SCHOPNOSŤ VODNEJ NÁDRŽE ORAVA ZABEZPEČIŤ POŽADOVANÝ ODBER VODY ZA ZMENENÝCH KLIMATICKÝCH PODMIENOK

Halmová Dana

Cieľom predloženého príspevku je zistiť do akej miery by prítok do nádrže ovplyvnený klimatickými zmenami zmenil zabezpečenosť určitého odberu vody z nádrže. Odber vody z nádrže bol vopred definovaný ako reálny odber vody počas obdobia 1951-1980. Úlohou bolo zistiť ako by bola nádrž schopná zabezpečiť tento reálny chronologický rad v prípade zmeneného prítoku do nádrže a tiež v prípade zmeny minimálnej prevádzkovej hladiny v nádrži (t.j. zmeny zásobného objemu nádrže). Schopnosť nádrže zabezpečiť daný odber vody za zmenených podmienok (zmeny definované klimatickým scenárom; zmeny požadovanej minimálnej prevádzkovej hladiny v nádrži) je vyjadrená:

- *časovým priebehom objemu nedodanej vody za zmenených podmienok,*
- *časovým priebehom porúch (trvanie obdobia s nižšou dodávkou vody ako požadovanou),*
- *celkovou zabezpečenosťou objemu dodanej vody (za obdobie 30 rokov),*
- *celkovou zabezpečenosťou doby bezporuchovej prevádzky (za obdobie 30 rokov).*

Klimatické zmeny pre časové horizonty 2030, 2075 definoval scenár CCCM2000, jeden z najnovších scenárov klimatických zmien.

Simulovaný odtok z povodia, tak ako aj schopnosť nádrže zabezpečiť určitý odber vody z nádrže za zmenených klimatických podmienok nie sú presnou predpoveďou správania sa povodia v budúcnosti. Globálne cirkulačné modely (GCMs) rovnako ako zrážko-odtokové modely nesú v sebe prvky neistoty. Pokrok v modelovacích technikách je však stály a rýchly, takže výskum v klimatológii, hydrológii a v riadení vodného hospodárstva by mal pokračovať aj v budúcnosti.

Vyvinutý model WBMOD môže byť použitý pre alternatívne hypotetické manipulácie s rôznymi variantmi režimu odberu vody z nádrže, definovanými ako časový rad hodnôt.

Kľúčové slová: model WBMOD, vodná nádrž Orava, klimatický scenár CCCM2000

Impact of a potential climate change upon the required water supply by the Orava reservoir. *This paper presents an attempt to answer the question, how the expected climate change would influence the inflow into a multipurpose reservoir (water reservoir Orava). There is another question: Will be a reservoir able to supply a real demand for water during those climate conditions? These changes were calculated by rainfall-runoff balance model WBMOD that works with a monthly time step. The input data series of precipitation and air temperature and the observed reservoir outflows were used to express the expected changes of the total runoff and the required reservoir capacity. Input data (precipitation and air temperature) were modified in each month according to the last climate scenarios CCCM2000 estimated for the Orava reservoir catchment. Failures in the required water supply for climate change scenario were then compared with those observed during the real life reservoir operation.*

The conclusions, of course, pertain only the same water supply realised during the so far historical operation (1951-1980) of the structure. However, in relation to the changed climatic conditions, one would expect a rather significant change in management of the utilised water.

The developed tool can be of use for such alternative hypothetical reservoir operation runs with various variants of the water supply regime defined as a time series, and also for case studies for other similar water reservoirs.

The climate change impacts as presented, are not the exact forecasts. There are still uncertainties in the General Circulation Models (GCMs), as well as in the rainfall – runoff models outputs. Progress in modelling techniques for both is permanent and fast. So the research in climatology, hydrology, and in water resources management should be a continuous task also for future years and decades.

Key words: Monthly Balance Model WBMOD, Water Reservoir Orava, Climate Change Scenarios.

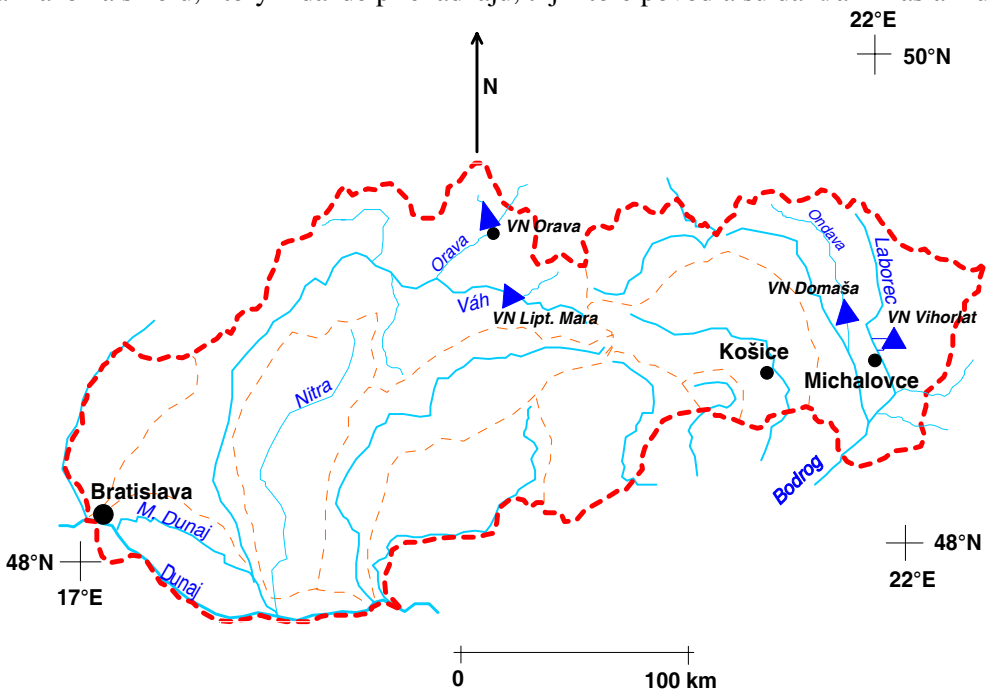
---

1. ÚVOD

V súčasnosti sa mení vodohospodárska politika SR a táto zmena so sebou prináša napr. aj zmeny v manipulácii na nádržiach. Na uspokojovanie hospodárskych a ostatných celospoločenských potrieb v rámci efektívnejšieho a racionálneho využívania vodných zdrojov, ako aj na minimalizovanie finančných požiadaviek zo štátneho rozpočtu, je nevyhnutné lepšie využitie vybudovaných vodných nádrží. Medzičasom sa zmenili požiadavky na vodu a protipovodňovú ochranu, rozšírili sa podkladové údaje (najmä hydrologické), zdokonalili sa metodické postupy vodohospodárskych výpočtov (presnejšie výpočty strát vody výparom z hladiny nádrže na základe hospodárenia s vodou), zmenili sa niektoré základné parametre nádrží (hlavne zanesenie časti priestorov nádrží).
Z hľadiska čoraz aktuálnejšej protipovodňovej ochrany sa navrhujú využiť nielen vymedzené ochranné priestory nádrží, ale aj možnosti ich zvýšenia pred vypustením zásobných objemov jednak na základe strednodobých predpovedí prítokov do nádrží (napr. na základe stavu snehovej pokrývky v povodí), ale aj podľa pravdepodobného hospodárenia s vodou v nádrži. Z dôvodov protipovodňovej ochrany je už dnes potrebné jednotne prehodnotiť aj lokality výhľadových vodných nádrží. Vodohospodárskymi možnosťami zvýšenia ochrany územia pod vodným dielom sa zaoberal aj Prof. Lukáč z STU, [LUKÁČ, 2003]. Na margo existujúcich priestorov nádrží ako celkových, tak aj ochranných i zásobných uvádza, že súčasné disponibilné objemy nádrží sa od projektovaných značne líšia. Takáto situácia je v povodiach s výraznými erózno-sedimentačnými procesmi, čo je typické pre povodia vo flyšovom pásme.

