

# **ODHAD OBJEMU NÁDRŽÍ POTŘEBNÉHO PRO KOMPENZACI POKLESU ODTOKU VLIVEM KLIMATICKÉ ZMĚNY**

**Ing. Martina Peláková, Mgr. Matthijs Boersema**

**Zadavatel:**  
Ministerstvo zemědělství ČR

**Číslo výtisku:**  
Praha, listopad 2005

**Název a sídlo organizace:**

Výzkumný ústav vodohospodářský  
T. G. Masaryka  
Podbabská 30, 160 62 Praha 6

**Ředitel:**

Ing. Lubomír Petružela, CSc.

**Zadavatel:**

Česká republika - Ministerstvo zemědělství  
Těšnov 17, 117 05 Praha 1

**Zástupce zadavatele:**

Ing. Miroslav Král, CSc.  
ředitel odboru VH politiky

**Zahájení a ukončení úkolu:**

srpen 2005 - listopad 2005

**Místo uložení zprávy:**

Odbor hydrauliky, hydrologie a hydrogeologie VÚV T.G.Masaryka

**Náměstek ředitele:**

Ing. Mark Rieder

**Vedoucí sekce:**

Ing. Ladislav Kašpárek, CSc.

**Vedoucí oddělení:**

Ing. Oldřich Novický

**Hlavní řešitel:**

Ing. Martina Peláková

**Řešitelé:**

Ing. Ladislav Kašpárek, CSc.  
Ing. Martina Peláková  
Mgr. Matthijs Boersema

## Obsah

<b>ČÁST A: HYDROLOGICKÉ URČENÍ OBJEMU POTŘEBNÉHO PRO KOMPENZACI POKLESU ODTOKU VLIVEM KLIMATICKÉ ZMĚNY .....</b>	<b>2</b>
1 Scénáře klimatické změny .....	3
2 Důsledky klimatické změny pro vodní režim v ČR .....	5
3 Výstavba nových vodních nádrží .....	6
4 Přístup k řešení a cíl studie .....	6
5 Vstupní data .....	8
6 Postup výpočtu pro jedno povodí .....	8
7 Popis modelu hydrologické bilance .....	9
8 Výsledky .....	10
9 Závěr .....	17

## **ČÁST B: ZPRACOVÁNÍ STANDARDNÍHO VODOHOSPODÁŘSKÉHO ŘEŠENÍ PRO TŘI VYBRANÁ POVODÍ: NECHRANICE, ŽELIVKA, ŘÍMOV .....**

1. Úvod .....	19
1.1. Zaměření a cíle úkolu .....	19
2. Metodika řešení .....	20
2.1. Výběr nádrží .....	20
2.2. Hydrologické podklady .....	20
2.3. Ukazatelé zabezpečení .....	22
3. Postup a výsledky řešení .....	24
3.1. Nádrž Římov na Malši .....	24
3.2. Nádrž Švihov na Želivce .....	28
3.3. Nádrž Nechranice na Ohři .....	32
3.4. Diskuse předpokladů a výsledků řešení .....	37
4. Závěry .....	39

## **Část A**

# **Hydrologické určení objemu potřebného pro kompenzaci poklesu odtoku vlivem klimatické změny**

**Ing. Ladislav Kašpárek, CSc., Ing. Martina Peláková, Mgr. Matthijs Boersema**

## 1 Scénáře klimatické změny

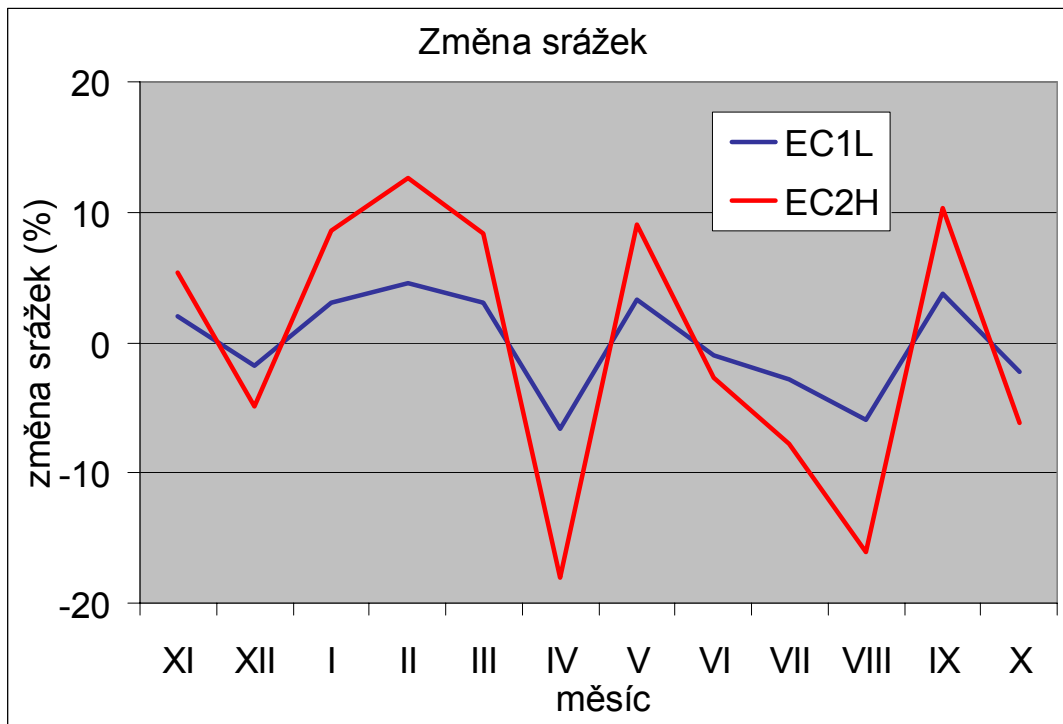
V době řešení úkolu byly dostupné scénáře vycházející ze stavu vývoje GCM (globálních klimatických modelů) z roku 2000 pro časový horizont roku 2050 zkonstruované na MFF UK Kalvovou a kol. (2002). Jako nejvhodnější byly vybrány dva modely globální cirkulace: HadCM2 a ECHAM4. Byly použity dva scénáře emisí CO<sub>2</sub> z lidských činností: SRESA2 jako pesimistická varianta a SRESB1 jako optimistická varianta vývoje koncentrací CO<sub>2</sub>. Pro teplotní citlivosti byly zvoleny také dvě mezní hodnoty 1,5 °C a 4,5 °C. (Pro stanovení citlivosti klimatu na změnu koncentrace skleníkových plynů je používán odhad změny průměrné globální teploty při zdvojnásobení koncentrace CO<sub>2</sub> ekv. Koncentrace ostatních skleníkových plynů je přepočtena ekvivalentně dle jejich účinku na oteplení.) Scénáře klimatické změny jsou kombinací typu modelu, scénáře emisí CO<sub>2</sub> a teplotní citlivosti – viz tabulku 1.

Scénáře udávají mimo jiné změny srážek (obr. 1), teploty (obr. 2) a vlhkosti vzduchu pro jednotlivé měsíce v roce a jsou stejné pro celé území ČR.

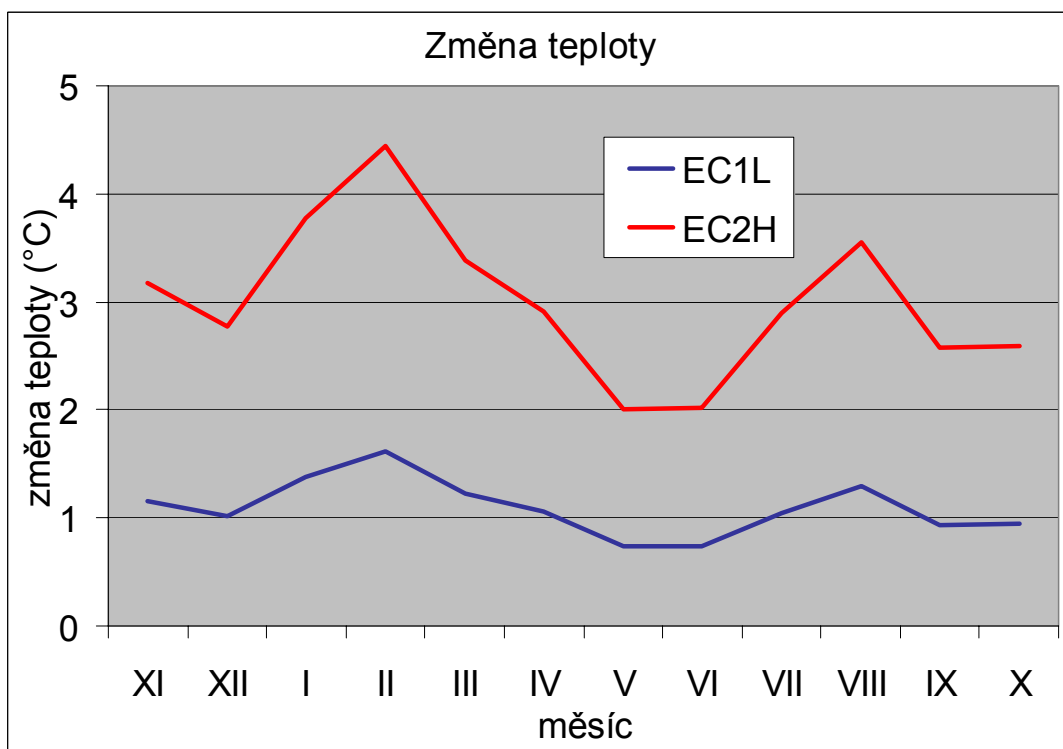
Dříve provedené rozbory (Kašpárek a kol., 2003) ukázaly, že rozdílnost dvou zmíněných klimatických modelů je nevýznamná vzhledem k vlivu předpokládaných emisí CO<sub>2</sub> i vlivu teplotní citlivosti. Pro výpočty v rámci tohoto úkolu byl použit pouze scénář EC2H, jako nejpesimističtější varianta vývoje emisí CO<sub>2</sub> při největší citlivosti klimatu na zvýšení koncentrace CO<sub>2</sub> za použití globálního klimatického modelu ECHAM4. Důvodem je snaha o vystižení nejhorší možné situace ve vodním hospodářství ČR, se kterou je třeba do budoucna počítat.

Tab. 1 Přehled scénářů klimatické změny

GCM	emise CO <sub>2</sub>	teplotní citlivost	scénář
ECHAM4	SRESB1 (10 GtC/rok)	malá (1,5 °C)	EC1L
		velká (4,5 °C)	EC1H
	SRESA2 (17 GtC/rok)	malá (1,5 °C)	EC2L
		velká (4,5 °C)	EC2H
HadCM2	SRESB1 (10 GtC/rok)	malá (1,5 °C)	Ha1L
		velká (4,5 °C)	Ha1H
	SRESA2 (17 GtC/rok)	malá (1,5 °C)	Ha2L
		velká (4,5 °C)	Ha2H



Obr. 1 Změna srážek podle scénářů klimatické změny EC1L a EC2H v sezónním chodu



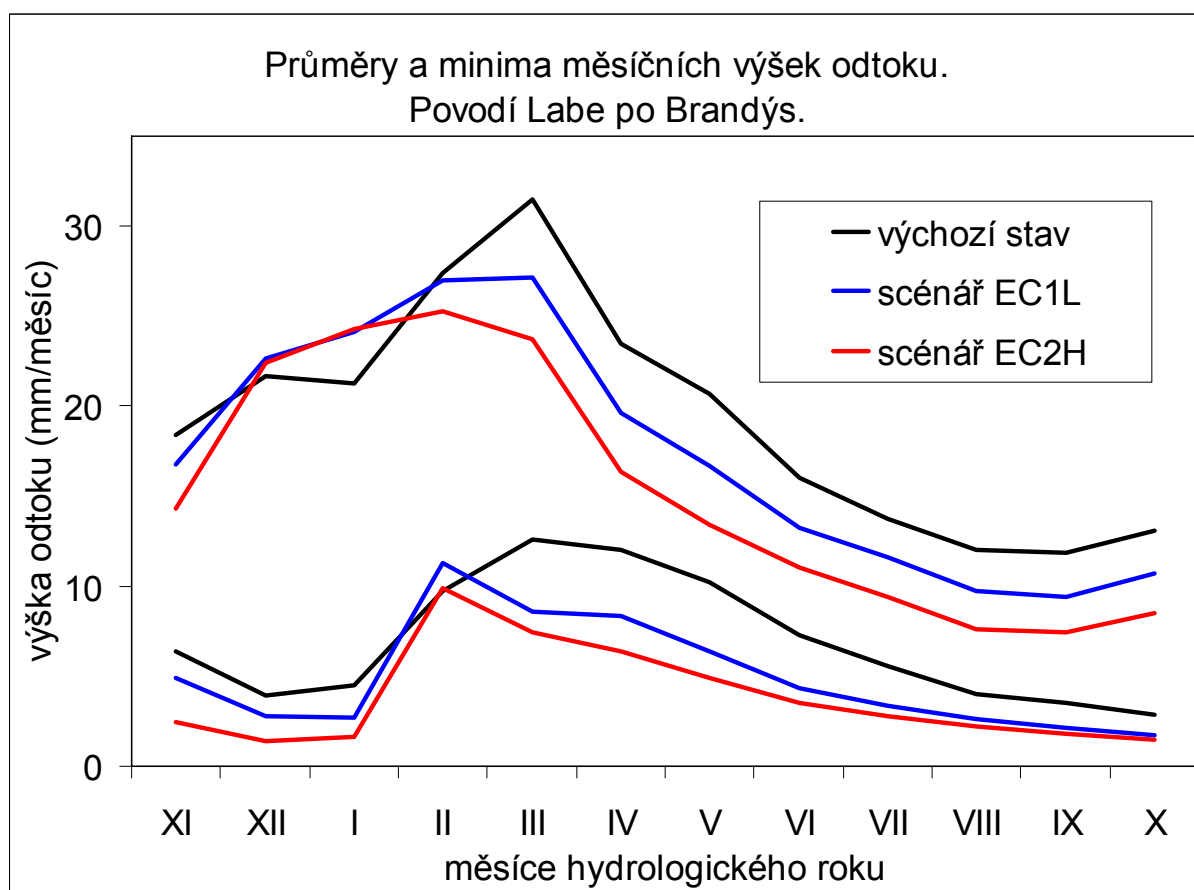
Obr. 2 Změna teploty podle scénářů klimatické změny EC1L a EC2H v sezónním chodu

## 2 Důsledky klimatické změny pro vodní režim v ČR

Klimatická změna bude podle současných poznatků významně ovlivňovat vodní režim na území České republiky, jak bylo popsáno například v práci Kašpárka a kol. (2003). Základním důsledkem klimatické změny je pokles průměrné dlouhodobé odtokové výšky ve všech povodích. Celkový odtok klesne do roku 2050 v případě optimistického scénáře EC1L na úroveň 80-94 % a v případě pesimistického scénáře EC2H na úroveň 57-86 % vůči nezměněnému klimatu. (Rozpětí uvedených hodnot reprezentuje výsledky z 50 povodí.)

Sezónní chod celkového odtoku je klimatickou změnou také ovlivněn. V průběhu jarních, letních a podzimních měsíců bude celkový odtok v roce 2050 ve většině povodí o 10-20 % (EC1L), resp. o 30-40 % (EC2H) menší než ve 20. století. V zimních měsících bude naopak odtok větší, což je způsobeno zejména zvýšením teploty, které povede k častějšímu tání sněhu už v průběhu zimy a k většímu podílu dešťových srážek na úkor sněhových. Na obrázku 3 je příklad odtoku z povodí Labe po Brandýs n. L.

Minima odtoku klesají v některém měsíci pod polovinu původní hodnoty ve všech zkoumaných povodích. Účinek klimatické změny na minimální průtoky je tedy velmi významný a indikuje ohrožení zásobní funkce vodních zdrojů, které nemají dostatečnou akumulaci pro překrytí období sucha.



Obr. 3 Vliv klimatické změny na odtok z povodí Labe po Brandýs n. L. v sezónním chodu

### 3 Výstavba nových vodních nádrží

Jednou z možností, jak řešit předpokládaný nedostatek vody, je výstavba vodních nádrží. Ve směrném vodohospodářském plánu ČSR (SVP) z roku 1988 byl naposledy aktualizován seznam výhledových vodních nádrží. Obsahuje 464 plánovaných nádrží, z toho 210 územně hájených. Zbytek je pouze evidovaný, územně nehájený. Některé z těchto nádrží již byly postaveny, jedná se asi o 5 nádrží.

