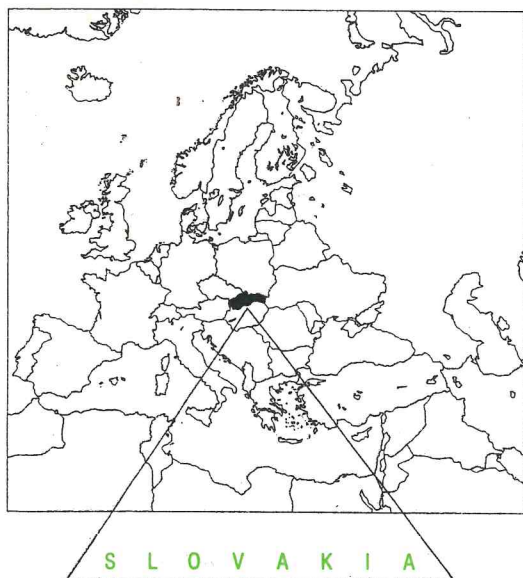




NKP
5/96

KLIMATICKÉ ZMENY A LESY SLOVENSKA
CLIMATE CHANGES AND SLOVAK FORESTS

- **SCENÁRE ZMENY KLÍMY**
(Climate Change Scenarios)
- **SÚČASNÝ STAV LESOV A ICH PREDPOKLADANÝ VÝVOJ**
(Present State of Slovak Forests and Predicted Development)
- **ANALÝZA CITLIVOSTI A ZRANITELNOSTI LESOV SLOVENSKA**
(Forests Vulnerability Assessment in Slovakia)
- **ADAPTAČNÉ OPATRENIA V LESNOM HOSPODÁRSTVE**
(Adaptation Measures in Forestry Sector)
- **EMISIE SKLENÍKOVÝCH PLYNOV A ZMIERŇOVACIE OPATRENIA
NA ICH ZNÍŽENIE V LESNOM HOSPODÁRSTVE**
(GHGs Emission and Mitigation Measures in Forestry Sector)

*NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM
SLOVENSKEJ REPUBLIKY*

*NATIONAL CLIMATE PROGRAMME
OF THE SLOVAK REPUBLIC*

**KLIMATICKÉ ZMENY
A LESY SLOVENSKA**

●
***CLIMATE CHANGES
AND SLOVAK FORESTS***

Zostavili: Ing. RNDr. Jozef Mindaš, RNDr. Milan Lapin, CSc.

Edited by: a Ing. Jaroslav Škvarenina, CSc.
podľa podkladov autorov uvedených na s. 96

Projekt: MŽP SR Výskum zmien kvality ovzdušia, klimatické zmeny
a narušovanie ochranných vlastností atmosféry - NKP SR

Zadávatel': Ministerstvo životného prostredia SR, Bratislava

Lektori: Prof. Ing. Eduard Bublinec, CSc., Ing. Ján Ďurský, CSc.,
RNDr. Oľga Majerčáková, CSc., doc. RNDr. Dušan Závodský, CSc.

© MINISTERSTVO ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA SR
SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV

SLOVAK MINISTRY OF THE ENVIRONMENT
SLOVAK HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE

1996

OBSAH

	Strany
1. Úvod (J. Mind'áš)	5
2. Scenáre klimatickej zmeny (M. Lapin)	6
3. Súčasný stav lesov Slovenska a ich predpokladaný vývoj	
3.1 Prírodné podmienky hospodárenia, súčasná štruktúra lesného fondu (M. Hladík)	12
3.2 Zdravotný stav lesov Slovenska (V. Čaboun)	19
3.3 Zmeny chemizmu atmosféry z hľadiska stavu lesných ekosystémov (J. Škvarenina)	23
4. Analýza citlivosti a zraniteľnosti	
4.1 Modelovanie dôsledkov klimatických zmien na lesné ekosystémy (J. Mind'áš, J. Škvarenina)	29
4.2 Vplyv globálnych zmien klímy na lesné pôdy (R. Šály)	41
4.3 Vplyv globálnych klimatických zmien na genetickú štruktúru populácií lesných drevín (L. Paule, D. Gömöry)	46
4.4 Dôsledky globálnych klimatických zmien na pestovanie lesov (M. Saniga)	54
4.5 Vplyv globálnych zmien klímy na ekofyziologické procesy lesných drevín (J. Kmeť, K. Střelcová, T. Priwitzer)	63
4.6 Vplyv globálnych zmien klímy na ekologickú stabilitu lesných ekosystémov (V. Čaboun)	69
5. Adaptačné opatrenia v lesnom hospodárstve	
5.1 Ekonomická analýza rizika dôsledkov očakávaných klimatických zmien na lesy Slovenska (J. Holécy, J. Mind'áš)	73
5.2 Adaptačná stratégia a adaptačné opatrenia (J. Mind'áš, L. Paule, M. Saniga, J. Škvarenina, R. Šály)	77
6. Emisie skleníkových plynov a zmierňovacie opatrenia na ich zníženie v lesnom hospodárstve	
6.1 Bilancia emisií skleníkových plynov v lesnom hospodárstve (J. Mind'áš, T. Priwitzer, V. Čaboun, S. Štrba)	79
6.2 Opatrenia na znižovanie emisií skleníkových plynov v sektore lesného hospodárstva (J. Mind'áš)	82
7. Záver (J. Mind'áš, M. Lapin, J. Škvarenina)	91
Zoznam skratiek symbolov a latinských názvov drevín	92
Súhrn -Summary (v angličtine)	93
Zoznam zostavovateľov, autorov, lektorov a ich adries	96

CONTENTS

	Pages
1. Introduction (J. Mind'áš)	5
2. Climate Change Scenarios (M. Lapin)	6
3. Present State of Slovak Forests and Predicted Development	
3.1 Natural Conditions of Forests and Contemporary State of Forests Land Acreage in Slovakia (M. Hladík)	12
3.2 Conditions of Slovak Forests (V. Čaboun)	19
3.3 Changes in Atmospheric Chemistry and Forest Ecosystems (J. Škvarenina)	23
4. Forests Vulnerability Assessment in Slovakia	
4.1 Modelling of Climate Change Impacts on Forest Ecosystems (J. Mind'áš, J. Škvarenina)	29
4.2 Impacts of Global Climate Change on Forest Soils (R. Šály)	41
4.3 Impacts of Global Climatic Change on Genetic Structure of Forest Tree Populations (L. Paule, D. Gömöry)	46
4.4 Consequences of the Global Climate Change on Silviculture (M. Saniga)	54
4.5 Impacts of Global Climate Change on Ecophysiological Processes in Forests (J. Kmeť, K. Střelcová, T. Priwitzer)	63
4.6 Impacts of Global Climate Change on Forest Ecosystems Ecological Stability (V. Čaboun)	69
5. Adaptation Measures in Forestry Sector	
5.1 Economic Analysis of Climate Change Impacts Risk (J. Holécy, J. Mind'áš)	73
5.2 Adaptation Strategy and Measures (J. Mind'áš, L. Paule, M. Saniga, J. Škvarenina, R. Šály)	77
6. GHGs Emission and Mitigation Measures in Forestry Sector	
6.1 GHGs Emission Inventory in Forestry Sector (J. Mind'áš, T. Priwitzer, V. Čaboun, S. Štrba)	79
6.2 Measures for GHGs Emission Mitigation in Forestry Sector (J. Mind'áš)	82
7. Conclusions (J. Mind'áš, M. Lapin, J. Škvarenina)	91
List of abbreviations, symbols and Latin names of plants	92
Summary (in English)	93
List of Editors, Authors, Reviewers and Addresses	96

PREDHOVOR

Národný klimatický program (NKP) ČSFR bol zriadený rozhodnutím Federálneho ministra životného prostredia k 1.1.1991. V roku 1993 sa NKP ČSFR rozdelil na NKP SR a NKP ČR. Hlavnými cieľmi NKP SR sú:

- Rozvoj aktivít v súlade s cieľmi Svetového klimatického programu koordinovaného OSN (WMO a UNEP)
- Príprava podkladov pre štátne orgány a iné inštitúcie ohľadom plnenia medzinárodných záväzkov dotýkajúcich sa problematiky zmien klímy (Rámcový dohovor OSN o zmene klímy, Agenda 21. storočie)
- Koordinácia aktivít a úloh s podielom analýz zmien klímy, ich príčin a dôsledkov v rámci celého štátu

Národný klimatický program SR je riadený výborom zloženým zo zástupcov participujúcich inštitúcií v SR a MŽP SR ako hlavného garanta aktivít v rámci NKP SR. Výkonne riadi činnosti NKP SR užší výbor s 3 zástupcami z SHMÚ a jedným z MŽP SR. V rokoch 1991 až 1996 sa na aktivitách NKP SR zúčastňovalo asi 22 rôznych inštitúcií, medzi nimi MŽP SR a MPô SR, ako aj niektoré privátne subjekty. V rokoch 1993 až 1996 sa riešili Projekty NKP SR financované zo Štátneho fondu ŽP SR a z prostriedkov zainteresovaných inštitúcií.

V rámci NKP SR prebiehala aj rozsiahla publikačná aktivita. Vydaných bolo aj 5 publikácií NKP SR v náklade po 400 výtlačkov s najvýznamnejšími výsledkami riešenia projektov NKP SR. Prebiehala výmena publikácií s NKP ČR a zorganizovaných bolo každoročne niekoľko konferencií a seminárov.

V tejto publikácii (NKP 5) predkladáme súbor výsledkov riešenia problematiky vzťahu klimatických zmien a lesov Slovenska (zoznam autorov je v obsahu). Veríme, že aj takýmto spôsobom pomôžeme pri ochrane bohatstva, ktoré sa skrýva v lesoch rozkladajúcich sa na 41 % územia Slovenska. Za výbor NKP SR by som chcel poďakovať kolektívu autorov a zostavovateľov publikácie za svedomitý prístup pri jej príprave a vydaní.

RNDr. Milan Lapin, CSc., predseda NKP SR

1. ÚVOD

Rast koncentrácie skleníkových plynov (CO_2 , N_2O , CH_4) a pokračujúci trend zvyšovania ich antropogénnych emisií predstavuje reálnu hrozbu zmien globálnej klímy. Pretrvávajúca imisná záťaž a zmeny klimatických podmienok spolu s narušovaním ochranných vlastností atmosféry pravdepodobne existenčne ovplyvnia lesné ekosystémy v treťom tisícročí. Vyvolaná zmena ekologických podmienok bude vo vzťahu k lesným spoločenstvám implikovať zmenu v druhovej diverzite, ekologickej stabilite, biogeochemických cykloch a ekofyziológických procesoch najmä na úrovni lesných drevín ako hlavnej biotickej zložky lesných ekosystémov.

Závažnosť načrtnutého problému dokumentuje aj značná medzinárodná aktivita, či už na poli vedeckom (rozsiahle výskumné programy v rámci EÚ, UNEP, WMO a pod.), ale aj politickom (zriadenie a činnosť IPCC pri OSN, podpis a ratifikácia FCCC, rezolúcia H4 konferencie ministrov o ochrane lesov v Európe a ďalšie). Z hľadiska lesníctva bola osobitne dôležitá druhá konferencia ministrov o ochrane lesov Európy (16. - 17. júna v Helsinkách), na ktorej bola prijatá aj spomínaná rezolúcia H4: "*Stratégia procesu dlhodobej adaptácie európskych lesov na klimatické zmeny*", ktorá deklaruje záujem signatárskych štátov (vrátane Slovenska) riešiť tento problém v oblasti výskumu a prípravy dlhodobých aktivít s cieľom minimalizovať riziko dôsledkov klimatických zmien na lesy.

Vzhľadom na uvedené skutočnosti sa problematika klimatickej zmeny a jej dôsledkov na prírodné ekosystémy a socioekonomickú sféru stáva jednou z priorít súčasných vedeckovýskumných programov. Aj pre lesnícky výskum v širšom kontexte sa tento problém výrazne dostáva do popredia odborného záujmu.

Prvé úvahy o vplyve narastania koncentrácií skleníkových plynov a možných zmien klímy na lesné ekosystémy sa v slovenskom lesníckom výskume objavili koncom 80. rokov. Ale až riešenie projektu **Národného klimatického programu** (NKP) SR, ktorý začal v roku 1993 (ako pokračovanie NKP ČSFR) prinieslo v tomto smere výrazný posun dopredu. V rokoch 1993 až 1996 boli v rámci NKP SR z oblasti lesníctva vypracované 4 záverečné správy a 4 expertné správy. Zavŕšením 1. etapy riešenia tejto problematiky bol medzinárodný pracovný seminár "*Lesné ekosystémy a globálne klimatické zmeny*", ktorý sa uskutočnil vo februári 1995 vo Zvolene. Ďalším impulzom pre dynamizáciu výskumných prác v tejto problematike bola účasť na riešení projektu "krajinných štúdií" financovaného vládou USA (**U.S. Country Studies Program**), ktorého výsledky sú súčasťou aj tejto publikácie.

Snahou zostavovateľov publikácie je podať pokiaľ možno ucelený obraz reálneho stavu vedeckého riešenia týchto problémov v oblasti lesníctva na Slovensku. Publikácia si nenárokujú na komplexný a vyčerpávajúci výsledok riešenia danej problematiky, ale je potrebné ju chápať ako mozaiku dosiahnutých čiastkových výsledkov za predchádzajúce obdobie a ako odrazový mostík a impulz na ďalšie rozvíjanie výskumných aktivít vzťahu klimatických zmien a zmien chemizmu atmosféry vo vzťahu k lesným ekosystémom.

2. SCENÁRE KLIMATICKEJ ZMENY

2.1 VŠEOBECNÁ ČASŤ

Prirodzenou vlastnosťou klímy na Slovensku je veľká časová aj územná premenlivosť počasia. Pritom pod pojmom počasie rozumieme okamžitý stav meteorologických prvkov (ako napríklad teplota vzduchu) alebo meteorologických javov (ako napríklad hmla). Okamžité hodnoty teploty vzduchu kolíšu napríklad v Hurbanove v zime v intervale od $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Aj keď spriemerujeme okamžité hodnoty za jeden mesiac alebo aj za celý rok, sú medzi jednotlivými rokmi dosť veľké rozdiely, ktoré sa dajú vyjadriť napríklad smerodajnou alebo kvartilovou odchýlkou. Kvartilová odchýlka (interval normálu) je veľmi zrozumiteľná charakteristika klímy, lebo zahŕňa polovicu všetkých prípadov výskytu, a to takých, ktoré sú najbližšie k dlhodobému priemeru (presne k prostrednej hodnote výskytu (k mediánu), ak si zoradíme všetky údaje do radu podľa veľkosti).

Na obr. 2.1 uvádzame dlhodobý rad ročných priemerov teploty vzduchu vo Viedni, kde meteorologické pozorovania trvajú už od roku 1775. Vidíme, že najchladnejším bol rok 1829 s priemerom teploty vzduchu $6,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ a najteplejším rok 1994 s priemerom $11,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, teda interval výskytu dosahuje šírku $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dlhodobý priemer je rovnaký ako medián ($9,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) a kvartilová odchýlka je $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, teda interval $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Je vidieť, že interval normálu je asi 5-krát menší ako interval celkového výskytu. Na druhej strane je potrebné zdôrazniť, že by nebolo normálne, keby sa vyskytovali iba hodnoty blízke dlhodobému priemeru a normálne je aj to, že sa občas vyskytne výnimočne studený alebo výnimočne teplý rok (mesiac, týždeň alebo aj deň). Neprírodné by však bolo to, ak by sa výnimočne teplé alebo výnimočne studené roky (mesiace, dni) vyskytli často za sebou.

