

OBSAH

1	POUŽITÉ PODKLADY	2
2	VODOHOSPODÁŘSKÉ ŘEŠENÍ PROPOJENÍ VD NECHRANICE A JEZERA LIBOUŠ	3
2.1	Vodohospodářský potenciál propojení VD Nečchanice a jezera Libouš	3
2.1.1	Posílení zásobní funkce	3
2.1.2	Posílení retenční funkce	11
2.2	Propojení otevřeným korytem	16
2.3	Propojení štolou.....	23
2.4	Propojení kombinací otevřeného koryta a štol27	
3	HARMONOGRAM PRVOTNÍHO NAPOUŠTĚNÍ JEZERA LIBOUŠ	28

C VODOHOSPODÁŘSKÉ ŘEŠENÍ PROPOJENÍ VD NECHRANICE A JEZERA LIBOUŠ

1 POUŽITÉ PODKLADY

1. Manipulační řád vodního díla Nechranice. Povodí Ohře, státní podnik. Aktualizace říjen 2008.
2. Teoretické povodňové vlny v profilu VD Nechranice na Ohři. Povodí Ohře, státní podnik, 2014.
3. Model terénu po ukončení těžby, Severočeské doly, a.s., 2021.
4. ČVUT v Praze, Fakulta stavební (Fošumpaur, P., Kašpárek, L.): Studie komplexní vodohospodářské bilance zatápění zbytkových jam po úplném ukončení těžby hnědého uhlí v Ústeckém kraji. I. etapa. Praha, 06/2020. Objednatel: Povodí Ohře, státní podnik.
5. ČVUT v Praze, Fakulta stavební (Fošumpaur, P., Kašpárek, L.): Studie komplexní vodohospodářské bilance zatápění zbytkových jam po úplném ukončení těžby hnědého uhlí v Ústeckém kraji. II. etapa. Praha, 11/2020. Objednatel: Povodí Ohře, státní podnik.
6. ČSN 75 2405 Vodohospodářská řešení vodních nádrží, 2017.

2 VODOHOSPODÁŘSKÉ ŘEŠENÍ PROPOJENÍ VD NECHANICE A JEZERA LIBOUŠ

2.1 Vodohospodářský potenciál propojení VD Nechanice a jezera Libouš

Cílem této kapitoly kvantifikovat vodohospodářský potenciál propojení nádrže Nechanice a jezera Libouš. Nádrž Nechanice v současné době plní dva hlavní vodohospodářské účely, kterými jsou nadlepšování průtoků v Ohři za hydrologicky suchých období a ochrana před povodněmi. Plánované propojení představuje významnou příležitost navýšení obou hlavních účelů nádrže Nechanice.

2.1.1 Posílení zásobní funkce

Posouzení navýšení zásobní funkce nádrže Nechanice propojením s jezerem Libouš bylo součástí studie ČVUT (2020). Tento efekt spočívá zejména v poměrně výrazném posílení nadlepšovacího účinku nádrže Nechanice pro dolní Ohři. V rámci této kapitoly byla tato analýza přehodnocena z důvodu úpravy čáry zatopených ploch a objemů (charakteristika nádrže) jezera Libouš. Přesetření bylo zpracováno v důsledku těchto dvou hlavních skutečností:

- V červnu 2021 byl zhotoviteli předán nový 3D model konečného terénu po ukončení těžby (Severočeské doly, a.s.). Na základě tohoto podkladu byl připraven digitální model terénu.
- V průběhu řešení úkolu byl model terénu dále upravován s ohledem na nutné vysvaňování břehových linií budoucího jezera Libouš, realizace přivaděče mezi nádrží Nechanice a jezerem Libouš a dalších nutných terénních úprav včetně uložení části výkopku na dno jezera.

Výpočet nadlepšovacího účinku vychází z následujících hlavních předpokladů:

- hladina zásobního prostoru je $H_z = 269,00$ m n. m.,
- výpočet je proveden pro současné klima a pro horizonty 2050 a 2100,
- je respektována řídicí křivka pro nádrž Nechanice – viz tab. 2.1,
- MZP pod VD Nechanice je $8,00 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- hledáno je doplňkové nadlepšení ΔQ nad rámec MZP, aby zabezpečenost hladiny nad řídicí křivkou byla $P_t \geq 98,50 \%$,
- celkové nadlepšení je potom $O_n = \text{MZP} + \Delta Q$,
- pro porovnání je řešena varianta samotné funkce VD Nechanice a varianta propojení VD Nechanice a jezera Libouš.

V současné době se s ohledem na rekreační účely nádrže Nechranice a problémy s abrazí uplatňuje řízení zásobní funkce nádrže dle řídicí křivky v tab. 2.1. Pokles pod řídicí úroveň dle křivky není žádoucí. Zpracované VH řešení proto zohledňuje tuto skutečnost a pracuje se zásobním objemem v rozmezí hladin 263,00 až 269,00 m n. m. (v závislosti na kalendářním měsíci – viz tab. 2.1).

Tab. 2.1 Řídicí křivka VD Nechranice (hladina na začátku měsíce).

Měsíc	Min. hladina [m n. m.]
11	263,00
12	263,00
1	263,00
2	263,00
3	265,00
4	266,00
5	267,00
6	267,00
7	267,00
8	267,00
9	265,00
10	263,00

Propojením nádrže Nechranice a jezera Libouš dojde k výraznému posílení zásobní funkce. Fakticky bude zásobní objem Nechranic prakticky zdvojnásoben. V tab. 2.2 a tab. 2.3 jsou základní parametry obou nádrží a jejich propojeného systému.

Tab. 2.2 Čáry zatopených objemů jednotlivých nádrží a jejich sjednocení.

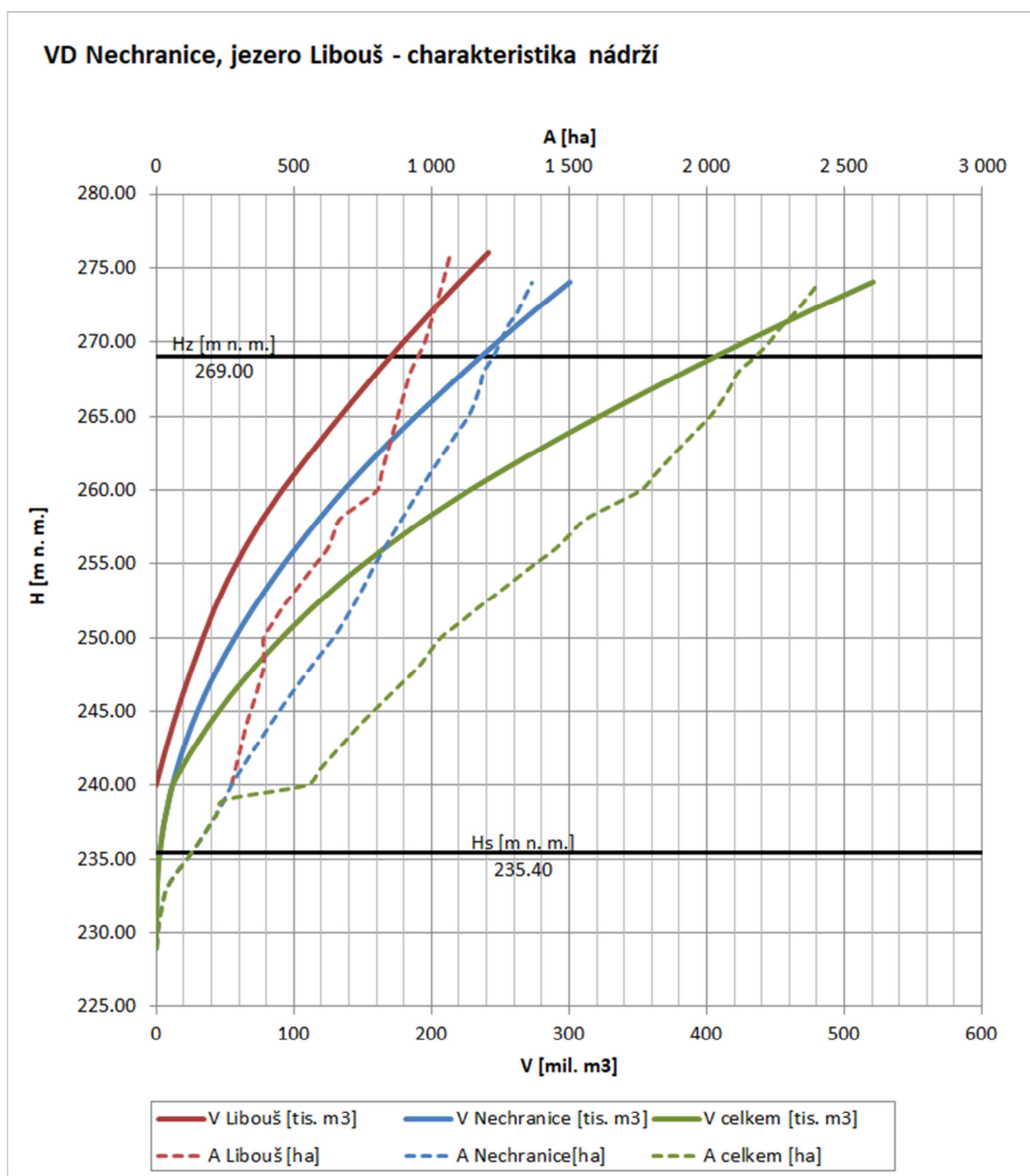
Čáry zatopených objemů			
H [m n. m.]	Nechranice	Libouš	celkem
	V [mil. m ³]	V [mil. m ³]	V [mil. m ³]
dno Nechranice = 227.00	0		
Hs = 235.40	2.650	0	2.650
dno Libouš = 240.00	11.829	0	11.829

Hdisp,min = 263.00	166.852	116.510	283.362
Hz = 269.00	235.865	170.249	406.114
Hr, ovl = 272.20	277.196	201.690	478.886
Hmax = 273.05	287.632	210.416	498.048

Tab. 2.3 Rozdělení nádržních objemů jednotlivých nádrží a jejich sjednocení.

Vodohospodářsky využitelné prostory			
	Nechranice	Libouš	celkem
	V [mil. m ³]	V [mil. m ³]	V [mil. m ³]
zásobní prostor (celkový) 235.40 - 269.00	233.215	170.249	403.464
zásobní prostor (provozně využitelný) 263.00 - 269.00	69.013	53.738	122.751
ovladatelný retenční prostor 269.00 - 272.20	41.331	31.442	72.772
neovladatelný retenční prostor 272.20 - 273.05	10.436	8.726	19.162

Z tab. 2.3 vyplývá zvýšení provozně využitelného objemu zásobního prostoru (při respektování řídicí křivky nádrže) z 69,01 mil. m³ na 122,75 mil. m³. Na obr. 2.1 jsou znázorněny charakteristiky jednotlivých nádrží a jejich sjednocení.



Obr. 2.1 Charakteristiky nádrží a jejich sjednocení.

