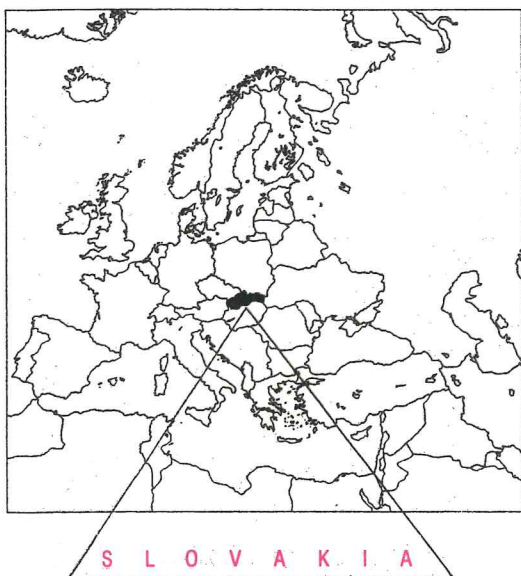


NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM SLOVENSKEJ REPUBLIKY
NATIONAL CLIMATE PROGRAMME OF THE SLOVAK REPUBLIC



NKP
11/01

NOVÉ SCENÁRE KLIMATICKEJ ZMENY A ICH VYUŽITIE
NEW CLIMATE CHANGE SCENARIOS AND THEIR UTILIZATION

- *Scenáre súborov viacerých vzájomne fyzikálne konzistentných klimatických prvkov*
(Scenarios of Several Physically Plausible Climatic Elements)
- *Možné dôsledky klimatických zmien na hladinový režim podzemných vôd v alúviách*
(The Possible Impact of the Climate Change upon the Groundwater Levels in Alluvia)
- *Simulácia vodného režimu pôd ako alternatíva k monitoringu jeho charakteristík in situ.*
(The Simulation of the Soil Water Regime as Alternative to „in situ“ Monitoring of its Characteristics)
- *Vplyv predpokladaných klimatických zmien na hrúbkový rast smreka v oblasti horských lesov hornej Oravy*
(The Influence of Assumed Climatic Changes on Spruce's Diameter Growth in Mountain Forests Area Horná Orava)
- *Klimatická zmena teplotných pomerov – podklad agroklimatickej rajonizácie plodových zelenín*
(Global warming up - a background of agroklimatic regionalisation of fruit vegetable-growing areas in Slovakia)
- *Vplyv klimatických zmien na štruktúru zoocenóz*
(The influence of climatic changes on the structure of zoocenoses)
- *Vplyv predpokladaných klimatických zmien na mineralizáciu pôdnej organickej hmoty*
(Influence of expected climatic changes on mineralization of soil organic matter)

***NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM
SLOVENSKEJ REPUBLIKY***

***NATIONAL CLIMATE PROGRAM
OF THE SLOVAK REPUBLIC***

**NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM
SLOVENSKEJ REPUBLIKY**

Zväzok 11

BRATISLAVA 2001

© MINISTERSTVO ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA SR
SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV

SLOVAK MINISTRY OF THE ENVIRONMENT
SLOVAK HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE

2001

OBSAH

<i>Lapin, M. – Melo, M. – Damborská, I.: Scenáre súborov viacerých vzájomne fyzikálne konzistentných klimatických prvkov (lektoroval: P. Šťastný)</i>	<i>5</i>
<i>Majerčáková, O. – Takáčová, D.: Možné dôsledky klimatických zmien na hladinový režim podzemných vôd v alúviách (lektoroval: E. Kullman)</i>	<i>31</i>
<i>Majerčák, J. – Štekauerová, V.: Simulácia vodného režimu pôd ako alternatíva k monitoringu jeho charakteristík in situ. (lektorovala: J. Skalová)</i>	<i>50</i>
<i>Ďurský, J. – Škvarenina, J.: Vplyv predpokladaných klimatických zmien na hrúbkový rast smreka v oblasti horských lesov hornej Oravy (lektorovala: K. Střelcová)</i>	<i>63</i>
<i>Špáňik, F. – Šiška, B. – Repa, Š. – Tomlain, J.: Klimatická zmena teplotných pomerov – podklad agroklimateckej rajonizácie plodových zelenín' (lektorovala: V. Luknárová)</i>	<i>73</i>
<i>Halgoš, J. - Bulánková, E.: Vplyv klimatických zmien na štruktúru zoocenóz (lektorovala: D. Illéšová)</i>	<i>83</i>
<i>Kromka, M.: Vplyv predpokladaných klimatických zmien na mineralizáciu pôdnej organickej hmoty (lektoroval: L. Tužinský)</i>	<i>88</i>

CONTENTS

English Abstracts and Summaries are at the End of Papers

<i>Lapin, M. – Melo, M. – Damborská, I.: Scenarios of Several Physically Plausible Climatic Elements (Reviewed by: P. Šťastný)</i>	<i>5</i>
<i>Majerčáková, O. – Takáčová, D.: The Possible Impact of the Climate Change upon the Groundwater Levels in Alluvia (Reviewed by: E. Kullman)</i>	<i>31</i>
<i>Majerčák, J. – Štekauerová, V.: The Simulation of the Soil Water Regime as Alternative to „in situ“ Monitoring of its Characteristics (Reviewed by: J. Skalová)</i>	<i>50</i>
<i>Ďurský, J. – Škvarenina, J.: The Influence of Assumed Climatic Changes on Spruce's Diameter Growth in Mountain Forests Area Horná Orava (Reviewed by: K. Střelcová)</i>	<i>63</i>
<i>Špánik, F. – Šiška, B. – Repa, Š. – Tomlain, J.: Global warming up - a background of agroclimatic regionalisation of fruit vegetable-growing areas in Slovakia (Reviewed by: V. Luknárová)</i>	<i>73</i>
<i>Halgoš, J. - Bulánková, E.: The influence of climatic changes on the structure of zoocenoses (Reviewed by: D. Illéšová)</i>	<i>83</i>
<i>Kromka, M.: Influence of expected climatic changes on mineralization of soil organic matter (Reviewed by: L. Tužinský)</i>	<i>88</i>

SCENÁRE SÚBOROV VIACERÝCH VZÁJOMNE FYZIKÁLNE KONZISTENTNÝCH KLIMATICKÝCH PRVKOV

*Lapin, M., Melo, M., Damborská, I.
KMK FMFI UK, Bratislava*

1. CHARAKTERISTIKA MODELOV GCMs POUŽÍVANÝCH NA SLOVENSKU

Za najvhodnejší prostriedok na štúdium klimatického systému sa považujú klimatické modely (Kalvová 1991, Trenberth 1992, Melo 1996). V súčasnosti sú najrozšírenejšími (najpoužívanejšími) klimatickými modelmi atmosférické a oceánické modely všeobecnej cirkulácie (AO GCMs). Vo viacerých prípadoch boli GCMs atmosféry a oceánu vyvinuté oddelene. Ich vzájomným prepojením vzniká prepojený model všeobecnej cirkulácie alebo aj prepojený oceánicko-atmosférický model (coupled GCM). Tieto modely tiež zahrňujú znázornenia krajinnopovrchových procesov, procesy dotýkajúce sa morského ľadu a mnohé ďalšie zložité procesy zahrnuté v klimatickom systéme. V niektorých strediskách vyvinuli oddelene aj modely pre ďalšie zložky klimatického systému. V Národnom centre pre atmosférický výskum (NCAR Boulder, Colorado, USA) sa vzájomne prepájajú atmosférický model, oceánický model, morskopodovcový model a model krajinného povrchu (Meehl et al. 2000). Bounoua et al. (1999) prepojil atmosférický model všeobecnej cirkulácie Coloradskej štátnej univerzity s modelom biosféry a krajinného povrchu. V najnovšej literatúre preto niektorí autori (Meehl et al. 2000, Dai et al. 2001) uprednostňujú termín modely klimatického systému, čím lepšie vystihujú aktuálne dosiahnutý pokrok pri klimatickom modelovaní.

Pri riešení úloh NKP SR využívame údaje z modelov Kanadského strediska pre klimatické modelovanie a analýzu vo Victorii (Britská Kolumbia, Kanada), v roku 2001 hlavne najnovší prepojený model 2. generácie (CCCM 2000). Predtým sme použili aj najnovší prepojený GCM GISS 1998 z Goddardovho ústavu pre vesmírne štúdie pri NASA v USA (Goddard Institute for Space Studies, New York), Lapin et al. (2000), ktorého výstupy sme v roku 2001 spracovali do väčších podrobností.

V Kanadskom stredisku doteraz vyvinuli päť klimatických modelov. Čísla v zátvorkách znamenajú rok vypracovania modelu. Prvým je atmosférický model 1. generácie (CCCM 1989), z ktorého sme mali k dispozícii výstupy v projekte U.S. Country Studies Program (tam boli označené ako CCCM). Ďalej je to atmosférický model 2. generácie (CCCM 1992). V súčasnosti je kompletizovaný už atmosférický model 3. generácie, z ktorého však zatiaľ nie sú výstupy ešte k dispozícii. Štvrtým modelom z tohto pracoviska je prepojený model 1. generácie (CCCM 1997), z ktorého máme k dispozícii dva súbory modelových výstupov (jeden iba pre rast koncentrácie skleníkových plynov (GHGs) a druhý pre rast GHGs spolu aj so zahrnutím účinkov rastu aerosólov). Tento model sme prezentovali v roku 2000 v NKP 8 a označili sme ho CCCMprep (Lapin et al. 2000). Piatym modelom je najnovší prepojený model 2. generácie (CCCM 2000), z ktorého sú tiež k dispozícii dva súbory modelových výstupov, podobne ako v predchádzajúcom prepojenom modeli 1. generácie. K dispozícii máme teda v súčasnosti spolu šesť súborov modelových výstupov štyroch klimatických modelov tohto strediska. Model CCCM používame aj z historických dôvodov, osvedčil sa v Country Study v rokoch 1995-1997. Stručný popis týchto modelov spolu aj s odkazom na ďalšiu literatúru možno nájsť v práci Lapin et al. (2000), Melo, Lapin (2000). Teraz sa zameriame hlavne na popis najnovšieho modelu CCCM 2000.

Model CCCM 2000 je prepojeným modelom 2. generácie a stredisko ho predstavilo spolu s krátkou charakteristikou na internete v roku 2000 a v literatúre o rok neskôr (Flato, Boer 2001). Model CCCM 2000 je založený na predchádzajúcom prepojenom modeli 1. generácie (CCCM 1997), ale s niektorými vylepšeniami (napr. parametrizácia oceánického premiešavania, morskopodovcová dynamika). Atmosférická časť tohto modelu vychádza z modelu CCCM 1992, ktorý predstavili Boer et al. (1992), McFarlane et al. (1992). Oceánická časť modelu vychádza z modelu Geofyzikálneho laboratória dynamiky tekutín Princetonskej univerzity (New Jersey, USA) GFDL MOM1.1. Podrobnejší popis modelu CCCM 2000 musíme preto hľadať v literatúre, ktorá prináša charakteristiku prepojeného modelu 1. generácie. Podrobný popis použitého prepojeného modelu 1. generácie a jeho kontrolnú klímu nájdeme v práci Flato et al. (2000), tu je vybratá jeho stručná charakteristika:

Atmosférická časť modelu má horizontálne rozlíšenie zhruba $3,75 \times 3,75^\circ$ (spektrálny model s 32 vlnami), čo zodpovedá celkovému počtu 96×48 uzlových bodov a má 10 vertikálnych hladín. Atmosférická zložka modelu obsahuje aj morský ľad, ktorého rast aj topenie je riadené podľa zákonov termodynamickéj energetickej bilancie. Povrch je v modeli rozdelený medzi krajinu, oceán a vnútrozemské moria. Odtok z krajinného povrchu je zjednodušený a vedie k okamžitému prenosu do oceánu (bez podpovrchového toku alebo akumulácie). Odtiahnutie ľadových kryh nie je explicitne vyjadrené a sneh sa akumuluje na ľadových štítoch Grónska a Antarktídy.

Jazerá nie sú explicitne zahrnuté v modeli, avšak berú sa do úvahy väčšie vnútrozemské moria, ako je Baltské more, Čierne more, Kaspické more, Červené more. Sú vyjadrené ako 50 m hlboké vrstvy pokojnej (nepohyblivej) morskej vody, čo zodpovedá bývalému vyjadreniu oceánu ako plytkej premiešavajúcej vrstvy (tzv. "slab" oceán) v modeli CCCM 1992. Kryosféru zahŕňa v modeli morský ľad, sneh a sezónne zamrznutá pôda (pôdna vlhkosť). Ľadovce a pevninské ľadovcové štíty sú vyjadrené ako krajina pokrytá snehom. V porovnaní s atmosférickou časťou modelu má oceánická časť použité vyššie horizontálne rozlíšenie, nakoľko viaceré globálne dôležité oceánické procesy (napr. prúdy tečúce cez úžiny) sa vyskytujú pri jemnejšom horizontálnom rozlíšení. Preto sa v oceánickom modeli využíva dvojnásobne hustejšia uzlová (gridová) sieť ako to je pri atmosférickej povrchovej sieti, a to 192x96 uzlových bodov (horizontálne rozlíšenie 1,875° podľa zemepisnej dĺžky a 1,856° podľa zemepisnej šírky). Na každý jeden gridový box (pole) atmosférického GCM pripadajú takto až štyri oceánické gridové boxy (polia). Oceánický model berie do úvahy 29 vertikálnych hladín (maximálna uvažovaná hĺbka je 5285 m pri 29. hladine). Topografia dna oceánu je získaná lineárnou interpoláciou z 1x1° Gatesovho a Nelsonovho súboru údajov s niektorými modifikáciami a konečným zhladením použitím 5 bodového filtra. Model berie do úvahy dve uzavreté oceánické nádrže, a to Hudsonov záliv a Stredozemné more, ktoré sú spojené so svetovým oceánom prostredníctvom difúzneho premiešavania sa cez Hudsonov a Gibraltársky prieliv. Také isté difúzne premiešavanie je využité aj medzi Baffinovým zálivom a Severným ľadovým oceánom cez oblasť Kanadského súostrovia. Atmosféricko-oceánické prepojenie sa uskutočňuje raz denne výmenou niektorých priemerných denných veličín a zahŕňa napr. priemerné denné toky tepla a sladkej vody (plus ich mesačné úpravy toku). Priemerné denné toky tepla a sladkej vody na povrchu oceánu sú počítané atmosférickou zložkou, pričom je aplikovaná sezónne premenlivá úprava toku. Oceánická zložka poskytuje priemerné denné teploty morského povrchu, ktoré sú potom modifikované priemernou mesačnou úpravou teploty a vrátené do atmosférickej zložky nasledujúci deň.

Model predpokladá postupný rast radiačne aktívnych plynov (GHGs) v atmosfére zodpovedajúci pozorovaniam od roku 1850 do súčasnosti (do roku 1996) a rast o 1% za rok až do roku 2100 (IPCC scenár IS92a). Model tiež predpokladá priame účinky síranových aerosólov prostredníctvom rastu albeda povrchu. Zdvojnásobenie koncentrácie GHGs v atmosfére je určené na obdobie medzi rokmi 1980 a 2050. Experimentálnu vzorku simulácii klimatickej zmeny a porovnanie výsledkov s prístrojovými záznammi teploty vzduchu a atmosférických zrážok od roku 1900 do roku 1995 podľa modelu CCCM 1997 nájdeme v práci Boer et al. (2000a), vzorku klímy 21. storočia podľa tohto modelu predstavili Boer et al. (2000b).

Model CCCM 2000 bližšie predstavili Flato a Boer (2001). Je založený na predchádzajúcom prepojenom modeli, ale s niektorými vylepšeniami (napr. parametrizácia oceánického premiešavania, morského-ľadovcová dynamika). Kým pri prepojenom modeli 1. generácie vychádza parametrizácia oceánického premiešavania z horizontálno-vertikálnej difúzie, pri prepojenom modeli 2. generácie z oveľa fyzikálnejšie založeného vírového (isospynal) premiešavania podľa Gent-McWilliamsovej schémy. Model CCCM 1997 používa iba termodynamickú schému morského ľadu, zatiaľ čo CCCM 2000 schému pohyblivej kvapalinovej dynamiky morského ľadu (cavitating). V novej verzii nájdeme aj niektoré technické rozdiely v oceánickej vírovej (spin-up) metodike a v možnosti úpravy tokov priemerného mesačného množstva tepla a vlhkosti. Najnovší kanadský model CCCM 2000 dosahuje v porovnaní s predchádzajúcim modelom CCCM 1997 veľmi podobné výsledky na globálnej úrovni. Obidva prepojené kanadské modely ukazujú väčšie oteplenie nad krajinou v porovnaní s oceánom a malé ochladenie v severozápadnej časti Atlantického oceánu. Pri zdvojnásobení GHGs v atmosfére pri modeli CCCM 2000 vychádza pre globálnu teplotu len o $< 0,1$ °C (presnejšie o 0,04 °C) nižšia hodnota v porovnaní s predchádzajúcim modelom CCCM 1997. Nastávajú však rozdiely v regionálnej distribúcii teplotného rastu. Kým v predchádzajúcom modeli bola dosiahnutá pri oteplení asymetria medzi severnou a južnou pologuľou, v najnovšom modeli je oteplenie symetrické medzi obidvomi pologulami. Najväčšie rozdiely medzi modelmi vychádzajú pri južných oceánoch, kde novší model predpokladá všeobecné oteplenie, kým starší len malé oteplenie a na niektorých miestach dokonca ochladenie. V strednej Európe vychádza teplotný rast v najnovšom modeli vyšší až o 0,5 °C v porovnaní s predchádzajúcim modelom.

V stredisku GISS sa atmosférické modely vyvíjajú od roku 1970, oceánické a prepojené modely od roku 1990. Odvtedy bolo pripravených už niekoľko klimatických modelov. Prvý model (model GISS 1982) bol dokončený v roku 1982 a výsledky z tohto typu modelu boli širšie prezentované vo viacerých prácach aj na Slovensku (Lapin et al. 1995, Lapin et al. 1997, tam sme ho označili ako GISS). Model berie do úvahy denný cyklus, má horizontálne rozlíšenie 7,83x10,0° a 9 vertikálnych hladín. Model využíva jednoduchý, 65 m hlboký tzv. "slab" oceán, pričom sa berie do úvahy zmena premiešavacej hĺbky počas sezónneho cyklu. V stredných zemepisných šírkach je hĺbka plytšia v letnom období v porovnaní so zimným. Model simuluje rovnovážnu odozvu, globálna povrchová teplota sa pre 2xCO₂ v porovnaní s 1xCO₂ zvýši o 4,2 °C. Druhý model (GISS 1985) bol dokončený v roku 1985 a simuluje prechodovú odozvu. V porovnaní s predchádzajúcim modelom má väčšiu premiešavaciu hĺbku. Ďalší model (model GISS 1994) je novou verziou pôvodného modelu so simuláciou rovnovážnej odozvy. Má lepšie horizontálne rozlíšenie (4x5°), zahŕňa 15-18 vertikálnych hladín. Model GISS 1994 býva samotným strediskom označovaný ako model GISS SI95, je to atmosférický model s jednoduchým oceánickým modelom

("slab" oceán), ktorý má predpísanú dynamiku tepelného transportu (Q-tok v oceáne). Podľa tohto modelu sa globálna teplota zvýši za 30-50 rokov o 3,5°C.

V roku 1995 stredisko prvýkrát predstavilo prepojený atmosféricko-oceánický model (model GISS 1995). V tomto roku to bola jeho 120 ročná kontrolná simulácia, ktorú stredisko označilo CO23. Touto simuláciou spolu aj s ďalším 80-ročným experimentom (s 1% rastom CO₂ ročne) stredisko prispelo do projektu CMIP a výsledky modelu boli k dispozícii aj pre IPCC na vypracovanie jej 2. správy. Na tento prepojený atmosféricko-oceánický model v ďalších rokoch nadväzovali ďalšie simulácie. Nám sa podarilo získať priamo z tohto amerického strediska prostredníctvom CD-ROM modelové výstupy zo simulácií prepojeného modelu z roku 1998 (model GISS 1998). Simulácie sa týkajú konštantnej atmosférickej kompozície z roku 1989 (simuláciu označili v stredisku CO85), ďalej je to simulácia zahrňujúca 1% rast CO₂ ročne (CO86) a simulácia zahrňujúca 1% rast CO₂ v spojení s kolísaním troposférickych síranových aerosólov (CO87). Všetky tri simulácie sú integrované v období od 1990 do 2099. Podrobnejší popis tohto modelu (GISS 1998) uviedol Russell (1998) z NASA/Goddardovho inštitútu pre vesmírne štúdiá na CD-ROM a my sme charakteristiku v skrátenej podobe uviedli v článku Lapina et al. (2000). Výsledky z tohto modelu predstavil Russell, Rind (1999). Podľa nich sa po 70-tich rokoch (v čase zdvojnásobenia CO₂) priemerná globálna povrchová teplota vzduchu zvýši pri 1% CO₂ experimente o 1,43 °C, na severnej pologuli to bude o niečo viac. Napriek globálnemu otepleniu sa na Zemi vyskytnú dve miesta kde sa teplota zníži. Až o 4 °C chladnejšie bude v oblastiach severného Atlantického oceánu a južného Tichého oceánu (zvlášť v okolí Rossovhov mora). V týchto dvoch oblastiach zaznamenáme aj nárast morského ľadu, napriek jeho globálnemu poklesu. Prvé výsledky z výstupov tohto modelu (GISS 1998) pre Slovensko sme prezentovali v roku 2000 (NKP 8) a označili sme ho tam ako GISSprep (Lapin et al. 2000). V tomto príspevku prinesieme niektoré ďalšie výsledky z tejto verzie modelu.

V roku 1999 stredisko vypracovalo pre atmosféricko-oceánický model ďalšiu verziu so šiestimi 150-ročnými simuláciami (model GISS 1999). Vypracované boli experimenty CO89 a CO92, ktoré sú kontrolnými simuláciami s konštantným atmosférickým zložením z roku 1950, ďalej CO90 a CO93 využívajúce pozorované množstvá GHGs z rokov 1950 až 1990 a od roku 1991 do roku 2099 počítajúce iba s 0,5% rastom CO₂ za rok a nakoniec CO91 a CO94, ktoré predpokladajú rast GHGs spolu aj so zmenami troposférickych síranových aerosólov. Stredisko vysvetľuje tento po roku 1990 uvažovaný rast CO₂ o 0,5% ročne za lepšie vyjadrujúci súčasné radiačné zosilnenie zapríčinené všetkými skleníkovými plynmi.

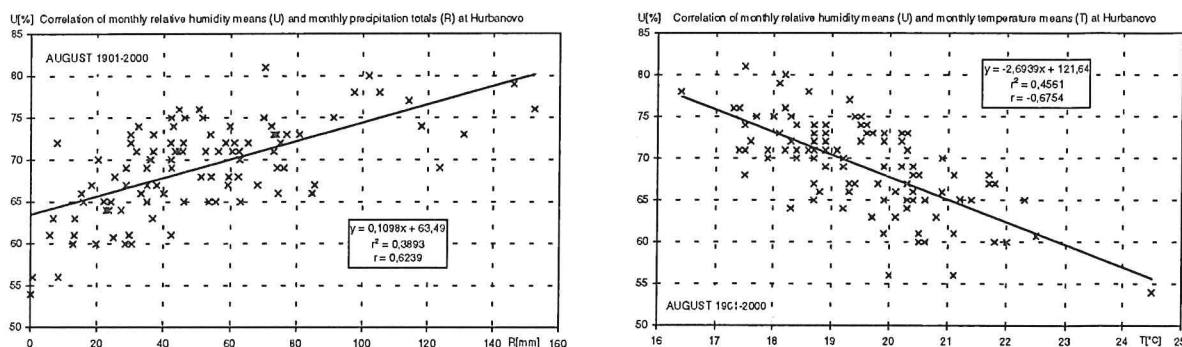
V roku 2002 sa predpokladá, že v tlači budú zverejnené prvé výsledky klimatického modelu označeného samotným strediskom ako verzia SI 2000 globálneho klimatického modelu GISS, pri ktorom sa očakávajú rôzne klimatické simulácie s globálnym modelom. Výskum je podobný ako pri predchádzajúcich modeloch, ale plánované je využitie ďalších zosilnení ako aj variantné využitie rozličných oceánických a atmosférických modelov. V dôsledku rýchleho vývoja v oceánickom modelovaní testujú v stredisku GISS niekoľko interaktívnych oceánických dynamických modelov. Ide napr. o oceánický model GFDL MOM z roku 2000, globálnu verziu Rainer Bleck-ovho (isopycnal) modelu, ako aj vlastný oceánický GISS model. Podobne v širokom rozsahu bude uvažovaný aj atmosférický model. Testovaná bude napr. dôležitosť hornej atmosféry pre troposférickú a povrchovú klimatickú zmenu, účinok rastúceho horizontálneho rozlíšenia (hustejšia sieť), rôzne spätné väzby oblakov,...

Od roku 2001 budeme označovať výstupy jednotlivých GCMs rokom prezentácie modelu, teda najnovšie budú mať označenie CCCM2000 a GISS98. Tieto dva modely reprezentujú dve strediská, ktoré majú odlišný názor na veľkosť očakávanej klimatickej zmeny. Kým kanadské stredisko CCCM môžeme zaradiť medzi pesimistickejšie strediská, americké stredisko GISS je optimistickesšie. Týka sa to jednak výsledkov ich modelov a jednak názorov ich pracovníkov, ktoré sú prezentované v literatúre. Napr. rast priemernej globálnej teploty vzduchu okolo roku 2050 je podľa najnovšieho kanadského modelu CCCM2000 približne o 1,9 °C, kým podľa najnovšieho názoru Jamesa Hansena a Makiko Sata z Goddardovho ústavu pre vesmírne štúdiá pri NASA, to bude asi o 0,75 °C a pri zavedení niektorých opatrení by to mohlo byť iba o 0,5 °C (Hansen, Sato 2001).

2. FYZIKÁLNA KONZISTENTNOSŤ SCENÁROV, REFERENČNÁ KLÍMA

Pojem fyzikálnej konzistentnosti (plausibility) je kľúčovým problémom scenárov viacerých klimatických prvkov z jedného miesta pripravovaných modernými metódami, najmä ak ide o scenáre časových radov denných alebo mesačných údajov. Všetky ostatné scenáre považujeme iba za inkrementálne, teda za akúsi kombináciu vhodných prírastkov (úbytkov) priemerov jednotlivých premenných v porovnaní s priermi premenných v kontrolnom rade (väčšinou 1951-1980, tzv. baseline scenario). Pri inkrementálnych scenároch iba jednoduchými metódami, alebo subjektívne, odhadujeme vhodnosť kombinácie určitého prírastku teploty vzduchu a prírastku alebo úbytku hodnôt iných premenných. Pri novej generácii modelových výstupov GCMs fyzikálna konzistentnosť vyplýva z použitých fyzikálnych rovníc v modeloch a z matematických metód výpočtov. V priebehu regionálnej modifikácie výstupov GCMs môže (ale nemusí) dôjsť k porušeniu uvedených vzťahov. Tieto vzťahy môžeme riešiť analyticky iba v niektorých prípadoch, väčšinou si ale môžeme pomôcť štatistickou analýzou (Lapin et al.

2001b). Ukážka je uvedená na obr. 1. V tejto štúdii uvádzame na viacerých miestach možné riziká porušenia fyzikálnej konzistencie, ktoré sú väčšinou spojené s modifikáciou výstupov GCMs do jednotlivých bodov (staníc) daného územia štatistickými metódami za použitia súborov meraných údajov (tzv. štatistický downscaling výstupov GCMs).



Obr. 1 Korelačný vzťah mesačných priemerov relatívnej vlhkosti (U) s mesačnými úhrnmi zrážok (R) pre august (vľavo) a mesačných priemerov relatívnej vlhkosti (U) s mesačnými priemermi teploty vzduchu (T) pre august (vpravo) v období 1901-1994 v Hurbanove; precipitation-temperature-humidity correlations

Výstupy GCMs nereprezentujú reálne sa vyskytujúcu klímu v bode. S určitou možnosťou môžeme predpokladať, že reprezentujú územné priemery premenných v priestore uzlových bodov, teda na ploche asi 60-100 tisíc km², čiže až na dvojnásobku plochy Slovenska. Navyše ide o priestor so značne zhladenou orografiou bez reálne sa vyskytujúcich regionálnych a lokálnych náveterných a zăveterných efektov. Ak máme pri modifikácii výstupov GCMs získať scenáre ako časové rady reprezentujúce jednotlivé stanice, tak musíme predovšetkým nájsť vzťah medzi časovými radmi územných priemerov a časovými radmi na jednotlivých staniciach. Ako sa dalo očakávať, je tento problém najzaujímavejší v prípade mesačných úhrnov zrážok (veľká premenlivosť ročného chodu a priestorovej distribúcie (Lapin et al. 2000 a 2001b) a nemá praktický zmysel sa ním zaoberať v prípade mesačných priemerov teploty vzduchu (korelačný koeficient meraných mesačných priemerov medzi stanicami je $r > 0,9$). Horšia je situácia pri posudzovaní priestorovej variability mernej vlhkosti vzduchu a hustoty toku globálneho žiarenia, kde nemáme dostatok podkladov na výpočet územných priemerov pre jednotlivé mesiace. Dá sa však predpokladať, že aj v tomto prípade ide o oveľa menej územne a časovo premenlivé prvky ako sú mesačné úhrny zrážok, preto budeme ďalej predpokladať, že tieto prvky majú podobnú prirodzenú priestorovú variabilitu akú majú modifikované výstupy GCMs.

Ďalším zo závažných problémov je výber vhodného referenčného obdobia. Obvykle je metóda konštrukcie scenárov klimatickej zmeny podmienená existenciou referenčného obdobia v inštrumentálnom období, ktoré umožňuje porovnávať modelovú klímu (scenáre) a kontrolnú klímu. V čase riešenia projektu Country Study Slovakia sme za referenčné obdobie považovali 30-ročné obdobie 1951-1980. Toto obdobie malo niekoľko výhod (nepatrný časový trend skoro všetkých prvkov, dlhodobé priemery a variabilitu blízku dlhšiemu obdobiu 1901-1990), no aj jednu nevýhodu – je príliš krátke (Lapin et al. 1997).

V ďalších rokoch sme sa pridŕžovali referenčného obdobia 1951-1980, iba scenáre CCCMprep (CCCM97) sme konštruovali podľa referenčného obdobia 1901-1990. Pri niektorých aplikáciách je nevyhnutné použiť iné referenčné obdobia klimatických prvkov, pretože nie sú k dispozícii experimentálne údaje z dohodnutých období. Vtedy sa relatívne hodnoty scenárov prepočítavajú na nové referenčné obdobie pomocou kvocientov (úhrny zrážok) alebo rozdielov (priemery teploty vzduchu) obidvoch referenčných období. Už z prvého pohľadu na časový priebeh teploty vzduchu a zrážok v období 1901-2000 je zrejmé, že je možné, aby bolo náhodne (alebo zámerne) vybrané také obdobie, ktoré nezodpovedá prevládajúcej klíme 20. storočia. K takémuto stavu môže dôjsť najmä vtedy, ak sa posudzuje kratšie obdobie, napríklad 20-ročné.

Na tieto účely sme preto urobili v NKP (2001) rozsiahle zhodnotenie kľavých 30- a 20-ročných úhrnov zrážok na viacerých staniciach a v SR (Hurbanovo, Košice, Habura, Oravská Lesná a i.) a teploty vzduchu v Hurbanove a na niekoľkých ďalších staniciach v období 1901-2000 (na tomto mieste z toho prezentujeme iba malú časť).

Z analýzy je zreteľne vidieť, že aj v prípade ročných územných úhrnov zrážok na Slovensku, vypočítaných z 203 staníc je riskantné používať 20-ročné priemery bez predchádzajúcej kritickej analýzy. V niektorých prípadoch môže ísť o rozdiel okolo 10% aj pre blízke obdobia (1921-1940 a 1927-1946). Ešte viac sa môže táto skutočnosť prejavovať na jednotlivých staniciach (príklad pre Hurbanovo, tab. 2, zadná strana obálky). Pri Hurbanove vidíme navyše veľký pokles 20- a 30-ročných úhrnov zrážok v obdobiach po roku 1971 oproti obdobiom z rokov 1901-

1960. Pre jednotlivé mesiace môžu aj pri 30-ročných kľzavých priemeroch prekročiť rozdiely 50% (október pre Hurbanovo). Variačný koeficient C_v vypočítaný z hodnôt 20- a 30-ročných kľzavých priemerov úhrnov zrážok často prevyšuje 10% dlhodobého priemeru, na nížinách občas aj 20%.

Tab. 1 Porovnanie kľzavých 30-ročných a 20-ročných priemerov teploty vzduchu v Hurbanove v období 1901-2000 (StDev - smerodajná odchýlka 30- a 20-ročných priemerov); 20- and 30-year moving temperature means and standard deviation at Hurbanovo, SW Slovakia, 115 m a.s.l.

30-ročné kľzavé priemery

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Max [°C]	-0,6	1,3	5,7	11,0	16,0	19,0	20,6	20,1	16,0	10,2	5,3	0,9	10,3
Min [°C]	-2,6	-0,8	4,3	9,6	15,1	17,9	19,8	18,9	14,7	9,7	4,0	-0,2	9,5
StDev [°C]	0,5	0,5	0,4	0,4	0,2	0,4	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2
Max-Min	2,0	2,1	1,4	1,4	0,9	1,1	0,8	1,2	1,2	0,6	1,3	1,1	0,7

20-ročné kľzavé priemery

Max [°C]	-0,4	1,4	6,0	11,2	16,2	19,0	20,9	20,4	16,2	10,5	5,6	1,4	10,4
Min [°C]	-2,9	-0,7	4,0	9,6	14,9	17,6	19,4	18,6	14,5	9,4	3,4	-0,5	9,5
StDev [°C]	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,6	0,5	0,2
Max-Min	2,5	2,1	2,0	1,6	1,3	1,4	1,5	1,8	1,7	1,1	2,2	1,9	0,9

20-ročné kľzavé smerodajné odchýlky z mesačných a ročných priemerov

Max [°C]	4,14	3,82	2,71	1,92	1,86	1,74	1,69	1,56	1,86	2,20	2,75	2,69	0,87
Min [°C]	2,04	2,23	1,48	1,22	1,33	1,06	0,81	1,01	1,14	1,01	1,21	1,44	0,52
Max-Min	2,10	1,59	1,24	0,69	0,53	0,69	0,87	0,55	0,72	1,19	1,54	1,25	0,35

Tab. 2 Porovnanie kľzavých 30-ročných a 20-ročných priemerov úhrnov zrážok v Hurbanove v období 1901-2000 (C_v – variačný koeficient 30- a 20-ročných priemerov); 20- and 30-year moving precipitation totals and variation coefficients at Hurbanovo, SW Slovakia, 115 m a.s.l.

30-ročné kľzavé priemery

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Max [mm]	39,7	41,0	42,9	52,6	68,8	73,2	66,9	59,8	53,8	57,3	60,6	54,4	592,5
Min [mm]	32,3	27,3	25,3	34,3	49,6	53,0	47,5	45,5	33,7	31,6	47,9	39,0	511,7
C_v [%]	5,2	9,8	16,5	11,7	9,4	9,4	7,4	5,9	11,7	17,0	5,9	8,3	4,3
Max-Min	7,3	13,7	17,6	18,3	19,2	20,1	19,4	14,3	20,0	25,7	12,6	15,4	80,9

20-ročné kľzavé priemery

Max [mm]	40,6	43,2	43,8	54,9	77,2	77,2	67,3	60,9	60,3	59,7	62,6	58,5	597,4
Min [mm]	29,3	26,7	24,9	31,6	47,7	53,0	43,7	40,1	26,4	30,4	45,7	36,8	497,7
C_v [%]	8,6	12,8	18,1	16,0	14,1	11,7	11,7	10,4	17,5	19,1	7,2	10,7	5,0
Max-Min	11,3	16,5	18,9	23,3	29,6	24,3	23,6	20,8	33,9	29,3	16,9	21,7	99,7

Pri teplote vzduchu nie sú rozdiely až také veľké (tab. 1, zadná strana obálky), no je potrebné uvedomiť si, že na nížinách predstavuje rozdiel 1 °C v ročnom priemere teploty vzduchu ekvivalent rozdielu v ročných úhrnoch zrážok 100 mm, čo je takmer 20%. Najväčší rozdiel v ročných priemeroch teploty vzduchu bol až 0,9 °C, ak berieme za základ 20-ročné kľzavé priemery (pri mesačných priemeroch to bolo až 2,5 °C v zimných mesiacoch).

Zmeny variability sme analyzovali na jednej stanici pre teplotu vzduchu a pre 10 staníc a územné priemery v SR aj pre mesačné a ročné úhrny zrážok. 20-ročné kľzavé smerodajné odchýlky teploty vzduchu sa môžu líšiť aj o vyše 100% (nižšej) hodnoty (v januári) a v najlepšom prípade o 40% (nižšej) hodnoty (v apríli). Pri zrážkových úhrnoch tieto rozdiely dosahujú v absolútnom vyjadrení variačných koeficientov často 40% a občas aj vyše 50% dlhodobých priemerov pre mesiace máj a október a o niečo nižšie hodnoty pre mesiace apríl až august (občas aj pod 16%). Keďže popri zmenách dlhodobých priemerov sú zmeny variability druhým najvýznamnejším faktorom klimatických zmien, musíme im venovať tiež primeranú pozornosť.

Záverom k tejto kapitole musíme zdôrazniť, že klíma našej oblasti sa vyznačuje určitým stupňom nestacionarity aj z prirodzených príčin a je riskantné siahnuť po kratších časových radoch, kalibračných a referenčných obdobiach ako 30 rokov. Dokonca aj 30-ročné obdobia je potrebné pred výpočtami podrobiť analýze na reprezentatívnosť. Z tejto analýzy vyplýva zaujímavý poznatok – niektoré odchýlky a neregulárnosti časových radov 20- a 30-ročných kľzavých priemerov dosiahli v období 1901-2000 väčšie hodnoty ako predstavujú odchýlky vyplývajúce zo scenárov pre obdobie 2001-2090. Týka sa to predovšetkým obdobia 1971-1993, ktoré bolo na časti územia Slovenska také suché, že to nemá obdobu za 225 rokov meteorologických meraní v Strednej Európe.

3. VÝBER KLIMATICKÝCH PRVKOV

Modely CCCM2000 a GISS98 poskytujú vo výstupoch časové rady údajov celý rad klimatických a hydrologických prvkov (47 pre CCCM2000 a 59 pre GISS98). Z nich sme vybrali na detailnejšiu analýzu iba 10 najpoužívanejších a na tomto mieste uvádzame ich podrobnejšiu charakteristiku. Ako sme už spomínali, všetky údaje vo výstupoch predstavujú územný priemer okolo uzlového bodu štvorcovej siete z plochy najmenej 60 tisíc km² a z časového intervalu jeden mesiac (CCCM2000), jeden rok alebo 10 rokov pre daný mesiac (GISS98). Navyše sa tento územný priemer vzťahuje na zhladenú orografiu z uzlových bodov v okolí Slovenska. Z modelu CCCM2000 využívame pri našom spracovaní výstupy z týchto štyroch uzlových bodov: A - 46,39°N, 18,75°E, 616 m n. m. (južné Maďarsko), B - 46,39°N, 22,50°E, 554 m n. m. (rumunské Karpaty), C - 50,10°N, 18,75°E, 531 m n. m. (Sliezsko), D - 50,10°N, 22,50°E, 566 m n. m. (juhovýchod Poľska), priemerná nadmorská výška 561 m. Z modelu GISS1998 využívame tiež výstupy z štyroch uzlových bodov: A - 46°N, 17,5°E, 361 m n. m. (juhozápadné Maďarsko), B - 46°N, 22,5°E, 386 m n. m. (karpatská oblasť v západnom Rumunsku), C - 50°N, 17,5°E, 366 m n. m. (severná Morava), D - 50°N, 22,5°E, 345 m n. m. (juhovýchod Poľska), priemerná nadmorská výška 364 m. Pri akejkoľvek regionálnej modifikácii sa časová variabilita jednotlivých prvkov znižuje v závislosti od počtu uzlových bodov (čím sa berie do úvahy viac uzlových bodov, tým je variabilita interpolovaného časového radu menšia).

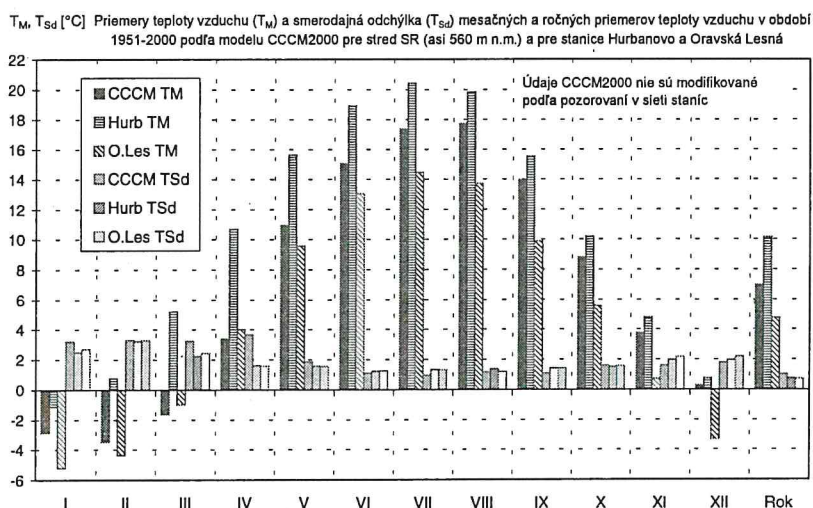
Zoznam podrobnejšie analyzovaných klimatických prvkov a charakteristík:

Model CCCM2000 (1900-2100, mesačné charakteristiky po rokoch): priemery teploty vzduchu, úhrny zrážok, hustota toku globálneho žiarenia, merná vlhkosť vzduchu, územný výpar, vlhkosť pôdy, smerodajná odchýlka denných priemerov teploty vzduchu, rýchlosť vetra.

Model GISS98 (1990-2099, mesačné charakteristiky po desaťročiach a ročné po rokoch): priemery teploty vzduchu, úhrny zrážok, hustota toku globálneho žiarenia, merná vlhkosť vzduchu, územný výpar, vlhkosť pôdy, smerodajná odchýlka denných priemerov teploty vzduchu, úhrny konvektívnych zrážok, smerodajná odchýlka denných úhrnov zrážok, rýchlosť vetra.

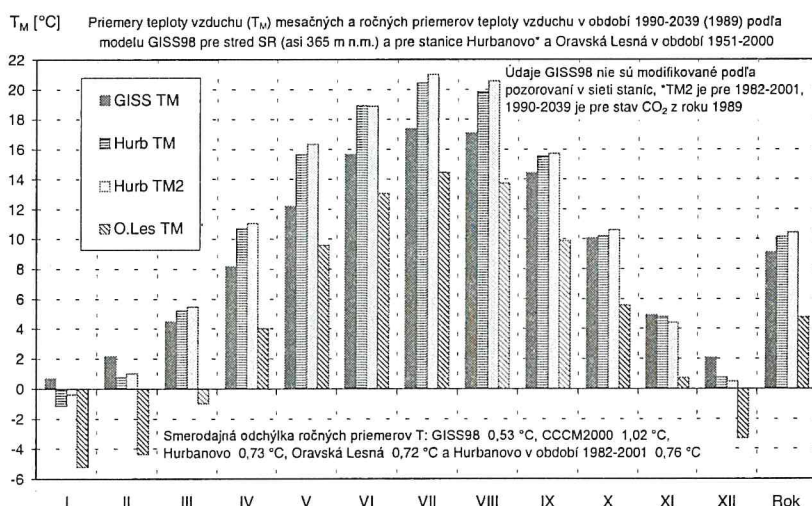
4. POROVNANIE S REFERENČNOU KLÍMOU

Na príklade niekoľkých obrázkov a tabuliek, ako aj pomocou korelačných vzťahov, sa pokúsime na malom priestore urobiť analýzu podobnosti modelovej a empirickej klímy v referenčnom (kontrolnom) období. Kritickými prvkami sa pri takejto analýze považujú teplota vzduchu (T) vo výške 2 m nad terénom a úhrny zrážok (R). Pri analýze sme použili iba nepatrne modifikované výstupy GCMs – lineárne interpolované hodnoty do stredu Slovenska. V citovanej literatúre uvádzame aj iné metódy regionálnej modifikácie (downscaling-u), ktorých cieľom je upraviť modelové výstupy tak, aby štatistické charakteristiky získané z modelových výstupov boli v kontrolnom období rovnaké (alebo veľmi podobné) ako tie, ktoré získame z časových radov meraných údajov.



Obr. 2 Porovnanie priemerov teploty vzduchu (TM) a smerodajnej odchýlky mesačných a ročných priemerov (TSd) z výstupov modelu CCCM2000 a zo staníc Hurbanovo a Oravská Lesná v období 1951-2000; Temperature means and standard deviation, Hurbanovo, 115 m a.s.l., Oravská Lesná, 780 m a.s.l.

Z porovnania na obr. 2 je zjavné, že ak berieme do úvahy nadmorskú výšku 561 m pri CCCM2000, 780 m pri Oravskej Lesnej a 115 m pri Hurbanove, tak v základných rysoch model CCCM2000 dobre vyjadruje ročný chod a aj mesačné a ročné priemery teploty vzduchu a smerodajnej odchýlky. Modelová T je pomerne nízka vo februári až apríli a relatívne vysoká v druhej polovici roka, zhoda je však lepšia ako pri modeli CCCM97. S výnimkou apríla je smerodajná odchýlka mesačných a ročných priemerov T takmer totožná s pozorovanou klímou, čo je podstatne lepšie ako pri CCCM97. Pri modeli GISS98 máme k dispozícii 10 ročné priemery po mesiacoch a ročné priemery T. Na obr. 3 vidíme porovnanie pozorovanej a modelovej klímy pre GISS98 a vyplýva z neho ešte lepšia zhoda ako pri modeli CCCM2000 s výnimkou zimných mesiacov, ktoré sú pri tomto modeli relatívne teplé. Ak však berieme do úvahy skutočnosť, že model GISS98 reprezentuje v podstate kontrolnú klímu konca 20. storočia (TM2 - stav koncentrácie CO₂ z roku 1989) a nadmorskú výšku 364 m, tak sú pri porovnaní s priemermi z Hurbanova v období 1982-2001 výsledky ešte lepšie. Smerodajnú odchýlku môžeme pri výstupoch modelu GISS98 zhodnotiť iba pre ročné priemery T, pričom kontrolný rad je pre roky 1990-2009 a stav CO₂ z roku 1989. Smerodajná odchýlka je nižšia ako pri CCCM2000 (0,53 a 1,02 °C), pričom pre Hurbanovo je v období 951-2000 StDev = 0,73 °C a pre obdobie 1982-2001 podobne 0,76 °C.



Obr. 3 Porovnanie priemerov teploty vzduchu (TM) mesačných a ročných priemerov a smerodajnej odchýlky ročných priemerov z výstupov modelu GISS98 a zo staníc Hurbanovo a Oravská Lesná; Temperature means, Hurbanovo in SW Slovakia, 115 m a.s.l., Oravská Lesná in NW Slovakia, 780 m a.s.l.

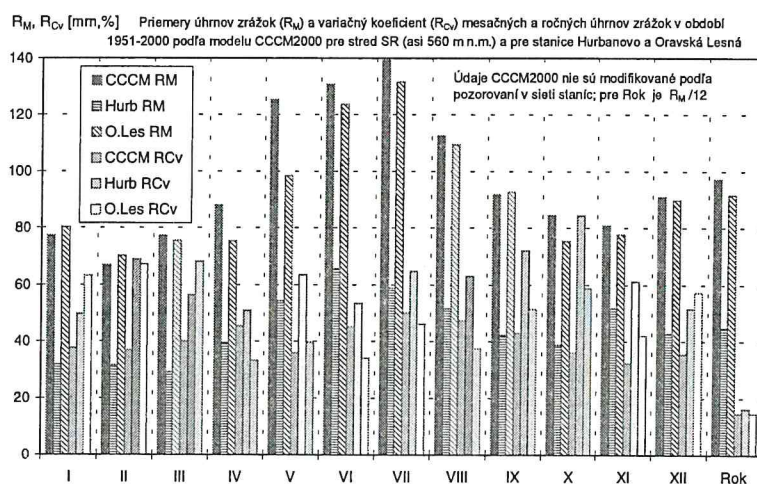
V tab. 3 je porovnanie závažnej teplotnej charakteristiky – smerodajnej odchýlky denných priemerov teploty vzduchu po mesiacoch roka. Aj keď ide o mierne odlišné 50-ročné obdobia, je vidieť najmä pri GISS98 pomerne dobrú zhodu tejto teplotnej charakteristiky. GISS98 predpokladá na našom území dlhšiu zimu, preto aj v marci pokračuje zimný charakter smerodajnej odchýlky, kým v Hurbanove je prechod k letným pomerom rýchlejší. Pri CCCM2000 sú hodnoty v zime a v marci nižšie asi o 1 °C a v ostatných mesiacoch do 0,5 °C ako pri GISS98. Všeobecne nižšie hodnoty podľa modelových výstupov zrejme súvisia s tým, že ide o územné údaje. Obidva modely však poskytujú tiež výstupy mesačných priemerov denných maxim a minim teploty vzduchu a mesačných priemerov teploty vzduchu na štandardných hladinách vo voľnej atmosfére. Na tomto mieste ich nebudeme analyzovať pre nedostatok priestoru a budeme im venovať samostatný príspevok.

Tab. 3 Smerodajná odchýlka denných priemerov teploty vzduchu [°C] podľa CCCM2000 (1951-2000) a GISS98 v období 1990-2039 pri stave CO₂ z roku 1989 a pre Hurbanovo v období 1951-2000; Standard deviation of daily mean temperatures, Hurbanovo SW Slovakia, 115 m a.s.l.

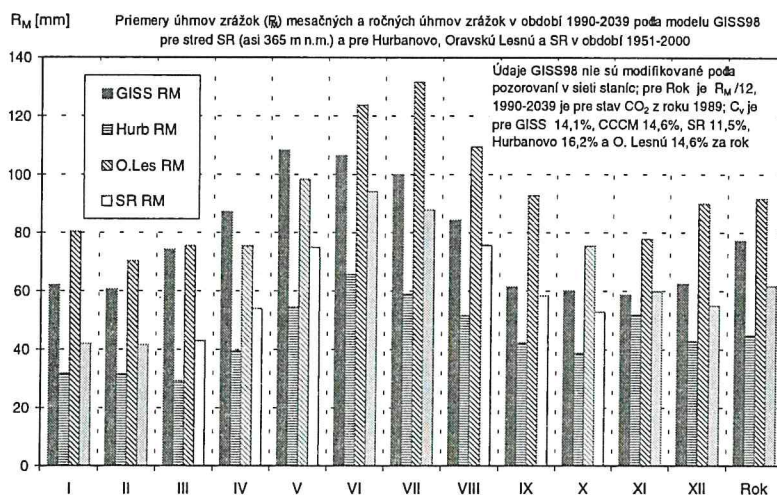
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
CCCM2000	3,27	3,65	2,70	3,36	2,91	2,27	2,21	2,37	2,94	3,35	2,93	2,00
GISS98	4,28	4,22	4,15	3,46	3,05	2,85	2,47	2,62	3,07	3,63	3,84	4,00
Hurbanovo	4,61	4,70	4,04	3,85	3,73	3,47	3,32	3,23	3,30	3,67	3,80	4,12

Pokúsme sa podobným spôsobom zhodnotiť aj zrážkové údaje (R). Na obr. 4 vidíme, že CCCM2000 poskytuje ešte vyššie úhrny R ako boli pozorované v Oravskej Lesnej v období 1951-2000, no ročný chod R je veľmi podobný (kopíruje ročný chod v O. Lesnej s výnimkou mája). V porovnaní s Hurbanovom sú úhrny podstatne vyššie. Vyššie sú aj v porovnaní s územným priemerom v SR o 58%. Pri výstupoch CCCM97 však boli úhrny R ešte vyššie a bol o niečo menej podobný ročný chod. Pri modeli GISS98 sú úhrny R nižšie, iba o 25% vyššie ako

územný priemer v SR, horší je však ročný chod (relatívne vysoké úhrny v máji a aj v apríli). Skoro všetky GCMs majú vyššie úhrny R v porovnaní s pozorovaním v období 1951-2000 a aj 1901-1990. Zvlášť to platí o našom území, kde je rozdiel ešte väčší. Vysvetliť to môžeme nasledovne: 1. Pozorované úhrny R sú na Slovensku v priemere nižšie ako skutočnosť o 10 až 25% kvôli systematickým chybám merania; 2. Všetky GCMs majú zjednodušenú orografiu bez záveterných efektov Álp a Karpát na území Slovenska, ktoré tu reálne znižujú úhrny R najmenej o 25%, predovšetkým v chladnom polroku. Pri zohľadnení týchto skutočností môžeme považovať úhrny R podľa modelov CCCM2000 a GISS98 za pomerne spoľahlivé. CCCM2000 navyše veľmi dobre modeluje vplyv Stredomoria, vnútrozemia a Atlantického oceánu, ak hodnotíme zvlášť jednotlivé uzlové body v okolí Slovenska (Lapin et al., 2000). Variabilitu mesačných úhrnov R môžeme porovnávať iba pri modeli CCCM2000 (obr. 4), ročných pri obidvoch modeloch. Podľa očakávania je variačný koeficient mesačných úhrnov R modelových výstupov nižší v porovnaní s pozorovaním. Súvisí to so skutočnosťou, že v uzlových bodoch reprezentujú výstupy GCMs územné a nie bodové úhrny, navyše pri interpolácii do stredu SR sa územie zväčší na štvornásobok. Rozdiely v C_v však zďaleka nie sú také veľké ako to bolo pri CCCM97, kde boli často menej ako polovičné. Pre územné priemery R je v období 1951-2000 C_v vo februári 52,1%, v júni 27,8% a v októbri 72,2%. Ročné hodnoty C_v sú veľmi podobné: CCCM2000 má 10,2% (v jednotlivých bodoch v priemere 14,6%), GISS98 má 11,1% (14,1%), Slovensko 11,5%, Hurbanovo 16,2% a Oravská Lesná 14,6%. To je možné považovať za veľmi dobrý výsledok.



Obr. 4 Porovnanie úhrnov zrážok (R_M) a variačného koeficientu mesačných a ročných úhrnov (R_{Cv}) z výstupov modelu CCCM2000 a zo staníc Hurbanovo a Oravská Lesná v období 1951-2000 (uvedený je ročný úhrn $R_M/12$); Precipitation mean totals and variation coefficients in %, Hurbanovo in SW Slovakia, 115 m a.s.l., Oravská Lesná in NW Slovakia, 780 m a.s.l.

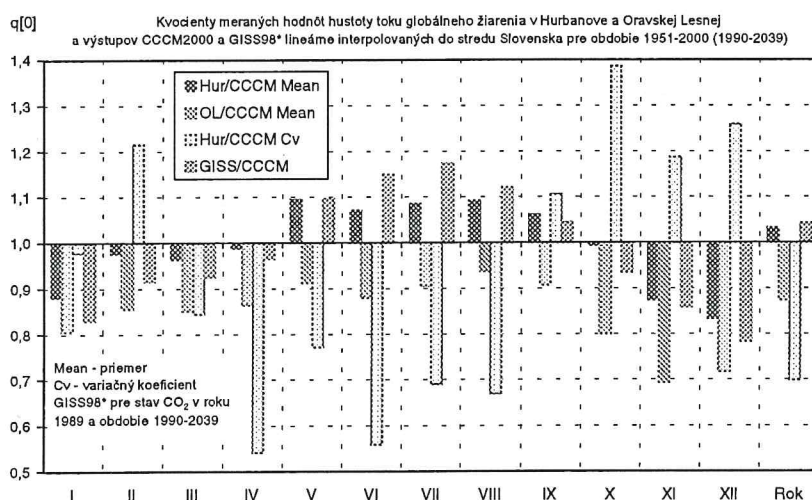


Obr. 5 Porovnanie úhrnov zrážok (R_M) z výstupov modelu GISS98 v období 1990-2039, územných priemerov na Slovensku a zo staníc Hurbanovo a Oravská Lesná v období 1951-2000 (uvedený je ročný úhrn $R_M/12$); Precipitation mean totals, Hurbanovo in SW Slovakia, 115 m a.s.l., Oravská Lesná in NW Slovakia, 780 m a.s.l.

Výstupy modelu GISS98 poskytujú aj scenáre vývoja smerodajnej odchýlky denných úhrnov zrážok, z ktorých sa dajú určiť aj hodnoty variačného koeficientu (C_v). Predpokladáme, že pod pojmom C_v denných úhrnov zrážok sa rozumie iba variabilita nenulových denných úhrnov zrážok, teda aj priemer sa počíta z dní keď boli zrážky nenulové. Takouto metódou sme vypočítali C_v z ročných súborov denných údajov v Hurbanove v období 1971-1990. Priemer tu dosiahol $C_v = 174\%$, maximum $205,5\%$ a minimum $144,7\%$. Ak považujeme všetky dni roka za dni so zrážkami ≥ 0 mm, tak vzrastie C_v o 40 až 60% (variačné rozpätie C_v je 232 až 335%). Modelový výstup GISS98 poskytuje údaje o priemerných denných úhrnoch zrážok a o smerodajnej odchýlke denných úhrnov zrážok, ktorá sa počíta podľa vzťahu: $StDev = (n^{-1} \sum (R_i - R)^2)^{0,5}$, kde n je počet všetkých dní, R_i sú úhrny za jednotlivé dni a R je denný priemer úhrnu zrážok, čiže berú sa do úvahy všetky dni, vrátane tých keď sa zrážky nevyskytli. Pri GISS98 dosahujú ročné hodnoty C_v denných úhrnov zrážok iba okolo 130% s individuálnym maximom 182% v uzlovom bode B a 154% pri interpolácii do stredu SR. Podstatou rozdielu C_v z modelového výstupu a z empirických údajov je predovšetkým rozdiel v denných priemeroch úhrnov zrážok za rok a za jednotlivé dni (GISS98 pre stred SR okolo 2,5 mm s individuálnym maximom 3,0 mm, v uzlových bodoch individuálne maximum 3,5 mm, v Hurbanove je to v priemere 1,6 mm s individuálnym maximom 2,5 mm za 130 rokov). Smerodajná odchýlka z údajov GISS98 je okolo 3,2 mm s individuálnym maximom 3,6 mm a z denných úhrnov z Hurbanova okolo 4,0 mm (z krátkeho radu je maximum 5,0 mm). Dá sa teda povedať, že vo výstupe modelu GISS98 ide o variabilitu územných priemerov denných úhrnov zrážok, ktorá je iba asi polovičná v porovnaní s jednotlivými stanicami. Napriek tomuto nedostatku môžeme z výstupov GISS98 stanoviť aspoň scenáre zmien C_v do roku 2100, pričom predpokladáme, že relatívna priestorová variabilita denných úhrnov zrážok sa v najbližšom storočí zmení iba nepatrne (Lapin et al. 2001b).

Ďalším užitočným výstupom modelu GISS98 je úhrn konvektívnych zrážok (R) za jednotlivé roky a za mesiace po desaťročiach. Predpokladá sa, že v súvislosti so zmenami vlhkosti vzduchu dôjde pri raste teploty vzduchu k zvýšeniu rizika prívalových dažďov. Túto charakteristiku nemôžeme konfrontovať s priamymi meraniami v sieti staníc, pretože sa u nás nemerajú zvlášť úhrny konvektívnych R . GISS98 predpokladá pre stred SR podiel konvektívnych R pri stave CO_2 z roku 1989 v prvých 50 rokoch 70,0%, v bode A je to 74,5%, v B 69,3%, v C 69,1% a v D 67,5%. Priestorové rozdiely teda nie sú veľké a dajú sa dobre fyzikálne interpretovať, relatívne najviac konvektívnych zrážok je v uzlovom bode A s najväčším vplyvom Stredomoria, menej je v bodoch B a D, kde je v teplom polroku pomerne málo zrážok. Vzhľadom na menšie rozdiely v mesačných úhrnoch R medzi uzlovými bodmi v modeli GISS98 ako v modeli CCCM2000 môžeme predpokladať, že aj ostatné zrážkové charakteristiky majú pri CCCM2000 väčšiu priestorovú premenlivosť.

Prvky slnečnej radiácie (globálne žiarenie a radiačnú bilanciu) môžeme konfrontovať s experimentálnymi údajmi z obdobia 1951-2000 z viacerých staníc na Slovensku (Hrvoľ et al. 2001). Ide o vypočítané mesačné údaje podľa modelu s empirickými vstupmi viacerých prvkov s vysokou koreláciou s priamo meranými údajmi. Vybrali sme Hurbanovo a Oravskú Lesnú s extrémnejším režimom týchto prvkov v rámci Slovenska.



Obr. 6 Porovnanie (kvocienty) globálneho žiarenia z modelových výstupov CCCM2000 pre obdobie 1951-2000 a GISS98 pre obdobie 1990-2039 (pri stave CO_2 z roku 1989) pre stred Slovenska a údajov globálneho žiarenia získaných z pozorovaní na staniách Hurbanovo a Oravská Lesná v období 1951-2000 (Mean – mesačné a ročné priemery, C_v – variačný koeficient pri CCCM2000); Global radiation quotients (means and variation coefficients), Hurbanovo in SW Slovakia, 115 m a.s.l., Oravská Lesná in NW Slovakia, 780 m a.s.l.

