

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Lacina	Jméno: Martin	Osobní číslo: 477398
Zadávající katedra: 142 - Katedra hydrotechniky		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor/specializace: Vodní hospodářství a vodní stavby		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Vodohospodářské řešení zásobní funkce vodárenské nádrže Nýrsko

Název diplomové práce anglicky: Water management solution for the storage function of the Nýrsko reservoir

Pokyny pro vypracování:
Vodárenská nádrž Nýrsko na Úhlavě byla vybudována v letech 1965-1969 a jejím hlavním účelem je zajišťování přímého odběru pro úpravnu vody v Milencích a kompenzační nadlepšování průtoků pro odběr úpravny vody Homolka v Plzni. V souvislosti s potenciální potřebou navýšení odběrů vody v Plzni je třeba prověřit kapacitu nádrže novým VH řešením zásobní funkce. Cílem diplomové práce je zpracování nového VH řešení nádrže Nýrsko, které bude simulovat kompenzační řízení odtoku v denním kroku včetně simulace odhadu přítoku z mezipovodí pomocí regresního nebo hydrologického modelu. VH řešení bude rovněž připraveno pro tzv. střední scénář klimatické změny v časových horizontech 2041-2060 a 2061-2080.

Seznam doporučené literatury:
Patera, A., Nacházel, K., Fošumpaur, P.: Nádrže a vodohospodářské soustavy. Vydavatelství ČVUT, Praha 2002.
Votruba, L., Broža, V.: Hospodaření s vodou v nádržích. SNTL/ALFA, Praha 1980.
Manipulační řád pro VD Nýrsko na Úhlavě. Povodí Vltavy, státní podnik, 1996. Revize 2021.
Vizina, A.: Střední scénář klimatické změny pro vodní hospodářství v České republice – Povodí Vltavy, státní podnik. VÚV T.G.M., v.v.i., Praha 2019.

Jméno vedoucího diplomové práce: doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur

Datum zadání diplomové práce: 20. 09. 2022

Termín odevzdání DP v IS/KOS: 09. 01. 2023
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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“.

20. 9. 2022

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra hydrotechniky

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

Vodohospodářské řešení zásobní funkce vodárenské nádrže Nýrsko

Autor diplomové práce:

Martin Lacina

Vedoucí diplomové práce:

doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur

Rok obhajoby:

2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Vodohospodářské řešení zásobní funkce vodárenské nádrže Nýrsko“ vypracoval samostatně a veškerou použitou literaturu a další prameny jsem řádně označil a uvedl v příloženém seznamu.

V Praze dne 20. 12. 2022

.....
Podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Dr. Ing. Pavlovi Fošumpaurovi za poskytnuté podklady, odborné konzultace, cenné rady i jeho čas.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá vodohospodářským řešením vodárenské nádrže Nýrsko na Úhlavě v rámci kompenzačního řízení odtoku pro úpravnu vody Homolka v Plzni.

Cílem diplomové práce bylo zpracování vodohospodářského řešení vodárenské nádrže Nýrsko, které simulovalo kompenzační řízení odtoku v denním kroku včetně simulace odhadu přítoku z mezipovodí pomocí regresního, nebo hydrologického modelu.

Dalším cílem bylo připravit vodohospodářské řešení pro tzv. střední scénář klimatické změny v časových horizontech 2041 až 2060 a 2061 až 2080.

Abstract

The aim of this diploma thesis is the water management solution of the water reservoir Nýrsko on the river Úhlava within the framework of the outflow compensation management for the water treatment plant Homolka in Pilsen.

The aim of the diploma thesis was to develop a water management solution for the water reservoir Nýrsko, which simulate the compensatory control of the runoff in a daily step, including the simulation of the estimation of the inflow from the intermediate catchments using a regression or hydrological model.

Another goal was to prepare a water management solution for the so-called medium scenario of climate change in the time horizons 2041 to 2060 and 2061 to 2080.

Klíčová slova

vodárenská nádrž Nýrsko, zásobní funkce, klimatická změna, vodohospodářské řešení

Keywords

water reservoir Nýrsko, storage function, climate change, water management solutions

Obsah

1	Úvod.....	8
2	Řešená oblast.....	10
2.1	Vodní dílo Nýrsko	10
2.1.1	Poloha	10
2.1.2	Účel	10
2.1.3	Manipulační prostory	11
2.1.4	Charakteristika nádrže	12
2.2	Povodí.....	13
2.2.1	Povodí Nýrska.....	14
2.2.2	Mezipovodí	15
3	Vstupní údaje	16
3.1	Požadavky na zásobování obyvatelstva vodou.....	16
3.1.1	Odběr na úpravnu vody Milence.....	16
3.1.2	Odběr na úpravnu vody Homolka.....	16
3.2	Základní hydrologické a klimatologické údaje.....	17
3.2.1	Období 1980 až 2021	17
3.2.2	Střední scénáře klimatické změny	26
3.3	Vodohospodářské řešení vodárenské nádrže Nýrsko na Úhlavě v měsíčním kroku.....	28
3.3.1	Varianta A.....	29
3.3.2	Varianta B	29
3.3.3	Varianta C	29
3.3.4	Výsledky variant	29
4	Vodohospodářské řešení s použitím reálných průtokových řad	31
4.1	Bilance pro odběr Milence – Varianta A	32

4.1.1	Struktura modelu.....	32
4.1.2	Variantní řešení.....	33
4.2	Bilance pro odběr na úpravnu vody Milence a kompenzační řízení pro odběr úpravny vody Homolka – Varianta B.....	38
4.2.1	Struktura modelu.....	38
4.2.2	Variantní řešení.....	39
4.3	Bilance pro přímý odběr na úpravnu vody Milence a Homolka – Varianta C.....	49
4.3.1	Struktura modelu.....	49
4.3.2	Variantní řešení.....	50
5	Vodohospodářské řešení s použitím regresního, nebo hydrologického modelu.....	57
5.1	Popis regresního modelu.....	57
5.1.1	Autoregresní model.....	57
5.1.2	Model klouzavých průměrů.....	58
5.1.3	Integrační model.....	58
5.2	Popis Hydrologického modelu.....	59
5.2.1	Model GR4J.....	59
5.2.2	Modul Cema Neige.....	60
5.3	Kalibrace a validace hydrologického a ARIMA modelu.....	61
5.4	Porovnání průtoků hydrologického modelu a ARIMA modelu.....	63
5.4.1	Přítok do VD Nýrsko.....	63
5.4.2	Přítok z mezipovodí.....	64
5.5	Variantní řešení.....	65
5.5.1	Bilance pro odběr Milence – Varianta A.....	66
5.5.2	Bilance pro odběr na úpravnu vody Milence a kompenzační řízení pro odběr úpravny vody Homolka – Varianta B.....	70
5.5.3	Bilance pro přímý odběr na úpravnu vody Milence a Homolka – Varianta C	78

5.6	Odchyly průtoků vlivem chyb modelů	82
5.6.1	Porovnání s hydrologickým modelem	84
5.6.2	Porovnání s ARIMA modelem	86
5.6.3	Porovnání s daty posunutými o den.....	87
5.6.4	Porovnání potřebných objemů	88
6	Diskuse a porovnání výsledků	90
6.1	Varianta A.....	90
6.2	Varianta B.....	93
6.3	Varianta C.....	96
7	Závěr	100
8	Seznam zkratk a symbolů.....	103
9	Seznam použité literatury.....	105
10	Seznam obrázků, grafů a tabulek	107

1 Úvod

V současné době můžeme pozorovat ovlivnění hydrologických procesů vlivem klimatické změny. Změna klimatu je čím dál více ovlivňována lidskou činností, ať už je to vlivem zásahu přímo do povodí, např. výstavbou vodní nádrže nebo vykácením lesů, nebo nadměrnou produkcí skleníkových plynů lidskou činností. [1]

V minulosti byla vodní díla navrhována na základě reálných naměřených hydrologických dat v reprezentativním období. Postupně se ukázalo, že dosavadní naměřená data nebyla schopna poskytnout dostatečně dlouhou řadu pro vodohospodářské řešení nádrží. V návaznosti na toto zjištění byly z reálně naměřených hodnot odvozovány syntetické hydrologické řady o dobách trvání až tisíce let. Tato data sestavovaná metodou stochastické hydrologie nepředstavovala předpověď hydrologického režimu do budoucích let, ale přidanou hodnotou oproti reálným hydrologickým řadám byla jejich libovolná časová délka a s tím spojené spolehlivější řešení variability hydrologických dat. Toto řešení je důležité zejména u víceletých nádrží, kde reálné řady často nedosahují dostatečných délek pozorovaných období. [1]

Vlivem změny klimatických podmínek se ukazuje, že výše zmíněná hydrologická data nejsou dostatečná pro řešení vodohospodářských nádrží s ohledem na budoucí zabezpečení dodávek vody pro potřeby obyvatelstva. Za tímto účelem zpracoval Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. M. tzv. střední scénář klimatické změny, který zpracovává pravděpodobný vývoj změny hydrologických podmínek v závislosti na klimatu v časových horizontech let 2041–2060, 2061–2080 a 2081–2100. [2]

V minulosti bylo zpracováno vodohospodářské řešení vodárenské nádrže Nýrsko ve standardním měsíčním kroku pro případ potřeby navýšení odběru na úpravně vody Homolka v Plzni. Výsledky řešení vzbudily pochyby, zdali bude nádrž schopna splnit požadovanou zabezpečení na dodávku vody dle tzv. středního scénáře klimatické změny pro období let 2041–2060 a 2061–2080, kde je pravděpodobné, že nastane více poruch při vodohospodářském řešení v denním kroku oproti měsíčnímu. Obava pramení z faktu, že během vodohospodářského řešení v měsíčním kroku mohou nastat suché periody mající za následek poruchu plnění funkce nádrže, přičemž při výpočtu nemusejí být odhaleny z důvodu výskytu značně vodného období v témže měsíci.

V návaznosti na tyto informace zpracovala tato práce vodohospodářské řešení zabezpečení zásobní funkce nádrže v denním kroku pro reálně naměřená data a dále posuzuje vliv klimatické změny ve výše zmíněných časových horizontech na zabezpečení dodávek vody pro obyvatelstvo. Dalším cílem práce je simulace přítoku z mezipovodí za pomoci hydrologického, nebo regresního modelu, a následné provedení vodohospodářského řešení zásobní funkce nádrže v denním kroku.

2 Řešená oblast

2.1 Vodní dílo Nýrsko

2.1.1 Poloha

Vodní nádrž Nýrsko se nachází v severozápadním okraji pohoří Šumava na vodním toku Úhlava jižně od stejnojmenné obce. Nádrž se nachází v oblasti Natura 2000 – Šumava, dále je součástí světového kulturního dědictví UNESCO – Šumava a nachází se v chráněné krajinné oblasti Šumava. [3]

Vodní dílo je umístěno dle Digitální báze vodohospodářských dat (DIBAVOD) na ř. km 89,4, přičemž samotná úpravna vody Homolka v Plzni se nachází na ř. km 0,4. Tato vzdálenost – 89 km po toku mezi odběrným místem v Plzni a místem nalepšení průtoku pod vodním dílem Nýrsko – má za následek fakt, že odběr na úpravnu vody Homolka je dotován významným přítokem z mezipovodí a doba dotoku se pohybuje při menších průtocích okolo 1 dne. [4]

2.1.2 Účel

Primárním účelem vodního díla je odběr surové vody pro úpravnu vody v Milencích a následně pro skupinový vodovod zásobující Klatovsko a Domažlicko ve smyslu povolení nakládání s vodami (povolení k odběru povrchových vod dle rozhodnutí Městského úřadu Klatovy ze dne 17. 12. 2012 pod č. j.: ŽP/10297/12/Šp s platností do 31. 12. 2024). [5]

Sekundárním účelem vodního díla dle důležitosti je nalepšení průtoku na Úhlavě pro odběr na úpravnu vody Homolka v Plzni. [5]

Třetí v pořadí důležitosti je zajištění MZP v profilu pod hrází ve výši 360 l/s. [5]

Čtvrtým účelem je využití hydroenergetického potenciálu na malé vodní elektrárně ve VD Nýrsko. Povolení k nakládání s vodami vydal Okresní úřad Klatovy (registr živnostenského podnikání dne 30. 5. 1995 pod č. j.: ŽP 1298/95-231-2P v množství max. 1,8 m³/s). [5]

Dalšími účely vodního díla dle významnosti jsou v následujícím pořadí:

- částečné snížení velkých vod na Úhlavě a částečná ochrana území pod hrází před účinky povodní,

- manipulace na zlepšení hygienických podmínek a kvality vody v Úhlavě,
- likvidace následků čistotářských havárií,
- nalepšení průtoku pro vodácké sporty pod vodním dílem. [5]

2.1.3 Manipulační prostory

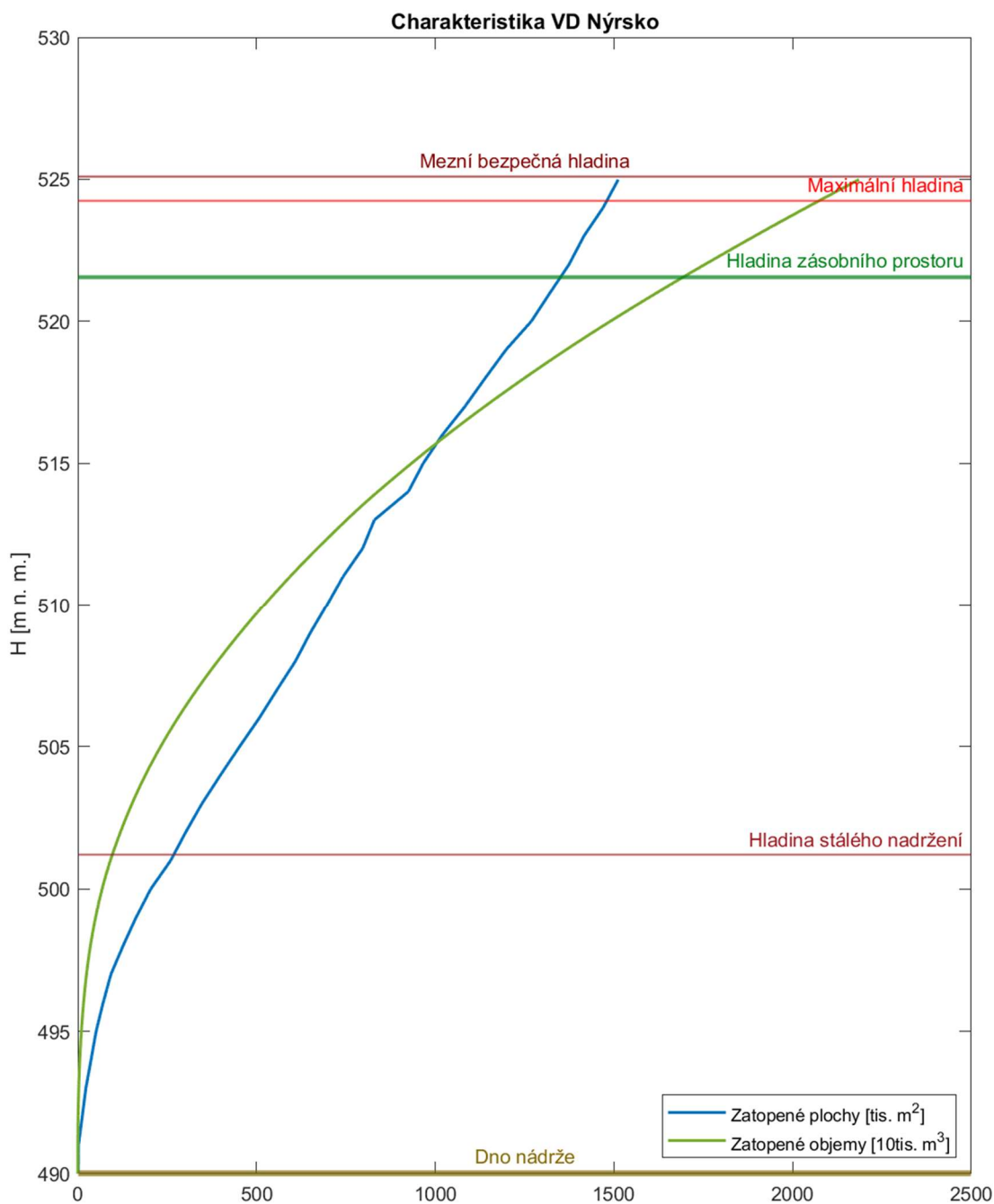
Tabulka 1: Prostory nádrže VD Nýrsko.

Prostor stálého nadržení		
dolní úroveň	490,00 (dno)	m n. m.
horní úroveň	501,20	m n. m.
plocha při horní úrovni	268,3	tis. m ²
objem při horní úrovni	0,97	mil. m ³
Zásobní prostor		
dolní úroveň	501,20	m n. m.
horní úroveň	521,55	m n. m.
plocha při horní úrovni	1350,4	tis. m ²
objem při horní úrovni	16,93	mil. m ³
Ochranný ovladatelný prostor		
dolní úroveň	521,55	m n. m.
horní úroveň	523,00	m n. m.
plocha při horní úrovni	1415,9	tis. m ²
objem při horní úrovni	18,93	mil. m ³
Ochranný neovladatelný prostor		
dolní úroveň	523,00	m n. m.
horní úroveň	524,25	m n. m.
plocha při horní úrovni	1480,4	tis. m ²
objem při horní úrovni	20,75	mil. m ³

Mezní bezpečná hladina je dle MŘ na úrovni koruny hráze 525,11 m n. m. [2]

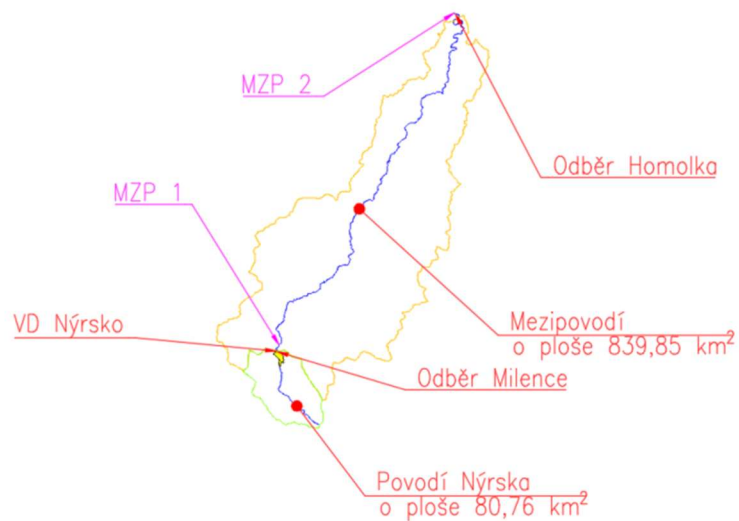
2.1.4 Charakteristika nádrže

Státní podnik Povodí Vltavy poskytl v rámci řešení data zatopených ploch a objemů vodního díla. [6] Z těchto dat byl sestaven graf charakteristik nádrže s vyznačenými hladinami stálého nadržení, zásobního prostoru, maximální hladinou a mezní bezpečnou hladinou. Graf charakteristik nádrže (Graf 1) je vyobrazen níže.

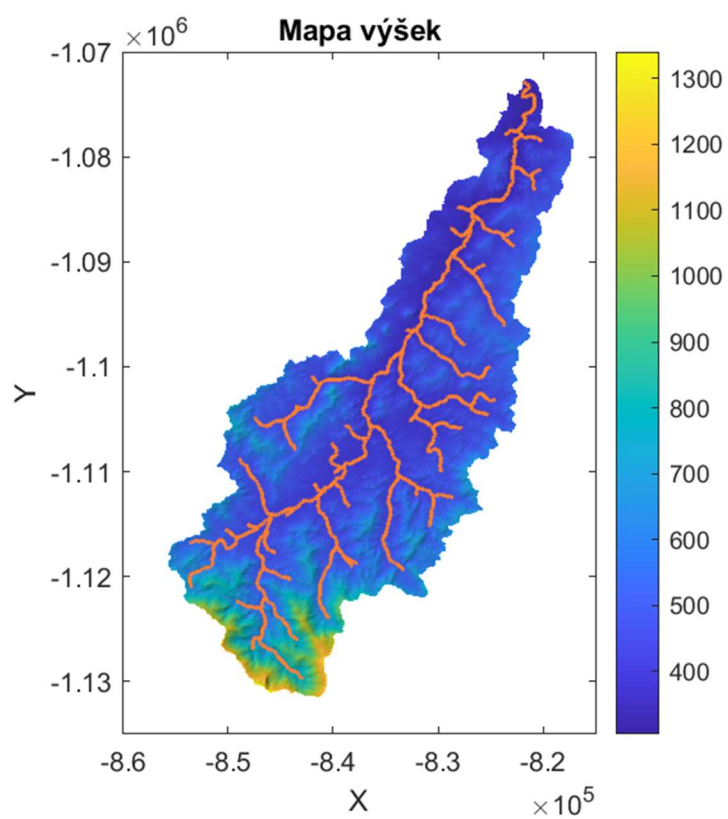


Graf 1: Charakteristiky VD Nýrsko.

2.2 Povodí



Obrázek 1: Schéma řešené oblasti.



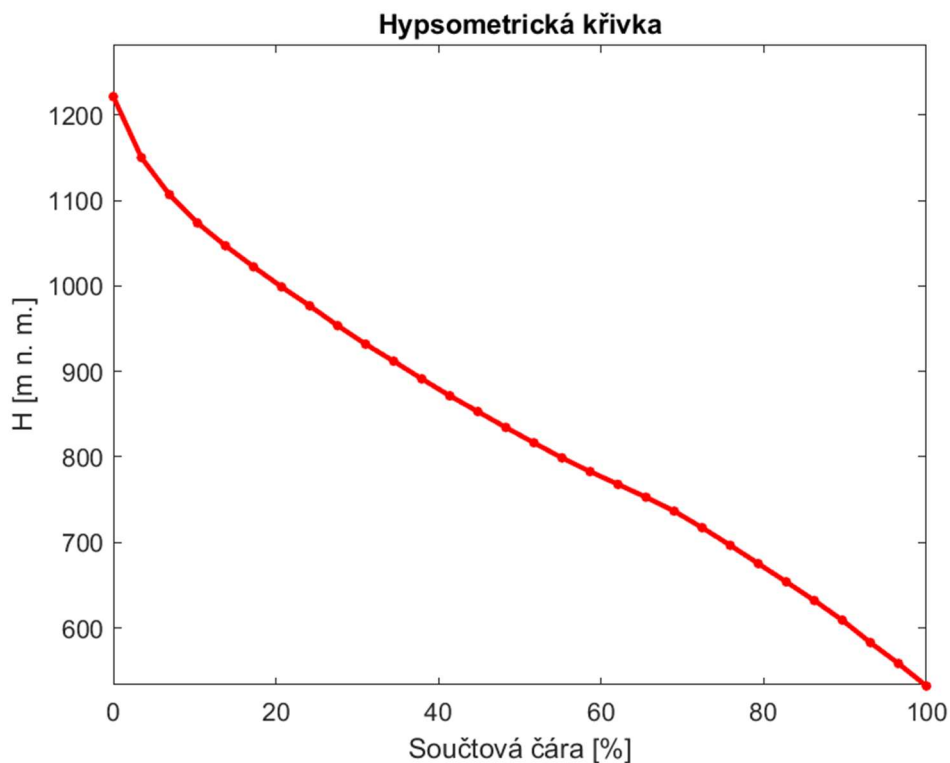
Obrázek 2: DMT celého povodí s vodními toky.

2.2.1 Povodí Nýrska

Povodí zajišťující přítok do VD Nýrsko má plochu cca 80,76 km². Plocha povodí byla získána na základě analýzy digitálního modelu terénu označovaného DMT (data poskytl a zpracoval © GISAT (2007) [23]), kde se z výchozího bodu limnigrafické stanice Nýrsko vycházelo ve směru největšího spádu k orografické rozvodnici a dále se pokračovalo po vrcholcích povodí.

V rámci analýzy DMT byla dále vytvořena hypsometrická křivka znázorňující % zastoupení nadmořské výšky v dané oblasti povodí. Na základě rozdělení hypsometrické křivky do intervalů po 20 % byla průměrná výška v těchto intervalech následující:

- 0–20 % – 638,60 m n. m.
- 21–40 % – 739,37 m n. m.
- 41–60 % – 827,78 m n. m.
- 61–80 % – 924,30 m n. m.
- 81–100 % – 1048,80 m n. m.



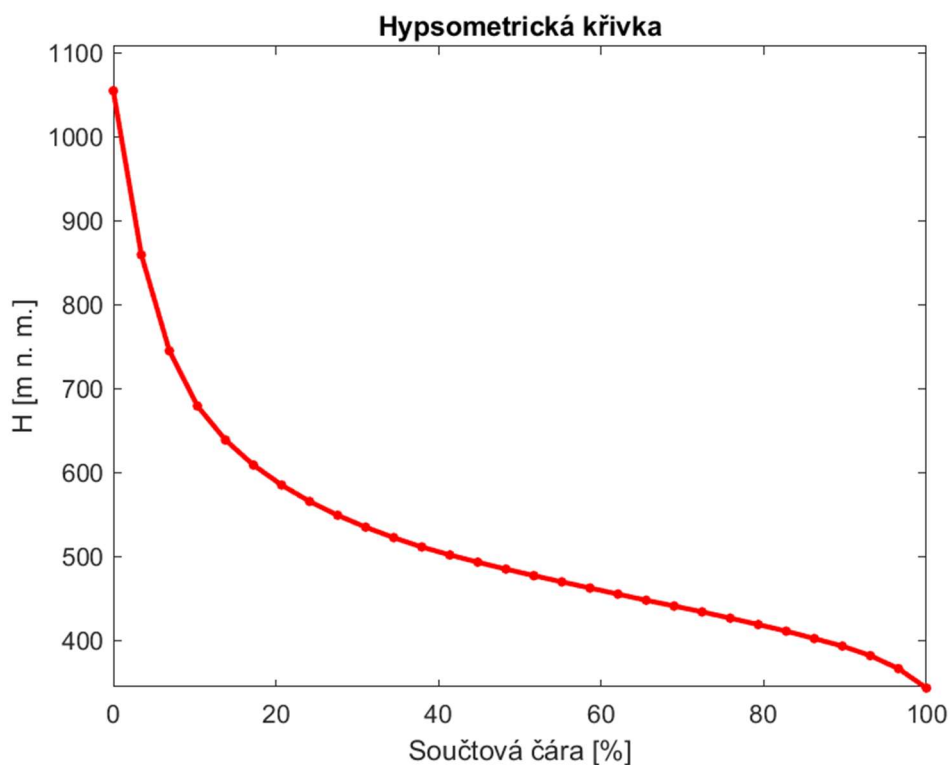
Graf 2: Hypsometrická křivka povodí VD Nýrsko.

2.2.2 Mezipovodí

Plocha mezipovodí mezi odtokem z vodního díla a limnigrafickou stanicí ve Štěnovicích činí cca 839,85 km². Způsob určení plochy a hypsometrické křivky byl obdobný jako v případě získávání dat k povodí VD Nýrsko.

Na základě rozdělení hypsometrické křivky do intervalů po 20 % byla průměrná výška v těchto intervalech následující:

- 0–20 % – 401,99 m n. m.
- 21–40 % – 444,57 m n. m.
- 41–60 % – 482,81 m n. m.
- 61–80 % – 535,94 m n. m.
- 81–100 % – 682,26 m n. m.



Graf 3: Hypsometrická křivka mezipovodí.

3 Vstupní údaje

3.1 Požadavky na zásobování obyvatelstva vodou

Požadavky na dodávky vody v odběrných místech byly v bilančním modelu uvažovány dle maximálních povolených odběrů dle MŘ. Tyto odběry však nejsou v současné době plně využívány, a model je tudíž při výpočtech na straně bezpečnosti.

3.1.1 Odběr na úpravnu vody Milence

Úpravna vody Milence je v provozu od roku 1989. Pro řešení práce bylo poskytnuto množství měsíčních odběrů v letech 1989–2021 státním podnikem Povodí Vltavy. [7] Data ze zkušebního provozu v roce 1988 poskytl pan Tureček z ÚV Milence. [8]

Povolený odběr na úpravnu vody vydal Odbor životního prostředí Městského úřadu Klatovy. Maximální povolený odběr je 340 l/s nárazově a 142,7 l/s dlouhodobě. Maximální měsíční odběr činí 400 tis. m³ a maximální roční povolený odběr je 4500 tis. m³. [9]

Pro potřeby výpočtů je uvažována hodnota 142,7 l/s. Rozhodnutí dále stanovuje výši MZP pod hrází na hodnotu 360 l/s. [9]

3.1.2 Odběr na úpravnu vody Homolka

Dne 11. 1. 2019 vydal Odbor životního prostředí Magistrátu města Plzně rozhodnutí o povolení odběrů z vodního toku. Průměrný povolený odběr byl stanoven na 580 l/s. Maximální okamžitý odběr je 1000 l/s. Maximální měsíční odběr vody činí 1500 tis. m³ a maximální roční odběr je 16 500 tis. m³. [10]

Součástí tohoto rozhodnutí bylo zajištění MZP za odběrem na úpravnu vody Homolka v Plzni o hodnotě 630 l/s. [10]

Vodohospodářské řešení nádrže Nýrsko v měsíčním kroku zpracované doc. Dr. Ing. Pavlem Fošumpauem provádělo možnost navýšení odběru na hodnotu 660 l/s, respektive 880 l/s. Toto řešení bude v této práci taktéž ověřeno. [2]

3.2 Základní hydrologické a klimatologické údaje

3.2.1 Období 1980 až 2021

3.2.1.1 Získání dat od ČHMÚ

Hydrologické údaje pro povodí vodárenské nádrže Nýrsko a mezipovodí na trase od VD Nýrsko po místo odběru na úpravnu vody Homolka v Plzni byly staženy ze stránek Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ), který tato data poskytuje v souladu se zákonem 123/1998 Sb. o právu na informace o životním prostředí. [11]

Byla stažena data průměrných denních srážek, průměrných denních teplot, minimálních denních teplot a maximálních denních teplot pro stanice, které při sestavení Thiesenových polygonů zasahovaly svou oblastí do řešeného úseku povodí. Dále byla stažena data průměrných denních průtoků v profilu limnigrafické stanice Nýrsko a v profilu limnigrafické stanice Štěnovice. Všechna data byla stažena pro období mezi lety 1980 až 2020.

3.2.1.2 Výpočet výparu z vodní hladiny

Množství výparu z vodní hladiny pro období 1980 až 2020 bylo stanoveno dle přílohy B normy ČSN 75 2405 s názvem *Vodohospodářská řešení vodních nádrží*, kde rozdělení množství výparu v jednotlivých měsících odpovídá následující tabulce:

Tabulka 2: Rozdělení výparu v jednotlivých měsících v procentech. [12]

Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
%	1	2	6	9	12	14	16	15	11	7	5	2

Množství výparu z vodní hladiny za celý rok je dle normy vztaženo k nadmořské výšce. Úroveň hladiny pro stanovení množství výparu za rok byla stanovena pro kótu zásobního prostoru (523,00 m n. m.). Po proložení křivky závislosti množství výparu na nadmořské výšce přílohy B jsme obdrželi křivku danou rovnicí:

$$\text{Výpar [mm/rok]} = H^2 * 5,4 * 10^{-5} - H * 0,39 + 873 \quad (3.1)$$

kde H je výška hladiny v m n. m. Po dosazení do rovnice vyšlo množství výparu za rok 682 mm.

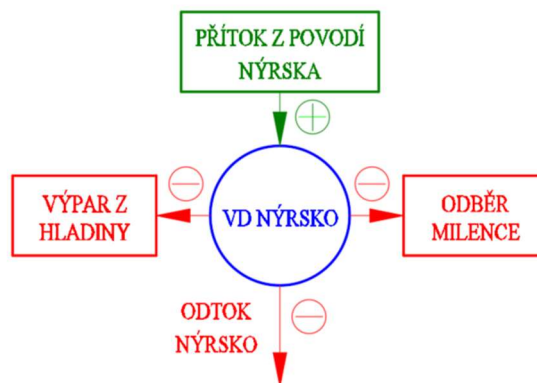
Výsledné rozdělení výparu v měsících bylo následující:

Tabulka 3: Rozdělení výparných výšek po měsících v mm/měsíc. [12]

Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
mm	6,8	13,6	40,9	61,4	81,9	95,5	109,2	102,3	75,0	47,8	34,1	13,6

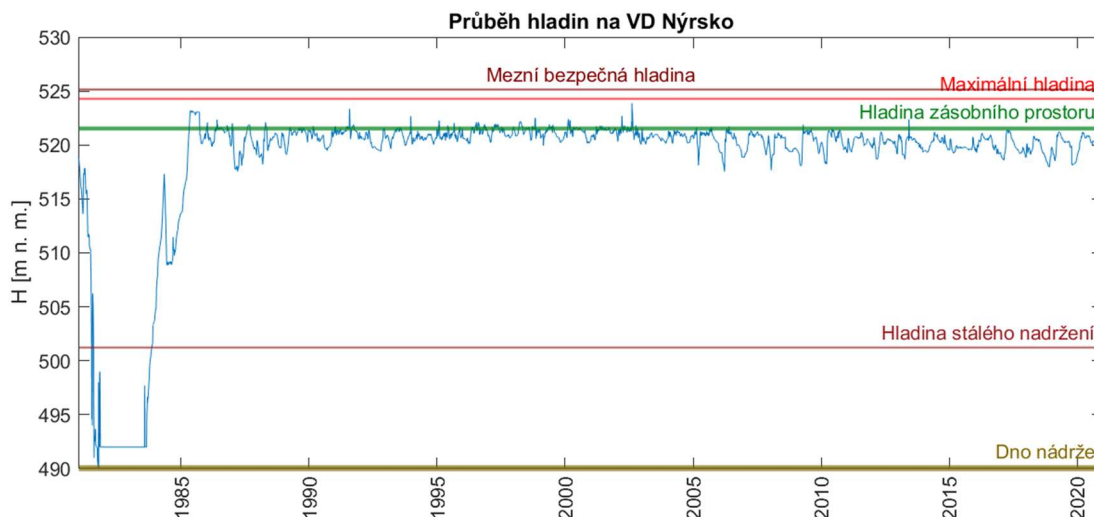
3.2.1.3 Určení čistého přítoku do nádrže

Pro určení čistého přítoku do vodárenské nádrže byl sestaven model řešící v denním kroku bilanci mezi přítokem z povodí, odběrem na úpravnu vody Milence, výparem z hladiny, odtokem z vodního díla a změnou objemu v nádrži. Data odběrů na úpravnu vody Milence [7] byla poskytnuta státním podnikem Povodí Vltavy spolu se záznamem objemů v nádrži v denním kroku. [13] Schéma bilančního modelu je zobrazeno níže (Obrázek 3).



Obrázek 3: Schéma pro bilanci v profilu VD Nýrsko pro určení čistého přítoku.

Výpar z vodní hladiny byl odvozen na základě zjištění plochy hladiny za pomoci charakteristiky nádrže poskytnuté státním podnikem Povodí Vltavy [6] a známého objemu vody v zásobním prostoru pro daný časový interval.



Graf 4: Průběh hladin v nádrži (1981–2021).

Bilanční rovnice pro určení přítoku Q_{in} [m^3/s] za daný den při známém výparu z hladiny ZV [m^3], odběru na úpravnu vody Milence $OMil$ [m^3/s], odtoku pod vodním dílem Q_{out} [m^3/s] a změně objemu dV [m^3] určené rozdílem mezi objemem aktuálního a následujícího dne potom vypadala následovně:

$$Q_{in} = Q_{out} + Q_{Mil} + \frac{ZV - dV}{dt} \quad (3.2)$$

kde dt je časový interval $86\,400 \text{ s} = 1 \text{ den}$.