2. POVODIE VÁHU A VODNÁ NÁDRŽ ORAVA

Váh je po Dunaji najväčšia rieka na Slovensku a najväčší ľavostranný prítok Dunaja v SR (Obr. 1). Oblasť povodia Váhu zahŕňa dve čiastkové hydrologické povodia, a to Váhu a Nitry. Rozprestiera sa na západe a severe Slovenska, svojou rozlohou 11625+5144= 16969 km^2 zaberá 34% plochy celého územia Slovenska. Dôležitým prítokom Váhu je rieka Orava. Ničivá sila Váhu je známa už zo XVI. storočia. Povodne boli letné i zimné, spôsobené ľadovými zápchami. Veľkosť povodní je závislá od množstva zrážok a smeru, ktorým dažde prichádzajú, t. j. ktoré povodia sú dažďami zasiahnuté.



Obr. 1 Mapa Slovenska s vyznačenými najväčšími vodnými nádržami

Fig. 1 Map of Slovak republic with the biggest water reservoirs

Prietoky Váhu ovládajú dve kľúčové vodné nádrže Orava a Liptovská Mara. Spoločným účelom a cieľom týchto nádrží je:

- nadlepšovať prietoky Váhu na umožnenie odberu úžitkovej vody pre priemysel a závlahy,
- riediť odpadové vody,
- znížiť špičiek povodňových prietokov,
- využiť vodnú energiu toku v príslušnom úseku,
- zvýšiť objem a zabezpečenosť výroby elektrickej energie vážskych vodných elektrární,
- vytvoriť podmienky na rekreačno-športové využitie.

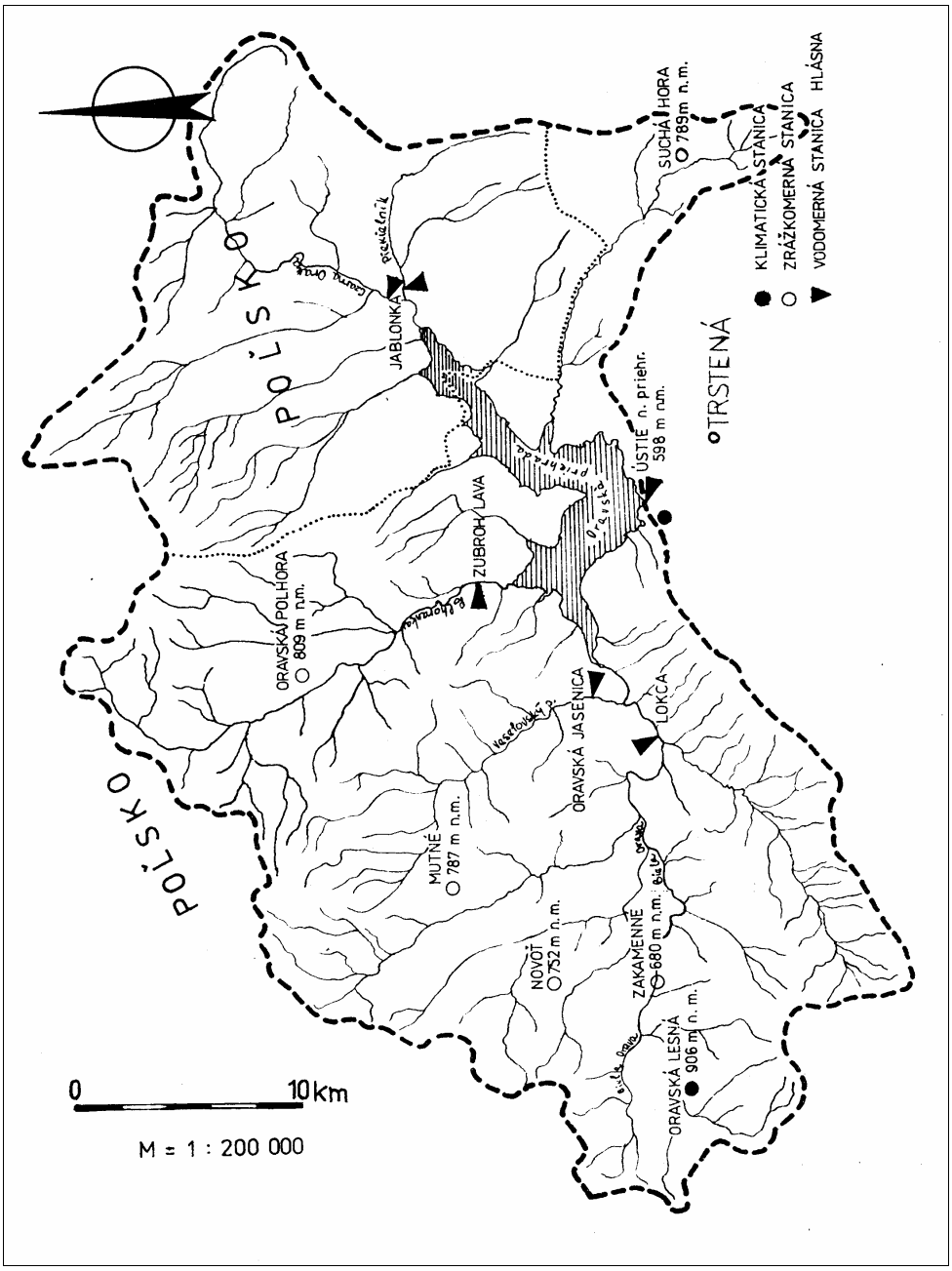
Pokiaľ nie sú na Váhu problémy so zvýšenými prietokmi, rešpektujú sa na vážských kaskádach vodných elektrární záujmy využitia vodnej energie.

2.1 Vodná nádrž Orava (VN Orava)

Sústava vodných diel Orava – Tvrdošín sa nachádza v údolí rieky Oravy, medzi Tvrdošínom a obcou Ústie nad Oravou. Tvoria ju vodné dielo Orava, ktoré bolo vybudované v rokoch 1941-1953 a vodné dielo Tvrdošín ako vyrovnávacia nádrž špičkovej vodnej elektrárne Orava, vybudovaná v rokoch 1972-1978. Vodné dielo Orava, vytvorené priehradou v Ústí nad Oravou, je vrcholovou nádržou na rieke Orava a z hľadiska celkového akumulovaného objemu je druhou najväčšou nádržou na Slovensku. Priehrada sa nachádza vo veľmi výhodnom morfologickom profile, a to pod sútokom Bielej a Čiernej Oravy. Celkový objem nádrže je V_c=346.0 mil.m^3, z toho stály objem Vs=27.3 mil.m^3, retenčný objem Vr v mesiacoch IX.-V. je 20.5 a v mesiacoch VI.-VIII. je 40.6 mil.m^3. Zásobný Vz je potom 298.1 alebo 278.0 mil.m^3.

Plocha povodia Oravskej priehrady je 1181,7 km^2 (Obr. 2), z toho 395 km^2 (40%) predstavuje les. Približne 35% plochy povodia (povodie Čiernej Oravy) sa nachádza na území Poľska. Z hydrologického hľadiska je priaznivou skutočnosťou, že takmer celé povodie je bohaté na zrážky, ktorých priemer prekračuje 1000 mm (v priehradnom profile 1024 mm) ročne. Z toho vyplýva relatívne veľký špecifický odtok q – 17 l.s^{-1}.km^{-2}. Na druhej strane je nevýhodou veľká rozkolísanosť prietokov.