Výsledky VH řešení zásobní funkce nádrže Nechranice a varianty propojení nádrže Nechranice a jezera Libouš uvádí přehledně následující tab. 2.4. Celkové nadlepení obsahuje MZP = $8,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a dodatečné nadlepení ΔQ . Celkové nadlepení $O_n = \text{MZP} + \Delta Q$ je odvozeno tak, aby zabezpečení řídicí křivky byla $P_t \geq 98,5 \%$. Fakticky je tedy v zásobním prostoru k dispozici ještě objem pod řídicí křivkou $H_{\text{disp, min}} = 263,00 \text{ m n. m.}$ až po úroveň

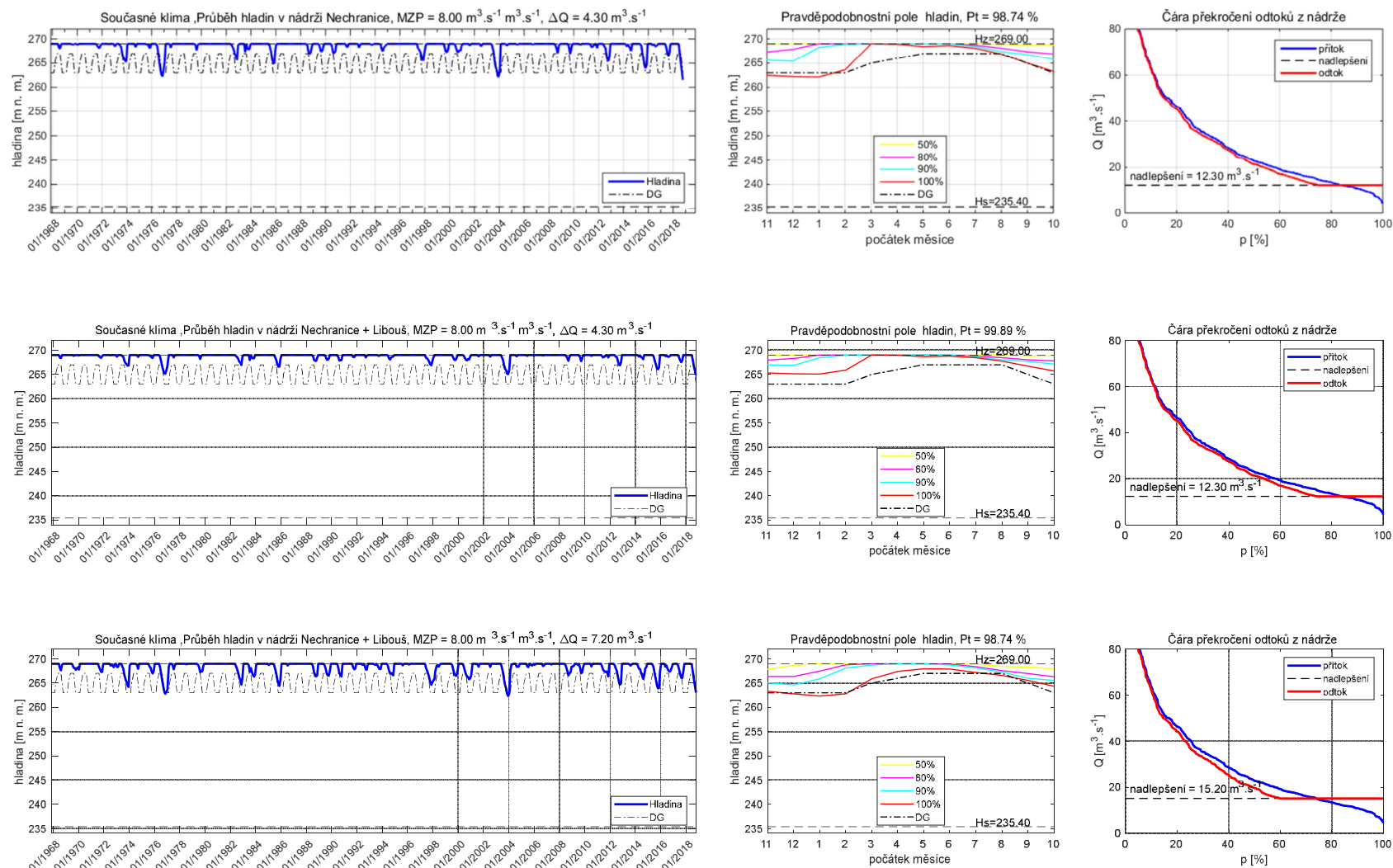
Hs=235,40 m n. m., takže zabezpečení On je 100 %. Graficky jsou výsledky VH řešení dokumentovány v obr. 2.2 až obr. 2.4.

Tab. 2.4 Výsledky VH řešení

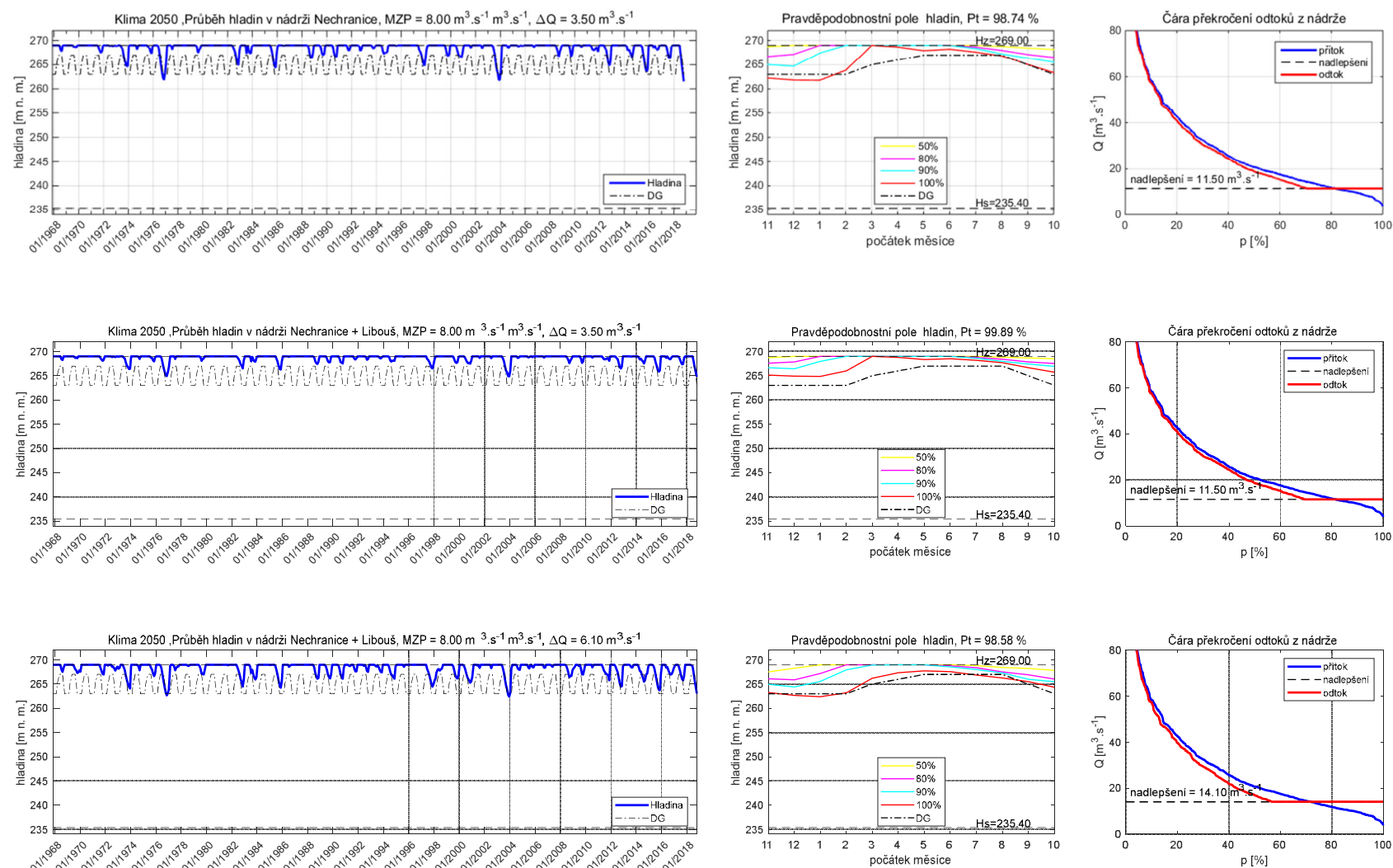
varianta klimatu	Celkové nadlepšení (MZP + ΔQ)		navýšení nadlepšení	
	VD Nechranice	VD Nechranice a jezero Libouš		
	[m ³ .s ⁻¹]	[m ³ .s ⁻¹]	[m ³ .s ⁻¹]	[%]
současné klima	12,3	15,2	2,9	23,6
časový horizont 2050	11,5	14,1	2,6	22,6
časový horizont 2100	10,0	12,4	2,4	24,0

Ze zpracované analýzy propojení jezera Libouš s nádrží Nechranice plynou tyto závěry:

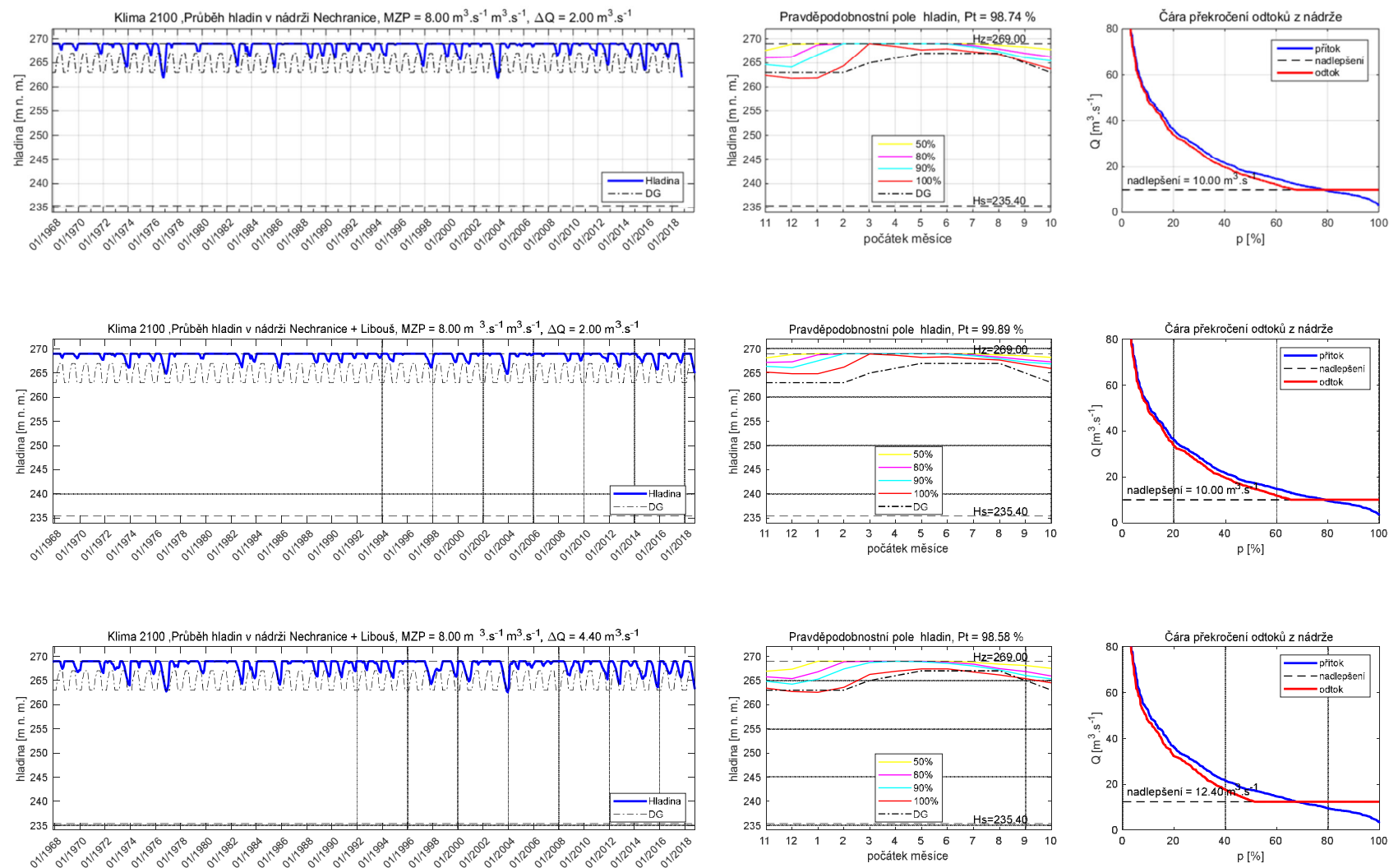
- Propojení nádrže Nechranice a jezera Libouš výrazně zvyšuje nadlepšovací efekt. Zvýšení celkového nadlepšení je o 24 %.
- Propojení nádrže Nechranice a jezera Libouš umožní zajistit současný nadlepšovací účinek na dolní Ohři i pro nejvzdálenější horizont klimatické změny (2100).
- Vzhledem ke skutečnosti, že realizace nových zásobních nádrží na dolní Ohři není v současnosti reálná, jedná se o vynikající příležitost adaptace vodních zdrojů v daném zemědělsky silně využívaném území (chmel a zelenina) na klimatickou změnu.



Obr. 2.2 Výsledky VH řešení propojení nádrže Nechranice a jezera Libouš pro současné klimatické podmínky.



