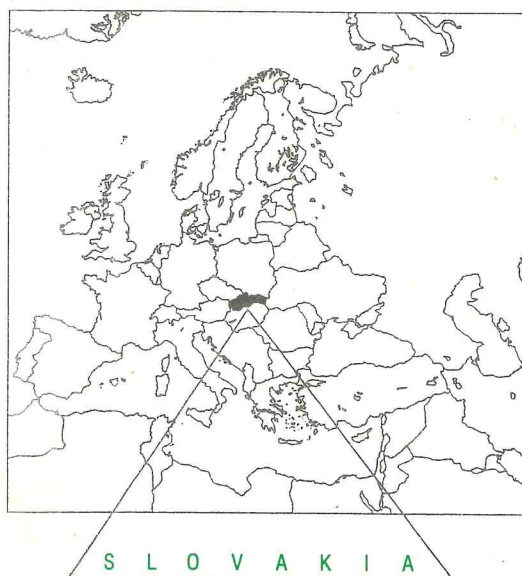


NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM SLOVENSKEJ REPUBLIKY
NATIONAL CLIMATE PROGRAMME OF THE SLOVAK REPUBLIC



NKP
10/01

**MONITOROVANIE KLIMATICKEJ ZMENY
NA SLOVENSKU A MOŽNÉ DÔSLEDKY
CLIMATE CHANGE MONITORING IN SLOVAKIA
AND POSSIBLE CONSEQUENCES**

- *Niektoré aspekty klimatickej zmeny z hľadiska závlah na Slovensku*
(Some Aspects of Climate Change from the Point of View of Irrigation in Slovakia)
- *Dôsledky zmeny klímy na bilanciú vody v poľnohospodárskej krajine*
(Climate Change Impacts on Water Balance in the Agricultural Land)
- *Bilancia emisií vybraných plynov v sektore lesného hospodárstva a využívania krajiny na Slovensku za obdobie 1990-2000 a problematika Kjótskeho protokolu v lesnom hospodárstve*
(Emissions of Selected Gases in the Forest Management and Land Use Sector during the Period 1990-2000 and Kyoto Protocol in Forestry Sector)
- *Rovnokrídly hmyz (Ensifera et Caelifera) ako indikátor aridizačných trendov v Podunajsku*
(Orthopterous Insects (Ensifera et Caelifera) as an Indicator of the Aridization Trends in the Danube Region (Slovakia))
- *Trendy atmosférických zrážok v horských oblastiach Slovenska*
(Trends of Atmospheric Precipitation in the Mountainous Regions of Slovakia)
- *Vplyv zmeny vegetačnej pokrývky na hydrologický režim horského povodia*
(Vegetation Change and Hydrological Regime of a Mountain Catchment)

BRATISLAVA 2001

**NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM
SLOVENSKEJ REPUBLIKY**

**NATIONAL CLIMATE PROGRAM
OF THE SLOVAK REPUBLIC**

**NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM
SLOVENSKEJ REPUBLIKY**

Zväzok 10

BRATISLAVA 2001

© MINISTERSTVO ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA SR
SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV

SLOVAK MINISTRY OF THE ENVIRONMENT
SLOVAK HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE

2001

OBSAH

<i>Zuzula, I. - Rehák, Š. - Minárik, B.: Niektoré aspekty klimatickej zmeny z hľadiska závlah na Slovensku (lektoroval: Dušan Závodský)</i>	<i>5</i>
<i>Takáč, J.: Dôsledky zmeny klímy na bilanciú vody v poľnohospodárskej krajine (lektoroval: Ján Tomlain)</i>	<i>16</i>
<i>Mind'áš, J.: Bilancia emisií vybraných plynov v sektore lesného hospodárstva a využívania krajiny na Slovensku za obdobie 1990-2000 a problematika Kjótskeho protokolu v lesnom hospodárstve (lektorovala: Katarína Marečková)</i>	<i>27</i>
<i>Fedor, P., J. – Majzlan, O.: Rovnokrídly hmyz (Ensifera et Caelifera) ako indikátor aridizačných trendov v Podunajsku (lektorovala: Oľga Braslavská)</i>	<i>42</i>
<i>Faško, P. – Šťastný, P.: Trendy atmosférických zrážok v horských oblastiach Slovenska (lektorovala: Milan Lapin)</i>	<i>54</i>
<i>Kostka, Z. – Holko, L.: Vplyv zmeny vegetačnej pokrývky na hydrologický režim horského povodia (lektorovala: Oľga Majerčáková)</i>	<i>82</i>

CONTENTS

English Abstracts and Summaries are at the end of Papers

<i>Zuzula, I.- Rehák, Š. - Minárik, B.: Some Aspects of Climate Change from the Point of View of Irrigation in Slovakia (Reviewed by: Dušan Závodský)</i>	<i>5</i>
<i>Takáč, J.: Climate Change Impacts on Water Balance in Agricultural Landscape (Reviewed by: Ján Tomlain)</i>	<i>16</i>
<i>Mindáš, J.: Emissions of Selected Gases in Forest Management and Land Use Sector during the Period 1990 - 2000 and Kyoto Protocol in Forestry Sector (Reviewed by: Katarína Marečková)</i>	<i>27</i>
<i>Fedor, P., J. – Majzlan, O.: Orthopterous Insects (Ensifera et Caelifera) as an Indicator of the Aridization Trends in the Danube Region (Slovakia) (Reviewed by: Oľga Braslavská)</i>	<i>42</i>
<i>Faško, P. – Šťastný, P.: Trends of Atmospheric Precipitation in the Mountain Regions of Slovakia (Reviewed by: Milan Lapin)</i>	<i>54</i>
<i>Kostka, Z. – Holko, L.: Vegetation Change and Hydrological Regime of a Mountain Catchment (Reviewed by: Oľga Majerčáková)</i>	<i>82</i>

NIEKTORÉ ASPEKTY KLIMATICKEJ ZMENY Z HĽADISKA ZÁVLAH NA SLOVENSKU

Ivan Zuzula, Štefan Rehák, Boris Minárik

Slovenský vodohospodársky podnik, š. p., odštepný závod Hydromeliorácie

1. Úvod

Od roku 1900 sa podnebie Zeme oteplilo asi o 0,6 °C. Oteplenie sa sústredilo do dvoch období: prvé pozorujeme v rokoch 1920 až 1940, druhé sa prejavuje od polovice 70-tych rokov minulého storočia. Odborníci - klimatológovia doteraz neprijali jednotný názor na to, či takéto globálne otepľovanie je súčasťou prirodzeného cyklu, alebo je podmienené ľudskou (antropogénnou) činnosťou. Niektorí z nich tvrdia, že trend otepľovania, predovšetkým rekordné teploty počas osemdesiatych a deväťdesiatych rokov minulého storočia, je iba prirodzenou fluktuáciou. V súvislosti s tým treba však pripomenúť dôležitý fakt, že ide o prípad časového radu, v ktorom stupeň premenlivosti rastie, ak aj pripustíme, že dlhodobý priemer ostáva takmer konštantný. Napríklad kukuricu môže zahubiť už to, že teplota čo len na niekoľko hodín poklesne pod 0 °C. Ak sa raz prekročí prah mrazu, je to pre túto rastlinu jednoducho osudné a vôbec nie je dôležité, či ide o náhodnú fluktuáciu alebo o reálny trend. Takisto vták alebo hmyz, ktorý pri teplotách nad 30 °C zahynie, vníma stúpajúci trend premenlivosti ako relatívne veľkú udalosť, hoci klimatológ, ktorý si všimá iba dlhodobé priemery, by mohol tvrdiť, že sa pri tom neprejavuje nijaká klimatická zmena.

Schneider [12] uvádza príklad ekonóma Roba Mendelshona z Yalskej univerzity, ktorý sa pokúsil odhadnúť náklady a výnosy typických scenárov globálneho otepľovania v USA. Ako pomôcka mu pritom poslúžila tzv. „hedonická“ metóda. Metóda takéhoto typu nenarába so zložitými fyzikálnymi, biologickými a sociálnymi procesmi, ktoré určujú ziskovosť poľnohospodárstva alebo lesníctva, ale porovnáva navzájom si zodpovedajúce ekonomické aktivity na teplých a na chladnejších miestach. Na tom je založené náhradné porovnanie, do akej miery by sledované ekonomické odvetvia mohli byť ovplyvnené zmenami teploty. Hlavný poznatok, ktorý R. Mendelshon na základe takejto metódy získal, možno stručne zhrnúť tak, že vyššia teplota spôsobí to, že už teraz horúce miesta budú chudobnejšie a teraz chladné miesta naopak budú bohatšie. Krajiny ako Kanada vyhrávajú a krajiny ako India prehrávajú – čo predstavuje akýsi druh „neoklimatického determinizmu“. Zaujímavé bude určiť budúce postavenie Slovenska na základe podobných úvah.

V prípade poľnohospodárstva a lesného hospodárstva treba zdôrazniť špecifické zvláštnosti lesníckej bioklimatológie a bioklimatológie poľnohospodárskych rastlín a živočíchov. Každý ekosystém, ale aj každý rastlinný alebo živočíšny druh sa v prostredí realizuje tak, že má vo svojej genetickej výbave aj informácie o možnostiach čo najúspešnejšieho prežitia v daných klimatických podmienkach, pričom sa adaptuje nielen na priemerné klimatické hodnoty, ale aj na ich premenlivosť (charakteristický rozptyl od absolútneho minima po absolútne maximum a na kombinácie viacerých klimatických parametrov). Ak sa ekosystém alebo jedinec z tohto systému premiestni do iných klimatických podmienok, tak je potrebná určitá doba na adaptáciu a túto dobu považujeme za skončenú až vtedy, keď nastane nová rovnováha v ekosystéme. Niektoré druhy sa neadaptujú na nové podmienky vôbec a pôvodná rovnováha ekosystému sa potom už nikdy neobnoví. Takmer rovnaký proces pozorujeme aj vtedy, ak sa zmenia klimatické podmienky na danom mieste. Proces adaptácie je tým konfliktnejší, čím je zmena klimatických podmienok rýchlejšia a väčšia.

Na to, aby sme mohli predvídať možné dôsledky zmien klímy a potom pripraviť účinné adaptačné opatrenia, je potrebné predovšetkým poznať reakciu rôznych citlivých systémov na klimatické limity v minulosti na strane jednej a snažiť sa dôsledne a trvalo monitorovať zmeny klímy a dôsledky zmien klímy na rôzne systémy na strane druhej. V súčasnosti sa darí pomerne úspešne vytvárať matematické modely nielen pre jednoduché fyzikálne, chemické a biologické procesy, no aj pre „správanie sa“ globálneho klimatického systému na celej Zemi. To umožňuje matematicky riešiť modelové situácie takých procesov, s akými sme sa nikdy v minulosti nestretli. Medzi takéto procesy určite patria aj reakcie na možnú klimatickú zmenu, podmienenú rastúcim skleníkovým efektom atmosféry. Prvé skúsenosti z tejto problematiky potvrdzujú, že spravidla každá krajina a každé odvetvie v danej krajine majú špecificky citlivé problémy súvisiace so zmenami klímy a skúsenosti zo zahraničia a z iných odvetví sa môžu využívať iba v limitovanom rozsahu.

V prípade poľnohospodárstva, vodného a lesného hospodárstva predpokladáme v najbližších sto rokoch na Slovensku predovšetkým tieto dôsledky klimatickej zmeny: vplyv suchých a relatívne teplých období, zníženie disponibilných zásob vody v prostredí vplyvom zvýšeného potenciálneho výparu a iba malého zvýšenia úhrnov zrážok, vplyv krátkodobých a viacdenných intenzívnych zrážok (až 30 % rast), vplyv zmeny ročného režimu hydrologického cyklu (rast odtoku v zime a pokles na jar a v lete), vplyv posunu geobotanických a fenologických hraníc o 200 až 600 m nadmorskej výšky smerom nahor, skrátenie období medzi fenologickými fázami, posun fenologických fáz smerom k včasnej jari, zmeny podmienok prezimovania, zvýšenie rizika jarných mrazov, introdukcia nových rastlinných a živočíšnych druhov z teplejších oblastí (vrátane chorôb, škodcov a burín), riziko kombinovaného účinku neobvyklého počasia (vysoká teplota vzduchu, vysoká alebo nízka vlhkosť vzduchu, intenzívne búrky a víchrice, silná námraza) atď. Je preto nevyhnutné dlhodobo pripravovať odborníkov, ktorí sú schopní komunikovať v danej problematike so zahraničnými partnermi, prenášať skúsenosti zo zahraničia do domácej sféry a najmä pripravovať originálne riešenia efektívne použiteľné v slovenských podmienkach.

2. Problematika sucha a závlah

Dôsledky klimatickej zmeny pociťujeme aj na Slovensku. Napríklad posledné desaťročie (1991 - 2000) bolo v Hurbanove, kde máme najdlhší rad sústavných meteorologických pozorovaní, v priemere o 1 °C teplejšie než obdobie rokov 1871 - 1990. Rok 2000 bol s priemernou ročnou teplotou 12,1 °C najteplejší od začiatku pozorovaní. Na porovnanie - takáto priemerná ročná teplota býva obvyklá v oblasti Turína v severnom Taliansku.

V rámci celého roka sa za posledných desať rokov najviac oteplilo v lete (o 1,4 °C), relatívne najmenej na jeseň (o 0,6 °C). Z jednotlivých mesiacov roka mal najväčšiu kladnú odchýlku január (odchýlka +1,9 °C), najmenšiu december (+0,3 °C). Ako najteplejší skončil aj chladný polrok 2000/ 2001 (obdobie október až marec), ktorý bol na Slovensku o 0,4 až 1,0 °C teplejší než doteraz najteplejší chladný polrok 1935/1936 [11]. Pravdepodobnosť opakovania takéhoto výrazného teplotného rekordu je raz najmenej za 250 rokov.

Zmeny pozorujeme tiež v meniacom sa režime zrážok v priebehu roka. Mesiacom, počas ktorého sú zaznamenávané najvyššie mesačné úhrny zrážok v roku, už nie je júl. Svoju čelnú pozíciu na väčšine Slovenska stratil v prospech júna a v niektorých južne situovaných regiónoch dokonca v prospech mája.

Podľa klimatických modelov by na Slovensku mali ubudnúť zrážky v lete a viac zrážok by malo byť v chladnejšej časti roka. Z vývoja predovšetkým v posledných dvoch desaťročiach vyplýva, že sa zvýraznili kontrasty v zrážkach medzi severnými a južnými časťami Slovenska. Na severe a severovýchode sa prejavil rast zrážok v chladnom polroku. Snehová pokrývka však pribudla len v najvyšších horských polohách. Naopak, na väčšine územia Slovenska v zime narástol podiel tekutých a zmiešaných zrážok na ich celkovej bilancii. V ročnom režime zrážok sa okrem sezónnych trendov stále viac prejavuje aj nevyváženosť v striedaní období s nedostatkom zrážok s obdobiami s ich prebytkom. Tieto obdobia začínajú byť často neprirodzené dlhé a ako v jednom, tak aj v druhom prípade spôsobujú problémy a ekonomické straty.

Osobitným a veľmi nepríjemným problémom začínajú byť búrky. Ak bude vplyvom klimatickej zmeny rásť teplota vzduchu, budú sa u nás vytvárať podmienky na ich vznik počas dlhšej časti roka v porovnaní s doterajším stavom. Pribudnúť môžu silné búrky, vytvárajúce sa na frontálnych rozhraniach s výrazným teplotným kontrastom vzduchových hmôt, najmä pri vysokom obsahu vodnej pary. Výskyt takýchto búrok je u nás možný počas vrcholného leta. Toto obdobie môže byť v dôsledku zvyšujúcej sa teploty perspektívne dlhšie, z čoho vyplýva, že vzrastie pravdepodobnosť výskytu nebezpečných poveternostných javov.

Stále aktuálnejšie bude účelné hospodárenie s vodou. Bez funkčných a v správnom čase prevádzkovaných zavlažovacích zariadení budú za určitých okolností ohrozené aktivity poľnohospodárov.

Úlohou doplnkových závlah býva spravidla riešiť nedostatok pôdnej vlhky z hľadiska potrieb jednotlivých druhov rastlín. Závlahu chápeme ako regulačný a stabilizujúci faktor poľnohospodárskej sústavy, znižujúci vplyv náhodných prvkov (predovšetkým klimatologických).

V prípade určenia miery sucha ide o veľmi neurčitý, avšak v klimatológii často využívaný pojem popisujúci v princípe nedostatok vody v pôde, rastlinách, v ovzduší a pod. Jednotné kritéria na kvantitatívne vyjadrenie sucha neexistujú. Dôvodom sú rôzne aspekty tohto problému (hydrologický, poľnohospodársky, bioklimatologický a pod.), ako aj ohľad na škody v rôznych oblastiach hospodárstva. Vo vzťahu k pestovaniu rastlín sa pod pojmom sucha spravidla rozumie taký stav pôdy, kedy je sťažené jej riadne obrábanie a plodiny trpia nedostatkom vody.

Pod pojmom suchosť (regiónu, kraja) sa rozumie určitý stupeň sucha, stanovený kvantitatívnym hodnotením meteorologických parametrov (zrážky, teplota, sýtosťný doplnok a pod.). Suchosť je jedným z určujúcich faktorov poľnohospodárskeho využívania pôdy. Kvantitatívne vymedzenie stupňa suchosti určitej oblasti sa vykonáva prostredníctvom rôznych klimatologických indexov. Jednotné kritérium sa pravdepodobne nikdy nepodarí stanoviť kvôli zložitosti vzájomného pôsobenia najrôznejších faktorov (meteorologických, hydrologických, agrotechnických a pod.).

Podľa častosti výskytu, resp. doby trvania, rozoznávame oblasti s trvalým alebo občasným suchom – s nepravidelnou sa vyskytujúcimi obdobiami podnormálnych zrážok, ktoré trvajú niekoľko týždňov, mesiacov i rokov. Vo vegetačnom období býva v prípade sucha zrážkový deficit často spojený s nadnormálnymi teplotami, zníženou relatívnou vlhkosťou vzduchu, zmenšenou oblačnosťou a väčším počtom hodín slnečného svitu. Uvedené okolnosti majú potom za následok rast evapotranspirácie, čím sa ďalej zvyšuje nedostatok vody v pôde. Z hľadiska atmosférických cirkulačných pomerov takýto typ sucha vzniká v letnom období v strednej Európe aj v dôsledku častejšieho výskytu anticyklonálnych typov poveternostných situácií, pri ktorých sa nad európskou pevninou vytvárajú blokujúce anticyklóny, zabraňujúce postupu atmosférických frontov z oceánu nad pevninu. Intenzita zrážok, vypadávajúcich pri relatívne menšom počte prichádzajúcich atmosférických frontov, je v porovnaní s inými typmi atmosférickej cirkulácie nižšia, zrážková činnosť býva navyše v oblasti anticyklón (tlakových výší) podstatne zoslabovaná.

V praxi Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) a Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ) sa na klimatologickú rajonizáciu Československa (Slovenska) využíva tzv. *Končekov index závlahenia*. Údaje podľa tohto indexu sa rovnajú približne trojnásobku údajov podľa Thornthwaiteovho indexu vlhkosti. Končekov index je preto vhodnejší na podrobnejšie triedenie a rajonizáciu podnebia (makroklima a mezoklima) na menších územiach. Na klimatologickú rajonizáciu Slovenska sme na účely predkladanej štúdie využili mapové podklady uverejnené v [3]. Z hľadiska budovania a prevádzky závlahových zariadení považujeme za zaujímavé predovšetkým suché a mierne suché regióny (podoblasti), t. j. lokality s nulovým indexom závlahenia

alebo nižším¹. Z obr. 1 vyplýva, že takéto územia sa vyskytujú na Slovensku iba v teplých oblastiach na juhu krajiny. Percentuálny podiel závlahových stavieb s rozlohou nad 200 ha v rôznych klimatických oblastiach v členení podľa jednotlivých podnikov povodí uvádza tabuľka 1.

Pri riešení problematiky zásobovania rastlín pôdnou vodou je dôležitý pojem evapotranspirácie, čiže celkového výparu z rastlín a pôdy (evaporácia – výpar z povrchu pôdy, transpirácia – straty pôdnej vody „dýchaním“ rastlín). Rozoznávame potenciálnu evapotranspiráciu (E_0), ktorá charakterizuje ideálne množstvo vody, ktoré sa môže vypariť z pôdy a vegetačného krytu pri nasýtení pôdy vodou, a aktuálnu (efektívnu, skutočnú) evapotranspiráciu (E), charakterizujúcu skutočný celkový výpar z pôdy a transpirácie rastlín v podmienkach skutočného zavlaženia. V reálnych podmienkach potenciálna evapotranspirácia prevyšuje obvykle aktuálnu evapotranspiráciu. Ako charakteristika vlhových pomerov v pôde v určitej oblasti sa často využíva tzv. relatívna evapotranspirácia.

Obvykle ide o percentuálne vyjadrený pomer aktuálnej a potenciálnej evapotranspirácie ($E/E_0 \times 100 \%$). Z rovnice bilancie pôdnej vlhky vyplýva (ak berieme do úvahy nulovú počiatočnú zásobu vody v pôde a neberieme do úvahy vodu v pôde vznikajúcu kondenzáciou), že na pokrytie evapotranspirácie (vrátane interceptného výparu) v určitej oblasti je k dispozícii iba voda, ktorú reprezentujú zrážkové úhrny počas sledovaného obdobia. Toto množstvo vody sa však znižuje o odtok (povrchový a podzemný). Okrem zásoby pôdnej vody je na evapotranspiráciu potrebný aj dostatočný príkon slnečnej energie (bilancia krátkovlnného žiarenia), hoci bilancia dlhovlnného žiarenia je tiež významná.

Z územia Slovenska sa vyparí priemerne asi 65 % ročného úhrnu zrážok, tretina vody otečie. Priemerný ročný úhrn zrážok na Slovensku je 758 mm (podľa údajov z obdobia 1881-1980 [13]). Vzhľadom na morfológickú skladbu územia Slovenska sa z južného Slovenska vyparí až 80 až 95 % zrážok, ale z horských oblastí len asi 30 % ročného zrážkového úhrnu. Vodou v pôde sú najlepšie zásobené horské oblasti, najmenej nížinné oblasti južného Slovenska. Je to spôsobené jednak tým, že príkon slnečnej energie, potrebný na evapotranspiráciu, je na juhu našej krajiny relatívne vysoký, ale aj nižšími úhrmami zrážok v tejto oblasti v porovnaní s horskými oblasťami. Z toho vyplýva, že v južných oblastiach je potrebné už v súčasnosti zabezpečovať dodatočné zdroje vody pre pestované kultúry. Napr. v lokalite Žihárec, ktorá reprezentuje najteplejšiu oblasť Slovenska, sa za rok vyparí z vodnej hladiny (evaporácia) priemerne 740 mm vody, z porastu trávy v Hurbanove, kde dlhodobý priemer ročných zrážkových úhrnov (za obdobie rokov 1871 – 2000) činí 569 mm, sa za rok vyparí priemerne 474 mm vody, z lesného porastu až 527 mm vody. Rozdiel vo vyparených množstvách rôznymi vyparujúcimi povrchmi je spôsobený predovšetkým ich rozdielnymi fyzikálnymi vlastnosťami, ale aj dôsledkom rôznej interceptcie uvažovaných povrchov.

Z výsledkov meteorologických pozorovaní vyplýva, že teplota v Hurbanove sa za posledných 100 rokov (r. 1901 – 2000) zvýšila zhruba o 1 °C. V dôsledku pokračujúceho globálneho otepľovania možno očakávať podobný trend aj v budúcnosti. Ročný zrážkový úhrn sa za to isté obdobie v nížinných oblastiach Slovenska (Hurbanovo) znížil cca o 15 %, v horských oblastiach sa významne nezmenil. V budúcnosti sa predpokladá, že v ročnom chode zrážok sa budú vyskytovať výraznejšie úhrny v zimnom polroku, v letnom sa znížia. Zmenšenie počtu dní so snehovou pokrývkou bude mať pri nezmenšenej oblačnosti za dôsledok mierny rast bilancie krátkovlnného žiarenia. Z uvedených trendov vyplýva, že sa zvýši ročný úhrn potenciálnej evapotranspirácie (E_0) spolu s nevýraznými zmenami ročného úhrnu aktuálnej evapotranspirácie (E). Výsledkom bude zníženie relatívnej evapotranspirácie ($E/E_0 \times 100 \%$), predovšetkým v letnom období. Takýto vývoj bude teda klásť ešte vyššie nároky na zdroje závlahovej vody, obzvlášť v južných oblastiach Slovenska.

Klimatické pomery SR sú determinované fyzicko-geografickými podmienkami jej územia, ktoré spôsobujú významné rozdiely v ročnom i dennom chode jednotlivých klimatických prvkov. Väčšina klimatických charakteristík sa na území SR vyznačuje veľkou premenlivosťou. Juh Slovenska dostáva asi 2 000 hodín slnečného svitu, zatiaľ čo severozápad územia len asi 1 600 hodín. Najteplejšou oblasťou SR je juh Podunajskej nížiny s priemernou ročnou teplotou vzduchu okolo 10 °C. Priemerná januárová teplota vzduchu sa na juhozápadnom Slovensku pohybuje málo nad -2 °C, na nížinách východného Slovenska klesá pod -3 °C a na hrebeňoch Tatier na -12 °C. Priemerné júlové teploty vzduchu vystupujú v nížinách južného a východného Slovenska nad 20 °C, v nadmorskej výške 1 000 m dosahujú okolo 14 °C. Všeobecne možno konštatovať, že priemerné mesačné a ročné teploty vzduchu klesajú so stúpajúcou nadmorskou výškou. V ročnom chode teploty vzduchu možno pozorovať zvyšovanie ročnej amplitúdy od západu k východu, čiže uplatňuje sa zvýšená termická kontinentalita.

Pre zrážky je zasa naopak typické ich pribúdanie s nadmorskou výškou a značná závislosť od orientácie regiónu k prevládajúcemu prúdeniu. Najsuchšou oblasťou Slovenska je Podunajská nížina a juh Východoslovenskej nížiny, kde je priemerný ročný zrážkový úhrn miestami nižší ako 550 mm. Pomerne suché sú aj spišské kotliny. Vo vysokých nadmorských výškach Karpát ročné zrážkové úhrny obvykle prekračujú 1 500 mm. Ročný chod zrážok je vcelku vyrovnaný s maximom v júni alebo v júli a s minimom v marci alebo vo februári. Zmeny v chode zrážok sú spôsobené kolísaním meridionálneho gradientu teploty vzduchu, určujúceho charakter cirkulácie.

Úhrny atmosférických zrážok vykazujú oveľa vyššie prirodzené časové zmeny ako teplota vzduchu a aj priemerné úhrny za jednotlivé desaťročia sa na jednotlivých staniciach môžu líšiť aj viac ako 10 %. Pre južnú

¹ Klimatologické výpočty z posledného obdobia ukazujú, že aj na území Slovenska bude potrebné zaviesť nový pojem „veľmi suchá oblasť“ s indexom zavlaženia I_z menším ako -40.

a východnú časť SR je typické, že vyššie zrážkové úhrny sa tu vyskytujú len v niektorých rokoch pri južných a juhozápadných situáciách, najčastejšie v období október - december a máj - jún. Pri západnom a severozápadnom prúdení sa vyskytujú vyššie zrážkové úhrny v horských oblastiach na severe a západe územia. V posledných dvoch desaťročiach bolo pozorované zníženie početnosti južných frontálnych porúch pri súčasnom poklese zrážkových úhrnov v južnej polovici Slovenska.

Na vyhodnotenie dôsledkov klimatickej zmeny na prírodné prostredie a socioekonomickú sféru sa využívajú scenáre zmeny klímy zostavené na základe výstupov modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry (GCM_s). V rámci riešenia Národného klimatického programu SR boli prijaté regionálne modifikované scenáre najnovších prepojených modelov CCCM_{prep} a GISS_{prep}. Na základe týchto scenárov sa predpokladá na našom území zvýšenie priemernej ročnej teploty vzduchu do roku 2075 o 2,3 – 2,9 °C, ročné zrážkové úhrny sa výraznejšie nezmenia. Ako sme už konštatovali, v jednotlivých časových horizontoch však dôjde k zvýšeniu priemerných ročných úhrnov potenciálnej evapotranspirácie. V horizonte roku 2075 sa toto zvýšenie pre jednotlivé regióny odhaduje medzi 7 až 13 %.

Územie Slovenska leží v pramenistej oblasti európskych riek, na hrebeni strechy Európy. Voda z 96 % rozlohy Slovenska oteká Dunajom a jeho prítokmi do Čierneho mora a zo 4 % rozlohy oteká Dunajom a Popradom do Baltického mora. V dlhodobom priemere preteká slovenskými tokmi približne 3 328 m³s⁻¹ vody (podľa údajov z rokov 1931-80), vrátame prítokov zo susedných štátov. Z toho len asi 398 m³s⁻¹ pramení na našom území (12 %), podstatná časť priteká zo susedných štátov (hlavne Dunajom, Moravou, Uhom, Latoricou, Tisou a prítokmi Ipľa). Maximálne prietoky sa vyskytujú pravidelne v mesiacoch marec, apríl (na Dunaji, Poprade a Dunajci je ich výskyt o 2 až 3 mesiace neskôr), minimálne prietoky sú koncom leta, na jeseň a v zime. Najvyrovnanější prietokový režim má Dunaj, mohutný a pohotový vodný zdroj, ktorého dlhodobý priemerný prietok vo výustnom profile z nášho územia je 2 348 m³s⁻¹. Z vodohospodárskeho hľadiska je veľmi nepriaznivá veľká rozkolísanosť prietokov väčšiny ostatných tokov. Najväčšia rozkolísanosť bola zaznamenaná na prítokoch Ipľa 1:4230, pričom na Váhu je to 1:62 a na Dunaji 1:18.

Kapacita povrchových vodných zdrojov v suchom období predstavuje (bez Dunaja, Moravy a Tisy) 90,3 m³.s⁻¹. Po odčítaní prietokov vody, ktoré sa musia ponechať v koryte z ekologického hľadiska, zostáva na využívanie 36,4 m³.s⁻¹. V súčasnosti je na Slovensku vybudovaných 46 veľkých vodných nádrží (s celkovým objemom nad 1 mil. m³) o sumárnom zásobnom objeme 1 259 mil. m³ a 284 malých vodných nádrží o objeme približne 49 mil. m³, ktoré sú schopné regulovať približne 10,4 % dlhodobého priemerného prietoku z územia Slovenska. Vybudovanými nádržami je možné nadlepšovať v suchom období prietoky o 53,8 m³s⁻¹. Využitelné prietoky sa teda dajú zvýšiť z 36,4 m³s⁻¹ na 90,2 m³s⁻¹.

Nerovnomerné priestorové rozloženie zdrojov je možné dokumentovať podrobnou vodohospodárskou bilanciou zdrojov a potrieb vody v jednotlivých povodiach. Špecifickými sa javia oblasti s hodnotou minimálnych bilančných prietokov väčšou, ako je charakteristický prietok používaný na vyjadrenie kapacity zdroja. Na takýchto tokoch nie sú vzhľadom na prirodzené schopnosti tokov zabezpečené ekologické požiadavky a sú teda deficitné i bez toho, aby boli na nich vykonané odbery. Medzi takéto toky patrí časť Ipľa s prítokom Suchá, Muráň a Turiec v povodí Slanej a toky v povodí Bodvy. Odhad disponibilných zdrojov vody v tokoch sa v štátnej vodohospodárskej bilancií SR vykonáva pre 137 bilančných profilov.

Určovanie hodnôt zdrojov povrchových vôd vychádza z predpokladu stacionarity hydrologických procesov. Keďže za posledných 20 rokov došlo k zníženiu odtoku a podľa scenárov klimatických zmien má toto znížovanie pokračovať, bude potrebné tieto hodnoty prehodnotiť. To povedie k zväčšeniu počtu a rozlohy povodí, ktoré budú vodohospodársky deficitné.

Podzemné vody na území Slovenska sú rozdelené veľmi nerovnomerne. Ich kvalita a možnosť exploatacie sú závislé na charaktere geologických formácií a ich rozmiestení. Hydrogeologickým prieskumom boli na Slovensku zdokumentované zdroje podzemných vôd na 127 m³s⁻¹, z nich časť 74,3 m³s⁻¹ tvorí využiteľné zásoby, ktoré je možné technickými prostriedkami zachytávať a využívať. Podľa platnej legislatívy zdroje podzemnej vody sa však prednostne využívajú na zásobovanie obyvateľstva pitnou vodou.

Využitie zdrojov povrchových vôd pre potreby zavlažovania značne obmedzuje ich znečistenie. Kvalita závlahovej vody sa monitoruje od roku 1995. Vzorky sa odoberajú od apríla do septembra na viac ako 200 odberových miestach (raz mesačne) a vyhodnocujú sa podľa STN 75 71 43 Kvalita vody, závlahová voda. Podľa tejto normy sa závlahová voda zaraďuje do troch tried:

- I. trieda – voda vhodná na závlahu, použiteľná na zavlažovanie všetkých poľnohospodárskych kultúr bez akéhokoľvek obmedzenia,
- II. trieda – voda podmienene vhodná na závlahu, použiteľná na závlahu za predpokladu, že na každú lokalitu budú stanovené zvláštne opatrenia podľa stupňa a charakteru znečistenia vody a miestnych podmienok a spôsobu zavlažovania,
- III. trieda – voda nevhodná na závlahu.

Najviac odberových miest závlahových vôd, v priemere 46 %, bolo zaradených do II. triedy kvality a najmenej lokalít, v priemere 21,3 %, bolo v III. triede kvality. Kvalita závlahovej vody je výrazne ovplyvnená znečisťovaním jej zdrojov (povrchových a podzemných), ktoré môže mať bodový alebo plošný charakter.

Výsledky monitoringu poukazujú na silný regionálny vplyv na kvalitu závlahovej vody. Relatívne najčistejšie závlahové vody sú v povodí Dunaja, kde je najčastejšou príčinou znečistenia zvýšené pH a rozpustené látky a najviac znečistené sú závlahové vody v povodí Bodrogu a Hornádu, kde prevažná väčšina vôd je mikrobiologicky kontaminovaná. Najčastejšou príčinou zníženia kvality závlahových vôd Slovenska je mikrobiologická kontaminácia (predovšetkým fekálnymi koliformnými baktériami, koliformnými baktériami, kolifágmi), z chemického znečistenia sú to najmä vyššie obsahy rozpustených látok a vysoké pH. V povodí Dunaja sa kvalita závlahovej vody výraznejšie zlepšuje, podobne aj v povodí Váhu. V povodí Hrona sa kvalita zlepšuje len mierne a najnepriaznivejšia situácia je v povodí Bodrogu a Hornádu, kde počet lokalít v III. kvalitatívnej triede vykazuje stúpajúci trend.

V prípade lokalít, kde je možné na závlahu používať len vodu zníženej kvality, musia byť stanovené zvláštne opatrenia podľa stupňa a charakteru znečistenia vody, ktoré môžu zahŕňať dodržiavanie ochranných lehôt (v zmysle STN 75 71 43), zmenu skladby zavlažovaných plodín, resp. prechod na pestovanie technických plodín, ktoré nemajú bezprostredný vplyv na potravinový reťazec. V prípade trvalého znečistenia III. triedy by sa takáto voda nemala použiť na závlahu vôbec. To sa týka najmä východoslovenského regiónu, kde až 88,9 % sledovaných lokalít je zaradených do III. triedy kvality, pričom najčastejšou príčinou kontaminácie je mikrobiologické znečistenie.

Mikrobiologické znečistenie závlahových vôd je dlhodobým problémom a najmä v povodí Bodrogu a Hornádu spôsobuje vážne komplikácie. Úprava mikrobiologicky kontaminovanej vody je síce technicky možná, ale je finančne veľmi náročná. S ohľadom na to, že kontaminácia je spôsobená fekálnymi splaškami z domácností, prípadne z podnikov, situácia sa upraví až po zlepšení stavu v budovaní čistiarň odpadových vôd. Situáciu je potrebné riešiť principiálne, pretože predstavuje celospoločenský problém, do značnej miery vyplývajúci z všeobecne nízkeho environmentálneho povedomia obyvateľstva Slovenska. Z toho dôvodu aj prípadná revitalizácia závlahových sústav vo východoslovenskom regióne má zmysel až po vyriešení načrtnutých problémov. Podrobnejší prehľad o percentuálnom podiele jednotlivých tried kvality závlahovej vody v rámci sledovaných zdrojov podľa jednotlivých závodov povodí poskytuje tabuľka 2.

3. Zrážkové pomery vo vybraných lokalitách

Ako sme už spomínali, z hľadiska poľnohospodárskej produkcie a závlah patria medzi najvýznamnejšie klimatické parametre teplota vzduchu a úhrny zrážok. V ďalšom texte sa budeme podrobnejšie zaoberať druhou zo spomínaných charakteristík – zrážkovými úhrnmi. Svoj záujem sme sústredili na tie oblasti Slovenska, ktoré považujeme za najdôležitejšie z hľadiska produkčného potenciálu – nížinné oblasti západného Slovenska. Ako podklad pre naše úvahy poslúžili údaje o mesačných zrážkových úhrnoch v rokoch 1901 – 1990 zo staníc uvedených v tab. 3.

Na uvažovaných staniciach sme vykonali základnú štatistickú analýzu ročných zrážkových úhrnov podľa jednotlivých desaťročí sledovaného obdobia rokov 1901 až 1990² (obrázky 2, 4, 6 a 8).

Na obrázkoch 3, 5, 7 a 9 sú znázornené podobné štatistické charakteristiky pre obdobie rokov 2001 až 2090. Pri spracovávaní týchto údajov sme vychádzali zo scenára CCCM. Hodnoty pre jednotlivé mesiace sú v prvom kroku odvodené ako vážený priemer zo štyroch uzlových bodov modelu CCCM_{prep} pre územné zrážky v SR, na konkrétne pomery jednotlivých staníc sa v druhom kroku upravujú podľa reálneho priemeru a rozptylu v uvažovanej lokalite³ podľa reálneho stavu z obdobia rokov 1901 – 1990. Na spomenutých obrázkoch sledujeme, podobne ako v predchádzajúcom prípade, očakávanú variabilitu ročných zrážkových úhrnov v jednotlivých desaťročiach uvažovaného obdobia. Na obrázkoch sú na tiež znázornené očakávané kvadratické trendy priemernej hodnôt, maxim a minim ročných zrážkových úhrnov v jednotlivých desaťročiach obdobia rokov 2001 – 2090.

Kvôli väčšej názornosti a ľahšej porovnateľnosti znázornených údajov sme na všetkých spomenutých obrázkoch použili rovnaké mierky na osiach grafov (obr. 2 až 9).

4. Záver

Dôsledky klimatickej zmeny pociťujeme aj na Slovensku. Posledné desaťročie (1991 - 2000) bolo v Hurbanove, odkiaľ je k dispozícii najdlhší rad sústavných meteorologických pozorovaní na Slovensku, v priemere o 1 °C teplejšie než obdobie rokov 1871 - 1990. Rok 2000 bol s priemernou ročnou teplotou 12,1 °C najteplejší od začiatku pozorovaní.

Podľa klimatických modelov by na Slovensku mali ubudnúť zrážky v lete a viac zrážok by malo byť v chladnejšej časti roka. Z vývoja predovšetkým v posledných dvoch desaťročiach vyplýva, že sa zvýraznili kontrasty v zrážkach medzi severnými a južnými oblasťami Slovenska. Na severe a severovýchode sa prejavil rast zrážok v chladnom polroku. Snehová pokrývka však pribudla len v najvyšších horských polohách. Naopak, na väčšine územia Slovenska v rámci zrážkovej bilancie narástol v zime podiel tekutých a zmiešaných zrážok. V ročnom režime zrážok sa okrem sezónnych trendov stále viac prejavuje aj nevyváženosť v striedaní období s nedostatkom zrážok s obdobiami s ich prebytkom. Tieto obdobia začínajú byť často neprirodzene dlhé a ako v jednom, tak aj v druhom prípade spôsobujú problémy a ekonomické straty. Stále aktuálnejšie bude preto účel-

² Údaje z rokov 1901 – 1990 pre potreby riešenia NKP poskytol Slovenský hydrometeorologický ústav.

³ Konkrétne údaje láskavo poskytol doc. RNDr. M. Lapin, CSC., KMK FMFI UK Bratislava.

né hospodárenie s vodou. Bez funkčných a v správnom čase prevádzkovaných zavlažovacích zariadení budú za určitých okolností ohrozené aktivity poľnohospodárov.

V budúcnosti sa predpokladá, že v ročnom chode zrážok sa budú vyskytovať výraznejšie úhrny v zimnom polroku, v letnom sa znížia. Zmenšenie počtu dní so snehovou pokrývkou bude mať pri nezmenšenej oblačnosti za dôsledok mierny rast bilancie krátkovlnného žiarenia. Z uvedených trendov vyplýva, že sa zvýši ročný úhrn potenciálnej evapotranspirácie (E_0) spolu s nevýraznými zmenami ročného úhrnu aktuálnej evapotranspirácie (E). Výsledkom bude zníženie relatívnej evapotranspirácie ($E/E_0 \times 100\%$) - predovšetkým v letnom období. Takýto vývoj bude teda klásť ešte vyššie nároky na zdroje závlahovej vody, obzvlášť v južných oblastiach Slovenska.

Na vyhodnotenie dôsledkov klimatickej zmeny na prírodné prostredie a socioekonomickú sféru sa využívajú scenáre zmeny klímy zostavené na základe výstupov modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry (GCM₁). V rámci riešenia Národného klimatického programu SR boli prijaté regionálne modifikované scenáre najnovších prepojených modelov CCCM_{prep} a GISS_{prep}. Na základe týchto scenárov sa predpokladá na našom území zvýšenie priemerných ročných teplôt do roku 2075 o 2,3 – 2,9 °C, ročné zrážkové úhrny sa výraznejšie nezmenia. V jednotlivých časových horizontoch však dôjde k zvýšeniu priemerných ročných úhrnov potenciálnej evapotranspirácie. V horizonte roku 2075 sa toto zvýšenie pre jednotlivé regióny odhaduje medzi 7 až 13 %.

V texte sme sa podrobnejšie zaoberali zrážkovými úhrnmi v nížinných južných oblastiach Slovenska. Ako podklad sme využívali údaje o mesačných zrážkových úhrnoch v rokoch 1901 – 1990, ktoré pre účely riešenia NKP dal k dispozícii SHMÚ. Okrem základného štatistického spracovania mesačných a ročných zrážkových úhrnov na sledovaných meteorologických stanicach za obdobie rokov 1901 – 1990 sme vykonali aj základnú štatistickú analýzu ročných zrážkových úhrnov podľa jednotlivých desaťročí sledovaného obdobia. Podobnú analýzu pre jednotlivé desaťročia sme vykonali aj pre obdobie rokov 2001 – 2090. Pri spracovávaní týchto údajov sme vychádzali zo scenára CCCM_{prep}. Hodnoty pre jednotlivé mesiace boli v prvom kroku odvodené ako vážený priemer zo štyroch uzlových bodov modelu CCCM_{prep} pre územné zrážky v SR, na konkrétne pomery jednotlivých staníc sa v druhom kroku upravili podľa skutočného priemeru a rozptylu v uvažovanej lokalite z obdobia rokov 1901 – 1990.

Literatúra:

- 1) Burroughs, W. J., Crowder, B., Robertson, T., Vallier – Talbot, E., Whitaker, R., Zillman, J.: Cesty za poznáním. Počasí. Václav Svojtka & Co., Praha 1999.
- 2) Faško, P.: Klimatické anomálie budú pribúdať aj na našom území. SME, 16. 5. 2001.
- 3) Kolektív autorov: Atlas Slovenskej socialistickej republiky, SAV a SÚGK, Bratislava 1980
- 4) Kolektív autorov: Meteorologický slovník výkladový a terminologický. Academia, Ministerstvo životného prostredia ČR, Praha 1993.
- 5) Lapin, M., Faško, P., Kveták, Š.: Klimatické normály. Metodický predpis 3-09-1/1, Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava 1988.
- 6) Lapin, M.: Klimatické zmeny v minulosti, súčasnosti a v budúcnosti, učebné texty pre poslucháčov KMK FMFI UK Bratislava, nepublikované.
- 7) Lapin, M., Šťastný, P.: Radiačné zosilnenie, klimatická zmena a iné súvislosti rastu skleníkového efektu atmosféry, <http://www.suh.sk/obs/slnsem/lapin/lapin.htm>.
- 8) Lapin, M., Melo, M., Damborská, I., Gera, M., Faško, P.: 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, 5-34.
- 9) Lapin, M., Tomlain, J.: Všeobecná a regionálna klimatológia. Vydavateľstvo UK, Bratislava 2000, 184 s.
- 10) Lapin, M., Melo, M., Damborská (2001): Downscaling of GCM outputs for precipitation time series in Slovakia, Meteorologický časopis, 4, 2001, 3, 29-40.
- 11) Matejovič, P.: Klimatická zmena je už dnes realitou. SME, 16. 5. 2001.
- 12) Schneider, S. H.: Laboratórium Zem, Archa, Bratislava 1998.
- 13) Šamaj, F., Valovič, Š.: Priestorové úhrny zrážok na Slovensku, Meteorologické správy, 4, 1982

SOME ASPECTS OF CLIMATE CHANGE FROM THE POINT OF VIEW OF IRRIGATION IN SLOVAKIA

Ivan Zuzula, Štefan Rehák, Boris Minárik

Slovak Water Management Authority, Branch Office for Hydromelioration

Abstract

Expected climate change will influence sudden changes of conditions of natural ecosystems as well as social and economical sectors of society. According to the scenarios of climate change the trend of increase of temperature will be continuously realized, as well as yearly sum of potential evapotranspiration will be increased on the whole territory of the Slovakia. Some problems of potential droughts and irrigation demand for the purposes of agriculture are discussed in the contribution. Results of the application of global climate change models are analyzed in the context of agriculture planning

Tab. 1. Podiel (%) klimatických oblastí v rámci závlahových stavieb s rozlohou nad 200 ha jednotlivých odštep-ných závodov (povodi) Slovenského vodohospodárskeho podniku.

Tab. 1. Percentage of climate areas in the framework of irrigation structures with the extent larger than 200 ha in individual water catchment authorities of the Slovak Water Management Authority.

Povodie	Klimatická oblasť podľa Končeka		
	Suchá	Mierne suchá	Iná
Dunaja	63	27	10
Váhu	56	21	23
Hrona	36	46	18
Bodrogu a Hornádu	0	67	33
Priemer	39%	40%	21%

Tab. 2. Podiel (%) jednotlivých tried kvality závlahovej vody v sledovaných odberných miestach v rámci odštep-ných závodov (povodi) Slovenského vodohospodárskeho podniku.

Tab. 2. Percentage of individual classes of irrigation water quality in observed sample localities in water cat-chment authorities of the Slovak Water Management Authority.

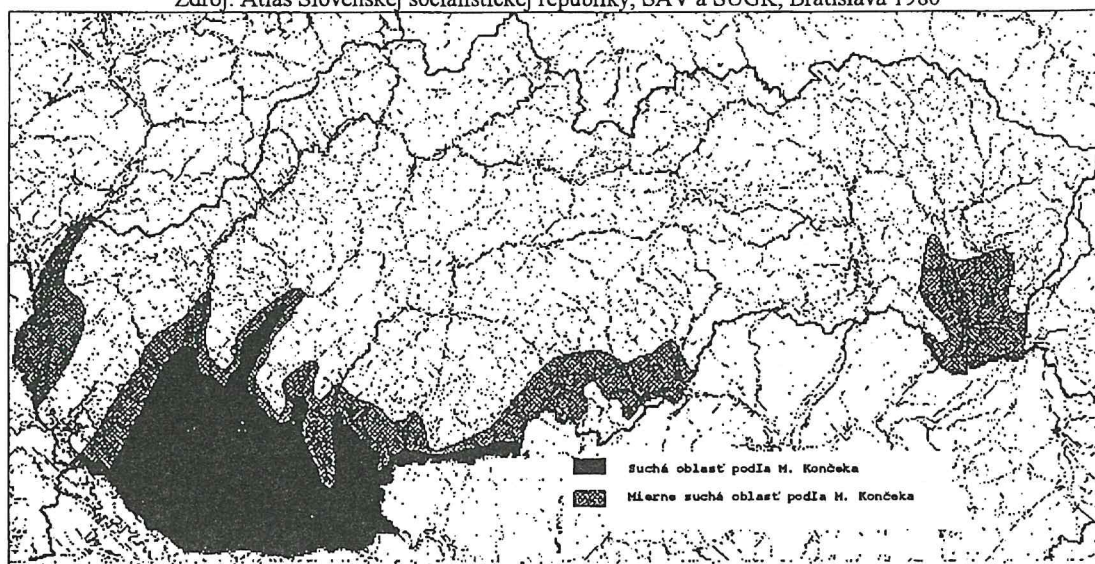
Povodie	Percentuálny podiel v triede kvality závlahovej vody		
	I. trieda	II. trieda	III. trieda
Dunaja	52	43	5
Váhu	17	74	9
Hrona	12	56	32
Bodrogu a Hornádu	0	30	70
Priemer	20%	51%	29%

Tab. 3. Abecedný zoznam uvažovaných meteorologických staníc a ich geografické súradnice.

Tab. 3. Alphabetic list of considered meteorological stations and their geographical coordinates.

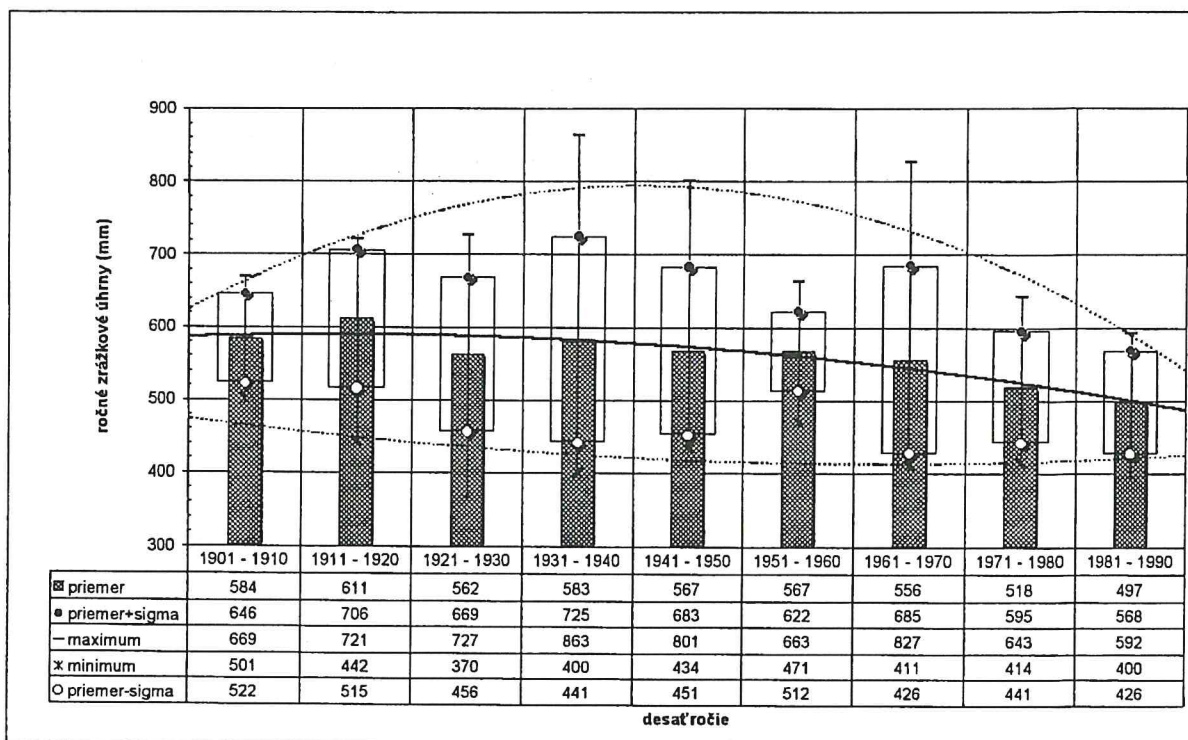
Stanica	Zem. šírka			Zem. dĺžka			Nadm. výška (m)
	Stupne	Minúty	Sekundy	Stupne	Minúty	Sekundy	
Hurbanovo	47	23	52	18	39	11	115
Kráľová pri Senci	48	3	12	17	50	27	123
Trnava	48	36	22	17	30	38	155
Zihárec	48	59	3	17	9	52	111

Zdroj: Atlas Slovenskej socialistickej republiky, SAV a SÚGK, Bratislava 1980

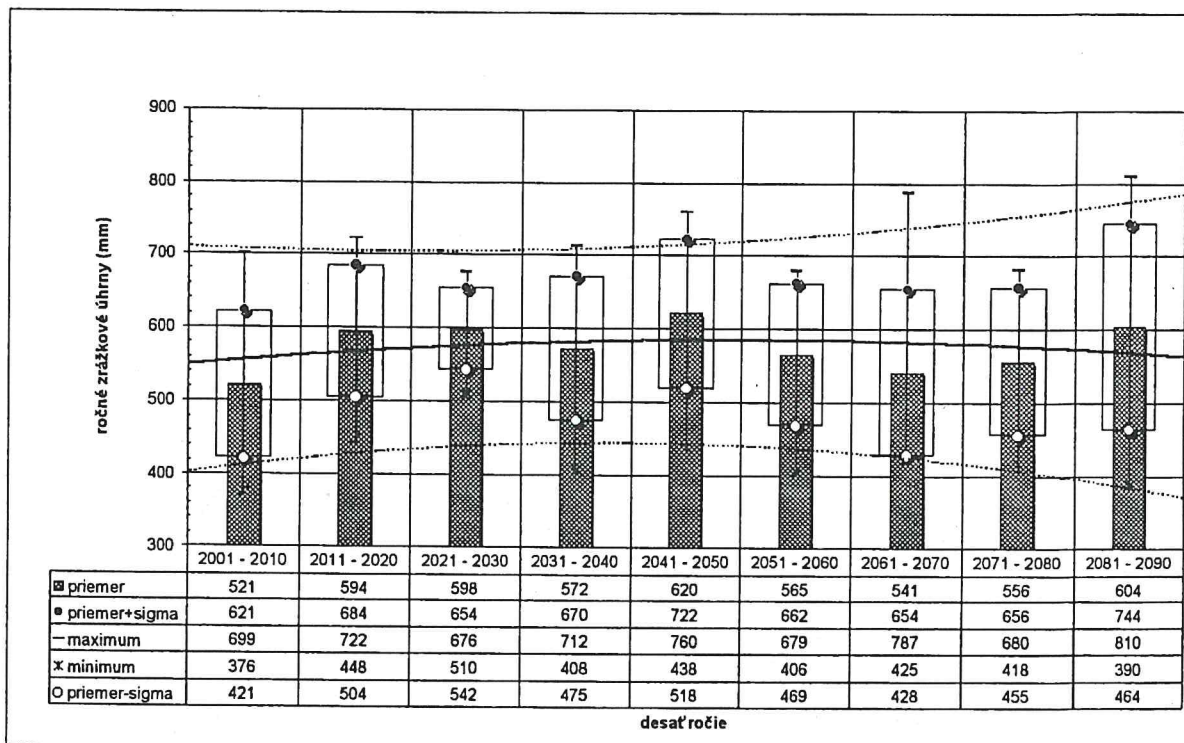


Obr. 1. Vymedzenie klimatických oblastí Slovenska dôležitých z hľadiska závlah.

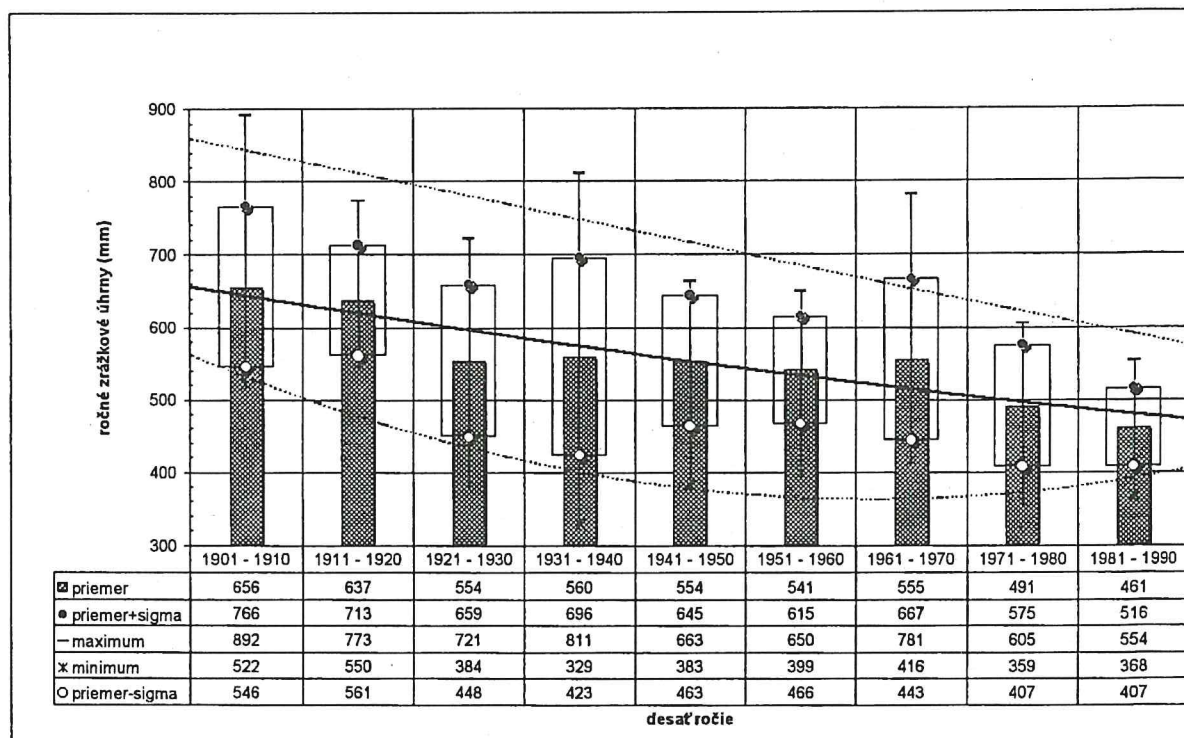
Fig. 1. Localization of climate areas from the point of view of irrigation.