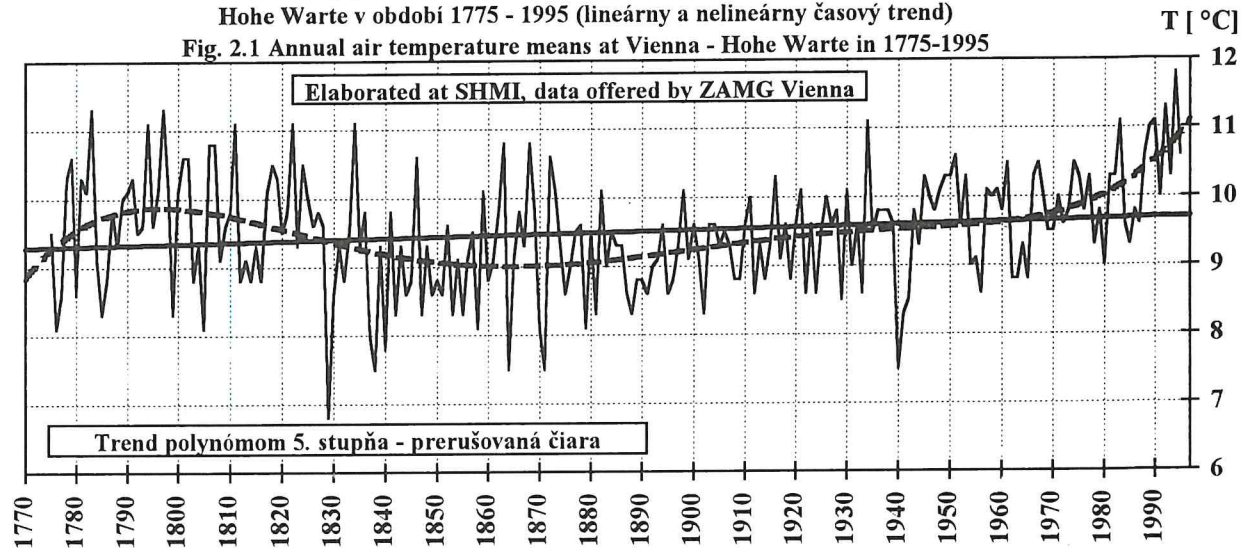
V 20. storočí sa celosvetová priemerná teplota vzduchu pomaly zvyšuje a v roku 1995 bola vôbec najvyššia od roku 1865 (odvtedy je možné vyhodnotiť ju na základe priamych meraní). Ako vidíme na obr. 2.2 (uvádzame tu 3-ročné kĺzavé priemery, teda priemery z 3 rokov sú vždy pri druhom z 3 rokov) je aj rast teploty vzduchu v Hurbanove v súlade s týmto celosvetovým trendom, iba premenlivosť je podstatne väčšia. Je to dané tým, že odchýlky nie sú rovnaké na celom svete (na niektorých miestach je v jednotlivých rokoch teplejšie, inde zas chladnejšie, ako je dlhodobý priemer) a ak urobíme priemer z 200 pozorovacích staníc na svete, dostaneme pomerne málo premenlivé hodnoty. Pozoruhodné na oboch krivkách je to, že v posledných rokoch sa dosahovali aj v Hurbanove aj na celom svete neobyčajne vysoké hodnoty. Od roku 1986 sa v celosvetovom priemere vyskytlo 8 z 10 najteplejších rokov od roku 1865.

Niektorí vedci už okolo roku 1960 predpokladali takýto vývoj, no vtedy ich skoro nikto nebral vážne. Opierali sa o nameranú rastúcu koncentráciu oxidu uhličitého (CO_2), ale aj iných tzv. skleníkových plynov v atmosfére. Tento rast skleníkového efektu atmosféry má jednoznačne antropogénny pôvod, čiže ho spôsobuje ľudstvo pri výrobe energie, pri doprave, v priemysle, v poľnohospodárstve, ničením tropických pralesov a v iných odvetviach. V minulosti nemohlo dôjsť k takémuto vývoju, lebo počet obyvateľov Zeme bol jednak oveľa menší (pred 10 000 rokmi iba 5 miliónov, dnes takmer 6 000 miliónov) a aj spotreba (najmä energie) na jedného obyvateľa bola oveľa menšia ako dnes.

Cieľom tohoto príspevku je stručne naznačiť problematiku scenárov možného vývoja klímy v prípade, ak ľudstvo nebude venovať pozornosť rastu skleníkového efektu atmosféry, čiže sa bude správať tak ako doteraz, alebo si to uvedomí a prijme určité opatrenia na redukcii emisie skleníkových plynov do atmosféry. Scenáre zmeny klímy (možného vývoja klímy) sa netýkajú prirodzených zmien klímy, ktoré budú zrejme existovať tak ako doteraz, iba premenlivosť sa možno trochu zmení. Scenáre zmeny klímy hovoria iba o možnej modifikácii dlhodobého vývoja klímy vplyvom antropogénne podmieneného rastu skleníkového efektu atmosféry. Vzhľadom na to, že ide o modelové výpočty založené na určitých vstupoch a na určitej teórii možného ovplyvnenia celosvetového klimatického systému, sú aj výsledky rozdielne, no nie zásadne rozporné. Ani najzarytejší odporcovia globálneho oteplenia dnes už nenamietajú proti teórii rastu celosvetovej teploty atmosféry, ak predpokladáme, že bude rásť koncentrácia skleníkových plynov v atmosfére [6].

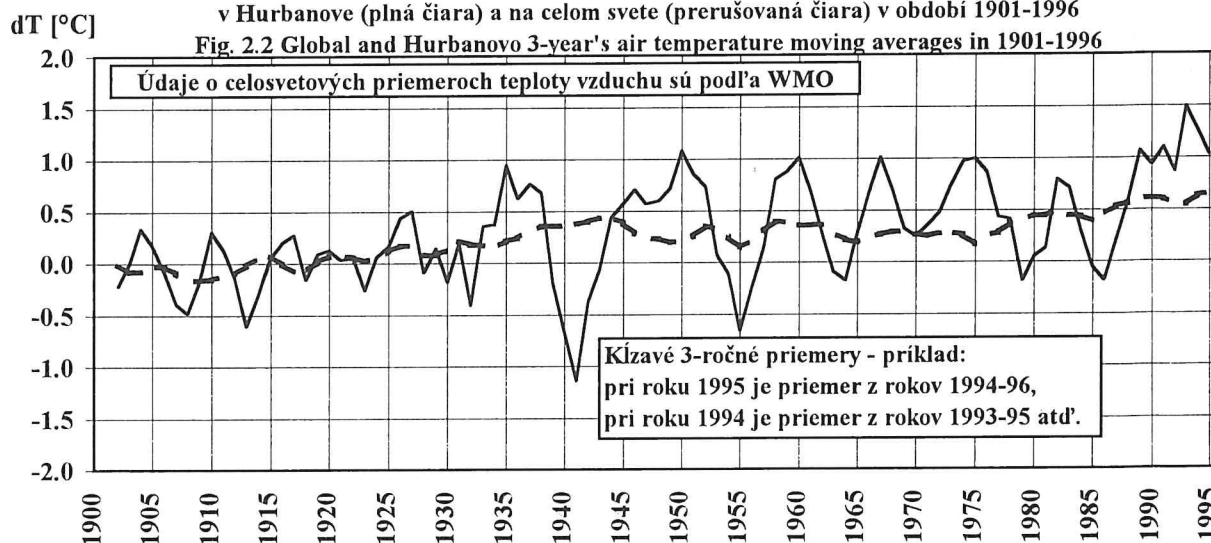
Obr. 2.1 Časový priebeh ročných priemerov teploty vzduchu na stanici Wien - Hohe Warte v období 1775 - 1995 (lineárny a nelineárny časový trend)

Fig. 2.1 Annual air temperature means at Vienna - Hohe Warte in 1775-1995



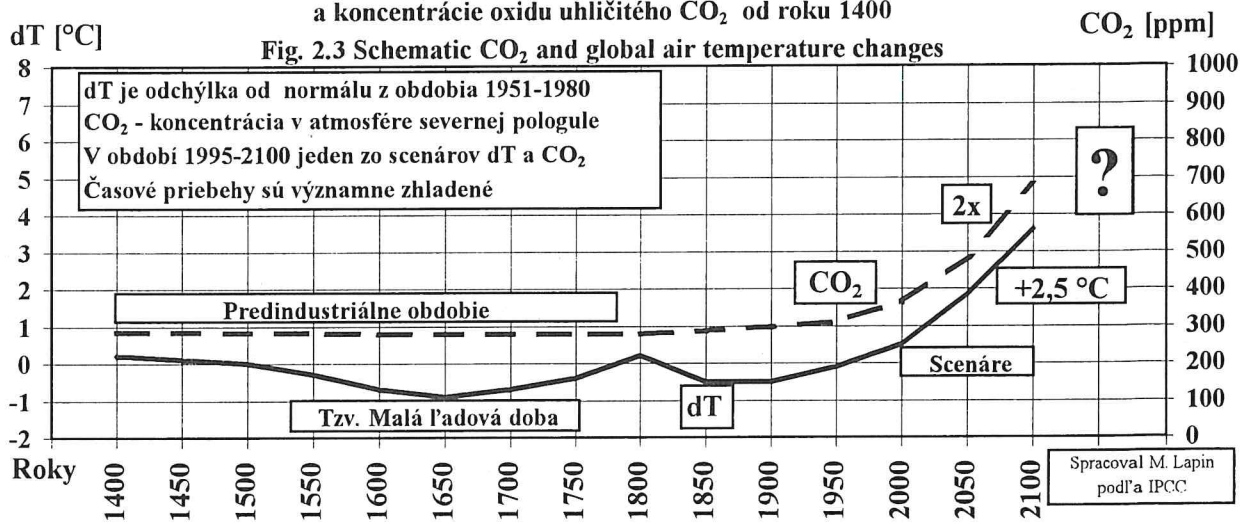
Obr. 2.2 Odchýlky kĺzavých 3-roč. priemerov teploty vzduchu dT od priemeru (1901-1930) v Hurbanove (plná čiara) a na celom svete (prerušovaná čiara) v období 1901-1996

Fig. 2.2 Global and Hurbanovo 3-year's air temperature moving averages in 1901-1996



Obr. 2.3 Schematický časový priebeh teploty vzduchu dT a koncentrácie oxidu uhličitého CO₂ od roku 1400

Fig. 2.3 Schematic CO₂ and global air temperature changes



2. 2 PRÍPRAVA SCENÁROV KLIMATICKEJ ZMENY

Je niekoľko možností, ako sa vysporiadať s návrhom scenárov klimatickej zmeny zapríčinennej antropogénne podmieneným rastom skleníkového efektu atmosféry. Môžeme siahnuť do dávnej minulosti Zeme, keď bol skleníkový efekt atmosféry podstatne silnejší a aj klimatické podmienky boli podstatne odlišné ako dnes. Tento postup naráža na rad ťažkostí. V tých časoch bolo odlišné usporiadanie kontinentov a oceánov a máme iba málo nepriamych dôkazov o skutočných klimatických pomeroch. Inou možnosťou je výber z teplých období za posledných 230 rokov, keď máme k dispozícii prístrojové meteorologické merania z niekoľkých staníc na svete. Ukázalo sa však, že veľmi teplé obdobia nemali spravidla celosvetovú platnosť a išlo skôr iba o prirodzené fluktuácie klímy s podstatne odlišným vývojom, ako sa predpokladá pri globálnom oteplení vplyvom rastu skleníkového efektu atmosféry. Takýto postup však pomáha odhaľovať vzťahy medzi jednotlivými klimatickými prvkami v prípade celkového rastu teploty vzduchu [2, 4, 5, 6].

Rozvoj výkonných počítačov priniesol po roku 1980 možnosť modelových výpočtov globálnych (celosvetových) zmien klimatických podmienok. Koncom 80. a začiatkom 90. rokov už boli možné aj výpočty regionálnych zmien klímy (zmien na úrovni takých krajín, ako je aj Slovensko). Spôľahlivosť takýchto výpočtov je ešte stále nedostatočná, čo súvisí s tým, že do modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry (GCMs) nie je možné zahrnúť všetky potrebné parametre. Čím je v modeloch viac parametrov, tým je výpočet zložitejší a ani najvýkonnejšie svetové výpočtové centrá nie sú schopné takéto výpočty zatiaľ zvládnuť. Je tiež pravda, že ani modely nie sú celkom dokonalé, doteraz chýbala v nich detailnejšia orografia (vplyv pohorí), ako aj detailnejšie zabudovaný vplyv výmeny energie medzi oceánmi (najmä jeho hlbšími vrstvami) a atmosférou [6].

Problémom je aj to, že sa v klimatických scenároch vyjadruje zmena klímy vzhľadom na určitý úsek v minulosti (napríklad obdobie 1951-1980) a tiež tieto zmeny sa "nenasadzujú" na prirodzené kolísanie klímy.

Napriek týmto problémom sa najnovšie modelové výpočty zhodujú v tom, že ak dôjde k zdvojnásobeniu koncentrácie CO_2 v atmosfére celej Zeme (čo sa stane asi okolo roku 2075), vzrastie ročný priemer teploty vzduchu oproti stavu pred 50 až 100 rokmi asi o $2,5^\circ\text{C}$ (obr. 2.3). Tento rast nebude na celom svete rovnaký, určite bude najmenší v strede tropickej časti oceánov a najväčší v strede veľkých kontinentov v zemepisnej šírke okolo 60° , sú však možné aj značné odchýlky, pretože sa pravdepodobne značne zmení aj atmosférická cirkulácia. So zmenou atmosférickej cirkulácie dôjde pravdepodobne k významným zmenám atmosférických zrážok, a to aj čo sa týka úhrnov aj intenzity. Keďže iné klimatické prvky významne závisia od teploty vzduchu a režimu zrážok, je možné očakávať na viacerých miestach zemegule veľmi negatívny vývoj klímy s nedeziernymi sociálnymi a ekonomickými dôsledkami [3, 6].

V minulosti ľudstvo riešilo problém zhoršenia klimatických podmienok tak, že sa celé národy sťahovali do iných oblastí sveta s priaznivejšou klímou. Tak to bolo ešte aj pred 500 rokmi, keď bola na Zemi sotva desatina dnešného počtu obyvateľov. Dnes to už nie je možné bez veľmi vážnych vojenských konfliktov, pretože sú pomerne husto obývané všetky vhodné oblasti sveta. Jedinou možnosťou je dôkladne sa v predstihu pripraviť na možné alternatívy predpokladanej klimatickej zmeny tak, aby sa minimalizovali možné negatívne dôsledky. Vyspelé a ekonomicky silné krajiny sa s týmto problémom pravdepodobne ľahšie vyrovnajú ako preľudnené a chudobné rozvojové krajiny. Problémy rozvojových krajín sa však môžu citeľne prejaviť aj na politickej, ekonomickej a sociálnej stabilite rozvinutých krajín, preto sa globálne problémy dotýkajú všetkých krajín sveta bez rozdielu. V roku 1995 dosiahol rast koncentrácie CO_2 v atmosfére 30 % oproti stavu pred 150 rokmi. Je takmer isté, že príčinou tohoto rastu je iba človek so svojimi aktivitami.