Územní hájení je respektováno dodnes, v současné době dochází k jeho revizi. Jako jeden z podkladů pro řešení této problematiky jsme se pokusili posoudit objemy výhledově plánovaných nádrží s ohledem na předpokládanou klimatickou změnu.

### 4 Přístup k řešení a cíl studie

Pro posouzení potenciálních možností hájených nádrží kompenzovat účinky klimatické změny byl použit zjednodušený přístup, založený na stanovení objemu vody, o který je v případě hydrologických poměrů ovlivněných klimatickou změnou větší nedostatkový objem pod zvoleným mezím průtokem. Tento postup není náhradou vodohospodářského řešení jednotlivých nádrží. Nezkoumá se, v jak dlouhém období by bylo před nástupem kritického období hydrologického sucha nutno vodu akumulovat. Mezní průtok byl zvolen jako kvantil průměrných měsíčních průtoků s pravděpodobností překročení 70 % ( $Q_{70\%m}$ ), takže lze oprávněně předpokládat, že pokud dopad klimatické změny nebude zcela katastrofální, bude reálné v sezóně nebo několikaletém období před začátkem kritického hydrologického sucha vodu potřebnou ke kompenzaci průtoků v nádržích akumulovat a při průtokové depresi nadlepit průtoky. Nejedná se o vyrovnání průtoků na  $Q_{70\%m}$ , ale o zvětšení průtoků v období poklesu pod tuto mez na průběh odpovídající stavu před klimatickou změnou.

Pro ověření, v jakém vztahu je takto zjednodušené řešení k standardnímu vodohospodářskému řešení, byla zpracována samostatná studie pro několik zvolených nádrží. Studie je součástí této zprávy (část B).

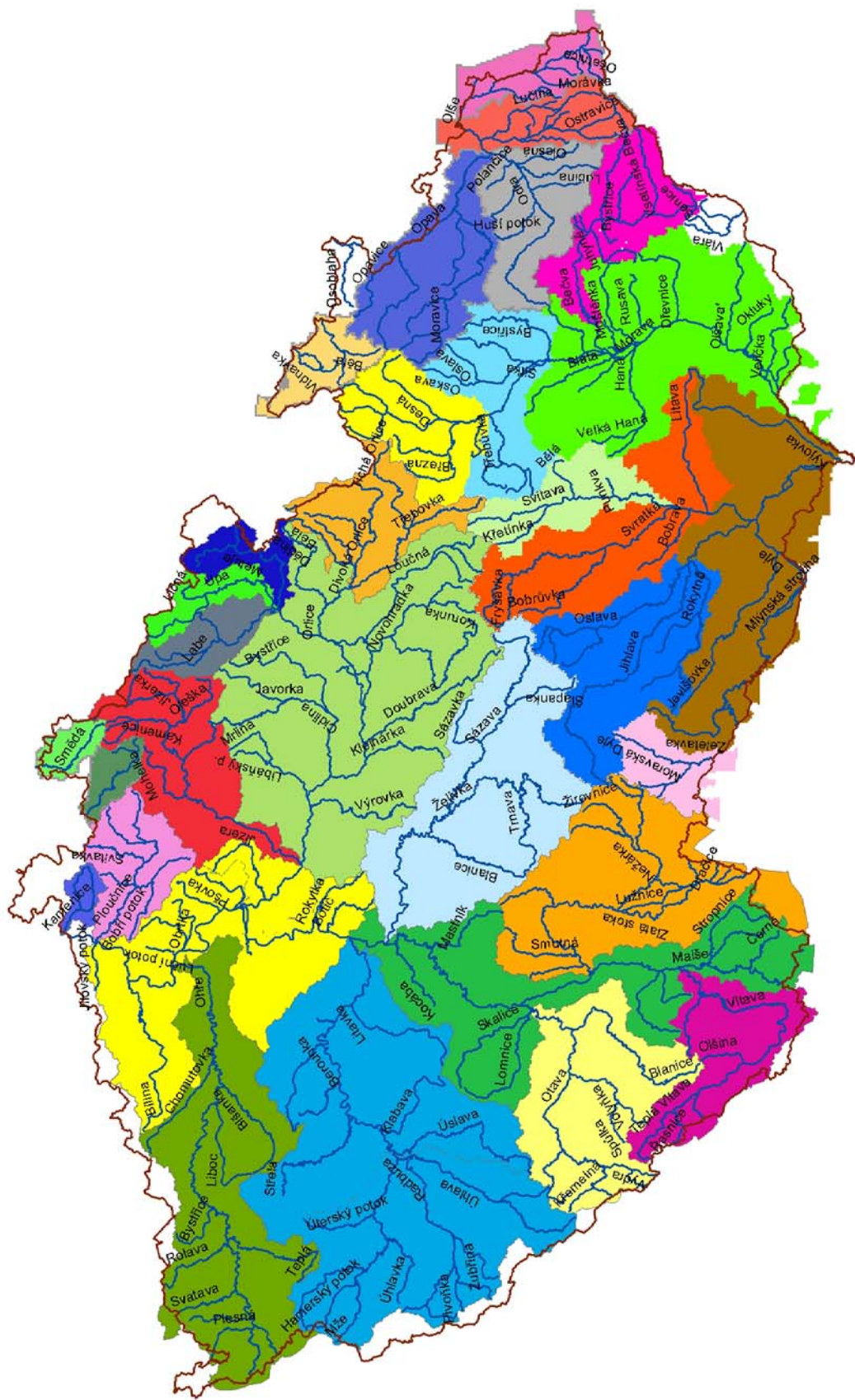
Řešení bylo provedeno v přiměřeně velkých dílčích povodích, nikoliv v detailním členění povodí jednotlivých nádrží. Rozdělení území ČR na dílčí povodí (viz obr. 4) bylo provedeno po analýze dostupných hydrologických a meteorologických dat, která jsou pro řešení nezbytná.

Cílem řešení bylo ve zvolených povodích stanovit:

- největší možný chybějící objem vody při vyplnění scénáře klimatické změny EC2H vzhledem ke stavu ve 20. století pro vyrovnání průtoků na původní stav v období poklesu pod  $Q_{70\%m}$ ,
- součet celkových ovladatelných objemů všech územně hájených nádrží plánovaných ve výhledu (bez nádrží již postavených).

Pro odhad řad průtoků ovlivněných klimatickou změnou byl použit model hydrologické bilance. Jeho parametry se stanoví (kalibrují) podle řad pozorovaných neovlivněných meteorologických a hydrologických pozorování. Vstupní meteorologické veličiny se pak transformují podle zvoleného scénáře a použijí jako vstupy pro běh modelu odpovídající poměrům po klimatické změně. Výstupem je řada průtoků, ovlivněná touto změnou.





Obr. 4 Rozdělení území ČR na 32 povodí, pro která byly spočítány nedostatkové objemy a objemy plánovaných nádrží

## 5 Vstupní data

Cílem úkolu bylo vypočítat objemy nádrží potřebných ke kompenzaci dopadů klimatické změny v povodích střední velikosti. Při níže uvedeném postupu vyžadoval výpočet pozorované časové řady těchto 4 veličin:

- srážkový úhrn (mm) – za měsíc, průměr na povodí
- odtok (mm) – za měsíc, přepočtený na plochu povodí
- relativní vlhkost vzduchu (%) – průměr za měsíc a povodí
- teplota vzduchu (°C) – průměr za měsíc a povodí

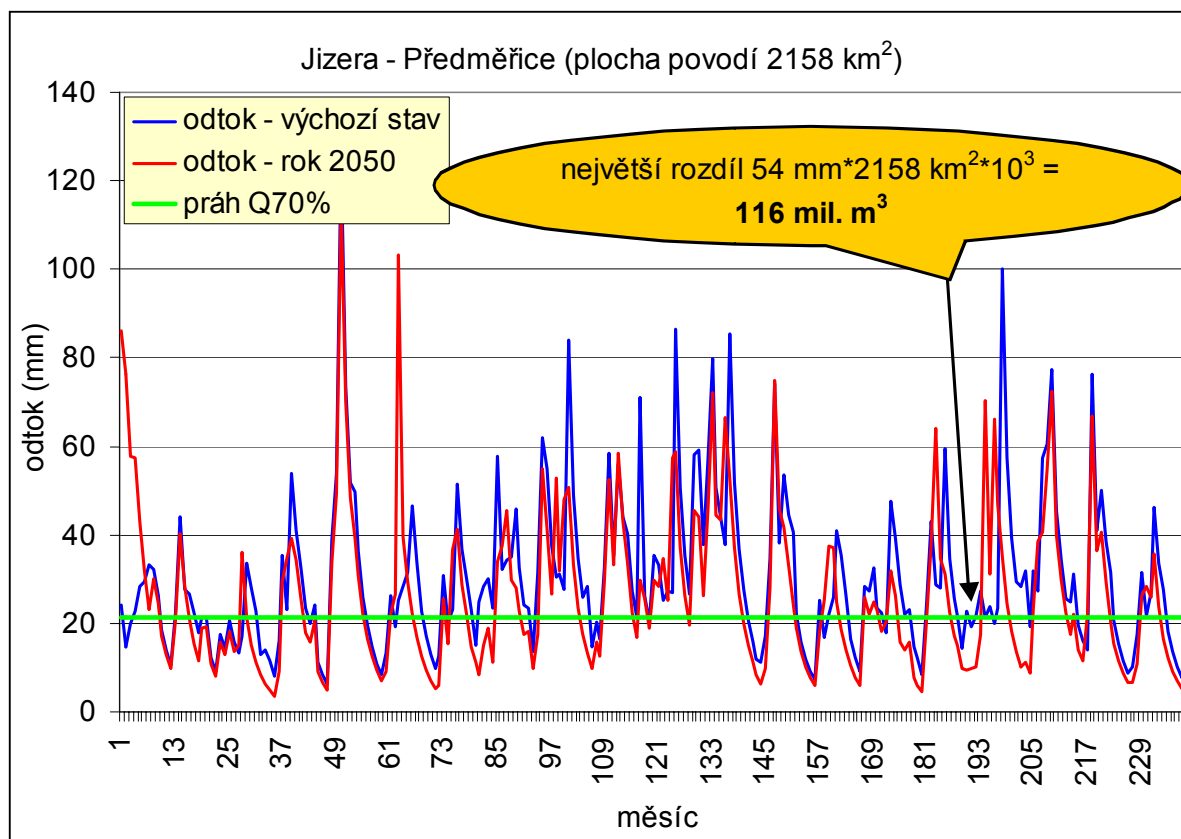
S ohledem na požadavek střední velikosti povodí a na základě dostupných dat bylo provedeno rozdělení území České republiky na 32 povodí. Povodí Labe bylo rozděleno na 16 povodí, pro která byly zpravidla k dispozici časové řady z období 1932-1990. Povodí Odry bylo rozděleno na 7 povodí, z toho pro 2 povodí (Lužické Nisy a Smědé) byla k dispozici data z období 1957-1990 a pro ostatní pouze z období 1971-1990. Povodí Moravy bylo rozděleno na 9 povodí s daty z období 1971-1990.

Data z období po roce 1990 nebyla použita pro srovnání původního stavu a klimatickou změnou ovlivněného stavu záměrně, protože poslední desetiletí 20. století se jeví podle mnoha výzkumů významně teplejší než předchozí stoleté období. Teploty v poslední dekádě 20. století klimatická změna již poznamenala. Mezi klimatologů však není zcela jednotný názor na to, jakou měrou se na zvýšení teploty podílí nárůst skleníkových plynů oproti možnému přirozenému kolísání klimatu.

Dále byly použity scénáře klimatické změny ve formě tabulek, které udávají pro každý měsíc v roce aditivní změnu teploty vzduchu a relativní změnu pro atmosférické srážky a vlhkost vzduchu. Scénáře jsou jednotné pro celou Českou republiku.

## 6 Postup výpočtu pro jedno povodí

- a) modelování hydrologické bilance s pozorovanými řadami klimatických veličin pomocí hydrologického modelu BILAN-SIMBA a optimalizace jeho parametrů podle pozorované odtokové výšky,
- b) modifikace pozorovaných řad klimatických veličin podle scénáře klimatické změny EC2H pro časový horizont roku 2050,
- c) modelování modifikovaných řad pomocí hydrologického modelu BILAN-SIMBA za použití parametrů stanovených optimalizací na základě pozorovaných řad,
- d) posouzení míry využití vody v povodí, ze které vyplývá velikost odtoku (hodnocená procenty překročení měsíčního odtoku), který se zvolí jako hranice pro kompenzaci poklesu odtoku,
- e) výpočet nedostatkových objemů pro řadu odtoků reprezentující původní stav klimatu,
- f) výpočet nedostatkových objemů pro řadu odtoků reprezentující změněný stav klimatu,
- g) vyhledání největšího rozdílu mezi nedostatkovými objemy (změněný stav – původní stav) – viz obr. 5.



Obr. 5 Způsob určení největší možné potřeby vody při změně klimatu (největší rozdíl nedostatkového objemu při změně klimatu a nedost. objemu ve výchozím období)

## 7 Popis modelu hydrologické bilance

Model hydrologické bilance SIMBA, sestavený podle několikaletých zkušeností s analogickým starším modelem BILAN, vyvinutý ve VÚV T.G.M., byl ověřen na několika desítkách povodí z ČR i evropských států, používají jej i některá zahraniční pracoviště.

Model počítá v měsíčním kroku chronologickou hydrologickou bilanci povodí či území. Vyjadřuje základní bilanční vztahy na povrchu povodí, v zóně aerace, do níž je zahrnut i vegetační kryt povodí, a v zóně podzemní vody. Jako ukazatel bilance energie, která hydrologickou bilanci významně ovlivňuje, je použita jen teplota vzduchu.

Vstupními hodnotami modelu jsou časové řady měsíčních výšek srážek na povodí, řady průměrných měsíčních teplot vzduchu a řady průměrných relativních vlhkostí vzduchu. Při odhadu parametrů modelu se zadávají řady průměrných měsíčních odtokových výšek v závěrovém profilu povodí.

Výpočtem se určuje potenciální evapotranspirace, územní výpar, infiltrace do zóny aerace, průsak touto zónou, zásoba vody ve sněhu, zásoba vody v půdě, zásoba podzemní vody. Odtok je modelován jako součet tří složek: přímého odtoku, hypodermického odtoku a základního odtoku.

Model má osm volných parametrů. Pro jejich odhad se v profilech s vodoměrným pozorováním používá optimalizační program, který hledá parametry tak, aby bylo dosaženo minimální hodnoty zvoleného kritéria shody modelovaného odtoku s pozorovanými daty.

## 8 Výsledky

V povodí Labe, kde jsme pro výpočet použili u většiny povodí časové řady z období 1932-1990, se největší rozdíl deficitů pohybuje mezi 63 a 227 mm (viz obr. 6). Vážený průměr je zhruba 130 mm, přičemž deficitní období trvá ve většině povodí několik let (maximum je 3,8 roku v povodí Otavy). Výsledky pro mezipovodí Labe-Brandýs, Vltava-Modřany a Labe-Děčín byly získány odečtením vypočítaných objemů pro dílčí povodí od celků tak, jak je naznačeno v tabulce 2. Jejich spolehlivost je poměrně malá.

Nádrže plánované pro výhledové období jsou rozmístěny zejména na horních a středních tocích (viz obr. 7), v členité krajině, protože lokality byly vybírány s ohledem na vhodnost přírodních podmínek. Objemy plánovaných nádrží přepočtené na plochy povodí se pohybují od 0 mm (např. v povodí Ploučnice) až po 344 mm (povodí horního Labe). Když tedy porovnáme deficitní objemy a objemy plánovaných nádrží v jednotlivých povodích, často se výrazně odlišují oběma směry (viz obr. 8), přestože v celkovém průměru pro povodí Labe vychází objem nádrží přepočtený na plochu 70 mm, tj. 54 % deficitního objemu. Při uvážení nepřesnosti uvedených výpočtů je možno konstatovat, že odhad objemu nádrží potřebných pro kompenzaci poklesu odtoku vlivem klimatické změny je shodou okolností přibližně stejný nebo mírně větší než objem výhledově plánovaných nádrží. Nesoulad mezi potřebou vody a možnostmi výstavby nádrží ve zvolených povodích není problematický vzhledem k umístění plánovaných nádrží převážně na horních tocích.

Stávající nádrže do srovnání objemů nádrží a deficitních objemů zahrnuty nebyly, protože jejich prostory již v současné době plní nějaký účel.