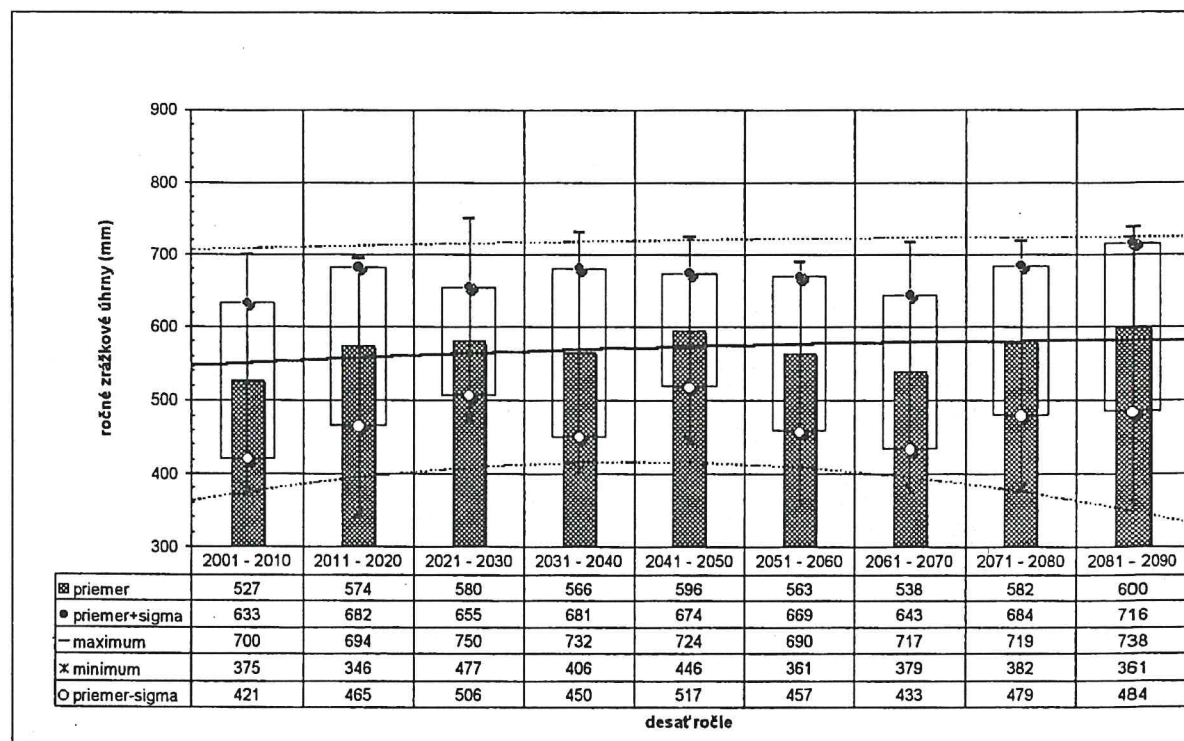
Obr. 2. Hurbanovo – základné štatistické charakteristiky ročných zrážkových úhrnov v období rokov 1901 - 1990
Fig. 2. Hurbanovo – basic statistical characteristics of yearly precipitation sums in the period 1901-1990



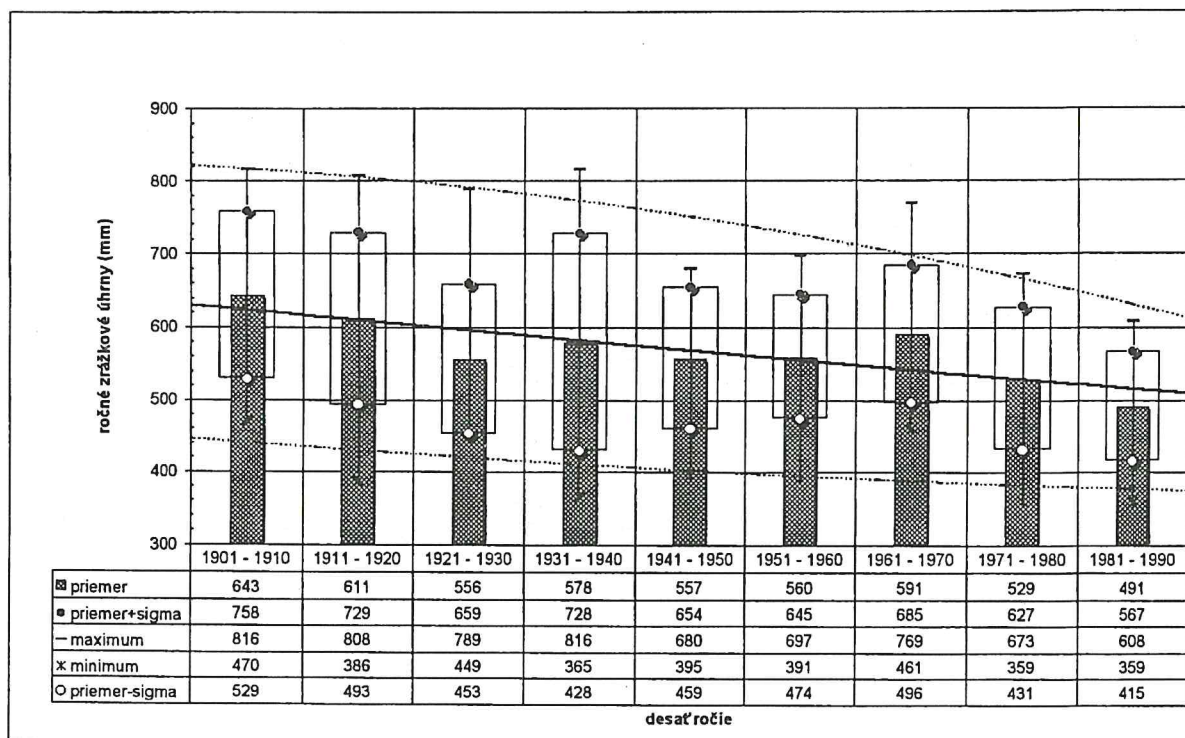
Obr. 3. Hurbanovo – základné štatistické charakteristiky ročných zrážkových úhrnov v období rokov 2000 - 2090
Fig. 3. Hurbanovo – basic statistical characteristics of yearly precipitation sums in the period 2001-2090



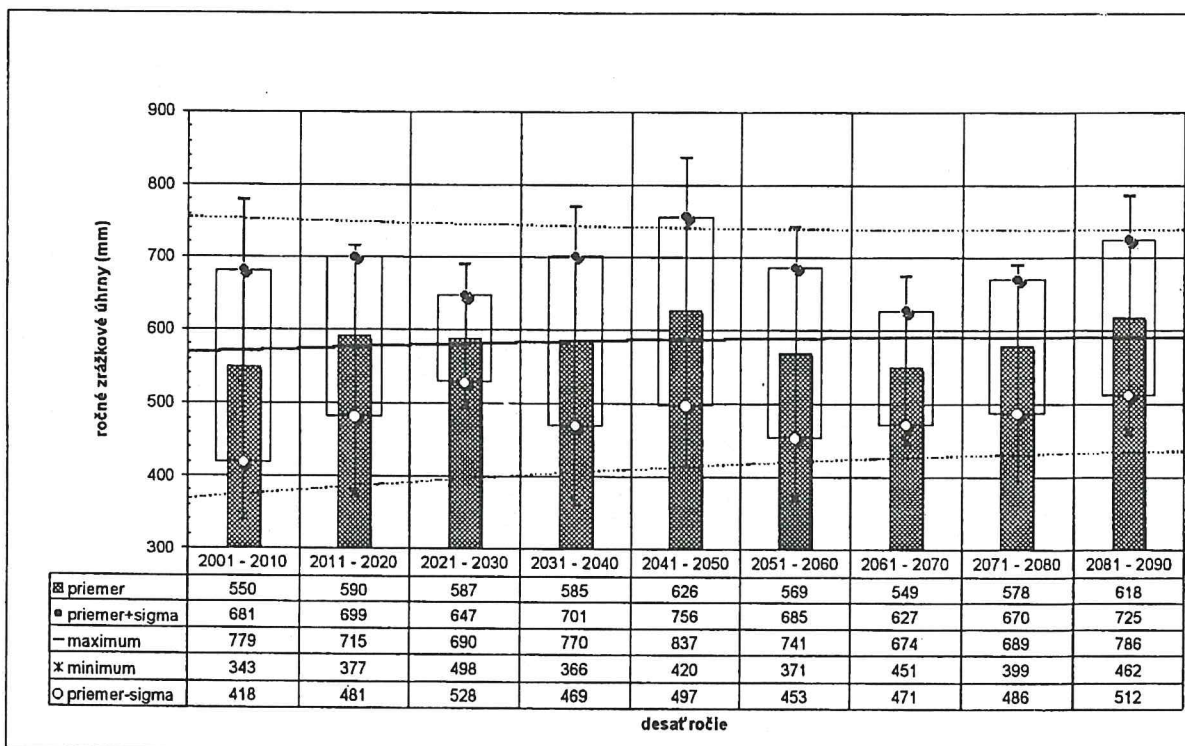
Obr. 4. Kráľová pri Senci – základné štatistické charakteristiky ročných zrážkových úhrnov období rokov 1901 – 1990
 Fig. 4. Kráľová pri Senci – basic statistical characteristics of yearly precipitation sums in the period 1901-1990



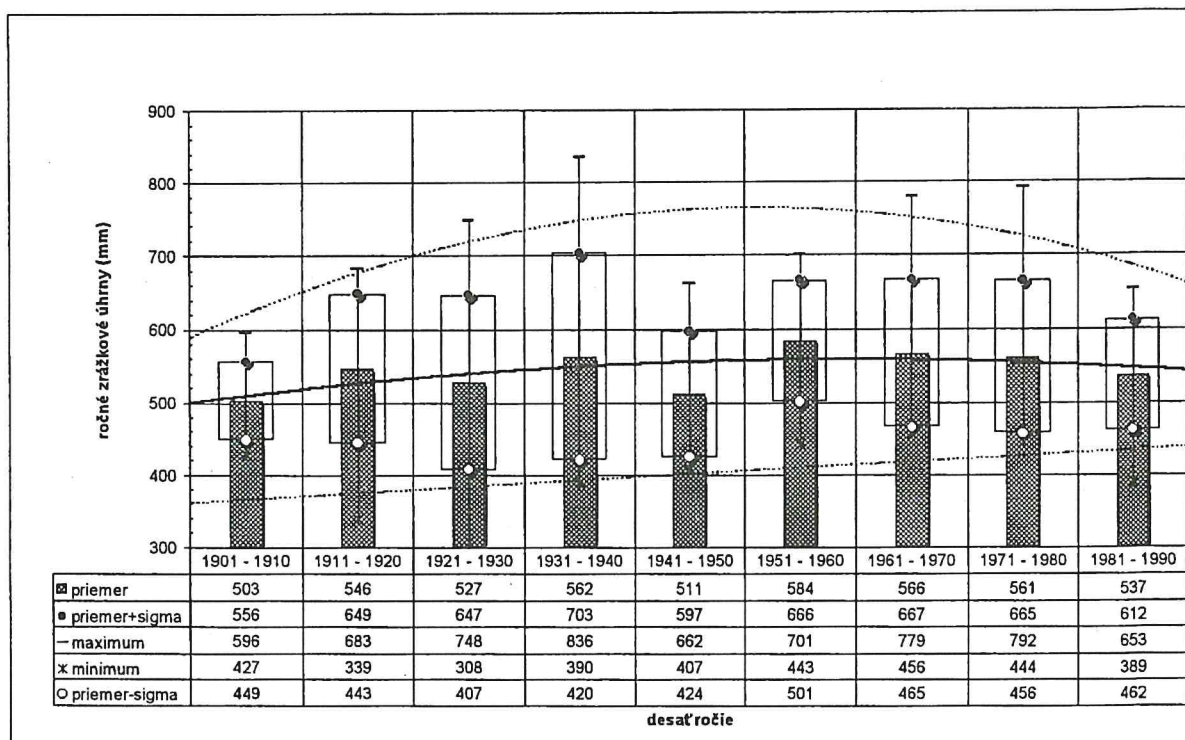
Obr. 5. Kráľová pri Senci – základné štatistické charakteristiky ročných zrážkových úhrnov v období rokov 2001 – 2090
 Fig. 5. Kráľová pri Senci – basic statistical characteristics of yearly precipitation sums in the period 2001-2090



Obr. 6. Trnava – základné štatistické charakteristiky ročných zrážkových úhrnov v období rokov 1901 – 1990
Fig. 6. Trnava – basic statistical characteristics of yearly precipitation sums in the period 1901-1990

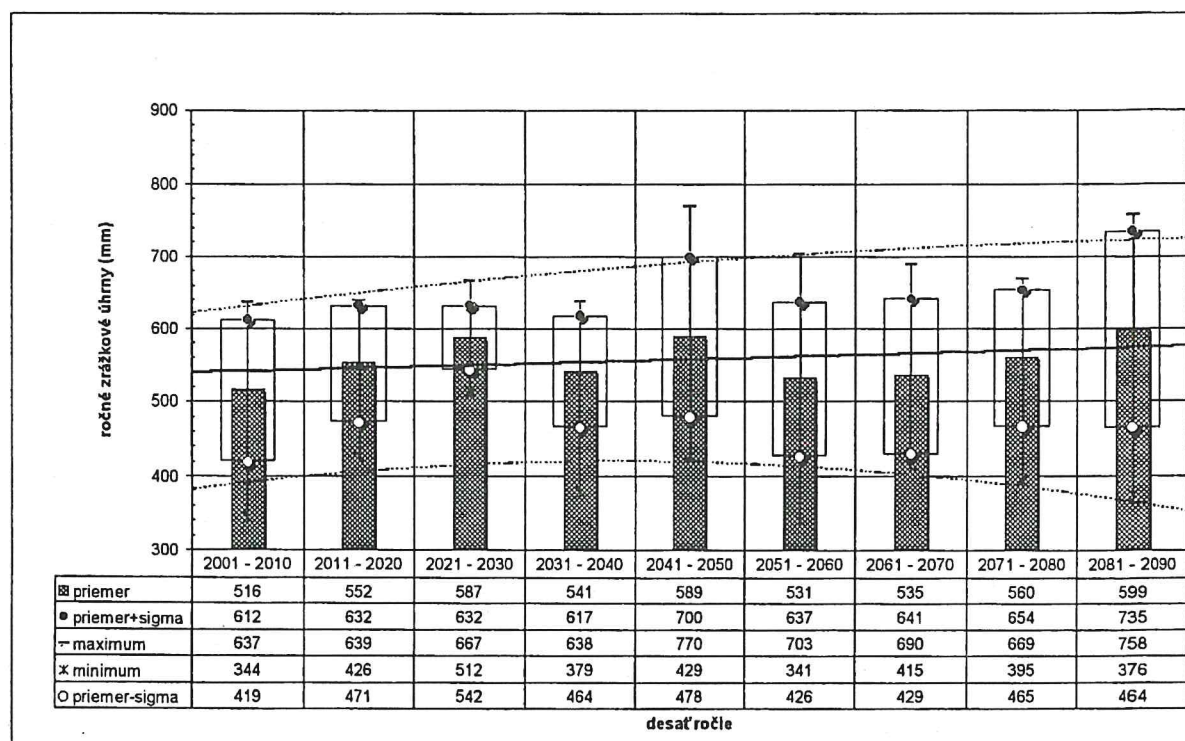


Obr. 7. Trnava – základné štatistické charakteristiky ročných zrážkových úhrnov v období rokov 2001 – 2090
Fig. 7. Trnava – basic statistical characteristics of yearly precipitation sums in the period 2001-2090



Obr. 8. Žihárec – základné štatistické charakteristiky ročných zrážkových úhrnov v období rokov 1901 – 1990

Fig. 8. Žihárec – basic statistical characteristics of yearly precipitation sums in the period 1901-1990



Obr. 9. Žihárec – základné štatistické charakteristiky ročných zrážkových úhrnov v období rokov 2001 – 2090

Fig. 9. Žihárec – basic statistical characteristics of yearly precipitation sums in the period 2001-2090

DÔSLEDKY ZMENY KLÍMY NA BILANCIU VODY V POĽNOHOSPODÁRSKEJ KRAJINE

Jozef Takáč, SVP, š. p. OZ Hydromeliorácie, Bratislava

Úvod

Očakávaná zmena klímy spôsobí zmeny podmienok pre prírodné ekosystémy, ako aj pre sociálne a ekonomické sektory spoločnosti. S dôsledkami očakávaných zmien sa bude potrebné vyrovnávať okrem iného aj v sektore poľnohospodárstva. Z hľadiska poľnohospodárskej výroby je zaujímavý hlavne vývoj teplotných a vlhkostných pomerov. Očakávané zvýšenie teploty vzduchu spolu so zmenami v zrážkových úhrnoch a rozložení zrážok počas roka sa odrazí v zmenách jednotlivých prvkov vodnej bilancie a podmiení zmeny nárokov na zavlažovanie a zmeny závlahových režimov. Častejší výskyt suchých období môže byť limitujúcim faktorom poľnohospodárskej rastlinnej výroby.

Podstatná časť výsledkov týkajúcich sa dôsledkov klimatickej zmeny na poľnohospodársku krajinu a poľnohospodársku výrobu v SR bola dosiahnutá v rámci NKP SR. Najviac výsledkov bolo publikovaných v období 1995 – 1997 s využitím prírastkových scenárov a scenárov podľa regionálnych modifikácií výstupov modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry GISS, CCCM a GFDL. Od roku 2000 sa výskum vykonáva na základe nových scenárov regionálnych modifikácií výstupov modelov CCCM_{prep} a GISS_{prep}. Cieľom výskumu je v nadväznosti na výsledky dosiahnuté v minulosti stanoviť charakteristiky časového a priestorového vývoja vodného režimu poľnohospodársky využívaných území, vyhodnotiť pre jednotlivé časové horizonty podľa vybraných scenárov klimatickej zmeny dôsledky klimatickej zmeny na vodný režim pôdy so zameraním na charakteristiky ovplyvňujúce poľnohospodársku rastlinnú výrobu a vyhodnotiť ich dôsledky na závlahové režimy vo vybraných regiónoch SR.

Metodika riešenia

Výpočty a simulácie boli vykonané s novými scenármi klimatickej zmeny CCCM_{prep} a GISS_{prep} (LAPIN a kol., 2000a). Pre simulácie boli využité 20-ročné rady denných hodnôt globálneho žiarenia, teploty vzduchu a atmosférických zrážok z meteorologických staníc Hurbanovo, Jaslovské Bohunice, Malacky, Michalovce, Košice, Boľkovce, Beluša a Liptovský Hrádok. Ako referenčné obdobie (t. j. bez klimatickej zmeny) je použité obdobie 1966 - 1985, pre Michalovce skrátené obdobie 1974 - 1985. Štatistické charakteristiky klimatických prvkov za toto obdobie na všetkých uvažovaných meteorologických staniách boli blízke štatistickým charakteristikám 30-ročného obdobia 1961 - 1990. Dvadsaťročné klimatické rady pre jednotlivé časové horizonty scenárov klimatickej zmeny boli odvodené na KMK MFF UK z klimatických údajov pre obdobie 1966 - 1985 (LAPIN a kol., 2000b). Vyhodnotenie založené na simuláciách modelom systému pôda-rastlina-atmosféra DAISY (HANSEN et al., 1990) bolo vykonané pre reprezentatívne pôdne profily daných regiónov. Simulácie sa vykonali pre jednotlivé regióny s 3 - 5 poľnými plodinami (jarný jačmeň, ozimná pšenica, kukurica, cukrová repa a lucerna) usporiadanými do osevných postupov so závlahou i bez závlahy. Závlahové dávky boli aplikované v automatickom režime pri poklese zásoby pôdnej vody v koreňovej zóne pod 50 % využiteľnej vodnej kapacity (VVK). Začiatok a koniec závlahovej sezóny je definovaný vývojovou fázou plodiny.

Pre južnú časť Podunajskej nížiny s hlinitými pôdami (oblasť meteorologickej stanice Hurbanovo) boli simulácie modelom DAISY zostavené tak, aby sa každá plodina vyskytovala v každom roku 20-ročného klimatického radu. V osevných postupoch pre ostatné oblasti a pôdy sa plodiny vyskytovali 7 – 9 krát v 20 ročnom rade v závislosti od počtu uvažovaných plodín v danej oblasti.

Dánsky simulačný model DAISY je matematický model určený na modelovanie rastlinnej výroby, dynamiky pôdnej vody a dynamiky dusíka v pôde za rozličných podmienok stratégie a riadenia poľnohospodárskej výroby. Jednotlivé procesy, ktoré sú zahrnuté v modeli, uvažujú s transformačnými a transportnými procesmi vody, tepla, uhlíka a dusíka. Model je jednorozmerný. Z hydrologických procesov sú v modeli zahrnuté akumulácia a topenie snehu, intercepcia zrážok porastom, výpar z pôdy a povrchu porastu, infiltrácia, príjem vody koreňmi rastlín, transpirácia a vertikálny pohyb vody v pôdnom profile. Pôvodné plodinové moduly modelu DAISY pre ozimnú pšenicu a jarný jačmeň pôvodne odvodené pre dánske podmienky a odrody boli rekalibrované pre slovenské odrody a pre ďalšie plodiny (kukurica, cukrová repa a lucerna) boli vyvinuté nové plodinové moduly. Plodinové parametre boli optimalizované na základe experimentálnych údajov z poľného stacionárneho pokusu na VPS VÚZH v Moste pri Bratislave a model bol overený na lokalitách na Žitnom ostrove. Plodinové moduly boli modifikované pre zvýšenú koncentráciu CO₂ v atmosfére v spolupráci s KBH FZKI SPU v Nitre.

V rámci riešenia boli z prvkov vodnej bilancie pôdy pre vybrané scenáre a jednotlivé časové horizonty v porovnaní s referenčným obdobím vyhodnotené charakteristiky evapotranspirácie, akumulácia snehu, akumulácia vody na povrchu, infiltrácia a zmeny zásoby pôdnej vody vo vybraných horizontoch pôdneho profilu. Z výsledkov simulácií charakterizujúcich závlahový režim boli pre jednotlivé scenáre a časové horizonty hodnotené závlahové množstvá, termíny závlahových dávok a rozloženie závlahovej potreby v priebehu vegetačného obdobia.

Výsledky

Vzhľadom na bilanciu vody v pôde je významným činiteľom evapotranspirácia charakterizujúca tok vody zo zemského povrchu do atmosféry. Evapotranspiráciu tvorí výpar z pôdy spolu s transpiráciou z plochy

pokrytej vegetáciou. V závislosti od toho, či obsah vody v pôde je alebo nie je limitujúcim faktorom, rozoznávame aktuálnu a potenciálnu evapotranspiráciu, resp. aktuálny a potenciálny výpar z pôdy a aktuálnu a potenciálnu transpiráciu.

Priemerné ročné úhrny potenciálnej (ET_0) evapotranspirácie v referenčnom období a v jednotlivých časových horizontoch podľa scenárov CCCM_{prep} a GISS_{prep} pre oblasti vybraných meteorologických staníc sú uvedené v tab. 1. Priemerné ročné úhrny potenciálnej evapotranspirácie v referenčnom období 1966 - 1985 dosahovali na jednotlivých meteorologických staniaciach 580 mm (Lipt. Hrádok) až 772 mm (Hurbanovo). Na základe výsledkov výpočtov pre scenáre klimatickej zmeny možno konštatovať, že podľa oboch scenárov príde v jednotlivých časových horizontoch k zvýšeniu priemerných ročných úhrnov potenciálnej evapotranspirácie vo všetkých uvažovaných oblastiach, pričom ich zvýšenie je podstatne výraznejšie podľa scenára CCCM_{prep}. V horizonte roku 2075 sa toto zvýšenie pre jednotlivé stanice podľa scenára CCCM_{prep} pohybuje medzi 8 až 13 %, kým podľa scenára GISS_{prep} len do 7 %. Najvýraznejší nárast ročných úhrnov potenciálnej evapotranspirácie možno očakávať medzi horizontmi rokov 2030 a 2075.

Čo sa týka priemerných ročných úhrnov aktuálnej evapotranspirácie (ET), simulované úhrny za referenčné obdobie sú väčšie (na juhu západného a stredného Slovenska o 20 - 60 mm, na východe o viac ako 100 mm) ako publikované úhrny za obdobie 1951 - 1980 (SHMÚ, 1991). Treba však poznamenať, že aktuálna evapotranspirácia je ovplyvnená aj výberom plodín a ich schopnosťou čerpať vodu z väčších hĺbok. Rozdiely v priemerných ročných úhrnoch aktuálnej evapotranspirácie medzi použitými scenármi nie sú také výrazné ako v prípade potenciálnej evapotranspirácie (tab. 2). Najvýznamnejší nárast mesačného úhrnu aktuálnej evapotranspirácie pripadá na máj.

Priemerné ročné úhrny deficitu evapotranspirácie ($ET_0 - ET$) vypočítané podľa scenárov CCCM_{prep} a GISS_{prep} sa navzájom líšia (tab. 3). Podľa scenára CCCM_{prep} sa priemerné ročné úhrny deficitu evapotranspirácie zvýšia, najviac v horizonte roku 2075, na Podunajskej nížine až na viac ako 300 mm. Podľa scenára GISS_{prep} sa pohybujú na rovnakej úrovni ako v referenčnom období 1966-1985, prípadne naznačujú len mierny nárast alebo pokles. Podľa scenára CCCM_{prep} v porovnaní s referenčným obdobím sa zvýšia vo všetkých regiónoch maximálne ročné úhrny deficitu evapotranspirácie, najvýraznejšie v horizonte roku 2075, na Podunajskej nížine na viac ako 400 mm. Podľa scenára GISS_{prep} podobne ako u priemerných hodnôt deficitu evapotranspirácie je trend v jednotlivých regiónoch rozdielny (tab. 4).

Statistické charakteristiky ročného chodu deficitu evapotranspirácie v Hurbanove v referenčnom období 1966 - 1985 a v časovom horizonte roku 2075 podľa oboch scenárov sú znázornené na obr. 1. Podľa scenára CCCM_{prep} je evidentný nárast priemerných mesačných úhrnov deficitu evapotranspirácie v porovnaní s referenčným obdobím v mesiacoch jún a júl v horizonte roku 2075, v mesiacoch august a september vo všetkých časových horizontoch. V prípade scenára GISS_{prep} je do júna pokles, v letných mesiacoch júl a august nepatrný nárast mesačných hodnôt.

Pre poľnohospodárstvo, hlavne z hľadiska prezimovania plodín, je významnou charakteristikou aj snehová pokrývka. Priemerný počet dní so snehovou pokrývkou na Podunajskej nížine a na Záhorskej nížine nepresahuje 40 dní, na Východoslovenskej nížine a na juhu stredného Slovenska 60 dní. Trvanie snehovej pokrývky podľa pozorovaní SHMÚ a podľa simulácií modelom DAISY pre stanice Hurbanovo a Michalovce je uvedené v tab. 5.

Simulované charakteristiky snehovej pokrývky pre stanice Hurbanovo, Michalovce a Malacky pre jednotlivé časové horizonty scenárov klimatickej zmeny sú zhrnuté v tab. 6 - 8. Ako z týchto tabuliek vyplýva, počet dní so snehovou pokrývkou bude v nížinných oblastiach postupne klesať so zvyšujúcim sa časovým horizontom. Podľa týchto simulácií by priemerný počet dní so snehovou pokrývkou v horizonte roku 2075 v nížinných oblastiach mal poklesnúť pod 20 dní. Tiež by mala postupne klesať vodná hodnota snehovej pokrývky.

Z analýzy denných výstupov vykonaných simulácií vyplynulo, že v priebehu zimy bude dochádzať častejšie nielen k topeniu snehovej pokrývky, ale aj k rozmŕzaniu povrchovej vrstvy pôdy, čo umožní infiltráciu vody akumulovanej v snehovej pokrývke do pôdneho profilu a v porovnaní s referenčným obdobím sa hodnoty infiltrácie zvýšia. K tomuto javu so zvyšujúcim sa časovým horizontom bude dochádzať čoraz častejšie. Naopak, v marci postupne infiltrácia poklesne.

Podľa výsledkov simulácií sa zvýši podľa oboch použitých scenárov priemerné množstvo vody infiltrujúcej do pôdneho profilu. Priemerné mesačné úhrny infiltrujúcej vody v Hurbanove v jednotlivých časových horizontoch klimatickej zmeny sú uvedené v tab. 9. V referenčnom období do pôdy infiltruje asi 84 % z celoročného zrážkového úhrnu. Priemerné množstvo infiltrovanej vody sa podľa použitých scenárov v jednotlivých časových horizontoch pohybuje medzi 85 - 87 % priemerných ročných úhrnov atmosférických zrážok, resp. v letnom polroku medzi 82 - 84 % priemerných úhrnov zrážok za letný polrok.

Z pohľadu poľnohospodárstva je z viacerých hľadísk významná aj akumulácia vody na povrchu pôdy, keď zrážková voda alebo voda z topiaceho sa snehu nemôže infiltrovať do pôdy. Táto voda sa potom môže premeniť na povrchový odtok. Podľa vykonaných simulácií bude v nížinných oblastiach počet dní s vodou akumulovanou na povrchu v ročnom priemere postupne klesať. Situácia v priemere za letný polrok je na uvažovaných staniaciach v závislosti od pôdneho druhu odlišná. Pre Hurbanovo bol simulovaný väčší priemerný počet dní s vodou na povrchu za letný polrok v horizonte rokov 2030 a 2075 podľa oboch použitých scenárov, v Michalovciach len v horizonte roku 2075 podľa scenára GISS_{prep}. Priemerný počet dní s vodou akumulovanou na povrchu v jednotlivých mesiacoch pre Hurbanovo a Michalovce je uvedený v tab. 10 - 12.

Rast a vývoj poľnohospodárskych plodín je intenzívne ovplyvňovaný obsahom vody v pôde. Obsah vody v pôde pritom patrí k najdynamickejším vlastnostiam pôdy. Hodnota priemerného ročného simulovaného integrálneho obsahu vody v horizonte 0 - 100 cm sa v jednotlivých rokoch referenčného obdobia pohybovala na typických pôdnych profiloch Žitného ostrova medzi hodnotou integrálneho obsahu vody v pôde pri bode zníženej dostupnosti a hodnotou integrálneho obsahu vody v pôde pri poľnej vodnej kapacite. Minimálny priemerný integrálny obsah vody v horizonte 0 - 100 cm za letný polrok v referenčnom období bol menší ako

integrálny obsah prislúchajúci bodu zníženej dostupnosti a priemer za referenčné obdobie bol tesne nad bodom zníženej dostupnosti. V mesiacoch júl – september väčšinou klesal integrálny obsah vody pod hodnotu bodu zníženej dostupnosti.

Hodnota priemerného ročného simulovaného integrálneho obsahu vody v horizonte 0 – 100 cm je podľa vybraných scenárov vo všetkých časových horizontoch o 4 – 6 mm menšia ako v referenčnom období 1966 - 1985 a udržuje sa nad hodnotou prislúchajúcou bodu zníženej dostupnosti. Hodnota priemerného simulovaného integrálneho obsahu vody v horizonte 0 – 100 cm za letný polrok sa bude podľa vybraných scenárov postupne znižovať a klesne pod hodnotu bodu zníženej dostupnosti (tab. 13). Minimálne hodnoty priemerného ročného integrálneho obsahu vody v horizonte 0 – 100 cm podľa simulácií modelom DAISY sú v jednotlivých časových horizontoch nepatrne menšie ako v referenčnom období (o 2 – 7 mm) a neprekračujú hodnotu bodu zníženej dostupnosti. Podľa vykonaných simulácií poklesnú aj maximálne hodnoty priemerného ročného integrálneho obsahu vody v horizonte 0 – 100 cm (o 6 – 11 mm). Variačné rozpätie ročných priemerov sa zníži. Naopak, v letnom polroku sa variačné rozpätie integrálneho obsahu vody v pôde v horizonte 0 – 100 cm zvýši. Kým maximálne hodnoty останú na približne rovnakej úrovni ako v referenčnom období, minimálne hodnoty poklesnú v jednotlivých časových horizontoch o 9 – 17 mm.

Pre horizont 0 – 30 cm, ktorý bezprostredne reaguje na chod meteorologických prvkov, boli všetky uvažované štatistické charakteristiky integrálneho obsahu vody v pôde vypočítané pre vybrané časové horizonty menšie o 2 – 6 mm ako v referenčnom období, pričom variačné rozpätie v ročnom priemere sa nezmenilo a v letnom polroku sa znížilo o 2 – 4 mm.

Štatistické charakteristiky priemerného mesačného simulovaného integrálneho obsahu vody v horizonte 0 – 100 cm na hlinitých pôdach Žitného ostrova v referenčnom období a v horizonte roku 2075 podľa obidvoch použitých scenárov sú graficky znázornené na obr. 2. Ako vidieť z obrázku, podľa výsledkov simulácií modelom DAISY nastanú zmeny v ročnom chode integrálneho obsahu vody v pôde. V zimných mesiacoch január a február sa podľa obidvoch scenárov postupne zvýši priemerný mesačný integrálny obsah vody v horizonte 0 – 100 cm, pričom sa v obidvoch mesiacoch zvýši aj hodnoty dolného kvartilu. Pre január boli vypočítané aj väčšie hodnoty horného kvartilu ako v referenčnom období, pre február sú hodnoty horného kvartilu nepatrne menšie. Medzikvartilové rozpätie, do ktorého zapadá 50 % hodnôt, sa zníži. Vo februári výrazne poklesne aj variačné rozpätie.

Podľa vykonaných simulácií v marci začne obdobie poklesu integrálneho obsahu vody v pôde v porovnaní s referenčným obdobím. V máji pritom podľa výsledkov simulácií poklesnú minimálne hodnoty už pod hodnotu bodu zníženej dostupnosti. V letných mesiacoch júl a august sa podľa obidvoch scenárov všetky vypočítané štatistické hodnoty s výnimkou maximálnych hodnôt nachádzajú pod úrovňou bodu zníženej dostupnosti, podobne ako to bolo v referenčnom období. Sú však menšie.

Podobné trendy sú pozorovateľné aj vo výsledkoch doteraz vykonaných simulácií pre ďalšie pôdne druhy a oblasti meteorologických staníc. Pokles integrálneho obsahu vody v pôde podľa scenárov klimatickej zmeny v letnom polroku sa pohybuje väčšinou do 5 %, výnimočne do 10 %, v ročnom priemere okolo 2 %.

Ako vyplýva z vyššie uvedených výsledkov, ročné zrážkové úhrny, ani ich rozloženie počas vegetačného obdobia, nie sú postačujúce pre pokrytie vlhovej potreby plodín, a preto je v našich klimatických podmienkach doplnková závlaha nevyhnutnou podmienkou optimalizácie vodného režimu pôdy pre potreby poľnohospodárskej výroby. Doplnková závlaha zlepšuje podmienky pre transpiráciu rastlín, čo sa prejavuje na väčších hodnotách aktuálnej evapotranspirácie v porovnaní s nezavlažovanými porastami. Dodaná závlahová voda pozitívne ovplyvní v jednotlivých časových horizontoch aj integrálny obsah vody v pôde. Podľa obidvoch scenárov sa zvýši priemerný integrálny obsah vody v zavlažovanej pôde v letnom polroku asi o 40 mm v porovnaní s nezavlažovanou pôdou.

Priemerné simulované množstvo dodanej závlahovej vody pre jednotlivé plodiny vo vybraných časových horizontoch scenárov klimatickej zmeny na hlinitých pôdach v južnej časti Podunajskej nížiny je graficky znázornené na obr. 3. V jednotlivých časových horizontoch bolo v automatickom závlahovom režime na typických hlinitých pôdach Žitného ostrova dodané podľa scenára CCCM_{prep} o 3 – 10 % a podľa scenára GISS_{prep} o 4 – 8 % väčšie priemerné množstvo závlahovej vody ako v referenčnom období. Na hlinitopiesočnatých pôdach Žitného ostrova bolo simulované v jednotlivých časových horizontoch o 600 – 900 m³.ha⁻¹ viac dodanej závlahovej vody ako na hlinitých pôdach.

Podľa jednotlivých plodín bol simulovaný najväčší nárast dodanej závlahovej vody pre lucernu, a to o 20 – 36 % v jednotlivých časových horizontoch podľa scenára CCCM_{prep} a o 19 – 23 % podľa scenára GISS_{prep}. U hustosiatych obilnín je toto zvýšenie len nepatrné. Celkovo možno konštatovať, že nárast závlahovej potreby nie je taký vysoký, ako by sa dal očakávať podľa zmien klimatických charakteristík. Nárast teploty a evapotranspirácie má totiž za následok rýchlejší vývoj a dozrievanie plodín a skrátenie ich vegetačného obdobia. Na druhej strane, potreba doplnkovej závlahy je už aj v súčasnosti v tejto oblasti vysoká.

Štatistické charakteristiky dodaného množstva závlahovej vody pre vybrané plodiny na hlinitých pôdach v oblastiach vybraných nížinných meteorologických staníc v referenčnom období a podľa scenárov klimatickej zmeny sú graficky znázornené na obr. 4 – 6. Ako vidieť, medzikvartilové rozpätie, do ktorého spadá 50 % hodnôt, ostáva väčšinou v porovnaní s referenčným obdobím nezmenené. Z prezentovaných výsledkov je výraznejšia zmena viditeľná len u kukurice v oblasti Jaslovských Bohuníc.

Výraznejšie ako klimatické činitele ovplyvňujú potrebu doplnkovej závlahy pôdne vlastnosti, čo je evidentné hlavne pri porovnaní ľahkých a stredne ťažkých pôd. Na ľahkých pôdach Záhorskej nížiny bolo potrebné dodať v referenčnom období v priemere o 35 % viac závlahovej vody a v jednotlivých časových horizontoch klimatickej zmeny o 40 – 65 % (scenár CCCM_{prep}), resp. 48 – 55 % (scenár GISS_{prep}) ako na stredne ťažkých pôdach. Priemerné simulované množstvo dodanej závlahovej vody (vážený priemer podľa výmery plodín) na prevládajúcich pôdach v oblastiach meteorologických staníc sú znázornené na obr. 7. V smerodajne suchom roku je v referenčnom období potreba doplnkovej závlahy na ľahkých pôdach o 32 %

väčšia ako na hlinitých pôdach a v jednotlivých časových horizontoch scenárov klimatickej zmeny je väčšia o 39 – 49 % (obr. 8).

Na Východoslovenskej nížine reprezentovanej meteorologickou stanicou Michalovce bol v referenčnom období priemerný termín prvej závlahovej dávky u jednotlivých plodín v priemere o 11 dní neskôr ako v južnej časti Podunajskej nížiny reprezentovanej stanicou Hurbanovo (tab. 14 a 15). Podľa vykonaných simulácií sa priemerný termín prvej závlahovej dávky posunie na skorší dátum na Podunajskej nížine o 2 – 16 dní a na Východoslovenskej nížine o 3 – 17 dní v závislosti od plodiny, scenára a časového horizontu. Podobne najskorší termín prvej závlahovej dávky sa posunie na skorší dátum na Podunajskej nížine o 2 – 14 dní a na Východoslovenskej nížine o 5 – 23 dní v závislosti od plodiny, scenára a časového horizontu.

Doteraz spracované výsledky hodnotenia rozloženia závlahovej potreby v priebehu vegetačného obdobia potvrdzujú predchádzajúce závery z riešenia NKP SR (TAKÁČ, 1966) očakávajúce zvýšenie závlahovej potreby koncom mája a v letných mesiacoch júl a august.

Záver

Pre referenčné obdobie 1966 – 1985 a pre jednotlivé časové horizonty scenárov klimatickej zmeny CCCM_{prep} a GISS_{prep} boli vyhodnotené charakteristiky evapotranspirácie, akumulácia snehu, akumulácia vody na povrchu, infiltrácia a zmeny zásoby pôdnej vody vo vybraných horizontoch pôdného profilu. Z výsledkov simulácií charakterizujúcich závlahový režim boli pre jednotlivé scenáre a časové horizonty hodnotené závlahové množstvá a termíny závlahových dávok.

Podľa oboch scenárov príde v jednotlivých časových horizontoch k zvýšeniu priemerných ročných úhrnov potenciálnej evapotranspirácie vo všetkých uvažovaných oblastiach. K najvýraznejšiemu nárastu mesačného úhrnu aktuálnej evapotranspirácie dojde v máji. Podľa scenára CCCM_{prep} sa zvýšia priemerné ročné úhrny deficitu evapotranspirácie, podľa scenára GISS_{prep} sa pohybujú na rovnakej úrovni ako v referenčnom období 1966-1985, prípadne naznačujú len mierny nárast alebo pokles.

Podľa vykonaných simulácií by mal priemerný počet dní so snehovou pokrývkou postupne klesať a v horizonte roku 2075 v nížinných oblastiach mal poklesnúť pod 20 dní.

Hodnota priemerného obsahu vody v horizonte 0 – 100 cm sa bude podľa vybraných scenárov postupne znižovať. Doplnková závlaha bude nevyhnutnou podmienkou optimalizácie vodného režimu pôdy pre potreby poľnohospodárskej výroby. Rast závlahovej potreby závisí od klimatických pomerov lokality, druhu pôdy, plodiny, použitého scenára a časového horizontu.

Literatúra

- HANSEN, S., JENSEN, H.E., NIELSEN, N.E. & SVENDSEN, H. (1990): DAISY: A Soil Plant System Model. Danish simulation model for transformation and transport of energy and matter in the soil-plant-atmosphere system. The National Agency for Environmental Protection, Copenhagen.
- LAPIN, M., MELO, M., DAMBORSKÁ, I., GERA, M., FAŠKO, P. (2000a): Nové scenáre klimatickej zmeny pre Slovensko na báze výstupov prepojených modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry. NKP SR, V, 2000, zv. 8, 5 - 34.
- LAPIN, M., MELO, M., HRVOJ, J. (2000b): Modifikované scenáre klimatickej zmeny pre reprezentatívne lokality vybraných regiónov na Slovensku do roku 2100. Správa za riešenie HZ. KMK MFF UK, Bratislava.
- SHMÚ (1991): Zborník prác Slovenského hydrometeorologického ústavu v Bratislave. Zväzok 33/1. Klimatické pomery na Slovensku. Vybrané charakteristiky. Vyd. Alfa, Bratislava.
- TAKÁČ, J. (1996): Možné dôsledky klimatickej zmeny na bilanciu pôdnej vody a závlahové režimy. NKP SR. MŽP SR, SHMÚ, VÚZH, Bratislava.
- TAKÁČ, J., ZUZULA, I. (2000): Adaptácia poľnohospodárstva v Slovenskej republike na klimatickú zmenu. NKP SR, V, 2000, zv. 9, Bratislava, s. 95 - 107.

CLIMATE CHANGE IMPACTS ON WATER BALANCE IN AGRICULTURAL LANDSCAPE

Jozef Takáč, SVP, š. p. OZ Hydromelióracie, Bratislava

Summary

Expected increase of the air temperature, together with changes in precipitation totals and rainfall distribution will response in changes of particular water balance elements. It will condition changes in both irrigation demand and irrigation regimens of agricultural crops. The more often appearance of dry periods might be a limiting factor of agricultural plants production. The aim of the research is to evaluate, with the help of selected scenarios of the climate change, impacts of climate change on water regime in soil per particular period. The evaluation will be oriented on particular factors that influence agricultural plant production and the output of the paper is evaluation of those impacts on irrigation regime in selected regions in the Slovak Republic.

Calculations and simulations were executed with the help of scenarios of the climate change CCCM_{PREP} and GISS_{PREP}. We used 20 year courses of daily values of data from 8 meteorological stations. The reference period is 1966 – 1985.

For the reference period 1966 – 1985 and for time horizons 2010, 2030, and 2075 of climate change scenarios CCCM_{PREP} and GISS_{PREP} there were evaluated characters as follows: evapotranspiration, snow accumulation, surface water accumulation, infiltration and changes of soil water supply in selected soil horizons. Results of simulations characterizing irrigation regime have been used for evaluation of irrigation rates and terms for particular scenarios and time horizons.

The both scenarios showed increase of average potential evapotranspiration totals in all considered areas and time horizons. The most significant increase of month actual total evapotranspiration will appear in May.

The average total evapotranspiration deficits calculated according to the CCCM_{PREP} will increase, however, those calculated according to the GISS_{PREP} scenario will remain the same as in reference period 1966 – 1985, or show just little increase or decrease.

According to simulation, the average number of days with snow cover should gradually decrease and it is expected to fell under 20 days in the year 2075 in lowlands.

The average water content in the soil horizon 0 – 100 cm should gradually decrease. The supplementary irrigation will be the unavoidable condition of the water regime optimisation for purposes of agricultural production. Increase of irrigation demand depends on the area, soil, crop, scenario and time horizon.

Tab. 1 Priemerné ročné úhrny potenciálnej evapotranspirácie ET_0 [mm] za referenčné obdobie 1966 - 1985 a podľa scenárov klimatickej zmeny pre časové horizonty rokov 2010, 2030 a 2075

Tab. 1 Average annual totals of potential evapotranspiration ET_0 [mm] in the period 1966-1985 and according to climate scenarios for 2010, 2030 and 2075 time horizons

Meteorologická stanica	1966-1985	CCCM _{prep}			GISS _{prep}		
		2010	2030	2075	2010	2030	2075
Beluša	660	684	689	720	686	689	704
Hurbanovo	772	831	839	871	809	812	828
Jasl. Bohunice	745	773	778	811	756	755	770
Malacky	696	739	744	774	697	698	713
Michalovce	707	736	740	771	715	717	732
Košice	715	738	742	773	716	719	735
Boľkovce	712	734	738	770	713	716	731
Lipt. Hrádok	589	612	616	646	593	596	612

Tab. 2 Priemerné ročné simulované úhrny aktuálnej evapotranspirácie ET [mm] za referenčné obdobie 1966 - 1985 a podľa scenárov klimatickej zmeny pre časové horizonty rokov 2010, 2030 a 2075

Tab. 2 Average annual totals of actual evapotranspiration ET [mm] in the period 1966-1985 and according to climate scenarios for 2010, 2030 and 2075 time horizons

Meteorologická stanica	1966-1985	CCCM _{prep}			GISS _{prep}		
		2010	2030	2075	2010	2030	2075
Beluša	589	596	600	605	600	601	611
Hurbanovo	510	542	553	559	566	570	574
Jasl. Bohunice	490	509	516	509	509	512	518
Malacky	523	569	570	568	556	561	558
Michalovce	562	573	580	585	582	584	591
Košice	606	610	598	612	597	611	616
Boľkovce	530	551	556	552	541	546	547
Lipt. Hrádok	501	522	530	546	527	528	537

Tab. 3 Priemerné ročné úhrny deficitu evapotranspirácie $ET_0 - ET$ [mm] za referenčné obdobie 1966 - 1985 a podľa scenárov klimatickej zmeny pre časové horizonty rokov 2010, 2030 a 2075

Tab. 3 Average annual totals of evapotranspiration deficit $ET_0 - ET$ [mm] in the period 1966-1985 and according to climate scenarios for 2010, 2030 and 2075 time horizons

Meteorologická stanica	1966-1985	CCCM _{prep}			GISS _{prep}		
		2010	2030	2075	2010	2030	2075
Beluša	71	88	89	115	86	88	93
Hurbanovo	262	289	286	312	243	242	254
Jasl. Bohunice	255	264	262	302	247	243	252
Malacky	173	170	174	206	141	137	155
Michalovce	145	163	160	186	133	133	141
Košice	109	128	144	161	119	108	119
Boľkovce	182	183	182	218	172	170	184
Lipt. Hrádok	88	90	86	100	66	68	75

Tab. 4 Maximálne ročné úhrny deficitu evapotranspirácie $ET_0 - ET$ [mm] za referenčné obdobie 1966 - 1985 a podľa scenárov klimatickej zmeny pre časové horizonty rokov 2010, 2030 a 2075

Tab. 4 Maximum annual totals of evapotranspiration deficit $ET_0 - ET$ [mm] in the period 1966-1985 and according to climate scenarios for 2010, 2030 and 2075 time horizons

Meteorologická stanica	1966-1985	CCCM _{prep}			GISS _{prep}		
		2010	2030	2075	2010	2030	2075
Beluša	183	208	206	236	209	205	218
Hurbanovo	403	410	403	435	365	355	353
Jasl. Bohunice	358	362	374	407	357	356	367
Malacky	275	279	276	311	234	233	253
Michalovce	246	255	252	280	233	231	237
Košice	231	241	336	262	254	236	230
Boľkovce	299	306	295	351	285	287	306
Lipt. Hrádok	197	210	199	227	180	175	186

Tab. 5 Priemerný počet dní so snehovou pokrývkou > 1 cm v Hurbanove a v Michalovciach za obdobie zim 1951/52 - 1980/81 [Zborník prác SHMU 33/I] a priemerný simulovaný počet dní so snehovou pokrývkou za obdobie 1965/66-1984/85

Tab. 5 Average number of days with snow cover > 1 cm in the period 1951/52-1980/81 and average simulated number of days with snow cover in period 1965/66-1984/85

	XI	XII	I	II	III	IV	Rok
Hurbanovo							
počet dní so sneh. pokrývkou (Zb. prác SHMU)	1,9	6,9	17,1	8,3	3,1	0,1	37,4
počet dní so sneh. pokrývkou (simulovaný)	1,3	6,2	16,5	7,3	1,5	0	32,8
Michalovce							
počet dní so sneh. pokrývkou (Zb. prác SHMU)	1,5	12,0	20,4	13,2	4,9	0	52,0
počet dní so sneh. pokrývkou (simulovaný)	1,5	12,1	23,4	13,4	3,0	0	53,4

Tab. 6 Priemerný počet dní so snehovou pokrývkou v Hurbanove v jednotlivých časových horizontoch vybraných scenárov klimatickej zmeny

Tab. 6 Average number of days with snow cover in Hurbanovo according to climate scenarios for 2010, 2030 and 2075 time horizons

Scenáť	Obdobie/čas. horizont	XI	XII	I	II	III	Rok
referenčné obdobie	1965/66-1984/85	1,3	6,2	16,5	7,3	1,5	32,8
	2010	0,8	5,6	15,3	4,6	0,7	26,9
	2030	0,8	5,4	13,6	3,2	0,6	23,6
	2075	0,3	3,3	10,1	1,5	0,2	15,5
CCCM _{prep}	2010	0,8	5,5	15,4	5,4	0,9	28,0
	2030	0,5	4,4	11,6	3,1	0,9	20,6
	2075	0,3	2,4	7,9	1,7	0,3	12,7

Tab. 7 Priemerný počet dní so snehovou pokrývkou v Michalovciach v jednotlivých časových horizontoch vybraných scenárov klimatickej zmeny

Tab. 7 Average number of days with snow cover in Michalovce according to climate scenarios for 2010, 2030 and 2075 time horizons

Scenár	Obdobie/čas. horizont	XI	XII	I	II	III	Rok
referenčné obdobie	1974/75-1984/85	1,5	12,1	23,4	13,4	3,0	53,4
CCCM _{prep}	2010	1,0	11,1	18,8	9,8	1,3	42,0
	2030	0,9	10,8	18,3	9,3	0,8	40,1
	2075	0,5	6,6	11,6	3,9	0,1	22,7
GISS _{prep}	2010	1,0	11,2	20,1	11,2	1,8	45,3
	2030	0,8	7,0	14,4	7,7	1,3	31,2
	2075	0,4	3,8	8,6	4,0	0,2	17,0

Tab. 8 Priemerný počet dní so snehovou pokrývkou v Malackách v jednotlivých časových horizontoch vybraných scenárov klimatickej zmeny

Tab. 8 Average number of days with snow cover in Malacky according to climate scenarios for 2010, 2030 and 2075 time horizons

Scenár	Obdobie/čas. horizont	XI	XII	I	II	III	Rok
referenčné obdobie	1965/66-1984/85	1,7	6,9	14,8	7,9	2,3	33,6
CCCM _{prep}	2010	1,6	6,6	14,1	6,7	1,2	30,2
	2030	1,4	5,6	12,3	5,2	0,9	25,4
	2075	0,1	4,1	8,9	2,0	0,4	15,5
GISS _{prep}	2010	1,5	5,5	14,2	7,5	1,8	30,5
	2030	0,8	4,6	9,8	5,2	1,2	21,6
	2075	0,2	3,0	8,1	1,8	0,5	13,6

Tab. 9 Priemerné mesačné úhrny infiltrácie [mm] na hlinitej pôde v Hurbanove za referenčné obdobie a podľa scenárov klimatickej zmeny v horizontoch rokov 2010, 2030 a 2075

Tab. 9 Average monthly totals of infiltration [mm] in Hurbanovo in the period 1966-1985 and according to climate scenarios for 2010, 2030 and 2075 time horizons

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	LP	Rok
1966-1985													
16	30	37	34	44	38	40	50	37	31	45	25	243	427
CCCM _{prep} 2010													
18	44	35	37	48	43	43	52	38	34	54	30	261	475
CCCM _{prep} 2030													
22	45	37	38	49	42	44	53	39	34	55	29	265	487
CCCM _{prep} 2075													
43	46	31	36	45	37	41	54	39	34	60	35	252	501
GISS _{prep} 2010													
17	34	44	36	48	42	43	56	42	34	49	26	267	470
GISS _{prep} 2030													
25	40	29	36	48	42	43	56	43	35	49	30	269	477
GISS _{prep} 2075													
39	40	31	37	48	39	42	54	41	35	55	42	261	502

Tab. 10 Priemerný počet dní s vodou akumulovanou na povrchu ($\geq 0,1$ mm) na hlinitej pôde v Hurbanove za referenčné obdobie a podľa scenárov klimatickej zmeny v horizontoch rokov 2010, 2030 a 2075

Tab. 10 Average number of days with surface water ($\geq 0,1$ mm) in Hurbanovo according to climate scenarios for 2010, 2030 and 2075 time horizons

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	LP	Rok
1966-1985													
9,2	15,2	5,4	0,3	1,3	1,6	1,5	0,4	0,6	1,3	4,1	8,2	5,7	49,1
CCCM _{prep} 2010													
10,0	14,4	3,8	0,4	1,4	1,6	1,2	0,4	0,5	1,4	3,8	8,5	5,5	47,4
CCCM _{prep} 2030													
9,3	12,8	2,2	0,5	2,0	2,0	1,2	0,3	0,4	1,2	3,5	7,1	6,4	42,5
CCCM _{prep} 2075													
7,8	6,2	0,7	1,3	2,1	2,0	0,7	0,2	0,4	0,8	2,8	6,8	6,7	31,8
GISS _{prep} 2010													
9,9	14,9	4,2	0,4	1,5	1,6	1,4	0,4	0,4	1,6	3,8	8,0	5,7	48,1
GISS _{prep} 2030													
8,1	10,0	2,4	0,5	2,0	2,2	1,5	0,5	0,4	1,6	3,2	6,5	7,1	39,0
GISS _{prep} 2075													
7,0	6,5	0,9	1,2	2,2	2,2	1,2	0,4	0,6	1,0	3,1	4,4	7,8	30,7

Tab. 11 Priemerný počet dní s vodou akumulovanou na povrchu ($\geq 0,1$ mm) na hlinitej pôde v Michalovciach za referenčné obdobie a podľa scenárov klimatickej zmeny v horizontoch rokov 2010, 2030 a 2075

Tab. 11 Average number of days with surface water ($\geq 0,1$ mm) in Michalovce on a loamy soil according to climate scenarios for 2010, 2030 and 2075 time horizons

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	LP	Rok
1966-1985													
10,8	19,3	13,2	0,0	0,7	1,7	3,1	1,2	1,1	3,2	4,7	13,3	7,8	72,3
CCCM _{prep} 2010													
13,5	19,7	10,1	0,2	0,6	1,8	1,8	0,8	0,9	1,4	3,4	10,8	6,1	65,0
CCCM _{prep} 2030													
13,5	19,0	7,1	0,6	1,0	2,2	2,0	0,8	0,9	1,5	3,0	11,7	7,5	63,3
CCCM _{prep} 2075													
13,5	12,5	2,6	1,5	1,5	2,5	1,3	0,4	0,3	1,1	2,1	9,1	7,5	48,4
GISS _{prep} 2010													
13,3	19,5	10,9	0,1	0,6	1,9	2,1	0,9	1,4	1,9	3,2	10,8	7,0	66,6
GISS _{prep} 2030													
13,8	19,1	7,9	0,5	0,9	2,4	2,5	1,1	1,5	2,0	2,6	10,4	8,9	64,7
GISS _{prep} 2075													
12,7	11,7	3,1	1,4	1,7	2,7	2,5	0,8	1,0	1,6	1,8	8,8	10,1	49,8

Tab. 12 Priemerný počet dní s vodou akumulovanou na povrchu ($\geq 0,1$ mm) na ílovitej pôde v Michalovciach za referenčné obdobie a podľa scenárov klimatickej zmeny v horizontoch rokov 2010, 2030 a 2075

Tab. 12 Average number of days with surface water ($\geq 0,1$ mm) in Michalovce on a clay soil according to climate scenarios for 2010, 2030 and 2075 time horizons

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	LP	Rok
1966-1985													
13,0	19,4	14,8	0,8	0,8	2,3	3,8	1,7	1,8	4,2	6,8	14,4	11,2	83,8
CCCM _{prep} 2010													
14,4	20,4	11,8	0,2	1,6	2,5	2,4	1,3	1,1	1,7	5,1	11,0	9,1	73,5
CCCM _{prep} 2030													
14,3	19,1	7,4	0,7	1,9	2,5	2,6	1,2	1,0	1,6	5,4	12,0	9,9	69,7
CCCM _{prep} 2075													
13,9	14,3	2,8	1,8	2,0	2,7	1,4	0,6	0,7	1,9	4,3	10,2	9,2	56,6
GISS _{prep} 2010													
14,2	20,7	13,2	0,2	1,2	2,1	2,2	1,5	1,4	2,3	5,4	10,8	8,6	75,2
GISS _{prep} 2030													
14,4	19,6	8,5	0,5	1,2	2,5	2,9	1,5	1,9	2,5	4,9	10,8	10,5	71,2
GISS _{prep} 2075													
13,0	12,1	3,2	1,6	1,8	2,9	3,1	1,1	1,3	2,7	4,4	9,4	11,8	56,6

Tab. 13 Priemerné mesačné hodnoty integrálneho obsahu vody [mm] v pôdnom horizonte 0 – 100 cm na hlinitom pôdnom profile Žitného ostrova za referenčné obdobie a podľa scenárov klimatickej zmeny v horizontoch rokov 2010, 2030 a 2075

Tab. 13 Average monthly water storage [mm] in horizon 0-100 cm of a loamy soil in Žitný ostrov region in the period 1966-1985 and according to climate scenarios for 2010, 2030 and 2075 time horizons

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	LP	Rok
1966-1985													
302	306	303	296	281	247	208	203	207	224	246	275	243	259
CCCM _{prep} 2010													
296	307	299	284	270	239	205	201	204	218	241	274	234	253
CCCM _{prep} 2030													
296	306	299	285	269	238	205	202	205	219	243	275	234	253
CCCM _{prep} 2075													
308	319	301	284	270	223	193	195	204	219	244	278	228	253
GISS _{prep} 2010													
295	303	299	285	271	240	207	207	209	225	244	273	238	255
GISS _{prep} 2030													
297	310	299	284	269	238	206	204	209	225	245	273	235	255
GISS _{prep} 2075													
308	315	301	284	272	232	202	198	208	223	245	278	232	255

Tab. 14 Najskorší a priemerný dátum aplikácie prvej závlahovej dávky pre jednotlivé plodiny na hlinitých pôdach v južnej časti Podunajskej nížiny za referenčné obdobie a podľa scenárov klimatickej zmeny

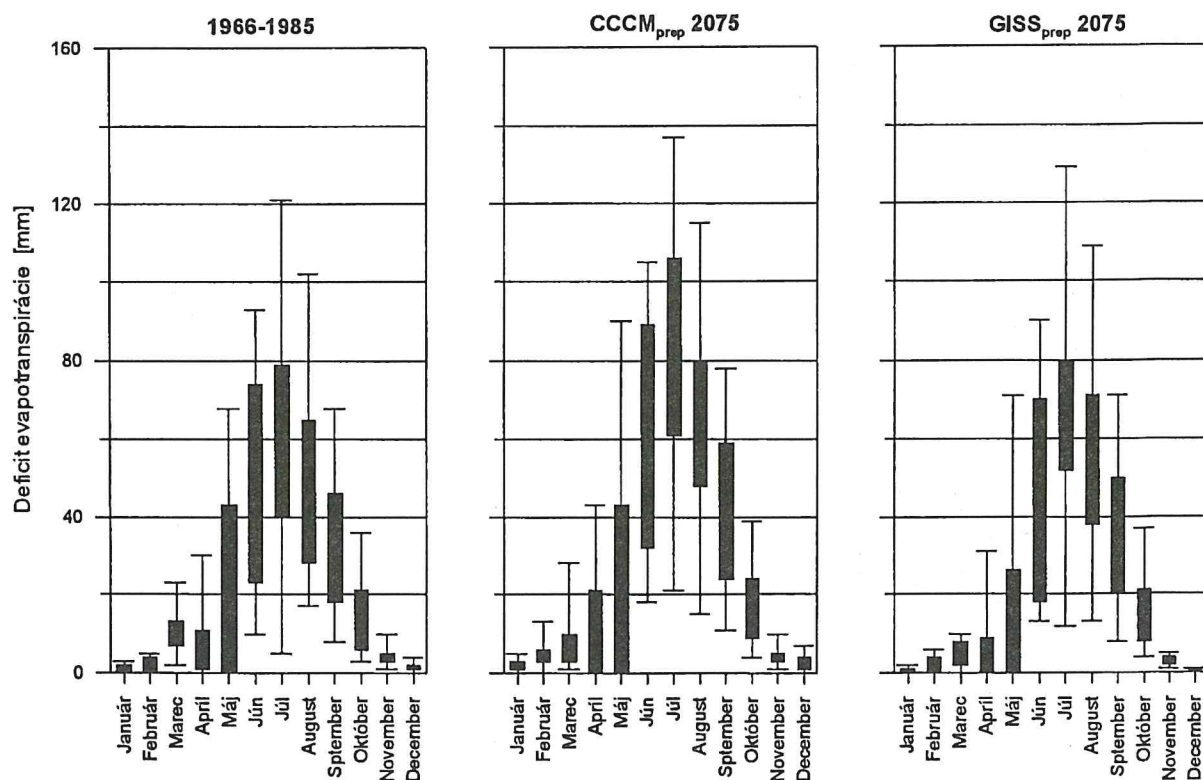
Tab. 14 Earliest and average date of beginning of irrigation period of individual crops on a loamy soil in southern part of Danubian Lowland in the period 1966-1985 and according to climate scenarios for 2010, 2030 and 2075 time horizons

Plodina	Termín	1966-1985	CCCM _{prep}			GISS _{prep}		
			2010	2030	2075	2010	2030	2075
ozimná pšenica	najskorší	5. 5.	1. 5.	28. 4.	22. 4.	1. 5.	30. 4.	23. 4.
	priemerný	19. 5.	13. 5.	16. 5.	11. 5.	19. 5.	17. 5.	12. 5.
Jarný jačmeň	najskorší	22. 4.	20. 4.	16. 4.	13. 4.	21. 4.	17. 4.	13. 4.
	priemerný	16. 5.	10. 5.	7. 5.	1. 5.	14. 5.	12. 5.	4. 5.
Kukurica	najskorší	3. 6.	27. 5.	23. 5.	20. 5.	28. 5.	26. 5.	20. 5.
	priemerný	11. 6.	5. 6.	3. 6.	27. 5.	5. 6.	3. 6.	29. 5.
Cukrová repa	najskorší	3. 6.	1. 6.	30. 5.	23. 5.	31. 5.	31. 5.	23. 5.
	priemerný	9. 6.	7. 6.	5. 6.	1. 6.	7. 6.	6. 6.	2. 6.