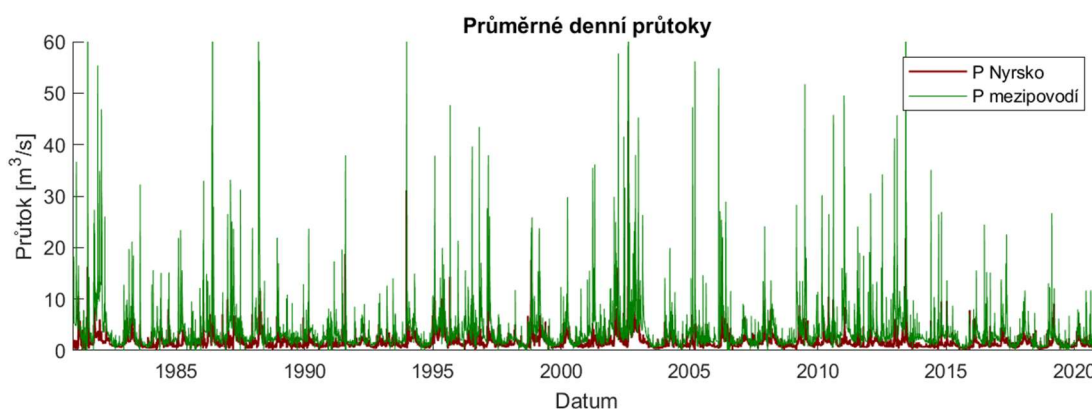
Odvozená řada přítoků do nádrže má v řešeném období hodnotu dlouhodobého průměrného přítoku Q_a $1,62 \text{ m}^3/\text{s}$.

3.2.1.4 Určení přítoku z mezipovodí

Přítok z mezipovodí byl odvozen na základě odečtení odtoku pod VD Nýrsko od hodnoty naměřené v limnigrafické stanici Štěnovice. Doba dotoku mezi těmito stanicemi se v době malých průtoků, které jsou stěžejní pro výpočet zabezpečení dodávek vody, pohybuje okolo jednoho dne. Z toho důvodu je od hodnoty průměrného

denního průtoku v profilu limnigrafické stanice Štěnovice odečítána hodnota průměrného denního průtoku na limnigrafické stanici Nýrsko z předchozího dne.

Po odečtení posloupnosti denních průtoků pro celé sledované období se některé přítoky z mezipovodí ukázaly jako záporné. Tyto hodnoty se vyskytovaly v méně než 1 % případech a byly nahrazeny průměrným denním průtokem za sledované období. Výsledný průběh přítoků z mezipovodí je zobrazen spolu s přítokem do VD Nýrsko v grafu níže (Graf 5).



Graf 5: Průměrné denní přítoky z povodí VD Nýrsko a z mezipovodí.

3.2.1.5 Množství spadlých srážek

V rámci použití hydrologického modelu GR4J spojeného se sněhovým modulem Cema Neige bylo třeba získat denní úhrn srážek pro povodí Nýrska a dále denní úhrn srážek pro oblast mezipovodí mezi VD Nýrsko a limnigrafickou stanicí Štěnovice.

V rámci získání informací spadlých srážek na těchto dvou územích byla stažena data záznamů srážkových úhrnů pro srážkoměrné stanice Plzeňského kraje v souladu se zákonem 123/1998 Sb. o právu na informace o životním prostředí z webu ČHMÚ.

[11]

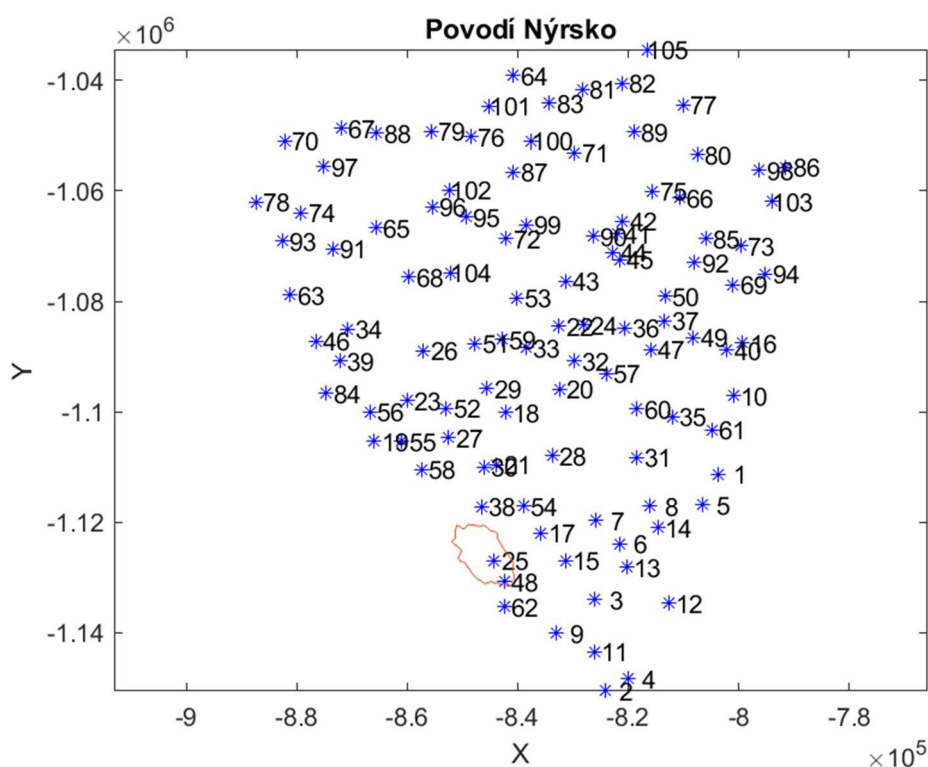
Pro získání hodnot srážek na povodí Nýrska a posléze na mezipovodí byla použita metoda Thiessenových polygonů. Postup získání reprezentativní srážky na povodí a mezipovodí byl následující:

1. Získání polohy a zanesení do mapy

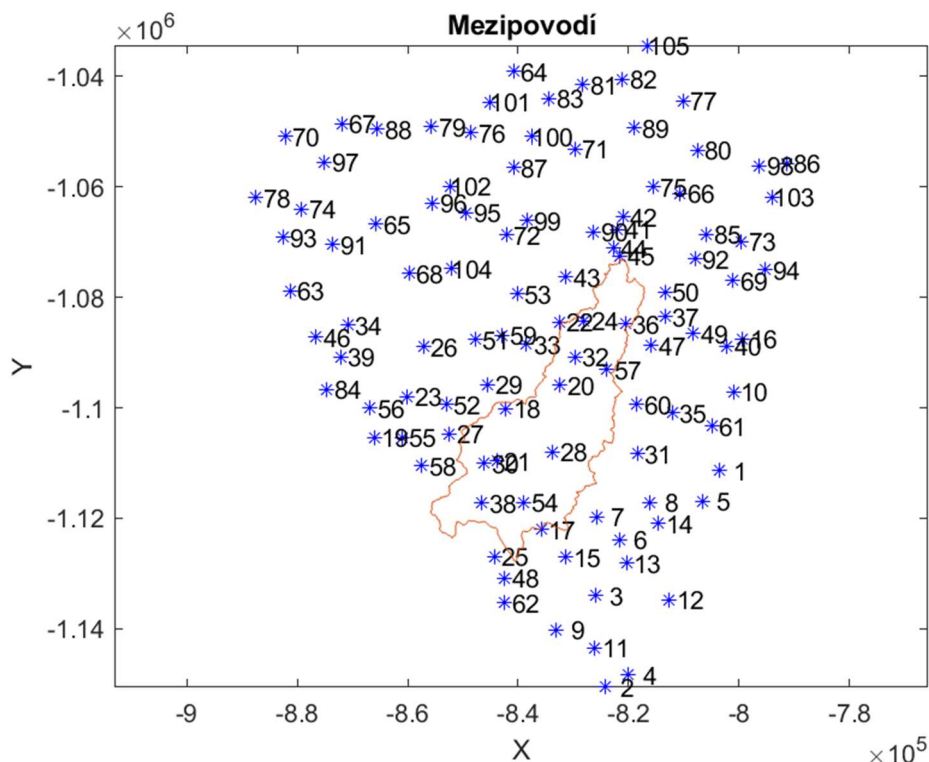
Data srážkoměrných stanic obsahovala polohu stanice udanou zeměpisnou šířkou a délkou. Pro všechny srážkoměrné stanice byla tato data seskupena a utvořena do seznamu s názvem stanice, pořadovým číslem a zeměpisnou šířkou a délkou. Dále byly hodnoty zeměpisné šířky a délky převedeny na souřadnicový systém JTSK za použití aplikace Českého úřadu zeměměřického a katastrálního pro transformaci souřadnic. [14]

2. Zanesení souřadnic do mapy spolu s hranicemi

Získané souřadnice stanic byly zaneseny do mapy a následně byla zakreslena i hranice povodí a mezipovodí:



Obrázek 4: Povodí Nýrsko s očíslovanými stanicemi.



Obrázek 5: Mezipovodí s očíslovanými stanicemi.

3. Tvorba Thiesenových polygonů

Dalším krokem bylo vytvoření Thiesenových polygonů. Konstrukce těchto polygonů je založena na vytvoření ploch mezi body v rovině, kde každý polygon je hranicí mezi těmito body. Tato hranice je dána vždy nejkratší cestou k blíže ležícímu bodu.

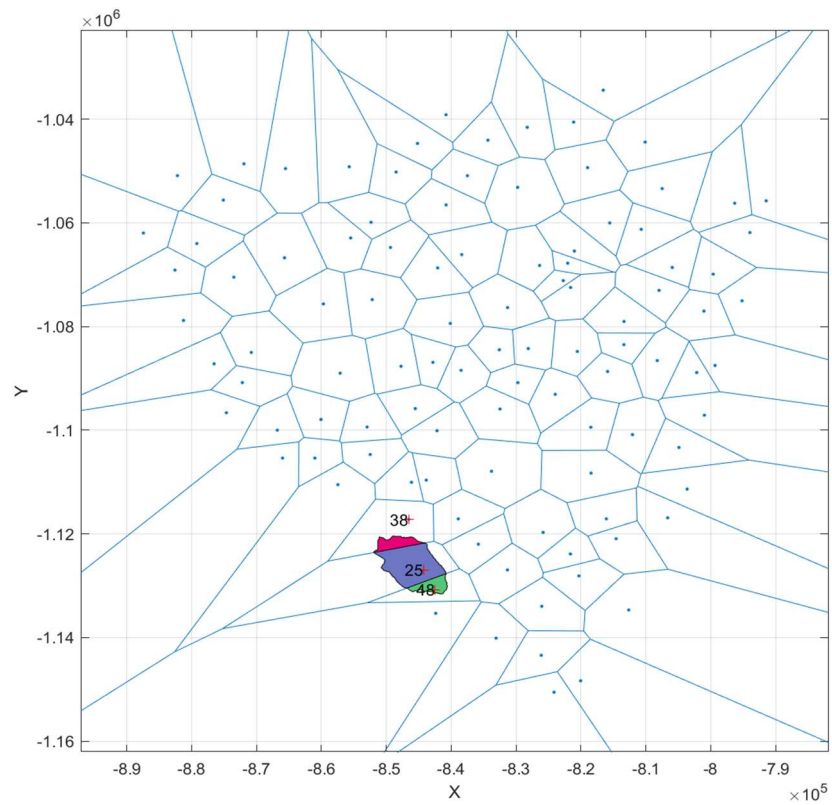
Takto sestavené polygony byly dále ohraničeny hranicemi povodí VD Nýrsko a hranicí mezipovodí. Stanice, které svou plochou Thiesenových polygonů nezasahovaly do daného povodí, byly vyřazeny a zůstaly pouze ty stanice, které byly pro výpočet srážky nad povodím relevantní. Souhrn potřebných údajů pro stanice povodí VD Nýrsko a mezipovodí je v následujících tabulkách (Tabulka 4, Tabulka 5).

Tabulka 4: Parametry stanic povodí VD Nýrsko.

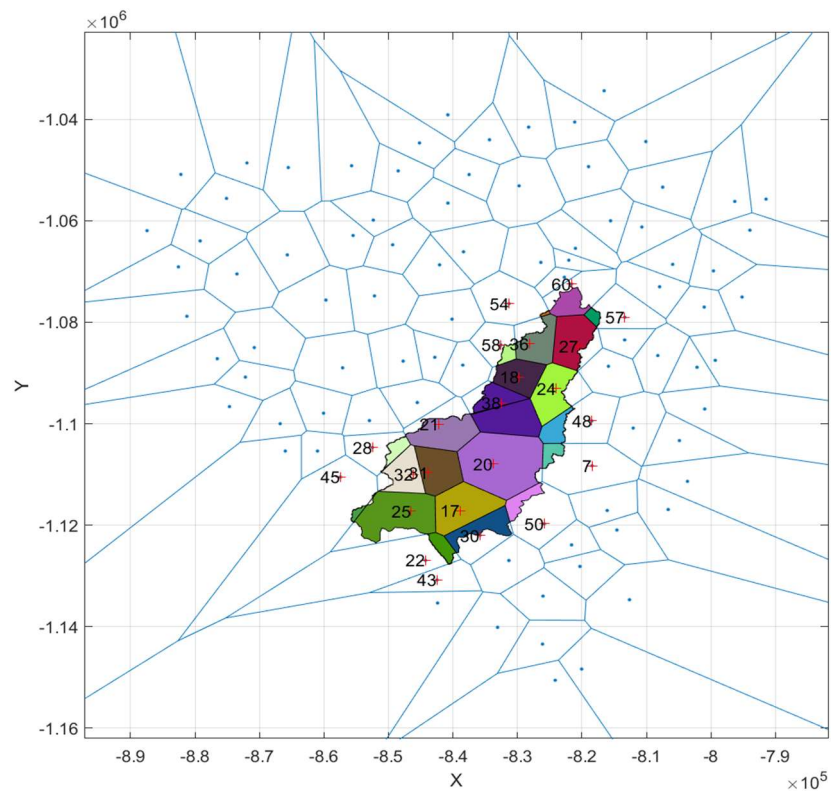
Číslo stanice	Označení	Plocha Thiesenova polygonu [m ²]	Poloha stanice JTSK	
			X	Y
38	L1NYRS01 SRA N	12 695 258	-1117214.80	-846541.24
25	L1HOJS01 SRA N	55 730 035	-1126950.51	-844262.29
48	L1SPIC01 SRA N	12 334 707	-1130808.06	-842478.99

Tabulka 5: Parametry stanic mezipovodí.

Číslo stanice	Označení	Plocha Thiesenova polygonu [m ²]	Poloha stanice JTSK	
			X	Y
45	L1PLZO01 SRA N	3 231 294	-857456.30	-1110510.80
28	L1KLAT01 SRA N	10 848 318	-852478.29	-1104694.28
25	L1HOJS01 SRA N	86 785 453	-846541.24	-1117214.80
32	L1LUZA01 SRA N	39 598 248	-846112.12	-1110064.56
22	L1DNES01 SRA N	12 749 883	-844262.29	-1126950.51
31	L1LOVC01 SRA N	52 037 388	-843841.00	-1109639.78
43	L1PLZD01 SRA N	48 666	-842478.99	-1130808.06
21	L1DLAZ01 SRA N	55 098 038	-842182.67	-1100105.22
17	L1CACH01 SRA N	69 147 695	-838904.40	-1117118.68
30	L1LIBK01 SRA N	32 418 753	-835810.51	-1122003.23
20	L1CPOR01 SRA N	134 410 549	-833777.88	-1107935.24
58	L1VSER01 SRA N	7 321 192	-832570.55	-1084492.39
38	L1NYRS01 SRA N	79 735 392	-832474.86	-1095920.90
54	L1STRA01 SRA N	875 906	-831305.51	-1076337.58
18	L1CHUD01 SRA N	40 748 439	-829723.34	-1090831.58
36	L1NETU01 SRA N	38 415 004	-828118.16	-1084255.24
50	L1STAH01 SRA N	16 140 426	-825831.29	-1119728.38
24	L1HLUK01 SRA N	51 765 552	-823964.11	-1093082.77
60	L1ZINK01 SRA N	21 436 081	-821595.12	-1072474.29
27	L1KDYN01 SRA N	51 198 891	-820557.07	-1084813.31
48	L1SPIC01 SRA N	18 981 686	-818473.55	-1099444.82
7	C1KOLI01 SRA N	10 700 249	-818437.62	-1108289.69
57	L1UJEZ01 SRA N	5 313 499	-813361.56	-1079024.27



Obrázek 6: Thiesenovy polygony povodí VD Nýrsko.



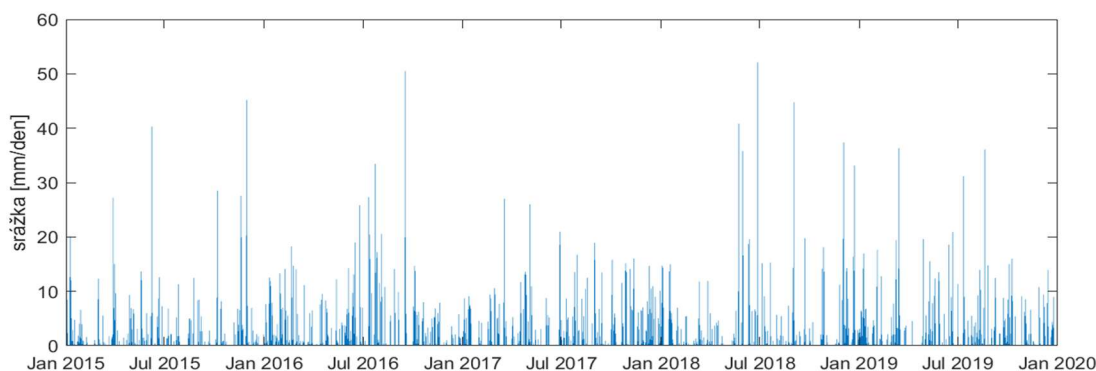
Obrázek 7: Thiesenovy polygony pro mezipovodí.

4. Výpočet denního srážkového úhrnu nad daným povodím

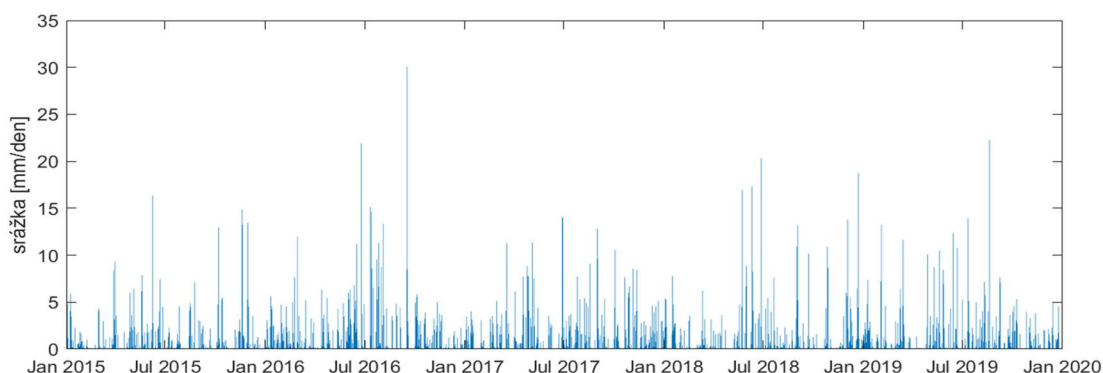
Po získání ploch Thiesenových polygonů stanic zasahujících do povodí byla pro sledované období mezi lety 1981–2020 spočtena průměrná denní srážka nad daným povodím. Srážka byla spočtena na základě váženého průměru množství srážky a plochy Thiesena polygonu dané stanice. V případě, kdy stanice nebyla v provozu, byla její hodnota nahrazena průměrnou hodnotou ostatních naměřených srážek ve stanicích v daném povodí. Tento způsob není dokonalý, avšak při pozdějším použití se ukázal jako dostačující pro řešení dané úlohy.

5. Výsledný průběh srážek nad danými povodími

Z váženého průměru srážek byla sestavena řada průměrných denních úhrnů srážek pro daná povodí. Pro názornost je níže znázorněn záznam průměrných denních srážek spadlých na daná povodí v letech 2015 až 2020.



Graf 6: Záznam průměrných denních srážek na povodí VD Nýrsko.



Graf 7: Záznam průměrných denních srážek spadlých na mezipovodí.

3.2.2 Střední scénáře klimatické změny

Základním podkladem pro přípravu dat průměrných denních průtoků ovlivněných klimatickou změnou v letech 2041 až 2060 a 2061 až 2080 byla studie *Střední scénář klimatické změny pro povodí Vltavy* zpracovaná Výzkumným ústavem vodohospodářským T. G. M. [15]

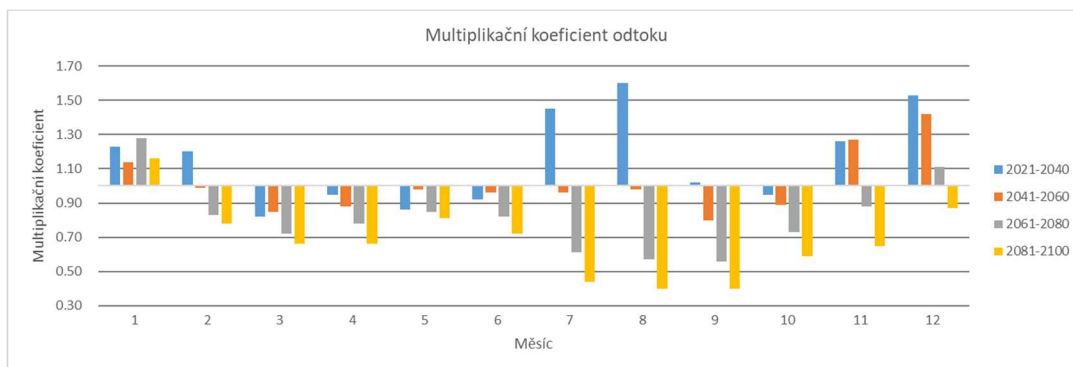
Studie dospěla k výsledku relativní změny meteorologických a hydrologických veličin potřebných ke zpracování VH řešení nádrží v rámci posouzení zabezpečení jejich funkce během budoucího vývoje klimatu.

3.2.2.1 Změnové koeficienty

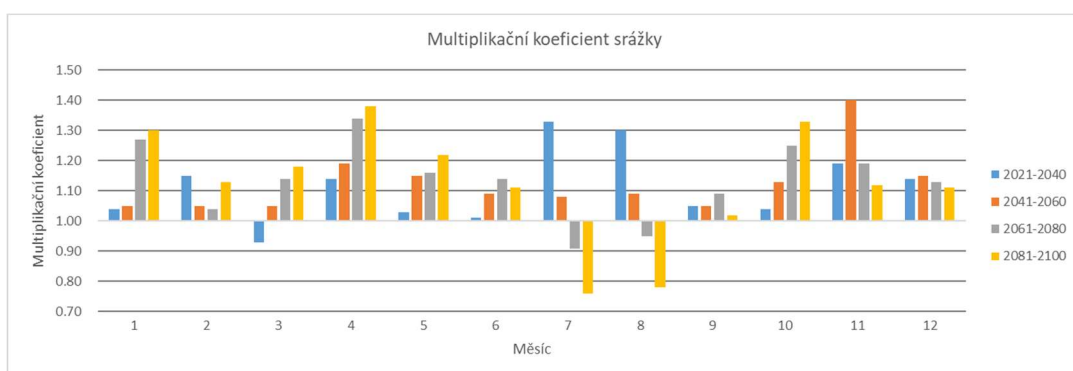
Tyto změny jsou aplikovány na současná naměřená data všech povodí III. řádu ve formě změnových koeficientů pro daný kalendářní měsíc. Změnové koeficienty jsou stanoveny vždy pro 20letý interval počínající časovým horizontem let 2021 až 2040 a končící časovým horizontem 2081 až 2100. V případě změny teploty jsou koeficienty dány jako hodnota přičítaná k současnému stavu teplot (aditivní koeficient). Pro hodnoty odtoku a srážek v jednotlivých měsících je potom koeficient použit pro přenásobení aktuálních hodnot (multiplikační koeficient). V následující tabulce (Tabulka 6) a grafech (Graf 8, Graf 9, Graf 10) jsou zobrazeny hodnoty koeficientů pro povodí Úhlavy, což pokrývá námi řešenou oblast. [15]

Tabulka 6: Změnové koeficienty pro povodí Úhlavy.

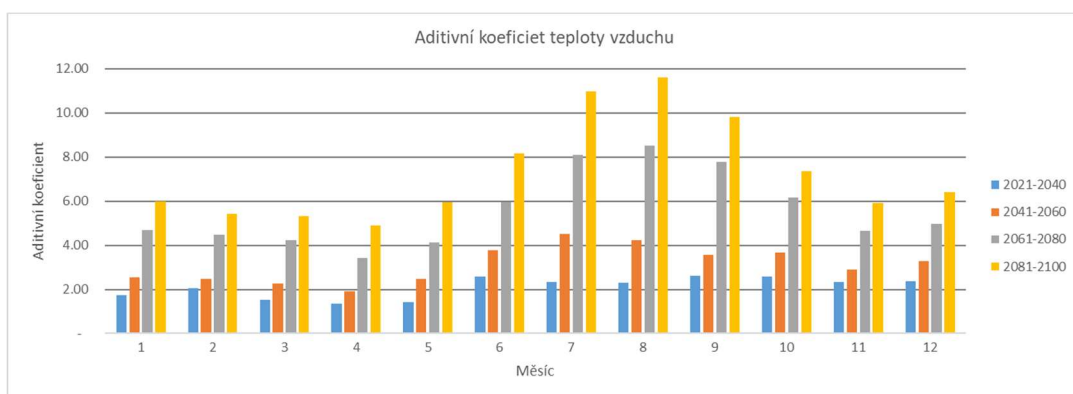
Měsíc	Multiplikační koeficienty odtoku				Multiplikační koeficienty srážky				Aditivní koeficienty teploty vzduchu			
	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100
1	1.23	1.14	1.28	1.16	1.04	1.05	1.27	1.30	1.74	2.55	4.70	5.98
2	1.20	0.99	0.83	0.78	1.15	1.05	1.04	1.13	2.05	2.48	4.48	5.44
3	0.82	0.85	0.72	0.66	0.93	1.05	1.14	1.18	1.51	2.28	4.23	5.32
4	0.95	0.88	0.78	0.66	1.14	1.19	1.34	1.38	1.36	1.92	3.44	4.89
5	0.86	0.98	0.85	0.81	1.03	1.15	1.16	1.22	1.43	2.48	4.12	5.95
6	0.92	0.96	0.82	0.72	1.01	1.09	1.14	1.11	2.57	3.78	5.97	8.18
7	1.45	0.96	0.61	0.44	1.33	1.08	0.91	0.76	2.35	4.50	8.09	10.99
8	1.60	0.98	0.57	0.40	1.30	1.09	0.95	0.78	2.30	4.22	8.52	11.60
9	1.02	0.80	0.56	0.40	1.05	1.05	1.09	1.02	2.61	3.56	7.79	9.81
10	0.95	0.89	0.73	0.59	1.04	1.13	1.25	1.33	2.58	3.67	6.18	7.35
11	1.26	1.27	0.88	0.65	1.19	1.40	1.19	1.12	2.34	2.88	4.66	5.92
12	1.53	1.42	1.11	0.87	1.14	1.15	1.13	1.11	2.36	3.29	4.98	6.40



Graf 8: Koeficienty odtoku.



Graf 9: Koeficienty srážky.



Graf 10: Koeficienty teploty.

3.2.2.2 Použití koeficientů

V rámci VH řešení byly přítoky do nádrže a z mezipovodí upraveny přenásobením reálných průtokových řad odtokovým koeficientem. V případě použití hydrologického modelu byly použity řady denních srážek. Tyto hodnoty byly přenásobeny srážkovým koeficientem.

V případě výparu z vodní hladiny byla důležitým faktorem teplota vzduchu. Pro výpočet výparu z hladiny byl použit vzorec převzatý z publikace Berana a Viziny [16]:

$$H_{v,d} = 0,215 * T_d + 0,1133 \quad (3.3)$$

kde T_d je průměrná denní teplota ve °C a $H_{v,d}$ je denní vypařené množství z hladiny v mm.

V případě dne se zápornou teplotou vzduchu byl výpar považován za nulový. Přestože byla řešena bilance v denním kroku, výparné výšky pro sledované období byly získány pouze v měsíčním kroku. Z toho důvodu jsou stanoveny výparné výšky s vlivem klimatických změn též v měsíčním kroku.

Jelikož koeficienty teploty udávají změnu teploty dT v daném scénáři klimatické změny, bylo možné vypočítat dle výše uvedené rovnice přírůstek výparu dH_v v daném měsíci.

Tabulka 7: Odvozené výparné výšky pro klimatické změny.

měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
počet dní	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
1981-2020	H_v [mm]	6.82	13.64	40.93	61.40	81.87	95.51	109.16	102.33	75.05	47.76	34.11	13.64
2021-2040	dT [°C]	1.74	2.05	1.51	1.36	1.43	2.57	2.35	2.30	2.61	2.58	2.34	2.36
	dH_v [mm]	11.60	12.34	10.06	8.77	9.53	16.58	15.66	15.33	16.83	17.20	15.09	15.73
	H_v [mm]	18.42	25.99	51.00	70.17	91.40	112.09	124.82	117.66	91.88	64.95	49.20	29.37
2041-2060	dT [°C]	2.55	2.48	2.28	1.92	2.48	3.78	4.50	4.22	3.56	3.67	2.88	3.29
	dH_v [mm]	17.00	14.93	15.20	12.38	16.53	24.38	29.99	28.13	22.96	24.46	18.58	21.93
	H_v [mm]	23.82	28.57	56.13	73.78	98.40	119.89	139.15	130.46	98.01	72.22	52.69	35.57
2061-2080	dT [°C]	4.70	4.48	4.23	3.44	4.12	5.97	8.09	8.52	7.79	6.18	4.66	4.98
	dH_v [mm]	31.33	26.97	28.19	22.19	27.46	38.51	53.92	56.79	50.25	41.19	30.06	33.19
	H_v [mm]	38.15	40.61	69.13	83.59	109.33	134.02	163.08	159.12	125.29	88.95	64.17	46.84
2081-2100	dT [°C]	5.98	5.44	5.32	4.89	5.95	8.18	10.99	11.60	9.81	7.35	5.92	6.40
	dH_v [mm]	39.86	32.75	35.46	31.54	39.66	52.76	73.25	77.31	63.27	48.99	38.18	42.66
	H_v [mm]	46.68	46.39	76.39	92.94	121.52	148.27	182.41	179.65	138.32	96.74	72.30	56.30

3.3 Vodohospodářské řešení vodárenské nádrže Nýrsko na Úhlavě v měsíčním kroku

V rámci vodohospodářského řešení vodárenské nádrže Nýrsko na Úhlavě zpracovaného P. Fošumpaurem v červnu 2022 bylo zpracováno vodohospodářské řešení zásobní funkce nádrže v měsíčním kroku ve třech variantách. [2]

3.3.1 Varianta A

Varianta A se zabývá bilancováním zásobní funkce nádrže v měsíčním kroku pro zásobování pouze úpravny vody Milence. [2]

3.3.2 Varianta B

Varianta B se zabývá bilancováním zásobní funkce nádrže v měsíčním kroku pro zásobování úpravny vody Milence a kompenzačním řízením pro odběr na úpravnu vody Homolka v Plzni, přičemž voda odebraná na úpravnu vody Milence je zpětně vrácena do vodního toku Úhlava před odběrným objektem na úpravnu vody Homolka v Plzni. [2]

3.3.3 Varianta C

Varianta C se zabývá bilancováním zásobní funkce nádrže v měsíčním kroku pro úpravnu vody Milence a zásobováním úpravny vody Homolka v Plzni v provedení přímého odběru z vodárenské nádrže. V této variantě tedy nevstupuje do řešení přítok z mezipovodí a neprojevuje se zde doba dotoku z vodního díla. [2]

3.3.4 Výsledky variant

Výsledky vodohospodářského řešení jednotlivých variant byly shrnuty do přehledných tabulek (Tabulka 8, Tabulka 9, Tabulka 10). Tyto výsledky byly později porovnávány s výsledky vodohospodářského řešení v denním kroku.

Tabulka 8: Výsledky VH řešení nádrže Nýrsko v reálné řadě v měsíčním kroku – Varianta A.

Varianta A					
Klima	1981-2020				
varianta	MZP _{Nýrsko} [m ³ /s]	MZP _{Homolka} [m ³ /s]	Op _{Milence} [m ³ /s]	Op _{Homolka} [m ³ /s]	Pt [%]
dle MŘ	0.360	0.000	0.1427	0.000	99.85
max. Op _{Milence}	0.360	0.000	0.840	0.000	99.65
Klima	2041-2060				
dle MŘ	0.360	0.000	0.1427	0.000	99.85
max. Op _{Milence}	0.360	0.000	0.846	0.000	99.65
Klima	2061-2080				
dle MŘ	0.360	0.000	0.1427	0.000	99.85
max. Op _{Milence}	0.360	0.000	0.634	0.000	99.65

Tabulka 9: Výsledky VH řešení nádrže Nýrsko v reálné řadě v měsíčním kroku – Varianta B.

Varianta B					
Klima	1981-2020				
varianta	MZP _{Nýrsko}	MZP _{Homolka}	Op _{Milence}	Op _{Homolka}	Pt
	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[%]
dle MŘ	0.360	0.630	0.1427	0.580	99.85
max. Op _{Milence}	0.360	0.630	0.840	0.580	99.65
max. Op _{Homolka}	0.360	0.630	0.1427	1.781	99.65
Klima	2041-2060				
dle MŘ	0.360	0.630	0.1427	0.580	99.85
max. Op _{Milence}	0.360	0.630	0.846	0.580	99.65
max. Op _{Homolka}	0.360	0.630	0.1427	1.838	99.65
Klima	2061-2080				
dle MŘ	0.360	0.630	0.1427	0.580	99.85
max. Op _{Milence}	0.360	0.630	0.634	0.580	99.65
max. Op _{Homolka}	0.360	0.630	0.1427	1.413	99.65

Tabulka 10: Výsledky VH řešení nádrže Nýrsko v reálné řadě v měsíčním kroku – Varianta C.

