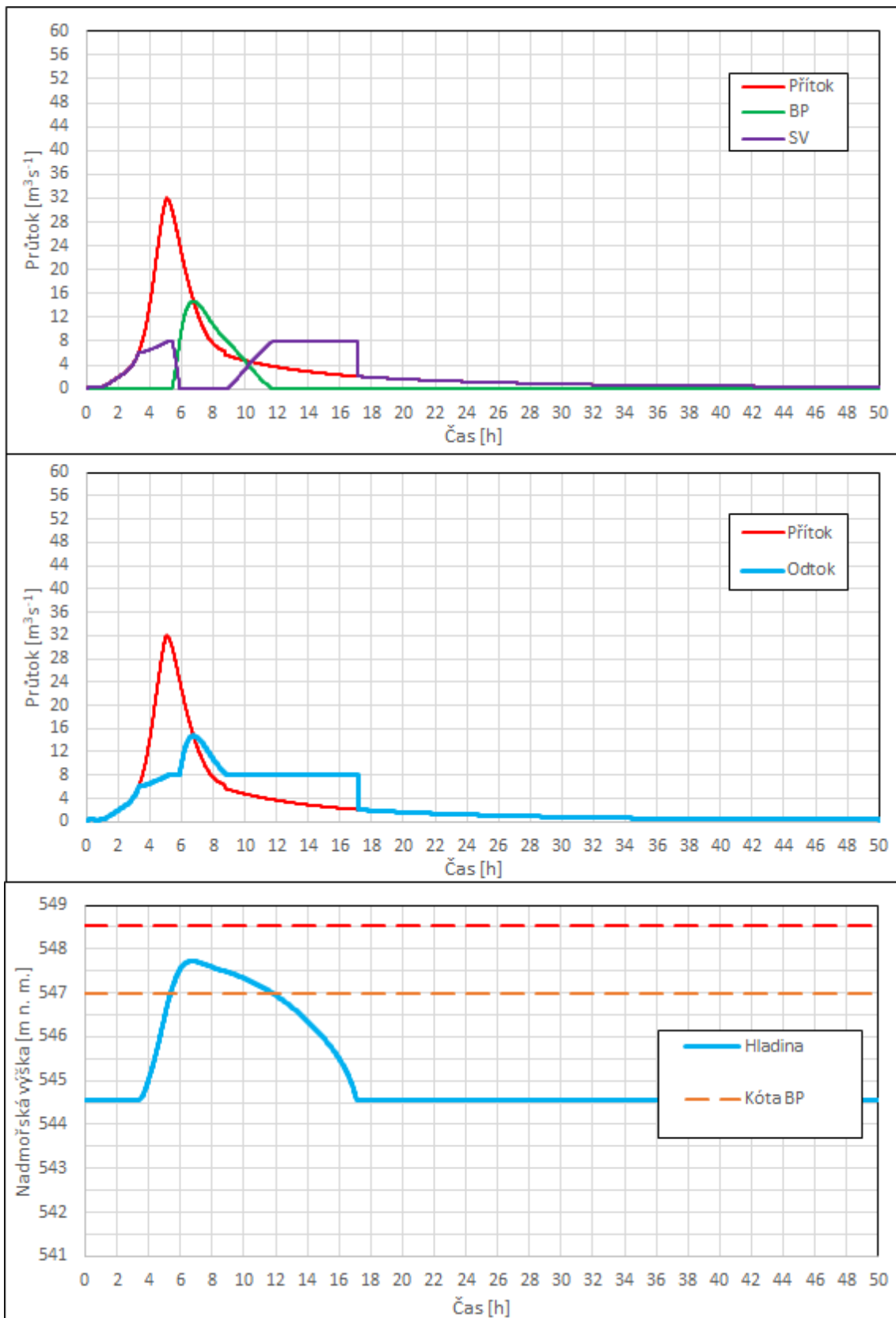
Obrázek 8.15 – Transformace PV1000 ve variantě III