Tab. 15 Najskorší a priemerný dátum aplikácie prvej závlahovej dávky pre jednotlivé plodiny na ílovitých pôdach Východoslovenskej nížiny za referenčné obdobie a podľa scenárov klimatickej zmeny

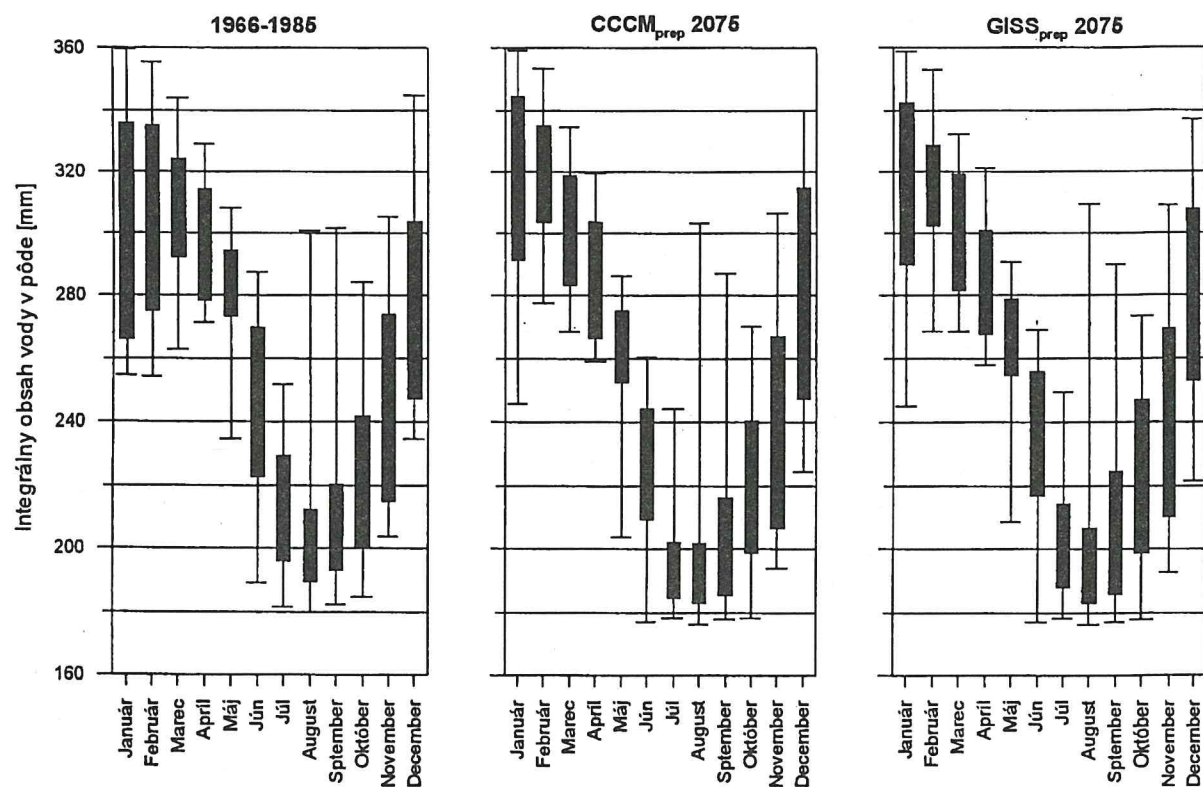
Tab. 15 Earliest and average date of beginning of irrigation period of individual crops on a clay soil in East Slovakian Lowland in the period 1966-1985 and according to climate scenarios for 2010, 2030 and 2075 time horizons

Plodina	Termín	1966-1985	CCCM _{prep}			GISS _{prep}		
			2010	2030	2075	2010	2030	2075
Ozimná pšenica	najskorší	16. 5.	11. 5.	9. 5.	6. 5.	11. 5.	11. 5.	7. 5.
	priemerný	26. 5.	17. 5.	15. 5.	13. 5.	17. 5.	16. 5.	16. 5.
Jarný jačmeň	najskorší	12. 5.	1. 5.	29. 4.	19. 4.	2. 5.	30. 4.	23. 4.
	priemerný	29. 5.	19. 5.	15. 5.	9. 5.	17. 5.	16. 5.	13. 5.
Kukurica	najskorší	5. 6.	30. 5.	27. 5.	24. 5.	30. 5.	27. 5.	24. 5.
	priemerný	22. 6.	15. 6.	14. 6.	7. 6.	17. 6.	19. 6.	14. 6.
Cukrová repa	najskorší	13. 6.	3. 6.	3. 6.	3. 6.	4. 6.	8. 6.	3. 6.
	priemerný	24. 6.	15. 6.	16. 6.	7. 6.	13. 6.	17. 6.	16. 6.



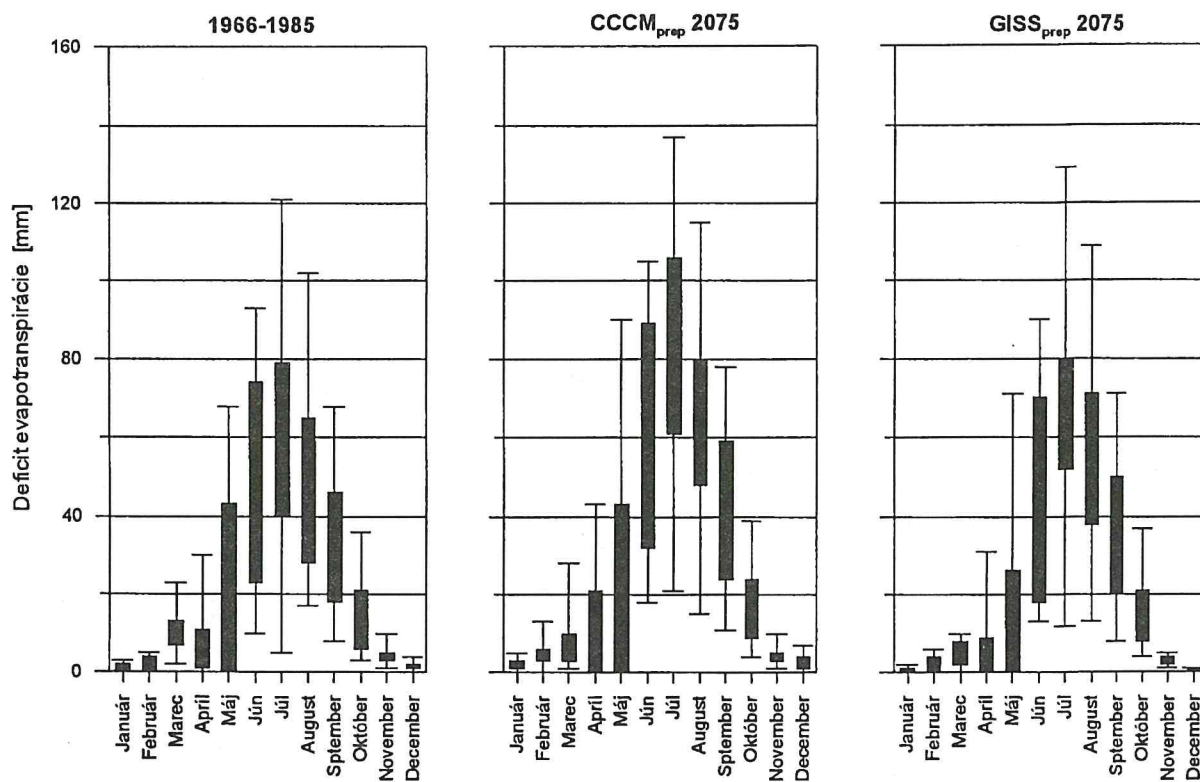
Obr. 1. Základné štatistické charakteristiky mesačných úhrnov deficitu evapotranspirácie v Hurbanove v období 1966 – 1985 a v časovom horizonte roku 2075 podľa scenárov CCCM_{prep} a GISS_{prep}.

Fig 1. Basic statistical characteristics of monthly totals of evapotranspiration deficit in Hurbanovo in the period 1966-1985 and according to climate scenarios for 2075 time horizon



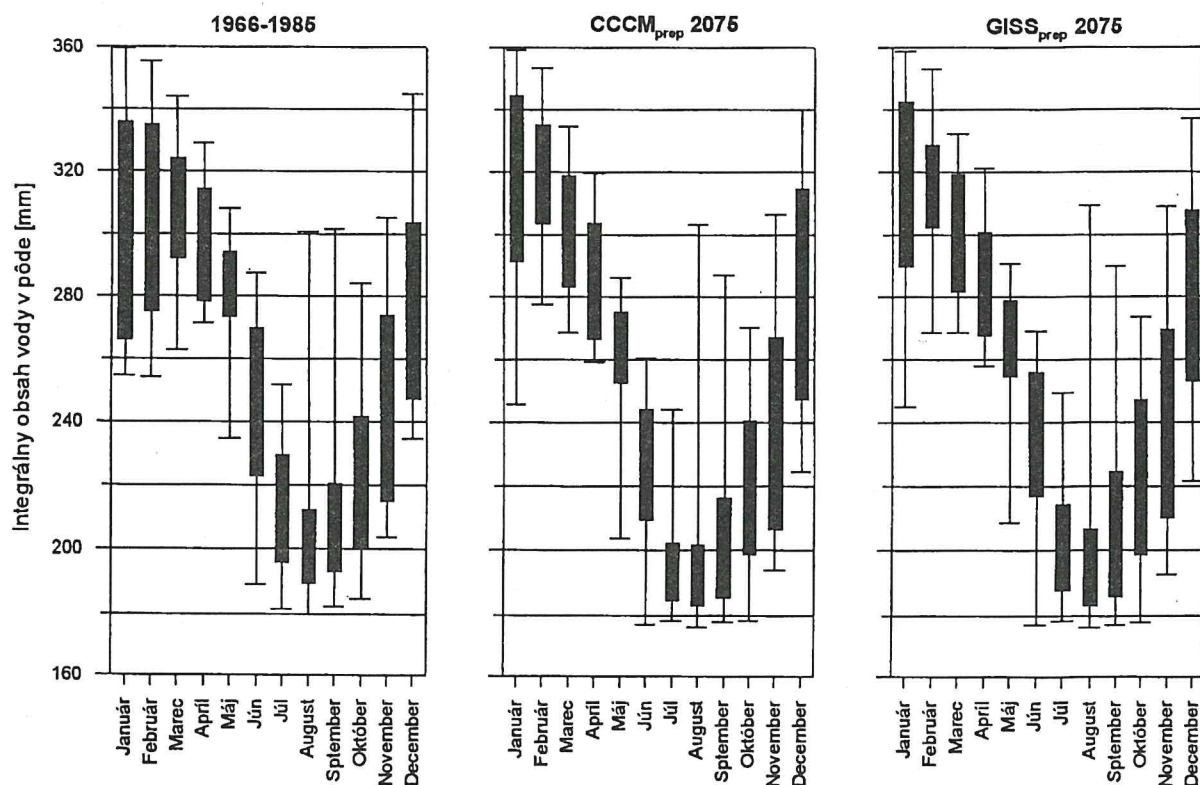
Obr. 2 Základné štatistické charakteristiky ročného chodu integrálneho obsahu vody [mm] v pôdnom horizonte 0 – 100 cm v hlinitej pôde Žitného ostrova v období 1966 – 1985 a v časovom horizonte roku 2075 podľa scenárov CCCM_{prep} a GISS_{prep}.

Fig. 2 Basic statistical characteristics of annual course of water storage in horizon 0-100 cm of a loamy soil in Žitný ostrov region in the period 1966-1985 and according to climate scenarios for 2075 time horizon



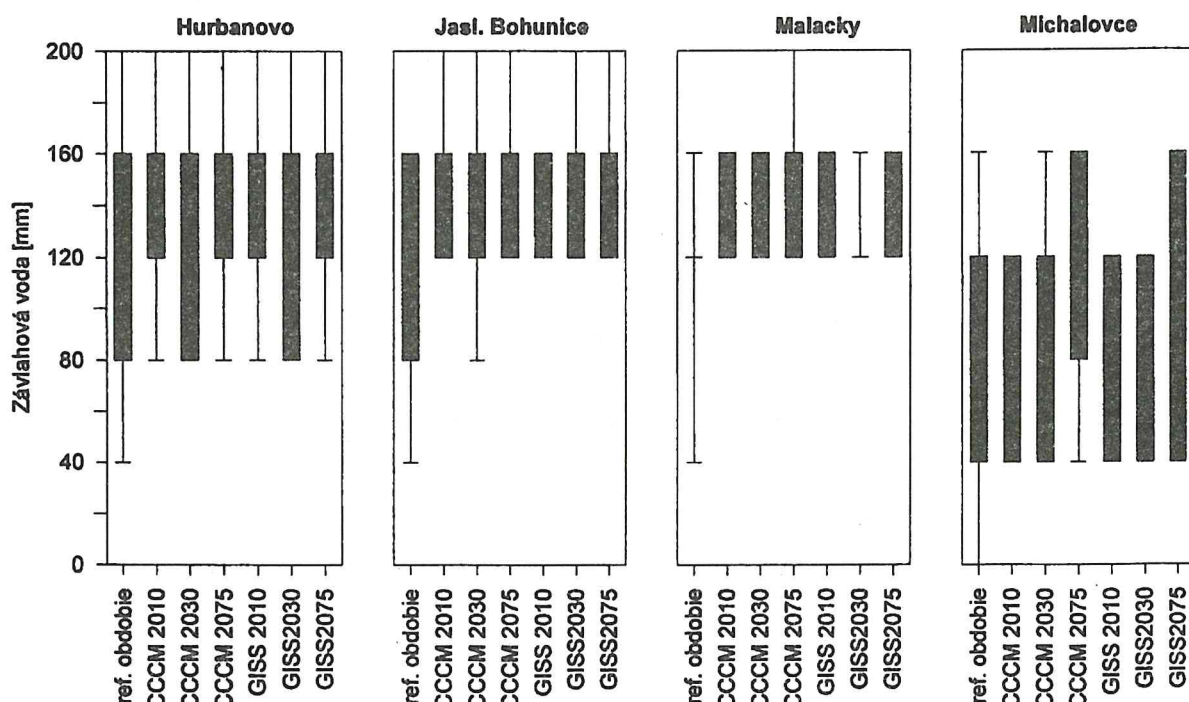
Obr. 1. Základné štatistické charakteristiky mesačných úhrnov deficitu evapotranspirácie v Hurbanove v období 1966 – 1985 a v časovom horizonte roku 2075 podľa scenárov CCCM_{prep} a GISS_{prep}.

Fig 1. Basic statistical characteristics of monthly totals of evapotranspiration deficit in Hurbanovo in the period 1966-1985 and according to climate scenarios for 2075 time horizon



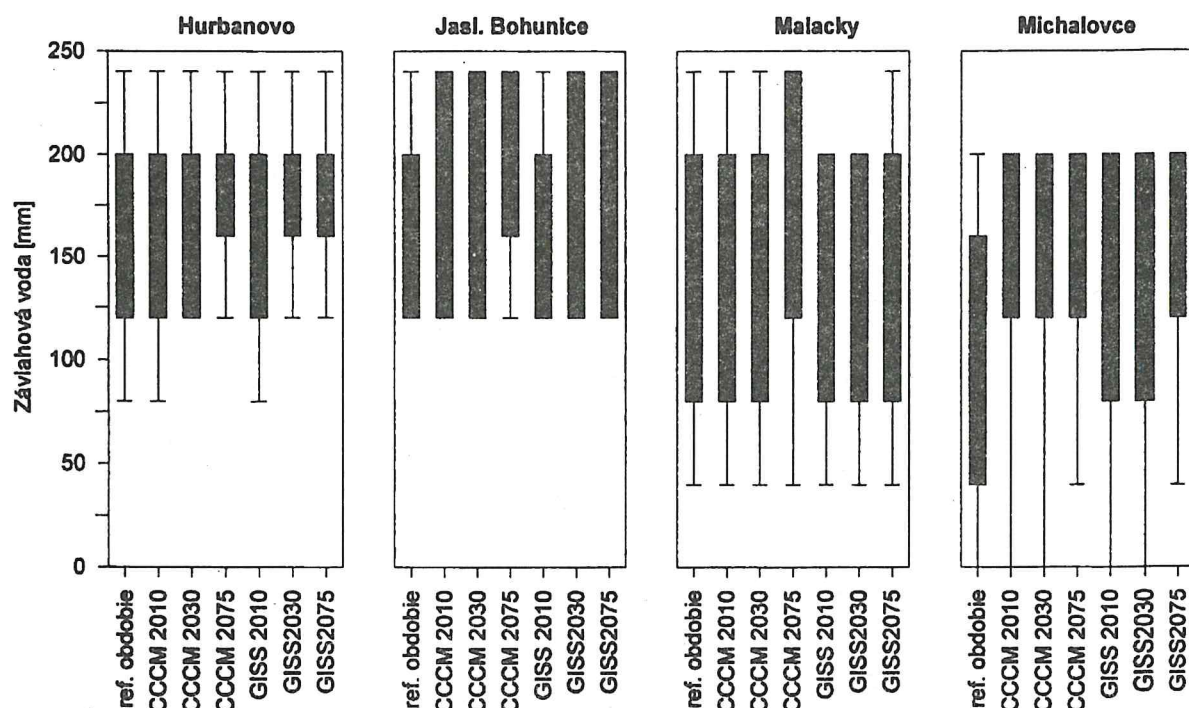
Obr. 2 Základné štatistické charakteristiky ročného chodu integrálneho obsahu vody [mm] v pôdnom horizonte 0 – 100 cm v hlinitej pôde Žitného ostrova v období 1966 – 1985 a v časovom horizonte roku 2075 podľa scenárov CCCM_{prep} a GISS_{prep}.

Fig. 2 Basic statistical characteristics of annual course of water storage in horizon 0-100 cm of a loamy soil in Žitný ostrov region in the period 1966-1985 and according to climate scenarios for 2075 time horizon



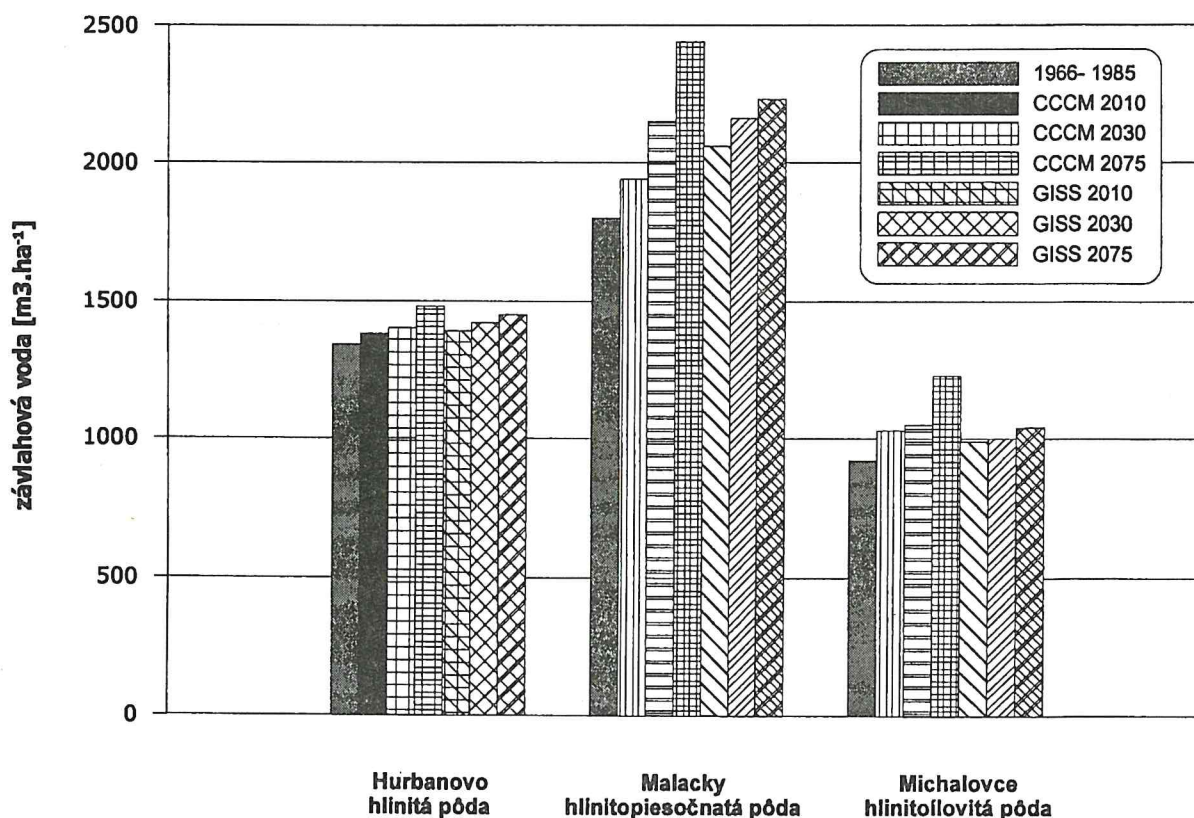
Obr. 5. Štatistické charakteristiky dodaného množstva závlahovej vody pre kukuricu na hlinitých pôdach v oblastiach vybraných meteorologických staníc za referenčné obdobie a podľa scenárov klimatickej zmeny podľa simulácií modelom DAISY

Fig. 5. Statistical characteristics of applied irrigation water for maize on a loamy soil in individual regions in the period 1966-1985 and according to climate scenarios



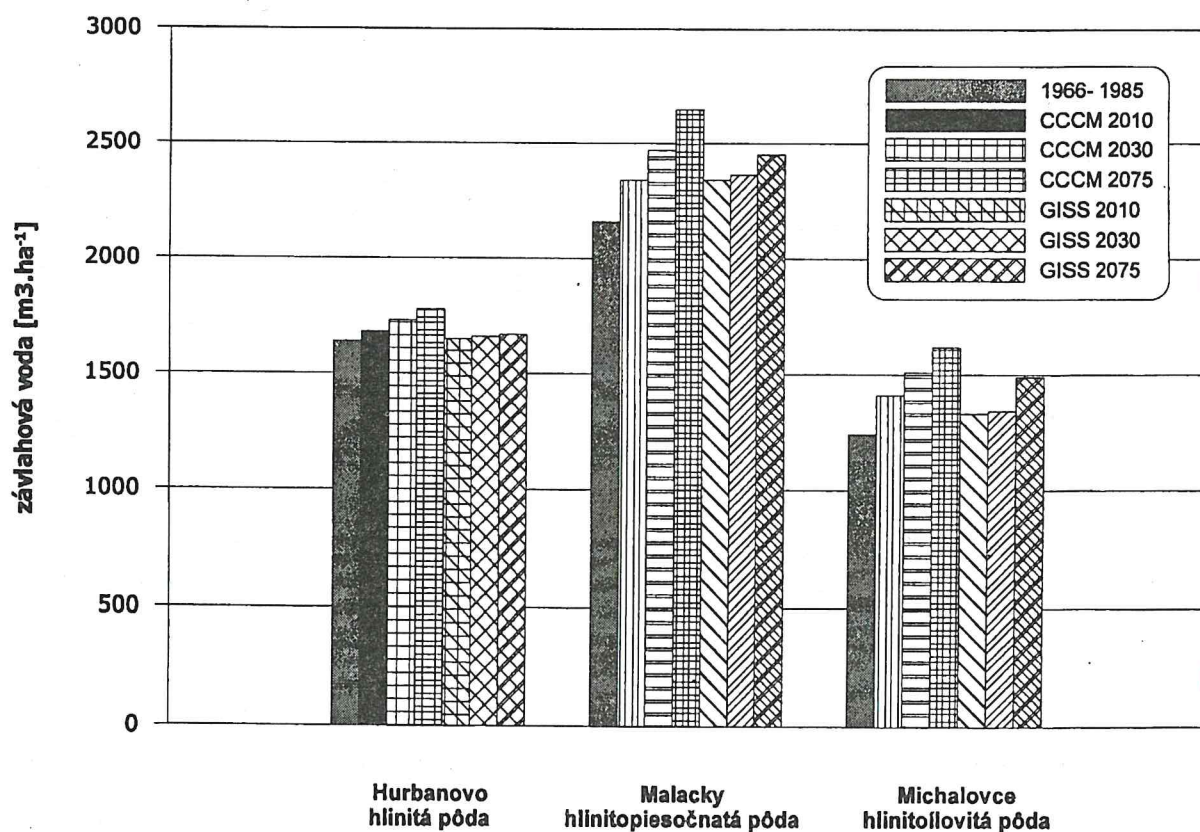
Obr. 6. Štatistické charakteristiky dodaného množstva závlahovej vody pre cukrovú repu na hlinitých pôdach v oblastiach vybraných meteorologických staníc za referenčné obdobie a podľa scenárov klimatickej zmeny podľa simulácií modelom DAISY.

Fig. 6. Statistical characteristics of applied irrigation water for sugar beet on a loamy soil in individual regions in the period 1966-1985 and according to climate scenarios.



Obr. 7. Priemerné simulované množstvo dodanej závlahovej vody za referenčné obdobie a podľa scenárov klimatickej zmeny na rôznych pôdnych druhoch v oblastiach vybraných meteorologických staníc

Fig. 7. Average simulated amount of applied irrigation water for individual crops on different soils in individual regions in the period 1966-1985 and according to climate scenarios



Obr. 8. Simulované množstvo dodanej závlahovej vody v smerodajne suchom roku za referenčné obdobie a podľa scenárov klimatickej zmeny na rôznych pôdnych druhoch v oblastiach vybraných meteorologických staníc

Fig. 8. Simulated amount of applied irrigation water in dry year on different soils in individual regions in the period 1966-1985 and according to climate scenarios

BILANCIA EMISÍ VYBRANÝCH PLYNOV V SEKTORE LESNÉHO HOSPODÁRSTVA A VYUŽÍVANIA KRAJINY NA SLOVENSKU ZA OBDOBIE 1990 - 2000 A PROBLEMATIKA KJÓTSKEHO PROTOKOLU V LESNOM HOSPODÁRSTVE

Jozef Mind'áš, Lesnícky výskumný ústav Zvolen

1. Úvod

Interakčné vzťahy medzi atmosférou a lesnými ekosystémami predstavujú významný článok vo fungovaní a prejavoch lesa. Medzi lesnými drevinami ako hlavnou zložkou lesných spoločenstiev a atmosférou prebieha neustála výmena plynov najmä prostredníctvom asimilačného aparátu (listov resp. ihličia). Výmena plynov pritom prebieha oboma smermi, t.j. les je zároveň sinkom aj emitomom plynov najrozličnejšieho chemického zloženia. Z celého spektra týchto látok majú v súčasnosti osobitný význam radiačne aktívne plyny, a to najmä CO₂, CH₄, N₂O, O₃ a vodná para, ako aj plyny, ktoré sú s nimi zviazané: CO – oxiduje na CO₂, NO_x – prekursor tvorby ozónu a súčasť dusíkového cyklu, prchavé organické látky (VOC – volatile organic compounds – prekursor tvorby ozónu).

Lesné ekosystémy predstavujú najvýznamnejší článok v kolobe uhlíka z prírodných ekosystémov. Lesné ekosystémy sú súčasne sinkami aj zdrojmi CO₂. V procese fotosyntézy je atmosférický oxid uhličitý viazaný prostredníctvom fotosyntetického aparátu v asimilačných orgánoch zelených rastlín do formy jednoduchých cukrov, z ktorých postupnými biochemickými premenami vznikajú všetky organické látky potrebné pre život rastliny. Nakoľko vo väčšine prípadov je množstvo asimilátov vzniknutých v procese fotosyntézy vyššie ako ich množstvo potrebné na zabezpečenie energetických potrieb rastliny, rastlina má kladnú bilanciu uhlíka, čo sa prejavuje jej rastom t.j. nárastom jej biomasy, ktorá takto predstavuje významný sink uhlíka.

V prírodných podmienkach bez vplyvu človeka je uhlíková bilancia ovplyvňovaná najmä stanovištnými podmienkami (klíma, pôdne pomery). V prírodných lesoch (pralesy) je medzročná bilancia uhlíka prakticky nulová, nakoľko prírastok biomasy je temer zhodný s úbytkom biomasy v procese jej rozkladu. Takto je dlhodobá zabezpečená stálosť uhlíkových zásob trvale viazaných v lesných porastoch a pôde. V hospodárskych lesoch je odumieranie biomasy stromov nahradzované ich ťažbou. Aby nebola narušená produkčná schopnosť lesa a bola dosiahnutá trvalosť lesnej produkcie, je výška ťažby regulovaná tak, aby neprekročila hodnotu prírastku biomasy stromov.

Dalšími faktormi, ktoré ovplyvňujú uhlíkovú bilanciu lesov, sú zmeny v obhospodarovaní krajiny, t.j. procesy odlesňovania, resp. zalesňovania nelesných plôch, kedy dochádza k zmene výmery lesných porastov. Pri týchto procesoch dochádza často k spaľovaniu biomasy a emisii ďalších plynov (CH₄, CO, NO_x, N₂O). V našich podmienkach ide najmä o lesné požiare a spaľovanie ťažbových zvyškov.

Lesné ekosystémy zaberajú na Zemi rozlohu približne 4,2 mild. hektárov, z toho asi 13% sú lesy chránené zákonmi (v zmysle ochrany prírody) a menej ako 10% je intenzívne obhospodarovaných (Dixon et al. 1994). Nasledovná tabuľka podáva prehľad o celkových (a jednotkových) zásobách uhlíka hlavných (najmä prírodných) biómov sveta.

Tabuľka 1 Prehľad uhlíkových zásob hlavných biómov na Zemi (IPCC Special report)

Table 1 Overview of carbon stocks in main biomes around the world

Bióm	Plocha (mild ha)	Celková zásoba uhlíka		
		Vegetácia	Pôda	Spolu
Tropické lesy	1,76	212	216	428
Temperátne lesy	1,04	59	100	159
Boreálne lesy	1,37	88	471	559
Tropické savany	2,25	66	264	330
Temperátne stepi	1,25	9	295	304
Púšte a polopúšte	4,55	8	191	199
Tundra	0,95	6	121	127
Mokrade	0,35	15	225	240
Obrábané polia	1,60	3	128	131
Celkove	15,12	466	2 011	2 477

V období 1850 až 1998, približne 270 Gt uhlíka bolo emitovaných vo forme CO₂ zo spaľovania fosílnych palív a výroby cementu. Okolo 136 Gt uhlíka bolo emitovaných ako výsledok zmien vo využívaní krajiny, predovšetkým z lesných ekosystémov (IPCC Special report 2000). Predbežná bilancia ročného toku uhlíka medzi lesmi a atmosférou je okolo 0,9 Pg uhlíka v prospech atmosféry a to najmä v dôsledku emisii z odlesňovania tropických oblastí. Táto hodnota tvorí približne jednu pätinu z množstva uhlíka produkovaného spaľovaním fosílnych palív a výrobou cementu (Dixon et al. 1994, Sedjo 1992). Na druhej strane tieto čísla dokumentujú mimoriadny potenciál možnej sekvestrácie uhlíka v lesných ekosystémoch pri ich rozumnom obhospodarovaní (Dixon et al. 1993). Lesy mierneho pásma majú značný potenciál viazania oxidu uhličitého. Ich biomasa predstavuje síce len 2/3 úrovne tropických lesov, avšak je možné u nich predpokladať podstatne väčšiu fixáciu uhlíka v pôdnej zložke lesných ekosystémov.

Zvláštnou skupinou plynov sú prchavé organické látky zväčša aromatického charakteru (Izoprén (isoprene), Monoterpény (monoterpens): α -pinén, β -pinén, Δ -karén, limonén, myrcén a ďalšie). Tieto prchavé uhľovodíky sú uvoľňované biofyzikálnymi a biochemickými procesmi z listov resp. ihličia, kôry, živice a z organického opadu drevín, a pre každú lesnú drevinu majú uvedené plyny špecifické zloženie (Veldt 1992). Je potrebné si uvedomiť, že ide o proces prírodný, ktorý môže človek ovplyvňovať len nepriamo prostredníctvom zmeny v druhovom zložení a rozlohe lesov.

Emisie metánu sú v prírodných podmienkach viazané na anaeróbnu činnosť mikroorganizmov v prostredí s obsahom organického materiálu bez prístupu vzduchu (resp. kyslíka). V prírodnom krajinnom prostredí je emisia metánu viazaná predovšetkým na zamokrené územia, a to buď trvalé (jazerá, rašeliniská a pod.), alebo dočasné (napr. zaplavené územia pri povodniach) (Aselman, Crutzen 1989). V podmienkach Slovenska je možné uvažovať s výskytom emisií metánu v prípade mokradí, rašelinísk, jazier, trvalých vodných plôch a zamokrených pôd. Bohužiaľ, v našich podmienkach absentujú priame merania emisií metánu z týchto zdrojov, preto nedisponujeme vlastným experimentálne určenými emisnými faktormi pre metán podľa jednotlivých vymedzených kategórií.

V súvislosti s emisiami vyššie spomenutých plynov zohrávajú rozhodujúcu úlohu pôdno-klimatické podmienky a druhové zloženie lesov. Lesy Slovenska spadajú do temperátnej zóny zmiešaných opadavých lesov. Z väčšej časti si zachovali svoje pôvodné drevinové zloženie (51% zastúpenie listnatých druhov), aj keď zastúpenie smreka (a najmä smrekových monokultúr) je vyššie, ako by zodpovedalo našim prírodným podmienkam.

2 Metodika stanovenia emisií

2.1 Revidovaná metodika IPCC 1996 – CO₂, CH₄, N₂O, NO_x, CO

Súčasná metodika IPCC je založená na bilancovaní zásob a ich zmien v biomase a vo využívaní krajiny (Revised 1996 IPCC), ktorá bola vypracovaná v roku 1996 ako pomerne jednoduchá metóda na inventarizáciu množstva skleníkových plynov v jednotlivých krajinách sveta. Pri tejto metóde je množstvo emitovaného CO₂ stanovené z objemu ročnej ťažby a zásoby dreva, pričom emisie oxidu uhličitého z produktov získaných z dreva a z rozkladu zvyškov po ťažbe sú kalkulované pre rok, v ktorom bola ťažba realizovaná. Táto metodika predpokladá malé zmeny v zásobách uhlíka, ktorý je viazaný vo výrobkoch z dreva. Na bilanciáciu zásob sa používa množstvo drevnej hmoty, ktoré sa produkuje v danej krajine, metodika nezahrňuje import a export dreva. Zmenu v zásobách uhlíka bilancuje na základe nasledovného vzťahu:

Čistá zmena v zásobe C = zásoba C v lesoch - (ťažba + odpad po ťažbe)

Táto schéma popisuje však len časť bilancie, ktorá sa týka bilančných zmien uhlíka v samotných lesných porastoch. Časť dotýkajúca sa zmien v obhospodávaní a využívaní krajiny (Land Use Change) zahŕňa problematiku zalesňovania nelesných pôd, trvalého odlesňovania, spaľovania biomasy a lesných požiarov a je bilancovaná samostatne.

Pri spracovaní bilancie uhlíka sme vychádzali z revidovanej metodiky IPCC (verzia 1996), ktorú sme sa snažili plne aplikovať pre naše podmienky, najmä vo vzťahu k jednotlivým bilančným kategóriám. Oproti predchádzajúcej metodike IPCC došlo k zmene najmä vo vzťahu k bilancovaniu pôdneho uhlíka, ktorý tvorí v tejto metodike samostatnú bilančnú kategóriu. Pre naše potreby sme vyčlenili 5 kategórií, ktoré sme potom samostatne bilancovali. Ide o nasledovné kategórie:

1. Zmeny zásob lesnej a inej drevnej biomasy - prírastok, ťažba
2. Emisie CO₂ z trvalého odlesňovania
3. Spaľovanie ťažobných zvyškov a lesné požiare
4. Zalesňovanie a prirodzené zarastanie nelesných pôd
5. Emisie alebo viazanie CO₂ v pôde pri zmene využívania krajiny a jej obhospodávaní

Detailnejší popis metodiky je možné nájsť v práci Mind'áš, Priwitzer (1999).

2.2 Metodika stanovenia nemetánových prchavých uhľovodíkov (VOC)

Výpočet emisií VOC je prevádzaný nepriamo na základe emisnej závislosti od faktorov prostredia, a to hlavne teploty vzduchu (asimilačného aparátu) a fotosynteticky aktívneho žiarenia (u izoprénových emitov). Je to dané mimoriadnou náročnosťou priamych meraní emisií z lesných porastov (veľká náročnosť na presnosť a prístrojové zabezpečenie merania). Je tiež potrebné si uvedomiť, že súčasné poznatky v tejto oblasti ešte nedovoľujú zohľadniť všetky dôležité faktory prostredia (vlhkosť vzduchu, fyzikálny a chemický stav lesných pôd, zdravotný stav lesných drevín), čo sa odzrkadľuje aj na hodnotách korelačných koeficientov pre vypočítané, regresné závislosti (tieto sa pohybujú pod hodnotou 0.7). Tento fakt je potrebné zohľadniť a počítať s ním ako s mierou nepresnosti.

Pri výbere regresných vzťahov sme zohľadnili druhové odlišnosti našich lesných porastov (izoprénové a neizoprénové emitory u listnatých porastov), nakoľko ich emitované množstvá sú rozdielne, a preto pre listnaté porasty sa vyhodnotili osobitne uvedené dve triedy (týka sa to najmä buka a duba, ako našich najrozšírejších listnatých drevín). Vzhľadom na nedostupnosť, resp. nedostatočnú úroveň údajov fotosynteticky aktívneho žiarenia (PAR), sme ich regresné závislosti nepoužili.

Pre zhodnotenie presnosti výsledkov sme analyzovali vhodnosť použitia teplotných charakteristík pre výpočet emisných množstiev VOC. Pre lokalitu Poľana-Hukavský grúň, kde sú k dispozícii merania teploty

vzduchu priamo v korunovom priestore buka, sme realizovali výpočet emisných množstiev na základe: (i) okamžitej hodnoty teploty vzduchu (10 minútové hodnoty), (ii) priemernej hodinovej teploty vzduchu, (iii) priemernej dennej teploty vzduchu, (iv) maximálnej a minimálnej teploty vzduchu, (v) priemernej mesačnej teploty vzduchu a (vi) priemernej mesačnej teploty vzduchu odvodené podľa najbližšej meteorologickej stanice. Ak berieme získanú hodnotu emisií z okamžitých hodnôt teploty vzduchu ako 100%, tak získané výsledky v jednotlivých analyzovaných prípadoch sú nasledovné: (ii) 100%, (iii) 98,8%, (iv) 103,8%, (v) 96,7% a (vi) 106,8%. Z týchto údajov vyplýva, že aj keď použijeme odvodenú hodnotu priemernej mesačnej teploty vzduchu z výšky 2m (meteorologická búdka), neurobíme chybu väčšiu ako 7%, čo je pre účely takýchto bilancií postačujúce.

Výber regresných závislostí bol urobený nasledovne:

Vysoko izoprénové emitory - *sp. Quercus, Populus, Salix* (listnaté druhy) - *rody Dub, Topol, Vrba*

Vychádzali sme z regresnej logaritmickkej priamky, ktorú odvodil LAMB *et al.* (1987) na základe vlastných meraní, ako aj meraní iných autorov a tieto výsledky syntetizoval. Na základe pomeru emisných množstiev pre vysokoizoprénové druhy pri teplote 30 °C pre deň a noc - $E(30, \text{deň}) = 18$ a $E(30, \text{noc}) = 3.5 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ - a predpokladu rovnobežnosti regresných priamok sme odvodili vzťah pre výpočet emisií v nočných hodinách. Pre vysokoizoprénové druhy je typická značná závislosť emisií VOC od PAR žiarenia najmä v intervale teplôt 20 - 30 °C. Túto závislosť sme však vzhľadom na vyššie uvedené skutočnosti nemohli použiť.

Regresný vzťah: (izoprén)	$\log E(T) = 0,0416 \cdot T - 0,109$ deň $\log E(T) = 0,0416 \cdot T - 0,786$ noc
LAMB <i>et al.</i> 1987	$E(T) \text{ celkové} = E(T, \text{izoprén}) \times 1,2$

korelačný koeficient $r = 0,66$

$E(T)$ - emisia ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) mikrogram/gram sušiny asimilačného aparátu x hodina, T - teplota vzduchu v °C

Neizoprénové emitory - všetky listnaté druhy okrem izoprénových (listnaté druhy - na Slovensku hlavne buk)

Táto skupina emitov je zatiaľ najmenej preskúmaná vzhľadom na relatívne malé množstvá emisií aj napriek tomu, že napr. buk patrí svojim zastúpením medzi významné dreviny európskych lesov. Vzhľadom na skutočnosť, že VELDT (1992) udáva rovnaké emisné množstvá pre deň aj noc $E(30) = 2 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, nerozlišovali sme denné a nočné emisie. Vzhľadom na veľmi málo údajov pre túto skupinu sme použili regresný vzťah, ktorý bol použitý pre Holandsko (Veldt 1992).

Regresný vzťah: VELDT (1992)	$\log E(T) = 0,032 \cdot T - 0,638$
---------------------------------	-------------------------------------

$E(T)$ - emisia ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), T - teplota vzduchu v °C

Vzhľadom na zistené emisie monoterpénov pre tieto druhy sme na základe pomeru emisných potenciálov prenásobili vypočítané hodnoty emisií podľa vyššie uvedeného regresného vzťahu pre tieto listnaté dreviny (koeficient 1,4) (Simpson, Winiwarter 1998).

Ihličnaté druhy – monoterpény - *sp. Picea, Pinus* - *rody Smrek, Borovica*

Pre ihličnany sme v predchádzajúcich bilanciách VOC použili priamu regresnú závislosť od teploty podľa Jansona (1993). Vzhľadom na značnú geografickú variabilitu zistených závislostí medzi teplotou vzduchu, PAR a emisiami terpenov, sme pristúpili k použitiu rovnice, ktorá využíva hodnotu emisného potenciálu pri teplote 20 °C. Ako hodnotu potenciálu $E(20)$ sme použili hodnotu $E(20) = 1,5 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$. Pre prepočet z emisií monoterpénov na celkové emisie VOC u ihličnatých drevín sme taktiež využili pomer medzi emisnými potenciálmi (hodnota 2,0) (Simpson, Winiwarter 1998).

Regresný vzťah:	$E(20) = E(T) \times 10^{0,04 \times dT}$ deň
JANSON (1993)	$E(T) = 0,5 \cdot E(T, \text{deň})$ noc

$E(T)$ - emisia ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), T - teplota vzduchu v °C, dT - rozdiel teploty od hodnoty 20 °C

Pre stanovenie nočných hodnôt sme vychádzali z jeho pomerných nočných hodnôt, ktoré sa pohybovali v rozpätí 50 až 75% denných hodnôt, pričom sme sa priklonili k hodnote 50%.

Pre listnaté druhy sú emisie viazané v podstate na vegetačné obdobie počas existencie asimilačných orgánov (listia), po jeho opade a vyschnutí sú emisie VOC prakticky zanedbateľné. U ihličnanov je situácia o niečo zložitejšia, nakoľko tieto si asimilačný aparát trvale obmieňajú (smrek, borovica), a jeho existencia je tak celoročná. Aj keď regresné vzťahy umožňujú výpočet emisií VOC aj pre teploty okolo 0 °C, t.j. počas vegetačného klľudu, kedy sú fyziologické deje v drevinách takmer v úplnej inhibícii, je otázne, nakoľko sú tieto látky v takýchto podmienkach emitované, nehovoriac už o zimnom stave (zakrytie snehom, námrazou a pod.). Vzhľadom na skutočnosť, že v prevažnej väčšine experimentálnych prác sú uvádzané merania len pre teploty vyššie ako 10 °C, neuvažovali sme výpočet emisií pre mimovegetačné obdobie.

Postup výpočtu

1. Výpočet regresnej závislosti mesačnej teploty vzduchu od nadmorskej výšky
2. Stanovenie priemernej dĺžky dňa a noci pre jednotlivé mesiace v roku a výpočet priemerných mesačných teplôt pre deň a noc
3. Prepočet teploty vzduchu podľa nadmorskej výšky a priradenie k druhu dreviny prekryvom digitálnych vrstiev v relačnej databáze (gridové rozlíšenie 250x250 m)
4. Výpočet emisií pre danú teplotu (deň, noc) podľa regresných rovníc uvedených v prehľade pre jednotlivé dreviny
5. $ET = E(T) [\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \times \text{LBF (leaf biomass factor)} [\text{t} \cdot \text{km}^{-2}] \times 62500 (\text{m}^2, \text{plocha gridu}) [\text{ha}] \times \text{dĺžka dňa (resp. časti dňa - deň, noc)} [\text{hod.}] \times k$ (faktor prepočtu jednotiek) - sčítanie pre jednotlivé gridy s výskytom danej dreviny
6. Výpočet celkovej emisie za mesiac: $ET(\text{mesiac}) = 30.4 \times ET$

2.3 Metodika stanovenia emisií metánu z prírodných zdrojov

Postup výpočtu pre emisie metánu z prírodných zdrojov vychádza z predpokladu poznania výmery jednotlivých kategórií zamokrených území, emisných faktorov a dĺžky trvania emisie (Revised 1996 IPCC):

$$\text{Emisia metánu (tony)} = \frac{\text{Plocha príslušnej kategórie (ha)} \times \text{Emisný pomer (mg C-CH}_4\text{.m}^{-2}\text{.deň}^{-1}) \times \text{Produkčné obdobie (dni)} \times \text{Faktor prepočtu jednotiek} \times 16/12}{1000}$$

3 Vstupné údaje

Nasledujúce tabuľky nám poskytujú niekoľko základných relevantných dát, použitých pri výpočte bilancie skleníkových plynov v sektore lesy a zmien využívania krajiny.

3.1.1 Výmera lesného pôdneho fondu a porastovej plochy

V zmysle Zákona o lesoch č.100/1977 Zb. v znení neskorších predpisov lesný pôdny fond (LPF) tvoria pozemky, ktoré sa trvalo určili na plnenie funkcií lesov. Lesnými pozemkami sú pozemky porastené lesnými drevinami a pozemky, na ktorých sa lesné porasty dočasne odstránili s cieľom obnoviť ich alebo zriadiť na nich lesné škôlky, prípadne lesné plantáže, ďalej pozemky potrebné pre lesné hospodárstvo, ako sú rozdeľovacie priesečky, lesné cesty a iné, a napokon pozemky nad hornou hranicou stromovej vegetácie vo vysokohorských oblastiach, s výnimkou zastavaných pozemkov a príjazdových komunikácií k nim.

Prehľad a sumárne údaje o výmerách všetkých lesných pozemkov v rámci lesného hospodárskeho celku (LHC) poskytuje plochová tabuľka, ktorá je súčasťou každého lesného hospodárskeho plánu (LHP). Súhrnné údaje o výmere lesných pozemkov za väčšie územné celky ako je LHC sa získavajú sumarizáciou údajov plochových tabuliek platných lesných hospodárskych plánov. Databázu výmer lesných pozemkov tvoria plochové tabuľky 1-10 rokov staré, čo vyplýva z 10 ročného intervalu obnov LHP. Po každoročnom vypracovaní nových LHP na približne 1/10 výmery lesov SR sa plochové tabuľky s ukončenou platnosťou nahradia v databáze novými, čím sa postupne výmera lesných pozemkov aktualizuje. Súhrnné údaje o výmere LPF a PP sú uvedené v nasledujúcej tabuľke (tab.2) (Konôpka et al. 1999, PIL).

Tabuľka 2 Vývoj výmery porastovej pôdy a lesného pôdneho fondu na Slovensku
Table 2 Development of forest stand area and forest land area in Slovakia

Roky	Výmera (ha)	
	Porastová pôda PP	Lesný pôdny fond LPF
1970	1 826 564	1 918 571
1975	1 833 119	1 925 318
1980	1 861 642	1 952 656
1985	1 899 816	1 993 123
1990	1 921 705	1 976 538
1991	1 927 888	1 978 897
1992	1 925 781	1 985 609
1993	1 928 318	1 989 982
1994	1 925 850	1 989 414
1995	1 923 510	1 987 850
1996	1 923 719	1 987 909
1997	1 919 911	1 990 603
1998	1 919 266	1 991 200
1999	1 921 951	1 991 557
2000	1 928 329	1 997 901

Výmera lesného pôdneho fondu sa dlhodobo zvyšuje. Od roku 1920 vzrástla z 1,548 mil. ha na súčasných 1,998 mil. ha, t.j. o 450 tisíc ha, resp. 29 %. Medzi rokmi 1950 a 1997 sa výmera lesov zvýšila o 12,8 %. Zmeny celkovej výmery lesných pozemkov spôsobujú viaceré príčiny, je to najmä zalesňovanie poľnohospodársky nevyužívaných nelesných pôd, prevod „bielych plôch“ z poľnohospodárskeho do lesného pôdneho fondu, odlesňovanie lesných pozemkov hlavne na investičnú výstavbu a ťažbu surovín (KONÓPKA *et al.* 1999, PIL).

3.1.2 Ťažba dreva

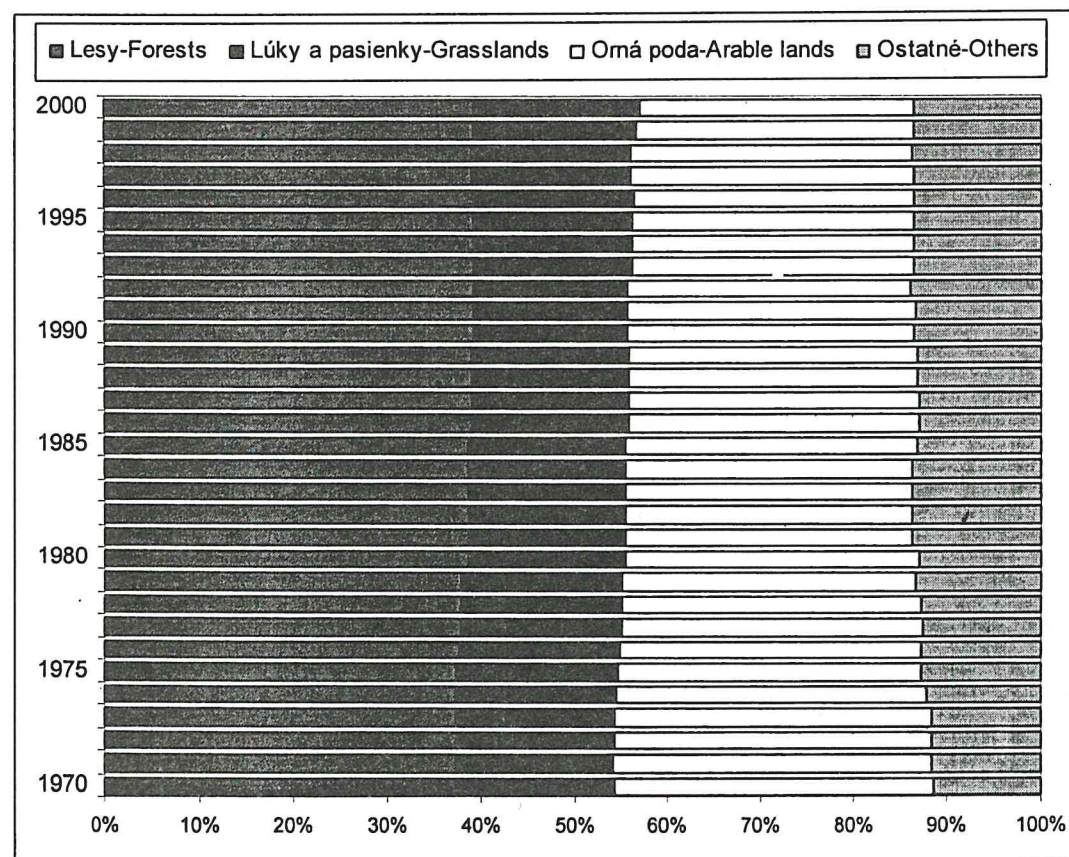
Vývoj celkovej vykonanej ťažby dreva v období 1990 - 1998 bol značne nevyrovnaný (tab.3). Z hodnoty 5,3 mil. m³ v roku 1990 jej objem prudko klesal až na 4,0 mil. m³ v roku 1992. V nasledujúcich rokoch sa vysokým nárastom dostal až na hodnotu 5,9 mil. m³ v r.1997, čo bolo čiastočne spôsobené rozsiahlou vetemou kalamitou na Horehroní. Odlišný je vývoj ročného ťažbového etátu (plánovaná výška ťažieb stanovená podľa ťažbových možností). Za obdobie rokov 1990-1998 celkový etát po jeho počiatočnom miernom poklese do roku 1993 mierne stúpa po hodnotu 5,0 mil. m³ v r.1997 až na hodnotu 5,33 mil. m³ v roku 2000 (KONÓPKA *et al.* 1999, Zelená správa 2001).

Tabuľka 3 Vývoj ťažby dreva na Slovensku

Table 3 Development of wood harvesting in Slovakia

	Druh ťažby (m ³)			
	Obnovná	Výhovná	Mimoriadna	Spolu
1990	3 343 253	1 896 279	35 711	5 275 243
1991	2 602 975	1 802 233	23 873	4 429 081
1992	2 407 116	1 623 641	17 096	4 047 853
1993	2 560 760	1 604 942	19 673	4 185 375
1994	2 739 408	2 156 713	13 788	4 909 909
1995	3 090 595	2 213 120	19 695	5 323 410
1996	3 424 545	2 012 800	21 799	5 459 144
1997	3 797 807	2 112 585	33 962	5 944 354
1998	3 560 722	1 950 960	20 687	5 532 369
1999				5 793 000
2000				6 168 000

3.2 Zmeny vo využívaní krajiny



Obr.1 Zmeny využívania krajiny na Slovensku
Fig.1 Land use change in Slovakia

Z hľadiska bilancovania emisií skleníkových plynov v rámci kategórií spojených s využívaním krajiny (land use) a ich zmien (land use change) môžeme pre naše podmienky vyčleniť štyri základné kategórie využívania krajiny, a to: (i) lesné porasty, (ii) orná pôda, (iii) lúky a pasienky (trvalé trávne porasty) a (iv) ostatná pôda (priemyselné a obytné zóny atď.). Vo všeobecnosti zmeny vo využívaní krajiny, najmä z hľadiska zmien pôdneho uhlíka, neprebiehajú skokom, ale rovnovážny stav sa dosahuje v priebehu niekoľkých rokov až desaťročí, čo sa zohľadňuje aj v spomínanej metodike (Mind'áš 2001). Obraz o vývoji zastúpenia jednotlivých kategórií nám poskytuje obr.1 (Štatistické ročenky, PIL, Konôpka et al. 1999, Zelená správa 2001).

3.3 Prírodné zdroje emisií metánu

Pre bilancovanie emisií metánu sú kategorizované 4 základné zdroje prírodného charakteru: mokrade, rašeliniská, vodné plochy (jazerá, umelé vodné nádrže) a lesné pôdy so zhoršeným vodným režimom (glejové a pseudoglejové pôdy so znakmi redukčných procesov a fluvizeme). Produkčné obdobie, kedy prebieha emisia metánu, je počítané podľa skutočných teplotných pomerov v danom roku. V prípade mokradí je zohľadnená aj ich výšková zonalita podľa nadmorskej výšky. Ďalšie charakteristiky sú uvedené v nasledovnom prehľade.

Kategória Category	Plocha Area (ha)	Emisný pomer Emission rate (mg C-CH ₄ m ⁻² deň ⁻¹)	Zdroj Reference	Produkčné obdobie (dni) Production period (days)
Mokrade Fens	10 348	60	Aselman,Crutzen (1989)	108-192
Rašeliniská Swamps	4 459	63	Aselman,Crutzen (1989)	234-273
Jazerá* Lakes	23 246	32	Aselman,Crutzen (1989)	278-324
Lesné pôdy** Forest soils	65 600	1,2	Castro et al. (1995)	173-202

* vrátane umelých vodných nádrží (including dams)

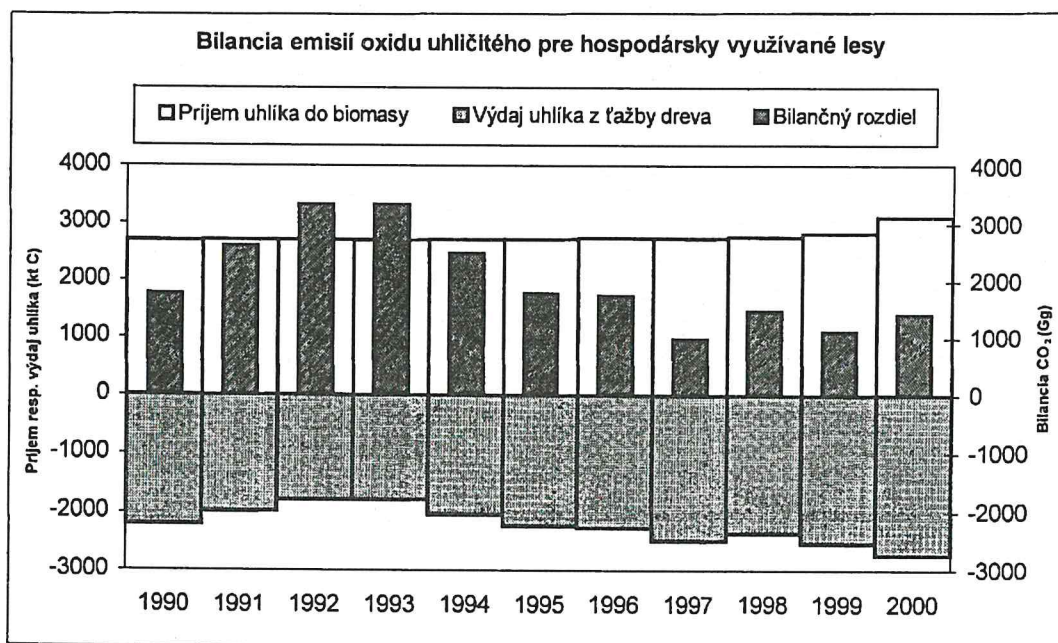
**pôdy so zhoršeným vodným režimom (gleje, pseudogleje, fluvizeme),
soils with worse water regime (gleyic soils, fluvic soils)

4 Výsledky

V nasledovnej časti sú prehľadne sumarizované doterajšie výsledky bilancovania emisií skleníkových a ďalších plynov v sektore lesného hospodárstva a využívania krajiny podľa jednotlivých bilančných metód za obdobie 1990 - 1998. Výsledky bilancovania emisií skleníkových plynov

4.1.1 Zmeny zásob lesnej a inej drevnej biomasy - prírastok, ťažba

Priemerný prírastok bol stanovený na základe priemerných zásob v jednotlivých vekových stupňoch pre jednotlivé dreviny ako súčet priemerných prírastkov v jednotlivých vekových stupňoch vyjadrený na jednotku skutočnej plochy výskytu danej dreviny. Údaje o ťažbách boli získané z lesohospodárskej evidencie.

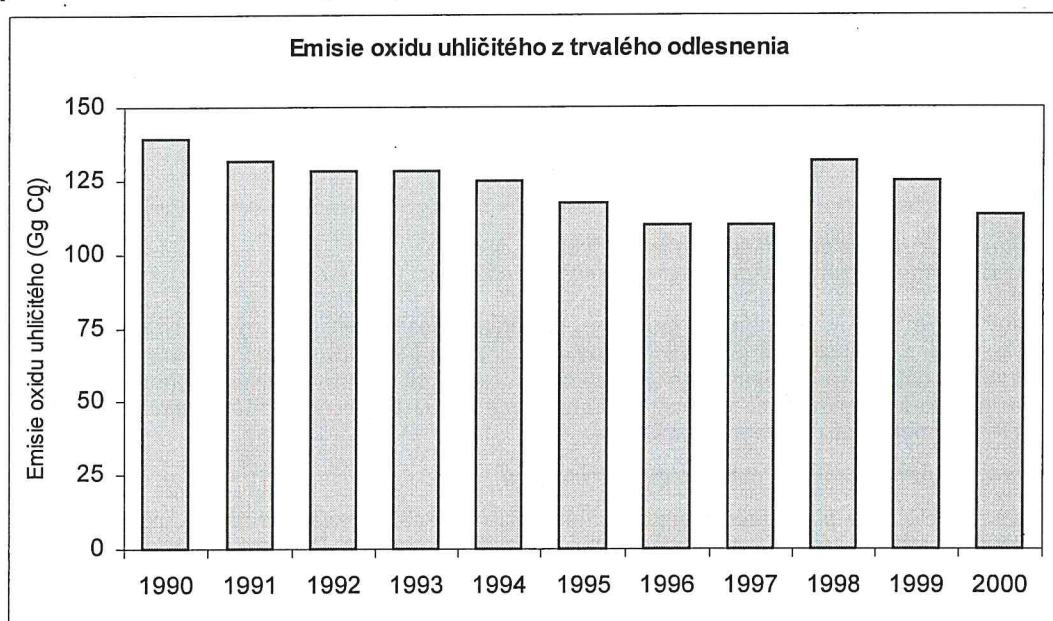


Obr.2 Bilancia emisií CO₂ pre hospodársky využívané lesy
Fig.2 CO₂ balance for managed forests

Sumárne výsledky za túto bilancovanú kategóriu sú uvedené na obr.2. Príjem uhlíka do biomasy lesných drevín od r.1990 mierne stúpa, naproti tomu straty uhlíka v dôsledku ťažby značne kolíšu a v rozhodujúcej miere určujú výsledný bilančný rozdiel v tejto kategórii. V súvislosti s ťažbou dreva treba spomenúť kategóriu palivového dreva, ktorá je bilančne previazaná s kategóriou energetiky, kde sa bilancujú ostatné emisie zo spaľovania dreva (CH_4 , CO_2 , N_2O , NO_x). Najpriaznivejšia bilancia oxidu uhličitého bola v rokoch 1992 a 1993 práve z dôvodu nízkych ťažieb dreva. Je potrebné pripomenúť, že na Slovensku sú obhospodarované prakticky všetky plochy lesov, to znamená, že v tejto kapitole je zahrnutý aj celkový ročný prírastok na plochách zalesnených (bývalé nelesné plochy) za posledných zhruba 100 rokov a vo výške ťažby je zahrnutá aj ťažba z odlesňovania, takže tieto hodnoty sa už v ďalších bilančných kategóriách nevyskytujú, nakoľko je veľmi obtiažne ich z celkovej bilancie ťažby a prírastku osobitne vyčleniť.