2.3 SCENÁRE KLIMATICKEJ ZMENY PRE ÚZEMIE SLOVENSKA

Na SWCC (Druhá svetová klimatická konferencia v Ženeve) v roku 1990 bolo prezentovaných niekoľko scenárov globálneho rastu teploty vzduchu. Za najpravdepodobnejší sa považoval rast o 1 až 2°C okolo roku 2025 oproti priemerom z obdobia 1951 - 1980 [2, 4]. Tento "Business as-Usual" scenár sa neskôr prijímal skôr za horný a dolný odhad. V prvých štúdiách prezentovaných v rámci NKP ČSFR bol použitý tento scenár teploty vzduchu aj pre naše územie [2, 3]. Rast ročnej teploty vzduchu o 1 až 2°C sa prijal za možnú alternatívu zmeny klímy aj z toho dôvodu, že sa ČSFR nachádzala v stredných zemepisných šírkach so skoro rovnocenným vplyvom oceánu a kontinentov. Ročný chod tohoto oteplenia bol schematicky modifikovaný podľa smerodajnej odchýlky mesačných priemerov teploty vzduchu, ktorá dosahuje u nás v zime takmer 3°C a v lete málo nad 1°C [4, 6].

Tab. 2.1 Mesačné priemery úhrnov zrážok v období 1951-1980 (Rn N - sever, Rn S - zvyšok Slovenska) (mm) a teploty vzduchu Tn (°C) pre celé Slovensko. Regionálna modifikácia 2xCO₂/1xCO₂ kvocientov scenárov zmien priemerov mesačných úhrnov zrážok pre sever (N) a zvyšok (S) SR a zmien teploty vzduchu pre celú SR.(CCCM, GISS, GFD03 - GCMs scenáre)

Table 2.1 Mean monthly precipitation totals in the 1951-1980 period (Rn N - northern, Rn S - southern Slovakia) (mm) and air temperature (Tn) for all Slovakia (°C). Regional modification of 2xCO₂/1xCO₂ quotients of monthly precipitation scenarios for northern (N) and southern (S) Slovakia and air temperature change for all Slovakia. (CCCM, GISS, GFD03 - GCMs scenarios)

Scenarios	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Year
Rn N	55	51	52	62	80	115	116	91	67	59	62	67	877
Rn S	41	42	38	50	67	94	88	76	50	50	62	52	710
CCCM-N	1.32	1.17	1.01	1.1	0.94	0.99	0.88	0.87	0.87	1.18	1.27	1.35	1.05
CCCM-S	1.29	1.02	1.15	1.04	0.85	0.83	0.79	1.03	0.91	1.11	1.16	1.22	1.00
GISS-N	1.16	1.31	1.27	1.34	1.18	1.07	1.08	1.06	0.84	1.25	1.31	1.04	1.14
GISS-S	1.16	1.24	1.26	1.28	1.18	1.07	1.2	1.19	0.8	1.28	1.29	1.06	1.16
GFD03-N	0.95	1.44	1.08	1.13	1.07	0.99	0.84	1.19	1.36	1.45	1.44	1.01	1.14
GFD03-S	0.9	1.5	1.06	1.08	1.03	0.99	0.81	1.39	1.28	1.33	1.43	0.96	1.13
Tn	-3.8	-1.8	2.2	7.7	12.5	16.1	17.5	16.8	13.0	8.0	3.0	-1.5	7.5
CCCM	3.7	4.5	4.3	3.2	2.9	3.0	3.3	3.2	3.6	3.4	2.7	2.8	3.4
GISS	5.7	5.4	5.0	3.9	3.2	2.6	2.4	2.4	3.6	4.5	4.7	5.1	4.1
GFD3	2.6	4.1	5.1	4.9	4.8	4.5	4.3	4.0	4.6	4.7	4.1	3.8	4.3

Tab. 2.2 Maximá a minimá inkrementálnych scenárov zmien teploty vzduchu dT (°C) a úhrnov zrážok dR (%) pre časové horizonty rokov 2010, 2030 a 2075 na celom Slovensku pre dT a na severnom (N) a ostatnom (S) Slovensku pre dR (v porovnaní s priemermi z obdobia 1951-1980). WHY - apríl-september, CHY - október-marec

Table 2.2 Maxima and minima of air temperature dT (°C) and precipitation totals dR (%) change according to the incremental scenarios in the 2010, 2030 and 2075 time frames, in all Slovakia at dT and for northern and southern Slovakia at dR (compared to the 1951-1980 means) WHY - April-September, CHY - October-March

dT - all SR	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	YEAR	WHY	CHY
2010 min	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0
2010 max	2.0	2.5	2.0	1.5	1.5	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	2.0	1.5	1.5	2.0
2030 min	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	0.5	1.0
2030 max	3.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	3.0	2.5	2.5	3.0
2075 min	2.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.5	1.0	1.5	1.5	1.0	1.0	1.5	2.0	1.5	2.0
2075 max	7.0	7.5	7.0	5.5	5.0	4.5	4.5	5.0	4.5	4.5	4.5	6.0	4.5	4.5	6.0

dR - S SR	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	YEAR	WHY	CHY
2010 min S	-5	0	-10	-20	-10	-5	-15	-10	-10	-15	0	-5	-10	-10	-5
2010 max S	20	15	10	5	5	5	5	10	10	10	10	5	5	5	10
2030 min S	-5	-5	-20	-30	-15	-10	-20	-15	-15	-20	0	-5	-15	-15	-5
2030 max S	25	20	15	10	10	10	5	20	15	15	15	10	10	10	15
2075 min S	-10	-5	-30	-45	-30	-15	-30	-25	-20	-35	-5	-5	-20	-25	-10
2075 max S	30	30	25	15	20	20	10	30	25	15	20	20	15	15	20

dR - N SR	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	YEAR	WHY	CHY
2010 min N	-5	0	-5	-10	-5	-5	-10	-10	-10	-10	-5	0	-5	-10	-5
2010 max N	20	15	10	15	5	10	5	5	10	15	15	10	10	5	15
2030 min N	-5	0	-10	-15	-5	-10	-15	-15	-15	-15	-10	0	-10	-15	-5
2030 max N	20	20	15	20	10	15	10	10	20	20	25	20	15	10	20
2075 min N	-5	0	-20	-25	-10	-15	-25	-20	-20	-25	-20	-5	-15	-20	-10
2075 max N	25	30	25	20	20	30	20	20	35	25	40	30	20	15	25

Scenáre zmien zrážkových úhrnov boli v tom čase (v roku 1990) ešte veľmi neurčité, iba v severnejších oblastiach Európy sa predpokladal s väčšou istotou rast úhrnov zrážok [1]. Pre územie Slovenska sme preto pripravili dočasné scenáre zmien zrážkových úhrnov tak, aby boli rámcovo v súlade s predpokladom rastu úhrnov zrážok v zime a s miernym poklesom vo vegetačnom období na juhu Slovenska. Tento predpoklad bol vcelku v dobrom súlade aj s analýzou relatívne teplých období a doterajších trendov [2, 4]. Analýzou vzťahu úhrnov zrážok, teploty vzduchu a relatívnej vlhkosti vzduchu na obmedzenom počte staníc boli pripravené aj scenáre relatívnej vlhkosti vzduchu [2, 4, 5]. Všetky tieto scenáre sme považovali za predbežné a mali slúžiť hlavne na zhodnotenie citlivosti územia Slovenska na možné zmeny klímy. Na základe týchto scenárov bolo spracovaných niekoľko štúdií v rámci NKP SR a urobili sa aj prvé odhady možných dôsledkov zmeny klímy v socio-ekonomických sektoroch Slovenska [3].

V roku 1992 uviedol IPCC nové GCMs scenáre zmien ročných i mesačných priemerov teploty vzduchu so zahrnutým vplyvom oceánov, rastu aerosólov v atmosfére aj detailnejšej orografie. Podobné GCMs scenáre boli pripravené aj pre zmeny mesačných a ročných úhrnov zrážok [2, 4]. V roku 1994 a 1995 boli tieto výsledky spresnené detailnejšími časovými scenármi rastu koncentrácie skleníkových plynov v atmosfére [1, 6]. V roku 1994 podpísala SR kontrakt s US EPA o riešení projektu Country Study s podporou USA, v rámci čoho sme získali výstupy piatich GCMs pre teplotu vzduchu, úhrny zrážok a globálnu slnečnú radiáciu v sieti uzlových bodov. Okrem toho sme získali metodiku na prípravu analógových a inkrementálnych scenárov zmeny klímy [5, 6]. V nasledujúcom texte uvádzame stručné výsledky regionálnej modifikácie GCMs výstupov a časť výsledkov "kombinovaných" (GCMs-analogových) scenárov pre teplotu vzduchu a úhrny zrážok. Analýza korelačných vzťahov medzi jednotlivými klimatickými prvkami ukázala, že scenáre teploty vzduchu a zrážok hrajú kľúčovú úlohu pri návrhu scenárov iných klimatických prvkov. V súlade s požiadavkou riadiaceho centra Country Study sme sa snažili pripraviť alternatívne scenáre charakterizujúce horný a dolný odhad.

2.3.1 Regionálna modifikácia výstupov GCMs modelov pre Slovensko

Výstupy modelov všeobecnej cirkulácie (General circulation models - GCMs) sú základom vytvárania scenárov klimatickej zmeny. Tieto modely majú globálny charakter, pracujú so značne zhladenou orografiou, parametrizácia fyzikálnych procesov a vstupné údaje modelov reprezentujú relatívne rozsiahle oblasti. Výstupné hodnoty modelov sú vzťahované k sieti uzlových bodov (gridov), ktorých vzdialenosť dosahuje niekoľko stupňov zemepisnej šírky a dĺžky. Simulácie súčasnej klímy sú v globálnej mierke realistické, avšak pri prechode do regionálnej a lokálnej miery možno zistiť významné odchýlky medzi výstupmi modelov a pozorovanou klímou [1, 4, 6].

Na Slovensku nie sú k dispozícii vlastné GCMs. V rámci riešenia Projektu Slovak Republic's Country Study poskytol U.S. Country Studies Program (NCAR, Boulder, January 1995) výstupy piatich GCMs, z nich sa na regionálnu interpretáciu vybrali 3 (názov, riešiteľské pracovisko, horizontálny krok výstupov v sieti uzlových bodov v šírkových a dĺžkových stupňoch):

• GISS	(Goddard Institute for Space Studies, USA)	7.83° x 10.00°
• CCCM	(Canadian Climate Centre, Canada)	3.75° x 3.75°
• GFDL	(GFDL, Geophysical Fluid Dynamics Lab., USA)	2.22° x 3.75°

Výstupy modelov, ktoré máme k dispozícii obsahujú hodnoty priemerných mesačných teplôt, globálneho žiarenia a priemerných denných úhrnov zrážok po mesiacoch v uzlových bodoch pre kontrolnú klímu (simulácia 1xCO₂) a pre simuláciu 2xCO₂. Pre teplotu vzduchu sú to tiež rozdiely medzi simuláciami 1xCO₂ a 2xCO₂, pre zrážky a hustotu toku globálneho slnečného žiarenia podiely obidvoch simulácií. Mohli sme sa tiež opierať o ďalšie údaje, ako sú "CLIM data" - dlhodobé priemery pozorovanej teploty a zrážok v uzlových bodoch a nadmorská výška použitej orografie v uzlových bodoch [4, 6].

Na základe analýzy sme vybrali modely, ktoré najlepšie simulujú súčasné klimatické pomery Slovenska:

- CCCM (simuluje lepšie globálne slnečné žiarenie a teplotné pomery ako zrážkové pomery)
- GISS (simuluje lepšie globálne slnečné žiarenie a teplotné pomery ako zrážkové pomery)
- GFDL (simuluje lepšie zrážkové pomery ako teplotu vzduchu a globálne slnečné žiarenie)

Výstupy modelov simulujúce stav $1xCO_2$ však v žiadnom prípade nie je možné používať ako dlhodobé priemery pre obdobie 1951-1980.

Výsledky regionálnej interpretácie vybraných GCMs pre územie Slovenska pre scenáre zmeny mesačných priemerov teploty vzduchu a priemerných úhrnov zrážok sú uvedené v tab. 2.1. Je z nich vidieť väčšia neistota pri scenároch zmien zrážok ako teploty vzduchu. Scenáre globálneho slnečného žiarenia nepredpokladajú veľké zmeny oproti terajším dlhodobým priemerom. Očakáva sa rast slnečného žiarenia v lete asi o 5 % a pokles v zime asi o 2 %.

K predpokladaným zmenám teploty vzduchu v súvislosti s očakávaným rastom skleníkového efektu atmosféry je potrebné dodať podľa [6] najmä nasledujúce fakty:

- Je nepochybné, že rast skleníkového efektu atmosféry bude znamenať rast globálneho priemeru teploty prízemnej vrstvy atmosféry v rozsahu okolo $2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ pri stave $2xCO_2$
- Doteraz je však veľa neurčitostí okolo regionálneho rozloženia týchto zmien
- Nie je známe, aký časový priebeh budú mať tieto zmeny (lineárny alebo nelineárny)
- Oveľa viac neurčitostí je okolo súvisiacich zmien premenlivosti teplotných charakteristík.

Scenáre zmien úhrnov zrážok, vlhkosti vzduchu a pôdy majú ešte viac neistôt. Pri zmenách premenlivosti klimatických prvkov existujú iba veľmi hrubé a predbežné odhady.

To boli hlavné príčiny, ktoré nás viedli k príprave scenárov zmien klímy založených na predpokladanom raste ročných priemerov teploty vzduchu a korelačných vzťahov s inými klimatickými prvkami a charakteristikami. Na rozdiel od GCMs, tieto scenáre dávajú takmer jednoznačne pokles úhrnov zrážok vo vegetačnom období na juhu Slovenska a nepatrnú zmenu na ostatnom Slovensku (inkrementálne scenáre v tab. 2.2). To spolu s predpokladaným rastom teploty vzduchu zrejme zapríčini závažnú zmenu hydrologickej bilancie s poklesom ročných prietokov v riekach na celom Slovensku a s poklesom hladiny podzemných vôd, ako aj vlhkosti pôdy v južnej polovici Slovenska. S veľkou istotou je možné predpokladať výrazný pokles priemernej výšky a stability snehovej pokrývky najmenej do nadmorskej výšky 900 m, ak dôjde k očakávanému otepleniu v chladnej časti roka. Detailnejšie informácie o tejto problematike je možné získať v [2, 3, 4].

LITERATÚRA

- [1] Bultot, F. - Gellens, D.: Simulation of the impact of CO_2 atmospheric doubling on precipitation and evaporation - study of the sensitivity to various hypotheses. Conference on Climate and Water. Helsinki 1989, s. 73 - 92.
- [2] Lapin, M., Faško, P., Zeman, V.: Príspevok k analýze možných dôsledkov globálneho oteplenia atmosféry o $1 - 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ na zmeny klimatických pomerov na Slovensku. Národný klimatický program SR, zv. 2, MŽP SR, SHMÚ, Bratislava 1994, s. 35-77.
- [3] Lapin, M.: Assessment of the Slovak Republic's Vulnerability to Climate Change and Adaptive Strategies Design. In: Journal of Hydrology and Hydromechanics, Vol. 43, No. 4-5, Bratislava 1995, p. 354 - 370.
- [4] Lapin M., Nieplová E., Faško P.: Regionálne scenáre zmien teploty vzduchu a zrážok na Slovensku. Národný klimatický program SR, zv. 3. MŽP SR a SHMÚ, Bratislava 1995, s. 17-57.
- [5] Lapin M., Faško P., Nieplová E.: Regionálne inkrementálne scenáre zmien klimatických charakteristík v SR. Vybrané výsledky zmien relatívnej vlhkosti vzduchu a snehovej pokrývky. SR Country Study, No 8, SHMÚ, Bratislava 1996, 21 s.
- [6] U.S. Country Studies Program. Guidance for Vulnerability and Adaptation Assessments. U.S. Country Studies Management Team (PO-63), Washington, D.C., Oct. 1994, 518 s.