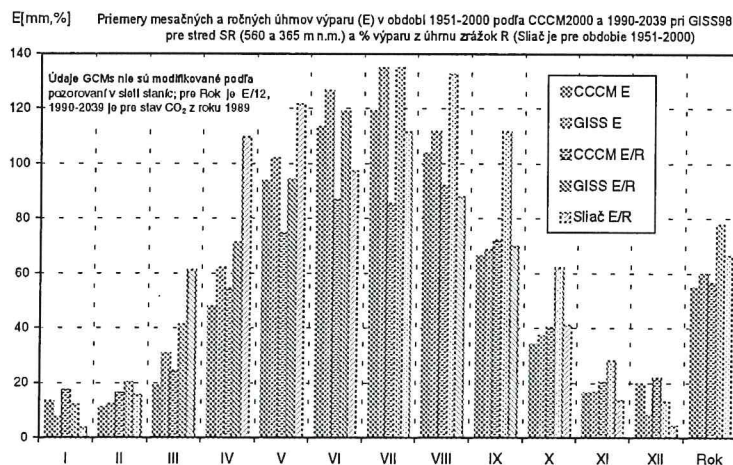
Z porovnania uvedeného na obr. 6 vidíme, že model GISS98 dáva v období 1990-2039 (pri stave CO₂ z roku 1989) od mája po august vyššie úhrny globálneho žiarenia ako model CCCM2000 v období 1951-2000 o 10 až 17%, za rok iba o 4,2% (od novembra po január je to menej o 14 až 22%). Vyplýva to z odlišnej fyzikálnej interpretácie procesov v obidvoch modeloch. Kvocienty modelových údajov pre stred Slovenska a experimentálnych údajov pre Hurbanovo a Oravskú Lesnú sú dobre interpretovateľné. V modeli CCCM2000 zrejme nemôžu byť vyjadrené vplyvy nízkej oblačnosti a hmly v chladnom polroku, lebo všetky okolité uzlové vody sú vlastne na návrší okolo 560 m n.m. Z tohto hľadiska je model GISS98 v chladnom polroku úspešnejší. V teplom polroku dáva model GISS98 pomerne vysoké hodnoty a je tiež bližšie k experimentálnym údajom ako CCCM2000. Variálny koeficient mesačných a ročných údajov je vo výstupoch CCCM2000 nižší (väčšinou o málo vyšší v mesiacoch september až február) ako v empirických údajov v Hurbanove a porovnateľný v Oravskej Lesnej (0,88 až 1,04 od apríla po august a 0,93 za rok). V ostatných mesiacoch roka je pre Oravskú Lesnú C_v o 40 až 100% vyšší ako pri CCCM2000, čo sa tiež dá vysvetliť nízkou oblačnosťou vplyvajúcou aj na radiačné pomery v nadmorskej výške 780 m na Orave.

Podobne sa môžeme vysporiadať aj s porovnaním priemernej mesačnej oblačnosti, teda pokrytím oblohy oblačnosťou. Vzhľadom na to, že tento prvok sa často používa v modelových výpočtoch (Hrvoľ et al. 2001), venujme mu aspoň jednu tabuľku (tab. 4) aj keď sa týmto prvkom nebudeme ďalej podrobnejšie zaoberať. Ročné hodnoty priemernej oblačnosti sú veľmi blízke skutočnosti, v Hurbanove 90,3% a v O. Lesnej 108,8% z modelových výstupov GISS98 (pre stred SR bez modifikácie). Počas roka sa prejavuje neschopnosť modelov GCMs vyjadriť vplyv nízkej inverznej oblačnosti a hmly v novembri až januári podmienených orografiou. Hodnoty pre ostatné mesiace sú primerané, len v máji dáva GISS98 veľa oblačnosti (aj zrážok).

Tab. 4 Pomer mesačných a ročných priemerných pokrytia oblačnosti (N) pre stanice Hurbanovo a O. Lesná podľa údajov v období 1951-2000 a z modelových výstupov GISS98 pre obdobie 1990-2039 (pri stave CO₂ z roku 1989) pre stred Slovenska v %; Cloudiness quotients in %, stations Hurbanovo and Oravská Lesná.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Hurbanovo/GISS	101,9	97,4	95,2	84,7	77,9	81,5	79,6	78,4	85,5	85,6	104,3	104,9	90,3
Oravská Lesná/GISS	109,2	112,4	112,2	101,2	99,1	106,2	108,6	106,3	113,7	105,6	118,4	112,2	108,8

Pri hodnotení výstupov výparu (E) urobíme najprv porovnanie s úhrnmi zrážok (R), pretože práve rozdiely R oproti meraniam a diametrálne odlišné odtokové pomery na zhladenej orografii najviac ovplyvňujú veľkosť výparu. Ročný úhrn výparu dosahuje pre stred SR pri CCCM2000 až 657 mm a pri GISS98 až 718 mm, čo je podstatne viac ako uvádza Tomlain (1999), iba okolo 450 mm pre porovnateľné nadmorské výšky. Keď ale hodnotíme pomer E a R (obr. 7) nie sú výsledky až také hrozné, dokonca na Sliachi je tento pomer v mesiacoch marec až máj podstatne vyšší oproti obidvom modelom a v ostatných mesiacoch porovnateľný s CCCM2000 (okrem januára a decembra). GISS98 dosahuje vysoké hodnoty pomeru E/R v auguste až októbri, čo je zrejme dané odlišne interpretovaným mechanizmom procesu hydrologickej bilancie zabudovaným do tohto modelu (pri podstatne nižších úhrnoch R je E takmer rovnaký ako pri CCCM2000, tab. 5, obr. 4 a 5).

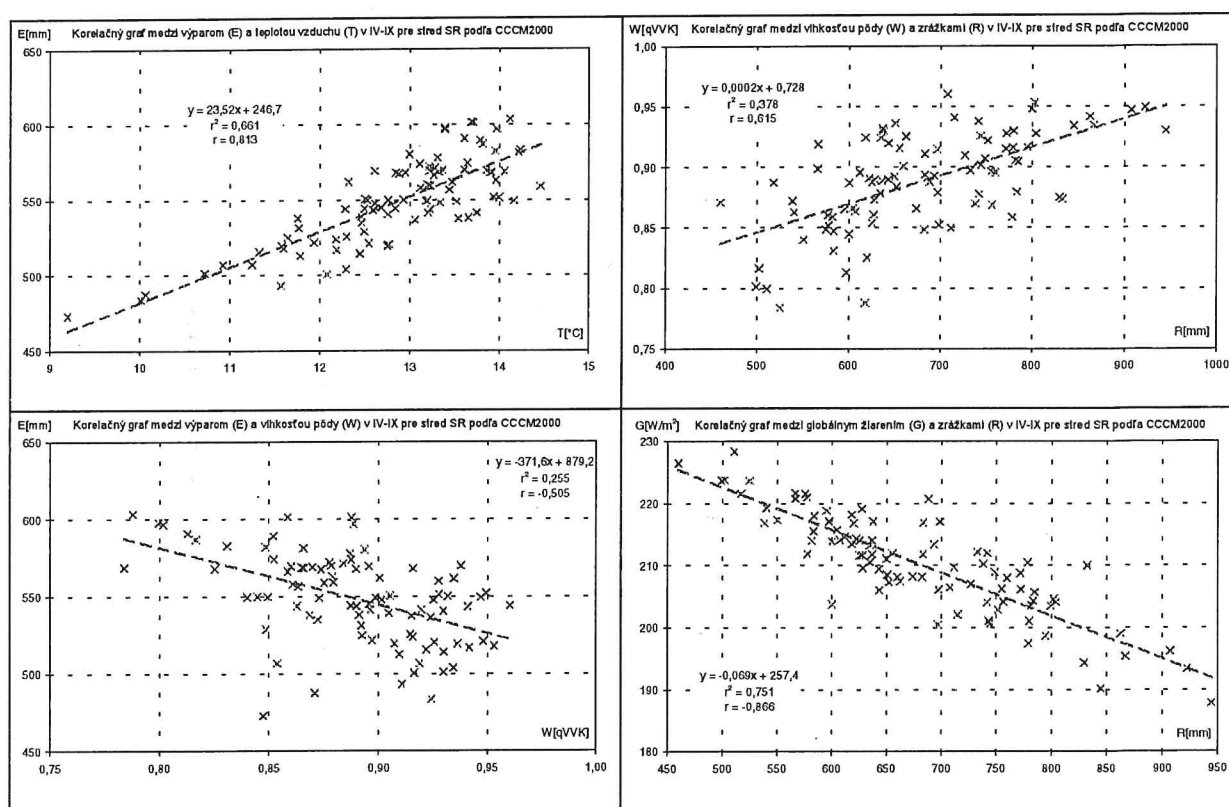


Obr. 7 Mesačné a ročné priemerné úhrny výparu (E) z modelových výstupov CCCM2000 pre obdobie 1951-2000 a GISS98 pre obdobie 1990-2039 (pri stave CO₂ z roku 1989) pre stred Slovenska (ročné E sú vypočítané ako 1/12 ročného úhrnu), porovnanie údajov E a úhrnov zrážok (R) z rovnakých výstupov, porovnanie E/R pre stanicu Sliach podľa empirických údajov v období 1951-2000; Evaporation mean totals, Evaporation/Precipitation quotients, Sliach in central Slovakia, 313 m a.s.l.

Tab. 5 Pomer mesačných a ročných priemerných úhrnov výparu (E) pre stanicu Sliach podľa empirických údajov v období 1951-2000 a z modelových výstupov CCCM2000 pre obdobie 1951-2000 a GISS98 pre obdobie 1990-2039 (pri stave CO₂ z roku 1989) pre stred Slovenska v %; Evaporation quotients in %, Sliach in central Slovakia

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Sliach/CCCM	10,6	59,6	141,1	113,4	83,0	74,6	67,6	58,4	58,2	62,3	53,3	11,7	70,4
Sliach/GISS	19,3	53,3	87,3	87,0	76,2	66,7	59,7	54,1	56,1	57,0	53,0	28,1	64,4

Ďalším prvkom, ktorý môžeme porovnať je vlhkosť pôdy (W). V modeli CCCM2000 je vyjadrená ako kvocient z VVK (využiteľnej vodnej kapacity pôdy), čiže v rozmere $0,0 < W < 1,0$. V modeli GISS98 je však vyjadrená ako množstvo vody v jednometrovej vrstve pôdy v mm. To do určitej miery komplikuje porovnávanie. Keďže na Slovensku nemáme dlhé rady merania vlhkosti pôdy, skúsme urobiť koreláciu časových radov výstupov (tu iba podľa CCCM2000). Najprv teda zoberme do úvahy prvky dotýkajúce sa vlhkosti pôdy. V modeli CCCM2000 sme korelovali časové rady 5 prvkov: W, T, R, E a G (vlhkosť pôdy, teplota vzduchu, úhrny zrážok, výpar a globálne žiarenie). Ako ukážku uvádzame 4 grafické vyjadrenia korelácie (E a T, W a R, E a W, G a R) na obr. 8 a tabuľkové vyjadrenie všetkých vzájomných korelácií pre hodnoty za rok a teplý polrok v tab. 6.



Obr. 8 Korelačné grafy E a T (hore vľavo), W a R (hore vpravo), E a W (dole vľavo), G a R (E – výpar, T – teplota vzduchu, W – vlhkosť pôdy, R – úhrny zrážok, G – globálne žiarenie) časových radov údajov za IV-IX v období 1901-1990 podľa výstupov CCM2000 lineárne interpolovaných do stredu Slovenska; correlation of CCCM2000 time series for evaporation E, temperature T, soil moisture W, precipitation R and global radiation G linearly interpolated to center of Slovakia in April-September 1901-1990

Podobné korelačné grafy a tabuľky môžeme urobiť na Slovensku iba pre stanicu Hurbanovo (tab. 7), pričom hodnoty vlhkosti pôdy musíme použiť z medzivýpočtov evapotranspirácie komplexnou metódou (Tomlajn 1999). V korelačných grafoch na obr. 8 (vľavo dole) a v tab. 6 je prekvapujúca iba negatívna závislosť výparu E od vlhkosti pôdy W, v Hurbanove je to inak (tab. 7). Model CCM2000 dáva pri interpolácii do stredu Slovenska (ale aj v uzlových bodoch A, C, D) takmer stále dostatočne vysoké hodnoty W, pričom najvyššie W sa vyskytujú pri chladnejšom počasi, bohatom na zrážky, ktoré nie je vhodné na vysoké hodnoty výparu E (tab. 6). Na tomto mieste nemáme dostatok priestoru na detailnejšiu analýzu, no zjednodušene sa dá tvrdiť, že všetky korelácie v tab. 6 môžeme považovať za fyzikálne dobre interpretovateľné, a teda, že sú uvedené prvky vzájomne fyzikálne konzistentné. Je potrebné brať do úvahy odlišný mechanizmus hydrologickej bilancie CCCM2000.

Tab. 6 Korelačné koeficienty dvojíc prvkov (E – výpar, T – teplota vzduchu, W – vlhkosť pôdy, R – úhrny zrážok, G – globálne žiarenie) časových radov údajov za rok a IV-IX v období 1901-1990 (hore) a 2001-2100 (dole) podľa výstupov CCM2000 v uzlových bodoch A, B, C, D a lineárne interpolovaných do stredu Slovenska; correlation of CCCM2000 time series for evaporation E, temperature T, soil moisture W, precipitation R and global radiation G linearly interpolated to center of Slovakia in 1901-1990 (annual and April-September values)

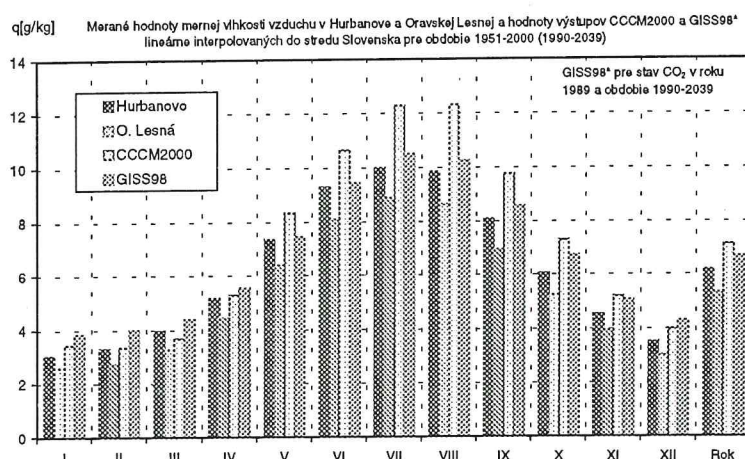
1901-1990	Ročné hodnoty					Apríl až september				
	A	B	C	D	SR	A	B	C	D	SR
T a R	0,059	-0,056	0,168	0,074	0,070	-0,025	-0,171	0,177	0,028	0,067
E a R	-0,428	-0,066	-0,164	-0,250	-0,204	-0,554	-0,253	-0,199	-0,264	-0,227
E a T	0,439	0,559	0,779	0,814	0,792	0,516	0,740	0,740	0,829	0,813
E a W	-0,387	0,080	-0,376	-0,462	-0,331	-0,602	-0,276	-0,467	-0,526	-0,505
E a G	0,458	0,122	-0,059	-0,110	0,016	0,649	0,470	0,156	0,099	0,211
T a G	-0,093	0,089	-0,445	-0,446	-0,309	0,030	0,252	-0,288	-0,267	-0,117
R a G	-0,828	-0,830	-0,737	-0,710	-0,824	-0,861	-0,849	-0,797	-0,759	-0,866
W a T	0,014	-0,104	-0,045	-0,266	-0,180	-0,216	-0,318	-0,120	-0,303	-0,290
W a R	0,756	0,714	0,677	0,459	0,559	0,804	0,720	0,645	0,536	0,615

2001-2100	Ročné hodnoty					Apríl až september				
	A	B	C	D	SR	A	B	C	D	SR
T a R	0,126	-0,051	0,211	0,019	0,070	-0,087	-0,301	-0,021	-0,047	-0,125
E a R	-0,250	0,378	-0,172	-0,280	-0,064	-0,576	0,170	-0,444	-0,454	-0,393
E a T	0,674	0,276	0,724	0,806	0,808	0,606	0,034	0,687	0,750	0,728
E a W	-0,310	0,553	-0,444	-0,374	-0,193	-0,585	0,448	-0,487	-0,523	-0,379
E a G	0,442	-0,323	0,206	0,173	0,086	0,740	-0,085	0,526	0,525	0,486
T a G	0,005	0,083	-0,296	-0,201	-0,114	0,184	0,398	-0,045	0,036	0,154
R a G	-0,804	-0,815	-0,651	-0,704	-0,765	-0,837	-0,873	-0,717	-0,771	-0,818
W a T	-0,055	-0,254	-0,041	-0,188	-0,235	-0,325	-0,529	-0,106	-0,197	-0,407
W a R	0,739	0,713	0,447	0,606	0,600	0,751	0,744	0,623	0,705	0,652

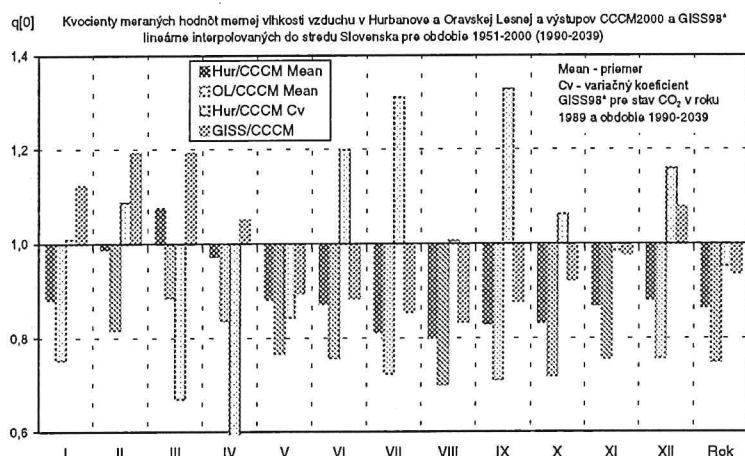
Tab. 7 Korelačné koeficienty dvojíc prvkov (E – výpar, T – teplota vzduchu, W – vlhkosť pôdy, R – úhrny zrážok, G – globálne žiarenie) časových radov údajov za rok a IV-IX v období 1951-2000 v Hurbanove; correlation of Hurbanovo time series for evaporation E, temperature T, soil moisture W, precipitation R and global radiation G in 1951-2000 (annual and April-September values)

	T a R	E a R	E a T	E a W	E a G	T a G	R a G	W a T	W a R
Rok	-0,094	0,737	0,087	0,742	-0,281	0,367	-0,529	-0,114	0,835
IV-IX	-0,192	0,830	-0,074	0,816	-0,344	0,682	-0,488	-0,325	0,841

Poslednými prvkami, ktoré budeme podrobnejšie hodnotiť v tejto kapitole sú merná vlhkosť vzduchu a rýchlosť vetra. Kým mernú vlhkosť vzduchu sme už analyzovali aj v roku 2000 (Lapin et al. 2000), vetrom sa zaoberáme po prvýkrát. Merná vlhkosť vzduchu dominantne určuje niektoré meteorologické procesy, preto je veľmi dôležité, aby sme aj scenáre správne interpretovali a používali v modelových výpočtoch impaktov klimatickej zmeny. Na obr. 9 vidíme absolútne hodnoty a na obr.10 relatívne hodnoty mernej vlhkosti vzduchu v Hurbanove, Oravskej Lesnej a podľa výstupov CCCM2000 z obdobia 1951-2000 a GISS98 z obdobia 1990-2039 pri stave CO₂ z roku 1989. Dalo sa očakávať, že sa vyskytnú určité rozdiely, najmä keď pri CCCM97 boli absolútne hodnoty mernej vlhkosti vzduchu také vysoké, že boli takmer nepoužiteľné. Aj CCCM2000 dáva vyššiu mernú vlhkosť vzduchu, čo súvisí jednak s relatívne vyššou teplotou vzduchu v lete a celkove vlhším charakterom tohto modelu v strednej Európe. Obidva modely „nepoznajú“ Panónsku kotlinu a ani záveterné efekty Álp a Karpát, ktoré vytvárajú suchšiu klímu ako by zodpovedalo pri takej orografii akú predpokladajú modely CCCM2000 a GISS98. Napriek tomu, môžeme konštatovať, že model GISS98 je o málo bližšie pozorovanej skutočnosti aj pokiaľ ide o absolútne hodnoty a aj ročný chod mernej vlhkosti vzduchu (nadmorská výška interpolovaného bodu v strede SR je pri CCCM2000 až 561 m a pri GISS98 364 m, Hurbanovo má 115 m a O. Lesná 780 m n.m.). Aj keď ide pri CCCM2000 o územné priemery mernej vlhkosti vzduchu na plochom návrší v strednej Európe, na prekvapenie sú pomerne malé rozdiely aj vo variačnom koeficiente C_v mesačných a ročných priemerov v porovnaní s Hurbanovom (obr. 10). Nespracovali sme relatívnu vlhkosť vzduchu, ktorá by poskytla lepší obraz o skutočných vlhkostných pomeroch. Urobíme to v samostatnom príspevku v roku 2002. Očakávame, že model CCCM2000 predpokladá na Slovensku relatívnu vlhkosť vzduchu porovnateľnú s podmienkami v horských polohách, prípadne ešte o málo vyššiu (má výšku 561 m n.m.), model GISS98 má nižšiu nadmorskú výšku (364 m) a lepšie vyjadruje podmienky relatívnej vlhkosti vzduchu v nižších polohách Slovenska.



Obr. 9 Porovnanie hodnôt mernej vlhkosti vzduchu z modelových výstupov CCCM2000 pre obdobie 1951-2000 a GISS98 pre obdobie 1990-2039 (pri stave CO₂ z roku 1989) pre stred Slovenska a údajov mernej vlhkosti získaných z pozorovaní na staniciach Hurbanovo a Oravská Lesná v období 1951-2000; Specific humidity, Hurbanovo in SW Slovakia, 115 m a.s.l., Oravská Lesná in NW Slovakia, 780 m a.s.l.



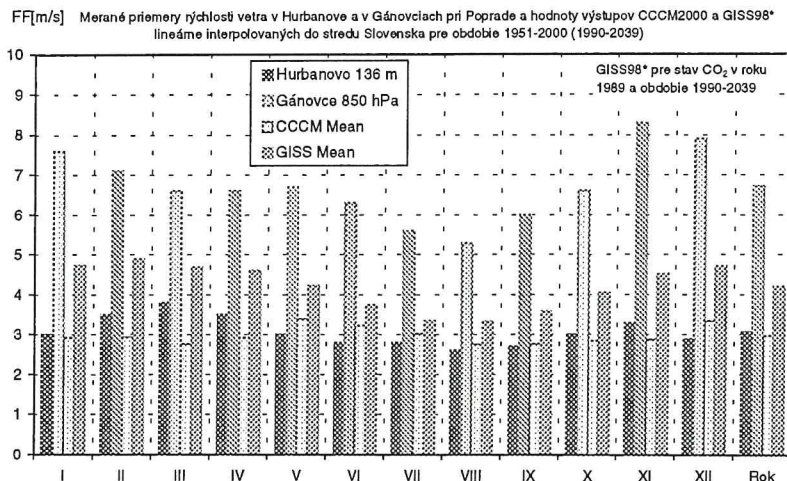
Obr. 10 Porovnanie (kvocienty) mernej vlhkosti vzduchu z modelových výstupov CCCM2000 pre obdobie 1951-2000 a GISS98 pre obdobie 1990-2039 (pri stave CO₂ z roku 1989) pre stred Slovenska a údajov mernej vlhkosti získaných z pozorovaní na staniciach Hurbanovo a Oravská Lesná v období 1951-2000 (Mean – mesačné a ročné priemery, Cv – variálny koeficient pri CCCM2000); Specific humidity quotients (for means and variation coefficients), Hurbanovo in SW Slovakia, 115 m a.s.l., Oravská Lesná in NW Slovakia, 780 m a.s.l.

Tab. 8 Priemery rýchlosti vetra a smerodajné odchýlky (StDev) výstupov modelu CCCM2000 interpolovaných do stredu Slovenska v období 1951-2000 a z meraných údajov v Poprade (705 m) a v Hurbanove (136 m) v období 1961-2000 v m.s⁻¹; Mean wind speed and standard deviation in m.s⁻¹, stations Poprad and Hurbanovo

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
CCCM Mean	2.9	2.9	2.8	2.9	3.4	3.2	3.0	2.7	2.8	2.9	2.9	3.3	3.0
CCCM StDev	0,6	0,7	0,5	0,6	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,5	0,4	0,4	0,2
Poprad Mean	3,9	4,1	4,4	4,3	3,8	3,6	3,7	3,4	3,7	3,7	3,9	3,9	3,9
Poprad StDev	1,2	1,2	1,2	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	1,1	1,0	0,5
Hurbanovo Mean	3,0	3,3	3,5	3,4	3,0	2,9	2,7	2,5	2,7	2,8	3,1	2,9	3,0
Hurbanovo StDev	0,6	0,7	0,6	0,5	0,5	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,3

Rýchlosť vetra súvisí jednak s tlakovým poľom v strednej Európe a tiež s miestnymi orografickými podmienkami. Na porovnanie sme na obr. 11 vybrali skalárne priemery rýchlosti vetra spracované pre izobarickú hladinu 850 hPa v Gánovciach pri Poprade (Chmelík 1992) a v Hurbanove z anemografu vo výške 23 m nad terénom (Otruba 1969). Je vidieť, že v zásade nie sú žiadne závažné rozpory medzi modelovými výstupmi CCCM2000,

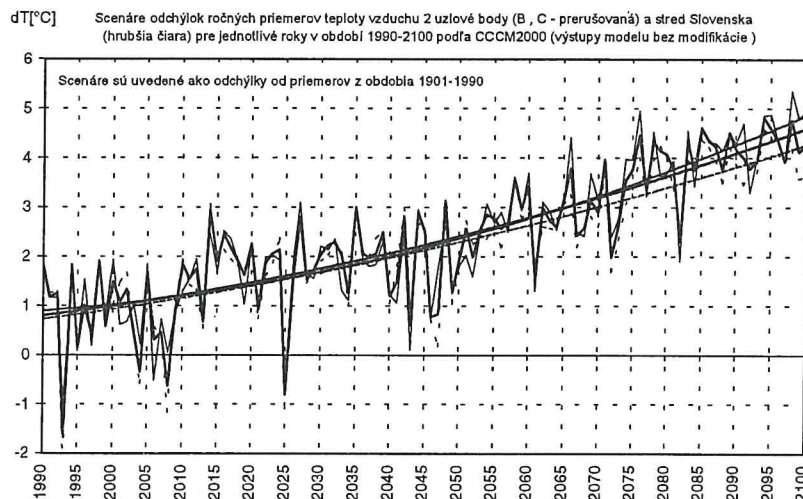
GISS98 a meranými údajmi. Je dobre vyjadrený ročný chod, GISS98 predpokladá vyššiu priemernú rýchlosť vetra a má charakteristickejší ročný chod. V tab. 8 uvádzame aj porovnanie smerodajnej odchýlky mesačných a ročných priemerov rýchlosti vetra pre CCCM2000 a stanice Poprad a Hurbanovo (z databázy SHMÚ). Aj pri tomto porovnaní sa potvrdila dobrá zhoda modelových výstupov CCCM2000 a meraných údajov na Slovensku.



Obr. 11 Porovnanie skalárnych priemerov rýchlosti vetra z modelových výstupov CCCM2000 pre obdobie 1951-2000 a GISS98 pre obdobie 1990-2039 (pri stave CO_2 z roku 1989) pre stred Slovenska a údajov získaných z pozorovaní na staniciach Hurbanovo v období 1926-1950 a z aerologickej stanice Gánovce pri Poprade z obdobia 1971-1990 na hladine 850 hPa; Mean wind speed, Hurbanovo in SW Slovakia, 136 m a.s.l. (23 m above ground), Gánovce at Poprad, 850 hPa level.

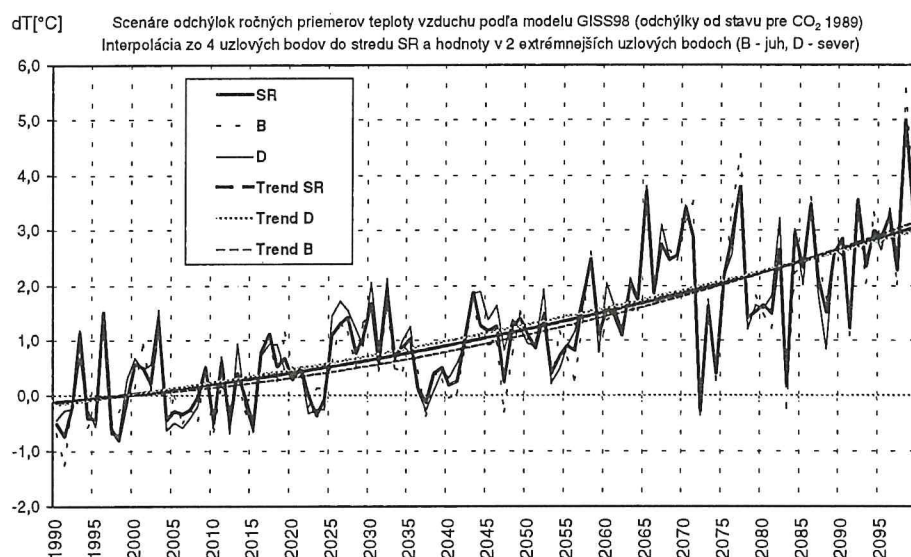
5. SCENÁRE ČASOVÝCH RADOV VIACERÝCH PRVKOV

Pre nedostatok priestoru sa budeme na tomto mieste zaoberať iba scenármi jednotlivých prvkov lineárne interpolovanými do stred Slovenska, pričom scenáre CCCM2000 sa vzťahujú na referenčnú nadmorskú výšku 561 m a GISS98 na 364 m. Takto získané scenáre sme už ďalej nemodifikovali, je to možné urobiť podľa metód prezentovaných napríklad v Lapin et al. (2000, 2001). Išlo nám tu hlavne o porovnanie scenárov pre časové horizonty 2010, 2030 a 2075 ako aj trendov v období 1990-2100 pre viaceré vzájomne fyzikálne konzistentné klimatické prvky. Každá ďalšia modifikácia uvedených prvkov môže (ale nemusí) vzájomnú fyzikálnu konzistentnosť zhoršiť. Pri prezentovaných časových radoch neide o prognózu (alebo scenáre) pre jednotlivé mesiace a roky ale o scenáre štatistickej štruktúry časových radov (distribučné krivky, extrémny, variabilita...).

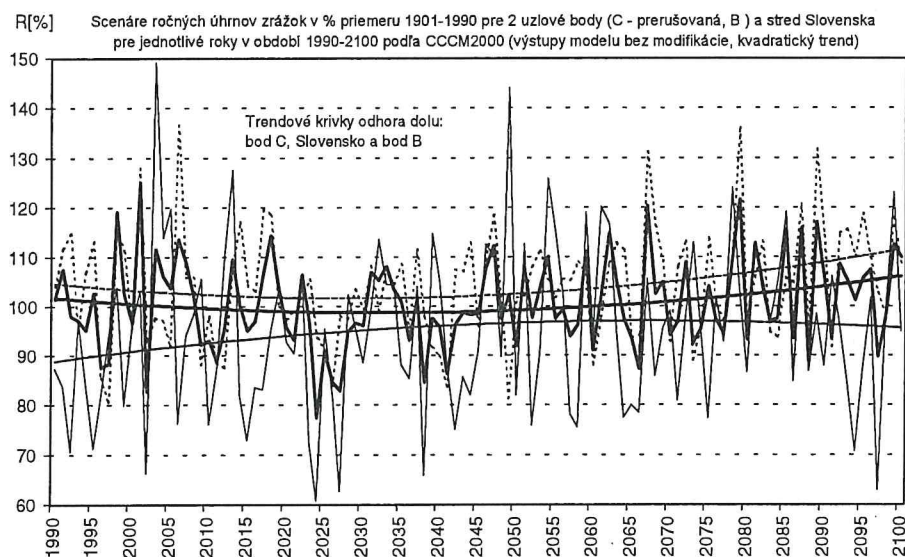


Obr. 12 Porovnanie scenárov odchýlok ročných priemerov teploty vzduchu z modelových výstupov CCCM2000 pre obdobie 1990-2100 od priemerov 1901-1990 pre najextrémnejšie uzlové body B – západ Rumunska (hore) a C – Katowice (kap. 3) a pre stred Slovenska (hrubšia čiara v strede), znázornený je kvadratický trend; Scenarios of annual mean temperature deviations for Slovakia, B and C gridpoints (CCCM2000 outputs)

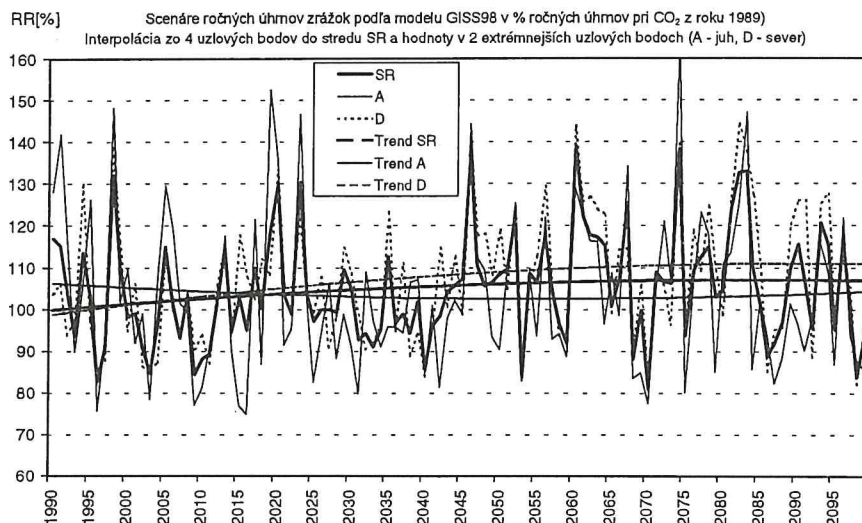
Keďže výstupy najnovších modelov CCCM2000 a GISS98 boli pripravené ako časové rady mesačných, resp. desťročných a ročných priemerov až do roku 2100, prezentujeme najskôr scenáre časových radov relatívnych ročných hodnôt vybraných prvkov v období 1990-2100. Za relatívne hodnoty považujeme rozdiel (alebo %) v porovnaní s hodnotami referenčného 1901-1990 (CCCM2000) a jednotlivých rokov modelu GISS98 pri stave CO_2 z roku 1989. Porovnáваме časové rady vo vybraných uzlových bodoch A, B, C, D (kap. 3) a lineárne interpolovaných údajov do stredu Slovenska. Zo scenárov ročných priemerov teploty vzduchu (obr. 12 a 13) vidíme väčšie oteplenie pri modeli CCCM2000, ktoré navyše štartuje v roku 2000 s hodnotou $\text{dT} = +1,0^\circ\text{C}$ (čo je v súlade s pozorovanou skutočnosťou) a v roku 2100 má hodnotu $\text{dT} = +4,5^\circ\text{C}$. Pri tomto modeli je väčšie oteplenie na južných uzlových bodoch asi o $0,2^\circ\text{C}$ v priemere. Scenár modelu GISS98 štartuje v roku 2000 s hodnotou $\text{dT} = 0^\circ\text{C}$ a v roku 2100 dosahuje $\text{dT} = +3,0^\circ\text{C}$, čiže má relatívne o $0,5^\circ\text{C}$ menšie oteplenie (asi o $0,1^\circ\text{C}$ je väčšie oteplenie pre severné uzlové body ako pre južné). Vidíme, že rozdiely medzi uzlovými bodmi sú veľmi malé. Vyplýva z toho, že s dostatočnou presnosťou stačí jeden scenár z každého modelu pre celú SR.



Obr. 13 Porovnanie scenárov odchýlok ročných priemerov teploty vzduchu z modelových výstupov GISS98 pre obdobie 1990-2100 od jednotlivých rokov pri stave CO_2 z roku 1989 pre najextrémnejšie uzlové body B – západ Rumunska (dole) a D – SE Poľsko (kap. 3) a pre stred Slovenska (hrubšia čiara v strede), znázornený je kvadratický trend; Scenarios of annual mean temperature deviations for Slovakia, B and D gridpoints (GISS98)

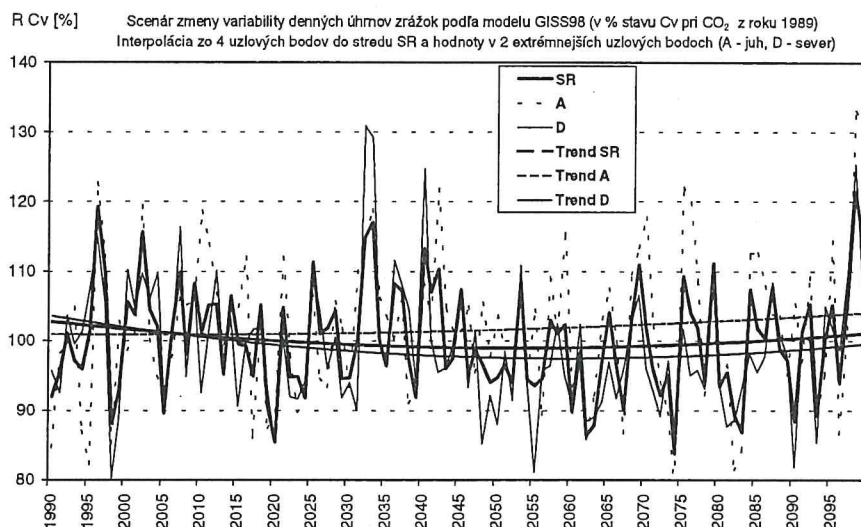


Obr. 14 Porovnanie scenárov relatívnych ročných úhrnov zrážok z modelových výstupov CCCM2000 pre obdobie 1990-2100 v % priemerov 1901-1990 pre najextrémnejšie uzlové body B – západ Rumunska (dole) a C – Katowice (kap. 3) a pre stred Slovenska (hrubšia čiara v strede), znázornený je kvadratický trend; Scenarios of annual precipitation in % of 1901-1990 averages for Slovakia, B and C gridpoints (CCCM2000 outputs)

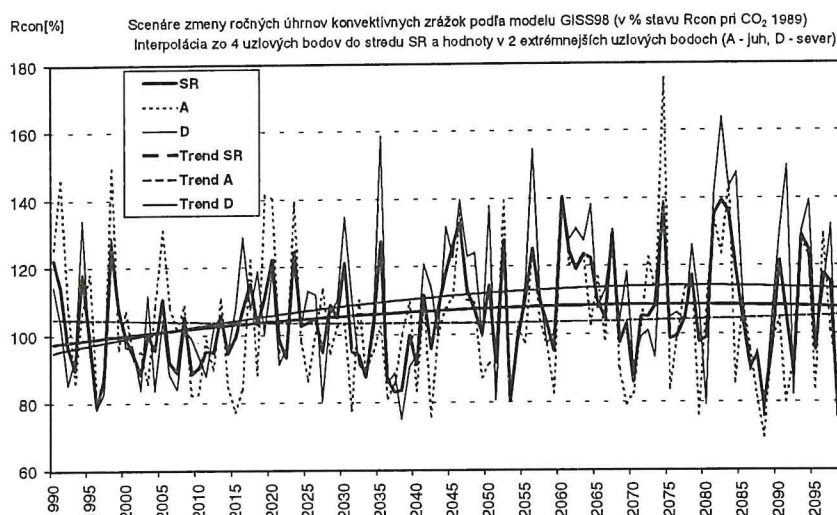


Obr. 15 Porovnanie scenárov relatívnych ročných úhrnov zrážok z modelových výstupov GISS98 pre obdobie 1990-2100 v % ročných úhrnov pri stave CO_2 z roku 1989 pre najextrémnejšie uzlové body A – SW Maďarsko (dole) a D – SE Poľsko (kap. 3) a pre stred Slovenska (hrubšia čiara), znázornený je kvadratický trend; Scenarios of annual precipitation in % of 1989 CO_2 state for Slovakia, A and D gridpoints (GISS98 outputs)

To, čo sme konštatovali pri teplote vzduchu, platí v podstate aj pre ročné úhrny zrážok. Významný rozdiel je v tom, že rozdiely medzi jednotlivými uzlovými bodmi sú oveľa väčšie a časové trendy oveľa menšie (obr. 14 a 15). Ak porovnáme ekvivalenty: 1°C pri zmene teploty vzduchu korešponduje so 100 mm alebo 10-15% pri zmene úhrnov zrážok, tak zmeny zrážok dosahujú pri kvadratickom trende nanajvyš 10% a zmeny teploty vzduchu $3,0$ až $3,5^\circ\text{C}$ v období 1990-2100. Aj model CCCM2000 a aj GISS98 predpokladajú podobný trend v severných (rast) a južných (pokles alebo malé zmeny) uzlových bodoch. Slovensko je na rozhraní uvedených vplyvov, čo znamená rast ročných úhrnov zrážok na severe a pokles alebo malé zmeny na juhu. Pri výrazne rastúcej teplote vzduchu to znamená aridizáciu južnej polovice Slovenska. Pri teplote vzduchu vidíme rast variability ročných priemerov iba pri modeli GISS98, pri ročných úhrnoch zrážok zmeny variability nepozorujeme. Ak by sme hodnotili časové rady mesačných údajov (na čo tu nemáme dostatok priestoru) tak by sme najmä v lete a v prvej polovici jesene zistili závažnejšie rozdiely aj v trendoch a aj vo variabilite. Na obr. 16 vidíme, že podľa výstupov GISS98 sa nepredpokladajú závažnejšie zmeny variability ani pri denných úhrnoch zrážok $R \geq 0$ mm.



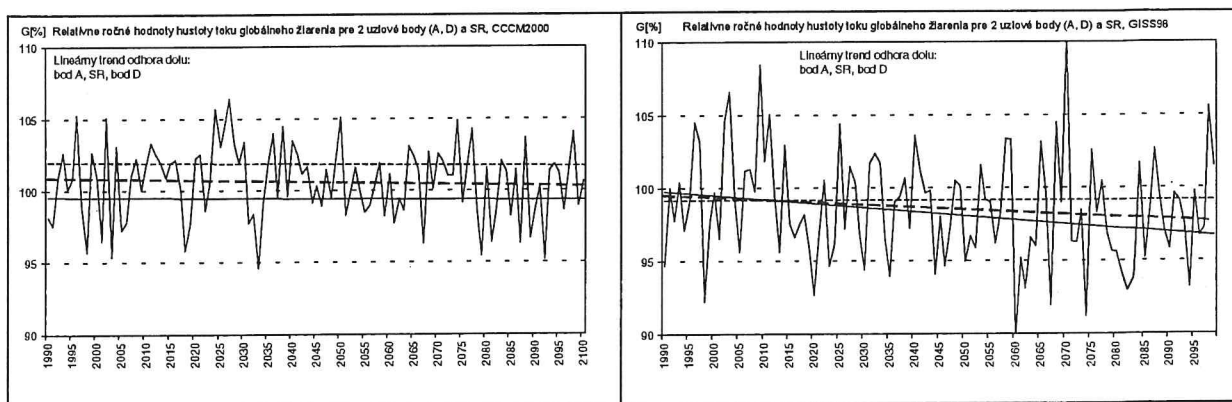
Obr. 16 Porovnanie scenárov relatívnych variačných koeficientov denných úhrnov zrážok po jednotlivých rokoch z modelových výstupov GISS98 pre obdobie 1990-2100 v % C_v pri stave CO_2 z roku 1989 pre najextrémnejšie uzlové body A – SW Maďarsko (dole) a D – SE Poľsko (kap. 3) a pre stred Slovenska (hrubšia čiara), znázornený je kvadratický trend; Scenarios of daily precipitation variation coefficients in % of 1989 CO_2 state for Slovakia, A and D gridpoints (GISS98 outputs)



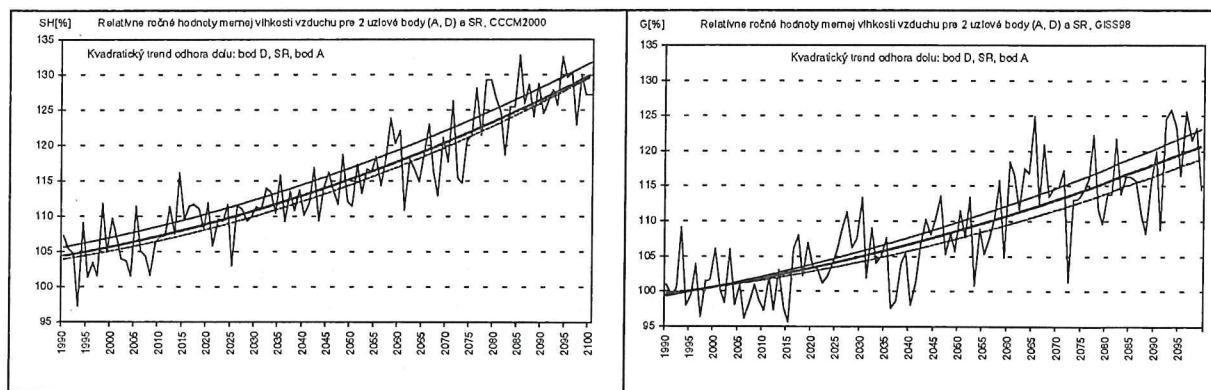
Obr. 17 Porovnanie scenárov relatívnych konvekčných úhrnov zrážok (Rcon) po jednotlivých rokoch z modelových výstupov GISS98 pre obdobie 1990-2100 v % Rcon pri stave CO_2 z roku 1989 pre najextrémnejšie uzlové body A – SW Maďarsko (dole) a D – SE Poľsko (kap. 3) a pre stred Slovenska (hrubšia čiara v strede), znázornený je kvadratický trend; Scenarios of relative convective precipitation totals in % of 1989 CO_2 state for Slovakia, A and D gridpoints (GISS98 outputs)

Na obr. 17 prezentujeme dôležitý klimatický prvok, ktorý iste zaujme najmä hydrológov. V našich zemepisných šírkach sa konvekčné zrážky významnou mierou podieľajú na celkovom úhrne zrážok, najmä v teplom polroku a ešte viac sa podieľajú na mimoriadnych hydrologických situáciách – na lokálnych povodniach. Vidíme, že úhrny konvekčných zrážok sa podľa GISS98 zväčšia relatívne viac (asi o 9%) ako všetkých úhrnov zrážok (asi o 7%, obr. 15), navyše ešte významnejší rast by mal byť v severných uzlových bodoch a v neskorších časových horizontoch pozorujeme aj výrazné zväčšenie časovej a priestorovej variability. Je to v súlade s teoretickými úvahami založenými na riešení zjednodušenej rovnice zrážok a na úlohe exponenciálnej závislosti tlaku vodnej pary v stave nasýtenia od teploty vzduchu (Lapin et al. 2000).

V ďalšom texte budeme, pre nedostatok priestoru, prezentovať iba zjednodušené časové rady scenárov jednotlivých prvkov. Sústreďme sa iba na interpolované hodnoty pre stred Slovenska a trendové krivky extrémnejších uzlových bodov. Globálne žiarenie (obr. 18) nemá významný trend pri výstupoch z modelu CCCM2000, no je v celom období 1990-2100 vyššie ako v období 1901-1990 pre uzlový bod A a nižšie pre D. Pri GISS98 je trend poklesu G zreteľný, najmä pri uzlovom bode D, čo súvisí s miernym rastom oblačnosti na severe. Pozorujeme tu aj väčšiu časovú a priestorovú variabilitu ako pri CCCM2000. Pri modeli GISS98 sa ale vychádza z inak definovaného referenčného obdobia (1990-2099 pri stave koncentrácie CO_2 z roku 1989).

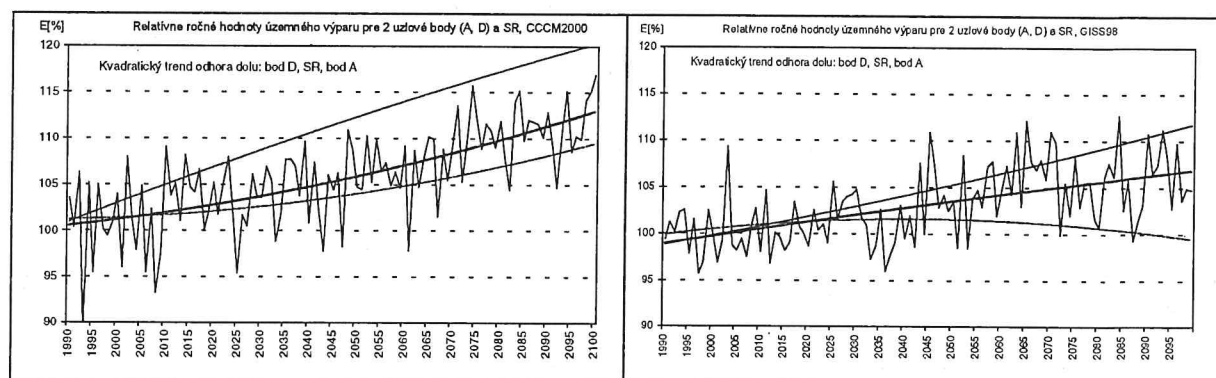


Obr. 18 Porovnanie scenárov relatívnych hodnôt globálneho žiarenia (G) po jednotlivých rokoch z modelových výstupov CCCM2000 (vľavo) a GISS98 pre obdobie 1990-2100 v % G z obdobia 1901-1990 (CCCM) a pri stave CO_2 z roku 1989 (GISS) pre najextrémnejšie uzlové body A – SW Maďarsko (hore) a D – SE Poľsko (kap. 3) a pre stred Slovenska (hrubšia čiara v strede), znázornený je lineárny trend; Scenarios of global radiation in % of 1901-1990 normal (CCCM2000, left) and 1989 CO_2 state (GISS98) for Slovakia, A and D gridpoints



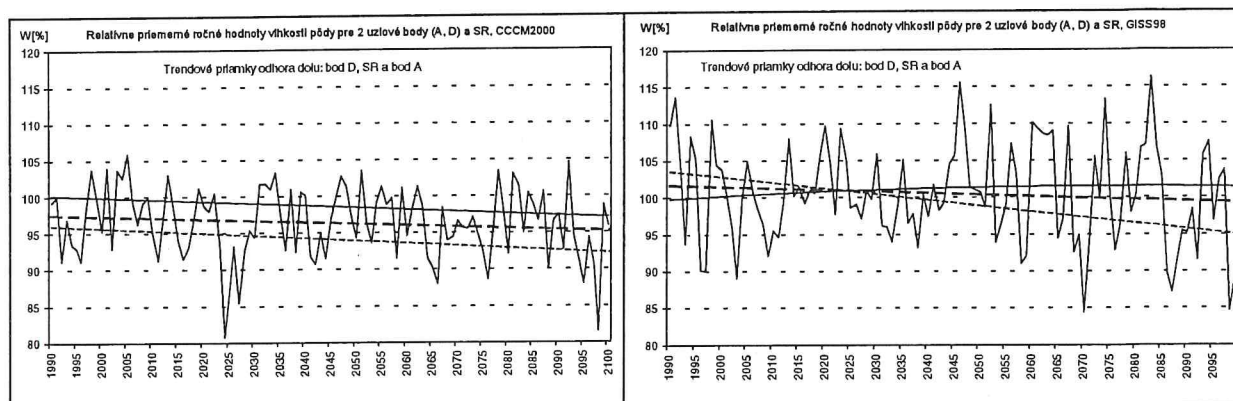
Obr. 19 Porovnanie scenárov relatívnych hodnôt mernej vlhkosti vzduchu (SH) po jednotlivých rokoch z modelových výstupov CCCM2000 (vľavo) a GISS98 pre obdobie 1990-2100 v % SH z obdobia 1901-1990 (CCCM) a pri stave CO₂ z roku 1989 (GISS) pre najextrémnejšie uzlové body A – SW Maďarsko (dole) a D – SE Poľsko (kap. 3) a pre stred Slovenska (hrubšia čiara), kvadratický trend; Scenarios of specific humidity in % of 1901-1990 normal (CCCM2000, left) and 1989 CO₂ state (GISS98) for Slovakia, A and D gridpoints

Merná vlhkosť vzduchu je v modeloch CCCM2000 a GISS98 prezentovaná ako prízemná (v meteorologickej búde) a vo výškach štandardných tlakových hladín vo voľnej atmosfére. Na obr. 19 uvádzame iba prvú menovanú. Vidíme, že popri teplote vzduchu sa pri mernej vlhkosti vzduchu očakáva najväčší nárast. Pri modeli CCCM2000 je už v roku 2000 rast o vyše 5%, čo je v súlade s pozorovaním, lebo referenčným obdobím je tu 1901-1990, do roku 2100 sa očakáva rast až o 30%. Pri modeli GISS98 je v roku 2000 iba nepatrné zvýšenie oproti 100%, čo súvisí s tým, že referenčnou klímou je okolie roku 1989 a do roku 2100 sa očakáva rast asi o 22%, čo je v podstate podobná relatívna hodnota ako pri modeli CCCM2000. Vidíme tiež, že medziročná a priestorová variabilita je pri modeli GISS98 o málo väčšia ako pri modeli CCCM2000.



Obr. 20 Porovnanie scenárov relatívnych hodnôt územného výparu (E) po jednotlivých rokoch z modelových výstupov CCCM2000 (vľavo) a GISS98 pre obdobie 1990-2100 v % E z obdobia 1901-1990 (CCCM) a pri stave CO₂ z roku 1989 (GISS) pre najextrémnejšie uzlové body A – SW Maďarsko (dole) a D – SE Poľsko (kap. 3) a pre stred Slovenska (hrubšia čiara), kvadratický trend; Scenarios of evaporation in % of 1901-1990 normal (CCCM2000, left) and 1989 CO₂ state (GISS98) for Slovakia, A and D gridpoints

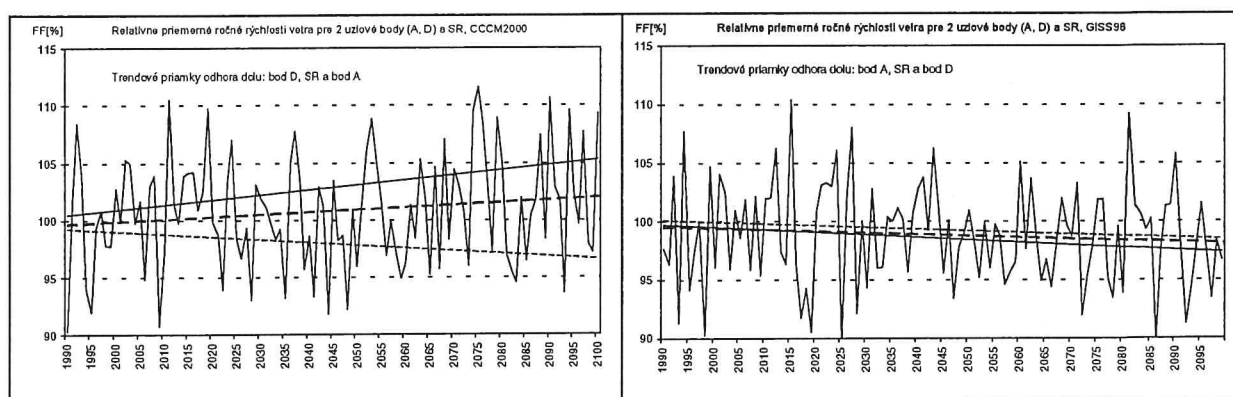
Na obr. 20 prezentujeme časové rady relatívneho územného výparu podľa modelov CCCM2000 (vľavo) a GISS98. Vidíme, že model CCCM2000 dáva väčší priestorový a časový rozptyl ročných úhrnov výparu a podobne ako pri iných prvkoch, je dobre badateľný kladný rozdiel v roku 2000 v porovnaní s priemerom z obdobia 1901-1990. Väčší rast výparu v modeli CCCM2000 je ovplyvnený jednak väčšou nadmorskou výškou a tiež väčšími úhrnmi zrážok. Pri oboch modeloch je ale zreteľný podstatne väčší rast výparu v severných uzlových bodoch ako v južných. To poskytuje významný podklad o priestorovom a výškovom rozdelení zmien výparu v najbližšom storočí na Slovensku. Scenáre zmien výparu je potrebné hodnotiť spolu so scenármi teploty vzduchu, zrážok a vlhkosti vzduchu. Na scenáre výparu nadväzujú scenáre vlhkosti pôdy (obr. 21), ktoré aj pri zjednodušených procesoch odtoku v modeloch CCCM2000 a GISS98 naznačujú možnosti využitia výstupov najnovších modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry. Je zrejme, že po zabudovaní lepších charakteristík krajiny do ďalšej generácie GCMs sa aj tieto výsledky (E a W) viac priblížia pozorovanej klíme. Porovnanie oboch modelov pri W zhoršuje rozdielne definovanie W v oboch modeloch (% VVK v CCCM2000 a mm v GISS98).



Obr. 21 Porovnanie scenárov relatívnych hodnôt vlhkosti pôdy (W) po jednotlivých rokoch z modelových výstupov CCCM2000 (vľavo) a GISS98 pre obdobie 1990-2100 v % W z obdobia 1901-1990 (CCCM) a pri stave CO₂ z roku 1989 (GISS) pre najextrémnejšie uzlové body A – SW Maďarsko (dole) a D – SE Poľsko (kap. 3) a pre stred Slovenska (hrubšia čiara), lineárny trend; Scenarios of soil moisture in % of 1901-1990 normal (CCCM2000, left) and 1989 CO₂ state (GISS98) for Slovakia, A and D gridpoints

Na obr. 21, podobne ako aj predtým, vidíme, že pri modeli CCCM2000 je v roku 2000 vlhkosť pôdy na južných bodoch hlboko pod priemerom z obdobia 1901-1990 tak, ako to vyplýva aj z priamych pozorovaní. Aj táto skutočnosť svedčí o dobrej zhode modelových výstupov z pozorovanou klímou v širšej súčasnosti. Model GISS98 nepozná minulé klímu a takéto porovnanie tu nie je možné. Aj tak sú trendy W v obidvoch modeloch veľmi podobné a časová variabilita W pre stred SR je podobná pre obidva modely. V nasledujúcej kapitole uvedieme scenáre zmien vlhkosti pôdy po jednotlivých mesiacoch pre časové horizonty rokov 2010, 2030 a 2075, kde je zreteľne vidieť podstatne rozdielny vývoj scenárov W v prvej a druhej polovici roka.

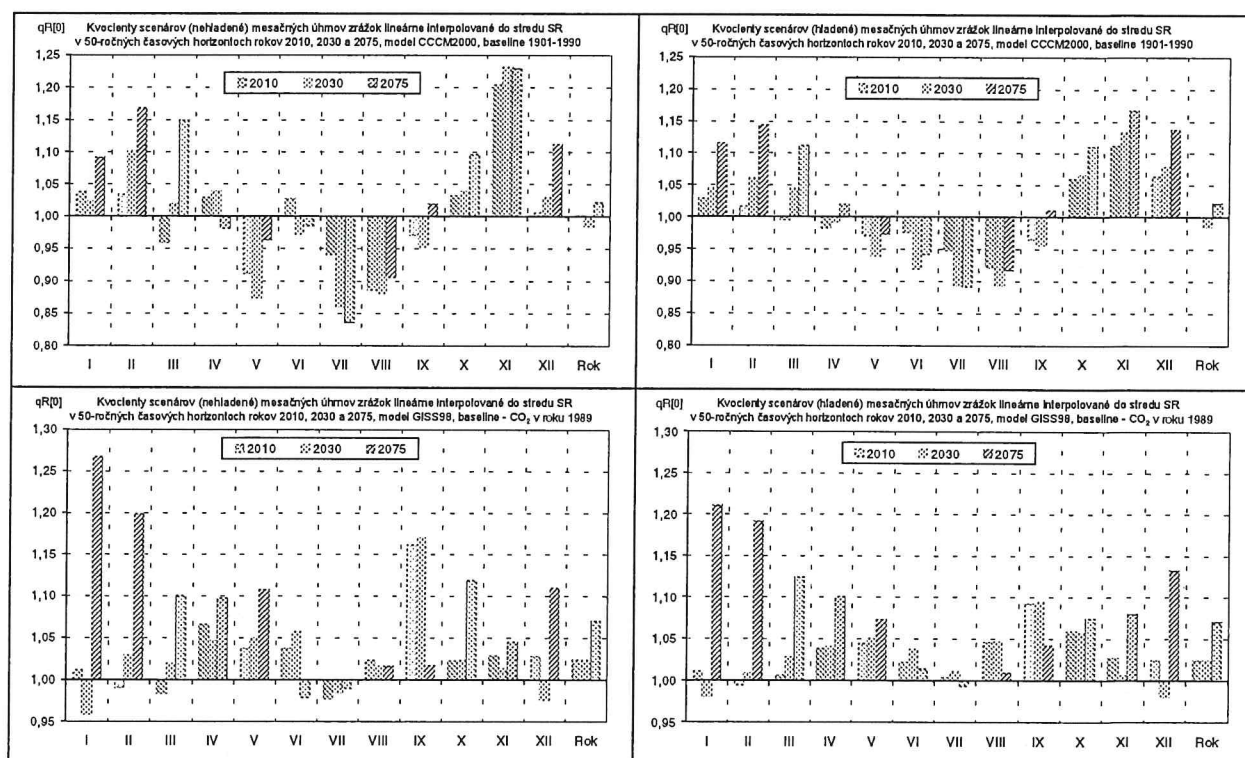
Posledným prvkom, ktorý hodnotíme v tejto kapitole je priemerná rýchlosť vetra (obr. 22). Tu vidíme rozdielnu koncepciu obidvoch modelov pri hodnotení vývoja prúdenia v strednej Európe. CCCM2000 predpokladá výraznejší rast rýchlosti vetra v severnom bode D a pokles v južnom bode A (v rozsahu +5% a -3%), kým GISS98 predpokladá mierny pokles aj na severe a aj na juhu (o 2 až 3%, viac na severe). Súvisí to zrejme s inou filozofiou zmien atmosférickej cirkulácie v obidvoch modeloch, to môžeme analyzovať podrobnejšie iba podľa scenárov tlakového poľa v niektorom z nasledujúcich príspevkov. Scenáre časových radov mesačných a ročných priemerov tlaku vzduchu na štandardných tlakových hladinách sú tiež k dispozícii vo výstupoch CCCM2000 a GISS98.