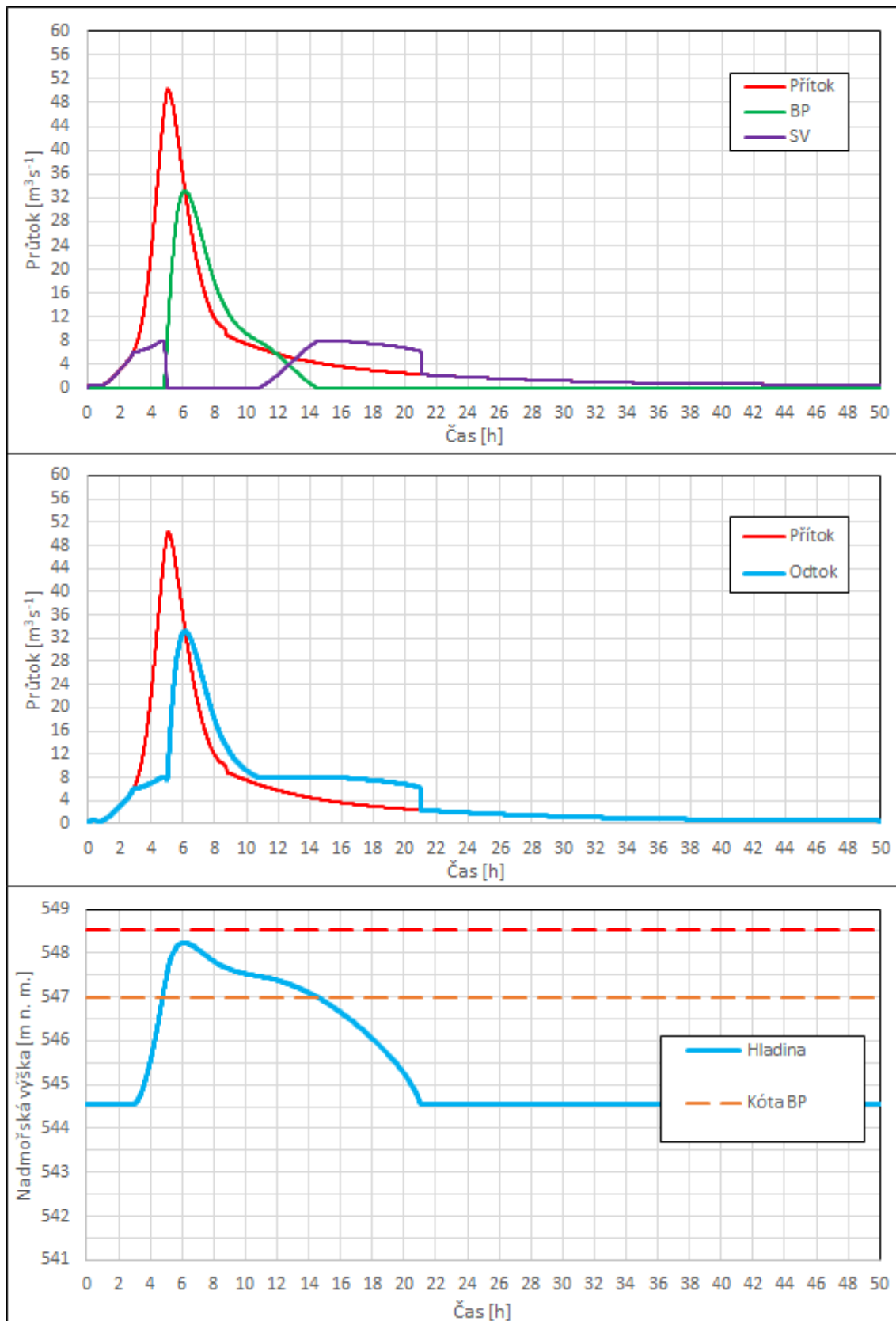
Obrázek 8.16 – Transformace PV20 ve variantě IV