Zrážky: V ročnom priebehu pripadá minimum zrážok prevažne na december a len v ojedinelých prípadoch na február. Zrážkové maximum sa vyskytuje v júli resp. v auguste. Pre tvorenie jarného odtoku nadobúdajú veľkú dôležitosť zimné zrážky.
Teplota vzduchu: Na rozdelení teploty vzduchu sa uplatňuje okrem základného vplyvu zemepisnej polohy tiež reliéf územia podobne, ako aj pri zrážkach. Najchladnejším mesiacom je január a najteplejším júl. Teplotné pomery ovplyvňujú veľkosť zimnej akumulácie, jej režim, spôsob a podiel, akým sa zúčastňuje na jarnom odtoku.
Odtok: Povodie Oravy po Oravskú priehradu je vejárovitého tvaru (α=0,42). Tento tvar a veľké sklony Bielej Oravy a prítokov v pramenných oblastiach vytvárajú priaznivé podmienky pre vytvorenie veľkých prietokových a povodňových vĺn. Odtok v jednotlivých ročných obdobiach vyjadrený v % je: zima – 16,2%, jar – 39,9%, leto – 23,5%, jeseň – 20,4%. Najvyššie mesačné odtoky sa vyskytujú na hornej Orave prevažne v apríli a čiastočne aj v marci, najnižšie mesačné odtoky v januári a februári, prípadne v auguste a septembri.



Obr. 2 Povodie VN Orava

Fig. 2 Orava reservoir catchment

3. KLIMATICKÝ SCENÁR PRE POVODIE VN ORAVA

V práci bol použitý jeden z najnovších klimatických scenárov ***CCCM2000***, pripravený Dr. M. Melom, ktorý počíta zmeny teploty vzduchu a zmeny zrážok pre jednotlivé stanice povodia VN Orava, pre časový horizont 2030 a 2075 a príslušné referenčné obdobie.

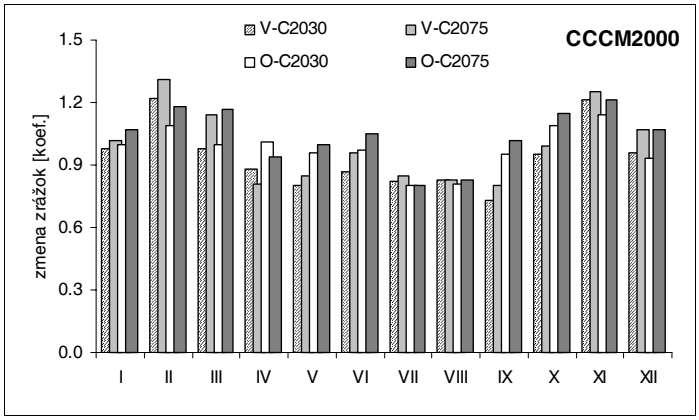
Hodnoty zmeny zrážok a teplôt pre povodie VN Orava boli porovnané s hodnotami pre povodie VN Vihorlat. Tieto dve nádrže sa nachádzajú v rôznych klimatických oblastiach Slovenska, VN Orava na severe Slovenska a VN Vihorlat v južnej časti východného Slovenska. Hodnoty zmeny zrážok a teplôt podľa scenára CCCM2000 sú spracované v tabelárnej forme (Tab. 1) a graficky (Obr. 3, Obr. 4).

Zmena mesačných úhrnov zrážok v povodí VN Orava dosahuje vyššie hodnoty v mesiacoch III.-VI. a IX (X.). Čo sa týka zmien teploty vzduchu sú predpokladané vyššie hodnoty v mesiacoch I.-III.,V. a VIII.

Tab. 1 Klimatický scenár CCCM2000 zmeny teplôt a zrážok pre povodia VN Vihorlat a VN Orava

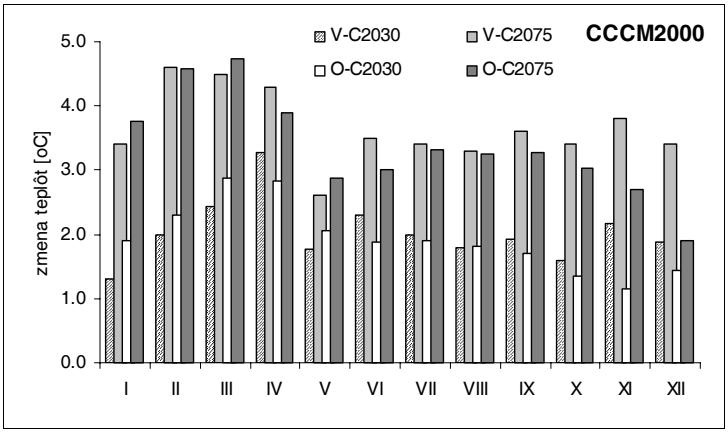
Tab. 1 Climate scenario CCCM2000 of temperature and precipitation changes for VR Vihorlat and VR Orava

Klim. scenár Povodie	**zmena [ºC]**	**I**	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**	**VII**	**VIII**	**IX**	**X**	**XI**	**XII**
CCCM2000	**2030**	**1.3**	**2.0**	**2.43**	**3.27**	**1.77**	**2.3**	**2.0**	**1.8**	**1.93**	**1.6**	**2.17**	**1.87**
VN Vihorlat	**2075**	**3.4**	**4.6**	**4.5**	**4.3**	**2.6**	**3.5**	**3.4**	**3.3**	**3.6**	**3.4**	**3.8**	**3.4**
CCCM2000	2030	1.90	2.31	2.88	2.83	2.06	1.88	1.90	1.81	1.71	1.35	1.15	1.44
VN Orava	2075	3.77	4.59	4.73	3.89	2.87	3.00	3.31	2.26	3.28	3.04	2.71	2.91
Klim. scenár Povodie	**zmena [koef.]**	**I**	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**	**VII**	**VIII**	**IX**	**X**	**XI**	**XII**
CCCM2000	**2030**	**0.98**	**1.22**	**0.98**	**0.88**	**0.8**	**0.87**	**0.82**	**0.83**	**0.73**	**0.95**	**1.21**	**0.96**
VN Vihorlat	**2075**	**1.02**	**1.31**	**1.14**	**0.81**	**0.85**	**0.96**	**0.85**	**0.83**	**0.8**	**0.99**	**1.25**	**1.07**
CCCM2000	**2030**	1.00	1.09	1.00	1.01	0.96	0.97	0.80	0.81	0.95	1.09	1.14	0.93
VN Orava	**2075**	1.07	1.18	1.17	0.94	1.00	1.05	0.80	0.83	1.02	1.15	1.21	1.07



Obr. 3 Porovnanie zmeny mesačných úhrnov zrážok [koef.] pre VN Vihorlat (V) a VN Orava (O) podľa klimatického scenára CCCM2000 pre oba časové horizonty

Fig. 3 Changes of monthly precipitation totals [coeff.] for the Vihorlat and Orava reservoirs according to climate scenario CCCM2000, for both time horizons



Obr. 4 Zmeny priemernej mesačnej teploty [ºC] pre VN Vihorlat (V) a VN Orava (O) podľa klimatického scenára CCCM2000, pre oba časové horizonty

Fig. 4 Changes of mean monthly temperature (a) in [ºC] for the Vihorlat and Orava reservoirs according to climate scenario CCCM2000, for both time horizons