3. SÚČASNÝ STAV LESOV SLOVENSKA A ICH PREDPOKLADANÝ VÝVOJ

3.1 PRÍRODNÉ PODMIENKY HOSPODÁRENIA, SÚČASNÁ ŠTRUKTÚRA LESNÉHO FONDU

3.1.1 Výmera lesného pôdneho fondu, druhy vlastníctva a užívania

Lesy sú významnou súčasťou územia Slovenska, ktoré je charakteristické značnou výškovou členitosťou aj napriek rôznym nepriaznivým vplyvom a významnému nárastu industrializácie slovenského hospodárstva celková výmera lesov sa od roku 1950 zvýšila o 12,3 % (tab. 3.1.1). Súčasných 1 989 414 ha lesného pôdneho fondu predstavuje lesnatosť 40,6 % územia našej republiky, čo nás zaraďuje na popredné (4.) miesto v rámci európskych štátov.

Tab. 3.1.1 Vývoj porastovej a lesnej pôdy na Slovensku

Table 3.1.1 Development of forest stands and forest lands areas in Slovakia

Inventarizácia lesov	Pôda	Výmera ha	Nárast výmery	
			ha	%
1950	porastová lesná	1 763 056 1 771 166	-	-
1960	porastová lesná	1 769 012 1 775 644	5 956 4 478	0,3 0,3
1970	porastová lesná	1 826 564 1 836 489	57 552 60 845	3,3 3,4
1980	porastová lesná	1 861 642 1 878 876	35 078 42 387	1,9 2,3
1990	porastová LPF	1 921 705 1 976 538	60 063 97 662	3,1 4,9
1995	porastová LPF	1 923 506 1 989 414	1 801 12 876	0,1 0,7
1950-1995	porastová lesná (LPF)	- -	160 450 218 248	9,1 12,3

Pozn.: LPF - lesný pôdny fond

Do roku 1990 boli všetky lesné pozemky a porasty na nich v užívaní štátnych organizácií lesného hospodárstva. V procese reprivatizácie vzniklo viacero staronových vlastníckych subjektov, ktoré vstúpili do procesu obhospodarovania lesov. Vzhľadom na krátku dobu pôsobenia týchto subjektov nie je v súčasnosti reálne hodnotiť ich vplyv na stav lesných porastov.

3.1.2 Prírodné a rastové podmienky, funkcie a kategórie lesov

Prírodné podmienky a funkcie lesa v zásadnej miere ovplyvňujú základnú štruktúru lesov i spôsob ich obhospodarovania. Podrobnejším štúdiom prírodných podmienok na území lesných ekosystémov sa zaoberá viacero špecifických lesníckych disciplín. V poslednom období sa tieto práce sústredili do prieskumu ekológie lesa na Lesoprojekte Zvolen.

Výsledkom týchto prác bol návrh na vytvorenie 47 lesných oblastí na území SR. Lesné oblasti boli vytypované ako prírodné územné celky regionálnej systematickej úrovne na základe biogeografickej rajonizácie, pričom rozhodujúcou je syntéza kritérií geomorfologického, makroklimatického a pedogeologického členenia. Pre všetky oblasti boli vypracované podrobné charakteristiky prírodných (geológia, pedológia, klíma, aplikované jednotky lesníckej typológie) aj porastových (zastúpenie drevín, zmiešanie, bonitné stupne, zakmenenie, zásoba) pomerov (VLADOVIČ *et al.* 1994), ktoré sa môžu stať veľmi dobrým podkladom na vypracovanie modelov hospodárskych opatrení i celkového využívania lesných ekosystémov.

Jedným z výstupov, ktoré komplexnejšie charakterizujú prírodné podmienky (a pri ochranných lesoch aj funkčné zameranie), je rozdelenie porastovej pôdy podľa lesných vegetačných stupňov a ekologických radov, medziradov a súborov. V tab. 3.1.2 uvádzame percentuálne zastúpenie porastovej pôdy lesov SR (bez MO) v rámci uvedených jednotiek.

Tab. 3.1.2 Percentuálne zastúpenie LVS, ekologických radov a súborov v lesoch SR (bez lesov MO)
Table 3.1.2 Percentage of occurrence of altitudinal forest zones according to the ecological ranges in Slovak forests (without military forests)

Ekol. rad, medzirad, súbor Lesný vegetač. stupeň	A rad %	A/B %	B %	B/C %	C %	D %	a %	c %	Spolu %
1. dubový	0,73		3,41	0,15		0,56	0,13	1,58	6,56
2. bukovo-dubový	0,30		13,61	0,38	0,11	0,34			14,75
3. dubovo-bukový	0,58		21,61	0,99	0,47	0,55		0,10	24,29
4. bukový	0,80		16,63	2,06	0,53	1,03			21,04
5. jedľovo-bukový	1,85	6,05	8,85	1,74	0,24	1,74			20,46
6. smrekovo-bukovo-jedľový	2,08	3,45	1,29	1,17	0,12	1,00	0,31	0,04	9,45
7. smrekový	1,67			0,53		0,12			2,32
8. kosodrevinový	0,99			0,04		0,08	0,02		1,14
Spolu	9,00	9,49	65,39	7,05	1,47	5,42	0,46	1,72	100,00

Rad A - acidofilný (kyslý); Rad A/B - prechodný z kyslého do živného; Rad B - živný; Rad B/C - prechodný zo živného do nitrofilného; Rad C - nitrofilný, javorový; Rad D - alkalofilný, vápencový; súbor „a“ - acidofilný; súbor „c“ - nitrofilný.

Na základe údajov v tejto tabuľke môžeme konštatovať, že väčšina lesných porastov sa nachádza v priaznivých prírodných (rastových) podmienkach (rad B a prechodné A/B; B/C) z hľadiska plnenia produkčnej funkcie lesa. Tieto základné informácie však musíme v rámci konkrétnych lokalít doplniť súčasnými ekologickými podmienkami (mapovanie lesných typov bolo uskutočňované v dlhšom časovom období) a stanovištnú vhodnosť súčasného drevinového zloženia (kap. 3.1.3).

Definovanie pojmu „funkcia lesa“ je veľmi rôznorodé. Každý autor uplatňuje svoj uhol pohľadu podľa svojho odborného zamerania (ekológ, ekonóm, technik). Všeobecne však môžeme povedať, že je to úloha, ktorá sa lesu plánovite prisudzuje pri zabezpečovaní materiálnych a nemateriálnych potrieb spoločnosti a ktorú lesné hospodárstvo zabezpečuje špecifickým obhospodarovaním, resp. zveľaďovaním lesa.

Väčšina autorov sa zhoduje, že všetky funkcie možno rámcovo združiť do troch základných funkcií:

- produkčnej funkcie lesa, ktorá spočíva vo využívaní lesa na získavanie materiálnych hodnôt, najmä drevnej suroviny,
- ekologickej (ochrannej) funkcie lesa, ktorá je zameraná na využívanie pôsobenia lesa na okolité prostredie (pôdu, vodu, vzduch),
- environmentálnej (spoločenskej, sociálnej) funkcie lesa, ktorá spočíva vo využívaní lesa ako životného prostredia spoločnosti.

Týmto základným funkciám zodpovedá doterajšia i nová kategorizácia lesov. V § 23 zákona 61/1977 Zb. v neskoršom znení sa uvádza:

„1. Z hľadiska prevažujúcich funkcií lesov sa lesy členia na hospodárske lesy, ochranné lesy a na lesy osobitného určenia.“

Podiel jednotlivých kategórií na celkovej výmere lesov sa s vývojom spoločnosti postupne presúva v prospech kategórie lesov ochranných a v poslednom čase najmä lesov osobitného určenia (tab. 3.1.3).

V niektorých súčasných prácach (KREČMER 1991, HLADÍK 1995) sa však ozývajú názory, že takáto kategorizácia bola síce v minulosti prínosom (prísne oddelenie produkčných - hospodárskych lesov od ostatných), ale v súčasnosti môže mať i negatívne dôsledky. Namietajú sa, že aktuálne spoločenské potreby v ochrane a tvorbe krajinného prostredia nútia lesné hospodárstvo prechádzať od oddeľovania ku zlučovaniu produkčných a verejnoprospešných požiadaviek pri obhospodarovaní lesa v každej jednotke priestorového rozdelenia lesa. Tieto trendy si vyžadujú v čoraz väčšej miere uplatňovať zásady funkčne integrovaného lesného hospodárstva.

Tab. 3.1.3 Relatívne plošné zastúpenie kategórií lesov v lesoch Slovenska

Table 3.1.3 Relative areal portion of forest categories in the Slovak forests

Kategória lesov	Rok inventarizácie					
	1950	1960	1970	1980	1990	1995
Lesy hospodárske	93,5	86,4	79,1	80,1	74,5	68,2
Lesy osobitného určenia (do r. 1977 účelové I)	-	7,9	14,3	10,0	12,0	17,2
Lesy ochranné (do r. 1977 účelové II)	6,5	5,7	6,6	13,5	13,5	14,6

Naša súčasná legislatíva i prax lesného hospodárstva (LH) však zatiaľ zostáva pri klasickom delení základných kategórií (funkcií) a konkrétne funkcie sa snaží zabezpečiť vyhlasovaním subkategórií.

3.1.3 Drevinové zloženie

Rozšíreniu lesných drevín na území Slovenska sa venovalo veľa špecialistov (najmä Blatný a Šťastný). Z hľadiska využitia získaných poznatkov v praktickom usmerňovaní ďalšieho vývoja tohoto rozšírenia to boli najmä práce HANČINSKÉHO (1977, 1982) a v súčasnosti v nadväznosti na klimatické charakteristiky a ich predpokladané zmeny MINDÁŠA (1993) a MINDÁŠA a ŠKVARENINU (1994).

V prácach Hančinského sa uvažuje s relatívne stabilnými stanovištnými (pôda, klíma), produkčnými podmienkami a na ich základe sa odvodili tiež údaje o cieľovom zložení drevín v konkrétnych hospodársko-úpravnických, resp. typologických jednotkách (skupina lesných typov, hospodársky súbor lesných typov, prevádzkový súbor) stavebnicovo na celom území Slovenska. V určitom období pritom HANČINSKÝ (1982) musel rešpektovať i požiadavky ústredných orgánov na zvýšenie zastúpenia tzv. ekonomických drevín, najmä smreka. Toto cieľové zastúpenie drevín však je doteraz podkladom pre rámcové plánovanie, v rámci ktorého navrhujeme drevinovú štruktúru našich lesov v budúcnosti (80 až 100 rokov). Preto tomuto problému bude potrebné venovať znovu náležitú pozornosť a je treba vypracovať prípadné návrhy na úpravu pôvodne navrhovaného drevinového zloženia podobne, ako to urobil pre lesy ČR ŠINDELÁŘ (1995).

Údaje inventarizácie lesov za posledných 45 rokov (tab. 3.1.4) poukazujú na skutočnosť, že súčasné zastúpenie hlavných drevín je významne rozdielne od pôvodného (nadbytok smreka, nedostatok buka a duba), avšak celú dobu zostáva stabilné, s výnimkou trvalého ústupu jedle.

Tab. 3.1.4 Plošné zastúpenie drevín v lesoch Slovenska

Table 3.1.4 Tree species composition of the Slovak forests

Drevina	Pôvodné zastúpenie	Rok inventarizácie						
		1950	1970	1980	1983	1988	1993	1995
		porastová plocha						
		%	%	%	%	%	%	%
Smrek	7,7	27,3	26,3	26,4	26,8	27,3	27,5	27,2
Jedľa	14,1	7,7	6,6	5,8	5,5	5,0	4,6	4,6
Borovica	0,9	6,3	6,9	7,5	7,7	7,9	7,7	6,8
Smrekovec	0,1	1,1	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,2
Kosodrevina	-	-	-	1,0	1,0	1,1	1,0	1,1
Ost. ihlič.	0,8	0,4	1,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0
Ihlič. spolu	23,6	42,8	42,3	42,5	42,9	43,3	43,1	41,9
Dub	21,6	11,7	11,6	11,7	11,6	11,5	11,3	11,5
Dub cerový	-	3,0	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4	2,5
Buk	45,2	28,4	29,3	29,5	29,4	29,5	29,6	30,2
Hrab	3,7	5,9	6,0	5,7	5,6	5,5	5,5	5,7
Javor	1,9	0,9	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7
Jaseň	0,3	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1	1,2
Brest	1,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Agát	-	2,1	2,0	1,9	1,8	1,7	1,7	1,8
Breza	0,1	2,1	1,3	1,3	1,3	1,2	1,3	1,3
Jelša	0,3	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6
Topol' dom.	-	-	0,9	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4
Topole šľach.	-	-	-	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6
Vrba	-	-	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Ost. list.	0,9	1,5	0,8	0,6	0,7	0,5	0,5	0,5
List. spolu	76,4	57,2	57,7	57,5	57,1	56,7	56,9	58,1
Ihlič. + list.	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Treba však konštatovať, že pre ďalší očakávaný vývoj nie je dostačujúca informácia o celkovom podiele jednotlivých drevín, ale treba podrobnejšie analyzovať zastúpenie jednotlivých drevín v rámci lesných vegetačných stupňov (ideálne by bolo v rámci HSLT) a tiež, či tvoria rovnoveké monokultúry, alebo zmiešané, sčasti nerovnovážne porasty.

Na základe údajov v tab. 3.1.5 musíme však žiaľ konštatovať, že naša najlabilnejšia drevina - smrek, je najviac zastúpená rovnorodými porastami (porastový typ 11 - smrečiny s výmerou 308 tisíc ha), ktoré podľa doterajších štatistík sú najviac ohrozené širokou škálou škodlivých činiteľov (imisie, vietor, podkôrniky), a preto ich prebudovaniu bude potrebné venovať prvoradú pozornosť.

Z údajov tab. 3.1.5 však možno tiež konštatovať, že v lesoch Slovenska sú relatívne dobre zastúpené i zmiešané porasty duba a buka v nižších vegetačných stupňoch (porastový typ 16 a 17 v 2. a 3. LVS) a vo vyš-

ších vegetačných stupňoch zmiešané porasty buka, jedle a smreka (porastový typ 22, 23), ktoré môžu tvoriť kostru ekologicky stabilných lesných ekosystémov v daných oblastiach.