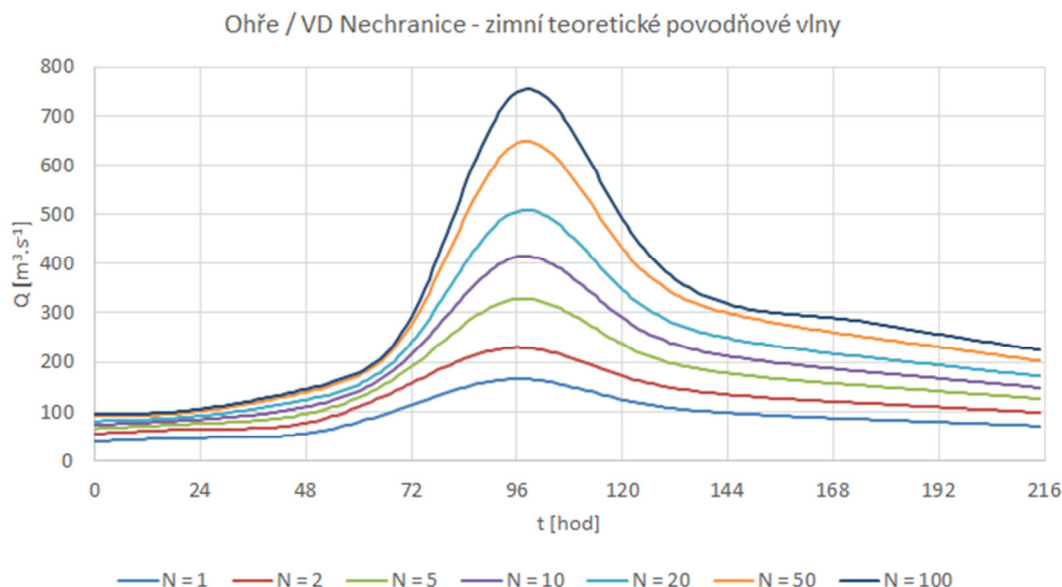
Obr. 2.3 Výsledky VH řešení propojení nádrže Nechranice a jezera Libouš pro klima 2050.



Obr. 2.4 Výsledky VH řešení propojení nádrže Nechranice a jezera Libouš pro klima 2100.

2.1.2 Posílení retenční funkce

Potenciál posílení retenční funkce nádrže Nechanice po realizaci propojení s jezerem Libouš je doložen analýzou transformace teoretických povodňových vln (TPV) na Ohři v profilu hráze VD Nechanice. Tyto TPV poskytl státní podnik Povodí Ohře a jedná se o zimní povodňové vlny připravené v roce 2014. Jejich průběh dokládá obr. 2.5.



Obr. 2.5 Zimní TPV_N použité pro posouzení transformačního účinku nádrže Nechanice a jezera Libouš.

Pro výpočet transformací povodňových vln je uplatněno pravidlo dle platného manipulačního řádu (MR) dle kapitoly C.4 (Manipulace v ochranném prostoru a za povodní). Pro výpočty je uvažována zvýšená úroveň ovladatelného retenčního prostoru na 272,20 m n. m., která odpovídá budoucímu stavu po dokončení rekonstrukce bezpečnostního přelivu.

C.4.5.1. Z nádrže do koryta toku pod hrází je vypouštěn odtok vyhrazováním středního segmentu přelivu, zvětšený o maximální možný souběh obou turbín MVE.

Takto se manipuluje až do dosažení maximálního neškodného odtoku z nádrže 200 m³/s.

C.4.5.2. Po dosažení celkového neškodného odtoku z nádrže 200 m³/s je nutno manipulovat tak, aby tento odtok byl zachován až do dosažení přítoku do nádrže 300 m³/s.

C.4.5.3. Po dosažení hodnoty přítoku 300 m³/s je nutno provést rozbor dalšího možného průběhu povodně a odhadnout zbývajících objem povodně nad neškodným odtokem.

C.4.5.3.1. Jestliže je zbývajících odhadnutý objem povodně menší nebo rovný právě volnému ochrannému ovladatelnému prostoru, udržuje se dosažený neškodný odtok.

C.4.5.3.2. Jestliže je zbývajících odhadnutý objem povodně větší než právě volný ochranný ovladatelný prostor je nutno zvýšit odtok na takovou hodnotu, při které podle odhadu nedojde k překročení maximální hladiny ovladatelného prostoru.

Výpočet transformace TPV_N byl zpracován pro variantu současného stavu a pro variantu po propojení nádrže Nechanice s jezerem Libouš. Výpočet předpokládá dokonalé propojení nádrže Nechanice a jezera Libouš, kdy kapacita propojení umožňuje paralelní stoupání hladiny. Jde v podstatě o modelovou představu jedné nádrže, která demonstruje maximální mož-

ný efekt zvýšení retenční funkce nádrže Nechranice neomezenou kapacitou propojení. Výsledky analýzy dokumentuje tab. 2.5.

Tab. 2.5 Porovnání retenčního účinku pomocí transformací TPV_N pro variantu současného stavu (bez propojení) a pro variantu s propojením VD Nechranice a jezera Libouš.

Hr_{ovl} = 272.20	TPV			100 zimní	50 zimní	20 zimní	10 zimní
	počáteční hladina	H0	[m n. m.]	269.00	269.00	269.00	269.00
	kulminace přítok	P _{max}	[m ³ .s ⁻¹]	753	648	509	415
	objem TPV nad 200	W200	[mil. m ³]	104.3	81.7	48.7	29.4
kulminace odtok	současný stav	O _{max}	[m ³ .s ⁻¹]	380	312	221	200
	dokonalé propojení	O _{max}	[m ³ .s ⁻¹]	268	220	200	200
účinnost transformace	současný stav	η	[-]	0.67	0.75	0.93	1
	dokonalé propojení	η	[-]	0.88	0.96	1	1

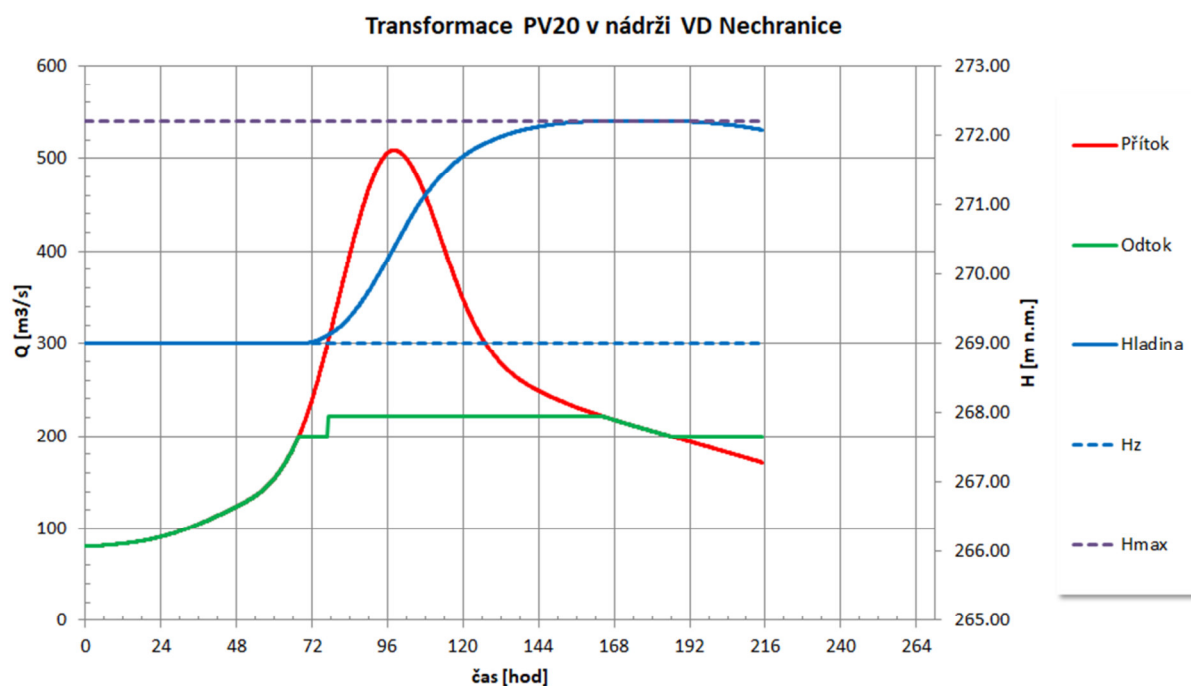
Počáteční hladina před příchodem povodně je uvažována na kótě plného zásobního prostoru H0=H_z=269,00 m n. m. Účinnost transformace je hodnocena dle vztahu:

$$\eta = 1 - \frac{O_{\max} - O_{\text{neš}}}{P_{\max} - O_{\text{neš}}}$$

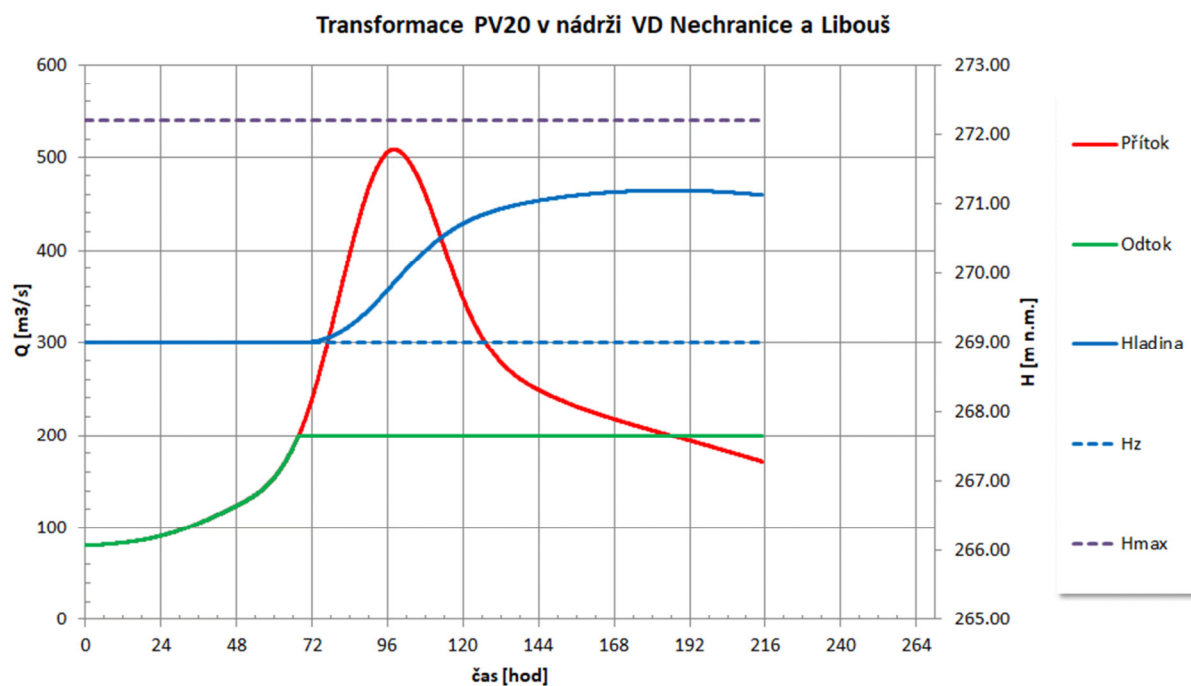
kde O_{max} ... kulminace na odtoku, O_{neš} = 200 m³.s⁻¹ je hodnota neškodného odtoku a P_{max} je kulminace na přítoku.