4. METODICKÝ PRÍSTUP

Mesačné bilančné modely (alebo mesačné zrážkoodtokové modely) na báze povodia sú vhodné pre plánovanie a kontrolu systémov vodných zdrojov. Mesačný časový krok je obzvlášť vhodný pre systémy zásobovania vodou (pitnou alebo priemyselnou, závlahy, zmiernenie nízkych prietokov, zásobovanie vodnou energiou a pod.).
V práci bol použitý model, ktorý vychádzal z modelu vyvinutého na V.U.B. Pôvodný model bol použitý pre povodia v rôznych fyzicko-geografických regiónoch, rôznych klimatických oblastiach často veľmi odlišných. Navyše pre jednotlivé fázy odtokového cyklu používa postupy, ktoré sú aj v našich povodiach bežne používané. Vychádzajúc z popisu modelu, bol zostavený výpočtový program pod názvom WBMOD, ktorý po odladení, úpravách a preverení v používame v tejto práci. Model bol kalibrovaný pre viaceré povodia tokov SR.
Model opisuje pohyb vody v povodí v každom mesiaci na základe zrážok a prípadne ďalších údajov ako potenciálna evapotranspirácia, teplota, vlhkosť vzduchu a pod. v mesačnom kroku. Tieto premenné sú vstupnými údajmi modelu. Model je kalibrovaný na historických údajoch vstupných a výstupných dát. Dĺžka historického radu vstupných a výstupných údajov modelu by mala byť najmenej 10 rokov.

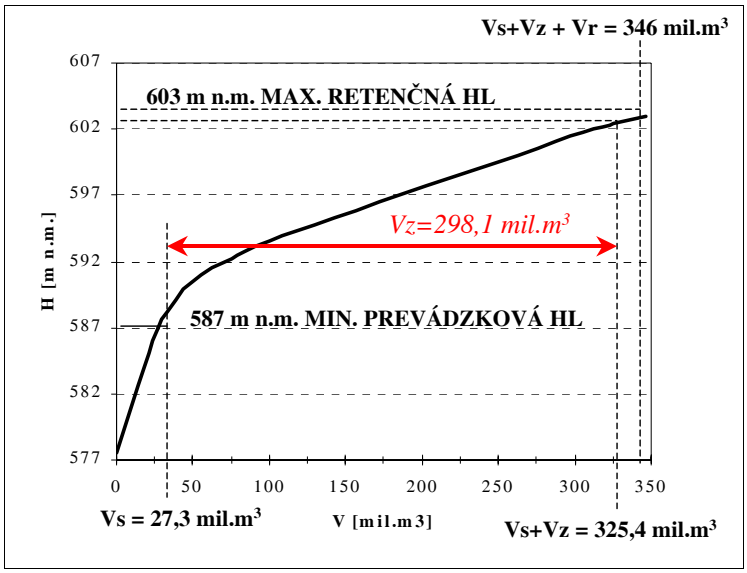
Základné vstupné údaje sú pre obdobie 1951-1980 a povodie VN Orava nasledovné:
- údaje o povodí: *veľkosť povodia VN Orava [km^2]*,
- priemerné mesačné prietoky v stanici *[$m^3.s^{-1}$]*: *Lokca, Zubrohlava, Jasenica, Jablonka (tok Čierna Orava), Jablonka (tok Piekelník),*

Odtok z častí povodia, ktoré nie sú zahrnuté v prietokoch spomenutých staníc bol vyčíslený na základe analógie so 4 stanicami podľa pomeru prislúchajúcich plôch povodia.
- mesačné úhrny zrážok v staniciach *[mm/mes.]*: *Lokca, Novoť, Oravská Lesná, Oravská Polhora, Zakamenné, Trstená,*
- priemerné mesačné teploty v staniciach *[°C]*: *Oravská Lesná, Oravská Polhora, Trstená,*
- údaje o nádrži Orava:
  zásobný objem [mil.m3],
  predefinovaný konštantný odber z nádrže [$m^3.s^{-1}$],
  odber z nádrže v mesačnom kroku počas základného obdobia [$m^3.s^{-1}$].

Pre zadefinovanie možných klimatických zmien sme mali k dispozícii najnovšie klimatické scenáre [MELO, 2003; osobná komunikácia], vypracované pre klimatické stanice povodia Oravy, ktoré sme použili pri výpočte zmeneného odtoku z povodia.
Chronologický rad skutočných historických odberov z nádrže nebol k dispozícii. Pri určovaní priemerných mesačných odberov z nádrže za 30-ročné obdobie prevádzky sme vychádzali z chronologického radu prietokov v hydrometrickej stanici Tvrdošín, poskytnutých SHMÚ.

Práca VN Orava za dobu od jej uvedenia do prevádzky (v roku 1951) sa značne odlišuje od schémy, orientovanej na konštantný odber. Účelom VN je najmä nadlepšiť nízke prietoky Oravy a Váhu na energetické využitie, priemysel a zadržanie špičiek povodňových prietokov. V súčasnosti je VN Orava využívaná aj na rekreačné účely čo si vyžaduje v letnom období určitú minimálnu výšku hladiny v nádrži. Z týchto dôvodov bolo vhodné zistiť, do akej miery by prítok do nádrže ovplyvnený klimatickými zmenami zmenil zabezpečenosť takého odberu vody, aký sa reálne uskutočnil od doby výstavby nádrže, teda za už spomínané obdobie 1951-1980. Aj pre túto nádrž boli vypracované klimatické scenáre podľa najnovšej verzie klimatického scenára CCCM2000 [MELO, 2003; osobná komunikácia]. Tieto scenáre boli použité pri výpočte zmeneného odtoku z povodia VN Orava.

Bol vypracovaný chronologický rad skutočných odberov z nádrže, ktorý bol manipuláciou na nádrži v období rokov 1951-1980 zabezpečený. Tento reálny chronologický rad predstavuje etalón, s ktorým sa porovnávali prípady zmeneného prítoku do nádrže a tiež alternatívne zmeny minimálnej prevádzkovej hladiny v nádrži (t.j. zmeny zásobného objemu nádrže).



Obr. 5 Čiara objemov VN Orava

Fig. 5 Reservoir-storage-elevation curve

Zmeny prítoku do nádrže sú uvedené v scenároch odtoku v povodí VN Orava, a to na základe klimatického scenára CCCM2000 (ďalej iba "C") a k časovým horizontom 2030 a 2075. Modelové výstupy pre časový horizont 2030 sú ďalej označované ako C1X, a pre časový horizont 2075 ako C2X. Rôzne alternatívy X (M, A až C) sú vysvetlené nižšie.