V povodí Moravy a Odry (kromě povodí Lužické Nisy a Smědé) byly použity pro výpočet časové řady pouze z období 1971-1990, protože dřívější data nebyla k dispozici a v časovém období vymezeném pro řešení úkolu nebylo možné je pro delší období připravit. V tomto období se nevyskytla tak extrémní suchá období jako ve 30. a 40. letech 20. století, proto výsledky z těchto povodí nedosahují tak velkých hodnot a nelze je považovat za definitivní. Podle orientačních porovnání vlivu výběru období na výsledky předpokládáme, že v povodí Moravy a Odry by podobně jako v povodí Labe největší rozdíl deficitů místo průměrných 41 mm, které jsou uvedeny v tabulce 3, přesahoval hodnotu 100 mm.

Objem plánovaných nádrží přepočtený na plochu je v moravských povodích větší než v Čechách, pohybuje se mezi 14 a 291 mm, v průměru 94 mm. V povodích Moravy a Odry je naplánováno 2674 mil. m<sup>3</sup> nádrží, což činí 43 % z celkového součtu objemů pro ČR, plocha těchto povodí zaujímá pouze 35 % území ČR. V povodí Labe naopak byly již postaveny nádrže zaujímající celkový objem 2550 mil. m<sup>3</sup>, zatímco v povodích Moravy a Odry mají stávající nádrže celkový objem jen 843 mil. m<sup>3</sup>.

Tab. 2 Výsledky pro jednotlivá povodí – Čechy (výchozí data 1932-1990)

Číslo stanice	Povodí		Průměrný měsíční odtok			práh Q 70%	Délka definičního období	Největší možná potřeba vody (A)	Podíl A na průměrném ročním odtoku	Největší možná potřeba vody	Objem plán. nádrží	Objem plán. plocha povodí (B)	Poměr B/A
	Tok	Název stanice	pozorovaný	mode-lovaný	mode-lovaný - scénář EC2H								
			[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[roky]	[mm]	[%]	[mil.m <sup>3</sup> ]	[mil.m <sup>3</sup> ]	[mm]	[-]
0060	Labe	Království	41	39	30	26	1,8	115	31	82	245	344	3,0
0150	Úpa	Česká Skalice	37	37	28	27	1,8	160	48	82	19	36	0,2
0180	Metuje	Hronov	29	27	19	11	1,8	141	62	76	12	23	0,2
0370	Orlice	Týniště n. O.	32	30	22	19	1,8	150	57	230	312	203	1,4
1020	Jizera	Tuřice	31	30	23	20	0,8	63	23	138	185	84	1,3
1040-0060-0150-0180-0370-1020	Labe mezipovodí	Brandýs n. L.	20	20	14	13	1,8	90	58	675	225	30	0,3
1090	Vltava	Vyšší Brod	35	35	24	24	1,8	184	63	335	370	203	1,1
1330	Lužnice	Bechyně	15	14	8	8	3,3	121	122	471	35	9	0,1
1510	Otava	Písek	21	20	12	13	3,8	227	154	680	499	167	0,7
1670	Sázava	Poříčí n. S.	15	14	8	8	2,4	102	104	443	96	22	0,2
1990	Berounka	Dobřichovice	11	11	6	6	2,6	90	125	797	1038	117	1,3
2000-1090-1330-1510-1670-1990	Vltava mezipovodí	Praha-Modřany	14	14	8	9	3,3	256	155	1124	126	29	0,1
2190	Ohře	Louny I.	19	18	12	10	1,9	84	58	405	267	55	0,7
2390	Ploučnice	Benešov n. P.	20	20	13	15	2,8	171	112	204	0	0	0,0
2400-1040-2390-2000-2190	Labe mezipovodí	Děčín	16	16	10	10	3,3	178	112	806	65	14	0,1
2440	Kamenice	Hřensko	33	32	26	24	2,8	151	49	33	0	0	0,0
3200	Lužická Nisa	Hrádek n. N.	40	35	26	24	2,6	191	60	72	0	0	0,0
3230	Smědá	Frydlant v Č.	60	54	42	34	1,0	129	26	41	21	67	0,5

Pozn.: Hodnoty uvedené šedě kurzívou neplatí pro mezipovodí, ale pro celé povodí dané stanice.

Tab. 3 Výsledky pro jednotlivá povodí – Morava (výchozí data 1971-1990)

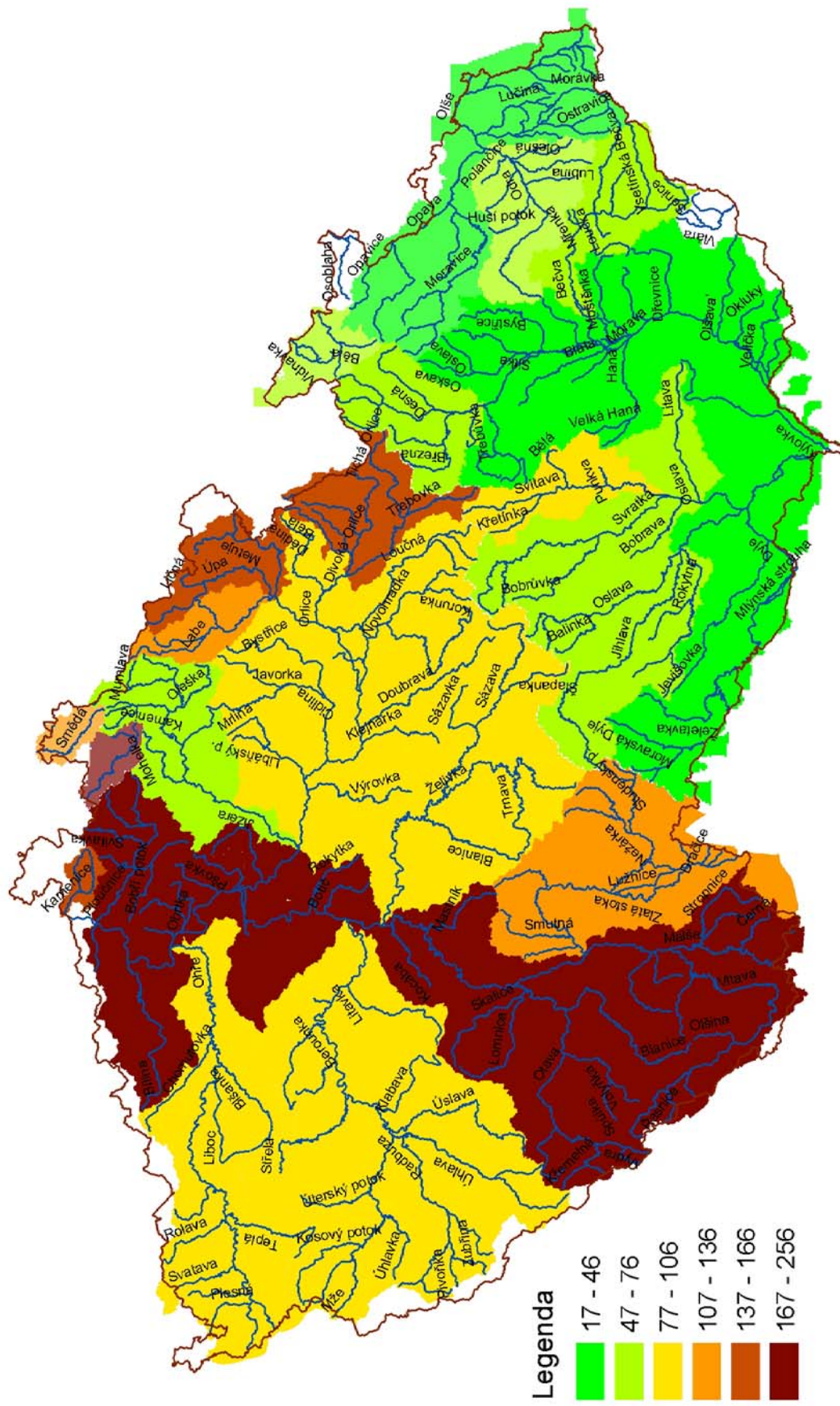
Číslo stanice	Povodí		Průměrný měsíční odtok			práh Q 70%	Délka definičního období	Největší možná potřeba vody (A)	Podíl A na průměrném ročním odtoku	Největší možná potřeba vody	Objem plán. nádrží	Objem plán. nádrží/ plocha povodí (B)	Poměr B/A
	Tok	Název stanice	pozorovaný [mm]	modelovaný [mm]	modelovaný - scénář EC2H [mm]								
2570	Odra	Svinov	22	20	14	11	1,3	64	39	103	389	241	3,8
2750	Opava	Děhylov	19	19	12	11	0,9	35	23	73	243	117	3,3
2940-2570-2750	Odra mezipovodí	Bohumín	25	22	16	14	0,8	36	24	39	52	48	1,3
3030	Oře	Věřovice	40	30	22	19	0,8	44	17	40	84	92	2,1
3090a3110	Vidnávk a Bělá	Vidnávk a Jeseník	31(52)	24(45)	16(36)	14(33)	1,0(0,6)	64	33(15)	43	29	43	0,7
3550	Morava	Moravičany	30	27	21	20	0,8	59	24	92	454	291	4,9
3670-3550	Morava mezipovodí	Olomouc-N. S.	22	21	16	15	0,6	18	19	32	193	110	6,1
3900	Bečva	Dluhonice	28	27	21	16	0,7	51	21	81	226	143	2,8
4215-3900-3670	Morava mezipovodí	Strážnice	17	16	12	10	0,8	17	21	78	72	15	0,9
4290	Moravská Dyje	Janov	14	13	8	6	1,0	28	27	21	46	60	2,1
4570	Svitava	Bilovice n. S.	11	11	6	7	2,3	81	107	93	16	14	0,2
4620-4570	Svratka mezipovodí	Židlochovice	10	10	6	6	2,4	56	88	155	237	85	1,5
4780	Jihlava	Ivančice	10	10	6	5	2,5	65	94	173	315	118	1,8
4805-4780-4620-4290	Dyje mezipovodí	Břeclav-Ladná	8	8	5	5	2,5	27	79	112	228	54	2,0

Pozn.: Hodnoty uvedené šedě kurzívou neplatí pro mezipovodí, ale pro celé povodí dané stanice.

Tab. 4 Objemy plánovaných nádrží podle územní působnosti podniků povodí

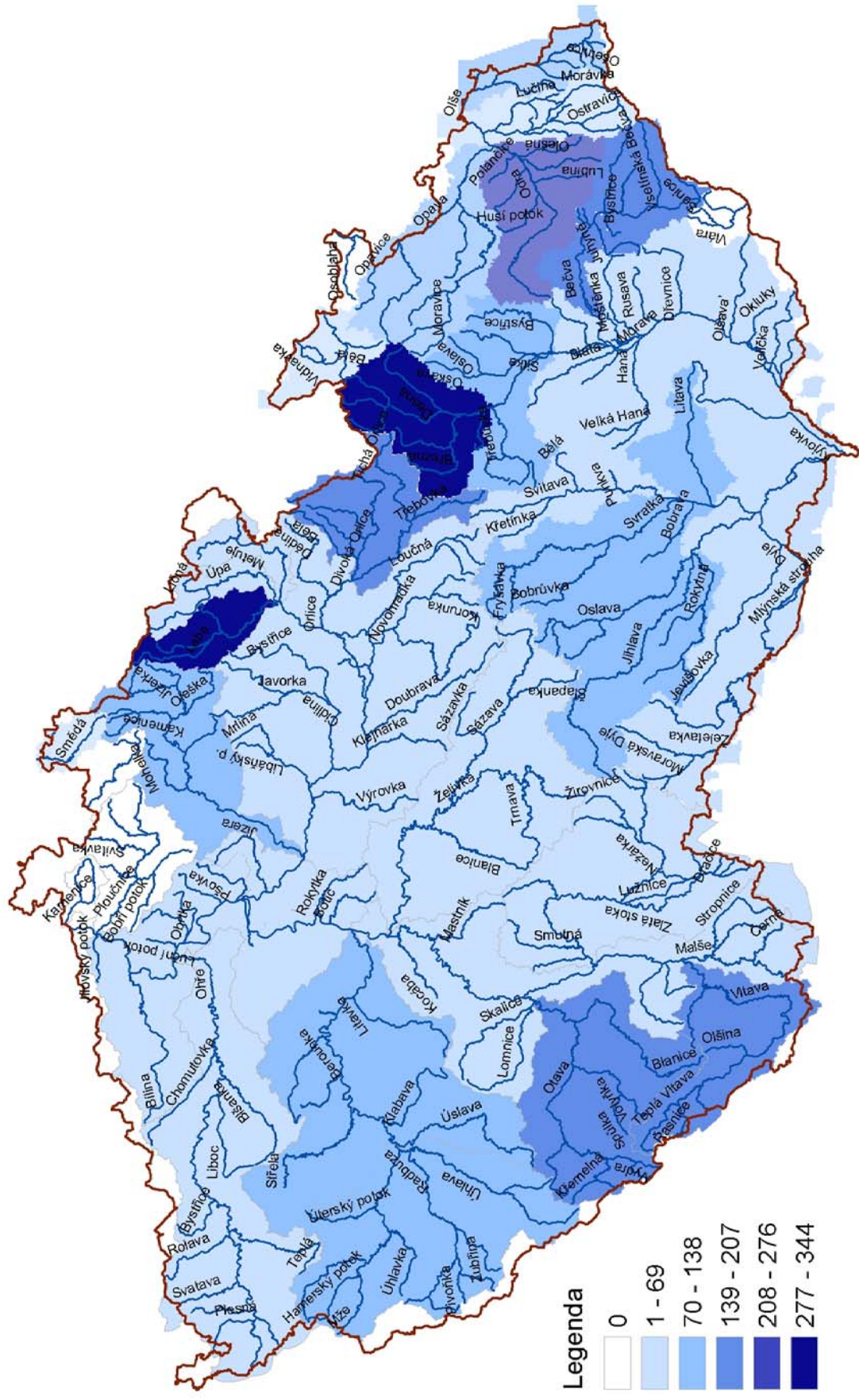
<b>Podnik</b>	<b>objem [mil. m<sup>3</sup>]</b>
Povodí Labe s. p.	1043
Povodí Vltavy s. p.	2169
Povodí Ohře s. p.	350
Povodí Odry s. p.	797
Povodí Moravy s. p.	1855
<b>Celkem</b>	<b>6214</b>



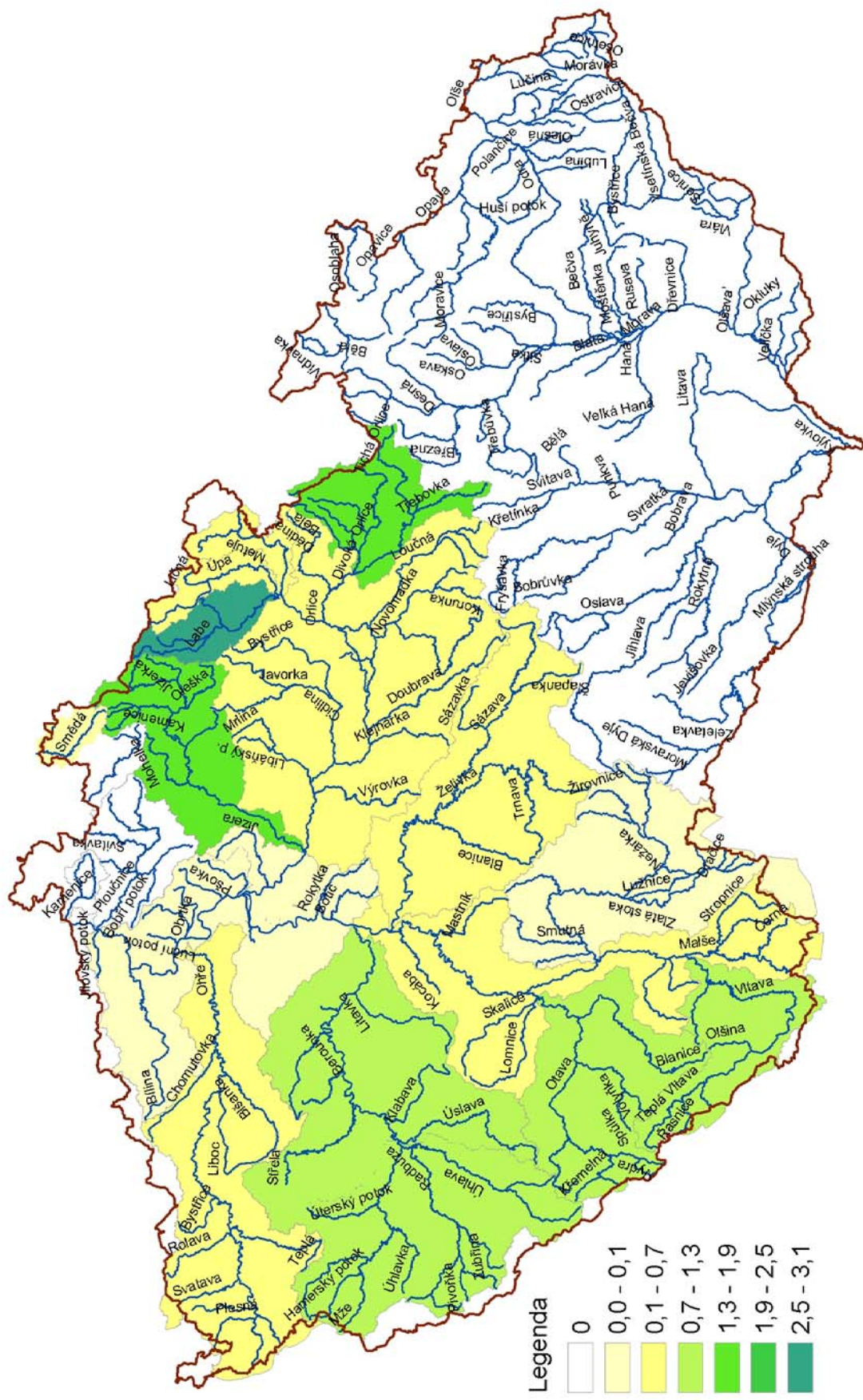


Obr. 6 Největší možné chybějící množství vody (za celé suché období) v podmínkách klimatické změny (rok 2050) [mm neboli tis. m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>]





Obr. 7 Výhledové plánované objemy nádrží v jednotlivých povodích [mm neboli tis. m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>]



Obr. 8 Poměr mezi objemem plánovaných nádrží a chybějícím objemem vody v podmínkách klimatické změny (výsledky pro moravská povodí nezobrazeny)



## 9 Závěr

V celkovém součtu pro povodí Labe odhad zásobních objemů potřebných na částečnou kompenzaci poklesu odtoku vlivem klimatické změny sice řádově odpovídá objemům plánovaných nádrží, je však téměř dvakrát větší, takže ani všechny nádrže by pro kompenzaci nestačily.