Obr. 22 Porovnanie scenárov relatívnych hodnôt rýchlosti vetra (FF) po jednotlivých rokoch z modelových výstupov CCCM2000 (vľavo) a GISS98 pre obdobie 1990-2100 v % FF z obdobia 1901-1990 (CCCM) a pri stave CO₂ z roku 1989 (GISS) pre najextrémnejšie uzlové body A – SW Maďarsko (dole) a D – SE Poľsko (kap. 3) a pre stred Slovenska (hrubšia čiara), lineárny trend; Scenarios of wind speed in % of 1901-1990 normal (CCCM2000, left) and 1989 CO₂ state (GISS98) for Slovakia, A and D gridpoints

6. SCENÁRE VIACERÝCH PRVKOV V ČASOVÝCH HORIZONTOCH

V klimatologickej (ale tiež neklimatologickej) praxi sa zaužíval na Slovensku zväčša taký postup aplikácie scenárov klimatickej zmeny, že sa používajú odchýlky alebo kvocienty dlhodobých priemerov klimatických prvkov vzťahujúcich sa na časové horizonty rokov 2010, 2030 a 2075 v porovnaní s referenčným (kontrolným) obdobím 1951-1980, 1901-1990 alebo nejakým iným (dohodnutým na daný účel). Na začiatku prípravy scenárov klimatickej zmeny sme používali 30-ročné časové horizonty so stredom v rokoch 2010, 2030 a 2075. Neskôr sa ukázalo, že takto definované časové horizonty sú málo stacionárne (viď kap. 2) a od roku 1999 používame na tento účel 50-ročné časové horizonty (Lapin et al. 2000). Aj pri takto definovaných časových horizontoch majú diferenčné alebo kvocientové scenáre niekedy veľmi nevyrovnaný ročný chod a je ich potrebné hladit' váženými kľazovými priermi (príklad je na obr. 23). Od roku 1994 používame na hladenie formulu: $X_i' = (X_{i-1} + 2X_i + X_{i+1})/4$, kde X_i' sú prvky s hladeným ročným chodom scenárov mesačných dlhodobých priemerov a X_i s pôvodným ročným chodom, X_{i-1} , X_i , X_{i+1} sú údaje susedných 3 mesiacov. Ak používame scenáre viacerých klimatických prvkov súčasne, tak uvedená metóda hladenia ročného chodu je ďalším krokom štatistického „downscaling-u“, ktorý môže zhoršiť pôvodnú fyzikálnu konzistentnosť medzi modelovanými premennými. To je hlavný dôvod prečo v tejto kapitole uvádzame aj nehladené a aj hladené scenáre všetkých analyzovaných prvkov po mesiacoch v 50-ročných časových horizontoch 2010, 2030 a 2075 (pri GISS98 je 1990-2029 pre 2010).



Obr. 23 Porovnanie scenárov (kvocientov) mesačných a ročných úhrnov zrážok (R) z modelových výstupov CCCM2000 (hore) a GISS98 (dole) pre časové horizonty 2010, 2030 a 2075 v porovnaní s R v období 1901-1990 (CCCM) a pri stave CO_2 z roku 1989 (GISS), lineárne interpolované R zo 4 uzlových bodov do stredu Slovenska; vpravo je zhladený ročný chod scenárov R kľazovými priermi podľa formuly: $X_i' = (X_{i-1} + 2X_i + X_{i+1})/4$, viď text; Scenários (quotients) of monthly and annual precipitation totals for centre of Slovakia and 2010, 2030 2075 time frames; CCCM2000 model (top), GISS98 (bottom), smoothed annual courses (right); in comparison with 1901-1990 mean totals (CCCM2000) and with 1989 CO_2 state (GISS98)

Pre užívateľov sú najvhodnejšie scenáre vo formáte tabuliek. V ďalšom texte uvedieme bez rozsiahleho komentára scenáre všetkých 10 analyzovaných prvkov pre časové horizonty 2010, 2030 a 2075, pričom všetky horizonty sú 50-ročné so stredom v uvedených rokoch (výnimkou je časový horizont 2010 pri modeli GISS98, ktorý je 40-ročný). V tabuľkách uvádzame najprv scenáre s nehladeným ročným chodom (sú fyzikálne konzistentnejšie) a potom s hladeným podľa formuly na začiatku tejto kapitoly. Scenáre v tvare kvocientov uvádzame na 3 desatinné miesta (na 0,1% hodnoty prvku) a diferenčnom tvare na 1 alebo 2 desatiny (podľa absolútnej hodnoty prvkov). Všetky scenáre sú vypočítané lineárnou interpoláciou do stredu Slovenska zo 4 uzlových bodov výstupov modelov pre priemernú nadmorskú výšku 561 m (CCCM2000) a 364 m (GISS98). Použiteľné sú aj pre iné nadmorské výšky pretože ide o relatívne scenáre. V kap. 5 vidíme možný rozptyl scenárov v priestore 4 uzlových bodov (asi polovičný je na území SR). To nám naznačuje, či stačí pre SR jeden scenár, alebo treba počítať

scenáre zvlášť pre jednotlivé stanice. Už v predchádzajúcich prácach (Lapin et al. 1995, 1997, 1999, 2000) sme naznačili, že v prípade úhrnov zrážok sú potrebné scenáre zvlášť pre jednotlivé stanice, pri ostatných prvkoch to nie je nevyhnutné (ale možné).

Tab. 9 Scenáre zmien mesačných a ročných priemerov teploty vzduchu [°C] v 50-ročných časových horizontoch 2010, 2030 a 2075 v porovnaní s referenčnou klímou obdobia 1901-1990 (CCCM2000) a stavom s koncentráciou CO₂ v roku 1989 (v priblížení asi 1975-2004, GISS98); nehladené scenáre vznikli priamym výpočtom z modelových výstupov interpolovaných do stredu SR, hladené bolo urobené pomocou formuly uvedenej na začiatku kap. 6.; pri aplikácii treba scenáre prepočítať na používané referenčné obdobie; scenarios of monthly and annual temperature changes [°C] in the 2010, 2030 and 2075 time frames compared to 1901-1990 averages (CCCM2000) and 1989 CO₂ concentration climate (GISS98); hladené – smoothed annual course

Mes.	CCCM2000, nehladené			CCCM2000, hladené			GISS98, nehladené			GISS98, hladené		
	2010	2030	2075	2010	2030	2075	2010	2030	2075	2010	2030	2075
I	0,65	1,55	3,49	0,78	1,56	3,69	0,05	1,20	2,59	0,06	0,95	2,43
II	1,25	1,72	5,16	1,26	1,91	4,62	-0,04	0,60	1,96	0,03	0,69	2,15
III	1,90	2,64	4,68	1,85	2,55	4,72	0,16	0,34	2,08	0,19	0,48	2,04
IV	2,36	3,18	4,37	1,89	2,53	3,90	0,47	0,65	2,02	0,39	0,58	1,93
V	0,95	1,09	2,17	1,38	1,82	3,01	0,47	0,68	1,59	0,43	0,61	1,65
VI	1,27	1,91	3,32	1,22	1,75	3,12	0,32	0,43	1,42	0,38	0,55	1,57
VII	1,40	2,09	3,68	1,35	1,97	3,51	0,41	0,65	1,84	0,33	0,56	1,86
VIII	1,33	1,76	3,36	1,33	1,85	3,45	0,17	0,52	2,32	0,17	0,47	2,11
IX	1,26	1,80	3,37	1,17	1,60	3,27	-0,08	0,19	1,94	0,05	0,40	2,04
X	0,83	1,05	2,99	0,98	1,30	3,01	0,20	0,69	1,94	0,19	0,68	2,08
XI	1,00	1,32	2,68	0,85	1,28	2,74	0,44	1,13	2,48	0,32	0,94	2,37
XII	0,59	1,44	2,62	0,70	1,44	2,85	0,20	0,80	2,58	0,22	0,98	2,56
Rok	1,23	1,80	3,49	1,23	1,80	3,49	0,23	0,66	2,06	0,23	0,66	2,06

Tab. 10 Scenáre (kvocienty) zmien mesačných a ročných úhrnov zrážok [0] (ďalej vid' tab. 9); kvocientami násobíme úhrny zrážok z referenčného obdobia a získame scenáre úhrnov zrážok v mm; precipitation change scenarios (quotients), see Table 9

Mes.	CCCM2000, nehladené			CCCM2000, hladené			GISS98, nehladené			GISS98, hladené		
	2010	2030	2075	2010	2030	2075	2010	2030	2075	2010	2030	2075
I	1,037	1,023	1,091	1,028	1,044	1,116	1,011	0,959	1,267	1,010	0,980	1,210
II	1,033	1,101	1,168	1,016	1,061	1,144	0,990	1,029	1,198	0,994	1,009	1,191
III	0,959	1,018	1,148	0,995	1,044	1,112	0,984	1,019	1,100	1,006	1,028	1,124
IV	1,029	1,038	0,981	0,982	0,992	1,019	1,065	1,046	1,097	1,038	1,040	1,100
V	0,911	0,873	0,963	0,970	0,939	0,973	1,037	1,049	1,107	1,044	1,050	1,073
VI	1,027	0,971	0,985	0,976	0,919	0,942	1,037	1,057	0,979	1,022	1,037	1,014
VII	0,940	0,859	0,836	0,948	0,893	0,891	0,977	0,984	0,989	1,003	1,010	0,993
VIII	0,886	0,880	0,906	0,921	0,893	0,917	1,022	1,016	1,016	1,046	1,046	1,009
IX	0,971	0,952	1,019	0,965	0,956	1,010	1,161	1,169	1,016	1,092	1,094	1,042
X	1,031	1,038	1,096	1,059	1,065	1,110	1,022	1,023	1,118	1,058	1,057	1,074
XI	1,204	1,231	1,229	1,111	1,132	1,167	1,028	1,013	1,044	1,027	1,006	1,079
XII	1,006	1,030	1,112	1,063	1,078	1,136	1,028	0,975	1,109	1,024	0,981	1,132
Rok	1,000	0,985	1,021	1,000	0,985	1,021	1,024	1,023	1,070	1,024	1,023	1,070

Tab. 11 Scenáre (kvocienty) zmien mesačných a ročných súm globálneho žiarenia [0] (ďalej vid' tab. 9); kvocientami násobíme sumy z referenčného obdobia a získame scenáre globálneho žiarenia v daných jednotkách; global radiation change scenarios (quotients), see Table 9

Mes.	CCCM2000, nehladené			CCCM2000, hladené			GISS98, nehladené			GISS98, hladené		
	2010	2030	2075	2010	2030	2075	2010	2030	2075	2010	2030	2075
I	0,993	0,986	0,957	0,995	0,984	0,949	0,999	1,002	0,916	1,004	1,002	0,937
II	0,985	0,974	0,926	0,988	0,977	0,938	1,025	0,993	0,956	1,015	0,995	0,949
III	0,989	0,973	0,943	0,986	0,975	0,953	1,011	0,993	0,969	1,006	0,990	0,974
IV	0,982	0,978	0,997	0,997	0,996	0,994	0,979	0,983	1,003	0,992	0,988	0,984
V	1,036	1,056	1,037	1,014	1,026	1,024	0,999	0,994	0,962	0,994	0,990	0,980
VI	1,002	1,014	1,024	1,013	1,029	1,030	0,999	0,990	0,993	0,997	0,992	0,988
VII	1,013	1,033	1,033	1,013	1,029	1,030	0,993	0,995	1,005	0,994	0,992	0,997
VIII	1,024	1,037	1,030	1,016	1,030	1,021	0,991	0,989	0,984	0,987	0,987	0,985
IX	1,002	1,012	0,992	1,006	1,013	0,997	0,972	0,975	0,967	0,980	0,983	0,970
X	0,997	0,993	0,976	0,993	0,993	0,976	0,985	0,996	0,960	0,982	0,987	0,966
XI	0,978	0,975	0,960	0,990	0,984	0,963	0,985	0,981	0,975	0,987	0,991	0,968
XII	1,007	0,991	0,956	0,996	0,986	0,957	0,992	1,009	0,963	0,992	1,000	0,954
Rok	1,005	1,011	1,001	1,005	1,011	1,001	0,993	0,989	0,980	0,993	0,989	0,980

Vo všetkých tabuľkách je vidieť, že model CCCM2000 predpokladá odlišné zmeny v jednotlivých časových horizontoch ako model GISS98. Je to dané jednak tým, že pri CCCM2000 je referenčná klíma z obdobia 1901-1990, ktorá bola aj podľa modelov a aj podľa priamych meraní v SR asi o 1 °C chladnejšia a podstatne vlhšia ako referenčná klíma pri modeli GISS98 (stav koncentrácie CO₂ z roku 1989, teda asi obdobie 1975-2004).

Tab. 12 Scenáre (kvocienty) zmien mesačných a ročných priemerov mernej vlhkosti vzduchu [0] (je možné použiť aj pre tlak vodnej pary, ďalej vid' tab. 9); kvocientami násobíme hodnoty z referenčného obdobia a získame scenáre v daných jednotkách; specific humidity (water vapour) change scenarios (quotients), see Table 9

Mes.	CCCM2000, nehladené			CCCM2000, hladené			GISS98, nehladené			GISS98, hladené		
	2010	2030	2075	2010	2030	2075	2010	2030	2075	2010	2030	2075
I	1,042	1,095	1,233	1,051	1,105	1,254	0,983	1,084	1,241	0,994	1,065	1,218
II	1,075	1,103	1,327	1,081	1,122	1,299	0,993	1,041	1,173	0,994	1,048	1,193
III	1,133	1,188	1,309	1,120	1,169	1,303	1,008	1,024	1,187	1,013	1,039	1,179
IV	1,137	1,196	1,267	1,116	1,161	1,247	1,043	1,065	1,169	1,033	1,052	1,166
V	1,056	1,065	1,146	1,083	1,114	1,200	1,037	1,054	1,138	1,035	1,052	1,136
VI	1,083	1,131	1,242	1,077	1,114	1,217	1,022	1,035	1,101	1,027	1,043	1,115
VII	1,086	1,131	1,238	1,080	1,122	1,230	1,026	1,046	1,119	1,022	1,040	1,123
VIII	1,068	1,097	1,200	1,072	1,107	1,213	1,015	1,034	1,152	1,019	1,037	1,136
IX	1,067	1,102	1,213	1,062	1,090	1,209	1,021	1,032	1,119	1,020	1,037	1,133
X	1,046	1,061	1,212	1,062	1,086	1,215	1,023	1,050	1,143	1,025	1,054	1,151
XI	1,090	1,119	1,223	1,068	1,106	1,220	1,036	1,083	1,199	1,028	1,067	1,190
XII	1,047	1,127	1,223	1,056	1,117	1,226	1,019	1,052	1,219	1,014	1,068	1,219
Rok	1,076	1,113	1,225	1,076	1,113	1,225	1,020	1,046	1,149	1,020	1,046	1,149

Tab. 13 Scenáre (kvocienty) zmien mesačných a ročných súm výparu [0] (ďalej vid' tab. 9); kvocientami násobíme hodnoty z referenčného obdobia a získame scenáre v daných jednotkách; evaporation change scenarios (quotients), see Table 9

Mes.	CCCM2000, nehladené			CCCM2000, hladené			GISS98, nehladené			GISS98, hladené		
	2010	2030	2075	2010	2030	2075	2010	2030	2075	2010	2030	2075
I	1,147	1,277	1,096	1,057	1,158	1,181	1,178	1,444	1,475	1,099	1,288	1,408
II	1,048	1,285	1,786	1,089	1,266	1,662	0,997	1,109	1,281	1,046	1,175	1,315
III	1,114	1,216	1,981	1,140	1,274	1,836	1,012	1,039	1,224	1,010	1,055	1,218
IV	1,287	1,377	1,597	1,183	1,259	1,565	1,017	1,034	1,143	1,017	1,034	1,141
V	1,046	1,068	1,083	1,095	1,132	1,202	1,023	1,029	1,054	1,017	1,024	1,071
VI	0,999	1,015	1,043	1,011	1,030	1,058	1,005	1,005	1,034	1,007	1,010	1,038
VII	1,000	1,023	1,062	1,000	1,019	1,053	0,997	1,003	1,029	0,998	1,000	1,022
VIII	1,002	1,017	1,043	0,994	1,011	1,039	0,993	0,990	0,998	0,997	0,996	1,004
IX	0,973	0,989	1,006	0,974	0,989	1,021	1,005	1,000	0,992	0,999	1,003	1,009
X	0,948	0,961	1,027	0,952	0,958	0,992	0,992	1,020	1,055	1,006	1,031	1,077
XI	0,938	0,921	0,908	0,928	0,899	0,897	1,035	1,082	1,206	1,026	1,085	1,217
XII	0,889	0,793	0,746	0,966	0,946	0,874	1,042	1,157	1,400	1,074	1,210	1,370
Rok	1,020	1,043	1,099	1,020	1,043	1,099	1,006	1,016	1,057	1,006	1,016	1,057

Tab. 14 Scenáre (kvocienty) zmien mesačných a ročných priemerov vlhkosti pôdy [0] (ďalej vid' tab. 9); kvocientami násobíme hodnoty z referenčného obdobia a získame scenáre v daných jednotkách; soil moisture change scenarios (quotients), see Table 9

Mes.	CCCM2000, nehladené			CCCM2000, hladené			GISS98, nehladené			GISS98, hladené		
	2010	2030	2075	2010	2030	2075	2010	2030	2075	2010	2030	2075
I	0,979	0,982	0,987	0,979	0,981	0,985	1,011	0,999	1,004	1,012	1,000	1,001
II	0,984	0,984	0,993	0,984	0,984	0,990	1,003	0,997	1,013	1,004	0,998	1,011
III	0,987	0,987	0,989	0,985	0,985	0,988	1,001	0,999	1,013	1,001	0,999	1,011
IV	0,984	0,983	0,979	0,984	0,982	0,978	0,998	1,001	1,006	0,999	1,000	1,007
V	0,981	0,975	0,966	0,981	0,975	0,967	0,999	1,000	1,004	1,000	1,001	1,004
VI	0,979	0,965	0,959	0,977	0,962	0,953	1,004	1,005	1,001	1,003	1,004	0,996
VII	0,969	0,942	0,928	0,964	0,940	0,925	1,006	1,005	0,980	1,004	1,003	0,983
VIII	0,938	0,909	0,884	0,938	0,912	0,893	0,999	0,998	0,973	1,005	1,004	0,975
IX	0,907	0,889	0,875	0,918	0,898	0,881	1,016	1,017	0,973	1,014	1,013	0,974
X	0,917	0,905	0,891	0,925	0,913	0,900	1,026	1,019	0,978	1,022	1,016	0,977
XI	0,957	0,952	0,942	0,952	0,946	0,937	1,019	1,008	0,978	1,022	1,010	0,979
XII	0,974	0,977	0,974	0,971	0,972	0,969	1,023	1,005	0,982	1,019	1,005	0,987
Rok	0,969	0,960	0,955	0,969	0,960	0,955	1,008	1,003	0,993	1,008	1,003	0,993

Ďalšou významnou odlišnosťou medzi obidvomi modelmi je skutočnosť, že CCCM2000 má relatívne oteplenie pre redukované scenáre asi o 0,5 °C väčšie ako GISS98 a tiež to, že scenáre modelu GISS98 sú vypočítané z 10-ročných priemerných hodnôt pre jednotlivé mesiace, kým pri CCCM2000 z mesačných údajov jednotlivých rokov. Našou snahou bolo čo najviac priblížiť variabilitu údajov uzlovým bodom, preto sme scenáre počítali z elementárnych základných výstupov modelov.

Tab. 15 Scenáre (kvocienty) zmien mesačných a ročných priemerov rýchlosti vetra [0] (ďalej vid' tab. 9); kvocientami násobíme priemery z referenčného obdobia a získame scenáre v m.s⁻¹; wind speed change scenarios (quotients), see Table 9

Mes.	CCCM2000, nehladené			CCCM2000, hladené			GISS98, nehladené			GISS98, hladené		
	2010	2030	2075	2010	2030	2075	2010	2030	2075	2010	2030	2075
I	1,085	1,115	1,076	1,043	1,065	1,086	1,011	1,009	0,977	0,999	1,000	0,978
II	1,034	1,049	1,202	1,047	1,067	1,163	0,957	0,974	0,945	0,979	0,985	0,965
III	1,033	1,055	1,172	1,050	1,073	1,186	0,991	0,981	0,992	0,982	0,981	0,975
IV	1,101	1,131	1,198	1,057	1,081	1,148	0,986	0,987	0,969	0,984	0,984	0,987
V	0,994	1,006	1,025	1,016	1,024	1,036	0,972	0,983	1,016	0,977	0,988	1,007
VI	0,973	0,952	0,895	0,972	0,957	0,922	0,977	1,000	1,027	0,977	0,987	1,004
VII	0,947	0,920	0,871	0,951	0,929	0,881	0,980	0,964	0,945	0,982	0,980	0,963
VIII	0,938	0,927	0,885	0,947	0,929	0,889	0,989	0,991	0,936	0,996	0,991	0,960
IX	0,963	0,943	0,914	0,961	0,947	0,926	1,026	1,020	1,023	1,010	1,009	0,992
X	0,980	0,976	0,991	0,981	0,975	0,973	0,999	1,006	0,987	1,006	1,005	0,993
XI	1,001	1,007	0,994	0,987	0,993	0,993	0,999	0,989	0,977	1,003	0,998	0,988
XII	0,967	0,982	0,992	1,005	1,022	1,013	1,017	1,007	1,011	1,011	1,003	0,994
Rok	1,000	1,003	1,014	1,000	1,003	1,014	0,991	0,992	0,983	0,991	0,992	0,983

Tab. 16 Scenáre zmien smerodajnej odchýlky denných priemerov teploty vzduchu [°C] (ďalej vid' tab. 9); scenáre pripočítame k hodnotám z referenčného obdobia a získame scenáre v °C (hodnoty smerodajnej odchýlky pre Hurbanovo sú v tab. 3; Scenarios of standard deviation of daily temperatures change, see Table 3 and 9

Mes.	CCCM2000, nehladené			CCCM2000, hladené			GISS98, nehladené			GISS98, hladené		
	2010	2030	2075	2010	2030	2075	2010	2030	2075	2010	2030	2075
I	-0,47	-0,79	-1,33	-0,43	-0,56	-1,10	-0,22	-0,30	-0,37	-0,14	-0,29	-0,37
II	-0,67	-0,70	-2,12	-0,57	-0,69	-1,48	-0,08	-0,40	-0,54	-0,09	-0,35	-0,49
III	-0,46	-0,58	-0,36	-0,45	-0,53	-0,80	0,05	-0,32	-0,51	0,00	-0,22	-0,50
IV	-0,23	-0,28	-0,33	-0,27	-0,30	-0,27	-0,02	0,17	-0,43	-0,03	-0,03	-0,39
V	-0,15	-0,08	-0,03	-0,12	-0,11	-0,04	-0,13	-0,15	-0,21	-0,11	-0,09	-0,22
VI	0,06	-0,01	0,23	0,02	0,01	0,16	-0,15	-0,23	-0,03	-0,13	-0,19	-0,07
VII	0,11	0,15	0,20	0,07	0,08	0,18	-0,10	-0,16	-0,01	-0,08	-0,15	-0,04
VIII	0,02	0,06	0,07	0,05	0,08	0,10	0,00	-0,05	-0,13	-0,02	-0,09	-0,05
IX	0,05	0,07	0,05	0,05	0,09	0,13	0,03	-0,11	0,07	0,02	-0,10	-0,10
X	0,06	0,15	0,34	0,18	0,25	0,37	0,02	-0,13	-0,39	0,02	-0,10	-0,23
XI	0,54	0,64	0,76	0,26	0,36	0,57	-0,02	-0,04	-0,21	-0,02	-0,10	-0,25
XII	-0,10	0,03	0,39	-0,03	-0,02	0,06	-0,05	-0,17	-0,20	-0,08	-0,17	-0,24
Rok	-0,10	-0,11	-0,18	-0,10	-0,11	-0,18	-0,06	-0,16	-0,25	-0,06	-0,16	-0,25

Tab. 17 Scenáre (kvocienty) zmien úhrnov konvektívnych zrážok (R_{con}) a variačného koeficientu (C_v) denných úhrnov zrážok [0] (iba podľa modelu GISS98, ďalej vid' tab. 9); kvocientami násobíme hodnoty z referenčného obdobia a získame scenáre v daných jednotkách; Scenarios (quotients) of convective precipitation totals change and daily precipitation variation coefficients change, only by GISS98 model, see Table 9

Mes.	GISS98 R_{con} , nehladené			GISS98 R_{con} , hladené			GISS98 C_v , nehladené			GISS98 C_v , hladené		
	2010	2030	2075	2010	2030	2075	2010	2030	2075	2010	2030	2075
I	1,027	0,969	1,263	1,019	0,987	1,210	1,023	1,014	0,978	1,011	1,014	0,985
II	0,990	1,032	1,199	1,000	1,015	1,194	1,026	1,021	1,006	1,017	1,014	0,994
III	0,993	1,027	1,113	1,011	1,034	1,131	0,992	1,001	0,989	1,006	1,008	0,998
IV	1,068	1,048	1,099	1,042	1,044	1,105	1,015	1,011	1,008	1,011	1,006	0,990
V	1,037	1,051	1,110	1,045	1,053	1,075	1,021	1,001	0,954	1,019	1,000	0,982
VI	1,039	1,061	0,980	1,025	1,040	1,015	1,020	0,987	1,011	1,019	0,993	1,003
VII	0,984	0,989	0,992	1,010	1,015	0,995	1,017	0,996	1,036	1,017	1,005	1,014
VIII	1,032	1,021	1,018	1,053	1,052	1,011	1,015	1,042	0,975	1,000	1,009	1,007
IX	1,166	1,177	1,017	1,098	1,101	1,046	0,953	0,957	1,041	0,985	0,993	1,012
X	1,028	1,031	1,133	1,064	1,067	1,085	1,018	1,018	0,990	0,998	1,006	1,007
XI	1,033	1,027	1,059	1,031	1,016	1,091	1,000	1,033	1,007	0,998	1,022	0,996
XII	1,031	0,977	1,114	1,030	0,988	1,138	0,971	1,006	0,980	0,991	1,015	0,986
Rok	1,024	1,024	1,071	1,024	1,024	1,071	1,004	1,004	0,994	1,004	1,004	0,994

Najvýznamnejšou vlastnosťou prezentovaných scenárov je ich fyzikálna konzistentnosť, čiže ak používame v jednom modelovom výpočte scenáre viacerých (všetkých) uvedených klimatických prvkov, môžeme s určitosťou predpokladať, že sú po stránke vnútornej fyzikálnej a štatistickej logiky správne aj pri vzájomnom porovnávaní výsledkov. Na prvý pohľad je verzia scenárov „hladené“ dôveryhodnejšia, lebo zmeny od jedného mesiaca k nasledujúcemu sú v ročnom chode plynulejšie. Ako sme už viackrát konštatovali, je veľmi nepravdepodobné, že zmena klímy bude mať charakter výrazných odchýlok medzi susednými mesiacmi v ročnom chode. To platí iba za predpokladu priemerov z veľmi dlhých období (100 rokov). Ako sme naznačili v kap. 2, výrazné odchýlky dlhodobých priemerov pri používaní kratších referenčných období (20-, 30-ročných) sú nielen možné ale aj celkom charakteristické. Preto odporúčame pri modelových výpočtoch impaktov, pri ktorých sa používa viac klimatických prvkov, aplikovať scenáre vo verzii „nehladené“. Veľmi záleží na prepočte scenárov na referenčné obdobie zhodné s tým, z ktorého máme empirické údaje na kalibrovanie impaktných modelov (napríklad 1961-1990). Vtedy musíme scenáre prepočítať z referenčného obdobia 1901-1990 (CCCM2000) na referenčné obdobie 1961-1990 pomocou korekčných koeficientov. Scenáre pre rok sa nemusia zhodovať s priemerom mesačných scenárov pre 12 mesiacov roka, najmä ak ide o kvocienty, pretože jednotlivé mesiace nemajú v absolútnej hodnote rovnaké dlhodobé priemery klimatických prvkov (napríklad pri zrážkach a výpare).

7. ZÁVER

V rozsiahlejšom príspevku sme sa pokúsili pripraviť viaceré podklady, ktoré považujeme za dôležité pre aplikáciu výstupov najnovších klimatických modelov (modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry – GCMs, predtým napr.: Mind'áš et al. 1996, Watson et al. 1998, Hlavčová et al. 2000). V prvej kapitole sú to hlavné charakteristiky dvoch modelov z radov CCCM a GISS, používaných na Slovensku už od roku 1994. V druhej kapitole uvádzame popri charakteristike fyzikálnej konzistentnosti scenárov aj podklady o podmienkach používania referenčnej (kontrolnej) klímy pri modifikácii a využívaní scenárov klimatickej zmeny. Zvlášť pri kratších referenčných obdobiach (20-, 30-ročných) môžu byť odchýlky medzi kľazovými dlhodobými priemermi porovnateľné, prípadne aj väčšie, ako sú projektované zmeny klímy podľa scenárov pre časové horizonty 2010, 2030 a 2075. V krátkej tretej kapitole charakterizujeme použité uzlové body a klimatické prvky z výstupov modelov CCCM2000 a GISS98 (verzia modelov pripravených v roku 2000, resp. 1998). Z celkového počtu 47 a 59 klimatických prvkov podrobnejšie analyzujeme v príspevku 8 prvkov modelu CCCM2000 a 10 prvkov modelu GISS98. V štvrtej kapitole porovnávame hodnoty dlhodobých priemerov výstupov modelov a referenčnej klímy zo staníc Hurbanovo, Oravská Lesná, Slovensko (územné zrážky) a Sliac (výpar). Viaceré použité ukazovatele svedčia o tom, že najnovšie modely lepšie charakterizujú referenčnú klímu ako ich predchádzajúce verzie. V piatej kapitole uvádzame scenáre časových radov relatívnych ročných údajov pre obdobie 1990-2100 a obidva modely. Okrem scenárov pre stred Slovenska tam uvádzame aj scenáre pre najextrémnejšie uzlové body, aby užívateľ mal predstavu o územných rozdieloch v rámci regiónu. Scenáre časových radov pre jednotlivé mesiace a jednotlivé lokality v SR môžu autori pripraviť podľa požiadaviek. V kapitole 6 sú prehľadnou formou prezentované tabuľkové hodnoty scenárov 8, resp. 10 prvkov pre 50-ročné časové horizonty so stredom v rokoch 2010, 2030 a 2075. Uvádzame aj verziu scenárov so zhladeným ročným chodom, ktorá o málo zhoršuje fyzikálnu konzistentnosť vzťahov medzi rôznymi prvkami. Pri scenároch pre časové horizonty je referenčnou klímou pri modeli CCCM2000 obdobie 1901-1990 a pri modeli GISS98 obdobie so stavom koncentrácie CO₂ v atmosfére v roku 1989 (môže sa použiť v priblížení aj 1975-2004). Vzhľadom na limitovaný rozsah príspevku sme nemohli do neho zaradiť všetky potrebné podklady pre užívateľov. Pokúsime sa ich publikovať v iných príspevkoch.

Pod'akovanie: Príspevok vznikol využitím výsledkov výskumu v rámci projektov VEGA No. 1/8255/01 (Grantová agentúra SR) a Národný klimatický program SR (ŠFŽP SR). V príspevku boli tiež použité údaje SHMÚ. Autori ďakujú uvedeným organizáciám za podporu výskumu klimatických zmien na Slovensku.

8. LITERATÚRA

- Boer, G.J., Flato, G., Reader, M.C., Ramsden, D. (2000a): A transient climate change simulation with greenhouse gas and aerosol forcing: experimental design and comparison with the instrumental record for the twentieth century, *Climate Dynamics* 16, 405-425.
- Boer, G.J., Flato, G., Ramsden, D. (2000b): A transient climate change simulation with greenhouse gas and aerosol forcing: projected climate to the twenty-first century. *Climate Dynamics* 16, 427-450.
- Boer, G.J., McFarlane, N.A., Lazare, M. (1992): Greenhouse Gas-induced Climate Change Simulated with the CCC Second-Generation General Circulation Model. *J. Climate*, 5, 1045-1077.
- Bounoua, L., Collatz, G.J., Sellers, P.J., Randall, D.A., Dazlich, D.A., Los, S.O., Berry, J.A., Fung, I., Tucker, C.J., Field, C.B., Jensen, T.G. (1999): Interactions between Vegetation and Climate: Radiative and Physiological Effects of Doubled Atmospheric CO₂. *J. Climate*, 12, 309-324.

- Carson, D.J. (1999): Climate modelling: Achievements and prospects. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 125, 1-27.
- Dai, A., Wigley, T.M.L., Boville, B.A., Kiehl, J.T., Buja, L.E. (2001): Climates of the Twentieth and Twenty-First Centuries Simulated by the NCAR Climate System Model. *J. Climate*, 14, 4, 485-519.
- Faško, P., Lapin, M., Šťastný, P., Vivoda, J. (2000): Maximum daily sums of precipitation in Slovakia in the second half of 20th century. In.: *Prace geograficzne – Z. 108, Images of Weather and Climate*, Cracow, Inst. of Geogr., Jagellonian Univ., Cracow, 131-138.
- Flato, G.M., Boer, G.J. (2001): Warming Asymmetry in Climate Change Simulations. *Geophysical Research Letters*, 28, 1, 195-198.
- Flato, G.M., Boer, G.J., Lee, W.G., McFarlane, N.A., Ramsden, D., Reader, M.C., Weaver, A.J. (2000): The Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis global coupled model and its climate. *Climate Dynamics* 16, 451-467.
- Hansen, J.E., Sato, M. (2001): Trends of measured climate forcing agents. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 98, 14778-14783.
- Hlavčová, K., Szolgay, J., Čunderlík, J., Parajka, J. (2000): Modelovanie vplyvu zmeny klímy na režim odtoku v regióne stredného Slovenska. *NKP SR*, 9, *MŽP SR*, *SHMÚ*, Bratislava, 15-38 (v sloven. s angl. súhrnom).
- Hrvol', J., Lapin, M., Tomlain, J. (2001): Changes and variability in solar radiation and evapotranspiration in Slovakia in 1951-2000. *Acta Meteorol. Univ. Comen.*, XXX, 31-58.
- Chmelík, M. (1992): Aeroklimatické charakteristiky. In.: *Zb. Prác SHMÚ*, zv. 35, *SHMÚ*, Bratislava, 107-150.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. The Third Assessment Report, IPCC, Geneva, 2001.
- Káľvová, J. (1991): Radiačné aktívne plyny v atmosfére a zmeny klimatu. In.: *Národný klimatický program ČSFR*, 3, Praha, 1-73.
- Lapin, M., Nieplová, E., Faško, P. (1995): Regionálne scenáre zmien teploty vzduchu a zrážok na Slovensku. In.: *NKP SR*, 3, *MŽP SR*, *SHMÚ*, Bratislava, 17-57 (v slovenčine s anglickým súhrnom).
- Lapin, M., Závodský, D., Majerčáková, O., Mind'áš, J., Špánik, F. (1997): Vulnerability and Adaptation Assessment for Slovakia. Final Report of the Slovak Republic's Country Study, Element 2, U.S. Country Studies Program, Slovak Ministry of the Environment, Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, 219.
- Lapin, M., Melo, M. (1999): Climatic Changes and Climate Change Scenarios in Slovakia. *Meteorologický časopis*, 2, č. 4, *SHMÚ*, Bratislava, 5-15.
- Lapin, M., Damborská, I., Melo, M. (1999): Modifikované GCMs scenáre časových radov teploty vzduchu a zrážok pre Slovensko (Modified GCMs scenarios of time series for Slovakia). In.: *Proc from the Int. Conf. "Atmosféra 21. storočia, organizmy a ekosystémy"*, Zvolen 7.-9. 9. 1999, TU Zvolen, 207-214. (v slovenčine)
- Lapin, M., Melo, M., Damborská, I., Gera, M., Faško, P., (2000): Nové scenáre klimatickej zmeny pre Slovensko na báze výstupov prepojených modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry. In.: *Národný klimatický program SR*, vol. 8, *MŽP SR*, *SHMÚ*, Bratislava, 5-34.
- Lapin, M., Damborská, I., Melo, M. (2001a): Scenáre časových radov mesačných klimatických údajov pre Slovensko v období 2001-2090 (Scenarios of climatic time series for Slovakia in the 2001-2090 period). In.: *Proc from the Int. Conf. "Extrémy prostredia (počasie) - limitujúce faktory bioklimatologických procesov"*, Račková dolina 10.-12. 9. 2001, SPU Nitra, 9 s. na CD ISBN 80 - 7137 - 910 - 7 (v slovenčine)
- Lapin, M., Damborská, I., Melo, M. (2001b): Downscaling of GCM outputs for precipitation time series in Slovakia. *Meteorol. čas.*, IV, No. 3, 29-40.
- Lapin, M., Damborská, I., Hrvol', J., Melo, M., Tomlain, J. (2001): Záverečná správa NKP SR. *KMK FMFI*, 59 s.
- McFarlane, N.A., Boer, G.J., Blanchet, J.-P., Lazare, M. (1992): The Canadian Climate Centre Second-Generation General Circulation Model and Its Equilibrium Climate. *J. Climate*, 5, 1013-1044.
- Meehl, G.A., Collins, W.D., Boville, B.A., Kiehl, J.T., Wigley, T.M.L., Arblaster, J.M. (2000): Response of the NCAR Climate System Model to Increased CO₂ and the Role of Physical Processes. *J. Climate*, 13, 1879-1898.
- Melo, M. (1996): Klimatické scenáre. In.: *NKP SR*, 4, *MŽP SR*, *SHMÚ*, Bratislava, 5-21.
- Melo, M., Lapin, M. (2000): Teplotné scenáre pre Slovensko založené na výstupoch kanadských klimatických modelov. *Geografický časopis*, 52, 2, 151-165.
- Mind'áš, J., Lapin, M., Škvarenina, J. et al. (1996): Klimatické zmeny a lesy Slovenska. *NKP SR*, 5, *MŽP SR*, *SHMÚ*, Bratislava, 98 s. (v slovenčine s anglickým súhrnom).
- Otruba, J. (1969): Wind Conditions in Slovakia. *SAV Bratislava and U.S. Dept. of Commerce Env. Scs. Serv. Adm.* Belgrade 1969, 315 pp. and Enclosure.
- Russell, G.L. (1998): Atmosphere-Ocean Model Simulations. Future Climate Projections. NASA (Goddard Institute for Space Studies (GISS, New York, USA). Popis modelu GISS na CD-ROM.
- Russell, G.L., Rind, D. (1999): Response to CO₂ Transient Increase in the GISS Coupled Model: Regional Coolings in a Warming Climate. *J. Climate*, 12, 531-539.
- Tomlain, J. (1999): Expected climate change impacts on changes of potential and actual evapotranspiration on the territory of Slovakia. *Acta Meteorol. Univ. Comen.*, XXVIII, 21-26.
- Trenberth, K.E. (ed) (1992): Climate System Modeling. Cambridge University Press, 788 pp.
- Watson, R.T., Zinyowera, M.C., Moss, R.H. (1998): The Regional Impacts of Climate Change. An Assessment of Vulnerability. A Special Report of IPCC WG II. Cambridge University Press, 518 pp.

SCENARIOS OF SEVERAL PHYSICALLY PLAUSIBLE CLIMATIC ELEMENTS

Lapin, M., Melo, M., Damborská, I., Dept. of Meteorology and Climatology, FMFI UK, Bratislava
E-mail: lapin@fmph.uniba.sk, melo@fmph.uniba.sk, damborska@fmph.uniba.sk

SUMMARY

Wide variety of results on climatic scenarios and other data having been frequently used in impact studies are presented in the paper. This topic has been solved within two scientific projects: Slovak National Climate Program founded by the Slovak State Foundation of Environment (The Slovak Ministry of the Environment) and VEGA No. 1/8255/01 (The Slovak Grant Agency). Climatic data for the 1901-2000 period have been offered by the Slovak Hydrometeorological Institute in Bratislava. Since 1994 the climate change scenarios utilized in Slovakia have been based mostly on the CCCM and GISS General Circulation Model (GCM) outputs. That is why only the newest CCCM2000 and GISS98 model outputs were analyzed recently. The CCCM2000 is GCM introduced by the Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis in 2000, the GISS98 is GCM introduced by the Goddard Institute for Space Studies, New York, U.S.A. in 1998. Both GCMs are coupled, i.e. atmosphere-ocean circulation models with greenhouse gasses and aerosols influence on change of radiative forcing. In the first chapter the detailed information on both models and their physical structure is presented. The second chapter deals on the physical plausibility of several climatic elements (and their time series) incorporated in the GCM outputs. Furthermore some data and analyses on the stationarity of reference climatic periods and reference climatic characteristics are included. The differences among 20-, or 30-year moving averages of measured data are sometimes greater than the differences projected by the climate change scenarios for time frames 2010, 2030 and 2075. In the short third chapter the concise characteristics of analyzed elements and GCM grid points are listed. From 47 possible CCCM2000 outputs only 8 and from 59 possible GISS98 outputs only 10 were selected for regional scenarios design (8 and 10 climatic elements). The reference climate in Slovakia in the 1901-2000 or 1951-2000 periods is compared with the selected GCM outputs (the stations Hurbanovo, 115 m a.s.l., SW Slovakia and Oravská Lesná, 780 m a.s.l., NW Slovakia were used mostly). At some analyses (precipitation) also areal mean precipitation totals calculated from data of 203 stations and the station Sliač (evaporation), 303 m a.s.l., central Slovakia, were utilized. The fifth chapter contains the time series of relative annual data for 1990-2100, based on linear interpolation from 4 nearest GCMs grid points. The relative time series of the most extreme GCM grid points are also included. In the references enclosed several possible methods of presented relative time series downscaling can be found. Because of limited space in the paper presented no time series scenarios for the individual stations are shown in details. In the sixth chapter the complete basic and smoothed scenarios of 8 (CCCM2000) and 10 (GISS98) climatic elements for the center of Slovakia and 2010, 2030 and 2075 time frames are presented in the table form. The smoothing of annual course was prepared similarly as in the previous studies using simple weighting moving averages method (from three neighboring months): $X_i' = (X_{i-1} + 2X_i + X_{i+1})/4$, where X_i' are deviations from long-term means (quotients) with smoothed annual course and X_i are data with basic annual course. The smoothed scenarios can worsen a little the physical plausibility among climatic elements, so in case of more than one element using the basic scenarios are recommended. The CCCM2000 scenarios are based on the comparison of 50-year means centered by the selected time frames (2010, 2030, 2075) with the 1901-1990 reference climate. On the other hand the GISS98 scenarios are projected as 50-year averages from each year deviations (quotients) of modeled climate under changed radiative forcing and control climate with radiative forcing of 1989 CO₂ concentration in the atmosphere. The potential users probably need more information and procedures for presented climatic scenarios utilization in impact studies. These information can be found in the references or can be obtained directly from the authors. Some new results will be published in the specialized papers in the future.

MOŽNÉ DÔSLEDKY KLIMATICKÝCH ZMIEN NA HLADINOVÝ REŽIM PODZEMNÝCH VÔD V ALÚVIÁCH

Oľga Majerčáková – Dagmar Takáčová

Slovenský hydrometeorologický ústav

Olga.Majercakova@shmu.sk, Dagmar.Takacova@shmu.sk

Úvod

Opis časového a priestorového rozloženia podzemných vôd na našom území, ako aj vyjadrenie dynamiky podzemných vôd ako časti hydrologického cyklu, možno odvodzovať už z pomerne dlhých radov pozorovaní. Začiatky systematického monitorovania podzemných vôd vo väčšine prípadov spadajú do druhej polovice šesťdesiatych rokov minulého storočia. Sú však, oproti najdlhším pozorovaniam na povrchových tokoch, kratšie zhruba o polovicu. V súčasnosti máme na Slovensku 957 objektov základnej siete a 192 objektov sekundárnej siete na sledovanie hladín podzemných vôd a v 373 objektoch sledujeme výdatnosti prameňov. V regulárnych štátnych monitorovacích sieťach absentujú pozorovania režimu vody v pôdnom profile.

Relatívne vysoký počet monitorovacích bodov pre podzemné vody je daný veľkou rôznorodosťou hydrogeologických štruktúr na Slovensku. Vo veľkej miere sa situovanie objektov na sledovanie hladinového režimu podzemných vôd viaže na kvartérne sedimenty. V nich je režim podzemných vôd spravidla v hydraulikej súvislosti s režimom povrchových tokov, ktoré daným územím pretekajú. V morfológicky členitom prostredí pohorí, kotlín, dolín a predhorí možno sledovať režim podzemných vôd najmä v sieti prameňov.

Riešenie možného vplyvu klimatických zmien na hladinový režim podzemných vôd predpokladá dostatočne dlhé, minimálne ovplyvnené a reprezentatívne rady pozorovaní. Tejto otázke sa podrobnejšie venujú Škoda a Kullman (1997). Autori uvedenej práce sa tiež venujú diskusii, prečo je vhodnejšie sledovať vplyv klimatických zmien na podzemné vody prirodzene vystupujúce na povrch vo forme prameňov a ako reprezentantov pre tento typ úlohy uvádzajú 82 antropogénne neovplyvnených prameňov z viacerých hydrogeologických štruktúr, z ktorých najviac zastúpené sú štruktúry budované kryštalinikom, mezozoikom, a neogénom. Prognózovaniu možných vplyvov klimatických zmien na výdatnosti prameňov boli v posledných rokoch u nás venované aj ďalšie práce, napríklad Kullman et al. (1995), Fendeková (1996, 1997), Kullman st. (1996).

Orientáciu na pramene možno z globálneho pohľadu na problém vplyvu klimatických zmien na zdroje podzemných vôd v rámci nášho územia pokladať za správnu. Zrejme by sa otázka možného účinku klimatických zmien na podzemné vody dala riešiť napríklad aj cez separáciu celkového odtoku v povrchových tokoch na odtok priamy a základný. Tu však narážame na viaceré úskalia, jedným z nich je napr. výber vhodných separačných metód, ktoré sú často zaťažené subjektívnym prístupom. Podrobnejšie problém diskutuje napr. Kullman st. (1996) v súvislosti s výpočtom prírodných zdrojov podzemných vôd. Je treba ešte dodať, že takáto separácia v určitom profile povrchového toku by neriešila problém pre najbližšie okolie tohto profilu, ale by integrovala informáciu z celého povodia nad zvoleným profilom. S ohľadom na nedostatok, resp. úplnú absenciu vhodných prameňov v nížinných oblastiach, na ktoré sa viažu najintenzívnejšie využívané poľnohospodárske pôdy, je teda, podľa nás, potrebné zaoberať sa aj možným vplyvom klimatických zmien na režim podzemných vôd alúvií. V týchto oblastiach sú totiž hladiny podzemných vôd jednou z okrajových podmienok režimu vody v pôdných profiloch, a práve ten má dominantný vplyv na poľnohospodársku rastlinnú produkciu.

Výber objektov s meraním hladín podzemných vôd pre NKP

V počiatočných riešeniach NKP sa predovšetkým vyberali monitorovacie stanice, ktoré sa zaradili do programu. Výber doposiaľ nebol ukončený v oblasti monitorovania hladín podzemných vôd. Súvisí to s charakterom tohto hydrologického prvku.

Hladiny podzemných vôd sú prvkom relatívnym, ich spojitosť sa viaže na spojitosť príslušných hydrogeologických štruktúr, ich hodnoty nevstupujú priamo do bilancií a pomerne komplikovane sa stanovuje ich závislosť na klimatických prvkoch. Základným predpokladom pre zaradenie radov pozorovaní do klimatického programu je ich minimálne ovplyvnenie antropogénnou činnosťou. A práve situovanie objektov monitorujúcich hladiny podzemných vôd je často v oblastiach intenzívne využívaných a ovplyvňovaných ľudskou činnosťou.

Ako sme už konštatovali v úvode, našu pozornosť sústreďujeme na podzemné vody, ktoré sú v interakcii s vodami v povrchových tokoch cez ich kvartérne náplavy. Na našom území sú primárnym zdrojom dopĺňania podzemných vôd zrážky (okrem podzemných vôd Žitného ostrova napojených na Dunaj). V oblastiach hydraulikej spojitosti povrchových a podzemných vôd v dlhších časových úsekoch sú dva dominantné faktory (zrážky a prietoky v povrchových tokoch), ktoré určujú priebeh hladín podzemných vôd. Možnosť vyjadriť ich vplyv separátne je hlavne v prípade zrážok značne sťažená, najmä ak uvážime, že infiltráciu zrážok ovplyvňujú komplexné podmienky klimatické, fenologické a pedologické. Dalo by sa namietat, že prietok v povrchovom toku je tiež len odrazom klimatických, fenologických, pedologických a tiež

hydrogeologických pomerov. Ale je tiež treba vziať do úvahy, že režim toku, ktorý je v hydraulikkej spojitosti s podzemnou vodou, sa nevytvára v danom mieste (úseku toku), ale do jednej hodnoty – prietoku integruje podmienky celého povodia nad danou oblasťou. Ani v riešeníach bezprostredne využívaných v súčasnej praxi nie je vždy možné takýto komplexný pohľad uplatniť. Napr. o nedoceňovaní úlohy evapotranspirácie, ako aj zmien zásob vody v pôde pri hodnotení zdrojov podzemnej vody, sa zmieňuje už spomenutá práca Kullman st. (1996).

Jedným z prvých klimatických prvkov, samozrejme okrem teploty, pre ktorý boli konštruované aj scenáre možných zmien v dôsledku globálneho otepľovania, boli zrážky. Teda v podstate tieto dva dôvody (zrážky ako primárny zdroj dopĺňania podzemných vôd a scenáre zrážok) rozhodli o tom, že spočiatku sa pri odhade možného vplyvu klimatických zmien na hladiny podzemných vôd využívali výlučne závislosti hladín podzemných vôd na zrážkach a zrážkové scenáre. (Takáčová, 1996, 1997, 2000). Takto zjednodušený prístup však nemohol nahradiť komplexnosť podmienok hladinového režimu podzemných vôd. Zároveň ani dostatočne nerešpektoval rozmanitosť sezónnych podmienok (podmienčených najmä vnútroročným chodom teploty) dopĺňania zdrojov podzemných vôd, a to aj napriek separátnemu stanoveniu závislostí pre jednotlivé mesiace.

Vo všeobecnosti je možné modelovanie hladín podzemných vôd riešiť niektorým z modelov pre pohyb vody v systéme atmosféra – rastlina – pôda – podzemná voda, napríklad u nás používaný model GLOBAL (Majerčák, Novák, 1994). Avšak vzhľadom na značnú detailnosť takýchto modelov, množstvo vstupných parametrov, ale najmä na časový krok, v ktorom modely pracujú (dni, prípadne aj kratšie časové intervaly), nie sú vhodné na rutinné celoplošné použitie v rámci rozmanitých podmienok Slovenska a nemožno ich použiť ani vzhľadom na inkrementálne scenáre klimatických prvkov, ktoré sú konštruované v mesačnom kroku.

Vzhľadom na doteraz používané závislosti hladín podzemných vôd od zrážok a spomenuté modely prenikania zrážok k podzemnej vode navrhujeme kompromisné riešenie, ktoré spočíva:

- vo výbere objektov s meraniami hladín podzemných vôd, ktoré sú v hydraulikkej spojitosti s povrchovými tokmi
- v stanovovaní závislostí medzi hladinami podzemných vôd a prietokmi v povrchových tokoch
- v hľadaní pomerne robustných závislostí medzi hladinami podzemných vôd a viacerými klimatickými prvkami (priamo alebo sprostredkované)

Takéto závislosti, ktoré by aspoň čiastočne rešpektovali sezónnu premenlivosť dopĺňania zdrojov podzemných vôd, by bolo možné vzájomne prepojiť (zlúčiť) napríklad do viacnásobného regresného modelu.

Celoplošne spracovať a vybrať objekty s meraniami hladín podzemných vôd, ktoré sú v hydraulikkej spojitosti s povrchovými tokmi, je časovo pomerne náročné. Zároveň je nevyhnutnou podmienkou, aby ako režim hladiny podzemnej vody vo vybranej sonde, tak režim odtoku v povrchovom toku neboli (resp. boli len minimálne) ovplyvnené antropogénnou činnosťou. Preto nie je ani možné paušálne na začiatku stanoviť výber objektov s meraniami hladín podzemných vôd programu do NKP. Proces výberu sond do siete NKP bude teda kontinuálny tak, ako bude kontinuálne prebiehať spracovanie uvedených závislostí.

Metóda spracovania

K sondám sme sa rozhodli pristupovať podľa tesnosti vzťahu medzi hladinami podzemných vôd v nich a prietokmi v povrchových tokoch vo vhodne vybraných vodomerných staniciach. Aby sme minimalizovali možné ovplyvnenie napozorovaných radov ľudskou činnosťou, pri výbere prietokových radov vychádzame výlučne z vodomerných staníc, ktoré už prv boli do programu NKP zaradené (Majerčáková, Šedík, 1994).

Závislosť medzi hladinami podzemných vôd a prietokmi môže byť štatisticky dostatočne významná alebo štatisticky nevýznamná, prípadne žiadna, ak nie je sonda v dostatočnej blízkosti povrchového toku, a teda nie je v priamej hydraulikkej spojitosti s povrchovým tokom. V prípade štatisticky dostatočne významného vzťahu medzi hladinami podzemných vôd a prietokmi v povrchových tokoch je možné odhady potenciálnych zmien hladín podzemných vôd odvodzovať práve zo zmeny týchto prietokov. Keďže zmeny prietokov získavame rôznymi modelmi (štatistickými, koncepčnými), do ktorých vstupujú klimatické prvky (a teda aj ich scenáre), vnášame sprostredkované klimatickú informáciu aj do odhadu zmien hladín podzemných vôd. V závislostiach medzi hladinami podzemných vôd a prietokmi sa cez prietoky do určitej miery rešpektuje aj vnútroročný chod hydrologického cyklu.

V prípade štatisticky menej významného, resp. nevýznamného vzťahu medzi hladinami podzemných vôd a prietokmi v povrchových tokoch, je možné odhady potenciálnych zmien hladín podzemných vôd založiť napríklad na regresných vzťahoch medzi hladinami podzemných vôd a zrážkami, predchádzajúcimi zrážkami, teplotami, relatívnymi vlhkosťami vzduchu, prípadne ďalšími klimatickými prvkami a ich kombináciami. V prípade dostatočnej štatistickej významnosti takýchto vzťahov by bolo možné posudzovať zmeny hladín podzemných vôd priamo (nie sprostredkované) na základe zmien klimatických prvkov a sezónnosť (vnútroročná premenlivosť priebehu hladín) by bola takisto vzhľadom na klimatické mesačné vstupy dostatočne rešpektovaná.

Načrtnuté riešenie, t. j. odhad možných zmien hladín podzemných vôd v závislosti od možnej zmeny prietoku v povrchových tokoch, sme spravili pre tri sondy: č. 285 v Nitrianskej Strede, č. 850 v Holiši a 965 v obci Rimavská Seč. Prietoky sme uvažovali z príslušných vodomerných staníc: Nitra – Nitrianska Streda, Ipeľ

– Holiša a Blh – Rimavská Seč. Odhad možných zmien hladín podzemných vôd v okolí zvolených sond uvádzame pre klimatické scenáre CCCM, GISS, WP A, WP B a pre časové horizonty 2010, 2030 a 2075. Výber sond sme viazali na povodia centrálneho Slovenska, kde sme sa už skôr zaoberali možným vplyvom klimatických zmien na odtok v povrchových tokoch (Majerčáková a Šedík, 1997).

Závislosť medzi mesačnými hladinami podzemnej vody v sonde a mesačnými prietokmi vo vodomernej stanici sme vyjadrili jednoduchou lineárnou regresiou a tesnosť vzťahu vyjadroval koeficient korelácie. Jeho hodnoty sa pohybovali väčšinou v rozpätí od 0,55 do 0,85 s výnimkou septembra. Túto tesnosť sme považovali za dostatočnú pre výpočet možných zmien hladiny podzemnej vody na základe možných zmien odtoku v Nitre, Iplí a Blhu.

Aplikovaný jednoduchý lineárny regresný model v tvare:

$$h \text{ (PzV)} = f(Q) = a \cdot Q + b$$

kde h (PzV) je hladina podzemnej vody

Q je prietok vo vhodne zvolenom profile

a , b sú regresné koeficienty

bol odvodený pre tzv. východiskové obdobie, za ktoré sme považovali roky od začiatku merania sondy do roku 2000. V prípade riešenia možného ovplyvnenia hladín podzemných vôd nebolo možné použiť odporúčané východiskové obdobie 1951 – 1980, resp. 1961 – 1990, nakoľko rady pozorovaní sú značne kratšie ako akékoľvek iné rady, napr. rady prietokov alebo rady klimatických prvkov.

Model sme zároveň použili na odhad možných zmien hladiny podzemnej vody v danej sonde. Hodnoty možných zmien uvádzame pre objekt č. 850 v Holiši v tabelárnej forme (Tab. 1) a pre všetky tri vyšetřované objekty v grafickom vyjadrení.

Pre názornosť a konkrétnejšiu predstavu sa obyčajne možné zmeny hydrologických alebo klimatických prvkov vyjadrujú ako v absolútnych hodnotách, t.j. v meraných jednotkách, tak v hodnotách pomerných, napr. v percentách dlhodobých priemerných hodnôt alebo percentách tzv. nultého stavu. Hladiny podzemných vôd sa vyjadrujú alebo v nadmorských výškach, alebo v relatívnych hodnotách – hĺbkach vody pod terénom (presnejšie pod pevne zvoleným odmerným bodom). Ani jedna z týchto veličín nie je vhodná na relatívne vyjadrenie možných zmien. Preto sme za mieru zmien zvolili možnú zmenu nultého stavu vzhľadom na variačné rozpätie hladín, ktoré bolo pre jednotlivé mesiace stanovené za východiskové obdobie. Zmeny hladín podzemnej vody v % variačného rozpätia opäť pre objekt č. 850 v Holiši uvádzame v Tab. 2.

Zhodnotenie dosiahnutých výsledkov

Z modelovania zmien hladiny podzemnej vody v sondách alúvií riek Nitra, Ipeľ a Blh na základe možných zmien prietokov v toku možno urobiť nasledovné zhrnutie:

Scenár GISS: zmeny podľa uvedeného scenára sú do značnej miery podobné vo všetkých troch vyšetřovaných povodiach. V mesiacoch november a december možno očakávať nevýrazné zmeny jedným či druhým smerom a sú minimálne aj v najvzdialenejšom časovom horizonte. Od januára do marca možno očakávať výraznejší vzostup hladiny podzemnej vody k najvzdialenejšiemu časovému horizontom až 20 až 40% variačného rozpätia hladín, najväčší vzostup by mal byť v januári. Od apríla do konca hydrologického roka sú zmeny záporné s výnimkou augusta, t.j. v letnom období možno podľa scenára GISS očakávať pokles hladiny podzemnej vody, najväčší v mesiaci september, a to o 10 až 20% variačného rozpätia vo všetkých troch objektoch.

Scenár CCCM: Možné zmeny hladín podzemných vôd podľa tohto scenára majú veľmi podobný priebeh ako pri scenári GISS s tým rozdielom, že hlavne pokles hladín počas vegetačného obdobia je oveľa výraznejší. Maximálne poklesy k najvzdialenejším časovým horizontom dosahujú do 20% príslušného variačného rozpätia, v povodí Ipl'a má tento pokles v septembri hodnotu až 40%.

Scenáre WP A a WP B: zmeny podľa uvedených scenárov sú taktiež do značnej miery podobné s tým rozdielom, že pre scenár WP B sú približne o jednu tretinu väčšie ako pre scenár WP A. Podľa týchto scenárov možno očakávať pokles hladiny podzemnej vody počas celého roka, okrem mesiacov január, február a menej výrazne aj marec, kedy by mala hladina podzemnej vody stúpať. Stúpnutie k najvzdialenejšiemu časovému horizontom by sa malo pohybovať do 10% pre scenár WP A a do 15% pre scenár WP B. Najväčší pokles v najvzdialenejšom časovom horizonte by mohol nastať v mesiaci apríli – o 7 až 20% podľa WP A, resp. o 10 až 30% podľa WP B. V mesiacoch máj až august je pokles menší – do 10%, resp. 15%. Ku koncu hydrologického roka, v mesiacoch september alebo október ako v povodí strednej Nitry, tak horného Ipl'a, by sa pokles hladín podzemných vôd mohol pohybovať až nad 30% príslušného variačného rozpätia kolísania hladín. V povodí strednej Nitry by mohol tento pokles pokračovať aj v mesiacoch november a december. Scenáre WP A a WP B dávajú temer vždy väčšie zmeny ako scenáre GISS a CCCM.

Z vyšetřovaných troch povodí absolútne najväčšie zmeny boli vypočítané v povodí Ipl'a v okolí Holiše a absolútne najmenšie zmeny sme dostali pre povodie Nitry v okolí Nitrianskej Stredy.

Zhrnutie

Na základe výsledkov z troch vyšetrovaných objektov s meraniami hladín podzemnej objektívne nie je možné vysloviť úplne všeobecne platné závery. Napriek tomu sa domnievame, že všade tam, kde dochádza k hydraulickej interakcii podzemných vôd s povrchovými vodami v tokoch je do určitej miery možné, ak z akýchkoľvek príčin nedôjde k narušeniu týchto väzieb, odvodzovať možnú zmenu hladiny podzemnej vody z prognózovanej zmeny prietokov v povrchových tokoch. Aj keď možné stúpnutia, no najmä poklesy hladiny podzemnej vody nedosahujú také vysoké relatívne hodnoty ako je tomu pri povrchových tokoch, uvedené zmeny by mohli, podľa nášho názoru, značne ovplyvniť napríklad režim vody v pôdnej vrstve a následne rastlinstvo, či už prirodzenú vegetáciu, alebo poľnohospodársku rastlinnú produkciu. Predpokladáme preto, že uvedené výsledky, prípadne ďalšie riešenia tohto problému v už naznačenom smere môžu priniesť pre vodohospodárov aj poľnohospodárov nové informácie.

Je logický predpoklad, že v prípadoch relatívne tesného vzťahu medzi hladinami (prietokmi) v tokoch a hladinami podzemných vôd budú zmeny hladín podzemných vôd sledovať zmeny prietokov. Avšak v prípadoch, kde hladiny podzemnej vody nie sú v priamej spojitosti s vodou v povrchových tokoch, alebo kde sú tieto väzby relatívne slabé, bude potrebné skonštruovať modely pre hladiny podzemných vôd len v závislosti od klimatických prvkov. V tomto smere by sme chceli pokračovať v ďalšej etape riešenia NKP.