Aby bolo možné zistiť režim zabezpečenosti danej dodávky vody nádržou, uskutočnili sme viacero alternatívnych modelových behov za rôznych okrajových a počiatočných podmienok objemu vody v nádrži. Išlo len o zásobný objem alebo jeho časť, pohybujúcu sa v rozpätí minimálnej prevádzkovej (587 m n.m., 27.3 mil.m^3) a maximálnej prevádzkovej (602.4 m n.m., 298 mil.m^3 v mesiacoch IX.-V. a 601.0 m n.n., 278 mil.m^3 v mesiacoch VI.-VIII.) hladiny (Obr. 5). Tieto alternatívy sú uvedené v Tab. 2, Tab. 3. Počiatočné a okrajové podmienky v mil.m^3 (Tab. 2) nad minimálnou prevádzkovou hladinou 587.0 m n.m. a nad stálym objemom nádrže 27.3 mil.m^3 a v mm na povodie (Tab. 3). Okrajové podmienky sú rovnaké ako pri VN Vihorlat:

- ***STMA – maximálny prevádzkový objem vody v nádrži,***
- ***STMIL – minimálny prípustný prevádzkový objem v mesiacoch V.-IX.,***
- ***STMIZ - minimálny prípustný prevádzkový objem v mesiacoch X.-IV.,***
- ***SVZPO – počiatočný objem vody.***

Tab. 2 Okrajové podmienky manipulácie na VN Orava pre rôzne alternatívy výpočtu [mil.m^3]

Tab. 2 Boundary conditions of VR Orava operation [mil.m^3]

označenie alternatívy	prevádz. hlad. pri STMIL m n.m.	STMA mil.m^3	STMIL mil.m^3	STMIZ mil.m^3	SVZPO mil.m^3
C-M1	587	298.1	0	0	0
C-M2	587	298.1	0	0	0
C-1A	601.8	298.1	278.0	150.0	150.0
C-1B	599.5	298.1	250.0	100.0	100.0
C-1C	597.8	298.1	200.0	100.0	100.0
C-2A	601.8	298.1	278.0	150.0	150.0
C-2B	599.5	298.1	250.0	100.0	100.0
C-2C	597.8	298.1	200.0	100.0	100.0

Tab. 3 Okrajové podmienky manipulácie na VN Orava pre rôzne alternatívy výpočtu [mm/plocha povodia]

Tab. 3 Boundary conditions of VR Orava operation [mm/catchment area]

označenie alternatívy	**prevádz. hlad. pri STMIL** [m n.m.]	**STMA** [mm]	**STMIL** [mm]	**STMIZ** [mm]	**SVZPO** [mm]
C-M1	587	252.0	0	0	0
C-M2	587	252.0	0	0	0
C-1A	601.8	252.0	235.0	127.0	127.0
C-1B	599.5	252.0	211.7	84.7	84.7
C-1C	597.8	252.0	169.3	84.7	84.7
C-2A	601.8	252.0	235.0	127.0	127.0
C-2B	599.5	252.0	211.7	84.7	84.7
C-2C	597.8	252.0	169.3	84.7	84.7

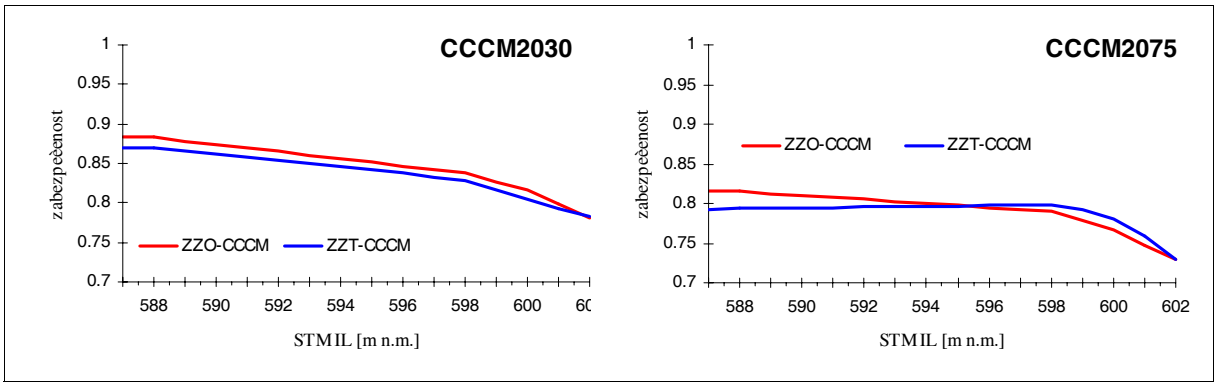
Jednotlivé alternatívy výpočtu podobne ako pri VN Vihorlat (C 1A – C, C 2A - C) sa líšia najmä minimálnou prípustnou prevádzkovou hladinou vody v nádrži v lete (pri objeme STMIL), avšak s ohľadom na skutočnosť, že VN Orava nie je v lete tak využívaná na rekreačné účely, bolo zvolených menej alternatív zmeny STMIL ako pri rovnakej štúdii pre vodnú nádrž Vihorlat.
Schopnosť vodnej nádrže zabezpečiť požadované množstvo vody (t.j. reálny odber z nádrže počas rokov 1951─1980) čo do objemu (ZZO) a trvania bezporuchovej prevádzky (ZZT) pre jednotlivé alternatívy je vyjadrená v Tab. 4. Závislosť zabezpečenosti na výške hladiny pri STMIL je zobrazená na Obr. 6.

Objemy STMIL ani STMIZ neboli obmedzené, a preto bol predpoklad, že pri alternatívach 1M (čas. horizont 2030) a 2M (čas. horizont 2075) riziko v dodávke požadovaného množstva vody nebude extrémne a zabezpečenosť tejto dodávky bude uspokojivá. Tento predpoklad sa však po aplikácii klimatického scenára CCCM2000 nepotvrdil, hodnoty zabezpečenosti výrazne klesali. Zabezpečenosť požadovaného objemu vody (ZZO) pre horizont 2030 a alternatívu C1M bola 88%, pre C2M – 81%.
Pri alternatívach výpočtu C 1-2A je minimálna letná hladina udržiavaná na svojej maximálnej prevádzkovej hladiny, čo môže spôsobiť závažné riziko v dodávke požadovaného množstva vody vodnou nádržou. Táto alternatíva je najnepriaznivejšia čo sa týka zabezpečenosti požadovaného množstva vody. Hodnoty ZZO boli pre časový horizont 2030 a pre jednotlivé alternatívy nasledovné: C1A - 78%, C2A - 73%.

Tab. 4 Zabezpečenosť danej manipulácie v objeme (ZZO) a trvaní bezporuchovej prevádzky (ZZT) pre časový horizont 2030, 2075 a klimatický scenár CCCM2000

Tab. 4 Certainty of the given water supply in amount (ZZO) and in duration of non-failure operation (ZZT) for time horizon 2030 and 2075 and climate scenario CCCM2000

časový klim. scenár	**horizont** ZZO	**2030** ZZT	**time** klim. scenár	**horizont** ZZO	**2075** ZZT
CCCM-1M	0.883	0.870	CCCM-2M	0.815	0.793
CCCM-1A	0.780	0.782	CCCM-2A	0.730	0.729
CCCM-1B	0.816	0.804	CCCM-2B	0.766	0.789
CCCM-1C	0.838	0.829	CCCM-2C	0.790	0.798



Obr. 6 Vzťah medzi zabezpečenosťou daného odberu (ZZO, ZZT) a minimálnou letnou prevádzkovou hladinou v nádrži (hladina pri objeme STMIL)

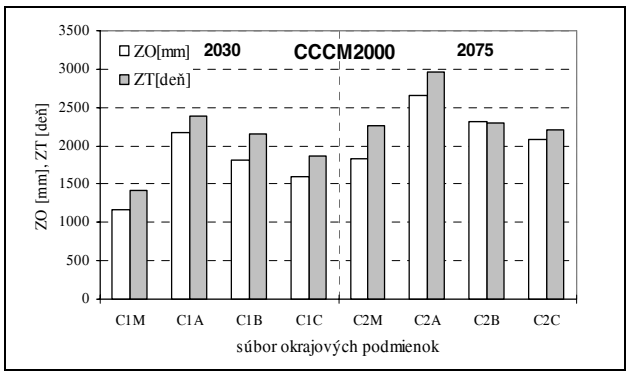
Fig. 6. Relationship between certainty of water supply (ZZO, ZZT) and minimum operating water level (water level for reservoir storage STMIL)

Celkový nedodaný objem vody a čas s nezabezpečenou požadovanou manipuláciou podľa scenárov CCCM2000 je vyjadrený v Tab. 5 a graficky znázornený na Obr. 7. Hodnoty celkového nedodaného objemu vody a času s nezabezpečenou bezporuchovou prevádzkou sú podľa klimatického scenára CCCM2000 pre časový horizont 2075 vyššie ako pre horizont 2030.