Objem potřebný pro kompenzaci poklesu odtoku: 6584 mil. m<sup>3</sup>

Objem plánovaných nádrží: 3540 mil. m<sup>3</sup>

Pro povodí Moravy a Odry jsou výsledky výpočtů objemů potřebných pro kompenzaci méně reprezentativní vzhledem k nedostatečné délce použitých vstupních časových řad (20 let). Předpokládáme, že při použití delších řad bychom došli k větším objemům potřebných na částečnou kompenzaci poklesu odtoku.

Objem potřebný pro kompenzaci poklesu odtoku: (1249 mil. m<sup>3</sup>)

Objem plánovaných nádrží: 2674 mil. m<sup>3</sup>

Při orientačním odhadu cca dvojnásobně většího objemu potřebného na částečnou kompenzaci poklesu odtoku (analogie podle výsledků z povodí Labe) dospějeme k závěru, že pro částečnou kompenzaci dopadu klimatické změny by bylo třeba využít všech uvažovaných objemů nádrží.

## Literatura

Kalvová, J., Kašpárek, L., Janouš, D., Žalud, Z., Kazmarová, H. a kol. (2002): Scénáře změny klimatu na území České republiky a odhady dopadů klimatické změny na hydrologický režim, sektor zemědělství, sektor lesního hospodářství a na lidské zdraví v ČR. Národní klimatický program ČR, publ. č. 32, Praha, 141 s.

Kašpárek, L. a kol. (2003): Vliv klimatických změn na množství a kvalitu vodních zdrojů a na hydrologické poměry v ČR. Závěrečná zpráva úkolu VaV/650/3/02. VÚV T.G.M., Praha, 192 s.

Výzkumný ústav vodohospodářský (1988): Směrný vodohospodářský plán ČSR - publikace č. 34 Vodní nádrže. Ministerstvo lesního a vodního hospodářství a dřevozpracujícího průmyslu ČSR, Praha.

## **Část B**

### **Zpracování standardního vodohospodářského řešení pro tři vybraná povodí: Nechranice, Želivka, Římov**

**Objem nádrže potřebný pro zajištění nároků na odběry a  
zachování ekologických průtoků v případě klimatické změny**

**Prof. Ing. Zdeněk Kos, DrSc.**

# 1. ÚVOD

## 1.1. Zaměření a cíle úkolu

Problematika zabezpečení dostatečných vodních zdrojů při klimatické změně vyžaduje posouzení nutnosti akumulace vody v nádržních prostorech za těchto změněných podmínek.

Ze zpráv o klimatické změně IPCC [1] vyplývá nutnost se na změnu klimatu připravit. Proto zadalo MZe ČR úkol, v jehož rámci byla vypracována tato studie. Studie je zaměřena na určení nádržních prostorů za klimatické změny vodohospodářskými prostředky a její dopad na nalepšovací účinky vybraných nádrží. Jsou uvažovány tři nádrže různého typu v hydrologicky rozdílných povodích a to: Římov na Malši, Švihov na Želivce a Nechanice na Ohři. Výsledky slouží pro porovnání tohoto standardního vodohospodářského řešení nádrží se způsobem použitým zadavatelem pro řadu profilů v ČR. Pro potřeby této studie se tento způsob označuje jako hydrologické určení objemu potřebného k vyrovnání průtoků při klimatické změně na průtoky za současných klimatických podmínek, to pro průtoky nižší než je daný limitní průtok (zkráceně hydrologický odhad objemu).

### 1.1.1. Přehled použitých scénářů klimatické změny

V současné době jsou dostupné scénáře z roku 2000 zkonstruované na MFF UK v rámci prací Národního klimatického programu ČR. Jako nejvhodnější byly vybrány dva modely globální cirkulace: HadCM2 a ECHAM4. Jako scénář emisí byl použit SRESA2 jako pesimistická varianta a SRESB1 jako optimistická varianta vývoje koncentrací CO<sub>2</sub>. Pro teplotní citlivosti byly zvoleny hodnoty 1,5 °C (nízká citlivost) a 4,5 °C (vysoká citlivost). Přehled scénářů je uveden v Tabulce 1.

Tabulka 1 Přehled scénářů klimatické změny

zkrácené označení	model GCM	scénář emisí	klimatická citlivost
EC1L	ECHAM4	SRESB1	Malá
EC1H	ECHAM4	SRESB1	Velká
EC2L	ECHAM4	SRESA2	Malá
<b>EC2H</b>	<b>ECHAM4</b>	<b>SRESA2</b>	<b>Velká</b>
Ha1L	HadCM2	SRESB1	Malá
Ha1H	HadCM2	SRESB1	Velká
Ha2L	HadCM2	SRESA2	Malá
Ha2H	HadCM2	SRESA2	Velká

Na základě zkušeností z prací Národního klimatického programu ČR byly pro zkoumání vlivu klimatické změny na vodní zdroje v řadě studií použity scénáře EC1L a EC2H, které vymezují rozmezí s nejpříznivějšími a nejméně příznivými kombinacemi scénářů emisí a klimatické citlivosti pro model ECHAM4. Pro potřeby této studie byl použit nejpříznivější scénář EC2H. Výsledky podle modelu Ha2H se od výsledků podle modelu ECHAM4 zásadně neliší, vliv rozdílnosti modelů je v porovnání s vlivem scénářů emisí i vlivem klimatické citlivosti nevýznamný.

## 2. METODIKA ŘEŠENÍ

Metodické postupy jsou zaměřeny na porovnání standardního vodohospodářského řešení nádrží se způsobem použitým zadavatelem pro řadu profilů v ČR. Pro potřeby této studie se tento způsob označuje jako hydrologické určení objemu potřebného k vyrovnání průtoků při klimatické změně na průtoky za současných klimatických podmínek, a to pro průtoky nižší než je daný limitní průtok (zkráceně hydrologický odhad objemu). Dále byla metodika zaměřena na určení objemu nádrže potřebného pro zajištění nároků na odběry a zachování ekologických průtoků v případě klimatické změny.

Pro tyto cíle byl sestaven simulační model zásobní funkce nádrže hospodařící do vlastního profilu. Pomocí tohoto modelu byly provedeny výpočty režimových křivek nádrží na základě klimatického scénáře EC2H a na zhodnocení dopadů změny klimatu na vybrané funkce izolovaných nádrží. Pro srovnání s metodou hydrologického odhadu objemu byly vypočteny pro zadané velikosti nalepšení rovného limitnímu průtoku potřebné nádržní objemy.

Pro stanovení režimových křivek za předpokladu klimatické změny byla použita metoda deterministických a stochastických a simulačních modelů ( tj. s přímým využitím řad průtoků a s využitím generace tisíciletých řad generovaných průtoků).

### 2.1. Výběr nádrží

K analýze byly vybrány tři nádrže. Kritériem pro výběr byl různý typ hydrologického povodí, typ nádrže a její vodohospodářská funkce, ale i dostupnost hydrologických podkladů v současných a klimatickou změnou ovlivněných podmínkách.

**Nádrž Římov na Malši** – hlavní účely: klíčový zdroj pitné vody pro jihočeskou aglomeraci; nalepšování průtoků; energetické využití MVE; víceletá nádrž.

**Nádrž Švihov na Želivce** - hlavní účely: klíčový zdroj pitné vody pro zásobování Prahy; výrazně víceletá nádrž;

**Nádrž Nechanice na Ohři** - hlavní účely: zásobování vodou, závlahy, rekreace, energetické využití MVE; sezónní nádrž.

Údaje o nádržích byly převzaty z příslušných manipulačních řádů a dalších publikací [12, 13, 14]. Je však třeba mít na zřeteli, že uváděné nároky na nádrže nejsou konstantní a v realitě se mění se změnou přírodních podmínek a se sociálně-ekonomickým vývojem společnosti.

### 2.2. Hydrologické podklady

#### 2.2.1. Hydrologické charakteristiky povodí nádrží

Jednotlivá povodí nádrží byla charakterizována základními geografickými, orografickými, klimatickými, hydrologickými a hydrogeologickými údaji, které byly předány zadavatelem.

### **Povodí nádrže Římov na Malši**

Řeka Malše pramení v Novohradských horách, jejichž vrcholky jen mírně překračují výšku 1000 m n. mořem. Průměrná srážka na povodí je 740 mm/rok, průměrná potenciální evapotranspirace 497 mm/rok, průměrná výška odtoku 270 mm. Roční průběh srážek je poněkud odlišný od průběhu typického pro ČR, více srážek vypadne v jarních měsících. Novohradské hory jsou tvořeny zejména vyvřelinami, akumulace podzemních vod se uskutečňuje jen ve zvětralínovém, značně mocném pokryvu. Odtok je poměrně rozkolísaný což charakterizuje koeficient variace denních průtoků 1,22

### **Povodí nádrže Švihov na Želivce**

Povodí Želivky nad nádrží Švihov leží v západní části Českomoravské vrchoviny, maximální nadmořská výška cca 700 m n. mořem. Tomu odpovídá průměrná roční srážka 675 mm, která jen o 100 mm převyšuje potenciální evapotranspiraci. Průměrná odtoková výška je 185 mm. Povodí je tvořeno krystalinickými horninami, ve kterých se nevytváří podstatné zásoby podzemní vody, takže i rozkolísanost denních průtoků je střední (koeficient variace 1,2 ).

### **Povodí nádrže Nechranice na Ohři**

Povodí Ohře po nádrži Nechranice je v měřících ČR již dosti velké. Ohře přivádí vodu dílem z Německa (Smrčiny), dílem ze Slavkovského lesa, z největší části z Krušných hor. Odvodňuje však jejich závětrnou stranu, na které jsou srážky zřetelně menší, než na návětrné straně v Německu. Průměrná srážka na povodí je blízká hodnotě 700 mm/rok,, průměrná potenciální evapotranspirace je 575 mm/rok, průměrná výška odtoku cca 240 mm/rok. V povodí se vyskytují zejména krystalinické horniny s puklinovou propustností, akumulace podzemních vod není příliš významná. V obdobích sucha i odtok z horských toků klesá do velmi malých hodnot. Vlastní tok Ohře vzhledem k velikosti povodí má rozkolísanost střední, koeficient variace denních průtoků blízký hodnotě 1.

#### **2.2.2. Základní hydrologické časové řady**

Základní vstupní časovou řadou je pozorovaná řada průměrných měsíčních odtokových výšek v odpovídajícím vodoměrném profilu předaná zadavatelem. Za předpokladu stejných odtokových výšek v tomto profilu a profilu nádrže byla přenásobením plochou povodí nádrže vytvořena základní řada průměrných měsíčních průtoků pro profil nádrže, dále označovaná jako "reálná" řada SKP. Výjimkou je nádrž Římov, kde byl volen odlišný postup ( viz.dále).

Hydrologické řady pro podmínky ovlivněné klimatickou změnou podle scénáře EC2H byly modelovány hydrologickým modelem SIMBA. Příslušné řady jsou označovány jako R2H pro nádrž Římov, S2H pro nádrž Švihov a N2H pro nádrž Nechranice.

#### **2.2.3. Lineární regresní model**

Pro zjištění zabezpečení řešení při klimatické změně byly úlohy řešeny stochasticky s využitím 1000-letých syntetických řad průměrných měsíčních průtoků. Změněné hydrologické podmínky byly modelovány obvyklou metodou lineárního regresního modelu, přičemž výchozí řadou byla řada průměrných měsíčních průtoků v přehradním profilu. Přitom výchozí řady měsíčních průtoků v přehradním profilu

byly vypočteny z řad odtokových výšek namodelovaných hydrologickým modelem SIMBA na základě scénáře EC2H.

Pro potřeby této studie byly zkoumány funkce izolovaných nádrží nalepšujících na nalepšený průtok do vlastního profilu. Základní posouzení bylo provedeno simulačním výpočtem, který používá přímo časové řady v příslušných profilech (deterministický simulační model). Pro odhad zabezpečení funkce nádrží při klimatické změně byl použit stochastický simulační model, který uvažuje náhodnost hydrologických vstupů. Výsledkem výpočtů jsou výsledky v podobě režimových křivek nádrže poskytujících potřebné informace o vztazích mezi celkovým nalepšením  $Q_n$ , velikostí zásobního objemu  $A_z$  a zabezpečení podle trvání  $P_t$ . Režimové křivky byly vyjádřeny ve formě.  $A_z = f(Q_n; P_t)$ .

Úloha byla řešena v generovaných 1000 letých řadách průměrných měsíčních průtoků pro klimatickou změnu ovlivněné podmínky. V stochastických hydrologických podmínkách není výstupem jedné varianty řešení pouze jedna režimová křivka, ale svazek křivek odpovídající řešení ve větším počtu syntetických řad, což umožňuje intervalový odhad hodnot  $Q_n$ ,  $A_z$  a  $P_t$ . V předkládané studii byly režimové křivky počítány z 5 syntetických řad průměrných měsíčních průtoků a to pro klimatickou změnu ovlivněné podmínky. Vzhledem k velkému počtu výstupů byly používány pro vodohospodářské řešení jedna nebo dvě režimové křivky, které charakterizují možné výsledky.

### 2.3. Ukazatelé zabezpečení

Konkrétní využití nádrží je ve většině případů kombinací více účelů a stanovení návrhové zabezpečení je otázkou individuálních rozborů jednotlivých vodních děl. V optimálním případě by návrhové zabezpečení měly být výsledkem ekonomických rozborů důsledků omezení dodávky vody za poruchy. Vzhledem k obtížím, které však u některých účelů a jejich kombinací vznikají při finančním vyjadřování ztrát jsou v praxi často používány doporučené normativy návrhové zabezpečení.