4.1.2 Emisie CO_2 z trvalého odlesňovania

Odlesňovanie je spojené s odstraňovaním biomasy (ťažba stromov), rozkladom ťažbových zvyškov a nadložného humusu, ako aj zmenami obsahu pôdneho uhlíka. Ťažba z odlesňovaných plôch je bilancovaná v kategórii hospodárskych lesov ako súčasť celkovej ťažby. V tejto časti sa bilancuje len biomasa, ktorá vstupuje do procesu rozkladu (ťažobné zvyšky, nadložený humus), ktorý trvá asi 10 rokov. Preto je potrebné bilancovať emisie na priemernej ploche odlesnenej v priebehu posledných 10 rokov. Pre hodnoty biomasy vstupujúcej do procesu rozkladu sme vychádzali z priemernej zásoby nadložného humusu našich lesných plôch (ŠALY 1988) a priemerného množstva ťažobných zvyškov.



Obr.3 Emisie CO_2 z trvalého odlesňovania

Fig.3 CO_2 emissions from deforestation

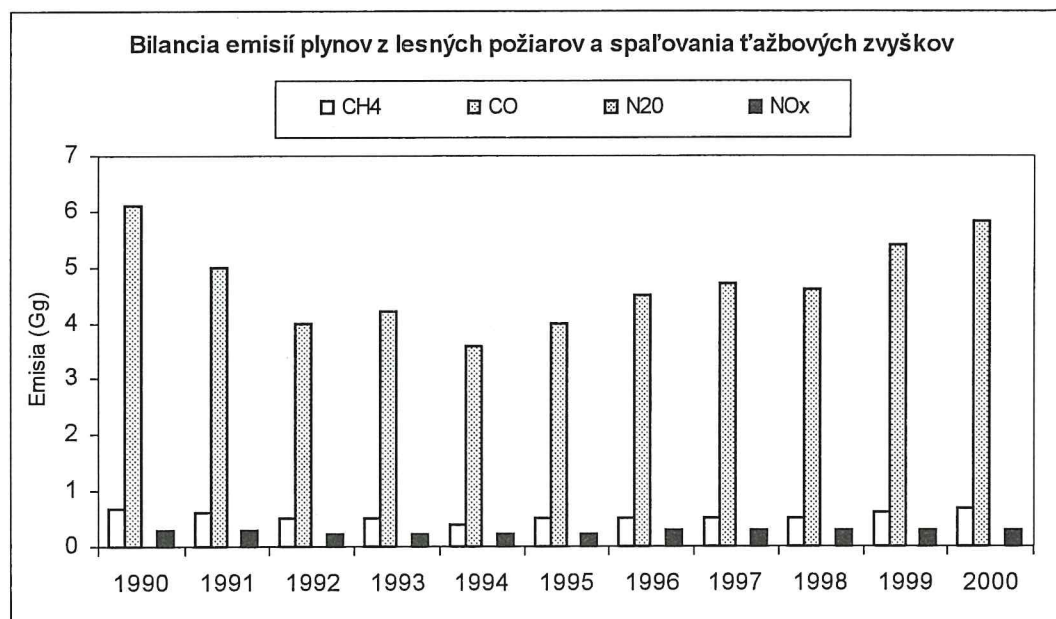
Celkové množstvo uvoľneného uhlíka vo forme oxidu uhličitého je pomerne stále a pohybuje sa v rozpätí 110 – 140 Gg CO_2 (obr.3). Táto relatívne vyrovnaná bilancia súvisí s množstvom odlesňovanej plochy, ktorá sa mení iba nepatrne a kolíše okolo hodnoty 1000 ha v priemere za rok. Vzhľadom na to, že táto problematika je u nás legislatívne riešená v Zákone o lesoch, možno aj do budúcnosti považovať túto kategóriu za vyrovnanú. Zmeny pôdneho uhlíka na odlesnených plochách sú bilancované v rámci samostatnej kapitoly (4.1.5).

4.1.3 Spaľovanie ťažobných zvyškov a lesné požiare

Aj keď v rámci kategórií revidovanej metodiky IPCC (1996) nie sú taxatívne zahrnuté takto definované kategórie, je z hľadiska komplexnosti stanovenia celkových emisií skleníkových plynov v tomto sektore nutné s nimi počítať ako s reálnymi procesmi, pri ktorých dochádza k emitovaniu radiačne aktívnych plynov.

V podmienkach lesného hospodárstva Slovenska je spôsob a systém ťažieb s následnou obnovou vytváraných plôch charakteristický pálením ťažbových zvyškov (konáre, zvyšky kmeňov) priamo na mieste (on site burning). V doterajšej praxi lesného hospodárstva, najmä pri aplikácii veľkoplošných holorubov, sa ťažbové zvyšky spaľovali približne na ploche 70 - 75% z celkovej plochy rubnej ťažby. V súčasnosti, vzhľadom na rozsiahlu privatizáciu lesov a na novelizáciu predpisov HÚL (dominancia podrastových foriem obhospodarovania lesov), došlo k úbytku plochy holorubov, a tým aj plochy, na ktorých sa zvyšky spaľujú. Z dôvodu nedostatku informácií nemožno v súčasnosti presne kvantifikovať tento podiel, ale na základe nepriamych údajov o rozsahu a forme obnovných postupov možno túto plochu odhadnúť na cca 50 % z celkovej plochy rubnej (obnovnej) ťažby. Čo sa týka množstva zhorenej biomasy, z ťažby ihličnatého dreva ostáva v priemere 10 % po ťažbových zvyškov na spaľovanie, z ťažby listnatého dreva to je asi 25 % biomasy. Uvedené hodnoty boli získané na základe údajov o podieloch jednotlivých častí biomasy v rámci celého stromu (ŠEBÍK 1989).

Ďalším zdrojom emisií zo spaľovania, resp. horenia, sú lesné požiare. Podkladom pre presnú kvantifikáciu veľkosti zasiahnutej plochy a množstva zhorenej biomasy sú údaje Lesníckej ochrannárskej služby uverejňované v každoročných správach o výskyte škodlivých činiteľov v lesoch Slovenska.



Obr.4 Emisie plynov z lesných požiarov a spaľovania ťažbových zvyškov
Fig.4 Gas emissions from forest fires and burning of harvesting residues

Z procesov spaľovania, resp. horenia biomasy, sa počítajú iba emisie ostatných plynov bez oxidu uhličitého, nakoľko uhlík v biomase bol po ťažbe bilancovaný v prvej kategórii a lesné požiare nespádajú do kategórie plôch trvalého odlesňovania. Sumárne výsledky emisií ostatných plynov z procesu horenia sú uvedené na obr.4. Celkovo možno konštatovať, že procesy horenia a spaľovania biomasy na Slovensku nepredstavujú významný zdroj emisií v porovnaní s ostatnými sektormi.

4.1.4 Zalesňovanie a prirodzené zarastanie nelesných pôd

Zalesňovanie nelesných plôch predstavuje najefektívnejší spôsob sekvestrácie uhlíka, nakoľko pritom dochádza k tvorbe novej zásoby, ako aj k akumulácii uhlíka v pôdnom humuse. Proces zalesňovania nelesných plôch je v našich podmienkach spojený prevažne s cieľne vykonávaným zalesňovaním plôch nevhodných na poľnohospodárske využitie. Ide najmä o podhorské a horské oblasti bývalých pasienkov a lúk. V menšej miere dochádza na takýchto neobhospodarovateľných plochách k samovoľnému zarastaniu leso. Postupne však všetky zalesnené či zarastené plochy prechádzajú do režimu normálneho obhospodarovania lesov, a z tohto dôvodu ich nemôžeme bilancovať ako úplne samostatnú kategóriu (tak ako je bilancovaná v metodike IPCC), ale ako kategóriu previazanú s kategóriou hospodárskych lesov. Z týchto dôvodov prírastky uhlíka musíme bilancovať v spojitosti s kategóriou zmien lesnej a inej biomasy (hospodárske lesy), nakoľko prírastok biomasy (a tým aj uhlíka) je vyčísľovaný aj v rámci tejto kategórie, pretože v súčasnosti už nevieme presne identifikovať pôvodné a novozalesnené plochy. Z uvedeného dôvodu preto túto kategóriu samostatne nebilancujeme, nakoľko prírastok uhlíka v biomase je zahrnutý v kategórii zmien zásob lesnej a inej drevnej biomasy (kap. 4.1.1) a záhyt CO₂ v pôdach je bilancovaný v kategórii zmien pôdneho uhlíka (kap. 4.1.5).

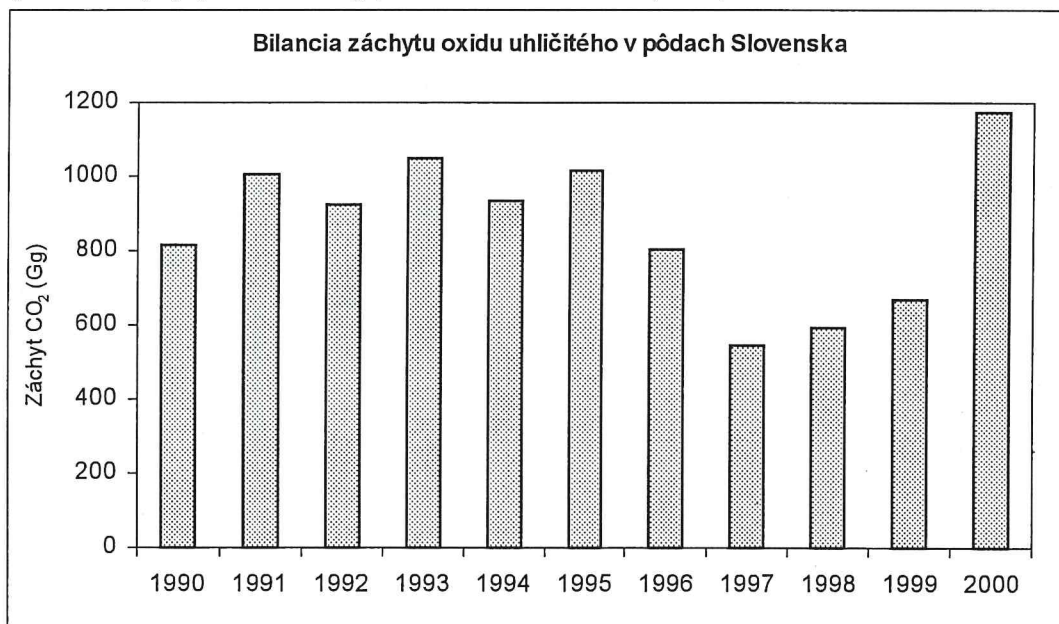
V predchádzajúcich bilanciách sme túto kategóriu bilancovali samostatne, a to na základe analýzy zmeny výmer lesných porastov od r.1921. Takto stanovená hodnota bola potom odpočítaná od bilancie v rámci kategórie zmien zásob lesnej a inej drevnej biomasy, aby nedošlo k dvojitému zápočtu uhlíka. Nakoľko však takýto spôsob narážal na problémy pri prezentovaní bilancie v systéme CRF (Common Reporting Format) tabuliek (pre sekretariát UN FCCC), upustili sme od tohto spôsobu a táto kategória sa ďalej nebude samostatne uvádzať.

4.1.5 Emisie alebo viazanie CO₂ v pôde pri zmene využívania krajiny a jej obhospodarovaní

Táto kategória sumarizuje všetky procesy súvisiace so zmenami pôdneho uhlíka. Ide predovšetkým o zmeny zásob uhlíka v minerálnej pôde v dôsledku zmien vo využívaní krajiny, ďalej zmeny zásob uhlíka v organických pôdach (rašeliniská, mokrade a pod., táto kategória je na Slovensku zanedbateľná) a emisia oxidu uhličitého z hnojenia pôd uhličitými hnojivami (vápenaté a dolomitické hnojivá).

Najvýznamnejšou kategóriou je zmena zásob uhlíka determinovaná zmenou využívania krajiny (pôdy). V zásade môžeme pre podmienky Slovenska hovoriť o štyroch hlavných typoch využívania pôdy, ktoré vyúsťujú do štyroch rámcových krajinnogeografických kategórií, a to lesné porasty, pasienky a trvalé trávne porasty, orná pôda a ostatné plochy (urbanizované, industriálne, vodné plochy a pod.). V priebehu dvadsaťročného bilančného obdobia došlo k nezanedbateľným zmenám v rozlohách týchto kategórií (pokles výmery ornej pôdy; nárast

výmery lesov a pod.), čo sa odzrkadlilo aj na zmene množstva viazaného uhlíka v pôde. V rámci tejto bilančnej kategórie kolíše priemerný ročný záchyt v pôdach v rozpätí 600 – 1200 Gg CO₂, čo odzrkadľuje zmeny vo využívaní krajiny (land-use change) za obdobie 1970 - 2000 (obr. 5).



Obr.5 Bilancia záchytu CO₂ v pôdach Slovenska
Fig.5 CO₂ sequestration in soils of Slovakia

Vzhľadom na celkovo priaznivú pôdnu reakciu poľnohospodárskych (najmä orných) pôd, nie je vápenenie pôd (mletým dolomitom alebo vápencom) v poľnohospodárskej praxi veľmi rozšírené. Tento druh hnojív sa samostatne štatisticky ani neeviduje. Z uvedeného vyplýva, že nie sú dostupné presné údaje o množstve a aplikácii týchto hnojív. Je možné predpokladať, že pri celkovom množstve aplikovaných hnojív (draselných, fosforečných a dusíkatých) v množstve približne 100 tisíc ton ročne, sa môže množstvo vápenatých hnojív pohybovať v závislosti od výmery kyslých pôd na úrovni okolo 1000 - 2500 ton ročne. Tento údaj (pri predpoklade rovnakého podielu vápenca a dolomitu) znamená emitovanie 0,4 - 1,1 Gg CO₂ v ročnom priemere, čo bilanciu pôdneho uhlíka významne neovplyvňuje.

4.1.6 Celková bilancia skleníkových plynov

Celková bilancia oxidu uhličitého v sektore lesného hospodárstva a využívania krajiny vyznieva pozitívne, nakoľko dochádza k vyšším záchytom v biomase a pôde oproti emisiám s bilančným prebytkom na úrovni 1 - 4 Tg CO₂ (obr.6, tab.4). Emisie ostatných skleníkových plynov sú relatívne veľmi nízke a sú uvedené v kapitole 4.1.3.

V súčasnosti väčšina európskych krajín vykazuje pozitívnu bilanciu oxidu uhličitého v tejto kategórii. Napríklad v Rakúsku sa táto bilancia pohybuje v rozpätí 5,4 až 13,5 Tg CO₂, vo Švajčiarsku 3,2-4,6 Tg CO₂ a v Maďarsku 4,5-6,3 Tg CO₂ (UNFCCC 2001).

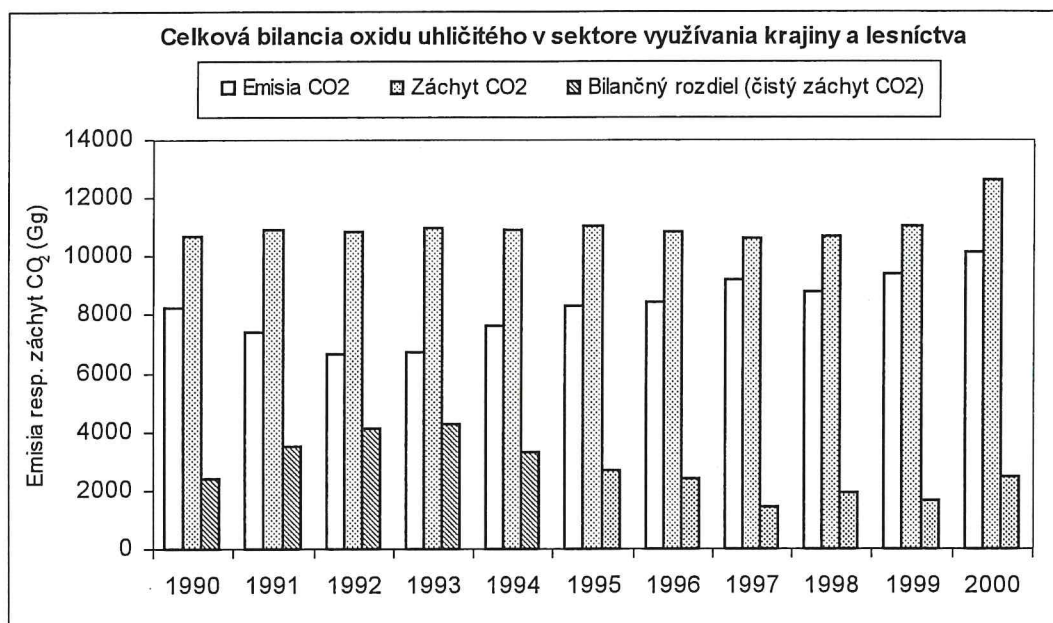
Tabuľka 4 Štruktúra bilancie CO₂ v oblasti lesníctva a využívania krajiny
Table 4 Structure of CO₂ emissions in land use, land use change and forestry

	Celková emisia CO ₂	Celkový záchyt CO ₂	Čistý záchyt emisia CO ₂	Emisia CO ₂ z rozkladu organického hmoty*	Záchyt CO ₂ v pôdach	Emisia CO ₂ z hnojenia vápenatými hnojivami
Mer.jedn.	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg
Kat.IPCC	5A	5A	5A	5C	5D	5D
1990	-8118	9871	1753	140.6	815	0.4
1991	-7297	9900	2603	130.2	1003	0.4
1992	-6560	9893	3333	128.9	924	0.4
1993	-6578	9922	3344	127.6	1050	0.4
1994	-7491	9970	2479	126.3	935	0.4
1995	-8221	10006	1786	118.5	1016	0.4
1996	-8323	10058	1734	111.3	805	0.4
1997	-9112	10087	975	110.6	547	0.4
1998	-8672	10146	1474	130.9	593	0.4
1999	-9295	10402	1107	125.0	669	0.4
2000	-10021	11433	1412	113.2	1174	1.1

5A – Zmeny lesnej a inej drevnej biomasy

5C – Emisie CO₂ z trvalého odlesňovania

5D – Zmeny zásob pôdneho uhlíka



Obr.6 Celková bilancia CO₂ v sektore využívania krajiny a lesníctva

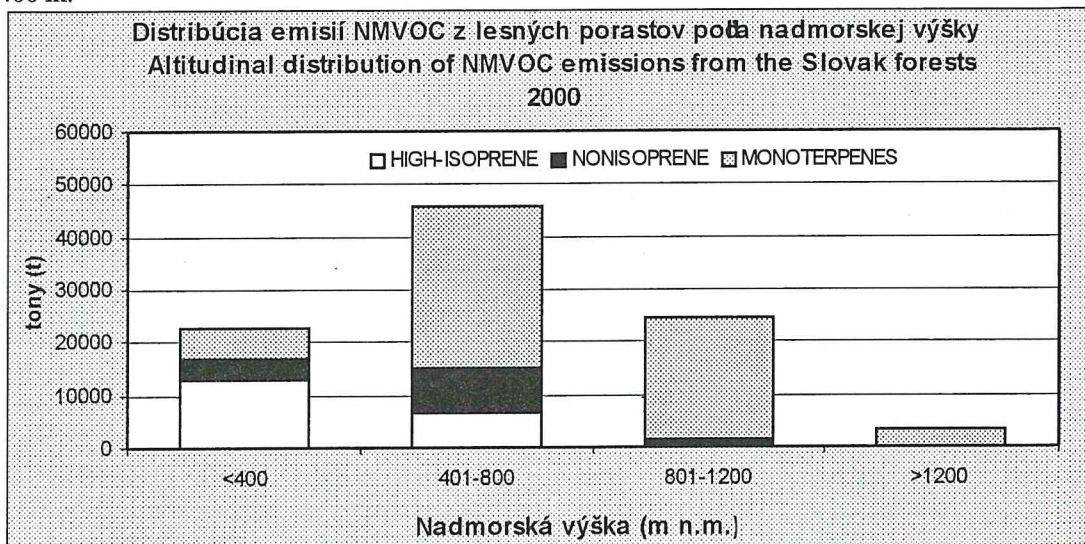
Fig.6 Total CO₂ balance in category land use, land use change and forestry

4.2 Emisie prchavých organických látok (VOC) z lesov

Hlavným zdrojom emisií VOC z lesných porastov sú lesné dreviny (resp. ich asimilačné aparáty), podiel ostatných zložiek (bylinný kryt, opadanka) je z hľadiska celkovej bilancie zanedbateľný (Hanson, Hoffman 1994). Nakoľko lesné dreviny tvoria plošne rozsiahle lesné porasty, tak z hľadiska emitovania prchavých uhlíkovodíkov tvoria typický plošný zdroj. Ako vyplýva už z vyššie uvedených skutočností, jednotlivé dreviny sa svojimi emisnými charakteristikami vzájomne dosť odlišujú, a to ako kvalitatívne (chemickým zložením VOC), tak aj kvantitatívne (množstvom emitovaných VOC). Z tohto hľadiska významnú úlohu zohráva drevinové zloženie lesov Slovenska, kde najrozšírenejšími drevinami sú buk, smrek, borovica a dub.

Celková emisia VOC z lesných porastov Slovenskej republiky za rok 2000 predstavovala hodnotu 96 288 ton, z čoho na vysokoizoprénové emitory pripadla čiastka 19438 ton (20,2 %), na neizoprénové emitory čiastka 13 980 ton (14,5 %) a na monoterpénové emitory 62 870 ton (65,3 %) (tab.5). Sumárny prehľad emisií za obdobie 1990-2000 je dokumentovaný na obr.7.

Výsledné emisie za rok 2000 korešpondujú s hodnotami v období rokov 1990 - 99 (obr.8). Pre zaujímavosť sme urobili analýzu distribúcie emisií VOC z lesných porastov podľa nadmorskej výšky (obr.7). Najvyššie emisie sa dosahujú v intervale nadmorských výšok 400 až 800m, kde kulminujú emisie neizoprénových aj monoterpénových emitov (najväčšia plocha lesných porastov, výskyt monoterpénových aj izoprénových emitov). Izoprénové emitory dosahujú najväčšie hodnoty emisií v nadmorských výškach do 400 m.



Obr.7, Fig.7

Predpokladaný ďalší vývoj emisií VOC z lesných porastov na Slovensku bude spojený najmä s aktuálnym vývojom teplotných pomerov v budúcich rokoch. Z tohto hľadiska možno najteplejšie polroky v rokoch 1992, 1994, 1998-2000 so svojimi emisiami (obr.7) brať ako základ pre odhad priemerných emisií VOC z lesných porastov pre začiatok 21. storočia, čo teda znamená, že priemerné emisie by sa mohli pohybovať na úrovni 95 až 105 tisíc ton. Zmena v drevinovej štruktúre našich lesov je proces dlhodobý a v najbližších 10 - 20 rokoch neovplyvní množstvo a štruktúru emisií VOC.

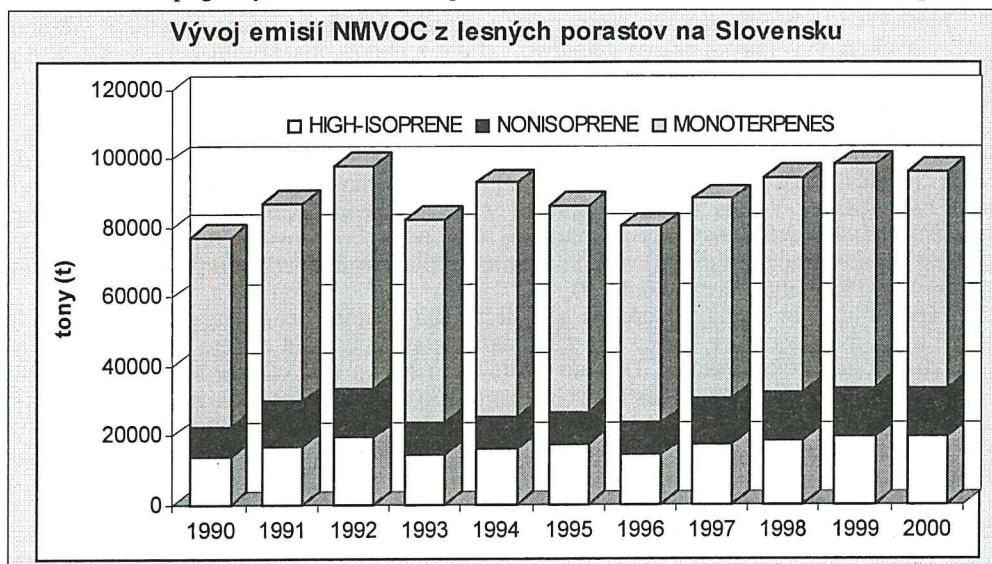
Tabuľka 5 Emisie VOC z lesných porastov SR za rok 2000 (údaje v tonách)

Table 5 VOC emissions for forest stands in Slovakia (2000) (data in tones)

Mesiac	Vysokoizoprénové Emitory	Neizoprénové emitory	Monoterpénové emitory	TOTAL VOC
IV	1774	1690	6846	10 310
V	2917	2210	9702	14 829
VI	4430	2710	12566	19 706
VII	3812	2538	11625	17 975
VIII	4472	3003	14312	21 787
IX	2033	1829	7819	11 681
Σ	19 438	13 980	62 870	96 288

Samozrejme, uvedené výsledky je potrebné vnímať v súvislosti s použitou metodikou a z nej vyplývajúcich nepresností spôsobených skutočnosťou, že bilančný výpočet je prevádzaný nepriamo, cez jeden faktor prostredia (teplota vzduchu) a nie na základe priamych bilančných metód založených na meraní. Napriek tomu, korelačné koeficienty jednotlivých regresných závislostí dosahujú pomerne vysoké hodnoty a vzhľadom na charakter celého procesu prirodzenej emisie biogénnych VOC môžeme tento postup považovať za dostatočne presný pre rámcový odhad hodnôt VOC z lesných porastov.

Podiel emisií VOC z lesných porastov na Slovensku sa v porovnaní k celkovým emisiám VOC na Slovensku (doprava, priemysel, odpady) neustále zvyšuje. V roku 1990 tento podiel predstavoval zhruba 29%, no v roku 2000 to už bolo 108% (Marečková et al. 1994, Marečková, Spišáková 2001). Tento nárast podielu je spôsobený výrazným poklesom antropogénnych emisií z 262 tis. ton v roku 1990 na 89 tisíc ton VOC v roku 2000. Pre Švajčiarsko udávajú Andreani-Aksoyoglu et al. (1995) za rok 1992 emisiu 87 000 ton VOC, čo predstavuje 30% v porovnaní s antropogénnymi emisiami VOC vo Švajčiarsku. Tieto údaje sú porovnateľné s hodnotami antropogénnych emisií VOC a podielom emisií VOC z lesov na Slovensku pre dané obdobie.

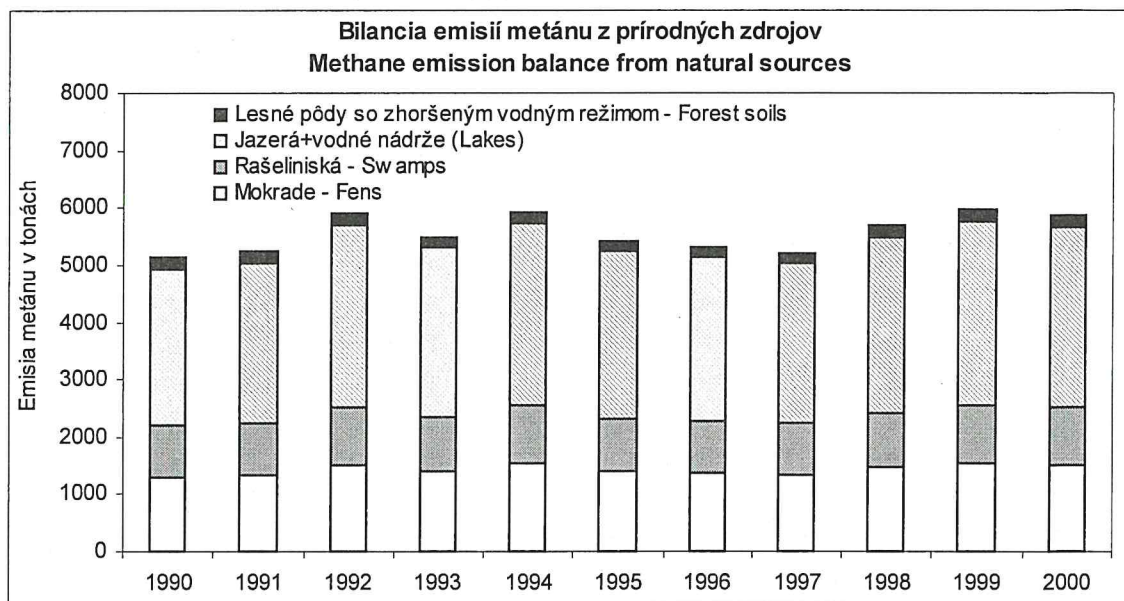


Obr.8, Fig.8

4.3 Emisie metánu z prírodných zdrojov

Najvýznamnejším zdrojom emisií metánu z prírodných zdrojov v krajine sú trvalé vodné plochy (jazerá, rybníky, priehrady), ktorých emisia prekročila hodnotu 3 150 ton (obr.9). Najmenej prispievajú k emisii metánu lesné pôdy so zhoršeným vodným režimom, ktorých emisia predstavuje 208 ton. Celková produkcia metánu cca 5 865 ton je v porovnaní s inými sektormi produkujúcimi metán nepatrná. Predpoklad ďalšieho vývoja emisií metánu z prírodných zdrojov môže byť ovplyvnený najmä zmenami rozlohy mokradí (hydromelioračné zásahy)

alebo pribudnutím nových vodných nádrží. V každom prípade nie je predpoklad výraznejších zmien a výška emisií pre obdobie 2000 - 2005 sa bude pravdepodobne pohybovať na úrovni 5-7 tisíc ton.



Obr.9, Fig.9

4.4 Problematika bilancovania GHG z hľadiska plnenia záväzkov v rámci UN FCCC – Kjóto protokol

Podpis protokolu v japonskom meste Kjóto v rámci konferencie signatárskych štátov UN FCCC priniesol do problematiky znižovania emisií skleníkových plynov (GHG) kvalitatívne novú etapu. Problematike lesov a využívania krajiny (Land-use, Land-use change, and Forestry – LULUCF) sú venované najmä články 3.3 a 3.4. Formulácia týchto článkov však už hneď od počiatku vyvolala rozpačité reakcie vzhľadom na svoju terminologickú nejednoznačnosť. Predovšetkým išlo o definíciu lesov a terminologickú jednoznačnosť termínov: odlesnenie (dlhodobé: deforestation), zalesnenie (doteraz nelesných plôch: afforestation) a zalesnenie (dočasne odlesnených plôch: reforestation). Dalším problémom v článku 3.4 je ponúkaná možnosť zahrnutia prídavných (additional) človekom vyvolaných aktivít najmä vo vzťahu k obhospodarovaniu krajiny, ktoré však vôbec nie sú špecifikované.

Samostatným problémom Kjótskeho protokolu je "započítavanie uhlíka (carbon accounting)", ktorý je vo všeobecnosti definovaný ako kompletný zápočet pre zmeny v uhlíkových zásobách v rámci všetkých uhlíkových "rezervoároch" v rámci krajiny (uhlík v lesnej biomase, pôdny uhlík, mŕtva organická hmota atď.) v danej časovej perióde. Táto časť priamo súvisí s praktickou aplikáciou bilančných uhlíkových metód, ktoré tieto množstvá priamo kvantifikujú. V tejto súvislosti možno v zásade špecifikovať dva základné prístupy započítavania uhlíka v rámci záväzkov Kjótskeho protokolu, a to na princípe bilancovania uhlíka vo vybraných územiach (územný princíp – land-based accounting), alebo na princípe bilancovania jednotlivých aktivít krajiny (activity-based accounting), ako je to znázornené na obr.10.

Z hľadiska zápočtu uhlíka v tomto sektore nie sú dôležité iba samotné opatrenia, ale kľúčovú úlohu tu bude zohrávať aj samotné vybilancovanie uhlíka pre dané aktivity resp. územia a tieto budú musieť byť doložené aj výsledkami monitoringu týchto zmien. Územia, ktoré budú spadať pod článok 3.3. a 3.4 by mohli byť identifikované a monitorované na základe dostupných geografických a štatistických informácií. Zmeny v zásobách uhlíka a emisiách skleníkových plynov v rámci časovej periódy môžu byť odhadnuté použitím kombinácie priamych meraní, údajov o aktivitách v krajine, na základe modelov, ktoré akceptujú princípy štatistickej analýzy, inventarizácie lesov, metód diaľkového prieskumu Zeme, priamych meraní tokov, odberu pôdnych vzoriek a ekologických prieskumov. Toto všetko si vyžaduje značné finančné náklady, ktoré je potrebné zahrnúť do odhadu cenových jednotkových nákladov pre posúdenie efektívnosti cien jednotlivých projektov (cost-effective assessment). Je potrebné podotknúť, že v tejto oblasti ešte zďaleka nie sú všetky otázky priamej aplikácie spomenutých článkov Kjótskeho protokolu vyriešené a ujasnené. Celý rad otázok je ešte nezodpovedaných a chýbajú príslušné rozhodnutia COP (Conference of the Parties, UN FCCC).

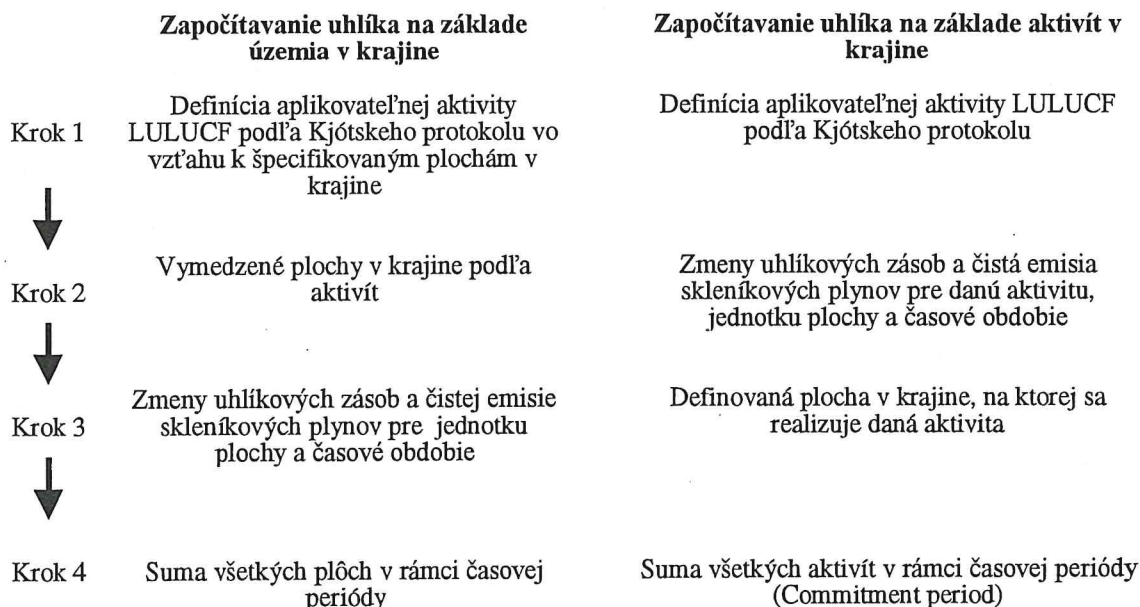
V súčasnosti prebieha intenzívna diskusia o vhodnosti používania súčasnej metodiky IPCC. Ide najmä o problém ďalšieho osudu uhlíka po ťažbe dreva, nakoľko tento nie je automaticky emitovaný späť do atmosféry (tak ako je to bilancované v metodike IPCC), ale jeho časť zostáva dlhodobo viazaná vo výrobkoch z dreva (nábytok, stavebné drevo a pod.). Tieto nové metodické prístupy sú pomerne náročné vo svojich požiadavkách na vstupné údaje a to najmä u špeciálnych komodít (výrobky z dreva, papier, celulóza) vrátane exportno-importných údajov vyjadrených v technických jednotkách (tony, m³). Tieto nové metodické postupy však spresňujú iba časť doteraz používanej metodiky (hodnotenie zmien zásob uhlíka v hospodárskych lesoch) a nezahŕňajú otázky zmien uhlíka pri zmene využívania krajiny (Land-use change). Výsledky bilancovania uhlíka

v tejto kategórii na Slovensku poukazujú na značné rozdiely podľa rôznych metodických prístupov (Mind'áš, Priwitzer 1999).

V rámci všeobecných záväzkov vyplývajúcich z podpisu a ratifikácie UN FCCC je aj bilancia emisií skleníkových plynov podľa jednotlivých sektorov. Cieľom tohto bilancovania je získať čo najpodrobnejší odhad skutočných emisií skleníkových plynov do atmosféry. Z hľadiska metodiky bilancovania azda najkomplikovanejšou oblasťou je oblasť LULUCF (Land Use, Land Use Change and Forestry), nakoľko v sebe zahŕňa veľmi rôznorodé procesy, kde dochádza k prelinaniu prírodných a antropogénnych vplyvov. Problémovosť bilancovania sa ukazuje aj v doterajších predkladaných výsledkoch bilancovania, kde aj niektoré vyspelé krajiny nemajú bilancované všetky procesy v rámci tejto kategórie. Snaha skvalitniť a spresniť výsledky bilancíí viedla k vypracovaniu Good Practice Guidance, avšak s absenciou práve tejto bilančnej kategórie.

Dôležitým medzníkom v riešení tejto problematiky bola Bonnská konferencia krajín UNFCCC, kde bol veľký priestor venovaný práve problematike využívania krajiny, zmien vo využívaní krajiny a lesníctve, a to ako z pohľadu problematiky bilancovania GHG v tejto kategórii, tak aj z hľadiska plnenia záväzkov Kjótskeho protokolu. Ukázalo sa totiž, že pre potreby monitorovania opatrení prijatých v rámci protokolu nie je možné použiť doterajšie metodiky bilancovania. Medzivládny panel pre klimatickú zmenu (IPCC) bol rozhodnutím - /CP.6 vyzvaný na:

1. vypracovať metódy na odhad, meranie, monitorovanie a systém reportovania zmien v uhlíkových zásobách a antropogénnych emisiách GHG podľa zdrojov a prepadov z využívania krajiny, zmien vo využívaní krajiny a lesníctva spadajúcich pod články 3.3 a 3.4, a články 6 a 12 Kjótskeho protokolu na základe doteraz platnej metodiky (Revised 1996)
2. pripraviť správu pre Good Practice Guidance pre túto kategóriu zo zohľadnením bodu 1
3. spresniť definície pre človekom vyvolanú „degradáciu“ a „devegetáciu (odlesnenie)“ lesov a ďalších vegetačných typov a metodologické možnosti pre inventúru a reporting výsledkov pre emisie rezultujúce z týchto aktivít
4. rozvinúť praktické metódy posúdenia faktorov vplyvu človekom vyvolaných zmien v uhlíkových zásobách a emisiách GHG a človekom nevyvolaných (prírodných) zmien (hnojivý účinok zvýšeného CO₂, depozície dusíka a pod.) ako aj posúdenie zmien minulých ľudských aktivít na lesy (v období pred referenčným rokom)
5. rozhodnutia súvisiace so zahrnutím produktov z dreva po ťažbe budú predmetom budúcich rozhodnutí Konferencie



Obr.10 Metodické prístupy započítavania emisií skleníkových plynov v rámci kategórie LULUCF (IPCC Special report 2000)

Fig.10 Methodological approaches for accounting of GHG emissions in LULUCF sector

Ďalšie dôležité veci sa objavili v prijatom Annexe, a to ako vo vzťahu k definíciám (bod A), tak aj k jednotlivým článkom Kjótskeho protokolu (B – 3.3, C – 3.4, D – 12). Významným upresnením vo vzťahu k bilancovaniu GHG je bod 21 v časti E, kde sa hovorí, že krajiny Annexu I by mali v bilanciách zahrnúť všetky zmeny v nasledovných uhlíkových zásobách: nadzemná biomasa, podzemná biomasa, opad, mŕtve drevo a pôdny organický uhlík. V tejto súvislosti si dovoľím podotknúť, že Slovenská republika v súčasnosti nedisponuje takými informáciami, aby sme boli schopní tieto bilancie na požadovanej úrovni zrealizovať. Bolo by preto žiadúce v budúcom období zabezpečiť finančné zdroje na zabezpečenie týchto informácií nad rámec doteraz vyčleňovaných finančných zdrojov. Získanie takýchto podkladových údajov si totiž vyžaduje minimálne 2 - 3 roky intenzívnej práce špecializovaného odborného tímu.

5. Záver

Proces bilancovania v kategórii "Land-Use Change and Forestry" je mimoriadne komplikovaný vzhľadom na zložitosť prebiehajúcich procesov transformácie uhlíka a dusíka. Aj keď jednotlivé metodické postupy sú logicky konštruované tak, aby objektivizovali bilanciu najmä CO₂, kľúčovým problémom je nie celkom vyhovujúca štruktúra bilancovaných kategórií, ktoré plne nevystihujú reálnu situáciu v tejto oblasti na Slovensku. Samostatným problémom je dostupnosť a kvalita vstupných dát, ktoré rozhodujúcou mierou ovplyvňujú výsledok. Aj prvá skúsenosť s aplikáciou nových metodických postupov ukázala, že jednoznačným limitom úspešného výsledku je kvalita existujúcich údajov. Tejto otázke bude potrebné venovať v najbližších rokoch náležitú pozornosť a verifikovať všetky staršie aj nové dátové podklady.

6. Literatúra

1. ANDREANI-AKSOYOGLU, S. - KELLER, J., 1995: Estimates of Monoterpene and Isoprene Emissions from the Forests in Switzerland. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 20, p. 71-87.
2. ASELMAN, I. - CRUTZEN, P.J., 1989: Global distribution of natural freshwater wetlands and rice paddies, their net primary productivity, seasonality and possible methane emissions. *J. Atmos. Chem.*, 8, 1989, p. 307-358.
3. CASTRO, S.M. - STEUDLER, P.A. - MERILLO, J.M., 1995: Factors controlling atmospheric methane consumption by temperate forest soils. *Global Biogeochemical cycles*, Vol.9, No.1, p. 1-10.
4. DIXON, R.K., BROWN, S., HOUGHTON, R.A., SOLOMON, A.M., TEXLER, M.C., WISNIEWSKI, J., 1994: Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems. *Science*, Vol.263, January 1994: p. 185-190.
5. DIXON, R.K., WINJUM, J., SCHRODER, P.E., 1993: Conservation and Sequestration of Carbon. The potential of forest and agroforest management practices. *Global Environmental Change*, June 1993: p. 159-173.
6. Greenhouse Gas Inventory. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory. Vol.1-3, IPCC/OECD, 1996.
7. HANSON, P.J. - HOFFMAN, W.A., 1994: Emissions of Non-Methane Organic Compounds and Carbon Dioxide from Forest Floor Cores. *Soil Science Society American Journal*, 58, p. 552-555.
8. IPCC Special report: Land use, Land use change, and Forestry. Summary for Policymakers. IPCC, 2000, 24 pp. ISBN 92-9169-114-3.
9. JANSON, R.W.: Monoterpene Emissions from Scots Pine and Norwegian Spruce. *Journal of Geophysical Research*, Vol.98, No.D2, 1993, p.2839-2850.
10. LAMB, B. et al.: A National Inventory of Biogenic Hydrocarbon Emissions. *Atmos. Environment*, 21, 1987, p. 1695-1705.
11. KONOPKA, J. et al., 1999: Analýza vývoja a súčasného stavu lesného hospodárstva Slovenskej republiky (1990-98). *Lesnícke štúdie č.55, Príroda*, Bratislava, 268 s.
12. MAREČKOVÁ, K. (Ed.), 1994: CORINAIR 90 - Emissions inventory for Slovakia. Final report, Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, 1994, 29pp.
13. MAREČKOVÁ, K., SPIŠÁKOVÁ, I., 2001: Emisie NMVOC v Slovenskej republike za obdobie 1990-2000. Ústna informácia.
14. MINĐÁŠ, J., 2001: Bilancia emisií skleníkových plynov v sektore lesného hospodárstva za rok 2001. *Záverečná správa úlohy, Zvolen 2001*, 27 s.
15. MINĐÁŠ, J. - PRIWITZER, T., 1999: Bilancia emisií skleníkových plynov v sektore lesného hospodárstva na Slovensku v rokoch 1990-98. *Štúdiá XVI Slovenskej bioklimatickej spoločnosti. SPU Nitra*, 1999: 3-34.
16. Permanentná inventarizácia lesov za roky 1990 až 2000 (PIL). Lesoprojekt Zvolen.
17. POŽGAJ et al., 1993: Štruktúra a vlastnosti dreva. *Príroda*, Bratislava, 468 pp.
18. SEDJO, R., 1992: Temperate Forest Ecosystems in the Global Carbon Cycle. *Ambio*, Vol.21, No.4, June 1992: p. 274-277.
19. SIMPSON, D. - WINIWARTER, W. (Eds.), 1998: Emissions from natural sources. Contribution of the Nature Expert Panel to the EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook (SNAP Code 11). Umweltbundesamt, Vienna, 1998.
20. ŠÁLY, R., 1988: Pedológia a mikrobiológia. *Scriptum VŠLD Zvolen*. 372 pp.
21. ŠEBÍK, L., 1989: Náuka o produkcii. *Scriptum VŠLD Zvolen*, 290 pp.
22. Štatistické ročenky za roky 1970-2000.
23. UNFCCC, 2001: Synthesis and Assessment report of Greenhouse Gas Inventories submitted in 2000. (www.unfccc.de).
24. VELDT, C., 1992: Default emission factors from nature (VOC without CH₄). In: M.R. BOUSCAREN: Default emission factors - hand book. CITERA - Paris, January 1992.
25. Zelená správa o lesnom hospodárstve Slovenskej republiky - 2000. Ministerstvo pôdohospodárstva SR, (www.mpsr.sk), Bratislava 2001.
26. Zelená správa o poľnohospodárstve Slovenskej republiky - 2000. Ministerstvo pôdohospodárstva SR, (www.mpsr.sk), Bratislava 2001.

EMISSIONS OF SELECTED GASES IN FOREST MANAGEMENT AND LAND USE SECTOR DURING THE PERIOD 1990 - 2000 AND KYOTO PROTOCOL IN FORESTRY SECTOR

Jozef Mind'áš, Lesnícky výskumný ústav Zvolen

SUMMARY

Revised 1996 IPCC methodology - GHGs inventory in land use change and forestry

Forests play a significant role in global carbon cycle and therefore the special inventory category has been constructed for evaluation the greenhouse gas (GHG) emissions from forestry and land-use change sector under the Framework Climate Change Convention activities.

The IPCC methodology (1996) approach has been used for estimation of GHG emissions in the forestry and land-use change sector in Slovakia during the period 1990-2000. IPCC methodology (IPCC 1996) suppose that carbon emissions from wood harvest are counted for the current year and second assumption is a negligible change of carbon in wood products stock.

Results of calculations were obtained by using the national data on wood volume increments for individual forest tree species, and results of a roundwood harvest inventory. The annual tree biomass increment per hectare (resulting from application of annual wood volume increment data and biomass conversion/ expansion factor) varies from 0.8 to 4 t dm/ha. Individual calculations were divided according to subcategories such as follows: changes in woody and other biomass stock, afforestation and regrowth, forest clearing, biomass burning and carbon in soil.

Total carbon dioxide emissions represent 1,1-3,3 Tg CO₂ for Revised IPCC 1996 methodology. The main importance for carbon balance has process of carbon sequestration in forest biomass. The amounts of other GHG emissions from forestry and land-use change are negligible (in comparison to other sectors).

Volatile organic compounds (VOC) emissions from forest ecosystems

Total emission of VOC from forests of the Slovak Republic in 2000 was 96 288 tons, from which the portion of isoprene emissions was 19 438 tons (20.2%), nonisoprene emissions 13 980 tons (14.5%) and monoterpene emissions 62 870 tons (65.3%). The total emission values of VOC during the period 1990-2000 were in the range 77-98 kt.

Methane emissions from natural sources

Total methane emission from natural sources in the Slovak Republic in 2000 was 5864 tons, from which the portion of emissions from fens was 1499 tons (25.6%), from swamps 1004 tons (17.1%), from lakes 3154 tons (53.8%) and from forest soils with worse water regime (gleyic and fluvic soils) 208 tons (3.5%). The total methane emission from natural sources during the period 1990-2000 were in the range 5.1-6.0 kt.

ROVNOKRÍDLY HMYZ (ENSIFERA ET CAELIFERA) AKO INDIKÁTOR ARIDIZAČNÝCH TRENDOV V PODUNAJSKU

*Peter J. Fedor, **Oto Majzlan

*Katedra ekososológie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského

e-mail: fedor@fns.uniba.sk

**Ústav experimentálnej fytopatológie a entomológie SAV

e-mail: uefeotom@savba.sk

1. Úvod

Vzájomné strety fyzicko - geografickej a socio - ekonomickej sféry sú sprevádzané pestrou paletou prírodných až antropogénnych javov, ktoré sú navzájom viac či menej skombinované. Triviálne prírodné zákonitosti sú markantne ovplyvnené zo strany človeka, formujúc tak osobité a stále nové fenomény. Dunajské vodné dielo ako geo - technický systém spája v sebe zložky pôvodné - prírodné a antropogénne - novodobé. Každý proces, ktorý tu prebieha, či má svoj pôvod v exogénnych a endogénnych prírodných príčinách, alebo je vyvolaný rôznou mierou antropogénnej záťaže, viaže počas svojho pochodu na seba zložitú štruktúru sprievodných javov, je modifikovaný bohatou spleťou faktorov a mení svoju povahu v závislosti od okolitých podmienok lokálneho i globálneho rázu. O to zložitejšie je potom definovanie týchto procesov vo sfére vedy. Ved' výskyt nových druhov, zistených v rámci dlhodobejšieho biomonitoringu, nemusí súvisieť len s dôvodmi prírodného charakteru (populačné cykly, sukcesia), ale istá miera príčin môže ležať aj v impakte zo strany ľudskej spoločnosti (otepl'ovanie, zmena režimu záplav).

Podľa LAPINA (1995) stúpla počas obdobia 90. rokov (1901 - 1990) priemerná ročná teplota vzduchu v Podunajsku o 0,8°C a evapotranspirácia o 14 %. Celkový úhrn zrážok poklesol o 15 % a relatívna atmosférická vlhkosť vzduchu o 5 %. Na jednej strane zodpovedajú hodnoty týchto ukazovateľov globálnym trendom otepľovania, na druhej strane sa však skutočný a praktický obraz ich efektov prejavuje na lokálnej, prípadne regionálnej úrovni. Nech je miera pôsobenia Dunajského vodného diela ako geo - technického systému na týchto zmenách akokoľvek vysoká (názory sa rôznia), výsledný stav nesie so sebou veľký počet procesov, ktoré sú v Podunajsku viac či menej zreteľné. Aridizácia, v niektorých konkrétnych prípadoch nahrádzaná dezertifikáciou, je na základe klimatologických údajov celkom opodstatnená a jej prítomnosť je vedecky podložená. Zvýšenie priemernej ročnej teploty vzduchu o takmer 1 °C znamená v Podunajsku následný nárast výparu z pôdy a vegetácie, čo sa celkom prirodzene prejaví v intenzívnom vysušovaní. Významný vplyv na vysušovanie Podunajska patrí nesporne i zníženej hladine podzemných vôd. BANSKÝ a MAŽÁRIOVÁ (1995) potvrdili všeobecný nárast hladiny podzemných vôd vo väčšej časti Podunajska na stav známy zo 60. rokov. Na druhej strane však pozorovali pokles hladiny v blízkosti prírodného kanála Vodného diela Gabčíkovo, ale aj na niektorých iných miestach, spôsobený odvodom časti vody z pôvodného koryta Dunaja. V tomto zmysle sa vytvorili špecifické podmienky podporujúce efekty aridizácie, spojené s globálnym otepľovaním. Na území Podunajska sa tak formuje nový fenomén xerothermných biotopov so suchomilnými a teplomilnými spoločenstvami.

V tomto zmysle vzniklo niekoľko vedeckých prác zahŕňajúcich výsledky biomonitoringu slovenskej časti Podunajska, najmä v súvislosti s výstavbou Vodného diela Gabčíkovo. Predovšetkým ide o štúdie MUCHU (1995, 1999) a SVOBODOVEJ a LISICKÉHO (1995), v ktorých sa autori venujú bioindikačnému potenciálu vybraných skupín rastlín a živočíchov.

Hrádza prírodného kanála Dunajského vodného diela patrí k umelo vytvoreným biotopom. Pri výstavbe geo - technického systému vznikol navezením antrozemu na izolačnú vrstvu fólií a betónu. Podľa optimistických projektov mal byť prirodzenou cestou zatravnovaný a pravidelne udržiavaný kosením. Dnes sú už tieto vízie realitou. Na typickej karbonátovej závažkovej antrozemi rastie vegetácia triedy Molinio - Arrhenatheretea ruderálneho charakteru. Dominantou vo fyziognómii fytocenózy sa stáva predovšetkým *Conyza canadensis*. Podpovrchová izolácia zabráňuje prístupu podzemnej vody. Nový umelý záplavový režim negarantuje vodu pre samotnú hrádzu, ani pre jej blízke okolie. Preto sa jediným zdrojom vlhky stali zrážky, ktorých výdatnosť tendenčne klesá. Výsledky monitoringu Podunajska (LAPIN, 1995) ukazujú, že ročný úhrn zrážok sa pohyboval od 333 do 874 mm s výstupom nad 600 - 650 mm a poklesom pod 400 - 500 mm raz za štyri roky (1981 - 1990). Avšak posledná dekáda vykazuje podstatne nižšiu výdatnosť zrážok, obzvlášť v teplých mesiacoch roka. Všetky tieto skutočnosti, ako globálne oteplenie, umelý záplavový režim, tak i izolácia pred podzemnou vodou formujú na hrádzi prírodného kanála výrazne xerothermný biotop. Sukcesný vývoj je tak brzdený nielen hydrologickými pomermi, ale aj manažmentom zo strany človeka. V spoločenstve rovnokrídlovcov sú prítomné len xerothermofilné až psamofilné taxóny alebo druhy so širokou ekologickou valenciou, schopné tolerovať extrémne suchá. Ekvitabilita dosahuje nízke hodnoty v dôsledku až vyše 90 % dominancie druhu *Chorthippus biguttulus* (FEDOR, 1999), čo je znakom nestability ekosystému, vzdialeného od prirodzeného klimaxového štádia.

Xerothermné podmienky na území Podunajska vyhladáva aj svrček *Oecanthus pellucens*. Zvyšovanie jeho populačnej hustoty, ako i radiácia do nových biotopov, indikuje nastupujúci alebo prebiehajúci proces aridizácie. Na druhej strane však sukcesné trendy v biotopoch, len v menšej miere ovplyvnených antropogénnym impaktom, dokážu ešte stále aspoň čiastočne vyrovnávať efekty otepľovania a vysušovania. Uchytením náletových drevín môže postupne nastúpiť klimaxové štádium lužného lesa s vyššími hodnotami relatívnej vlhkosti vzduchu. Takéto procesy možno sledovať najmä na štrkových laviciach, na ktorých nie je brzdený alebo vychýľovaný sukcesný vývoj. Účinnosť stability ekosystému a jej schopnosť udržať alebo prinavrátiť klimaxové štádium sa však čoskoro stretne s efektami globálnych trendov, predovšetkým vo forme postupného otepľovania. Ostáva otázkou, ako dlho sa v týchto podmienkach a pri takýchto tendenciách udrží prirodzená homeostáza, a kedy sa v Podunajsku začnú významne uplatňovať fenomény odlišného rázu.

2. Materiál a metodika

Sledované územie

Predmetné sledované územie sa rozprestiera na južnom Slovensku, v povodí rieky Dunaj, v spádovej oblasti geotechnického systému Vodného diela Gabčíkovo, resp. na území medzi Čuňovom (1854. riečny km) a Čičovom (1897. riečny km). LUKNIŠ a MAZÚR (1959) udávajú nadmorskú výšku Žitného ostrova od 107 do 134 m n. m. s maximálnymi výškovými rozdielmi na 1 km² 3 – 5 m. Pre odber entomologického materiálu bolo stanovených 6 modelových študijných plôch situovaných vo dvojiciach na imaginárnych transektálnych líniach.

Plocha A1 (7969 d), poloha: 48° 1' N, 17° 16' E - Plocha A2 (7969 d), poloha: 48° 1' N, 17° 16' E

Plocha B1 (8070 a), poloha: 47° 58' N, 17° 24' E - Plocha B2 (8070 a), poloha: 47° 58' N, 17° 24' E

Plocha C1 (8272 b), poloha: 47° 45' N, 17° 16' E - Plocha C2 (8272 b), poloha: 47° 45' N, 17° 16' E

číslo v zátvorke udáva súradnice na základe Databanky fauny Slovenska,

N – severná zemepisná šírka, E – východná zemepisná dĺžka

Jedna z dvojice predstavovala biotop hrádze, druhá reprezentovala prilahlú štrkovú lavicu s rôznou mierou prirodzenosti a ekologickej stability. Každá plocha mala rozlohu cca 0,25 ha.

Pôdny kryt študijných plôch zodpovedá z hľadiska pôdnych skupín iniciálnym a antropickým pôdam (ŠÁLY et al., 2000).

Vegetácia sledovaných odberových plôch je výlučne nelesná synantropná na hrádzi prívodného kanála (plochy A1, B1.), na umelo vzniknutých štrkových laviciach (plochy A2, B2) a jednej štrkovej lavici, poloprirodnej, na pôvodných holocénných fluviaľných sedimentoch (plocha C2). Plocha C1 sa nachádza na starej hrádzi Dunaja a kosený porast predstavuje sukcesné štádium k mezofilným lúčnym spoločenstvám. Synantropná vegetácia všetkých plôch predstavuje rôzne štádiá spoločenstiev tried *Artemisietea vulgaris* LOHMEYER, PREISING et R.TX. in R.TX. 1950 a *Chenopodietea* BR.-BL. in BR.-BL. et al. 1952 s väčším počtom druhov tried *Molinio-Arrhenatheretea* R. TX. 1937 em. 1970 a *Festuco-Brometea* BR.-BL. et R.TX. 1943. Umelé porasty hrádzí (A1, B1, C1) boli rekultivované v roku 1993. Pravidelne sa kosia. Tento faktor pôsobí selektívne a už dnes sa vyskytuje v porastoch vyšší počet tráv a bylín, ktoré indikujú mezofilné lúky zo zväzu *Arrhenatherion elatioris* W. KOCH 1926 a študijná plocha C1 vykazuje floristickú podobnosť s lúčnymi fytocenózami typu *Arrhenatheretum elatioris* BRAUN 1915 *salvietosum pratensis* von ROCHOW 1951. Teplomilné nekosené synantropné porasty umelých štrkových lavíc sa nachádzajú v štádiu spoločenstiev floristicky smerujúcich k spoločenstvám *Tanaceto-Artemisietum vulgaris* SISSINGH 1950 (plochy A2, B2) a *Dauco-Crepidetum rhoeadifoliae* HEJNÝ et GRÜLL in HEJNÝ et al. 1979 (plocha C2).

Materiál a metodika

Evertebratologický materiál sme na sledovanom území získavali metódou smýkania bylinného porastu (200 smykov pre 1 odber na 1 ploche) počas vegetačnej sezóny (máj - október) 4 rokov (1998 - 2001) v približne trojdýžňových intervaloch (spolu 8 komplexných zberov ročne). Ideálne rozpätie trojdýžňových intervalov bolo limitované počasím, odber prebiehal v doobedňajších hodinách (9.00 - 12.00). V zmysle BALOGHA (1958) je pre následné štatistické hodnotenie získaného materiálu vhodné, aby rúčka dosahovala 1 m dĺžky a priemer obruče bol 40 cm. Zabezpečí sa tak štandardizácia, resp. unifikácia v oblasti metodiky a výsledné údaje sú teda porovnateľné a vhodné aj na následné analýzy. Na separácii zástupcov rovnokrídleho hmyzu sme okrem ručného odberu využili aj fotoeklektory a pre menšie druhy exhaustor. Získané jedince sú deponované na pracovisku autorov. Nomenklatúra taxónov je použitá v zmysle práce HELLERA et al. (1998).