Z tab. 2.5 vyplývá, že za současné situace nádrž Nechranice poskytuje níže ležícímu území ochranu před povodněmi na necelou 20letou vodu. Po propojení s jezerem Libouš bude ochrana území pod hrází na téměř 50letou vodu a rovněž pro TPV100 je transformační účinek velmi významný. Projekt propojení nádrže Nechranice a jezera Libouš proto představuje velmi výrazné zvýšení ochrany níže ležícího území před povodněmi. V následujících obr. 2.6 až 2.8 jsou znázorněny transformace TPV20, TPV50 a TPV100 pro obě posuzované varianty.

a)

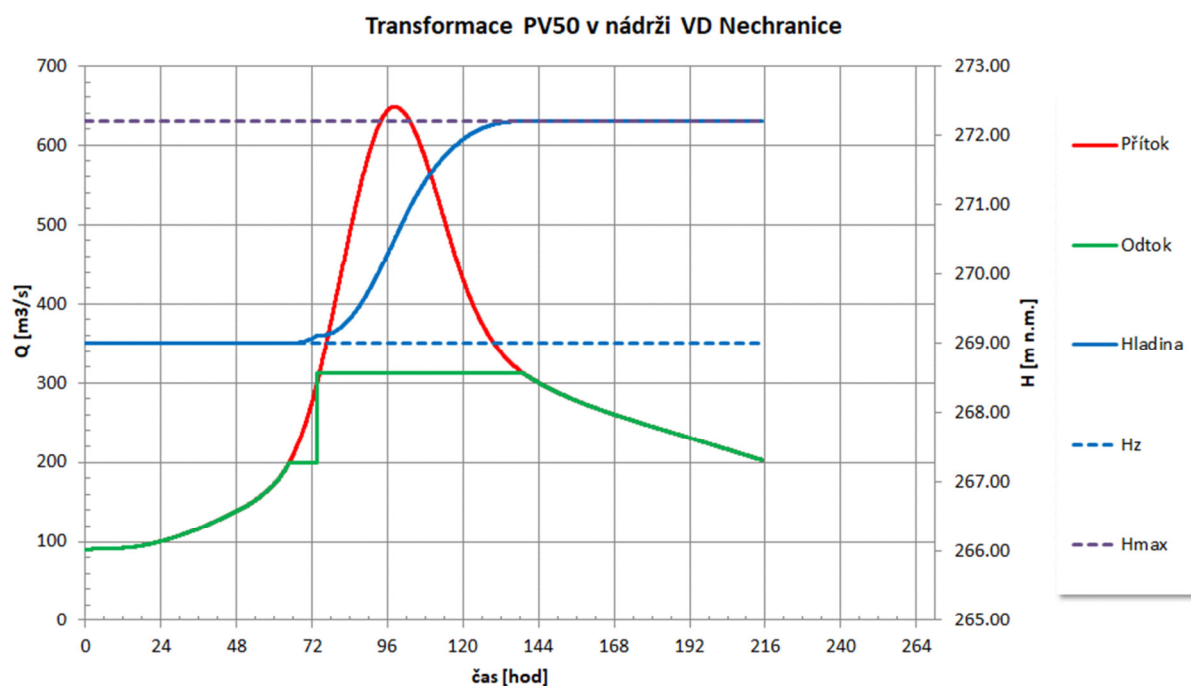


b)

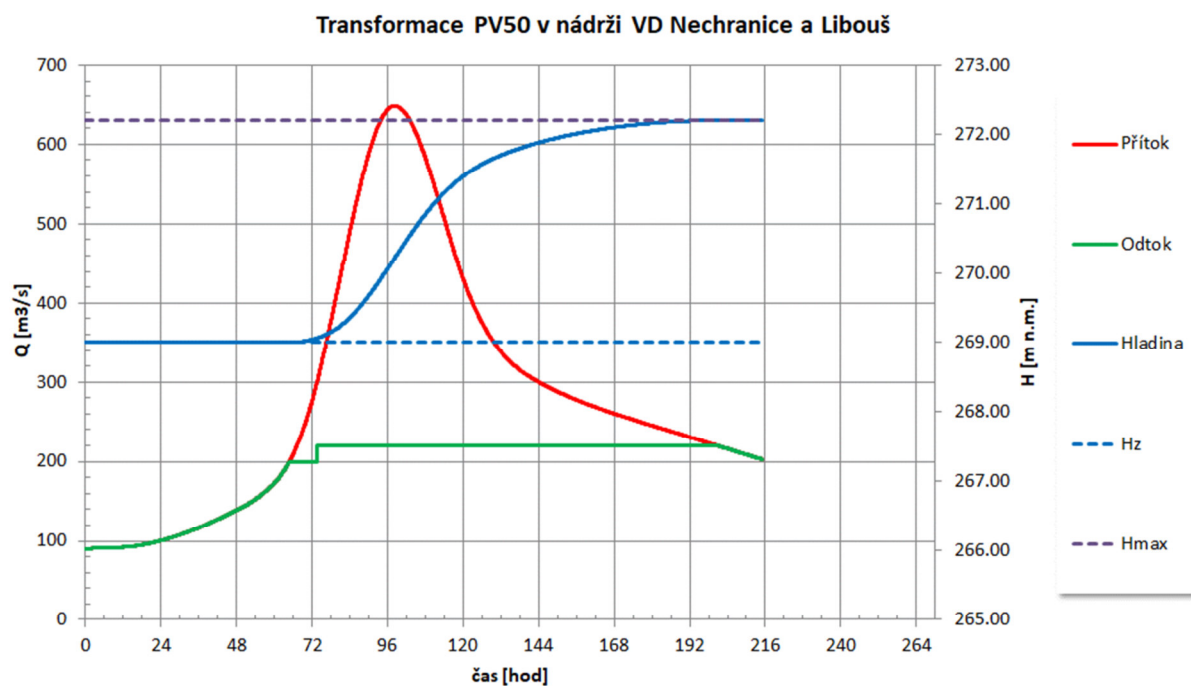


Obr. 2.6 Transformace povodňové vlny TPV20: a) pro současný stav, b) pro stav po propojení nádrže Nechanice a jezera Libouš.

a)

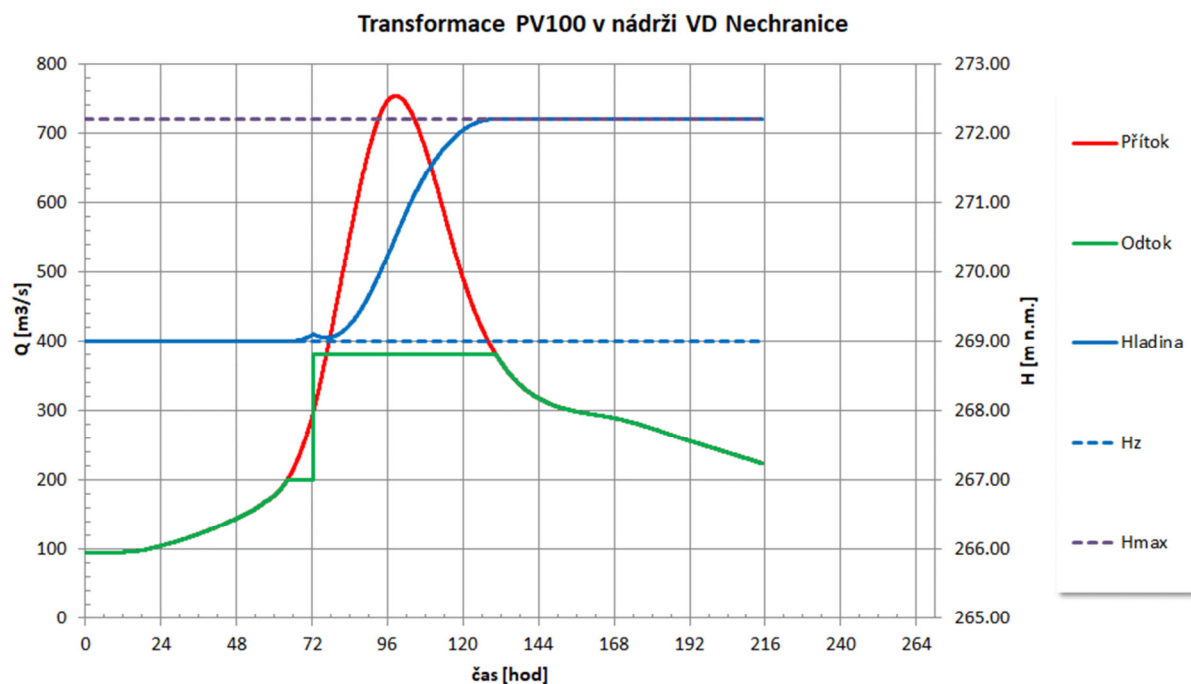


b)

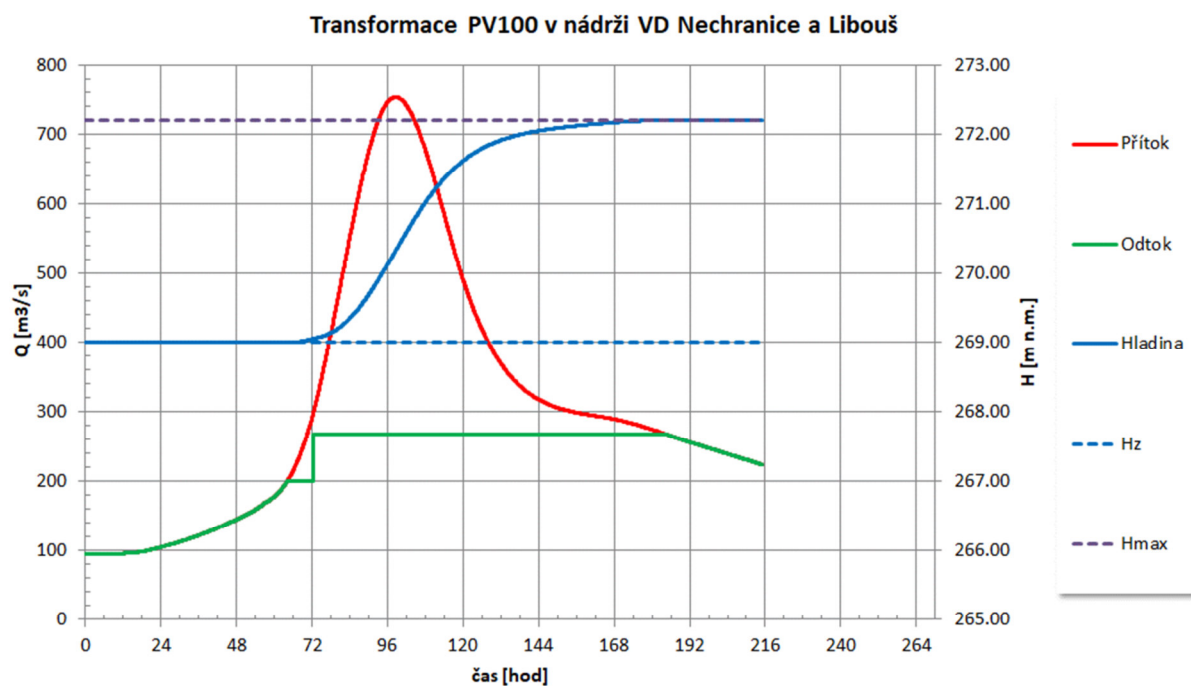


Obr. 2.7 Transformace povodňové vlny TPV50: a) pro současný stav, b) pro stav po propojení nádrže Nechanice a jezera Libouš.

a)



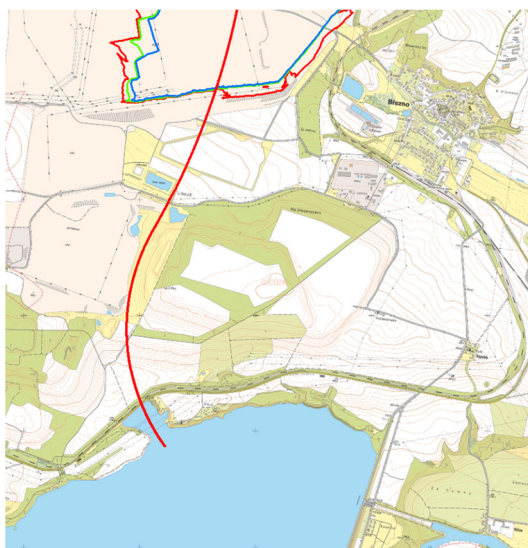
b)



Obr. 2.8 Transformace povodňové vlny TPV100: a) pro současný stav, b) pro stav po propojení nádrže Nečranice a jezera Libouš.

2.2 Propojení otevřeným korytem

Otevřené koryto mezi nádrží Nechranice a jezerem Libouš je vedeno v trase s minimálními nároky na zemní práce, viz obr. 2.9. Délka trasy je 3,20 km a koryto je lichoběžníkového tvaru s šířkou ve dně 15,0 m a sklony svahů 1:8 s odstupňovanými lavičkami. Kapacita koryta byla v rámci návrhu ověřována také pro sklony svahů 1:3 a pro variantu bez realizace manipulačního objektu. Vzorový příčný řez korytem je znázorněn na obr. 2.10.