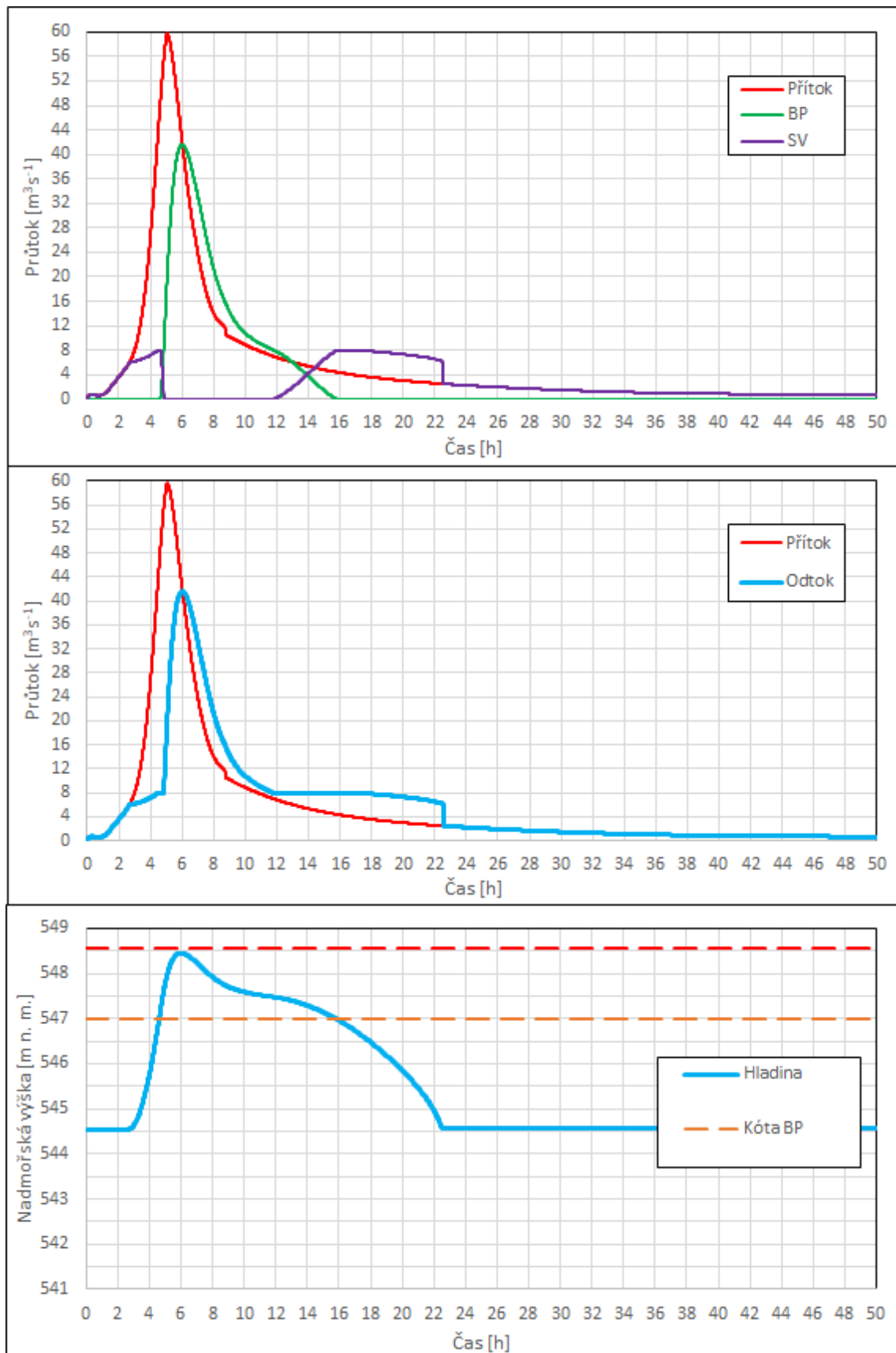
Obrázek 8.17 – Transformace PV50 ve variantě IV