V rámci štatistického spracovania získaných údajov sledovaných orthopterocenóz sme vyjadrili hodnoty *dominancie* (LOSOS et al., 1984) a *konštantnosti* (LOSOS et al., 1984) jednotlivých druhov, *Simpsonovho indexu diverzity* (SIMPSON, 1949, BEGON et al., 1997), *Shannon - Wienerovho indexu diverzity* (SHANNON a WIENER, 1949, BEGON et al., 1997) a od neho odvodené ekvitality (PIELOU, 1966, BEGON et al., 1997) spoločenstiev

rovnokrídleho hmyzu. Na štatistické vyhodnotenie variability vo vnútri cenóz Ensifera a Caelifera bola použitá metóda priamej (lineárnej) mnohorozmernej gradientovej analýzy – analýza hlavných komponentov (PCA) v prostredí programu Canoco for Windows 4.0 (TER BRAAK, 1988). V prvom kroku boli analyzované študijné plochy v jednotlivých rokoch, pričom boli pasívne hodnotené faktory ekvitability a počtu druhov, teda tieto činitele neovplyvnili priebeh ordinácie. V druhom kroku boli analyzované parciálnou PCA analýzou študijné plochy zo všetkých rokov, pričom faktor roku bol definovaný ako kovariant (TER BRAAK, 1988). Jeho vplyv na variabilitu bol teda eliminovaný. Pasívne sú vynesené faktory: ekvitabilita, počet druhov a Simpsonov index. Použitá bola netransformovaná numerizovaná matica druhov a zápisov v percentuálnej škále a symetrické škálovanie. Druhy a faktory sú v ordinačnom diagrame zobrazované ako šípky (čiary) v smere narastania ich abundancie. Dĺžka čiary vyjadruje dôležitosť pre danú projekciu – čím dlhšia je čiara druhu, tým je jeho významnosť pre konkrétny priemet väčšia. Kosínus uhla medzi druhmi je vyjadrením korelačného koeficientu medzi druhmi, teda čím je ostrý uhol medzi druhmi menší, tým sú druhy pozitívnejšie korelované; ak je uhol rovný 90°, potom sú druhy navzájom nezávislé, čím je tupý uhol väčší, tým sa druhy navzájom viac vylučujú. Zápisy študijných plôch sú vyjadrené ako body, o ktorých platí, že čím sú k sebe bližšie, tým sú si navzájom podobnejšie.

Tento článok zahŕňa len niektoré vybrané hodnoty spomínaných veličín, obyčajne modelových druhov.

Pri stanovení vhodných indikátorov aridizačných procesov sme vychádzali zo základných kritérií pre bioindikátor podľa MEJSTŘÍKA (1992), ktoré sa dajú nasledovne zhrnúť:

- ľahká technická detekovateľnosť v teréne
- spoľahlivá identifikácia
- široká distribúcia
- viditeľná reakcia na zmeny ekologických podmienok
- úzke rozpätie tolerancie

3. Výsledky a diskusia

Druhové spektrum rovnokrídleho hmyzu na jednotlivých študijných plochách nie je rozhodne rovnaké, najmä pri porovnaní hrádze prírodného kanála Vodného diela Gabčíkovo (plochy A1, B1) s plochami 3. transektu, resp. plochami C1 a C2. V extrémnom prípade roku 1999 bol počet druhov na štrkovej lavici v Čičove (plocha C2) viac ako 4 krát vyšší ako na hrádzi prírodného kanála (plocha A1). Najmenej druhov (5 - 7) bolo prítomných v študijnom materiáli plôch A1 a B1 na hrádzi prírodného kanála, naopak, najbohatšie spektrum rovnokrídleho hmyzu (18 – 23 druhov) zodpovedalo ploche C2.

Zistené druhy rovnokrídleho hmyzu disponujú pomerne vysokým bioindikačným potenciálom, schopným zachytiť stav i zmeny ekologických podmienok, dynamiku aj tendenciu vývoja krajinných štruktúr. Schopnosť bioindikácie je celkom prirodzene vyvinutá v rôznej, špecifickej miere. Nie je však založená len na úrovni druhu, ale nepostrádateľnú úlohu v procese hodnotenia zohráva aj spoločenstvo ako systém a spektrum druhov so spleťou vzájomných interakcií.

V prehľade prezentujeme niekoľko základných skupín bioindikátorov v rovine rovnokrídleho hmyzu. Prehľad zahŕňa len druhy, ktoré vo významnej miere indikujú určenú charakteristiku stanovišťa, alebo sú ukazovateľom pre ich existenciu nevyhnutnej ekologickej podmienky:

Xerofilné druhy:

Oecanthus pellucens, *Tetrix bipunctata*, *Oedipoda caerulea*, *Psophus stridulus*, *Euchorthippus declivus*, *Chorthippus parallelus*, *Chorthippus pullus*, *Chorthippus vagans*, *Omocestus haemorrhoidalis*, *Omocestus rufipes*.

Hygrofilné druhy:

Conocephalus fuscus, *Conocephalus dorsalis*, *Ruspolia nitidula*, *Pholidoptera griseoaptera*, *Tetrix subulata*, *Tetrix undulata*, *Chorthippus albomarginatus*, *Chorthippus apricarius*, *Omocestus viridulus*, *Stenobothrus lineatus*.

Druhy tolerujúce stanovišťa s vysokou mierou antropogénneho impaktu (euryvalentné druhy):

Metrioptera roseli, *Tetrix subulata*, *Tetrix undulata*, *Psophus stridulus*, *Euchorthippus declivus*, *Chorthippus biguttulus*, *Chorthippus dichrous*, *Chorthippus mollis*.

Ako z uvedeného prehľadu vyplýva, druhy indikujúce pomerne vyrovnané orthopterocenózy s bohatým druhovým spektrom, sú zároveň ukazovateľmi stanovišť len v malej miere ovplyvnených antropogénnou disturbanciou. Zdá sa teda, že na plochách s vyššou mierou ekologickej stability, resp. nízkym stupňom stresových faktorov, je spoločenstvo rovnokrídleho hmyzu pomerne vyrovnané, s bohatým druhovým spektrom. Podobne platí táto súvislosť aj v opačnom chápaní, kedy sa na plochách výrazne ovplyvnených antropogénnou

disturbanciou vyskytujú orthopterocenózy s nízkymi hodnotami ekvitality aj diverzity. Zahrňajú zväčša euryvalentné druhy, ktoré sa na báze svojej širokej ekologickej valencie a tolerancie stávajú nepriamo indikátormi ekologicky menej stabilných plôch. Treba však zdôrazniť, že väčšina týchto druhov žije aj na plochách s menšími stresovými faktormi. Preto v snahe vyhnúť sa úvahe o preferencii, resp. indikácii výrazne narušených ekosystémov, je nutné podotknúť, že na samotné plochy s vysokou mierou antropogénneho impaktu poukazuje skôr absencia stenovalentných druhov ako prezencia euryvalentných.

Niektoré xerofilné druhy môžu napomáhať pri identifikácii aridizačných procesov v krajine a dokonca vypovedať o miere ich intenzity, príp. impaktu na ekosystémy. Absencia výrazne hygrolilných druhov, resp. ich postupne klesajúca dominancia na úkor xerotermofilných rovnokrídlovcov, dokáže podobne poukazovať na procesy vysušovania. V tomto zmysle sme pozorovali nárast hodnôt konštantnosti xerotermofilných druhov rovnokrídleho hmyzu (napr. *Oecanthus pellucens*, *Oedipoda caerulea*, *Psophus stridulus*, *Euchorthippus declivus*) na sledovanom území v priebehu obdobia výskumu (1998 – 2001) a naopak stagnáciu alebo pokles hodnôt pri hygrolilných druhoch (*Conocephalus dorsalis*, *Pholidoptera griseoptera*, *Omocestus viridulus*) (tabuľka 1). Osobitne je nutné posudzovať výrazne suchý rok 2000, ktorý sa často odchyľoval od rovnomerných trendov vývoja. Do prehľadu uvádzame aj euryvalentné druhy, tolerujúce pomerne vysokú mieru antropogénneho impaktu, ako aj istej miery globálnych či lokálnych aridizačných trendov.

Tabuľka 1 Konštantnosť rovnokrídlovcov na sledovanom území v rokoch 1998 – 2001

Table 1 Constancy of the orthopterous insects on the study area in 1998 - 2001

DRUH	1998	1999	2000	2001
<i>Conocephalus dorsalis</i>	0,17		0,17	0,17
<i>Pholidoptera griseoptera</i>	0,33	0,33	0,33	0,33
<i>Oecanthus pellucens</i>	0,33	0,33	0,83	0,50
<i>Oedipoda caerulea</i>		0,17	0,17	0,33
<i>Psophus stridulus</i>	0,17	0,17		0,33
<i>Euchorthippus declivus</i>	0,50	0,50	0,50	0,67
<i>Omocestus viridulus</i>	0,17	0,17		0,17

- pole bez číselnej hodnoty vyjadruje absenciu druhu na sledovanom území

Akcidentálny druh	Akcesorický druh	Konštantný druh	Eukonštantný druh
-------------------	------------------	-----------------	-------------------

Zo záujmového územia Podunajska vyzdvihuje význam niektorých taxónov pre monitoring MAJZLAN (1992). Na základe stanovených kritérií priradzuje k významným bioindikátorom vlhkých stanovišť druhy *Leptophyes albivittata*, *Pteronemobius heydeni*, *Gryllotalpa gryllotalpa* a *Tridactylus variegatus*. Naopak, pre fragmentózne zachované územia s charakteristickou suchomilnou až psamofilnou vegetáciou stanovil ako indikátory druhy *Psophus stridulus*, *Oedipoda caerulea*, a *Stenobothrus lineatus*. K podobným výsledkom sa dopracoval aj FEDOR (2000). Vo svojej práci o biodiverzite rovnokrídlovcov v okolí geo - technického systému Vodného diela Gabčíkovo poskytol k nahliadnutiu nielen prehľad zistených druhov v Podunajske, ale z uvedených študijných plôch vyplýva viazanosť jednotlivých taxónov na určitý typ biotopu, resp. určité ekologické podmienky. V tomto zmysle žije kobylka *Pholidoptera griseoptera* často v lesnom biotope (Salici - Populetum), ide teda o druh značne tieňomilný a vlhkomilný. Vlhšie lúky v blízkosti vodných plôch vyhľadávajú zasa *Conocephalus discolor*, *Conocephalus dorsalis*, *Tetrix subulata*, *Tetrix undulata* a *Tridactylus (Xya) pfaendleri*. Na druhej strane sa ako xerotermofilné javia koníky *Oedipoda caerulea*, *Psophus stridulus* a svrček *Oecanthus pellucens*. Na tomto mieste treba zdôrazniť, že bioindikačný potenciál druhu závisí aj od geografickej lokalizácie. Ako príklad môže slúžiť kobylka *Metrioptera roeseli*. ŠUŠLÍK (1986) uvádza, že tento druh žije na vlhkých miestach rastlinného porastu, BELLMANN (1988) ho zaznamenáva aj v suchých biotopoch a nakoniec FEDOR (2000) ho pozoruje len na xerotermných študijných plochách. Preto je často v procese aplikácie bioindikačných metód vhodné prispôbiť indikačné schopnosti organizmu do podmienok sledovaného územia.

K spomenutým indikátorom vysušovania, resp. aridizačných trendov teda nesporne patria:

Oecanthus pellucens (SCOPOLI, 1763)

Pontomediterránný druh s centrom rozšírenia v strednej a západnej Ázii, severnej Afrike, južnej a strednej Európe (HARZ, 1957). DOBŠÍK (1959) ho na Slovensku označil za hojný druh. Jeho rozšírenie na Slovensku kopírovalo viac - menej územie viníc (FEDOR a MAJZLAN, 2000). Ide o výrazne xerotermofilný druh zachádzajúci až do podhorských oblastí. FEDOR a MAJZLAN (2000) ho zaznamenali v xerotermných ekotónových spoločenstvách Vihorlatu v nadmorskej výške až 700 m n. m. Často sa však vyskytuje aj v biotopoch viatych pieskov na južnom Slovensku (MAJZLAN et al., 2000). FEDOR a MAJZLAN (2001) poukázali

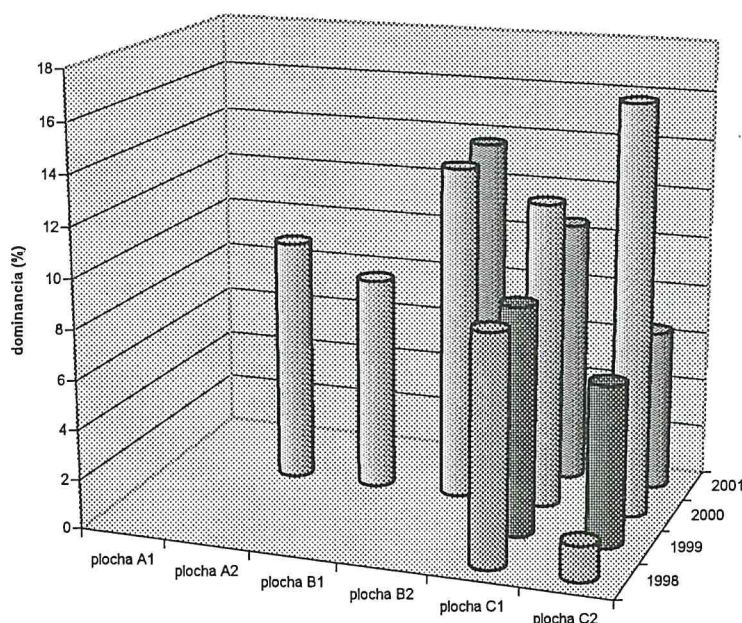
na fakt, že v oblasti slovenskej časti Podunajska dochádza k infiltrácii tohto druhu do nových biotopov v dôsledku kontinuálnej aridizácie územia. MAJZLAN (1992) ho v Podunajsku označil za xerotermofilného pratikola. Na xerotermných plochách pri Vojke nad Dunajom, na Ostrovných lúčkach, Trstenej na Ostrove a v Istragove ho zaznamenal aj FEDOR (1999, 2000).

V rámci sledovaného územia patrí k hojným druhom najmä na plochách A2, B2, C1, C2. V niektorých prípadoch je dokonca eudominantným zástupcom spoločenstva rovnokrídleho hmyzu. Analýza hlavných komponentov ho situuje na rozhranie plôch A2 – B2 a C1 – C2, ktoré sú charakteristické pomerne nízkym stupňom antropogénneho impaktu a vyššou mierou ekologickej stability. *Oecanthus pellucens* je súčasťou orthopterocenóz s vysokou ekvitabilitou a bohatým druhovým spektrom rovnokrídleho hmyzu. Vyhl'adáva výslnné a teplé biotopy s výskytom drevín bez pravidelnej kosby alebo inej formy manažmentu. Jeho výskyt koreluje s prítomnosťou *Tetrix bipunctata*, *Chorthippus vagans* a *Chrysochraon dispar*, v prípade hygrofilnej vegetácie aj *Conocephalus dorsalis*.

Schopnosť bioindikácie: Indikuje teplé výslnné ekologicky stabilnejšie lokality s nekoseným, resp. len zriedkavo koseným trávny porastom, s nízkym stupňom antropogénnej disturbancie. Je ukazovateľom pomerne vyrovnaných orthopterocenóz s bohatým druhovým spektrom rovnokrídleho hmyzu. Jeho infiltrácia (preukázaná zvyšovaním hodnôt konštantnosti v priebehu rokov) do nových biotopov môže byť znakom prebiehajúcej aridizácie (obrázok 1).

Obrázok 1 Dominancia *Oecanthus pellucens* na sledovanom území v rokoch 1998 – 2001

Figure 1 Dominance of *Oecanthus pellucens* on the study area in 1998 – 2001



Oedipoda caerulescens (LINNAEUS, 1758)

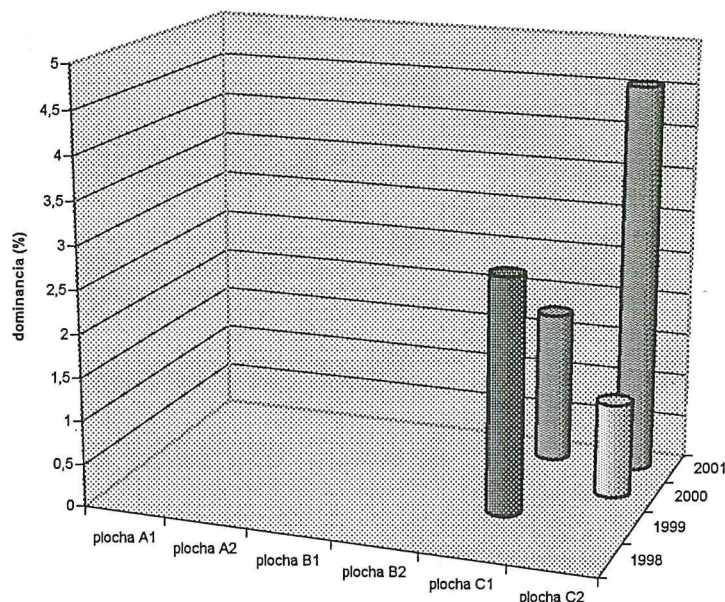
Tento holopalearktický druh (HARZ, 1957) je bohato rozšírený na väčšej časti európskeho kontinentu od južného Švédska po mediteránnu oblasť (BELLMANN, 1988). DOBŠÍK (1959) ho na Slovensku považuje za hojný druh viazaný na piesčité lokality. Na viatych pieskoch južného Slovenska ho zaznamenal aj MAJZLAN et al. (2000), ktorý ho prezentuje ako výrazne xerotermofilného koníka. SCHNEEBERG (1931) ho dokonca uvádza ako jeden z našich najhojnejších a najrozšírenejších rovnokrídlovcov. GAVLAS (1999) vyzdvihuje jeho stenoeknosť a viazanosť na suché extenzívne využívané a opustené pasienky s výskytom nízkej vegetácie a miest s obnaženým skalnatým substrátom. MAŘAN (1954) ho spomína ako bežný druh teplých lesostepných formácií južného Slovenska. MAJZLAN (1992) ho v Podunajsku označil za xerotermofilného pratikola. FEDOR (2000) ho tu zaznamenal v lúčnych spoločenstvách zväzu Dauco – Melilotion pri Istragove.

Na sledovanom území bol zaznamenaný na plochách C1, C2, kde patril k recedentným až sudominantným zástupcom rovnokrídleho hmyzu. Zdá sa, že je citlivý na mieru antropogénnej disturbancie a preferuje lokality ekologicky stabilnejšie s čo najnižším stupňom manažmentu, resp. pravidelnej kosby. Je súčasťou orthopterocenóz s bohatým druhovým spektrom rovnokrídleho hmyzu a s vyššími hodnotami ekvitability. Na študijných plochách sa veľmi často vyskytuje spolu s *Oecanthus pellucens* a *Psophus stridulus*.

Schopnosť bioindikácie: Indikuje výrazne xerothermné lokality s často obnaženým povrchom a riedkou vegetáciou, len v malej miere zatažené obhospodarováním. Je súčasťou pomerne vyrovnaných orthopterocenóz s vysokou diverzitou rovnokrídleho hmyzu. Jeho šírenie do nových lokalít (preukázané zvyšovaním hodnôt konštantnosti v priebehu rokov) môže byť znakom postupujúcej aridizácie (obrázok 2).

Obrázok 2 Dominancia *Oedipoda caerulescens* na sledovanom území v rokoch 1998 – 2001

Figure 2 Dominance of *Oedipoda caerulescens* on the study area in 1998 – 2001



Psophus stridulus (LINNAEUS, 1758)

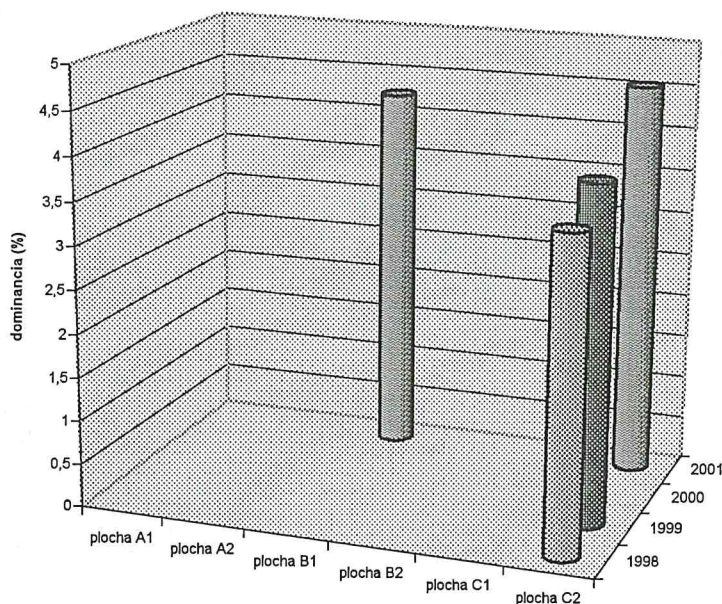
Eurosibírsky druh (BAZYLUK, 1971) s bohatým rozšírením v Európe od južných častí Škandinávie po mediteránnu oblasť (BELLMANN, 1988). SCHNEEBERG (1931) ho v 1. polovici 20. storočia označil za najznámejšieho a najhojnejšieho konika na Slovensku až do nadmorskej výšky 1555 m n. m.. GAVLAS (1999) ho v Strážovských vrchoch považuje za xerofilný, čiastočne mezofilný stenotermný druh žijúci na nízkej vegetácii zarastajúcich suchších pasienkov a lesných svetlín. MAJZLAN et al. (2000) ho dokonca pozorovali ako súčasť psamofilnej fauny na viatych pieskoch južného Slovenska. ŠUŠLÍK (1996 a) dopĺňa aj suché podhorské a horské lúky a pasienky. MAJZLAN (1992) ho z Podunajska uvádza ako xerotermofilného pratikola. FEDOR (2000) ho tu zaznamenal v lúčnych spoločenstvách zväzu Dauco – Melilotion pri Istragove.

Na sledovanom území sa vyskytoval na plochách C2 a B1 ako subdominantný druh. Analýza hlavných komponentov ho sústredila k plochám C1 a C2, ktoré sú charakteristické nízkym stupňom antropogénneho impaktu. Zdá sa však, že nie ekologická stabilita a stresové faktory sú hlavným determinantom jeho výskytu. Preto sa objavil aj na hrádzi prívodného kanála Vodného diela Gabčíkovo, ktorá je pod intenzívnym vplyvom manažmentu. Druh je súčasťou orthopterocenóz s rôznou mierou ekvitability a diverzity. V spoločenstvách rovnokrídleho hmyzu sa často vyskytuje spolu s koníkom *Euchorthippus declivus* ale aj *Oedipoda caerulescens*.

Schopnosť bioindikácie: Je ukazovateľom suchých a teplých biotopov s hustým trávny porastom bez ohľadu na mieru antropogénnej disturbancie. Dokáže tolerovať pravidelnú kosbu. Jeho šírenie do nových lokalít (preukázané zvyšovaním hodnôt konštantnosti v priebehu rokov) môže byť znakom postupujúcej aridizácie (obrázok 3).

Obrázok 3 Dominancia *Psophus stridulus* na sledovanom území v rokoch 1998 – 2001

Figure 3 Dominance of *Psophus stridulus* on the study area in 1998 – 2001



Euchorthippus declivus (BRISOUT DE BRANVILLE, 1849)

Na európskom kontinente rozšírený predovšetkým na juhu, čiastočne na západe, východe a v centrálnej časti (HARZ, 1975). Okrem Európy žije aj v západnej Ázii (HARZ, 1957) DOBŠÍK (1959) ho na Slovensku prezentuje ako pomerne vzácny druh stepných biotopov. HARZ (1975) poukazuje na jeho výraznú xerotermofilnosť. V xerotermných formáciach Devínskej Kobyly ho zaznamenali HOLUŠA a VIDLIČKA (1997). Ako významný xerotermofilný druh rovnokrídleho hmyzu viacerých lokalít v slovenskej časti Podunajska ho uvádza FEDOR (2000). Tu bol v 50. rokoch 20. storočia pozorovaný aj ČEJCHANOM (1957).

V rámci sledovaného územia bol zaznamenaný ako akcesorický až konštantný druh vyskytujúci sa na výrazne i menej suchých plochách maximálne ako eudominantný koník. Analýza hlavných komponentov ho situovala na rozhranie plôch A1 – B1 a C1 – C2, teda na hrádzu prírodného kanála Vodného diela Gabčíkovo ako i študijné plochy v Čičove. Keďže z hľadiska miery antropogénneho impaktu a stupňa ekologickej stability ide o plochy často výrazne rozdielne, zdá sa, že tento druh má pomerne širokú ekologickú valenciu a toleranciu k stresovým faktorom, napr. k pravidelnej kosbe. Aj spoločenstvá rovnokrídleho hmyzu, ktorých súčasťou sa stáva, sú v rôznej miere vyrovnané. Na druhej strane však rozbor spoločenstva zvyrazňuje preferenciu teplých a suchých biotopov, často až relatívne extrémne vysušených (hrádza prírodného kanála). V orthopterocenózach obyčajne vystupuje spolu s *Metrioptera roeseli*, *Psophus stridulus* a *Chorthippus dichrous*.

Schopnosť bioindikácie: Indikuje suché až výrazne suché stanovištia, dostatočne prehrievané, často len s riedkym vegetačným pokryvom a bez náletových drevín. Je súčasťou orthopterocenóz s rôznou mierou ekvitability a druhovej diverzity na plochách s rôznym stupňom antropogénneho impaktu.

Oblasť Podunajska bohatá na lužné lesy a s nimi súvisiace vlhké biotopy bola charakteristická vysokými hodnotami dominancie niektorých hygrofilných druhov rovnokrídleho hmyzu. Aridizačné trendy majú však za následok znižovanie týchto hodnôt. K významným druhom rovnokrídleho hmyzu v Podunajske, ktorých absencia, prípadne neustále klesajúca dominancia môže poukazovať na prebiehajúce vysušovanie, patria napríklad:

Pholidoptera griseoptera (DE GEER, 1773)

Patrí k európskym druhom (HARZ, 1957). BELLMANN (1988) poukazuje na jeho rozsiahle rozšírenie v Európe od Laponska po Španielsko a Taliansko. DOBŠÍK (1954) píše o jeho hojnom výskyte na Slovensku. ŠUŠLÍK (1986) ho pozoroval na okraji lesov a na svetlinách tam, kde bola výška rastlinného porastu nad 20 cm. HOLUŠA (1995) poznamenáva, že tento druh nezaznamenal na nezarastených plochách, len v lokalitách s bohatým vegetačným porastom. GAVLAS (1999) poukazuje na jeho vysokú vlhkosťnú a teplotnú toleranciu, no podčiarkuje aj úzku viazanosť na stredne vysokú až vysokú vegetáciu okrajov lesov, lesných svetlín a rúbanísk. FEDOR (1999, 2000) ho dokonca uvádza ako eudominanta rovnokrídleho hmyzu v lužných lesoch Podunajska.

Na sledovanom území patril k akcesorickým druhom s výskytom na 2 študijných plochách (A2, C2) s hustým hygrofilným až mezofilným porastom a prítomnosťou početných náletových drevín. Na ploche A2 bol v rokoch 1998 a 2001 dokonca eudominantom. Analýza hlavných komponentov ho celkom prirodzene situovala medzi skupiny plôch A2 - B2 a C1 - C2, do spoločenstva rovnokrídleho hmyzu s vysokými hodnotami ekvitability. Na štrkových laviciach pozdĺž prírodného kanála Vodného diela Gabčíkovo (plocha A2) koreluje jeho výskyt s prezenciou *Chorthippus brunneus* a *Ch. pullus*, smerom ku štrkovej lavici v Čičove (plocha C2) patria k sprievodným druhom najmä *Leptophyes albivittata* a *Chorthippus dorsatus*.

Schopnosť bioindikácie: Indikuje biotopy štrkových lavíc s bohatým vegetačným porastom a častými náletovými drevinami. Žije na plochách s vysokou vlhkosťou. Je ukazovateľom spoločenstiev s vysokou hodnotou ekvitability a diverzity a plôch len v malej miere ovplyvnených antropogénnym impaktom, s vyšším stupňom ekologickej stability.

Omocestus viridulus (LINNAEUS, 1758)

LIANA (1973) ho charakterizuje ako eurosibírsky druh. Na európskom kontinente je rozšírený predovšetkým v západnej a severnej Európe po Škandinávii (BELLMANN, 1988). DOBŠÍK (1959) ho na Slovensku považuje za hojný druh lúčnych biotopov. Už v 1. polovici 20. storočia ho SCHNEEBERG (1931) prezentoval ako bežný druh najmä vyššie položených celkov v okolí Bratislavy. MAŘAN (1956) poukazuje na jeho širokú ekologickú valenciu, ale na druhej strane aj určitý stupeň psychrofilnosti. GAVLAS (1999) uvádza, že tento druh žije v Strážovských vrchoch na vlhších lúkach, opustených pasienkoch a úhoroch hlavne vo vyšších polohách. FEDOR a MAJZLAN (2000) ho prezentujú ako dominanta mokradných biotopov Vihorlatských vrchov. MAJZLAN (1992) ho z Podunajska uvádza ako hygrofilného litorikola. Tu ho ako hojný druh hygrofilnej vegetácie prezentuje aj FEDOR (2000).

Pomerne vzácné bol zaznamenaný aj na sledovanom území na ploche C2 v rokoch 1998 a 1999 ako recedentný druh. Zistený bol v blízkosti terénnej depresie, ktorá býva na jar čiastočne zaliata vodou, ale počas suchého leta schne a ostáva ako zamokrená zníženina. Sprievodným druhom mu je obyčajne *Conocephalus dorsalis*, spolu s ktorým sa zdržuje v hustej trávnej vegetácii. Je súčasťou výrazne vyrovnaných orthopterocenóz s pomerne bohatým druhovým spektrom rovnokrídleho hmyzu. Zaznamenaný bol na ploche, ktorá nie je vystavená pravidelnému manažmentu zo strany človeka, stresové faktory sú pomerne nízke a miera ekologickej stability vyššia. Vlhšie ekologické podmienky sú garantované aj tieňom početných náletových drevín, ktoré sú znakom intenzívnej sukcesie.

Schopnosť bioindikácie: Indikuje relatívne vyrovnané spoločenstvá rovnokrídleho hmyzu s bohatým druhovým spektrom na plochách s hustým porastom hygrofilnej vegetácie a s početnými náletovými drevinami, len v malej miere ovplyvnených antropogénnou disturbanciou, predovšetkým vo forme pravidelnej kosby.

Druhové spektrum rovnokrídleho hmyzu v Podunajske zahŕňa aj euryvalentné druhy, ktoré nie sú výrazne ovplyvňované prebiehajúcou aridizáciou. Na druhej strane však pozorujeme zvyšovanie ich dominance na úkor poklesu zastúpenie hygrofilných druhov. K typickým euryvalentným koníkom patrí nesporne aj:

Chorthippus biguttulus (LINNAEUS, 1758)

Palearktický druh (BAZYLUK, 1971) s hojným rozšírením v severnej a strednej Európe, od Škandinávie po Pyreneje a Alpy (BELLMANN, 1988). DOBŠÍK (1959) ho na Slovensku označil za jeden z najbežnejších druhov koníkov od nížin až po montánne pásmo, ale zvyraňuje jeho preferenciu suchších stanovišť. V západnej časti Liptova ho ŠUŠLÍK (1986) prezentuje ako dominantný druh v spoločenstve xerofytnej vegetácie, ale jeho výskyt potvrdil aj na mierne vlhkých a vlhkých lúkach s rastlinným porastom do výšky 20 cm. HOLUŠA (2000) ho v Moravskosliezskych Beskydách zaznamenal ako najhojnejší druh na celom sledovanom území. GAVLAS (1999) ho v Strážovských vrchoch označil za hojný druh bez užšie vyhranených ekologických nárokov na vlhkosť a teplotu, ktorý obýva extenzívne aj intenzívne obhospodarované, prípadne neobhospodarované plochy s nízkou až stredne vysokou vegetáciou. FEDOR (1999) poukazuje na jeho širokú ekologickú valenciu vo vybraných biotopoch Podunajska. MAJZLAN (1992) ho z Podunajska uvádza ako veľmi hojného xerotermofilného pratikola. Okrem neho bol na sledovanom území, na hrádzi v Čičove, zaznamenaný PAGÁČOVOU (1985), KUBJATKOVOU (1985) a ako hojný druh Podunajska FEDOROM (1999, 2000).

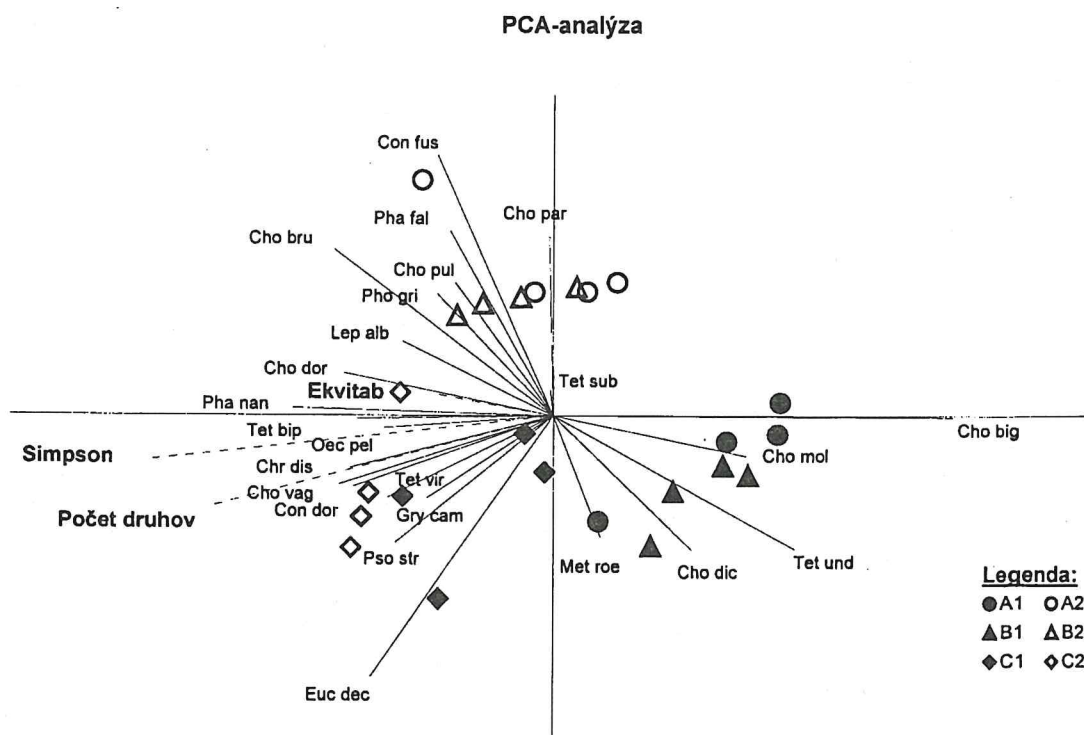
Na sledovanom území predstavoval najpočetnejší druh získaného orthopterologického materiálu, eudominantný na všetkých študijných plochách počas celého obdobia výskumu rokov 1998 – 2001. Analýza hlavných komponentov ho prisúdila orthopterocenóze na plochách A1, B1, teda na hrádzi prírodného kanála Vodného diela Gabčíkovo, ktorá je pod intenzívnym vplyvom antropogénneho impaktu a s nízkym stupňom ekologickej stability. Zdá sa, že jeho výskyt, resp. najvyššia dominancia, je viazaná na spoločenstvá s najnižšou ekvitabilitou a skromným druhovým spektrom rovnokrídleho hmyzu. Jeho sprievodnými druhmi sú predovšetkým *Chorthippus mollis* a *Chorthippus dichrous*. Na ostatných plochách sledovaného územia klesajú hodnoty jeho dominance v orthopterocenóze.

Schopnosť bioindikácie: Vysoká hodnota jeho dominancie svedčí o pomerne nevyrovnaných spoločenstvách rovnokrídleho hmyzu s nízkou diverzitou druhov. Často toleruje plochy pod výrazným vplyvom stresových faktorov a s malou mierou ekologickej stability, s pravidelnou kosbou redšieho vegetačného porastu bez náletových drevín a s markantne vysokými teplotami počas leta.

Spoločenstvo ako zložitý systém prvkov a vzájomných interakcií dokáže na základe niektorých svojich atribútov veľmi presne odrážať stav a dynamiku zmien v ekosystéme, hľadať ich pôvod a príčiny. Analýza hlavných komponentov (obrázok 1) odhalila vzájomné interakcie medzi jednotlivými druhmi rovnokrídleho hmyzu a definovala orthopterocenózu, ktorú môžeme označiť za bioindikátora aridizačných trendov v Podunajsku. Ide o orthopterocenózu typu *communitas speciei Chorthippus biguttulus*. Indikačným druhom spoločenstva je *Chorthippus biguttulus* s vysokou hodnotou dominancie (nad 50 %). Práve toto vysoké zastúpenie druhu v orthopterocenóze na úkor ostatných rovnokrídlovcov je dôvodom pomerne nízkej hodnoty ekvitability (dokonca 0,49 na ploche A1 v roku 1999) a druhovej diverzity (v prípade študijných plôch A1, B1 maximálne 7 druhov). Okrem *Chorthippus biguttulus* patria k sprievodným druhom spoločenstva aj *Metrioptera roeseli*, *Chorthippus mollis* a *Ch. dichrous*. V prípade hrádze prívodného kanála Vodného diela Gabčíkovo sa pridružuje aj paradoxne hygrolilný druh *Tetrix undulata*, ktorého výskyt je však podmienený blízkou vodnou plochou, na pobreží ktorej sa bežne vyskytuje.

Orthopterocenóza typu *communitas speciei Chorthippus biguttulus* indikuje výrazne xerothermné plochy na hrádzi prívodného kanála Vodného diela Gabčíkovo (plochy A1, B1) s riedkym vegetačným porastom tráv, ktorý je pravidelne kosený. V letnom období tu môžu pôsobiť až relatívne extrémne suché ekologické podmienky. Plochy sú pod intenzívnym vplyvom antropogénnej záťaže. V rámci sledovaného územia môže poukazovať na intenzívny stupeň aridizácie.

Obrázok 4 Analýza hlavných komponentov spoločenstiev rovnokrídleho hmyzu na sledovanom území v rokoch 1998 – 2001
Figure 4 PCA analysis of the orthopterous insect communities on the study area in 1998 – 2001



*Con dor - *Conocephalus dorsalis*, Con fus - *Conocephalus fuscus*, Euc dec - *Euchorthippus declivus*, Gry cam - *Gryllus campestris*, Cho alb - *Chorthippus albomarginatus*, Cho apr - *Chorthippus apricarius*, Cho big - *Chorthippus biguttulus*, Cho bru - *Chorthippus brunneus*, Cho dic - *Chorthippus dichrous*, Cho dor - *Chorthippus dorsatus*, Cho mol - *Chorthippus mollis*, Cho par - *Chorthippus parallelus*, Cho pul - *Chorthippus pullus*, Cho vag - *Chorthippus vagans*, Chr dis - *Chrysocraon dispar*, Lep alb - *Leptophyes albivittata*, Met roe - *Metrioptera roeseli*, Oec pel - *Oecanthus pellucens*, Oed cae - *Oedipoda caerulescens*, Omo hae - *Omocestus haemorrhoidalis*, Omo ruf - *Omocestus rufipes*, Omo vir - *Omocestus viridulus*, Pha fal - *Phaneroptera falcata*, Pha nan - *Phaneroptera nana*, Pho gri - *Pholidoptera griseoptera*, Pla alb - *Platycleis albopunctata*, Pso str - *Psophus stridulus*, Rus nit - *Ruspolia nitidula*, Ste lin - *Stenobothrus lineatus*, Tet bip - *Tetrix bipunctata*, Tet sub - *Tetrix subulata*, Tet und - *Tetrix undulata*, Tet vir - *Tettigonia viridissima*
Ekvitab – ekvitabilita, Simpson – Simpsonov index diverzity

Ako ukazuje tento prehľad, rovnokrídly hmyz, či už na úrovni druhu alebo spoločenstva, disponuje pomerne významným bioindikačným potenciálom, schopným zachytiť stav a dynamiku zmien v krajine. V tomto zmysle je však nutné zvýrazniť, že ekosystém ako zložitá sústava prvkov a ich vzájomných interakcií, nadobúda vo svojej existencii bohatú spleť zložitých charakteristík, preto by sa bioindikácia na základe rovnokrídleho hmyzu, ale aj ktorejkoľvek inej skupiny, mala viesť v rovine komplexného posudzovania s dlhodobými víziami a generalizovanejšími závermi.

Globálne klimatické trendy, prejavujúce sa najmä ako oteplenie, sprevádzané vyšším stupňom evapotranspirácie a tým následne aj rastom aridizácie, vplyvajú spolu s lokálnymi fenoménmi na dlhodobý sukcesný vývoj v Podunajsku. Jedným s prejavom tohto pôsobenia je postupná zmena druhovej kompozície rastlinných i živočíšnych spoločenstiev. Vysušovanie má za následok ústup hygrolilných taxónov, ktoré boli pôvodne viazané na vlhké ekologické podmienky lužných lesov. Vysoký stav hladiny podzemnej vody, ale i pravidelné záplavy boli determinantom pre vlhkomilnú vegetáciu, na ktorú naväzovalo hygrolilné živočíšstvo. Zo spoločenstva rovnokrídleho hmyzu patrili k dominantom zástupcovia čeľade *Tetrigidae* a *Tridactylidae*, ktoré sa pri súčasnej aridizácii primkyňajú bližšie k vodným plochám a stávajú sa tak súčasťou ripikolných zoocenóz. Trend globálneho oteplenia a s ním spojeného vysušovania však napreduje relatívne pomaly na to, aby boli následné zmeny viditeľné už v krátkom časovom období. Výstavbou Dunajského vodného diela sa však niektoré efekty aridizácie významne urýchlili. Ide predovšetkým o biotop hrádze prírodného kanála, ktorý je umelo izolovaný od podzemnej vody a neovplyvnený novým systémom záplavového režimu. Preto v týchto miestach nadobúda vysušovanie takmer až podobu dezertifikácie, kde hygrolilné druhy úplne absentujú. Prítomné sú len xerotermofily a taxóny s pomerne širokou ekologickou valenciou, schopné tolerovať extrémne teplo a sucho.

Vymieranie alebo ústup hygrolilných a naopak nástup xerotermofilných druhov bol pozorovaný v Podunajsku viacerými autormi. ORSZÁGH a ORSZÁGHOVÁ (1995) nezaznamenali výskyt niektorých hygrolilných taxónov *Chilopoda*, ktoré sú spoľahlivými indikátormi vysokého stupňa pôdnej vlhkosti. Ich absencia alebo znižovanie abundancie môže indikovať proces vysušovania. MAJZLAN (1995) podobne potvrdil výskyt suchomilných chrobákov čeľade *Curculionidae*. Teda i keď Dunajské vodné dielo malo za následok vzostup hladiny podzemnej vody vo väčšine územia Podunajska (BANSKÝ a MAŽARIOVÁ, 1995), v niektorých biotopoch, predovšetkým na ostrovnom území medzi hrádzou prírodného kanála a pôvodným tokom Dunaja hladina podzemnej vody klesla. Práve tu je sukcesia smerom ku klimaxu lužného lesa brzdená novými hydrologickými a mikroklimatickými faktormi. Pôvodne dominantná lesná kobylka *Pholidoptera griseopatera* sa vytratila zo spoločenstva rovnokrídleho hmyzu a nahradená je suchomilnými taxónmi, najmä svrčkom *Oecanthus pellucens*, ktorý vyhľadáva zásadne suché a presvetlené biotopy. Nástup tohto druhu je pozorovaný predovšetkým na plochách odlesnených, so suchomilnými rastlinnými spoločenstvami, bez pravidelného manažmentu zo strany človeka (kosba).

Osídľovanie umelo vytvorených biotopov, ako hrádza prírodného kanála DVD rastlinnými a živočíšnymi druhmi, patrí k prvej etape sukcesnej série. Extrémne suché ekologické podmienky determinovali druhovú kompozíciu. V rámci orthopteroceenózy dominuje druh *Chorthippus biguttulus*. Spoločenstvo je markantne nevyrovnané, čo dokazuje existenciu iniciálnych štádií sukcesného vývoja. Vysušovanie v Podunajsku indikuje aj krátkodobé zvyšovanie biologickej rozmanitosti (ŠTEPANOVIČOVÁ, 1995), najmä s ohľadom na prechodnú etapu, kedy imigrujú nové, xerotermofilné taxóny a pôvodné hygrolilnejšie sa ešte udržiavajú v menších populáciách (FEDOR, 1999).

V neposlednom rade však treba zdôrazniť aj výsledky monitoringu JEDLIČKA et al. (1999), ktorý paralelne s aridizáciou v Podunajsku poukazuje aj na fázu stabilizácie štruktúry zoocenóz s nárastom početnosti hygrolilných druhov. Dynamiku vývoja tu nespája len s pôsobením environmentálnych faktorov, ale aj so zložitými interakciami spoločenstiev v rámci rozmanitých ekosystémov vo vnútrozemskej delte.

Aridizáciu ako fenomén vysušovania v Podunajsku potvrdzujú aj výsledky tejto práce. Ostáva však otázku do akej miery sa na jej pôsobení podieľajú globálne faktory oteplenia a lokálny environmentálny impakt.

4. Závery

Práca prezentuje vybrané druhy rovnokrídleho hmyzu Podunajska, ktoré disponujú pomerne vysokým bioindikačným potenciálom schopným zachytiť stav i zmeny ekologických podmienok, dynamiku aj tendenciu vývoja krajinných štruktúr. Schopnosť bioindikácie je celkom prirodzene vyvinutá v rôznej, špecifickej miere. Pre identifikáciu aridizačných procesov môžu slúžiť niektoré xerotermofilné druhy, ako *Oecanthus pellucens*, *Oedipoda caerulea*, *Psophus stridulus*, *Euchorthippus declivus*. Naopak, prítomnosť hygrolilných rovnokrídlovcov ako *Pholidoptera griseoptera*, a *Omocestus viridulus*, poukazuje na menej výrazný vplyv aridizácie a pomerne zachované mokradné biotopy Podunajska.

Aridizácia, ktorej vplyv na krajinu Podunajska je vedecky podložený a dokázaný, prispieva v značnej miere k zmenám zloženia orthopteroceenóz. Biomonitoring spoločenstiev rovnokrídleho hmyzu poukazuje na ústup hygrolilných druhov, ktoré sú postupne nahrádzané xerotermofilnými taxónmi. Táto postupná výmena

druhov môže byť charakteristická dočasným obohatením druhového spektra. Zastúpenie euryvalentných druhov (*Chorthippus biguttulus*) je stále významné.

Spoločenstvo ako zložitý systém prvkov a vzájomných interakcií dokaže na základe niektorých svojich atribútov veľmi presne odrážať stav a dynamiku zmien v ekosystéme, hľadať ich pôvod a príčiny. Analýza hlavných komponentov odhalila vzájomné interakcie medzi jednotlivými druhmi rovnokrídleho hmyzu a definovala orthopterocenózu, ktorú môžeme označiť za bioindikátora aridizačných trendov v Podunajsku. Ide o orthopterocenózu typu *communitas speciei Chorthippus biguttulus*. Indikačným druhom spoločenstva je *Chorthippus biguttulus* s vysokou hodnotou dominancie (nad 50 %). Okrem *Chorthippus biguttulus* patria k sprievodným druhom spoločenstva aj *Metrioptera roeseli*, *Chorthippus mollis* a *Ch. dichrous*.

5. Literatúra

- BALOGH, J., 1958: Lebensgemeinschaften der Landtiere. Ihre Erforschung und besonderer Berücksichtigung der zoologischen Arbeitsmethoden. Akad. Verl. Berlin, 560 pp.
- BANSKÝ, L., MAŽÁRIOVÁ, K., 1995: Ground water regime changes in the area influenced by construction of Gabčíkovo hydropower structures. In: MUCHA, I., (ed.), Gabčíkovo part of the Hydroelectric power project, p. 43 - 56, Prírodovedecká fakulta UK Bratislava, 386 pp.
- BAZYLUK, W., 1971: Prostoskrzydło (*Orthoptera*) Bieszczadow Zachodnich wraz z opisem *Isophya posthumoidalis* n. sp.. *Fragm. Faun.*, 17: p. 127 - 159.
- BEGON, M., HARPER, J. J., TOWNSEND, C. R., 1997: Ekologie: jedinci, populace, spoločenstva. Vydavateľstvi Univerzity Palackého v Olomouci, 949 pp.
- BELLMANN, H., 1988: A Field Guide to the Grasshoppers and Crickets of Britain and Northern Europe. Collins, London, 213 pp.
- ČEJCHAN, A., 1957: Příspěvek k poznání rovnokřídleho hmyzu (*Orthoptera*) Slovenska. Čas. českoslov. Společ. ent., 54: p. 142 - 147.
- DOBŠÍK, B., 1954: Rovnokřídli a škvoři Kotouče a nejbližšího okolí Štramberka. Zvláštní otisk Přir. Sborn. Ostrav. Kraje, 15: p. 310 - 319.
- DOBŠÍK, B., 1959: Rád Rovnokřídli - *Orthoptera*. In: KRATOCHVÍL, J. (ed.), Klíč zvířeny ČSR. Díl III, p. 195 - 216, Praha, ČSAV, 874 pp.
- FEDOR, P. J., 1999: Rovnokřídly hmyz (*Caelifera*, *Ensifera*) mozaiky biotopov v okolí Dunajského vodného diela. *Folia faunistica Slovaca*, 4: p. 75 - 78.
- FEDOR, P. J., 2000: K biodiverzite rovnokřídlovcov (*Ensifera* a *Caelifera*) v okolí geo - technického systému Dunajského vodného diela. *Acta environmentalistica*, 10: p. 171 - 176.
- FEDOR, P. J., MAJZLAN, O., 2000: On the distribution of *Oecanthus pellucens* (SCOPOLI, 1763) in Slovakia. *Entomological problems*, 2: p. 186 - 186.
- FEDOR, P. J., MAJZLAN, O., 2001: Distribution and Infiltration of the Tree Cricket *Oecanthus pellucens* (SCOPOLI, 1763) to Unoriginal Conditions in Slovakia. *Bull. Soc. Nat. Luxemb.*, 102: p. 103 - 108.
- GAVLAS, V., 1999 b: K poznání fauny rovnokřídlovcov (*Ensifera*, *Gryllodea*, *Caelifera*) a modliviek južnej časti Strážovských vrchov. *Folia Faunistica Slovaca*, 4: p. 55 - 63.
- HARZ, K., 1957: Die Geradflügler Mitteleuropas. Jena, VEB G. Fischer Verlag, 949 pp + 20 tab..
- HARZ, K., 1975: Die Orthopteren Europas - The Orthoptera of Europe. Vol. II. The Hague, Dr. W. Junk B. V., 939 pp.
- HELLER, K.-G., KORSUNOVSKAYA, O., RAGGE, D.R., VEDENINA, V., WILLEMSE, F., ZHANTIEV, R.D., FRANTSEWICH, L. (1998). Check-list of European Orthoptera. *Articulata, Beiheft*, 7: p. 1-61.
- HOLUŠA, J., 1995: *Orthoptera* náplavových šterkovišť řeky Ostravice a Morávky. *Klapalekiana*, 31: p. 91 - 99.
- HOLUŠA, J., 2000: K poznání sarančí (*Caelifera*) a kobylek (*Ensifera*) Moravskoslezských Beskyd. *Klapalekiana*, 36: p. 41 - 70.
- HOLUŠA, J., VIDLIČKA, L., 1997: *Orthoptera* in the Devínska Kobyla hill. *Entomofauna carp.*, 9: p. 54 - 59.
- JEDLIČKA, L., ORSZÁGH, I., ČEJKA, T., DAROLOVÁ, A., KULFAN, M., MIKULÍČEK, M., ŠUSTEK, Z., ŽIAK, D., 1999: Terrestrial fauna. In: MUCHA, I. (ed.), Gabčíkovo part of the hydroelectric power project environmental impact review, p. 323 - 382, Ground water Consulting, Ltd., Bratislava, 1999, 402 pp.
- KUBJATKOVÁ, Z., 1985: Hmyz ako indikátor znečistenia mestského prostredia vplyvom automobilovej dopravy. Diplomová práca. Prírodovedecká fakulta UK, Bratislava, 89 pp.
- LAPIN, M., 1995: Climatological monitoring of territory affected by construction of the Danube Hydroelectric Power project and Evaluation of initial impact. In: MUCHA, I., (ed.), Gabčíkovo part of the Hydroelectric power project, p. 15 - 20, Prírodovedecká fakulta UK, Bratislava, 386 pp.
- LUKNIŠ, M., MAŽÚR, E., 1959: Geomorfologické regióny Žitného ostrova. *Geografický časopis*, 3: p. 161 - 195.
- MAJZLAN et al., 2000 a: MAJZLAN, O., RYCHLÍK, I., FEDOR, P. J.: Chrobáky (*Coleoptera*), kobylky (*Ensifera*), koníky (*Caelifera*) na viatych pieskoch lokality Aba pri Hurbanove, Liščie diery pri Nesvadoch a Balvany pri Kameničnej (južné Slovensko). *Rosalia*, Nitra, 15: p. 155 - 174.
- MAJZLAN, O., 1992: Význam niektorých skupín hmyzu pre monitoring Podunajska. *Spr. Slov. ent. Spoloč. SAV*, 4 (3): p. 1 - 9.
- MAJZLAN, O., 1995: The changes of weevil taxocoenoses (*Coeloptera*, *Curculionidae*) in forest soil of the association Salici - Populetum in the Danube river floodplain. In: MUCHA, I., (ed.), Gabčíkovo part of the Hydroelectric power project, p. 275 - 282, Prírodovedecká fakulta UK Bratislava, 386 pp.
- MAŘAN, J., 1954 b: Rovnokřídly hmyz státních přírodních rezervací v okolí Štúrova na jižním Slovensku. *Ochrana přírody*, 9: p. 132 - 139.

- MAŘAN, J., 1956: Nástin entomogeografických poměru Československa. Acta faun. ent. Mus. nat. Pragae, 1: p. 3 - 25.
- MEJSTŘÍK, V., 1992: Principles of bioindication and biomonitoring - theoretical problems and practical applications. In: BOHÁČ, J., (ed.), Bioindicators deteriorisationis regionis. Proceedings of the sixth international conference, p. 11 - 23, Ústav krajinné ekologie ČSAV, České Budejovice, 402 pp.
- MUCHA, I. (ed.), 1995: Gabčíkovo Part of the Hydroelectric Power Project. Environmental Impact Review, Faculty of Natural Sciences, Comenius University, Bratislava, Slovakia, 386 pp.
- MUCHA, I. (ed.), 1999: Gabčíkovo Part of the Hydroelectric Power Project. Environmental Impact Review, Faculty of Natural Sciences, Comenius University, Bratislava, Slovakia, 402 pp.
- ORSZÁGH, I., ORSZÁGHOVÁ, Z., 1995: Taxocoenoses (Tracheata, Chilopoda) of the territory influenced by Hydroelectric power structures Gabčíkovo. In: MUCHA, I., (ed.), Gabčíkovo part of the Hydroelectric power project, p. 265 - 274, Prírodovedecká fakulta UK Bratislava, 386 pp.
- PAGÁČOVÁ, R., 1985: Hmyz ako bioindikátor znečistenia prírodného prostredia priemyselnými exhalátmi. Diplomová práca. Prírodovedecká fakulta UK, Bratislava, 96 pp.
- PIELOU, E. C., 1966: The measurement of diversity in different types of biological collections. Journal of Theoretical Ecology, 13: p. 131 - 144.
- SHANNON, C. E., WIENER, W., 1949: The mathematical theory of communication. Univ. Illinois Press, Urbana, 306 pp.
- SCHNEEBERG, A., 1931: Orthoptera okolí Bratislavy. Sbor. Prírodovedného odboru Slov. vlastiv. Muz. v Bratislave 1924 - 1931, p. 91 - 107.
- SIMPSON, E. H., 1949: Measurement of diversity. Nature, 163: p. 688.
- SVOBODOVÁ, A., LISICKÝ, M. J. (eds.), 1995: Výsledky a skúsenosti z monitorovania bioty územia ovplyvneného Vodným dielom Gabčíkovo. Ústav zoológie a ekosoziológie SAV Bratislava, 417 pp.
- ŠÁLY, R., BEDRNA, Z., ČURLÍK, J., FULAJTÁR, E., GREGOR, J., HANAS, J., JURÁNI, B., KUKLA, J., RAČKO, J., SOBOCKÁ, J., ŠURINA, B., 2000: Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska. Bazálna referenčná taxonómia. VÚPOP, Bratislava, 76 pp.
- ŠTEPANOVIČOVÁ, O., 1995: Heteroptera as a part of the floodplain forest epigeaen. In: MUCHA, I., (ed.), Gabčíkovo part of the Hydroelectric power project, p. 289 - 296, Prírodovedecká fakulta UK Bratislava, 386 pp.
- ŠUŠLÍK, V., 1986 a: Ekológia niektorých druhov rovnokridlovcov (Orthoptera) v západnej časti Liptova. Biol. Práce, 32 (3): p. 1 - 144.
- TER BRAAK, C. J. K., 1988: CANOCO - a FORTRAN program for canonical community ordination by (partia) (detrended) (canonical) correspondence analysis, principal components analysis and redundancy analysis (version 2.1) Agricultural Mathematics Group, Wageningen, 44 pp.

Orthopterous Insects (Ensifera et Caelifera) as an Indicator of the Aridization Trends in the Danube Region (Slovakia)

*Peter J. FEDOR, **Oto MAJZLAN

*Department of Ecosozology, Faculty of Natural Sciences, Comenius University
Mlynská dolina, 842 15, Bratislava, Slovakia

e-mail: fedor@fns.uniba.sk

**Institute of Experimental Phytopathology and Entomology, Slovak Academy of Sciences,
Nádražná 52, 900 28, Ivanka pri Dunaji, Slovakia

e-mail: uefeotom@savba.sk

The study presents the selected species of Orthopterous insects in the Danube region (Podunajsko), Slovakia, possessing a high degree of their bioindication potential, enabling to note stage and changes of ecological conditions, dynamics and trends in development of the landscape structures. Bioindication ability is obviously developed at various, specific degrees. Some xerothermophilous species such as *Oecanthus pellucens*, *Oedipoda caerulea*, *Psophus stridulus*, *Euchorthippus declivus* are seemed to be able to indicate aridization trends. On the contrary, presence of several hygrophilous Orthopterous insects, for example *Pholidoptera griseoaptera*, and *Omocentrus viridulus*, refer to a less significant influence of aridization and relatively untouched wetland biotopes of the Danube region.

Aridization, which influence onto the Danube region landscape has been already proved, markedly hints at the changes in the Orthopterous insect communities structure. Biomonitoring of the orthopterocoenoses emphasises a decrease in domination of hygrophilous species that are continuously replaced by xerothermophilous taxones. This gradual exchange of species can be typical by a temporal enrichment of a species spectrum. Euryvalent species (*Chorthippus biguttulus*) are still markedly represented.

A community as a complex system of its elements and their mutual interactions is able to reflect a stage and dynamics of changes in an ecosystem and to explain their origin and reasons. The PCA analysis hints at some mutual interactions among the Orthopterous insects and defines the orthopterocoenose considered as a bioindicator of aridization trends in the Danube region. It is named *communitas speciei Chorthippus biguttulus*. The indication species is *Chorthippus biguttulus* with a high value of its dominance (over 50 %). Apart from *Chorthippus biguttulus* *Metrioptera roeseli*, *Chorthippus mollis* and *Ch. dichrous* occur in this community as well.