Varianta C					
Klima	1981-2020				
varianta	MZP _{Nýrsko}	MZP _{Homolka}	Op _{Milence}	Op _{Homolka}	Pt
	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[%]
dle MŘ	0.360	0.000	0.1427	0.580	99.85
max. Op _{Milence}	0.360	0.000	0.260	0.580	99.65
max. Op _{Homolka}	0.360	0.000	0.1427	0.697	99.65
Klima	2041-2060				
dle MŘ	0.360	0.000	0.1427	0.580	99.85
max. Op _{Milence}	0.360	0.000	0.266	0.580	99.65
max. Op _{Homolka}	0.360	0.000	0.1427	0.703	99.65
Klima	2061-2080				
dle MŘ	0.360	0.000	0.1427	0.580	94.65
max. Op _{Milence}	0.360	0.000	0.054	0.580	99.65
max. Op _{Homolka}	0.360	0.000	0.1427	0.491	99.65

4 Vodohospodářské řešení s použitím reálných průtokových řad

Vodohospodářské řešení zásobní funkce vodárenské nádrže bylo zpracováváno dle normy ČSN 75 2405 s názvem *Vodohospodářská řešení vodních nádrží*. Vodní nádrž spadá dle této normy do třídy významnosti A, jelikož zásobuje více jak 50 tisíc obyvatel. Norma požaduje pro nádrže třídy významnosti A zabezpečení dodávek vody dle doby trvání $P_t = 99,5 \%$. Zabezpečení dle doby trvání se vypočítá dle Čegodajevova vzorce:

$$P_t = \frac{m - 0,3}{n + 0,4} * 100 [\%] \quad (4.1)$$

kde m je počet bezporuchových měsíců a n je počet poruchových měsíců. [12]

Jelikož již bylo zpracováváno vodohospodářské řešení v měsíčním kroku, jak je uvedeno v kapitole 3.3, bylo podle této osnovy zpracováváno řešení v denním kroku. Toto řešení bylo provedeno z důvodu budoucí porovnatelnosti a srozumitelnosti řešení.

Vstupními přítoky do nádrže a mezipovodí v těchto variantách VH řešení jsou reálně naměřené průtoky na limnigrafických stanicích nebo průtoky z těchto stanic odvozené.

4.1 Bilance pro odběr Milence – Varianta A



Obrázek 8: Schéma modelu – Varianta A.

4.1.1 Struktura modelu

Model byl založen na základě řešení zásobní funkce nádrže formou bilancování přítoků, odtoků, odběrů a ztrát výparem v denním kroku. Bilancování bylo prováděno v letech 1981–2020 a dále byla pro bilancování použita data dle středních scénářů klimatické změny.

Základní schéma modelu bylo obdobné jako při výpočtu čistého přítoku do VD Nýrsko (Obrázek 8) s tím rozdílem, že čistý přítok do nádrže byl již známý a musel být dodržen MZP pod hrází. Vstupními parametry modelu byly:

- odběr na úpravnu vody Milence,
- čistý přítok do nádrže z povodí,
- MZP pod hrází – 360 l/s.

Výpar z vodní hladiny byl určen pro každý den na základě známého objemu vody v nádrži. Z tohoto objemu byla odečtena plocha hladiny v nádrži a následně byla určena hodnota výparu na základě známé hodnoty výparu v mm/den pro příslušný kalendářní měsíc.

Model zajišťuje požadavky na MZP pod hrází a odběr na úpravnu vody Milence dle manipulačního řádu. [5] Primárním účelem je zajištění odběru vody na úpravnu vody Milence se zabezpečeností podle doby trvání $P_t = 99,5 \%$ dle ČSN 75 2405. [12]

4.1.2 Variantní řešení

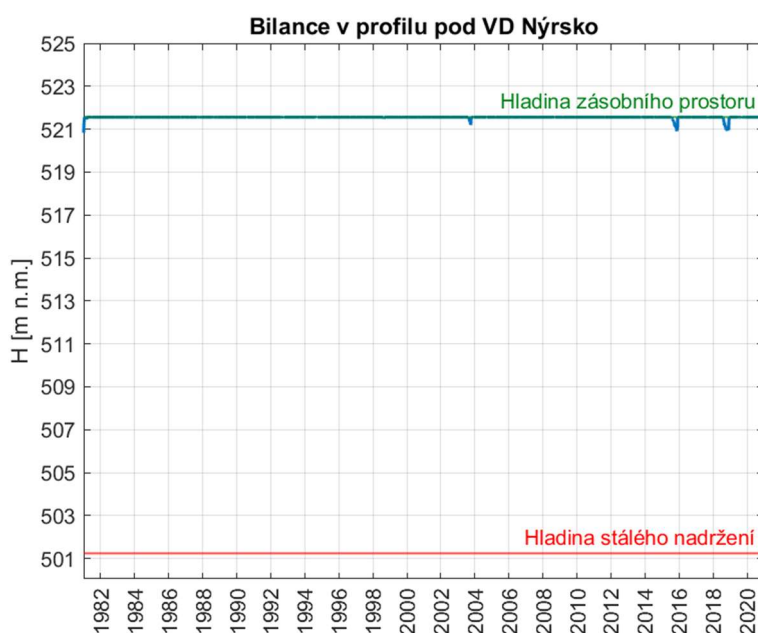
Vodohospodářské řešení bilance v profilu pod hrází VD Nýrsko bylo řešeno variantně pro reálně naměřené hodnoty průtoků v letech 1981–2020. Dále byly tyto hodnoty upraveny dle středních scénářů klimatické změny pro období let 2041–2060 a 2061–2080.

Pro každou průtokovou řadu byly spočteny následující stavy:

1. Dle MŘ – Pod vodním dílem byl dodržen MZP a byla odebírána voda na úpravnu vody Milence konstantně 142,7 l/s.
2. Max Op_{Milence} – Pod vodním dílem byl dodržen MZP a byla odebírána voda na úpravnu vody Milence v maximálním možném množství při dodržení zabezpečení dodávek vody dle doby trvání Pt – 99,5 %.

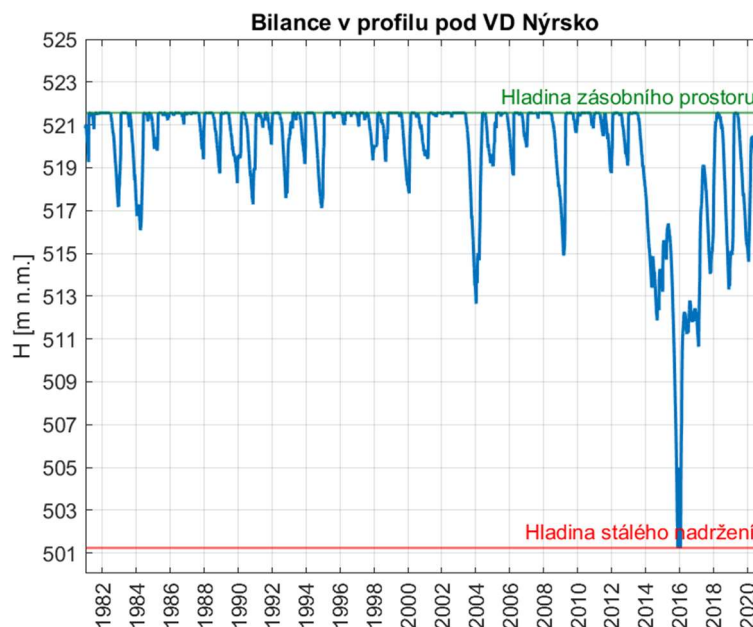
4.1.2.1 Varianta let 1981–2020

V letech 1981–2020 byl zásobní objem při maximálním dlouhodobém odběru na úpravnu Milence 142,7 l/s téměř nevyužit s výjimkou suchého období v letech 2015 a 2018. Nádrž se v tuto dobu dá považovat za jednoletou s nadbytečnou zásobou vody, jak vyplývá z grafu průběhu hladiny při maximálním dlouhodobém povoleném odběru vody na úpravnu vody Milence (Graf 11).



Graf 11: Průběh hladiny v nádrži, Varianta A – odběr dle MŘ, reálná řada průtoků, profil VD Nýrsko, 1981–2020.

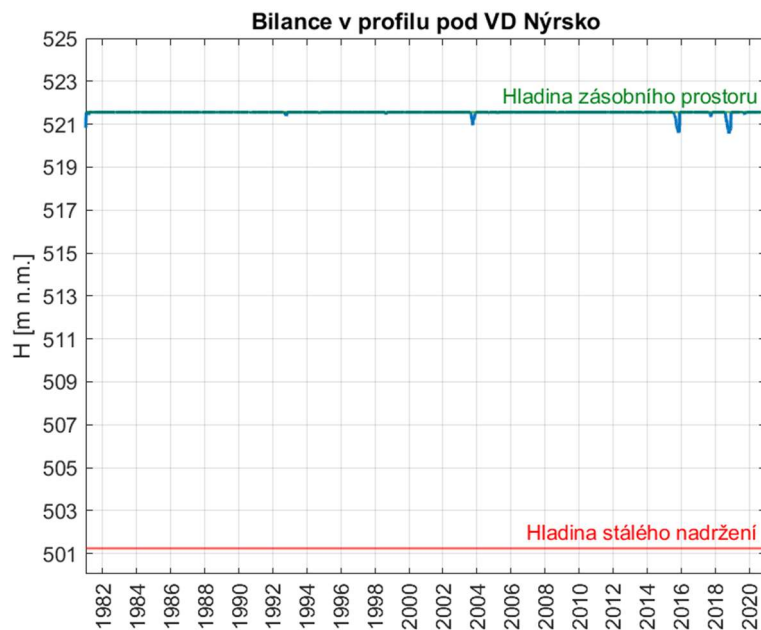
Bilance při maximálním možném odběru na úpravnu vody Milence 775 l/s poskytuje zabezpečení dodávek vody dle trvání 99,65 %. Na grafu níže (Graf 12) je vidět, že k poruše dodávky vody došlo v období suché periody na konci roku 2015, čemuž odpovídá i průběh hladin u předchozího grafu.



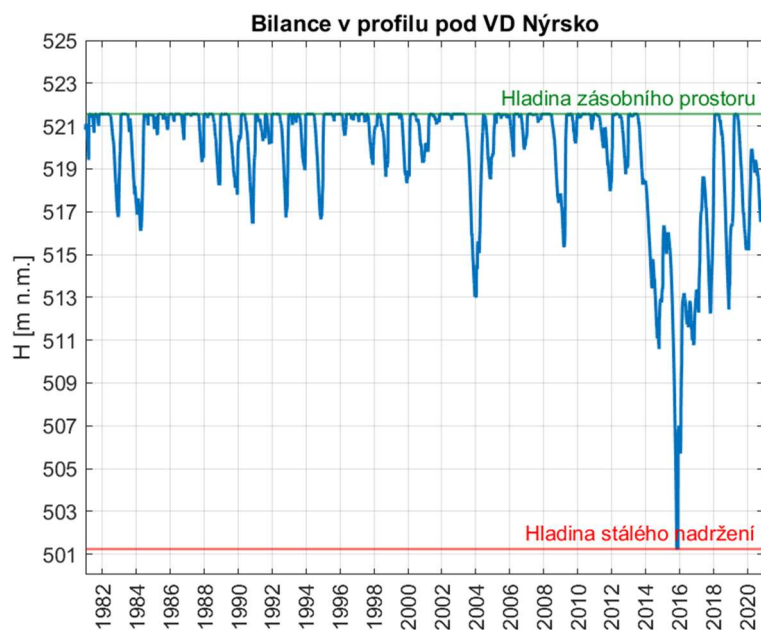
Graf 12: Průběh hladiny v nádrži, Varianta A – Max $Op_{Milence}$, reálná řada průtoků, profil VD Nýrsko, 1981–2020.

4.1.2.2 Varianta pro střední scénář klimatické změny 2041–2060

Řešení bylo provedeno obdobným postupem jako v případě řešení bilance pro reálnou řadu v letech 1981–2020. Na tato reálná data byly aplikovány koeficienty pro střední scénář klimatické změny v letech 2041–2060. Ovlivněné hodnoty přítoku do nádrže a výparu z nádrže byly aplikovány na bilanční model, jenž poskytuje následující výsledky (Graf 13, Graf 14).



Graf 13: Průběh hladiny v nádrži, Varianta A – odběr dle MŘ, reálná řada průtoků, profil VD Nýrsko, 2041–2060.



Graf 14: Průběh hladiny v nádrži, Varianta A – Max Op_{Milence}, reálná řada průtoků, profil VD Nýrsko, 2041–2060.

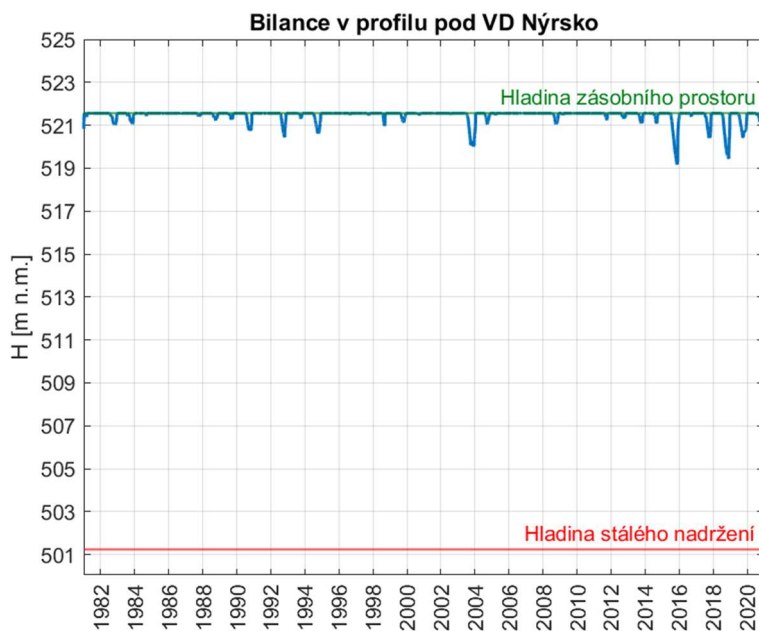
Z výsledků je zřejmé, že v případě změn klimatu dle středního scénáře klimatické změny pro období 2041–2060 nedojde k poruše dodávek vody při maximálním odběru dle MŘ. Naopak projev klimatické změny pro toto období má na zásobní funkci nádrže pozitivní vliv, jelikož dle maximálního možného odběru je při zabezpečení dodávek

vody dle doby trvání nad 99,5 % možno z nádrže dlouhodobě odebírat průtok 785 l/s. Tento odběr je ještě vyšší než pro reálnou řadu v letech 1981–2020.

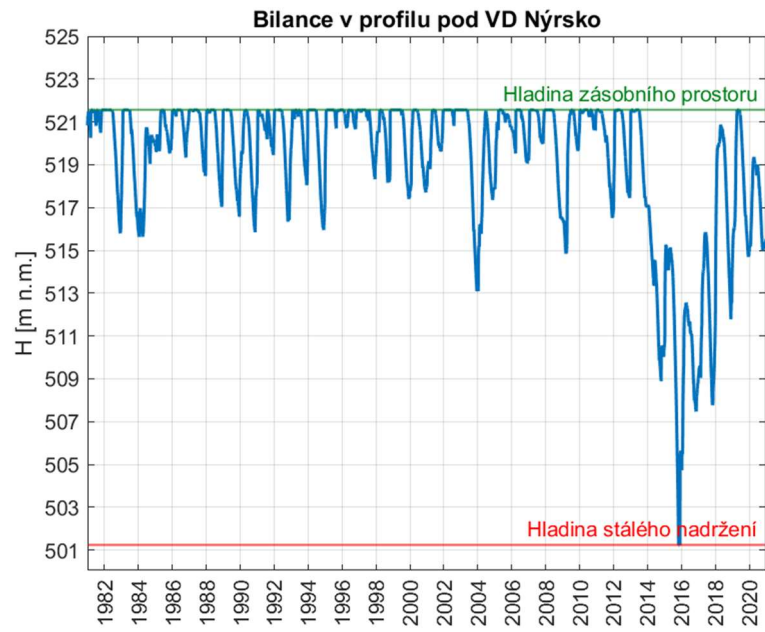
4.1.2.3 Varianta pro střední scénář klimatické změny 2061–2080

V rámci řešení zásobní funkce pro střední scénář klimatické změny v období 2061–2080 byl patrný pokles hladiny v nádrži i během dřívějších let. Vlivem značného úbytku přítoku do nádrže v měsících červenci a srpnu oproti reálné řadě průtoků a vlivem navýšení výparu z vodní hladiny v důsledku vyšších teplot docházelo k využívání zásobního prostoru nádrže častěji, než tomu bylo u bilance reálné řady průtoků.

Přestože byl při tomto scénáři využíván zásobní prostor nádrže častěji, nedošlo během celé řady k žádné poruše v zásobování při maximálním odběru dle MŘ 142,7 l/s (Graf 15). Oproti předchozím variantám je však nádrž již schopna dodávat pouze 601 l/s po celou dobu VH řešení oproti 775 l/s, respektive 785 l/s.

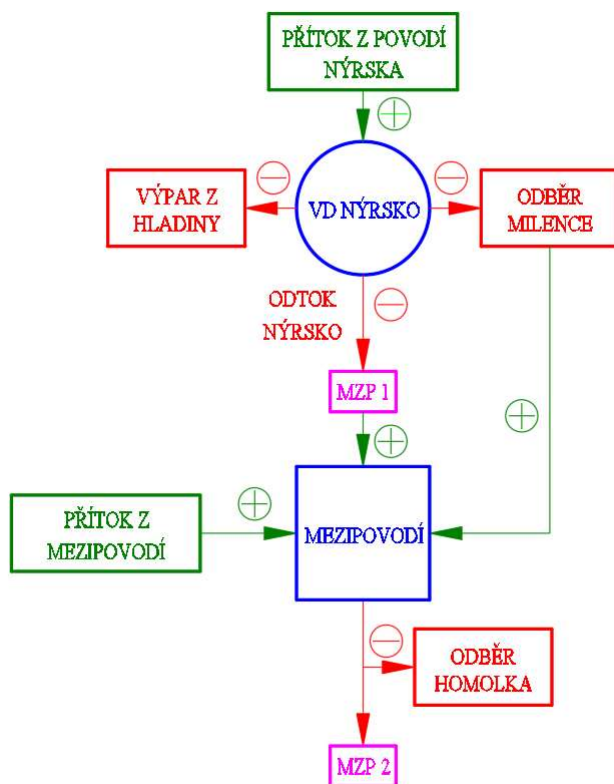


Graf 15: Průběh hladiny v nádrži, Varianta A – odběr dle MŘ, reálná řada průtoků, profil VD Nýrsko, 2061–2080.



Graf 16: Průběh hladiny v nádrži, Varianta A – Max $Op_{Milence}$, reálná řada průtoků, profil VD Nýrsko, 2061–2080

4.2 Bilance pro odběr na úpravnu vody Milence a kompenzační řízení pro odběr úpravny vody Homolka – Varianta B



Obrázek 9: Schéma modelu – Varianta B.

4.2.1 Struktura modelu

Model se zabývá bilancí vodní nádrže v rámci kompenzačního řízení odtoku. Jelikož se při bilancování v profilu pod vodním dílem ukázal zásobní objem nádrže dostatečný pro zajištění zabezpečení dodávek vody pro data z let 1981–2020 i pro střední scénář klimatické změny 2041–2060 a 2061–2080, jsou v rámci modelu zajištěny dodávky vody pro úpravnu vody Milence a MZP pod vodním dílem nad hranicí zabezpečení dle doby trvání 99,5 %.

Struktura modelu je zobrazena ve schématu výše (Obrázek 9). Parametry modelu byly následující:

- odběr na úpravnu vody Milence,
- čistý přítok do nádrže z povodí,
- přítok z mezipovodí,
- MZP pod hrází – 360 l/s (MZP 1),
- MZP za odběrem na úpravnu vody Homolka (MZP 2),
- odběr na úpravnu vody Homolka.

Hodnota odběru na úpravnu vody Milence je 142,7 l/s dle maximálního povoleného dlouhodobého odběru. [9] Tento odběr je zpětně vracen do vodního toku Úhlava před odběrem na úpravnu vody Homolka a přispívá k zlepšení průtoku v místě odběru. Výpar z vodní hladiny byl určen stejným postupem jako v případě bilancování v profilu pod VD Nýrsko.

Pro bilanční profil mezipovodí musel být zajištěn dostatečný průtok profilem pro odběr na úpravnu vody Homolka a pro MZP za tímto odběrem. Do profilu přitékal s jednodenním zpožděním přítok z VD Nýrsko daný rozdílem objemů v nádrži a odběrem na úpravnu vody Milence. Dále do profilu přitékal přítok z mezipovodí, který byl již stanoven v kapitole 3.2.1.4.

4.2.2 Variantní řešení

VH řešení zásobní funkce nádrže bylo řešeno ve variantách pro reálné řady průtoků v letech 1981–2020 a dále pro hodnoty průtoků odvozené z reálné řady pro střední scénáře klimatických změn v letech 2041–2060 a 2061–2080.

Hodnota odběru na úpravnu vody Homolka v Plzni byla řešena pro 5 návrhových stavů:

1. Dle MŘ – Stav byl řešen pro současný povolený dlouhodobý odběr 580 l/s.
2. Max Op_{Milence} – Stav pro maximální dlouhodobý odběr na úpravnu vody Milence při zabezpečení dodávek vody dle doby trvání alespoň 99,5 %.
3. Max Op_{Homolka} – Stav byl řešen pro maximální možný dlouhodobý odběr při zachování zabezpečení dodávek vody dle doby trvání 99,5 %.

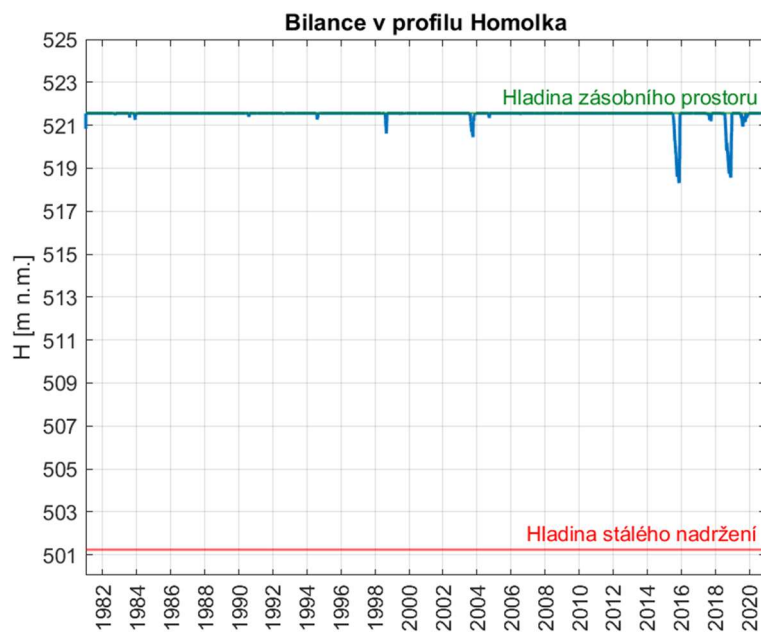
4. Dle MŘ+80 l/s – Stav řešil navýšení dlouhodobého povoleného odběru 580 l/s o 80 l/s na 660 l/s.
5. Dle MŘ+300 l/s – Stav řešil navýšení současného povoleného dlouhodobého odběru 580 l/s o 300 l/s na 880 l/s.

4.2.2.1 Varianta let 1981–2020

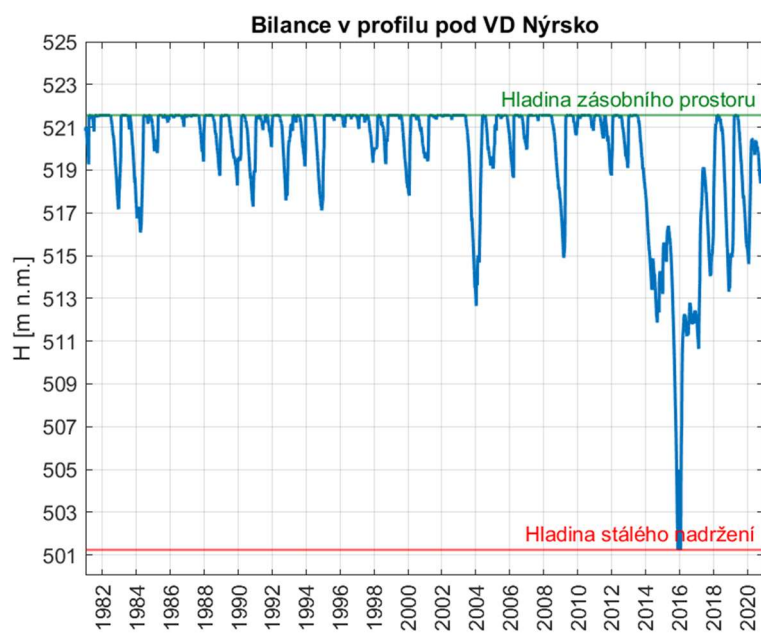
Dle VH řešení zásobní funkce nádrže pro reálné řady průtoků byla nádrž značnou část období téměř nevyužita. Výjimkou jsou suché periody na konci roku 2015 a v létě roku 2018, kdy došlo k poklesu hladiny v zásobním prostoru nádrže přibližně o 2 až 3 metry (Graf 17).

V případě maximálního možného nalepšení vodním dílem při zachování zabezpečení dodávek vody dle doby trvání 99,5 % je možné odebírat na úpravnu vody Homolka v Plzni dlouhodobě 1525 l/s. Bilance při maximálním možném odběru na úpravnu vody Milence 775 l/s poskytuje zabezpečení dodávek vody dle trvání 99,65 %. V rámci takto velkých odběrů byla hladina v nádrži pochopitelně značně rozkolísaná napříč celým obdobím a porucha by nastala v létě 2018 dle očekávání.

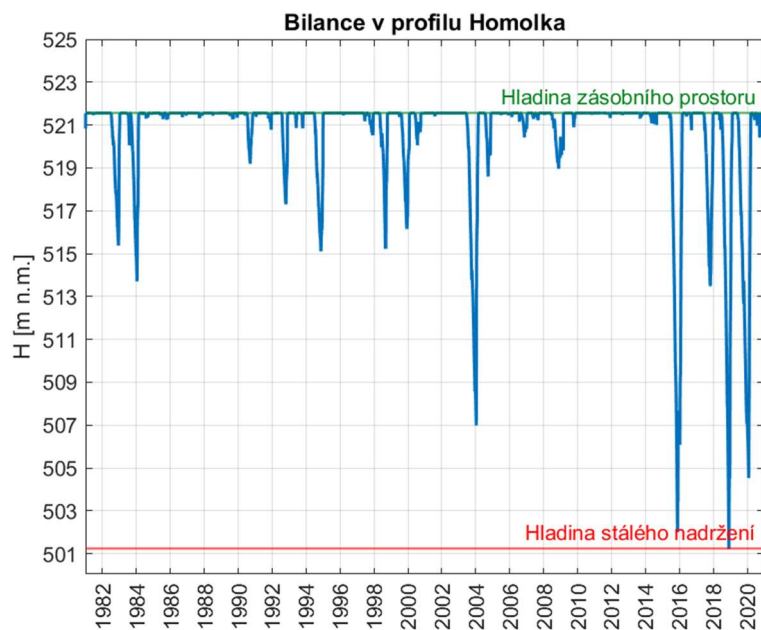
Maximální možný dlouhodobý odběr na úpravnu vody Homolka 1525 l/s je větší než navýšené odběry dle MŘ na hodnotu 660 l/s, respektive 880 l/s. Z toho důvodu je zřejmé, že nádrž je pro toto období schopna dodávku vody zabezpečit s dostatečnou spolehlivostí. Při nalepšení odběru průtoků pro odběr na úpravnu vody Homolka na 660 l/s, respektive 880 l/s, dojde k největšímu poklesu hladiny v zásobním prostoru o přibližně 5 m, respektive o 7 m (Graf 20, Graf 21). Přestože nenastane žádná porucha v dodávkách vody, hladina je při takových objemech již znatelně rozkolísaná.



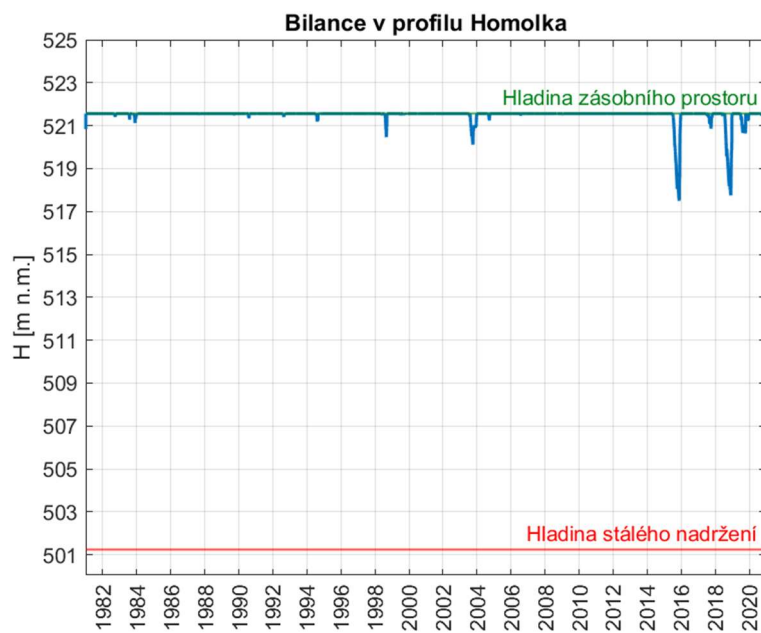
Graf 17: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – dle MŘ, reálná řada průtoků, profil Homolka, 1981–2020.



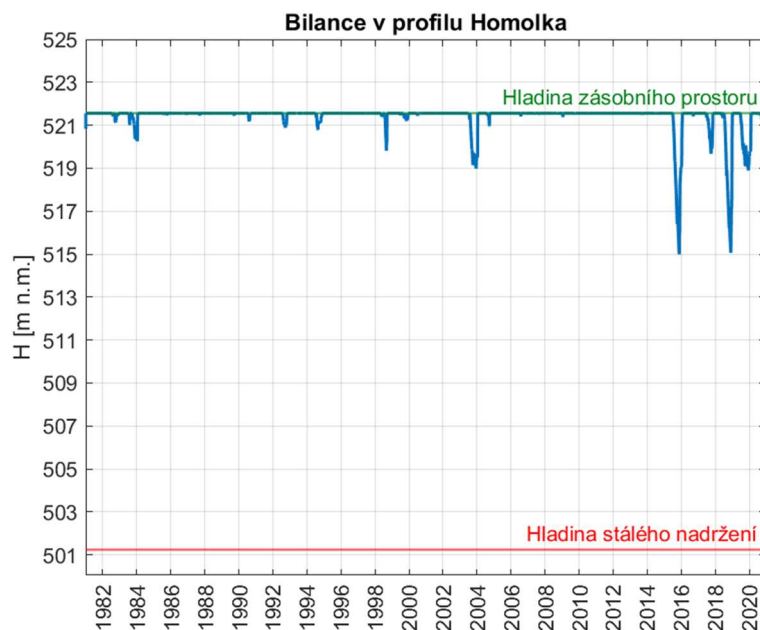
Graf 18: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – Max Op_{Milence}, reálná řada průtoků, profil Homolka, 1981–2020.



Graf 19: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – Max $Op_{Homolka}$, reálná řada průtoků, profil Homolka, 1981–2020.



Graf 20: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – dle $M\check{R}+80l/s$, reálná řada průtoků, profil Homolka, 1981–2020.

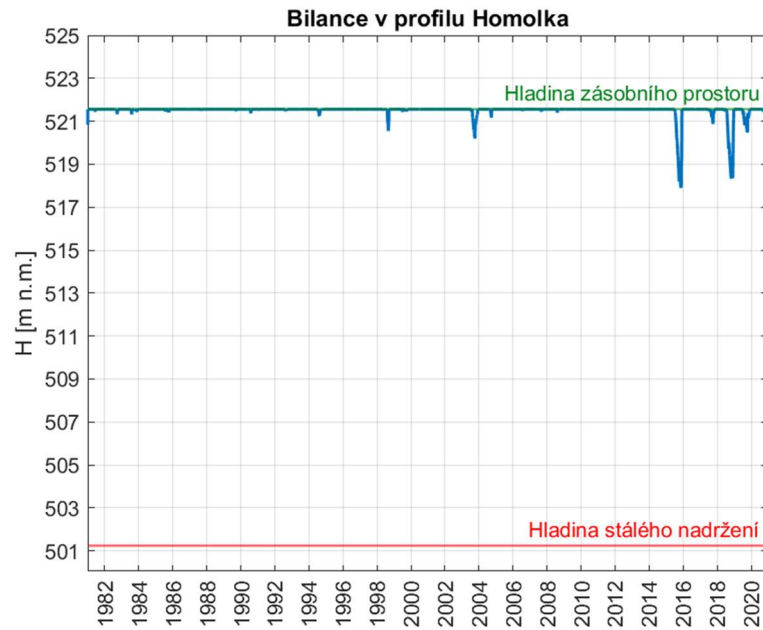


Graf 21: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – dle MŘ+300l/s, reálná řada průtoků, profil Homolka, 1981–2020.

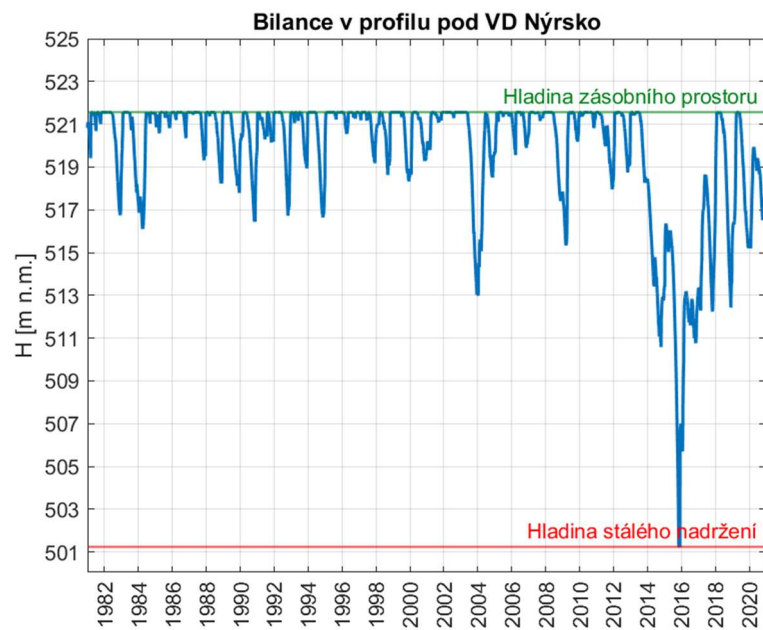
4.2.2.2 Varianta pro střední scénář klimatické změny 2041–2060

Výsledky pro variantu středního scénáře klimatické změny v letech 2041–2060 byly téměř totožné s výsledky VH řešení zásobní funkce nádrže pro reálné řady průtoků. Množství výparu z vodní hladiny bylo sice větší než u let 1981–2020, avšak tato skutečnost je kompenzována větším přítokem z povodí vlivem navýšení odtoků.

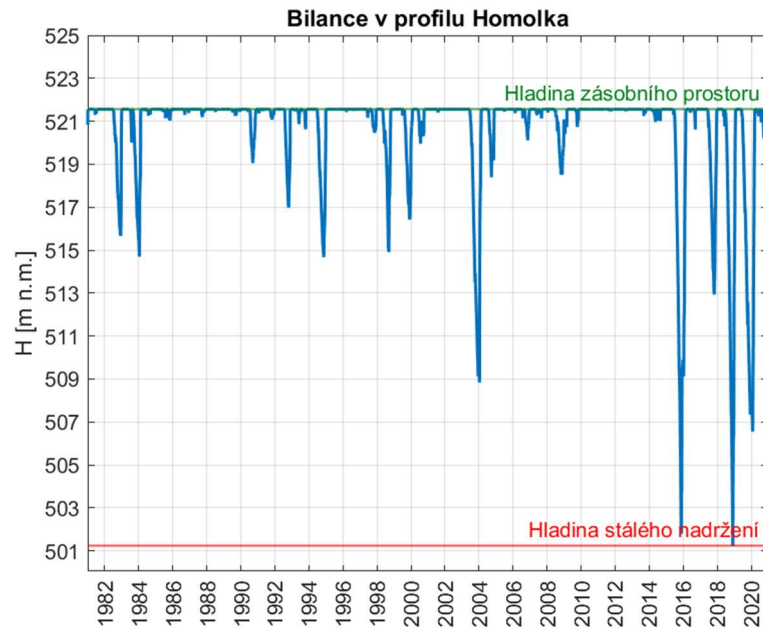
V rámci VH řešení nedojde ve stavu 1, 4 a 5 k poruše dodávky vody. Ve stavu 2 je možno dlouhodobě odebírat na úpravnu vody Milence 785 l/s a ve stavu 3 při maximálním možném odběru vody na úpravnu vody Homolka v Plzni je možno odebírat dlouhodobé množství vody 1495 l/s při zachování zabezpečení dodávek vody dle doby trvání nad 99,5 %.