Literatúra

- Fendeková, M.: 1997: *Metódy prognózovania zmien výdatnosti prameňov a ich aplikácie. Podzemná voda III./1997, č. 2, s. 46 – 55.*
- Kullman, E., Slamka, I., Gavurník, J., 1995: *Zhodnotenie vplyvu klimatických zmien na režim výdatnosti prameňov a predpokladaný dopad týchto klimatických zmien na disponibilné množstvá podzemných vôd. Správa NKP, SHMÚ, Bratislava. 11 s.*
- Kullman, E., st.: 1996: *Zdroje a zásoby podzemných vôd, ich ochrana a vzťah k ekológii. Podzemná voda 2/1996, č. 2, s. 12 – 18.*
- Kullman, E., Škoda, P., 1997: *Monitorovanie zmien klímy na vybraných hydrologických staniciach na Slovensku. In: Publikácia NKP 6/97, s. 118 – 124.*
- Majerčák, J., Novák, V., 1994: *GLOBAL - a numerical model for water movement in the soil root zone. Research Report, IH-SAS, Bratislava, 1994.*
- Majerčáková, O., Šedík, P., 1994: *Výber mesačných radov hydrologických prvkov a analýza ich spoľahlivosti. Analýza zmien variability hydrologických prvkov. Záverečná správa pre NKP SR. SHMÚ, Bratislava, 1994, 18 s.*
- Majerčáková, O., Šedík, P., 1997: *Hydrologické scenáre možných zmien odtokov počas roka na slovenských tokoch. In: Publikácia NKP 6/97, s. 125 – 140.*
- Takáčová, D., 1996: *Možné dôsledky klimatickej zmeny na hladiny podzemnej vody v povodí stredného a horného Hrona. [Správa pre NKP] SHMÚ, Bratislava, 1996.*
- Takáčová, D., 1997: *Možné dôsledky klimatickej zmeny na hladiny podzemnej vody v oblasti Žitného ostrova. [Správa pre NKP] SHMÚ, Bratislava, 1997.*
- Takáčová, D., 2000: *Zhodnotenie výsledkov NKP v oblasti hydrologie podzemných vôd do roku 2000. [Správa pre NKP 2000] SHMÚ, Bratislava, 2000.*

THE POSSIBLE IMPACT OF THE CLIMATE CHANGE UPON THE GROUNDWATER LEVELS IN ALLUVIA

Ol'ga Majerčáková – Dagmar Takáčová

Slovenský hydrometeorologický ústav

Olga.Majercakova@shmu.sk, Dagmar.Takacova@shmu.sk

ABSTRACT

The influence of climate change upon the groundwater regime was solved mostly for the springs. The impact on the groundwater level was studied depending only on precipitation. Now, we are dealing with the impact of possible climate change on the groundwater level in alluvium depending on the runoff in the streams. The relationships between the groundwater level and runoff were solved for three boreholes: No. 285 in Nitrianska Streda, 850 in Holiša and 965 in Rimavská Seč and three water gauging stations: Nitra – Nitrianska Streda, Ipeľ – Holiša and Blh – Rimavská Seč.

The possible change of the groundwater level was derived from the possible change of runoff for the scenarios: GISS, CCCM, WP A, WP B and the time horizons 2010, 2030 and 2075.

The results of groundwater level for the station No. 850 (Holiša) are presented in Tab. 1 and 2; the graphical results for all three groundwater stations are in Fig. 1, 2 and 3

Tab. 1 Možná zmena hladín podzemných vôd v objekte ZS 850 podľa scenárov GISS, CCCM, WP A a WP B pre obdobia 2010, 2030 a 2075

Tab. 1 Possible change of the groundwater levels in the groundwater station No 850 according to the scenarios GISS, CCCM, WP A and WP B for the time frames 2010, 2030, 2075

GISS 2010	h(pzv)	h(pzv)	zmena hladín
Mesiac	2010 [m n.m.]	0 stav [m n.m.]	oproti 0 stavu [m]
November	173,20970	173,19443	0,01527
December	173,42300	173,44564	-0,02264
Január	174,14194	173,86503	0,27691
Február	173,78411	173,64718	0,13693
Marec	173,58103	173,49998	0,08105
Apríl	173,38835	173,39251	-0,00416
Máj	173,56849	173,57136	-0,00287
Jún	173,47912	173,48354	-0,00442
Júl	173,40290	173,40290	0
August	173,55255	173,52889	0,02366
September	173,46602	173,57567	-0,10965
Október	173,10586	173,10586	0

CCCM 2010	h(pzv)	h(pzv)	zmena hladín
Mesiac	2010 [m n.m.]	0 stav [m n.m.]	oproti 0 stavu [m]
November	173,1975	173,19443	0,00307
December	173,4513	173,44564	0,00566
Január	174,0886	173,86503	0,22357
Február	173,7486	173,64718	0,10142
Marec	173,5648	173,49998	0,06482
Apríl	173,376	173,39251	-0,01651
Máj	173,5614	173,57136	-0,00996
Jún	173,4688	173,48354	-0,01474
Júl	173,3293	173,40290	-0,07360
August	173,4524	173,52889	-0,07649
September	173,3884	173,57567	-0,18727
Október	173,1031	173,10586	-0,00276

GISS 2030	h(pzv)	h(pzv)	zmena hladín
Mesiac	2030 [m n.m.]	0 stav [m n.m.]	oproti 0 stavu [m]
November	173,21570	173,19443	0,02127
December	173,40036	173,44564	-0,04528
Január	174,31227	173,86503	0,44724
Február	173,87540	173,64718	0,22822
Marec	173,63501	173,49998	0,13503
Apríl	173,38434	173,39251	-0,00817
Máj	173,56567	173,57136	-0,00569
Jún	173,47544	173,48354	-0,00810
Júl	173,40508	173,40290	0,00218
August	173,57005	173,52889	0,04116
September	173,40140	173,57567	-0,17427
Október	173,10474	173,10586	-0,00112

CCCM 2030	h(pzv)	h(pzv)	zmena hladín
Mesiac	2030 [m n.m.]	0 stav [m n.m.]	oproti 0 stavu [m]
November	173,2005	173,19443	0,00607
December	173,4569	173,44564	0,01126
Január	174,2379	173,86503	0,37287
Február	173,8196	173,64718	0,17242
Marec	173,6025	173,49998	0,10252
Apríl	173,3677	173,39251	-0,02481
Máj	173,5542	173,57136	-0,01716
Jún	173,4578	173,48354	-0,02574
Júl	173,2848	173,40290	-0,11810
August	173,4051	173,52889	-0,12379
September	173,2592	173,57567	-0,31647
Október	173,1020	173,10586	-0,00386

GISS 2075	h(pzv)	h(pzv)	zmena hladín
Mesiac	2075 [m n.m.]	0 stav [m n.m.]	oproti 0 stavu [m]
November	173,23706	173,19443	0,04263
December	173,36646	173,44564	-0,07918
Január	174,72774	173,86503	0,86271
Február	174,07319	173,64718	0,42601
Marec	173,74839	173,49998	0,24841
Apríl	173,38003	173,39251	-0,01248
Máj	173,56849	173,57136	-0,00287
Jún	173,46808	173,48354	-0,01546
Júl	173,40741	173,40290	0,00451
August	173,60538	173,52889	0,07649
September	173,24647	173,57567	-0,3292
Október	173,10419	173,10586	-0,00167

CCCM 2075	h(pzv)	h(pzv)	zmena hladín
Mesiac	2075 [m n.m.]	0 stav [m n.m.]	oproti 0 stavu [m]
November	173,2097	173,19443	0,01527
December	173,4683	173,44564	0,02266
Január	174,5679	173,86503	0,70287
Február	173,9769	173,64718	0,32972
Marec	173,6998	173,49998	0,19982
Apríl	173,3472	173,39251	-0,04531
Máj	173,5385	173,57136	-0,03286
Jún	173,4350	173,48354	-0,04854
Júl	173,1800	173,40290	-0,2229
August	173,2933	173,52889	-0,23559
September	172,9753	173,57567	-0,60037
Október	173,0980	173,10586	-0,00786

pokračovanie Tab. 1
continuation of Tab. 1

WP A 2010	h(pzv)	h(pzv)	zmena hladín
Mesiac	2010 [m n.m.]	0 stav [m n.m.]	oproti 0 stavu [m]
November	173,1792	173,19443	-0,01523
December	173,4117	173,44564	-0,03394
Január	173,929	173,86503	0,06397
Február	173,6979	173,64718	0,05072
Marec	173,5	173,49998	0,00002
Apríl	173,343	173,39251	-0,04951
Máj	173,5621	173,57136	-0,00926
Jún	173,4754	173,48354	-0,00814
Júl	173,3649	173,40290	-0,03800
August	173,4761	173,52889	-0,05279
September	173,453	173,57567	-0,12267
Október	173,1003	173,10586	-0,00556

WP B 2010	h(pzv)	h(pzv)	zmena hladín
Mesiac	2010 [m n.m.]	0 stav [m n.m.]	oproti 0 stavu [m]
November	173,1701	173,19443	-0,02433
December	173,3948	173,44564	-0,05084
Január	173,961	173,86503	0,09597
Február	173,7233	173,64718	0,07612
Marec	173,4946	173,49998	-0,00538
Apríl	173,31	173,39251	-0,08251
Máj	173,5564	173,57136	-0,01496
Jún	173,4711	173,48354	-0,01244
Júl	173,3427	173,4029	-0,06020
August	173,4407	173,52889	-0,08819
September	173,3691	173,57567	-0,20657
Október	173,0969	173,10586	-0,00896

WP A 2030	h(pzv)	h(pzv)	zmena hladín
Mesiac	2030 [m n.m.]	0 stav [m n.m.]	oproti 0 stavu [m]
November	173,1701	173,19443	-0,02433
December	173,3891	173,44564	-0,05654
Január	173,9823	173,86503	0,11727
Február	173,7284	173,64718	0,08122
Marec	173,4892	173,49998	-0,01078
Apríl	173,3059	173,39251	-0,08661
Máj	173,5557	173,57136	-0,01566
Jún	173,4696	173,48354	-0,01394
Júl	173,3382	173,40290	-0,06470
August	173,4346	173,52889	-0,09429
September	173,3498	173,57567	-0,22587
Október	173,0964	173,10586	-0,00946

WP B 2030	h(pzv)	h(pzv)	zmena hladín
Mesiac	2030 [m n.m.]	0 stav [m n.m.]	oproti 0 stavu [m]
November	173,1518	173,19443	-0,04263
December	173,3608	173,44564	-0,08484
Január	174,0247	173,86503	0,15967
Február	173,7689	173,64718	0,12172
Marec	173,4946	173,49998	-0,00538
Apríl	173,2606	173,39251	-0,13191
Máj	173,5478	173,57136	-0,02356
Jún	173,463	173,48354	-0,02054
Júl	173,3049	173,4029	-0,09800
August	173,3817	173,52889	-0,14719
September	173,2465	173,57567	-0,32917
Október	173,0908	173,10586	-0,01506

WP A 2075	h(pzv)	h(pzv)	zmena hladín
Mesiac	2075 [m n.m.]	0 stav [m n.m.]	oproti 0 stavu [m]
November	173,1488	173,19443	-0,04563
December	173,3438	173,44564	-0,10184
Január	174,0780	173,86503	0,21297
Február	173,8044	173,64718	0,15722
Marec	173,5000	173,49998	0,00002
Apríl	173,2316	173,39251	-0,16091
Máj	173,5414	173,57136	-0,02996
Jún	173,4571	173,48354	-0,02644
Júl	173,2825	173,40290	-0,12040
August	173,3523	173,52889	-0,17659
September	173,1819	173,57567	-0,39377
Október	173,0885	173,10586	-0,01736

WP B 2075	h(pzv)	h(pzv)	zmena hladín
Mesiac	2075 [m n.m.]	0 stav [m n.m.]	oproti 0 stavu [m]
November	173,1274	173,19443	-0,06703
December	173,2985	173,44564	-0,14714
Január	174,2059	173,86503	0,34087
Február	173,8906	173,64718	0,24342
Marec	173,5054	173,49998	0,00542
Apríl	173,1656	173,39251	-0,22691
Máj	173,5293	173,57136	-0,04206
Jún	173,4468	173,48354	-0,03674
Júl	173,2290	173,40290	-0,1739
August	173,2758	173,52889	-0,25309
September	173,0140	173,57567	-0,56167
Október	173,0818	173,10586	-0,02406

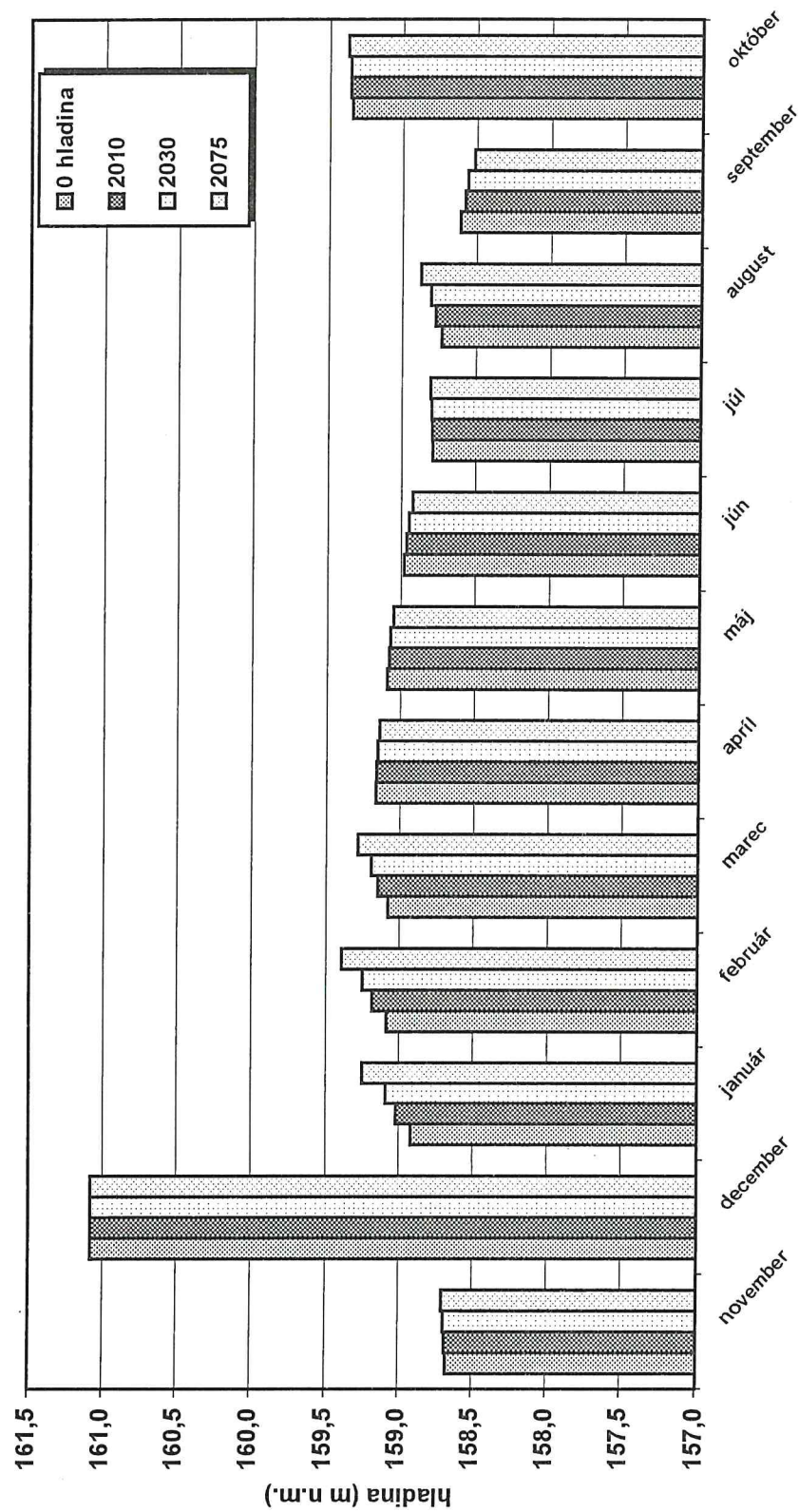
Tab. 2 Možná zmena hladín podzemných vôd v objekte ZS 850 podľa scenárov GISS, CCCM, WP A a WP B pre obdobia 2010, 2030 a 2075 vyjadrená v % variačného rozpätia príslušného mesiaca

Tab. 2 Possible change of the groundwater levels in the groundwater station No 850 according to the scenarios GISS, CCCM, WP A and WP B for the time frames 2010, 2030, 2075; expressed in % of the range for the particular month

Scenár	GISS	časový horizont 2010		časový horizont 2030		časový horizont 2075	
Mesiac	var.rozpätie[m]	zmena hl. [m]	%	zmeny hl. [m]	%	zmena hl. [m]	%
November	1,27	0,015	1,2	0,021	1,7	0,043	3,4
December	2,01	-0,023	-1,1	-0,045	-2,2	-0,079	-3,9
Január	2,08	0,277	13,3	0,447	21,5	0,863	41,5
Február	2,52	0,137	5,4	0,228	9,1	0,426	16,9
Marec	2,32	0,081	3,5	0,135	5,8	0,248	10,7
Apríl	2,24	-0,004	-0,2	-0,008	-0,4	-0,013	-0,6
Máj	1,93	-0,003	-0,2	-0,006	-0,3	-0,003	-0,2
Jún	1,55	-0,004	-0,3	-0,008	-0,5	-0,016	-1,0
Júl	1,48	0	0	0,002	0,1	0,005	0,3
August	1,76	0,024	1,4	0,041	2,3	0,077	4,4
September	1,51	-0,11	-7,3	-0,174	-11,5	-0,329	-21,8
Október	1,13	0	0	-0,001	-0,1	-0,002	-0,2
Scenár	CCCM	časový horizont 2010		časový horizont 2030		časový horizont 2075	
Mesiac	var.rozpätie[m]	zmena hl. [m]	%	zmeny hl. [m]	%	zmena hl. [m]	%
November	1,27	0,003	0,2	0,006	0,5	0,015	1,2
December	2,01	0,006	0,3	0,011	0,6	0,023	1,1
Január	2,08	0,224	10,8	0,373	17,9	0,703	33,8
Február	2,52	0,101	4,0	0,172	6,8	0,330	13,1
Marec	2,32	0,065	2,8	0,103	4,4	0,200	8,6
Apríl	2,24	-0,017	-0,8	-0,025	-1,1	-0,045	-2,0
Máj	1,93	-0,01	-0,5	-0,017	-0,9	-0,033	-1,7
Jún	1,55	-0,015	-1,0	0,026	-1,7	-0,049	-3,2
Júl	1,48	-0,074	-5,0	-0,118	-8,0	-0,223	-15,1
August	1,76	-0,077	-4,4	-0,124	-7,1	-0,236	-13,4
September	1,51	-0,187	-12,4	-0,317	-21,0	-0,600	-39,7
Október	1,13	-0,003	-0,3	-0,004	-0,4	-0,008	-0,7
Scenár	WP A	Časový horizont 2010		Časový horizont 2030		Časový horizont 2075	
Mesiac	var.rozpätie[m]	zmena hl. [m]	%	zmeny hl. [m]	%	zmena hl. [m]	%
November	1,27	-0,015	-1,2	-0,024	-1,9	-0,046	-3,6
December	2,01	-0,034	-1,7	-0,057	-2,8	-0,102	-5,1
Január	2,08	0,064	3,1	0,117	5,6	0,213	10,2
Február	2,52	0,051	2,0	0,081	3,2	0,157	6,2
Marec	2,32	0	0	-0,011	-0,5	0	0
Apríl	2,24	-0,050	-2,2	-0,087	-3,9	-0,161	-7,2
Máj	1,93	-0,010	-0,5	-0,016	-0,8	-0,030	-1,6
Jún	1,55	-0,008	-0,5	-0,014	-0,9	-0,026	-1,7
Júl	1,48	-0,038	-2,6	-0,065	-4,4	-0,120	-8,1
August	1,76	-0,053	-3,0	-0,094	-5,3	-0,177	-10,1
September	1,51	-0,123	-8,2	-0,226	-15,0	-0,394	-26,1
Október	1,13	-0,006	-0,5	-0,010	-0,9	-0,017	-1,5
Scenár	WP B	Časový horizont 2010		Časový horizont 2030		Časový horizont 2075	
Mesiac	var.rozpätie[m]	zmena hl. [m]	%	zmeny hl. [m]	%	zmena hl. [m]	%
November	1,27	-0,024	-1,9	-0,043	-3,4	-0,067	-5,3
December	2,01	-0,051	-2,5	-0,085	-4,2	-0,147	-7,3
Január	2,08	0,096	4,6	0,160	7,7	0,341	16,4
Február	2,52	0,076	3,0	0,122	4,8	0,243	9,6
Marec	2,32	-0,005	-0,2	-0,005	-0,2	0,005	0,2
Apríl	2,24	-0,083	-3,7	-0,132	-5,9	-0,227	-10,1
Máj	1,93	-0,015	-0,8	-0,024	-1,2	-0,042	-2,2
Jún	1,55	-0,012	-0,8	-0,021	-1,4	-0,037	-2,4
Júl	1,48	-0,060	-4,1	-0,098	-6,6	-0,174	-11,8
August	1,76	-0,088	-5,0	-0,147	-8,4	-0,253	-14,4
September	1,51	-0,207	-13,7	-0,329	-21,8	-0,562	-37,2
Október	1,13	-0,009	-0,8	-0,015	-1,3	-0,024	-2,1

Obr. 1a Predpokladané zmeny hladín podzemných vôd v objekte ZS 285 Nitrianská Streda podľa scenára GISS do časových horizontov 2010, 2030 a 2075

Fig. 1a Possible changes of the groundwater levels in the groundwater station No. 285 - Nitrianska Streda according to the scenarios GISS for the time frames 2010, 2030, 2075



Obr. 1b Predpokladané zmeny hladín podzemných vôd v objekte ZS 285 Nitrianská Streda podľa scenára CCCM

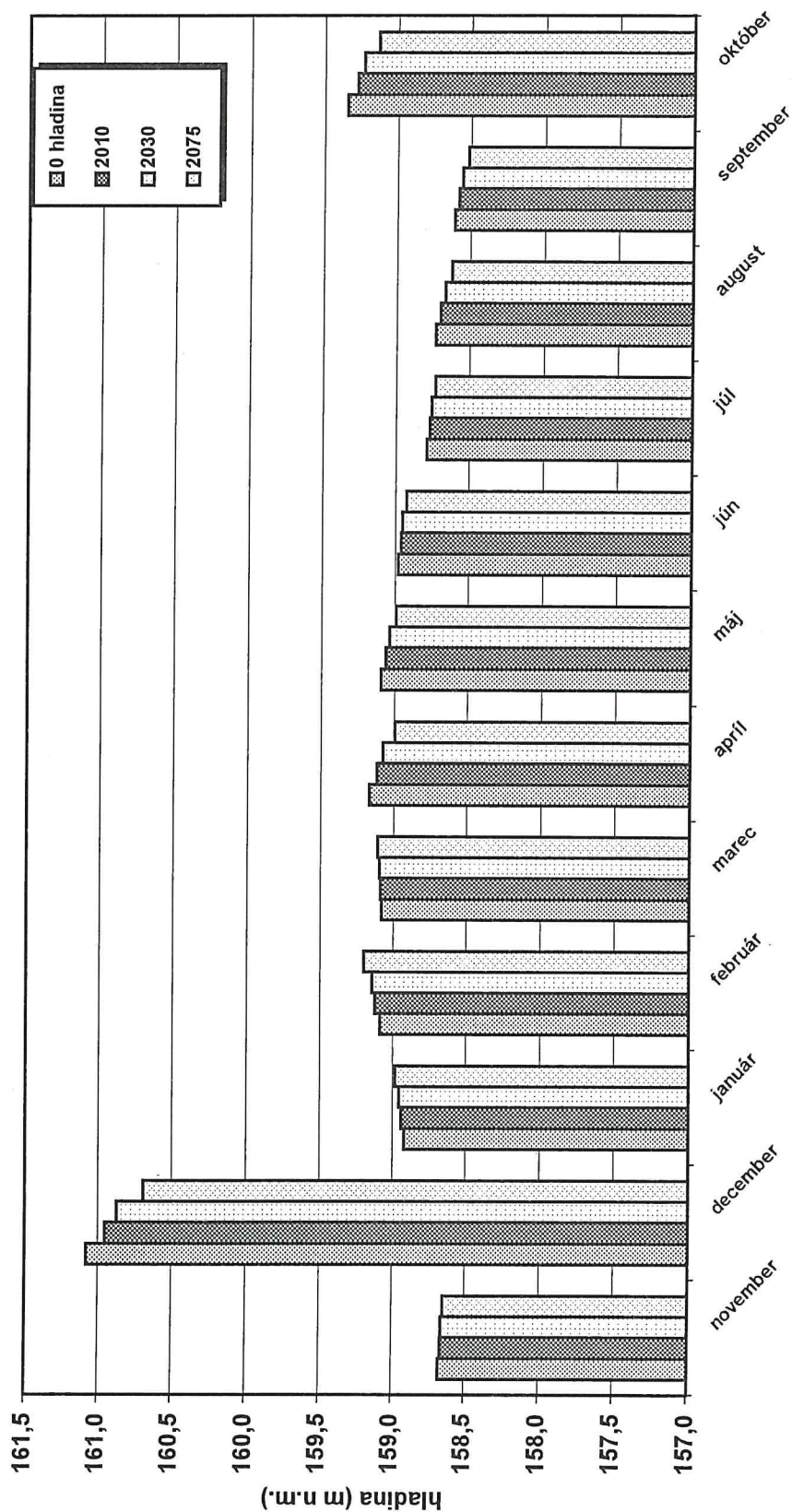
do časových horizontov 2010, 2030 a 2075

Fig. 1b Possible changes of the groundwater levels in the groundwater station No. 285 - Nitrianska Streda according to the scenarios CCCM for the time frames 2010, 2030, 2075



Obr. 1c Predpokladané zmeny hladín podzemných vôd v objekte 285 Nitrianská Streda podľa scenára WP A do časových horizontov 2010, 2030 a 2075

Fig. 1c Possible changes of the groundwater levels in the groundwater station No. 285 - Nitrianska Streda according to the scenarios WP A for the time frames 2010, 2030, 2075



Obr. 1d Predpokladané zmeny hladín podzemných vôd v objekte ZS 285 Nitrianská Streda podľa scenára WP B

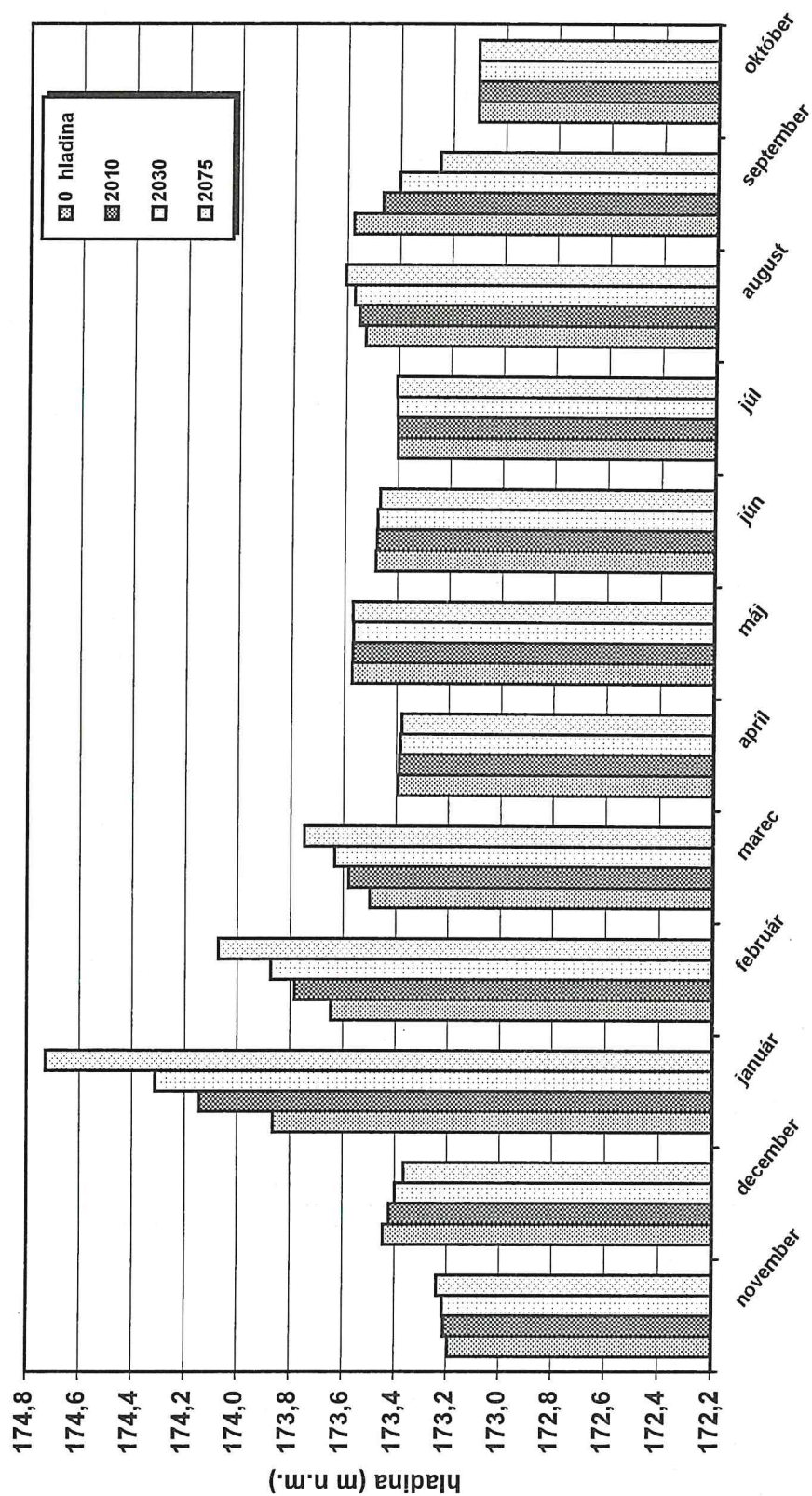
do časových horizontov 2010, 2030 a 2075

Fig. 1d Possible changes of the groundwater levels in the groundwater station No. 285 - Nitrianska Streda according to the scenarios WP B for the time frames 2010, 2030, 2075



Obr. 2a Predpokladané zmeny hladín podzemných vôd v objekte ZS 850 Holša podľa scenára GISS pre časové horizonty 2010, 2030 a 2075

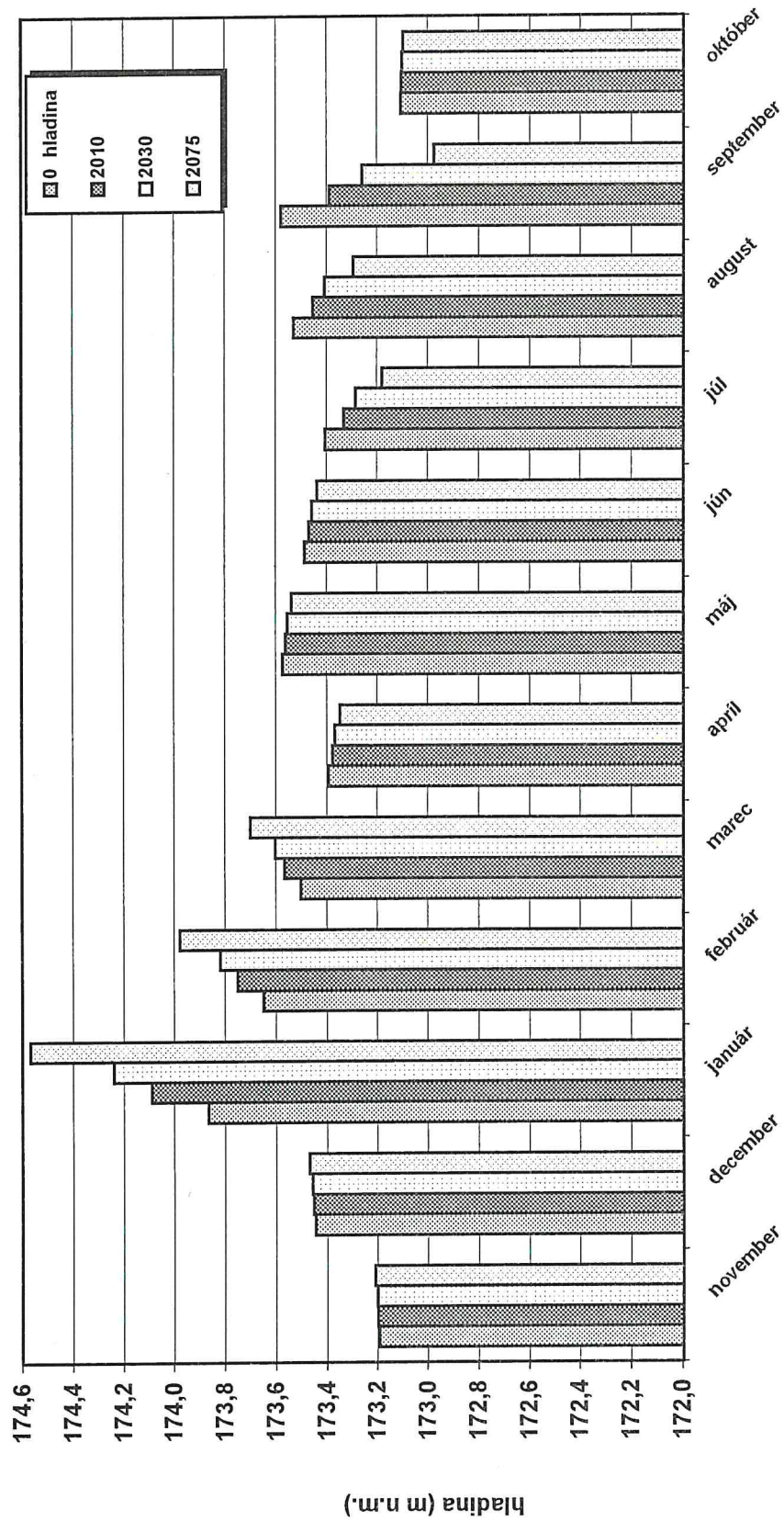
Fig. 2a Possible changes of the groundwater levels in the groundwater station No. 850 - Holša according to the scenarios GISS for the time frames 2010, 2030, 2075



Obr.2b Predpokladané zmeny hladín podzemných vôd v objekte ZS 850 Holíša podľa scenára CCCM

pre časové horizonty 2010, 2030 a 2075

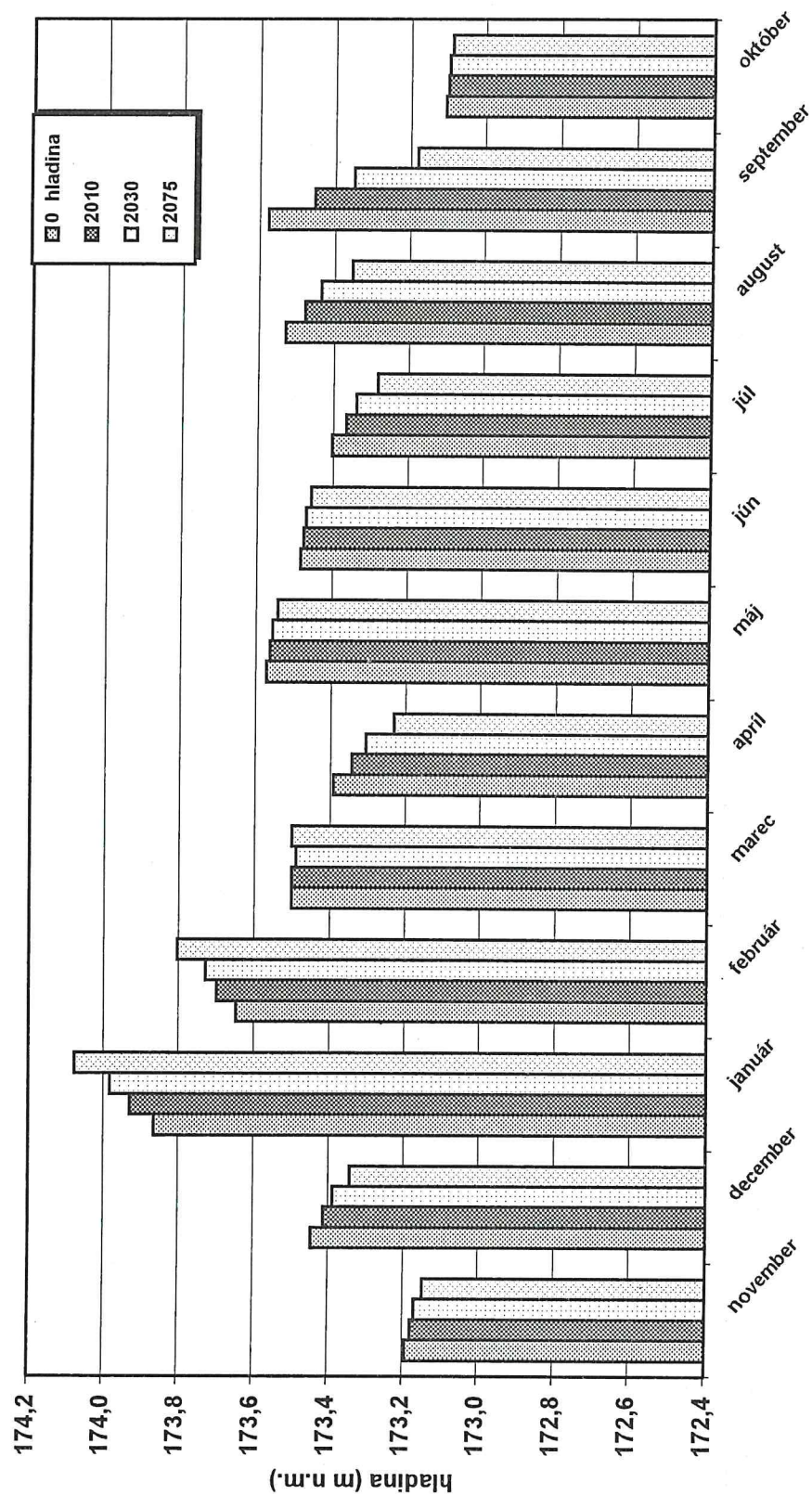
Fig. 2b Possible changes of the groundwater levels in the groundwater station No. 850 - Holíša according to the scenarios CCCM for the time frames 2010, 2030, 2075+A237



Obr.2c Predpokladané zmeny hladín podzemných vôd v objekte ZS 850 Holiša podľa scenára WP A

pre časové horizonty 2010, 2030 a 2075

Fig. 2c Possible changes of the groundwater levels in the groundwater station No. 850 - Holiša according to the scenarios WP A for the time frames 2010, 2030, 2075

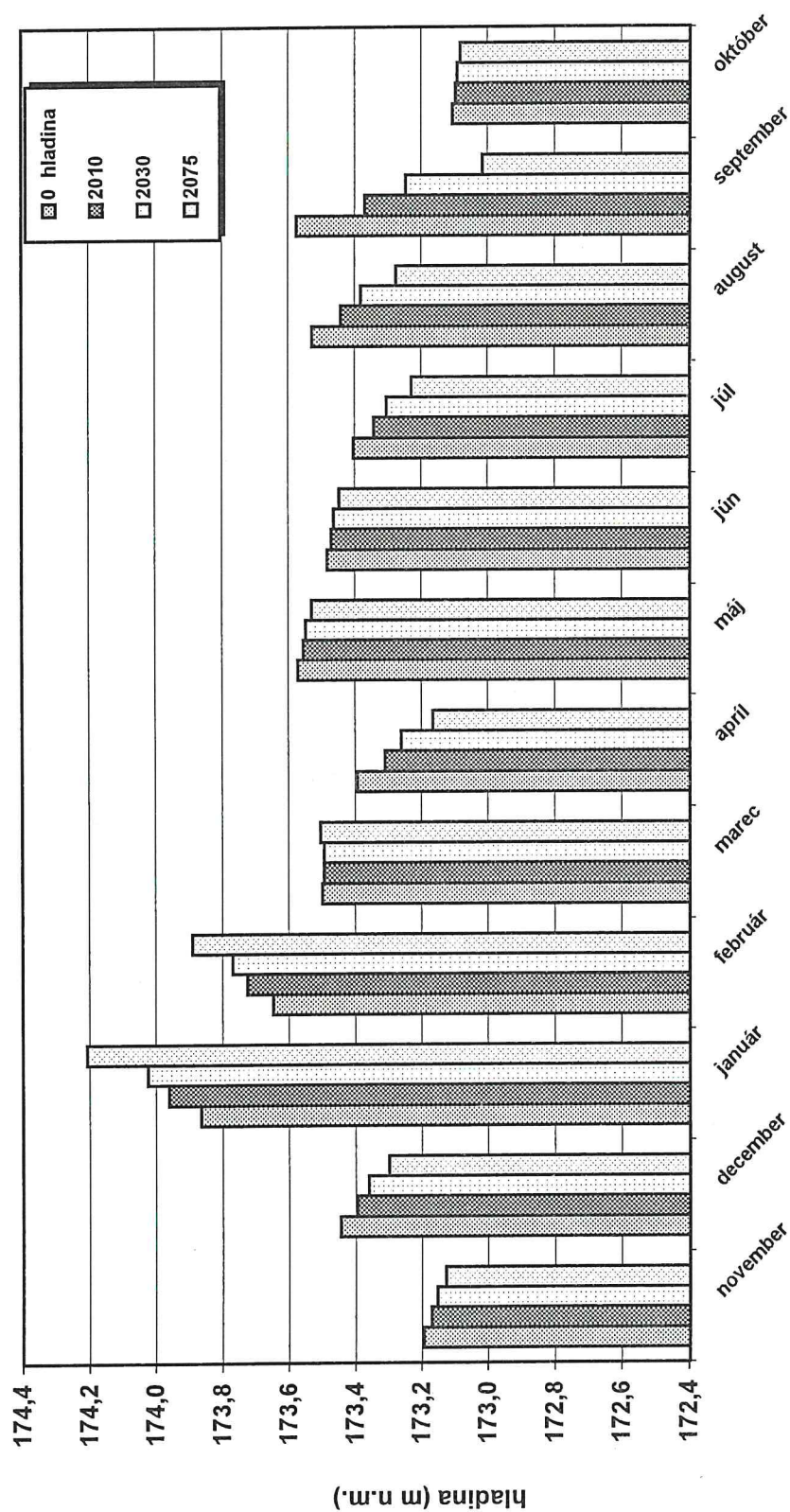


Obr.2d Predpokladané zmeny hladín podzemných vôd v objekte ZS 850 Holíša podľa scenára WP B

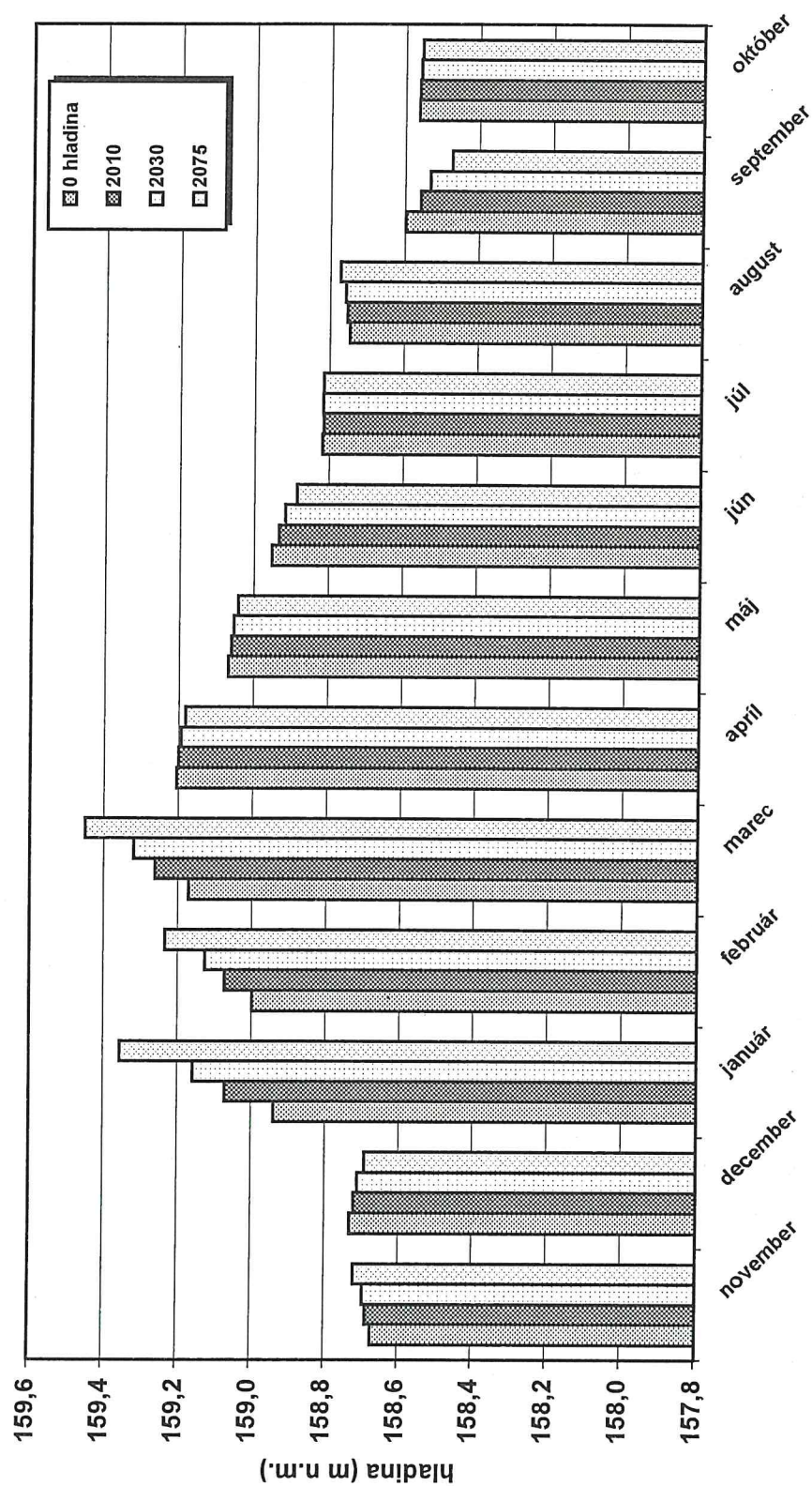
pre časové horizonty 2010, 2030 a 2075

Fig. 2d Possible changes of the groundwater levels in the groundwater station No. 850 - Holíša according to the scenarios WP B for the time frames 2010, 2030, 2075

Obr.2d Predpokladané zmeny hladín podzemných vôd v objekte ZS 850 Holíša podľa scenára WP B pre časové horizonty 2010, 2030 a 2075



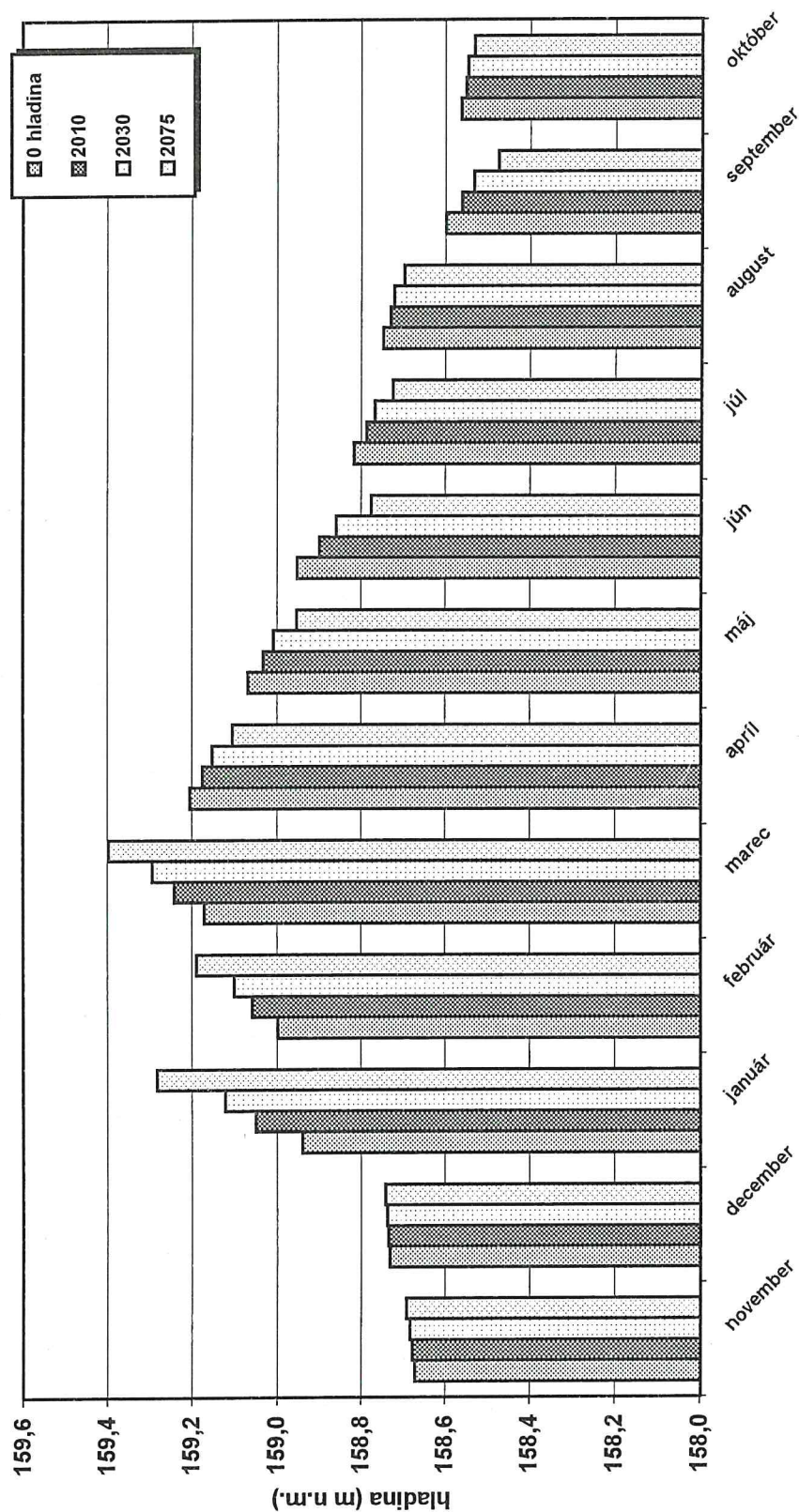
Obr. 3a Predpokladané zmeny hladín podzemných vôd v objekte ZS 965 Rimavská Seč podľa scenára GISS do časových horizontov 2010, 2030 a 2075
 Fig. 3a Possible changes of the groundwater levels in the groundwater station No. 285 according to the scenarios CCCM for the time frames 2010, 2030, 2075



Obr. 3b Predpokladané zmeny hladín podzemných vôd v objekte ZS 965 Rimavská Seč podľa scenára CCCM

do časových horizontov 2010, 2030 a 2075

Fig. 3b Possible changes of the groundwater levels in the groundwater station No. 285 according to the scenarios CCCM for the time frames 2010, 2030, 2075



Obr. 3c Predpokladané zmeny hladín podzemných vôd v objekte ZS 965 Rimavská Seč podľa scenára WP A

do časových horizontov 2010, 2030 a 2075

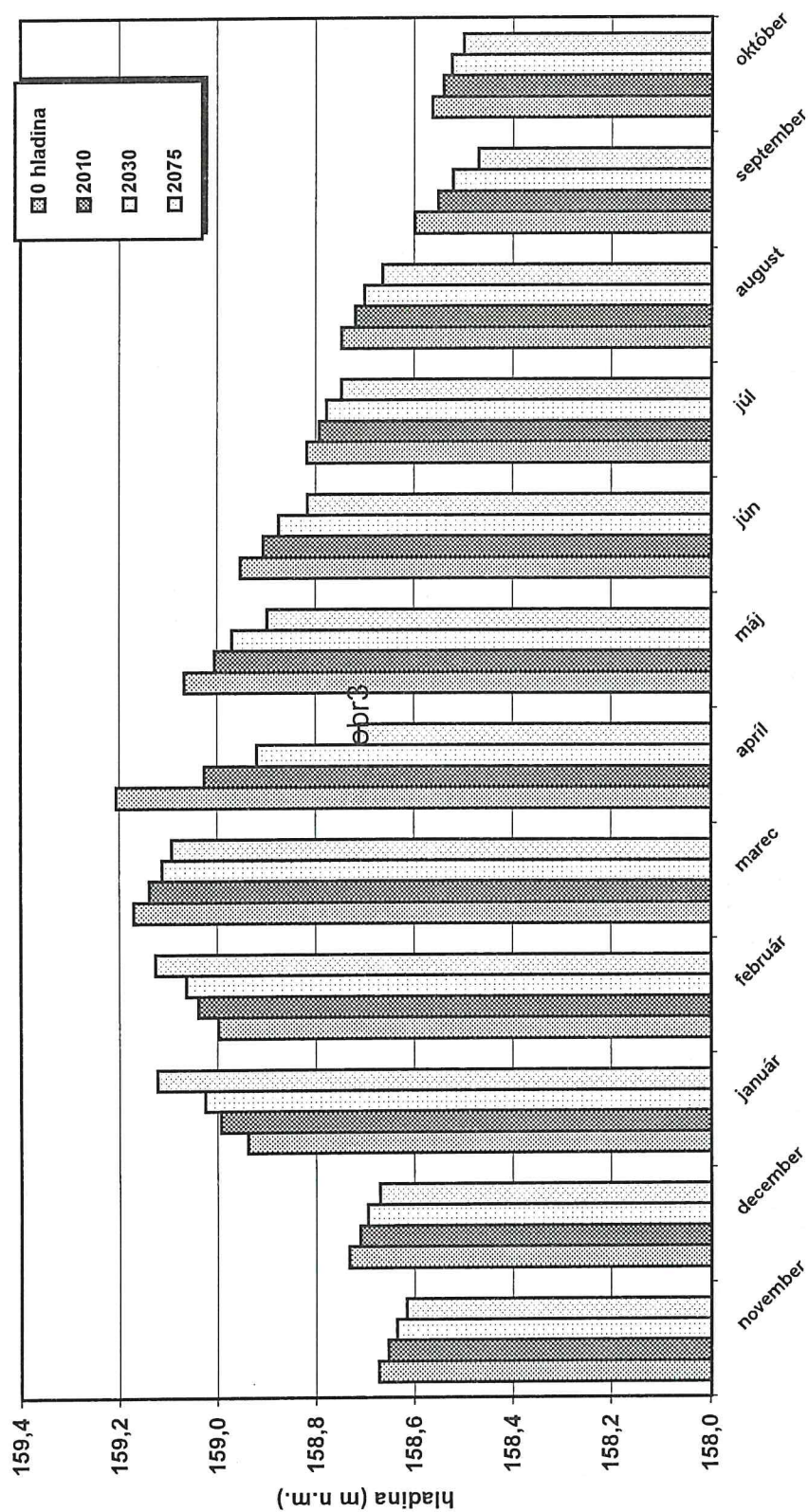
Fig. 3c Possible changes of the groundwater levels in the groundwater station No. 285 - Rimavská Seč according to the scenarios CCCM for the time frames 2010, 2030, 2075



Obr. 3d Predpokladané zmeny hladín podzemných vôd v objekte ZS 965 Rimavská Seč podľa scenára WP B

do časových horizontov 2010, 2030 a 2075

Fig. 3d Possible changes of the groundwater levels in the groundwater station No. 285 according to the scenarios WP B for the time frames 2010, 2030, 2075



SIMULÁCIA VODNÉHO REŽIMU PÔD AKO ALTERNATÍVA K MONITORINGU JEHO CHARAKTERISTÍK IN SITU.

Juraj Majerčák, Július Šútor, Vlasta Štekauerová
Ústav hydrológie SAV, Bratislava

Anotácia

Získať časové rady zásob vody v nenasýtenej oblasti pôdy možno buď systematickým monitoringom vlhkosti pôdy, čo je pomerne náročné na čas, pracovníkov, prístroje a financie, alebo tiež numerickou simuláciou na matematickom modeli, čo je možno menej presné, ale podstatne efektívnejšie a komplexnejšie vzhľadom na hodnotenie vplyvu meteorologických a klimatických podmienok stanovišťa. Numerická simulácia je značne závislá od vstupných údajov, avšak získava sa ňou kontinuálny rad údajov v ľubovoľne volených časových intervaloch. V predkladanej práci sú porovnané zásoby vody získané jednak monitoringom vlhkosti v pôdnom profile neutrónovou sondou, ako aj numerickou simuláciou na matematickom modeli vodného režimu pôdy GLOBAL. Porovnanie je urobené s cieľom poukázať na výsledkoch z numerickej simulácie, že súbory údajov o zásobách vody v zóne aerácie pôdy získané touto vedeckou metódou sú reálnou alternatívou k údajom získavaným priamym monitoringom. Okrem toho sa numerickou simuláciou súčasne získavajú aj chody zložiek vodnej bilancie. Za účelom dokumentovania uvedeného sa predkladajú výsledky chodu zásob vody v zóne aerácie pôdy pre lokalitu Bodíky (Žitný ostrov) v rokoch 1999 a 2000 získané priamym monitoringom a numerickou simuláciou.

1. Úvod

Množstvo vody, ktoré sa nachádza v pôde medzi jej povrchom a podzemnou vodou (nazývaný tiež zásoba vody v nenasýtenej oblasti pôdy), je ovplyvňované tokmi vody cez jej hornú a dolnú hranicu. Hornú hranicu tvorí povrch pôdy s porastom, resp. aj bez porastu. Je priamo ovplyvňovaná klimatickými podmienkami prostredníctvom evapotranspirácie, resp. je miestom, ktoré umožňuje vtok vody zo zrážok do nižších vrstiev pôdneho profilu. Dolná hranica je zvyčajne vymedzená hladinou podzemnej vody a teda jej poloha je daná hĺbkou hladiny podzemnej vody pod povrchom pôdy.

Klimatické podmienky a hladina podzemnej vody podliehajú počas roka časovej variabilite. Toto sa potom následne prejavuje aj časovou variabilitou zásob vody v nenasýtenej oblasti pôdy. Toky vody medzi obidvomi hranicami závisia od hydrofyzikálnych vlastností pôdy. Tieto vykazujú priestorovú a niektoré aj časovú variabilitu v pomerne krátkom časovom rozpätí (napríklad nasýtená hydraulická vodivosť pôdy v prítomnosti porastu, ktorý počas roka zväčšuje svoju koreňovú oblasť, prípadne zmena povrchových vlastností pôdy spôsobená používanou agrotechnikou). Toto všetko vedie k časovej a priestorovej variabilite zásob vody v nenasýtenej oblasti pôdy.

Z priestorovej variability hydrofyzikálnych charakteristík v spojitosti s klimatickými, topografickými a poľnohospodársko-výrobnými podmienkami možno usudzovať aj na priestorovú variabilitu zásob vody v nenasýtenej oblasti pôdy. Pre analýzu časovej variability zásob vody v nenasýtenej oblasti pôdy je treba určiť spojitú zmenu zložiek vodnej bilancie pôd či už počas vegetačného obdobia, resp. počas hydrologického roka, alebo iným záujmom vymedzeného časového obdobia v štatisticky reprezentatívnom rade, ktorý by mal byť pomerne dlhý. Získať časové rady množstva vody v nenasýtenej oblasti pôdy možno buď systematickým monitoringom vlhkosti pôdy (tento prístup kladie značné nároky na čas, odborné zaškolenú pracovnú silu, drahé prístroje a prevádzkové náklady), alebo tiež numerickou simuláciou na matematickom modeli, čo je síce v niektorých prípadoch možno menej presné, ale podstatne efektívnejšie a komplexnejšie. Adekvátnosť výsledkov z numerickej simulácie závisí od úrovne spracovania vstupných údajov, avšak získavame ňou kontinuálny rad údajov v ľubovoľne volených časových intervaloch.

V práci sú porovnané zásoby vody v pôdnom profile 0–150 cm získané monitoringom vlhkosti neutrónovou sondou a matematickou simuláciou modelom GLOBAL [4] v lokalite Bodíky, v dvoch konkrétnych rokoch (1999, 2000), ktoré boli značne odlišné čo sa týka klimatických podmienok. Cieľom porovnania oboch súborov údajov o zásobách vody v zóne aerácie pôdy je zistiť, či súbory údajov získané numerickou simuláciou sú reálnou alternatívou k údajom získavaným priamym monitoringom.

2. Stanovenie zásob vody v zóne aerácie pôdy priamym monitoringom

Monitoring dynamiky zásob vody v zóne aerácie pôdy sa definuje ako systematické pozorovanie obsahu vody v jej jednotlivých horizontoch v čase a priestore. Dynamika zásob vody je indikátorom prírodného prostredia, pomocou ktorého sa sledujú vplyvy ľudských aktivít a pomalých zmien globálneho charakteru. Monitoring sa spravidla realizuje v bodoch tvoriacich monitorovaciu sieť, ktoré s určitou mierou reprezentujú vypovedajúce schopnosti záujmového územia a v súhrne potom väčší územný celok.

Monitoring dynamiky zásob vody v zóne aerácie pôdy zahŕňa široký aspekt problémov vo viacerých rovinách (lokalizácia reprezentatívnych stanovišť záujmového územia, výber meracej techniky a metodík merania vlhkosti pôdy a jej vlhkostného potenciálu, stanovenie frekvencie merania atď.), ktoré sú navzájom späté centrálnou myšlienkou - získanie údajov o jej dynamike.

Koncepcia uvedeného monitoringu sa obvyčajne rozdeľuje do troch základných, navzájom sa dopĺňajúcich úrovní, v ktorých sa prelínajú priestorové, časové, vecné a organizačno-prevádzkové aspekty. Sú to:

- celoplošný monitoring (je založený na relatívne stabilnom monitoringu, ktorý pokrýva územie ako celok,
- regionálny monitoring (je to buď trvalý, alebo časovo obmedzený, priestorovo ohraničený monitoring na konkrétny región, ktorý je dôležitý z hľadiska jeho významu pre prírodné prostredie, resp. z hľadiska dopadov ľudskej aktivity),
- účelový, resp. lokálny monitoring (predstavuje časovo ohraničený monitoring zameraný na sledovanie významného javu, prvku, alebo konkrétnej ľudskej aktivity v prírodnom prostredí).

Monitorovanie rozdelenia obsahu vody po výške zóny aerácie pôdy o vymedzenej mocnosti je spojené s meraniami a zberom údajov, ich homogenizáciou a organizovaním týchto údajov do usporiadaných dátových súborov.