Tab. 3.1.5 Zastúpenie hlavných porastových typov v jednotlivých LVS (lesy SR bez MNO)
Table 3.1.5 Portion of the major forest types for individual altitudinal forest zones

LVS	Porastový typ										
	11	12	13	14	15	16	17	22	23	24	27
	Skutočná plocha (ha / %)										
1	183 0,2	10 0	21 363 21,4	19 544 19,6	602 0,6	856 0,9	2 775 2,8	20 0	0 0	4 022 4	130 0,1
2	2 151 0,8	163 0,1	22 765 8,6	107 556 40,8	9 056 3,4	25 509 9,7	53 839 20,4	1 668 0,6	904 0,3	15 075 6,6	1 882 0,6
3	12 587 2,9	1 583 0,4	34 033 7,7	9 148 2	183 770 41,7	101 325 23	26 743 6,1	33 714 7,7	10 510 2,4	8 057 1,8	6 104 1,4
4	40 236 10,6	4 103 1,1	24 623 6,5	399 0,1	147 299 38,9	5 717 1,6	712 0,2	99 857 26,4	47 111 12,4	912 0,2	956 0,3
5	127 652 33,5	4 681 1,3	10 150 2,9	2 0	28 139 7,6	358 0,3	68 0	96 333 24,4	110 776 29	116 0	818 0,2
6	91 599 55,9	146 0,2	2 898 1,8	0 0	7 887 4,8	57 0	2 0	18 372 11,2	38 714 23,6	12 0	2 974 1,8
7	33 875 89,5	0 0	113 0,3	7 0	106 0,3	0 0	0 0	645 1,7	2 584 6,8	0 0	0 0
8	279 1,5	0 0	282 1,5	0 0	4 0	0 0	0 0	0 0	29 0,1	0 0	0 0
Σ	308 562	10 686	116 227	136 656	376 863	133 822	84 139	250 609	210 628	29 094	12 864

11 - smrečiny 14 - dubiny 17 - bukové dubiny 24 - dubiny v zmesi s ihličnanmi
 12 - jedliny 15 - bučiny 22 - smrekovo-jedľové bučiny 27 - hrabiny výmladkového pôvodu
 13 - boriny 16 - dubové bučiny 23 - bukovovo-jedľové smrečiny

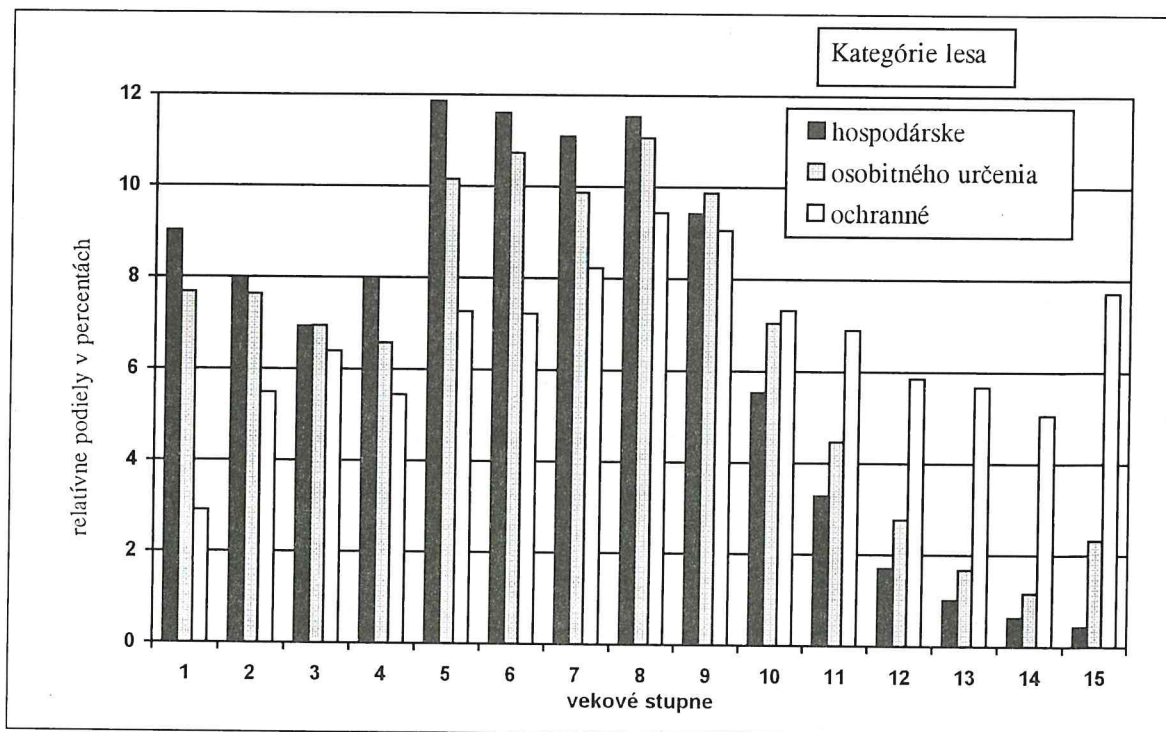
3.1.4 Veková štruktúra

Pri uplatňovaní holorubného aj podrastového hospodárskeho spôsobu je veková štruktúra lesných porastov jedným zo základných faktorov ovplyvňujúcich možnosti zabezpečenia trvalej existencie lesa v rámci zvolených jednotiek reprodukcie lesa (LHC, LUC, PS). Vypracované modely si vyžadujú buď rovnomerné zastúpenie všetkých vekových stupňov v rámci zvolenej rubnej doby, alebo postupné klesanie zastúpenia v závislosti na dĺžke obnovnej doby a tiež pravdepodobnosti prechodu medzi jednotlivými vekovými stupňami v mladšom veku.

Na úrovni veľkého územného celku lesov SR však možno vekovú štruktúru hodnotiť len rámcovo z hľadiska trendu jej zmien. Z porovnania zastúpenia jednotlivých vekových tried v tab. 3.1.6 možno konštatovať, že za posledných 40 rokov nastalo výrazné zvýšenie zastúpenia vyšších vekových tried, čo bezprostredne súvisí s postupným zvyšovaním rubnej doby vo všetkých kategóriách lesov.

Vzhľadom na zámer podrobnejšie charakterizovať štruktúru lesov v rámci kategórie lesov (lepší prehľad o možnostiach zabezpečenia funkcií lesov) na obr. 3.1.1 uvádzame tiež plošné zastúpenie kategórií lesov podľa stavu v roku 1993. Na základe týchto údajov môžeme konštatovať nadpriemerné zastúpenie 5. až 8. vekového stupňa kategórie lesov hospodárskych, čo môže mať priaznivé dôsledky na vývoj očakávaných ťažieb v najbližších desaťročiach. Z hľadiska poslania a spôsobu obhospodarovania lesov ochranných je v týchto lesoch vcelku logické vyššie zastúpenie najstarších vekových stupňov (11.-15.) oproti lesom hospodárskym i osobitného určenia.

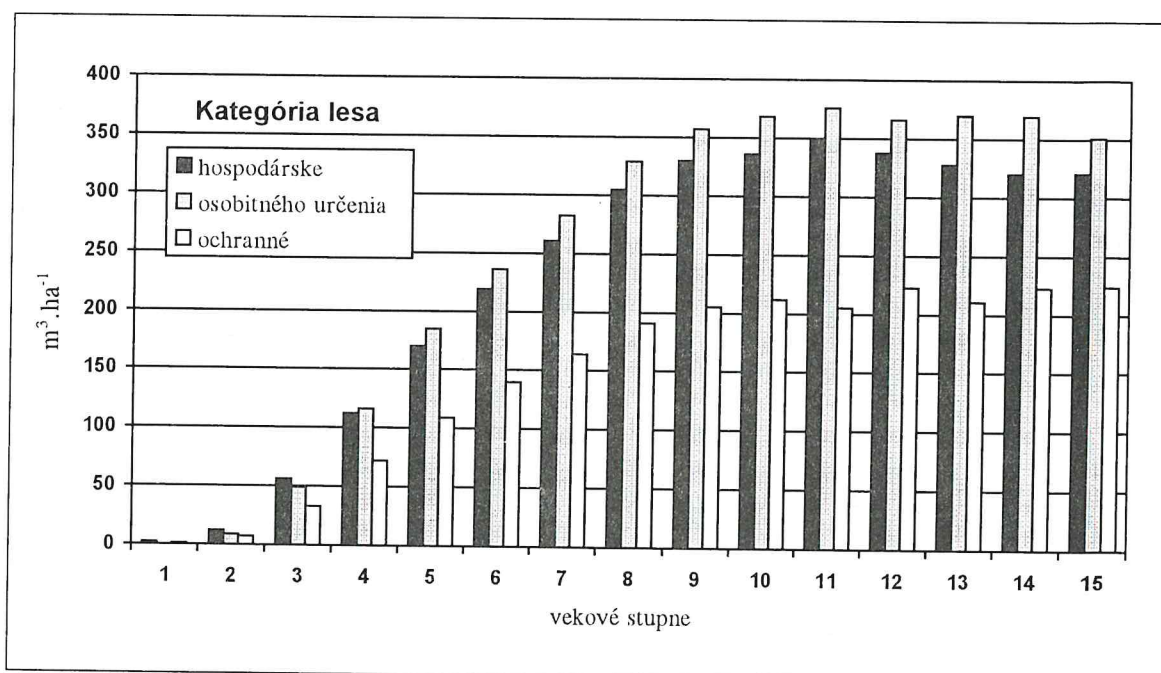
Analýza skutočného zastúpenia drevín podľa vekových stupňov pre jednotlivé kategórie ukázala výrazné rozdiely v zastúpení ihličnatých a listnatých drevín, najmä v stredných vekových kategóriách v lesoch hospodárskych a lesoch osobitného určenia. Prakticky to znamená (vzhľadom na celkovú výmeru jednotlivých kategórií), že na konštatovanom očakávaní zvýšenia ťažbových možností sa budú podieľať predovšetkým listnaté dreviny.



Obr. 3.1.1 Relatívne zastúpenie porastových plôch vo vekových stupňoch podľa kategórií lesa
 Figure 3.1.1 Relative portion of forest stands in age classes according to the forests categories

Tab. 3.1.6 Relatívne plošné zastúpenie vekových tried v rokoch inventarizácie
 Table 3.1.6 Relative areal portion of the age classes in the inventory years

Rok inventarizácie	Veková trieda						
	1-20	21-40	41-60	61-80	81-100	101-120	121+
	%						
1950	25	23	22	14	9	7	-
1970	17	22	22	18	10	6	5
1993	17	14	22	21	15	6	5



Obr. 3.1.2 Zásoba ihličnatých a listnatých drevín na 1 ha podľa kategórií lesov
 Figure 3.1.2 Total wood stock per hectare according to the forest categories

Tab. 3.1.7 Zásoba spolu, zásoba na 1 ha a zakmenenie podľa vekových stupňov v lesoch Slovenska
Table 3.1.7 Total wood stock, wood stock per hectare and stocking according to the age classes in Slovak forests

Rok	Charakteristika	Vekový stupeň							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1970	Zásoba spolu	221,7	1 908,2	8 201,3	17 684,8	28 714,1	41 959,2	45 909,4	39 152,3
	1000 m ³ b.k.								
	Zásoba na 1 ha	2	11	37	90	148	208	251	283
	m ³ b.k.								
1980	Zásoba spolu	116,8	1 682,7	7 727,3	20 877,3	30 166,2	41 085,4	51 023,3	49 027,5
	1000 m ³ b.k.								
	Zásoba na 1 ha	1	11	43	97	155	207	259	287
	m ³ b.k.								
1983	Zásoba spolu	82,4	692,1	6 846,0	20 799,8	31 826,2	40 077,8	52 784,2	55 878,2
	1000 m ³ b.k.								
	Zásoba na 1 ha	1	11	47	100	150	208	257	293
	m ³ b.k.								
1988	Zásoba spolu	226,0	1 536,9	5 882,5	18 343,9	33 064,0	40 810,0	51 351,8	57 340,5
	1000 m ³ b.k.								
	Zásoba na 1 ha	1	10	47	101	158	208	251	292
	m ³ b.k.								
1993	Zásoba spolu	235,7	1 620,7	7 031,3	15 443,0	34 215,7	43 657,2	49 230,7	61 089,4
	1000 m ³ b.k.								
	Zásoba na 1 ha	1	11	53	110	167	215	254	295
	m ³ b.k.								
	Zakmenenie	85	89	86	82	80	78	76	75
		9	10	11	12	13	14	15	Spolu
1970	Zásoba spolu	305 550,4	22 385,3	16 618,1	13 257,4	7 871,9	4 441,1	3 958,2	282 834,4
	1000 m ³ b.k.								
	Zásoba na 1 ha	293	292	293	291	289	291	265	158
	m ³ b.k.								
1980	Zásoba spolu	35 557,7	26 870,8	17 982,8	13 371,6	10 347,7	5 021,4	5 301,5	317 160,0
	1000 m ³ b.k.								
	Zásoba na 1 ha	306	303	206	292	288	275	277	170
	m ³ b.k.								
1983	Zásoba spolu	39 622,4	28 879,3	18 901,2	13 255,5	9 679,0	5 524,0	6 022,5	331 870,6
	1000 m ³ b.k.								
	Zásoba na 1 ha	305	306	297	288	284	278	271	175
	m ³ b.k.								
1988	Zásoba spolu	46 250,7	30 355,5	19 927,7	13 336,2	9 855,2	6 571,7	7 077,5	341 930,3
	1000 m ³ b.k.								
	Zásoba na 1 ha	305	305	297	287	279	269	260	181
	m ³ b.k.								
1993	Zásoba spolu	55 760,9	35 957,2	23 465,1	13 796,2	9 217,1	6 727,4	8 498,1	365 945,4
	1000 m ³ b.k.								
	Zásoba na 1 ha	317	320	317	302	278	273	266	192
	m ³ b.k.								
	Zakmenenie	74	73	72	70	68	69	68	79

3.1.5 Zásoby a prírastky

Zásoba dreva v porastoch a najmä celková objemová produkcia patria medzi hlavné ukazovatele úrovne využívania produkčnej schopnosti lesných pozemkov a porastov.

Ak porovnáme celkové zásoby dreva (objemu hrubiny) v rokoch posledných inventarizácií, môžeme konštatovať ich pravidelný vzostup (tab. 3.1.7): 1970 - 283 mil. m³, 1980 - 317 mil. m³, 1990 - 348 mil. m³, 1995 - 377 mil. m³.

Taktiež zásoby na 1 hektár v rámci vekových stupňov aj spolu majú stúpajúcu tendenciu (tab. 3.1.7). Príčin týchto skutočností môže byť viacero. Popri skutočných vplyvoch hospodárenia sa tu môžu prejaviť aj

spresnenie metód zisťovania zásob, zmena zastúpenia drevín a v poslednej inventarizácii i používanie nových rastových tabuliek, ktoré udávajú väčšie hektárové zásoby, najmä buka a všetkých drevín s bývalou bonitou +1.

Na obr. 3.1.2 uvádzame porovnanie celkových hektárových zásob ihličnatých a listnatých drevín v rámci kategórií lesov (podľa SLHP 1993). Z porovnania jednotlivých hodnôt môžeme konštatovať známu skutočnosť o produkčnej prevahe ihličnatých drevín, ale i menej známe skutočnosti, ako je výrazne nižšia zásoba obidvoch skupín drevín v ochranných lesoch a najmä vyššia zásoba na 1 ha v lesoch osobitného určenia ako v lesoch hospodárskych. Pri podrobnejšom rozbere však zistíme, že táto skutočnosť je len dôsledkom väčšieho zastúpenia ihličnanov v tejto kategórii lesov.

V tab. 3.1.7 je vypočítaná tiež ďalšia taxačná charakteristika, ktorá nám podáva informáciu o miere využívania porastovej plochy, a síce zakmenenie. Z uvedených údajov musíme konštatovať, že hodnota tejto veličiny sa za posledných 25 rokov v podstate nezmenila (0,76-0,79), čo nie je celkom v súlade s predpokladaným preriedovaním porastov v dôsledku pravidelnej imisnej ťažby rozptýlených jedincov.

Ďalšou dôležitou taxačnou charakteristikou sú prírastky drevín. Najčastejšie využívané sú hodnoty celkového priemerného prírastku, celkového bežného prírastku a priemerného rubného prírastku. Hodnoty týchto prírastkov pre skupiny drevín ihličnatých a listnatých uvádzame v tab. 3.1.8.

K uvedeným konkrétnym hodnotám jednotlivých prírastkov treba uviesť, že sú vypočítané na základe vstupov konkrétnych taxačných veličín (vek, zásoba, bonita, drevina) podľa predpokladaného vývoja rastového procesu v nových rastových tabuľkách (HALAJ *et al.* 1987). Vstupné údaje pre tieto RT boli zisťované v čase a v porastoch, kedy sa ešte výraznejšie neprejavovali nepriaznivé účinky zmenených ekologických podmienok, najmä imisií.