Tabulka 2 ČSN 736815 Vodohospodářská řešení vodních nádrží  
Normativy návrhové zabezpečení dodávky vody pro různé účely

Účel nádrže	Minimální normativní zabezpečení $P_t$ %
Třída A: Vodovody pro více než 150 000 obyvatel, jaderné elektrárny, tepelné elektrárny nad 500 MW, vybrané průmyslové podniky celostátního významu	99,5
Třída B: Vodovody pro 50 000 až 150 000 obyvatel, tepelné elektrárny do 500 MW, průmyslové podniky celostátního významu (mimo podniky v třídě A)	98,5
Třída C: Vodovody pro méně než 50 000 obyvatel, průmyslové podniky oblastního významu, živočišná výroba mimo chov ryb a vodní drůbeže	97,5
Třída D: Vodní elektrárny (zabezpečení se vztahuje k dohodnutému průtoku, který se stanovuje individuálně), plavba, místní průmysl, závlahy, chov ryb a vodní drůbeže, lesnictví, rekreace	95



Uvedené normativy byly v této studii použity jako jeden z parametrů umožňující vzájemné porovnání dopadů klimatické změny na zásobní funkce jednotlivých nádrží. Všechny analyzované nádrže byly uvažovány jako zdroj pro zásobování vodou a pro zajištění minimálního (ekologického) zůstatkového průtoku pod nádrží. Požadované celkové nalepšení  $Q_n$  je tedy součtem odběru a MZP při zvolené návrhové zabezpečení  $P_t = 99,5 \%$ , což odpovídá třídě A v uvedené normě. Kromě těchto účelů, kdy uvedená zabezpečení je srovnávacím ukazatelem pro jednotlivé analyzované nádrže, byly v některých konkrétních případech rámcově posouzeny i jiné účely, jejichž zabezpečení je nižší. Pro tyto případy byla volena zabezpečení  $99,0\%$ .

Pro posouzení vzájemných vztahů mezi celkovým nalepšením nádrže  $Q_n$  a velikostí jejího zásobního objemu  $A_z$  ve stochastických hydrologických podmínkách byly pro výpočty zvoleny variantní hodnoty zabezpečení  $P_t = 99,99\%$ ;  $99,90\%$ ;  $99,5\%$ ;  $99\%$  a  $98\%$ . V tomto případě se tedy nejedná o návrhové parametry, ale o ukazatele umožňující posoudit dopad klimatické změny na zásobní funkci analyzované nádrže.

### 3. POSTUP A VÝSLEDKY ŘEŠENÍ

#### 3.1. Nádrž Římov na Malši

Hlavním účelem nádrže je akumulace vody pro vodárenské využití a zajištění trvalého minimálního (ekologického) průtoku v toku pod přehradou jakož i minimálního průtoku v profilu Roudné při kompenzačním nalepšování. Dále nádrž zajišťuje povodňovou ochranu a energetické využití průtoků v MVE.

V předkládané studii však, v souladu s jejím cílem, nádrž Římov plní pouze zásobní funkci s nalepšováním do vlastního profilu. Reprezentuje zásobní nádrž v hydrologických podmínkách Malše a Novohradských hor (viz výše).

##### 3.1.1. Podklady pro řešení

###### Hydrologické údaje:

Plocha povodí: 488,4 km<sup>2</sup>

Průměrný dlouhodobý průtok  $Q_a = 4,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Základní průtokovou řadou je pozorovaná řada průměrných měsíčních průtoků ve vodoměrném profilu Římov za období 1944-80. Tato řada byla dále prodloužena na období 1944-90 a to následovně:

Řada instrumentálních pozorování ČHMÚ 1944-90 byla podrobena statistické analýze a bylo potvrzeno ovlivnění přirozených průtoků v posledním desetiletí provozem vodárenské nádrže Římov. K rekonstrukci ovlivněné části řady průměrných měsíčních průtoků 1981-90 byly použity odtokové výšky v profilu Kaplice. Lineární regrese za období 1971-1981 prokázala praktickou rovnost odtokových výšek v obou profilech.

Získaná řada průměrných měsíčních průtoků v přehradním profilu Římov, (označená RSKP), představuje výchozí „reálnou“ řadu pro výpočty vodohospodářského řešení.

Na základě vybraných klimatických a emisních scénářů byla ve VÚV TGM pomocí hydrologického modelu SIMBA namodelována 47-letá řada průměrných odtokových výšek ve vodoměrném profilu Římov, která reprezentuje klimatické podmínky popsané scénářem EC2H. Tato řada byla přepočtena na řadu průměrných měsíčních průtoků v přehradním profilu (označená R2H) a použita jako výchozí podklad pro generování syntetických 1000-letých řad průměrných měsíčních průtoků reprezentujících podmínky ovlivněné změnou klimatu. Lineárním regresním modelem bylo vypočteno pět syntetických 1000-letých řad průměrných měsíčních průtoků (označeny GR2H1 až GR2H5), které byly dále použity pro výpočet režimových křivek a stanovení důsledků změny klimatu na vodohospodářskou funkci nádrže. Pro vodohospodářské řešení z nich byla vybrána nejnepříznivější řada GR2H4.

###### Parametry nádrže :

Údaje jsou uvedeny podle manipulačního řádu, vydaného v roce 1994

Objem stálý  $A_s = 2,069 \text{ mil. m}^3$

zásobní  $A_z = 30,016 \text{ mil. m}^3$

ochranný ovladatelný  $A_{ro} = 1,551 \text{ mil. m}^3$

celkový ovladatelný  $A_{co} = 33,636 \text{ mil. m}^3$

celkový prostor  $A_c = 33,805 \text{ mil. m}^3$

Kóta dna: 427,50 m n.m.

stálého nadržení: 442,50 m n.m.

zásobního prostoru: 470,65 m n.m.

ochranného ovladatelného prostoru: 471,40 m n.m.

celkového prostoru: 471,48 m n.m.

Průměrný zabezpečený odběr pro úpravnu vody:  $1,708 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Zajištění trvalého minimálního průtoku :  $0,650 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Pro výpočty poskytla společnost Vodní díla – TBD, a.s. charakteristiku nádrže v elektronické formě, z níž vyplývají pro dané hladiny v nádrži dále uvedené hodnoty objemů  $A_s$  a  $A_z$ , které byly použity při řešení, stejně jako ve studii [2]:

Objem stálý  $A_s = 2,28 \text{ mil. m}^3$ , objem zásobní  $A_z = 30,12 \text{ mil. m}^3$

### Limitní průtok hydrologického odhadu objemu

Pro srovnání standardního vodohospodářského řešení s metodou hydrologického odhadu objemu byly zadavatelem předány hodnoty limitního průtoku. Pro nádrž Římov tato hodnota činila  $Q(\text{RHYDR}) = 2,58 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Hydrologický odhad objemu činil  $A_z(\text{RHYDR}) = 74 \text{ mil. m}^3$ .

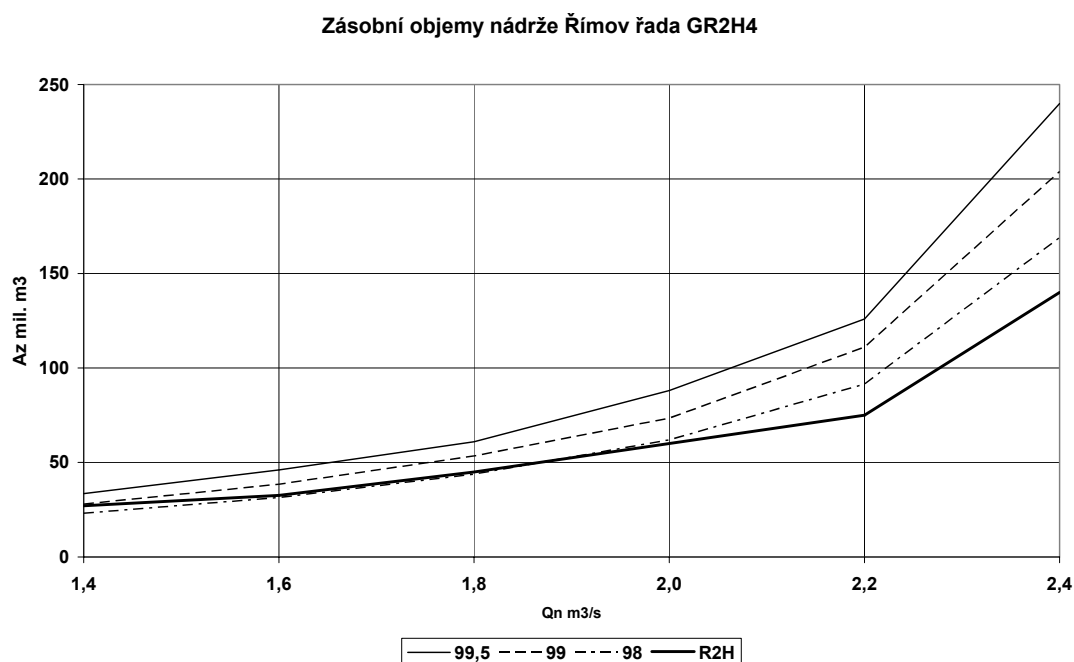
#### 3.1.2. Režimové křivky

Režimové vztahy mezi objemem nádrže  $A_z$ , konstantním nalepšením  $Q_n$  a zabezpečeností  $P_t$  byly počítány pro syntetickou řadu GR2H4 průměrných měsíčních průtoků pro klimatické podmínky popsané scénářem EC2H. Jejich číselné hodnoty a grafická vyjádření jsou uvedena v tabulce 3 a v obrázku 1.

Tabulka 3 Zásobní objemy nádrže Římov při scénáři EC2H  
Řada GR2H4 a řada R2H

$Q_n(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	Řada GR2H4			R2H
$P_t(\%)$	99,5	99,0	98,0	
1,4	33,5	28,0	23,2	27,1
1,6	46,0	38,5	31,5	32,6
1,8	61,0	53,5	43,8	45
2,0	88,0	73,5	62,0	60
2,2	126,0	111,0	91,5	75
2,4	240,0	204,0	169,0	102

Obrázek 1 Zásobní objemy nádrže Římov při scénáři EC2H, řada GR2H1 a řada R2H



Tabulka 3 a obrázek 1 uvádějí vztahy mezi konstantním nalepšením  $Q_n$ , zásobním objemem  $A_z$  a zabezpečeností podle trvání  $P_t$ ,  $A_z = f(P_t; Q_n)$  vypočtené ze výše uvedené vybrané syntetické řady GR2H4. Pro srovnání jsou zobrazeny i režimové křivky vypočtené a z 47-leté průtokové řady R2H modelované pro změněné klimatické podmínky hydrologickým modelem SIMBA. Tabulka a obrázek umožňují posoudit citlivost zásobního objemu  $A_z$  na zabezpečení  $P_t$  a na změny parametru  $Q_n$ . Zabezpečení  $P_t$  byla volena v hodnotách 99,50%, 99% a 98% .

### 3.1.3. Vodohospodářské řešení a hydrologický odhad objemu.

Vodohospodářské řešení nádrže Římov na Malši bylo provedeno pro nalepšení průtoků  $Q_n = Q(\text{RHYDR}) = 2,58 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  v souladu s hodnotou použitou zadavatelem pro hydrologický odhad objemu. Řešení bylo provedeno nejdříve deterministickým simulačním modelem pro současné klimatické podmínky ( řada RSKP Římov, současné klimatické podmínky) a pro klimatický scénář EC2H (řada R2H). Z tohoto řešení vplynuly potřebné objemy nádržních zásobních prostorů pro současné klimatické podmínky  $A_z(\text{RSKP}) = 35,34 \text{ mil. m}^3$  a pro změněné klimatické podmínky při scénáři EC2H, tj.  $A_z(\text{R2H}) = 278 \text{ mil. m}^3$ . Potřebný objem odvozený metodou používanou zadavatelem (hydrologický odhad objemu) činil  $A_z(\text{RHYDR}) = 74 \text{ mil. m}^3$ . Rozdíl mezi oběma výsledky je třeba vysvětlit.

Odečtením  $A_z(\text{R2H}) - A_z(\text{RSKP}) = 278 - 35 = 243 \text{ mil. m}^3$  se výsledek nepřiblíží dostatečně hodnotě  $A_z(\text{RHYDR})$ . Je tedy třeba problém analyzovat podrobněji. Řešit nádrž pro konstantní nalepšení  $Q_n = 2,58 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  za klimatické změny vlastně není možné, protože  $Q_n = 2,58 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  je větší než dlouhodobý průměrný průtok za klimatické změny  $Q_a(\text{R2H}) = 2,48 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  .

Standardní vodohospodářské řešení nalepšuje průtoky na uvažovanou hodnotu  $Q_n = 2,58 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  v každém měsíci zkoumaného období. Metoda hydrologického odhadu objemu tak činí jen tehdy, když je současný průtok vyšší než hodnota  $Q_n =$

Q(HYDR). Pokud je tato hodnota současného průtoku nižší než  $Q_n$ , pak vlastně nalepšuje pouze na tuto hodnotu. Bylo tedy provedeno standardní vodohospodářské řešení na proměnné nalepšení, které se rovná  $Q_p = \min(2,58; Q_i)$ , kde  $Q_i$  je průtok z řady RSKP pro právě zpracovávaný měsíc  $i$ . Z tohoto řešení vyplynula hodnota  $A_z(\text{red}) = 135 \text{ mil. m}^3$ . Tato hodnota je již bližší hodnotě  $A_z(\text{RHYDR})$ , ale stále je mezi nimi značná diference. V dalším byl hledán důvod této diference.

Metoda hydrologického odhadu objemu vlastně určuje deficit mezi průtoky při klimatické změně a průtoky při současných klimatických podmínkách za kritické období. Ve standardním vodohospodářském modelu to odpovídá prázdnění nádrže. V standardním vodohospodářské řešení nádrže je však třeba zabezpečit také plnění nádrže a to vede k vyšším nárokům na nádržní objemy.

#### **3.1.4. Vodohospodářské řešení nádrže pro zajištění nároků na odběry a zachování ekologických průtoků v případě klimatické změny.**

Pro vodohospodářské řešení nádrže Římov byly vybrány dvě hodnoty celkového nalepšení, které zhruba odpovídají uváděným nárokům na vodárenské zásobování a zajištění minimálního zůstatkového průtoku z nádrže Římov. Jedná se o nalepšení  $Q_n = 2,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , odpovídající údají Povodí Vltavy, [9] a celkové nalepšení  $Q_n = 2,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  odpovídající hodnotě požadované manipulačním řádem nádrže Římov. Pro tyto hodnoty celkového nalepšení byly dále určeny zabezpečení  $P_t$  a porovnány pro různé klimatické podmínky a velikosti zásobního prostoru nádrže.

Celkové nalepšení  $Q_n = 2,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  v současných klimatických podmínkách a při  $A_z = 30,12 \text{ mil. m}^3$  lze zajistit se zabezpečeností podle trvání  $P_t$ , která přesahuje významně požadovanou hodnotu 99,5%. Významný dopad na zásobování vodou má však klimatická změna podle scénáře EC2H, kdy uvažované nalepšení nelze zajistit vůbec s uspokojivou zabezpečeností ( $P_t \sim 84\%$ ).

Celkové nalepšení  $Q_n = 2,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  lze v současných klimatických podmínkách a při  $A_z = 30,12 \text{ mil. m}^3$  zajistit se zabezpečeností podle trvání  $P_t$ , která také přesahuje hodnotu 99,5%. Za klimatické změny podle scénáře EC2H lze dosáhnout daného nalepšení pouze se zabezpečeností hluboko pod hodnotou normativní ( $P_t \sim 77\%$ ). Za klimatické změny tedy nelze dodržet požadovanou zabezpečenost  $P_t = 99,5\%$ . Hodnota požadovaného nalepšení je problematická, protože požadované nalepšení  $Q_n = 2,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  se již blíží dlouhodobému průměrnému průtoku při klimatické změně  $Q_a(\text{R2H}) = 2,48 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

Vodárenský účel nádrže Římov nelze tedy za klimatické změny s dostatečnou zabezpečeností splnit. Pro tento cíl by bylo nutné zvýšit zásobní objem nádrže Římov na  $126 \text{ mil. m}^3$  (pro  $Q_n = 2,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) resp.  $240 \text{ mil. m}^3$  (pro  $Q_n = 2,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ). Tento požadavek je nereálný a proto by bylo třeba pro zásobení obyvatel pitnou vodou nutné hledat nový zdroj vody o vydatnosti  $0,8$  až  $1,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , protože nádrž Římov může za klimatické změny se současným zásobním objemem zajistit s dostatečnou zabezpečeností pouze nalepšení  $Q_n = 1,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

#### **3.1.5. Závěry vodohospodářského řešení**

Srovnání standardního vodohospodářského řešení nádrže Římov na Malši a metody hydrologického odhadu objemu vede k závěru, že je toto srovnání vhodné pouze pro

shodně stanovené podmínky nalepšování průtoků. Pro skutečné vodohospodářské řešení vodárenské nádrže dostáváme rozdílné hodnoty odpovídající různým vstupním podmínkám. Prokazuje se však jasně nutnost dalších akumulací vody v rozsahu asi 100 mil. m<sup>3</sup> nebo jiné řešení pro zajištění požadavků na vodárenské odběry za klimatické změny.