Tab. 5 Celkový požadovaný objem ZOC, celkový nedodaný objem ZO vody, celková doba ZTC a doba s nezabezpečenou dodávkou ZT za 30-ročné obdobie simulácie.

Tab. 5 Total required water supply volume ZOC, total failures in water supply volume ZO [mm], total time period ZTC and time period with non-ensured water supply ZT [day] during 30-years of simulation

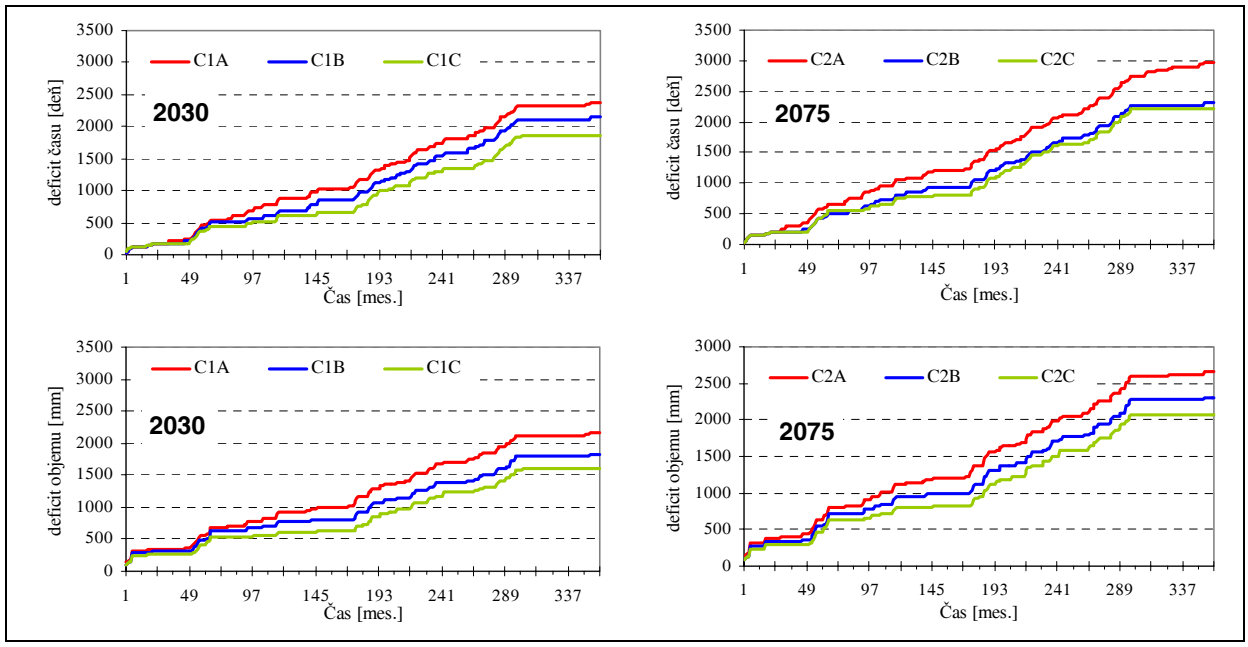
označenie alternatívy	ZOC[mm] 1971-1998	ZO[mm] CCCM2000	ZTC[deň] 1971-1998	ZT[deň] CCCM2000
C-M1	9884.6	1158.9	10950	1420
C-1A	9884.6	2172.4	10950	2383
C-1B	9884.6	1815.5	10950	2147
C-1C	9884.6	1602.0	10950	1869
C-M2	9884.6	1828.4	10950	2266
C-2A	9884.6	2664.6	10950	2966
C-2B	9884.6	2312.4	10950	2305
C-2E	9884.6	2080.6	10950	2656



Obr. 7 Celkový nedodaný objem vody (ZO) a čas s nezabezpečenou požadovanou manipuláciou (ZT) podľa scenárov CCCM2000

Fig. 7 Total not supplied water volume (ZO) and total time with failures in water supply (ZT) according to CCCM2000 climate scenario

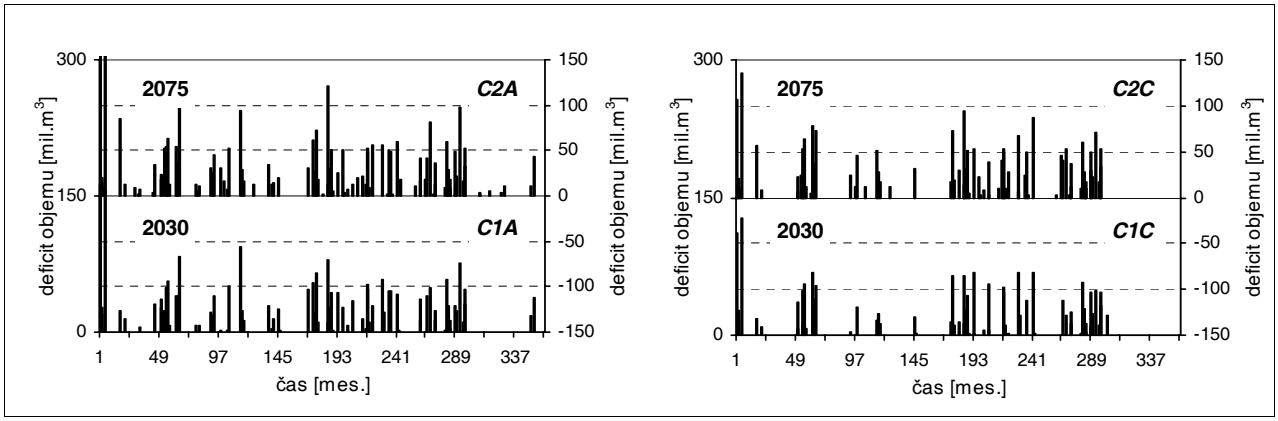
Na Obr. 8 sú vykreslené súčtové čiary nedodaného objemu vody (ZO v mm) a času s nezabezpečenou požadovanou manipuláciou (ZT v dňoch) pre obdobie 1951-1980, podľa scenára CCCM2000 a pre oba časové horizonty 2030 a 2075. Výsledky potvrdzujú predpoklad, že hodnoty nedodaného množstva vody (ZO v mm) a času s nezabezpečenou požadovanou manipuláciou (ZT v dňoch) budú podľa daného klimatického scenára CCCM2000 pre časový horizont 2075 vyššie ako pre časový horizont 2030.