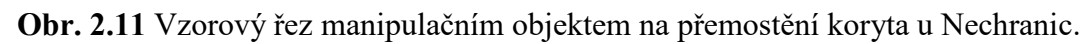
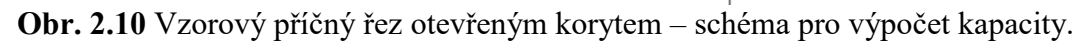
Obr. 2.9 Trasa otevřeného koryta mezi „policejní zátokou“ v nádrží Nechranice a jezerem Libouš.

Níže následuje popis výsledného propojení otevřeným korytem:

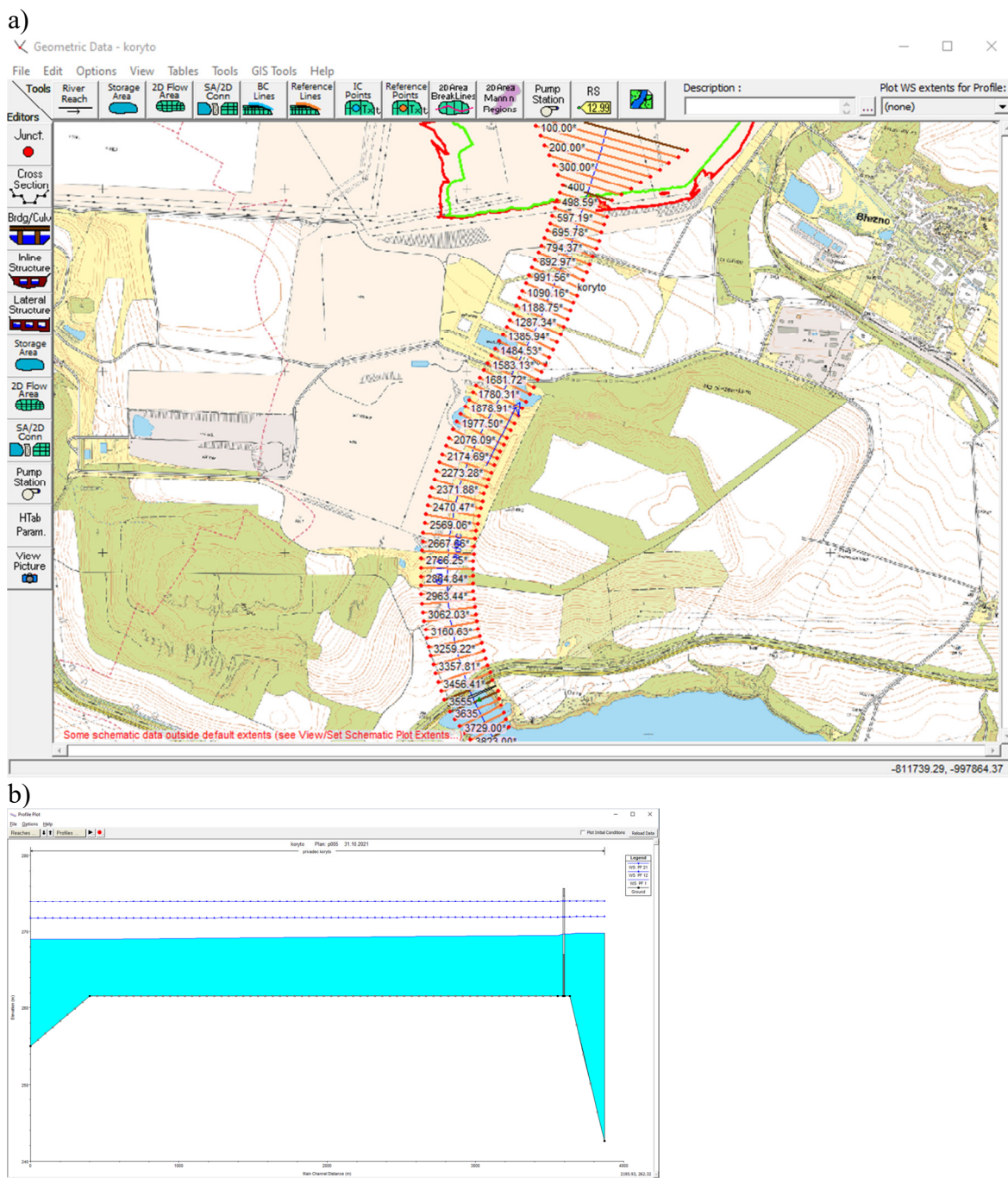
Tvar koryta:	lichoběžníkové
Sklon svahů:	1:8
Lavička:	na úrovni 270 m n. m. s délkou 10 m
Šířka ve dně:	15 m
Kóta dna:	261,50 m n. m.
Sklon osy koryta:	0 % (koryto je vodorovné)
Opevnění koryta:	Koryto je opevněno kamenným přírodě blízkým materiálem. Manningova drsnost koryta je uvažována $n=0,040$ (na straně bezpečnosti)

Manipulační objekt je navržen v profilu přemostění komunikace II/568 přes komunikaci na straně nádrže Nechranice. V tomto profilu bude realizován manipulační objekt sestávající ze tří polí dle schématu na obr. 2.11:

Pole č. 1 a 3:	Přelivná hrana na úrovni 267,00 m n. m. Možnost zahradit provizorním hrazením po úroveň 273,00 m n. m. Šířka polí je 16,5 m.
Pole č. 2:	Niveleta na úrovni dna koryta (261,50 m n. m.). Do úrovně 267,00 m n. m. hrazení provozním uzávěrem. Nad úroveň 267,00 m n. m. možnost zahradit provizorním hrazením po úroveň 273,00 m n. m.



Výpočet kapacity otevřeného koryta mezi nádrží Nechranice a jezerem Libouš byl připraven v systému HEC-RAS (verze 6.0.0 2021, US Army Corps of Engineers). Modelováno je celé otevřené koryto délky 3,2 km včetně navazujících úseku zátoky v nádrži Nechranice a vyústění do jezera Libouš dle výpočetního schématu na obr. 2.12.

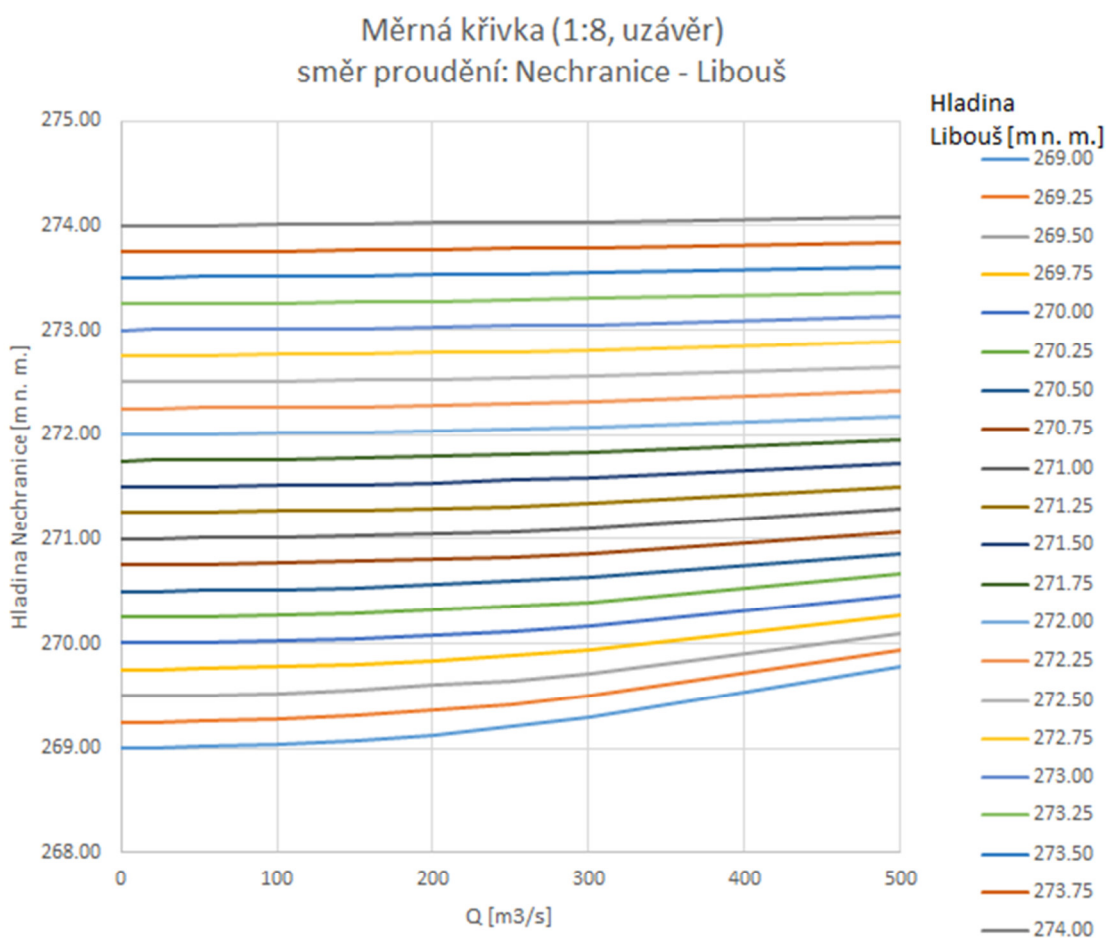


Obr. 2.12 Geometrie otevřeného koryta v systému HEC-RAS včetně manipulačního objektu. Vpravo je zátoka nechranické nádrže s manipulačním objektem a vlevo je nádrž Libouš.

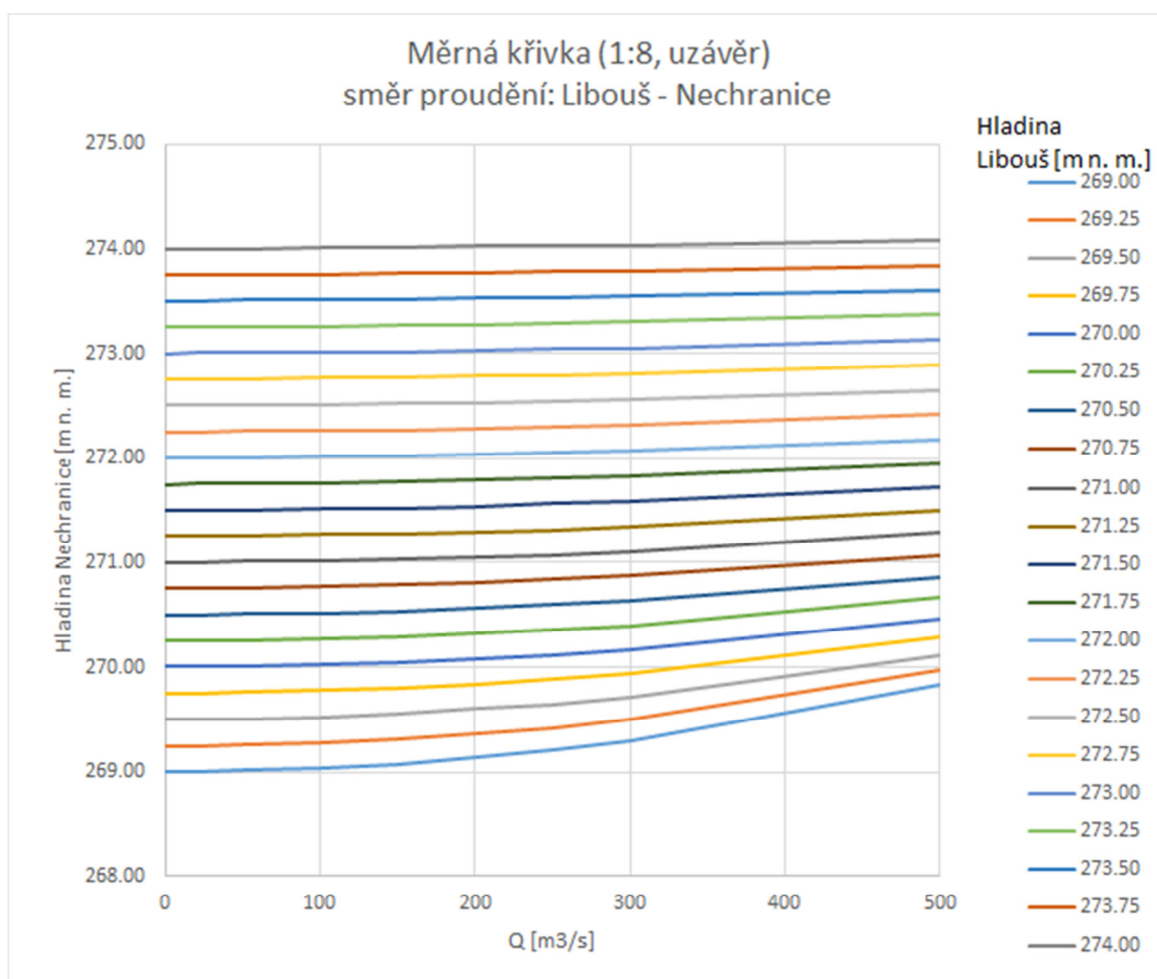
- a) Situace s vyznačením výpočetních řezů, b) podélný profil pro vybrané průtokové situace.