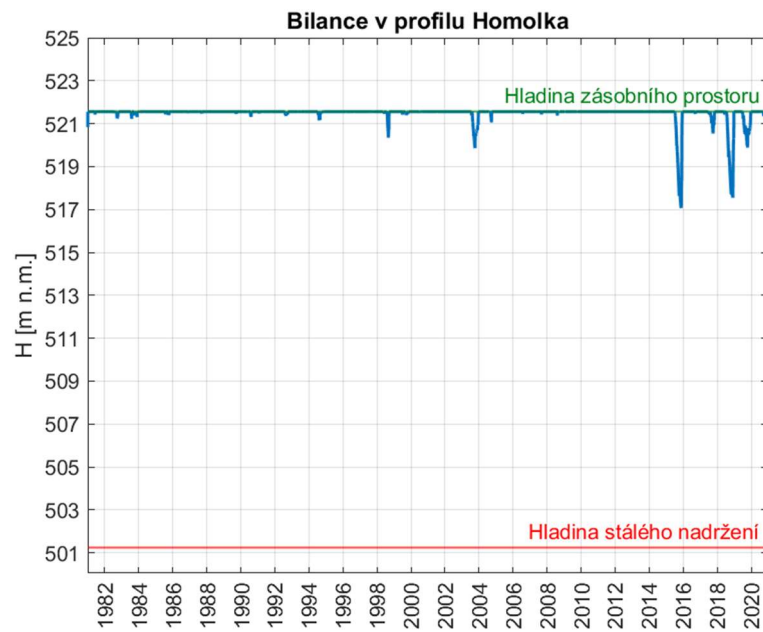
Graf 22: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – dle MŘ, reálná řada průtoků, profil Homolka, 2041–2060.



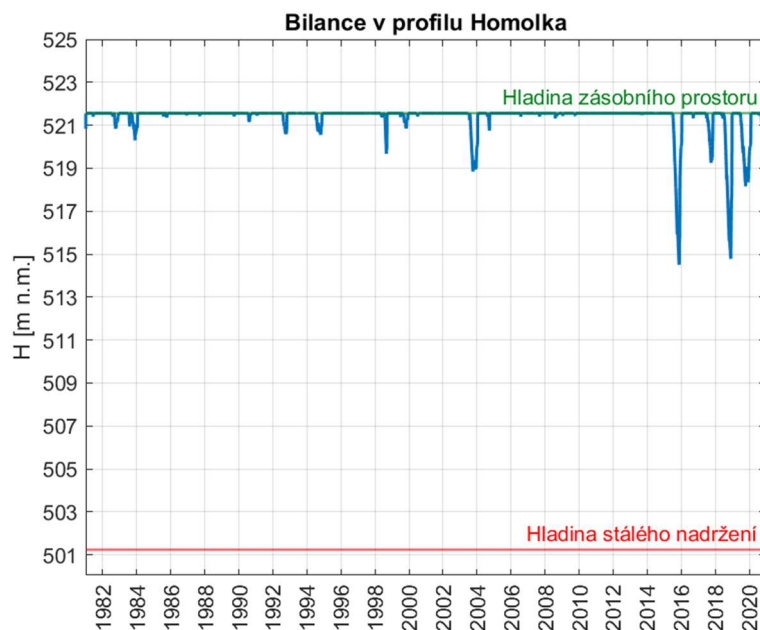
Graf 23: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – Max Op_{Milence}, reálná řada průtoků, profil Homolka, 2041–2060.



Graf 24: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – Max $Op_{Homolka}$, reálná řada průtoků, profil Homolka, 2041–2060.



Graf 25: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – dle MŘ+80 l/s, reálná řada průtoků, profil Homolka, 2041–2060.

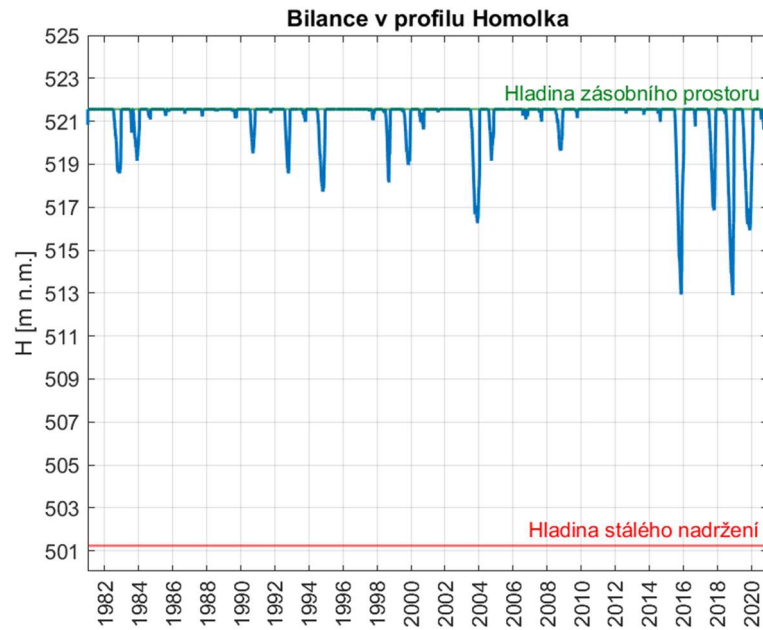


Graf 26: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – dle MŘ+300 l/s, reálná řada průtoků, profil Homolka, 2041–2060.

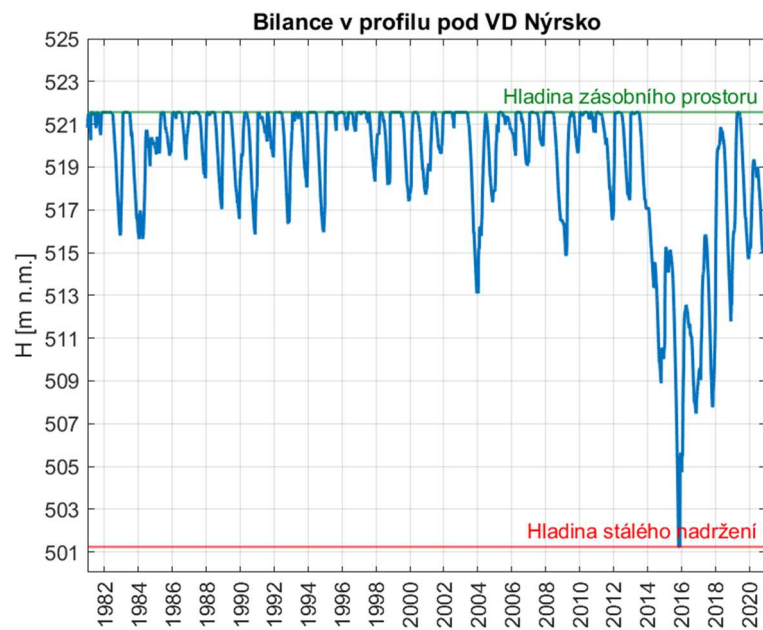
4.2.2.3 Varianta pro střední scénář klimatické změny 2061–2080

Obdobně jako ve variantě A byl již při klimatické změně v období 2061–2080 patrný značný deficit přítoku z povodí VD Nýrsko a mezipovodí. Vlivem těchto faktorů byly sníženy maximální možné dlouhodobé odběry na úpravnu vody Homolka z 1525 l/s, respektive 1495 l/s, na pouhých 1067 l/s, čemuž odpovídá snížení možnosti dodávek vody téměř o polovinu. V případě odběru vody na Úpravnu vody Milence se možnost dodávek snížila z 775 l/s, respektive 785 l/s, na 601 l/s.

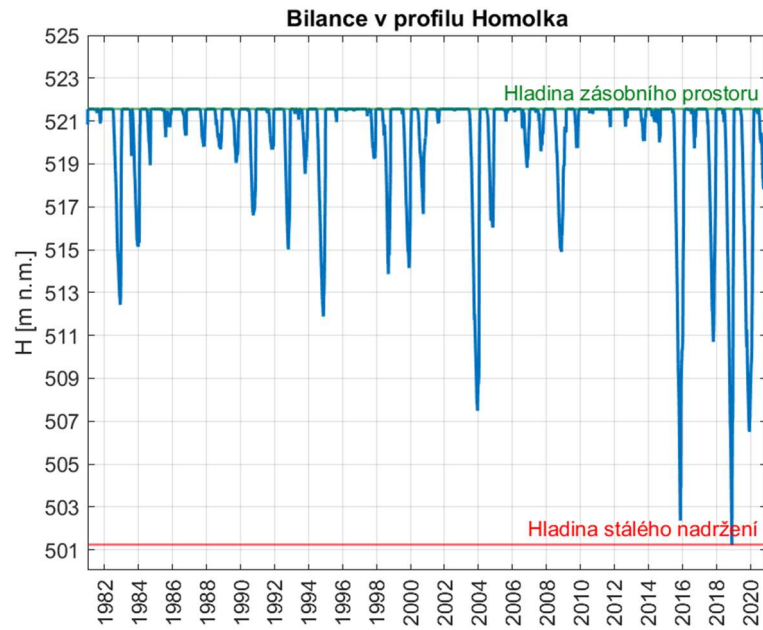
Přestože dochází ke značnému ovlivnění, VD je schopno dodávat dostatek vody pro návrhové stavy 1, 4 a 5 bez vzniku poruchy v dodávce vody, jak je vidět na grafech níže. Při maximálním odběru dle MŘ a při navýšení odběru o 80 l/s, respektive o 300 l/s, je hladina v nádrži již značně rozkolísaná, a může tak dojít ke zhoršení jakosti vody pro vodárenské účely a k omezení výběru vody v etážovém odběrném objektu ve vodním díle.



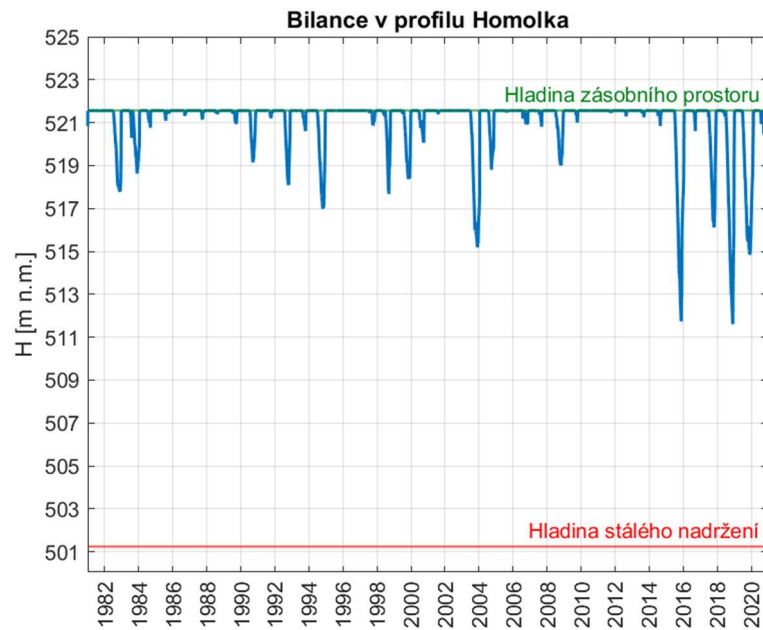
Graf 27: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – dle MŘ, reálná řada průtoků, profil Homolka, 2061–2080.



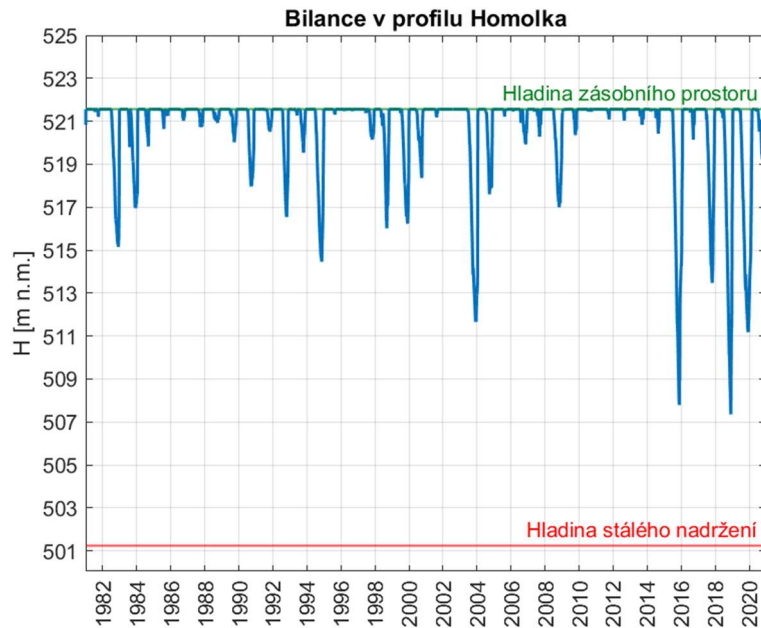
Graf 28: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – Max Op_{Milence}, reálná řada průtoků, profil Homolka, 2061–2080.



Graf 29: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – Max $Op_{Homolka}$, reálná řada průtoků, profil Homolka, 2061–2080.

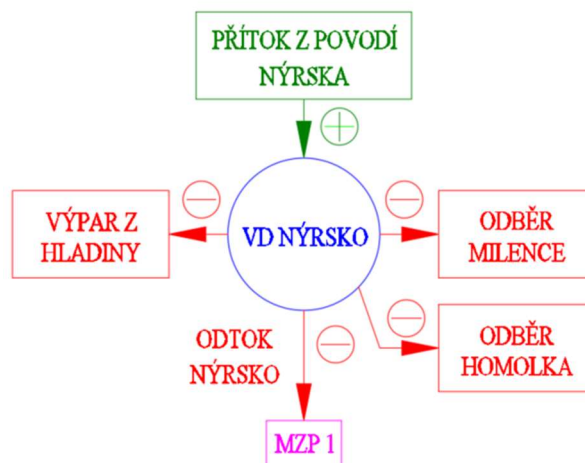


Graf 30: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – dle MŘ+80 l/s, reálná řada průtoků, profil Homolka, 2061–2080.



Graf 31: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – dle MŘ+300 l/s, reálná řada průtoků, profil Homolka, 2061–2080.

4.3 Bilance pro přímý odběr na úpravnu vody Milence a Homolka – Varianta C



Obrázek 10: Schéma modelu – Varianta C.

4.3.1 Struktura modelu

Model byl založen na řešení zásobní funkce nádrže bilancováním přítoků a odtoků přímo z VD Nýrsko. Jelikož byl odběr na úpravnu vody Homolka v Plzni pro tuto

variantu odebírán přímo z vodního díla, nevstupoval do výpočtů přítoků z mezipovodí. Základní schéma modelu je zobrazeno výše (Obrázek 10). Vstupními parametry modelu byly:

- odběr na úpravnu vody Milence,
- čistý přítok do nádrže z povodí,
- MZP pod hrází – 360 l/s (MZP 1),
- odběr na úpravnu vody Homolka.

Výpar z vodní hladiny byl určen stejným postupem jako v případě bilancování v profilu pod VD Nýrsko.

4.3.2 Variantní řešení

Hodnoty odběrů na úpravnu vody Milence a úpravnu vody Homolka v Plzni byly do modelu zahrnuty ve 3 návrhových stavech:

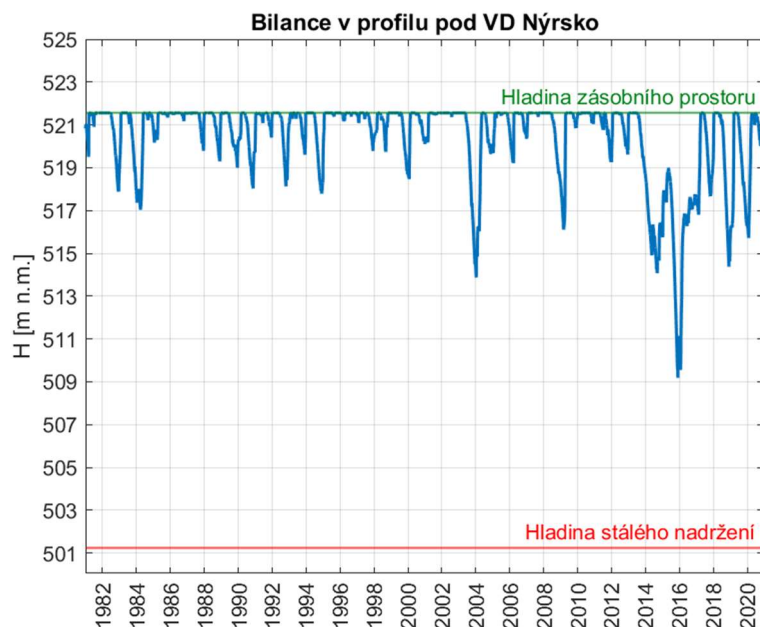
1. Dle MŘ – Návrhový stav byl řešen pro maximální povolený odběr dle MŘ, tedy 142,7 l/s pro odběr na úpravnu vody Milence a 580 l/s pro úpravnu vody Homolka v Plzni.
2. Max Op_{Milence} – Stav byl řešen pro maximální možný dlouhodobý odběr na úpravnu vody Milence při maximálním povoleném odběru na úpravnu vody Homolka dle MŘ.
3. Max Op_{Homolka} – Stav byl řešen pro odběr na úpravnu vody Homolka dle MŘ a maximální možný dlouhodobý odběr na úpravnu vody Milence.

Všechny tyto návrhové stavy byly řešeny při dodržení zabezpečení dodávek vody dle doby trvání 99,5 %.

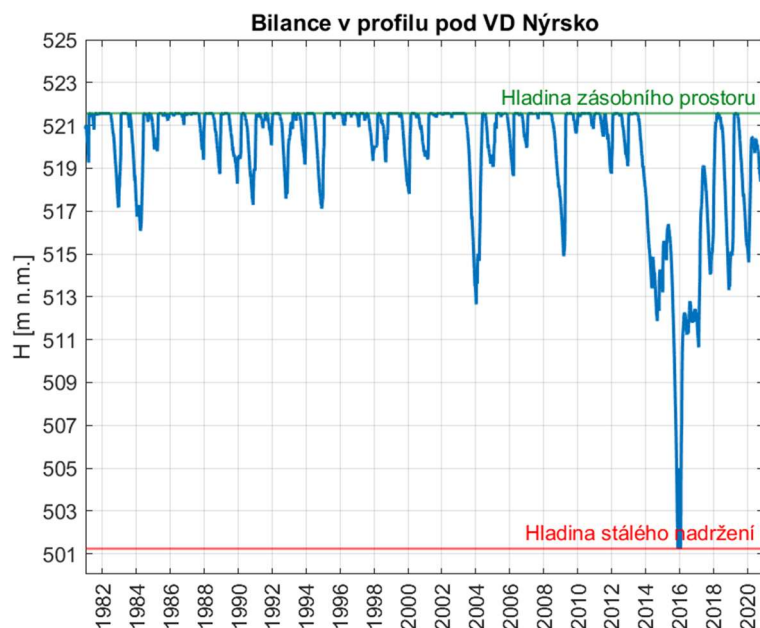
4.3.2.1 Varianta let 1981–2020

VH řešení zásobní funkce nádrže pro řadu průtoků měřenou v letech 1981–2020 je zobrazeno v grafech níže (Graf 32, Graf 33, Graf 34). Na průběhu hladin odběrů dle MŘ je patrné, že při přímém odběru vody na úpravnu vody Milence a Homolka docházelo v nádrži ke značnému rozkolísání hladiny. I přes tuto skutečnost nenastala za toto období porucha v dodávkách vody.

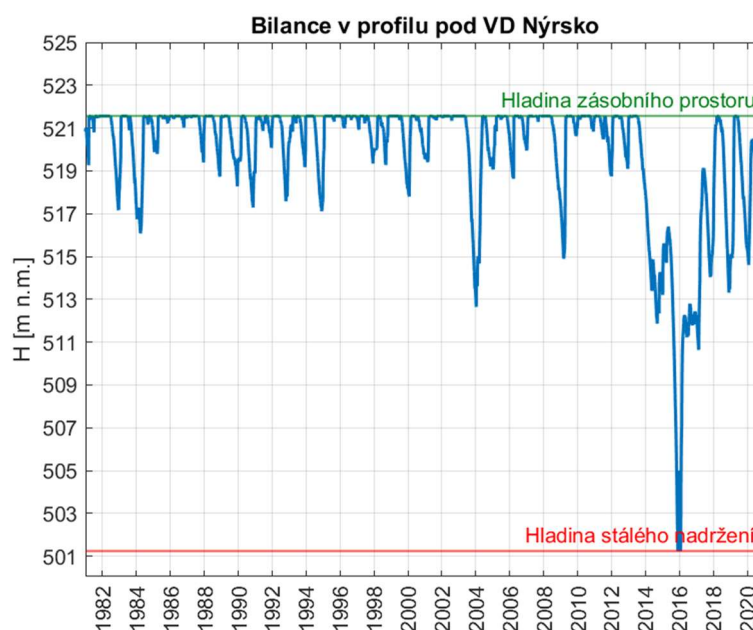
V případě varianty maximálního odběru na úpravnu vody Milence je možno odebírat z nádrže 580 l/s na úpravnu vody Homolka a 195 l/s na úpravnu vody Milence, nebo 142,7 l/s na úpravnu vody Milence a 632,3 l/s na úpravnu vody Homolka při dodržení Pt nad 99,5 %.



Graf 32: Průběh hladiny v nádrži, Varianta C – dle MŘ, reálná řada průtoků, profil VD Nýrsko, 1981–2020.



Graf 33: Průběh hladiny v nádrži, Varianta C – Max Op_{Milence}, reálná řada průtoků, profil VD Nýrsko, 1981–2020.

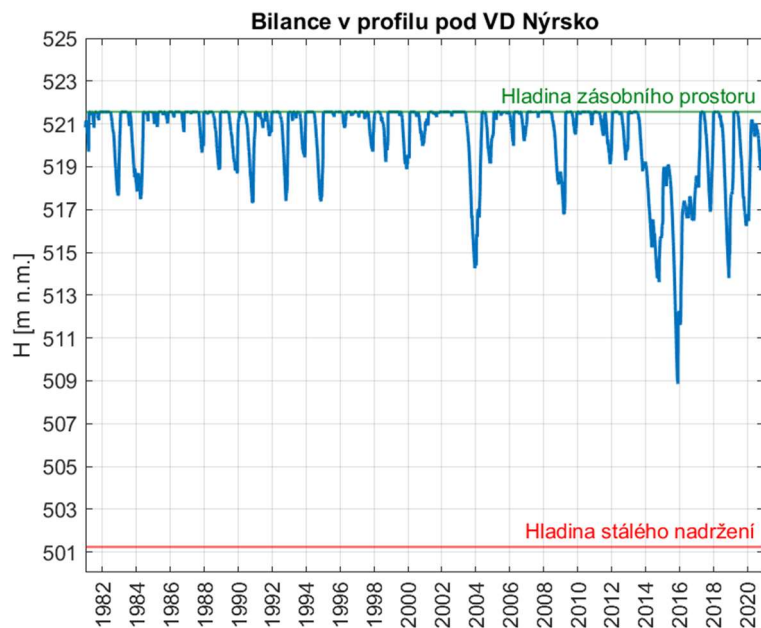


Graf 34: Průběh hladiny v nádrži, Varianta C – Max Op_{Homolka}, reálná řada průtoků, profil VD Nýrsko, 1981–2020.

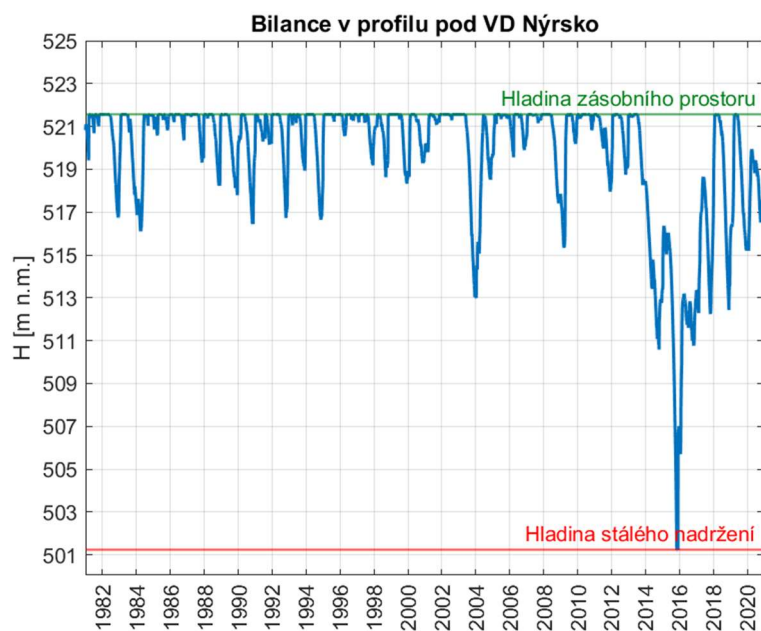
4.3.2.2 Varianta pro střední scénář klimatické změny 2041–2060

V případě aplikace změnových koeficientů pro střední scénář klimatické změny 2041–2060 na reálnou řadu průtoků byly výsledky téměř totožné s VH řešením zásobní funkce nádrže pro reálnou řadu dat.

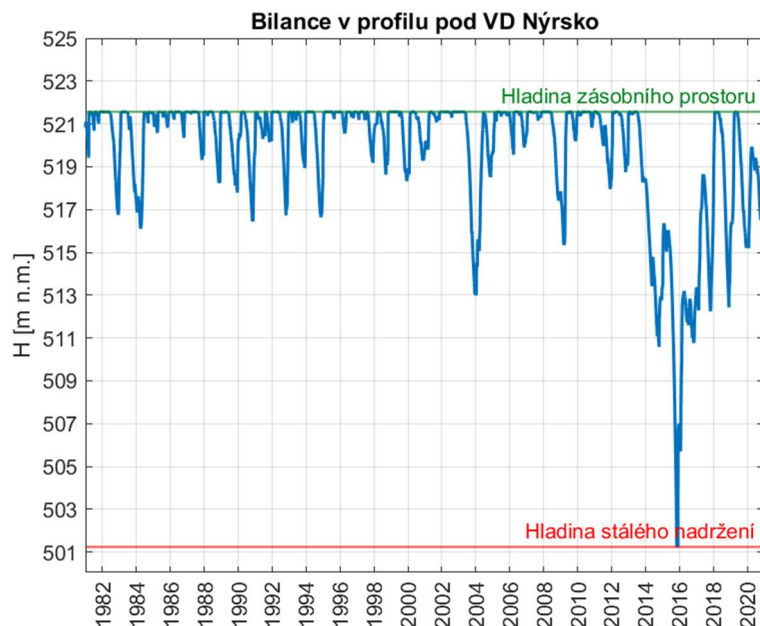
Při maximálních odběrech dle MŘ na úpravnu vody Milence a Homolka nedošlo k poruše dodávek vody během celého období, přestože je v nádrži patrná značná rozkolísanost hladin. Při variantě maximálního možného odběru na úpravnu vody Milence je možno odebírat 205 l/s při zachování odběru 580 l/s na úpravnu vody Homolka, nebo je možno odebírat 142,7 l/s na úpravnu vody Milence a 642,3 l/s na úpravnu vody Homolka. Průběhy hladin pro tyto návrhové stavy jsou zobrazeny v grafech níže (Graf 35, Graf 36, Graf 37).



Graf 35: Průběh hladiny v nádrži, Varianta C – dle MŘ, reálná řada průtoků, profil VD Nýrsko, 2041–2060.



Graf 36: Průběh hladiny v nádrži, Varianta C – Max Op_{Milence}, reálná řada průtoků, profil VD Nýrsko, 2041–2060.

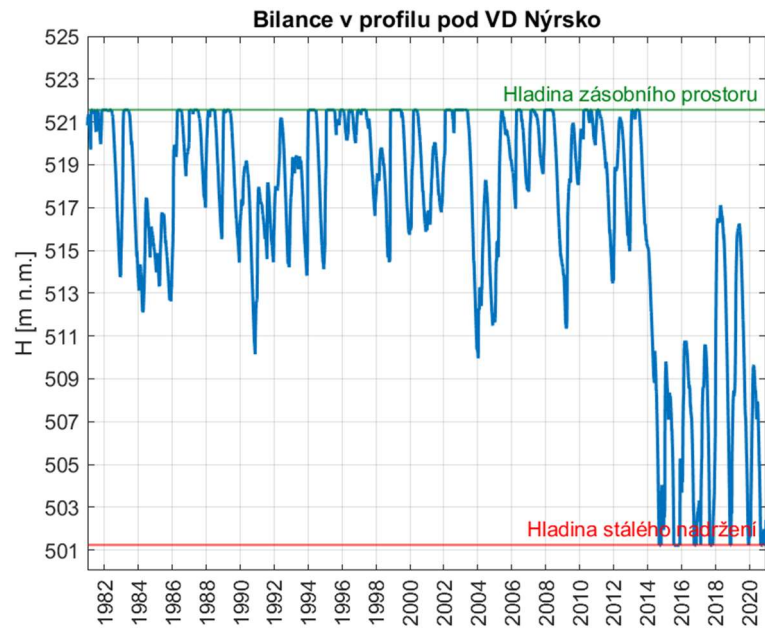


Graf 37: Průběh hladiny v nádrži, Varianta C – Max $Op_{Homolka}$, reálná řada průtoků, profil VD Nýrsko, 1981–2020.

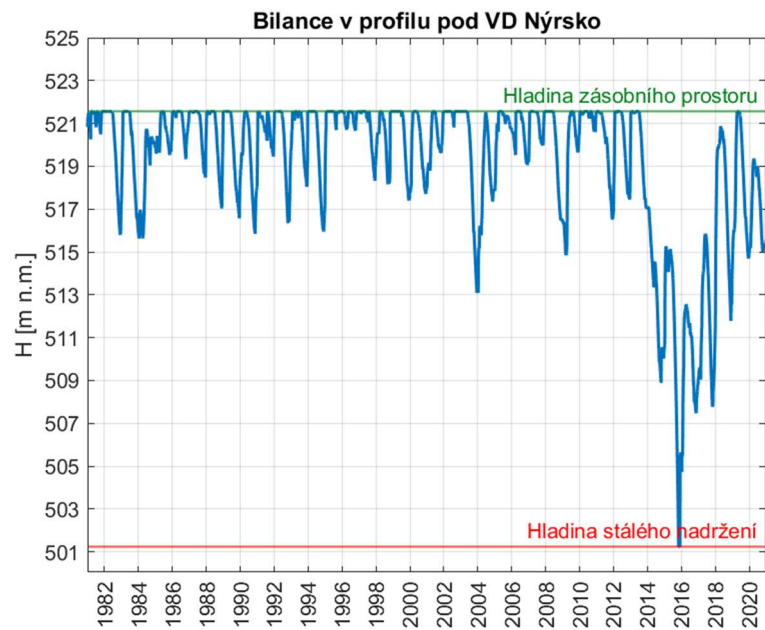
4.3.2.3 Varianta pro střední scénář klimatické změny 2061–2080

Pro období let 2061–2080 byl vliv klimatických změn natolik veliký, že při maximálním možném odběru dle MŘ dochází při suché periodě trvající v letech 2015 až 2020 k poruchám v dodávkách vody. V takovém případě je zabezpečení dle doby trvání pouze 96,10 %.

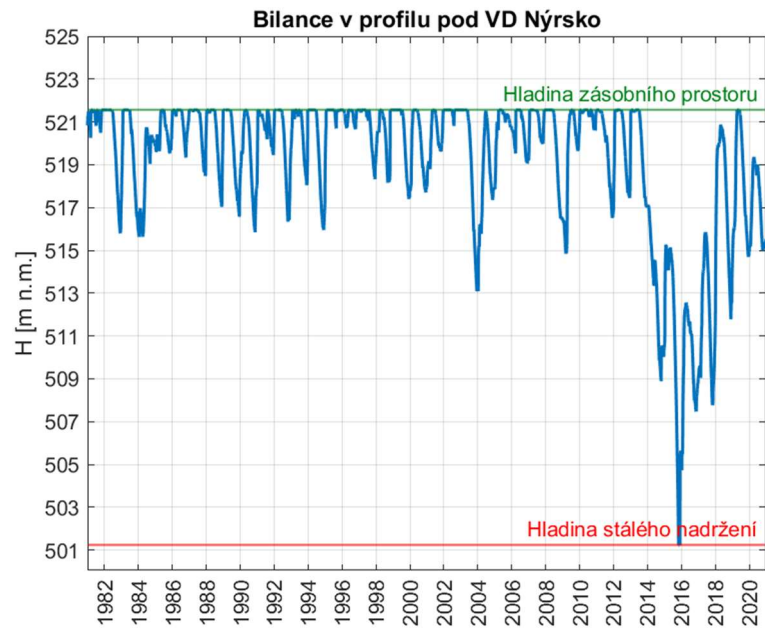
Pokud bychom chtěli zachovat maximální odběr dle MŘ na úpravnu vody Milence, musel by být omezen odběr na úpravnu vody Homolka na 458,3 l/s. V opačném případě by při zachování odběru na úpravnu vody Homolka 580 l/s byl možný odběr na úpravnu vody Milence pouze 21 l/s. Grafy průběhu hladin pro tyto scénáře jsou zobrazeny níže (Graf 38, Graf 39, Graf 40).



Graf 38: Průběh hladiny v nádrži, Varianta C – dle MŘ, reálná řada průtoků, profil VD Nýrsko, 2061–2080.



Graf 39: Průběh hladiny v nádrži, Varianta C – Max Op_{Milence}, reálná řada průtoků, profil VD Nýrsko, 2061–2080.



Graf 40: Průběh hladiny v nádrži, Varianta C – Max $Op_{Homolka}$, reálná řada průtoků, profil VD Nýrsko, 2061–2080.

5 Vodohospodářské řešení s použitím regresního, nebo hydrologického modelu

Vodohospodářské řešení zásobní funkce vodárenské nádrže Nýrsko bylo zpracováno obdobným způsobem jako v případě vodohospodářského řešení zásobní funkce nádrže Nýrsko pro reálně naměřená průtoková data v profilech limnigrafických stanic a odvozených průtocích. Pro možnost porovnání výsledků byly opět spočteny varianty A, B a C dle VH řešení zásobní funkce VD Nýrsko v měsíčním kroku.

Pro bilancování zásobní funkce nádrže mohla být použita data regresního ARIMA modelu, nebo data odvozená za pomoci hydrologického modelu GR4J řešící přítok z povodí v denním kroku. Tento hydrologický model byl dále doplněn o modul Cema Neige, který je v modelu GR4J použit pro popis akumulace vody ve sněhové pokrývce.