### **3.2. Nádrž Švihov na Želivce**

Účelem nádrže je akumulace vody pro zásobování Prahy pitnou vodou a zajištění trvalého minimálního (ekologického) průtoku v toku pod přehradou. Rovněž v předkládané studii, v souladu s jejím cílem, plní nádrž Švihov tyto funkce a reprezentuje víceletou zásobní nádrž v hydrologických podmínkách Želivky v západní části Českomoravské vrchoviny .

#### **3.2.1. Podklady pro řešení**

##### **Hydrologické údaje:**

Údaje jsou uvedeny podle materiálů Povodí Vltavy

Plocha povodí: 1178,29 km<sup>2</sup>

Průměrný dlouhodobý průtok  $Q_a = 6,93 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Základní vstupní časovou řadou je pozorovaná řada průměrných měsíčních odtokových výšek za období 1961–1990 ve vodoměrném profilu Soutice, předaná zadavatelem. Za předpokladu stejných odtokových výšek v profilu Soutice a profilu nádrže Švihov byla přenásobením plochou povodí nádrže Švihov vytvořena základní řada průměrných měsíčních průtoků pro nádrž Švihov.

Na základě vybraného klimatického a emisního scénáře byla ve VÚV TGM pomocí hydrologického modelu SIMBA namodelována 30-letá řada průměrných měsíčních odtokových výšek v profilu Soutice, která reprezentuje klimatické podmínky popsané scénářem EC2H. Tato řada byla přepočtena na řadu průměrných měsíčních průtoků v přehradním profilu. Z ní bylo lineárním regresním modelem vypočteno pět syntetických 1000-letých řadách průměrných měsíčních průtoků (označeny GS2H1 až GS2H5), které byly dále použity pro výpočet režimových křivek a stanovení důsledků změny klimatu na vodohospodářskou funkci nádrže. Z nich byly pro řešení vybrány nejnejpříznivější řada GS2H1 a řada, která dávala naopak nejpríznivější výsledky GS2H5.

##### **Parametry nádrže :**

Údaje byly použity podle materiálů Povodí Vltavy

Objem stálý  $A_s = 20,584 \text{ mil. m}^3$

zásobní  $A_z = 245,998 \text{ mil. m}^3$  (v této studii v souladu se studií [2] bylo použito  $A_z = 245 \text{ mil. m}^3$ )

ochranný ovladatelný  $A_{ro} = 0$

celkový ovladatelný  $A_{co} = 266,573 \text{ mil. m}^3$

celkový prostor  $A_c = 308,973 \text{ mil. m}^3$

Kóta dna: 323,16 m n.m.

stálého nadržení: 343,10 m n.m.

zásobního prostoru: 377,00 m n.m.

celkového prostoru: 379,80 m n.m.

Zabezpečený odběr pro vodárenské využití:  $5,25 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Minimální zůstatkový průtok :  $0,25 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Průměrný dlouhodobý průtok  $Q_a = 6,93 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Poměrné nalepšení alfa =  $Q_n/Q_a = 5.5/6,93 = 0,8$

### Limitní průtok hydrologického odhadu objemu

Pro srovnání standardního vodohospodářského řešení s metodou hydrologického odhadu objemu byly zadavatelem předány hodnoty limitního průtoku. Pro nádrž Švihov tato hodnota činila  $Q(\text{SHYDR}) = 3,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Hydrologický odhad objemu činil  $A_z(\text{SHYDR}) = 145 \text{ mil. m}^3$ .

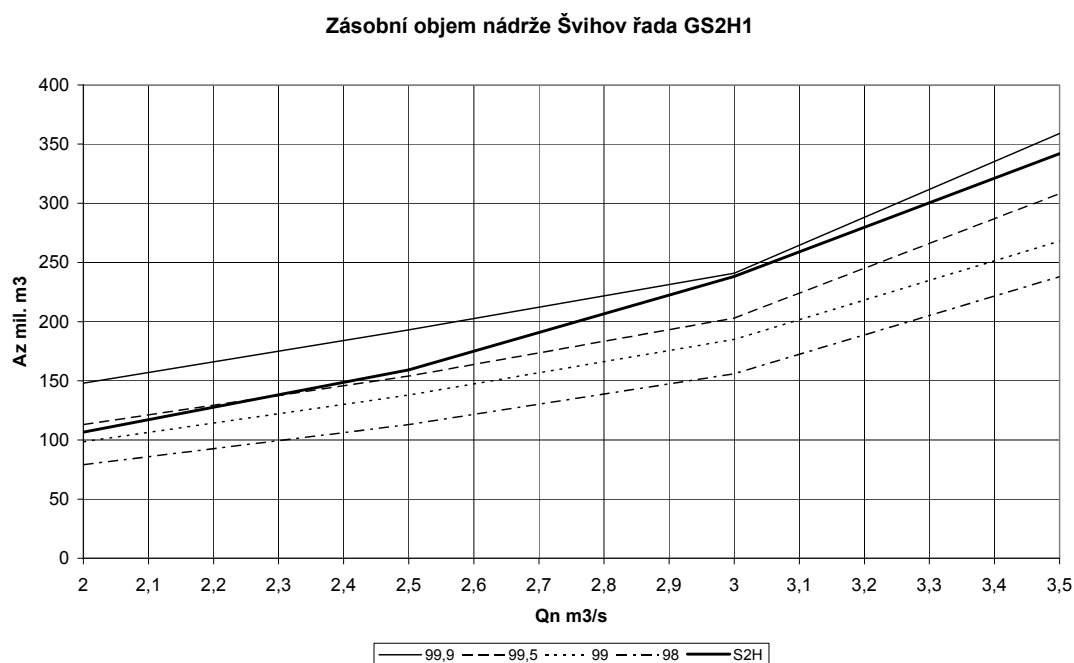
### 3.2.2. Režimové křivky

Režimové vztahy mezi objemem nádrže  $A_z$ , konstantním nalepšením  $Q_n$  a zabezpečeností  $P_t$  byly počítány ve dvou syntetických řadách průměrných měsíčních průtoků pro klimatické podmínky popsané scénářem EC2H. Výsledky jsou uvedeny jednak tabelárně a jednak graficky.

Tabulka 4 Zásobní objemy nádrže Švihov při scénáři EC2H  
Řada GS2H1 a řada S2H

$Q_n(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	Řada GS2H1					S2H
$P_t(\%)$	99,99	99,90	99,50	99,00	98,00	
2,0	189,0	148,0	113,0	98,5	79,0	106,7
2,5	243,0	193,0	154,0	138,0	113,0	159,3
3,0	295,0	241,0	203,0	185,0	156,0	238,1
3,5	383,0	359,0	308,0	268,0	238,0	341,9

Obrázek 2 Zásobní objemy nádrže Švihov při scénáři EC2H, řada GS2H1 a řada S2H

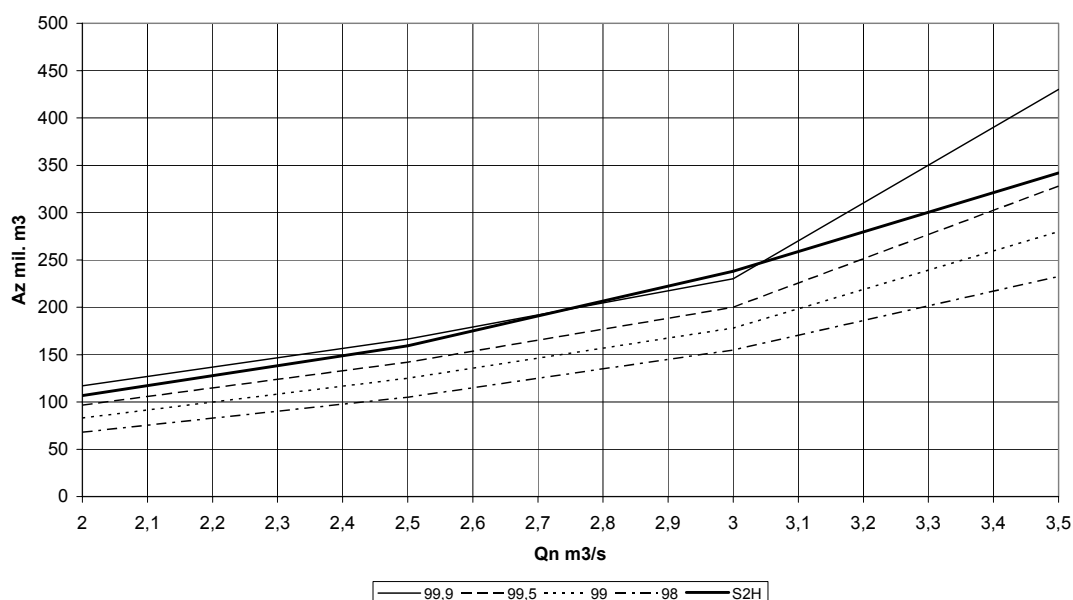


Tabulka 5 Zásobní objemy nádrže Švihov při scénáři EC2H  
Řada GS2H5 a řada S2H

Qn(m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	Řada GS2H5					S2H
Pt(%)	99,99	99,90	99,50	99,00	98,00	
2,0	145,0	117,0	96,8	83,0	68,0	106,7
2,5	182,0	166,5	142,0	125,0	105,0	159,3
3,0	242,0	230,0	200,0	178,0	155,0	238,1
3,5	489,0	430,0	328,0	280,0	232,5	341,9

Obrázek 3 Zásobní objemy nádrže Švihov při scénáři EC2H řada GS2H5 a řada S2H

Zásobní objem nádrže Švihov GS2H5



Tabulky 4 a 5 a obrázky 2 a 3 uvádějí vztahy mezi konstantním nalepšením Qn, zásobním objemem Az a zabezpečeností podle trvání Pt,  $Az = f(Pt; Qn)$  vypočtené ze dvou výše uvedených vybraných syntetických řad Qm. Pro srovnání jsou zobrazeny i režimové křivky vypočtené a z 30-leté průtokové řady S2H modelované pro změněné klimatické podmínky hydrologickým modelem SIMBA. Tabulka a obrázky umožňují posoudit citlivost zásobního objemu Az na zabezpečenosti Pt a na změny parametru Qn. Zabezpečení Pt byla volena v hodnotách v tabulkách 99,99%, 99,90%, 99,50%, 99% a 98% a v obrázcích 99,9%, 99,5%, 99% a 98%.

### 3.2.3. Vodohospodářské řešení a hydrologický odhad objemu.

Vodohospodářské řešení nádrže Švihov na Želivce bylo provedeno pro nalepšení průtoků  $Q_n = Q(\text{SHYDR}) = 3,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  v souladu s hodnotou použitou zadavatelem pro hydrologický odhad objemu. Řešení bylo provedeno nejdříve deterministickým simulačním modelem pro současné klimatické podmínky (řada SSKP Švihov, současné klimatické podmínky) a pro klimatický scénář EC2H (řada S2H). Z tohoto řešení vyplynuly potřebné objemy nádržních zásobních prostorů pro současné



klimatické podmínky  $Az$  (SSKP) = 42 mil.  $m^3$  a pro změněné klimatické podmínky při scénáři EC2H, tj.  $Az(S2H) = 404$  mil.  $m^3$ . Potřebný objem odvozený metodou používanou zadavatelem (hydrologický odhad objemu) činil  $Az(SHYDR) = 145$  mil.  $m^3$  m. Rozdíl mezi oběma výsledky je třeba vysvětlit.

Odečtením  $Az(S2H) - Az(SSKP) = 404 - 42 = 362$  mil.  $m^3$  se výsledek nepřiblíží dostatečně hodnotě  $Az(SHYDR)$ . Je tedy třeba problém analyzovat podrobněji. Standardní vodohospodářské řešení zlepšuje průtoky na uvažovanou hodnotu  $Q_n = 3,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  vždy. Metoda hydrologického odhadu objemu tak činí jen tehdy, když je současný průtok vyšší než hodnota  $Q_n$ . Pokud je tato hodnota současného průtoku nižší než  $Q_n$ , pak vlastně zlepšuje pouze na tuto hodnotu. Bylo tedy provedeno standardní vodohospodářské řešení na proměnné zlepšení, které se rovná  $Q_p = \min(3,8; Q_i)$ , kde  $Q_i$  je průtok z řady SSKP pro právě zpracovávaný měsíc  $i$ . Z tohoto řešení vyplynula hodnota  $Az(\text{red}) = 249$  mil.  $m^3$  m. Tato hodnota je již bližší hodnotě  $Az(SHYDR)$ , ale stále je mezi nimi značná diference. V dalším byl hledán důvod této diference.

Metoda hydrologického odhadu objemu vlastně určuje deficit mezi průtoky při klimatické změně a průtoky při současných klimatických podmínkách za kritické období. Ve standardním vodohospodářském modelu to odpovídá prázdnění nádrže. V standardním vodohospodářské řešení nádrže je však třeba zabezpečit také plnění nádrže a to vede k vyšším nárokům na nádržní objemy.

Další podrobná analýza vedla k vyhledání kritického období, které určuje potřebný objem v při hydrologickém odhadu objemu a porovnání hospodaření nádrží v témže období. Toto období je mezi roky 1972 a 1974. Na počátku tohoto období však nádrž při simulaci není zcela naplněna a má obsah jen  $V_{1i} = 236$  mil.  $m^3$  při řešení uvažující  $Q_n = 3,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  a obsah  $V_{2i} = 166$  mil.  $m^3$ , při řešení uvažujícím  $Q_p = \min(3,8; Q_i)$ . Tento poslední údaj  $V_{2i}$  už velmi dobře koresponduje s objemem  $Az(SHYDR)$  a poskytuje se tak vysvětlení diference mezi hodnotami odvozenými různými metodami.

### **3.2.4. Vodohospodářské řešení nádrže pro zajištění nároků na odběry a zachování ekologických průtoků v případě klimatické změny.**

Podle současného manipulačního řádu má nádrž Švihov zabezpečovat zlepšení  $Q_n = 5,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , tj. zabezpečený odběr pro vodárenské využití:  $Q_{\text{vod}} = 5,25 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  a minimální zůstatkový průtok MZP =  $0,25 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Zabezpečenost tohoto zlepšení je dostatečná, tj. vyšší než  $P_t = 99,5\%$ . Skutečné využití nádrže se pohybuje mezi maximem v roce 1991, kdy bylo  $Q_n = 4,75 + 0,25 = 5,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  a hodnotou  $Q_n = 3,75 + 0,25 = 4,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  v roce 2001. V současné době využití mírně narůstá.

Při klimatické změně při scénáři EC2H však zabezpečenost zlepšení rapidně klesá a nádrž s objemem  $Az = 245$  mil.  $m^3$  by zlepšení  $Q_n = 5,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  nemohla vůbec zajistit, protože by toto zlepšení bylo vyšší než průměrný průtok při klimatické změně  $Q_a(S2H) = 3,83 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Ani uvažované zlepšení  $Q_n = 3,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  nelze zajistit s dostatečnou zabezpečeností, protože je jen nepatrně nižší než průměrný průtok za klimatické změny. Vzhledem k tomu nelze problém řešit izolovaně dalším nádržním objemem v uvažovaném povodí. Řešení je možné ve vodárenské soustavě zásobení hl. m. Prahy zvýšením využití vodárny Podolí (dnes je využívána jen dva měsíce v roce). Z nádrže Švihov by při klimatickém scénáři EC2H bylo možné dostatečně zabezpečit (tj. na  $P_t = 99,5\%$ ) pouze  $Q_n = 3,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

### 3.2.5. Závěry vodohospodářského řešení

Srovnání standardního vodohospodářského řešení nádrže Švihov na Želivce a metody hydrologického odhadu objemu vede k závěru, že je toto srovnání vhodné pouze pro shodně stanovené podmínky nalepšování průtoků. Pro skutečné vodohospodářské řešení velké vodárenské nádrže s víceletým cyklem plnění a prázdnění dostáváme rozdílné hodnoty odpovídající různým vstupním podmínkám.

### 3.3. Nádrž Nechranice na Ohři

Nádrž Nechranice je v současné době využívána zejména pro hydroenergetiku, zajištění trvalého minimálního průtoku v toku pod přehradou a ochranu před povodněmi. Dále slouží jako zdroj vody pro zásobení průmyslu v oblasti Mostecka a Sokolovska a je počítáno s jejím využitím pro plnění zbytkových jam po těžbě v Severočeské hnědouhelné pánvi. Za klimatické změny se uvažuje o zásobení závlah v rozsahu asi 35000 ha v oblasti Poohří pod přehradou Nechranice.