Tab. 3.1.8 Prehľad prírastkov skupín drevín podľa kategórií lesov

Table 3.1.8 Total wood increments of forest trees (coniferous, broadleaves) according to the forest categories

Skupina drevín	Kategória	CPP	CBP	PRP
		m ³ bez kôry na 1 ha		
ihličnaté	H	7,7	8,9	4,3
	U	8,0	9,5	4,4
	O	3,2	5,1	1,9
listnaté	H	5,0	6,7	3,3
	U	4,9	6,2	3,2
	O	3,4	4,9	2,1
Spolu	H	5,9	7,4	3,6
	U	6,6	8,1	3,9
	O	3,3	5,0	2,0

Pozn.: H - hospodárske, U - osobitného určenia (účelové I), O - ochranné (účelové II) lesy

LITERATÚRA

- ĎURSKÝ, J., 1994: Dôsledky očakávaných zmien klímy na lesné hospodárstvo Slovenska. Expertízna správa pre NKP SR, LF TU Zvolen, 1994.
- HALAJ, J. *et al.*, 1987: Rastové tabuľky hlavných drevín ČSSR. Bratislava, Príroda.
- HANČINSKÝ, L., 1977: Lesnícka typológia v prevádzkovej praxi. Príroda Bratislava, 1977.
- HANČINSKÝ, L., 1982: Informatívna správa pre MLVH SSR o možnostiach rastu zastúpenia smreka obyčajného v podmienkach lesného hospodárstva SSR. Lesoprojekt Zvolen, 1982.
- HLADÍK, M., 1995: Dôsledky klimatických zmien na lesné porasty a hospodársko-úpravnícke plánovanie. In: Lesné ekosystémy a globálne klimatické zmeny, LVÚ Zvolen, 1995, 58-66.
- KOLEKTÍV, 1993: Konceptia a zásady lesníckej politiky. In: Konceptia a zásady pôdohospodárskej politiky, MP SR Bratislava 1993, 77-104.
- KREČMER, V., 1991: Ke smyslu kategorizace lesů a k jejímu poslání v současnosti. Věstník ČSAZ Praha, 1991, č. 8-9, 455-460.
- MINDÁŠ, J., 1993: Klimatické areály rozšírenia lesných drevín vo vzťahu ku klimatickým zmenám. In: Zborník „Klimatické zmeny a lesní hospodárství“, Brno 1993, 83-88.
- MINDÁŠ, J., ŠKVARENINA, J.: Predpokladané dôsledky klimatických zmien na lesné ekosystémy. In: Národný klimatický program SR, I, 1994, 56-82.
- PRIESOL, A., HLADÍK, M.: Hospodársko-úpravnícke plánovanie v lesoch pod záťažou imisií. In: Hospodárska úprava lesa, ekonomika a lesnícka politika. LVÚ Zvolen, 1993, 28-34.
- ŠINDELÁŘ, J.: Náměty na úpravu druhové skladby lesů v České republice. Lesnictví-Forestry, 41, 1995, č. 7, s. 305-315.
- VLAHOVIČ, J. *et al.*, 1994: Lesné oblasti Slovenska. Lesoprojekt Zvolen, 1994.

3.2 ZDRAVOTNÝ STAV LESOV SLOVENSKA

Zdravotný stav lesných porastov Slovenska sme spracovali na základe výsledkov monitoringu zdravotného stavu lesov na Slovensku a na základe výskytu škodlivých činiteľov v lesoch SR v jednotlivých rokoch (KOLEKTÍV 1987-1995), teda analýzou poznatkov, ktoré LOS (Lesnícka ochranná služba) získala prostredníctvom hlásení od vlastníkov a užívateľov lesa.

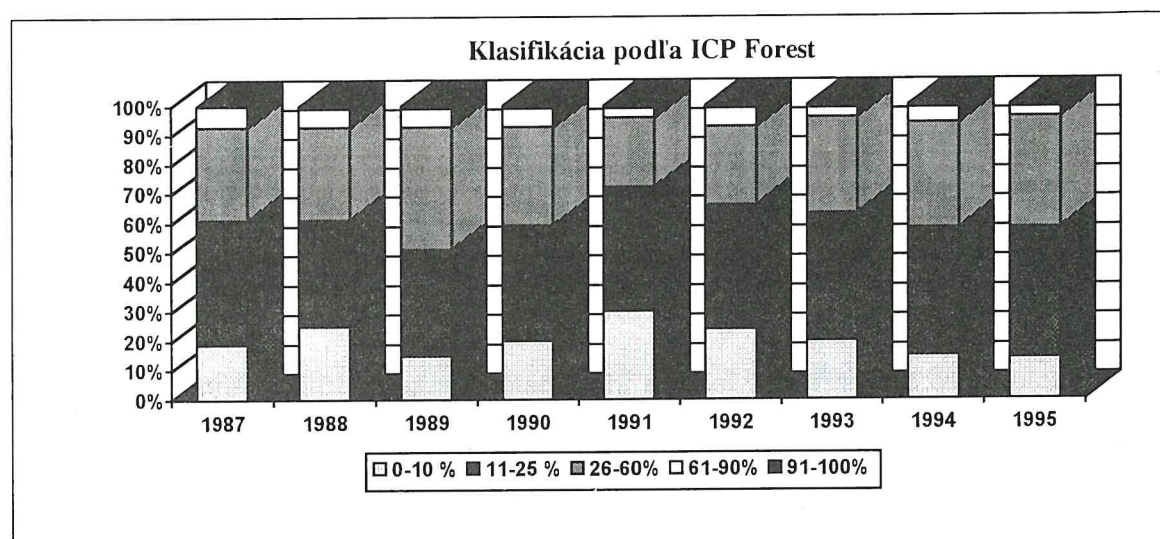
3.2.1 Výsledky monitoringu zdravotného stavu lesov na Slovensku

Lesnícky výskumný ústav vo Zvolene vykonal v roku 1996 už 10. monitorovací cyklus v sieti 16x16 km na 111 monitorovacích plochách. Každá plocha má výmeru 0,25 ha. Celkovo bolo monitorovaných a hodnotených 5 453 stromov. Hlavným indikátorom zdravotného stavu drevín bola defoliácia. Pri hodnotení defoliácie sa využívala medzinárodná 5-triedna stupnica poškodenia, ale tiež rozdelenie do 5 percentuálnych tried defoliácie, z ktorých bola vypočítaná aj priemerná defoliácia drevín v rokoch 1987 - 1996 (tab. 3.2.1).

Tab. 3.2.1 Priemerná defoliácia (%) drevín v rokoch 1987 - 1996

Table 3.2.1 Average defoliation (%) of trees during 1987 - 1996

Drevina	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
buk	23	19	23	17	13	17	17	21	21	20
dub	24	30	35	31	25	27	27	30	31	30
hrab	18	14	20	18	13	18	25	20	22	19
jaseň	29	23	29	38	40	38	30	40	33	30
javor	39	35	46	39	33	30	29	32	28	23
agát	32	37	38	74	46	61	51	57	48	43
topoľ	26	40	37	38	45	50	32	36	37	37
Listnaté spolu	24	23	27	25	19	23	23	26	25	24
smrek	34	28	31	29	25	27	29	32	32	27
jedľa	52	31	39	37	31	33	32	33	32	33
borovica	40	45	44	44	33	42	29	32	33	31
smrekovec	24	20	33	30	17	26	27	30	28	25
Ihličnaté spolu	35	32	35	33	27	29	29	32	32	28
Spolu	30	27	30	28	23	26	26	28	28	26



Obr. 3.2.1 Vývoj poškodenia lesov Slovenska podľa 5-triednej stupnice

Figure 3.2.1 Development of forest damage according to the ICP forest classification (5 classes)

Desaťročné monitorovacie obdobie defoliácie ukazuje priaznivejšiu situáciu pri listnatých drevinách, kde predovšetkým buk a hrab sú najmenej poškodzované dreviny.

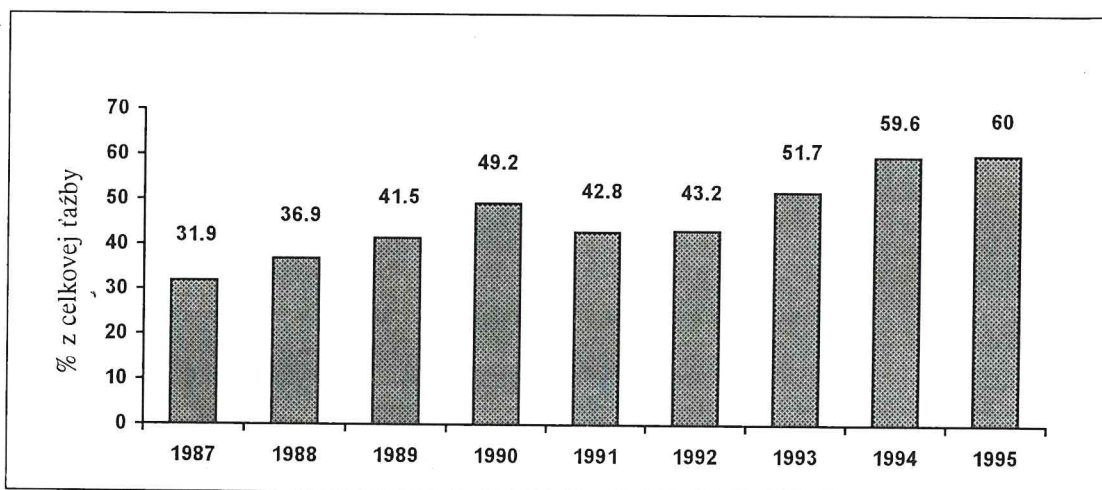
Priemerná celková defoliácia za sledované obdobie je 27,2 %. Listnaté dreviny majú priemernú desaťročnú defoliáciu 23,9 % a ihličnany 31,2 %. Ak však porovnávame priemerné hodnoty defoliácie za 5-ročné obdobia zistíme, že v prvej polovici dekády bola priemerná celková defoliácia 27,6 a v druhej polovici 26,8 %. Kým pri ihličnatých drevinách klesla priemerná defoliácia z 32,4 na 30, pri listnáčoch sme zaznamenali nárast

z 23,6 na 24,2 %. Údaje priemernej defoliácie nemusia mať vždy najlepšiu výpovednú schopnosť, preto na doplnenie uvádzame aj informáciu o vývoji poškodenia v rámci jednotlivých stupňov poškodenia (obr. 3.2.1).

Výsledky monitoringu zdravotného stavu lesov poskytujú informácie o dôsledku - stupni defoliácie jednotlivých drevín v jednotlivých oblastiach, ale nehovoria nič o príčinách a dôsledkoch tohoto stavu.

3.2.2 Vplyv zdravotného stavu lesných porastov na vývoj ťažieb

Zhoršovanie zdravotného stavu lesov sa prejavuje na stúpajúcom trende objemu kalamitných ťažieb. Do náhodných ťažieb sa zahŕňa odstraňovanie mŕtvych, chradnúcich, mechanicky poškodených, či hmyzom napadnutých stromov. Stúpajúci trend náhodných ťažieb a ich už 60-% podiel z celkového objemu vytŕaženého dreva (obr. 3.2.2) indikuje vážnosť zdravotného stavu lesných porastov na Slovensku. Najväčší objem náhodných ťažieb bol v roku 1995 zaznamenaný v lesoch patriacich do kompetencie Lesného úradu Spišská Nová Ves (532 tis. m³), LÚ Prešov (425 tis. m³) a LÚ Banská Bystrica (368 tis. m³). V pomernom vyjadrení bol vykázaný najväčší podiel náhodnej ťažby na celom objeme ťažieb v lesoch patriacich do kompetencie LÚ Spišská Nová Ves (91,5 %), LÚ Prešov (89,8 %), LÚ Poprad (87,5 %), LÚ Banská Bystrica (78,1 %) a LÚ Zvolen (75,0 %).



Obr. 3.2.2 Podiel náhodnej ťažby na celkovej ťažbe v lesoch SR

Figure 3.2.2 Portion of salvage harvesting on the total harvesting in Slovak forests

V závislosti na forme vlastníctva je podiel náhodných ťažieb na celkovom množstve vytŕaženého dreva v uvedených územiach s najväčším objemom náhodných ťažieb nasledujúci: súkromní vlastníci 95,9 %, mestské lesy 91,8 %, obecné lesy 82,4 %, urbáriaty a spoločenstvá 88,3 % a štátne lesy 84,5 %.

V roku 1996 nie je predpoklad percentuálneho zníženia náhodných ťažieb. Ved' len veterná kalamita v lesoch stredného Slovenska 8.7.1996 spôsobila poškodenie asi 1,5 mil. m³ dreva, čo je takmer tretina ročnej ťažby celého lesného hospodárstva SR.

3.2.3 Výskyt škodlivých činiteľov v lesoch Slovenska v rokoch 1987 - 1995

V sledovanom období boli analyzované najdôležitejšie prírodné abiotické, biotické a antropogénne škodlivé činitele v lesných porastoch SR celkovo, v jednotlivých regiónoch reprezentovaných lesmi patriacimi do pôsobnosti jednotlivých lesných úradov v roku 1995, ako aj podľa jednotlivých drevín.

Najdôležitejšie prírodné abiotické škodlivé činitele spôsobujúce najvyššie náhodné ťažby sú vetrové polomy, snehové polomy, polomy námrazou a škody suchom. Najdôležitejšie prírodné biotické činitele sú lykožrúť smrekový a lesklý, drevočak čiarkovaný, lykokaz na borovici, podkôrnik dubový, podpřovka obyčajná, tracheomykózy, hniloby, sypavky a ostatné podkôrniky. Najvýznamnejším antropogénnym činiteľom sú imisie, ale analyzované boli aj požiare, krádeže, škody pri turistike, pastva a neznáme antropogénne činitele. Samostatne sú vyčlenené neznáme príčiny hynutia.

Škodlivé činitele spôsobujúce najväčšie škody v lesoch SR sú uvedené v tab. 3.2.2. Na obr. 3.2.2 je znázornený priebeh celkovej ťažby v lesoch SR, náhodnej ťažby, vetrových polomov, škôd spôsobených imisiami a suchom. Z uvedeného grafu vidieť nielen to, že celková ťažba dreva v roku 1995 opäť dosahuje výšku ťažby z prelomu 80. a 90. rokov, narastajúci trend náhodných ťažieb, ale aj podiel vetrových polomov, škôd imisiami a suchom z celkovej a náhodnej ťažby.

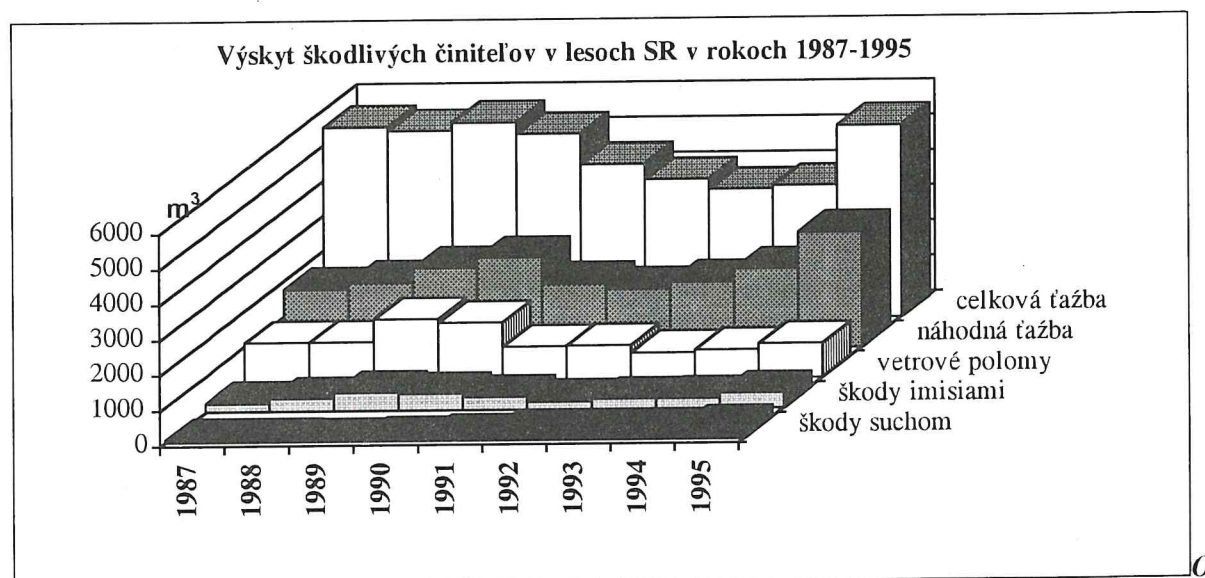
Kým antropogénne škodlivé činitele v sledovanom období spôsobili priemerne iba 13 % všetkých škôd v lesoch Slovenska, biotické činitele spôsobili 29 % škôd a najväčší podiel 58 % pripadá na abiotické prírodné škodlivé činitele.