Kapacita otevřeného koryta byla vypočtena ve směru proudění z Nechranic do Libouše a také v opačném směru proudění z Libouše do Nechranic z důvodu mírně odlišného režimu místních ztrát na manipulačním objektu. Výsledkem výpočtu jsou dva soubory měrných křivek popisujících kapacitu otevřeného koryta, které kvantifikují vztah mezi polohou hladiny v Nechranicích a Libouši a odpovídajícího průtoku otevřeným korytem pro zcela vyhrazený manipulační objekt. Výsledky této analýzy dokládají měrné křivky na obr. 2.13 a obr. 2.14.

Z grafu na obr. 2.13 například vyplývá, že při hladině v jezeře Libouš na úrovni 269,00 m n. m. a hladině v nádrži Nechranice na úrovni cca 269,50 m n. m. je kapacita koryta $400 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Takto odvozené měrné křivky sloužily následně pro ověření funkce přivaděče během transformace povodňových vln z důvodu posouzení retenční kapacity jezera Libouš.



Obr. 2.13 Měrná křivka propojení pro proudění z Nechranic do Libouše.



Obr. 2.14 Měrná křivka propojení pro proudění z Libouše do Nechranice.

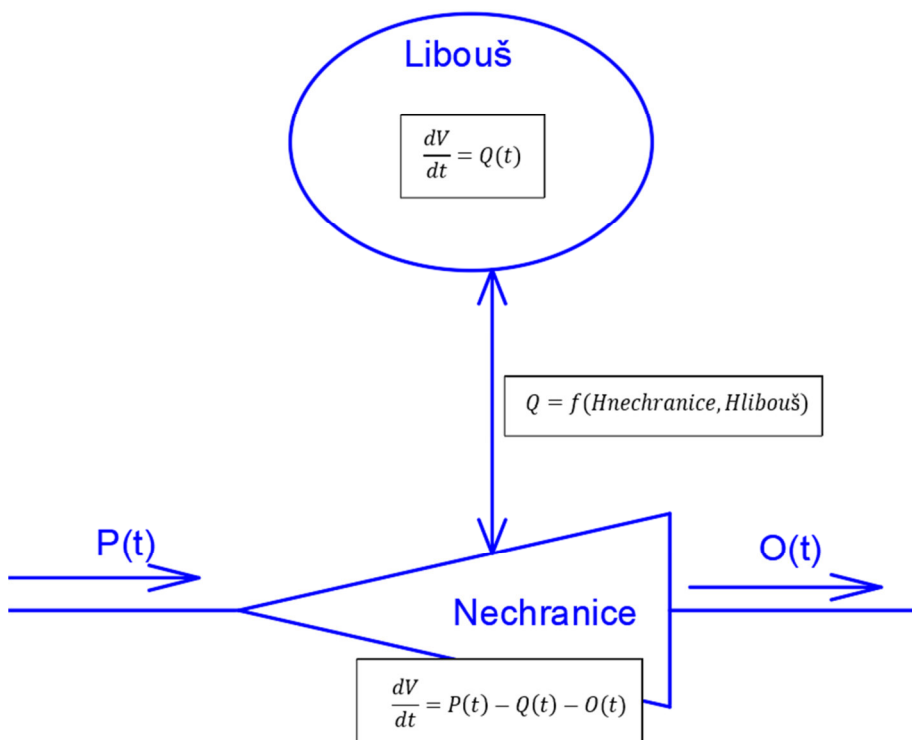
Posouzení funkce propojení pro zásobní funkci

Niveleta propojení je na úrovni 261,50 m n. m.. Tato úroveň se nachází 1,5 m pod minimální úrovní dispečerské křivky (263,00 m n. m.) a komunikace jezera Libouš s nádrží Nechranice je tedy plně zajištěna.

Posouzení funkce propojení pro retenční funkci

Posouzení je doloženo pomocí transformace zimní teoretické povodňové vlny s dobou opakování 100 let. Klíčové je ověření kapacity koryta tak, aby bylo možné efektivně využít retenční prostor v jezeře Libouš. Za účelem tohoto posouzení byl sestaven algoritmus soustavy Nechranice – Libouš včetně spojovacího otevřeného koryta. Výpočetní schéma soustavy je znázorněno na obr. 2.15. Do nádrže Nechranice přitéká Ohří TPV100. V nádrži je aplikováno řízení nádrže při povodních a transformace povodňové vlny je řešena numerickou aproximací diferenciální rovnice nádrže metodou Runge-Kutta 4. řádu. Současně je v bilanci nádrže Nechranice uplatněn odtok/přítok do jezera Libouš, který závisí na okamžitém rozdílu hladin v nádrži Nechranice a jezeře Libouš. Tento průtok je spojitě vyhodnocován interpolací z výše

odvozených měrných křivek v systému HEC-RAS. V Libouši je průběh hladiny opět vyhodnocován pomocí diferenciální rovnice nádrže za předpokladu, že přítok z vlastního povodí je zanedbáván. Důvodem této úvahy je jednak omezená pravděpodobnost souběhu povodně na Ohři a na vlastním povodí jezera Libouš a jednak výrazně menší plocha vlastního povodí jezera Libouš v porovnání s plochou povodí Ohře po profil Nechranice.

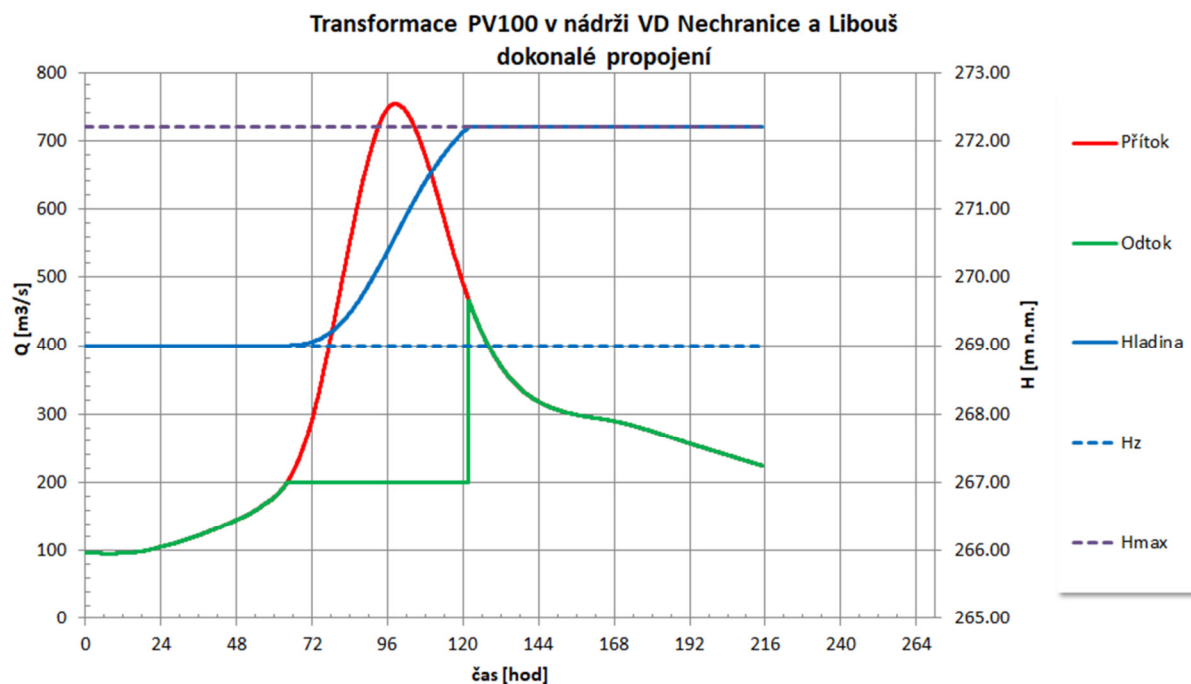


Obr. 2.15 Výpočetní schéma pro řešení transformace povodňových vln na Ohři v systému Nechranice-Libouš.

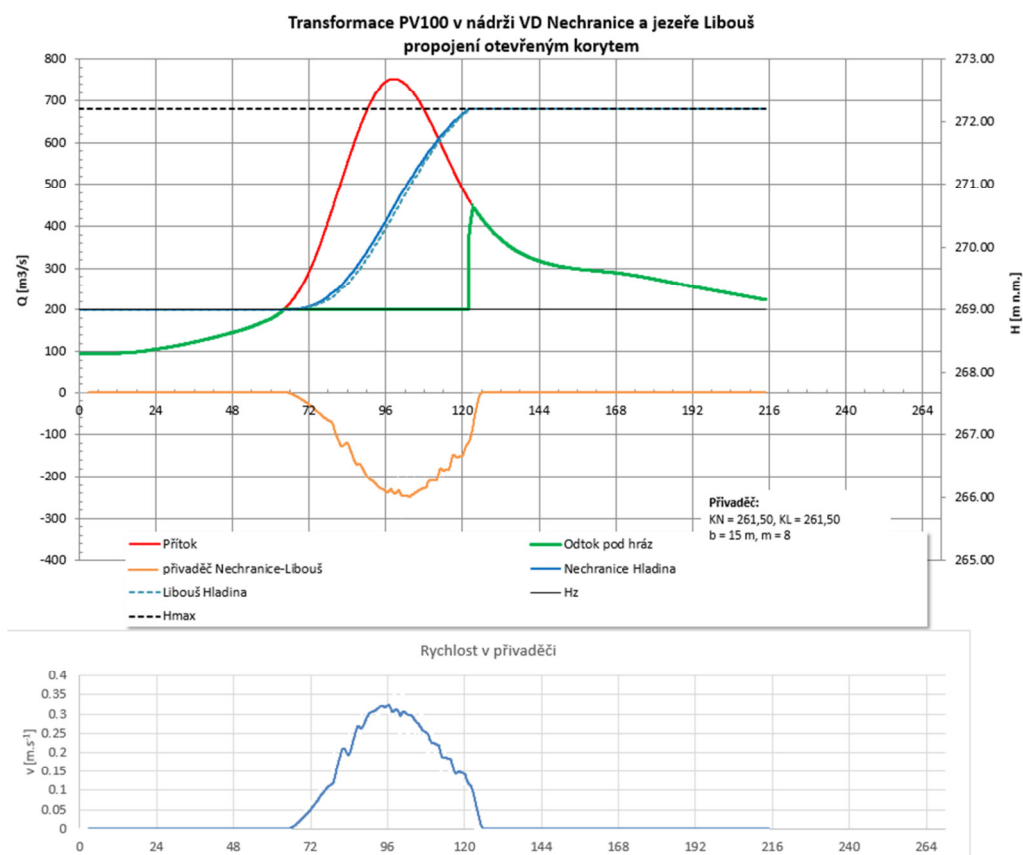
Posouzení efektivnosti využití retence na jezeře Libouš je připraveno pro TPV100 a manipulaci, při které je udržován neškodný odtok z nádrže o velikosti $200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ až do naplnění celého ovladatelného retenčního prostoru, tj. po kótu 272,20 m n. m. V obr. 2.16 je znázorněno srovnání průběhu transformace TPV100 pro a) předpoklad dokonalého propojení nádrže Nechranice a jezera Libouš a b) pro předpoklad propojení otevřeným korytem s výše navrženými parametry.