V předkládané studii plní nádrž Nechranice zásobní funkci s nalepšováním do vlastního profilu. Reprezentuje zásobní nádrž v hydrologických podmínkách již poměrně velkého povodí střední Ohře.

#### 3.3.1. Podklady pro řešení

##### Hydrologické údaje:

Plocha povodí: 3590,3 km<sup>2</sup>

Průměrný dlouhodobý průtok  $Q_a = 30,76 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Základní hydrologickou řadou je pozorovaná řada průměrných měsíčních odtokových výšek v profilu Louny za období 1961-90. Tato řada byla přepočtena na řadu průměrných měsíčních průtoků v přehradním profilu Nechranice (označená NSKP)

Na základě vybraného klimatického a emisního scénáře byly ve VÚV TGM pomocí hydrologického modelu SIMBA namodelována 30-letá řada průměrných měsíčních odtokových výšek v profilu Nechranice, která reprezentuje klimatické podmínky popsané scénářem EC2H. Tato řada byla přepočtena na řadu průměrných měsíčních průtoků v přehradním profilu a použita jako výchozí podklad pro generování syntetických 1000-letých řad průměrných měsíčních průtoků reprezentujících podmínky ovlivněné změnou klimatu. Lineárním regresním modelem bylo vypočteno pět syntetických 1000-letých řad průměrných měsíčních průtoků (označeny GN2H1 až GN2H5), z nich byly dále použity pro výpočet režimových křivek a stanovení důsledků změny klimatu na vodohospodářskou funkci nádrže dvě řady, které poskytovaly nejpříznivější výsledek (řada GN2H2) a nejnepříznivější (řada GN2H3).

##### Parametry nádrže :

Údaje jsou uvedeny podle Manipulačního řádu

Objem stálý  $A_s = 2,65 \text{ mil. m}^3$

zásobní  $A_z = 233,22 \text{ mil. m}^3$

ochranný ovladatelný  $A_{ro} = 36,56 \text{ mil. m}^3$

celkový ovladatelný  $A_{co} = 272,43 \text{ mil. m}^3$

celkový prostor  $A_c = 287,63 \text{ mil. m}^3$   
 Kóta dna: 230 m n.m.  
 stálého nadřzení: 235,4 m n.m.  
 zásobního prostoru: 269 m n.m.  
 ochranného ovladatelného prostoru: 271,9 mn.m.  
 celkového prostoru: 273,05 m n.m.  
 Zabezpečený odběr pro zásobování průmyslu vodou:  $1,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (odběr v čerpací stanici Stranná)  
 Minimální zůstatkový průtok MZP v profilu Nechranice :  $6,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$   
 Minimální zůstatkový průtok MZP v profilu Louny :  $5,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$   
 Nároky na odběry v povodí Ohře a Bíliny podle [16]  
 Zabezpečený odběr pro zásobování průmyslu vodou:  $3,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$   
 Zabezpečený odběr pro obyvatelstva povrchovou vodou:  $1,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$   
 K tomu přistupují výhledové nároky, a to:  
 Nároky na plnění zbytkových jam v povodí Ohře a Bíliny:  $1,5\text{-}3,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$   
 Výhledové nároky pro zabezpečení závlah vodou:  $2,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

### Limitní průtok hydrologického odhadu objemu

Pro srovnání standardního vodohospodářského řešení s metodou hydrologického odhadu objemu byly zadavatelem předány hodnoty limitního průtoku. Pro Ohři v profilu Louny tato hodnota činila  $Q(\text{LHYDR}) = 18,84 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Přepočtem v poměru ploch povodí byla odvozena hodnota pro profil nádrže Nechranice  $Q(\text{NHYDR}) = 13,57 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Hydrologický odhad objemu činil  $A_z(\text{NHYDR}) = 303 \text{ mil. m}^3$ .

### 3.3.2. Režimové křivky

Režimové vztahy mezi objemem nádrže  $A_z$ , konstantním nalepšením  $Q_n$  a zabezpečeností  $P_t$  byly počítány pro dvě syntetické řady průměrných měsíčních průtoků pro klimatické podmínky popsané scénářem EC2H. Výsledky jsou uvedeny jednak tabelárně a jednak graficky.

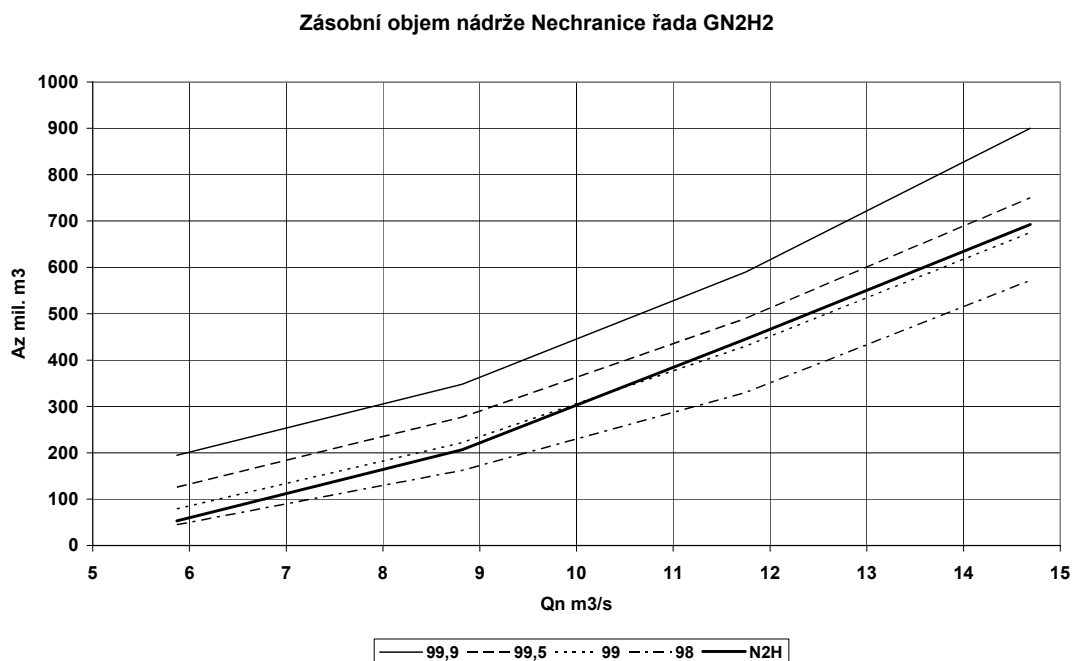
Tabulka 6 Zásobní objemy nádrže Nechranice při scénáři EC2H  
 Řada GN2H2 a řada N2H

$Q_n(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	Řada GN2H2					N2H
	Pt(%)	99,99	99,90	99,50	99,00	
5,87	296,0	195,0	126,0	79,0	44,7	53,1
8,82	488,0	348,0	277,0	222,0	162,0	206,5
11,75	694,0	590,0	490,0	430,0	330,0	445,4
14,69	1025,0	900,0	750,0	675,0	572,0	692,6

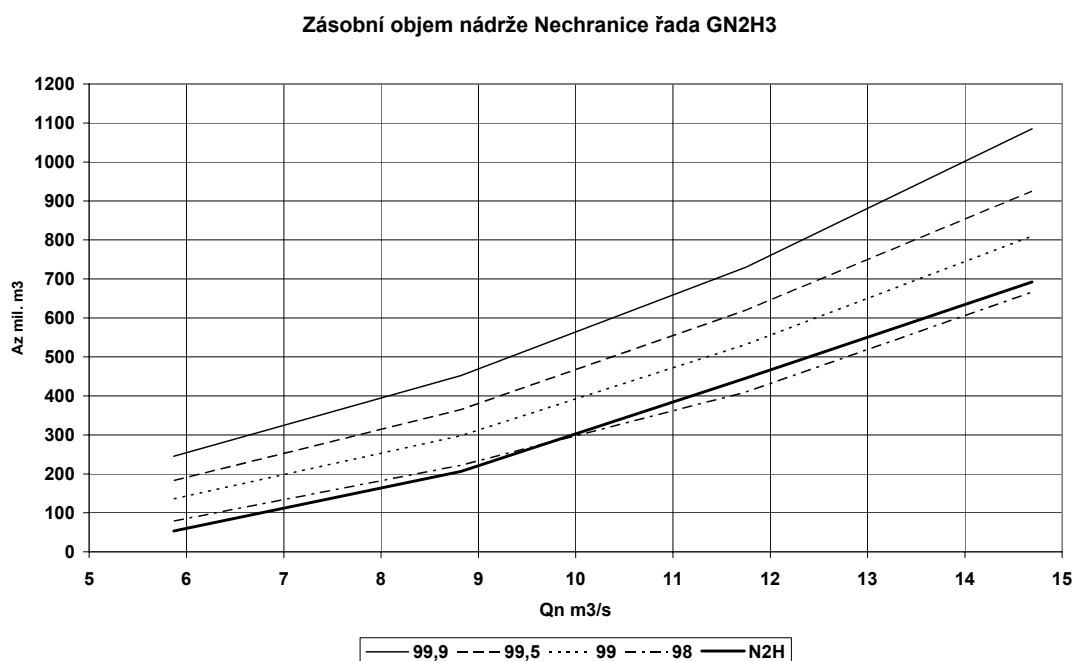
Tabulka 7 Zásobní objemy nádrže Nechranice při scénáři EC2H  
 Řada GN2H3 a řada N2H

$Q_n(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	Řada GN2H3					N2H
	Pt(%)	99,99	99,90	99,50	99,00	
5,87	294,0	245,0	183,0	136,0	79,0	53,1
8,82	514,0	452,0	365,0	298,0	222,0	206,5
11,75	875,0	730,0	620,0	532,0	410,0	445,4
14,69	1268,0	1085,0	925,0	810,0	666,0	692,6

Obrázek 4 Zásobní objemy nádrže Nechranice při scénáři EC2H, řada GN2H2 a řada S2H



Obrázek 5 Zásobní objemy nádrže Nechranice při scénáři EC2H, řada GN2H3 a řada S2H



Tabulky 6 a 7 a obrázky 4 a 5 uvádějí vztahy mezi konstantním nalepšením  $Q_n$ , zásobním objemem  $A_z$  a zabezpečeností podle trvání  $P_t$ ,  $A_z = f(P_t; Q_n)$  vypočtené ze dvou výše uvedených vybraných syntetických řad  $Q_m$ . Pro srovnání jsou zobrazeny i režimové křivky vypočtené a z 30-leté průtokové řady N2H modelované pro změněné klimatické podmínky hydrologickým modelem SIMBA. Tabulky a obrázky umožňují posoudit citlivost zásobního objemu  $A_z$  na zabezpečenosti  $P_t$  a na

změny parametru  $Q_n$ . Zabezpečení  $P_t$  byla volena v hodnotách v tabulkách 99,99%, 99,90%, 99,50%, 99% a 98% a v obrázcích 99,9%, 99,5%, 99% a 98%.

### **3.3.3. Vodohospodářské řešení a hydrologický odhad objemu.**

Vodohospodářské řešení nádrže Nechranice na Ohři bylo provedeno pro nalepšení průtoků  $Q_n = 13,57 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  v souladu s hodnotou použitou zadavatelem pro hydrologický odhad objemu. Řešení bylo provedeno nejdříve deterministickým simulačním modelem pro současné klimatické podmínky (řada NSKP Nechranice, současné klimatické podmínky) a pro klimatický scénář EC2H (řada N2H). Z tohoto řešení vyplynuly potřebné objemy nádržních zásobních prostorů pro současné klimatické podmínky  $A_z(\text{NSKP}) = 270 \text{ mil. m}^3$  a pro změněné klimatické podmínky při scénáři EC2H, tj.  $A_z(\text{N2H}) = 598 \text{ mil. m}^3$ . Potřebný objem odvozený metodou používanou zadavatelem (hydrologický odhad objemu) činil  $A_z(\text{NHYDR}) = 303 \text{ mil. m}^3$ . Rozdíl mezi oběma výsledky je třeba vysvětlit.

Odečtením  $A_z(\text{N2H}) - A_z(\text{NSKP}) = 598 - 270 = 328 \text{ mil. m}^3$  se získá výsledek, který se přiblížil k hodnotě  $A_z(\text{NHYDR})$ . Pro vysvětlení důvodů, proč se hodnota  $A_z(\text{N2H})$  výrazně liší od hodnoty  $A_z(\text{NHYDR})$  je třeba problém analyzovat podrobněji.

Standardní vodohospodářské řešení nalepšuje průtoky na uvažovanou hodnotu  $Q_n = 13,57 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  vždy. Metoda hydrologického odhadu objemu tak činí jen tehdy, když je současný průtok vyšší než hodnota  $Q_n = 13,57 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Pokud je tato hodnota současného průtoku nižší než  $Q_n$ , pak vlastně nalepšuje pouze na tuto hodnotu. Bylo tedy provedeno standardní vodohospodářské řešení na proměnné nalepšení, které se rovná  $Q_p = \min(13,57; Q_i)$ , kde  $Q_i$  je průtok z řady NSKP pro právě zpracovávaný měsíc  $i$ . Z tohoto řešení vyplynula hodnota  $A_z(\text{red}) = 332 \text{ mil. m}^3$ . Tato hodnota odpovídá hodnotě  $A_z(\text{NHYDR}) = 303 \text{ mil. m}^3$ .

### **3.3.4. Vodohospodářské řešení nádrže pro zajištění nároků na odběry a zachování ekologických průtoků v případě klimatické změny.**

Podle bilance současných nároků (viz [16]) činí jejich celkový součet, který má nádrž Nechranice zabezpečovat nalepšení  $Q_n = 11,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , tj. zabezpečený odběr pro vodárenské využití:  $Q_{\text{vod}} = 1,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (součet nároků na odběry povrchové vody pro vodárenské účely v povodí nad Nechanicemi) odběry pro průmysl  $Q_{\text{prum}} = 3,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  a minimální zůstatkový průtok v Nechranicích  $MZP = 6,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Zabezpečení tohoto nalepšení současným objemem nádrže Nechranice  $A_z = 233,22 \text{ mil. m}^3$  je dostatečná, tj.  $P_t = 99,5 \%$ .

Výhledově se uvažuje vzrůst těchto nároků o průtok pro plnění zbytkových jam ve výši do  $Q_j = 3,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Tento průtok však bude odebírán jen v dostatečně vodných a průměrně vodných obdobích. Pro odhady v této studii budeme však předpokládat jeho stálý odběr. Uvažujeme  $MZP = 5,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  v Lounech, protože závlahové odběry jsou pod tímto profilem a odběry pro průmysl a plnění zbytkových jam by byly mezi profilem Nechranice a Louny. Dále se dá očekávat vzrůst nároků na závlahy až na  $Q_{\text{zavl}} = 2,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Celkové nároky by pak mohly vzrůst až na  $Q_n = Q_{\text{vod}} + Q_{\text{prum}} + Q_j + Q_{\text{zavl}} + MZP = 1,8 + 3,0 + 3,0 + 2,0 + 5,0 = 14,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Při klimatické změně při scénáři EC2H však zabezpečení rapidně klesá a nádrž s objemem  $A_z = 233,22 \text{ mil. m}^3$  by nalepšení  $Q_n = 14,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  zajišťovala s nepříjemně nízkou zabezpečeností  $P_t = 89\%$ . Je však třeba si uvědomit, že nádrž Nechranice zabezpečuje

odběry vody ve vodohospodářské soustavě Jesenice - Skalka - Nechranice. A navíc v povodí Ohře a Bíliny je řada nádrží pro vodárenské zásobení. Součet celkových objemů větších nádrží (nad 2 mil. m<sup>3</sup>) v tomto povodí činí 517 mil. m<sup>3</sup> a celkový součet zásobních objemů 408 mil. m<sup>3</sup>, jak je patrné z tabulky 8. Některé z nádrží uvedených v této tabulce nejsou v povodí Ohře a Bíliny, ale slouží pro vodárenské odběry, jejichž odpady většinou vedou do povodí Ohře a Bíliny – pro potřeby studie nebyly tyto odběry podrobně bilancovány a jsou uvažována jako celek.