Tab. 3.2.2 Výskyt škôd v lesoch SR (tis. m³) podľa najdôležitejších škodlivých činiteľov v rokoch 1987 - 1995
Table 3.2.2 Occurrence of damages in Slovak forests in thousands m³ according to the most important injurious agents during the period 1987 - 1995

Rok	Polomy vetrové	Polomy snehové	Škody suchom	Škody imisiami	Lykožrút smrekový	Podkôrník dubový	Nezistené príčiny
1987	1090	366	65	241	388	52	685
1988	1097	305	52	366	365	46	492
1989	1733	278	50	519	234	97	442
1990	1629	208	70	469	155	110	354
1991	938	148	132	380	150	100	120
1992	955	118	182	217	185	43	63
1993	741	202	242	285	475	43	46
1994	805	603	229	299	506	31	60
1995	972	298	337	431	866	38	194

Z analýzy jednotlivých škodlivých pôsobiacich činiteľov je zaujímavý výrazný vzostup výskytu škôd spôsobených suchom. Kým koncom 80. rokov bolo % škôd spôsobených suchom zo všetkých škôd iba 2 - 3 %, od roku 1992 škody suchom predstavujú 10,2 až 12,9 % všetkých škôd, teda dostávajú sa takmer na úroveň imisných škôd. Podobne ako narastá výskyt škôd spôsobených lykožrútom smrekovým, tak dochádza aj k značnému nárastu škôd spôsobovaných ostatnými podkôrníkmi na smreku.

Výrazne klesajúci trend sa prejavil pri polomoch námrazou, hynutí jedle, pri podkôrníku dubovom, podpňovke obyčajnej a škodách vzniknutých z nezistených príčin.



Obr. 3.2.2 Výskyt škodlivých činiteľov v lesoch SR v rokoch 1987 - 1995

Figure 3.2.2 Occurrence of injurious agents in Slovak forests during the period 1987 - 1995

Pre zhodnotenie celkovej situácie, jej súčasného, minulého, ale najmä budúceho stavu je veľmi dôležitá analýza vplyvu jednotlivých škodlivých činiteľov na naše lesné dreviny. Ako modelový bol zvolený rok 1995. Najdôležitejšie škodlivé činitele a podiel drevín na týchto škodách sú spracované v tab. 3.2.3.

Napriek tomu, že buk má najväčšie zastúpenie na Slovensku, poškodených bolo celkovo 246 336 m³, čo je iba 7,55 % zo všetkých náhodných ťažieb, ale až 51,1 % z celkových náhodných ťažieb listnatých drevín. Ale smreka bolo poškodeného až 2 149 413 m³, čo predstavuje až 65,9 % z celkových náhodných ťažieb a až 76,8 % z náhodných ťažieb ihličnatých drevín. Hoci zastúpenie ihličnatých drevín na Slovensku je 42,4 %, ich podiel na náhodnej ťažbe je až 85,8 %.

Pri pohľade na percentuálne zastúpenie drevín v jednotlivých typoch poškodenia vidíme, že smrek je poškodzovaný najviac všetkými škodlivými činiteľmi, okrem požiarov, kde je na druhom mieste. Z celkových imisných škôd tvorí smrek až 82,5 %. Jedľa tvorila 13,3 %, dub 1,3 %, borovica 1,2 % a buk iba 0,6 %.

LOMSKÝ a PASUTHOVÁ (1996) uvádzajú, že pri sledovaní imisnej záťaže a defoliácie mladých smrekových porastov v horských oblastiach Čiech (Krušné hory, Jizerské hory a Krkonoše) zistili, že defoliácia korún nekorelovala s imisnou záťažou pokusných plôch, ale prejavila sa závislosť defoliácie na nadmorskej výške, čo môže indikovať narastajúci vplyv klimatických stresových faktorov.

Podobne aj RAČKO *et al.* (1994) publikovali, že závislosť straty asimilačných orgánov od nadmorskej výšky pre smrek a buk má lineárny tvar s korelačným koeficientom 0,8468 pri smreku a 0,8506 pri buku. Zmena nadmorskej výšky o 100 m vyvolá priemerný vzrast defoliácie pri smreku o 3,6% a pri buku o 5,1 %.

Tab. 3.2.3 Najdôležitejšie škodlivé činitele a podiel jednotlivých druhov drevín na škodách, ktoré spôsobili v lesoch SR v roku 1995 (smc - smrekovec)

Table 3.2.3 The most important injurious agents and portion of individual trees on damages in Slovak forests in 1995

Škodlivý činiteľ	tis. m ³	Poškodená drevina						
		smrek	buk	jedľa	dub	bor	smc	hrab
Vietor	m ³	692.8	165.1	56.5	18.7	13.6	6.5	4.4
	%	71.3	17.0	5.8	1.9	1.4	0.7	0.5
Sneh	m ³	183.5	29.5	23.3	1.6	49.7	2.6	2.0
	%	61.7	9.9	7.8	0.5	16.7	0.9	0.7
Sucho	m ³	142.5	20.2	6.9	18.1	123.9	0.9	0.9
	%	42.3	6.0	2.0	5.4	36.7	0.3	0.3
Neznáme príčiny	m ³	102.3	6.0	43.5	25.2	9.3	0.6	0.7
	%	52.7	3.1	22.4	13.0	4.8	0.3	1.2
Podkôrniky	m ³	919.8	2.4	11.4	38.0	34.0	0.5	0.0
	%	91.4	0.2	1.1	3.8	3.4	0.04	0.0
Hniloby	m ³	14.9	1.7	0.4	2.5	0.3	0.04	0.2
	%	73.8	8.4	2.0	12.4	1.5	0.2	1.0
Podpŕŕovka	m ³	9.4	6.9	6.4	6.2	0.1	0.08	0.0
	%	84.7	8.1	3.6	1.8	0.9	0.7	0.0
Imisie	m ³	355.3	2.7	57.2	5.8	5.2	0.6	0.6
	%	82.5	0.6	13.3	1.3	1.2	0.05	0.05
Požiare	m ³	2.0	1.4	0.2	0.5	18.3	0.04	0
	%	8.9	6.2	6.9	2.2	81.3	0.2	0
Krádeže	m ³	43.2	0.6	9.3	0.6	0.3	0.07	1.5
	%	77.1	1.1	16.6	1.1	0.5	0.1	2.7

My sme nezistili takú tesnú lineárnu koreláciu (ČABOUN *et al.* 1996). Minimálna defoliácia pri smreku bola vo výške okolo 750 m n.m. a maximálne hodnoty sa vyskytovali okolo 1000 m n.m. V smrekovom lesoch vegetačnom stupni defoliácia smrekov opäť klesala, naopak v polohách pod 600 m n.m. stúpala.

Na záver je potrebné zdôrazniť, že taká zložitá problematika, ako je objasnenie príčin súčasného zdravotného stavu lesov Slovenska, by si skutočne vyžadovala oveľa podrobnejšiu analýzu doplnenú vlastnými meraniami, aby bolo možné s podstatne väčšou pravdepodobnosťou konštatovať, či ide naozaj v prevažnej miere o klimatické vplyvy (koľko % pripadá na jednotlivé meteorologické, či klimatické činitele), alebo či ide o ich súčinnosť s pôsobením ozónu, ktorého koncentrácia s nadmorskou výškou narastá, a teda sa môže s narastajúcou nadmorskou výškou aj výraznejšie prejavovať pri zhoršovaní zdravotného stavu a pri defoliácii lesných drevín. Klimatické vplyvy ako významný negatívne pôsobiaci činiteľ by si zaslúžili oveľa väčšiu pozornosť. Bez objasnenia podielu vplyvu jednotlivých činiteľov na zdravotný stav lesov, vrátane lokálneho imisného pôsobenia a diaľkového prenosu imisíí, podielu biotických a abiotických prírodných a antropogénnych škodlivých činiteľov nebude možné dať uspokojivú odpoveď na otázku o predpokladanej budúcnosti našich lesov.

LITERATÚRA

- ČABOUN, V. *et al.*, 1996: Zhodnotenie vplyvu zníženého emisného zaťaženia ovzdušia na lesné porasty. ZS RÚ č.7/96, LVÚ Zvolen, 1996.
- LOMSKÝ, B.-PASUTHOVÁ, J., 1996: Imisní zatížení a defoliace mladých smrkových porostů. Lesnictví - Forestry, 42, 10, 1996, 449 - 459.
- RAČKO, J. *et al.*, 1994: Monitoring zdravotného stavu lesov na Slovensku. Lesnícke štúdie, LVÚ Zvolen, 52/1994.
- KOLEKTÍV: Výskyt škodlivých činiteľov v lesoch Slovenska a prognóza ich vývoja. (Roky 1987-1995). LVÚ Zvolen.

3.3 ZMENY CHEMIZMU ATMOSFÉRY Z HL'ADISKA STAVU LESNÝCH EKOSYSTÉMOV

Objavenie moderného človeka predstavuje v geologickej histórii našej planéty len zlomok sekundy. Aj v tomto relatívne krátkom čase sme dokázali významnou mierou zasiahnuť do krehkej dynamickej rovnováhy látkového metabolizmu Zeme. Jednou z najzávažnejších foriem zásahu človeka do prírodného prostredia je ovplyvnenie klimatického systému narastajúcim znečisťovaním atmosféry, vyvolané spaľovaním fosilných palív, veľkoplošným rúbaním lesov a ich premenou na poľnohospodárske plochy a pustatiny, vypaľovaním saván, rozvojom poľnohospodárskej výroby, leteckej dopravy, chladiarenských zariadení, chemických výrob a ďalších hospodárskych aktivít človeka. Okrem tepla, ktoré sa v rámci uvedených aktivít uvoľňuje do atmosféry a zmien albeda zemského povrchu, sú do atmosféry uvoľňované chemické látky schopné priamo, prípadne sprostredkované toxicky pôsobiť na biotu, acidifikovať, eutrofizovať a inými spôsobmi degradovať prírodné prostredie vrátane narušovania ochranných vlastností atmosféry.

3.3.1 Skleníkové plyny

Skleníkové plyny (medzinárodná skratka GHGs) emitujú a absorbujú dlhovlnné žiarenie (4×10^3 nm až 100×10^3 nm). Vyvolávajú tak skleníkový efekt atmosféry a sú tiež pre túto svoju vlastnosť nazývané aj radiačne aktívne plyny. Týchto plynov, ako uvádza KALVOVÁ (1991), je v súčasnosti známych viac ako 40 druhov. Z hľadiska možného nepriaznivého rastu skleníkového efektu atmosféry sa za najdôležitejšie považujú oxid uhličitý - CO_2 , metán - CH_4 , oxid dusný - N_2O , chlorofluorocarby - CFC (halogénované uhlíkovodíky, známejšie pod obchodným označením freóny) a ozón - O_3 . Základná charakteristika vybraných skleníkových plynov je uvedená v tab. 3.3.1. Ozón v dôsledku jeho výskovej a priestorovej variability nebol do tabuľky zahrnutý.

Tab. 3.3.1 Charakteristika hlavných skleníkových plynov

Table 3.3.1 Characteristic of major Greenhouse Gases

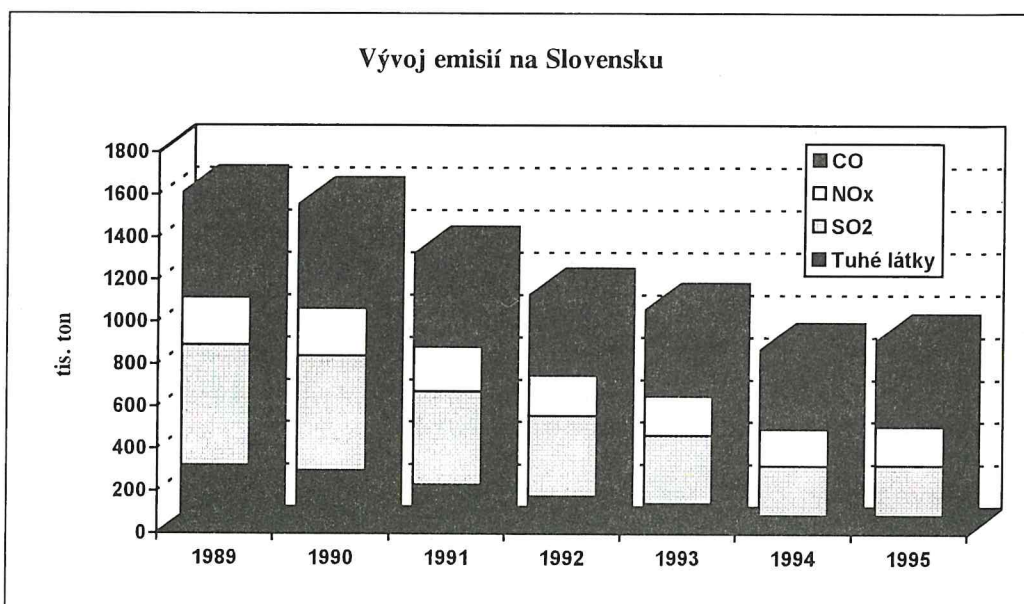
Skleníkové plyny	CO_2	CH_4	CFC-11	CFC-12	N_2O
	ppm	ppm	ppt	ppt	ppb
Koncentrácia					
• predindustriálna (1750-1800)	280	0.79	0	0	288
• súčasná (1990)	353	1.72	280	484	310
Ročný prírastok	1.8	0.015	9.5	17	0.8
	0.5%	0.9%	4%	4%	0.25%
Doba zotrvania v atmosfére v rokoch	50 - 200	10	65	130	150
Radiačná účinnosť na molekulu CO_2	1	11	3400	7100	270
Potrebná redukcia	>60%	10%	70-75%	75-85%	70-80%
Príspevok k radiačným účinkom					
• 1990	55%	15%	24% CFC spolu		6%
• 2070	72%	8%	14.8% CFC spolu		1.3%

MAREČKOVÁ (1994) konštatuje, že podiel Slovenska na globálnej antropogénnej emisii skleníkových plynov tvorí zhruba 0.2 %. Ročná emisía CO_2 pripadajúca na jedného obyvateľa je 11 - 12 ton (v roku 1990). Je nižšia ako v krajinách OECD, napriek tomu sa zaraďuje SR medzi 15 štátov na svete s najvyššími emisiami na obyvateľa. Celkové emisie skleníkových plynov na Slovensku v roku 1990 predstavovali: CO_2 - 58 270 Gg (gigagram = 10^9 gramov = 10^3 ton) CH_4 - 347 Gg, N_2O - 16 Gg.