V podmienkach územia Slovenska celoplošný monitoring vlhkosti pôdy, resp. zásob vody v zóne aerácie pôdy, nie je zavedený. Možno konštatovať existenciu účelového, resp. lokálneho monitoringu, ktorý bol a je vedený v rôznych časových horizontoch, napr. v regióne Žitného ostrova (intenzívny a systematický od roku 1984 až do 1997, so značným znížením počtu stanovišť a časovej frekvencie pretrváva dodnes). Tento monitoring bol organizovaný za účelom hodnotenia dopadu VD Gabčíkovo na zložky prírodného prostredia Žitného ostrova. Jednou z monitorovaných zložiek boli zásoby vody v zóne aerácie pôdy. Charakteristické pre tento účelový monitoring bolo jeho celoročné monitorovanie, t.j. celkové hodnotenie bolo robené v rámci hydrologického roka. V regióne Východoslovenskej nížiny sú súbory údajov o zásobách vody v pôde vo vymedzených monitorovacích obdobiach známe zo 6 stanovišť (Michalovce 1991-98, Milhostov 1991-98, Pribeň 1991-93, Somotor 1991-98, Vysoká nad Uhom 1992-93, Senné 1997-1999). Početné merania vlhkosti pôdy sú robené na experimentálnych lokalitách rezortných výskumných ústavov (SVP závod Hydromeliorácie, Bratislava, OVÚA Michalovce, ÚPaOP Bratislava, VÚRV Piešťany) a katedrií vysokých škôl (STU SvF Bratislava, SPU FZaKI Nitra, TU Zvolen). Tento uvedený účelový monitoring bol, resp. je organizovaný spravidla pre vegetačné obdobia vzhľadom na pestované poľnohospodárske plodiny v poľnohospodárskych ekosystémoch. V lesných eko-systémoch je monitoring taktiež vymedzený len pre vegetačné obdobie.

Dynamika zásob vody v zóne aerácie pôdy je v centre pozornosti:

- ekológov – z dôvodu hodnotenia zásob vody pre zásobovanie rastlinného krytu vodou,
- geografov – z hľadiska hodnotenia retenčných vlastností jednotlivých horizontov pôdneho profilu,
- hydroológov – pre získanie, stanovenie smeru pohybu vody v zóne aerácie pôdy ako časti hydrologického cyklu,
- odborníkov pre ochranu podzemných vôd – kvôli znečisteniu prienikom znečisťujúcich látok z pôdneho profilu,
- odborníkov závlahového hospodárstva – za účelom zefektívnenia závlah poľnohospodársky využívaných plôch.
- krajinného inžinierstva – pre kvantifikáciu akéhokoľvek navrhovaného zásahu do prírodného prostredia.

Z toho dôvodu sú monitorované súbory údajov následne spracovávané na relevantnú informáciu v súlade s vyššie uvedenými záujmami. Napr. pre hodnotenie zásob vody v zóne aerácie pôdy, ako disponibilného zdroja vody pre rastlinný kryt, sa chody obsahu vody vyhodnocujú pre jednotlivé pôdne horizonty (0-30cm, 30-80cm, resp. 0-100 cm, atď.) a porovnávajú s hodnotami zodpovedajúcimi jednotlivým hydrolimitom, ktoré charakterizujú dostupnosť vody pre vegetačný kryt. Týmto porovnaním sa získava informácia o zásobovaní rastlinného krytu vodou zo zóny aerácie pôdy.

Vyššie uvedený účelový monitoring v podmienkach VSN bol na výskumných stanovištiach rezortných výskumných ústavov a katedrií vysokých škôl zameraný na získanie informácií o zásobovaní rastlinného krytu vodou [1], [6], [7], [9]. Tento prístup determinoval obmedzenie monitoringu len na mesiace vegetačného obdobia. V týchto mesiacoch má na dynamiku zásob vody v zóne aerácie pôdy významný vplyv druh rastlinného krytu, preto informácie z takéhoto účelového monitoringu nie je možné použiť pre robenie relevantných záverov o dopade klimatickej zmeny. V každom monitorovacom období a pre každú záujmovú lokalitu je pre jeden druh vegetácie zásoba vody postačujúca, pre iný sa konštatuje jej nedostatok. Pre hodnotenie dopadu klimatickej zmeny vytvára poznatkovú základňu monitoring realizovaný za účelom

hodnotenia zapojenia zóny aerácie pôdy do hydrologického cyklu, t.j. monitoring je organizovaný počas celého roka, napr. s frekvenciou 2-3 týždne.

3. Stanovenie zásob vody v zóne aerácie pôdy s využitím numerickej simulácie

Charakteristiky vodného režimu zóny aerácie pôdy, uvádzané v súvislosti s ich priamym monitoringom, sa pre podmienky záujmovej lokality dajú získať numerickej simuláciou na matematickom modeli vodného režimu. Túto simuláciu možno robiť s denným krokom, čo je pre priamy monitoring nepredstaviteľný metodický postup. Týmto sa matematický model, resp. numerická simulácia, stáva účinnou vedeckou metódou pre sledovanie aktuálnych vlhkosných pomerov v zóne aerácie pôdy v požadovanom časovom období pre podmienky danej lokality, resp. regiónu. Tento metodický postup umožňuje získať objemné súbory údajov, ktorých spracovanie na štruktúrované databázové súbory je možné štandardnými postupmi s využitím existujúcich databázových systémov.

Výstup z numerickej simulácie zahŕňa:

1. charakteristiky, ktoré je možné získať priamym monitoringom:

- časový priebeh zásoby vody v jednotlivých horizontoch zóny aerácie pôdy,
- rozdelenie vlhkosti po výške zóny aerácie pôdy,
- chod strednej hodnoty množstva vody v zóne aerácie pôdy o danej mocnosti počas celého časového horizontu monitoringu,
- chod integrálneho množstva vody v zóne aerácie pôdy počas monitorovacieho obdobia.

2. charakteristiky, ktoré nie je možné získať priamym monitoringom:

- kumulatívny tok vody cez hornú hranicu zóny aerácie pôdy (t.j. denné úhrny infiltrácie, evaporácie a transpirácie) počas vegetačného obdobia,
- chod denných úhrnov potenciálnej a aktuálnej evapotranspirácie počas roka,
- kumulatívny tok vody na dolnej hranici zóny aerácie pôdy (denné úhrny kapilárneho prítoku vody, resp. odtoku vody do hladiny podzemnej vody) počas vegetačného obdobia.

V úhrne nám podrobne kvantifikuje zložky vodnej bilancie daného stanovišťa, resp. daného ekosystému.

Pre numerickej simuláciu s využitím matematických modelov sa vo všeobecnosti požaduje pre záujmovú lokalitu spracovanie týchto vstupných údajov :

1. súbor: Meteorologické a klimatické charakteristiky:

- ☐ denné zrážkové úhrny
- ☐ priemerná denná teplota vzduchu
- ☐ rýchlosť vetra
- ☐ tlak vodných pár
- ☐ sýtosťný doplnok
- ☐ trvanie slnečného svitu
- ☐ energetická bilancia a jej štruktúra
- ☐ najnižší denný priemer teploty vzduchu
- ☐ najvyšší denný priemer teploty vzduchu
- ☐ nástup denného priemeru teploty vzduchu 5 °C
- ☐ priemerný súčet kladnej teploty vzduchu

2. súbor: Charakteristiky vegetačného pokryvu:

- ☐ výška porastu
- ☐ zapojenie porastu
- ☐ index listovej pokryvnosti
- ☐ hĺbka koreňového systému
- ☐ albedo porastu
- ☐ parameter drsnosti porastu
- ☐ fenologické charakteristiky
- ☐ druhové zloženie
- ☐ pri poľnohospodárskych plodinách oševný postup
- ☐ vegetačný koeficient

3. súbor: Hydrofyzikálne charakteristiky pôdy:

- ☐ vlhkostná retenčná čiara
- ☐ hydraulická vodivosť vodou nasýtenej pôdy
- ☐ hydraulická vodivosť vodou nenasýtenej pôdy
- ☐ drenážna pórovitosť
- ☐ a k nim doplnujúce fyzikálne charakteristiky:
- ☐ zrnitosť zloženie
- ☐ objemová hmotnosť
- ☐ merná hmotnosť
- ☐ pórovitosť

4. súbor: Hydrologické charakteristiky:

- ☐ hladinový režim podzemných vôd
- ☐ hladinový režim vo vodných tokoch v záujmovom území
- ☐ charakteristiky kapilárneho prítoku vody od HPV do zóny aerácie pôdy
- ☐ charakteristiky priesaku vody zo zóny aerácie pôdy do HPV

5. súbor: Topografické údaje záujmového územia.

Treba konštatovať, že väčšiu časť objemných požadovaných vstupov dlhé roky zabezpečuje vo svojej monitorovacej sieti SHMÚ. Mimo jeho aktivity sú hydrofyzikálne a fyzikálne charakteristiky pôd, ktoré je potrebné stanoviť jednorázovo ako východiskové charakteristiky záujmového stanovišťa. Potom výber monitorovacích stanovišť zosúladiť s monitorovacou sieťou meteorologických, resp. klimatických staníc (podľa rozhodnutia o počte stanovišť pre jednotlivé regióny Slovenska), nadobúda reálne kontúry využitia numerickej simulácie ako široko akceptovateľnej alternatívy k priamemu monitoringu.

4. Použité postupy riešenia

4.1 Výber záujmovej lokality relevantnej k riešeniu.

Lokalita Bodíky sa nachádza v lesnom ekosystéme nad vodným dielom Gabčíkovo. Počas rokov 1999 a 2000 boli v Bodíkoch neutráonovou sondou monitorované vlhkosti pôdy každých 10 cm od jej povrchu až po hladinu podzemnej vody, ktoré boli využité na vypočítanie zásob vody v nenasýtenej oblasti pôdy v rôznych vrstvách. Tieto zásoby boli vyhodnotené vzhľadom na zásobenosť pôdy vodou pre rastliny [8]. V citovanej literatúre sú uvedené aj hydrofyzikálne charakteristiky zobernené pre uvedenú lokalitu [9]. V tejto práci použijeme hydrofyzikálne charakteristiky namerané na vzorkách o objeme 100 cm³ odobratých priamo na mieste monitorovania. Odvodňovacie vetvy vlhkostných retenčných čiar boli merané na pretlakových hrncoch. Koeficient nasýtenej hydraulickej vodivosti bol stanovený laboratórnou metódou premenlivého hydraulického sklonu.

4.2 Použitý matematický model

Matematických modelov opisujúcich pohyb vody v zóne aerácie pôd, resp. pre získavanie charakteristík ich vodného režimu za determinovaných podmienok, je už pomerne veľa. Takmer všetky sú založené na matematickom opise pohybu vody v pôde Richardsovou parciálnou diferenciálnou rovnicou. Autori predkladanej práce použili na numerickej simulácii matematický model vodného režimu zóny aerácie pôdy GLOBAL [4], ktorý bol vyvinutý na Ústave hydrológie SAV a úspešne sa využíval v súvislosti s monitoringom dopadu VD Gabčíkovo na územie ŽO.

Numerickej simulácii na matematickom modeli sa získavajú nasledovné charakteristiky vodného režimu zóny aerácie pôdy:

- časový priebeh množstva vody v jednotlivých horizontoch zóny aerácie pôdy,
- rozdelenie vlhkosti po výške zóny aerácie pôdy,
- chod strednej hodnoty množstva vody v zóne aerácie pôdneho profilu o danej mocnosti počas celého časového horizontu monitoringu,
- chod integrálneho množstva vody v zóne aerácie pôdy počas monitorovacieho obdobia.

Základom modelu GLOBAL je numerické riešenie nelineárnej parciálnej diferenciálnej rovnice prenosu vody v pôde, ktorá má tvar

$$\frac{\partial h_w}{\partial t} = \frac{1}{c(h_w)} \frac{\partial}{\partial z} \left[k(h_w) \left(\frac{\partial h_w}{\partial z} + 1 \right) \right] - \frac{S(z, t)}{c(h_w)} \quad (4)$$

kde h_w je vlhkosťový potenciál pôdy [cm]

$k(h_w)$ - nenasýtená hydraulická vodivosť pôdy [cm]

$S(z, t)$ - intenzita odberu vody koreňami rastlín [cm s⁻¹]

$$c(h_w) = \frac{\partial \theta}{\partial h_w}$$

θ - objemová vlhkosť pôdy [cm³ cm⁻³]

z - vertikálna súradnica [cm].

V použitom modeli sa pre výpočet rozdelenia obsahu vody s úspechom využívajú vzťahy van Genuchtena [2], ktoré dovoľujú vyjadriť analytickým výrazom hodnoty nenasýtenej hydraulické vodivosti v závislosti na vlhkosti, resp. vlhkosťovom potenciáli. Značným prínosom pre presnosť simulácie je implementácia podprogramu pre výpočet hysterézy, čo dovoľuje zohľadniť rozdielne priebehy funkčnej závislosti medzi vlhkosťou a potenciálom pri nasycovaní pôdy vodou a pri jej vysúšaní.

Okrajová podmienka na hornej hranici nenasýtenej oblasti pôdy je určená štandardne meranými meteorologickými charakteristikami a vlastnosťami porastu [5]. Toky vody cez hornú hranicu smerom do pôdy sú prezentované zrážkami, resp. závlahovými dávkami. Toky vody cez hornú hranicu zo zóny aerácie sú počítané nezávislou metódou a vyjadrené vo forme transpirácie (výpar prostredníctvom porastu) a evaporácie (výpar z povrchu pôdy). Ich súhrn sa nazýva evapotranspirácia.

Z hľadiska použitej numerickej metódy riešenia Richardsovej rovnice model GLOBAL patrí do skupiny tých, ktoré využívajú metódu konečných prvkov. Jej podstatou je aproximácia závislých premenných, ako je napr. vlhkosťový potenciál pôdy, objemová vlhkosť, resp. hydraulická vodivosť (nasýtená i nenasýtená), konečným radom bazových funkcií s časovo závislými koeficientami. Prednosťou použitej numerickej schémy je jej stabilita, určitou nevýhodou je citlivosť na extrémne okrajové podmienky. Model používa premenný časový krok s autoreguláciou jeho dĺžky.

Model GLOBAL je z hľadiska programu riešený modulovo. To uľahčuje priebežnú modifikáciu a modernizáciu modelu, resp. jeho adaptáciu na niektoré špeciálne požiadavky. Vstupné súbory sú pripravované off-line pomocou podporných programov. Tým sa značne znižuje chybovosť pri vytváraní vstupov pre jednotlivé riešenie prípady. Výstupom je jednak ASCII súbor, v ktorom sú uvedené hodnoty vybraných vypočítaných premenných, ako aj binárny súbor, obsahujúci jednak denné hodnoty všetkých počítaných premenných, ako aj denné hodnoty meteorologických a porastových veličín prenesené zo vstupu. Binárny súbor slúži ako vstup pre pomocné programy, umožňujúce prezentáciu výsledkov simulácie formou grafov a matic. Táto metóda prezentácie výsledkov bola použitá aj pri príprave tohto článku.

4.3 Vstupné údaje do modelu

Vstupné údaje do modelu možno zaradiť do niekoľkých skupín:

4.3.1 Hydrofyzikálne charakteristiky

Pôdny profil v Bodíkoch do hĺbky 150 cm pod povrchom pôdy bol delený na 4 vrstvy: 0-35 cm; 36-90 cm; 91-100 cm a 100-150 cm.

Pre uvedené vrstvy boli nanášané hodnoty bodov odvodňovacích vetiev vlhkosťových retenčných kriviek aproximované metódou van Genuchtena [2]. Hodnoty takto získaných parametrov odvodňovacích vetiev vlhkosťových retenčných kriviek a hodnoty nasýtených hydraulických vodivostí jednotlivých vrstiev sú uvedené v tabuľke 1.

Tabuľka 1 Hydrofyzikálne charakteristiky pôdneho profilu rozčleneného do štyroch vrstiev v lokalite Bodíky
Table 1 The hydraulic characteristics of the soil profile in locality Bodíky splitted to four layers

Pôdne vrstvy [cm]	Nasýtená vlhkosť θ_s [cm ³ cm ⁻³]	Reziduálna vlhkosť θ_r [cm ³ cm ⁻³]	Parameter α [cm ⁻¹]	Parameter n [-]	Nasýtená hydraulická vodivosť K [cm deň ⁻¹]
0 – 35	0.5474	0.0684	0.04407	1.29706	193.27
36 – 90	0.5491	0.0552	0.04920	1.35140	38.90
91 – 100	0.5425	0.0265	0.09983	1.17602	39.73
101 – 150	0.5231	0.0484	0.02314	1.38266	14.44

4.3.2 Počiatočný vlhkosťný profil

Počiatočný vlhkosťný profil bol odmeraný neutrónovou sondou každých 10 cm až do hĺbky 150 cm pod povrchom pôdy na začiatku vegetačného obdobia pre roky 1999 a 2000. Hodnoty sú uvedené v tabuľke 2.

Tabuľka 2 Počiatočné vlhkosťné profily namerané neutrónovou sondou v lokalite Bodíky v dňoch 9. apríla 1999 a 2. marca 2000
Table 2 The initial soil water content profiles measured by the neutron probe in locality Bodíky on the 9th April 1999 and the 2nd March 2000

Horizont [cm]	Objemová vlhkosť [cm ³ cm ⁻³]	
	1999	2000
0	0.4440	0.4608
10	0.3257	0.4527
20	0.4361	0.4677
30	0.3904	0.4190
40	0.3916	0.4181
50	0.3701	0.3828
60	0.4533	0.4198
70	0.4364	0.3583
80	0.4488	0.2700
90	0.3920	0.3032
100	0.3996	0.3389
110	0.4608	0.4165
120	0.4284	0.2646
130	0.4513	0.2371
140	0.4160	0.1963
150	0.2577	0.14173

4.3.3 Dolná okrajová podmienka

Tabuľka 3 Časový priebeh objemovej vlhkosti v hĺbke 150 cm pod povrchom pôdy v lokalite Bodíky v rokoch 1999 a 2000
Table 3 The time course of the soil water content in the 150 cm depth in locality Bodíky in the years 1999 and 2000

Dátum	Objemová vlhkosť pôdy v hĺbke 150cm pod povrchom pôdy [cm ³ cm ⁻³]	Dátum	Objemová vlhkosť pôdy v hĺbke 150cm pod povrchom pôdy [cm ³ cm ⁻³]
9.4.1999	0.2577	30.3.2000	0.1264
22.4.1999	0.2499	13.4.2000	0.1596
6.5.1999	0.2525	27.4.2000	0.1995
20.5.1999	0.2418	11.5.2000	0.1994
3.6.1999	0.3068	25.5.2000	0.1795
17.6.1999	0.2529	8.6.2000	0.1702
1.7.1999	0.2418	22.6.2000	0.3007
14.7.1999	0.2735	6.7.2000	0.3319
29.7.1999	0.2014	20.7.2000	0.2713
12.8.1999	0.1302	3.8.2000	0.2252
26.8.1999	0.1155	18.8.2000	0.1833
8.9.1999	0.1371	31.8.2000	0.1389
22.9.1999	0.1186	14.9.2000	0.1251
6.1.1999	0.1077	28.9.2000	0.1173
22.10.1999	0.1065	12.10.2000	0.1196
4.11.1999	0.1166	27.10.2000	0.1162
19.11.1999	0.1165	10.11.2000	0.1072
2.12.1999	0.1155	24.11.2000	0.1082
2.3.2000	0.1473	8.12.2000	0.0991
17.3.2000	0.1170		

4.3.4 Meteorologické údaje:

Boli použité denné zrážkové úhrny, priemerná denná teplota vzduchu, rýchlosť vetra, tlak nasýtených vodných pár a trvanie slnečného žiarenia za vegetačné obdobie rokov 1999 a 2000. Uvedené hodnoty boli získané z SHMÚ Bratislava v meteorologickej stanici Gabčíkovo.

4.3.5 Fenologické údaje o rastlinnom kryte:

Lokalita Bodíky leží v lesnom ekosystéme, typickom pre tie oblasti Žitného ostrova, ktoré priliehajú k Dunaju. Ide konkrétne o mäkký luh s prevažujúcim topoľovým porastom. Vzhľadom na prakticky identický charakter porastu boli použité merané údaje z neďalekej lokality Kráľovská lúka. Matematický simulačný model GLOBAL využíva pre výpočet evapotranspirácie z rastlinného krytu a povrchu pôdy teoretické prístupy, súhrnne uvedené v práci [5]. Do modelu vstupujú tieto fenologické veličiny modelovaného porastu: Index listovej pokrývnosti (leaf area index), drsnosť porastu, albedo a hĺbka koreňovej zóny. Údaje s denným krokom sú uložené v štruktúrovanom súbore. Pre topoľový porast uvidíme pre porovnanie jednak hodnoty uvedených vstupných veličín v januári 1981, kedy je rastlina v zimnom útlme, ako aj hodnoty pre mesiac júl 1981, predstavujúci vrchol vegetačného obdobia z hľadiska intenzity transpirácie.

```
KRAL. LUKA, MAKKY LUH - TOPOLOVITE
CROP DATA FILETYPE=2 YEAR=1981 JULSTART=01 JULEND=365
DAY MONTH LAI ROUGH. ALBEDO ROOT DPT. RMWC
          [M^2/M^2] [M]      []      [CM]      [%]

01 01    0.00 .320 .1500 150.00 60.0
```

```
KRAL. LUKA, MAKKY LUH - TOPOLOVITE
CROP DATA FILETYPE=2 YEAR=1981 JULSTART=01 JULEND=365
DAY MONTH LAI ROUGH. ALBEDO ROOT DPT. RMWC
          [M^2/M^2] [M]      []      [CM]      [%]

01 07    7.00 .200 .2000 150.00 60.0
```

5. Výsledky a diskusia

Medzi monitorovanými a simulovanými vlhkostnými profilmi je až na obdobie medzi 9.4.1999 až 17.4.1999 (aj to len v horizontoch 100 až 150cm) relatívne dobrá zhoda. Dobrú zhodu potvrdzujú aj integrálne obsahy vody vypočítané ako z monitorovaných, tak aj simulovaných vlhkostných profilov pre pôdne vrstvy 0 – 30 cm, 31 – 60 cm, 61 – 90 cm (na obrázkoch 1a, b, c) a v celom pôdnom profile 0 – 150 cm pre rok 1999 (obrázok 2).

Ako je možné vidieť na obr. 2, integrálne obsahy vody vo vrstve 0–150 cm vypočítané zo simulovaných vlhkostných profilov sa odlišujú od integrálnych obsahov vody vypočítaných z monitorovaných údajov vlhkostí v priemere o 9.5 % z výsledkov získaných monitoringom. Väčšie rozdiely sú len v mesiacoch jún a júl. Podobným spôsobom, ako v roku 1999, sme vyhodnotili zásoby vody v nenasýtenej oblasti pôdy v lokalite Bodíky aj v roku 2000. V jarnom období od 2.3.2000 až 25.5.2000 je medzi vlhkostnými profilmi monitorovanými a simulovanými najlepšia zhoda z celého roku. Toto potvrdzuje aj zhoda medzi integrálnymi obsahmi vody vypočítanými z monitorovaných a simulovaných vlhkostných profilov v tomto období, hlavne v pôdnej vrstve 0–30 cm, obr. 3a. Pre nižšie vrstvy, hlavne v letnom a jesennom období, je už táto zhoda horšia, obrázky 3b, c. Táto horšia zhoda je vidieť aj na obr. 4, kde sú zobrazené integrálne obsahy vody celého vyšetrovaného pôdného profilu 0–150 cm, vypočítané z vlhkostných profilov, ktoré boli získané obidvomi metódami. Priemerná chyba tu je 20 %. Jej hodnota je ovplyvnená väčšími rozdielmi v mesiacoch júl a august, kedy bolo dlhodobé bezzrážkové a teplé obdobie.

6. Záver

Získať časové rady zásob vody v nenasýtenej oblasti pôdy možno buď systematickým monitoringom vlhkosti pôdy alebo matematickou simuláciou.

Počas rokov 1999 a 2000 boli neutrónovou sondou monitorované vlhkosti pôdy v lesnom ekosystéme lokality Bodíky. Vlhkosti boli merané neutrónovou sondou každých 10 cm od povrchu pôdy až po hladinu podzemnej vody. Pre rovnaké časové obdobie boli simulované vlhkostné profily matematickým modelom GLOBAL. Z monitorovaných a simulovaných vlhkostných profilov boli vypočítané integrálne obsahy vody (zásoby vody) v pôdných vrstvách 0–30 cm, 31–60 cm, 61–90 cm a 0–150 cm, ktoré boli navzájom porovnané.

Integrálne obsahy vody vypočítané zo simulovaných vlhkostných profilov sú dobre zrovnateľné v priebehu celého roku 1999 a v priemere s 9.5 % chybou môžu byť použité namiesto monitorovaných vlhkostných profilov. Rok 2000 sa vyznačoval o tretinu menšími kumulatívnymi zrážkami ako rok 1999. V roku 2000 bolo navyše dlhé kontinuálne obdobie s vysokou teplotou vzduchu a bez zrážok. Práve v tomto období sa simulované výsledky pomerne dosť odlišovali od monitorovaných výsledkov, a teda ich použitie hlavne v letných mesiacoch roku 2000 by bolo zaťažené väčšou chybou.

Rekapitulujúc porovnanie výsledkov získaných simuláciou s využitím matematického modelu a hodnôt, ktoré poskytli priame merania v rámci monitoringu, môžeme považovať za opodstatnené tvrdenie, že numerická simulácia dáva realistický kvalitatívny i kvantitatívny obraz procesov pohybu vody v pôdnom profile s rastlinným krytom. Nutnou a samozrejmovou podmienkou je však získanie čo najpresnejších hodnôt vstupných veličín pre model.

Literatúra

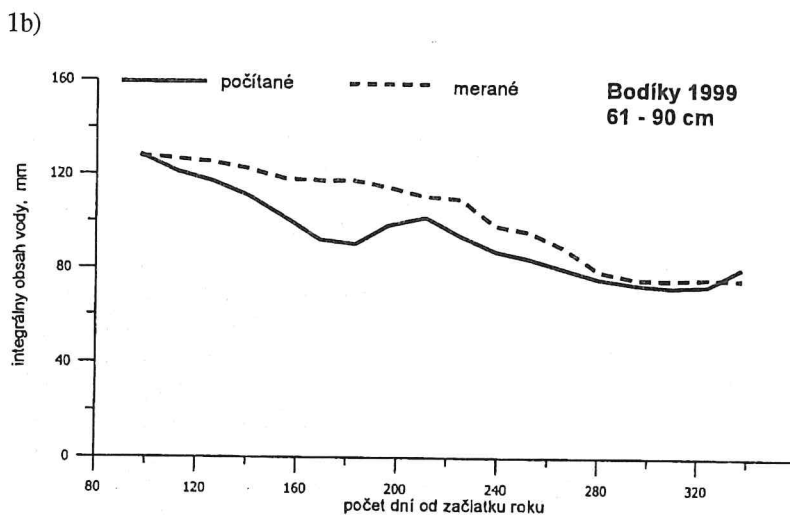
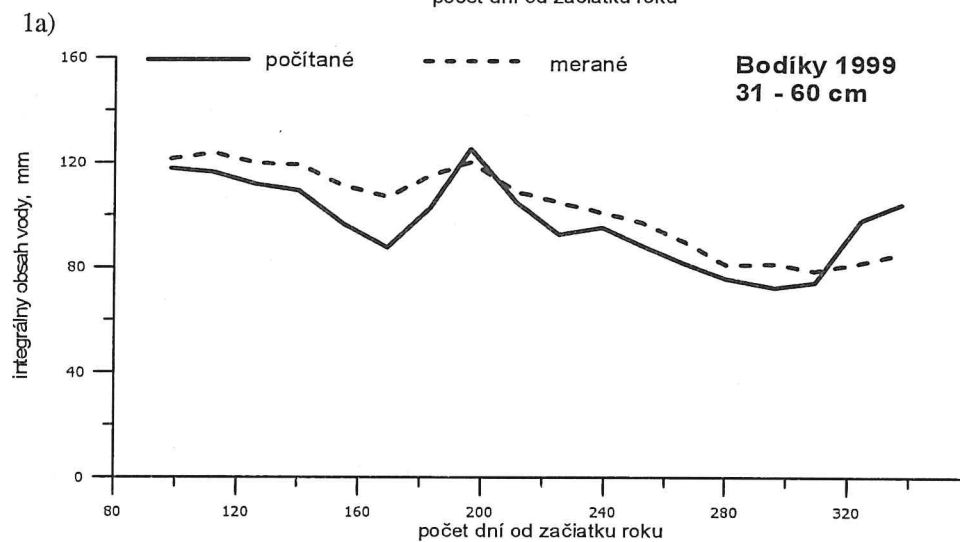
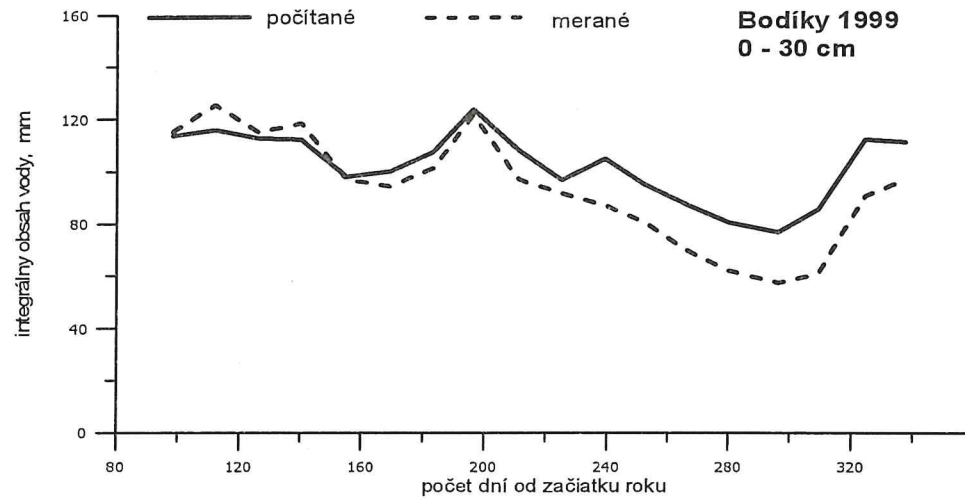
- [1] CAMBEL, B. – NOVÁKOVÁ, K. – TAKÁČ, J. – SOBOCKÝ, I. – KAZDA, R.: Retenčné a transportné charakteristiky pôd Záhorskej nížiny. Zborník z medzinárodnej vedeckej konferencie "Voda v bioklimatických systémoch", Račkova dolina 9.-11.september 1998. *Acta Horticulturae et Regiotecturae*, 2, 1999, s. 135-137.
- [2] GENUCHTEN, M.Th. van: A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44, 1980, s. 892-898.
- [3] MAJERČÁK, J. - NOVÁK V.: Simulation of the soil-water dynamics in the root zone during the vegetation period. I. Simulation model. *Vodohosp. Čas.*, 40, 1992, č. 3, s. 299-315.
- [4] MAJERČÁK, J. - NOVÁK, V.: GLOBAL - a numerical model for water movement in the soil root zone. Research Report, IH-SAS, Bratislava 1994.
- [5] NOVÁK, V.: Štruktúra evapotranspirácie. I. Metódy výpočtu výparu a transpirácie. *Vodohosp. Čas.* 29., 1981, č. 5, s. 476-492.
- [6] SKALOVÁ, J. : Pedotransferové funkcie pôd Záhorskej nížiny a ich aplikácia pri modelovaní vodného režimu pôdy. Habilitačná práca. SvF STU Bratislava 2001.
- [7] ŠÚTOR, J. – SKALOVÁ, J. – ŠTEKAUEROVÁ, V. : Pedotransferové funkcie pre stanovenie bodov vlhkostných retenčných čiar pôd Záhorskej nížiny. *Acta Hydrol. Slov.*, 2, 2001, č.1, s. 156-160.
- [8] ŠTEKAUEROVÁ, V. – NAGY, V.: Vplyv klimatických podmienok na zabezpečenosť porastu vodou v lokalitách Báč a Bodíky. *Acta Hydrol. Slov.*, 2, 2001, č.1, s. 58 – 63.
- [9] ŠÚTOR, J. – ŠTEKAUEROVÁ, V.: Hydrofyzikálne charakteristiky pôd Žitného ostrova. ÚH SAV Bratislava, 2000, 166 s.

THE SIMULATION OF THE SOIL WATER REGIME AS ALTERNATIVE TO „IN SITU“ MONITORING OF ITS CHARACTERISTICS

Majerčák J., Šútor J., Štekaurová V.,
Institute of Hydrology of the Slovak Academy of Sciences, Bratislava, Slovakia

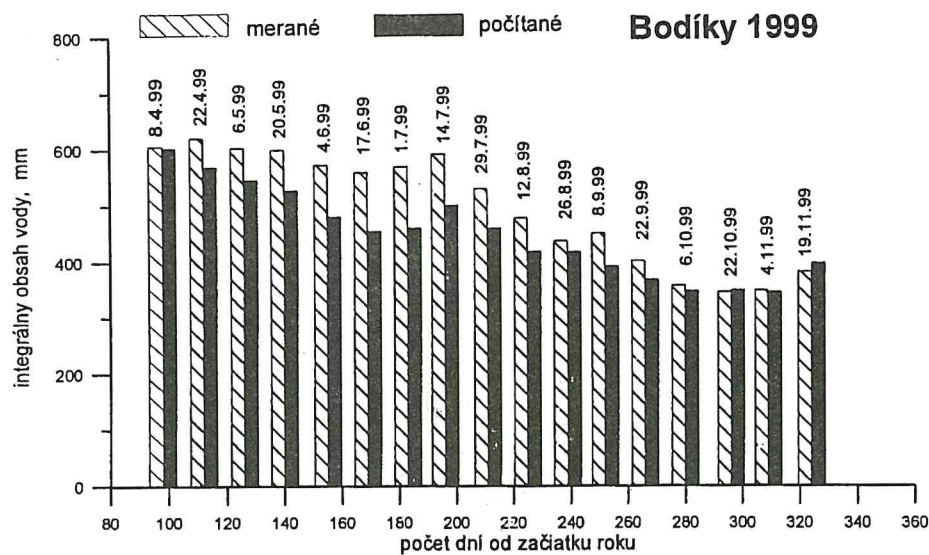
ABSTRACT

To obtain the time series of the water store in the unsaturated zone of the soil profile is possible either by the systematic monitoring of the soil water content (what is rather demanding the time, manpower, instruments, money) or the numerical simulation using the mathematical model (what is maybe less exact but considerably more effective and complex considering valuation of the meteorological and climate conditions of examined site). The numerical simulation is vastly dependent on the input data but provides continuous series of results in arbitrary selected time intervals. The aim of this work is to compare the water store obtained either by monitoring the soil water content in the soil profile using the neutron probe or by the numerical simulation applying the mathematical soil water regime model GLOBAL. The comparison was made to illustrate on the results of numerical simulation that the computed water store values in unsaturated zone of soil are the veracious alternative to the measured ones. Moreover, the numerical simulation provides also the course of the water balance components. To document the above mentioned facts are presented the water store values in the unsaturated zone in Bodíky (Rye Island territory, Southern Slovakia) for the years 1999 and 2000, obtained by direct monitoring and by numerical simulation.



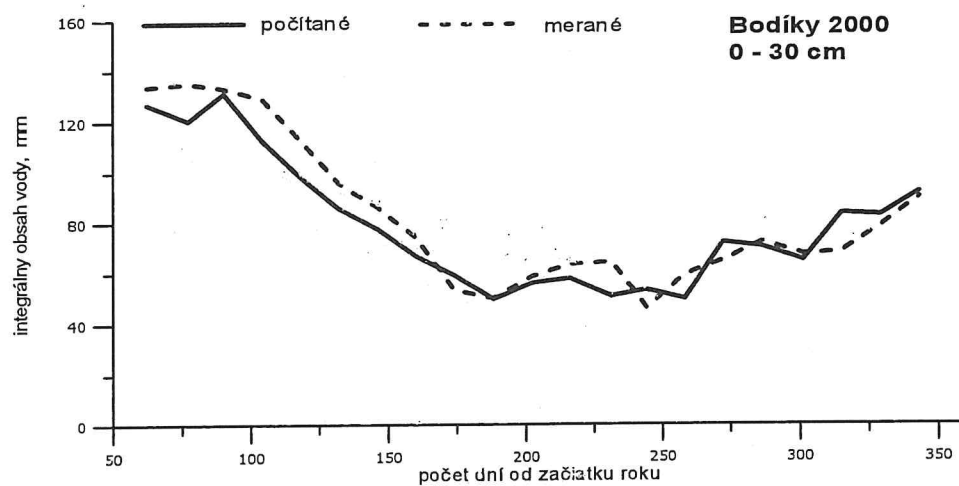
Obr. 1 a,b,c Integrálne množstvá vody vypočítané z monitoringu a simulácie vlhkočných profilov vo vrstvách 0 – 30 cm, 31 – 60 cm a 61 – 90 cm pre rok 1999

Figures 1a,b,c The integral amounts of water calculated from the monitored and simulated soil water content profiles in layers 0-30 cm, 31-60 cm and 61-90 cm for the year 1999

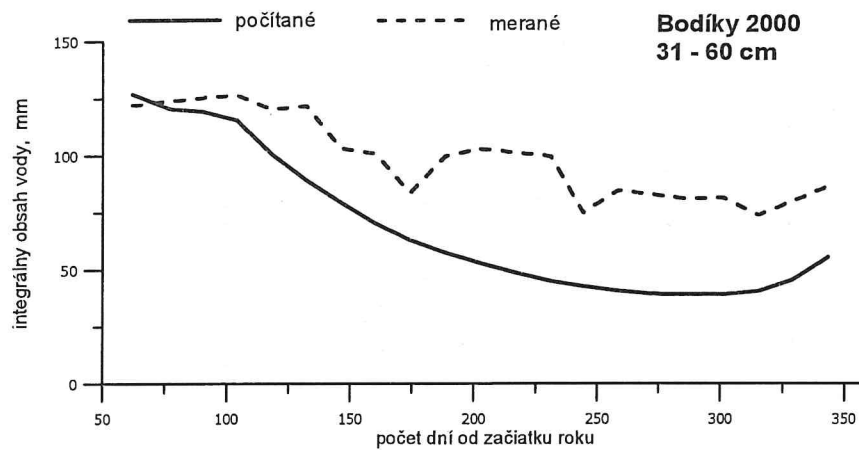


Obrázok 2 Integrálne množstvá vody vypočítané z monitoringu a simulácie vlhkostných profilov v pôdnom profile 0 – 150 cm pre rok 1999.

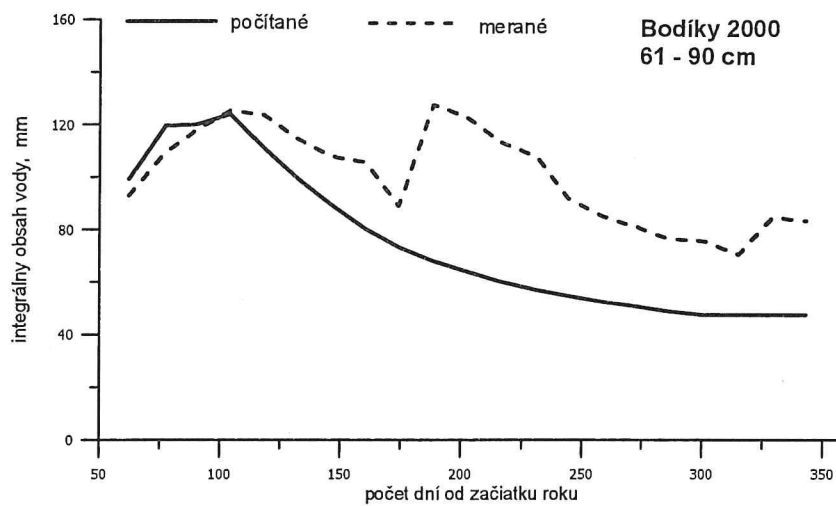
Figure 2 The integral amounts of water calculated from the monitored and simulated soil water content profiles in the soil profile 0-150 cm for the years 1999 and 2000



3a)



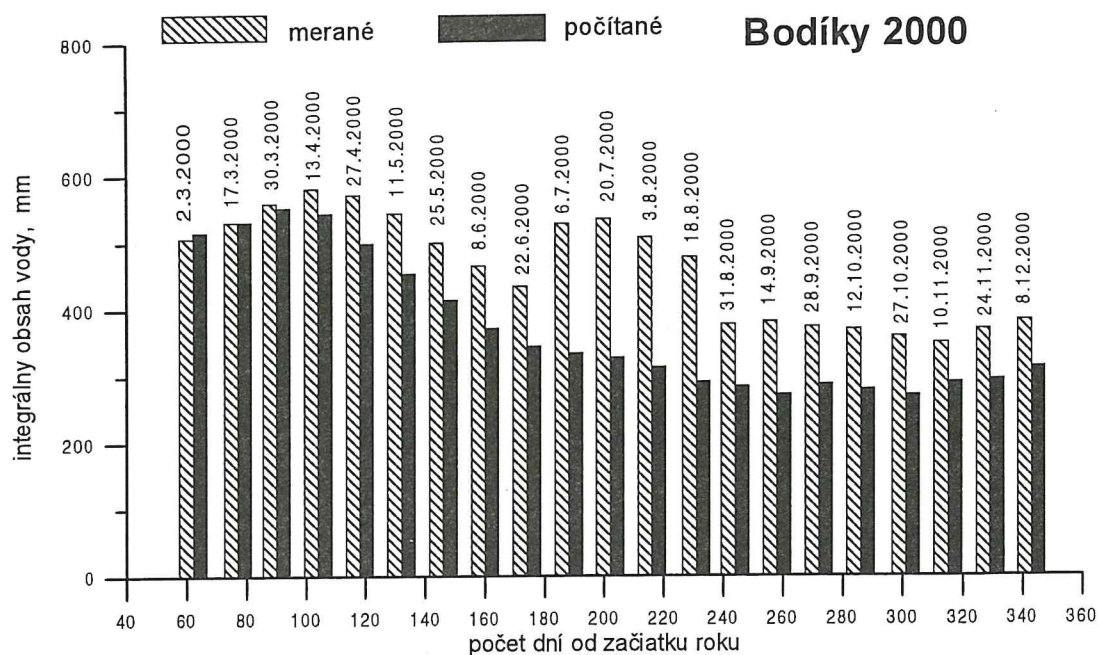
3b)



3c)

Obrázok 3 a,b,c Integrálne množstvá vody vypočítané z monitoringu a simulácie vlhkostných profilov vo vrstvách 0 – 30 cm, 31 – 60 cm a 61 – 90 cm pre rok 2000.

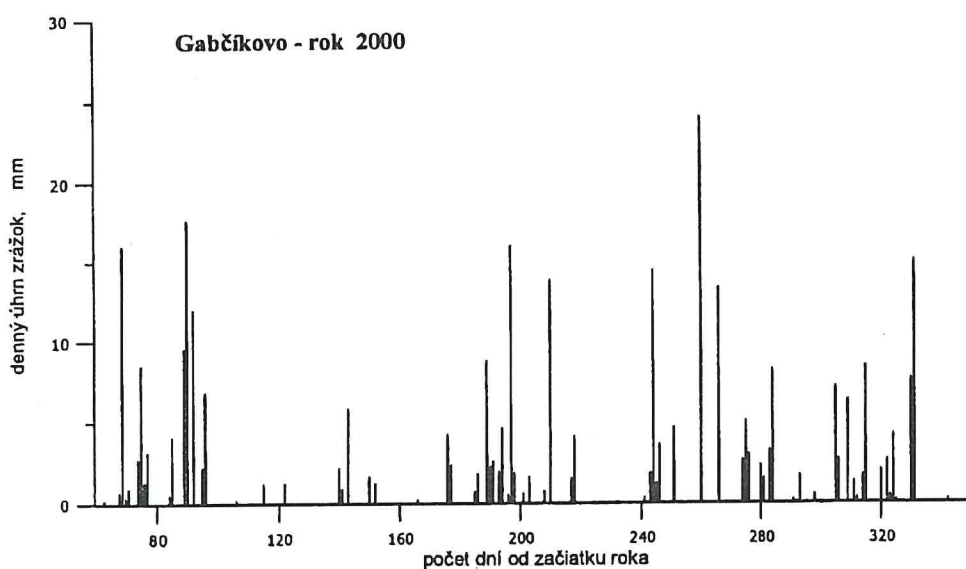
Figures 3a,b,c The integral amounts of water calculated from the monitored and simulated soil water content profiles in layers 0-30 cm, 31-60 cm and 61-90 cm for the year 2000



Obrázok 4 Integrálne množstvá vody vypočítané z monitoringu a simulácie vlhkostných profilov v pôdnom profile 0 – 150 cm pre roky 1999 a 2000.

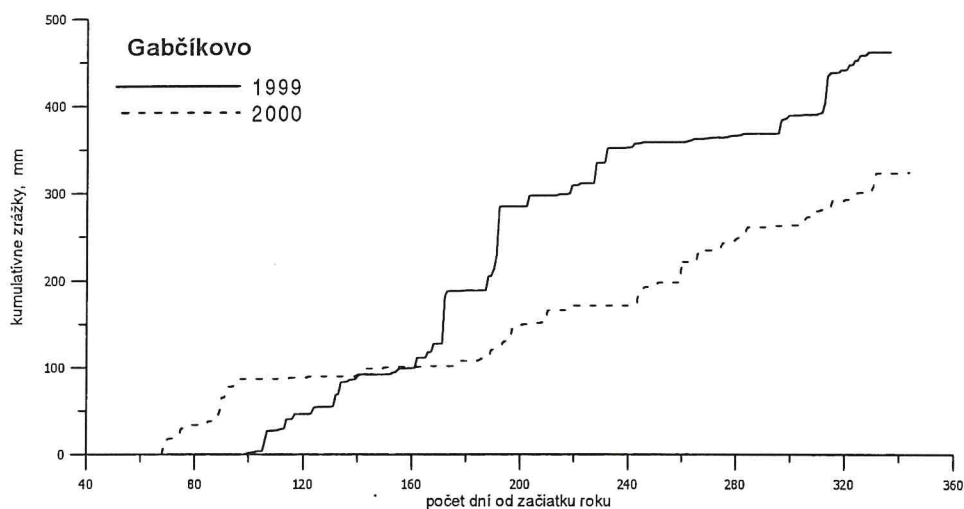
Figure 4 The integral amounts of water calculated from the monitored and simulated soil water content profiles in the soil profile 0-150 cm for the years 1999 and 2000

Na obrázkoch 5, 6 a 7 uvádzame, kvôli prehľadu porovnanie zrážok a teplôt z rokov 1999 a 2000 nameraných v meteorologickej stanici Gabčíkovo.

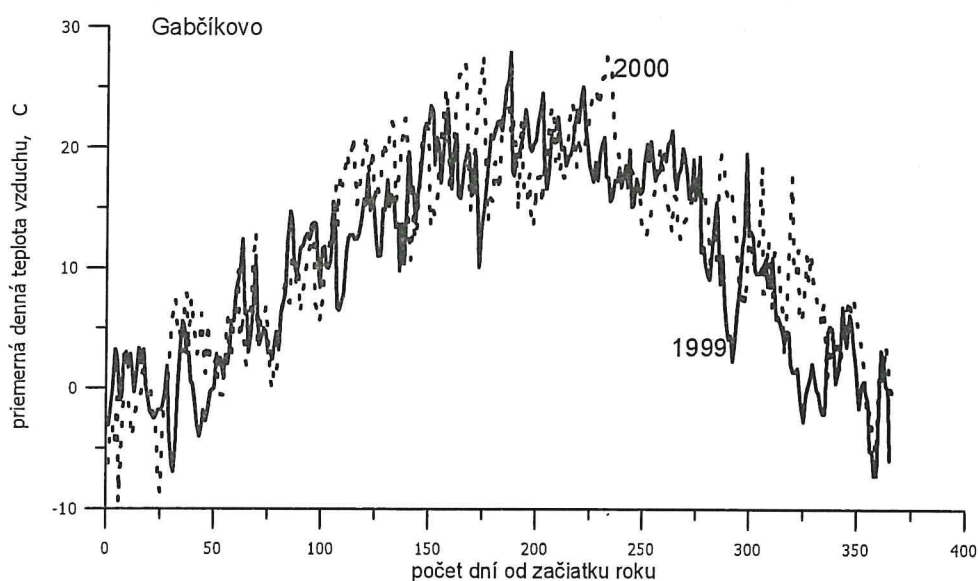


Obrázok 5 Denný úhrn zrážok v roku 1999 a 2000.

Figure 5 The daily precipitation totals the in the years 1999 and 2000



Obrázok 6 Kumulatívne úhrny zrážok v rokoch 1999 a 2000.
Figure 6 Cumulative precipitation totals in the years 1999 and 2000



Obrázok 7 Priemerná denná teplota vzduchu zaznamenaná v meteorologickej stanici Gabčíkovo v roku 1999 (—) a v roku 2000 (.....).
Figure 7 Mean daily air temperatures observed at meteorological station Gabčíkovo in the year 1999 (—) and 2000 (.....)

Príprava materiálu pre túto štúdiu bola realizovaná s finančnou podporou z projektov VEGA č. 2/6090/1999 a č.2/7154/20.

VPLYV PREDPOKLADANÝCH KLIMATICKÝCH ZMIEN NA HRÚBKOVÝ RAST SMREKA V OBLASTI HORSKÝCH LESOV HORNEJ ORAVY

Ján Ďurský, Jaroslav Škvarenina
Lesnícka fakulta TU vo Zvolene, Masarykova 24, 960 53 Zvolen
dersky@vsld.tuzvo.sk, jarosk@vsld.tuzvo.sk

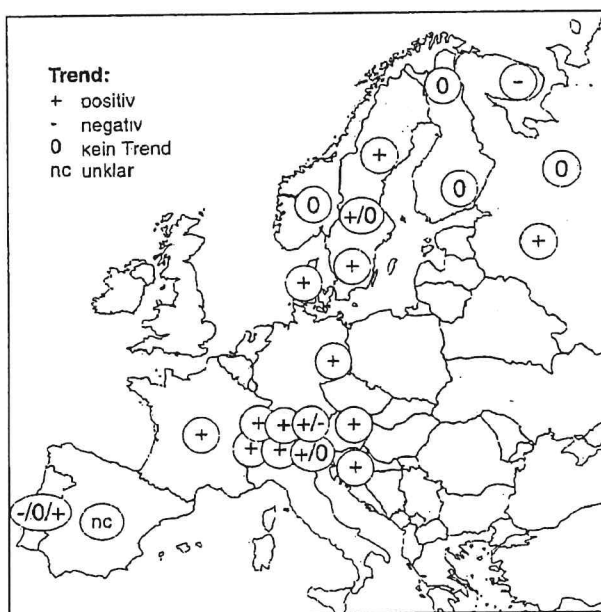
1. Úvod

Les ako ekologický systém plní produkčné i mimoprodukčné funkcie, ktoré možno pri cieľavedomom hospodárení trvalo reprodukovať. Zmeny ekologických podmienok v životnom a prírodnom prostredí vyvolali celý rad opatrení. Vážnym problémom v posledných desaťročiach je nielen stupňujúce sa poškodenie lesov v dôsledku meniacich sa ekologických podmienok, ale aj zmena rastového procesu lesných drevín v dôsledku klimatických zmien. Imisie a klimatické zmeny sa stali viac - menej trvalým faktorom, ktorý ovplyvňuje vývoj vegetácie na rozsiahlych plochách.

Vplyv klimatických zmien na lesné porasty nie je krátkodobý trvajúci jav, preto si vyžaduje pomerne rozsiahly a nákladný výskum zameraný nielen na zisťovanie zdravotného stavu lesov a zisťovania zmien v rastových procesoch stromov a porastov, ale aj na problematiku ekofyziológie lesných drevín. Z hľadiska rastového procesu sa najväčší význam prikladá sledovaniu hrúbkovému prírastku, resp. prírastku na kruhovej základni kmeňa, pretože tento je základný a najjednoduchšie zistiteľný komponent objemového prírastku. Pri posudzovaní zmien objemového prírastku stromov v podmienkach predpokladaných intenzívnych zmien nadobúdajú na dôležitosť aj zmeny vo výškovom raste stromov a zmeny v tvare kmeňa. Pri hodnotení zmien za kratšie obdobie a v staršom veku, zmeny výtvarnice a výškového prírastku sú menej významné, možno hrúbkový prírastok pokladať za základ zmien a percento strát hrúbkového prírastku za percento strát na objeme.

Rastovo-produkčné analýzy v poslednom období naznačujú, že na regionálnej úrovni v mnohých oblastiach Európy sa rastový proces lesných drevín zintenzívnil a vo všeobecnosti možno konštatovať, že prírastok v našich lesoch sa zvýšil, ako to napr. dokumentuje obrázok 1 (Spiecker et al. 1996, Kaupi et al. 1992).

Predpokladá sa, že je to predovšetkým v dôsledku zvýšeného vstupu dusíka a v dôsledku klimatických zmien predĺženej dĺžky vegetačného obdobia. Na druhej strane však existujú lokality, kde predovšetkým imisná záťaž spôsobuje, že lesné ekosystémy znižujú intenzitu rastu a rozpadávajú sa (Ďurský 1993, Pretzsch 1999). Kombináciou týchto oboch efektov môžu vznikať rôzne prírastkové situácie, ktoré komplikujú výskum v oblasti rastu lesa a celkovú interpretáciu súčasného rastovo-produkčného procesu.



Obr.1: Globálne prírastkové zmeny rastového procesu lesných drevín v Európe podľa Spiecker et al. 1996.

Fig.1: Global increment change of growth process of forest trees in Europe (Spiecker et al. 1996)

2. Cieľ práce

Táto práca bezprostredne naväzuje na úlohu riešenú v NKP v roku 1995 "Aplikácia metód dendroklimatológie vo výskume rastových reakcií lesných drevín na predpokladané klimatické zmeny" (Ďurský 1995), kde sa riešil rastový proces smrečín LHC Oravská Polhora k modelovým zmenám klímy k roku 2030, tj na úrovni scenárov, ktoré boli k dispozícii v roku 1993 (Lapin et al. 1993). Cieľom tejto práce bolo:

- analyzovať potenciálne rastové reakcie smreka z oblasti horských lesov Hornej Oravy (oblasť Pilska a Babej Hory) na upresnené scenáre klimatickej zmeny podľa modelu CCCMprep,
- konštrukcia dendroklimatického modelu rastu smreka na základe na základe historických klimatických údajov a letokruhových analýz odobraných v horských lesoch Babej Hory a Pilska špeciálne pre účely tejto štúdie,
- sledovať rastové reakcie na scenáre časových radov mesačných klimatických údajov, najmä teplôt vzduchu a úhrnov zrážok až do roku 2090,
- analyzovať potenciálne prírastkové zmeny v závislosti od meniacej sa nadmorskej výšky

3. Charakteristika skúmanej oblasti

3.1 Charakteristika prírodných a klimatických pomerov

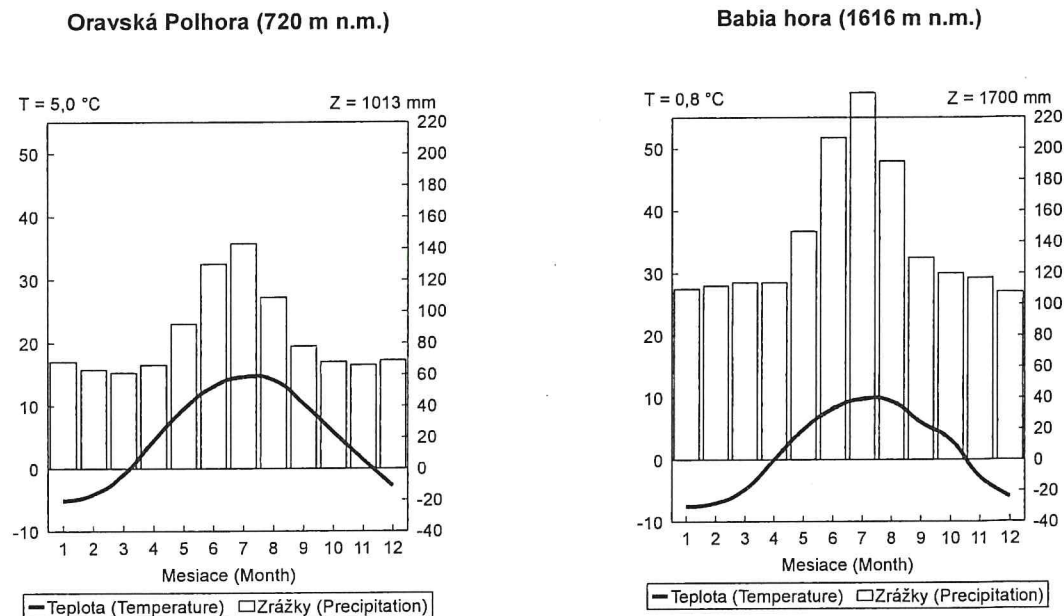
Územie v širšom pohľade leží v oblasti vonkajších Západných Karpát. Patrí do vonkajšieho flyšového pásma Karpát. V tomto pásme je len málo typických kotlín vyskytujúc sa tu pásy rovnobežných pohorí oddelené dlhými eróznou-denudačnými brázdami. Takéto rozčlenenie flyšových území severne od bradlového pásma vzniklo ako reakcia na rozdielnu odolnosť hornín. Horniny flyšu, v ktorých prevládajú pieskovce, tvoria zväčša vyvýšeniny a naopak oblasti s prevahou ílovitého vývoja tvoria zníženiny. Z pohľadu výškopisného členenia pohoria Karpát v predmetnom území patria do kategórie stredovysočín (800 – 1500 m). Vrcholy pohorí Pilska a Babej hory čnejú nad hornú hranicu lesa a možno ich zaradiť do kategórie vysokých vysočín.

Z geologického hľadiska je severná časť Oravy budovaná bystrickou jednotkou, ktorú predstavujú jednak horniny voláňskych vrstiev t.j. pieskovce, menej ílovce, tieto horniny budujú horské celky Babej hory a Pilska a jednak horniny belovežských a zlínskych vrstiev, ktoré tvoria hlavne podbeskydskú vrchovinu. Pôdne pomery masívu Pilska na svahovinách z bohatších zlínskych a belovežských vrstiev (pieskovce a bridlice, vápnité ílovce) sú vytvorené podzolmi (kambizemnými, aerickými a typickými) na území LHC Oravská Polhora v masíve Babej hory sú to predovšetkým podzoly ale aj gleje.

Z klimatického hľadiska leží územie v miernom klimatickom pásme v oblasti prechodnej klímy stredoeurópskej. Podľa Končekovej klasifikácie podnebia Československa leží predmetné územie v chladnej klimatickej oblasti (c). Pri uplatnení jemnejšej modifikácie uvedenej klasifikácie patria bazálne polohy územia do mierne chladnej podoblasti c1, kde index zavlaženia už nerozhoduje, no dobrým diferenčným znakom je júlová teplota s rozpätím 12-16 °C. Podvrcholové svahy Pilska a Babej hory prechádzajú do podoblasti c2, chladná horská. Júlová teplota sa pohybuje medzi 10-12 °C. Pokles januárovej teploty v sledovanej oblasti dosahuje -5 až -7 °C. Podľa klimatorafických typov Tarábka má celé predmetné územie horskú klímu, v bazálnej časti prevláda subtyp klímy chladnej horskej, v masívoch pohorí dominuje subtyp studenej klímy horskej a vrcholy Babej hory a Pilska sa zaraďujú do veľmi studeného subtypu horskej klímy. Priemerná ročná teplota vzduchu vo vyšších polohách sa pohybuje medzi 0-2 °C a v nižších 2-5 °C.

Vo vegetačnom období tieto teploty kolíšu v priemere v intervale 8-12 °C. Počet dní s priemernou teplotou vyššou ako 10 °C sa na predmetných plochách pohybuje od 30 do 100 dní. Priemerné úhrny zrážok tu dosahujú 1200 až 1600 mm. Ich väčšina spadne vo vegetačnom období. Na zrážky je najchudobnejší zvyčajne február. Snehová pokrývka ma spravidla trvanie 170 až 210 dní a s rastúcou nadmorskou výškou za rapídne predlžuje. Priemer jej maximálnej výšky dosahuje 120 až 160 cm.

Názornú predstavu o meniacich sa klimatických pomeroch Hornej Oravy nám podáva obr. 2, ktorý reprezentuje vo forme klimadiagramov pomery 6.vegetačného stupňa (smrekovo-jedľovo –bukový) na príklade Oravskej Polhory, t.j. produkčná oblasť lesov a na príklade Babej hory oblasť hornej hranice lesa 8. vegetačný stupeň (kosodrevinový).



Obr. 2: Klimadiagramy 6 a 8. vegetačného stupňa; Fig. 2: Climate diagram of 6. and 8. vegetation stage

3.2 Charakteristika produkčných pomerov

Úhrnná rozloha LHC (Lesný hospodársky celok) je 7 943 ha, z toho výmera lesnej pôdy je 5 119,85 ha, čo predstavuje 64,4%. Všetky lesy LHC sú zaradené do kategórie lesov osobitného určenia podľa písmena "F", §1, vyhlášky MLVH SSR č. 14/78 Zb. Tvoria ju hospodárske súbory 53 UV 100, 55 UV 100 a 65 UV 100, na ktorých je prvoradá funkcia protiimísna a hospodárske súbory 01 UV 150, 02 UV 150, 03 UV 200 a 04 UV 150, v ktorých nastáva súbeh funkcií lesov ochranných s protiimísnou funkciou (LHP Oravská Polhora 1988).

V drevinovom zložení dominujú ihličnaté dreviny (90,3%), predovšetkým smrek (83 %). Z listnatých drevín má najväčšie zastúpenie buk - 7,5%. V súvislosti s vývojom drevinového zloženia možno konštatovať, že v oblasti je tendencia zvyšovania podielu listnatých drevín. Priemerné zakmenenie sa na LHC už niekoľko decénií pohybuje v intervale 0,80 - 0,85, no v jeho štruktúre podľa vekových stupňov je výrazná tendencia poklesu. Z porovnania výmer vekových stupňov možno konštatovať, že veková štruktúra sa výrazne odlišuje od "normálu". Je výrazný nedostatok porastov 3., 4. a 6. vekového stupňa a naopak nadbytok porastov 1. a 2. vekového stupňa. Prevažujúcou hospodárskou formou bol v minulosti holorubný systém. Menej sa požívala hospodárska forma podrastová, čo má za následok veľmi malý podiel prirodzenej obnovy (8%) (LHP Oravská Polhora 1988). Výchovná ťažba sa v minulosti realizovala najčastejšie formou miernej podúrovňovej prebierky - C stupeň. V súčasnosti sa uskutočňuje už len zdravotný výber.