5.1 Popis regresního modelu

V rámci použití předpovědi denních průtoků na základě předchozích průtokových řad modelu byl použit tzv. ARIMA model. Jedná se o model složený z autoregresního modelu ($AR_{(p)}$), integračního modelu ($I_{(d)}$) a modelu klouzavých průměrů ($MA_{(q)}$).

5.1.1 Autoregresní model

Model je založen na faktu, že hodnoty v časové řadě jsou závislé na předchozích hodnotách. Řád autoregresního modelu p udává, jak daleko do minulosti jsou data modelu závislá (počet předešlých hodnot). Model $AR_{(p)}$ řádu je definován jako:

$$y_t = b_1 y_{t-1} + b_2 y_{t-2} + \dots + b_p y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (5.1)$$

kde b_1 až b_p jsou koeficienty autoregresního modelu, y_t nová hodnota řady vypočtená na základě předchozích hodnot a ε_t je současná hodnota (při předpovědi neznámá = náhodná hodnota).

Pro výpočet koeficientů modelu se využívá tzv. Yuelova-Walkerova soustava lineárních rovnic [21]:

$$\begin{aligned}\rho_1 &= b_1 + b_2\rho_1 + \dots + b_p\rho_{p-1} \\ \rho_2 &= b_1\rho_1 + b_2 + \dots + b_p\rho_{p-2} \\ \rho_1 &= b_1\rho_{p-1} + b_2\rho_{p-2} + \dots + b_p\end{aligned}\tag{5.2}$$

kde ρ_1 až ρ_p jsou hodnoty autokorelační funkce.

Pomocí operátoru zpětného posunutí B lze model zapsat následovně:

$$b(B).y_t = \varepsilon_t\tag{5.3}$$

kde $b(B)$ je autoregresní operátor. [21]

5.1.2 Model klouzavých průměrů

Zkratka MA pochází z anglického *Moving Average* neboli klouzavého průměru.

$MA_{(q)}$ model q řádu lze zapsat takto:

$$y_t = \varepsilon_t + w_1\varepsilon_{t-1} + w_2\varepsilon_{t-2} + \dots + w_q\varepsilon_{q-1}\tag{5.4}$$

kde w jsou parametry modelu a je možné je získat řešením soustavy nelineárních rovnic autokorelační funkce MA. [21]

Pomocí operátoru zpětného posunu lze zapsat MA model takto:

$$w(B). \varepsilon_t = y_t\tag{5.5}$$

5.1.3 Integrační model

Tato část ARIMA modelu zanáší do řešení i trendovou složku. Integrační složka modelu má následující tvar:

$$v_t = \Delta^d y_t\tag{5.6}$$

kde Δ^d je d-tá diference počítaného procesu y pro získání předpovědi hodnoty v_t .

Pomocí operátoru zpětného posunu lze zapsat jako:

$$\Delta = 1 - B \quad (5.7)$$

Celkový zápis pro ARIMA model v závislosti na parametrech (p, d, q) je potom následující: [21]

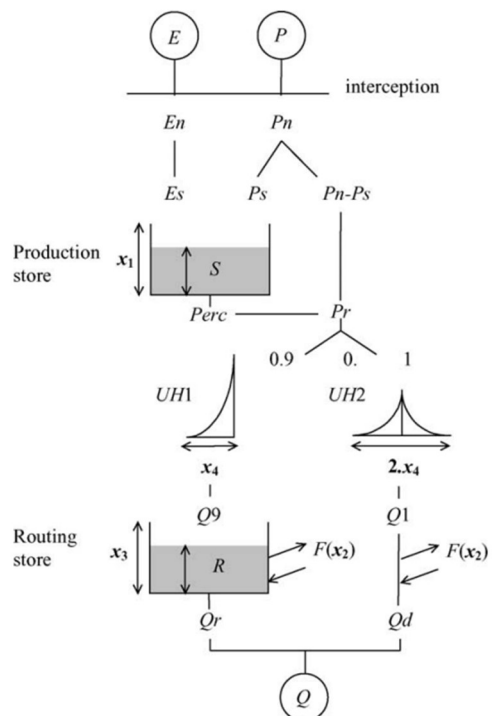
$$w(B) \cdot \varepsilon_t = v(B) \cdot v_t \quad (5.8)$$

5.2 Popis Hydrologického modelu

5.2.1 Model GR4J

Zkratka modelu je odvozená z francouzského názvu *modèle du Génie Rural à 4 paramètres Journalier*, což lze volně přeložit jako souhrnný čtyřparametrický model zemědělského inženýrství. [17]

Jedná se o čtyřparametrický srážkoodtokový model počítající s denním krokem. Schéma modelu je znázorněno na obrázku vpravo. Struktura modelu se skládá ze dvou zásobníků (*Production store* – produkční zásobník; *Routing store* – transformační zásobník), jednotkového hydrogramu a kalibračních parametrů $x_1 - x_4$, kde:



Obrázek 11: Schéma modelu GR4J. [17]

- x_1 je maximální kapacita produkčního zásobníku,
- x_2 je koeficient výměny vody v povodí (*water exchange coefficient*),

- x_3 je maximální kapacita transformačního zásobníku,
- x_4 je časový parametr jednotkových hydrogramů UH_1 a UH_2 .

Vstupními daty pro správné fungování modelu jsou denní srážkové úhrny P [mm/den], plocha povodí A [km²] a denní potenciální evapotranspirace E (PE) [mm/den] spočtena na základě globálního záření dopadajícího na povrch povodí a průměrné denní teploty. Výstupem je průměrný denní odtok z povodí Q [m³/s]. Kalibrace modelu je poté prováděna na základě změřených průtoků v uzavěrovém profilu povodí maximalizací Nashova kritéria mezi simulovaným a naměřeným průtokem. [17]

5.2.2 Modul Cema Neige

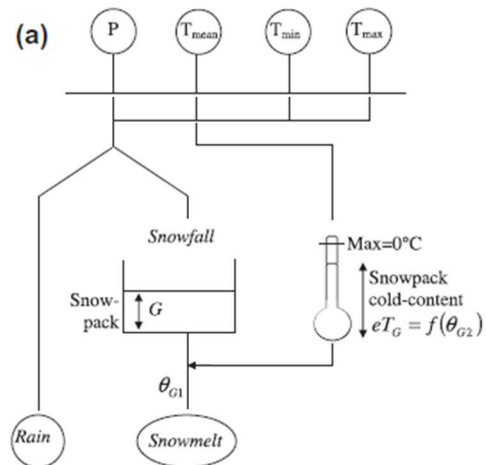
Pro kvalitnější poskytnutí dat o stavu sněhové pokrývky a jejím tání ve zvoleném povodí je model GR4J doplněn sněhovým modulem Cema Neige. Jedná se o semi-distribuovaný modul počítající tání sněhové pokrývky pomocí tzv. degree day method, která vyjadřuje rychlost tání sněhové pokrývky na základě denní teploty vzduchu.

Parametry modulu jsou:

- x_5 – setrvačnost sněhové pokrývky
- x_6 – „degree day“ faktor tání sněhové pokrývky

Vstupními daty pro model jsou denní data úhrnu srážek spadlých na povodí P [mm/den] a dále denní maximální teploty T_{max} , denní minimální teploty T_{min} nebo denní průměrné teploty T_{mean} . Pro určení zásob sněhu v povodí používá model rozdělení do výškových úrovní. V základu je povodí rozděleno do pěti výškových úrovní a pro tyto úrovně je zadáno % zastoupení plochy na celkové ploše povodí.

Výstupem modelu je rychlost tání [mm/den] a množství spadlé srážky [mm/den] pro každý den vstupní časové řady. Tyto hodnoty jsou do modelu implementovány jako denní srážka P [mm/den]. [18]



Obrázek 12: Schéma modulu Cema Neige. [18]

5.3 Kalibrace a validace hydrologického a ARIMA modelu

Hydrologický model měl pro všechny scénáře nastavenou „zahřívací periodu“ pro první rok, kdy se model ustaloval. Dále následovala kalibrační perioda od 1. 1. 1982 do 31. 12. 2014. Validací období probíhalo od 1. 1. 2015 do 31. 12. 2020. ARIMA model měl zvolenou pro předpověď průtoků na následující den závislost na předchozích 7 dnech pro $AR_{(p)}$, na 3 dnech pro $I_{(d)}$ a na 5 dnech pro $MA_{(q)}$ část modelu.

Účinnosti modelů byly posuzovány dle Nashova kritéria daného vztahem:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (R - R_{sim})^2}{\sum_{i=1}^N (R - \bar{R})^2} \quad (5.9)$$

kde N je počet dní v simulovaném období, R je měřený odtok [m^3/s], R_{sim} je simulovaný odtok [m^3/s] a \bar{R} je střední hodnota měřeného průtoku [m^3/s] za simulované období. [19]

Dalším kritériem, které je pro VH řešení důležité, je poměr celkového simulovaného průtoku povodím ku skutečnému průtoku PV daný rovnicí:

$$PV = \frac{\sum_{i=1}^N R_{sim}^2}{\sum_{i=1}^N R^2} \quad (5.10)$$

Ideální hodnotou je poměr 1,00, kdy množství změřené proteklé vody odpovídá nasimulovanému množství. Pokud je hodnota PV nižší než 1, znamená to, že simulovaný odtok má menší objem než skutečný odtok z povodí a model simulované průtoky podhodnocuje.

Výsledné hodnoty Nashova kritéria jsou pro jednotlivé průtokové scénáře a pro povodí VD Nýrsko spolu s mezipovodím prezentovány v tabulkách níže (Tabulka 11, Tabulka 12).

Tabulka 11: Výsledné hodnoty NSE pro hydrologický model.

Povodí	Scénář	Hodnota NSE [-]		PV [-]	
		kalibrace	validace	kalibrace	validace
VD Nýrsko	1981-2020	75,1	66,6	0,99	0,92
	2041-2060	71,2	61,4	0,99	0,91
	2061-2080	58,8	58,4	1,03	0,93
Mezipovodí	1981-2020	60,2	51,3	1,04	0,94
	2041-2060	57,9	56,6	1,12	0,98
	2061-2080	51,8	54,2	1,15	0,90

Tabulka 12: Výsledné hodnoty NSE pro ARIMA model.

Povodí	Scénář	Hodnota NSE [-]	PV [-]
VD Nýrsko	1981-2020	64,8	0,96
	2041-2060	62,9	0,96
	2061-2080	68,7	1,02
Mezipovodí	1981-2020	62,2	0,99
	2041-2060	62,4	0,99
	2061-2080	68,4	0,99

Obecně lze považovat za dobrý simulační model takový, který má ve validační fázi hodnotu parametru *NSE* větší než 0,5–0,6. [19]

Pro nakalibrované hydrologické modely (Tabulka 13) a ARIMA modely (Tabulka 14, Tabulka 15) jsou uvedeny odpovídající parametry v tabulkách níže.

Tabulka 13: Kalibrační parametry hydrologického modelu.

Povodí	Scénář	Parametr					
		x1	x2	x3	x4	x5	x6
VD Nýrsko	1981-2020	708,52	1,26	156,74	0,5	3,00	0,40
	2041-2060	704,72	0,91	185,61	0,94	1,20	0,25
	2061-2080	601,85	0,41	164,02	0,93	0,90	0,20
Mezipovodí	1981-2020	229,74	-3,00	43,60	3,00	50,00	0,10
	2041-2060	210,61	-2,25	54,60	2,96	3,00	0,20
	2061-2080	403,43	-1,09	40,45	3,00	3,74	0,25

Tabulka 14: Kalibrační parametry ARIMA modelu – část AR.

Povodí	Scénář	Parametr AR(p)						
		1	2	3	4	5	6	7
VD Nýrsko	1981-2020	-0,608	0,054	-0,102	-0,113	-0,032	-0,044	-0,068
	2041-2060	-0,679	0,088	0,105	-0,074	-0,026	-0,018	-0,042
	2061-2080	-0,665	0,072	0,088	-0,066	-0,048	-0,058	-0,076
Mezipovodí	1981-2020	-0,242	-0,287	-0,506	-0,190	-0,172	-0,159	-0,116
	2041-2060	-0,258	-0,277	-0,465	-0,181	-0,166	-0,157	-0,103
	2061-2080	-0,194	-0,610	-0,424	-0,253	-0,200	-0,143	-0,098

Tabulka 15: Kalibrační parametry ARIMA modelu – část MA.

Povodí	Scénář	Parametr MA(q)				
		1	2	3	4	5
VD Nýrsko	1981-2020	-1,787	0,189	1,000	-0,416	0,014
	2041-2060	-1,718	-0,001	0,949	-0,014	-0,215
	2061-2080	-1,716	0,008	0,936	-0,030	-0,197
Mezipovodí	1981-2020	-1,779	0,567	0,530	-0,633	0,315
	2041-2060	-1,761	0,512	0,541	-0,559	0,267
	2061-2080	-1,748	0,831	-0,129	-0,223	0,269

5.4 Porovnání průtoků hydrologického modelu a ARIMA modelu

Pro rozhodování, jaká data budou použita při VH řešení zásobní funkce nádrže, byla hlavním parametrem hodnota NSE a dále vizuální kontrola průběhu průtoků v málovodném období. V rámci vizuální kontroly průběhu průtoků pro přítok do VD Nýrsko a pro přítok z mezipovodí mezi VD Nýrsko a ÚV Homolka v Plzni bylo použito období od začátku března roku 1992 do konce ledna roku 1993. V rámci porovnání hodnot NSE a PV byl použit validační parametr hydrologického modelu.

5.4.1 Přítok do VD Nýrsko

Při porovnání simulovaných přítoků do VD Nýrsko hydrologickým modelem a ARIMA modelem vykazují oba modely přijatelnou spolehlivost. Hydrologický

model vykazuje lepší výsledky pro období 1981–2020, což jsou reálně naměřené průtoky. V obdobích 2041–2060 a 2061–2080 se jedná o průtoky ovlivněné koeficienty středního scénáře klimatické změny. Z toho důvodu je hydrologický model zvolen pro simulaci průtoků pro VH řešení. Oba modely vykazují lehké systematické podhodnocování průtoků s výjimkou ARIMA modelu pro období 2061–2080, kdy je model o 2 % nadhodnocen. Z důvodu podhodnocování průtoků je model na straně bezpečnosti při použití těchto dat pro VH řešení zásobní funkce nádrže.

Tabulka 16: Porovnání parametrů NSE a PV pro přítok do VD Nýrsko.

Povodí	Scénář	Hodnota NSE [-]			PV [-]		
		GR4J	ARIMA	GR4J-ARIMA	GR4J	ARIMA	GR4J-ARIMA
VD Nýrsko	1981-2020	66.6	64.8	1.8	0.92	0.96	-0.04
	2041-2060	61.4	62.9	-1.5	0.91	0.96	-0.05
	2061-2080	58.4	68.7	-10.3	0.93	1.02	-0.09



Graf 41: Porovnání modelů pro simulaci přítoku do VD Nýrsko, 1981–2020.

5.4.2 Přítok z mezipovodí

V rámci porovnání simulovaných přítoků z mezipovodí vykazují oba modely přijatelnou spolehlivost dle Nashova kritéria. U ARIMA modelu nedochází téměř k žádnému systematickému podhodnocování průtoků. U hydrologického modelu dochází k systematickému podhodnocování průtoků, avšak nejvýše o 10 %. Pro VH řešení zásobní funkce za pomoci hydrologického nebo regresního modelu byly použity

průtoky odvozené z hydrologického modelu z důvodu konzistence použití hydrologického modelu u přítoku z povodí VD Nýrsko.

Tabulka 17: Porovnání parametrů NSE a PV pro přítok z mezipovodí.

Povodí	Scénář	Hodnota NSE [-]			PV [-]		
		GR4J	ARIMA	GR4J-ARIMA	GR4J	ARIMA	GR4J-ARIMA
VD Nýrsko	1981-2020	51.3	62.2	-10.9	0.94	0.99	-0.05
	2041-2060	56.6	62.4	-5.8	0.98	0.99	-0.01
	2061-2080	54.2	68.4	-14.2	0.90	0.99	-0.09



Graf 42: Porovnání modelů pro simulaci přítoku z mezipovodí, 1981–2020.

5.5 Variantní řešení

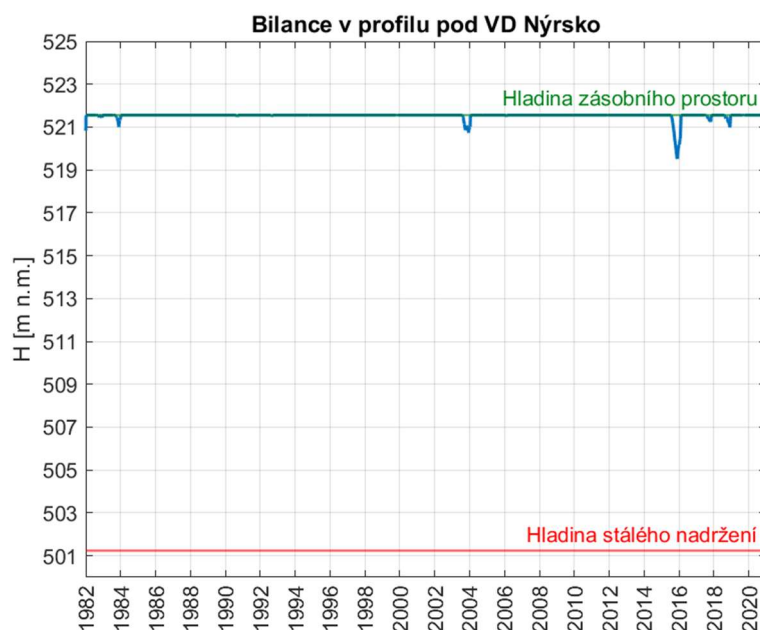
VH řešení bylo provedeno identickým způsobem jako v případě VH řešení pro naměřená data průtoků a pro data ovlivněná klimatickou změnou. Průtokové řady z hydrologického modelu byly pro VH řešení použity v období 1982–2020. Rok 1981 byl u modelu použit pro jeho ustálení a tyto hodnoty nelze použít pro VH řešení zásobní funkce nádrže.

Níže v kapitolách jsou uvedeny grafy průběhů hladin pro jednotlivé návrhové stavy a varianty řešení. Dále jsou v kapitolách pro jednotlivé varianty uvedeny hodnoty odběrů pro dané průběhy hladin.

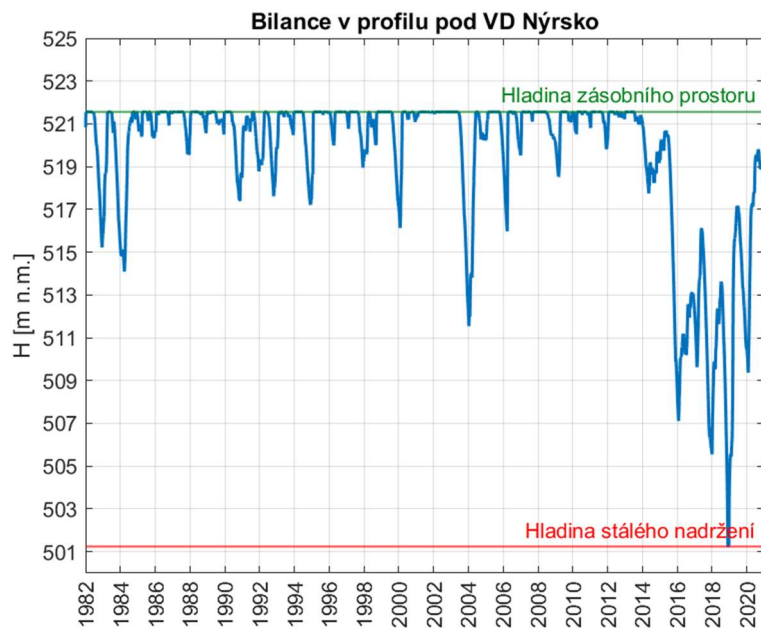
5.5.1 Bilance pro odběr Milence – Varianta A

5.5.1.1 Varianta let 1981–2020

Při odběru dle MŘ 142,7 l/s byl zásobní prostor nádrže téměř nevyužit. Odběr vody ze zásobního prostoru lze při dlouhodobém odběru odebírat 737 l/s. V takovém případě má zásobní objem v nádrži značnou část období rezervu v zásobě vody s výjimkou suchého období v letech 2014 až 2017, kdy nastane v případě dlouhodobého odběru 737 l/s porucha v dodávce vody.



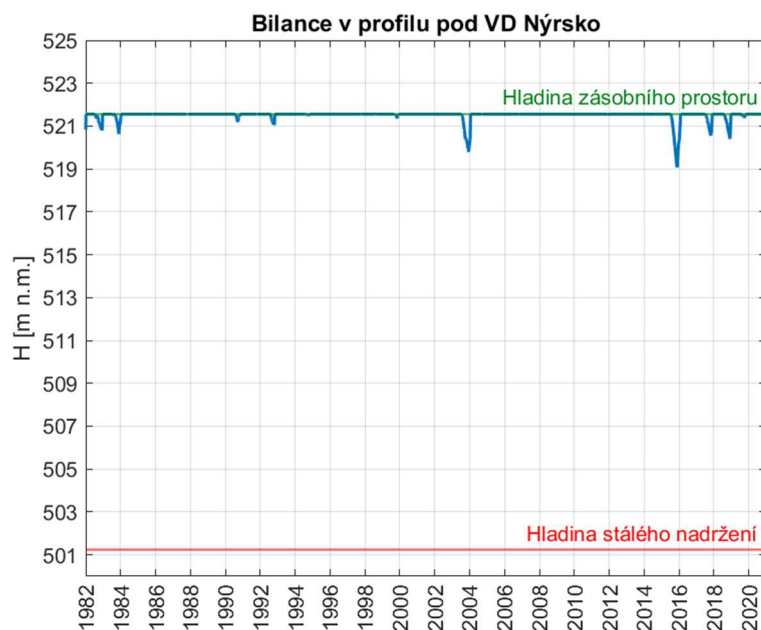
Graf 43: Průběh hladiny v nádrži, Varianta A – odběr dle MŘ, GR4J, profil VD Nýrsko, 1981–2020.



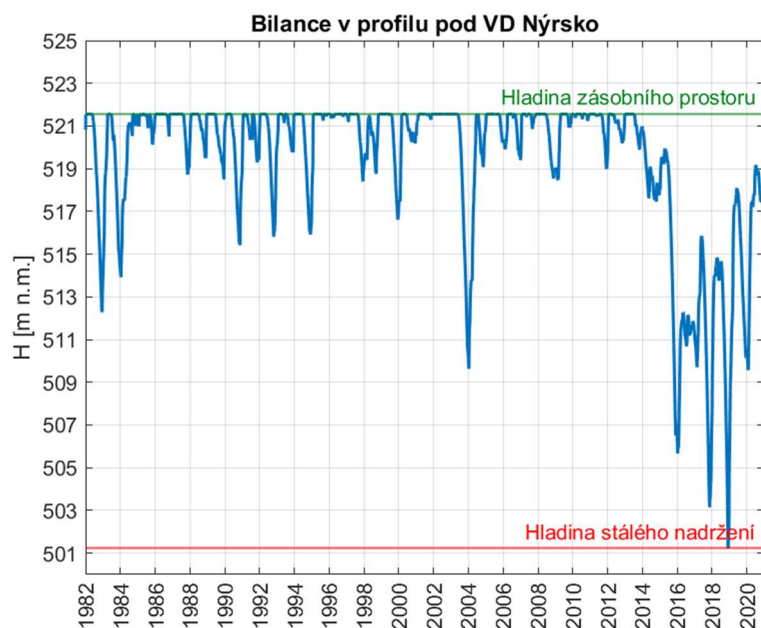
Graf 44: Průběh hladiny v nádrži, Varianta A – Max Op_{Milence}, GR4J, profil VD Nýrsko, 1981–2020.

5.5.1.2 Varianta let 2041–2060

V případě varianty pro klimatický normál 2041–2060 byly výsledky téměř shodné s daty neovlivněnými klimatickou změnou. Při odběru dle MŘ 142,7 l/s byl zásobní prostor v nádrži téměř nevyužit s výjimkou léta 2015, kdy došlo k poklesu hladiny přibližně o 2 m. Při maximálním možném dlouhodobém odběru je nádrž schopna dlouhodobě dodávat průtok 732 l/s.



Graf 45: Průběh hladiny v nádrži, Varianta A – GR4J, reálná řada průtoků, profil VD Nýrsko, 2041–2060.

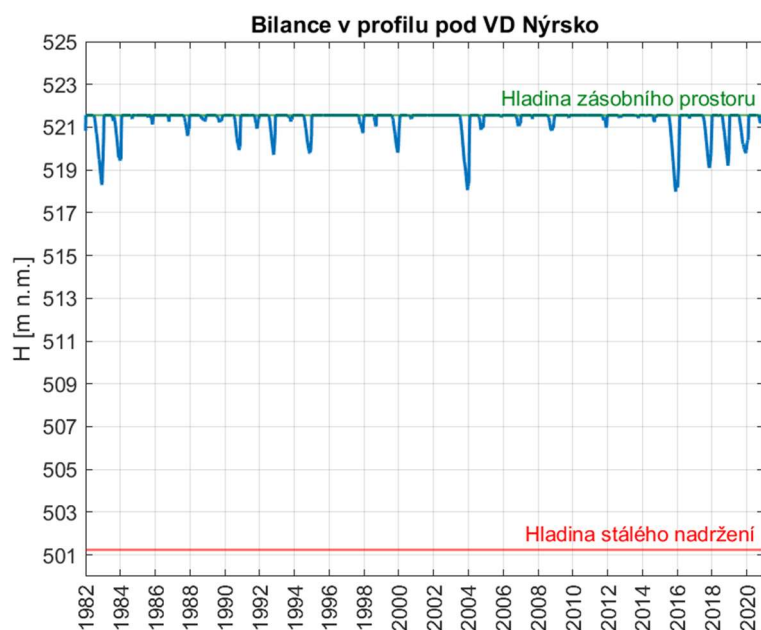


Graf 46: Průběh hladiny v nádrži, Varianta A – Max Op_{Milence}, GR4J, profil VD Nýrsko, 2041–2060.

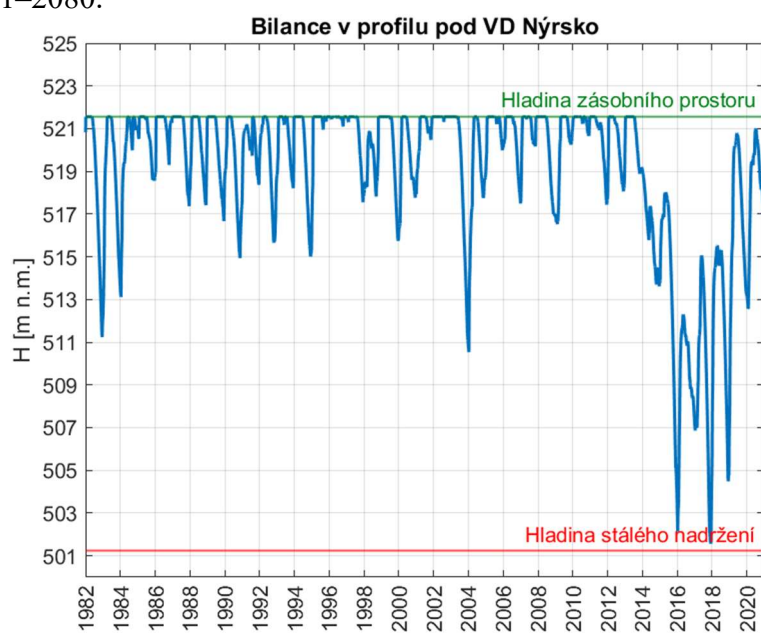
5.5.1.3 Varianta pro střední scénář klimatické změny 2061–2080

V případě ovlivnění dat klimatickou změnou pro klimatický normál 2061–2080 docházelo téměř ke každoročnímu využívání zásobního prostoru a rozkolísání hladiny

při odběru dle MŘ 142,7 l/s. Nádrž byla schopna dodávat při zabezpečení dodávky vody Pt 99,5 % 536 l/s.



Graf 47: Průběh hladiny v nádrži, Varianta A – odběr dle MŘ, GR4J, profil VD Nýrsko, 2061–2080.

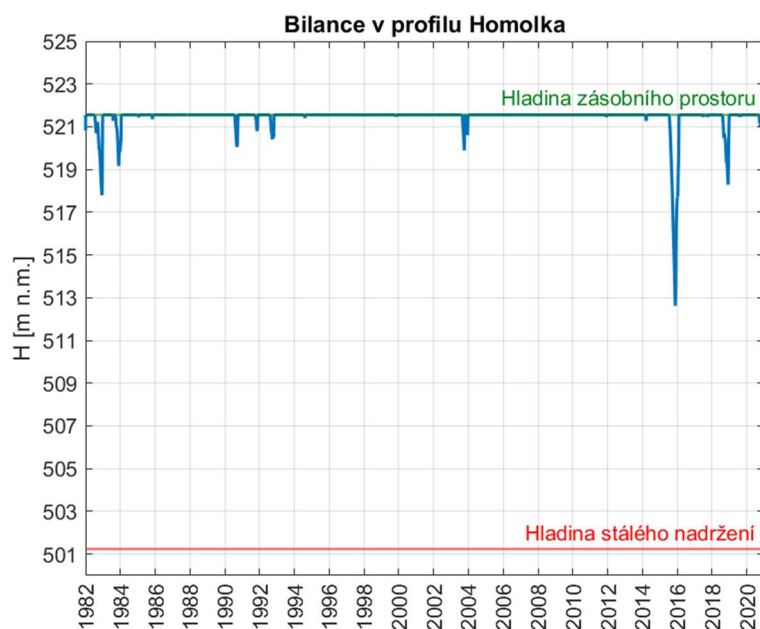


Graf 48: Průběh hladiny v nádrži, Varianta A – Max $Op_{Milence}$, GR4J, profil VD Nýrsko, 2061–2080.

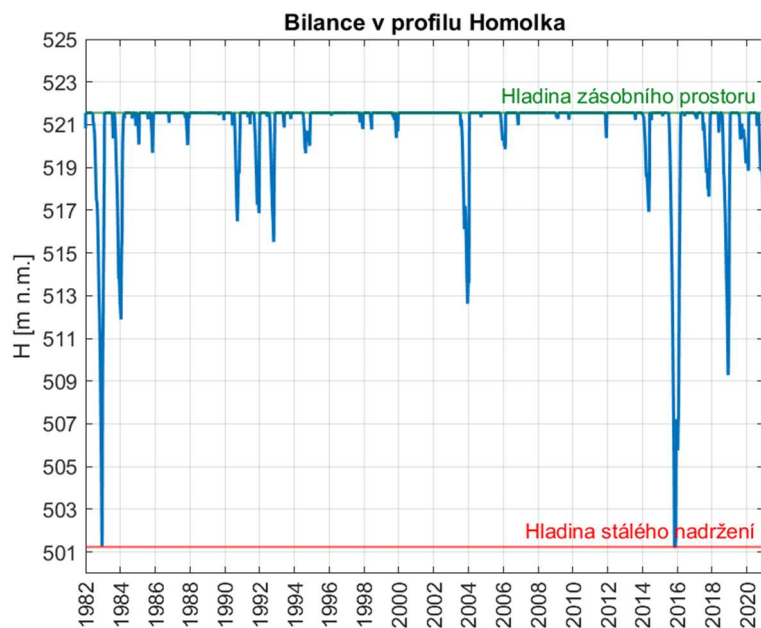
5.5.2 Bilance pro odběr na úpravnu vody Milence a kompenzační řízení pro odběr úpravny vody Homolka – Varianta B

5.5.2.1 Varianta let 1981–2020

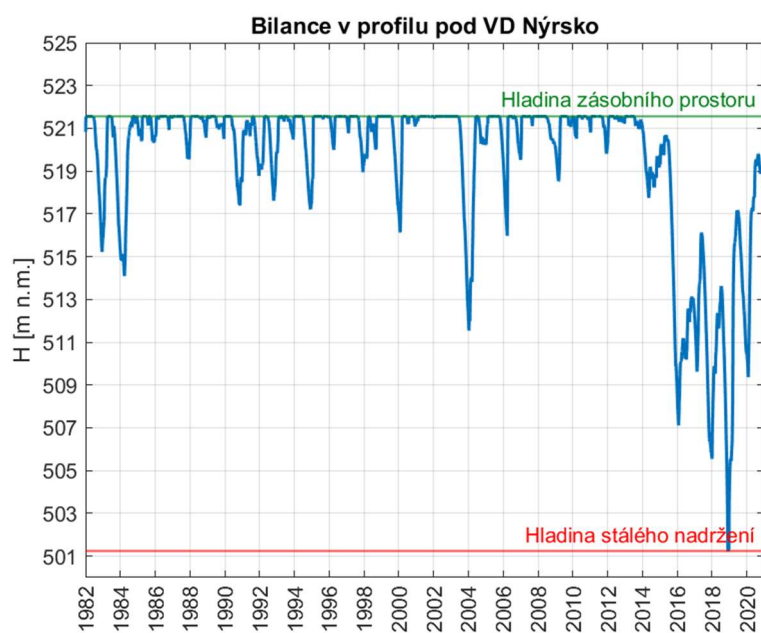
Nádrž byla schopna nadlepšovat průtoky v profilu odběru Homolka dle MŘ bez vzniku poruchy dodávky vody, a to i v případě navýšení odběrů na úpravně vody Homolka o 80 l/s, respektive o 300 l/s. Nádrž je schopna nadlepšovat průtok pro odběr na úpravnu vody Homolka o hodnotě 1331 l/s při Pt 99,5 % a při dodržení odběru na úpravnu vody Milence 142,7 l/s dle MŘ, nebo je schopna zajistit odběry na úpravně vody Homolka dle MŘ 580 l/s a 737 l/s pro odběr na úpravnu vody Milence.



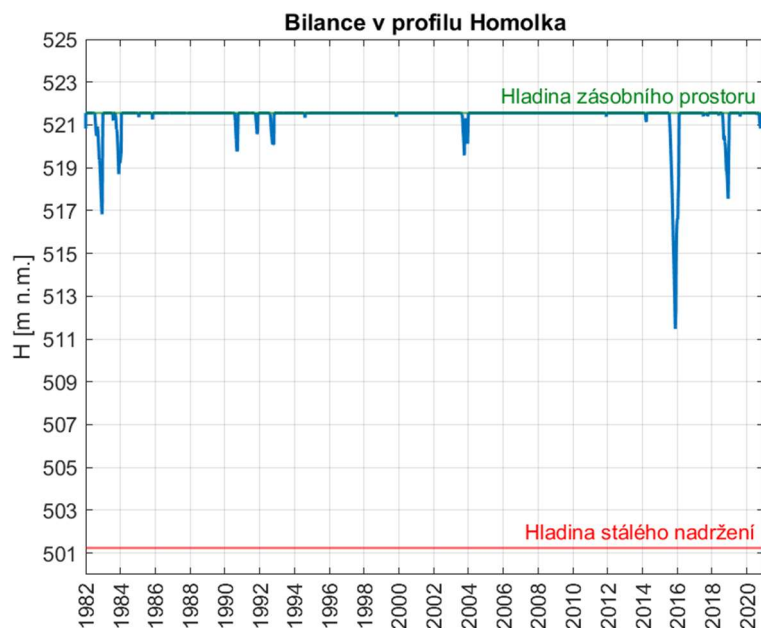
Graf 49: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – dle MŘ, GR4J, profil Homolka, 1981–2020.