Obrázek 8.18 – Transformace PV100 ve variantě IV



Obrázek 8.19 – Transformace PV500 ve variantě IV



Obrázek 8.20 – Transformace PV1000 ve variantě IV

8.3 Fotodokumentace



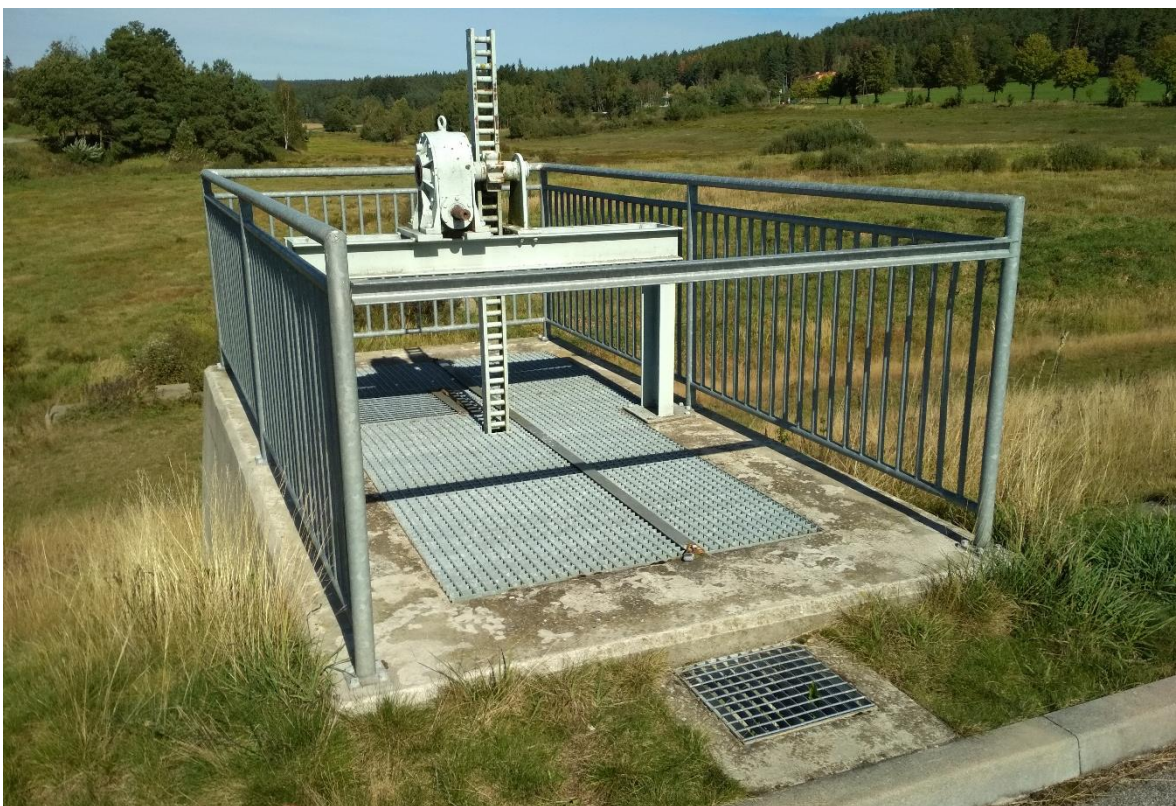
Obrázek 8.21 – Pohled na vzdušní svah hráze



Obrázek 8.22 – Pohled na návodní svah hráze



Obrázek 8.23 – Vyústění odpadního a drenážního potrubí



Obrázek 8.24 – Zařízení manipulačního objektu



Obrázek 8.25 – Odpadní koryto bezpečnostního přelivu



Obrázek 8.26 – Pohled na těleso hráze ze zátohy