TRENDY ATMOSFÉRICKÝCH ZRÁŽOK V HORSKÝCH OBLASTIACH SLOVENSKA

*Pavel Faško, Pavel Šťastný
Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava*

Úvod

Vážnym nedostatkom siete zrážkomerných staníc na Slovensku je jej malá hustota v horských oblastiach. Tento deficit aspoň čiastočne eliminujú totalizátory. Pri pohľade do histórie si musíme pripomenúť predovšetkým neľahkú úlohu a zásluhy zakladateľov siete totalizátorov u nás. Na Slovensku sa využívajú totalizátory od roku 1942. Výsledky meraní sú zachované od roku 1947. Priekopníkom v ich hodnotení bol Š. Petrovič, ktorý publikoval prvé informácie o meraní zrážok totalizátormi na Slovensku. V prvej etape boli totalizátory inštalované často v hrebeňových polohách. Tomu bol podriadený aj názov tohto príspevku v Meteorologických zprávach, č.1-2, z roku 1950 – Výskum zrážkových pomerov totalizátormi na hrebeňoch slovenských hôr. Podobne koncipovaný bol aj príspevok H. Vlčka na II. celoštátnej meteorologickej konferencii v roku 1953 v Bratislave pod názvom Zhodnotenie merania zrážok pomocou totalizátorov na vysokých horách. Skúsenosti z prvej dekády existujúcich meraní zrážok totalizátormi opäť prezentoval Š. Petrovič v príspevku s názvom Výsledky desaťročných meraní zrážok pomocou totalizátorov na slovenských horách. Ešte komplexnejšie výsledky tohto nového prístupu merania zrážok publikoval tento popredný slovenský klimatológ v Meteorologických zprávach, č.6, z roku 1973, pod názvom Priemerné úhrny zrážok podľa totalizátorov za obdobie 1961 - 70 a 1951 - 70 na Slovensku [8]. Hodnotenie 35-ročného merania zrážok totalizátormi na Slovensku bolo obsahom príspevku Meranie atmosférických zrážok pomocou totalizátorov na území Slovenska za obdobie 1951-1985, autorov P. Faška a M. Lapina v Meteorologických zprávach, č.5, z roku 1988 [2]. Regionálnu platnosť malo hodnotenie merania zrážok totalizátormi v Tatrách autorov P. Faško, Š. Handžák, P. Šťastný v príspevku Fifty years of atmospheric precipitation measurements in the Tatras, na medzinárodnej konferencii venovanej 150 výročiu meteorologickej služby v strednej Európe, v Starej Lesnej v októbri v roku 2001 [3].

Metodika merania zrážok totalizátormi

Totalizátory sú schopné zachytiť množstvo vody, ktoré predstavuje asi 5000 mm zrážok. Z toho vyplýva, že meranie nemusí byť časté. V našich podmienkach sa ukázalo, že je vhodné uskutočňovať meranie dvakrát za rok. Najdôležitejšou časťou totalizátora je záchytná plocha s veľkosťou 250 cm², cez ktorú padajú zrážky do zbernej nádoby. K okraju záchytnej plochy pevne prilieha dutý zrezaný kužeľ, zakrývajúci aj hornú časť zbernej nádoby. K totalizátoru je pevne pripojená mohutná kruhová Nipherova protiveterná ochrana s horným okrajom na úrovni záchytnej plochy s priemerom asi 0,95 m. Všetky uvedené časti totalizátora sú zhotovené z masívneho nehrdzavejúceho plechu. Totalizátor je pevne postavený na troch nohách, pričom je záchytná plocha vo výške 2 až 4 m nad terénom v závislosti od miestnych snehových pomerov. Metodika merania je jednoduchá. Zameranie hladiny vody v totalizátore sa správne vykonáva ako priemer z meraní v troch bodoch na obvode okraja záchytnej plochy s odstupom po 120°. Na suchej odmernej tyčke je možné s presnosťou na 1 mm odčítať výšku, po ktorú bola ponorená do vody s vrstvou oleja. Jednému milimetru výšky tekutiny v zbernej nádobe zodpovedá 8 mm spadnutých zrážok. Výparu vody zo zbernej nádoby zabráňuje tenká vrstva oleja na jej hladine. Na zimu sa totalizátory plnia roztokom chloridu vápenatého, v období 1981 až 2000 prechodne fridexom, aby ich obsah nezamrzal. Vážnou systematickou chybou merania zrážok pomocou totalizátora je nedostatočné eliminovanie vplyvu aerodynamického efektu na padajúce zrážky. Nipherova protiveterná ochrana dostatočne eliminuje uvedenú systematickú chybu pri nízkych rýchlostiach vetra. Z tohto dôvodu je veľmi dôležitá lokalizácia totalizátora do menej vetranej polohy. V tejto súvislosti sa vynára aj ďalší problém, ktorým je navievanie snehu. Možný je aj negatívny vplyv námrazy, ktorá by za určitých okolností mohla deformovať podstavec totalizátora a tým porušiť horizontálnosť záchytnej plochy, alebo aj upchať jej otvor. Rušivým vplyvom sú aj občasné zásahy totalizátora padajúcimi lavínami a niekedy aj zlomyseľnosť ľudí.

Totalizátory predstavujú aj v súčasnosti u nás jediný dostupný a lacný prostriedok na meranie zrážok v oblastiach veľmi vzdialených od trvalého osídlenia. Automatické meteorologické stanice v týchto ťažko prístupných a nebezpečených oblastiach ešte v našich podmienkach neboli inštalované. Relatívne jednoduché udržiavanie siete totalizátorov dáva predpoklady pre jej zachovanie, prípadne ďalší rozvoj v horských oblastiach.

História meraní zrážok totalizátormi

Prvé totalizátory boli vo vysokých horských polohách na Slovensku inštalované už na začiatku 40. rokov minulého storočia. Výsledky potvrdili vtedajšie očakávania, že poznatky o zrážkových pomeroch horských oblastí Slovenska neboli v tom čase dostatočné. Vojnové udalosti však tieto prvé totalizátory

na Slovensku poškodili a zničili sa aj výsledky merania zrážok. V roku 1947 bolo opäť na Slovensku v prevádzke 6 totalizátorov, z toho 3 vo Vysokých Tatrách. V roku 1951 bolo rozmiestnených na Slovensku už takmer 30 totalizátorov, vo Vysokých Tatrách to bolo až 11 a v Západných Tatrách ešte ďalšie 4. Len časť výsledkov merania sa však dala využiť. Niektoré totalizátory boli nereprezentatívne umiestnené, často v hrebeňových polohách, čo spôsobilo, že výsledky merania zrážok boli prevažne podhodnotené. Tieto totalizátory boli v priebehu 50-tych rokov premiestnené do vhodnejších polôh, alebo bolo meranie zrážok týmto spôsobom v niektorých exponovaných lokalitách ukončené. Vo Vysokých Tatrách to bolo v lokalitách Skalná Pleso, Veľká Svišťovka, Malá Svišťovka a Priehyba pod Kriváňom, v Belianskych Tatrách v lokalite Ždiarska vidla a v Západných Tatrách v lokalite Tomanovské sedlo, Veľký vrch, Ostrý Roháč, Sivý vrch a Oravice. Na ostatnom území Slovenska zaniklo meranie zrážok totalizátormi na vrchu Zvolen nad Donovalmi, v Černochove v západnej časti Slovenského rudohoria, pod Ploskou vo Veľkej Fatre a v lokalite Ihla v Levočských vrchoch. Nezanedbateľné boli aj dôsledky vandalizmu. Preto počet existujúcich dlhých časových radov zrážok meraných v Tatrách pomocou totalizátorov je relatívne skromný. Od roku 1951 je k dispozícii 5 dlhých časových radov údajov, od roku 1961 je to 8 časových radov a od roku 1971 je to 11 časových radov. Od polovice 70. rokov sú využiteľné aj výsledky merania zrážok totalizátorom v Jamnickej doline a ďalších 8 totalizátorov pribudlo do siete tatranských totalizátorov v priebehu druhej polovice 80. a začiatku 90. rokov. V tomto čase nahradil totalizátor aj meranie zrážok klasickým zrážkomerom na Hrebienku. Na konci 90. rokov boli inštalované nové totalizátory aj vo Velickej doline, v Červenej doline nad chatou pri Zelenom plese, v Širokom sedle v Belianskych Tatrách a jeden totalizátor bol inštalovaný aj v Ľubovnianskej vrchovine. Ani na ostatnom území Slovenska nie je situácia lepšia. Od roku 1951 sú na území Slovenska okrem Tatier k dispozícii len 3 dlhé časové rady zrážok získané meraním pomocou totalizátorov, od roku 1961 je to 11 radov, v 6. dekáde 20. storočia pribudol len jeden dlhý časový rad. V priebehu 70. rokov sa začalo alebo obnovilo meranie zrážok totalizátormi v oblasti Choča a Kráľovej hole. V druhej polovici 80. rokov a na začiatku 90. rokov sa začalo využívať na meranie zrážok v ťažko prístupných lokalitách ďalších 5 totalizátorov, v oblasti severnej Oravy, Veľkej Fatry a Vihorlatu. (tab. 1).

Hodnotenie ročných a sezónnych súm zrážok meraných totalizátormi

Z analýzy dlhých časových radov ročných úhrnov zrážok, ďalej zrážok za obdobie od júna do septembra a ich podielu na ročných úhrnoch zrážok vyplýva, že najzreteľnejší bol úbytok zrážok počas mesiacov jún až september, a to predovšetkým za posledné 3 desaťročia. Tieto tendencie sú ako na južnej, tak aj na severnej strane Tatier približne rovnaké. Podiel týchto kvázi letných zrážok na ročných úhrnoch zrážok klesol ešte nápadnejšie (obr.1). Na vyjadrenie tendencií v dlhých časových radoch zrážok, približne od konca 40. a začiatku 50. rokov minulého storočia, sa ukázal ako najvhodnejší kvadratický trend. V tomto prípade existuje rozdiel aj medzi južnými a severnými svahmi Tatier. V dolinách na severe Tatier je podiel kvázi letných zrážok vyšší ako v dolinách na južnej strane Tatier. V prvom prípade prevažuje 40 až 60 % a v druhom prípade 30 až 50 % podiel (tab. 2,3). Vývoj ročných úhrnov zrážok meraných totalizátormi v priebehu obdobia od záveru 40. rokov 20. storočia až do konca tohto storočia bol najvyvázenejší. Táto charakteristika zrážok tiež vykazovala prevažne pokles, ale tento bol len veľmi nenápadný. Z bilancie predchádzajúcich konštatovaní potom vyplýva, že v priebehu študovaného obdobia rástol podiel zimných zrážok a zrážok prechodných ročných období na celkovom ročnom úhrne zrážok meraných totalizátormi v Tatrách. Tieto výsledky podporujú aj údaje o charakteristikách snehovej pokrývky v období 1961 - 1990, ktorých hodnoty mali vo vyšších polohách severného Slovenska vzostupnú tendenciu, v porovnaní s predchádzajúcim 30 ročným normálovým obdobím. Tendencie, ktoré sa prejavili v dlhých časových radoch zrážok meraných totalizátormi v Tatrách, sa v zvrátnenej forme objavili aj v dlhých časových radoch zrážok získaných z meraní totalizátormi na ostatnom území Slovenska. Najmenej nápadné boli v oblasti Malej Fatry na severnom Slovensku a najnápadnejšie boli v rade údajov z totalizátora Suchá hora, ktorý je najjužnejšie situovaný na Slovensku.

Na niektorých meteorologických stanicach v rôznych polohách na Slovensku boli merané zrážky súčasne oboma metódami, klasickým zrážkomerom a totalizátorom. Jednou z nich je Bratislava – Koliba, kde je k dispozícii nekompletný 30-ročný rad ročných úhrnov, meraný totalizátorom. Priemerný rozdiel medzi ročnými sumami zrážok meraných oboma metódami je 95 mm v prospech klasického zrážkomera, pričom v intervale 80 až 130 mm bola polovica hodnôt rozdielov. Dvadsaťročné súbežné merania na Lomnickom štíte neboli použiteľné. V prvom desaťročí boli rozdiely v rozmedzí zhruba 0 až – 300 mm, v druhom 0 až 500 mm. Táto exponovaná poloha nie je vhodná na porovnávacie merania. Ak by sme brali do úvahy výsledky z Koliby, ktorá reprezentuje veternejšie polohy, mohli by sme výsledky z tejto lokality zovšeobecniť pre väčšinu totalizátorov na Slovensku.

Rovnaké charakteristiky zrážok hodnotené z meraní v sieti meteorologických staníc so štandardnými zrážkomermi v oblasti Tatier mali v druhej polovici 20. storočia veľmi podobný vývoj, aký bol popísaný z výsledkov merania zrážok totalizátormi. Oproti charakteristikám zrážok získaným z merania totalizátormi boli pri charakteristikách zrážok získaných z meraní štandardnými zrážkomermi väčšie rozdiely medzi meteorologickými stanicami situovanými na severnej a južnej strane Tatier. Na severnej strane Tatier bol pri

ročných úhrnoch zrážok zaznamenaný v priebehu posledných 50 rokov jednoznačný vzostup. V regiónoch mimo oblasti Tatier mali trendy v dlhých časových radoch zrážok meraných klasickými zrážkomermi a totalizátormi ešte väčší súlad. Príčinu treba hľadať v príbuznosti prírodných podmienok, v ktorých sú tieto zariadenia umiestnené. Systematická odchýlka, spočívajúca v rôzne veľkej chybe merania zrážok medzi štandardnými zrážkomermi a totalizátormi, by sa v trendoch dlhých časových radov zrážok nemala prejaviť (obr.2, tab. 4, 5).

Rozloženia prvkov v súbore zvlášť pre rady ročných a „letných“ (obdobie jún – september) úhrnov zrážok boli hodnotené ako pre zrážky merané totalizátormi, tak aj zrážkomermi pre oblasť Vysokých Tatier a prilahlé územie. Ukázalo sa, že charakteristiky špicatosti a asymetrie sú podobné. Charakteristiky rozptylu pre ročné hodnoty sa na základe hodnotenia variačného koeficientu zhodovali pre rôzne spôsoby merania a jeho hodnota bola v rozmedzí 13 až 20%. Pre obdobie jún - september variačný koeficient z radov zrážkomerných staníc vykazoval 20 až 22%, z radov zostavených z meraní totalizátorov boli hodnoty vyššie (22 až 35%). Je to možné vysvetliť aj tým, že merania totalizátormi nie sú vykonávané v stabilných termínoch, a táto skutočnosť rozptyl nameraných hodnôt zvyšuje.

Podľa charakteristík rozptylu, najrozkošnejšie sú rady s najvyššími priemernými hodnotami (hodnota variačného koeficienta pre Zbojnícku chatu je 22,5%, no pre Zelené pleso len 13,7%). Rozloženie prvkov v súboroch je zväčša s ľavou asymetriou. Čo s týka špicatosti, najviac koncentrované hodnoty okolo priemeru majú lokality Starý Salaš a Javorinka, z mimotatranských Branisko. Lineárny trend je väčšinou záporný s hodnotami -2 až -8 mm/rok, no sú aj totalizátory s kladným trendom vývoja zrážok, z nich vynikajú lokality z hornej časti Veľkej studenej doliny s trendom presahujúcim 20 mm/rok. Obdobie 1951 – 2000 má podobné štatistické parametre ako kratšie štyridsaťročné obdobie. V nižších hodnotách trendov sa prejavujú nižšie úhmy zrážok, namerané v 50-tych rokoch.

Podľa očakávania, pri hľadaní závislosti zrážok od nadmorskej výšky, bola táto lepšia pre zrážky v období od júna do septembra v porovnaní s ročnými úhrmami zrážok, v ktorých sú obsiahnuté aj tuhé zrážky (obr. 3 a 4). Pri porovnávaní výsledkov merania zrážok totalizátormi situovanými na severnej a južnej strane Tatier, homogénnejšie pole údajov ročných aj kvázi letných zrážok predstavujú údaje z totalizátorov na severnej strane Tatier (obr. 5). Ako najvýstrednejšie v poli údajov zrážok na južnej strane Tatier, sa môžu označiť zrážky z totalizátorov v hornej časti Bystrej doliny, ďalej Pod Sedielkom, v Jamnickej doline a na Zbojníckej chate.

Údaje pre totalizátory, ktoré boli inštalované neskôr po roku 1961, boli redukované na obdobie 1961-2000 podľa najpríbuznejšie umiestnených totalizátorov (tab. 4). Odvođené mesačné úhmy zrážok v tabuľke 4 môžu vykazovať v ročnom režime malé netypické anomálie, ktoré sú podmienené tým, že ročný režim zrážok príslušného totalizátora je daný ročným režimom zrážok porovnávacej zrážkomernej stanice. Nezanedbateľným problémom je aj skutočnosť, že pri odvodzovaní mesačných úhrnov zrážok pre totalizátory sa používajú dva kvocienty, tzv. letný a zimný. Vďaka tomu poslednému sú zreteľne nadhodnotené niektoré májové odvođené mesačné úhmy zrážok. Z totalizátorov, ktoré nepozorovali celé 40-ročné obdobie 1961 – 2000, si zasluhujú pozornosť lokality pod Ostrým Roháčom a Velická a Červená dolina či Široké sedlo v Belianských Tatrách, ktoré vykazujú podobné ročné hodnoty ako Zbojnícka chata, čiže režim zrážok a transportu snehu v zimnom období je podobný aj pre východnú a západnú oblasť Tatier. Ďalšia zaujímavá poloha je Morské Oko na južných svahoch Vihorlatu, ktorá vzhľadom na priemerný ročný úhrn zrážok okolo 1350 mm, by prináležala skôr k vyšším polohám. Uplatňuje sa tu náveterný efekt Vihorlatských vrchov, ktorý sa začína už na prilahlej časti Východoslovenskej nížiny.

Pri zrážkach meraných totalizátormi, rovnako ako keď sú merané štandardnými zrážkomermi, sa potvrdila známa skúsenosť, že závislosť zrážok od nadmorskej výšky, bez ohľadu na ročné obdobie, je výraznejšia pri zrážkach meraných totalizátormi. V tomto prípade však treba pripomenúť, že väčšina meteorologických staníc so štandardnými zrážkomermi je sústredená v nadmorských výškach okolo 1000 m (obr. 3 a 4).

Základné štatistické spracovanie ročných a sezónnych úhrnov zrážok ukazuje na výrazne vyššie priemerné hodnoty v oblasti Vysokých Tatier. Z nich ešte zvlášť vynikajú totalizátory, nachádzajúce sa v horných častiach Veľkej studenej doliny (v tab. 2 a 3 totalizátory č. 1, 5 a 8) a Bielovodskej doliny (totalizátor č. 3). Zložité orografické podmienky pri Zbojníckej chate (totalizátor č. 5) zväčšujú navievanie snehu do totalizátora, čo zvyšuje podiel zimných zrážok v tejto lokalite, pričom priemerný úhrn za obdobie október až máj prevyšuje podobné lokality v zodpovedajúcej nadmorskej výške o 200 až 400 mm. Tekuté zrážky, prevládajúce v období jún až september však ukazujú podobnosť týchto lokalít s regiónmi, kde v tomto čase naprší približne 800 až 900 mm zrážok. Podobne aj maximálny a minimálny úhrn zrážok je pre uvedené lokality najvyšší. Výškou úhrnov zrážok je možné k tatranským totalizátorom priradiť lokalitu Pod Chabencom. Najnižšie hodnoty zrážok z mimotatranských totalizátorov sú namerané v lokalite Branisko (746 mm, v lete 338 mm).

Z maximálnych a minimálnych hodnôt zrážok uvádzaných vo vypočítaných štatistických charakteristikách vyplýva, že v sledovanom období bol v tatranskej oblasti zrážkovo najbohatší rok 1974, ďalej to boli aj roky 1962, 1965, 1967, 1980 a 2000 (tab. 2 a 5). Najvlhkejšie letá boli v rokoch 1965, 1970, 1980 a 1996. V ostatných chladnejších obdobiach roka boli najvyššie zrážky v rokoch 1962, 1974, 1998 a 2000. Málo

zrážok bolo v študovanom regióne v rokoch 1963, 1971, 1982 a 1986. Suché letá boli v rokoch 1954, 1986, 1987, 1993 a 1994. Nedostatok zrážok v prechodných ročných obdobiach a v zime bol v rokoch 1973 a 1982. Pri hodnotení celého územia Slovenska treba brať do úvahy, že v takom geograficky zložitom priestore môžu mať zrážkovo bohaté, resp. chudobné roky, prípadne obdobia, len regionálnu platnosť. V skupine vlhkých rokov mal na Slovensku v študovanom období dominantné postavenie rok 1974. Nedostatok zrážok bol výrazný v rokoch 1969, 1971 a 1989. Mimoriadne daždivé bolo leto v roku 1965, naopak suché bolo leto v roku 1992. Všeobecne platí aj pre tieto výsledky, že najväčšiu neurčitosť vykazujú tie, ktoré sú viazané k zrážkam z prechodných ročných období a zimy. Príčinou sú niektoré veterné polohy totalizátorov, ktorých výsledky merania sú počas niektorých zím zaťažené dosť veľkými chybami. Najzávažnejšou systematickou chybou merania zrážok pomocou totalizátora je nedostatočné eliminovanie vplyvu aerodynamického efektu na padajúce zrážky. Zamedzenie narastania systematickej chyby vplyvom vetra je možné dosiahnuť lokalizáciou totalizátora do menej vetranej polohy alebo zmenšením výšky zachytnej plochy nad terénom. Zmenšovanie výšky zachytnej plochy nad terénom môže mať však za následok opačnú systematickú chybu - navievanie snehu.

V regióne Tatier sa v druhej polovici 20. storočia v režime zrážok prejavili podobné tendencie ako v ostatných oblastiach Slovenska. Po nadpriemerných zrážkach počas väčšiny 60. rokov nasledoval úbytok zrážok, ktorý vrcholil v druhej polovici 80. a v prvej polovici 90. rokov. V druhej polovici 90. rokov minulého storočia potom nasledoval vzrast zrážok a hodnoty niektorých ich charakteristík boli v týchto posledných rokoch porovnateľné s ich hodnotami z 50. a 60. rokov 20. storočia.

Záver

Zo získaných výsledkov sa dá usúdiť, že súčasná sieť totalizátorov dobre dopĺňa výsledky merania zrážok v sieti meteorologických staníc Slovenska. Namerané a vypočítané údaje vhodne rozširujú výsledky merania zrážok štandardnými zrážkomermi, treba ich však kriticky zhodnotiť, pretože sú neustále vystavené vplyvu celého radu nepriaznivo pôsobiacich faktorov.

Literatúra:

- [1] Coufal, L.: Zhodnocení měření srážek totalizátory na území ČSR v období 1961-70. Meteorologické zprávy, 26, 1973, č. 6, s. 164-166.
- [2] Faško, P., Lapin, M.: Meranie atmosférických zrážok pomocou totalizátorov na území Slovenska za obdobie 1951-1985. Meteorologické zprávy, 41, 1988, č. 5, s. 136-140.
- [3] Faško, P., Handžák, Š., Šťastný, P.: Fifty years of atmospheric precipitation measurements in the Tatras, Zborník z Medzinárodnej konferencie 150 rokov meteorologickej služby v strednej Európe, Stará Lesná, Október 9 – 11. 2001, ISBN 80 – 85754 – 10 – X.
- [4] Handžák, Š.: Dlhodobé charakteristiky snehovej pokrývky v oblasti Nizkých Tatier v období 1960/1961-1989/1990. Diplomová práca, Pr.F UK, Bratislava 1997, 87 s.
- [5] Kočík, D.: Charakteristiky snehovej pokrývky v oblasti Tatier v období 1960/1961-1989/1990. Diplomová práca, PrirF UK, Bratislava 1994, 83 s.
- [6] Matejková, H.: Dlhodobé charakteristiky snehovej pokrývky na vybraných meteorologických staniciach severného a severozápadného Slovenska za obdobie 1960/1961-1989/1990. Diplomová práca, Pr.F UK, Bratislava 2000, 110 s.
- [7] Mueller, G., Joss, J.: Messnetze und Instrumente. In: Niederschlag in der Schweiz. Beiträge zur Geologie der Schweiz - Hydrologie, Nr. 31. Bern, Verlag Kuemmerly + Frey, 1985. S. 17-47.
- [8] Petrovič, Š.: Priemerné úhmy zrážok podľa totalizátorov za obdobie 1961-70 a 1951-70 na Slovensku. Meteorologické zprávy, 26, 1973, č. 6, s. 157-164.

Pod'akovanie: Autori ďakujú Erikovi Valáškovovi za erudovanú a trpezlivú pomoc pri vytváraní definitívnej podoby obrázkov a tabuliek.

TRENDS OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION IN THE MOUNTAIN REGIONS OF SLOVAKIA

Pavel Faško, Pavel Šťastný
Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava

ABSTRACT

Precipitation measurements by totalizers (storage gauges) were established in the region of the High Tatras in 1942. The reliable results from mountainous positions of Slovakia are available from 1947 (6 localities). At present there are 47 of these equipments there. They are located in the high altitudes, where are the sources of precipitation for runoff. In the contribution there is made an analysis of time series of annual sums and sums for the period May – September. The trends indicate decrease of summer precipitation sums, mainly in the last 3 decades. The trends of annual sums are not significant. The increase of precipitation sums in cold half-year has consequences on snow cover characteristics in these localities. The rather dense network of totalizers in the High Tatras region allowed to compare precipitation regime on the northern and southern slopes of this massif. There was investigated the influence of equipment exposure on amount of precipitation and on errors of solid precipitation measurement. The comparison of classical precipitation network data and data obtained by totalizers was done as well.

Tab. 1a. Current list of totalizers in Slovakia.

Tab.1a. Zoznam totalizátorov na Slovensku.

	Latitude	Longitude	Elevation a.s.l.	Measured from
Zelené pleso	49°10'46"	20°07'15"	1605	1947
Javorová dolina	49°12'04"	20°09'33"	1537	1963
Starý salaš	49°14'45"	20°07'19"	1303	1947
Javorinka	49°17'08"	20°13'58"	1132	1964
Široké sedlo	49°14'21"	20°12'59"	1798	1993
Červená dolina	49°12'48"	20°13'00"	1820	1993
Popradské pleso	49°08'52"	20°04'43"	1488	1947
Velická dolina	49°10'13"	20°08'44"	2082	1993
Pod Svišťovým štítom	49°10'50"	20°10'00"	1997	1961
Zbojnická chata	49°10'37"	20°10'09"	1980	1948
Pod Streleckou vežou	49°10'44"	20°10'50"	1817	1950
Hrebienok	49°09'29"	20°13'26"	1290	1990
Pod Sedielkom	49°08'26"	20°00'37"	1587	1966
Temnosmrečianske pleso	49°11'39"	20°01'42"	1680	1987
Tichá dolina	49°13'20"	19°57'48"	1294	1960
Bystrá dolina, up	49°10'29"	19°50'59"	1757	1987
Bystrá dolina, down	49°08'50"	19°51'20"	1180	1987
Račková dolina	49°11'08"	19°49'06"	1425	1987
Jamnícka dolina	49°11'31"	19°46'41"	1343	1975
Biela Skala	49°13'18"	19°36'51"	1197	1957
Pod Chabencom	48°56'09"	19°27'36"	1492	1950
Pod Chočom	49°07'40"	19°20'15"	946	1972
Slaná Voda	49°32'29"	19°30'10"	890	1992
Pod Kubínskou hoľou	46°16'13"	19°16'06"	1185	1957
Krížna - Veterné	48°53'05"	19°04'06"	1200	1989
Pod Ostredkom	48°54'49"	19°04'08"	1088	1969
Veľká lúka - Martinské hole	49°05'38"	18°49'23"	1385	1958
Pod Kľakom	48°58'03"	18°38'19"	1187	1951
Nad Handlovou	48°41'43"	18°45'31"	725	1961
Suchá hora	48°35'02"	18°34'00"	879	1956
Fabova hoľa	48°46'45"	19°52'30"	1375	1952
Kráľova studňa	48°52'37"	19°02'35"	1380	1989
Pol'ana	48°38'14"	19°29'05"	1457	1947
Vtáčnik	48°37'28"	18°38'26"	1275	1957
Porúbka	48°51'00"	21°58'00"	420	1989
Morské oko	48°55'17"	22°12'01"	658	1992
Kráľova hoľa	48°53'42"	20°09'20"	1550	1975
Glac	48°54'43"	20°23'53"	1035	1961
Branisko	49°01'57"	20°53'06"	1091	1956

Tab. 1b. Current list of selected meteorological stations with standard precipitation raingauges in Slovakia.

Tab. 1b Zoznam vybraných zrážkomerných staníc na Slovensku

	Latitude	Longitude	Elevation a.s.l.	Measured from
Javorina	49°16'19"	20°08'05"	1020	1934
Starý Smokovec	49°08'30"	20°12'39"	1070	1921
Hrebienok	49°09'27"	20°13'32"	1285	1913
Skalnaté Pleso	49°11'06"	20°14'21"	1778	1942
Podbanské	49°08'24"	19°54'38"	972	1925
Jasná	48°57'56"	19°35'01"	1196	1950
Huty	49°12'57"	19°33'30"	795	1925
Magurka	48°56'39"	19°26'00"	1045	1901
Lubochňa, Rakytov	48°58'59"	19°08'02"	780	1952
Oravský Podzámok	49°15'45"	19°22'01"	532	1901
Turček	48°45'20"	18°56'00"	720	1923
Vrícko	48°58'17"	18°41'05"	603	1948
Blatnica	48°56'08"	18°55'03"	496	1950
Handlová	48°43'14"	18°27'02"	448	1925
Telgárt	48°50'55"	20°11'02"	901	1927
Pohronská Polhora	48°45'06"	19°48'02"	637	1950
Jarabá	48°53'22"	19°41'02"	839	1924
Jasenie, Na Kyslej	48°54'59"	19°26'00"	750	1925
Dolný Harmanec	48°48'20"	19°03'24"	481	1921
Krížna	48°52'38"	19°04'04"	1570	1961
Nová Lehota	48°40'59"	18°44'02"	597	1961
Súľová	48°48'45"	20°28'05"	900	1923
Lom nad Rimavicou	48°38'39"	19°39'00"	1018	1901
Vernár	48°55'04"	20°16'00"	783	1923
Dobšinská Ľadová Jaskyňa	48°52'41"	20°18'02"	880	1926
Široké	48°59'54"	20°56'02"	505	1926

Tab. 2. Statistical characteristics of precipitation measured by totalizers in the Tatras from 1947 or for part of its period
Tab. 2 Štatistické charakteristiky zrážkových úhrnov meraných totalizátormi

Characteristic	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Annual mean	2562	1444	2044	1432	2753	1267	1930	2236	1207	1291	1751	1626	1683	1532	1363	1180	3339	1217	2579	2227
Maximum	3492	2216	2782	2501	4302	1692	2363	3716	2111	1748	2353	2397	2023	1777	1560	1605	4347	1547	2963	2551
Occurrence of max., Year	1967	1962	1974	1962	1989	1974	2000	1974	1965	1974	1974	1987	1998	2000	1998	1997	2000	1996	2000	1998
Minimum	1647	945	1561	1024	1629	958	1278	1286	838	941	1313	958	1386	1221	1023	940	2542	997	2216	1953
Occurrence of min., Year	1986	1953	1982	1986	1969	1973	1986	1987	1966	1986	1996	1999	1993	1987	1999	1999	1999	1993	1999	1995
Stdev	449	253	281	270	635	167	258	526	235	190	263	283	182	172	157	174	547	143	283	237
Skew	-0,3	0,5	0,4	1,4	0,4	0,5	-0,7	0,5	1,5	0,4	0,3	0,4	0,1	-0,5	-0,8	1,1	0,7	0,9	0,3	0,3
Kurt	-0,2	0,5	-0,1	3,5	-0,4	0,1	0,3	0,0	4,7	-0,1	-0,3	0,7	-0,7	-0,5	0,0	1,5	2,1	0,8	-1,4	-1,8
Linest	-3,5	3,7	-1,1	-5,2	13,2	-0,7	15,1	21,3	1,9	-1,3	-2,4	7,2	8,6	17,3	4,5	6,9	56,5	27,2	54,1	26,3
Mean, June - September	865	606	854	682	862	492	782	835	564	539	799	719	686	647	617	471	947	523	843	941
Maximum	1499	1158	1605	1175	1898	716	1243	1459	957	849	1248	1253	1022	1019	855	878	1542	907	1199	1371
Occurrence of max., Year	1970	1996	1960	1965	1970	1978	1980	1974	1972	1980	1980	1980	1996	1996	1996	1997	1996	1996	1997	1996
Stdev	277	185	218	187	334	98	202	268	133	130	192	177	182	168	164	140	324	181	178	239
Skew	0,7	0,7	1,2	0,7	1,1	-0,1	0,5	0,7	0,9	0,1	0,5	0,8	0,7	0,6	-0,4	2,1	1,0	1,6	1,4	0,8
Kurt	-0,1	0,4	2,4	-0,2	1,6	0,0	0,1	-0,2	1,0	-0,6	-0,3	1,4	-0,5	0,6	-0,4	5,6	1,2	4,2	2,9	0,8
Linest	-1,6	-1,6	0,5	-1,6	0,6	-0,8	-1,5	-0,4	-1,8	-1,6	-4,6	2,6	15,6	12,2	20,0	13,1	-59,2	18,3	10,0	-4,1
Minimum	423	251	464	398	309	291	393	450	349	280	468	424	449	367	287	303	546	312	641	645
Occurrence of min., Year	1969	1993	1961	1950	1954	1986	1986	1954	1994	1999	1987	1970	1994	1987	1987	1992	1999	1994	1996	1994
Mean, October - May	1697	837	1190	749	1940	775	1148	1401	642	732	942	908	998	885	746	709	2392	693	1736	1285
Maximum	2711	1816	1681	1692	3978	1107	1619	2367	1292	1041	1320	1898	1192	1180	884	885	3591	935	2135	1507
Occurrence of max., Year	1967	1962	1948	1962	1949	1974	2000	1983	1965	1970	1970	1987	2000	2000	1987	1998	2000	1994	2000	1998
Minimum	826	356	615	456	595	458	813	381	93	504	538	517	788	669	513	513	1896	489	1470	977
Occurrence of min., Year	1973	1953	1960	1975	1970	1973	1982	1957	1972	1993	1968	1999	1993	1993	1999	1999	1996	1993	1999	1996
Stdev	429	244	238	193	711	141	233	505	195	139	196	249	122	134	116	124	574	109	239	204
Skew	-0,1	1,3	-0,3	2,3	0,6	0,1	0,4	0,2	0,9	0,6	0,0	1,6	-0,4	0,5	-0,6	0,1	1,9	0,6	0,8	-0,7
Kurt	-0,2	4,4	-0,3	9,7	0,5	-0,1	-1,0	-0,8	1,9	-0,1	-0,8	5,0	-0,6	0,6	-0,7	-1,2	3,9	1,8	-0,4	-1,1
Linest	-1,9	5,2	-1,6	-3,6	7,4	0,2	16,6	21,7	4,5	0,2	4,5	4,6	-7,0	5,1	-15,5	-6,2	115,8	8,8	44,1	30,4

Number of station

1- Pod Svišťovým štítom	9- Javorinka	13- Temnosmrečianske pleso	17- Velická dolina
2- Popradské pleso	10- Biela skala	14- Račková dolina	18- Hrebienok
3- Zelené pleso	11- Javorová dolina	15- Bystrá, up	19- Červená dolina
4- Starý salaš	12- Tichá dolina	16- Bystrá, down	20- Široké sedlo

Tab. 3. Statistical characteristics of precipitation measured by totalizers in the Tatras during the period 1961-2000.
Tab. 3 Štatistické charakteristiky zrážkových úhrnov meraných totalizátormi vo Vysokých Tatrách za obdobie 1961 - 2000.

Period	Characteristic	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Year											
	Annual mean	2562	1483	2045	1409	2809	2363	1207	1291	1751	1629
	Maximum	3492	2216	2782	2501	4302	3716	2111	1748	2353	2397
	Occurrence of max., Year	1967	1962	1974	1962	1989	1974	2000	1974	1974	1987
	Minimum	1647	1055	1561	1024	1629	1387	838	941	1313	958
	Occurrence of min., Year	1986	1986	1982	1986	1969	1963	1966	1986	1996	1999
	Stdev	449	245	281	279	633	510	236	191	263	286
	Skew	-0,3	0,6	0,4	1,9	0,2	0,3	1,6	0,4	0,3	0,3
	Kurt	-0,2	0,9	0,3	5,2	-0,3	0,0	4,6	0,0	-0,3	0,6
	Linest	-3,5	2,1	-2,5	-8,3	21,5	20,1	2,4	-1,9	-2,4	7,4
June - September											
	Mean	865	587	861	676	898	859	564	556	799	717
	Maximum	1499	1158	1412	1175	1898	1459	957	849	1248	1253
	Occurrence of max., Year	1970	1996	1965	1965	1970	1974	1972	1980	1980	1980
	Minimum	423	251	464	418	441	473	349	280	468	424
	Occurrence of min., Year	1969	1993	1961	1987	1992	1987	1994	1999	1987	1970
	Stdev	277	183	199	169	336	276	133	133	192	179
	Skew	0,7	0,9	0,9	0,8	1,2	0,7	0,9	0,2	0,5	0,8
	Kurt	-0,1	1,4	1,1	0,4	1,7	-0,3	1,0	-0,6	-0,3	1,3
	Linest	-1,6	0,6	-0,9	-3,0	-6,3	-6,5	-1,8	-1,6	-4,6	3,0
October - May											
	Mean	1697	896	1184	732	1911	1504	642	735	942	912
	Maximum	2711	1816	1550	1692	3489	2367	1292	1041	1320	1898
	Occurrence of max., Year	1967	1962	1962	1962	1989	1983	1965	1970	1970	1987
	Minimum	826	521	646	456	595	605	93	504	538	517
	Occurrence of min., Year	1973	1996	1986	1975	1970	1965	1972	1993	1968	1999
	Stdev	429	233	213	214	673	499	207	142	196	251
	Skew	-0,1	1,9	-0,3	2,5	0,1	0,1	0,4	0,6	0,0	1,6
	Kurt	-0,2	5,8	-0,3	9,6	-0,5	-1,1	2,2	-0,2	-0,8	4,8
	Linest	-1,9	1,5	-1,5	-5,3	27,8	26,6	5,0	-0,2	4,5	4,4

Number of station

- 1- Pod Svišťovým štítom
2- Popradské pleso
3- Zelené pleso
4- Starý salaš
5- Zbojnícka chata

Abbreviation, skratky

- 6- Pod Streleckou vežou
7- Javorinka
8- Biela skala
9- Javorová dolina
10- Tichá dolina
- Stdev - standard deviation, štandardná odchýlka
Skew - characteristic of asymmetry rate, charakteristika asymetrie
Kurt - excess, špicatosť
Linest - linear trend, lineárny trend

Table 3a Statistical characteristics of precipitation measured by totalizers in other mountainous area of Slovakia in the period 1961 - 2000
Tab. 3a Štatistické charakteristiky zrážkových úhrnov meraných totalizátormi v ostatných horských oblastiach Slovenska za obdobie 1961 - 2000

Period	Characteristic	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Year												
	Annual mean	1145	1584	1113	1145	1300	746	1543	976	1410	949	865
	Maximum	1602	2079	1411	1663	1750	1163	1959	1645	1959	1189	1164
	Occurrence of max., Year	1981	1977	1983	1979	1974	1970	1976	1981	1974	1966	2000
	Minimum	915	986	856	757	968	493	1106	698	895	649	583
	Occurrence of min., Year	1971	1975	1989	1989	1969	1986	1969	1989	1971	1989	1971
	Stdev	168	279	157	209	188	139	227	199	244	140	137
	Skew	0,8	-0,1	0,1	0,5	0,2	1,1	0,1	1,1	0,3	-0,3	0,0
	Kurt	0,4	-0,5	-1,1	-0,4	-0,5	2,2	-1,0	1,8	-0,3	-0,6	-0,1
	Linest	-2,1	-3,4	-1,7	-1,5	3,1	3,1	-1,4	-2,0	0,8	-2,0	-1,6
June - September												
	Mean	432	525	387	414	503	338	548	347	418	320	376
	Maximum	755	845	685	617	784	622	848	686	789	528	591
	Occurrence of max., Year	1965	1965	1965	1963	1987	1985	1997	1982	1982	1963	1978
	Minimum	278	319	190	219	312	151	214	150	177	130	167
	Occurrence of min., Year	1979	1987	1992	1987	1983	1986	1969	1962	1962	1992	1981
	Stdev	105	119	108	105	171	99	131	132	124	80	93
	Skew	0,8	0,8	0,6	0,3	2,3	0,8	0,0	1,0	0,8	0,0	0,4
	Kurt	1,2	0,6	0,1	-0,5	8,0	1,1	0,8	0,9	1,1	0,3	0,0
	Linest	-1,3	-0,6	-1,8	-0,3	-1,0	1,4	0,8	-1,4	0,9	-1,6	0,6

Abbreviation, skratky

Stdev - standard deviation, štandardná odchylka

Skew - characteristic of asymmetry rate, charakteristika asymetrie

Kurt - excess, špicatosť

Linest - linear trend, lineárny trend

Number of station

16- Branisko 21- Glac

17- Veľká ľúka

18- Suchá hora

19- Viáčnik

20- Nad Handlovou

11- Polana

12- Pod Chabencom

13- Pod Kľakom

14- Fabova hoľa

15- Kubínska hoľa

Tab. 4. Mean precipitation amount in mm calculated from measuring of totalizers during the period 1961-2000.
Tab. 4. Priemerné úhrny zrážok v mm odvodené z meraní totalizátormi v období 1961 - 2000.

	Elevation a.s.l.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Year
Zelené pleso	1605	104	105	129	173	238	255	244	211	151	145	144	123	2023
Javorová dolina	1537	104	110	123	143	164	207	212	202	140	117	122	122	1767
Starý salaš	1303	64	72	73	108	158	193	187	169	121	88	98	80	1410
Javorinka	1132	57	61	68	96	142	161	156	143	96	80	81	71	1213
Popradské pleso	1488	100	92	100	112	150	170	179	142	113	102	111	112	1482
Pod Svišťovým štítom	1997	183	185	201	249	292	253	248	207	156	204	228	205	2610
Zbojnická chata	1980	183	185	225	292	382	284	263	207	150	246	264	223	2906
Pod Streleckou vežou	1817	145	145	179	239	309	258	252	205	154	201	205	175	2467
Pod Sedielkom	1587	87	81	87	99	133	143	146	117	91	87	97	103	1271
Temnosmrčianske pleso	1680	96	91	103	115	166	182	190	154	134	122	119	118	1590
Tichá dolina	1294	91	85	90	111	163	194	215	165	143	115	115	109	1596
Bystlá dolina, up	1757	71	67	75	85	129	163	181	136	119	88	88	86	1289
Bystlá dolina, down	1180	69	63	69	85	122	124	140	104	88	87	83	80	1115
Račková dolina	1425	85	81	93	103	150	172	184	145	127	107	100	102	1448
Jamnícka dolina	1343	115	115	120	140	202	219	245	183	151	153	145	147	1936
Biela Skala	1197	71	72	81	102	139	153	158	135	110	92	93	86	1290
Pod Chabencom	1492	103	108	117	142	173	157	125	122	110	137	164	132	1590
Pod Chočom	946	60	62	63	75	101	110	100	96	77	73	72	75	964
Slaná Voda	890	68	74	70	78	111	120	151	127	103	81	80	81	1144
Pod Kubínskou hoľou	1185	87	89	91	101	126	141	137	123	103	103	110	113	1324
Križna - Veterné	1200	104	88	103	127	181	139	133	120	95	117	136	133	1476
Pod Ostredkom	1088	86	75	87	107	149	136	129	116	94	103	118	111	1311
Veľká lúka - Martinské hole	1385	102	93	109	127	159	158	146	133	110	123	144	131	1535
Pod Kľakom	1187	72	67	76	97	121	113	103	95	76	79	108	93	1100
Nad Handlovou	725	61	61	63	80	96	97	78	80	65	72	104	86	943
Suchá hora	879	77	66	64	77	94	103	88	83	73	74	102	97	998
Fabova hoľa	1375	67	73	72	104	145	137	98	100	79	90	110	88	1163
Kráľova studňa	1380	107	94	107	106	139	138	126	102	106	123	147	143	1438
Polana	1457	67	75	72	84	131	139	108	99	85	90	109	89	1148
Vtáčnik	1275	115	108	112	120	134	122	108	100	88	104	152	152	1415
Porúbka	420	50	55	47	65	78	77	81	70	66	59	70	74	792
Morské oko	658	107	93	82	87	108	116	107	98	100	95	121	144	1258
Kráľova hoľa	1550	62	63	78	120	170	156	115	112	81	103	108	78	1246
Glac	1035	36	44	48	78	110	124	99	92	64	66	77	48	886
Branisko	1091	36	40	41	71	102	98	97	90	54	51	58	45	783

Tab. 5 Statistical characteristics of precipitation measured by standard precipitation raingauge at network of meteorological stations in the Tatras during the period 1961-2000.

Tab. 5 Štatistické charakteristiky zrážkových úhrnov meraných štandardným zrážkomerom na meteorologických staniciach v oblasti Tatier za obdobie 1961 - 2000

Year									
Stan	11020	12060	12080	12100	12120	20080	20220	21180	22160
Mean	1260	851	1024	1373	1304	992	940	922	1098
Maximum	1630	1093	1442	2264	1707	1270	1201	1198	1448
Occurrence of max., Year	1980	1974	1974	2000	2000	1998	1970	1980	1994
Minimum	908	613	646	893	912	690	734	630	756
Occurrence of min., Year	1971	1982	1982	1976	1961	1986	1963	1971	1963
Stdev	178	117	164	297	187	140	121	131	169
Skew	0,2	-0,1	0,0	0,9	0,1	0,2	0,4	0,1	-0,2
Kurt	-0,6	-0,3	0,6	0,7	-0,3	-0,2	-0,5	-0,2	-0,5
Linest	5,1	0,4	-1,9	13,1	3,0	3,0	1,8	0,8	8,3
June - September									
Stan	11020	12060	12080	12100	12120	20080	20220	21180	22160
Mean	632	389	471	511	654	410	417	438	483
Maximum	1005	569	680	910	955	610	620	698	714
Occurrence of max., Year	1996	1965	1965	1996	1996	1965	1980	1980	1980
Minimum	405	255	311	313	384	229	273	289	310
Occurrence of min., Year	1987	1967	1986	1976	1961	1986	1987	1986	1963
Stdev	135	79	97	104	134	83	85	98	102
Skew	0,8	0,0	0,2	1,2	0,3	0,4	0,5	0,8	0,3
Kurt	0,6	-0,7	-0,6	4,3	-0,2	0,1	-0,1	0,4	-0,8
Linest	1,4	0,8	0,4	2,6	0,1	0,3	0,1	-0,6	2,7
Proportion of the period June - September in year									
Stan	11020	12060	12080	12100	12120	20080	20220	21180	22160
Mean	50	46	46	38	50	42	44	47	44
Maximum	65	58	60	50	63	53	59	64	57
Minimum	34	29	31	25	35	30	29	32	31
Stdev	7	7	7	7	7	6	7	7	7
Skew	0,0	-0,3	-0,3	0,1	-0,4	-0,2	-0,4	-0,1	0,2
Kurt	0,0	-0,1	-0,1	-0,8	-0,3	-0,4	-0,1	-0,5	-0,7
Linest	-0,1	0,1	0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
October - May									
Stan	11020	12060	12080	12100	12120	20080	20220	21180	22160
Mean	628	462	553	862	651	581	523	485	615
Maximum	831	666	852	1649	1000	818	804	689	998
Occurrence of max., Year	1998	1974	1974	2000	2000	1998	1962	1962	1994
Minimum	415	316	261	524	463	419	357	310	347
Occurrence of min., Year	1972	1993	1982	1982	1982	1982	1963	1971	1968
Stdev	113	86	121	253	129	108	100	93	132
Skew	0,1	0,6	0,3	1,2	0,8	0,7	0,7	-0,1	0,3
Kurt	-1,1	0,1	0,6	1,2	0,4	-0,2	0,2	-0,7	0,7
Linest	3,7	-0,4	-2,3	10,6	2,9	2,7	1,7	1,4	5,6

Number of station

11020 - Javorina
12060 - Starý Smokovec
12080 - Hrebienok
12100 - Lomnický štít
12120 - Skalnaté pleso
20080 - Štrbské Pleso
20220 - Podbanské
21180 - Huty
22180 - Oravská Polhora

Abbreviation, skratky

Stdev - standard deviation, štandardná odchylka
Skew - characteristic of asymmetry rate, charakteristika asymetrie
Kurt - excess, špicatosť
Linest - linear trend, lineárny trend

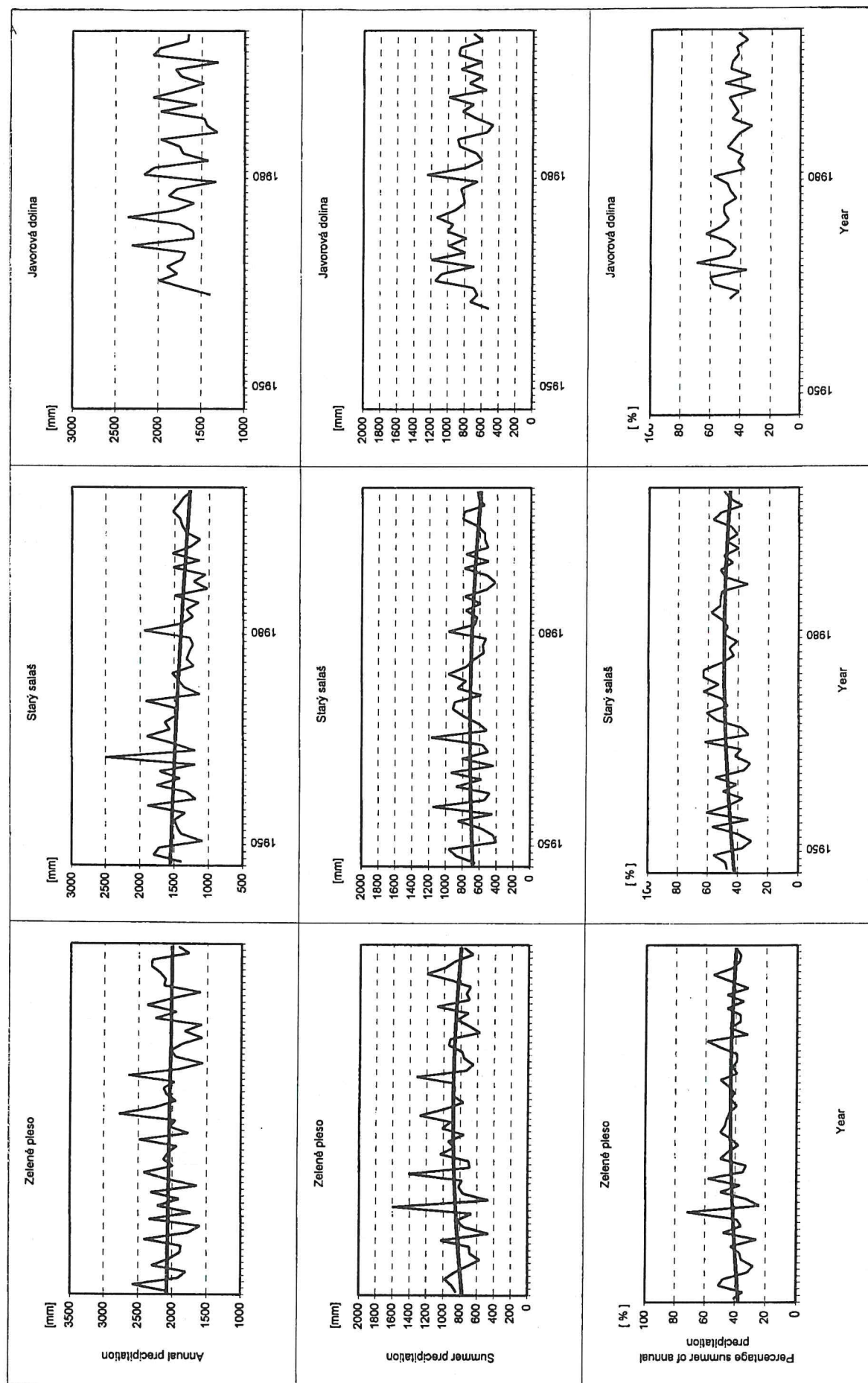


Figure 1 Atmospheric precipitation measured by totalizers in the period 1947 - 2000
Obr. 1 Atmosférické zrážky merané totalizátormi v období 1947 - 2000

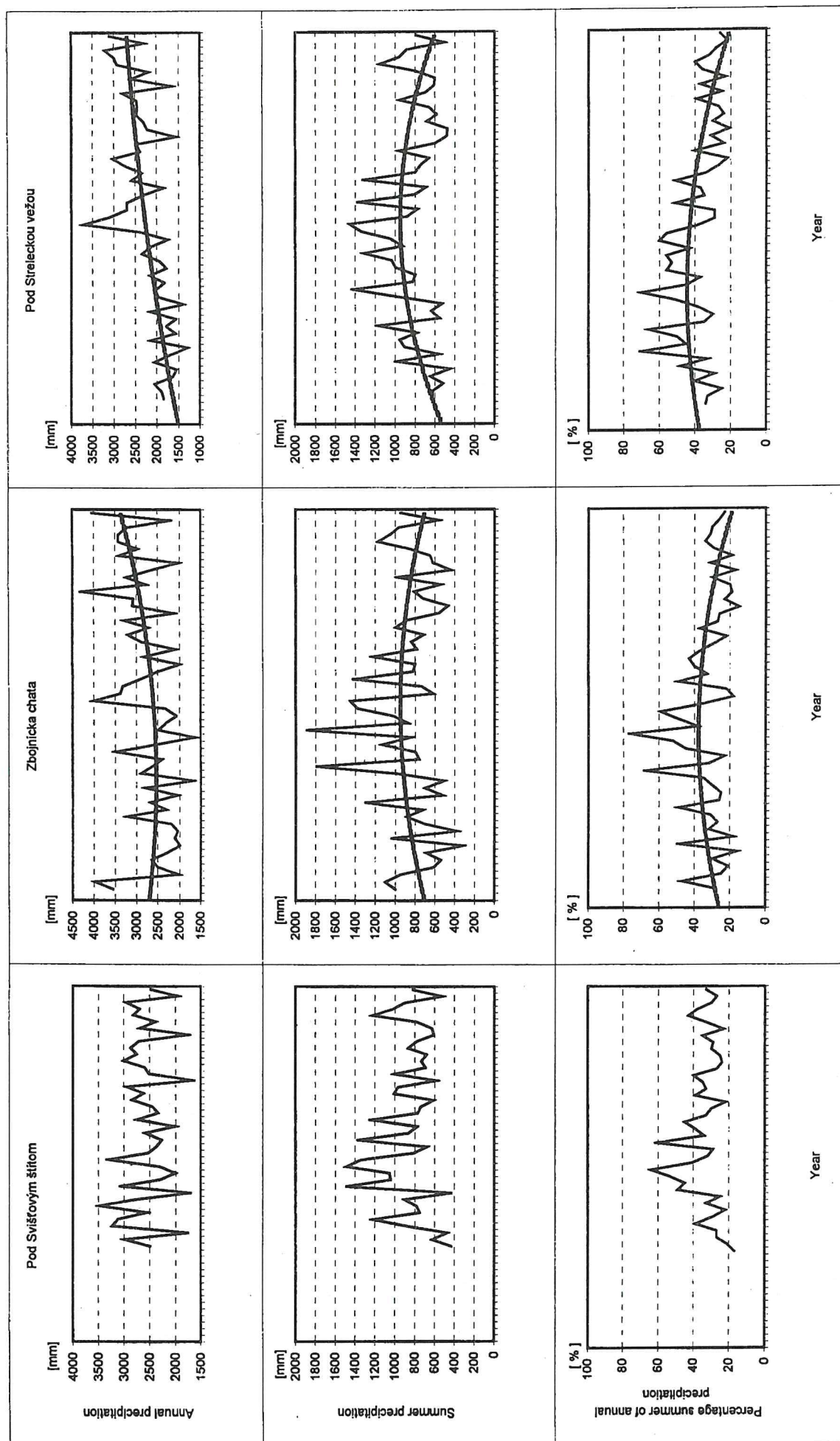


Figure 1a Atmospheric precipitation measured by totalizers in the period 1947 - 2000
Obr. 1a Atmosférické zrážky merané totalizátormi v období 1947 - 2000

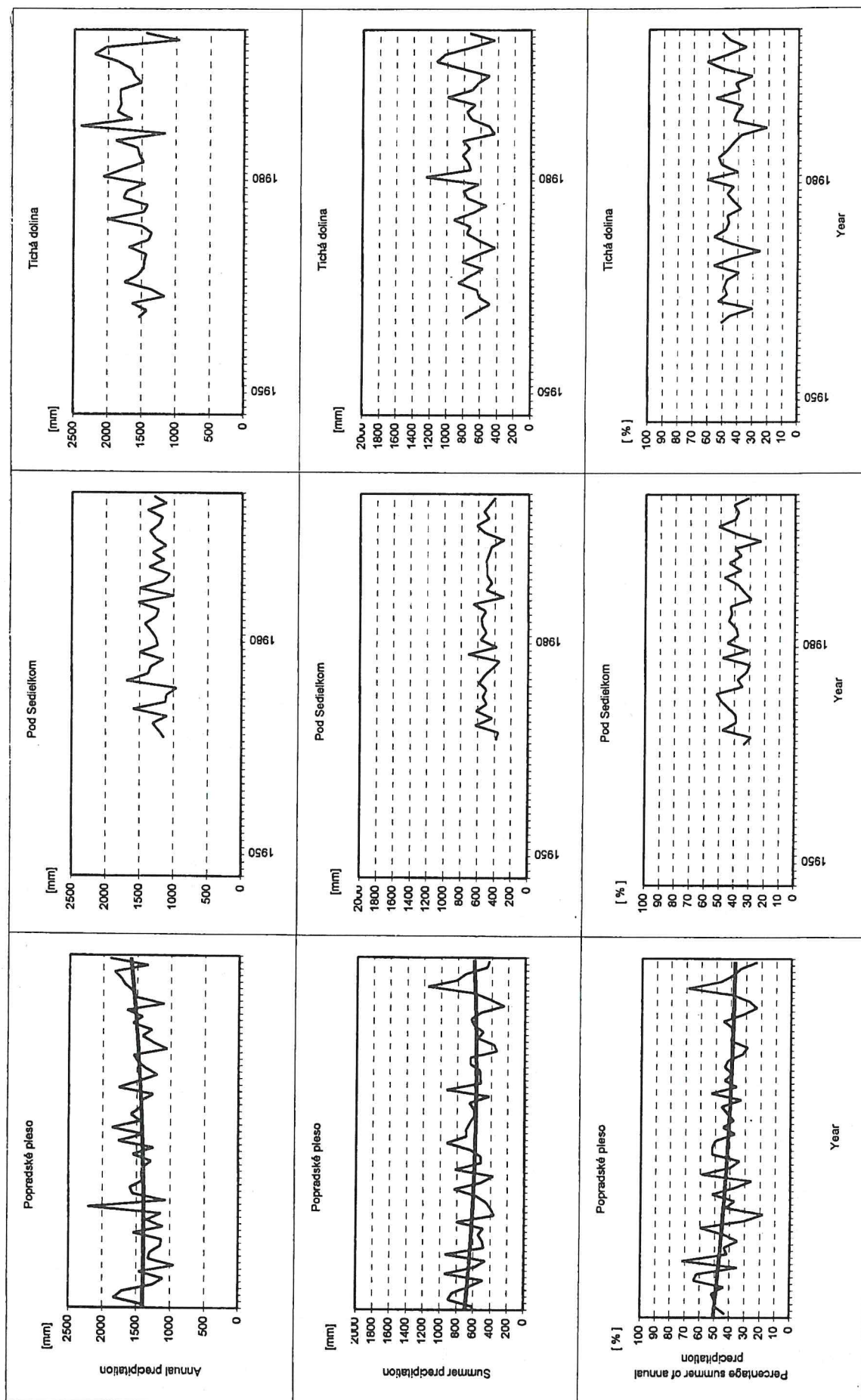


Figure 1b Atmospheric precipitation measured by totalizers in the period 1947 - 2000
Obr. 1b Atmosférické zrážky merané totalizátormi v období 1947 - 2000