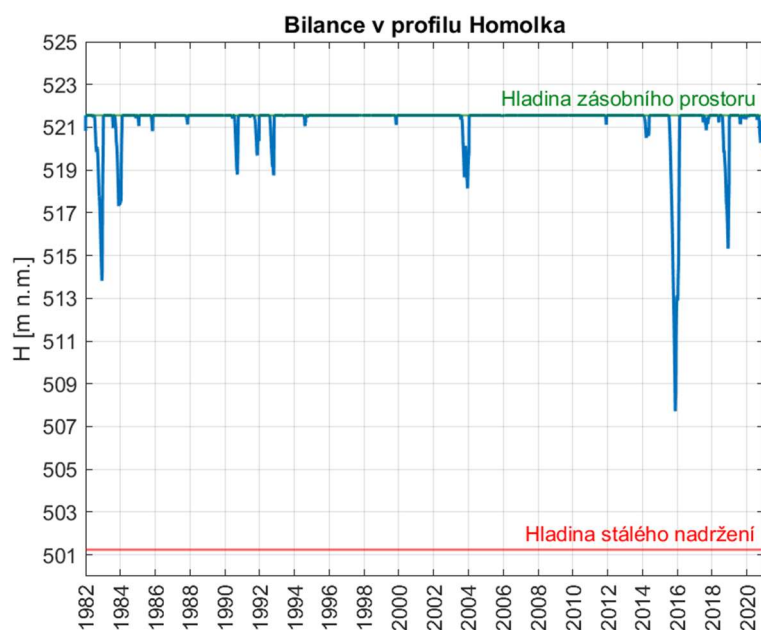
Graf 50: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – Max Op_{Homolka}, GR4J, profil Homolka, 1981–2020.



Graf 51: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – Max Op_{Milence}, GR4j, profil Homolka, 1981–2020.



Graf 52: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – dle MŘ+80l/s, GR4J, profil Homolka, 1981–2020.

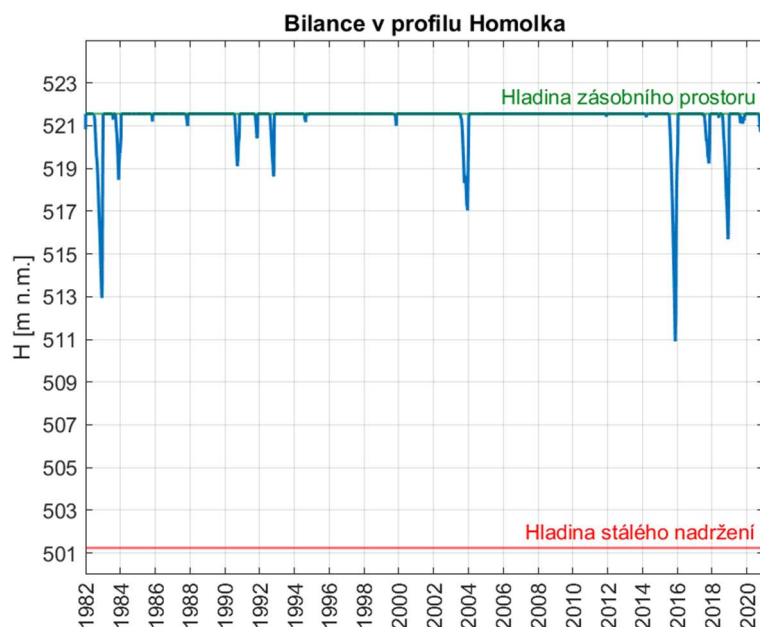


Graf 53: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – dle MŘ+300l/s, GR4J, profil Homolka, 1981–2020.

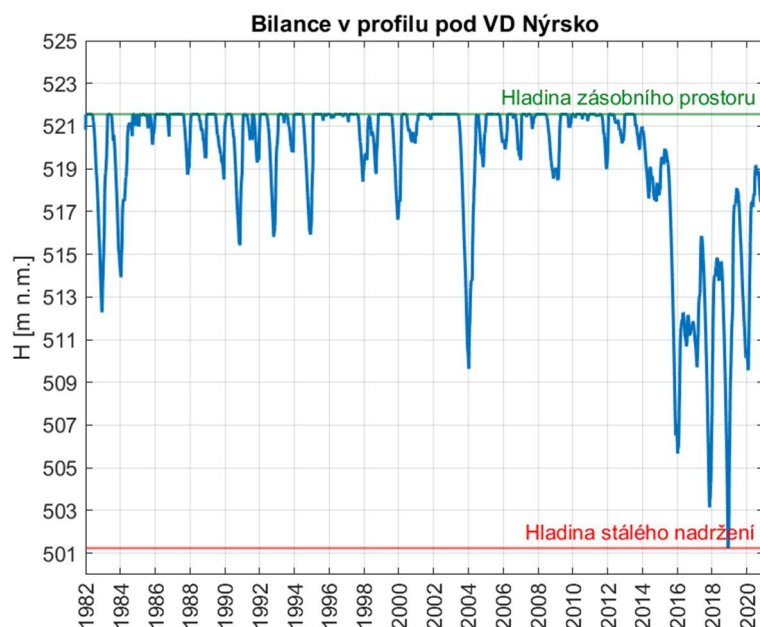
5.5.2.2 Varianta pro střední scénář klimatické změny 2041–2060

Nádrž byla schopna nadlepšovat průtoky v profilu odběru Homolka dle MŘ bez vzniku poruchy dodávky vody, a to i v případě navýšení odběrů na úpravně vody Homolka o 80 l/s, respektive o 300 l/s. Nádrž je schopna nadlepšovat průtok pro odběr

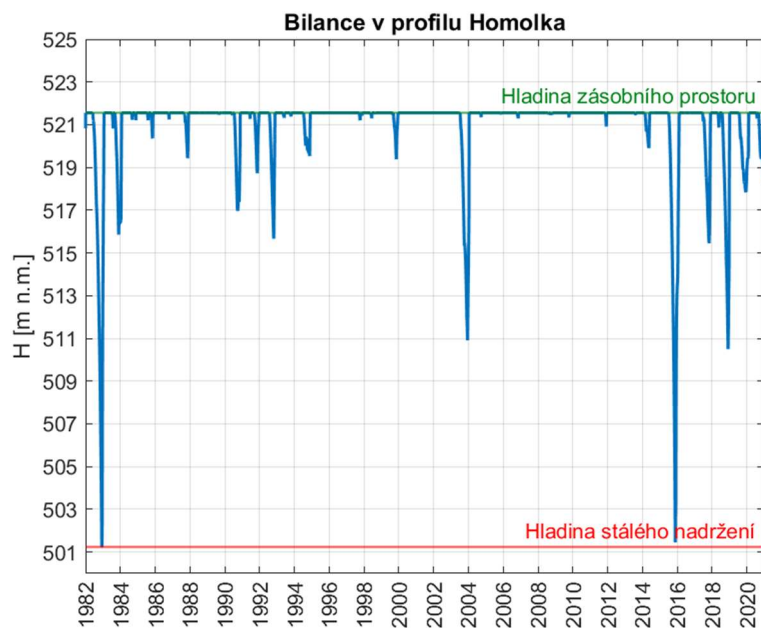
na úpravnu vody Homolka o hodnotě 990 l/s při Pt 99,5 % a při dodržení odběru na úpravnu vody Milence 142,7 l/s dle MŘ, nebo je schopna zajistit odběry na úpravně vody Homolka dle MŘ 580 l/s a 732 l/s pro odběr na úpravnu vody Milence.



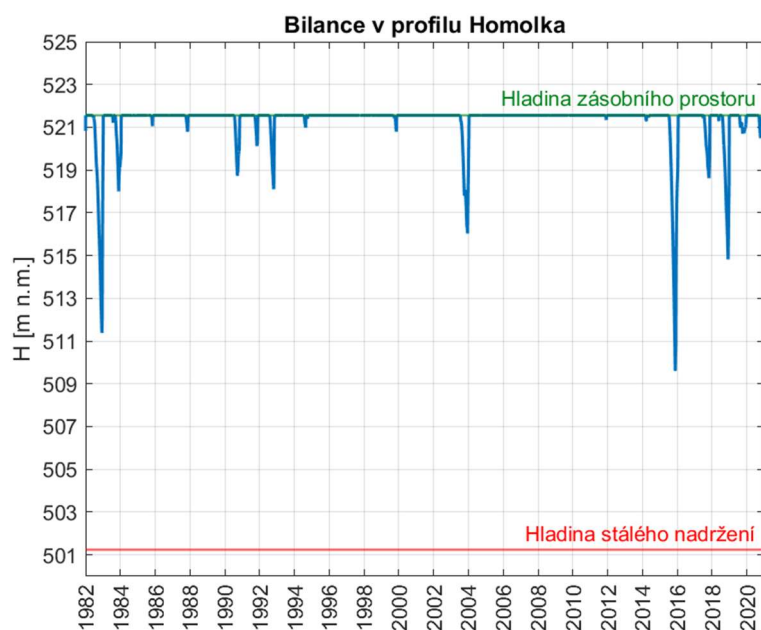
Graf 54: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – dle MŘ, GR4J, profil Homolka, 2041–2060.



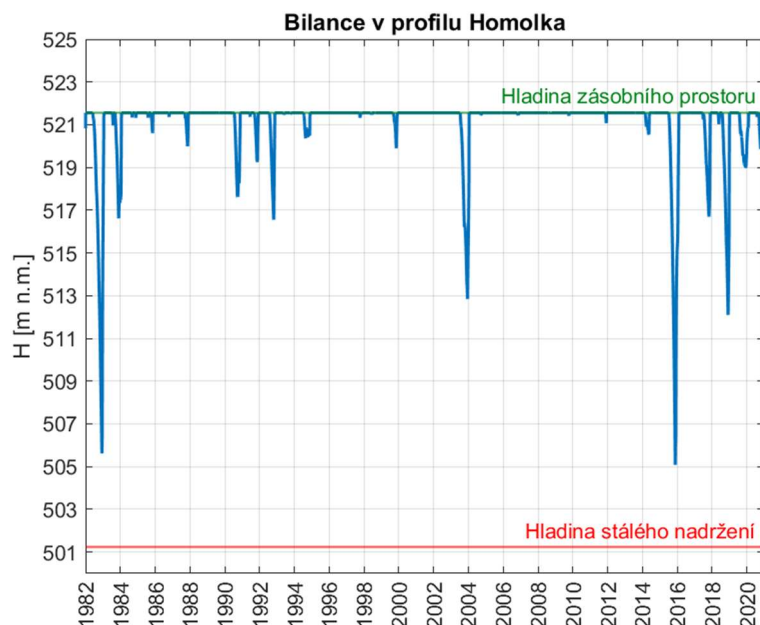
Graf 55: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – Max $Op_{Milence}$, GR4J, profil Homolka, 2041–2060.



Graf 56: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – Max $Op_{Homolka}$, GR4J, profil Homolka, 2041–2060.



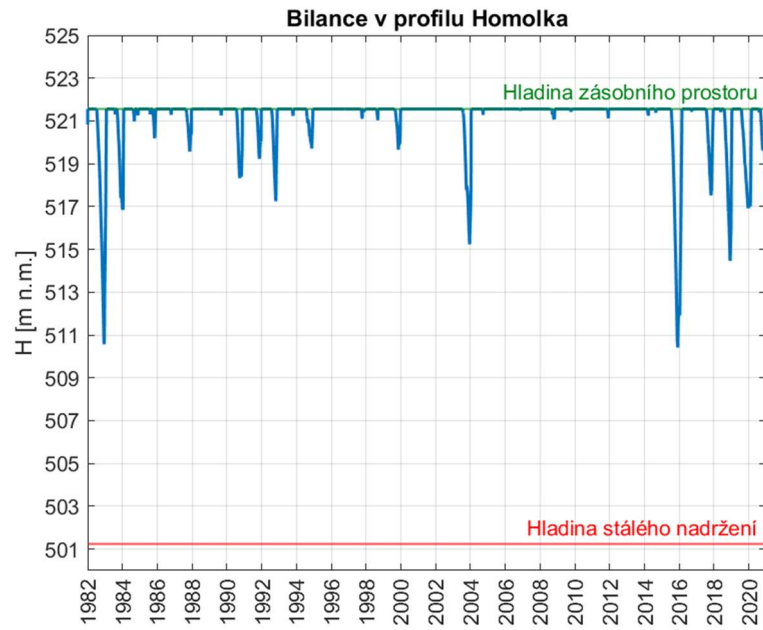
Graf 57: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – dle MŘ+80 l/s, GR4J, profil Homolka, 2041–2060.



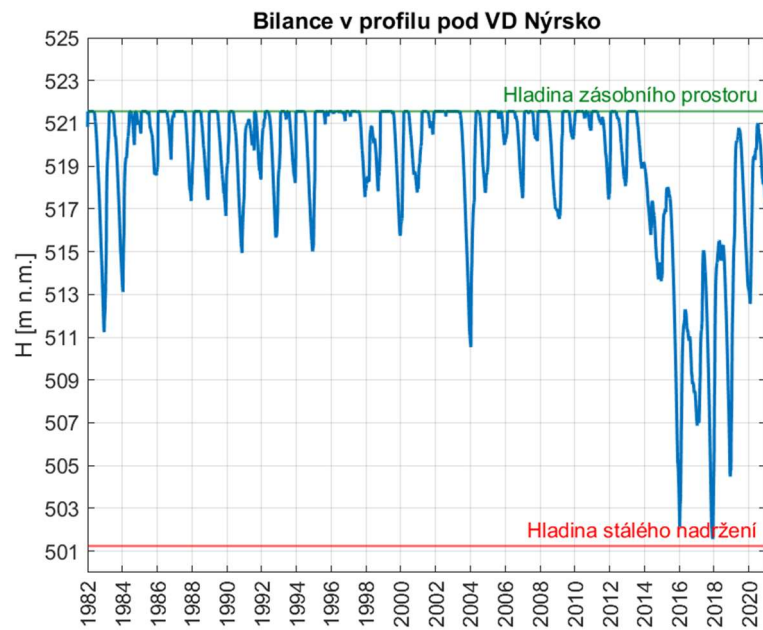
Graf 58: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – dle MŘ+300 l/s, GR4J, profil Homolka, 2041–2060.

5.5.2.3 Varianta pro střední scénář klimatické změny 2061–2080

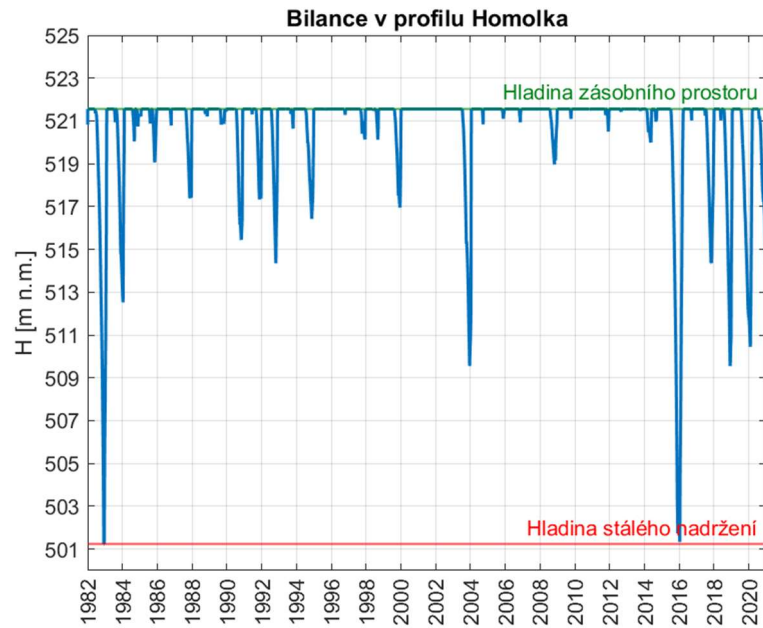
Při aplikaci změn dle středního scénáře klimatické změny v období 2061–2080 byla nádrž schopna zajistit odběry dle MŘ pro obě úpravní. Při maximálním dlouhodobém odběru na úpravnu vody Homolka je možno odebírat 885 l/s při zachování odběru na úpravnu Milence 142,7 l/s, nebo je možnost odebírat 530 l/s na ÚV Homolka a 536 l/s na ÚV Milence. Při takto velkých odběrech je hladina v nádrži velice rozkolísaná a je zde možnost, že vlivem kolísání dojde ke zhoršení jakosti vody v nádrži.



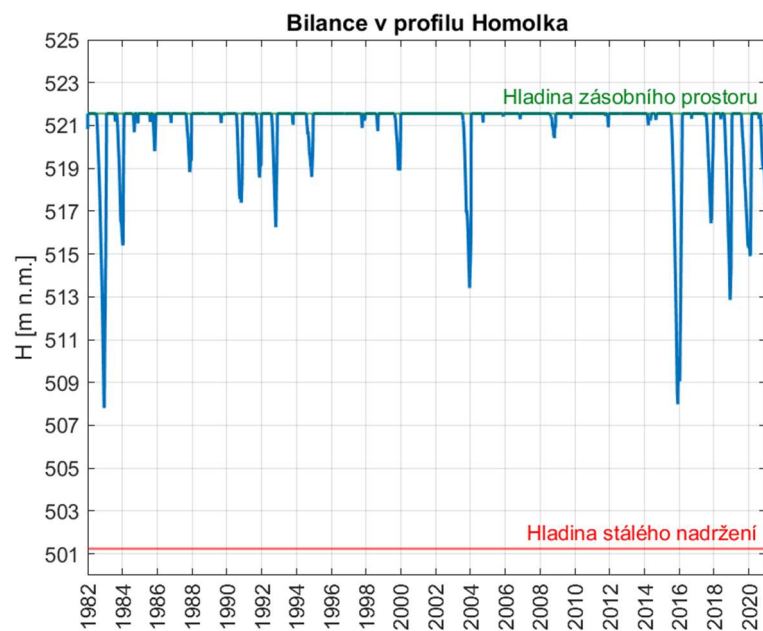
Graf 59: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – dle MŘ, GR4J, profil Homolka, 2061–2080.



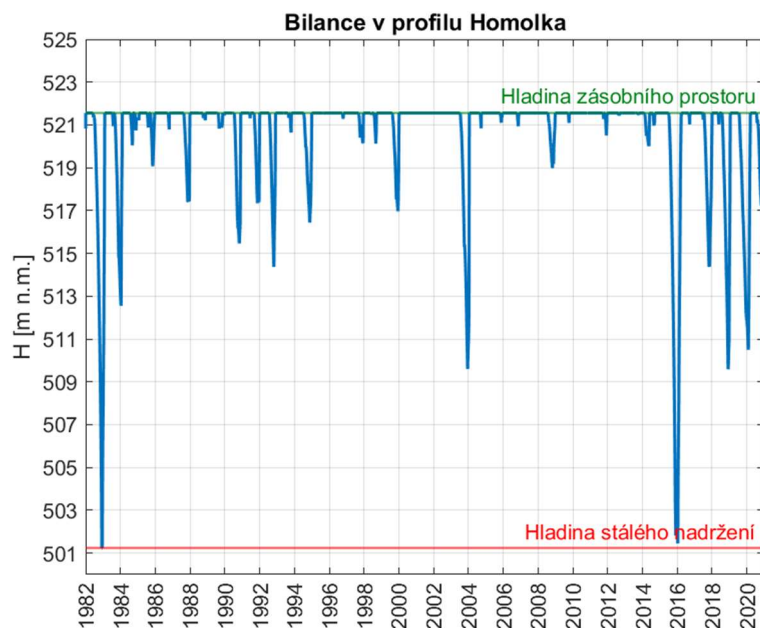
Graf 60: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – Max Op_{Milence}, GR4J, profil Homolka, 2061–2080.



Graf 61: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – Max $Op_{Homolka}$, GR4J, profil Homolka, 2061–2080.



Graf 62: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – dle $M\check{R}+80$ l/s, GR4J, profil Homolka, 2061–2080.

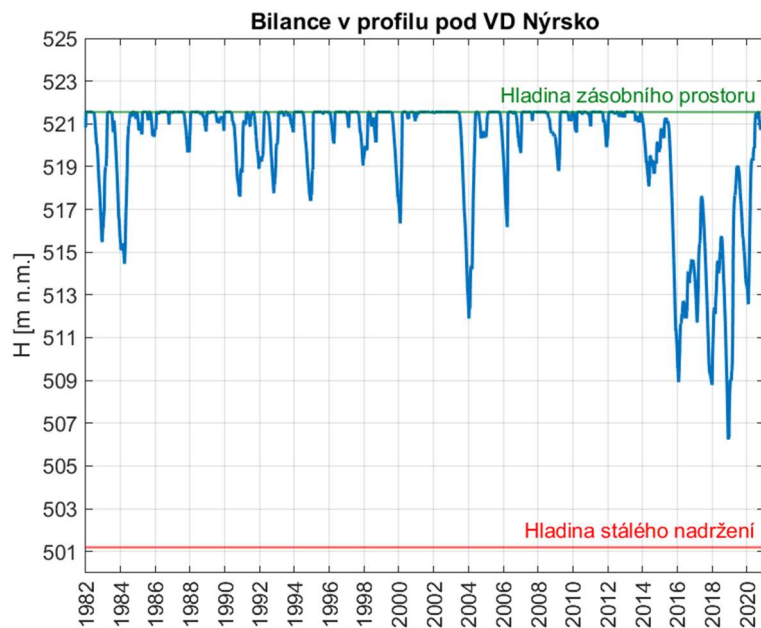


Graf 63: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – dle MŘ+300 l/s, GR4J, profil Homolka, 2061–2080.

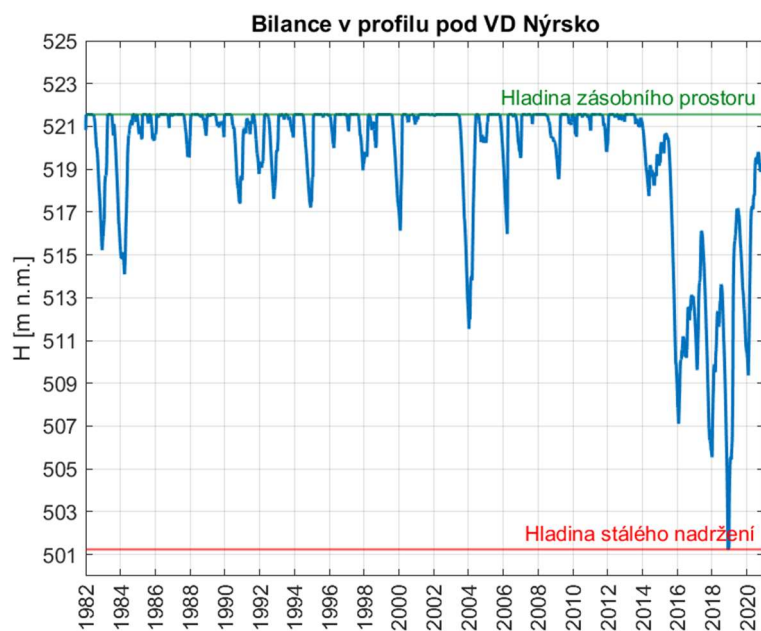
5.5.3 Bilance pro přímý odběr na úpravnu vody Milence a Homolka – Varianta C

5.5.3.1 Varianta let 1981–2020

V případě přímého odběru z vodního díla bylo možné pro toto období odebírat z nádrže 734 l/s. Z toho vyplývá, že pro toto období je možno odebírat vodu z nádrže dle MŘ a je možno navýšit odběr pouze o 11,3 l/s. Průběhy hladin při daných odběrech jsou značně rozkolísané a jsou znázorněny v grafech (Graf 64, Graf 65).



Graf 64: Průběh hladiny v nádrži, Varianta C – dle MŘ, GR4J, profil VD Nýrsko, 1981–2020.

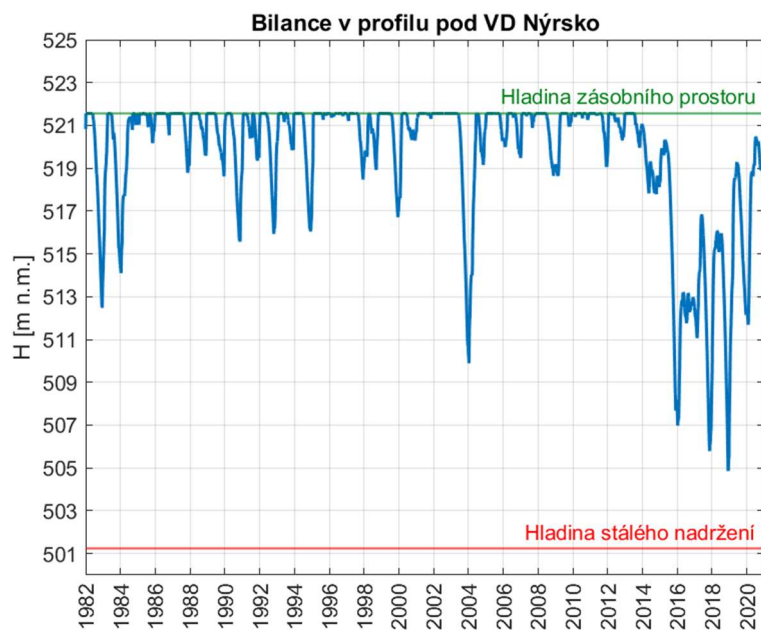


Graf 65: Průběh hladiny v nádrži, Varianta C – Max Op_{Milence} nebo Max Op_{Homolka}, GR4J, profil VD Nýrsko, 1981–2020.

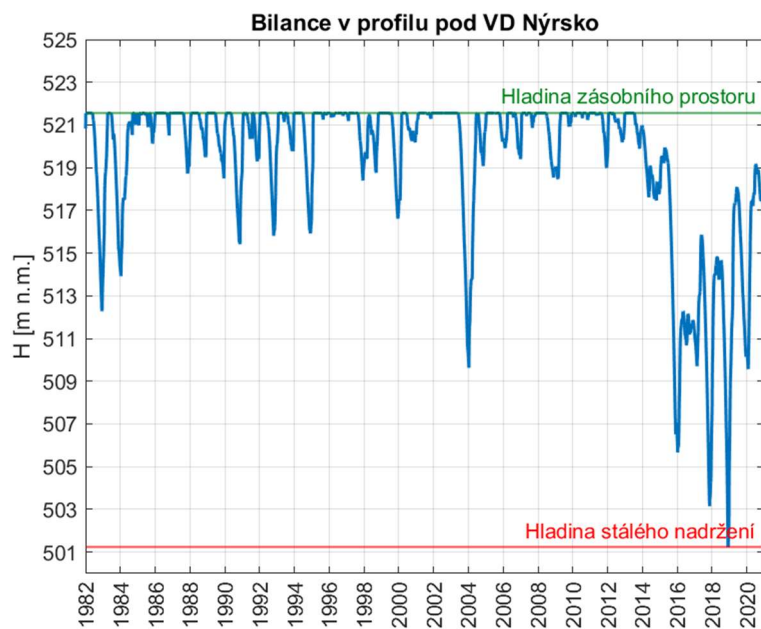
5.5.3.2 Varianta pro střední scénář klimatické změny 2041–2060

V případě aplikace koeficientů pro střední scénář klimatické změny v období 2041–2060 bylo možno z nádrže odebírat dlouhodobě množství 732 l/s. Z toho

vyplývá, že je zajištěn odběr dle MŘ na obě úpravny vody a je možno navýšit odběr na jedné nebo na druhé o 9,3 l/s.



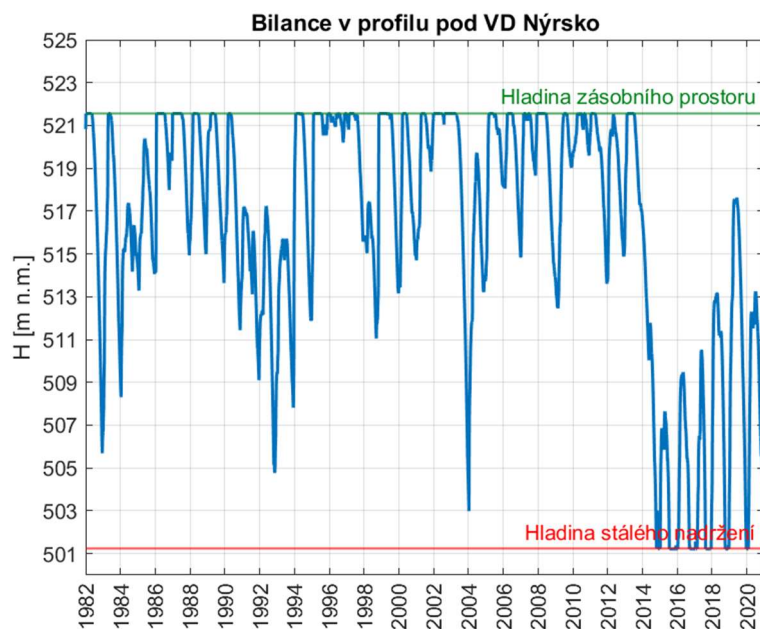
Graf 66: Průběh hladiny v nádrži, Varianta C – dle MŘ, GR4J, profil VD Nýrsko, 2041–2060.



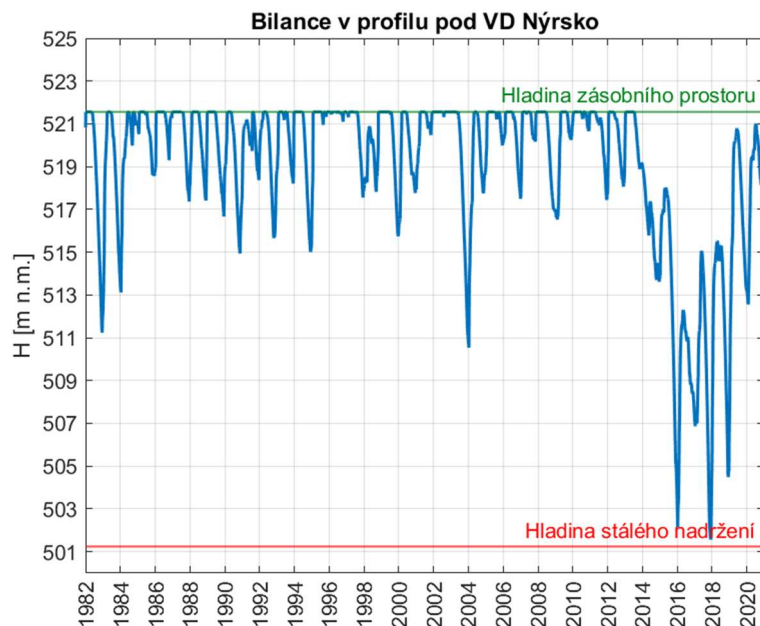
Graf 67: Průběh hladiny v nádrži, Varianta C – Max Op_{Milence} nebo Max Op_{Homolka}, reálná řada průtoků, profil VD Nýrsko, 2041–2060.

5.5.3.3 Varianta pro střední scénář klimatické změny 2061–2080

V případě varianty pro střední scénář klimatické změny v období 2061–2080 byla již klimatická změna natolik nepříznivá, že nebylo možno odebírat vodu z vodního díla dle MŘ při zachování zabezpečení dodávek vody nad Pt 99,5 %. Při maximálním odebíraném množství byla zabezpečení dodávek vody dle doby trvání pouze 94,01 %. Pro zachování zabezpečení dodávek vody dle doby trvání na 99,5 % lze v daném období odebírat z nádrže dlouhodobě pouze 536 l/s, což již není postačující pro samotnou úpravnu vody Homolka v Plzni, natož pro kombinaci odběru ÚV Milence a Homolka.



Graf 68: Průběh hladiny v nádrži, Varianta C – dle MŘ, GR4J, profil VD Nýrsko, 2061–2080.



Graf 69: Průběh hladiny v nádrži, Varianta C – Max Op_{Milence} nebo Max Op_{Homolka}, reálná řada průtoků, profil VD Nýrsko, 2061–2080.

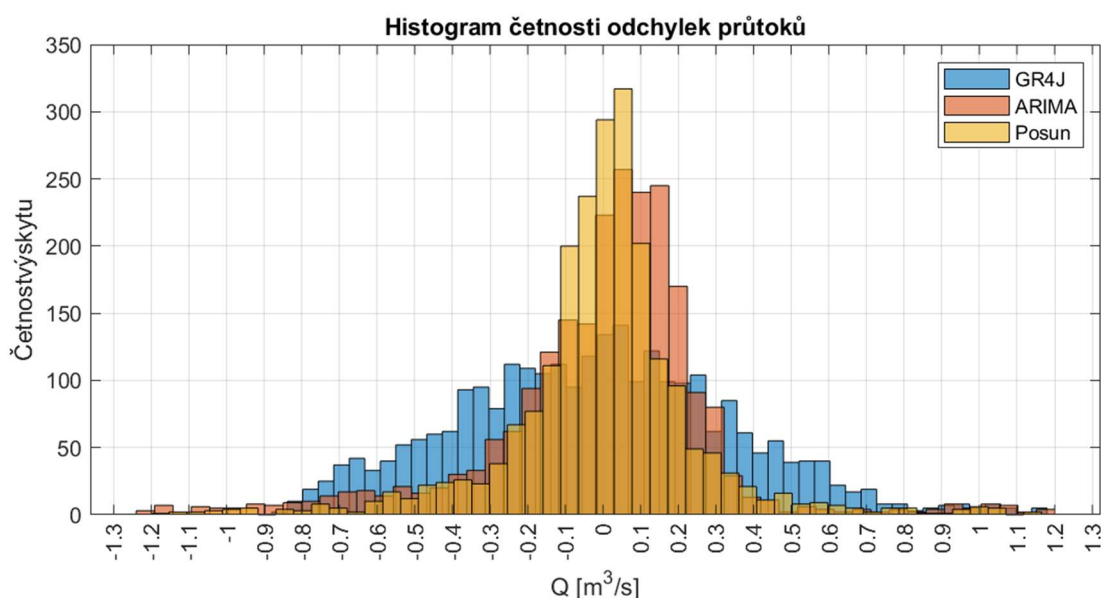
5.6 Odchytky průtoků vlivem chyb modelů

Při odhadu přítoku z mezipovodí hydrologickým nebo ARIMA modelem dochází ke vzniku chyby ve formě nedostatečného přítoku z mezipovodí, nebo naopak nadměrnému přítoku z mezipovodí. Pro analýzu těchto chyb byl sestrojen graf přebytečných a nedostatkových objemů v daný den, který byl stanoven přenásobením průtoků v m³/s časem 86400 s = 1 den.

Porovnání nedostatkových a přebytečných objemů bylo provedeno pro profil odběru vody na úpravnu vody Homolka v Plzni a je řešeno pro přítok z mezipovodí. Řešení bylo provedeno pro naměřené reálné řady porovnané s výstupy hydrologického modelu, ARIMA modelu a dat posunutých o den s předpokladem, že co přiteče za jeden den, přiteče i za den následující.