Výsledkem je zjištění, že hladina v jezeře Libouš komunikuje jen s velmi malým zpožděním za hladinou v nádrži Nechranice. Maximální převýšení hladiny v nádrži Nechranice činí 0,14 m a maximální průtok spojovacím korytem je cca $300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a odpovídá mu střední profilová rychlost $0,32 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Rozdíl v kulminačních odtocích z nádrže Nechranice je nevýznamný. Kapacita koryta plně prokázala schopnost využít maximálně efektivně retenční prostor jezera Libouš pro transformaci povodňových vln.

a)



b)



Obr. 2.16 Porovnání transformace TPV100 pro variantu a) s dokonalým propojením, b) pro variantu s navrženým otevřeným korytem.

2.3 Propojení štolou

Pro výpočet kapacity štol je použit vztah:

$$Q = \mu_v \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{2gH} \quad (1)$$

kde μ_v ... součinitel výtoku [-],

D ... průměr štol [m],

H ... spád – rozdíl hladin mezi nádrží a dolní vodou [m].

Součinitel ztrát je určen na základě rovnice:

$$\mu_v = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \lambda \frac{l}{D} + \sum \zeta}} \quad (2)$$

kde α ... Coriolisovo číslo (1,05),

λ ... součinitel ztrát třením [-],

l ... délka spodní výpusti [m],

$\sum \zeta$... součinitelé místních ztrát [-].

Součinitelé místních ztrát byl dle dispozice štol určen následujícím způsobem:

1	vtok	0,2
2	výtok	1,0
3	oblouk R1730	0,07
4	oblouk R6460	0,03

Celkem $\sum \zeta$ 1,30

Součinitel ztrát třením je odhadnut ze vztahu:

$$\lambda = \frac{8gn^2}{\left(\frac{D}{4}\right)^{1/3}}$$

kde n je Manningova drsnost, pro beton $n = 0,015$.

Pro délku štoly 3,2 km vychází následující hodnoty součinitele ztrát ve štolě pro vybrané hodnoty průměru D:

Tab. 2.6 Vypočtené hodnoty součinitele tření a celkového ztrátového součinitele štoly.

D [m]	λ [-]	μv [-]
1.0	0.028	0.104
2.0	0.022	0.162
2.5	0.021	0.186
3.0	0.019	0.208
5.0	0.016	0.279

Pro výpočet bylo následně použito výpočetní schéma dle obr. 2.15, kde rovnice propojení jezera Libouš a nádrže Nechranice je dána rovnicí (1).

Posouzení funkce propojení štolou pro zásobní funkci

Funkce propojení z pohledu účinnosti plnění zásobní funkce byla ověřena pro profil štoly D=1, 3 a 5 m. Posouzení bylo zpracováno v řadě průměrných denních průtoků na přítoku do nádrže Nechranice zaznamenaných limnigrafickou stanicí Kadaň v období od 1.11.2011 do 31.12.2020. V následujícím obr. 2.17 je znázorněno porovnání kolísání hladin v zásobním prostoru nádrže Nechranice a v jezeře Libouš pro variantu současného stavu (pouze VD Nechranice) a pro variantu s propojením s jezerem Libouš štolou o průměru D = 3,0 m.

Z grafů na obr. 2.17 vyplývá, že štola o průměru D=3,0 m je plně dostačující pro zajištění komunikace nádrže Nechranice s jezerem Libouš při plnění zásobní funkce soustavy. Zvolený profil nijak nelimituje výměnu vody v zásobním prostoru a umožňuje alokovat zásobní prostor jezera Libouš pro nadlepšování průtoků v Ohři. Při propojení štolou o průměru alespoň D=3,0 m je komunikace hladiny v nádrži Nechranice a v jezeře Libouš prakticky paralelní a ve sledovaném suchém období by toto propojení téměř zcela zamezilo podkročení minimální dispečerské hladiny 263,00 m n. m. oproti současnému stavu, kdy by k tomuto podkročení došlo.



Obr. 2.17 Porovnání průběhu hladin v nádrži Nechanice při plnění zásobní funkce pro variantu a) bez propojení, b) s propojením s jezerem Libouš pomocí štolu o průměru $D=3,0$ m.

Posouzení funkce propojení štolou pro retenční funkci

Posouzení je doloženo pomocí transformace zimních teoretických povodňových vln a pro případ jedné štol s průměrem $D=3,0$ m a pro případ dvou štol s průměry $D=5,0$ m. Výsledky tohoto porovnání uvádí následující tab. 2.7, kde je možné porovnat kulminační odtoky z nádrže Nechranice s variantou současného stavu a s variantou dokonalého propojení (to prakticky představuje varianta otevřeného koryta).

Tab. 2.7 Porovnání retenčního účinku pomocí transformací TPV_N pro variantu současného stavu (bez propojení) a pro variantu s propojením VD Nechranice a jezera Libouš:
a) štolou 1 x 3,0 m, b) dvěma štolami 5,0 m, c) dokonalé propojení (otevřené koryto).

Hr_{ovl} = 272.20	TPV			100 zimní	50 zimní	20 zimní	10 zimní
	počáteční hladina	H0	[m n. m.]	269.00	269.00	269.00	269.00
	kulminace přítok	Pmax	[m ³ .s ⁻¹]	753	648	509	415
	objem PV nad 200	W200	[mil. m ³]	104.3	81.7	48.7	29.4
kulminace odtok	současný stav	Omax	[m ³ .s ⁻¹]	380	312	221	200
	štola 1 x DN3000	Omax	[m ³ .s ⁻¹]	376	307	216	200
	štola 2 x DN5000	Omax	[m ³ .s ⁻¹]	333	259	200	200
	dokonalé propojení	Omax	[m ³ .s ⁻¹]	268	220	200	200
účinnost transformace	současný stav	η	[-]	0.67	0.75	0.93	1
	štola 1 x DN3000	η	[-]	0.68	0.76	0.95	1
	štola 2 x DN5000	η	[-]	0.76	0.87	1	1
	dokonalé propojení	η	[-]	0.88	0.96	1	1

Z výsledků posouzení dle tab. 2.7 vyplývá, že pravděpodobně realizovatelnější varianta štol s průměrem $D=3,0$ m nemá na retenční potenciál nádrže Nechranice téměř žádný příznivý vliv. Je to dáno skutečností, že komunikace jezera Libouš s nádrží Nechranice, není při povodňových průtocích dostatečná z důvodu omezené kapacity. Určité zlepšení by přinesla teprve realizace dvou štol průměru $D=5,0$ m. Ani toto propojení však není dokonalé.

2.4 Propojení kombinací otevřeného koryta a štol

Varianta kombinace otevřeného koryta a štol představuje situaci, kdy otevřené koryto bude využito pro přilehlé úseky propojení v blízkosti nádrže Nechranice a jezera Libouš. Větší část zbytku propojení pak bude vedena štolou. Z hydraulického hlediska je pak účinnost systému z pohledu zásobní a retenční funkce jezera Libouš dána kapacitou nejslabšího článku a tím bude kapacita propojení vedeného ve štolě. Výše popsané výsledky platné pro kapacitu a vodohospodářský efekt propojení štolou se pak použijí analogicky.

3 HARMONOGRAM PRVOTNÍHO NAPOUŠTĚNÍ JEZERA LIBOUSH

První plnění jezera Libouš je navrženo prostřednictvím přivaděče v podobě otevřeného koryta nebo štoly. Velikost plnicího průtoku je uvažována hodnotou maximálně $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, což je průtok, který lze kapacitně zajistit v obou případech propojení jezera Libouš a VD Nechranice. Analýza prvního plnění je zpracována pro hydrologické podmínky dle současného klimatu (2020) a pro dva časové horizonty klimatické změny: 2050 a 2100. Meteorologické a průtokové řady byly odvozeny modifikací dlouhé řady přirozených (neovlivněných) průtoků z profilu Bílina/Trmice za období hydrologických let 1900 až 2018 odvozené v rámci studie (ČVUT, 2020). Základním vstupním podkladem pro odvození bilance jezera jsou tato data:

- Specifické odtoky,
- Teploty vzduchu,
- Srážky nad jezerem.

Složky bilance jezera Libouš během plnění jsou tyto:

- Převod z nádrže Nechranice (dle varianty),
- Přítok z vlastního povodí jezera – je generován na základě specifických odtoků a plochy povodí jezera kromě aktuální plochy hladiny. Obsahuje HG přítok z mělké zvodně.
- Srážky na hladinu jezera,
- Výpar z hladiny jezera,
- Hydrogeologický (HG) přítok z hluboké zvodně.

Převod z nádrže Nechranice je uvažován po celou dobu plnění konstantní a ostatní složky bilance se mění v závislosti na meteorologické a hydrologické situaci v rámci použité řady a v závislosti na aktuální ploše hladiny jezera během plnění.

Neustálená bilance HG přítoku z hlubokých zvodní v průběhu plnění jezera byla stanovena pro předpoklad doporučené doby plnění 10 let v rámci studie VRV a PROGEO (2021). HG přítok byl stanoven pro předpoklad finální hladiny dle SPSaR ($H_{\text{fin}}=275,20 \text{ m n. m.}$). Finální hladina po propojení s VD Nechranice bude $269,00 \text{ m n. m.}$ Tato okolnost však není z pohledu věrohodnosti hlavních výsledků harmonogramu plnění významná s ohledem na marginální podíl HG přítoku v rámci bilance jezera během plnění.

Následující tab. 3.1 uvádí základní hydrometeorologické vlastnosti posuzovaných časových horizontů klimatické změny.

Tab. 3.1 Posuzované časové horizonty.

Časový horizont	Změna teploty vzduchu [$^{\circ}\text{C}$]	Změna srážek ΔH_s [mm]	Specifický odtok q_a [$\text{l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$]
2020	0	0	1,33
2050	+1,2	0	1,03
2100	+3,1	0	0,64

Simulace prvního plnění jezer byla zpracována s využitím připraveného simulačního modelu. Řešení bylo připraveno s využitím hydrologických průtokových řad délky 118 let v modifikaci k časovému horizontu 2020, 2050 a 2100. Pravděpodobnostní řešení umožňuje postihnout náhodný charakter hydrologických podmínek. Výsledný průběh plnění jezera byl určen jako střední hodnota z mnoha simulací lišících se počátkem plnění v dlouhé průtokové řadě. Počátky plnění byly voleny klouzavě po jednom měsíci.

Pro posouzení doby prvního plnění byly zvoleny tři varianty převodu vody z VD Nechranice. První varianta vychází z požadavku, aby celková doba plnění byla v souladu s SPSaR a doporučením dle studie VRV a PROGEO (2021) 10 let. Této doporučené době plnění odpovídá potřebný průměrný převod z VD Nechranice o velikosti $0,79 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Další varianty slouží pro posouzení citlivosti harmonogramu plnění na velikosti převodu a uvažují převod $1,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a $2,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