4. Empirický materiál

4.1 Radiálny prírastok

Radiálny prírastok bol zisťovaný na ôsmich tzv. X-stromových skusných plochách založených v lesoch s prírodným charakterom v oblasti Pilska a Babej Hory. Výber plôch bol viazaný na podchytenie stanovištných podmienok v horských oblastiach Hornej Oravy a to v rôznych nadmorských výškach.

X-stromová skusná plocha je plocha s variabilným počtom stromov. Stromy na takejto ploche sa delia na strom cieľový (CS) a stromy tvoriace primárnych konkurentov (PK) cieľovému stromu, ktorých počet kolíše. Cieľový strom (CS) je strom, ktorý spĺňa a zodpovedá špeciálnym výberovým kritériám a podmienkam. Primárny konkurent (PK) je zase strom, ktorý priamo ovplyvňuje rast cieľového stromu. Primárny konkurent obmedzuje cieľový strom v rastovom nadzemnom i podzemnom priestore. Takýto výberový systém umožňuje podrobné zachytenie rastového procesu jednotlivého stromu v určitých prírodných a stanovištných podmienkach a výskum vzájomných vzťahov medzi blízkymi jedincami a vplyv týchto vzťahov na rastové procesy stromu

Na X-stromových skusných plochách sa podchytila pozícia všetkých cieľových stromov a primárnych konkurentov, zmerali sa dendrometrické charakteristiky kmeňa a koruny a vykonala sa podrobná analýza

stanovištných faktorov. Cieľový strom sa následne zrúbal a vykonala sa na ňom kompletná analýza kmeňa a koruny. Analýza radiálneho prírastku cieľových stromov sa uskutočnila na kotúči kmeňa z výšky 1.3 metra a to meraním širok letokruhov v štyroch na seba kolmých smeroch podľa svetových strán. Na primárnych konkurentoch sa zisťoval radiálny prírastok vývrtovou metódou s použitím Presslerovho nebožieca. Radiálny prírastok sa odvodil z meranej šírky letokruhov vo výške 1.3 m a to pri dodržaní všetkých základných princípov letokruhových analýz (transport a opracovanie vývrtov, meranie na digitálnom poziciometri s presnosťou 0.01 mm, synchronizácia letokruhových diagramov).

Celkovo bolo analyzovaných 61 letokruhových diagramov z 37 stromov, ktoré pokryli stanovištné podmienky horských lesov Hornej Oravy od nadmorskej výšky 900 po 1430 metrov nad morom.

Tab. 1: Základná charakteristika X-stromových skusných plôch v oblasti Pilska a Babej Hory

Tab. 1: Basic characteristic of X tree experimental plots in region of Pilsko and Babia Hora Mts.

Označenie plochy	Počet CS	Počet PK	Počet let. diagramov	Nadmorská výška	Expozícia	Zakmenenie	Sklon
OR 1	1	2	6	1370	Z	0.5	25 °
OR 2	1	5	9	1270	Z	0.7	27°
OR 3	1	3	7	1320	Z	0.3	15°
OR 4	1	4	8	1360	Z	0.5	10°
OR 6	1	1	5	1430	JZ	0.1	10°
OR 7	1	5	9	1200	JZ	0.2	20°
OR 8	1	5	9	1000	J	0.8	25°
OR 9	1	4	8	900	JZ	0.8	16°

4.2 Klimatický scenár

Základným prostriedkom pre predikciu klimatickej zmeny boli klimatické modely berúce do úvahy všetky hlavné zložky klimatického systému, vrátane radiačnej bilancie, ktorá je ovplyvnená zmenou koncentrácií GHGs. Súčasný stav klímy je s dostatočnou presnosťou simulovaný súčasnými prepojenými modelmi všeobecnej cirkulácie ovzdušia (General Circulation Models (GCMs) = modely všeobecnej cirkulácie atmosféry). Modely sú najpresnejšie na globálnej úrovni. Na regionálnej úrovni je ich presnosť menšia.

Pri simulácii regionálnej klímy je hlavnou prekážkou hrubá rozlišovacia schopnosť modelov a ich fyzikálna parametrizácia. Modely nie sú schopné reálne zachytiť rozsah a výšku pohorí, čo má za následok skreslenie v predikcii zrážok na regionálnej úrovni. Pre podmienky Slovenska boli vypracované viaceré scenáre zmien klímy, ktoré je možné rozdeliť na tri základné skupiny (Lapin *et al.* 2001):

- scenáre získané z výsledkov modelov všeobecnej cirkulácie
- scenáre vytvorené na základe analógov relatívne teplých období v minulosti
- scenáre vytvorené prijatím určitej fyzikálnej zdôvodnenej kombinácie zmeny klímy.

Scenáre klimatickej zmeny slúžia hlavne na riešenie otázok možných dôsledkov zmien klímy na socio-ekonomickú sféru a na prírodné prostredie, čo sa ďalej využíva na prípravu adaptačných opatrení na zmiernenie negatívnych dôsledkov zmeny klímy (v niektorých prípadoch aj na využitie pozitívnych dôsledkov zmeny klímy). Pri akejkolvek praktickej aplikácii scenárov zmeny klímy je potrebné brať do úvahy, že scenáre klimatickej zmeny nie sú predpoveďou, ale iba možnými eventualitami zmien klímy vplyvom rastu skleníkových plynov, a to z dôvodu neistoty odhadu alternatívy ekonomického správania sa ľudstva (vývoj emisii GHGs), (Lapin *et al.* 1999).

Pre niektoré aplikácie pri modelových výpočtoch sa požadujú scenáre časových radov mesačných (prípadne aj denných) klimatických údajov, najmä teploty vzduchu a úhrnov zrážok. Existujú prinajmenšom tri základné metódy na získanie takýchto časových radov:

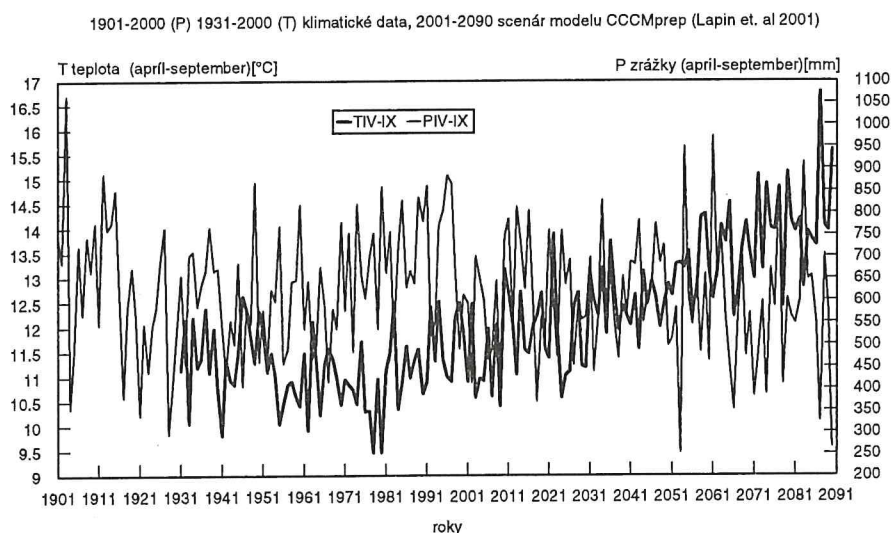
1. Aplikácia teplotných a zrážkových scenárov priemerov vypočítaných pre jednotlivé časové horizonty na základné klimatické rady z obdobia 1951-1980 (prípadne iného), ktoré môžeme potom použiť ako scenáre pre obdobia 1996-2025, 2016-2045, 2060-2090 a i.;
2. Príprava generovaných (umelých) klimatických radov podľa vopred zvolených štatistických predpokladov - stochastický generátor počasia;
3. Modifikácia výstupov modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry (GCMs) podľa experimentálne získaných radov v čo najdlhšom období v bezprostrednej minulosti podľa čo najširšej škály štatistických parametrov.

V tomto príspevku sa využíva práve posledná uvedená metóda (Lapin *et al.* 2001a). Priame použitie výstupov GCMs nie je možné pri žiadnej aplikácii. Modelové výstupy majú niekedy dosť podstatne odlišný ročný chod a variabilitu. Vyplýva to najmä zo skutočnosti, že jednotlivé uzlové body výstupov GCMs predstavujú akési územné priemery premenných v priestore daných uzlových bodov (na ploche asi 60 000 km²), ale aj zo zhladenej orografie a zo zjednodušenia fyzikálnych procesov reálne prebiehajúcich v klimatickom systéme.

Výstupy GCMs vyžadujú úpravu dlhodobých priemerov a variability niektorou zo štatistických metód tak, aby sa zachovala vnútorná fyzikálna konzistentnosť. Pritom pod vnútornou konzistentnosťou rozumieme aj vzťah medzi jednotlivými prvkami aj vzťah medzi uzlovými bodmi. Pojem fyzikálnej konzistentnosti (plausibility) je kľúčovým problémom scenárov viacerých klimatických prvkov z jedného miesta pripravovaných modernými metódami. Všetky ostatné scenáre považujeme iba za inkrementálne, teda za akúsi kombináciu vhodných prírastkov (úbytkov) priemerov jednotlivých premenných v porovnaní s priermi premenných v kontrolnom rade (väčšinou 1951-1980, tzv. baseline scenario).

Pri inkrementálnych scenároch iba jednoduchými metódami alebo subjektívne, odhadujeme vhodnosť kombinácie určitého prírastku teploty vzduchu a prírastku alebo úbytku hodnôt iných premenných. Pri novej generácii modelových výstupov GCMs fyzikálna konzistentnosť vyplýva z použitých fyzikálnych rovníc v modeloch a z matematických metód výpočtov. V priebehu regionálnej modifikácie výstupov GCMs môže (ale nemusí) dôjsť k porušeniu uvedených vzťahov. Tieto vzťahy môžeme riešiť analyticky iba v niektorých prípadoch, väčšinou si ale môžeme pomôcť štatistickou analýzou (Lapin *et al.* 2001a, 2001b).

Oravská Polhora 720 m n. m.



Obr. 3: Klimatické pomery Oravskej Polhory (od 1901 zrážky, od 1931 teplota vzduchu) a teplota a zrážky do roku 2090 podľa modelu CCCMprep (Lapin *et al.* 2001a).

Fig. 3: Climatic conditions of Oravska Polhora (precipitation since 1901, temperature since 1931) temperature and precipitation till 2099 year according model CCCMprep

5. Konštrukcia dendroklimatického modelu

Dendroklimatický model patrí do kategórie empirických modelov, ktoré sú založené na štatistickom hodnotení empiricky odvodených závislostí medzi časovými radmi letokruhových parametrov a mesačnými klimatickými charakteristikami. Podstatou štatistického hodnotenia je viacnásobný lineárny regresný model (Fritts, 1976, Cook and Kairiukštis 1990):

$$\hat{y}_i = \sum_{k=0}^K x_{i,k} \cdot \beta_k + a + \varepsilon_i$$

kde:

- $\hat{y}_i$ - odhad hodnoty parametrov radiálneho prírastku (šírky letokruhových)
- $x_{i,k}$ - nezávislá premenná, reprezentujúca mesačné klimatické charakteristiky v roku i

- β_k - regresný koeficient
 a - konštanta
 ε_i - reziduál po regresnom odhade.

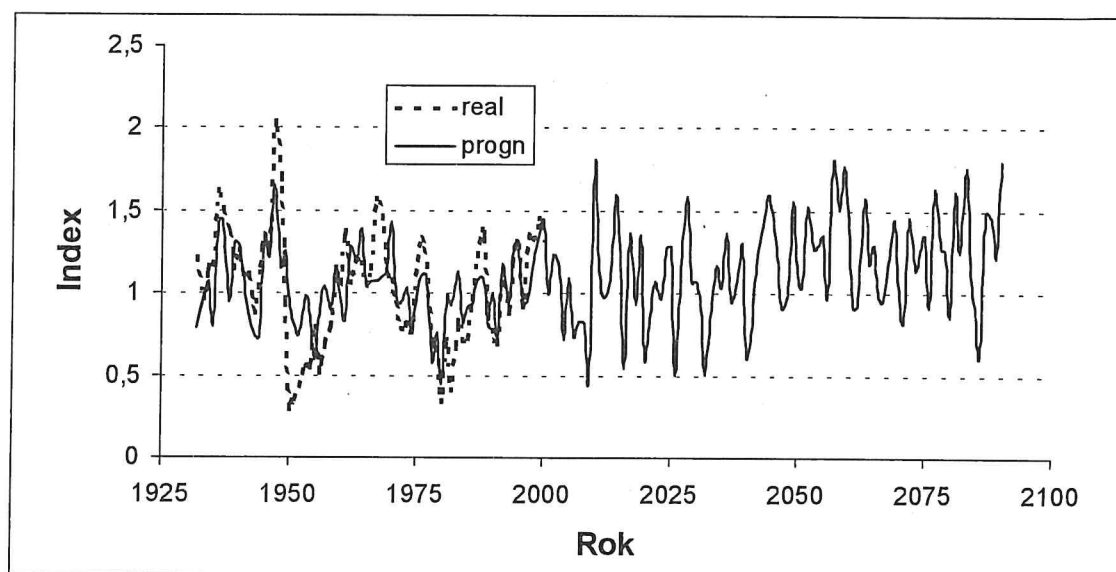
V našom prípade bol dendroklimatický model zostavený ako jednotlivo-stromový, do ktorého ako nezávislé premenné ($x_{i,k}$) vstupovali priemerné mesačné teploty ($T_1 \dots T_{14}$) a mesačné úhrny zrážok ($Z_1 \dots Z_{14}$) od júla predchádzajúceho roku do augusta bežného roku, teda celkom 28 klimatických premenných. Výhodou takéhoto postupu je, že môžeme pomerne presne odhadnúť rastovú reakciu na klimatické faktory, pričom nemusíme poznať fyziologické procesy súvisiace s rastovou odozvou. Dôsledkom naopak je, že nie sme schopní postihnúť rastové reakcie na bunkovej úrovni, ale hodnotíme sumarizované prejavy, vyjadrené napr. šírkou letokruhu.

Dendrochronologický rad (závislá premenná - $\hat{y}_t$) predstavovali relativizované (vykonala sa indexácia) hodnoty nameraného radiálneho prírastku jednotlivých stromov. Indexáciou sa dosiahlo odstránenie vplyvu vekového trendu na veľkosť prírastku, čím sa splnila jedna z dôležitých podmienok dendroklimatického modelovania – tj. stacionarita časovej rady. Vekový trend bol v našom prípade stanovený matematicky definovanou rastovou funkciou, ktorá popisuje priebeh radiálneho rastu v závislosti od veku (Šmelko 2000). Pri tejto operácii sa zároveň odstránil aj vplyv stanovišťa na absolútnu hodnotu prírastku. Letokruhový index sa vypočítal podľa nasledujúceho vzťahu:

$$I_t = \frac{y_t}{\bar{y}_t}$$

kde: I_t - index radiálneho prírastku,
 y_t - skutočný prírastok,
 $\bar{y}_t$ - vyrovnaná hodnota odpovedajúca vekovému trendu.

Parametrizácia modelu, tj zistenie vektora regresných koeficientov (β_k) sa uskutočnila za obdobie rokov 1932 až 2000. Predpokladá sa že je to v skúmanej oblasti obdobie „bez“ vplyvu globálnych zmien atmosféry na rastový proces lesných stromov. Prognóza bola potom vykonaná na klimatický scenár vývoja mesačných teplôt a úhrnov zrážok na obdobie rokov 2001 – 2090, a to osobitne pre každý analyzovaný strom (Obr. 4).



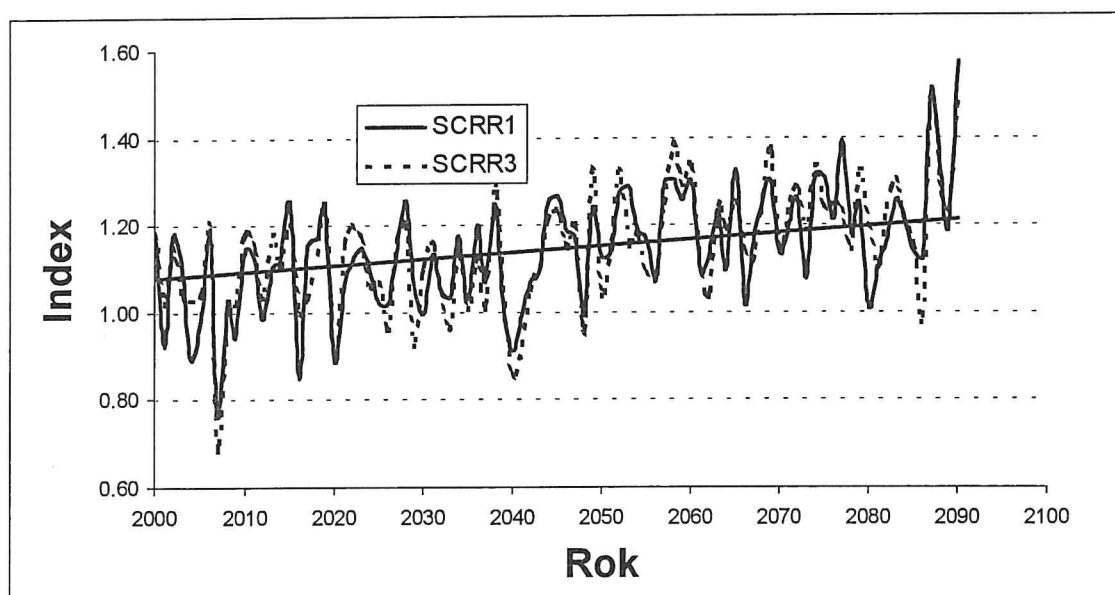
Obr.4: Priebeh skutočného (real) a prognózovaného (progn) indexu prírastku pre strom č. 10. Prognóza sa vzťahuje na klimatický scenár CCCMprep.

Fig. 4: Course of real and prognosed increment index for tree No. 10. Prognosis is referring to climate scenario CCCMprep.

6. Výsledky a diskusia

6.1 Priebeh prognózovaného prírastku

Na základe zostaveného dendroklimatického modelu a klimatických scenárov (CCCMprep -RR1, ktorý je konštruovaný váženou interpoláciou z uzlových bodov a potom je modifikovaný podľa meraných údajov a CCCMprep - RR3, ktorý je konštruovaný tak, že najprv sa urobil modifikovaný rad pre územný priemer Slovenska a z neho sa rozptýlili mesačné úhrny do jednotlivých staníc podľa regresného štatistického modelu odvodeného z meraných údajov v období 1901-1990) boli pre každý strom vypočítané očakávané indexy prírastku na roky 2001 až 2090. Zo stanovených prognóz jednotlivých stromov boli potom vypočítané priemerné hodnoty prognózovaného relatívneho prírastku pre každý scenár. Tieto sú uvedené na obrázku 5.



Obr 5: Priebeh prognózovaného priemerného relatívneho prírastku smreka podľa klimatického scenára SCRR1 (CCCMprep -RR1) a SCRR3 (CCCMprep -RR3) a jeho lineárny trend vývoja

Fig. 5: Course of prognosed average relative spruce increment according climate scenario (CCCMprep-RR1 and CCCMprep-RR3) and its linear trend

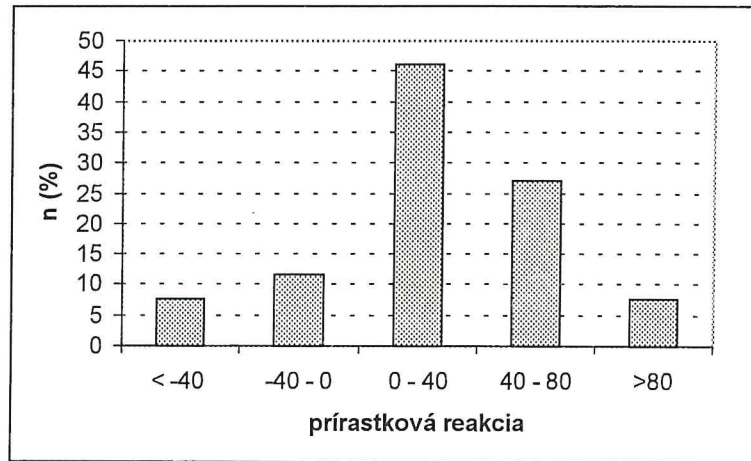
Z priebehu prognózovaných indexov prírastku vyplýva, že budúci prírastok bude mať stupajúci trend a že vplyv skúmaných scenárov vývoja klímy (CCCMprep -RR1 a CCCMprep -RR3) na prírastok je skoro rovnaký. Stúpajúci prírastok sa dá vysvetliť tým, že rastúce teploty v týchto horských podmienkach posunú smrek bližšie k jeho ekologickému optimu, čo sa prejaví jeho zvýšenou intenzitou rastu. To, že sa neprejavil rozdiel v intenzite rastu medzi oboma scenármi vyplýva z toho, že tieto scenáre sa líšia nie v teplotách, ale v rozdielnych zrážkach, ktoré v oblasti horských lesov pre drevinu smrek nemajú limitujúci charakter. Preto sa v ďalšom analyzoval iba jeden z pripravených scenárov (CCCMprep -RR1).

6.2 Kvantifikácia prírastkových zmien

Na základe prognózovaného prírastku v rokoch 2060 – 2090 (I_{prog}) a priemerného prírastku v referenčnom období rokov 1970 – 2000 (I_{ref}) sa vypočítali relatívne diferencie indexov prírastku (DIF_{rel}):

$$DIF_{rel} = \frac{(I_{prog} - I_{ref})}{I_{ref}} \cdot 100$$

Tieto diferencie predstavujú rastové reakcie stromu na predpokladané klimatické zmeny. Ich frekvenčná analýza je zachytená na obrázku 6.



Obr. 6: Frekvenčný histogram relatívnych diferencií indexov prírastku.

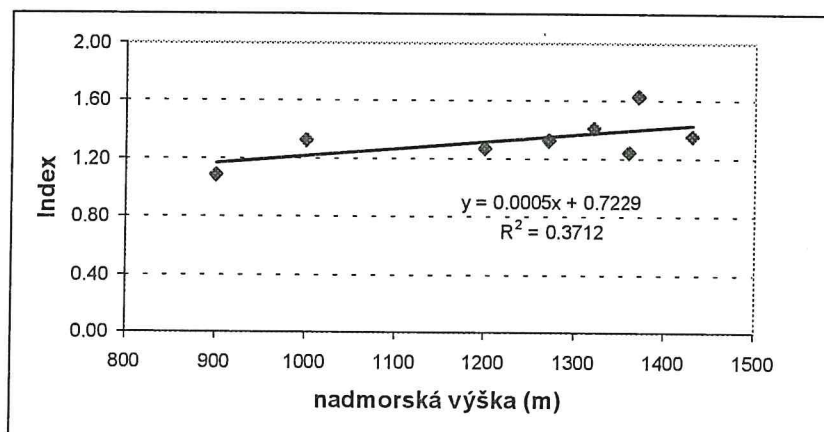
Fig. 6: Frequency histogram of index increment relative differences

Z tejto frekvenčnej analýzy vyplýva, že 19,2% stromov by reagovalo na predpokladané klimatické zmeny záporne, tj. znížením prírastku a 80,8% stromov by reagovalo kladne. Z reakcií najviac prevládajú reakcie mierne kladné (do +40%). Takto by reagovalo cca 46% všetkých skúmaných stromov. Keďže prirodzená variabilita prírastkových reakcií sa v referenčnom období pri $P=0,95$ rovná 24%, môžeme za signifikantné reakcie na zmenu klímy považovať reakcie nad túto prirodzenú variabilitu. Potom možno konštatovať, že signifikantne negatívne na zmenu klímy bude reagovať 11,5% stromov, reakcie 34,6% stromov možno považovať za nezmenené a 53,9% stromov by malo na predpokladané klimatické zmeny reagovať pozitívne ($P=0,95$).

Laickú verejnosť nesmie takýto výsledok ohľadom vysokej variability prírastkových reakcií prekvapiť, avšak treba si uvedomiť, že pracujeme s biologickým materiálom (lesné dreviny), ktorý rastie na rozdielnych mikroklimatických a pôdnych stanovištiach, je rôzneho genetického pôvodu, veku a zdravotného stavu. Avšak s ohľadom na lesnícku biometriu je uvedené zistenie štatisticky dostatočne zabezpečené, a preto možno zovšeobecňujúco konštatovať, že rastové reakcie smreka v oblasti horských lesov Pilska a Babej Hory budú v prevažujúcej miere v podmienkach zmenenej klímy pozitívne.

6.3 Závislosť prírastkových reakcií od nadmorskej výšky

V ďalšom kroku boli analyzované prírastkové reakcie smreka v oblasti horských lesov Pilska a Babej Hory v závislosti od nadmorskej výšky. Vypočítali sa priemerné indexy prírastku pre každý skúmaný strom za obdobie 2060 - 2090, ktoré sa potom zoskupili podľa príslušnosti k X-stromovej skusnej ploche. V ďalšom kroku sa pre každú X-stromovú skusnú plochu vypočítala priemerná hodnota, ktorá sa potom použila v rámci korelačnej analýzy na odvodenie závislosti prírastkových reakcií od nadmorskej výšky. Výsledky tejto analýzy prezentuje obrázok 7.



Obr. 7: Závislosť prírastku v podmienkach klimatickej zmeny (scenár CCCMprep -RR1) v závislosti od nadmorskej výšky

Obr. 7: Increment dependence on altitude in climate change conditions (scenario CCCMprep-RR1)

Z obrázku 7 vyplýva, že predpokladaná zmena klímy najintenzívnejšie ovplyvní porasty na hornej hranici lesa. Ak tento poznatok budeme bližšie analyzovať, zistíme, že už v súčasnosti limitujúcim faktorom rastu smreka v týchto polohách nie je pôdne prostredie, ale drsnosť a nepriaznivosť klímy, predovšetkým nízke teploty. Scenár budúceho vývoja klímy posunie súčasné porasty predovšetkým v súvislosti so zvýšením teploty do lepších bioklimatických podmienok. Zrážky podľa scenára klimatickej zmeny budú mať tendenciu len minimálneho, resp. žiadneho poklesu, čo však v týchto stanovištných podmienkach nebude mať pre drevinu smrek zásadnejší ekologický vplyv.

Nebolo by správne tieto poznatky vytrhnúť z celkového kontextu vplyvov zmien chemizmu atmosféry na lesy, pretože vyššie uvedené konštatovania sú týkajú len vplyvu zmenenej teploty vzduchu a zrážok. Negatívne pôsobiace faktory (pretrvávajúca atmosferická depozícia, zvyšovanie koncentrácie troposferického ozónu, oslabovanie ochranných vlastností atmosféry a i.) nevstupovali do dendroklimatického modelu, preto budúci vývoj hornej hranice lesa nemožno prognózovať iba na základe zmien klímy.

7. Diskusia a záver

Uvedená práca prináša predbežné výsledky výskumu rastových reakcií smreka v podmienkach horských lesov Hornej Oravy (Pilsko a Babia hora) v podmienkach očakávaných klimatických zmien. Klimatické zmeny boli prognózované modelom CCCMprep (Lapin et al. 2001) na úrovni mesačných hodnôt teploty vzduchu a zrážok do roku 2091. Predmetom dendrochronologickej (letokruhovej) analýzy bol empirický materiál z 8 špeciálne pre tento výskum založených temporálnych výskumných plôch vo výškovom rozpätí 900-1430 m n. m. Dendrochronologický rad predstavovali relativizované (vykonala sa indexácia) hodnoty nameraného radiálneho prírastku jednotlivých stromov na výskumných plochách. Dendroklimatický model bol konštruovaný ako jednotlivo-stromový, pričom bol využitý postup podľa Fritts (1976). Výsledky dendroklimatického modelovania ukázali že:

- budúci prírastok bude mať vo všeobecnosti stupajúci trend a vplyv skúmaných dvoch modifikácií scenárov vývoja zrážok (CCCMprep -RR1 a CCCMprep -RR3) na prírastok je takmer rovnaký,
- určujúcim faktorom rastového procesu bude teplota vzduchu,
- negatívne na zmenu klímy bude reagovať 11,5% stromov, reakcie 34,6% stromov možno považovať za nezmenené a 53,9% stromov by malo na predpokladané klimatické zmeny reagovať pozitívne, a to všetko pri 95% štatistickej spoľahlivosti,
- predpokladaná zmena klímy najintenzívnejšie ovplyvní porasty na hornej hranici lesa vo vyšších nadmorských výškach.

Uskutočnená analýza rastového procesu nezohľadňuje niektoré negatívne pôsobiace faktory na rast lesa (pretrvávajúca atmosferická depozícia, zvyšovanie koncentrácie troposferického ozónu, oslabovanie ochranných vlastností atmosféry a i.), ale len budúcu zmenu bioklimatických podmienok. Budúci výskum v oblasti rastu a produkcie lesných drevín v zmenených ekologických podmienkach by sa mal orientovať na:

- konštrukciu komplexných stanovištných modelov rastu lesa,
- vypracovanie ekologicky relevantnej klimatickej charakteristiky lesných oblastí a to v závislosti od významných prvkov reliéfu (nadmorská výška príp. expozícia),
- celoplošné sledovania zmien rastového procesu lesných drevín vplyvom zmenených ekologických podmienok,
- založenie špecifických výskumných plôch s cieľom sledovania kauzálnych súvislostí. Vo vzťahu k rastovému procesu to súvisí predovšetkým s prechodom bonitácie lesných porastov postavenej na charakteristikách prírodnej produkcie k stanovištnej bonitácii postavenej na ekologických princípoch,
- konštrukciu rastového simulátora na báze jednotlivo stromových modelov pre hlavné drevis SR.

8. Literatúra

- Cook, E.R., Kairiukštis, L.A., 1990: *Methods of the Dendrochronology*. Kluwer Academic Publisher, The Netherlands, 394 s.
- Ďurský, J., 1993: *Kvantifikácia prírastkových zmien smreka v porastoch poškodzovaných imisiami*. Kandidátska dizertačná práca, Zvolen, 131 s.
- Ďurský, J., 1995: *Analýza metód dendroklimatológie vo výskume rastových reakcií lesných drevín na predpokladané klimatické zmeny*. Národný klimatický program SR, NKP zv. 3, s. 61-75.
- Fritts, H.C., 1976: *Tree ring and climate*. London, New York, San Francisco. Academic Press, 567 pp.

- Kauppi, P. E.; Mielikäinen, K. und Kuusela, K., 1992: Biomass and carbon budget of European forests. 1971 to 1990. Science Bd. 256. p. 70-74.
- Lapin, M., Damborská, I., Melo, M., (1999): Modifikované GCMs scenáre časových radov teploty vzduchu a zrážok pre Slovensko. In.: Zborník z medzinárodnej konferencie "Atmosféra 21. storočia, organizmy a ekosystémy", Zvolen 7.-9. 9. 1999, TU Zvolen, s. 207-214.
- Lapin, M., Melo, M., Damborská, I., Gera, M., Faško, P. (2000): Nové scenáre klimatickej zmeny pre Slovensko na báze výstupov prepojených modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry. In.: Národný klimatický program SR, V, zv. 8, MŽP SR, SHMÚ, Bratislava 2000, s. 5-34.
- Lapin, M., Melo, M., Damborská, I., Gera, M. (2001a): Priprava scenárov klimatických zmien. [Priebežná správa z riešenia projektu MP SR VTP 27-34, Etapa 02/05.], KMK FMFI UK, VÚVH, Bratislava, 16 s.
- Lapin M., Damborská, I., Melo, M., (2001b): Scenáre časových radov mesačných klimatických údajov pre Slovensko v období 2001-2090 In: Bioklimatologické pracovné dni 2001: Extrémy prostredia (počasie) – limitujúce faktory bioklimatologických procesov, medzinárodná konferencia, Račková dolina, 10.-12. 09. 2001, 10 s. (CD ROOM ISBN: 80-7137-910-7)
- Pretzsch, H., 1999: Waldwachstum im Wandel. Forstw. Cbl. 118. Jg. S. 228-250.
- Spiecker, H.; Mielikäinen, K.; Köhl, M., Skovsgaard, J. P. [Hrsg.], 1996: Growth trends in European forests. Springer-Verlag 372 pp.
- Šmelko, Š., 2000: Dendrometria, Vydavateľstvo TU vo Zvolene, 399 s.

Pod'akovanie:

Autori aj touto cestou ďakujú: Národnému klimatickému programu SR, MŽ SR a SHMÚ, ako aj projektu VEGA MŠ SR: 1/9265/02 za podporu pri vzniku tejto publikácie.

THE INFLUENCE OF ASSUMED CLIMATIC CHANGES ON SPRUCE'S DIAMETER GROWTH IN MOUNTAIN FORESTS AREA HORNÁ ORAVA

Ján Ďurský Jaroslav Škvarenina
Faculty of Forestry, Technical university in Zvolen

ABSTRACT

This work offers preliminary results of research of spruce's growth reactions on expected climatic changes in mountain forests area Horná Orava (Pilsko and Babia Hora Mts.). Climatic changes were predicted by model CCCMprep (Lapin *et al.* 2001) on level of monthly values of air temperature and precipitation till the year 2091. Materials, which were subject of tree-ring analysis, were obtained from eight especially for this research established temporal sample plots in absolute altitude range 900 - 1430 m. Tree-ring series were represented by relative (there was carried out indexation) values of the single trees measured radial increment. Dendrochronological model was constructed as individual-tree model and thereat was used method by Fritts (1976). The results of dendrochronological modelling were indicated as follows:

- future increment will have increasing trend in general and the influence of two examined modifications of scenarios precipitation development (CCCMprep-RR1 and CCCMprep-RR3) on increment is almost the same,
- air temperature will be the most essential factor of growth,
- 11.5% of trees would be react negatively on climatic changes, reaction of 34.6% trees we can suppose as untouched and 53.9% of trees would have positive reaction on climatic changes and that all for statistic probability 95%,
- assumed change of climate would affect the most intensive the stands on upper forest limit in higher absolute altitudes.

The carried out analysis of tree growth did not take into consideration another negative actuating factors on forest growth (surviving atmospheric depositions, increasing concentration of tropospheric ozone, weakening of protective atmospheric properties a.o.) only future changes of bioclimatic conditions.

KLIMATICKÁ ZMENA TEPLOTNÝCH POMEROV – PODKLAD AGROKLIMATICKEJ RAJONIZÁCIE PLODOVÝCH ZELENÍN

František Špánik⁽¹⁾, Bernard Šiška⁽¹⁾, Štefan Repa⁽¹⁾, Ján Tomlain⁽²⁾

⁽¹⁾ Katedra biometeorológie a hydrológie FZKI SPU v Nitre

⁽²⁾ Katedra meteorológie a klimatológie FMFI UK v Bratislave

1. Úvod

Teplo, svetlo a voda sa považujú za klimatické či agroklimatické zdroje poľnohospodárskej a v jej rámci aj zeleninárskej výroby. Požiadavky rastlín na agroklimatické faktory prostredia sa číselne vyjadrujú tzv. "agroklimatickými ukazovateľmi". Na ich základe sa vyhodnocujú agroklimatické podmienky krajiny v syntetickej forme, v tzv. agroklimatickej rajonizácii. Základnou otázkou pri agroklimatickej rajonizácii je výber takých agroklimatických ukazovateľov, ktoré by komplexne vyjadrovali priestorové zmeny agroklimatických podmienok v ich vzťahu k zákonitým zmenám vo vývoji a tvorbe úrody konkrétnej plodiny. Z komplexu agroklimatických faktorov je to predovšetkým teplota, ktorá určuje možnosť pestovania tej ktorej rastliny v danej oblasti.

Teplota je jednou zo základných životných podmienok rastlín, pretože podmieňuje a ovplyvňuje ich základné životné funkcie, ako sú príjem živín, transpirácia, fotosyntéza, dýchanie a iné.

Život zelenín, podobne ako ostatných kultúrnych rastlín, je možný iba v určitom teplotnom intervale, ktorého horná a spodná hranica, tzv. „kritické teploty“, sú dané anatomickou stavbou rastlinného tela a fyziologickými procesmi prebiehajúcimi v ich orgánoch. Teplotný rozsah, pri ktorom sa jednotlivé druhy zelenín môžu vyvíjať a rásť, je rôzny a závisí hlavne od toho, z akých oblastí pochádzajú.

Medzi extrémami teploty existuje určité rozpätie, ktoré najlepšie zodpovedá požiadavkám organizmov na danom stupni vývinu. Je to pásmo optimálnej teploty. Pre väčšinu druhov zelenín možno považovať za minimálnu teplotu 0,0 až 5,0 °C, optimálnu 15,0 až 30,0 °C a maximálnu 35,0 až 42,0 °C.

Z ukazovateľov teplotnej zabezpečenosti rastlín sa najčastejšie používajú priemery alebo sumy teploty vzduchu za rok, vegetačné obdobie, alebo fenofázové intervaly plodiny. V tejto časti sú analýzy zamerané na vytypované druhy teplomilných zelenín, rajčiak jedlý a papriku ročnú - zeleninovú.

2. Materiál a metódy

Klimatické podklady k analýzám boli získané pre 27 klimatických staníc rovnomerne rozložených na území Slovenska do nadmorskej výšky cca 900 m zo Slovenského hydrometeorologického ústavu v Bratislave. Predpokladané zmeny teploty vzduchu boli simulované k časovému horizontom rokov 2010, 2030 a 2075 podľa scenára globálneho modelu všeobecnej cirkulácie atmosféry CCCM (Canadian Climate Centre Model) (Lapin et al. 1995).

Biometeorologické vzťahy boli analyzované štatisticky podľa programu nelineárnej korelácie a frekvenčnou Pearsonovou krivkou III. radu.

3. Výsledky a hodnotenie

3.1 Klimatická zmena teplotných pomerov – podklad agroklimatickej rajonizácie rajčiaka jedlého na Slovensku

Rajčiak jedlý (*Lycopersicon esculentum* Mill.) sa na Slovensku zaraďuje medzi najdôležitejšie zeleninové druhy hlavne pre jeho mnohostranné využitie vo výžive človeka. V súčasnosti sa pestuje na výmere asi 3 700 ha. Patrí do skupiny plodových zelenín, ktoré sú u nás zastúpené prevažne teplomilnými druhmi s vysokými požiadavkami na energetickú zložku prostredia, ale ktoré sú zároveň ohrozené nízkymi teplotami - mrazmi na začiatku i na konci vegetácie. Radia sa sem napr. paprika, melóny, baklažán, uhorky a tekvice.

Pre optimálny rast rajčiaka sa udáva teplota okolo 22,0 °C. Za hraničné sa považujú teploty 8,0 °C a 35,0 °C. Pod a nad uvedenou teplotnou hranicou opadávajú kvetné puky a zastavuje sa rast rastlín.

Podľa návrhu rajonizácie zeleniny spracovanej pre Slovensko v roku 1955 Československou akadémiou poľnohospodárskych vied boli pre rajčiak v prírodných podmienkach, za predpokladu optimálnych pôdnych a vlhkových pomerov, stanovené nasledovné kritéria teplotného režimu:

priemerná ročná teplota vzduchu

v I. zóne vhodnosti: $\geq 9,0$ °C

v II. zóne vhodnosti: $\geq 8,0$ °C

Z uvedeného vyplýva, že rajčiak, ako aj ostatné druhy a odrody plodových zelenín, má na prostredie a predovšetkým na energetický režim špecifické požiadavky, na ktoré reaguje nielen výškou úrody, ale aj jej kvalitou. Meniace sa klimatické podmienky umožňujú nové rozdeľovanie osevných plôch a výroby zelenín, teda aj rajčiaka, nielen podľa požiadaviek na prostredie, ale aj podľa požiadaviek na rovnomerné a biologicky vyvážené zásobovanie obyvateľstva čerstvou zeleninou.

Očakávané zmeny priemernej ročnej teploty vzduchu na Slovensku prináša tabuľka 1.

Tab. 1 Priemerná ročná teplota vzduchu v °C za roky 1961-90 a k časovým horizontom rokov 2010, 2030 a 2075 podľa CCCM

Tab. 1 Average annual air temperature v °C for period 1961-1990, and in timeframes 2010, 2030, and 2075 according to regional outputs of CCCM

Klimatická stanica	T v °C				
	Nadmorská výška v m	1961-1990	2010	2030	2075
Bardejov	305	7,4	8,6	9,3	10,9
Bratislava, letisko	131	9,8	10,8	11,5	13,1
Čadca	423	6,8	7,8	8,5	10,1
Červený Kláštor	474	6,2	7,4	8,1	9,7
Hurbanovo	115	10,0	11,1	11,8	13,4
Kamenica n/C.	178	8,3	9,4	10,1	11,7
Košice, letisko	230	8,6	9,6	10,3	11,9
Kuchyňa – Nový Dvor	206	9,1	10,2	10,9	12,5
Liptovský Hrádok	640	6,2	7,2	7,9	9,5
Moldava n/B.	210	8,5	9,6	10,3	11,9
Myjava	375	8,2	9,2	9,9	11,5
Nitra	141	9,8	10,8	11,5	13,1
Oravská Lesná	780	4,6	5,7	6,4	8,0
Piešťany	165	9,2	10,3	11,0	12,6
Plaveč (o. Stará Ľubovňa)	488	6,6	7,7	8,4	10,0
Poprad	695	5,8	6,8	7,5	9,1
Prievidza	260	8,7	9,7	10,4	12,0
Rimavská Sobota	214	8,8	9,7	10,4	12,0
Rožňava	289	8,3	9,4	10,1	11,7
Sliač	313	7,9	9,0	9,7	11,3
Somotor	100	9,4	10,5	11,2	12,8
Štrbské Pleso	1360	3,7	4,7	5,4	7,0
Telgárt	901	4,8	5,8	6,5	8,1
Trenčianske Biskupice	218	8,8	9,9	10,6	12,2
Trstená – Ústie n/P.	598	6,0	7,1	7,8	9,4
Víglaš – Pstruša	368	7,7	8,0	9,5	11,1
Žihárec	111	9,6	10,7	11,4	13,0

Z uvedených podkladov boli vypočítané metódou programu nelineárnej regresie funkčné vzťahy zmien priemernej ročnej teploty vzduchu v závislosti od nadmorskej výšky (obr.1). Rozloženie priemernej ročnej teploty vzduchu za roky 1961-1990 a k časovému horizontu roka 2075 v SR sú na obr. 2 a 3.

a) Závislosť priemernej ročnej teploty vzduchu od nadmorskej výšky na Slovensku

Závislosť zmeny priemernej ročnej teploty vzduchu (T v °C) od nadmorskej výšky vyplýva z obr. 1. Všeobecne pozorujeme pokles teploty s rastúcou nadmorskou výškou, ale súčasne vzostup teploty k časovým horizontom 2010 až 2075. Na základe uvedených funkčných vzťahov možno stanoviť hranicu posunu zabezpečenia produkčného procesu rajčiaka jedlého:

$$T \geq 9,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

za roky 1961-90

k roku 2010

k roku 2030

k roku 2075

do nadmorskej výšky cca 190 m

do nadmorskej výšky cca 300 m

do nadmorskej výšky cca 390 m

do nadmorskej výšky cca 660 m

$T \geq 8,0\text{ }^{\circ}\text{C}$	
za roky 1961-90	do nadmorskej výšky cca 300 m
k roku 2010	do nadmorskej výšky cca 430 m
k roku 2030	do nadmorskej výšky cca 550 m
k roku 2075	do nadmorskej výšky cca 870 m

b) Priestorové rozloženie priemernej ročnej teploty vzduchu za obdobie 1961-1990

Podľa základného kritéria pre plošné rozšírenie pestovateľských plôch rajčiaka na Slovensku, stanoveného kolektívom autorov prvej rajonizácie zelenín, ktorým je priemerná ročná teplota vzduchu (uvedené vyššie), patria v súčasnosti k najpriaznivejším oblastiam ohraničeným na obr. 2 izotermou priemernej ročnej teploty pre I. zónu vhodnosti $9,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a II. zónu vhodnosti $8,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tieto podmienky spĺňajú územia v nadmorských výškach cca 110-300 m. Patria sem Záhorská nížina, Podunajská nížina, Východoslovenská nížina, nižšie položené kotliny: Ipel'ská, Lučenecká, Rimavská, Košická a zo stredne položených kotlin: Hornonitrianska, Žiarska, Pliešovská, Zvolenská a Rožňavská.

c) Priestorové rozloženie priemernej ročnej teploty vzduchu k časovému horizontu roku 2075 – podklad k agroklimatickej rajonizácii rajčiaka na Slovensku v budúcnosti

Predpokladaná zmena klímy a v rámci nej predpokladané otepľovanie podľa scenára CCCM bude mať za následok postupný presun hraníc požadovanej energetickej zabezpečivosti produkčného procesu rajčiaka do vyšších nadmorských polôh a tým aj severnejších častí územia Slovenska.

Priestorové rozloženie priemernej ročnej teploty vzduchu predpokladané k roku 2075 vidno z obr. 3, z ktorého vyplýva značný posun hraníc teplotnej zabezpečivosti produkčného procesu rajčiaka do vyšších a severnejších polôh Slovenska. Podľa $T \geq 9,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ sa predpokladá posun tejto hranice do nadmorskej výšky cca 660 m a podľa $T \geq 8,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ešte vyššie. To zasahuje do kotlin: Oravskej, Turčianskej, Liptovskej, Popradskej, Horehronského podolia a ďalších severne ležiacich častí Slovenska.

3.2. Klimatická zmena teplotných pomerov – podklad agroklimatickej rajonizácie papriky ročnej - zeleninovej na Slovensku

Paprika ročná - zeleninová (*Capsicum annuum* L.) patrí k najdôležitejším zeleninovým druhom hlavne vďaka svojej biologickej hodnote. Kyselina askorbová, β - karotén, tiamín, riboflavín, S - metylmetión (vitamín U), niacin, uracil, kapsiciadín, éterické oleje a minerálne látky sú mimoriadne potrebné pre zdravú funkciu organizmu človeka.

Paprika je teplomilnou rastlinou s dlhým vegetačným obdobím. V poľných podmienkach sa pestuje len v oblastiach s teplým a slnečným letom a dlhým bezmrazovým obdobím. Pre optimálny rast sa udáva teplota cez deň $22,0 - 25,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pri teplote $T \leq 8,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $T \geq 36,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ sa rast zastavuje. Citlivo reaguje na nízke teploty a už slabšie mrazy môžu rastliny poškodiť až zničiť.

Podľa návrhu rajonizácie zeleniny spracovanej pre Slovensko v roku 1955 Československou akadémiou poľnohospodárskych vied, boli pre zeleninovú papriku v prírodných podmienkach za predpokladu optimálnych pôdných a vlhkových pomerov stanovené nasledovné kritéria:

Reliéf terénu :

I. zóna vhodnosti: rovina, nadmorská výška od 110 do 200 m, suma priemerných denných teplôt vzduchu za hlavné vegetačné obdobie $\Sigma T_{HVO} = 2976^{\circ}\text{C}$.

II. zóna vhodnosti: rovinný až mierne zvlnený, nadmorská výška od 200 do 300, na južne exponovaných plochách do 350 m, $\Sigma T_{HVO} = 2670^{\circ}\text{C}$.

V našich analýzach sú požiadavky zeleninovej papriky na energetickú zložku prostredia vyjadrené sumou priemerných denných teplôt vzduchu za vegetačné obdobie zeleninovej papriky ohraničené začiatkom výsadby ($T \geq 14,5^{\circ}\text{C}$) a koncom zberu ($T \leq 12,5^{\circ}\text{C}$) k súčasnosti (1951 – 1980), ale aj k časovým horizontom rokov 2010, 2030 a 2075.

Pre I. pásmo vhodnosti bola stanovená suma priemerných denných teplôt vzduchu $\Sigma T_{VO} = 2400^{\circ}\text{C}$., pre II. pásmo vhodnosti $\Sigma T_{VO} = 2200^{\circ}\text{C}$. Vypočítané ΣT_{VO} sú uvedené v tab.2.

Tab. 2 Sumy priemerných denných teplôt vzduchu v °C od začiatku výsadby ($T \geq 14,5^{\circ}\text{C}$) do konca zberu ($T \leq 12,5^{\circ}\text{C}$) papriky ročnej - zeleninovej v poľných podmienkach na Slovensku

Tab. 2 Mean daily air temperature sums °C from the beginning ($T \geq 14,5^{\circ}\text{C}$) up to the end of growing period ($T \leq 12,5^{\circ}\text{C}$) of green pepper in field condition on the territory of Slovakia

Klimatická stanica	ΣT_v °C			
	1951- 1980	2010	2030	2075
Bardejov	1841,0	2134,3	2368,5	2829,3
Bratislava, letisko	2481,6	2781,3	2999,1	3503,4
Čadca	1401,7	1727,0	1959,1	2458,2
Červený Kláštor	1379,8	1702,6	1923,1	2421,7
Hurbanovo	2587,1	2918,0	3138,6	3632,9
Kamenica n/C.	2062,0	2406,0	2611,0	3116,2
Košice, letisko	2188,8	2498,7	2712,0	3197,1
Kuchyňa – Nový Dvor	2267,0	2579,0	2800,1	3296,3
Liptovský Hrádok	1298,7	1620,3	1837,7	2326,8
Moldava n/B.	2230,6	2543,5	2748,7	3240,8
Myjava	1924,4	2271,4	2471,2	2964,4
Nitra	2486,4	2811,5	3049,0	3558,1
Oravská Lesná		1265,8	1280,4	1755,5
Piešťany	2298,0	2598,3	2837,0	3330,1
Plaveč (o. Stará Ľubovňa)	1615,9	1840,3	2085,7	2565,0
Poprad	1410,1	1526,7	1723,3	2194,0
Prievidza	2070,6	2411,7	2624,9	3125,0
Rimavská Sobota	2254,9	2569,9	2786,1	3265,1
Rožňava	2122,7	2442,3	2659,2	3140,7
Sliač	1928,3	2245,5	2482,4	2944,5
Somotor	2555,8	2858,5	3078,3	3565,0
Štrbské Pleso				1636,2
Telgárt		1033,1	1328,5	1813,9
Trenč. Biskupice	2114,2	2455,1	2670,9	3176,9
Trstená – Ústie n/P.	1136,4	1510,7	1756,1	2228,1
Víglaš – Pstruša	1839,2	2148,8	2385,7	2864,7
Žihárec	2496,9	2799,3	3030,5	3508,3

Z porovnania ΣT_{VO} (tab. 2) s nadmorskou výškou vyplýva nasledovné:

Na základe predpokladanej klimatickej zmeny sa požadovaná $\Sigma T_{VO} = 2400$ °C

v I. zóne vhodnosti dosiahne:

do roka 2010 v nadmorskej výške 320 m

do roka 2030 v nadmorskej výške 420 m

do roka 2075 v nadmorskej výške 620 m

v II. zóne vhodnosti ($\Sigma T_{VO} = 2200$ °C) sa dosiahne:

do roka 2010 v nadmorskej výške 410 m

do roka 2030 v nadmorskej výške 500 m

do roka 2075 v nadmorskej výške 700 m

Priestorové rozloženie ΣT_{VO} v súčasnosti (1951-1980) a k časovému horizontu roka 2075 vyplýva z obr. 4 a 5.

Podľa obrázku 4 najpriaznivejšie pestovateľské oblasti zeleninovej papriky v súčasnosti ohraničujú izotermy ΣT_{VO} v I. zóne vhodnosti 2400 °C a v II. zóne vhodnosti 2200 °C.

Tieto podmienky splňajú územia v nadmorských výškach 110 – 350 m. Patria sem Záhorská nížina, Podunajská nížina, Východoslovenská nížina, nižšie položené kotliny: Ipeľská, Lučenecká, Rimavská, Košická a zo stredne položených kotlín: stredné Považie, Hornonitrianska, Žiarska, Pliešovská, Zvolenská, Rožňavská a Prešovská.

Predpokladaná zmena klímy a otepľovanie bude mať za následok postupný presun hraníc požadovanej energetickej zabezpečivosti produkčného procesu zeleninovej papriky do vyšších nadmorských polôh a tým aj severnejších častí územia Slovenska.

Priestorové rozloženie ΣT_{vo} predpokladané k roku 2075 vyplýva z obr.5.

Predpokladá sa posun I. zóny vhodnosti do nadmorskej výšky 620 m a II. zóny vhodnosti ešte vyššie. To zasahuje do kotlín: Oravskej, Turčianskej, Liptovskej, Popradskej, Horehronskeho podolia a ďalších severne ležiacich častí Slovenska.

4. Návrh opatrení na zníženie rizika klimatických zmien pre zeleninársku výrobu

Dôsledky predpokladanej klimatickej zmeny na zeleninársku výrobu budú mnohostranné, niekedy pozitívne, inokedy negatívne. Treba ich však chápať komplexne, predovšetkým v snahách o ich zmiernenie. Dôležitým je tiež dostatočný predstih, pretože mnohé z opatrení majú z biologického hľadiska charakter dlhodobých adaptačných procesov a činností. Adaptácia na zmeny klímy by mala prebiehať v týchto hlavných smeroch a činnostiach:

a) Zmeny v agroklimatickej rajonizácii a štruktúre pestovania rastlinných druhov a odrôd

Cieľom je najúčinnšie využitie prirodzených zdrojov, hlavne celkovej energetickej bilancie a vodného režimu. Veľmi dôležitou sa javí nutnosť prepracovania rajonizácie všetkých druhov zelenín. Ako uvádza Hričovský (1994), bude sa vyžadovať prehodnotenie zastúpenia teplomilných druhov zeleniny (paprika, rajčiaky, melóny) v severnejších okresoch Slovenska. Zabráni sa tým presunu zelenín a strátam prepravou. Do výroby bude potrebné zavádzať pestovanie aj ďalších druhov menej známych zelenín.

Do zeleninárskych výrobných programov sa predpokladá a odporúča zaradiť plodiny schopné prispôsobiť sa zmeneným klimatickým podmienkam, hlavne suchu, prípadne nadmernej radiácií, to znamená s nižším transpiračným koeficientom, mohutnejším a hlbším koreňovým systémom, rýchlejšim rastom a kratšou vegetačnou dobou.

b) Zmeny šľachtiteľských zámerov

Šľachtitelia a genetici musia vplyvom klimatických zmien plniť v predstihu mimoriadne aktuálne úlohy. Vo svojej práci sa však, ako uvádza Čermín (cit. In: Špánik a kol. 1999), musia zameriavať na šľachtenie odrôd a hybridov produkčného typu s väčším dôrazom na adaptáciu proti biotickým a abiotickým stresom, čo umožní vyšľachteným odrodám menej citlivo reagovať na extrémny teplot, sucha, výskytu chorôb a pod.

Tým by sa obmedzila chemická ochrana a zhoršovanie životného prostredia. Pri šľachtení tiež uprednostňovať znaky zvyšujúce príjem živín (koreňový systém), intenzitu a produktivitu fotosyntézy. Zvláštnu pozornosť treba venovať rajonizácii osív a sadív.

c) Zmeny v ochrane plodín

Bude potrebné orientovať sa predovšetkým na biologickú ochranu a prepracovanie integrovanej ochrany.

d) Regulácie vodného režimu melioráciami

Najúčinnnejšou, i keď plošne obmedzenou cestou boja proti suchu, sú podľa Šantu (1994) závlahy. Bude preto potrebné všetky v súčasnosti existujúce závlahové systémy uviesť do prevádzkyschopného stavu. To si vyžaduje značné rekonštrukčné zásahy a dokončenie závlahových strojov a zariadení. Riadenie závlahového režimu treba v budúcnosti postaviť na vyššiu teoretickú, ale aj technickú úroveň, žiaduci je monitoring charakteristík vodnej bilancie.

Hričovský (1994) tiež zdôrazňuje, aby vybudované závlahové systémy, hlavne v južných oblastiach Slovenska, sa využívali predovšetkým na produkciu zeleniny a teplomilných ovocných druhov.

e) Nové pohľady na výživu rastlín

Podľa Bartu (1994) má najvýznamnejší pozitívny účinok na tolerantnosť rastlín k nedostatku vody aplikácia organických hnojív (maštalný hnoj, pozberové zvyšky, zelený hnoj a i.) v kombinácii s priemyselnými hnojivami, najmä dusíkatými. Samotná výživa dusíkom vedie k znižovaniu obsahu humusu v pôde a tým zhoršovaniu fyzikálnych a chemických vlastností pôdy.

f) Regulácia vodného a energetického režimu porastu mulčovaním

Prax ukázala, že mulčovací fólie, resp. mulčovací netkané textílie, sú vhodnými prostriedkami na zvyšovanie účinnosti vody dodanej do pôdy, môžu však byť regulátorom energetického režimu porastu a tým zvýšenej biologickej aktivity pôdy. Mulčovací fólie možno zvlášť uplatniť v intenzívnej zeleninárskej výrobe jednak ako trvalý mulč počas celého vegetačného obdobia, alebo mulč na urýchlenie začiatočného rastu rastlín (Hričovský 1994).

5. Súhrn

V príspevku sú výsledky analýz teplotných pomerov z pohľadu klimatickej zmeny v spojitosti s rozširovaním produkčných plôch rajčiaka jedlého a papriky ročnej – zeleninovej na území Slovenska. Analýza

ukázala, že postupný rast teploty vzduchu umožní rozširovanie pestovania uvedených druhov zeleniny do severnejších, vyššie položených oblastí Slovenska. V porovnaní s obdobím rokov 1951-1980, resp. 1961-1990, sa k časovému horizontu roka 2075 predpokladá postupné rozširovanie pestovania plodových zelenín v I. zóne vhodnosti do nadmorskej výšky cca 650 m, v II. zóne vhodnosti ešte vyššie.

Literatúra:

- ANTAL, J. (1996): Možné zmeny pôdnych režimov na Slovensku vplyvom predpokladaných klimatických zmien. Expertíza, NKP, Nitra, 11 s.
- BARTA, V. (1994): Rámcový návrh opatrení na zníženie rizika klimatických zmien v rastlinnej výrobe v závlahových podmienkach SR. Správa za subprojekt, VÚZH, Bratislava, 26 s.
- HRIČOVSKÝ, I. (1994): Zhodnotenie špeciálnej rastlinnej výroby – záhradníctvo v súčasných klimatických podmienkach. NKP, Nitra, 14 s.
- KOLEKTÍV, (1955): Rajonizace zemědělské výroby. Zelenina, Československá akademie zemědělských věd. VÚZE, Praha, 252 s.
- LAPIN, M., NIEPLOVÁ, E., FAŠKO, P. (1995): Regionálne scenáre zmien teploty vzduchu a zrážok na Slovensku. Zborník NKP SR č. 3, MŽP SR, SHMÚ, Bratislava, 97 s.
- ŠPÁNIK, F. a kol. (1999): Aplikovaná agrometeorológia. SPU, Nitra, 194 s.
- ŠPÁNIK, F., ŠIŠKA, B., REPA, Š. (1997): Dopady agroklimatických zmien na záhradnícku výrobu. Zahradníctví, 9, 15-17.
- VALŠÍKOVÁ, M. a kol. (1996): Produkčné systémy vybraných druhov zelenín. 1. časť. Slovenská poľnohospodárska a potravinárska komora Bratislava, Výskumný a šľachtiteľský ústav zeleniny a špeciálnych plodín, Nové Zámky, 202 s.
- ŠANTA, M. (1994): Vplyv klimatických zmien na poľnohospodársku výrobu a opatrenia na ich zmiernenie, NKP SR, VÚZH, Bratislava, 22 s.