Obr. 8 Súčtové čiary deficitov pre obdobie 1951-1980, rôzne alternatívy výpočtu podľa klimatického scenára CCCM2000 pre časové horizonty 2030 a 2075 [mm, deň]

Fig. 8 Cumulative curves of deficiencies for different computation alternatives [mm, day] according to climate scenario CCCM2000 and time horizons 2030 and 2075

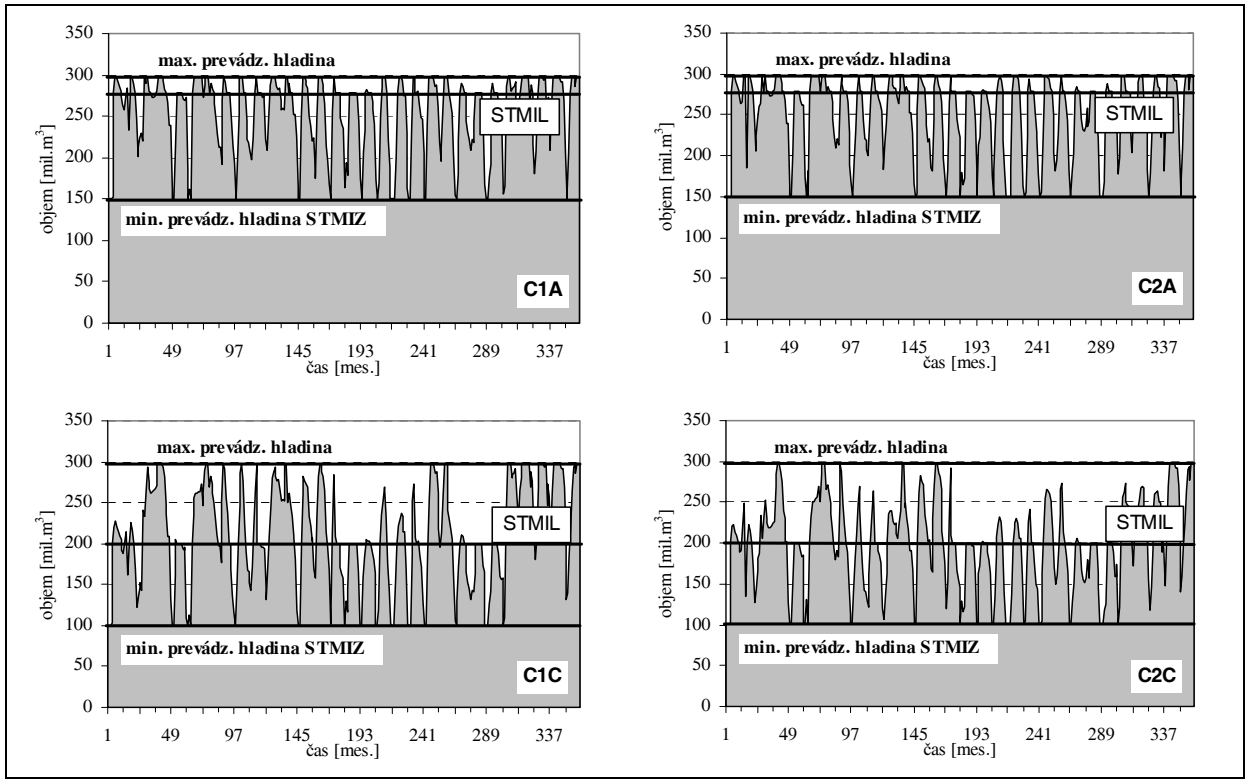
Obr. 9, na ktorom je graficky znázornený deficit objemu v mil.m^3, umožňuje porovnať rozdiely v celkovom nedodanom objeme vody (ZO) pre vybrané alternatívy výpočtu počas obdobia 1951─1980 pre klimatický scenár CCCM2000. Je zrejmé, že hodnoty nedodaného množstva vody (ZO v mm) podľa daného klimatického scenára CCCM2000 pre časový horizont 2075 sú vyššie ako pre časový horizont 2030, pre obe alternatívy výpočtu C1/2-A a C1/2-C. Rozdiely v ZO sú vyššie pre nepriaznivejšiu alternatívu C1/2-C.



Obr. 9 Deficit objemu pre rôzne alternatívy výpočtu počas obdobia 1951-1980 [mil.m^3]

Fig. 9 Storage deficiencies for different computation alternatives during 1950-1981 [mil.m^3]

Priebeh objemu vody v nádrži medzi maximálnou a minimálnou prevádzkovou hladinou nádrže počas celého 30-ročného obdobia je vykreslený na Obr. 10. Minimálnu letnú prevádzkovú hladinu (pri objeme STMIL) je potrebné zachovať v letných a minimálnu zimnú prevádzkovú hladinu (pri objeme STMIZ) v zimných mesiacoch.
V prípade VN Orava, zimná prevádzková hladina neklesla pod hladinu, ktorá zodpovedá približne tretine zásobného objemu nádrže. Deficit objemu predstavuje objem vody, ktorý nebude zabezpečený, pretože hladina vo vodnej nádrži by v lete, alebo zime poklesla pod hranicu minimálnej letnej resp. zimnej prevádzkovej hladiny.
Pri alternatívach C-1A, C-2A je minimálna letná hladina o 60 cm nižšia ako maximálna prevádzková hladina. Vzhľadom na malý rozdiel medzi týmito dvoma hladinami, deficity vody znovu môžu dosahovať najvyššie hodnoty zo všetkých troch alternatív manipulácie v nádrži.
Druhou hraničnou hladinou vo všetkých troch alternatívach je minimálna zimná hladina (pri objeme STMIZ). Z obrázku 10 je zrejmé, že na zabezpečenie požadovaného odberu vody v zimných mesiacoch, by musel objem v nádrži klesnúť pod STMIZ aj pri alternatívach C-1A, C-2A aj pri C-1C, C-2C. To znamená, že požadovaný objem vody nebol v zimných mesiacoch zabezpečený na 100%.



Obr. 10 Priebeh objemu nádrže [mil.m^3] počas celého pozorovaného obdobia 1951-1980 a pre vybrané alternatívy výpočtu

Fig. 10 Course of water storage within reservoir operation during 1951-1980 for selected alternatives of operation

5. ZÁVERY

V snahe zistiť vplyv klimatických zmien v prípade zložitejšej manipulácie na nádržiach, použila som rad skutočných odberov vodnej nádrže Orava (1951-1980). Tento rad je možné považovať za reálne požadovaný odber vody. Modelované prítoky do nádrže podľa GCM scenárov a ich transformácia nádržou, poskytujú scenáre hypotetických odberov a ich zabezpečenosti, čo do objemu a doby s bezporuchovou prevádzkou, v porovnaní s požadovaným (historickým) odberom vody z nádrže. Pri modelovaní prítoku do nádrží v zmenených klimatických podmienkach bola použitá najnovšia verzia klimatického scenára CCCM2000.

Cieľom tejto práce bolo zistiť schopnosť nádrže Orava zabezpečiť daný odber vody, definovaný ako reálny odber vody z nádrže počas obdobia 1951-1980, aj v zmenených klimatických podmienkach. Bola vyčíslená zabezpečenosť danej manipulácie v objeme a trvaní bezporuchovej prevádzky pre časové horizonty 2030 a 2075 a klimatický scenár CCCM2000.
Vzhľadom na geografickú polohu VN Orava, táto vodná nádrž nie je tak intenzívne využívaná na rekreačné účely počas letných mesiacoch ako VN Vihorlat, boli okrajové podmienky manipulácie na VN Orava vypracované v štyroch alternatívach. Bol vyhodnotený vzťah medzi zabezpečenosťou daného odberu vody a minimálnou letnou prevádzkovou hladinou v nádrži. Čo sa týka zabezpečenosti podľa scenára CCCM2000 je zrejmé, že hodnoty zabezpečenosti daného odberu sú nízke, a v prípade časového horizontu 2075 sa medzi hladinami 587 m n.m. 598 m n.m podstatne nelíšia.
Pri najoptimistickejších alternatívach výpočtu C/G-1M, C/G-2M, kedy je na manipuláciu na nádrži k dispozícii celý zásobný objem (objem medzi min. a max. prevádzkovou hladinou) je zrejmý výrazný pokles zabezpečenosti odberu vody čo do objemu aj čo do trvania po aplikácii scenára CCCM2000. Pre časový horizont 2030 zabezpečenosť nedosahuje ani 90%, pre časový horizont 2075 je zabezpečenosť objemu 81.5% a zabezpečenosť bezporuchovej prevádzky iba 79%.