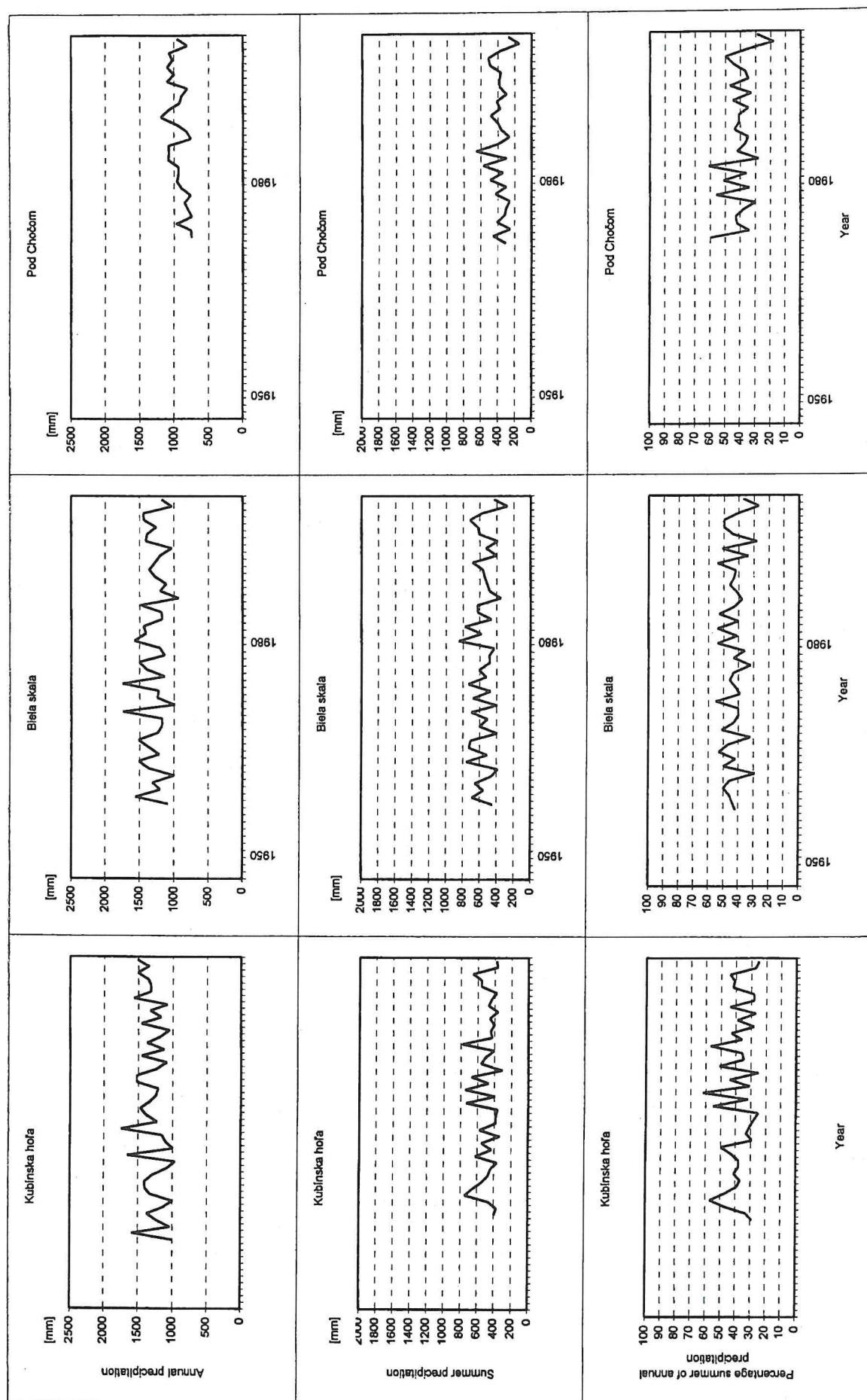


Figure 1c Atmospheric precipitation measured by totalizers in the period 1947 - 2000
Obr. 1c Atmosférické zrážky merané totalizátormi v období 1947 - 2000

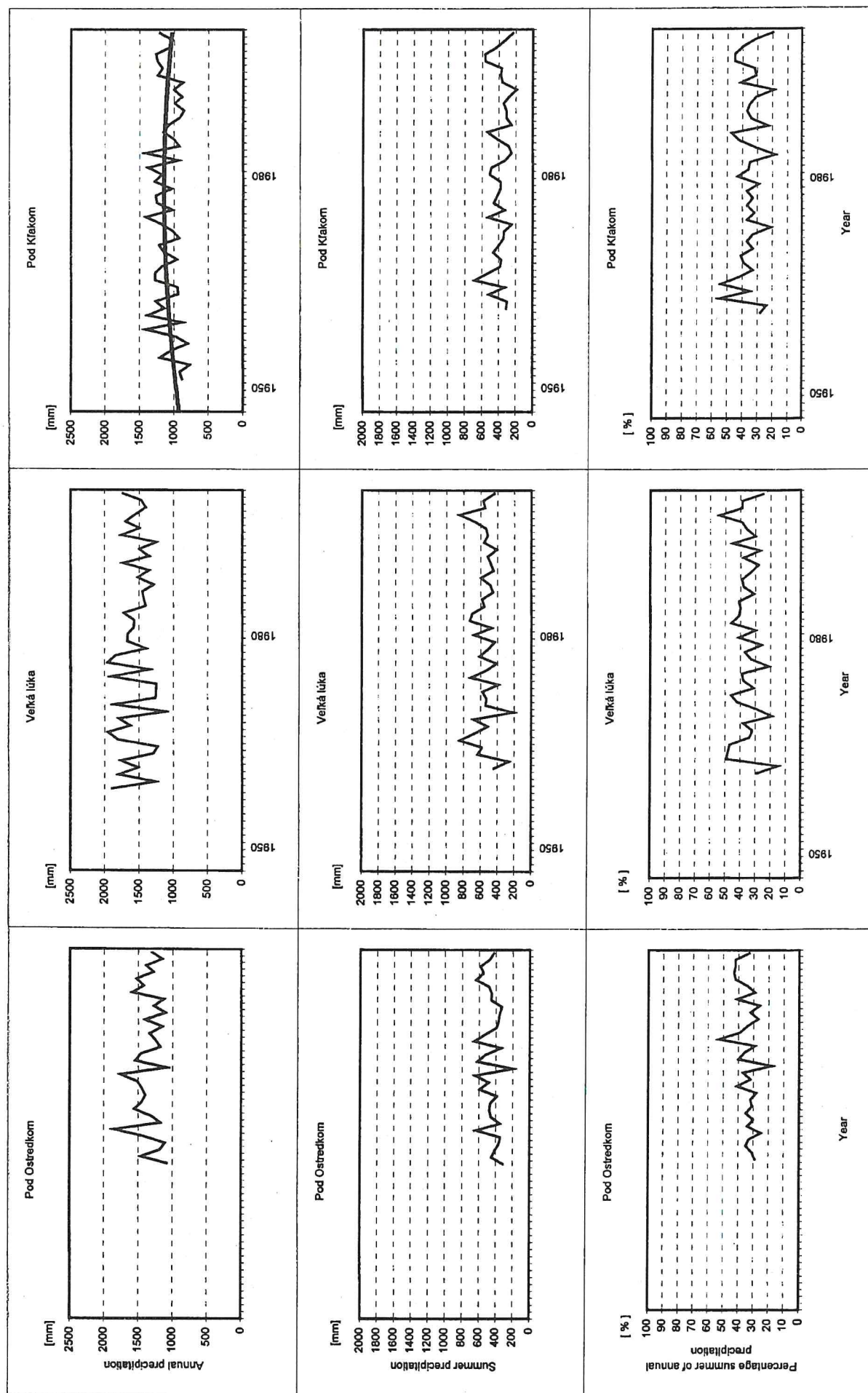


Figure 1d Atmospheric precipitation measured by totalizers in the period 1947 - 2000
Obr. 1d Atmosférické zrážky merané totalizátormi v období 1947 - 2000

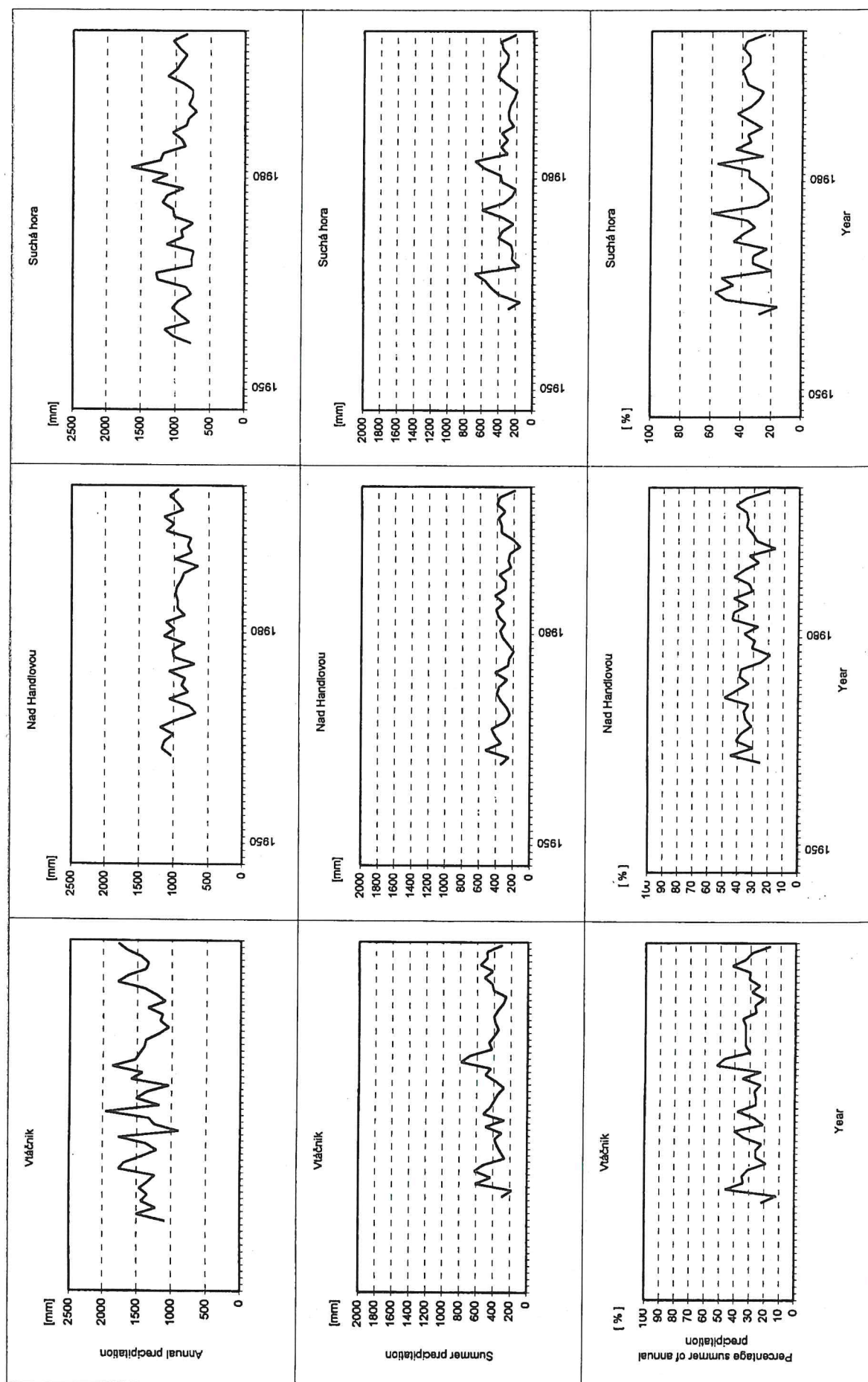


Figure 1e Atmospheric precipitation measured by totalizers in the period 1947 - 2000
Obr. 1e Atmosférické zrážky merané totalizátormi v období 1947 - 2000

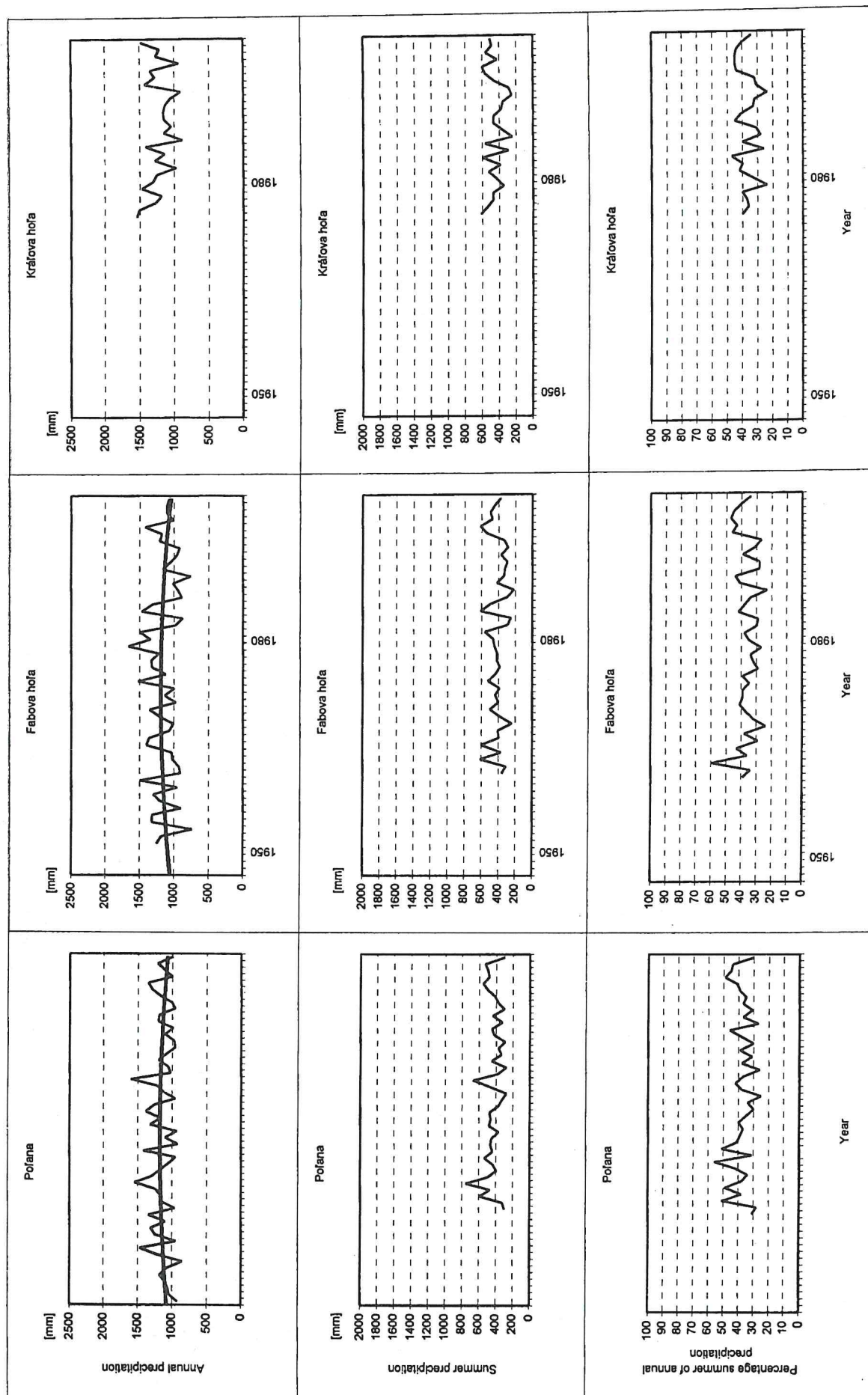


Figure 1f Atmospheric precipitation measured by totalizers in the period 1947 - 2000
Obr. 1f Atmosférické zrážky merané totalizátormi v období 1947 - 2000

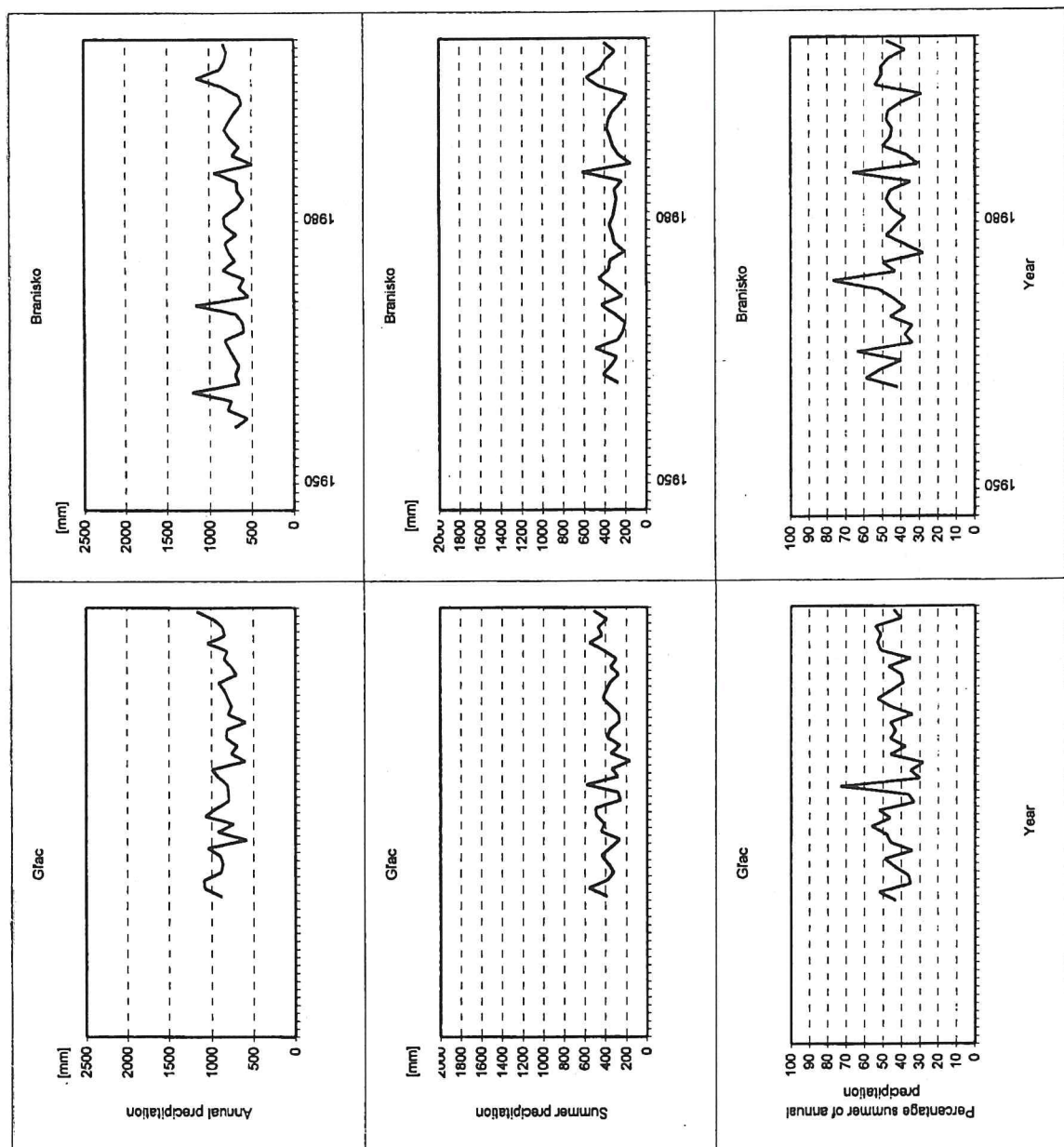


Figure 1g Atmospheric precipitation measured by totalizers in the period 1947 - 2000
Obr. 1g Atmosférické zrážky merané totalizátormi v období 1947 - 2000

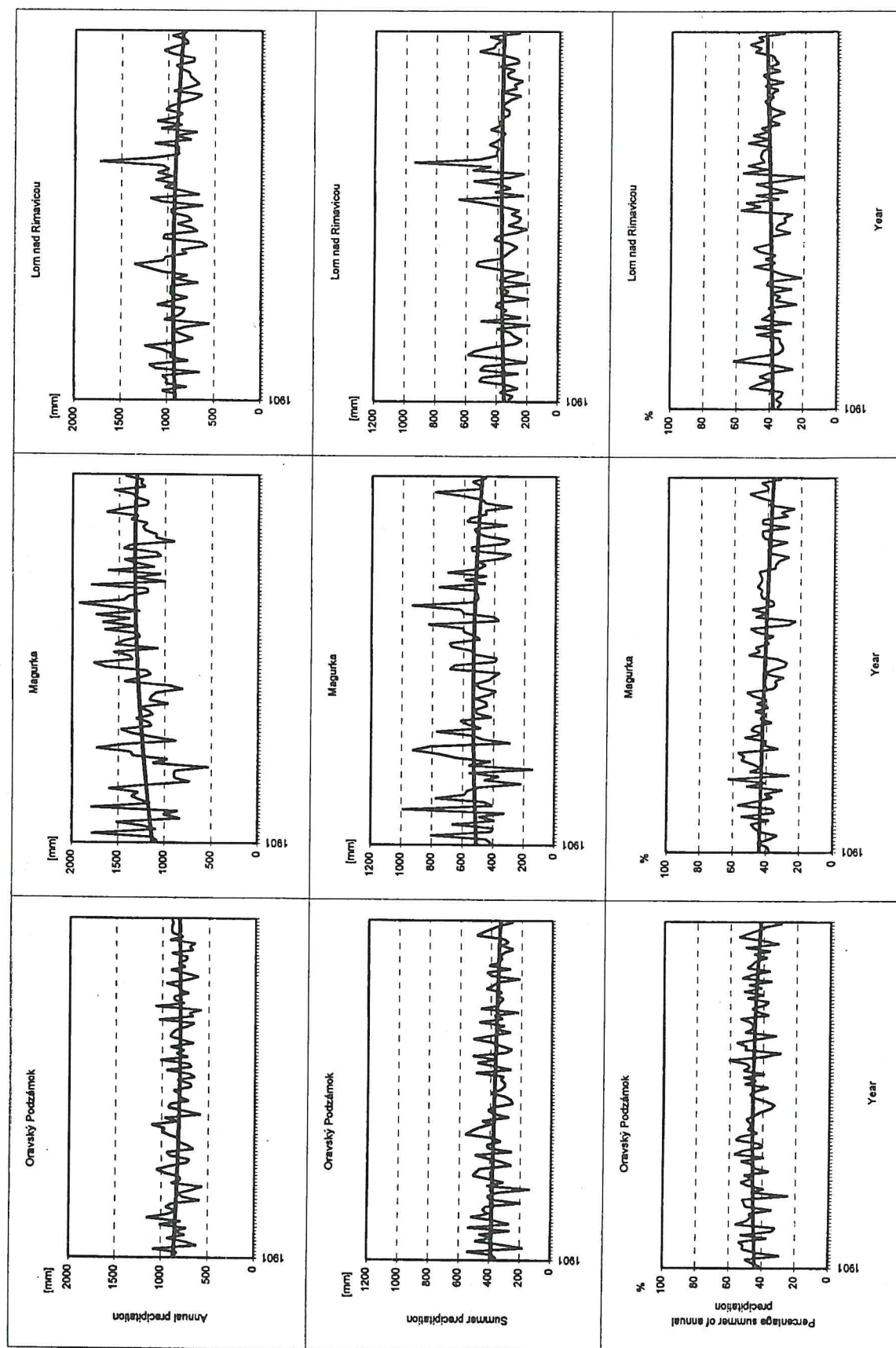


Figure 2 Atmospheric precipitation measured by standard rain-gauge in the period 1901 - 2000
 Obrázok 2 Atmosférické zrážky merané štandardnými zrážkomermi v období 1901 - 2000

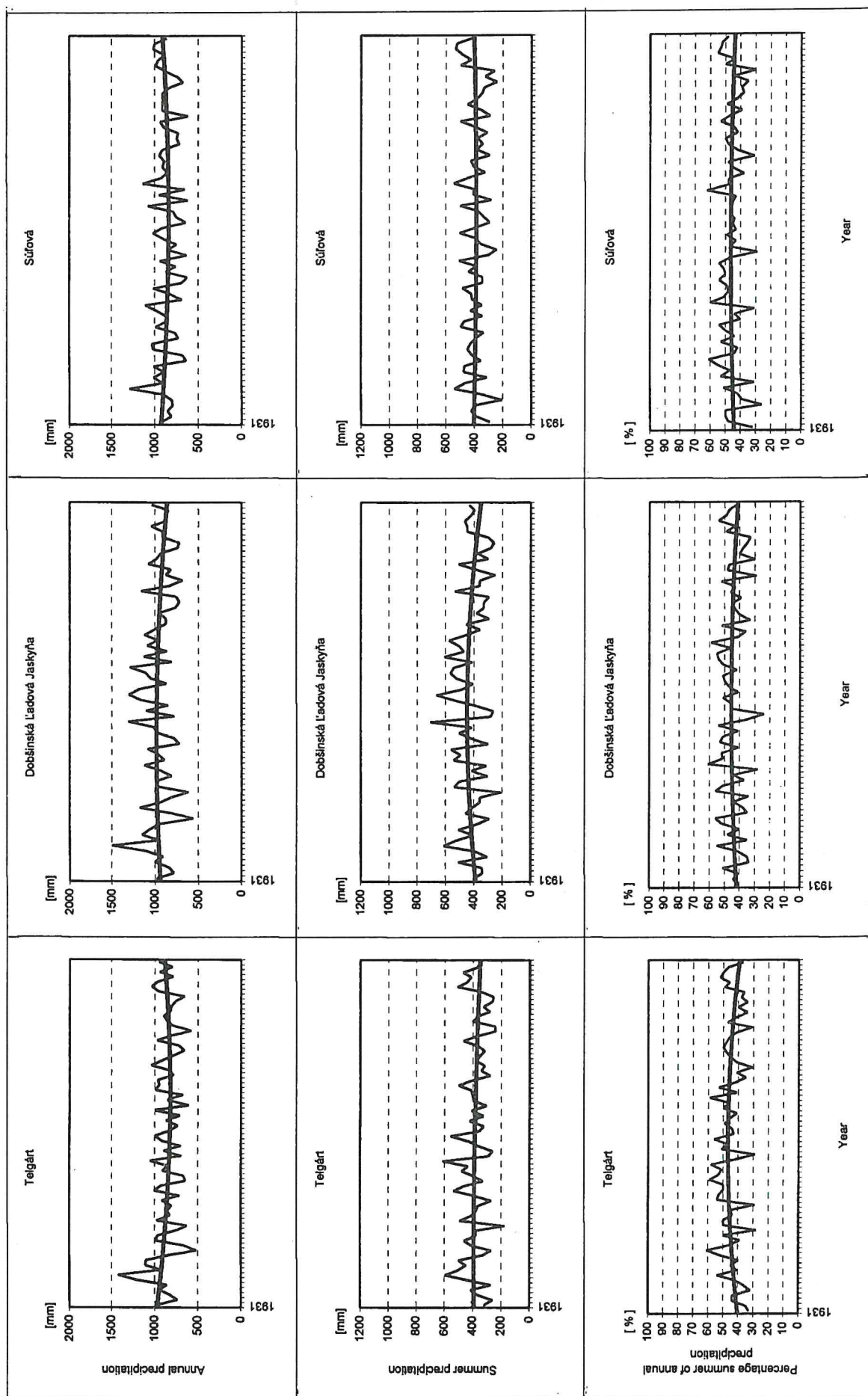


Figure 2a Atmospheric precipitation measured by standard rain-gauge in the period 1901 - 2000
Obrázok 2a Atmosférické zrážky merané štandardnými zrážkomermi v období 1901 - 2000

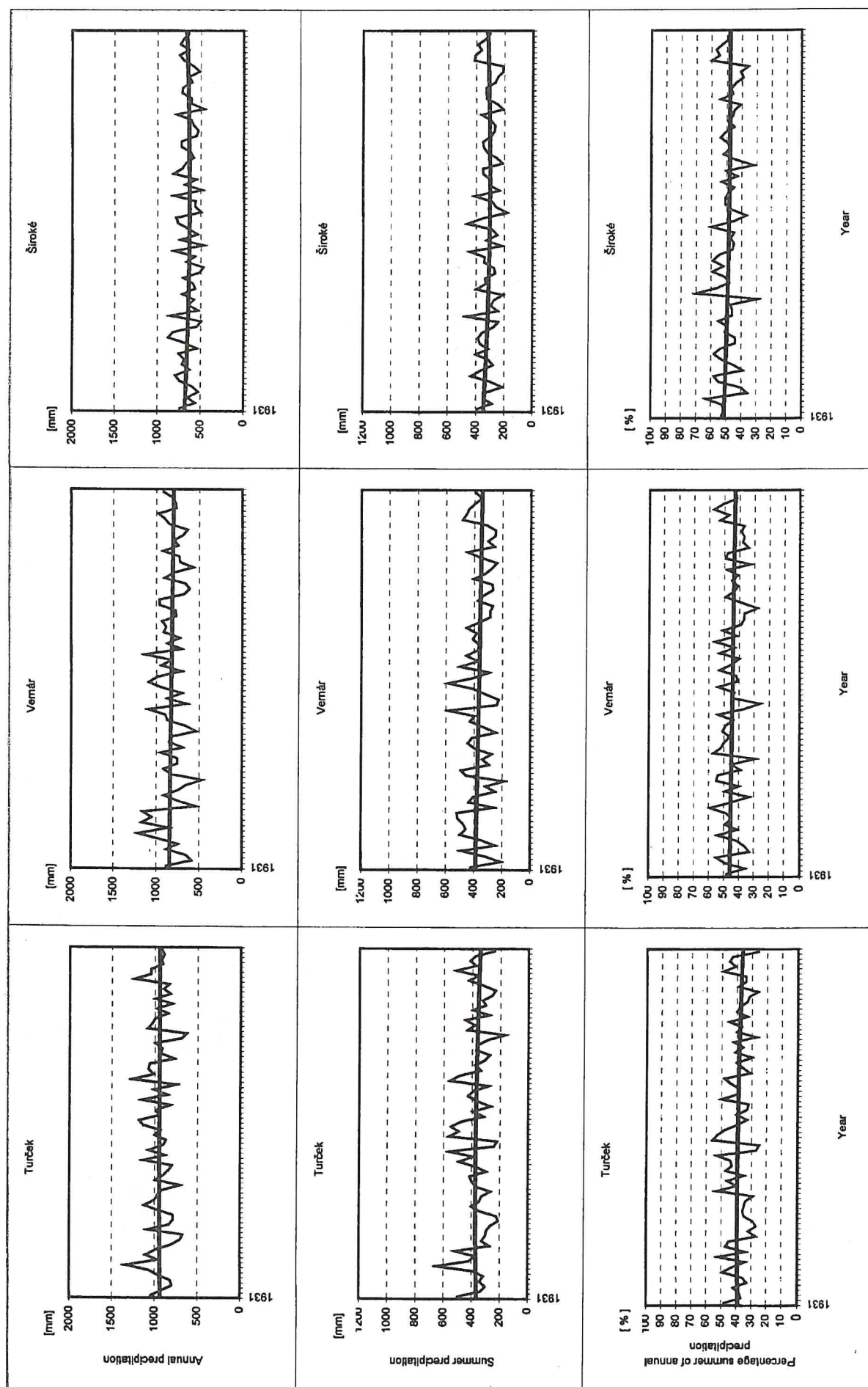


Figure 2b Atmospheric precipitation measured by standard rain-gauge in the period 1901 - 2000
Obrázok 2b Atmosférické zrážky merané štandardnými žrážkomermi v období 1901 - 2000

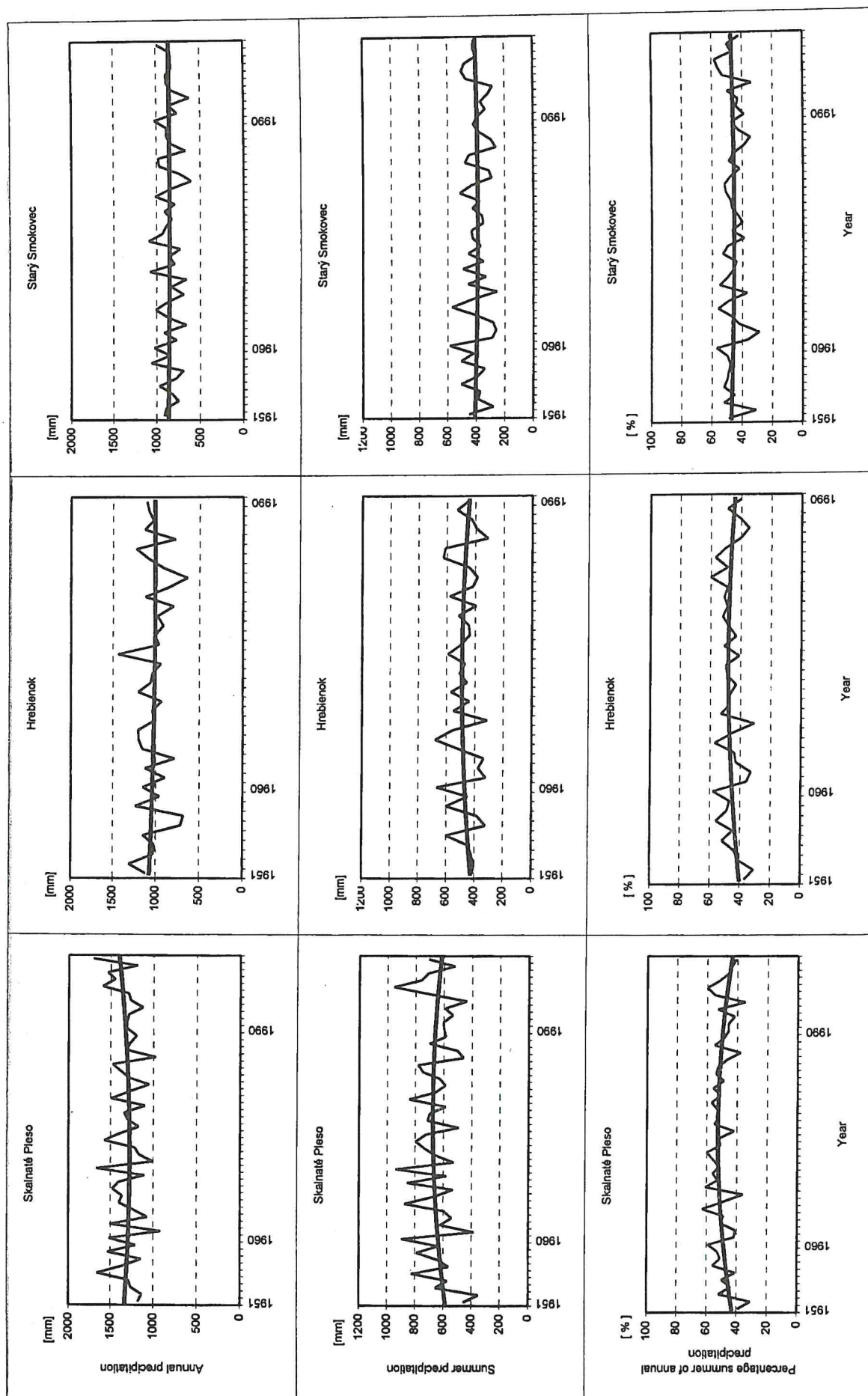


Figure 2c Atmospheric precipitation measured by standard rain-gauge in the period 1901 - 2000
 Obrázok 2c Atmosférické zrážky merané štandardnými žrážkočermi v období 1901 - 2000

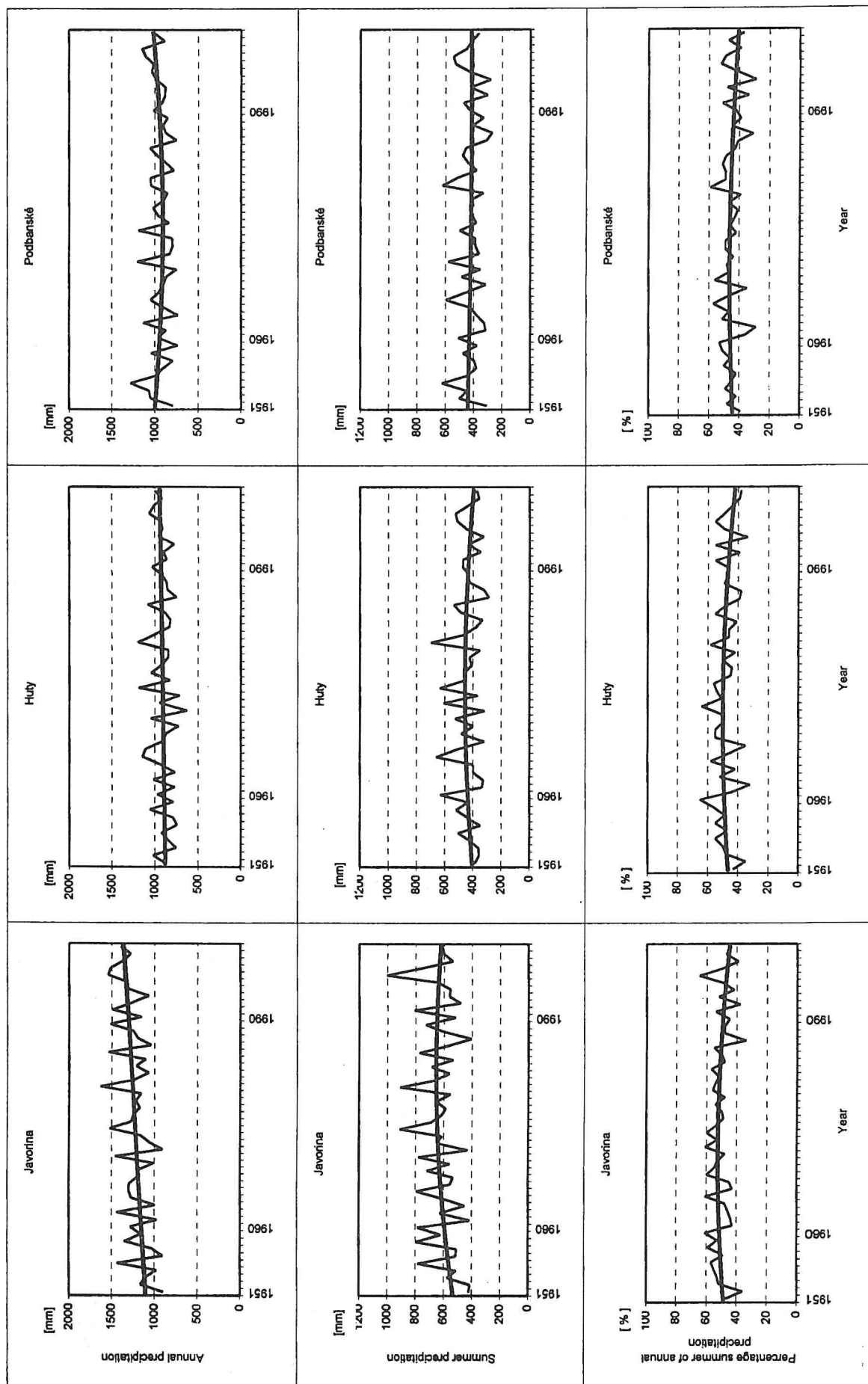


Figure 2d Atmospheric precipitation measured by standard rain-gauge in the period 1901 - 2000
 Obrázok 2d Atmosférické zrážky merané štandardnými žrážkomermi v období 1901 - 2000

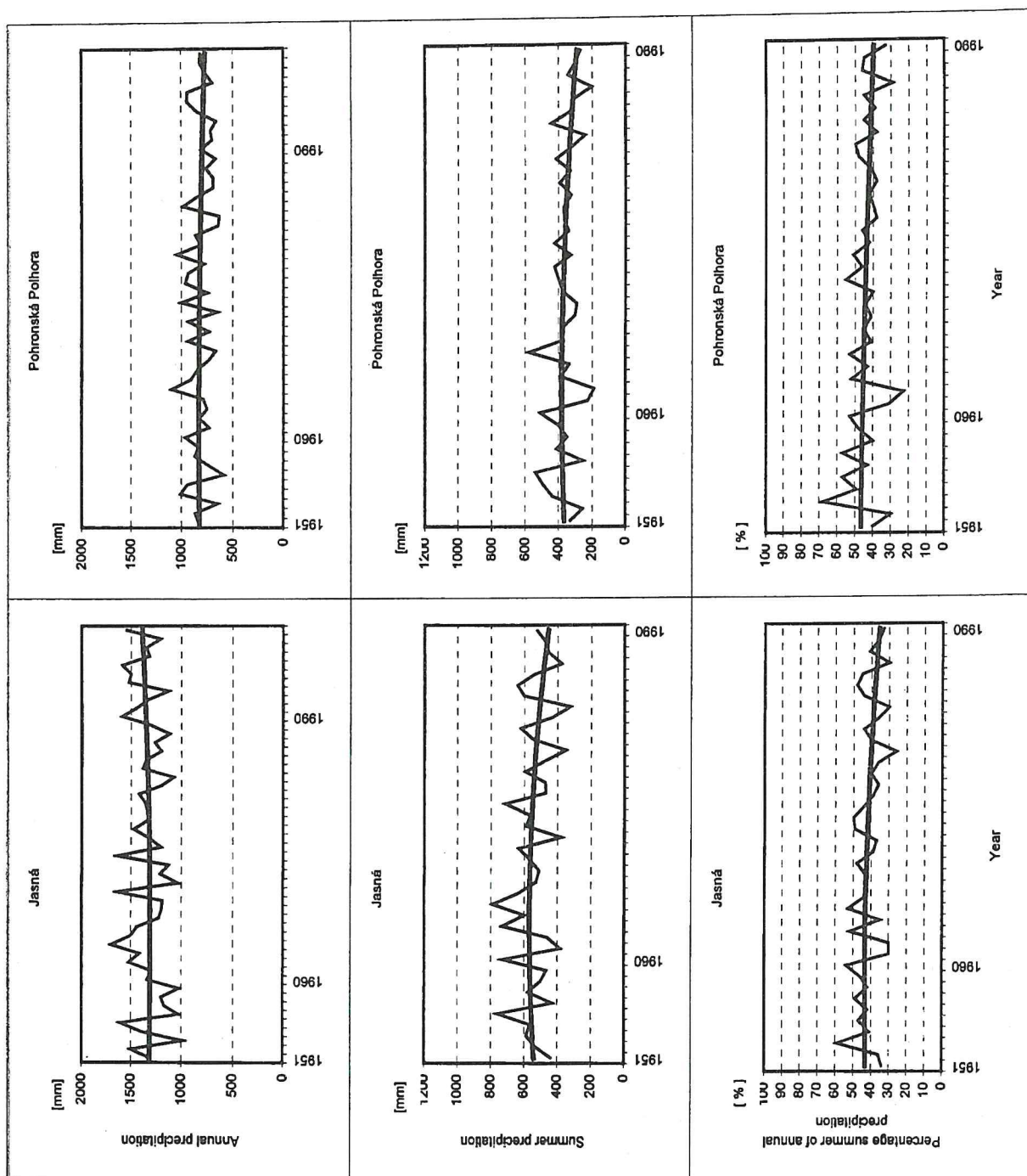


Figure 2e Atmospheric precipitation measured by standard rain-gauge in the period 1901 - 2000
Obrázok 2e Atmosférické zrážky merané štandardnými žrážkomermi v období 1901 - 2000

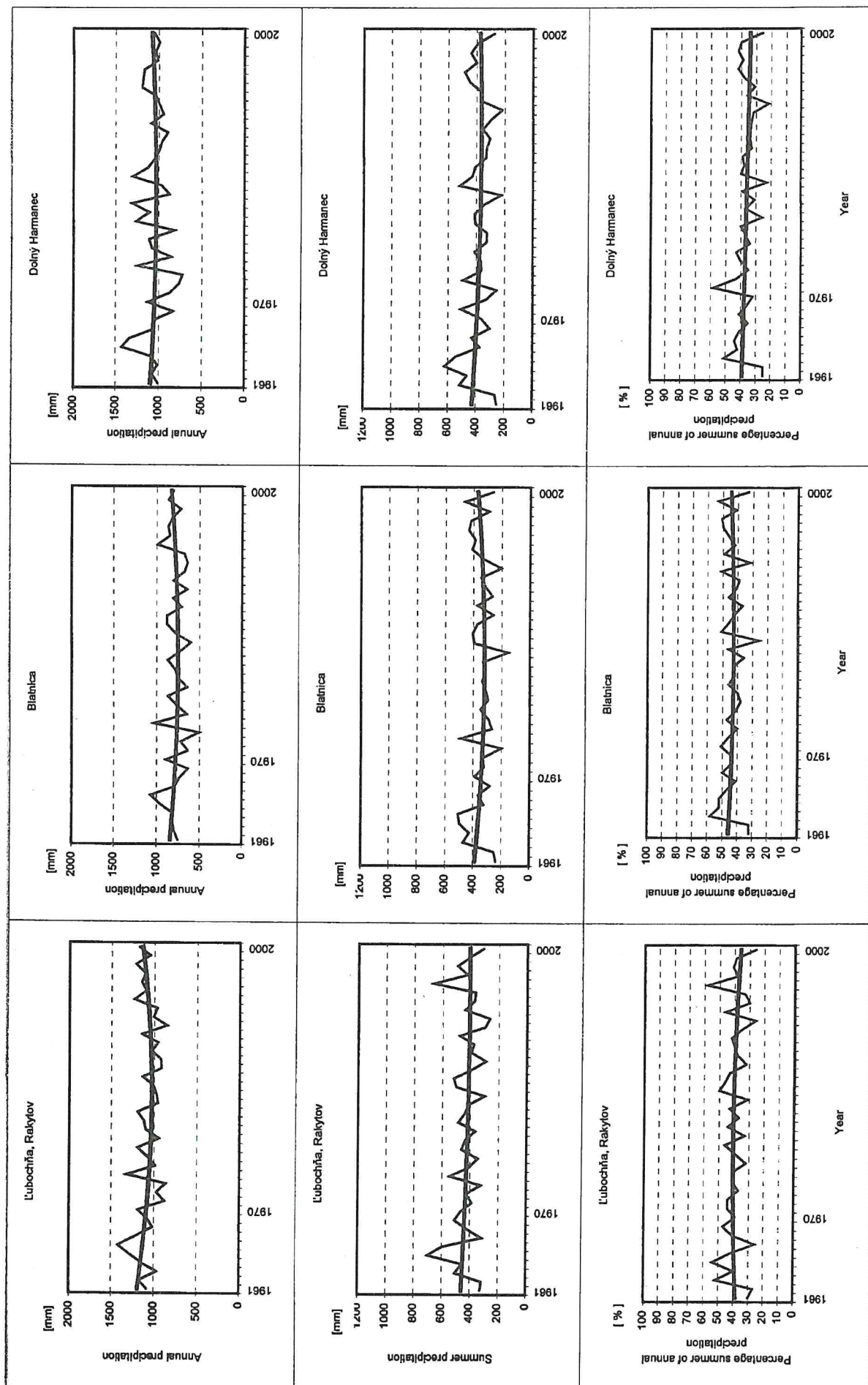


Figure 2F Atmospheric precipitation measured by standard rain-gauge in the period 1901 - 2000
 Obrázok 2F Atmosférické zrážky merané štandardnými žrážkomermi v období 1901 - 2000

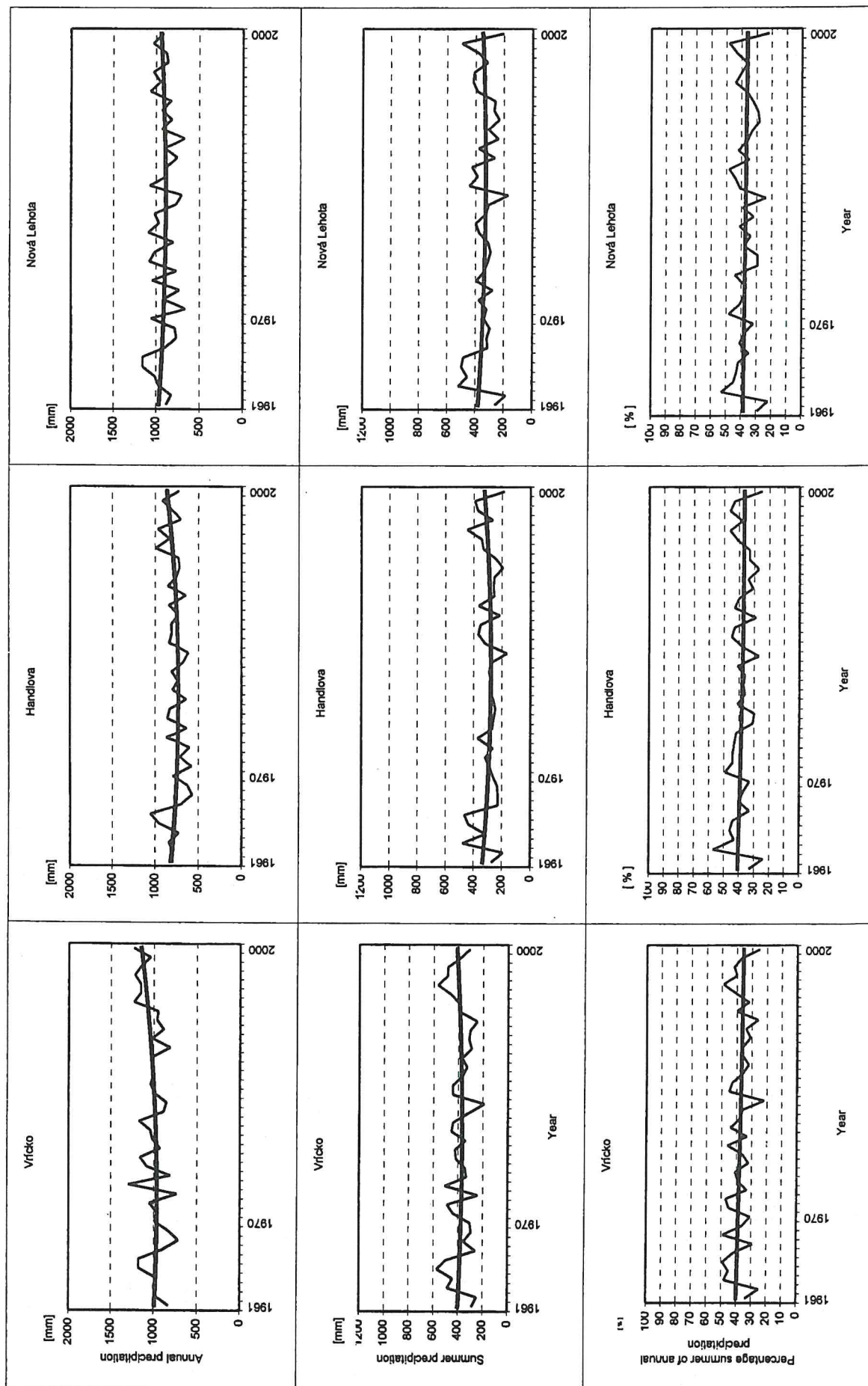


Figure 2a Atmospheric precipitation measured by standard rain-gauge in the period 1901 - 2000
 Obrázok 2a Atmosférické zrážky merané štandardnými žrážkomermi v období 1901 - 2000

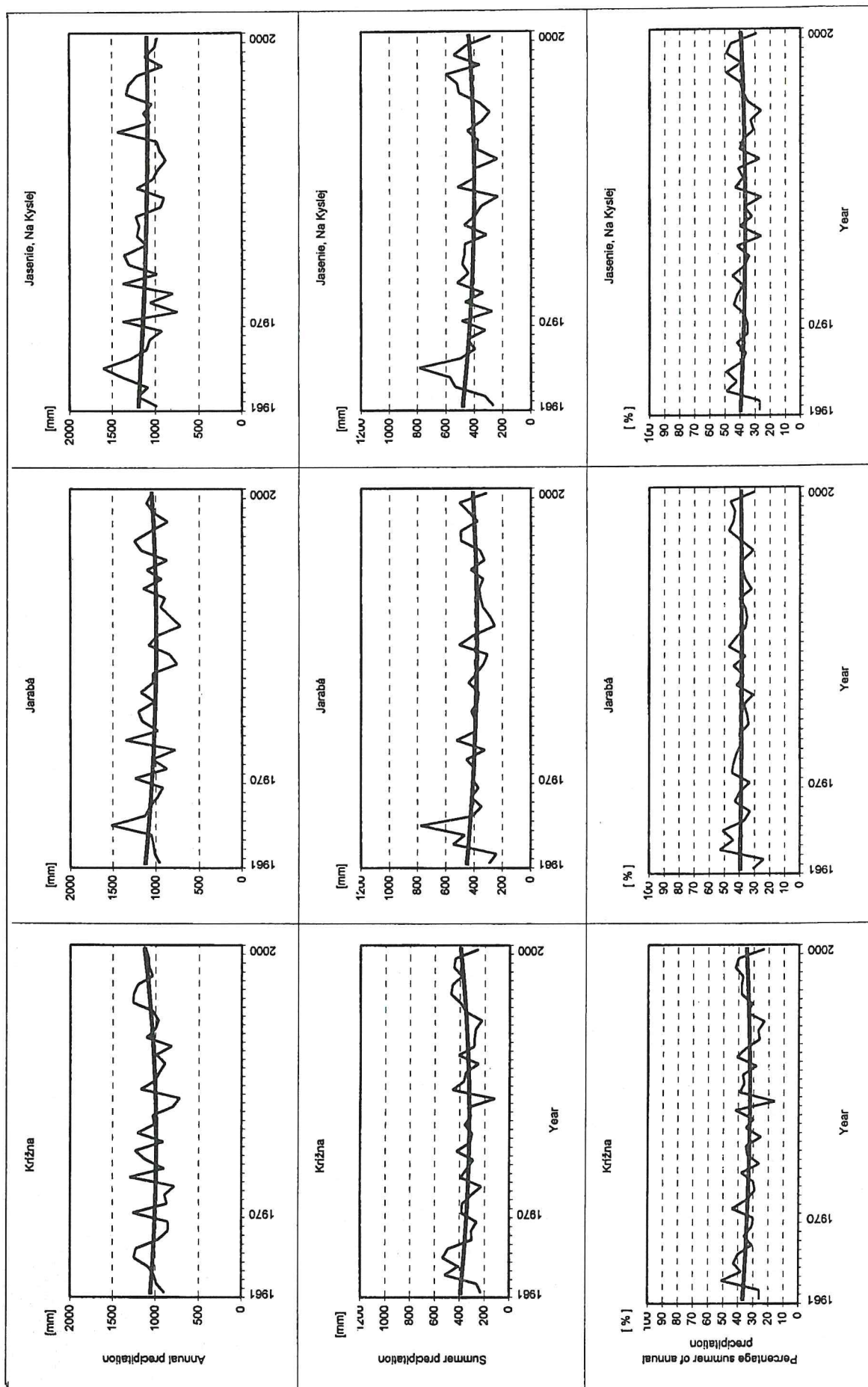


Figure 2h Atmospheric precipitation measured by standard rain-gauge in the period 1901 - 2000
 Obrázok 2h Atmosférické zrážky merané štandardnými žrážkomermi v období 1901 - 2000

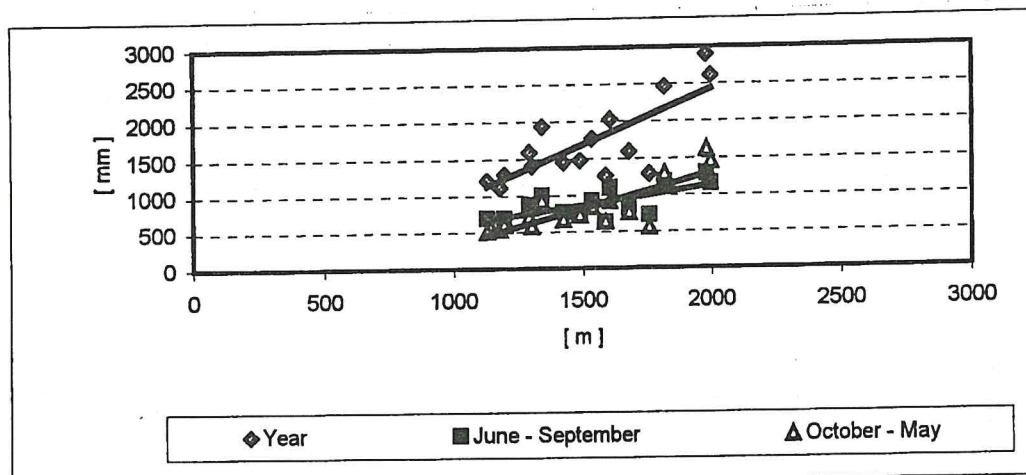


Fig. 3. Linear dependence between precipitation measured by totalizers in the Tatras and elevation above sea-level during the period 1961-2000.

Obr.3. Lineárna závislosť úhrnov zrážok meraných totalizátormi v Tatrách od nadmorskej výšky za obdobie 1961-2000.

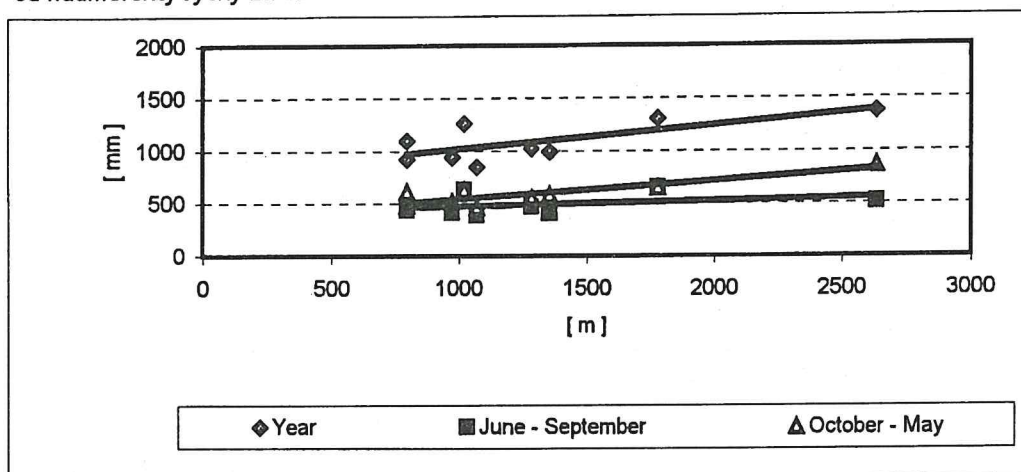


Fig. 4. Linear dependence between precipitation measured by standard raingauge in the Tatras and elevation above sea-level during the period 1961-2000.

Obr.4 Lineárna závislosť úhrnov zrážok meraných zrážkomermi v Tatrách od nadmorskej výšky za obdobie 1961-2000.

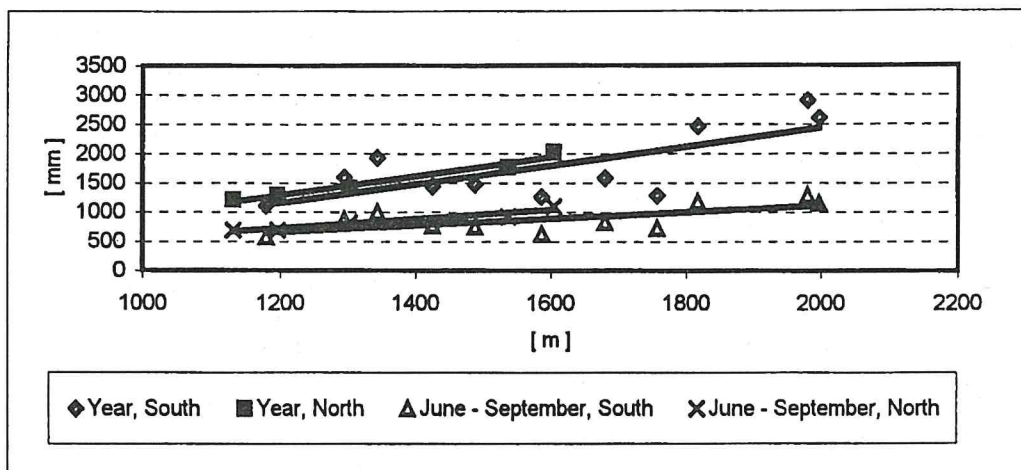


Fig. 5. Linear dependence between precipitation measured by totalizers (in the South and in the North of the Tatras) and elevation above sea-level during the period 1961-2000.

Obr.5 Lineárna závislosť úhrnov zrážok (na južnej a severnej strane Tatier) meraných totalizátormi od nadmorskej výšky za obdobie 1961-2000.

VPLYV ZMENY VEGETAČNEJ POKRÝVKY NA HYDROLOGICKÝ REŽIM HORSKÉHO POVODIA

*Zdeněk Kostka, Ladislav Holko,
Experimentálna hydrologická základňa, ÚH SAV, Liptovský Mikuláš,
holko@svslm.sk, kostka@svslm.sk*

Úvod

Cieľom tejto práce bolo posúdenie zmien odtoku v horskom povodí Jaloveckého potoka v Západných Tatrách spôsobených zmenami vegetačnej pokrývky. Ako nástroj bol použitý distribuovaný, fyzikálne založený zrážkovo-odtokový matematický model WaSiM-ETH (Schulla, 1997) s denným krokom simulácie. Okrem zmien odtoku sme posudzovali aj zmenu evapotranspirácie, výparu z intercepce a vodnej hodnoty snehovej pokrývky.

Pri odhade možného vplyvu zmeny vegetácie na priebeh hydrologických procesov v horskom povodí sme použili nasledovný postup:

- predpoveď pravdepodobných dôsledkov zmeny vegetácie na základe doterajších výsledkov výskumu v experimentálnych povodiach
- zhnutie odhadov dôsledkov klimatickej zmeny na zmenu vegetačných stupňov vykonaných inými odborníkmi pre podmienky Slovenska
- kalibrácia a verifikácia distribuovaného matematického modelu WaSiM-ETH s historickými údajmi z obdobia hydrologických rokov 1989-2000
- použitie nakalibrovaného modelu so zmenenými klimatickými vstupmi (zrážky, teplota vzduchu) pre rôzne klimatické scenáre a časové horizonty a zmenenými charakteristikami vegetácie
- vyhodnotenie zmien priebehu hydrologických procesov

Vplyv vegetácie na hydrologický cyklus v povodí sa prejavuje najmä pri interpcii, evapotranspirácii a tvorbe odtoku (reakcii povodia na zrážky alebo topenie snehu). Tieto javy boli predmetom intenzívneho výskumu, o výsledky ktorého sa možno oprieť aj pri predbežnom odhade možných následkov zmeny prirodzenej vegetačnej pokrývky spôsobenej klimatickou zmenou. Najviac poznatkov o vplyve vegetácie na hydrologické procesy bolo získaných pri výskume vplyvu hospodárenia v zalesnených povodiach.