GLOBAL WARMING UP - A BACKGROUND OF AGROCLIMATIC REGIONALISATION OF FRUIT VEGETABLE-GROWING AREAS IN SLOVAKIA

František Špánik⁽¹⁾, Bernard Šiška⁽¹⁾, Štefan Repa⁽¹⁾, Ján Tomlain⁽²⁾

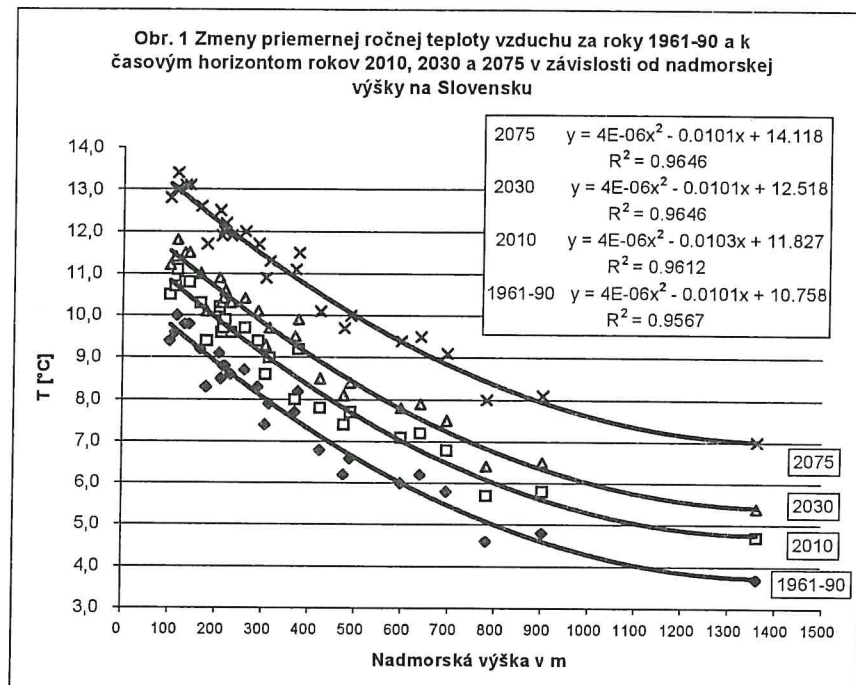
⁽¹⁾ Katedra biometeorológie a hydrológie FZKI SPU v Nitre

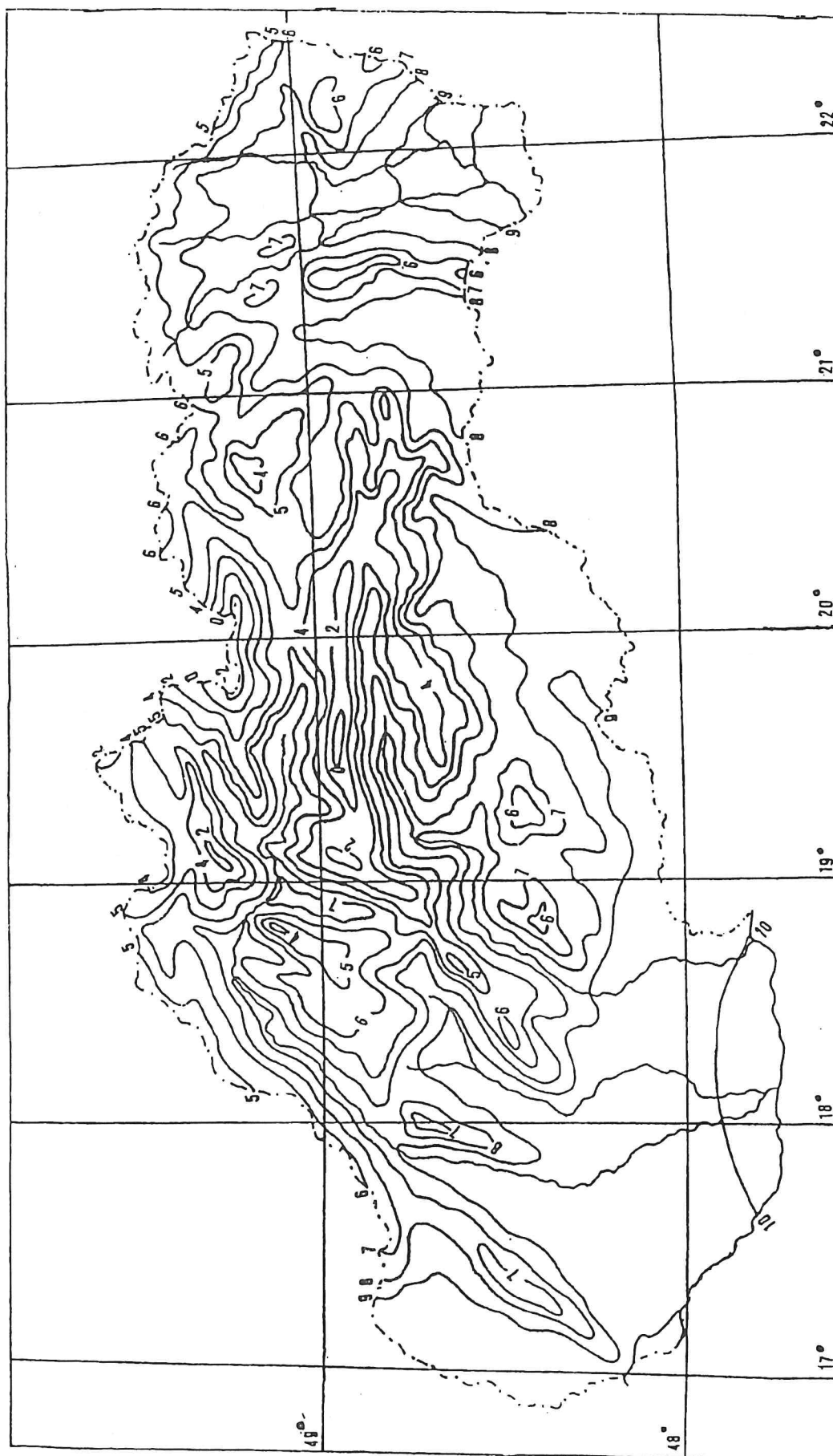
⁽²⁾ Katedra meteorológie a klimatológie FMFI UK v Bratislave

Abstract

In the paper are presented results of analyses of productive area increase of tomato (*Lycopersicum esculentum*) and sweet pepper (*Capsicum annum*) as influenced by global warming. Analyses resulted in fact that rising of air temperatures allow increase of growing areas of tomato and sweet pepper towards northern territories of Slovakia with higher altitude. In comparison of time horizons of years 1951-1980 (or 1961-1990 respectively) and 2075 there are supposed increase of growing areas of fruit vegetables for I. zone of suitability up to altitude 600 m above sea level and for II. zone even higher.

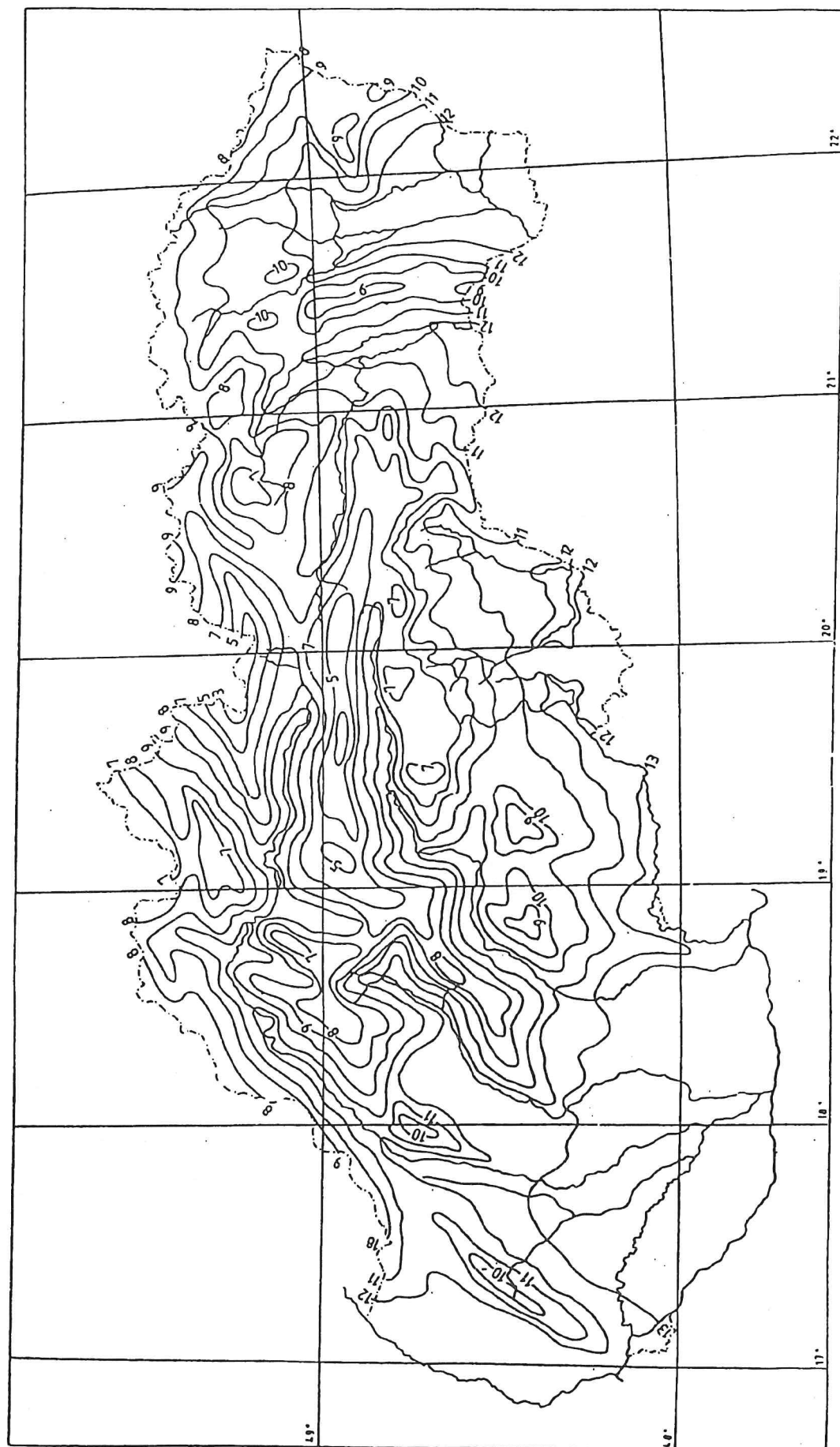
Fig. 1 Altitude - dependence of average annual air temperature changes for period 1961-1990, and in time frames 2010, 2030 and 2075 in Slovakia





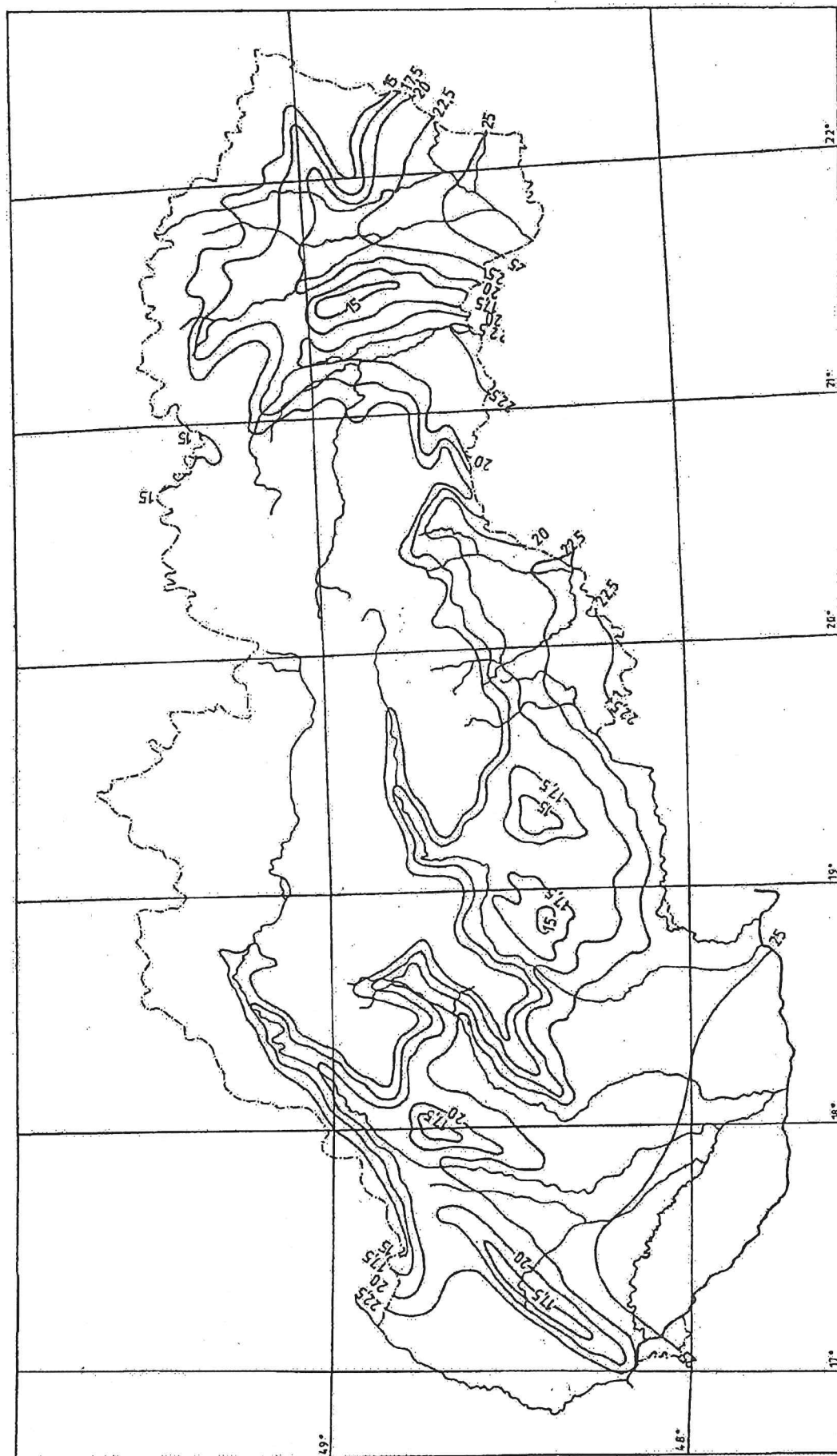
Obr. 2 Priemerné ročné teploty vzduchu [°C] za obdobie 1961 – 1990;
Fig. 2 Average annual air temperature in °C for the period 1961-1990 in Slovakia

Obr. 3 Priemerné ročné teploty vzduchu [°C] k časovému horizontu roku 2075; Fig. 3 Annual mean temperatures [°C] in 2075 timeframe in Slovakia



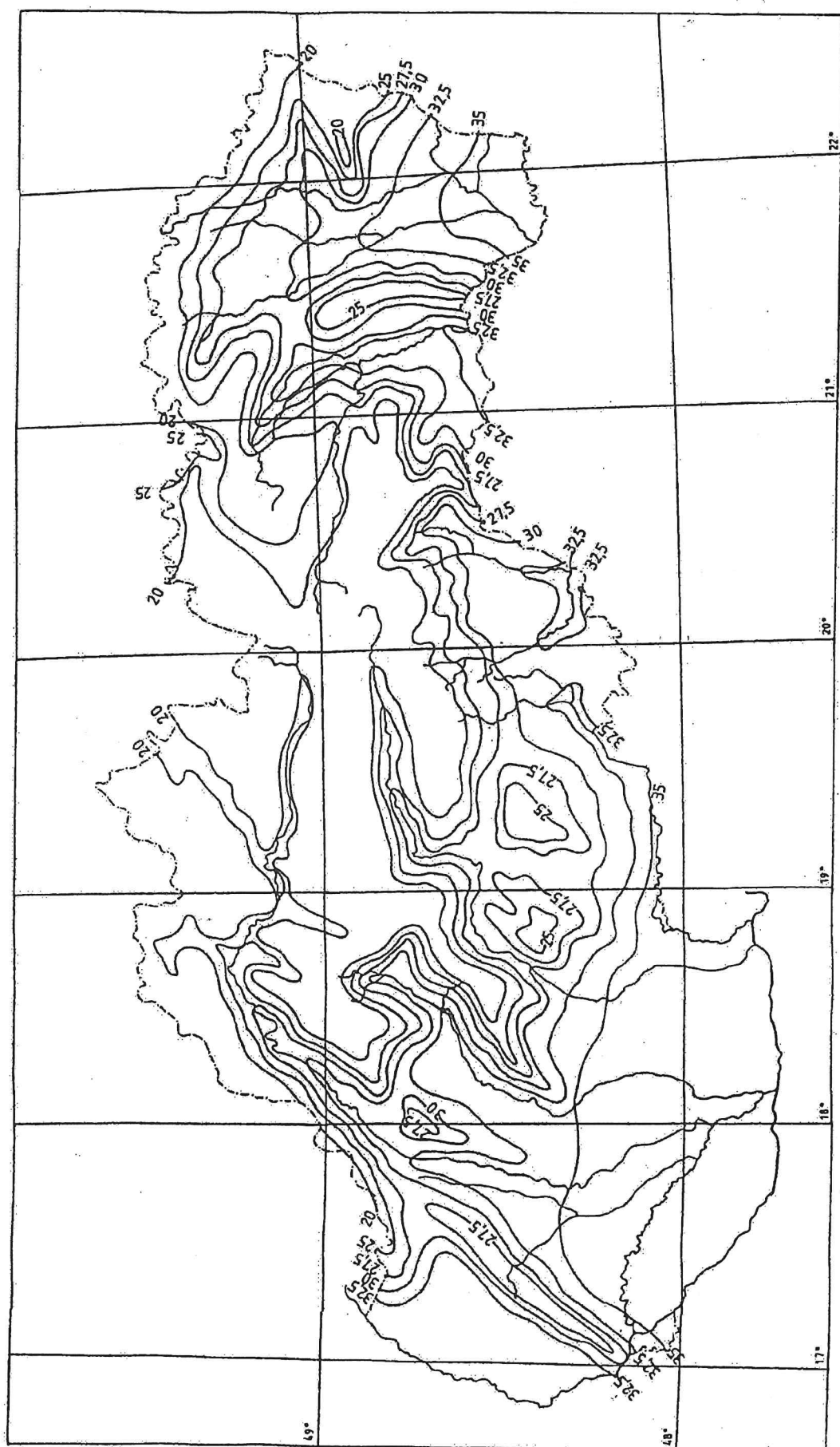
Obr. 4 Sumy priemerných denných teplôt vzduchu od začiatku výsadby ($T \geq 14,5^\circ\text{C}$) do konca zberu ($T \geq 12,5^\circ\text{C}$) papriky ročnej – zeleninovej (v stovkách $^\circ\text{C}$) za obdobie 1951–1980.

Fig. 4 Mean daily air temperature sums in hundred of $^\circ\text{C}$ from the beginning ($T \geq 14,5^\circ\text{C}$) up to the end of growing period ($T \geq 12,5^\circ\text{C}$) of annual green pepper in field conditions for the period 1951–1980



Obr. 5 Sumy priemerných denných teplôt vzduchu od začiatku výsadby ($T \geq 14,5^\circ\text{C}$) do konca zberu ($T \geq 12,5^\circ\text{C}$) papriky ročnej - zeleninovej (v stovkách $^\circ\text{C}$) k roku 2075

Fig. 5 Mean daily air temperature sums in hundred of $^\circ\text{C}$ from the beginning ($T \geq 14,5^\circ\text{C}$) up to the end ($T \geq 12,5^\circ\text{C}$) of annual green pepper growing period in field conditions by the year 2075



VPLYV KLIMATICKÝCH ZMIEN NA ŠTRUKTÚRU ZOOCENÓZ

Jozef Halgoš, Eva Bulánková
Katedra ekológie Prírodovedeckej fakulty UK
e-mail: bulankova@fns.uniba.sk

Úvod

Dôsledky klimatických zmien sa prejavujú vo vodných, ako aj suchozemských ekosystémoch. V povodiach dochádza k zmene vodného režimu, čo spôsobuje vysychanie prameňov a mokradí, zmenu vodného režimu tečúcich a stojatých vôd, atypické záplavové vlny, ako i zmenu teplotného režimu vôd. Najdôležitejšie globálne interakcie sú medzi atmosférou a oceánmi. Sladkovodné ekosystémy tu však tiež zohrávajú úlohu, pričom na ich vývoj v dôsledku globálnych klimatických zmien, ako aj na monitoring týchto zmien, by sme sa chceli zamerať v prvej časti nášho príspevku.

V terestrických ekosystémoch sa dôsledky klimatických zmien prejavujú rozširovaním xerotermných biotopov a s tým súvisiacou zmenou fyto- a zoocenóz, posúvaním výškových pásiem, aridizáciou a zasolovaním pôd. Uvedené procesy majú za následok zmenu biodiverzity, zmenu štruktúry spoločenstiev a prienik teplomilných druhov, na čo chceme poukázať v druhej časti príspevku.

V súčasnosti sa problematika vplyvu klimatických zmien rieši v rámci medzinárodných projektov podporovaných EU (MOLAR - The Mountain Lake Research a EMERGE - European Mountain Lake Ecosystem: Regionalisation, Diagnostic & Socio-economic Evaluation), pričom sa skúmajú globálne teplotné zmeny počas posledných storočí na základe chemickej, rádiologickej a paleolimnobiologickej analýzy jazerných sedimentov vo Vysokých Tatrách. Jednou z novších metód štúdia klimatických zmien v priebehu posledných ľadových dôb je výskum fosilnej entomofauny. Hodnotné informácie o vývoji prostredia v holocéne nám môžu poskytnúť predovšetkým vodné organizmy. Na tieto účely je možné využiť schránky jednobunkovcov (Protozoa), mäkkýšov (Mollusca), zvyšky kôrovcov (Crustacea) a potočníkov (Trichoptera) a dvojkrídlavcov (Diptera), hlavne zástupcov čeľadí Chaoboridae a Chironomidae. Taxonomické zloženie cenóz zachovaných v sedimentoch odzrkadľuje podmienky prostredia v čase sedimentácie. Podľa zmien v týchto spoločenstvách je možné študovať vývoj jazera, prírodnú a kultúrnu eutrofizáciu, antropogénnu acidifikáciu, paleoklímu a paleosalinitu (WALKER, 1987, 1995). Paleolimnologické údaje sú základom pre pochopenie fungovania a vývoja súčasných jazier a pre pochopenie dôsledkov klimatických zmien, ako aj ich dopadov na biotu jazera (BRODERSEN, ANDERSON, 2000). Klimatické faktory vplyvajú na faunu pakomárov priamo (kuklenie, vylietanie, rast) i nepriamo (kyslíkové pomery, stratifikácia, dĺžka zamrznutia jazera, prítok). Pakomáre je možné využiť na rekonštrukciu teplôt vzduchu a vody počas neskorého glaciálu a holocénu. Z tohto výskumu bolo už publikovaných niekoľko príspevkov (BITUŠÍK, KUBOVČÍK, 2001, ŠPORKA et al., 2001, ŠTEFKOVÁ, ŠPORKA, 2001).

Zmeny kvality ovzdušia spôsobujú antropogénnu acidifikáciu, ktorá zasahuje predovšetkým vysokohorské ekosystémy. Toto problematikou sa u nás zaoberal KRNO (1991a,b, 2001).

Zmeny vodnej hladiny sleduje paleohydrologia. Fluktuácia vodnej hladiny má vplyv na veľkosť pelagickej zóny a tým aj na veľkosť litorálneho habitatu, čo sa môže prejaviť na abundancii zvyškov planktonických a litorálnych pakomárov i perloočiek v sedimente. Z pomeru planktonických a litorálnych zvyškov je tak možné zrekonštruovať zmeny úrovne vodnej hladiny v minulosti (EINARSSON, HAFLIDASON, 1988).

Rekonštrukcia lotických habitatov môže prebiehať na základe analýzy spoločenstiev pakomárov piesčitých sedimentov, ktoré sa vytvárali vplyvom tečúcej vody. Skutočnosť, že jazerá vo vysokých nadmorských výškach na hornej hranici lesa sú citlivé indikátory klimatických zmien, potvrdili PELLATT et al. (2000) a SMITH et al. (1998). Ich štúdie ukázali na to, že pakomáre sú hodnotné pre paleoklimatické rekonštrukcie, a že ich spoločenstvá reagujú na zmeny teploty rýchlejšie ako vegetácia.

V terestrických a semiterestrických ekosystémoch sa výskum vplyvu klimatických zmien ťažšie realizuje, vzhľadom na tzv. synergický efekt. Zmeny nepôsobia jednotlivo, ale ich účinok sa často sčítava a pôsobia vzájomne na seba, alebo vo výnimočných prípadoch môžu pôsobiť aj antagonisticky (potravné vzťahy). Medzi synergické činitele môžeme zaradiť napr. znižovanie úhrnu zrážok za vyššej teploty vzduchu, ktoré vedú k zvýšenej evapotranspirácii. Ďalším dôsledkom týchto procesov sú vyššie nároky na umelé zavlažovanie, pretože prirodzené zdroje vody vysychajú a mokrade podliehajú rýchlejšej sukcesii. Doteraz sa týmto problémom nevenoval cielený výskum, avšak k niektorým záverom o vplyve otepľovania sa prichádzalo na základe zistených zmien v zoocenózach. Ide najmä o šírenie mediteránnych druhov, ktorých severná hranica areálu sa stále posúva (BULÁNKOVÁ, 1999, DAVID, 2000) na naše územie. Veľké zmeny v štruktúre entomocenóz nastávajú šírením invázných druhov na čo poukázali LUKÁŠ et al., 2001 a MAJZLAN, BAŤALÍK, 2000. Šírenie invázných druhov rýb, ktoré je pravdepodobne podmienené zvyšovaním teploty, zaznamenali AHNELT, HOLČÍK, 1996.

Metodika

I. Vo vodných ekosystémoch sa skúmajú:

A/ Klimatické zmeny v povodiach

Pre sledovanie klimatických zmien určitého povodia (EMERGE, 2000) a porovnanie zmien v minulosti je nevyhnutná inštalácia automatickej meteorologickej stanice a pravidelné zaznamenávanie klimatických údajov počas celého roka v dostatočne malých časových odstupoch. Zároveň je potrebné mať k dispozícii dlhodobé sledovania (najlepšie aspoň 200 rokov dozadu) základných klimatických parametrov z pomerne blízko situovanej pevnej meteorologickej stanice pre interpretáciu minulých klimatických zmien v sledovanom povodí.

B/ Kvalita atmosférických zrážok

Sledované parametre:

- Vyhodnocovanie vlhkého prísunu iónov a živín z atmosféry do povodia na ročnej a sezónnej báze.
- Porovnanie kritickej záťaže a skutočnej záťaže polutantov z atmosféry.
- Porovnanie atmosférických prísunov a chemizmu vody ako počiatočného bodu pre štúdium chemických procesov v povodí.
- Potvrdenie kvantitatívnych modelov pre rekonštrukciu historických zmien v kvalite atmosféry v porovnaní s jazernými sedimentami sledovaného povodia.

C/ Hydrológia povodia

- Veľkosť povodia.
- Doba zdržania vôd v povodí.
- Hydrologická rovnováha v povodí.

Týmito metódami meriame:

- Zrážky dažďové (viď automatická meteorologická stanica) a množstvo napadaného snehu.
- Hladinu jazier (týždňové intervaly).
- Odtoky z jazier (týždňové intervaly).
- Prítoky jazier a sledovaný tok (týždňové intervaly).

II. Zmeny v štruktúre zoocenóz v terestrických a semiterestrických ekosystémoch ovplyvňuje množstvo faktorov. Základom takéhoto výskumu je monitoring zoocenóz na vybraných lokalitách so súčasným sledovaním teplotných zmien a porovnanie súčasných výsledkov s historickými údajmi. Analýza výsledkov pomocou ekologických a štatistických metód má slúžiť na potvrdenie predpokladov a vylúčenie iných vplyvov.

Výsledky a diskusia

Cielený výskum vplyvu klimatických zmien prebieha v akvatických ekosystémoch. Objektom paleolimnologických štúdií v Tatrách bolo Nižné Terianske pleso a Starolesnianske pleso, ktoré ležia už v alpínskej zóne. Práve takéto arktické a alpínske biotopy sú vynikajúcim priestorom na indikáciu environmentálnych zmien vďaka odľahlosti a minimálnemu priamemu ovplyvneniu človekom v povodí. Nižné Terianske pleso je prietočné, klasické vysokohorské neacidifikované oligotrofné pleso. Na porovnanie slúžilo Starolesnianske pleso, ktoré je vzhľadom na geologický substrát, neprietočnosť a malú hĺbku silne acidifikované. Proces acidifikácie bol sledovaný na základe analýzy a množstva uhlíkatých látok. Prvý nárast imisií a uhlíkatých častíc v Tatrách datujeme zhruba od obdobia po roku 1914, kedy nastali počiatky industrializácie Slovenska, výrazne rýchlejší nárast začal až v období 1935 - 40 a počas 2. svetovej vojny, predovšetkým ako dôsledok rozvoja tepelných elektrární v strednej Európe. Množstvo uhlíkatých látok vyvrcholilo v roku 1977, podobne ako inde v Európe. Po roku 1993 množstvo uhlíkatých látok klesá, podobne aj od toho roku klesá podiel dusíkatých látok v acidifikovanom Starolesnianskom plese a zároveň dochádza k nárastu pH (trvalý trend poklesu acidifikácie v strednej Európe).

ŠPORKA et al. 2001 zistili, že rastlinné pigmenty zaznamenali v poslednom období silný nárast, ktorý koreluje s nárastom trofickej hladiny a aj so zmenami výskytu taxónov rozsievok a pakomárov v Terianskom plese v poslednom období. Aj v staršom období (pod hĺbkou 11 cm vrstvy) došlo k istému zvýšeniu trofickej hladiny.

Pôvodne, v starších obdobiach pred 200 rokmi, dominovala v jazere planktonická rozsievka *Asterionella formosa*, ktorá tam dnes chýba a je nahradená druhmi rozsievok. *Achnanthes* spp., *Navicula schmassmannii* a *Orthoseira roeseana*.

Analýza sedimentov Terianskeho plesa poukázala na to, že zloženie profundálnych pakomárov odpovedá hlbokému oligotrofnému jazeru, ale v minulosti (pred 200-300 rokmi) v ňom panovali iné hydrologické pomery - vodnatejší prítok a väčší podiel reofilných pakomárov (výraznejšie rozsiahlych firnovísk na jar a v lete), ktoré dnes v lete prakticky chýbajú.

K výrazným zmenám v štruktúre makrozoobentosu dochádza vplyvom acidifikácie. KRNO (2001) zistil, že acidifikácia tatranských jazier výrazne ovplyvňuje v litoráli nielen štruktúru makrozoobentosu, ale aj jej biomasu. Zníženie pH pod 5,5 spôsobuje uvoľňovanie fosforu zo sedimentov a následné zvýšenie trofie jazera. V neacidifikovaných alpínskych plesách sa vyskytujú acidofóbne druhy *Crenobia alpina*, *Ameletus inopinatus*, *Electrogena lateralis*, *Arcynopteryx compactata*, *Diura bicaudata*, *Capnia vidua*, *Apatania fimbriata* a *Drusus trifidus*. V acidifikáciou ohrozených plesách zostávajú len dva druhy *Crenobia alpina* a *Capnia vidua*. Do acidifikovaných plies tieto druhy neprenikajú. V dôsledku acidifikácie Starolesnianskeho plesa nastala výrazná zmena v štruktúre zooplanktónu (STUHLÍK et al. 1985) a pakomárov profundálu (BITUŠÍK, 1994). KRNO (2001) zistil, že pre pleso sú typické široko rozšírené palearktické druhy s viacročným larválnym vývinom, z potravných gíld dominovali detritofágy a predátoři. Naopak, pre povodie neacidifikovaného Terianskeho plesa sú typické úzko rozšírené karpatské endemity a stredo európske horské druhy s jednoročným vývinom. V litoráli dominujú zoškrabávače, v prítoku a odtoku detritofágy.

Podobne možno aj na základe analýzy spoločenstiev pakomárov monitorovať proces acidifikácie. Hlavnými trendami v acidifikovaných jazerách severnej Európy je pokles diverzity pakomárov, stability spoločenstva a produktivity. BITUŠÍK (1994) skúmal stratigrafiu lariev pakomárov v sedimentoch Starolesnianskeho plesa. Postupné vymiznutie lariev *Tanytarsus* f.l. *lugens*, citlivých na nízke pH a ich nahradenie tolerantými larvami *Tanytarsus* f.l. *gregarius*, je dôsledkom acidifikácie plesa a zhoduje sa s povojnovým rozvojom priemyslu na Slovensku a v susedných krajinách.

Výrazné zmeny v štruktúre spoločenstiev a populácií nastávajú aj v semiterestrických a terestrických ekosystémoch. Otepľovanie bude mať za následok aj výrazné zmeny vo fenológii rôznych druhov, a to buď v skracovaní dĺžky vývinu jednotlivých generácií, alebo ich počtu, nakoľko teplotný faktor patrí k hlavným faktorom ovplyvňujúcim vývin a počet generácií. Tieto poznatky budú mať veľký význam hlavne v populačnej dynamike tak rastlinných, ako aj živočíšnych škodcov a parazitov. Príkladom tohto môže slúžiť aj rok 2001, ktorý sa vyznačoval dlhou teplou jesennou periódou s dostatkom zrážok, čo sa ihneď prejavilo hromadným rozmnožením kalamitných druhov komárov v povodí Moravy a Dunaja. Vrchol abundancie jesennej populácie dosahoval alebo až presahoval v mnohých prípadoch kulmináciu abundancie letných populácií. Toto sa okrem iného prejavilo aj vývinom nie často sa vyskytujúcej štvrtej generácie. Premnoženie masových druhov komárov (*Aedes vexans*, *Aedes sticticus*) môže mať okrem primárneho významu ako krv cicajúcich trápčivov človeka a živočíchov i sekundárny význam zvýšeného počtu viacerých ochorení. Otepľovanie môže podmieniť aj šírenie a prežívanie tých druhov, ktorých rozšírenie bolo doteraz známe len z teplých oblastí Ázie a Oceánie. V poslednom období sa veľmi rozšíril v Amerike a Afrike druh komára *Aedes albopictus*, ktorý sa rozmnožoval v tzv. antropotelmách pri diaľkovom transporte tovaru veľkými nákladnými autami. Uvedený druh sa vyvíjal v náhradných pneumatikách a ich transportom sa dostal aj do Talianska, Grécka, Albánska a v poslednom období do Francúzska. Pretože ide o teplomilný druh možno predpokladať, že s klimatickými zmenami sa rozšíri aj do severnejších oblastí Európy, vrátane nášho územia. Uvedený druh komára je významným vektorom vírusového ochorenia dengue a iných arbovírusov a filárií. Vírus dengue patrí medzi obávané virózy, ktoré majú častokrát fatálny priebeh. Otepľovanie môže mať za následok aj šírenie ďalších nových druhov komárov pre našu faunu, ale aj výraznejšie rozmnoženie našich druhov napr. z rodu *Anopheles* smerom na sever. Pri súčasnom "sťahovaní národov" môžu mať za následok v našich podmienkach znovuobjavenie nebezpečného ochorenia malárie, ktoré na základe dlhoročných poznatkov je viac ako reálne (JALILI et al., 2001). Hranica areálu sa u mnohých teplomilných druhov posúva smerom na sever. Naopak mnohé chladnomilné druhy boreálne druhy vyhľadávajú vzhľadom na klimatické zmeny nové refúgia, kde sú ešte zachované podmienky pre ich výskyt. Vplyvom klimatických zmien nastávajú aj zmeny v početnosti populácií u niektorých zriedkavých mediteránnych druhov, napr. u vážky *Crocothemis erythraea* dochádza k zvyšovaniu populačnej hustoty (BULÁNKOVÁ, 1999).

Veľmi závažným negatívnym dôsledkom nielen na našom území, ale v širšom kontexte, je rapidný nástup viacerých inváznych teplomilných druhov živočíchov a rastlín. Na naše územie sa dostávajú jednak prirodzenou cestou, alebo antropogénnou činnosťou človeka, t.j. reintrodukciou viacerých druhov, častokrát neodborným spôsobom alebo sekundárne zavlečením. Tieto druhy sú väčšinou veľmi expanzívne, z pôvodnej ekologickej niky vytlačujú naše pôvodné druhy a expanzívnu populačnou dynamikou veľmi rýchle zaujímajú ich miesto. Uvedený jav pozorujeme aj u bezstavovcov, napr. lastúrnika *Anodonta woodiana*, ktorý sa dostal pravdepodobne do Európy v štádiu glochidií na žiabrách ryby amura bieleho, sa veľmi rýchlo šíri dunajskou južnou cestou do ústia rieky Ipel' (HALGOŠ, 1999) a vytlačuje naše pôvodné druhy z rodu *Anodonta*. V ústí rieky Ipel' sme zistili až 50% zastúpenie tohto lastúrnika, čo je znakom jeho veľkej ekologickej plasticity a expanzie.

Alarmujúce je rozširovanie škodcov, ktoré nemajú v našich podmienkach prirodzených nepriateľov. V ostatných rokoch sme svedkami šírenia, prípadne rekolonizácie strednej Európy živočíchmi pochádzajúcimi z mediteránu. Invázia je proces okupácie nových biotopov, ktorý postupuje cyklicky alebo jednosmerne ako odpoveď na súčasný interglaciál. Sila invázie je daná odporom parazitov, zmenou klímy a najmä znížením odolnostného potenciálu hostiteľských zdrojov potravy. K významným škodcom obilnín v celej strednej a východnej Európe patrí v posledných rokoch voška *Diuraphis noxia*, ktorá sa podľa názoru viacerých

zahraničných špecialistov šíri smerom na sever pod vplyvom zmenených klimatických podmienok. Na Slovensku bol zistený prvý nález tohto druhu v roku 2000 a v roku 2001 už patrí k dominantným druhom škodcov obilnín (LUKÁŠ et al., 2001). Ďalším z príkladov invadujúcich druhov je ploskáčik pagašťanový (slovenský názov podľa plochej húsenice) (*Cameraria ohridella*), húsenice ktorého mínujú listy pagašťana konského (MAJZLAN, BAŤALÍK, 2000).

Vážnym problémom je v súčasnosti šírenie invázných druhov rýb. V posledných rokoch sa začínajú postupne objavovať pre našu ichtyofaunu nové druhy rýb, prenikajúce z dolnej časti Dunaja, resp. objavujúce sa vo vodách východného Slovenska (Tisa, Latorica, Uh). Ide predovšetkým o ryby z čeľade býčkovité (*Gobiidae*), z tejto čeľade sa u nás donedávna vyskytoval iba jeden zástupca býčko škvrnitý *Proterorhinus marmoratus*, Pallas 1814. Jeho výskyt sa obmedzuje len na juhozápadné Slovensko. V roku 1996-97 sa v Dunaji eviduje nový zástupca z tejto čeľade – býčko Kesslerov (*Neogobius kessleri*, Günther, 1861) a dnes jeho výskyt pokrýva celý tok Dunaja a spodnú časť jeho prítokov (Ipeľ, Hron, Váh, Malý Dunaj). V dolnej časti rieky Moravy jeho výskyt zatiaľ nie je overený. Tento druh uprednostňuje prúdiacu vodu s množstvom úkrytov. Podľa doterajších poznatkov je vážnym konkurentom pre druhy obývajúce zhodné lokality. Iný druh z čeľ. *Gobiidae* bol zistený v Karloveskom ramene pri Bratislave. Dosiaľ sa eviduje len jeden exemplár *Neogobius gymnotrachelus* (Kessler, 1854). Posledným zástupcom tejto čeľade, ktorý bol u nás ulovený, je býčko riečny - *Neogobius fluviatilis*, Pallas, 1811. V tomto roku bolo v úseku Dunaja od Štúrova po sútok s Hronom ulovených 22 exemplárov. Zdržiava sa na piesčitých častiach toku a vyskytuje sa spolu s druhom *N. kessleri*. Nie je známe, kam sa doteraz dostal proti toku Dunaja, ale doterajšie poznatky naznačujú, že podobne ako *N. kessleri* pokryje aj on plošne litorálne časti celého toku aj s jeho prítokmi (STRÁŇAI, ANDREJI, 2001).

Návrhy na ďalší postup riešenia alebo na realizáciu výsledkov

V ďalšom období sa treba zamerať na druhy, ktoré sú týmito zmenami najviac ohrozené, na druhy šíriace sa z teplejších oblastí so zameraním na významné indikačné druhy, poľnohospodársky a zdravotnícky významné druhy ako vo vodnom, tak aj terestrickom prostredí. Potrebná bude spolupráca s hydroológmi vzhľadom na už prebiehajúce zmeny v hydrologickom režime stojatých a tečúcich vôd, s klimatológmi hlavne pri riešení otázok spojených so zmenami suchozemskej fauny a flóry. Potrebné sú aj dlhodobé údaje o fyzikálno-chemických parametroch vôd a ovzdušia.

Pri štúdiu klimatických zmien v biocenózach je niekedy veľmi ťažko oddeliť priame dôsledky postupných - pomalých zmien, ktorých prejav má dlhodobý charakter od antropických, ktoré mnohokrát prekrývajú zmeny v živých systémoch, spôsobené globálnymi klimatickými účinkami. Vplyv kyslých dažďov má typický antropogénny charakter, ale pri klimatických zmenách dochádza aj k zmenám vzdušného prúdenia, ktoré môže nadobudnúť plošný charakter. Podobne aj rastúci skleníkový efekt, ktorý je spôsobený hlavne antropogénnym faktorom, sa niekedy prekrýva s klimatickými zmenami, ktorých efekt, ako bolo už uvedené, je pomalý a dlhodobý. Antropogénne zmeny na malých plošných územiach môžu slúžiť ako pokusné pracoviská (môžu simulovať zmeny na kontinentoch). Napr. oteplenie oceánu o 1 °C, zmeny teploty vody alebo vzduchu zapríčinia také zmeny, pri ktorých možno ťažko predvídať ich význam a dosah ako na človeka, tak aj na živú a neživú prírodu.

Literatúra

- AHNELT, H. & HOLČÍK, J. 1996. Distribution of two species of the genus *Neogobius* (Pisces: Gobiidae) in the catchment area of the southern Caspian sea. *Acta Univ. Carolinae, Biologica* 40: p. 99-114.
- BITUŠÍK, P. 1994a. Preliminary report of responses of sub-fossils chironomids (Diptera: Chironomidae) in the lake Starolesnianske pleso (The High Tatra mts., Slovakia) to acidification. of lake water, p. 28-33. In: Miklošovičová, L. (ed.) Zborník referátov 10. Limnologickej konferencie, Stará Turá, 28 33, Slovenská limnologická spoločnosť pri SAV, Bratislava.
- BITUŠÍK, P., KUBOVČÍK, K., 1999. Sub-fossil chironomids (Diptera: Chironomidae) from the sediments of the Nižné Terianske pleso (High Tatra Mts., Slovakia). *Dipterologica bohemoslovaca* 9: p. 11 - 20.
- BULÁNKOVÁ, E., 1999: Zmeny v druhovom zložení vážok (Odonata) Podunajskej roviny za posledných tridsať rokov. *Entomofauna Carpathica*, 11/1: s. 1-5.
- BRODERSEN, K.P., ANDERSON, N.J., 2000: Subfossil insect remains (Chironomidae) and lake water temperature inference in the Sisimiut-Kangerlussuaq region, southern West Greenland, p. 78-82. In: DAVES, P.R., HIGGINS, A.K. (ed.): Review of Greenland activities 1999. *Geology of Greenland Survey Bulletin*, 186.
- DAVID, S., 2000: Stav a príčiny očakávaných zmien biodiverzity vážok (Insecta: Odonata) na Slovensku. *Acta environmentalia Universitatis Comenianae*, 10: s. 163-169.
- EINARSSON, A., HAFLIDASON, H., 1988: Predictive paleolimnology.: Effects of sediment dredging in Lake myvatn, Iceland. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, p. 23: 860-869.
- HALGOŠ, J., 1999: Hromadný výskyt lastúrnika *Anodonta woodiana* (Lea, 1834) na Slovensku. *Folia faunistica Slovaca*, 4: 25 pp.

- JALIL, N., HALGOŠ, J., LABUDA, M., 2001: Dôležitosť zdravotníckeho významu komárov vzhľadom na klimatické podmienky, s. 34-34. In: Holková, R. Ondriska, F., Klobušický, M. (eds.) Zborník Aktuálne problémy humánnej parazitológie a klinický deň o problémoch diagnostiky a terapie toxoplazmózy. Slov. parazitologická spoločnosť, Bratislava.
- KRNO, I. 1991a. Macrozoobenthos of the Tatra lakes littoral (The High Tatras) and its affection by acidification. *Biológia (Bratislava)* 46: p. 495-508.
- KRNO, I. 1991b. Makrozoobentos litorálu jazier Západných Tatier a ich odtokov. Zborník prác o TANAP 31: s. 217-227.
- KRNO, I. 2001: Macrozoobenthos of two different catchment areas of the high-montane Tatra lakes and its influencing by acidification. In: Janiga, M. & M. Korňan (Eds.), *Postavenie Slovenského ekologického výskumu vysokých pohorí v Európe i vo svete*. Prunella Publishers, Ružomberok, Slovakia, pp. (v tlači).
- MAJZLAN, O., BAŤALÍK, P., 2000: Ploskáčik pagaštanový (*Cameraria ohridella*), invázny druh našej fauny (*Lepidoptera: Lithocolletidae*). *Hmyz* 2: s. 4-6.
- LUKÁŠ, J., TÓTH, P., CAGÁN, L. 2001: First record of *Diuraphis noxia* (Homoptera, Aphididae) from Slovakia. *Biologia (Bratislava)* 56: 482 pp.
- PELLATT, M.G., SMITH, M.J., MATHEWS, R.W., WALKER, I.R., PALMER, S.L., 2000: Holocene treeline and climate change in the subalpine zone near Stoyoma Mountain, Cascade Mountains, southwestern British Columbia, Canada. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 32 (1): p. 73-83.
- SMITH, M.J., PELLATT, M.G., WALKER, I.R., MATHEWS, R.W., 1998: Postglacial changes in chironomid communities and inferred climate near treeline at Mount Stoyoma, Cascade Mountains, southwestern British Columbia, Canada. *Journal of Paleolimnology*, 20: p. 277-293.
- STRÁŇAL, I., ANDREJ, J., 2001: Býčko riečny - (zatiaľ) posledný invázny druh z čeľade býčkovitých. *Polovníctvo a rybárstvo* 53: s. 44-45.
- STUCHLÍK, E., J. DARGOCKÁ, KNESLOVÁ, P., 1993. Limnology of small strongly acidified high mountain lake. In: Černý, J. (Ed.), *Integrated monitoring of Air pollution effects on ecosystems*. Czech Geological Survey, Prague, Czech Republic, p. 278-279.
- ŠPORKA, F., P.G. APPLEBY, BITUŠÍK P., J. A. DEARING, C. KAMENIK, I. KRNO, A. LAMI, , N. ROSE, N. E. SHILLAND, & E. ŠTEFKOVÁ 2001. The paleolimnological analysis of sediments from high mountain lake Nižné Terianske pleso in the High Tatras (Slovakia). *J. Paleolimnology* (v tlači).
- ŠTEFKOVÁ, E., ŠPORKA, F., 2001: Long-term ecological research of high mountain lakes in the High Tatras. *Ekológia (Bratislava)*, 20: p. 101-106.
- WALKER, I.R., 1987: Chironomidae (Diptera) in paleoecology. *Quaternary Science Reviews*, 6: p. 29-40.
- WALKER, I.R., WILSON, S.E., SMOL, J.P., 1995: Chironomidae (Diptera) quantitative paleosalinity indicators for lakes of western Canada. *Canadian Journal Fisheries and Aquatic Sciences*, 52: p. 950-960.

THE INFLUENCE OF CLIMATIC CHANGES ON THE STRUCTURE OF ZOOCENOSES

Jozef Halgoš, Eva Bulánková
Katedra ekológie Prírodovedeckej fakulty UK
e-mail: bulankova@fns.uniba.sk

ABSTRACT

Authors describe the influence of climatic changes on the structure of zoocenoses in aquatic and terrestrial ecosystem. Lakes situated above natural timberline both the arctic and alpine regions are considered to be excellent indicators of environmental changes, they are threatened by acid deposition, toxic air pollutants and by climatic changes. As object of paleolimnobiological studies were chosen Nižné Terianske pleso and Starolesnianske pleso in High Tatras. In strong acidified Starolesnianske pleso live only eurytop palearctic polyvoltin species of macrozoobenthos. The absence of rheobiontic/rheophilic taxa in the most recent sediments could be evidence of air temperature raising. In terrestrial ecosystem climatic changes manifestate in penetration of thermophilous and invasive species such as *Anodonta woodiana* (Mollusca, Bivalvia), *Crocothemis erythraea* (Insecta, Odonata), *Diuraphis noxia* (Insecta, Homoptera), *Cameraria ohridella* (Insecta, Lepidoptera), *Neogobius kessleri* (Pisces, Gobiidae).

VPLYV PREDPOKLADANÝCH KLIMATICKÝCH ZMIEN NA MINERALIZÁCIU PÔDNEJ ORGANICKEJ HMOTY

Miroslav Kromka, Katedra pedológie PRIF UK Bratislava

1. Úvod

Problematika možných dôsledkov klimatických zmien sa dotýka prakticky všetkých oblastí prírodných socio-ekonomických sfér. Najvýraznejšie sa tieto zmeny prejavujú v poľnohospodárskej a lešnickej prvovýrobe. Významné ovplyvnenie teplotných a zrážkových režimov bude mať dopad na primárnu produkciu agroekosystémov a lešných ekosystémov. Zmeny štruktúry vegetácie a s tým spojené charakteristiky kvantity a kvality rastlinného odpadu sa zákonite odrazia aj na vlastnostiach pôdy. Súčasný, relatívne stabilný stav obsahu pôdnej organickej hmoty v pôdach Slovenska, môže byť radikálne zmenený v dôsledku ovplyvnenia prísunu organického odpadu, jeho následnej transformácie do humusových látok, a teda obohatenia pôdneho profilu.

Na druhej strane, zmenené hydrotermické pomery ovplyvňujú aj rýchlosť mineralizácie humusu, zníženia množstva organických látok v pôde.

Tvorba a mineralizácia pôdnej organickej hmoty je jedným z najdôležitejších parametrov biologickej aktivity pôdy a má v konečnom dôsledku významný vplyv na základné funkcie pôdy. Od kvantity a kvality organo-minerálnej zložky pôdy závisia fyzikálne vlastnosti, vodno-vzdušný režim, akumulácia a pufračná schopnosť a v konečnom dôsledku i jej produkčná funkcia.

Konkrétne prognózy vývoja zásob humusových látok v pôdach môžu napomôcť pri plánovaní agrotechnických zásahov, organického hnojenia, prípadne zmeny skladby pestovaných plodín na klimatickými zmenami ovplyvnených územiach.

Predpovede vývoja klímy v stredoeurópskom regióne, súčasťou ktorého je Slovensko, ukazujú, že v najbližšom období dôjde k miernemu otepľovaniu ovzdušia a súčasnému zníženiu zrážok na časti nášho územia. Očakávané sú tiež významné zmeny v rozdelení zrážok počas jednotlivých ročných období.

Klimatické zmeny môžu výrazne ovplyvniť fyzikálno-chemické a najmä biologické vlastnosti pôd a teda i celkovú bilanciu pôdnej organickej hmoty.

Cieľom tejto práce je zhodnotiť potenciálny vplyv očakávaných zmien na hromadenie, resp. degradáciu humusových látok v pôdach.

2. Základné metodické princípy

Pôdna organická hmota, všeobecne nazývaná humusom, je tvorená komplexom zložitých organo-minerálnych zlúčenín, vznikajúcich v dôsledku rozkladu rastlinných a živočíšnych zvyškov a ich následnej transformácie pôsobením pôdných mikroorganizmov a mimobunkových enzýmov.

V recentných pôdach sú obsahy a kvalita humusu relatívne stabilné veličiny a patria k základným parametrom charakterizujúcim jednotlivé pôdne typy. Procesy tvorby (akumulácie) humusu a jeho rozkladu (mineralizácie) sa nachádzajú v stave dynamickej rovnováhy.

Táto rovnováha však môže byť vplyvom vonkajších faktorov posunutá buď smerom k zvýšeniu akumulácie pôdnej organickej hmoty, alebo, naopak, aktivácii procesov mineralizácie humusu.

Pokúsime sa preto vyhodnotiť vplyv zmien teplotného a vodného režimu na tvorbu pôdnej organickej hmoty na strane jednej a jej potenciálnu mineralizáciu na strane druhej. Výsledná bilancia týchto dvoch protichodných procesov umožní posúdiť smerovanie súčasného relatívne stabilného rovnovážneho stavu jedným, alebo druhým smerom.

Určítym východiskom pri odhadoch dopadov očakávaných zmien sú skúsenosti z minulosti poľnohospodársky využívaných území, na ktorých došlo k aridizácii, a podobných, i keď nie totožných vplyvov vyrúbania lesov v Stredomorí, vypásania dobytkom v Severnej Afrike a Malej Ázii (ADAMS A KOL., 1990) a tiež znalosti o vplyve teploty a vlhkosti prostredia na biochemických aktivity, kinetické parametre populácii pôdných mikroorganizmov a extracelulárnych enzýmov na tvorbu, resp. deštrukciu organo-minerálnej zložky pôdy.

Na základe analýzy vplyvu parametrov atmosféry, teplotných a zrážkových pomerov, skúsime načrtnúť možné zmeny vlastností pôdy a rastlinného krytu a odhadnúť tak možný vplyv zmenených klimatických faktorov na bilanciu pôdnej organickej hmoty.

3. Vplyv očakávaných klimatických zmien na akumuláciu pôdnej organickej hmoty

Organická zložka pôdy zahŕňa skupinu látok biologického pôvodu, medzi ktoré patria organické zvyšky (rastlinné a živočíšne tkanivá, ktoré si čiastočne alebo úplne zachovali anatomickú štruktúru) a charakteristické špecifické a nešpecifické zlúčeniny (ORLOV, 1985).

Podiel čiastočne rozložených rastlinných a živočíšnych zvyškov na celkovom množstve organických látok v minerálnych pôdach zvyčajne neprevyšuje 5 – 10% a vyskytuje sa najmä v nadložnom humuse lesných pôd. Jeho zásoby sa podľa Šályho v našich lesných pôdach pohybujú v rozmedzí 10 – 100 t.ha⁻¹ (ŠÁLY, 1988).

Humus – najdôležitejšia súčasť pôdnej organickej hmoty, v ktorej sa nevyskytujú ani náznaky anatomickej štruktúry organizmov, obsahuje jednak špecifické humusové látky (humínové kyseliny, fulvokyseliny, humín a humáto-melanínové kyseliny) typické iba pre pôdy a tiež nešpecifické, extrahovateľné organické látky (cukry, aminokyseliny, bielkoviny, org. zásady, lipidy, org. kyseliny a pod) (KAURIČEV, 1989)

Hlavným zdrojom a predpokladom obohacovania pôdy organickou hmotou je primárna produkcia biomasy fotoautotrofnými organizmami - rastlinami. Prísun organických látok vo forme nadzemného - listového a podzemného - koreňového opadu je dôležitý prvok tvorby organo-minerálnych humusových zlúčenín, a teda aj bilancie pôdnej organickej hmoty.

Premena rastlinného opadu na zložité humusové látky závisí od fyzikálno-chemických vlastností pôdy, teploty, pôdnej vlhkosti a od nich odvodennej mikrobiálnej aktivity. Opad pôsobí na pôdy ako prirodzené hnojivo a je hlavným energetickým materiálom potrebným pre život dekompozitorov (ČABOUN, 1996).

Rastlinný materiál sa v prirodzených, najmä lesných ekosystémoch do pôdy dostáva formou listového a koreňového opadu a na poľnohospodársky obhospodarováných pôdach vo forme pozberových zvyškov.

Všeobecne prevláda názor, že lesné pôdy obsahujú viac uhlíka ako pôdy nelesné. Pri transformácii lesnej pôdy na nelesnú dochádza k stratám pôdnej organickej hmoty, naopak, pri zalesnení dochádza k postupnej akumulácii uhlíka v pôde (MINDÁŠ, 1996). Je to spôsobené relatívne sporadickým odnosom uhlíka v produkcii (drevnej hmote) z lesných ekosystémov, na rozdiel od každoročného zberu a odnosu časti biomasy z poľnohospodársky obrábaných plôch. V lesných ekosystémoch (najmä širokolistné lesy) každoročný opad významným spôsobom obohacuje pôdy organickými látkami - produktami fotosyntézy. Niektorí autori (WALTER, 1968, cit. KODRÍK, 1993) uvádzajú, že ročná opadanka môže tvoriť 5-10 % z celkovej zásoby biomasy. Pre naše podmienky Šály, 1978 (cit. BENČAĽ, 1996) uvádza množstvo opadu v priemere 6-12 t.ha⁻¹, z čoho 3-5 t.ha⁻¹ tvorí samotný opad drevín, 1-3 t.ha⁻¹ opad bylín a 2-4 t.ha⁻¹ celkový koreňový opad. Vzhľadom na relatívne dlhú rubnú dobu našich drevín (60-80 rokov) je preto pre celkovú bilanciu oveľa priaznivejší pomer totálneho odnosu organických látok v drevnej hmote k pomeru uhlíka v každoročne produkovanom opade v lesných ekosystémoch, ako je tomu u poľnohospodárskych kultúr. Pri pestovaní základných poľnohospodárskych plodín - obilnín, ryže a kukurice - sa celá jedna tretina čistej produkcie odnáša z polí vo forme jedlých produktov, a u zemiakov je to takmer polovica vyprodukovanej biomasy (BENČAĽ, 1996).

Čiastočne môže byť tento deficit vyrovnávaný hnojením organickými a zelenými hnojivami. Ak vychádzame z predpokladu, že input organickej hmoty je jednou z premenných pri tvorbe a akumulácii humusu, má veľký význam odhad bioprodukcie ekosystémov v dôsledku očakávaných klimatických zmien.

Produkcia primárnej biomasy závisí od mnohých faktorov. Ak vylúčime faktory, ktoré v relatívne krátkom časovom horizonte očakávaných klimatických zmien nebudú ovplyvnené (pôdny typ, expozícia a pod.), najvýraznejšie sa prejavujú zmeny v chemickom zložení atmosféry (rast koncentrácie skleníkových plynov) a zmeny tepelných a zrážkových pomerov.

3.1. Vplyv rastu koncentrácie CO₂ na tvorbu rastlinnej biomasy

Celosvetová priemerná teplota vzduchu sa zvyšovala počas celého 20. storočia a v roku 1995 bola vôbec najvyššia od roku 1865 (počiatku priamych meraní). Scenáre zmeny klímy v tomto storočí sa netýkajú prirodzených zmien klímy, ale hovoria o možnej modifikácii dlhodobého vývoja klímy v dôsledku antropogénne podmieneného rastu skleníkového efektu atmosféry (LAPIN, 1996).

Tab. 1 Charakteristika hlavných skleníkových plynov;

Tab. 1 Characteristics of the most important greenhouse gases (Kalvová, 1991)

Skleníkové plyny	CO ₂ ppm	CH ₄ ppm	CFC-11 ppt	CFC-12 ppt	N ₂ O ppb
Koncentrácia predindustriálna (1750-1800)	280	0,79	0	0	288
súčasná (1990)	353	1,72	280	484	310
Ročný prírastok	1,8 0,50%	0,015 0,90%	9,5 4%	17 4%	0,8 0,25%
Doba zotrvania v atmosfére v rokoch	50-200	10	65	130	150
Radiačná účinnosť v prepočte na molekulu CO ₂	1	11	3400	7100	270
Potrebná redukcia	>60%	10%	70-75%	75-85%	70-80%
Príspevok k radiačným účinkom					
1990	55%	15%	24% CFC spolu		6%
2070			14,8% CFC spolu		1,30%

Rast koncentrácie skleníkových plynov v atmosfére, a s ním spojená teória o zvyšovaní celosvetovej teploty atmosféry, je v súčasnosti všeobecne uznaným faktom (US.C.S.P, 1994).

Názvom skleníkové plyny sa obyčajne označuje skupina radiačne aktívnych plynov ovplyvňujúca tepelnú bilanciu atmosféry a následne zemského povrchu.

Na základe charakteristiky vybraných skleníkových plynov (tabuľka 1), je evidentný ich nárast v súčasnej industriálnej dobe. Nárast koncentrácie CO₂ o 30 % a N₂O o takmer 15 % za posledných 150 rokov jednoznačne potvrdzuje, že príčinou je človek so svojim spaľovaním fosílnych palív a intenzívnou chemizáciou poľnohospodárstva (produkcia N₂O v dôsledku denitrifikácie a nitrifikácie).

Napriek rozdielom v rôznych typoch klimatických scenárov sa výpočty zhodujú v tom, že okolo roku 2075 dôjde k zdvojnásobeniu koncentrácie CO₂ v atmosfére Zeme a následne otepleniu atmosféry asi o 2,5 °C, v porovnaní oproti stavu pred 50 až 100 rokov (LAPIN, 1996). Zmeny sa dajú očakávať aj v lúčnych spoločenstvách a agroekosystémoch. Fotosyntetická asimilácia CO₂ je kľúčovým fyziologickým procesom v biosfére, od ktorého závisí primárna produkcia biomasy. Na základe údajov EPRON ET AL. (1996) fotosyntéza priamo reaguje na zvyšovanie koncentrácie CO₂ v atmosfére a môže mať pozitívny efekt na zvýšenie biomasy C3 rastlín (všetky naše dreviny a väčšina poľnohospodárskych kultúrnych plodín).

Tab.2. Koncentrácia CO₂ predpokladaná na území Slovenska podľa modelu DSSAT3

Tab 2 Suspected CO₂ concentration by the DSSAT model in the Slovak Republic
(Šiška, Mališ, 1997)

Rok	Koncentrácia CO ₂ (ppm)
1951-1980	330
2010	370
2030	440
2075	670

Podľa poznatkov ADAMSA ET AL. (1990), ŠIŠKU A MALIŠA (1997), ktoré vychádzajú z prognóz zdvojnásobenia koncentrácie CO₂ do r. 2075 (tabuľka 2), sú predpoklady zachovania vysokých úrod obilnín aj na značne zmenšenej ploche obrábaných pôd.

LUXMOORE ET AL. (1993) (cit. MINĐAŠ, ŠKVARENINA, 1994) vychádzajúc z predpokladu, že koncentrácia CO₂ sa zvýši dvojnásobne, analyzoval výsledky 28 štúdií a došiel k záveru, že priemerne sa fotosyntéza zvýši 1,46 - krát (t.j. o 46 %).

Analýza výsledkov porovnania 398 pozorovaní rastu sadeníc pri dvojnásobku CO₂ je zhrnutá v tabuľke (tab. 3).

Tab.3. Nárast biomasy drevín pri dvojnásobnom zvýšení koncentrácie CO₂; The tree biomass growth as for the twofold CO₂ concentration growth. (Luxmoore et al., 1993)

priemerné zvýšenie rastu (nárast sušiny):	1,32	- krát
boreálne druhy:	1,38	- krát
teperátne a tropické druhy:	1,25-1,31	- krát
priemerný nárast sušiny podľa časti drevín		
listy:	1,33	- krát
kmene:	1,29	- krát
korene:	1,38	- krát
plocha listov:	1,13	- krát

Zvýšenie prírastkov o 60 % pri dvojnásobnom raste koncentrácie CO₂ pri C3-type rastlín pozoroval tiež KIMBALL ET AL. (1993). Z týchto pozorovaní sa dá usudzovať, že významne vzrastie najmä produkcia biomasy listov a koreňov, teda tých častí drevín, ktoré sa v najväčšej miere podieľajú na každoročnom prísune organickej hmoty do pôdneho profilu.

Pozitívny vplyv zvýšeného obsahu CO₂ na celkovú bilanciu uhlíka najmä v úrodnejších pôdach predpovedá Bielek (BIELEK, 1999). Vyššia produkciu biomasy poľnohospodárskych plodín v rozsahu 10 – 40% vďaka efektívnejšej fotosyntéze, pri dodržaní optimálnych podmienok svetla, vlhky a prístupných živín môže eliminovať negatívny dopad pokračujúceho trendu zmenšovania výmery poľnohospodárskych resp. orných pôd. Prognózy spracované Jamborom (JAMBOR, 1999) sú zostavené do nasledujúcej tabuľky (tab. 4), predpovedajú nárast produkcie pšenice a jačmeňa o 20-30% v porovnaní s deväťdesiatymi rokmi minulého storočia, napriek značnému zníženiu celkovej výmery oraných plôch.