Výsledky simulácií riadenia odtoku v podmienkach zmien klímy vodnou nádržou Orava boli spracované z pohľadu nárokov na odber vody a priority jej užívateľov v období 1951-1980. Do akej miery sa tieto nároky a priority v budúcnosti zmenia, sa v tejto práci neriešilo.

Vyvinutý model WBMOD môže byť použitý pre alternatívne hypotetické manipulácie s rôznymi variantmi režimu odberu vody z nádrže, definovanými ako časový rad hodnôt. Vypracovať alternatívne scenáre odberu vody pre rôzne alternatívy vývoja vodohospodárskych potrieb vody a následne vyčísliť ich zabezpečenosť, by bolo potrebné urobiť pre významné nádrže, predstavujúce hlavný vodný zdroj v určitej oblasti. Scenáre klimatickej zmeny a následne určený vplyv tejto zmeny na schopnosť nádrže zabezpečiť určitý odber vody z nádrže nie sú presnou predpoveďou správania sa odtoku z povodia, resp. klímy v budúcnosti. Treba si však uvedomiť, že tak ako globálne cirkulačné modely (GCMs), tak aj zrážko-odtokové modely nesú v sebe prvky neistoty.

Literatúra

Alley W.M. (1992): On the treatment of evapotranspiration, soil moisture accounting, and aquifer recharge in monthly water balance models, Water Resour. Res. 20(8), 1137─1149.

Arnell N.W. (1992): Factors controlling the effects of climate change on river flow regimes in a humid temperate environment, J. Hydrol. 132, 321─342.

Gleick P.H. (1986): Methods for evaluating the regional hydrologic impacts of global climatic changes, J. Hydrol. 88, 97─116.

Gleick P.H. (1987): Regional hydrologic consequences of increases in atmospheric CO_2 and other trace gases. Climatic Change 10, 137─161.

Gomboš M., Staňová J. (1998): Impact of water reservoir Vihorlat on hydrological regime of river Laborec (Vplyv nádrže Vihorlat na hydrologický režim Laborca). Zb. prác SHMI 42, 11─70.

Gomboš M., Staňová J., Paveleková D. (1996): Influence of Vihorlat reservoir on the river Laborec peak flow regime. (Vplyv nádrže Vihorlat na zmenu maximálnych ročných kulminačných prietokov v Laborci). J. Hydrol. Hydromech., 44, 5, 331─345.

Halmová D. (1999a): Expected consequences of climate changes in territory of water reservoir Domaša (Očakávané dôsledky klimatických zmien v oblasti vodného diela Domaša). III. vedecká konferencia: Vplyv antropogénnej činnosti na vodný režim nížinného územia, Michalovce, Zemplínska Šírava, 78─83.

Halmová D. (1999b): Consequences of climate change in Laborec-Humenné catchment (Dôsledky zmeny klímy v povodí Laborec – Humenné). Transport vody, chemikálií a energie v systéme pôda – rastlina - atmosféra. VII. Poster Day, IH and GPI SAS Bratislava, 29─30.

Halmová D. (1999c): Climate change and multipurpose water reservoir Vihorlat. In: XI. Conference of young hydrologists, meteorologists and climatologists (Klimatická zmena a viacúčelová nádrž Vihorlat. Zb.: XI. konferencia mladých hydrológov a mladých meteorológov a klimatológov), Práce a štúdie 62, SHMI Bratislava, 45─57.

Halmová D. (2002a): Total reservoir capacity simulation considering various climate change scenarios. Acta Hydrologica Slovaca, IH SAS, 2, 174─184.

Halmová D. (2002b): Changes of required water reservoir capacity under conditions of potential climate change. XXI Conference of the Danube Countries, Nat. Inst. of Meteorology and Hydrology, Bucharest, 120.

Hladný J. et al. (1996) Impact of potential climate change on hydrology and water resources in Czech Republic (Dopady možné změny klimatu na hydrologii a vodní zdroje v České Republice), NCP CR No.20.

Hladný J. (1997): Impact of a potential climate change on hydrology and water resources in the Czech Republic, NCP CR No.26.

Kundzewics Z. (2003): Water and Climate – The IPCC TAR Perspective. Nordic Hydrology, Vol. 34, No.5, 387─398.

Lapin M. (1997): Climate change scenarios for Slovak Republic (Scenáre klimatickej zmeny v Slovenskej Republike), NKP 6/97, 111─117.

Lapin M. (2000): Global (regional) climate change and hydrotechnical melioration for the climatologists point of view (Globálne (Regionálne) klimatické zmeny a hydromeliorácie z pohľadu klimatológov). Zb. referátov z vedeckej konferencie, VUMKI, Bratislava.

Lapin M., Melo M. (2000): Climate Changes and Variability, Climate Change Scenarios. Životné Prostredie, Vol. 34, No.2.

Lukáč, M. (2003): Vodohospodárske možnosti zvýšenia ochrany územia pod vodným dielom počas povodní. Zb. z konf. s medzinár. účasťou "Ochrana pred povodňami a bezpečnosť vodných stavieb", 60-65.

Majerčáková O. (1997): National Climate Programme SR (NCP SR) - hydrology and water management (Národný klimatický program SR – hydrológia a vodné hospodárstvo), NCP SR No.6, 5─9.

Melo M. (2003): Klimatické modely a ich využitie na odhad klimatických zmien na území Slovenska. Dizertačná práca, Geophysical Institute, SAS, Bratislava.

Nacházel K., Přenosilová E., Toman M. (1995): Uncertainty of climate changes and their impact on water resources (Neurčitost klimatických změn a jejich dopadů na vodní zdroje). J. Hydrol. Hydromech., 43, 3, 173─196.

Přenosilová E. (1994a): Possible impacts of climate changes on water supply from reservoirs (Důsledky klimatických změn na hospodaření s vodou v nádržích). NCP CR No.16.

Přenosilová E. (1994b): Possible impacts of climate changes on water supply from reservoirs (Důsledky klimatických změn na hospodaření s vodou v nádržích). Zb.: Prognózované zmeny klímy a zmiernenie ich negatívneho vplyvu na krajinné prostredie, 148─153.

Svoboda A. (1995): Water balance model – tool for solution of climate change impact on water resources (Bilančný model odtoku z povodia - nástroj na riešenie dopadov zmien klímy na vodné zdroje). Paper on scientific seminar IH SAS.

Svoboda A. (1996): Possible impact of the global climate change upon water supply of the Vihorlat reservoir (Možný vplyv globálnych zmien klímy na zásobovanie vodou nádrže Vihorlat). Zb. II. Ved. seminára "Vplyv antropogénnej činnosti na vodný režim nížinného územia", Michalovce, Zemplínska Šírava, IH SAS, Bratislava, 104─107.

Vandewiele G.L., Xu C.Y., NI-LAR-WIN (1992): Methodology and comparative study of monthly water balance models in Belgium, China and Burma, J. Hydrol., 134, 315─347.

Shaake J.C., Liu C. (1989): Development and applications of simple water balance models to understand the relationship between climate and water resources. New Directions for Surface Water Modelling, IAHS Publ. No. 181, 343─352.

Xu C.Y., Vandewiele G.L. (1995): Parsimonious monthly rainfall-runoff models for humid basins with different input requirements, Adv. Water Resour. 18, 39─48.

Halmová Dana

Dana, Halmová, Ústav hydrológie SAV, halmova@uh.savba.sk

Poďakovanie

Štúdia bola spracovaná v rámci riešenia grantového projektu VEGA 5056 a projektu APVT 17804.