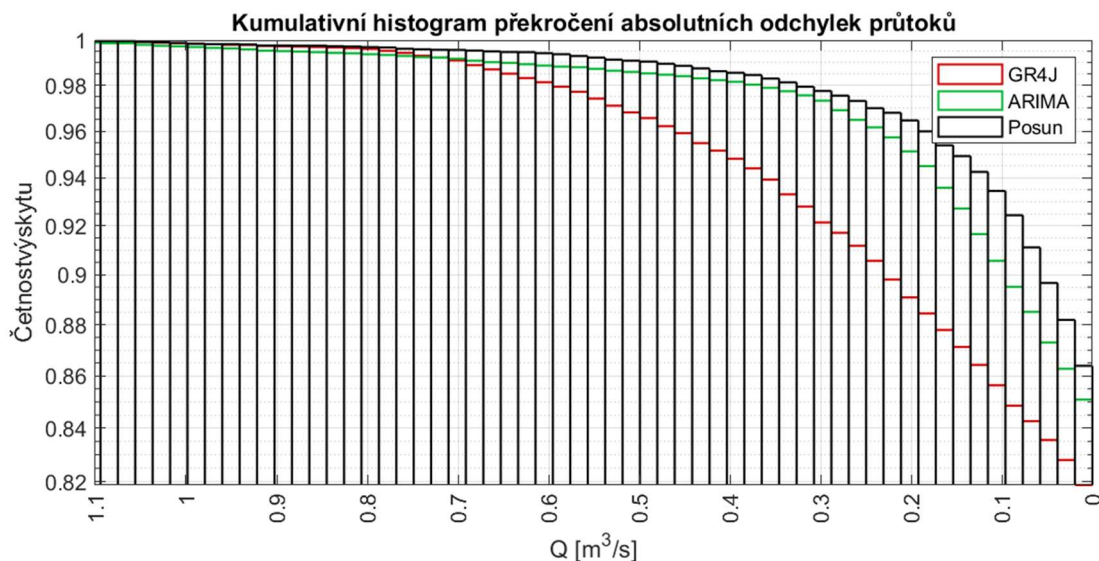
Odchytky průtoků byly stanoveny na základě odečtení požadovaného průtoků v profilu odběru (MZP za odběrem 630 l/s a odběr na ÚV Homolka 580 l/s) od nasimulovaného. Kladné hodnoty znamenají dostatečný přítok z mezipovodí, a nedošlo by tak k nadlepení z VD Nýrsko. Z toho důvodu jsou tyto hodnoty nahrazeny nulou. Reálné potřeby nadlepení z VD Nýrsko byly získány odečtením požadovaného průtoků od reálně naměřeného přítoku z mezipovodí, zatímco kladné hodnoty byly

opět vyraženy. Pro zjištění odchylek průtoků byly odečteny reálné potřeby nadlepšení od potřeb nadlepšení dle simulovaných průtoků. Kladné hodnoty tedy v tomto případě znamenají nedostatečné nadlepšení simulovaným průtokem a záporné hodnoty značí nadbytečné průtoky. Histogram četnosti odchylek průtoků je zobrazen níže (Graf 70). Z grafu jsou vypuštěny hodnoty bez odchylek, které činí četnosti pro model GR4J 11540, pro ARIMA model 11955 a pro posunutá data 12081. Rozložení četnosti na grafu níže zahrnuje pouze data, která tvořila odchylku a zahrnují přibližně 19 %.



Graf 70: Histogram četnosti odchylek průtoků.

Dále byl sestrojen kumulativní histogram četnosti absolutních odchylek průtoků (Graf 71). Z histogramu je zřejmé, že pro řešení zásobní funkce nádrže je nevhodnější použít úvahu, podle které zítra poteče to, co dnes. Ostatní modely však také vykazují dostatečnou spolehlivost a při odchylce $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$ je pro model již 90 % odchylek pod touto hranicí.



Graf 71: Histogram překročení absolutních odchylek průtoků.

Při řešení byla do modelu zavedena tzv. fiktivní nádrž sloužící k zachycení nadbytečného přítoku daného záporným objemem a pro zajištění zásobování úpravny vody Homolka při nedostatkovém průtoku dané kladným objemem. Fungování nádrže bylo následující:

- a) Při stavu, kdy aktuální objem vody v nádrži V_{akt} je 0, nádrž zachytí nebo zadotuje právě změnu objemu dV .
- b) Při stavu, kdy je v nádrži nadbytečný objem, je v dalším kroku přítok do nádrže snížen o nadbytečný objem z předešlého výpočetního kroku.
- c) Při stavu, kdy nádrž využívá zásobní prostor, je v dalším kroku přítok navýšen právě o doplnění nedostatku z předchozího výpočetního kroku.

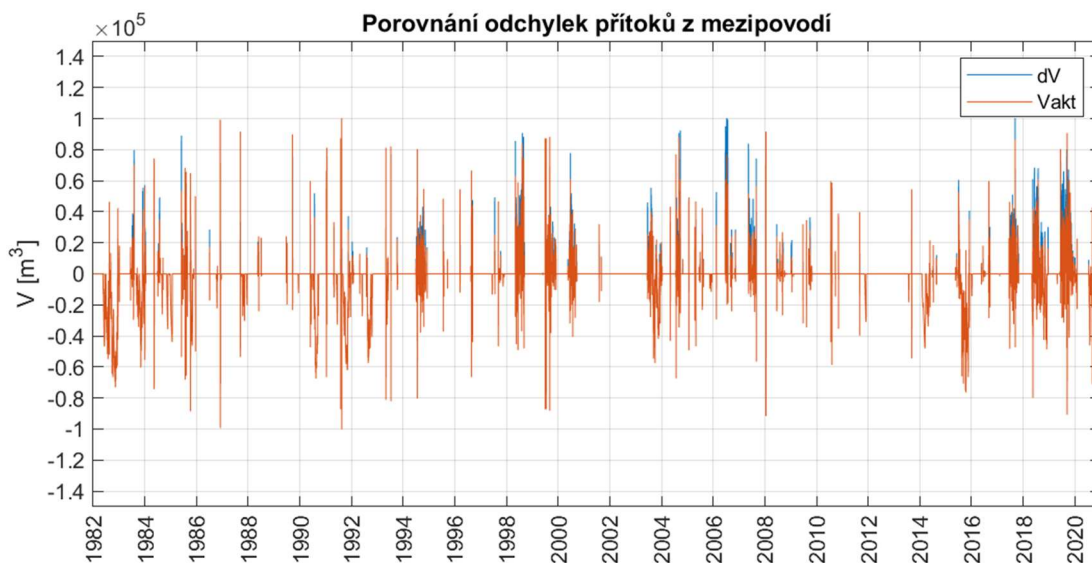
Ve výsledcích je dále zobrazen histogram potřebných fiktivních objemů nádrže pro jednotlivě použitá data. Záporné hodnoty vyjadřují potřebný retenční objem fiktivní nádrže a kladné hodnoty zase potřebný zásobní objem.

5.6.1 Porovnání s hydrologickým modelem

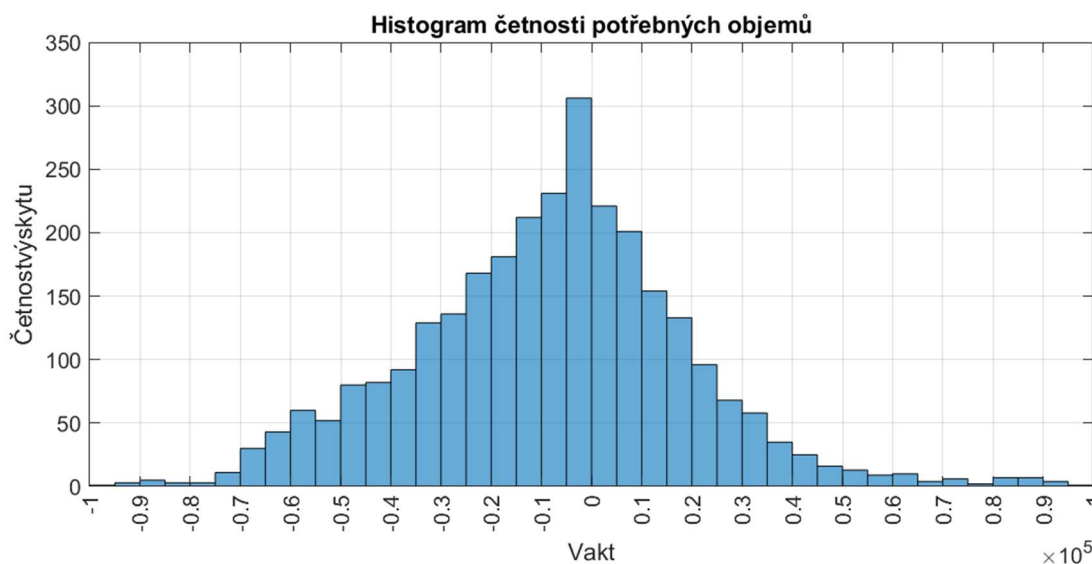
V rámci porovnání přítoků na hydrologickém modelu za období 1982–2020 bylo zjištěno, že při zužitkování veškerého přebytečného nadlepení je třeba mít v místě odběru retenční objem fiktivní nádrže 100,22 tis m^3 . Dále bylo zjištěno, že v případě nedostatečných přítoků je pro 100% spolehlivost dodávek vody na úpravnu vody Homolka a k zajištění MZP nutné mít k dispozici objem 100,22 tis m^3 .

Výsledný průběh nadbytečných a nedostatkových objemů je znázorněn v grafu níže (Graf 72), kde dV značí změnu objemu v místě odběru pro daný den a V_{akt} značí aktuální stav objemu ve fiktivní nádrži.

Z histogramu četnosti potřebných objemů pro fiktivní nádrž je patrné, že model má lehkou tendenci nadhodnocovat průtoky a projeví se zde spíše retenční funkce fiktivní nádrže.



Graf 72: Graf průběhu nedostatkových a nadbytečných objemů – GR4J.



Graf 73: Histogram četnosti nedostatkových a nadbytečných objemů – GR4J.

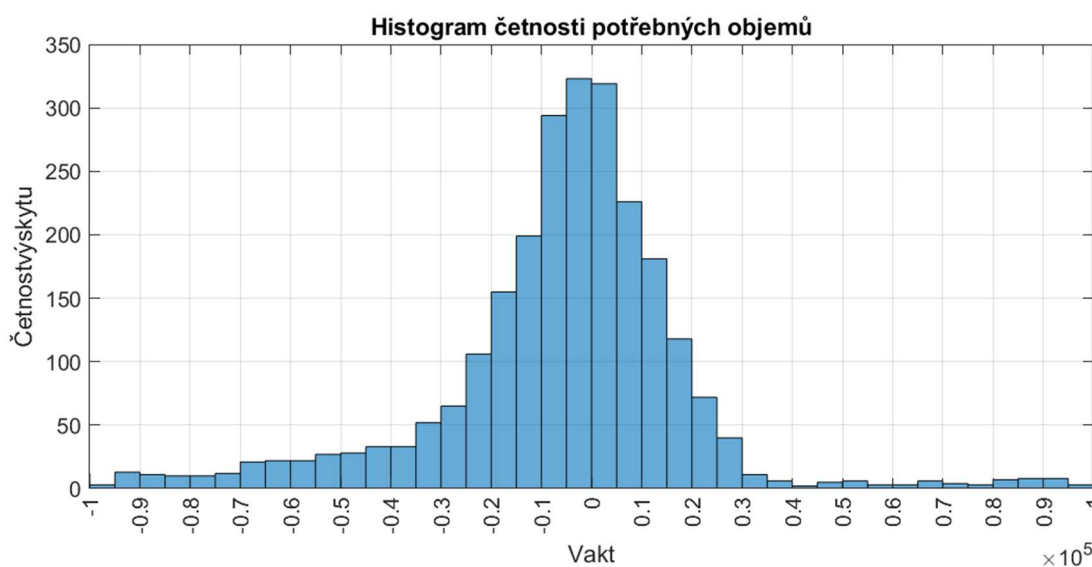
5.6.2 Porovnání s ARIMA modelem

V rámci porovnání přítoků na ARIMA modelu za období let 1982–2020 bylo zjištěno, že při zužitkování veškerého přebytečného nadlepšení je třeba mít v místě odběru retenční objem fiktivní nádrže 100,22 tis m³. Dále bylo zjištěno, že v případě nedostatečných přítoků je pro 100% spolehlivost dodávek vody na úpravnu vody Homolka a k zajištění MZP nutné mít k dispozici objem 100,22 tis m³.

Z histogramu četnosti vyplývá, že většina odchylek se pohybuje na hranici od -20 tis. m³ do 20 tis. m³ a je zde patrnější využití spíše retenčního prostoru fiktivní nádrže.



Graf 74: Graf průběhu nedostatkových a nadbytečných objemů – ARIMA.



Graf 75: Histogram četnosti nedostatkových a nadbytečných objemů – ARIMA.

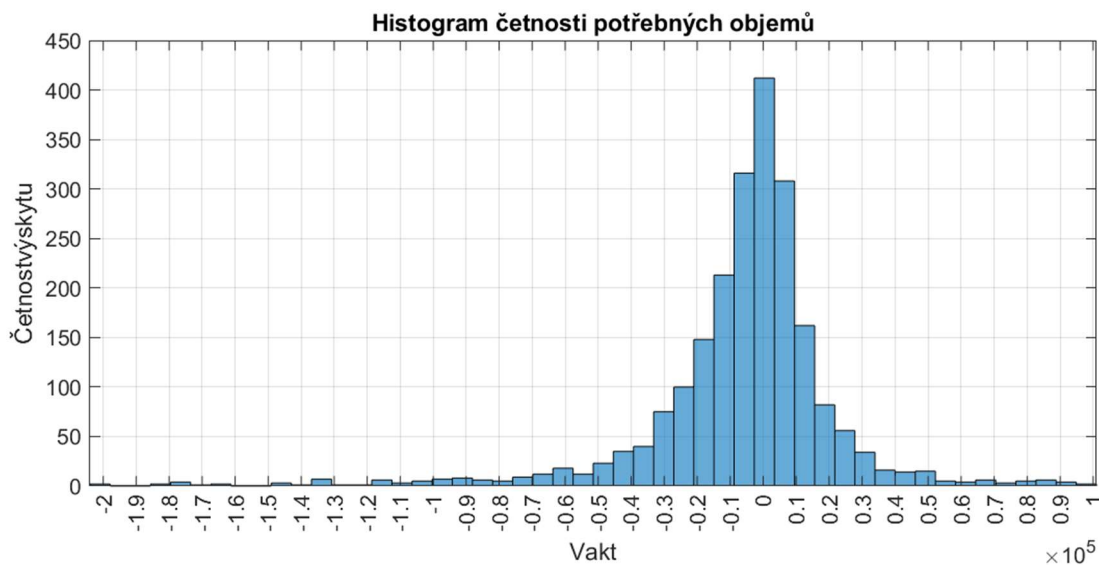
5.6.3 Porovnání s daty posunutými o den

Při porovnání přítoků za období let 1982–2020 s předpovědí, že zítra poteče to, co dnes, bylo zjištěno, že při zužitkování veškerého přebytečného nadlepení je třeba mít v místě odběru retenční objem fiktivní nádrže 200,44 tis. m³. Dále bylo zjištěno, že v případě nedostatečných přítoků je pro 100% spolehlivost dodávek vody na úpravnu vody Homolka a k zajištění MZP nutné mít k dispozici objem 100,22 tis. m³.

Z histogramu četnosti potřebných objemů fiktivní nádrže vyplývá, že téměř všechny odchylky objemů se pohybují v rozmezí od -20 tis. m³ do 20 tis. m³ a je zde patrnější využití spíše retenčního prostoru fiktivní nádrže.



Graf 76: Graf průběhu nedostatkových a nadbytečných objemů – posun o den.

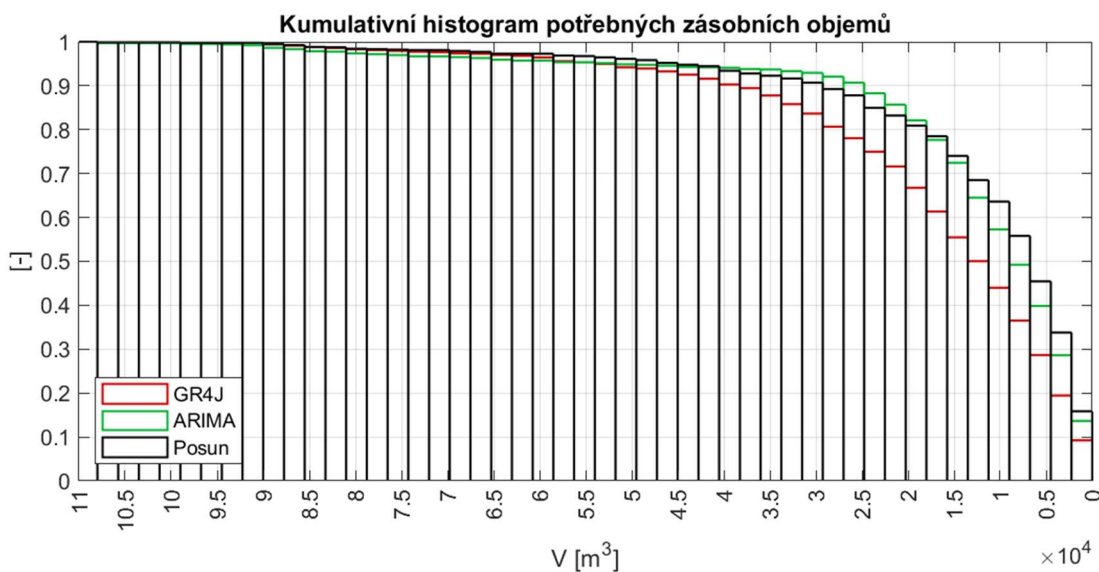


Graf 77: Histogram četnosti nedostatkových a nadbytečných objemů – posun o den.

5.6.4 Porovnání potřebných objemů

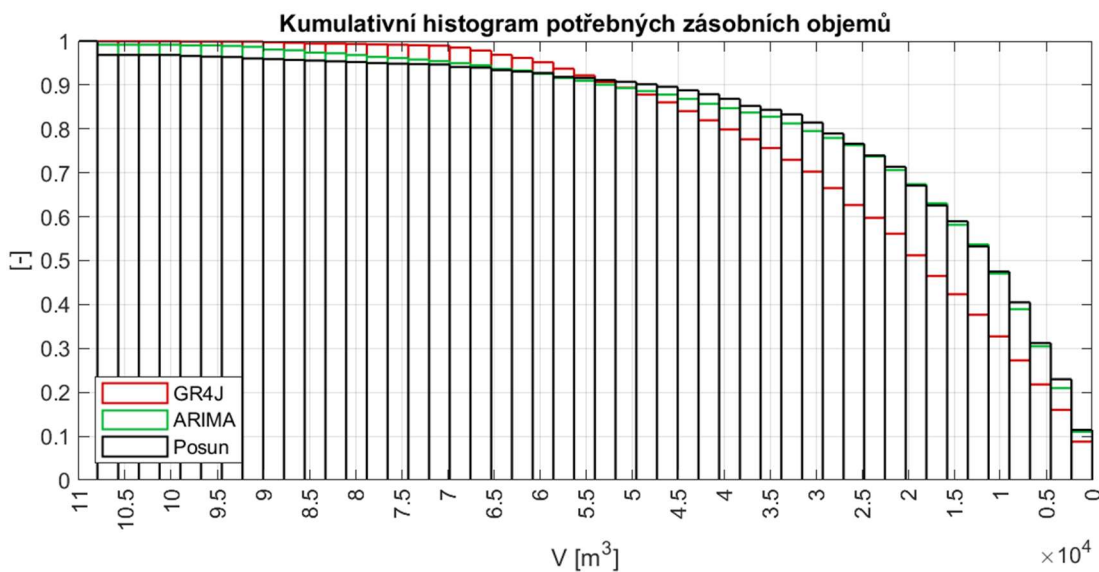
V rámci porovnání zásobních objemů pro vyrovnání nedostatkových průtoků byl sestaven kumulativní histogram potřebných zásobních objemů (

Graf 78). Z grafu je patrné, že při objemu nádrže 30 tis. m³ je při použití posunutých dat a dat ARIMA modelu vyrovnáno 90 % ze všech nedostatkových průtoků. V případě modelu GR4J je pro vyrovnání 90 % nedostatkových průtoků potřeba zásobní objem nádrže 40 tis. m³.



Graf 78: Kumulativní histogram četnosti potřebných zásobních objemů.

Porovnání potřebných retenčních objemů mezi jednotlivými modelovanými řadami ukázalo, že pro zachycení alespoň 90 % přebytečných průtoků v rámci nadlepšení je potřeba mít pro model GR4J k dispozici retenční objem 54 tis. m³, pro odchylky ARIMA modelu taktéž 54 tis. m³ a pro odchylky dat posunutých o den je nutné mít alespoň 52 tis. m³. Porovnání jednotlivých potřebných retenčních objemů je zobrazeno v grafu níže (Graf 79).



Graf 79: Kumulativní histogram četnosti potřebných retenčních objemů.

6 Diskuse a porovnání výsledků

Na základě VH výpočtů zabezpečení dodávek vody v denním kroku byla spočtena variantní řešení pro různé scénáře odběrů vody na ÚV Milence a ÚV Homolka v Plzni. Výsledky výpočtů jsou uváděny ve třech variantách (A, B a C) pro reálně změřená data v letech 1981–2020. Dále byla tato variantní řešení spočtena pro data ovlivněna klimatickou změnou dle středního scénáře klimatické změny pro období 2041–2060 a 2061–2080.

Druhou částí VH řešení bylo použití hydrologického modelu GR4J s aplikací „sněhového modulu“ Cema Neige pro simulaci přítoků do nádrže z povodí a pro simulaci přítoku z mezipovodí mezi VD Nýrsko a odběrem na ÚV Homolka v Plzni.

V rámci každé z těchto variant byla spočtena zabezpečení dodávek vody dle MŘ a dále zabezpečení dodávek vody pro:

- variantu A při maximálním odběru na ÚV Milence,
- variantu B a C při maximálním odběru na ÚV Milence při odběru na ÚV Homolka dle MŘ a při maximálním odběru na ÚV Homolka při odběru na ÚV Milence dle MŘ.

Dále bylo pro variantu B provedeno VH řešení zásobní funkce nádrže pro případ navýšení maximálního dlouhodobého odběru na úpravnu vody Homolka v Plzni dle MŘ o 80 l/s, respektive o 300 l/s. Výsledky jednotlivých variant jsou uvedeny v tabulkách níže spolu s jejich porovnáním oproti VH řešení zásobní funkce nádrže v měsíčním kroku.

6.1 Varianta A

Výsledky VH řešení v denním kroku pro variantu A jsou zobrazeny v tabulkách níže (Tabulka 18, Tabulka 19). V rámci této varianty jsou porovnávány hodnoty maximálního možného odběru na ÚV Milence za předpokladu zabezpečení dodávek vody dle doby trvání alespoň 99,5 % pro VH řešení v měsíčním kroku (Tabulka 8), v denním kroku pro naměřená data (Tabulka 18) a v denním kroku pro data z hydrologického modelu (Tabulka 19).

Tabulka 18: Výsledky VH řešení nádrže Nýrsko v reálné řadě v denním kroku – Varianta A.

Varianta A					
Klima	1981-2020				
varianta	MZP _{Nýrsko}	MZP _{Homolka}	Op _{Milence}	Op _{Homolka}	Pt
	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[%]
dle MŘ	0.360	0.000	0.1427	0.000	99.85
max. Op _{Milence}	0.360	0.000	0.775	0.000	99.65
Klima	2041-2060				
dle MŘ	0.360	0.000	0.1427	0.000	99.85
max. Op _{Milence}	0.360	0.000	0.785	0.000	99.65
Klima	2061-2080				
dle MŘ	0.360	0.000	0.1427	0.000	99.85
max. Op _{Milence}	0.360	0.000	0.601	0.000	99.65

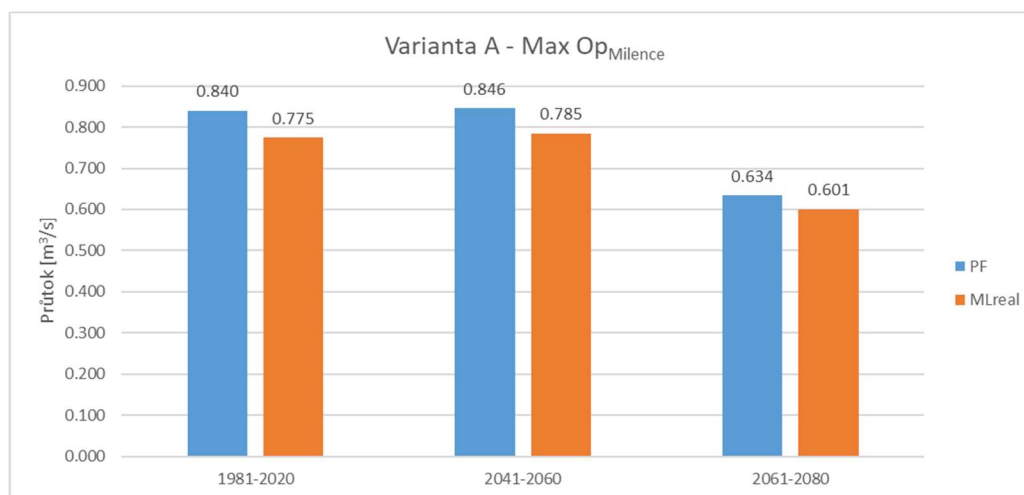
Tabulka 19: Výsledky VH řešení nádrže Nýrsko v řadě hydrologického modelu v denním kroku – Varianta A.

Varianta A					
Klima	1981-2020				
varianta	MZP _{Nýrsko}	MZP _{Homolka}	Op _{Milence}	Op _{Homolka}	Pt
	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[%]
dle MŘ	0.360	0.000	0.1427	0.000	99.85
max. Op _{Milence}	0.360	0.000	0.737	0.000	99.65
Klima	2041-2060				
dle MŘ	0.360	0.000	0.1427	0.000	99.85
max. Op _{Milence}	0.360	0.000	0.732	0.000	99.65
Klima	2061-2080				
dle MŘ	0.360	0.000	0.1427	0.000	99.85
max. Op _{Milence}	0.360	0.000	0.536	0.000	99.65

Pro porovnání jednotlivých variant byly za referenční hodnoty vybrány výsledky VH řešení v měsíčním kroku. Porovnávané hodnoty maximálního možného dlouhodobého odběru na ÚV Milence spolu s velikostí odchylek v m³/s a v % jsou zobrazeny v tabulce a grafu níže (Tabulka 20, Graf 80), kde PF označuje výsledky z VH řešení v měsíčním kroku provedené P. Fošumpauzem a ML_{real} výsledky VH řešení v denním kroku na naměřených průtokových řadách.

Tabulka 20: Porovnání výsledků pro variantu A.

Odběr	Období	Množství odběru [m ³ /s]		Odchylka od PF [m ³ /s]	Odchylka od PF [%]
		PF	ML _{real}	ML _{real}	ML _{real}
Max Op _{Milence}	1981-2020	0.840	0.775	-0.065	7.7
	2041-2060	0.846	0.785	-0.061	7.2
	2061-2080	0.634	0.601	-0.033	5.2



Graf 80: Dlouhodobé odběry na ÚV Milence pro variantu A.

Z výsledků VH řešení vyplývá, že při zjemnění výpočetního kroku z 1 měsíce na 1 den dochází ke snížení maximálního možného odběru na ÚV Milence v průměru o 6,7 % v případě naměřených průtoků. Tento fakt byl nejspíše způsoben tím, že při měsíčním kroku mohlo v suchém měsíci nastat suché období, které vystřídaly deštivé dny. Při denním kroku se toto období projevilo vyostřením minima zásoby vody v nádrži a porucha nastala dříve. Nejextrémnější projev tohoto jevu by nastal v případě, kdy by po celý měsíc docházelo k velmi malým průtokům a na konci měsíce by nastal významný průtok, který by v případě měsíčního kroku eliminoval suché období.

Při použití hydrologického modelu vychází zabezpečení dodávek vody ještě o něco hůře než v případě řešení v denním kroku. Je to způsobeno tím, že hydrologický model má tendenci podhodnocovat průtoky během suchých období a při jeho použití v reálném provozu by docházelo k výraznějšímu odpouštění, než je třeba. Toto řešení je však na straně bezpečnosti.

6.2 Varianta B

Výsledky VH řešení pro variantu B v denním kroku jsou zobrazeny v tabulkách níže (Tabulka 21, Tabulka 22). V rámci varianty B jsou porovnávány hodnoty maximálních dlouhodobých odběrů na ÚV Milence a ÚV Homolka v Plzni vždy oproti maximálnímu dlouhodobému odběru dle MŘ na druhou ÚV. Tato řešení byla provedena při zabezpečení dodávek vody dle doby trvání nad 99,5 % a jsou porovnána s výsledky VH řešení v měsíčním kroku (Tabulka 9).

Dále bylo provedeno VH řešení zásobní funkce pro případ navýšení odběrů dle MŘ o 60 l/s, respektive o 300 l/s.

Tabulka 21: Výsledky VH řešení nádrže Nýrsko v reálné řadě v denním kroku – Varianta B.

Varianta B					
Klima	1981-2020				
varianta	MZP _{Nýrsko}	MZP _{Homolka}	Op _{Milence}	Op _{Homolka}	Pt
	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[%]
dle MŘ	0.360	0.630	0.1427	0.580	99.85
max. Op _{Milence}	0.360	0.630	0.775	0.530	99.65
max. Op _{Homolka}	0.360	0.630	0.1427	1.525	99.65
dle MŘ+80l/s	0.360	0.630	0.1427	0.660	99.85
dle MŘ+300l/s	0.360	0.630	0.1427	0.880	99.85
Klima	2041-2060				
dle MŘ	0.360	0.630	0.1427	0.580	99.85
max. Op _{Milence}	0.360	0.630	0.785	0.580	99.65
max. Op _{Homolka}	0.360	0.630	0.1427	1.495	99.65
dle MŘ+80l/s	0.360	0.630	0.1427	0.660	99.85
dle MŘ+300l/s	0.360	0.630	0.1427	0.880	99.85
Klima	2061-2080				
dle MŘ	0.360	0.630	0.1427	0.580	99.85
max. Op _{Milence}	0.360	0.630	0.601	0.580	99.65
max. Op _{Homolka}	0.360	0.630	0.1427	1.067	99.65
dle MŘ+80l/s	0.360	0.630	0.1427	0.660	99.85
dle MŘ+300l/s	0.360	0.630	0.1427	0.880	99.85

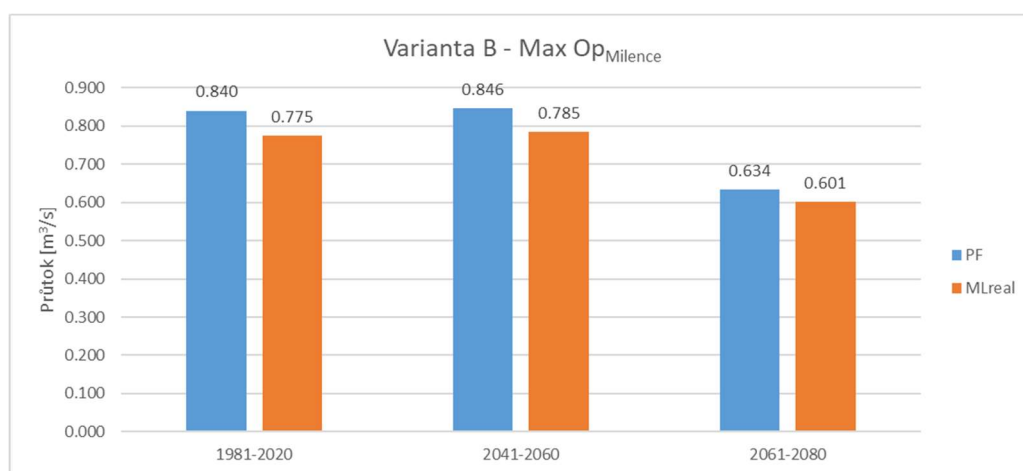
Tabulka 22: Výsledky VH řešení nádrže Nýrsko v řadě hydrologického modelu v denním kroku – Varianta B.

Varianta B					
Klima	1981-2020				
varianta	MZP _{Nýrsko}	MZP _{Homolka}	Op _{Milence}	Op _{Homolka}	Pt
	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[%]
dle MŘ	0.360	0.630	0.1427	0.580	99.85
max. Op _{Milence}	0.360	0.630	0.737	0.580	99.65
max. Op _{Homolka}	0.360	0.630	0.1427	1.331	99.65
dle MŘ+80l/s	0.360	0.630	0.1427	0.660	99.85
dle MŘ+300l/s	0.360	0.630	0.1427	0.880	99.85
Klima	2041-2060				
dle MŘ	0.360	0.630	0.1427	0.580	99.85
max. Op _{Milence}	0.360	0.630	0.732	0.580	99.65
max. Op _{Homolka}	0.360	0.630	0.1427	0.990	99.65
dle MŘ+80l/s	0.360	0.630	0.1427	0.660	99.85
dle MŘ+300l/s	0.360	0.630	0.1427	0.880	99.85
Klima	2061-2080				
dle MŘ	0.360	0.630	0.1427	0.580	99.85
max. Op _{Milence}	0.360	0.630	0.536	0.580	99.65
max. Op _{Homolka}	0.360	0.630	0.1427	0.885	99.65
dle MŘ+80l/s	0.360	0.630	0.1427	0.660	99.85
dle MŘ+300l/s	0.360	0.630	0.1427	0.880	99.65

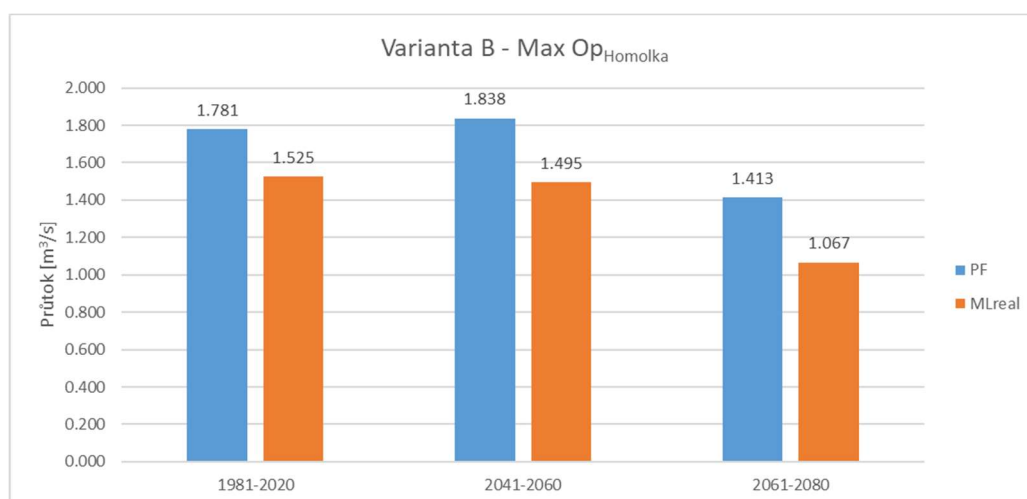
Pro porovnání jednotlivých výsledků výpočtů byly vybrány výsledky maximálních možných odběrů na ÚV Milence při zachování odběru na ÚV Homolka dle MŘ a MZP pod VD Nýrsko a pod odběrem na ÚV Homolka. Dále byly porovnány výsledky VH řešení pro maximální možný odběr na ÚV Homolka při zajištění odběru na ÚV Milence dle MŘ a zachování MZP pod vodním dílem a za odběrem na ÚV Homolka. Shrnutí porovnání jsou zobrazena v tabulce a grafech níže (Tabulka 23, Graf 81, Graf 82).

Tabulka 23: Porovnání výsledků pro variantu B.