Bosch a Hewlett (1982) spracovali výsledky z 94 experimentov vykonaných v malých, väčšinou párových povodiach na celom svete, v ktorých boli študované dôsledky zmeny vegetačnej pokrývky na odtok. Všeobecné závery sú nasledovné:

- redukcia lesa zvyšuje odtok
- zalesnenie znižuje odtok
- reakcia povodia na odlesnenie alebo zalesnenie je veľmi variabilná

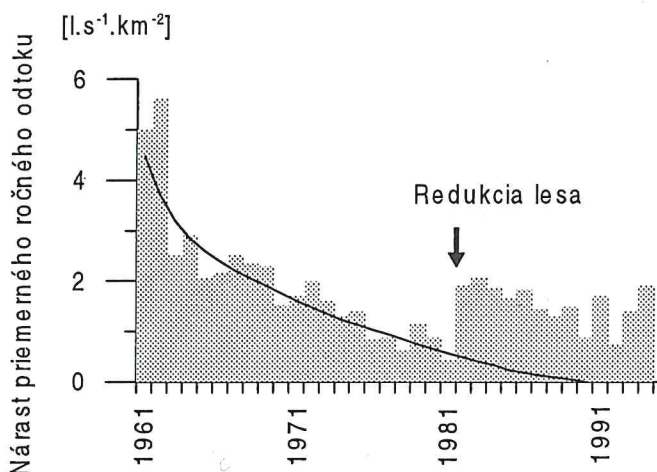
Okrem jednej výnimky viedla redukcia lesa vždy k rastu odtoku. Veľkosť rastu odtoku bola najvyššia pri redukcii ihličnatého lesa a znižovala sa pre listnatý les a krovinatý porast. Zmena borovicového lesa v priemere spôsobila zmenu odtoku o 40 mm, listnatého lesa o 25 mm, krovinatého porastu o 10 mm na každých 10% zmeny vegetačnej pokrývky. Zalesnenie predtým riedko porasteného územia viedlo k zníženiu odtoku. Redukcia lesného porastu sa pri väčšine experimentov vykonávala na väčšine plochy povodia. Autori tvrdia, že pri redukcii lesa menšej ako 20%, sa zmena odtoku ťažko dá zaznamenať meraním prietoku v potoku. Najväčšie zmeny v odtoku boli zaznamenané v oblastiach bohatých na zrážky, ale vplyv redukcie lesa v týchto oblastiach trval kratšie kvôli rýchlemu rastu novej vegetácie.

Zvýšenie odtoku ako reakcie na odstránenie lesa (a tým spôsobenej menšej transpirácii) bolo publikované aj v ďalších prácach. Seuna (1999) kvantifikoval vplyv výrubu stromov, ktorý je vo Fínsku jednou z dvoch najvýznamnejších činností vykonávaných v zalesnených povodiach. Rúbanie stromov zvýšilo celkový odtok z povodia o 5-10 mm na 10 m³/ha odstráneného dreva. Jarné maximum odtoku (počas topenia snehu) sa zvýšilo o 0,5-0,8% na 1% vyrúbaného lesa, letné maximum sa zvýšilo o 0,3-1% na 1% vyrúbaného lesa. Letné minimum odtoku kleslo výrazne, ale iba na krátku dobu. Typický priebeh odtoku z povodia po odstránení lesa je znázornený na obr. 1.

Caspary (1990), poukázal pri výskume ústupu lesa z hrebeňových častí v severnej časti Čierneho lesa na to, že zmena odtoku z povodia následkom zníženej transpirácie môže indikovať poškodenie lesa aj v prípade, keď poškodenie lesa, ktoré sa prejavuje stratou asimilačných orgánov, nie je ešte zreteľné.

Intercepcia pre rôzne lesné porasty môže dosahovať vysoké hodnoty a je predmetom záujmu už približne celé storočie (Horton, 1919). Kantor (1983) uvádza, že intercepcia smrekového porastu sa podľa rôznych autorov pohybuje medzi 25% a 41%, pričom jej hodnota sa mení podľa intenzity a trvania zrážok. Výsledky Valtýniho (1986) ukázali veľkú variabilitu intercepcie vzhľadom na stanovište (nadmorskú výšku). Buk mal pritom nižšiu intercepciu ako smrek. Intercepcia listnatého lesa je všeobecne nižšia ako intercepcia ihličnatého lesa. Hodnoty intercepce trávnatých porastov, uvádzané v literatúre, sa pohybujú vo veľmi širokých medziach. Napríklad Peschke et al. (1999) uvádzajú hodnoty od 5% do 10% v závislosti od intenzity a trvania zrážok. Viessman et al. (1989 in Singh, 1992) publikoval hodnoty intercepce rôznych druhov tráv od 14% do 60%.

Transpirácia lesných porastov tiež nie je jednoznačná. Kantor (1989) na základe spracovania poznatkov z 80 prác uvádza, že smrek má síce nižšiu transpiráciu z asimilačných orgánov ako buk, ale oveľa vyššiu biomasu ihličia, preto rozdiely vo fyziologickom výpare ihličnatého a listnatého lesa nemusia byť výrazné. Smrekový les spotrebuje v našich podmienkach cca 440-620 mm vody za rok (Kantor, 1990). Spotreba bukového lesa je nižšia.



Obr. 1 Zmena priemerného ročného odtoku po redukcii lesa v povodí Huhtisuonoja (Seuna, 1999)

Okrem výskumu v párových povodiach je ďalším dôležitým zdrojom informácií o vplyve vegetácie na hydrologický režim aj výskum vodnej bilancie v experimentálnych povodiach. Zhang et al. (2001) sa zaoberali zmenou priemernej ročnej evapotranspirácie spôsobenou zmenami vegetácie v povodí. Kľúčovými faktormi pre evapotranspiráciu sú intercepcia, radiácia, advekcia, turbulentný prenos energie, plocha listov a množstvo vody dostupnej rastline. Relatívny vplyv týchto zložiek závisí od klimatických, pôdných a vegetačných podmienok. Počas suchých podmienok má najväčší význam dostupná voda a drsnosť povrchu porastu, počas vlhkých podmienok je to advekcia, radiácia, plocha listov a turbulentný transport. Výsledky z 250 povodí z celého sveta ukazujú, že pre daný typ lesa existuje dobrý vzťah medzi dlhodobou evapotranspiráciou a zrážkami, potenciálnou evapotranspiráciou a dostupnou vodou. Autori odviedli vzťah, ktorý umožňuje určenie dlhodobej evapotranspirácie, ak sú k dispozícii údaje o zrážkach a potenciálnej evapotranspirácii. Vzťah rozviedli aj pre povodia s rôznym rozsahom lesa a trávnatých porastov. Napriek zložitosti vzťahov pôda-vegetácia-atmosféra sa zdá, že najdôležitejšími faktormi, ktoré určujú priemerný ročný výpar, sú ročné zrážky, potenciálna evapotranspirácia a typ vegetácie. Vzťah, ktorý Zhang et al. vyvinuli, predpokladá, že pre tie isté klimatické podmienky je dlhodobá priemerná ročná evapotranspirácia kontrolovaná najmä charakteristikou vegetácie, tzv. dostupnosťou vody, ktorá charakterizuje ako môže daný druh vegetácie (stromy, bylinný porast) využívať vodu prítomnú v pôdnom profile.

Potenciálna reakcia vegetácie na klimatickú zmenu a zvýšený obsah CO_2 zahŕňa mnoho procesov od fotosyntézy po priestorové a časové rozdelenie druhov v kontinentálnej a globálnej mierke. Vegetácia bude reagovať na zmenené prírodné pomery dlhodobo. V globálnej mierke asi 50% územia zmení vegetačnú pokrývku (Smith et al., 1992). Boreálna zóna sa na severnej pologuli posunie na sever a bude nahradená trávnatým porastom. Efektívnosť odberu vody koreňmi rastlín sa pri vyšších obsahoch CO_2 v atmosfére zvýši a rovnako sa môže zvýšiť produkcia biomasy. V horských oblastiach môže dôjsť k výškovej expanzii podmienok existujúcich v súčasnosti v nižších nadmorských výškach, čím by sa zmenila výška hornej hranice lesa. Ozenda a

Borel (1989) napríklad predpokladajú, že rast teploty vzduchu o 1 °C spôsobí v Alpách posun vegetačných pásiem o cca 180 m.

Jedným z kritických mechanizmov analýzy nožnej zmeny klímy na vegetáciu a následne hydrologické pomery povodí je spätná väzba (Kite, 1993, Nachtnebel, 1998). Spätná väzba pri klimatickej zmene znamená, že sa nezmení iba teplota a zrážky, ale napríklad aj rozdelenie typov územia (ľadovce, večne zamrznutá pôda), povrchové procesy ako zvetrávanie, erózia, stabilita svahov, pôdne procesy a charakteristiky ako drenážna kapacita, infiltrácia, hydraulická vodivosť a kvalita pôd, produkcia biomasy, diverzita populácie, migrácia, atď. (Kite, 1993). Vegetácia má hlavný vplyv na mikroklimu. Zmena vegetácie môže vyvolať zníženie evapotranspiráciu, zvýšenie eróziu a degradáciu kvality vody. Zmenená evapotranspirácia spätne ovplyvní režim zrážok a teploty. Zmenený režim zrážok a teploty spôsobí zmeny v snehovej pokrývke, napríklad aj zmenu albeda. Zmena albeda spôsobí zmenu energetickej bilancie, čo zasa spätne vplýva na infiltráciu a hydraulickú vodivosť a následne opäť na vegetáciu. Predpokladá sa, že očakávaný zvýšený obsah CO₂ v atmosfére spôsobí zníženie stomatálnej vodivosti rastlín, čo bude viesť k zníženiu transpirácie a zvýšeniu odtoku. Na druhej strane zníženie stomatálnej vodivosti pri zvýšenom obsahu CO₂ môže vyvolať zvýšenie indexu listovej plochy (produkcie biomasy), takže výsledná zmena evapotranspirácie môže byť malá. Mechanizmy spätnej väzby zatiaľ nevystupujú v modeloch, ktoré sa používajú pri odhade dopadu klimatickej zmeny na hydrologický režim horských povodí (Nachtnebel, 1998).

Možnými zmenami vegetácie na Slovensku v dôsledku klimatickej zmeny sa zaoberalo viacero autorov, súhrnne najmä v rámci Národného klimatického programu SR (Ďurský, 1995; Národný klimatický program SR, 5/1996). Opäť platí, že nie je možné jednoznačne určiť charakteristiky vegetácie v zmenených klimatických podmienkach a výskum poukazuje na široké spektrum možných reakcií. Smrek, ktorý má v podmienkach Jaloveckého potoka najväčšie zastúpenie, však býva často označovaný za najcítlivejšiu drevinu, spomína sa zaniknutie existenčných podmienok alpských spoločenstiev a výškový posun vegetačných stupňov zhruba o 200 m smerom nahor. Z týchto odhadov sme vychádzali pri určení alternatívnych charakteristík vegetácie pre povodie Jaloveckého potoka.

Metodický postup

Pri odhade vplyvu zmeny vegetácie spôsobenej klimatickou zmenou na priebeh hydrologických procesov v povodí Jaloveckého potoka bol použitý fyzikálne založený matematický model WaSiM-ETH (Water Balance Simulation Model). Model bol vyvinutý na simuláciu vodnej bilancie a prietoku pre denný alebo kratší časový interval a je schopný reprezentovať rýchlu hydrologickú odozvu typickú pre subalpínske a alpínske povodia (Grabs, 1997). V tejto práci bola použitá distribuovaná verzia modelu, v ktorej sa dynamika pôdnej vody rieši Richardsovými rovnicami. Potenciálna a aktuálna evapotranspirácia je počítaná podľa Penman-Montheitha. Akumulácia a topenie snehu sa počíta kombinovanou metódou podľa Andersona (1973). Infiltrácia je počítaná podľa vzťahu Greena a Amptu metódou upravenou Peschkem (in Dyck, 1983). Vstupné údaje pre model pozostávajú z časových radov klimatických údajov a z rastrových máp s charakteristikami povodia. Ako základné klimatické údaje boli použité denné zrážky, teplota a vlhkosť vzduchu, rýchlosť vetra, slnečné žiarenie a oblačnosť. Priestorové vlastnosti povodia boli charakterizované rastrovými mapami (s veľkosťou štvorca 100 m) digitálneho modelu reliéfu, vegetácie, pôdnych druhov, expozície a sklonu svahov, nasýtenej hydraulickej vodivosti a využiteľných zásob vody. Merané hodnoty odtoku z povodia, vodnej hodnoty snehovej pokrývky a vlhkosti pôdy a vodná bilancia boli použité pri kalibrácii modelu.

V tabuľke 1 sú uvedené parametre vegetácie pre niektoré typy využitia krajiny podľa literatúry zaoberajúcej sa modelovaním hydrologických procesov a vplyvom vegetácie (Schulla, 1997). Parametre vegetačných typov použitých pri modelovaní priestorového rozdelenia vlhkosti pôdy modelom WaSiM-ETH vychádzajú z citovaných údajov, pričom niektoré vlastnosti boli upresnené na základe empirických pozorovaní a prieskumov alebo z porastových máp. Výraznejšie sa líši najmä hĺbka koreňového systému lesného porastu, ktorý je v experimentálnom povodí reprezentovaný prevažne smrekom a ktorého koreňový systém dosahuje 30 až 40 cm. Podobné hodnoty uvádza aj Tužinský (1990), podľa ktorého smrekové porasty majú takmer všetku hmotu koreňov sústredenú v povrchovej vrstve do 30 cm, pričom k maximálnej desukcii dochádza do hĺbky 10 cm, na rozdiel od listnatých porastov, kde sa maximálna desukcia prejavuje v hĺbke 30 - 70 cm. Hodnoty hĺbok koreňového systému ihličnatého lesa (1,4 m) uvádzané v tabuľke 1 sú platné skôr pre borovicový les, ktorého zastúpenie v povodí Jaloveckého potoka je zanedbateľné.

Kalibrácia modelu s denným krokom pre povodie Jaloveckého potoka bola vykonaná pre vstupné údaje z hydrologických rokov 1996-2000 na základe porovnania simulovaného a meraného prietoku, vlhkosti pôdy a vodnej hodnoty snehu. Verifikácia modelu s parametrami určenými počas kalibrácie bola vykonaná s údajmi z hydrologických rokov 1989-1995.

Tabuľka 1: Hodnoty parametrov vegetačnej pokrývky a krajinných typov podľa SCHULLA (1997)

Kód	Typ	Albedo	Povrchové odpory (mesačné hodnoty)											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	ihličnatý les	0.12	80	80	75	65	55	55	55	55	55	75	80	80
2	listnatý les	0.17	100	100	95	75	65	65	65	65	65	85	100	100
3	zmiešaný les	0.15	90	90	85	70	60	60	60	60	60	80	90	90
4	tráva	0.25	90	90	75	65	50	55	55	55	60	70	90	90
5	kosodrevina	0.12	80	80	70	70	50	50	50	55	55	70	80	80
6	bralá	0.12	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250

Kód	Deň				Index listovej plochy				Ef. výška porastu [m]				Pokryvnosť pôdy				Hĺbka koreňov [m]			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	110	150	250	280	8	12	12	8	10	10	10	10	0.9	0.9	0.9	0.9	1.2	1.2	1.2	1.2
2	110	150	250	280	0.5	8	8	0.5	0.3	10	10	0.3	0.7	0.95	0.95	0.7	1.4	1.4	1.4	1.4
3	110	150	250	280	2	10	10	2	3	10	10	3	0.8	0.92	0.92	0.8	1.3	1.3	1.3	1.3
4	110	150	250	280	2	4	4	2	0.15	0.4	0.3	0.15	0.95	0.95	0.95	0.95	0.4	0.4	0.4	0.4
5	110	150	250	280	3	5	5	3	1.5	2.5	2.5	1.5	0.9	0.95	0.95	0.9	0.5	0.5	0.5	0.5
6	110	150	250	280	1	1	1	1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.8	0.8	0.8	0.8	0.1	0.1	0.1	0.1

Na základe získaných scenárov zmien zrážok a teploty vzduchu pre časové horizonty 2010, 2030 a 2075 sme upravili pôvodné vstupné údaje (zrážky a teplotu vzduchu z obdobia 1989-2000) a s týmito údajmi sme vykonali niekoľko simulácií pre celé obdobie 12 hydrologických rokov pre rôzne scenáre vegetačných pomerov v povodí:

- zmenené klimatické pomery, nezmenené vegetačné pomery
- zmenené klimatické pomery, trávnatý porast v celom povodí
- zmenené klimatické pomery, ihličnatý les v celom povodí
- zmenené klimatické pomery, listnatý les v celom povodí
- zmenené klimatické pomery, zmiešaný les s posunutou hornou hranicou (do 1800 m n.m.), nad touto hranicou ihličnatý les, bez pásma lúk

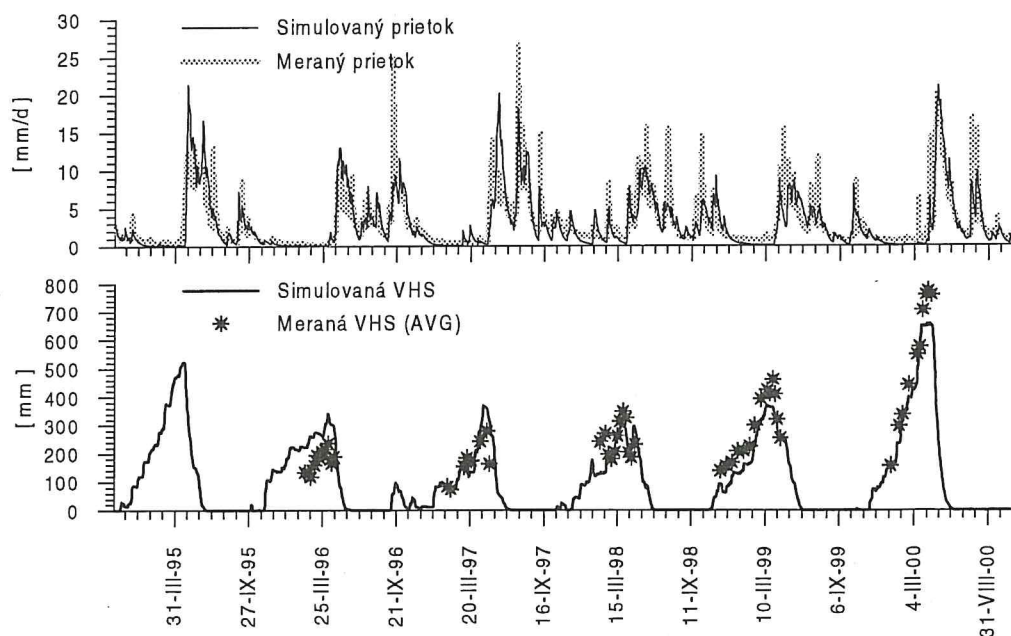
Klimatické pomery boli zmenené podľa scenárov CCCMprep a GISS pre časové horizonty 2010, 2030 a 2075. Takto bolo získaných spolu 34 súborov výstupných údajov (Tab. 2), ktoré sme porovnali s výsledkami simulácie pre nezmenené klimatické a vegetačné pomery.

Simulácie boli vykonané v povodí Jaloveckého potoka. Povodie má plochu 22,2 km², priemernú výšku 1500 m n.m. a priemerný sklon 30° svahov (Kostka a Holko, 2000). Metamorfované horniny tvoria 48%, grani-toidy 21%, kvartérne sedimenty 24%, dolomity a vápence mezozoika 7% povodia. Pôdy vykazujú vertikálnu zonálnosť ovplyvnenú reliéfom, klímou a vegetáciou. Vertikálna zonálnosť pôd na silikátových horninách v Západných Karpatoch je charakteristická pravidelnou sériou: kambizeme, podzol, rankre a litozeme. V oblastiach s mezozoickými karbonátovými horninami sa vyskytujú rendziny. V najvyšších polohách sa objavujú kamenisté pôdy (litozeme). Najväčšiu plochu povodia pokrývajú lesy s prevahou smreka (44%), pričom lesné pásmo prechádza vo výške 1500 - 1600 m n.m. do pásma kosodreviny. Kosodrevina pokrýva 31% plochy povodia, pričom jej horná hranica dosahuje v priemere 1800 m n.m., ale lokálne sa môže vyskytovať už od nadmorskej výšky 1200 až do 1900 m a vyššie. Plocha lúk je 21 % a plocha holého povrchu (bralá) je približne 4 %.

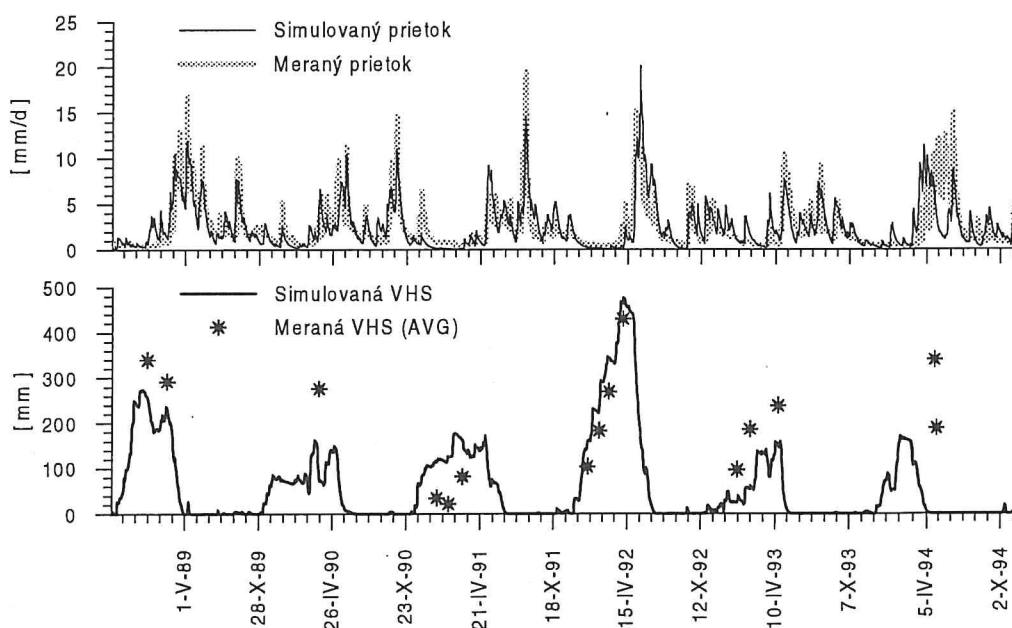
Výsledky

Kalibrácia a verifikácia modelu WaSiM-ETH je znázornená na obr. 2 a 3. Pri kalibrácii a verifikácii modelu v podmienkach Jaloveckého potoka boli okrem prietoku v záverečnom profile porovnávané výstupné mapy vodnej hodnoty snehu a mapy obsahu vody v koreňovej zóne pôdy s hodnotami príslušných meraných veličín na jednotlivých meraných lokalitách v teréne.

Porovnanie odtoku z povodia, aktuálnej evapotranspirácie, výparu z intercepce a vodnej hodnoty snehovej pokrývky sú na obrázkoch 4 až 7 kvôli prehľadnosti uvádzané nie ako denné, ale ako mesačné hodnoty. Medzi scenármi CCCMprep a GISS vo všeobecnosti neboli veľké rozdiely.



Obr. 2 Výsledky kalibrácie modelu WaSiM-ETH



Obr. 3 Výsledky verifikácie modelu WaSiM-ETH

Simulácie odtoku z povodia sú znázornené na obr. 4. Vplyv klimatickej zmeny sa v porovnaní so súčasnosťou prejavil poklesom odtoku v letných mesiacoch a rastom odtoku a v jesenných a zimných mesiacoch. Podľa očakávania boli najvýraznejšie zmeny v časovom horizonte 2075. V tomto horizonte je dobre pozorovateľný najmä výrazný pokles prietoku v máji, ktorý súvisí so skorším roztopením snehovej pokrývky.

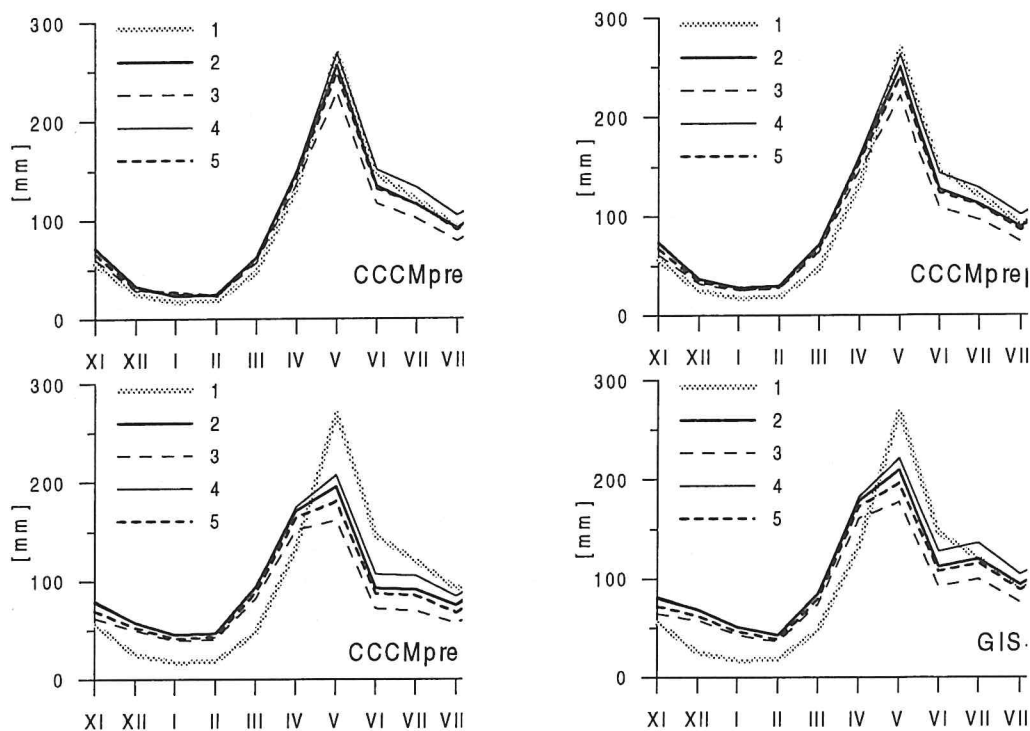
Zmena vegetačných charakteristík sa prejavila aj na simulovanom odtoku. Najväčší odtok bol simulovaný pre scenár, ktorý obsahoval predpoklad o listnatom lese v celom povodí. Druhý najvyšší odtok bol simulovaný pre scenár s trávnatým porastom v celom povodí. Podobný priebeh mala pre časové horizonty 2010 a 2030 simulácia s prepokladaným posunom hranice lesa (zmiešaného) a výskytom ihličnatého lesa nad hranicou zmiešaného lesa. Najmenší odtok bol simulovaný pre predpoklad existencie ihličnatého lesa v celom povodí. Pokles letného odtoku pre časový horizont 2075 vzhľadom na súčasnosť bol predovšetkým spôsobený zmenou klimatických pomerov, ktorá dominovala nad vplyvom zmeny vegetácie. Výskyt maxima odtoku v roku by sa podľa výsledkov simulácií nezmenil a pripadal by na máj rovnako ako v súčasnosti.

Aktuálna evapotranspirácia (obr. 5) bola najvyššia pre ihličnatý les zabierajúci celú plochu povodia, najnižšia pre listnatý les v celom povodí. Pre časové horizonty 2010 a 2030 bola aktuálna evapotranspirácia vyššia ako evapotranspirácia v súčasných podmienkach iba pre scenár s ihličnatým lesom v celom povodí (s výnimkou horizontu 2075, kde bola vyššia aj evapotranspirácia pre scenár s posunutým zmiešaným lesom a ihličnatým lesom v najvyšších častiach povodia). Zaujímavá je zmena časového priebehu aktuálnej evapotranspirácie – kým v súčasných podmienkach je približne rovnako veľká evapotranspirácia rozložená do niekoľkých mesiacov (máj-august), pre niektoré simulované scenáre bolo vypočítané maximum výraznejšie v auguste.

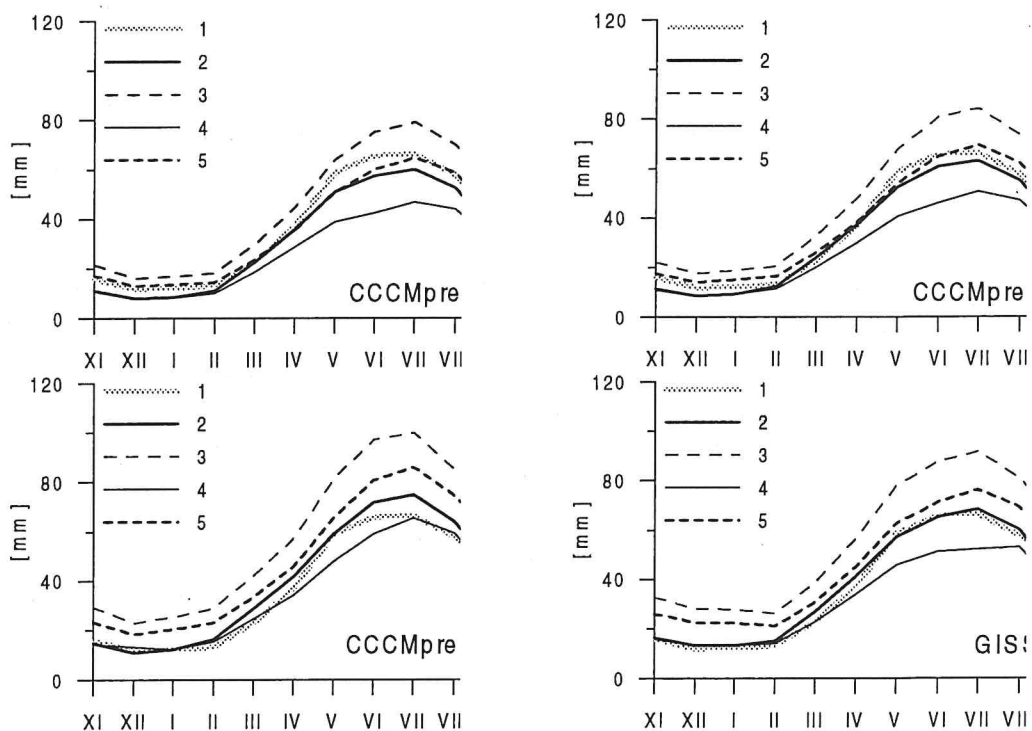
Výpar z intecepce (obr. 6) zreteľne ukazuje rozdiely medzi jednotlivými druhmi vegetácie, pokiaľ ide o veľkosť aj časový priebeh. Najväčšia intercepcia bola z ihličnatého lesa, najmenšia z listnatého lesa. Pri scenári s posunutím hornej hranice lesa je simulovaná intercepcia nižšia ako v súčasných podmienkach, okrem časového horizontu 2075, kedy sa v jarých mesiacoch oproti súčasnosti zvýšila.

Vodná hodnota snehovej pokrývky sa podľa simulácií v dôsledku klimatickej zmeny podstatne zníži, najmä pre časový horizont 2075 (obr. 7). Podľa výsledkov simulácií nastane aj menšia zmena v časovom priebehu vodnej hodnoty snehu – kým v súčasných podmienkach je v marci a apríli takmer rovnaká vodná hodnota snehu rovnajúca sa maximu, pri klimatickej zmene dôjde podľa výsledkov simulácií okrem výrazného zníženia maxima v marci k rýchlejšiemu topeniu snehu, čo spôsobí nižšiu vodnú hodnotu snehu v apríli. Scenár s lúkami v celom povodí má na vodnú hodnotu podobný vplyv ako scenár s listnatým lesom v celom povodí. Scenáre s ihličnatým lesom v celom povodí a s posunutou hranicou lesa viedli k nižším simulovaným vodným hodnotám.

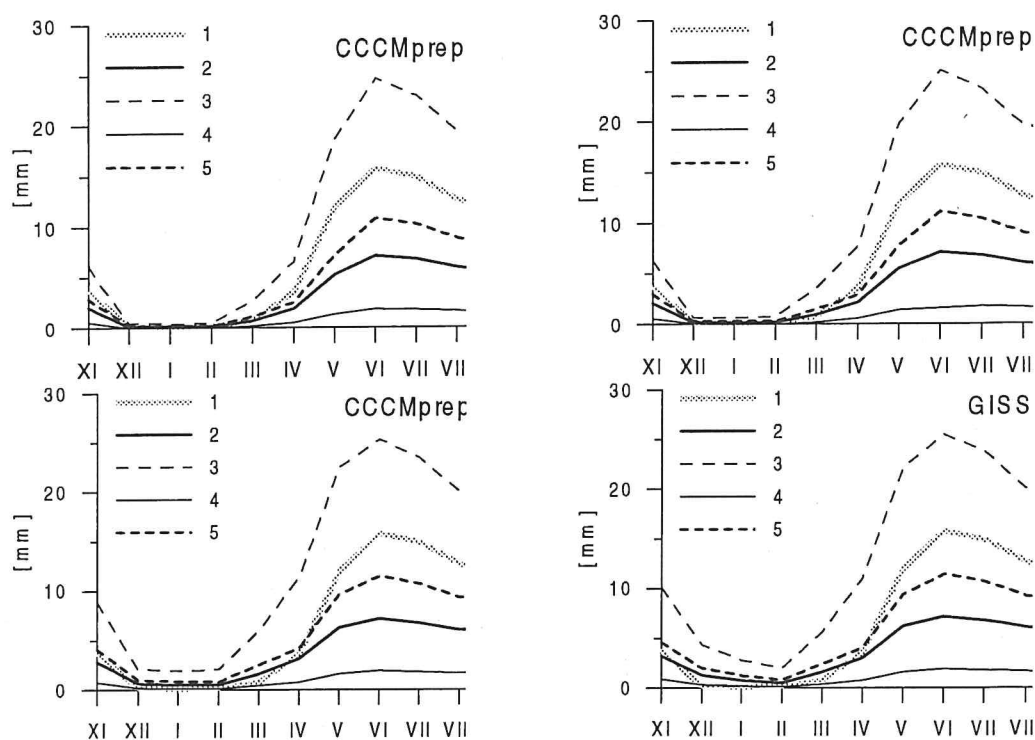
Vplyv rôznych klimatických a vegetačných scenárov na priemerný ročný odtok, aktuálnu evapotranspiráciu a maximálnu vodnú hodnotu snehu je zhrnutý v tabuľke 2. Aktuálna evapotranspirácia sa v porovnaní so súčasnosťou zmenila o -26% až +40%, odtok o -18% až +26%. Zmena klímy bez zmeny vegetačných pomerov sa prejavila rôzne – odtok pre scenáre CCCMprep klesol, pre scenáre GISS stúpol a aktuálna evapotranspirácia vzrástla pre oba klimatické scenáre. Nahradenie súčasnej vegetácie lúkou v celom povodí by spôsobilo pokles evapotranspirácie a rast odtoku, okrem scenárov pre časový horizont 2075. Zalesnenie celého povodia ihličnatým lesom by zvýšilo evapotranspiráciu a znížilo odtok. Listnatý les v celom povodí by oproti súčasnému stavu znamenal menšiu evapotranspiráciu a vyšší odtok okrem časového horizontu 2075, kedy by podľa scenára CCCMprep2075 mohlo dôjsť k malému nárastu evapotranspirácie (o 4% v porovnaní so súčasným stavom). „Najreálnejšia“ zmena vegetačných pomerov (zvýšenie hornej hranice lesa, zmena jeho skladby a nahradenie pásma lúk ihličnatým lesom) by okrem časového horizontu 2075 podľa výsledkov simulácií nemala mať výrazný vplyv na celkový ročný odtok alebo evapotranspiráciu, pričom väčší vplyv bol vypočítaný pre scenáre GISS.



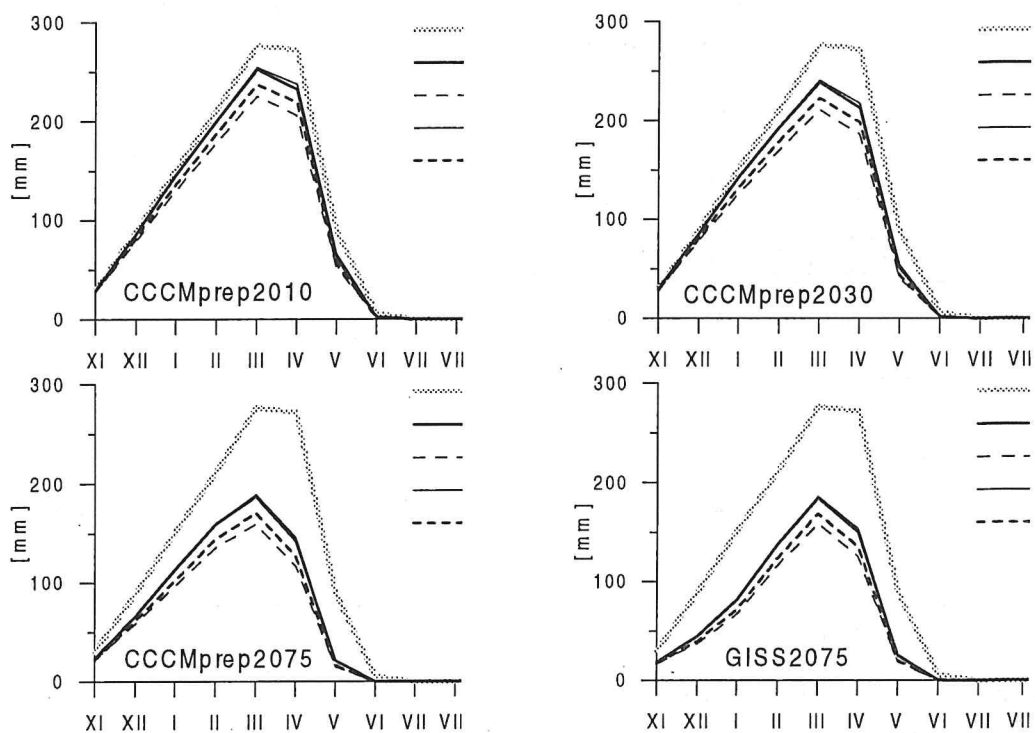
Obr. 4 Výsledky simulácie priemerných mesačných hodnôt odtoku z povodia pomocou modelu WaSiM-ETH pre rôzne klimatické a vegetačné scenáre (1 - súčasný stav, 2 - lúky na celej ploche povodia, 3 - ihličnatý les na celej ploche povodia, 4 - listnatý les na celej ploche povodia, 5 - zmiešaný les do výšky 1800 m n.m. a ihličnatý les vyššie)



Obr. 5 Výsledky simulácie priemerných mesačných hodnôt aktuálnej evapotranspirácie z povodia pomocou modelu WaSiM-ETH pre rôzne klimatické a vegetačné scenáre (1 - súčasný stav, 2 - lúky na celej ploche povodia, 3 - ihličnatý les na celej ploche povodia, 4 - listnatý les na celej ploche povodia, 5 - zmiešaný les do výšky 1800 m n.m. a ihličnatý les vyššie)



Obr. 6 Výsledky simulácie priemerných mesačných hodnôt výparu z intercepce z povodia pomocou modelu WaSiM-ETH pre rôzne klimatické a vegetačné scenáre (1 - súčasný stav, 2 - lúky na celej ploche povodia, 3 - ihličnatý les na celej ploche povodia, 4 - listnatý les na celej ploche povodia, 5 - zmiešaný les do výšky 1800 m n.m. a ihličnatý les vyššie)



Obr.7 Výsledky simulácie priemerných mesačných hodnôt vodnej hodnoty snehu v povodí pomocou modelu WaSiM-ETH pre rôzne klimatické a vegetačné scenáre (1 - súčasný stav, 2 - lúky na celej ploche povodia, 3 - ihličnatý les na celej ploche povodia, 4 - listnatý les na celej ploche povodia, 5 - zmiešaný les do výšky 1800 m n.m. a ihličnatý les vyššie)

Tabuľka 2: Vplyv rôznych klimatických scenárov a scenárov zmien vegetačnej pokrývky na zmenu priemernej ročnej aktuálnej evapotranspirácie a ročného odtoku z povodia (ETA%, Q% - evapotranspirácia a prietok v percentách vzhľadom k priemerným ročným hodnotám z obdobia 1989-2000)

Číslo simulácie	Typ porastu	Klimatický scenár	ETA %	Q %
00	Súčasný stav	Súčasný stav	100	100
01	Súčasný stav	CCCM2010	109	96
02	Súčasný stav	CCCM2030	115	97
03	Súčasný stav	CCCM2075	133	90
04	Súčasný stav	GISS2010	107	105
05	Súčasný stav	GISS2030	112	105
06	Súčasný stav	GISS2075	128	101
07	Len lúka	Súčasný stav	83	112
08	Len lúka	CCCM2010	90	110
09	Len lúka	CCCM2030	94	111
10	Len lúka	CCCM2075	108	107
11	Len lúka	GISS2010	88	118
12	Len lúka	GISS2030	91	119
13	Len lúka	GISS2075	103	118
14	Len ihličnatý les	Súčasný stav	103	95
15	Len ihličnatý les	CCCM2010	113	90
16	Len ihličnatý les	CCCM2030	119	91
17	Len ihličnatý les	CCCM2075	140	82
18	Len ihličnatý les	GISS2010	111	99
19	Len ihličnatý les	GISS2030	116	98
20	Len ihličnatý les	GISS2075	134	93
21	Len listnatý les	Súčasný stav	74	119
22	Len listnatý les	CCCM2010	82	117
23	Len listnatý les	CCCM2030	87	118
24	Len listnatý les	CCCM2075	104	113
25	Len listnatý les	GISS2010	80	125
26	Len listnatý les	GISS2030	84	126
27	Len listnatý les	GISS2075	97	124
28	Zmiešaný les do 1800 m, vyššie ihličnatý les	Súčasný stav	94	106
29	Zmiešaný les do 1800 m, vyššie ihličnatý les	CCCM2010	104	102
30	Zmiešaný les do 1800 m, vyššie ihličnatý les	CCCM2030	110	103
31	Zmiešaný les do 1800 m, vyššie ihličnatý les	CCCM2075	131	95
32	Zmiešaný les do 1800 m, vyššie ihličnatý les	GISS2010	102	111
33	Zmiešaný les do 1800 m, vyššie ihličnatý les	GISS2030	107	111
34	Zmiešaný les do 1800 m, vyššie ihličnatý les	GISS2075	125	106

Diskusia

Pri modelových štúdiách stále platí, že odhad klimatickej zmeny je analýzou citlivosti, nie predpoveďou (EOS, 1994). Rovnako je to aj v prípade odhadu vplyvu zmeny vegetačných pomerov na hydrologický režim povodia. Simulovaný vplyv na odtok, evapotranspiráciu, výpar z intercepcie a snehovú pokrývku, ktorý bol získaný pre povodie Jaloveckého potoka pomocou modelu WaSiM-ETH, je v súlade s doterajšími poznatkami získanými experimentálnym výskumom v párových povodiach. Najväčšie neistoty sú spojené s odhadom skutočných vegetačných pomerov, ktoré môžu v povodí nastať v dôsledku klimatickej zmeny a spätnej väzby medzi zmenami klimatických pomerov a prírodnými pomermi v povodí.

Detailné odhady zmeny vegetačných stupňov spôsobené klimatickou zmenou pre naše územie nie sú k dispozícii. Aby bolo možné posúdiť magnitúdu vplyvu zmeny vegetačných pomerov, použili sme aj také scenáre, ktoré sa môžu pokladať za hraničné a hypotetické a súvisia viac so zmenou využívania krajiny ako s klimatickou zmenou, napr. scenár nahradenia lesa v celom povodí lúkami. Takýto scenár by však mohol nastať napríklad vplyvom znečistenia ovzdušia a následného poškodenia porastov a ich výrubu, ako to bolo možné pozorovať v Krušných horách alebo Jizerských horách.

Druhým hraničným variantom, ktorý sme použili, je scenár, podľa ktorého by celé povodie bolo pokryté ihličnatým lesom. Tento scenár vychádza zo zjednodušenej aplikácie údajov o možnom výškovom posune vegetačných pásiem vplyvom klimatickej zmeny a s tým súvisiacich zmien stanovištných podmienok uvedených v literatúre (Ďurský, 1995; Národný klimatický program, 1996; Ozenda a Borel, 1989).

Podľa údajov dostupných z literatúry sa momentálne ako „najrealistickejší“ ukazuje scenár, ktorý zahŕňa nielen výškový posun jednotlivých vegetačných stupňov smerom nahor, ale aj zmenu druhovej skladby lesa (zmiešaný les) a vymiznutie podmienok pre existenciu trávnatých spoločenstiev alpínskeho stupňa. Takáto môže byť reakcia vegetácie na klimatickú zmenu. Pri použití tohoto scenára sme pre povodie Jaloveckého potoka dostali nasledovné zastúpenie jednotlivých vegetačných stupňov - zmiešaný les na 77% plochy povodia s hornou hranicou 1800 m n.m., ihličnatý les a kosodrevina na 19% plochy povodia nad 1800 m n.m. V porovnaní so súčasným stavom je to výrazná zmena vegetačných pomerov a nevieme určiť číselnú pravdepodobnosť takéhoto scenára. Ako už bolo uvedené, vegetácia by na zmenu klimatických pomerov reagovala dlhodobo a komplexne. Je zrejme, že zastúpenie jednotlivých vegetačných stupňov nemusí byť iba otázkou zmeny klimatických pomerov, ale aj iných vplyvov ľudskej činnosti, napr. zdravotného stavu lesa. Presnejší odhad možného vývoja v tomto smere leží mimo oblasti hydrológie, hoci jeho výsledky by umožnili reálnejší odhad zmeny hydrologického režimu dotknutých povodí vyvolanej zmenou vegetácie.

Jednou zo zaujímavých možností rýchleho odhadu vplyvu vegetácie na zmenu odtoku z povodia poskytuje rovnica, pre vzťah medzi dlhodobými ročnými zrážkami a evapotranspiráciou, ktorú odvodil Zhang (2001):

$$\frac{ET}{P} = \frac{1 + w \frac{E_o}{P}}{1 + w \frac{E_o}{P} + \left(\frac{E_o}{P}\right)^{-1}} \quad (1)$$

kde ET je aktuálna evapotranspirácia, E_o je potenciálna evapotranspirácia, P sú zrážky, w charakterizuje tzv. dostupnosť vody rastlinám.

Rovnicu (1) upravil Zhang na základe predpokladu o dvoch dominantných zložkách dlhodobej ročnej evapotranspirácie (les, bylinné spoločenstvá) a výsledkov výpočtov vodnej bilancie v rôznych povodiach do tvaru:

$$ET = \left(f \frac{1 + 2 \frac{1410}{P}}{1 + 2 \frac{1410}{P} + \frac{P}{1410}} + (1 - f) \frac{1 + 0.5 \frac{1100}{P}}{1 + 0.5 \frac{1100}{P} + \frac{P}{1100}} \right) P \quad (2)$$

kde f je podiel lesa v relatívnom vyjadrení

Rovnica (2) umožňuje rýchle určenie zmeny evapotranspirácie pri zmene podielu lesa a bylinných spoločenstiev v povodí. Konštanty, ktorými Zhang et al. nahradili hodnoty dostupnosti vody aj potenciálnej evapotranspirácie pre les a bylinné spoločenstvá, boli odvodené z konkrétnych povodí. Hoci rovnica bola overovaná pre mnohé povodia, pre naše pomery sú konštanty pre potenciálnu evapotranspiráciu nereálne vysoké. Pri zmene E_o na hodnoty, ktoré zodpovedajú našim prírodným pomerom, sme dostali reálny odhad dlhodobej aktuálnej evapotranspirácie. Rovnica (2) nebola odvodená pre štúdium vplyvu klimatickej zmeny, ale na odhad zmeny vodnej bilancie pri zmenách hospodárenia v povodiach v nezmenených klimatických podmienkach (zalesňovanie). Vzhľadom na jej jednoduchosť môže však jej použitie pre praktické účely byť veľmi atraktívne. Pre potreby klimatickej zmeny by bolo potrebné získať realistické odhady potenciálnej evapotranspirácie a koeficientu dostupnosti vody pre rôzne dominantné druhy vegetácie. Rovnice podobného typu (Turcov vzťah) ako prezentovali Zhang et al., použili u nás pri štúdiu klimatickej zmeny Hlavčová et al. (1999).

Záver

V príspevku je vyhodnotený vplyv rôznych scenárov zmeny klimatických a vegetačných pomerov v horskom povodí Jaloveckého potoka v Západných Tatrách na odtok, aktuálnu evapotranspiráciu, výpar z intercepcie a vodnú hodnotu snehovej pokrývky. Výsledky boli získané distribuovaným zrážkovo-odtokovým modelom WaSiM-ETH (Schulla, 1997). Simulovaný priemerný ročný odtok sa pre rôzne scenáre zmenil vzhľadom k súčasnému o -18% až +26%, simulovaná aktuálna evapotranspirácia sa zmenila o -26% až +40%. K výraznej zmene (poklesu) došlo pri vodnej hodnote snehu, najmä pre časový horizont 2075. Na rýchly odhad vplyvu zmeny vegetačných pomerov na dlhodobú evapotranspiráciu bol použitý aj empirický vzťah Zhanga et al. (2001), ktorého aplikácia v našich pomeroch si podľa nášho názoru zaslúži ďalšiu pozornosť.

Opäť sa preukázalo, že je veľmi dôležité naďalej sa zaoberať analýzou evapotranspirácie v zalesnených horských povodiach, ktorá je významne ovplyvnená charakterom vegetácie v povodí, a ktorá sa vplyvom zmien klímy a vegetácie (globálne zmeny) môže prejaviť ako dominantný faktor ovplyvňujúci hydrologickú odozvu povodia. Taktiež je veľmi dôležité zaoberať sa interpoláciou a extrapoláciou meteorologických údajov

z pomerne riedkej siete staníc do priestorovo komplikovaného prostredia horských povodí, čo predstavuje špecifickú a veľmi náročnú úlohu, pri ktorej bude potrebné využiť a zdokonaľiť existujúce alebo vyvinúť nové fyzikálne založené metódy výpočtu rozloženia globálneho žiarenia, modelovania zrážok s využitím fyzikálnych procesov prebiehajúcich vo vzdušných masách prúdiacich ponad horské masívy, ako aj modelovania zmien smeru a rýchlosti vetra pri pohybe ponad členitý horský reliéf.

Scenáre zmeny vegetácie použité v tejto práci boli pripravené na základe údajov z literatúry. Vegetácia bude na zmenené klimatické podmienky reagovať dlhodobo a dá sa očakávať celé spektrum reakcií (Ďurský, 1995). Základné vzťahy medzi zmenou vegetácie a zmenou hydrologického režimu sú známe. Presnejšie odhady zmeny hydrologického režimu, ktoré sa dajú v tejto súvislosti reálne očakávať, závisia aj od podrobnejších vegetačných scenárov pre územie Slovenska pripravených odborníkmi z oblasti lesníctva.

Literatúra

- Anderson, E.A., 1973: National Weather Service river forecast system – snow accumulation and ablation model. NOAA, Tech.Mem., NWS-HYDRO-17, U.S. Dep. Of Commerce, Silver Spring, MD, 217 pp.
- Bosch, J.M., Hewlett, J.D., 1982: A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, 55, p. 3-23.
- Caspary, H.J., 1990: An Ecohydrological Framework for Water Yield Changes of Forested Catchments Due to Forest Decline and Soil Acidification. *Water Resources Research*, vol. 26, no. 6, p. 1121-1131.
- Dyck, S., 1983: *Angewandte Hydrologie. Teil 2- Vergal für Bauwesen*, Berlin, 544 pp.
- Ďurský, J., 1995: Aplikácia metód dendroklimatológie vo výskume rastových reakcií lesných drevín na predpokladané klimatické zmeny. *Národný klimatický program SR*, zv. 3, 61-75.
- EOS, 1994: Evaluating Climate Change Impacts in Snowmelt Basins. *Transactions American Geophysical Union*, vol. 75, no. 9, March 1, 107 pp.
- Grabs, W., 1997: Impact of climate change on hydrological regimes and water resources management in the Rhine basin. *Int. Com. for the Hydrology of the Rhine Basin (CRH)*, CHR report no. I-16, Lelystad, 172 pp.
- Hlavčová, K., Szolgay, J., Čunderlík, J., Parajka, J., Lapin, M., 1999: Impact of climate change on the hydrological regime of rivers in Slovakia. *Slovak Committee for Hydrology and Slovak University of Technology*, Bratislava, 101 pp.
- Horton, R.E., 1919: Rainfall interception, *Mon. Weather Review*, 47, p. 603-623.
- Kantor, P., 1983: Intercepční ztráty smrkových a bukových porostů. *Vodohospodársky časopis*, 31, 6, 643-651.
- Kantor, P., 1989: Transpirace smrkových a bukových porostů. *Vodohospodársky časopis*, 37, 2, 222-237.
- Kantor, P., 1990: Základní vazby celkového výparu a odtoku ze smrkových a bukových lesů. *Vodohospodársky časopis*, 38, 3, 327-348.
- Kite, G.W., 1993: Application of a land class hydrological model to climatic change. *Water Resources Research*, vol. 29, no. 7, p 2377-2384.
- Kostka, Z., Holko, L., 2000: Vplyv klimatickej zmeny na priebeh odtoku v malom horskom povodí. *Národný klimatický program SR*, V, zv. 8, 91-109.
- Národný klimatický program SR, 1996: *Klimatické zmeny a lesy Slovenska*. zväzok 5, Bratislava, 96 strán.
- Nachtnebel, H.P., 1998: Possible Impacts of Climate Change on the Hydrology of Alpine Basins. *HeadWater'98*, Proc. of the Merano conference.
- Ozenda, P., Borel, J.L., 1990: The possible responses of vegetation to a global climatic change. Scenarios for Western Europe with special reference to the Alps. *Proc. European Conf. on Landscape Ecological Impact of Climatic Change*, IOS Press, Amsterdam, p. 221-249.
- Peschke, G., Etzenberg, C., Müller, G., Töpfer, J., Zimmermann, S., 1999: Das wissensbasierte System FLAB - ein Instrument zur rechnergestützten Bestimmung von Landschaftseinheiten mit gleicher Abflussbildung. *IHI Schriften*, Heft 10, 1999, Internationales Hochschulinstitut, Zittau, 122 s.
- Šály, R., 1996: Vplyv globálnych zmien klímy na lesné pôdy. *Národný klimatický program SR*, zväzok 5 *Klimatické zmeny a lesy Slovenska*. Bratislava, s. 41-45.
- Seuna, P., 1999: Hydrological effects of forestry treatments in Finland. *Int. Symp. on Flood Control*, Beijing, China.
- Schulla, J., 1997: Hydrologische Modellierung von Flussgebieten zur Abschätzung der Folgen von Klimaänderungen. *Zürcher Geographische Schriften*, Heft 69, ETH Zürich, 161 s.
- Singh, V., 1992: *Elementary hydrology*. Prentice Hall, Inc.
- Smith, T.M., Shugart, H.H., Bonan, G.B., Smith, J.B., 1992: Modeling the potential response of vegetation to global climate change. *Advances in Ecological Research*, 22, p. 93-116.
- Tužinský, L., 1990: Režim vlhkosti a zásob využiteľnej vody v pôde pod lesnými ekosystémami. *Vedecké práce Výskumného ústavu lesného hospodárstva*, Zvolen, s. 97-110.
- Valtýni, J., 1986: *Vodohospodársky a vodoochranný význam lesa*. Lesnícke štúdie, 38.
- Viessman, W. jr., Lewis, G. L., Knapp, J.W., 1989: *Introduction to Hydrology*. Harper and Row, New York.
- Zhang, L., Dawes, W.R., Walker, G.R., 2001: Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. *Water Resources Research*, vol. 37, no. 3, p. 701-708.

VEGETATION CHANGE AND HYDROLOGICAL REGIME OF A MOUNTAIN CATCHMENT.

Z. Kostka and L. Holko, *Institute of Hydrology, Slovak Academy of Sciences, Slovakia:*

ABSTRACT

We investigated the effect of vegetation change on hydrological regime of a small mountain catchment. Distributed physically based catchment model WaSiM-ETH run in daily-step mode was used to assess the objectives of the work. The model was calibrated with data from hydrological years 1996-2000 and its parameterisation was verified against data (total catchment runoff, snow water equivalent and soil moisture) measured in hydrological years 1989-1995. Calibrated and verified model was then run with input precipitation and air temperature data adjusted according to CCCM and GISS climate scenarios prepared for three time horizons and different vegetation scenarios (coniferous forest in the whole catchment, deciduous forests, grass, mixed forest up to 1800 m a. s.l. and coniferous forests above 1800 m). Together we applied 34 different scenarios (Table 2). Simulated outputs were compared with data from the reference period 1989-2000.

The simulations were performed for the mountain catchment of the Jalovecký creek, the Western Tatra Mountains, north Slovakia. Catchment area is 22.2 km², elevations range between 816 and 2178 m a.s.l. Gneiss and schist cover about 48% of catchment area, granodiorites cover 21% and Quaternary sediments 24%. The rest 7% of the catchment is made up by Mesozoic rocks dominated by limestone and dolomite. Average slope is 30° and most slopes have south-eastern orientation. Soil cover is represented by Cambisols, Podsol, Ranker and Lithosols. Forests dominated by spruce cover 44% of catchment area, dwarf pine covers 31% and alpine meadows and bare rocks cover the rest 25% of the catchment.

Results of calibration and verification of the model are shown in Figs. 2 and 3. Impacts of various climatic and vegetation scenarios on catchment runoff, actual evapotranspiration, evaporation of intercepted precipitation and snow cover are shown in Figs. 4 to 7 and summarised in Table 2. Generally, the differences between the CCCM and GISS climatic scenarios were not very high. Effects of vegetation change corresponded to results of field experiments in paired catchments known from literature. Removal of coniferous forest would decrease evapotranspiration and increase runoff, except for climatic scenarios representing the time horizon of 2075. Increase of coniferous forest area would have the opposite effect. The "most probable" vegetation change consisting in increasing the forest line, higher percentage of deciduous trees and removal of the alpine meadow zone would not have big influence on mean annual runoff and evapotranspiration compared to present conditions (again, except for the time horizon of 2075). Mean annual runoff varied for different climatic and vegetation scenarios between 82% and 126% of present runoff. Mean annual actual evapotranspiration varied between 74% and 140% of present actual evapotranspiration.

LIST OF FIGURES AND TABLES

Fig. 1 Increase of mean annual runoff after forest reduction in the Huhtisuonoja catchment (Seuna, 1999)

Fig. 2 Calibration of the WaSiM-ETH model

Fig. 3 Verification of the WaSiM-ETH model

Fig. 4 Simulations of mean monthly runoff for different climatic and vegetation scenarios (1-present natural conditions, 2-catchment covered by grass, 3- catchment covered by coniferous forest, 4- catchment covered by deciduous forest, 5-mixed forest up to 1800 m a.s.l., coniferous forest above 1800 m)

Fig. 5 Simulations of mean monthly actual evapotranspiration for different climatic and vegetation scenarios (1-present natural conditions, 2-catchment covered by grass, 3- catchment covered by coniferous forest, 4- catchment covered by deciduous forest, 5-mixed forest up to 1800 m a.s.l., coniferous forest above 1800 m)

Fig. 6 Simulations of mean monthly evaporation from intercepted precipitation for different climatic and vegetation scenarios (1-present natural conditions, 2-catchment covered by grass, 3- catchment covered by coniferous forest, 4- catchment covered by deciduous forest, 5-mixed forest up to 1800 m a.s.l., coniferous forest above 1800 m)

Fig. 7 Simulations of mean monthly snow water equivalent for different climatic and vegetation scenarios (1-present natural conditions, 2-catchment covered by grass, 3- catchment covered by coniferous forest, 4- catchment covered by deciduous forest, 5-mixed forest up to 1800 m a.s.l., coniferous forest above 1800 m)

Table 1 Vegetation and land use parameters according to Schulla (1997)

Table 2 Combinations of climatic and vegetation scenarios applied in simulations and the influence of various scenarios on the mean actual evapotranspiration (ETA) and mean annual runoff (Q) in per cents related to the 1989-2000 period (100% means no change)

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 10

Vydáva:

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

Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava

Odborný redaktor: Doc. RNDr. Pavel Šťastný, CSc.

Rediguje: Mgr. Pavel Matejovič, PhD.

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

Účelová publikácia, 94 s., náklad 400 výtlačkov

Všetky príspevky prešli odborným lektorovaním

Za jazykovú úroveň príspevkov zodpovedajú autori

ISBN 80 - 88907 - 24 - 1

dT
[°C]

Odchýlky mesačných priemerov teploty vzduchu (dT) v mesiacoch rokov 1998 až 2001
od dlhodobých priemerov z obdobia 1951-1980 v Hurbanove
Deviations of monthly temperature means (dT) from the 1951-1980 normals
at the Hurbanovo Observatoty in 1998-2001