Tab. 4. Nárast produkcie niektorých poľnohospodárskych plodín do roku 2075;
Tab. 4 Some crop production uptake till the year 2075 (Jambor, 1999)

Tab. 4 Some crop production uptake till the year 2075 (Jambor, 1999)										
Plodina	výmera (tis.ha)			úroda (t.ha ⁻¹)			celková úroda (tis.t)		nárast (%)	
	súčasnosc'		2075	súčasnosc'		2075	súčasnosc'			2075
pšenica	420,00	*	370,00	5,22	*	7,60	2192,40	*	2812,00	28
jačmeň	245,20	**	160,00	3,60	**	6,70	882,72	**	1072,00	21
kukurica	137,65	**	110,00	5,70	**	9,80	784,61	**	1078,00	37
cukrová repa	60,00	***	60,00	30,64	***	64,00	1838,40	***	3840,00	109
zemiaky	24,38	**	15,00	17,70	**	38,00	431,49	**	570,00	32
spolu	887,23		715,00				6129,62		9372,00	53

* - 1991; ** - 1997; *** -1986

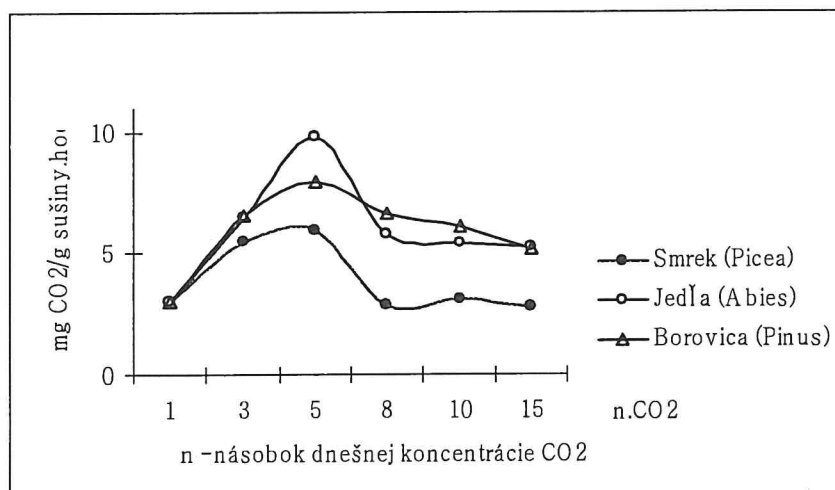
Toto konštatovanie však vyvoláva obavu, že plochy, ktoré nebudú intenzívne využívané na priamu produkciu potravín z dôvodov rastúcich nárokov na závlahy, budú o to intenzívnejšie podliehať zvýšenej mineralizácii humusu spôsobenej deficitom vstupov organických látok a prevzdušneniu zóny aerácie pôd.

Iné pozorovania varujú pred prílišným preceňovaním pozitívneho vplyvu rastu koncentrácie CO₂. Efektívnosť využitia fotosynteticky aktívneho žiarenia klesá s rastom koncentrácie CO₂ Kalina, Marek 1996 (cit. KMEŤ ET AL. 1996). Redukcia rýchlosti fotosyntézy môže byť tiež dôsledkom zníženia aktivity a množstva enzýmu RuBISCO, resp. praskaním chloroplastov pri nadmernej akumulácii sacharidov v asimilačnom pletive ihlič smreka. (KMEŤ ET AL. 1996).

Zvýšenie koncentrácie CO₂ o 100 % redukuje stomatálnu vodivosť rastlín až o 60 % a činnosť prieduchov a teda i rýchlosť asimilácie CO₂ závisí aj od takých faktorov, ako sú vodný režim a koncentrácia ozónu (MINĐAŠ, ŠKVARENINA, 1994). BAZZAZ A SOMBROEK (1996) upozorňujú, že pri vyšších koncentráciách CO₂ sa zmenšuje otvorenie prieduchov o 30-60 %, čo však hodnotia ako pozitívum znižujúce vodné straty v dôsledku evapotranspirácie.

Niektorí autori upozorňujú na to, že náhle zvýšenie koncentrácie CO₂ v spojení so zvýšením teplôt a nižšími zrážkami môže spôsobiť degradáciu pôdy, znížiť dostupnosť živín čo v konečnom dôsledku negatívne ovplyvní produkciu biomasy (BAETHGEN, 1997, cit. JAMBOR, 1999).

Ako vidieť, rastová odpoveď rastlín na rast koncentrácie oxidu uhličitého v atmosfére nie je jednoznačná, napriek tomu pri jej dvojnásobnom zvýšení v najbližších desaťročiach je možné uvažovať s určitým kladným efektom Burschel - Weber (1990) (cit. MINĐAŠ, ŠKVARENINA, 1994).



(Burschel – Weber, 1990 ex. Minďaš, Škvarenina, 1994

Obr.1 Účinok zvyšovania koncentrácií CO₂ na fotosyntézu v laboratórnych podmienkach

Fig. 1 Effect of CO₂ concentrations increasing on photosynthesis rate in the controlled conditions

3.2. Zmeny teploty a vlhkosti a ich odraz na bioprodukcii

Oxid uhličitý je jednou zo základných príčin otepľovania atmosféry, a ako sme uviedli vyššie, zároveň činiteľom, ktorý môže mať veľmi signifikantný vplyv na aktivitu fotosyntézy, a teda i primárnej produkcie rastlinnej biomasy.

Nemenej dôležité sú však aj faktory teploty a vlhkosti, k výraznej zmene hodnôt ktorých dochádza v dôsledku rastu skleníkového efektu. Vzhľadom na nerovnomernosť rastu teploty vzduchu na zemskom povrchu sa očakávajú výrazné zmeny atmosférickej cirkulácie, a teda i časovej a priestorovej distribúcie zrážok.

Globálne zmeny atmosféry a ich vplyv na vodný a tepelný režim sa s najväčšou pravdepodobnosťou prejaví v celom komplexe priamych či nepriamych zmien na úrovni bunkových štruktúr, buniek, pletív, orgánov jednotlivých stromov a celých spoločenstiev. Toto sa prejaví jednak v zmene druhového zloženia lesných ekosystémov a následne v ich bioprodukcii (MINDÁŠ, ŠKVARENINA, 1994).

Podľa v súčasnosti používaných modelov regionálnych scenárov klimatickej zmeny pre územie Slovenska, vychádzajúcich z predpokladu, že koncentrácia CO₂ sa zvýši dvojnásobne, vzrastie priemerná ročná teplota na Slovensku o 2-4,5 °C a úhrn zrážok bude nižší o 10 až 15 % (LAPIN, 1996). Pomerne výrazne sa v týchto odhadoch líšia sever a juh Slovenska. Doterajšie predpoklady zmien vodnej bilancie na Slovensku naznačujú, že najnepriaznivejšia bude situácia v nížinných a pahorkatinných oblastiach (LAPIN, ŠIPÓCZ, 1991). Z hľadiska poľnohospodárskej výroby ide o oblasti s najvyšším produkčným potenciálom a najpriaznivejšími pôdno-ekologickými podmienkami. Zhoršenie vodnej bilancie (v prípade absencie adekvátnych hydromelioračných opatrení) môže spôsobiť zníženie celkovej produkcie poľnohospodárskych plodín, a teda i input organických látok do pôdy. V lesných ekosystémoch sa táto kritická situácia týka najmä 1.-3. lesného vegetačného stupňa s prevládajúcim výskytom duba a buka. Táto skutočnosť bude mať nepriaznivý vplyv na presychanie pôd najmä v rade D (karbonáty), čo môže viesť k deštrukcii lesa s nástupom stepných krovinných a bylenných druhov (MINDÁŠ, ŠKVARENINA, 1994). V prípade lesov, v ktorých sa nepoužívajú závlahy, teda hrozí ešte akútnejšie zníženie produkcie biomasy. Predpoklady, že oteplenie vyvolá posun doterajších lesných spoločenstiev smerom nahor o 400-500 m (FANTA, 1992), budú aktuálne zrejme až vo vzdialenejších časových horizontoch. Najdramatickejšie zmeny zrejme nastanú v hraničných vegetačných stupňoch, t.j. nížinných a horských oblastiach. MINDÁŠ A ŠKVARENINA (1994) vo svojej práci vyhodnotili pomocou Holdridge modelu potenciálne bioklimatické podmienky v súlade so scenármi všeobecných cirkulačných modelov (tab. 5).

Podľa tohto modelu sa v oblasti nížín na juhu Slovenska vytvoria bioklimatické podmienky pre nové spoločenstvá lesa teplej temperátnej zóny (21), a to na ploche 11,3 % plochy súčasných lesov. Dnes najrozšírenejšie spoločenstvo (15) výrazne nezmení rozlohu svojich bioklimatických podmienok (nárast cca o 3 %), avšak dôjde k jeho posunu z nížín do nízkych vysočín do takej miery, že úplne zaniknú podmienky pre spoločenstvo 10. V stredných vysočinách sa vyšpecifikujú podmienky pre spoločenstvo 16, pôvodne viazané len na oblasti vlhkých horských údolí. Tento scenár predpokladá úplný zánik alpínskych spoločenstiev 6 a ich náhradu bioklimatickými podmienkami subalpínskeho veľmi vlhkého lesa (11). Zaujímavým bude vznik stepných klimatických podmienok v kotlinách so silnejším zrážkovým tieňom, napr. Spišská kotlina.

Tab.5 Výskyt bioklimatických podmienok vegetačných formácií podľa Holdridge modelu pre podmienky súčasnej klímy a podľa scenárov všeobecných cirkulačných modelov (GCMs)

Tab.5 Occurrence of the Holdridge formations according to the current climate and GCMs scenarios (Mindáš, Škvarenina, 1996)

Vegetačné spoločenstvo podľa Holdridge klasifikácie	No	Dnešné klimatické podmienky	CCCM	GISS	GFD3
Alpínska (subpolárna) veľmi vlhká tundra	6	*			
Subalpínsky (boreálny) vlhký les	10	*			
Subalpínsky (boreálny) veľmi vlhký les	11	*	*	*	*
Chladná temperátna (montánná) step	14	*	*	*	
Chladný temperátny (montánný) mierne vlhký les	15	*	*	*	*
Montánný (chladný temperátny) vlhký les	16	*	*	*	*
Montánný (chladný temperátny) veľmi vlhký les	17				*
Teplý temperátny (nižší montánný) suchý les	21		*	*	*

No – číslo vegetačného spoločenstva podľa Holdridge klasifikácie (Holdridge, 1967)

CCCM (Canadian Climate Centre model), GISS (Godard Institute for Space Studies), GFD3 (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory)

Podľa tohto modelu sa dá teda predpokladať rozšírenie podmienok vhodných pre dubový i bukovo-dubový a bukový stupeň a, naopak, vytlačenie smrekovo-bukovo-jedľového a smrekového stupňa. Dopad na lesné hospodárstvo sa teda prejaví (MINDÁŠ A KOL. 1997) zmenami drevinového zloženia, a to prevládáním listnáčov a ústupom ihličnatých drevín (tabuľka č. 6). Vzhľadom na vyššie hodnoty každoročného prínosu organickej hmoty vo forme listového a koreňového opadu pôdneho profilu sa dá na predpokladať, že v lesných spoločenstvách dôjde k pozitívnemu ovplyvneniu bilancie pôdnej organickej hmoty. Vzhľadom na to, že práve sever Slovenska s výrazne vyšším zastúpením lesných ekosystémov bude mať pravdepodobne priaznivejšiu vodnú bilanciu (Ď, 1991), výrazne vyšší bude prínos organickej hmoty.

Tab. 6 Prognóza klimatických zmien do r. 2075 a lesy na Slovensku

Tab. 6 Prognosis of climatic changes till the year 2075 and forest conditions in the Slovak Republic (Mind'áš a kol. 1997)

Lesné porasty	Očakávané dôsledky	Strategické adaptačné opatrenia
do 500 m n. m.	- ústup buka - nástup xerothermných druhov spoločenstiev	- šľachtenie a selekcia generalistov - presuny proveniencií z južných oblastí - zabezpečenie pôdoochranej funkcie lesov - pestovateľská koncepcia dvojvrstvových porastov svetlomilných a tieňomilných drevín
500 až 1000 m n. m.	- všeobecný ústup ihličnanov (jedľa, smrek) - expansiona dubov	- udržanie a podpora biologickej a genetickej diverzity - vypracovanie a realizácia pestovateľskej koncepcie posilňovania zastúpenia buka ako hlavnej kostrybudúcich porastov s výrazným podielom duba (hraba) a cenných listnáčov
nad 1000 m n. m.	- rozpad ihličnanových monokultúr - expansiona buka a cenných listnáčov	- udržanie a podpora biologickej a genetickej diverzity - uplatňovanie prírode blízkych hospodárskych foriem s posilňovaním zastúpenia listnáčov v porastoch - posilňovanie vodohospodárskej a pôdoochranej funkcie lesov - rekonštrukcia hornej hranice lesa

Menej priaznivý predpoklad vplyvu zmien teplej a vodnej bilancie je na juhu Slovenska. Podľa modelu merania vlhkosti pôdy na základe rovníc energetickej a vodnej bilancie povrchovej vrstvy pôdy, ktoré popísal TOMLAIN (1997), je pre južnú polovicu Slovenska charakteristický klesajúci trend vlhkosti pôdy od marca po október. Je to spojené s postupným znižovaním úhrnov zrážok a zväčšovaním evapotranspirácie. V konečnom dôsledku takáto tendencia povedie k postupnej aridizácii alebo zostepňovaniu pôd v južnej polovici Slovenska. Všeobecne sa tiež predpokladá tendencia zhoršovania podmienok prezimovania plodín vplyvom chýbajúcej snehovej pokrývky (ŠURINA, SOBOCKÁ, 1999). Otepľovaním klímy v teplých nížinných poľnohospodárskych oblastiach sa očakáva urýchlenie mineralizácie organickej hmoty a humusu v pôde, predĺženie vegetačnej doby a nárast deficitu vlhky v pôde. K zabezpečeniu úrod poľnohospodárskych plodín v teplých oblastiach bude teda treba viac dodatkov vlhky, čím vzrastie význam zavlažovania. Vzhľadom na to, že práve juh Slovenska sa najvýraznejšie podieľa na výmere poľnohospodárskych pôd je pravdepodobné, že dôjde k zníženiu celkovej bioprodukcie, a teda i prínosu organickej hmoty vo forme pozberových zvyškov do pôdy.

Na základe uvedených odhadov možno teda očakávať, že klimatické zmeny spolu s rastom koncentrácie CO₂ pozitívne ovplyvnia tvorbu primárnej organickej hmoty najmä v lesných spoločenstvách v severnej, horskej časti Slovenska. Nárast nadzemnej a podzemnej biomasy môže dosiahnuť 30 %, a vzhľadom na to, že pri postupnej prevahe listnatých lesov sa 5-10 % z každoročnej produkcie bude dostávať do pôdy, pozitívne to ovplyvní bilanciú pôdnej organickej hmoty.

Menej priaznivá bude situácia v poľnohospodárskych pôdach. Značná časť výmery orných pôd sa dostane do podmienok nepriaznivých z hľadiska vodného a teplotného režimu. Pri nedostatočných závlahách hrozí zníženie produkčného potenciálu, a teda i prínosu organických látok do pôdy. Veľmi výrazne sa zmení druhová skladba plodín, najmä v prospech nezimujúcich obilnín, čo povedie k zvýšeniu podielu rýchlorozložiteľných pozberových zvyškov s nepriaznivým, širokým pomerom C:N. Nie sú známe kvalifikované odhady podielu krmovín s bohatým koreňovým systémom na budúcej celkovej výmere poľnohospodárskych pôd.

4. Straty pôdnej organickej hmoty pod vplyvom klimatických zmien

Znižovanie obsahu humusu v pôde je jav taký starý ako poľnohospodárstvo. Človek pri extenzívnom využívaní pôdy po vyčerpaní zásob živín a naštartovaní degradácie pôdnej organickej hmoty sa presúval na nové nevyčerpané pôdy. V pôvodne prírodných podmienkach je hromadenie organických látok a ich premena na humus prirodzeným pôdotvorným procesom. K hromadeniu organických látok prispievajú vlhké a teplé klimatické podmienky, pričom ich premenu na humus podporuje striedanie teplých (chladných) a vlhkých s teplými ale suchými podmienkami. Vo vlhkých podmienkach sa vytvára a hromadí v pôde organická hmota, ktorá pri suchých podmienkach podlieha transformácii na humus.

Najviac humusu obsahujú černozy, vznikajúce v lesných a lesostepných oblastiach s teplým letom a miernou zimou. Charakteristická pre tieto oblasti je semiaridná klíma, pre ktorú je charakteristické nerovnomerné rozdelenie zrážok počas roka spojené s deficitom vlhky v letnom, teplom období. V černozej oblasti Ukrajiny trvá obdobie s teplotami nad 10°C 150-180 dní, ročné zrážky sa pohybujú v intervale 300-400 mm a pomer zrážok k výparu sa pohybuje medzi 0,77-0,90. Pôda tu obsahuje 250-700 t.ha⁻¹ humusu vo vrstve hĺbokej 35-150 cm a viac, keď v povrchových vrstvách je 10-12 % humusu (KAURIČEV, 1989). V pôdach Slovenska je najviac humusu v čierniciach s maximom 650 t.ha⁻¹ a 6 % humusu (tab. 7).

Tab.7 Obsah humusu (t.ha⁻¹) v pôdnych typoch Slovenska

Tab.7 Humus content in the soil types of Slovakia

Pôdny typ	v celom pôdnom profile (t.ha ⁻¹)		v humusoakumulat. horizonte (%)	
	Lesné pôdy	Pol'nohosp. pôdy	Lesné pôdy	Pol'nohosp. pôdy
Regozem	50-110	40-90	0,5-1,4	0,4-1,3
Luvizem	160-190	85-190	2,8-3,5	1,1-3,0
Hnedozem	160-290	120-180	1,8-2,8	1,5-2,5
Pseudoglej a glej	140-230	120-180	1,9-3,2	1,8-2,3
Rendzina	100-240	130-210	2,0-6,0	2,0-3,0
Fluvizem	180-360	150-350	2,0-4,5	1,5-4,0
Podzol	300-560	300-550	5,0-12,0	5,0-10,0
Kambizem	160-600	130-450	3,0-6,0	2,0-3,0
Čiernica	350-650	200-600	3,2-6,5	2,5-6,0

4.1. Vplyv odlesnenia a obrábania na mineralizáciu humusu

Pri odlesnení, ktoré je obvyčajne prvou etapou poľnohospodárskeho využívania pôdy, dochádza k obrovským stratám organickej hmoty a humusu v pôde. V súčasnosti je to celosvetový problém. Vyklčovanie tisícov hektárov tropického dažďového pralesa v oblasti Amazonu v Brazílii spôsobilo totálne znehodnotenie pôdy. Snaha využiť tieto pôdy pre pestovanie poľnohospodárskych plodín sa skončila neúspechom. Aj v miernom klimatickom pásme klčovanie lesa a rozorávanie lúky má negatívny dopad na obsah humusu v pôde. Zmena hydrotermických pomerov v pôde napomáha urýchlenej mineralizácii na úkor humifikácii organických zvyškov. V čiernici po vyklčovaní lužného lesa a jeho premene na ornú pôdu sa obsah humusu znižuje na úroveň okolitých černoziem. Strata predstavuje priemerne 100 t.ha⁻¹ humusu. V povrchových vrstvách stredoeurópskych černoziem po ich rozoraní sa znížil obsah humusu zo 5-6 % na 2-3 % a teda až o polovicu. Z tab. 7 jednoznačne vyplýva, že v poľnohospodársky obrábaných pôdach na Slovensku je v porovnaní s lesnými pôdami nižší obsah humusu o 10-50 %. Tieto straty vznikli okamžite po vyklčovaní lesa alebo rozoraní lúky urýchlenu stratou pôdneho humusu v dôsledku jeho mineralizácie. Okrem straty C z pôdy v podobe CO₂ sa pri mineralizácii uvoľní aj nadbytočný N, ktorý je však v prevažnej miere využitý pestovanými poľnými plodinami.

V poľnohospodárskych pôdach prebiehajú súbežne humifikácia (hromadenie organického uhlíka z rastlinných zvyškov) a mineralizácia (úbytok organického uhlíka z humusu a rastlinných zvyškov). Len niektoré poľnohospodárske plodiny (lucerna, repka ozimná, ďatelina, fazuľa, hrach) zabezpečujú vyrovnanú bilanciu medzi humifikáciou a mineralizáciou organických látok v pôde. Deficit uhlíka nastáva najmä pri pestovaní zemiakov, kukurice, cukrovej repy a iných plodín, po ktorých zostáva len málo zvyškov. Bežný osevný postup (prevaha obilnín, málo okopanín a krmovín) nezabezpečuje vyrovnanú bilanciu. Preto v podmienkach mierneho klimatického pásma v Európe treba k vyrovnanej bilancii C v pôde hnojiť každý štvrtý rok 30-40 t.ha⁻¹ maštalného hnoja. Mineralizácia organických látok v pôde prebieha v úrodnejších pôdach úspornejšie ako v málo úrodných pôdach. Pre podmienky Slovenska stanovili JURČOVÁ A BIELEK (1997) ročné prírastky organického uhlíka zo zvyškov pestovaných plodín, ako aj jeho ročné straty podľa kvality stanovišťa (bonitované pôdno-ekologické jednotky) a skupín pestovaných plodín. Za predchádzajúcich 30 rokov zatiaľ v orných pôdach Slovenska nedošlo k stratám humusu v dôsledku ich obrábania. Podľa dlhodobých poľných pokusov v Rotamste (Anglicko), Halle (Nemecko), Moskve (Rusko) a inde pri nevhodnom obrábaní pôdy a nedostatočnom hnojení, prípadne nehnojení organickými hnojivami, dochádza k strate asi 1 % humusu v povrchových vrstvách za 30 a viac rokov.

Nevhodným hospodárením na pôde, podceňovaním organického hnojenia, môžeme teda zapríčiniť permanentnú stratu pôdneho humusu jeho nadbytočnou mineralizáciou v očakávaných kritických podmienkach.

4.2 Vplyv vysušania na mineralizáciu pôdnej organickej hmoty

Vysušovanie pôdy nastáva po jej odvodnení alebo znížení hladiny podzemnej vody v dôsledku výstavby vodných diel (urýchlená mineralizácia pôdneho humusu), prípadne pri aridizácii a desertifikácii územia (postupná mineralizácia pôdneho humusu).

Pokles hladiny podzemnej vody odvodnením alebo výstavbou vodných diel mení humifikačno-mineralizačné podmienky premeny organických látok v pôde. Mení sa vlhkostný režim pôdy a následne začnú prevládať procesy mineralizácie organických látok a humusu nad ich humifikáciou. Rozsah straty humusu nám približuje katastrofický scenár dôsledkov dunajského vodného diela Gabčíkovo-Nagymáros na poľnohospodárske pôdy. Našťastie pre iné technické riešenie sa tento nestal skutočnosťou. Podľa MIKLOS, BEDRNA a kol. (1989) mala celková nadmerná urýchlená mineralizácia humusu a organických látok zapríčiniť stratu 10 566 760 t humusu a organických látok z pôdy (tab. 8).

Tab. 8 Mineralizácia humusu (t.ha⁻¹ a % z celkového množstva) vplyvom poklesu hladiny podzemnej vody v okolí vodného diela Gabčíkovo-Nagymaros, katastrofický scenár

Tab. 8 Humus mineralization (total content) under effect of groundwater decrease in the surroundings of G-N dam, catastrophic scenario (Miklos, Bedrna a kol. 1989)

Druh pôdy	Obsah humusu v t.ha ⁻¹	Prognóza poklesu hladiny podzemnej vody v metroch						
		<- 4,0	-2,5 až -4,0	-2 až -2,5	-1,5 až -2,0	-1,0 až -1,5	- 0,5 až -1,0	> - 0,5
Š	100	- 50 (50 %)					-35 (30 %)	
	200	-100 (50 %)					-60 (30 %)	
P	100	- 50 (50 %)				- 35 (30 %)	bez strát humusu	
	200	-100 (50 %)				- 60 (30 %)		
	400	-200 (50 %)				-130 (30 %)		
H	100	- 50 (50 %)		- 35 (30 %)				
	200	-100 (50 %)		- 60 (30 %)				
	400	-200 (50 %)		-130 (30 %)				
I	100	-50 (50%)	-35 (30 %)					
	200	-100 (50%)	-60 (30 %)					
	400	-200 (50%)	-130 (30%)					
M	1500-1850	-1150 (65 %)				- 1250 (85%)		

Š - štrkovité pôdy; P - pôdy s piesočnatou a hlinitopiesočnatou podornicou;

H - pôdy s hlinitou, ílovitohlinitou a piesočnatohlinitou podornicou; I - pôdy s ílovitou podornicou;

M - rašeliný a močiare

Pri postupnej aridizácii a desertifikácii (premena na púšť) územia dochádza k postupným stratám pôdného humusu mineralizáciou. Desertifikácia pôdy sa zaznamenala už v Afrike (HULME, KELLY 1993) a v Ázii (VINOGRADOV A KOL. 1998). V globálnom meradle ju zobrazili pracovníci Environmentálneho centra Keizai Koho v Japonsku v roku 1994 (ENVIRONMENTAL AGENCY 1994). Ukazuje sa, že najväčšie plochy silného vysušovania pôdy v dôsledku globálneho otepľovania sa rozšírili najmä v Ázii, zatiaľ čo k extrémnemu vysušeniu pôdy s totálnym vyhynutím bioty došlo len na menších plochách iba v Severnej a Južnej Amerike. V súčasnosti predstavuje územie s arídnom klímou 61 mil. km². To je ale 40 % z celkovej plochy pevniny! Extrémne suché pôdy bez vegetácie sú na 9 mil. km² (6 % pevniny). Najväčšie plochy silne a stredne desertifikovaných pôd sú v Ázii a Afrike. Najmenej je postihnutá Antarktída a Európa. Zatiaľ čo donedávna sa diskutovalo k tejto problematike zdržanlivo, v súčasnosti sa tento problém stáva akútnym aj v oblasti strednej Európy. Najmä územie juhu a juhovýchodu Slovenska, patriace do oblasti s výraznou citlivosťou na klimatické zmeny, bude postihnuté znížením obsahu pôdnej vlhky v dôsledku intenzívnejšej evapotranspirácie a pravdepodobným poklesom hladín podzemných vôd na intenzívne poľnohospodársky využívaných územiach. Toto bude mať negatívny vplyv najmä na čierne a fluvizeme.

Skúsenosti spojené so zmenou klímy po presmerovaní riek a následnom vysychaní Aralského jazera môžu byť modelovým príkladom takýchto javov. VINOGRADOV a kol.(1998) zistili v Kalmyckej stepi pri Kaspickom mori, že v rokoch 1964-1979 tvorila v porovnaní s rokmi 1954-1964 strata humusu v pôdach na výmere 1175175 ha 10-30 % na 662850 ha 30-75 % a 258075 ha až 75-100 % z celkového obsahu uhlíka. V rokoch 1984-1993 sa proces vysušovania pôd a vytvárania pieskov bez porastu zmiernil s čiastočným následným obnovovaním pôvodných stepných ekosystémov.

4.3. Vplyv teploty a vlhkosti na enzymatickú aktivitu pôd

Očakávané klimatické zmeny prinesú okrem vplyvu na množstvo a charakter rozdelenia zrážok počas vegetačného obdobia priame zvýšenie priemernej ročnej teploty a teda i množstva celkovej energie vstupujúcej do biocenóz. Teplotné parametre vplývajú na charakter a bioprodukciiu vegetácie a ovplyvňujú prvotné vstupy organickej hmoty do pôdy. Procesy transformácie biomasy do humusových látok, a tiež ich mineralizácie, sú však predovšetkým výsledkom enzymatickej činnosti mikroorganizmov. Rýchlosť prebiehania reakcií katalyzovaných enzýmami závisí od mnohých parametrov. Jedným z najdôležitejších je i teplota pri ktorej reakcia prebieha.

Katalytické vlastnosti enzýmov spočívajú v ich schopnosti znižovať energetické bariéry biochemických reakcií. Už koncom IX. storočia popísal Arrhenius závislosť biologických katalyzátorov od teploty a pre reakcie prvého rádu, medzi ktoré patrí väčšina pôdných enzymatických aktivít, platí nasledujúci vzťah:

$$v_t = v_o \cdot e^{kt}$$

v ktorom t – čas ktorý prešiel od počiatku reakcie
 v_o – počiatočná rýchlosť reakcie

v_t – rýchlosť reakcie v čase t
 k – rýchlostná konštanta reakcie

$$\ln \frac{v_t}{v_0} = kt$$

Jedným zo spôsobov aktivácie enzymatických procesov je zvýšenie teploty. Toto sa prejavuje úmerným zvýšením hodnoty rýchlostnej konštanty reakcie – k s rastom teploty.

V experimentálnych podmienkach bola stanovená takáto závislosť pre rôzne pôdne typy. ALIJEV (1973) zistil, že v černozemi rýchlostná konštanta k rastie pri zvyšovaní teploty do 30°C a jej hodnoty sa pohybujú v intervale 1,22 – 1,67.10⁻⁴ sek. V gaštanovej pôde a šedozemi sú tieto konštanty nižšie, ale taktiež narastajú s teplotou (tabuľka 9).

Na základe koeficientu k boli stanovené teplotné koeficienty K_{10} (k_2/k_1), ktoré charakterizujú zvýšenie rýchlosti katalyzovaných reakcií pri raste teplôt o každých 10°C. V študovaných pôdach, až na výnimku šedozeme, presahovali hodnotu 1,0. Zníženie hodnoty K_{10} pri teplotách 30°C v šedozemiach svedčí o započatí teplotnej denaturácie katalázy.

Tab. 9 Aktivita katalázy v niektorých pôdnych typoch pri teplotách 10, 20, 30°C

Tab. 9 Catalase activity in some soil types at 10, 20, 30°C temperatures (Alijev, 1973)

Pôdny typ	Hĺbka (cm)	t , °C	k (n.10 ⁻⁴ sek.)	$K_{10} = k_2/k_1$
černozem	0-5	10	1,25	1,14
		20	1,42	
		30	1,55	
	5-20	10	1,22	1,25
		20	1,53	
		30	1,67	
gaštanová pôda	0-5	10	0,40	1,80
		20	0,71	
		30	0,84	
	5-20	10	0,43	1,82
		20	0,78	
		30	0,96	
šedozem	0-5	10	0,46	1,84
		20	0,85	
		30	0,67	
	5-20	10	0,46	1,70
		20	0,78	
		30	0,59	

Pre naše pôdy odvodil funkčné vzťahy spoločného pôsobenia teploty a vlhkosti BIELEK (BIELEK et al, 1980). Zistil, že pri bežne sa vyskytujúcich teplotách je faktor vlhkosti málo preukazný a v dvojfaktorovej analýze sa dominujúco prejavuje najmä teplota. Ak sa teda po roku 2025 zvýši teplota o 1°C a viac, nie je vylúčené, že to bude mať vplyv na znižovanie obsahu humusu v našich pôdach. Upozorňuje tiež na nebezpečenstvo výraznejšej mineralizácie pôdnej organickej hmoty na menej úrodných pôdach (BIELEK, 1998). Zvýšenie teplôt o 1°C pri súčasnom poklese priemerných vlhkostí pôd o 10% môžu mať vplyv aj na ďalší z dôležitých aspektov mineralizácie pôdnej organickej hmoty – dusíkovú bilanciú. Je reálny predpoklad vyšších intenzít kumulácie dusičnanov v pôdach, a teda i nebezpečenstvo kontaminácie rastlinnej produkcie a podzemných vôd (BIELEK, 1999).

Výrazné zvýšenie teploty pri relatívne stálej vlhkosti pôdy (poklese priemerných vlhkostí pôd o 10%) môže teda viesť k aktívnejšiemu rozkladu primárnej organickej biomasy a taktiež mineralizácii humusových látok v pôde. Najmä v oblastiach vysokej a strednej citlivosti územia na klimatickú zmenu to môže spôsobiť zníženie obsahu pôdnej organickej hmoty.

5. Vyhodnotenie klimatických zmien podľa jednotlivých oblastí a pôdnych predstaviteľov

Pri nadmernej mineralizácii humusu dochádza k stratám organického C v pôdach a zvýšeniu obsahu CO₂ a NO_x (najmä ako NO₃). Pokúsime sa definovať hlavné príčiny strát humusu v orných pôdach a odhadnúť ich vplyv na pôdy Slovenska :

1. Zníženie množstva rastlinných zvyškov vstupujúcich do pôdy (najmä pri zmene prirodzených biocenóz na agroocenózy).

2. Zvýšenie mineralizácie organickej hmoty v dôsledku intenzívneho obrábania spojeného so zväčšením aerácie.
3. Rozklad a biodegradácia humusu pod vplyvom hnojív a aktivácia mikroflóry vďaka minerálnemu hnojeniu.
4. Zrýchlenie mineralizácie v dôsledku melioračného vysušania zamokrených pôd (gleje, pseudogleje, luvizeme pseudoglejové a i ...).
5. Erózne straty humusu v dôsledku vodnej a veternej erózie.

K týmto všeobecne známym príčinám sa v súčasnosti môže priradiť aj priame ovplyvnenie aktivity mikroorganizmov rozkladajúcich humusové látky v dôsledku zmien teplôt a vlhkosti pôdy.

Analyzujúc faktory ovplyvňujúce procesy spojené s akumuláciou a degradáciou pôdnej organickej hmoty, ktoré boli uvedené v predchádzajúcich kapitolách, pokúsime sa odhadnúť tendencie ďalšieho vývoja tohto parametra.

Územie Slovenskej republiky je možné na základe generalizácie rôznych scenárov klimatických zmien rozdeliť na tri základné oblasti (Druhá národná správa o zmene klímy SR, 1997):

- územie s vysokou citlivosťou na klimatickú zmenu – tvorí 28% z celkovej rozlohy SR
- územie so strednou citlivosťou na klimatickú zmenu – 34 % celkovej rozlohy
- územie necitlivé na klimatickú zmenu

Na obrázku č.2 (BIELEK 1999) sú na mape pôdných typov vyznačené územia s rôznou citlivosťou na klimatickú zmenu. HOUŠKOVÁ (1999) charakterizovala možné dopady klimatických zmien na pôdy týchto území nasledovne:.

5.1. Pôdne typy na území s rôznou citlivosťou na klimatickú zmenu

Na sledovanom území sa nachádzajú nielen rôzne pôdne druhy, ale aj rôzne pôdny typy, preto pôda na tomto území nebude reagovať rovnako na klimatickú zmenu. Pri určovaní vplyvu klimatickej zmeny na teplotu a vlhkosť pôdy je z pôdneho hľadiska rozhodujúci pôdny druh. Pôdny typ však v rámci daného pôdneho druhu môže tieto prejavy zmeny klímy na danej pôde buď umocňovať, alebo zoslabovať. Pôdy, ktoré majú vo svojom profile horizont akumulácie ílu vo všeobecnosti majú v tomto horizonte zníženú priepustnosť, ktorá dosahuje miestami aj veľmi nízke hodnoty, t.j. vyjadrené ako nasýtená hydraulická vodivosť $K_s \leq 0,12 \text{ m.deň}^{-1}$. Takéto pôdy bývajú zamokrované v zimných a jarných mesiacoch, čo spôsobuje oneskorenie jarných prác. Pri očakávanej zmene klímy smerom k zimám bohatším na zrážky sa zamokrovanie takýchto pôd ešte zvýrazní, spolu so všetkými negatívnymi sprievodnými znakmi. V letných mesiacoch, kedy sa očakáva výraznejšie sucho hlavne v citlivých oblastiach, však tieto pôdy budú dlhodobejšie zásobené pôdnou vlhkosťou v dôsledku jej akumulácie v zimných mesiacoch. Kapilárnym výparom a zvýšenou evapotranspiráciou však budú túto vlhkosť rýchlo strácať a preto budú musieť byť podľa požiadaviek pestovaných rastlín zavlažované.

5.2. Pôdne typy na území s vysokou citlivosťou na klimatickú zmenu

Na území s vysokým stupňom citlivosti na klimatickú zmenu sú prevládajúcim pôdnym typom kambizeme a andozeme. Ďalej nasledujú hnedozeme, černozeme, fluvizeme, rendziny a pararendziny, luvizeme, pseudogleje, podzoly a čiernice. Na juhovýchode územia s vysokou citlivosťou na klimatickú zmenu sa vyskytujú aj regozeme.

Uvedené pôdy je možné deliť do skupín na základe vplyvu horizontov na pohyb a distribúciu vody.

Černozeme a čiernice

Uvedené pôdne typy patria na sledovanom území do kategórie stredne ťažkých až ťažkých pôd. Tieto pôdne typy nemajú vo svojom profile horizont akumulácie ílu, teda horizont, ktorý by výraznejšie ovplyvňoval pohyb vody v ich profile. Na klimatickú zmenu budú teda reagovať podľa príslušnosti k pôdnemu druhu.

Regozeme, rendziny a pararendziny

Sú to výrazne výsušné pôdy. Regozeme majú pomerne vysoké zastúpenie nekapilárnych pórov, čo spôsobuje vysokú priepustnosť pôdy pre vodu a vzduch. Rendziny a pararendziny sú plytké pôdy s nízkou schopnosťou kumulovať vodu vo svojom profile. Všeobecne budú tieto pôdy v danej oblasti slabo zásobené vodou v letných mesiacoch. Tento jav sa umocní ak budú patriť k ľahkým pôdnym druhom, t.j. piesočnaté a hlinitopiesočnaté.

Kambizeme a andozeme, fluvizeme

Kambizeme a andozeme majú kambický Bv horizont, ktorý je charakteristický hneďnutím, t.j. uvoľňovaním Fe z primárnych silikátov a difúznym rozptýlením voľných oxidov Fe. U daných pôd nedochádza k výraznému posunu ílu až hrubého prachu na úkor jemného a stredného piesku. Bv horizont môže mať rôznu priepustnosť pre vodu, ktorá však nie je limitovaná zvýšeným obsahom ílu. Všeobecne u ťažkých pôd typu kambizemí je priepustnosť nižšia ako u stredne ťažkých a ľahkých pôdných druhov. Vplyv klimatických zmien u daných pôd možno hodnotiť podľa príslušnosti k pôdnemu druhu.

Fluvizeme budú na klimatickú zmenu reagovať podľa príslušnosti k pôdnemu druhu.

Hnedozeme, podzoly, pseudogleje a luvizeme

U daných pôd je pohyb vody v profile ovplyvňovaný prítomnosťou horizontu výraznej akumulácie ílu - Bt horizont, poprípade humuso-seskvioxidový iluviálny horizont u podzolov. Uvedené pôdy v prípade stredne ťažkých a ťažkých pôdných druhov (hlinité a ílovito-hlinité) bývajú v zimných a jarných mesiacoch zamokrované. V uvedenej oblasti vplyvom klimatickej zmeny bude tento jav umocnený. Spôsobí to neskorší nástup jarných prác a celkové skrátenie vegetačného obdobia. V letných mesiacoch budú tieto pôdy lepšie prevzdušňované a bude v nich prevládať výparný typ vodného režimu. Bude dochádzať k prevládaniu oxidačných prejavov v pôdnom profile nad redukčnými, čo zlepši pôdne podmienky pre pestované rastliny. V závislosti od druhu pestovaných plodín budú musieť byť tieto pôdy zavlažované.

Prítomnosť Bs horizontu akumulácie nízkomolekulárnych organických látok, Al a Fe u podzolov umocňuje vplyv pôdného druhu a zvýrazňuje jemu vlastné prejavy reakcie na klimatickú zmenu.

V prípade príslušnosti týchto pôd k ľahkým pôdnym druhom (piesočnaté a hlinito-piesočnaté), prítomnosť Bt a Bs horizontov zmierňuje reakciu pôdného druhu na klimatickú zmenu, t.j. pôdy budú menej vysušované v letných mesiacoch, ako napr. piesočnaté regozeme. U podzolov však môže vplyvom vysušovania v letných mesiacoch dochádzať k výraznejšej tvorbe pevných železitých kôr, tzv. ortštajnov, čo bude celkove zhoršovať ich obrábateľnosť.

5.3. Pôdne typy na území so strednou citlivosťou na klimatickú zmenu

Na území so stredným stupňom citlivosti na klimatickú zmenu prevládajú kambizeme a andozeme, potom nasledujú rendziny a pararendziny, hnedozeme, podzoly, černoze, pseudogleje, fluvizeme.

Uvedené pôdy budú na klimatickú zmenu reagovať podobne ako pôdne druhy a typy na území s vysokou citlivosťou na klimatickú zmenu, ale tieto prejavy budú menej výrazné.

5.4. Mineralizácia pôdnej organickej hmoty v pôdach poľnohospodárskeho a lesného pôdneho fondu

Územie Slovenskej republiky sa vďaka geologickej a geomorfologickej rozmanitosti vyznačuje značnou pestrosťou pôdného krytu. Rôzne pôdne typy v kombinácii s pôdnymi druhmi (zrnitostné zloženie) sťažujú predpovede ich vývoja pod vplyvom zmenených klimatických pomerov. V tabuľke č. 10 sú uvedené výmery najrozšírejších pôdných typov na poľnohospodárskom a lesnom pôdnom fonde Slovenskej republiky. Môžeme konštatovať, že pri podiele: 40% lesný fond; 60% poľnohospodársky fond, nie sú tieto pomery adekvátne z hľadiska pôdno-ekologických vlastností a teda i potenciálnej náchylnosti k degradácii pôdnej organickej hmoty.

Aj keď v celkovej bilancii pôd na Slovensku je najviac zastúpená skupina kambických a andozemí (44,9% celkovej výmery) a na druhom mieste sú rendziny a pararendziny (11,6%), ich pomerné zastúpenie v lesných a poľnohospodárskych pôdach je značne odlišné (tabuľka 10).

Tab. 10 Výmery pôdných typov vypočítané na základe pôdnej mapy Slovenska, 1:400 000, Hraško et al., 1994

Tab. 10 The area of soil types estimated according to the Soil map of the Slovak Republic, 1:400 000, Hraško et al.,

Pôdna jednotka	Na poľnohosp. pôdnom fonde		Na lesnom pôdnom fonde		Spolu	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
1. Litozeme silikátové a rankre	0,00	0,0	193,55	100	193,55	0,4
2. Regozeme (arenické)	355,72	47,7	389,92	52,3	745,64	1,5
3. Rendziny a pararendziny	1 636,20	28,8	4 047,97	71,2	5 684,17	11,6
4. Černoze	3 165,27	98,9	36,77	1,1	3 202,05	6,5
5. Hnedozeme	3 528,88	92,6	283,89	7,4	3 812,77	7,8
6. Luvizeme	542,59	59,7	365,65	40,3	908,24	1,9
7. Kambizeme a andozeme	8 278,00	37,6	13 722,69	62,4	22 000,68	44,9
8. Podzoly	51,25	3,2	1 542,5	96,8	1 593,75	3,3
9. Pseudogleje	2 554,95	85,1	448,24	14,9	3 003,19	6,1
10. Fluvizeme	4 399,34	92,5	355,89	7,5	4 755,24	9,7
11. Čiernice	2 707,85	96,1	109,73	3,9	2 817,57	5,7
12. Organozeme	30,36	57,3	22,60	42,7	52,97	0,1
13. Výrazne kontaminované pôdy	12,16	91,3	1,15	8,7	13,31	0,0
14. Sprievodné pôdy	91,84	94,2	5,64	5,8	97,48	0,2
Spolu:	2 735 441		2 152 619		4 888 061	

(Koreň, Koreň, 1999 skrátené a upravené)

V poľnohospodárskych pôdach podľa do výmery na druhom mieste (po kambizemiach) fluvizeme. Po nich nasledujú hnedozeme, černoze, čiernice a pseudogleje. Z celkovej výmery týchto typov pôd je viac ako 80% poľnohospodársky využívaných. Z hľadiska citlivosti k zmenám vodného režimu však patria do kritickej kategórie. Hnedozeme a černoze sa vyskytujú predovšetkým v oblasti nížin a sprašových pahorkatín, patriacich k územiu s predpokladanou vysokou citlivosťou na klimatickú zmenu. (TOMLAIN, 1997). V tejto

oblasti sa očakáva výrazné zvýšenie teploty vzduchu v období marec-október a zníženie celkového množstva zrážok počas celého roku a taktiež snehových zrážok. V takýchto podmienkach hrozí výrazné prevzdušnenie orničných horizontov a následne rast rýchlosti mineralizácie pôdneho humusu. V prípade nedostatku umelých závlah sa tento proces bude násobiť znížením vstupov organického opadu v dôsledku nižšej produkcie celkovej biomasy.

Fluvizeme, čiernice a pseudogleje sú hydromorfné pôdy, genéza ktorých priamo závisí od zásobenosti vodou. Hroziaci pokles hladiny podzemných vôd môže prudko zmeniť pôdne režimy vo fluvizemiach a čierniciach, ktorých vlastnosti a produkčný potenciál priamo závisia od hĺbky podzemnej vody. Poklesom hladiny podzemných vôd sa stane nedostupná pre korene plytko koreniacich kultúrnych rastlín, dôjde k zníženiu bioprodukcie a následnej mineralizácii organickej hmoty v dôsledku prevzdušnenia.

Pseudogleje a luvizeme pseudoglejové, ktorých výskyt je viazaný najmä na oblasť kotlín s miernou svahovitosťou, budú zrejme ovplyvnené najmä zmenou charakteru zrážok. Prevládajúce prívalové dažde nedostatočne prevlhčia pôdny profil a deficit laterálneho prúdenia vody sa odrazí i v zásobenosti ornice vodou. Výsledný efekt bude podobný ako pri predošlých pôdnych typoch.

Ešte výraznejšie je riziko strát pri porovnaní súčasných zásob humusu v týchto pôdach (tabuľka 11). Fluvizeme a čiernice obsahujú zhruba 30-36% zásob organickej hmoty v poľnohospodárskych pôdach Slovenska. Ďalších 20-25% humusu je akumulovaných v černozemiach, hnedozemiach a pseudoglejoch. Z toho vyplýva, že takmer 60% organickej hmoty v poľnohospodárskych pôdach môže byť výrazne negatívne ovplyvnených očakávanými klimatickými zmenami.

Kambizeme, ktoré sa výrazne podieľajú ako na výmere poľnohospodárskych pôd, tak na zásobách pôdnej organickej hmoty (tab. 10, 11), sú prevažne lokalizované v polohách s vyššou nadmorskou výškou v územiach so stredným a prevažne nízkym stupňom citlivosti na klimatickú zmenu. V týchto oblastiach nehrozia akútne straty organických látok z pôdy.

Zastúpenie rendzín, pararendzín, luvizemí a regozemí nepresahuje 10% v celkovej výmere a zásobách pôdneho humusu na poľnohospodárskych pôdach. Podobne ako u predošlej skupiny sú prevažne (až na výnimku xerothermných južných expozícií vápencových pohorí) lokalizované na územiach so stredným a prevažne nízkym stupňom citlivosti na klimatickú zmenu.

Zreteľne priaznivejšie sú prognózy pre lesné pôdy. Viac ako 55% týchto pôd patrí ku kambizemiam a rendzinám. V celkovom pôdnom kryte je 60% kambizemí pokrytých lesom a u rendzín je to až 71%. Tieto prevažne horské oblasti sa vyskytujú na území s nízkou, resp. strednou citlivosťou na klimatické zmeny (BIELEK, 1999). Nemalo by tu dochádzať k drastickým zmenám vodného režimu, naopak, priaznivé teplotné pomery a zvyšovanie koncentrácie CO₂ v ovzduší (kap.3.1) by mali viesť k zmene druhového zastúpenia drevín a následne k zvýšeniu produkcie primárnej biomasy. Kritickým z hľadiska klimatických zmien sú oblasti lužných lesov na fluvizemiach a čierniciach, ktoré však zaberajú menej ako 10% z celkovej výmery týchto pôd; xerothermné spoločenstvá na rendzinách (12% z celkových zásob humusu lesných pôd, tab. 11) a regozeme arenické na Záhorkej nížine pokryté borinami. Ohrozené sú aj teplomilné dúbavy na hnedozemiach a luvizemiach.

V podzolochoch, 97% ktorých sa vyskytuje práve v lesných ekosystémoch a obsahuje 8-10% pôdnej organickej hmoty lesného fondu, by sa v dôsledku vytlačania smrekového stupňa a jeho nahradením smrekovo-bukovo-jedľovým a bukovo-jedľovým stupňom mali zlepšiť podmienky pre akumuláciu pôdnej organickej hmoty a taktiež zlepšiť kvalita humusu.

6. Závery

Zvýšená koncentrácia CO₂ v atmosfére spolu s priaznivejšími teplotnými a zrážkovými pomermi zlepši podmienky v horských lesných ekosystémoch a zvýši primárnu produkciu biomasy a akumuláciu pôdnej organickej hmoty v týchto oblastiach.

Rast celkovej produkcie poľnohospodárskych plodín na menšej celkovej výmere orných plôch bude mať za následok nerovnomerné obhospodarovanie a s tým spojené agrotechnické opatrenia (závlahy, hnojenie), čo môže spôsobiť zintenzívnenie mineralizácie pôdnej organickej hmoty na časti poľnohospodárskych pôd.

Na poľnohospodárskych pôdach vzrastie riziko straty zásob humusu v čierniciach, fluvizemiach, černozemiach a hnedozemiach, čo sa týka asi 25% celkových zásob organickej hmoty v poľnohospodárskych pôdach. Toto riziko je potrebné eliminovať závlahami a návratom organickej hmoty do pôdy.

V oblastiach náchylných na vodnú a veternú eróziu hrozia straty v dôsledku odnosu organickej hmoty pri zmenených klimatických podmienkach (veterná erózia v oblasti s vysokou citlivosťou, vodná v dôsledku častých prívalových dažďov v oblasti s nízkou citlivosťou). Takýto pokles organickej hmoty v prípade nedostatočných protierózných opatrení hrozí rozšírením pôd s nízkym obsahom pôdnej organickej hmoty - regozemí.

Tab. II Odhadované zásoby humusu v pôdach na poľnohospodárskom a lesnom pôdnom fonde Slovenska
Tab. II Estimated humus reserves in soils on the agricultural and forest resources.

Pôdna jednotka	Na poľnohospodárskom pôdnom фонде				Na lesnom pôdnom фонде				% podiel jednotlivých pôd na celkových zásobach humusu	
	výmera (ha**)	obsah humusu (t/ha*)	celkové zásoby humusu (mil t)	% podiel na poľn. pôdach	výmera (ha**)	Obsah humusu (t/ha*)	celkové zásoby humusu (mil t)	zásoby humusu (%)		
									pol'nohosp.	lesné
	-	menej ako 1% c celkovej výmery			19 355	menej ako 1% c celkovej výmery				
1. Litozeme silikátové a rankre	35 572	40-90	1-3	0,4-0,3	38 992	50-110	2-4	0,4-0,6	0,2	0,2-0,3
2. Regozeme (arenické)	163 620	130-210	21-34	4-6	404 797	100-240	40-97	9,2-12,0	1,7-3,1	4,9-5,8
3. Rendziny a pararendziny	316 527	100-220	32-70	8-9	3 677	250-500	1-2	0,2-0,3	3,5-4,5	0,1
4. Černozeme	352 888	120-180	42-64	7-12	28 389	160-290	5-8	0,8-1,4	3,2-6,1	0,4-0,7
5. Hnedozeme	54 259	85-190	5-10	1,1-1,3	36 565	160-190	6-7	0,7-1,7	0,5-0,7	0,4-0,8
6. Luviszeme	827 800	130-450	108-373	30-41	1 372 269	160-600	220-823	65,3-77,8	15,4-18,8	31,5-41,6
7. Kambizeme a andozeme	5 125	300-550	2-3	0,3-0,4	154 250	300-560	46-86	8,2-13,8	0,1-0,2	4,4-6,6
8. Podzoly	255 495	120-180	31-46	5-8	44 824	140-230	6-10	1,0-1,9	2,3-4,4	0,5-0,9
9. Pseudogleje	439 934	150-350	66-154	17-18	35 589	180-360	6-13	1,2-1,9	7,8-9,5	0,6-0,9
10. Fluvizeme	270 785	200-600	54-162	15-18	10 973	350-650	4-7	0,7-1,1	7,8-8,2	0,4-0,6
11. Čiernice	3 036				2 260					
12. Organozeme	1 216				115					
13. Výrazne kontaminované pôdy	9 184				564					
14. Sprievodné pôdy	2 735 441		361-919	100,0	2 152 619		336-1058	100,0	46,5-51,8	48,2-53,5
Spolu:								menej ako 1% z celkovej výmery		

* Kromka, Bedrna, 2002
** Koreň, Koreň, 1999

7. LITERATÚRA

- ADAMS, R. M. et al.: *Global climate change and US agriculture*. Nature Vol. 345, 17. V. 1990, USDA-ARS Department of Agronomy, University of Florida, Gainesville, 1990, pp. 219-224
- ALIJEV, S. A.: *Bioenergetika organického veševstva počov*, Izdatel'stvo ELM, Baku, 1973, 67 s.
- BAZZAZ, F.A., SOMBROEK, W.G.: *Global climate change and agricultural production*. Wiley, FAO, 1996, 345 ss.
- BIELEK, P. a kol.: *Vplyv intenzity hnojenia na podiel mikroorganizmov vo výžive rastlin*. VÚPVR, Bratislava, Záverečná správa, 1980, 36 s.
- BIELEK, P.: *Dusík v poľnohospodárskych pôdach Slovenska*. VÚPÚ Bratislava, 1998, 256 ss.
- BIELEK, P.: *Predpokladané dopady klimatických zmien na premeny uhlíka a dusíka v pôdach SR*. In: BIELEK, P. a kol.: *Dopady prognózovaných zmien klímy na vlastnosti a funkcie pôdneho pokryvu Slovenskej republiky*. Syntetická záverečná správa projektu č.:95/5145/280, VÚPOP, Bratislava, 1999, s. 103-125.
- BURSCHEL, P., WEBER, M.: *Möglichkeiten der Forst - und Holzwirtschaft zur Abmilderung des Kohlendioxidanstiegs in der Atmosphäre*. In: *Stifung Wald in Not*, Bonn 1993, s. 16-44
- ČABOUN, V.: *Ekológia lesa*. Vydavateľstvo TU Zvolen, 1996, 184 s.
- Druhá národná správa o zmene klímy SR*, SHMÚ, Bratislava, 1997, 73 ss.
- ENVIRONMENTAL AGENCY (1994): OECD, KEIZAI KOHO Center Tokyo, Japan, 54 s.
- EPRON D., LIOZON, R., MOUSSEAN, E.: *Effects of elevated CO₂ concentration on leaf characteristics and photosynthetic capacity of beech (Fagus sylvatica) during the growing season*. Tree Physiology 16, pp. 425-432
- FANTA, J.: *Possible impact of change on forested landscapes in Central Europe: a review* Catena Supplement, 22, 1992, pp. 35-44
- HULME, M.-KELLY, M.: *Desertification and Climate Change*. Environment 35, č. 6, 1993, p. 5-11.
- HOLDRIDGE, L.R.: *Life zone ecology*. Tropical Science Centre San Jose.
- HOUSKOVÁ, B.: *Možné dopady klimatických zmien na teplotu a vlhkosť pôdy*. In: Bielek, P. a kol.: *Dopady prognózovaných zmien klímy na vlastnosti a funkcie pôdneho pokryvu Slovenskej republiky*. Syntetická záverečná správa projektu č.:95/5145/280, VÚPOP, Bratislava, 1999, s. 21-52.
- JAMBOR, P.: *Globálna prognóza zmien poľnohospodárskej výroby vo vzťahu ku klímou indukovaným zmenám pôdneho krytu SR*. In: Bielek, P. a kol.: *Dopady prognózovaných zmien klímy na vlastnosti a funkcie pôdneho pokryvu Slovenskej republiky*. Syntetická záverečná správa projektu č.:95/5145/280, VÚPOP, Bratislava, 1999, s. 125-162.
- JURČOVÁ, O.-BIELEK, P.: *Metodika bilancie pôdnej organickej hmoty a stanovenie potreby organického hnojenia*. VÚPÚ Bratislava, 1997, 155 s.
- KALVOVÁ, J.: *Radiačné aktívne plyny v atmosfére a zmeny klimatu*, Národný klimatický program ČSFR, zv.3, Praha, 73
- KAURIČEV, I.C.: *Počvovedenie*, Agropromizdat, Moskva, 1989, 719 ss.
- KIMBALL, B. A. et al.: *Effect of elevated CO₂ and climate variables on plants*. Journal of soil and water conservation, I - II, 1993, 9-14 pp.
- KMEŤ, J., STŘELCOVÁ, T., PRIWITZER, T.: *Vplyv globálnych zmien klímy na ekofyziologické procesy lesných drevín*. NKP SR, SHMÚ, 5/96, Bratislava, 1996, s. 63-69.
- KODRÍK, M.: *Tree Layer Below - Ground Biomass of Fir-beech Forest in the Middle Slovakia*, Ekologia, Bratislava, 12, p. 403-408.
- KOREŇ, M., KOREŇ, M. jnr.: *Numerická taxonómia vybratých kartografických podkladov Slovenska*. Štúdie o Tatranskom národnom parku, 4 (37), 1999, s. 189-253.
- LAPIN, M.: *Scenáre klimatickej zmeny*. In: *Klimatické zmeny a lesy Slovenska*, Národný klimatický program Slovenskej republiky, Bratislava 5/1996, MŽP, SHMÚ, s. 6-11.

- LAPIN, M., ŠIPŐCZ, M.: Možné dopady predpokladaných zmien klímy na vodnú bilanciu na nížinách Slovenska, *Meteorologické správy*, 44, 1991, s. 79-83.
- LUXMOORE, R. J., WULLSCHLEGER, S. D., HANSON, D. J.: Forest responses to CO₂ enrichment and climate warming. *Water, Air and Soil Pollution*, 70, 309-323 pp.
- MIKLOŠ, L.-BEDRNA, Z. a kol.: Zmeny hladín podzemných vôd vplyvom SVD Gabčíkovo-Nagymaros a ich ekologické interpretácie. *Štúdia CBEV SAV Bratislava*, 1998, 19 s., 6 tab.
- MINĐÁŠ, J. Opatrenia na znižovanie emisií skleníkových plynov v sektore lesného hospodárstva, NKP SR, 5/96, s. 82-91
- MINĐÁŠ, J. A KOL.(1997): Globálne zmeny atmosféry a lesy Slovenska. LVÚ Zvolen, LF TU Zvolen, 2 s.
- MINDÁŠ, J., ŠKVARENINA, J.: Predpokladané dôsledky klimatických zmien na lesné ekosystémy. *Národný klimatický program SR*, zv. I., 1994, č. 1, s. 57-82 .
- MINĐÁŠ, J., ŠKVARENINA, J.: Modelovanie dôsledkov klimatických zmien na lesné ekosystémy, NKP SR, zv. 5, 1996, SHMÚ, Bratislava, s. 29-41.
- MOLDAN et al.: Rizika změny klimatu a strategie jejich snížení. *Národní klimatický program ČR - svazek 10, ČHMÚ Praha*, 1993, 175 ss.
- ORLOV, D.S.: *Chimija počv*, Izdatel'stvo MGU, Moskva, 1985, 375 ss.
- ŠÁLY, R.: *Pôda základ lesnej produkcie*, Bratislava, *Príroda*, 1978
- ŠÁLY, R.: *Pedológia a mikrobiológia*, VŠLD, Zvolen, 1988
- ŠÁLY, R.: *Pedológia. Fakulta ekológie a environmentalistiky*,
- ŠIŠKA, B., MALIŠ, J.: Predpokladané zmeny úrod ozimnej pšenice ako dôsledok klimatickej zmeny na Podunajskej nížine do r. 2075, NKP SR IV., 1997, zv. 7, s. 84-91.
- ŠURINA, B., SOBOCKÁ, J.: Identifikácia možných dopadov zmien klímy na vlastnosti pôd SR (II.časť). In: Bielek, P. a kol.: *Dopady prognózovaných zmien klímy na vlastnosti a funkcie pôdneho pokryvu Slovenskej republiky. Syntetická záverečná správa projektu č.:95/5145/280, VÚPOP, Bratislava*, 1999, s. 52-103.
- TOMLAIN, J.: Modelový výpočet dôsledkov očakávanej zmeny klímy na obsah vody v pôde na Slovensku. In: *Národný klimatický program SR*, IV, zv. 7, s. 68-83.
- U.S COUNTRY STUDIES PROGRAM, *Guidance for Vulnerability and Adaptation Assessments*. U.S. County Studies Management Team (PO-63), Washington, P.C., Oct. 1994, 518 pp.
- VINOGRADOV, B. V-KULIK, K. N. -SOROKIN, A. D.-FEDOTOV P. B.: Kartirovanie zon ekologičeskogo neblagopolučia po dinamičeskim kriteriam. *Ekologia (Moskva)*, 1998, N^o 4, s. 243-251.

INFLUENCE OF EXPECTED CLIMATIC CHANGES ON MINERALIZATION OF SOIL ORGANIC MATTER

Miroslav Kromka,
Katedra pedológie PRIF UK Bratislava

ABSTRACT

The soil organic matter content in Slovakia will be affected in many aspects by the global climatic changes. The higher amount of CO₂ in the atmosphere could positively affect the primary biomass production, in the forest ecosystems especially, under favourable temperature as well as moisture conditions. On the other hand, agricultural ecosystems, which occur mainly in the area with high and middle sensitivity to climatic changes, will be endangered and it is expected the increase in the soil organic matter mineralization here. A total balance of humus in the Slovak soils will in a great measure depends on the tillage management, especially on hydro-melioration management. As for the decreasing of potential losses in the soil organic matter, it is important to increase the organic matter input into the soil via organic fertilization and to eliminate the risk of mineralization by irrigation.

REDAKČNÁ RADA

Predseda:

Ing. Ľubomír Žiak, MŽP SR

Členovia:

Doc. RNDr. Milan Lapin, CSc., KMK FMFI UK a SHMÚ

RNDr. Oľga Majerčáková, CSc., SHMÚ

Mgr. Pavel Matejovič, PhD.

Mgr. Irena Michlíková, SHMÚ

RNDr. Miroslav Ondráš, CSc., SHMÚ

RNDr. Pavel Šťastný, CSc., SHMÚ

Doc. RNDr. Dušan Závodský, CSc., SHMÚ a KMK FMFI UK

NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Zväzok 11

Vydáva:

Ministerstvo životného prostredia SR, Nám. L. Štúra 1, 812 35 Bratislava

Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava

Odborný redaktor: RNDr. Pavel Šťastný, CSc.

Rediguje: Mgr. Pavel Matejovič, PhD.

Tlač: GRAPHIC, tel.: 02 5477 7337, v roku 2001

Účelová publikácia, 104 s., náklad 400 výtlačkov

Všetky príspevky prešli odborným lektorovaním
Za jazykovú úroveň príspevkov zodpovedajú autori

ISBN 80 - 88907 - 25 - X