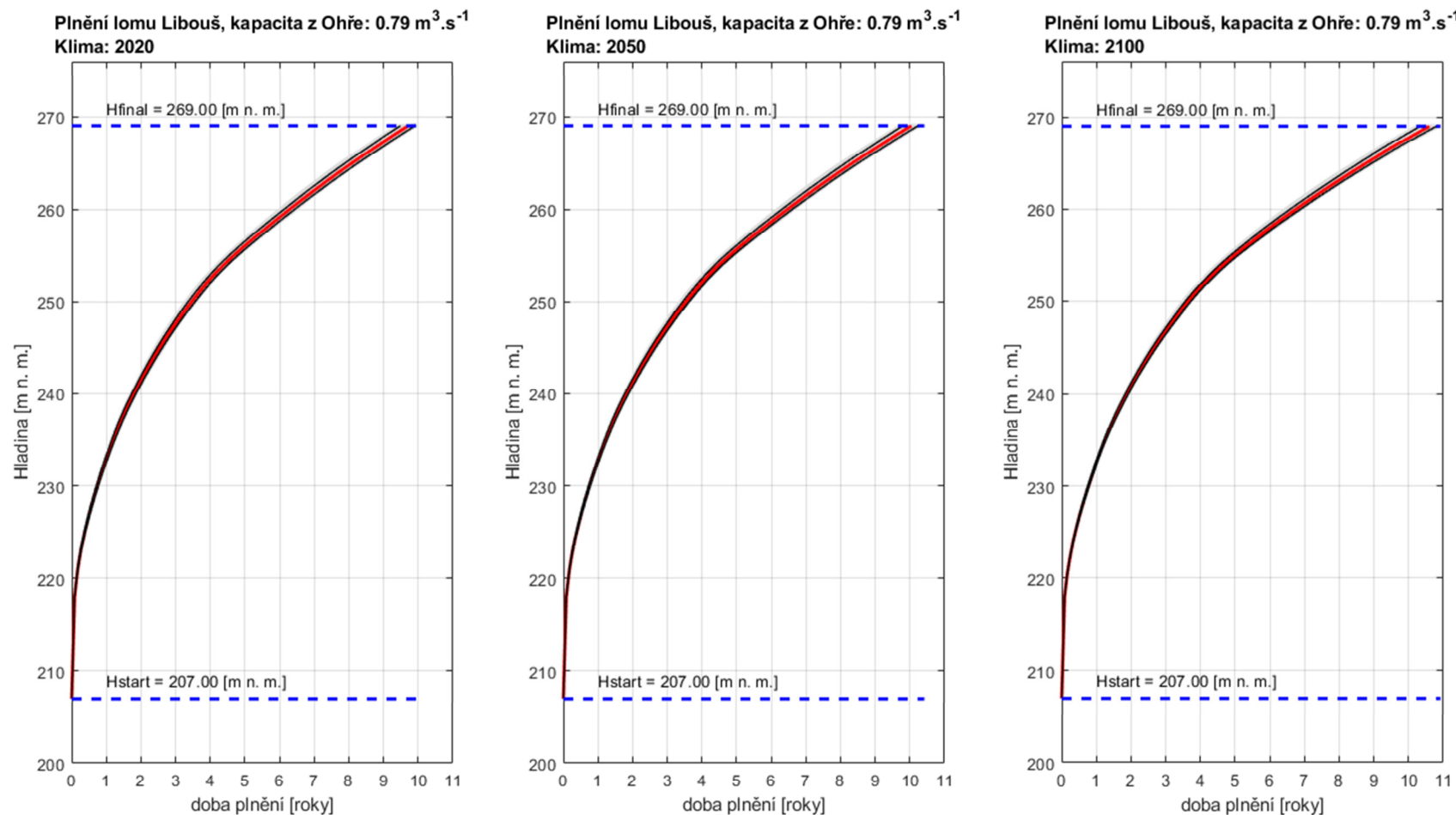
Tab. 3.2 Průměrné doby plnění (Tpr) a doby plnění s 95% zabezpečeností (T95).

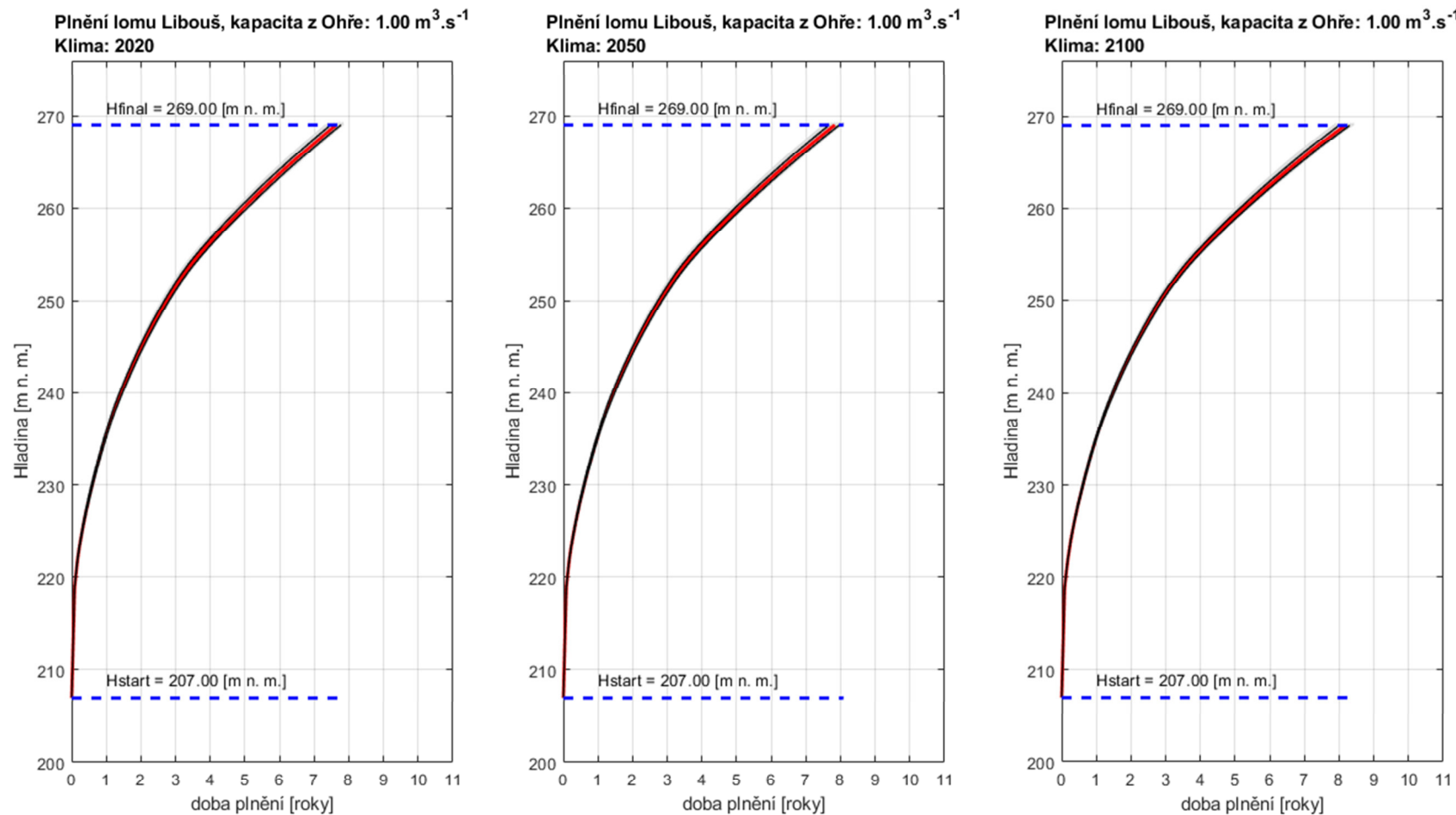
	Qpřevod	klíma 2020		klíma 2050		klíma 2100	
		Tpr	T95	Tpr	T95	Tpr	T95
	[$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	[roky]	[roky]	[roky]	[roky]	[roky]	[roky]
Varianta 1	0.79	9.8	9.9	10.1	10.2	10.6	10.8
Varianta 2	1.00	7.7	7.8	7.9	8.0	8.2	8.3
Varianta 3	2.00	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	4.0

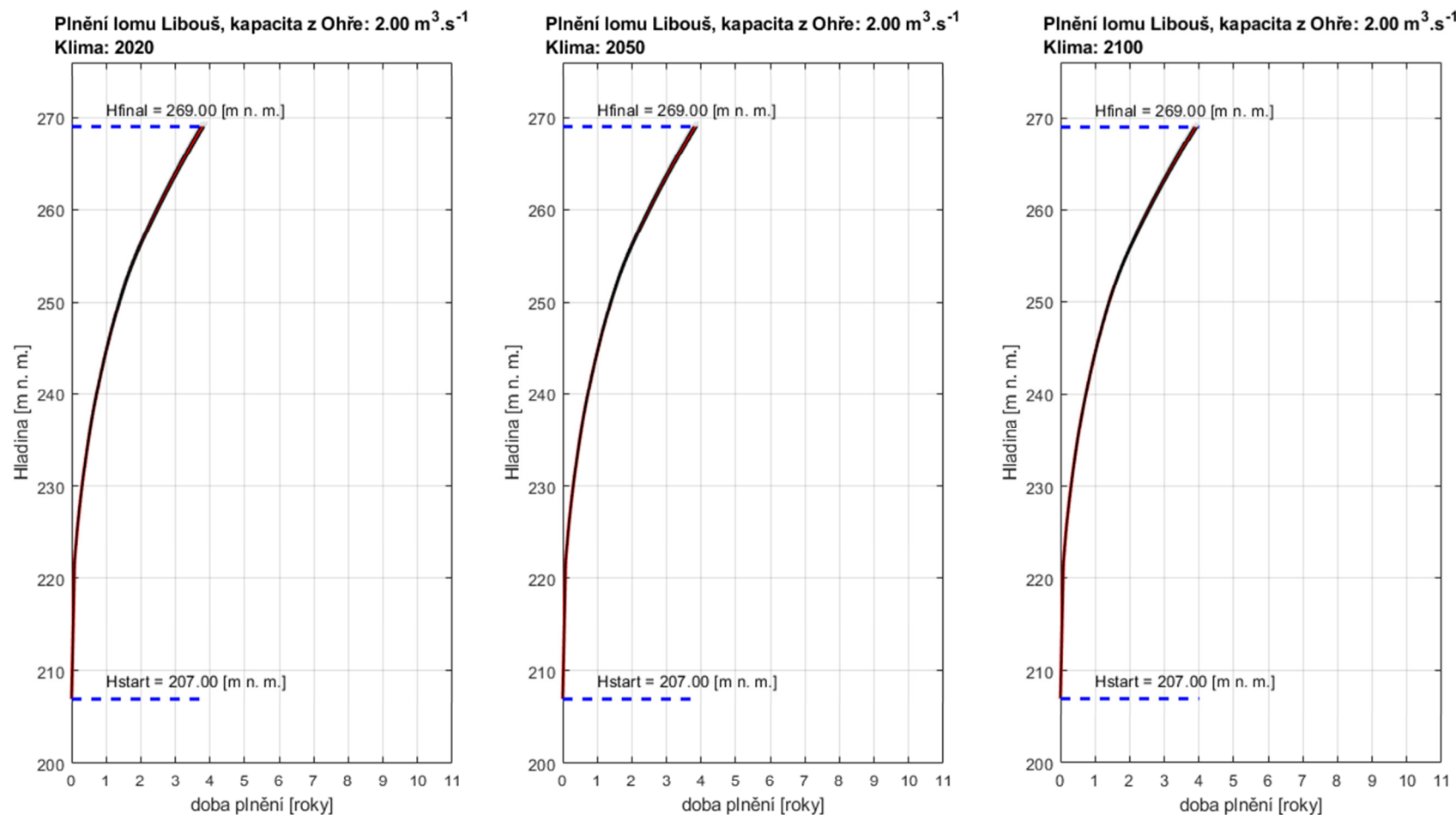
Přiložené grafy průběhu plnění jednotlivých jezer znázorňují výsledek mnoha simulací tak, aby bylo možné kvantifikovat také pravděpodobnostní vlastnosti prvního plnění. Posouzeno je plnění vždy pro klíma 2020, 2050 a 2100. Výsledky simulací jsou v obr. 3.1 až obr. 3.3 Šedou barvou je v grafech vyznačen svazek jednotlivých simulací a rozptyl těchto šedých průběhů značí hranice všech možných průběhů v režimu min-max. Dále je v grafech červenou linkou vyznačen průměrný průběh, který se ve většině případů příliš neliší od mediánu. Dvojice černých linek znázorňuje 90% konfidenční interval, a tedy s 90% pravděpodobností lze průběh plnění očekávat právě v tomto rozmezí. Horní černá linka odpovídá 5% kvantilu a spodní černá linka je 95% kvantil – ten zároveň značí průběh plnění s 95% zabezpečeností. Kvantily a střední průběh plnění byly vyhodnoceny jako doby plnění pro dané hladiny vody v jezeře mezi Hstart (dno jezera) a Hfin (konečná hladina).

Závěr:

Vzhledem ke skutečnosti, že přítoky z vlastního povodí a HG přítok činí jen malý zlomek převodu z Nechranic, je plánování harmonogramu prvního plnění jezera Libouš velmi spolehlivé.

Harmonogram plnění**Varianta 1: $Q_{\text{převod}} = 0,79 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$** **Obr. 3.1** Harmonogram plnění jezera Libouš převodem $0,79 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ z nádrže Nechranice.

Harmonogram plnění**Varianta 2: $Q_{\text{převod}} = 1,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$** **Obr. 3.2** Harmonogram plnění jezera Libouš převodem $1,00 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ z nádrže Nechanice.

Harmonogram plnění**Varianta 3: $Q_{\text{převod}} = 2,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$** **Obr. 3.3** Harmonogram plnění jezera Libouš převodem $2,00 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ z nádrže Nechanice.