Tabulka 8. Význačné nádrže v povodí Ohře a Bíliny a přilehlém povodí

Název vodní nádrže	Vodní tok	Celkový objem [mil. m <sup>3</sup> ]	Zásobní objem [mil. m <sup>3</sup> ]
Skalka	Ohře	19,555	13,659
Jesenice	Odrava	60,150	47,119
Horka	Libocký potok	21,350	16,780
Podhora	Teplá	3,032	2,041
Stanovice	Lomnický potok	27,800	20,164
Březová	Teplá	5,687	0,518
Újezd	Bílina	8,400	4,562
Fláje	Flájský potok	23,100	19,500
Jirkov	Bílina	2,769	1,917
Kadaň	Ohře	2,750	2,123
Nechranice	Ohře	287,632	233,215
Přísečnice	Písečnice	54,690	46,670
Celkem		516,9	408,3

Pro požadované nalepšení  $Q_n = 14,8 \text{ mil. m}^3 \text{ s}^{-1}$  a pro zabezpečení  $P_t = 99,0\%$  by byl třeba objem nádrží 685-820 mil. m<sup>3</sup>. Tento požadavek koresponduje se součtem současných zásobních objemů 408 mil. m<sup>3</sup> a plánovaných objemů  $A_p = 267 \text{ mil. m}^3$ , tj.  $A_z = 675 \text{ mil. m}^3$  (resp. součtem celkových nádržních objemů  $A_c = 517 \text{ mil. m}^3$  a plánovaných objemů  $A_p = 267 \text{ mil. m}^3$  tj.  $A_k = 784 \text{ mil. m}^3$ ). Zdůvodňuje se tak potřeba rezervace těchto plánovaných nádržních prostor pro případ klimatické změny.

Lze také posoudit samostatnou funkci nádrže Nechranice, která nalepšuje do vlastního profilu. Převod do Povodí Bíliny se pak uvažuje jako odběr pro průmysl. Nádrž má zásobní objem  $A_z = 233,22 \text{ mil. m}^3$ . Nároky na plnění zbytkových jam pro profil Nechranice lze uvažovat ve výši  $Q_j = 1,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , protože část odběrů se uskuteční v horní části povodí Ohře a je pokryta nádržemi Skalka a Jesenice. Dále se dá očekávat vzrůst nároků na závlahy pod nádrží Nechranice na  $Q_{zavl} = 2,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Minimální zůstatkový průtok v profilu Nechranice je  $MZP = 6,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Nároky na vodovodní odběry se uvažují v této variantě v horních částech povodí a nebilancují se v profilu Nechranice. Nároky pro průmysl se uvažují jen jako odběr v čerpací stanici Stranná  $Q_{prum} = 1,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Celkové nároky by se pak mohly uvažovat jako  $Q_n = Q_{prum} + Q_j + Q_{zavl} + MZP = 1,5 + 1,5 + 2,0 + 6,4 = 11,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Pro zabezpečení  $P_t = 99,5\%$  by pro toto nalepšení byl třeba objem  $A_v = 465 \text{ mil. m}^3$  až  $A_v = 590 \text{ mil. m}^3$ , jak lze odvodit interpolací z tabulek 6 a 7. Součet současného objemu nádrže  $A_z = 233 \text{ mil. m}^3$  a plánovaného objemu  $A_p = 267 \text{ mil. m}^3$  činí  $A_k = 233 + 267 = 500 \text{ mil. m}^3$ . Je patrné, že i tímto způsobem výpočtu dochází

k dobré shodě mezi potřebným objemem  $A_v$  a objemem  $A_k$ , tj. součtem objemu nádrže Nechranice  $A_z$  a plánovaného objemu  $A_p$ .

### 3.3.5. Závěry vodohospodářského řešení

Srovnání standardního vodohospodářského řešení nádrže Nechranice na Ohři a metody hydrologického odhadu objemu vede k závěru, že je toto srovnání vhodné pro shodně stanovené podmínky nalepšování průtoků. Řešení nejen prokázalo vhodnost hydrologického odhadu objemu a jeho ověření standardním vodohospodářským řešením pro stejně stanovené podmínky nalepšování průtoků, ale také prokázalo vhodnost využití plánovaných nádržních objemů při význačné klimatické změně, charakterizované scénářem EC2H.

### 3.4. Diskuse předpokladů a výsledků řešení

Při řešení byly srovnávány výsledky standardního vodohospodářského řešení nádrží Římov na Malši, Švihov na Želivce a Nechranice na Ohři s hydrologickým odhadem objemu potřebného k vyrovnání průtoků při klimatické změně na současné klimatické podmínky pro průtoky nižší než je daný limitní průtok (zkráceně hydrologický odhad objemu).

Pro posouzení předpokladů a výsledků řešení byly sestaveny tabulky 9 a 10, kde jsou uvedeny jak vstupní a výstupní hodnoty základních parametrů tak jejich poměry. Význam jednotlivých proměnných byl popsán v tabulce 11.

Tabulka 9 Vztahy hydrologických parametrů nádrží

Nádrž	Qa(SKP)	Qa(EC2H)	R1	Q(HYDR)	R2	Qn(Qp)	R3
Římov	4,1	2,48	0,605	2,58	1,04	0,68	0,26
Švihov	6,93	3,83	0,552	3,8	0,99	1,0	0,26
Nechranice	30,76	18,89	0,612	13,57	0,72	10,75	0,79

Tabulka 10 Srovnání metody hydrologického odhadu a standardního vodohospodářského řešení

Nádrž	Az(HYDR)	Az(red)	R4
Římov	74	135	1,82
Švihov	145	249	1,72
Nechranice	303	332	1,10

Tabulka 11 Popis parametrů z tabulek 9 a 10

Qa(SKP)	střední dlouhodobý průtok pro současné klimatické podmínky ( $m^3 s^{-1}$ )
Qa(EC2H)	střední dlouhodobý průtok při změně klimatu a scénář EC2H ( $m^3 s^{-1}$ )
Q(HYDR)	hodnota limitního průtoku při metodě hydrologického odhadu objemu ( $m^3 s^{-1}$ )
Qn(Qp)	průměr z proměnného průtoku $Q_p$ vyrovnávajícího odtoky při klimatické změně na současný stav. ( $m^3 s^{-1}$ )
Az(HYDR)	hydrologický odhad objemu potřebného k vyrovnání průtoků při klimatické změně se scénářem EC2H (mil. $m^3$ )
Az(red)	zásobní objem nádrže při standardním vodohospodářském řešení na proměnný průtok $Q_p$ (mil. $m^3$ )
R1	$Q_a(SKP) / Q_a(EC2H)$
R2	$Q(HYDR) / Q_a(EC2H)$
R3	$Q_n(Q_p) / Q_a(EC2H)$
R4	$A_z(red) / A_z(HYDR)$

Pro vzájemné srovnání vodárenských nádrží Římov a Švihov na jedné straně a nádrže Nechranice, která je na relativně velkém toku Ohře byly sestaveny v tabulce 9 poměrné hodnoty významných hydrologických parametrů a v tabulce 10 poměrné hodnoty výstupních nároků na nádržní objemy. Nejprve jsou uvedeny poměry R1, které ukazují, jak se v průměru redukuje průtok při klimatické změně. V těchto poměrech nejsou velké rozdíly, redukce se pohybuje od 55% do 61 %.

V případě nádrže Římov a Švihov se hodnota  $Q(\text{HYDR})$  (hodnota limitního průtoku) přibližně rovná hodnotě  $Q_a(\text{EC2H})$  (průměrný dlouhodobý průtok při klimatické změně se scénářem EC2H) a jejich poměr R2 se blíží jedné, jak je patrné z tabulky 9. Pro takový nárok na nádrž je řešení na konstantní nalepšení rovné  $Q(\text{HYDR})$  v podstatě nemožné. Nádrž vyrovnává průtoky a tedy požadavek na nalepšení musí být nižší než je střední dlouhodobý průtok. Z řešení sice vyplynou nějaké zabezpečení, ale ty jen indikují extrémně nízké a nepřijatelné hodnoty. Pokud se uvažuje proměnné nalepšení  $Q_p = \min(Q(\text{HYDR}); Q_i)$ , kde  $Q_i$  jsou průtoky z řady průtoků  $Q(\text{SPK})$ , pak je řešení možné, ale i v tomto případě je nárok na nádrž vysoký a vede při standardním vodohospodářském řešení k vysokým nárokům na nádržní objemy  $A_z(\text{red})$ . Tyto objemy u nádrží Římov a Švihov převyšují hodnoty odvozené metodou hydrologického odhadu objemu a jejich poměr R4 v tabulce 10 se pohybuje okolo 1,80. Je to způsobeno tím, že metoda hydrologického odhadu objemu je založena na jiném principu než standardní vodohospodářské řešení nádrže. Metoda hydrologického odhadu objemu vlastně určuje deficit mezi průtoky při klimatické změně a průtoky při současných klimatických podmínkách za kritické období. Ve standardním vodohospodářském modelu to odpovídá prázdnění nádrže. Ve standardním vodohospodářském řešení nádrže je však třeba zabezpečit také plnění nádrže a to vede ve většině případů k vyšším nárokům na nádržní objemy.

Pro nádrž Nechranice na Ohři je možné standardní vodohospodářské řešení pro konstantní nalepšení, protože poměr  $R2 = 0,72$ . Srovnání obou uvedených metod je však možné při uvažování proměnného nalepšení  $Q_p$ .

V tabulce 10 jsou uvedeny poměry  $R4 = A_z(\text{red}) / A_z(\text{HYDR})$ , tj. poměr výstupního průtoku standardního vodohospodářského řešení na proměnný průtok  $A_z(\text{red})$  a objemu získaného hydrologickým odhadem  $A_z(\text{HYDR})$ . Zatímco u vodárenských nádrží se tato hodnota pohybuje okolo 1,8, u nádrže Nechranice je  $R4 = 1,1$ , což ukazuje na dobrou shodu. Z toho vyplývá, že pro relativně malá povodí a vysoký stupeň využití vodárenských nádrží je srovnání obou metod problematické, ale pro velká povodí dává metoda hydrologického odhadu dobré výsledky.

Shoda mezi výstupním průtokem standardního vodohospodářského řešení na proměnný průtok  $A_z(\text{red})$ , objemem získaným hydrologickým odhadem  $A_z(\text{HYDR})$  a objemem  $A_k$ , (tj. součtem objemu nádrže  $A_z$  a plánovaného objemu  $A_p$  v povodí) také prokazuje pro velká povodí nutnost rezervovat plánované objemy nádrží pro zajištění nároků na odběry a zachování ekologických průtoků v případě klimatické změny. Objem  $A_k$  také odpovídá standardnímu vodohospodářskému řešení při klimatické změně a plánovaných nárocích na odběry a minimální ekologický průtok pro nádrž Nechranice, která reprezentuje nádrže ve velkém povodí.



## 4. ZÁVĚRY

Předmětná studie se zabývá zpracováním standardního vodohospodářského řešení zásobní funkce izolovaných nádrží ovlivněných klimatickou změnou ve dvou základních alternativách tj. za současných klimatických podmínek a za významného ovlivnění klimatickou změnou. Pro řešení byl použit nejprve deterministický přístup s vodohospodářským řešením na podkladě pozorovaných nebo modelem SIMBA modelovaných řad. Pak byla testována zabezpečenost řešení na podkladě výsledků vodohospodářského řešení s využitím generovaných řad lineárním stochastickým modelem.

Studie kvantitativně prokázala významný vliv klimatické změny na zásobní funkci nádrží. Snížení celkového nalepšovacího účinku je odrazem změn hydrologických režimů toků ovlivněných změnou klimatu. Provedené rozbory však ukázaly, že závažný dopad klimatické změny postihne především vodárenské zásobní nádrže, které v současné době zabezpečují celkové nalepšení v návrhových hodnotách. (nádrže Římov a Švihov). Průměrný dlouhodobý průtok tam za klimatické změny může klesnout pod hodnoty dnešního požadovaného nalepšení, které pak již nelze ve zkoumaném profilu vůbec zajistit. U nádrží na relativně velkých tocích, které reprezentuje v této studii nádrž Nechranice a kde je zásobní objem v současné době využíván pro nalepšení pouze z části lze provést standardní vodohospodářské řešení i za klimatické změny.

Studie prozkoumala podmínky, za nichž lze srovnávat výsledky hydrologického určení objemu potřebného k vyrovnání průtoků při klimatické změně na průtoky za současných klimatických podmínek, a to pro průtoky nižší než je limitní průtok (zkráceně hydrologický odhad objemu) a standardního vodohospodářského řešení nádrží. Pro víceleté vodárenské nádrže s vysokým stupněm vyrovnání průtoků se projeví difference, protože hydrologický způsob uvažuje vlastně jen objem, který by bylo třeba pokrýt prázdněním nádrže, ale nezahrnuje výchozí objem nádrže, který je potřeba pokrýt jejím plněním. Pro sezónní nádrž v povodí velkých toků pak oba způsoby vedou za obdobně definovaných nároků na nalepšení ke zhruba stejným výsledkům. Porovnání potřebných výstupních nádržních objemů za klimatické změny a součtu objemů současných a plánovaných nádrží prokazuje nutnost rezervovat plánované objemy nádrží pro zajištění nároků na odběry a zachování ekologických průtoků v případě klimatické změny.

Studie prokázala, že za význačné klimatické změny charakterizované klimatickým scénářem EC2H (tj. kombinace emisního scénáře SRESA2 a vysoké teplotní citlivosti) by mohlo docházet k takovým poklesům průtoků, že by bylo nutné zcela přehodnotit nalepšovací účinky současných nádrží a tam, kde by k tomu byly vhodné podmínky, je doplnit dalšími nádržními prostory.

## 5. LITERATURA

[1] Summary for Policymakers: Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability: A Report of Working Group II of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

[2] Kos, Z. – Přenosilová E.: Vliv klimatických změn na množství a kvalitu vodních zdrojů a na hydrologické poměry v ČR; DÚ 02: Výpočty scénářů a zhodnocení změn hospodaření v nádržích. Simulační výpočty hospodaření nádrží v podmínkách ovlivnění hydrologického režimu. VaV/650/3/02 Zpráva za rok 2002

[3] Climate Change 2001: Synthetic Report Summary for Policymakers, An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

[4] United Nations: World summit on sustainable development, Johannesburg, 2002 Key Outcomes of the Summit.

[5] Košková, R., Sláma, J., Kos, Z.: Předpokládaný vliv změny klimatu na vodohospodářské řešení plnění jam povrchových dolů. Stavební obzor 7/2002, ročník 11, pp. 206 – 208

[6] Kos, Z. – Přenosilová E.: Dopady klimatické změny vyvolané zesílením skleníkového efektu na vodní zdroje a vodní hospodářství ČR. NKP, 2000. 13str.

[7] Projekt VaV/740/1/00 Výzkum dopadů klimatické změny vyvolané zesílením skleníkového efektu na Českou republiku, Shrnutí výsledků získaných v DP 02 Výzkum dopadů klimatické změny vyvolané zesílením skleníkového efektu na sektory hydrologie, zemědělství a lesního hospodářství a vliv klimatických změn na lidské zdraví, NKP, Praha 2000

[8] Projekt VaV/740/1/00 Výzkum dopadů klimatické změny vyvolané zesílením skleníkového efektu na Českou republiku, Zpráva o výsledcích řešení DP 02 za rok 2001: Výzkum dopadů klimatické změny vyvolané zesílením skleníkového efektu na sektory hydrologie, zemědělství a lesního hospodářství a vliv klimatických změn na lidské zdraví, NKP, Praha 2001

[9] Seznam vybraných nádrží ve správě Povodí Vltavy, s.p. (stav k 31.12.2001)

[10] Kos, Z.: Závlahy a globální oteplování, Stavební obzor 1, Praha 1996

[11] Sláma, J.: Vliv změny klimatu na závlahy při plnění zbytkových jam, Doktorská disertační práce, ČVUT FSV, Praha

[12] Kos Z., Přenosilová E., Projekt PPŽP – MŽP R – 2 „Přehodnocení inženýrsko – geologické situace Sokolovské hnědouhelné pánve pro umožnění obnovy krajiny, rozvoje sídel a infrastruktury“, PO – 5 „Stabilita a geomechanika“, DÚ 4 „Hydrologická bilance povodí vytypovaných zbytkových jam“, Praha 1996

[13] Košková, R.: Vliv Globální změny klimatu na hydrologický režim povodí Bíliny a plnění zbytkové jámy Bílina, Doktorská disertační práce, ČVUT, FSv, Praha 2003

[14] Kos, Z.: Vodohospodářské soustavy a jejich matematické modely při měnícím se klimatu, Vodní hospodářství 42, Praha 1992

[15] Kos, Z.: Sensitivity of irrigation and water resources systems to climate change. Vodohospodářský Čas. 41, Praha 1993

[16] Poledníček, P – Májová, J. – Jetenská, E.: Zpráva o hodnocení množství povrchových vod v oblasti povodí Ohře za rok 2004 Povodí Ohře s.p., Bezručova 4219, 430 03 Chomutov , 2005