Odběr	Období	Množství odběru [m ³ /s]		Odchylka od PF [m ³ /s]	Odchylka od PF [%]
		PF	ML _{real}	ML _{real}	ML _{real}
Max Op _{Milence}	1981-2020	0.840	0.775	-0.065	7.7
	2041-2060	0.846	0.785	-0.061	7.2
	2061-2080	0.634	0.601	-0.033	5.2
Max Op _{Homolka}	1981-2020	1.781	1.525	-0.256	14.4
	2041-2060	1.838	1.495	-0.343	18.7
	2061-2080	1.413	1.067	-0.346	24.5



Graf 81: Dlouhodobé odběry na ÚV Milence pro variantu B.



Graf 82: Dlouhodobé odběry na ÚV Homolka pro variantu B.

Výše uvedené výsledky uvádějí, že při změně kroku výpočtu z měsíčního na denní dojde ke snížení dlouhodobých odběrů na ÚV Milence o přibližně 6,7 %. V případě

odběru na ÚV Homolka v Plzni jde při použití denních dat o 19,2 %. Snížení odběrů na ÚV Milence a ÚV Homolka je způsobeno stejným faktorem jako v případě varianty A. Při nadlepšování průtoku pro ÚV Homolka je VH řešení v měsíčním kroku zatíženo větší chybou v důsledku rychlejšího vyprazdňování zásobního prostoru v suchých periodách oproti VH řešení v denní kroku.

Další částí řešení bylo provedení bilancování při navýšení dlouhodobého odběru na 660 l/s, respektive 880 l/s. Pro obě varianty se ukázalo toto řešení jako proveditelné, a to i při použití dat z hydrologického modelu. Bohužel však při takto velkých navýšeních odběrů dochází v nádrži ke značnému rozkolísání hladiny, což může ohrožovat jakost vody pro vodárenské účely a zajisté by došlo i k omezení výběru kvalitnější vody pro jednotlivé etážové odběry pro ÚV Milence na vodním díle.

Při použití hydrologického modelu při VH řešení zásobní funkce nádrže by vlivem podhodnocování průtoků z mezipovodí mohlo docházet k přílišnému nadlepšování průtoků pro profil odběru na ÚV Homolka v Plzni. Vzhledem k faktu, že se odběrný objekt nachází v dosahu jezové zdrže, zde vyvstává otázka možné úpravy jezu pro zdržení přebytečných průtoků pro pozdější využití. Jez by v takovém případě mohl sloužit jako nárazová nádrž pro vyrovnání průtoků.

6.3 Varianta C

Výsledky VH řešení v denním kroku jsou zobrazeny v tabulkách níže (Tabulka 24, Tabulka 25) a jsou porovnávány s VH řešením zásobní funkce nádrže v měsíčním kroku (Tabulka 10). Výsledné hodnoty jsou porovnávány mezi maximálním dlouhodobým odběrem na ÚV Milence při odběru na ÚV Homolka dle MŘ a maximálním možným odběrem na ÚV Homolka při odběru na ÚV Milence dle MŘ při zachování zabezpečení dodávek vody dle doby trvání nad 99,5 %. V rámci těchto řešení jsou vždy dodržena MZP pod hrází a MZP za odběrem na ÚV Homolka. Z VH řešení pro střední scénář klimatické změny 2061–2080 vyplývá, že nádrž není schopna zajistit požadovanou zabezpečení dodávek vody při maximálních odběrech dle MŘ. Zabezpečení dodávek vody při VH řešení v měsíčním kroku činí 94,65 %, v denním kroku taktéž 94,65 % a v denním kroku při použití dat hydrologického modelu potom 94,01 %. Z toho vyplývá, že při přímém odběru z nádrže na ÚV

Homolka bez příspěvu přítoku z mezipovodí není nádrž schopna zajistit požadované množství vody pro odběr ani při současném povoleném odběru dle MŘ.

Tabulka 24: Výsledky VH řešení nádrže Nýrsko v reálné řadě v denním kroku – Varianta C.

Varianta C					
Klima	1981-2020				
varianta	MZP _{Nýrsko}	MZP _{Homolka}	Op _{Milence}	Op _{Homolka}	Pt
	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[%]
dle MŘ	0.360	0.000	0.1427	0.580	99.85
max. Op _{Milence}	0.360	0.000	0.195	0.580	99.65
max. Op _{Homolka}	0.360	0.000	0.1427	0.632	99.65
Klima	2041-2060				
dle MŘ	0.360	0.000	0.1427	0.580	99.85
max. Op _{Milence}	0.360	0.000	0.205	0.580	99.65
max. Op _{Homolka}	0.360	0.000	0.1427	0.642	99.65
Klima	2061-2080				
dle MŘ	0.360	0.000	0.1427	0.580	94.65
max. Op _{Milence}	0.360	0.000	0.021	0.580	99.65
max. Op _{Homolka}	0.360	0.000	0.1427	0.458	99.65

Tabulka 25: Výsledky VH řešení nádrže Nýrsko v řadě hydrologického modelu v denním kroku – Varianta C.

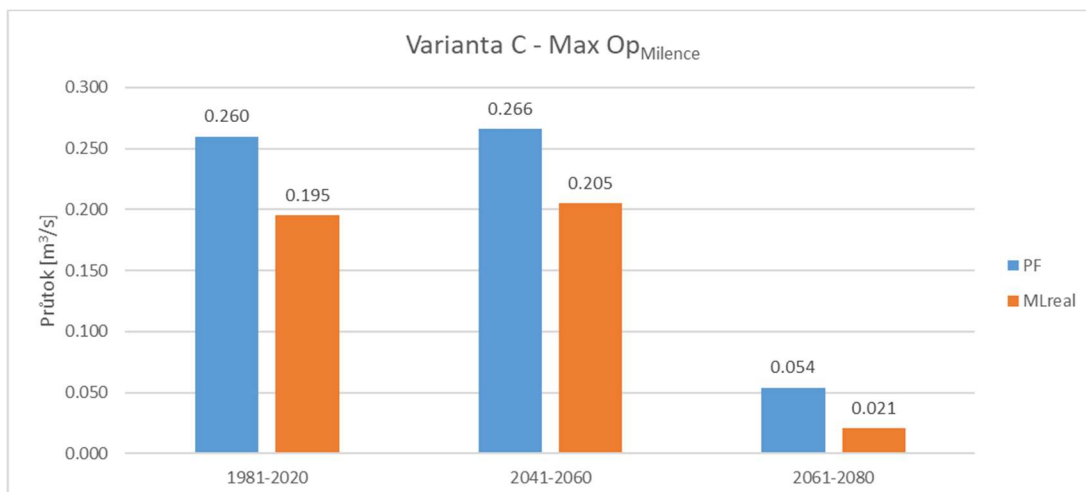
Varianta C					
Klima	1981-2020				
varianta	MZP _{Nýrsko}	MZP _{Homolka}	Op _{Milence}	Op _{Homolka}	Pt
	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[%]
dle MŘ	0.360	0.000	0.1427	0.580	99.85
max. Op _{Milence}	0.360	0.000	0.154	0.580	99.65
max. Op _{Homolka}	0.360	0.000	0.1427	0.591	99.65
Klima	2041-2060				
dle MŘ	0.360	0.000	0.1427	0.580	99.85
max. Op _{Milence}	0.360	0.000	0.152	0.580	99.65
max. Op _{Homolka}	0.360	0.000	0.1427	0.589	99.65
Klima	2061-2080				
dle MŘ	0.360	0.000	0.1427	0.580	94.01
max. Op _{Milence}	0.360	0.000	0.000	0.536	99.65
max. Op _{Homolka}	0.360	0.000	0.1427	0.393	99.65

V rámci porovnání jednotlivých variant je vždy za referenční hodnotu brán výsledek VH řešení v měsíčním kroku zpracovaný P. Fošumpaurem. V porovnání jsou

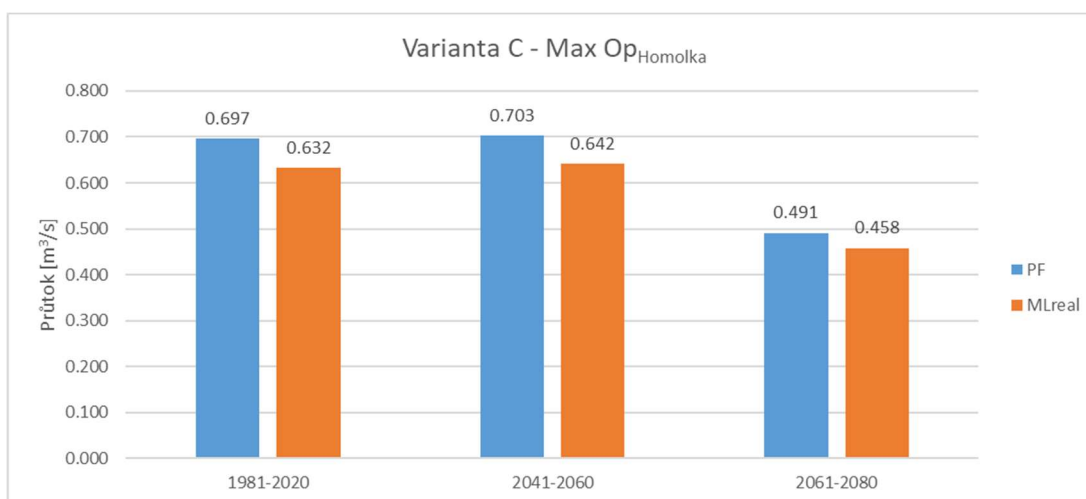
červeně zobrazena období, kdy nebylo možné zajistit dostatečný odběr dle MŘ. Z výsledků opět vyplývá, že při maximálním odběru na ÚV Milence se při VH řešení v denním kroku pohybujeme s odběry o 9,0 % níže při reálné řadě průtoků. Při maximálním dlouhodobém odběru na ÚV Homolka se pohybujeme okolo 24,0 % níže v případě použití denního kroku. Opět je zde patrné, že se zvyšujícím se odběrem se zvyšuje rychlost vyprazdňování zásobního prostoru nádrže, a je tudíž větší riziko poruchy zásobní funkce nádrže při řešení v denním kroku oproti měsíčnímu kroku.

Tabulka 26: Porovnání výsledků pro variantu C.

Odběr	Období	Množství odběru [m ³ /s]		Odchylka od PF [m ³ /s]	Odchylka od PF [%]
		PF	ML _{real}	ML _{real}	ML _{real}
Max Op _{Milence}	1981-2020	0.260	0.195	-0.065	25.0
	2041-2060	0.266	0.205	-0.061	22.9
	2061-2080	0.054	0.021	-0.033	61.1
Max Op _{Homolka}	1981-2020	0.697	0.632	-0.065	9.3
	2041-2060	0.703	0.642	-0.061	8.6
	2061-2080	0.491	0.458	-0.033	6.7



Graf 83: Dlouhodobé odběry na ÚV Milence pro variantu C.



Graf 84: Dlouhodobé odběry na ÚV Homolka pro variantu C.

7 Závěr

Cílem diplomové práce bylo zpracování vodohospodářského řešení vodárenské nádrže Nýrsko na Úhlavě. To mělo simulovat kompenzační řízení odtoku pro úpravnu vody Homolka v Plzni v denním kroku na naměřených průtokových řadách, a to včetně odhadu přítoku z mezipovodí za pomoci regresního, nebo hydrologického modelu spolu s prověřením varianty navýšení odběru dle manipulačního řádu o 80 l/s, respektive o 300 l/s. Dalším cílem práce bylo připravit VH řešení pro tzv. střední scénář klimatické změny pro období v časových horizontech 2041–2060 a 2061–2080.

Před vodohospodářským řešením zásobní funkce nádrže bylo třeba provést revizi hydrologických dat. Průtokové řady byly použity na základě historických záznamů denních průtoků zpřístupněných dle zákona č. 123/1998 Sb. o právu na informace o životním prostředí Českým hydrometeorologickým úřadem pro období 1981–2020. Jako informace o odběru z vodního díla byly použity záznamy skutečných odběrů na úpravnu vody Milence a Homolka v Plzni a dále byly použity záznamy objemů vody v nádrži v daném dni, z nichž byly odvozeny přítoky, odtoky a výpary z hladiny vodního díla.

V rámci posouzení odchylek simulovaných průtoků od změřených průtoků pro variantu odběru vody na úpravnu vody Homolka v Plzni 580 l/s a zajištění minimálního zůstatkového průtoku za tímto odběrem 360 l/s byly zjištěny následující skutečnosti:

1. Průtoky simulované hydrologickým modelem měly 90 % odchylek průtoků do 210 l/s.
2. Průtoky simulované pomocí ARIMA modelu vykazovaly odchylku do 90 l/s v 90 % simulovaných průtoků.
3. Dále byla posouzena varianta simulace průtoků předpokládající stejný přítok z mezipovodí pro následující den. Tato varianta vykazovala nejmenší odchylky a 90 % simulovaných průtoků mající vliv na zásobování bylo s chybou menší než 80 l/s.

Vliv středního scénáře klimatické změny byl do řešení zahrnut pomocí aditivních a multiplikačních koeficientů klimatické změny pro období 2041–2060 a 2061–2080.

Tyto koeficienty byly převzaty ze studie *Střední scénář klimatické změny pro povodí Vltavy* zpracované V. Ú. V. T. G. M.

Vodohospodářské řešení zásobní funkce nádrže bylo řešeno ve třech variantních řešeních (Varianta A, B a C), z nichž každé bylo provedeno pro reálnou řadu naměřených průtoků v letech 1981–2020 a dále pro data upravená změnovými koeficienty dle středního scénáře klimatické změny pro období 2041–2060 a 2061–2080. Varianta A řešila zásobní funkci nádrže v případě odběrů pouze pro úpravnu vody Milence a zajištění minimálního zůstatkového průtoku pod hrází. Varianta B řešila zásobní funkci nádrže při kompenzačním řízení odtoku pro úpravnu vody Homolka v Plzni a odběru pro úpravnu vody Milence spolu se zajištěním minimálního zůstatkového průtoku pod vodním dílem a za odběrem na úpravnu vody Homolka v Plzni. Varianta C řešila variantu, kdy byl odběr na úpravnu vody Homolka proveden přímo z vodního díla bez příspěvku přítoku z mezipovodí. Variantní řešení mají následující výsledky:

4. Vodohospodářské řešení zásobní funkce nádrže ve variantě A ukázalo, že nádrž má dostatečnou kapacitu pro zásobování úpravní vody Milence. Oproti vodohospodářskému řešení v měsíčním kroku však docházelo ke snížení dlouhodobých možných odběrů o přibližně 6,7 % při řešení v denním kroku.
5. Varianta B ukázala, že nádrž je schopna dodávat dostatečné množství vody při dané zabezpečení, a to jak při použití reálných dat při denním kroku, tak při použití dat z hydrologického modelu. Při použití reálných dat docházelo při denním kroku ke snížení množství odběrů na úpravnu vody Homolka v Plzni o přibližně 19,2 %.
6. Řešení dále ukázalo, že nádrž je schopna nadlepšovat průtoky pro odběr na úpravnu vody Homolka v Plzni i při navýšení odběrů o 80 l/s, respektive o 300 l/s, jak při řešení v denním kroku, tak při řešení za použití hydrologického modelu. V rámci těchto řešení však v nádrži docházelo ke značnému rozkolísání hladiny, a je tedy pravděpodobné, že by docházelo ke zhoršení kvality jakosti vody v nádrži a ke zhoršení odběru z etážového objektu na úpravnu vody Milence. Jako alternativu je možno použít částečné nadlepšení průtoků pro úpravnu vody Homolka z vodního díla České údolí, které má sice

přibližně čtvrtinový objem oproti vodnímu dílu Nýrsko, ale průměrný roční průtok se pohybuje přibližně na třínásobku. [22]

7. Při porovnání hydrologického a ARIMA modelu vyšlo najevo, že pro jednodenní předpověď vykazovaly oba modely dostatečnou spolehlivost pro vodohospodářské řešení zásobní funkce nádrže.
8. Při použití hydrologického modelu docházelo často v málovodných obdobích k podhodnocování přítoků z mezipovodí, přičemž tento fakt by měl v reálném řízení za následek přílišné nadlepšování průtoků pro odběr na úpravnu vody Homolka v Plzni. Pro využití tohoto přílišného nadlepšení by mohl být upraven jez Doudlevec, jehož zdrž zasahuje až k odběrnému objektu úpravny. Úpravou jezu by mohlo dojít ke zřízení akumulčního prostoru pro vyrovnávání průtoků a k pozdržení přebytečných nadlepšení z vodního díla Nýrsko s jejich pozdějším využitím.
9. Varianta C se již při řešení v měsíčním kroku ukázala jako nevhodná a tento fakt byl pouze potvrzen při řešení v denním kroku. Z toho důvodu není tato varianta proveditelná.

8 Seznam zkratek a symbolů

\bar{R}	střední hodnota měřeného průtoku [m^3/s]
ε_t	současná hodnota AR modelu (náhodná změna)
ρ_1 až p	hodnoty autokorelační funkce
A	plocha povodí [km^2]
AR	autoregresní model
ARIMA	autoregresní integrovaní model s klouzavým průměrem
b_1 až p	koeficienty autoregresního modelu
$b(B)$	autoregresní operátor
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
dH_v	změna výparu [mm]
DIBAVOD	Digitální báze vodohospodářských dat
DMT	digitální model terénu
dt	časový interval [s]
dT	změna teploty [$^{\circ}\text{C}$]
dV	změna objemu [m^3]
GR4J	modèle du Génie Rural à 4 paramètres Journalier
H	nadmořská výška [m n. m.]
$H_{v,d}$	denní výpar z hladiny [mm]
I	integrační model
m	počet bezporuchových měsíců
MA	model klouzavých průměrů
MŘ	manipulační řád
MZP	minimální zůstatkový průtok [m^3/s]
n	počet poruchových měsíců
NSE	Nashovo kritérium [-]
OMil	odběr na úpravnu vody Milence [m^3/s]
P	denní srážkové úhrny [mm/den]
PE	potenciální evapotranspirace [mm/den]
Pt	zabezpečení dle doby trvání [%]

PV..... poměr simulovaného odtoku ku skutečnému odtoku v daném období
Q_a..... dlouhodobý průměrný přítok [m^3/s]
Q_{in}..... čistý přítok do nádrže [m^3/s]
Q_{out}..... odtok pod vodním dílem [m^3/s]
R měřený odtok [m^3/s]
R_{sim}..... simulovaný odtok [m^3/s]
T_d..... průměrná denní teplota vzduchu [$^{\circ}\text{C}$]
UH..... jednotkový hydrogram
ÚV..... úpravna vody
V. Ú. V. T. G. M. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka
V_{akt}..... aktuální stav objemu vody v nádrži [m^3]
VD..... vodní dílo
VH..... vodní hospodářství
y_t..... hodnota řady AR modelu vypočtena na základě předchozích hodnot
ZV..... ztráta výparem [m^3/den]

9 Seznam použité literatury

1. **NACHÁZEL, Karel, PATERA, Adolf, PŘENOSILOVÁ, Eva, TOMAN, Michal.** Vodohospodářské soustavy. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997. 80-01-01564-5.
2. **FOŠUMPAUR, Pavel.** Vodohospodářské řešení vodárenské nádrže Nýrsko na Úhlavě. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, červen 2022.
3. **INSPIRE, Národní geoportál.** Geoportal. Geoportal.gov.cz. Citace: 2. 10 2022. Dostupné z: <https://geoportal.gov.cz/web/guest/map>.
4. **PICEK, Jiří.** Hydrogeologický informační systém VÚV TGM. heis.vuv.cz. Citace: 2. 10. 2022. Dostupné z: <https://heis.vuv.cz/>.
5. **HABERMANN, Jiří, MALEČEK, Petr, BROŽOVÁ, Blanka, KEJHA, Martin.** Manipulační řád pro vodní dílo Nýrsko na Úhlavě Povodí Vltavy, státní podnik, 1996. Revize 2021.
6. **ZELENKA, Karel.** Charakteristicka VD Nýrsko. Povodí Vltavy, s. p. , 2022.
7. **ZELENKA, Karel.** Odběry na úpravně vody Milence v letech 1981–2020, Povodí Vltavy, s. p. , 2022.
8. **TUREČEK.** Odběry na ÚV Milence. Úpravna vody Milence, 2022.
9. Povolení k odběru povrchových vod dle rozhodnutí MěÚ Klatovy. 2012. čj.: ŽP/10297/12/Šp.
10. Povolení k odběru povrchových vod dle rozhodnutí Magistrátu města Plzně, OŽp. 2019. čj.: MMP/305410/18.
11. Český hydrometeorologický ústav. chmi.cz. Citace: 13. 10 2022. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data>.
12. ČSN 75 2405 - Vodohospodářská řešení vodních nádrží. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, duben 2017.
13. **ZELENKA, Karel.** Zásobní objemy na VD Nýrsko v letech 1981–2020. Povodí Vltavy, s. p., 2022.
14. Geoportál ČÚZK. Český úřad zeměměřický a katastrální, 2010. Dostupné z: <https://geoportal.cuzk.cz>.
15. **VIZINA, A.** Střední scénář klimatické změny pro vodní hospodářství v České republice – Povodí Vltavy, s. p. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. M., 2019.
16. **BERAN, A., VIZINA, A.** Odvození regresních vztahů pro výpočet výparu z volné hladiny a identifikace trendů ve vývoji měřených veličin ve výparoměrné

stanici Hlasivo. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, 2013. ISSN: 0322-8916.

17. **PERRIN, Charles, CHLAUDE, Michael, VAZKEM, Andréassian.** Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation.: Journal of Hydrology 279 (2003) 275–289 , 2003.
18. **VELÉRY, Audrey, VAZKEM, Andréassian, PERRIN, Charles.** ‘As simple as possible but not simpler’: What is useful in a temperature-based snow-accounting routine? Part 2 – Sensitivity analysis of the Cemaneige snow accounting routine on 380 catchments. France : Journal of Hydrology 517 (2014) 1176–1187, 2014.
19. **HANEL, Martin a kol.** Odtokové poměry vybraných subpovodí Labe po Drážděny. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, 2018.
20. Povodí Vltavy, statní podnik. pvl.cz. Povodí Vltavy. Citace: 2. 10 2022. Dostupné z: <https://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodni-dila-a-nadrze/nyrsko.pdf>.
21. **DANEL, Roman.** Predikce časové řady pomocí autoregresního modelu, Listopad 2004
22. Český hydrometeorologický ústav, Hlásná a předpovědní služba, Evidenční list hlásného profilu č. 177, Hydrosft Veleslavín s. r. o. Prosinec 2022
23. Digitální model terénu, GISAT s. r. o., Charkovská 7 101 00 Praha 10, 2007

10 Seznam obrázků, grafů a tabulek

Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma řešené oblasti.....	13
Obrázek 2: DMT celého povodí s vodními toky.....	13
Obrázek 3: Schéma pro bilanci v profilu VD Nýrsko pro určení čistého přítoku.....	18
Obrázek 4: Povodí Nýrsko s očíslovanými stanicemi.....	21
Obrázek 5: Mezipovodí s očíslovanými stanicemi.	22
Obrázek 6: Thiesenovy polygony povodí VD Nýrsko.....	24
Obrázek 7: Thiesenovy polygony pro mezipovodí.	24
Obrázek 8: Schéma modelu – Varianta A.....	32
Obrázek 9: Schéma modelu – Varianta B.	38
Obrázek 10: Schéma modelu – Varianta C.	49
Obrázek 11: Schéma modelu GR4J. [17].....	59
Obrázek 12: Schéma modulu Cema Neige. [18].....	60

Seznam grafů

Graf 1: Charakteristiky VD Nýrsko.	12
Graf 2: Hypsometrická křivka povodí VD Nýrsko.	14
Graf 3: Hypsometrická křivka mezipovodí.....	15
Graf 4: Průběh hladin v nádrži (1981–2021).	19
Graf 5: Průměrné denní přítoky z povodí VD Nýrsko a z mezipovodí.	20
Graf 6: Záznam průměrných denních srážek na povodí VD Nýrsko.....	25
Graf 7: Záznam průměrných denních srážek spadlých na mezipovodí.	25
Graf 8: Koeficienty odtoku.	27
Graf 9: Koeficienty srážky.....	27
Graf 10: Koeficienty teploty.	27
Graf 11: Průběh hladiny v nádrži, Varianta A – odběr dle MŘ, reálná řada průtoků, profil VD Nýrsko, 1981–2020.....	33
Graf 12: Průběh hladiny v nádrži, Varianta A – Max Op _{Milence} , reálná řada průtoků, profil VD Nýrsko, 1981–2020.....	34

Graf 13: Průběh hladiny v nádrži, Varianta A – odběr dle MŘ, reálná řada průtoků, profil VD Nýrsko, 2041–2060.....	35
Graf 14: Průběh hladiny v nádrži, Varianta A – Max Op _{Milence} , reálná řada průtoků, profil VD Nýrsko, 2041–2060.....	35
Graf 15: Průběh hladiny v nádrži, Varianta A – odběr dle MŘ, reálná řada průtoků, profil VD Nýrsko, 2061–2080.....	36
Graf 16: Průběh hladiny v nádrži, Varianta A – Max Op _{Milence} , reálná řada průtoků, profil VD Nýrsko, 2061–2080.....	37
Graf 17: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – dle MŘ, reálná řada průtoků, profil Homolka, 1981–2020.	41
Graf 18: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – Max Op _{Milence} , reálná řada průtoků, profil Homolka, 1981–2020.	41
Graf 19: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – Max Op _{Homolka} , reálná řada průtoků, profil Homolka, 1981–2020.	42
Graf 20: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – dle MŘ+80l/s, reálná řada průtoků, profil Homolka, 1981–2020.	42
Graf 21: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – dle MŘ+300l/s, reálná řada průtoků, profil Homolka, 1981–2020.	43
Graf 22: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – dle MŘ, reálná řada průtoků, profil Homolka, 2041–2060.	44
Graf 23: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – Max Op _{Milence} , reálná řada průtoků, profil Homolka, 2041–2060.	44
Graf 24: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – Max Op _{Homolka} , reálná řada průtoků, profil Homolka, 2041–2060.	45
Graf 25: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – dle MŘ+80 l/s, reálná řada průtoků, profil Homolka, 2041–2060.	45
Graf 26: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – dle MŘ+300 l/s, reálná řada průtoků, profil Homolka, 2041–2060.	46
Graf 27: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – dle MŘ, reálná řada průtoků, profil Homolka, 2061–2080.	47
Graf 28: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – Max Op _{Milence} , reálná řada průtoků, profil Homolka, 2061–2080.	47

Graf 29: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – Max Op _{Homolka} , reálná řada průtoků, profil Homolka, 2061–2080.	48
Graf 30: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – dle MŘ+80 l/s, reálná řada průtoků, profil Homolka, 2061–2080.	48
Graf 31: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – dle MŘ+300 l/s, reálná řada průtoků, profil Homolka, 2061–2080.	49
Graf 32: Průběh hladiny v nádrži, Varianta C – dle MŘ, reálná řada průtoků, profil VD Nýrsko, 1981–2020.	51
Graf 33: Průběh hladiny v nádrži, Varianta C – Max Op _{Milence} , reálná řada průtoků, profil VD Nýrsko, 1981–2020.....	52
Graf 34: Průběh hladiny v nádrži, Varianta C – Max Op _{Homolka} , reálná řada průtoků, profil VD Nýrsko, 1981–2020.....	52
Graf 35: Průběh hladiny v nádrži, Varianta C – dle MŘ, reálná řada průtoků, profil VD Nýrsko, 2041–2060.	53
Graf 36: Průběh hladiny v nádrži, Varianta C – Max Op _{Milence} , reálná řada průtoků, profil VD Nýrsko, 2041–2060.....	53
Graf 37: Průběh hladiny v nádrži, Varianta C – Max Op _{Homolka} , reálná řada průtoků, profil VD Nýrsko, 1981–2020.....	54
Graf 38: Průběh hladiny v nádrži, Varianta C – dle MŘ, reálná řada průtoků, profil VD Nýrsko, 2061–2080.	55
Graf 39: Průběh hladiny v nádrži, Varianta C – Max Op _{Milence} , reálná řada průtoků, profil VD Nýrsko, 2061–2080.....	55
Graf 40: Průběh hladiny v nádrži, Varianta C – Max Op _{Homolka} , reálná řada průtoků, profil VD Nýrsko, 2061–2080.....	56
Graf 41: Porovnání modelů pro simulaci přítoku do VD Nýrsko, 1981–2020.....	64
Graf 42: Porovnání modelů pro simulaci přítoku z mezipovodí, 1981–2020.....	65
Graf 43: Průběh hladiny v nádrži, Varianta A – odběr dle MŘ, GR4J, profil VD Nýrsko, 1981–2020.	66
Graf 44: Průběh hladiny v nádrži, Varianta A – Max Op _{Milence} , GR4J, profil VD Nýrsko, 1981–2020.	67
Graf 45: Průběh hladiny v nádrži, Varianta A – GR4J, reálná řada průtoků, profil VD Nýrsko, 2041–2060.	68

Graf 46: Průběh hladiny v nádrži, Varianta A – Max Op _{Milence} , GR4J, profil VD Nýrsko, 2041–2060.	68
Graf 47: Průběh hladiny v nádrži, Varianta A – odběr dle MŘ, GR4J, profil VD Nýrsko, 2061–2080.	69
Graf 48: Průběh hladiny v nádrži, Varianta A – Max Op _{Milence} , GR4J, profil VD Nýrsko, 2061–2080.	69
Graf 49: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – dle MŘ, GR4J, profil Homolka, 1981–2020.	70
Graf 50: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – Max Op _{Homolka} , GR4J, profil Homolka, 1981–2020.	71
Graf 51: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – Max Op _{Milence} , GR4J, profil Homolka, 1981–2020.	71
Graf 52: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – dle MŘ+80l/s, GR4J, profil Homolka, 1981–2020.	72
Graf 53: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – dle MŘ+300l/s, GR4J, profil Homolka, 1981–2020.	72
Graf 54: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – dle MŘ, GR4J, profil Homolka, 2041–2060.	73
Graf 55: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – Max Op _{Milence} , GR4J, profil Homolka, 2041–2060.	73
Graf 56: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – Max Op _{Homolka} , GR4J, profil Homolka, 2041–2060.	74
Graf 57: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – dle MŘ+80 l/s, GR4J, profil Homolka, 2041–2060.	74
Graf 58: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – dle MŘ+300 l/s, GR4J, profil Homolka, 2041–2060.	75
Graf 59: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – dle MŘ, GR4J, profil Homolka, 2061–2080.	76
Graf 60: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – Max Op _{Milence} , GR4J, profil Homolka, 2061–2080.	76
Graf 61: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – Max Op _{Homolka} , GR4J, profil Homolka, 2061–2080.	77

Graf 62: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – dle MŘ+80 l/s, GR4J, profil Homolka, 2061–2080.	77
Graf 63: Průběh hladiny v nádrži, Varianta B – dle MŘ+300 l/s, GR4J, profil Homolka, 2061–2080.	78
Graf 64: Průběh hladiny v nádrži, Varianta C – dle MŘ, GR4J, profil VD Nýrsko, 1981–2020.	79
Graf 65: Průběh hladiny v nádrži, Varianta C – Max Op _{Milence} nebo Max Op _{Homolka} , GR4J, profil VD Nýrsko, 1981–2020.	79
Graf 66: Průběh hladiny v nádrži, Varianta C – dle MŘ, GR4J, profil VD Nýrsko, 2041–2060.	80
Graf 67: Průběh hladiny v nádrži, Varianta C – Max Op _{Milence} nebo Max Op _{Homolka} , reálná řada průtoků, profil VD Nýrsko, 2041–2060.	80
Graf 68: Průběh hladiny v nádrži, Varianta C – dle MŘ, GR4J, profil VD Nýrsko, 2061–2080.	81
Graf 69: Průběh hladiny v nádrži, Varianta C – Max Op _{Milence} nebo Max Op _{Homolka} , reálná řada průtoků, profil VD Nýrsko, 2061–2080.	82
Graf 70: Histogram četnosti odchylek průtoků.	83
Graf 71: Histogram překročení absolutních odchylek průtoků.	84
Graf 72: Graf průběhu nedostatkových a nadbytečných objemů – GR4J.	85
Graf 73: Histogram četnosti nedostatkových a nadbytečných objemů – GR4J.	85
Graf 74: Graf průběhu nedostatkových a nadbytečných objemů – ARIMA.	86
Graf 75: Histogram četnosti nedostatkových a nadbytečných objemů – ARIMA.	87
Graf 76: Graf průběhu nedostatkových a nadbytečných objemů – posun o den.	87
Graf 77: Histogram četnosti nedostatkových a nadbytečných objemů – posun o den.	88
Graf 78: Kumulativní histogram četnosti potřebných zásobních objemů.	88
Graf 79: Kumulativní histogram četnosti potřebných retenčních objemů.	89
Graf 80: Dlouhodobé odběry na ÚV Milence pro variantu A.	92
Graf 81: Dlouhodobé odběry na ÚV Milence pro variantu B.	95
Graf 82: Dlouhodobé odběry na ÚV Homolka pro variantu B.	95
Graf 83: Dlouhodobé odběry na ÚV Milence pro variantu C.	99
Graf 84: Dlouhodobé odběry na ÚV Homolka pro variantu C.	99

Seznam tabulek

Tabulka 1: Prostory nádrže VD Nýrsko.....	11
Tabulka 2: Rozdělení výparu v jednotlivých měsících v procentech. [12].....	17
Tabulka 3: Rozdělení výparných výšek po měsících v mm/měsíc. [12].....	18
Tabulka 4: Parametry stanic povodí VD Nýrsko.	22
Tabulka 5: Parametry stanic mezipovodí.	23
Tabulka 6: Změnové koeficienty pro povodí Úhlavy.	26
Tabulka 7: Odvozené výparné výšky pro klimatické změny.	28
Tabulka 8: Výsledky VH řešení nádrže Nýrsko v reálné řadě v měsíčním kroku – Varianta A.	29
Tabulka 9: Výsledky VH řešení nádrže Nýrsko v reálné řadě v měsíčním kroku – Varianta B.	30
Tabulka 10: Výsledky VH řešení nádrže Nýrsko v reálné řadě v měsíčním kroku – Varianta C.	30
Tabulka 11: Výsledné hodnoty NSE pro hydrologický model.	62
Tabulka 12: Výsledné hodnoty NSE pro ARIMA model.	62
Tabulka 13: Kalibrační parametry hydrologického modelu.	62
Tabulka 14: Kalibrační parametry ARIMA modelu – část AR.	63
Tabulka 15: Kalibrační parametry ARIMA modelu – část MA.	63
Tabulka 16: Porovnání parametrů NSE a PV pro přítok do VD Nýrsko.	64
Tabulka 17: Porovnání parametrů NSE a PV pro přítok z mezipovodí.	65
Tabulka 18: Výsledky VH řešení nádrže Nýrsko v reálné řadě v denním kroku – Varianta A.	91
Tabulka 19: Výsledky VH řešení nádrže Nýrsko v řadě hydrologického modelu v denním kroku – Varianta A.	91
Tabulka 20: Porovnání výsledků pro variantu A.	92
Tabulka 21: Výsledky VH řešení nádrže Nýrsko v reálné řadě v denním kroku – Varianta B.	93
Tabulka 22: Výsledky VH řešení nádrže Nýrsko v řadě hydrologického modelu v denním kroku – Varianta B.	94
Tabulka 23: Porovnání výsledků pro variantu B.	95

Tabulka 24: Výsledky VH řešení nádrže Nýrsko v reálné řadě v denním kroku – Varianta C.....	97
Tabulka 25: Výsledky VH řešení nádrže Nýrsko v řadě hydrologického modelu v denním kroku – Varianta C.	97
Tabulka 26: Porovnání výsledků pro variantu C.	98