Je predpoklad, že pri vývoji hospodárstva podľa scenára "Energetickej koncepcie SR" z roku 1994 (KOLEKTÍV 1995a) by v roku 2000 emisie na našom území nemali prekročiť úroveň roku 1990.

3.3.2 Emisná situácia v SR

Najdôležitejšie štandardne sledované znečisťujúce látky predstavujú: tuhé látky, oxid siričitý - SO_2 , oxid dusičitý - NO_x , oxid uhoľnatý - CO. Ich vývojový trend podľa Registra emisií a zdrojov znečisťovania ovzdušia (REZZO), KOLEKTÍV (1996), v tisíckach ton v posledných rokoch podáva nasledujúci obrázok.



Obr. 3.2.1 Vývoj emisií v Slovenskej republike podľa REZZO
Figure 3.2.1 Development of emissions in the Slovak Republic

Emisie tuhých látok a SO_2 klesali plynule, no od roku 1995 zaznamenávame ich opätovný nárast (+ 6.5 % tuhé látky, + 3.2 % SO_2 v REZZO 1). Emisie CO a oxidov dusíka vykazovali len mierny pokles, no od roku 1995 sledujeme ich nárast (+ 5.8 % NO_x v REZZO 1, + 8 % CO celkovo). Na priaznivom vývoji v minulých rokoch sa popri zavádzaní odlučovacej techniky, zmene v zložení palív, podieľal predovšetkým pokles výroby a spotreby energie od roku 1990. Z hľadiska budúceho vývoja bude preto dôležité udržanie tohto trendu aj pri oživení výroby. Ciele štátnej environmentálnej politiky (KOLEKTÍV 1995a) predpokladajú do roku 2010 zníženie emisií SO_2 o viac ako 50 %, emisií NO_x o 35 % a tuhých emisií o 65 %.

Prvý odhad emisií ťažkých kovov do ovzdušia na Slovensku sa uskutočnil pre rok 1992. VILOVÁ, MAGULOVÁ (1995) v ňom uvádzajú nasledovné hodnoty v tonách: Pb 171.63, As 96.33, Cd 11.29, Cr 71.46, Cu 83.38, Hg 4.48, Ni 47.6, Se 12.94, Zn 93.36 t, pričom ich rozhodujúcimi zdrojmi sú metalurgia, spaľovanie fosílnych palív, výroba skla a doprava. Štátna správa očakáva v budúcnosti v priemere 44 % pokles emisií ťažkých kovov oproti roku 1992.

3.3.3 Imisná situácia na Slovensku

Z uvedených hodnôt vidíme, že Slovenská republika patrí v európskom meradle k menej významným znečisťovateľom. Lokálne znečistenie (v blízkosti priemyselných centier) síce v dvanástich regiónoch dosahuje relatívne vysoký stupeň, jeho vplyv na poškodenie lesných porastov je len miestne ohraničený. Slovenská republika sa nachádza v strede Európy na okraji územia s najväčším regionálnym (požadovým) znečistením ovzdušia a acidity zrážok na tomto kontinente. Podľa KOLEKTÍVU (1995b) predstavuje pri prevládajúcom zónálnom prúdení vzduchu transhraničný diaľkový prenos škodlivín približne 60 %. Úroveň regionálneho (požadového) znečistenia rozhodujúcou mierou ovplyvňuje imisnú záťaž väčšiny lesných plôch územia SR, a preto mu venujeme rozhodujúcu pozornosť.

Stupeň regionálneho znečistenia ovzdušia a zrážok sa už dnes vo väčšine Európskych krajín nehodnotí za pomoci primárnych imisných (hygienických) limitov, t. j. podľa účinkov na ľudské zdravie. Vplyv na ekosystémy sa posudzuje za pomoci sekundárnych imisných a depozičných limitov. Určenie sekundárnych, ekologických limitných hodnôt zohľadňuje dlhodobý vplyv škodlivých látok na prírodné prostredie a vychádza z koncepcie **kritických úrovní** (*Critical Levels*) a **kritických záťaží** (*Critical Loads*).

Kritická úroveň (KÚ) je podľa UN ECE (1993) definovaná ako koncentrácia znečisťujúcej látky v ovzduší, po prekročení ktorej sa podľa súčasnej úrovne poznania môžu vyskytnúť priame negatívne účinky na rastlinách, ekosystémoch, prípadne materiáloch. Vzhľadom na rozdielnú citlivosť ekosystémov rastlín sa ako smerodajná hodnota najčastejšie uvažuje 5-percentil, t. j. úroveň koncentrácie škodliviny, pri ktorej je 5 % rastlín (ekosystémov) už poškodzovaných. KÚ sa stanovujú pre rôzne škodliviny, ekosystémy, časové úseky pôsobenia polutantov (hodina, deň, sezóna, rok).

UN ECE (1990) - pracovná skupina pre mapovanie, navrhuje nasledovné KÚ pre koncentrácie hlavných škodlivín v ovzduší vzhľadom na lesné ekosystémy: SO_2 20 $\mu\text{g.m}^{-3}$, NO_2 30 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pre ročný priemer, pre O_3 napr. 50 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pre 7-hodinový priemer (9 až 16-h) od 1.IV. - 30.IX., ako aj ďalšie KÚ.

Tab. 3.3.2 Priemerné ročné koncentrácie škodlivín v ovzduší, porovnanie lokálnych a pozadových staníc SHMÚ a LVÚ s kritickými úrovňami UN ECE

Table 3.3.2 Mean annual air pollution concentrations, comparison of local and regional stations with critical levels of UN ECE

Kategória znečistenia	Stanica	SO_2 $\mu\text{g.m}^{-3}$	NO_2 $\mu\text{g.m}^{-3}$	O_3 $\mu\text{g.m}^{-3}$
Lokálne	Bratislava (Kamenné nám.)	49.0	40.3	65*
Lokálne	B.Bystrica (Lux)	30.5	86.9	76
Lokálne	Žiar n/H (Lovčica)	36.0	19.9	71
Lokálne	Prievidza	25.5	44.3	57
Lokálne	Žilina (V.Okružná)	33.4	87.3	70
Lokálne	Ružomberok	34.7	44.0	88
Lokálne	Košice (Podhradová)	27.2	37.0	55 (r.1994)
Lokálne	Krompachy	34.4	38.0	-
Lokálne	Svit	24.2	23.6	86
Regionálne	Milhostov (104 m)	7.3	10.0	-
Regionálne	Topoľníky (113 m)	10.1	11.3	79
Regionálne	Mochovce (260 m)	12.9	-	-
Regionálne	Starina (345 m)	3.7	7.5	73
Regionálne	Liesek (692 m)	7.2	8.3	-
Regionálne	St. Lesná (808 m)	3.7	7.5	97
Regionálne	Húľavský Grúň (850 m)**	-	8.0	98
Regionálne	Chopok (2008 m)	2.4	4.1	102

KRITICKÁ ÚROVEŇ	20 $\mu\text{g.m}^{-3}$	30 $\mu\text{g.m}^{-3}$	50 $\mu\text{g.m}^{-3}$
-----------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------

Pozn.: *BA -Petržalka, ** stanica LVÚ vo Zvolene

Na území SR sa kritická úroveň oxidu siričitého (SO_2) 20 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (UN ECE 1990) prekračuje len na lokálnej úrovni v priemyselných centrách. Na väčšine lesných plôch je priemerná koncentrácia SO_2 príliš nízka, aby spôsobila priame poškodenie asimilačných orgánov, avšak podľa fyziológov je možná interakcia s inými polutantmi a ďalšími formami stresových činiteľov (napr. mrazy, vietor (FLEMMING - KREČMER 1986)). Meteorologické analýzy ukázali (FÖRCHTGOTT 1986), že v členitom orografickom území sa počas silných inverzných situácií vytvárajú priaznivé podmienky pre transport polutantov do vzdialenosti desiatok až sto kilometrov. Oxidy dusíka mimo miest neprekračujú priemernú hodnotu 30 $\mu\text{g.m}^{-3}$. Monitorovacia sieť NO_x je však pomerne riedka vzhľadom na dopravné komunikácie. HERMAN a SMIDT (1995) uvádzajú hraničné hodnoty NO_x aj v údolných polohách Rakúska. SLAEPFER *et al.* (1993) konštatujú, že úloha oxidov dusíka pri ovplyvňovaní zdravotného stavu lesných porastov nie je uspokojivo objasnená. Zato na druhej strane je dobre známy ich príspevok k celkovej depozícii dusíka do lesných pôd, ako aj ich pôsobenie v úlohe prekursorov tvorby škodlivého prízemného ozónu, napr. práce ZÁVODSKÉHO *et al.* (1994). Vzhľadom na budúcnosť stojí SR pred náročným zámerom redukovat' emisie oxidov dusíka o 30 %. Amoniak sa na staniciach SHMÚ štandardne nemeria, experimentálnymi meraniami sa ukazuje, že neprekračuje KÚ odporúčanú UN ECE (1993) 8 $\mu\text{g.m}^{-3}$ s výnimkou okolí veľkochovov domácich zvierat. Okrem už uvedených "tradičných" škodlivín bude v budúcnosti narastať význam uhl'ovodíkov (VOC, NMHC a i.) ako prekursorov fotooxidantov.

Iná je situácia pri troposférickom - prízemnom ozóne. Na území SR sa za posledných 25 rokov pozoroval rast priemerných koncentrácií asi o 1 $\mu\text{g.m}^{-3}$ za rok (ZÁVODSKÝ - ZÁVODSKÁ 1992), pričom sa bežne prekračujú kritické úrovne ozónu, a to aj počas fotochemicky menej priaznivých rokov (ZÁVODSKÁ a BILČÍK 1995). Vysoké hodnoty nad KÚ (tab. 3.3.2) sú dosahované predovšetkým v stredohorských a horských polohách. Kumulatívne účinky expozície O_3 v lesných porastoch pri koncentráciách O_3 nad určitou prahovou hodnotou (80 $\mu\text{g.m}^{-3}$) počas mesiacov apríl až september 24 hodín denne charakterizuje nová úprava KÚ, tzv. in-

dex kumulovanej expozície (AOT 80 = accumulated exposure over a threshold of 80 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Pre ochranu lesov v Európe sa podľa UN ECE (1993) stanovila predbežná kritická úroveň vo výške 20 000 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$. ŠTRBA a MINĐAŠ (1996) zistili dosiahnutie tejto limitnej hodnoty v ekosystéme jedľobučiny (850 m n.m.) už koncom mája. ZÁVODSKÝ *et al.* (1996) zhodnotili ozónový index (AOT 80) pre celé územie SR, pričom najdramatickejšia situácia je v našich najvyšších polohách a v horských lesoch. Situáciu dramatizuje aj skutočnosť, že posledné štúdie SLAEPFER *et al.* (1993) a i., zaradujú troposférický ozón k najväznejším stresorom vegetácie, ale tiež podčiarkujú jeho rastúci význam pri zosilňovaní skleníkového efektu atmosféry. V spojitosti s možnými klimatickými zmenami a narušovaním ozónovej vrstvy v stratosfére sa očakáva ďalší dynamický rast O_3 . ZÁVODSKÝ *et al.* (1994) konštatujú, že redukcia prekursorov O_3 (NO_x , uhlíkovodíky, CO) v Európe do roku 2000 pravdepodobne nedosiahne 30 %. Z titulu globálnych klimatických zmien, úbytku oblačnosti a pravdepodobného rastu ozónu vo voľnej troposfére mierneho pásma treba naďalej počítať s rastom priemernej úrovne koncentrácií prízemného O_3 asi o 0.5 % ročne a výskytom letných epizód fotochemického smogu s krátkodobými koncentraciami O_3 nad 200 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (v extrémnych situáciách až 300 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). V otepľujúcej sa atmosfére sa tiež predpokladá stúpajúca produkcia ďalších fotooxidantov, napr. peroxidu vodíka, peroxiacetylitrátu a i.

Znečisteniu zrážok sa venuje značná pozornosť, pretože prostredníctvom zrážkovej činnosti sú transportované mnohé cudzorodé látky antropogénneho pôvodu do prírodného prostredia vzdialeného od hlavných zdrojov znečistenia. V poslednom desaťročí je záujem odborníkov orientovaný predovšetkým na zakysľujúce komponenty, ale aj na ťažké kovy, organické látky a rezíduá pesticídov v zrážkových vodách. Koncentrácie aniónov silných minerálnych kyselín (sírnanov, dusičnanov, chloridov) sa vo vertikálnych zrážkach v priemere pohybujú v rozpätí od 0.3 do 5 - 7 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$, horizontálne zrážky sú podstatne viac obohatené o prímese (2 až 19-násobne), ich pH hodnota, hlavne v smogových hmlách sa posúva do extrémne kyslých hodnôt (pH pod 3.5, t. j. 0.3 $\text{mg}\cdot\text{H}^+\cdot\text{l}^{-1}$) ŠKVARENINA (1993), MINĐAŠ a ŠKVARENINA (1995). Lesný porast ako účinný filter ďalej zvyšuje koncentrácie zrážok, ktoré ním prechádzajú (najefektívnejšie smrek). Draft manuál UN ECE (1993) za KÚ pre zrážkové vody považuje koncentráciu H^+ nad 0.3 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$, prípadne hodnotu obsahu sulfátu nad 14 $\text{mg}\cdot\text{SO}_4^{2-}\cdot\text{l}^{-1}$. Z uvedeného je zrejme, že najnepriaznivejšia situácia sa vyskytuje v oblastiach so zvýšeným výskytom horizontálnych zrážok (ŠKVARENINA - MINĐAŠ 1993), ako aj pri zrážkach porastových (vrátane stoku zrážok po kmeňoch) v exponovaných polohách (MIHÁLIK - ŠKVARENINA - KRAJČOVIČ 1992, BUBLINEC a DUBOVÁ 1995).

Z dôvodu polohy Slovenska na orograficky vyvýšenom Karpatskom oblúku je naše územie značne vystavené prevládajúcim atmosférickým prúdeniam, a teda aj diaľkovému prenosu znečisťujúcich látok z priemyselných aglomerácií európskeho kontinentu. Podstatná časť polutantov prichádza do ekosystémov vo forme suchej, mokrej a skrytej (occult) depozície spoločne označovanej ako **celková atmosférická depozícia**. Množstvo depozície vypočítame, ak koncentráciu látky vynásobíme úhrnom zrážok (koncentrácia v $\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ x množstvo zrážok v $\text{l}\cdot\text{m}^{-2} = \text{g}\cdot\text{m}^{-2}$). Lesné porasty sú príjemcom všetkých depozičných foriem, v horských lesných polohách však dominuje mokrá (prostredníctvom vertikálnych zrážok) a skrytá depozícia kvapiek oblačnosti a hmiel na vegetácii (tab. 3.3.4, 3.3.5). Vážnosť tohto tvrdenia podčiarkuje aj skutočnosť, že výmera lesov v horských oblastiach Slovenska je podľa MIDRIKA (1993) takmer 28 % lesného pôdneho fondu. Podkorunové zrážky (throughfall) a stok zrážok po kmeňoch (stemflow) preto obohacujú dažďovú vodu látkami obsiahnutými v skrytej a suchej depozícii. Najmarkantnejšie sa tento efekt prejavuje v smrekových porastoch. Tab. 3.3.3 dokumentuje proces látkového obohatenia zrážok v lesnom poraste strednej Európy (hodnoty charakteristické pre koniec 80. rokov).

Tab. 3.3.3 Depozícia elementov do imisne zaťaženého ekosystému v Strednej Európe podľa (ŠKVARENINA - MIHÁLIK 1994)

Table 3.3.3 Deposition of elements into ecosystems affected by air pollution in the Central Europe

Atmosférická depozícia		
Elementy	Voľná plocha	Les
H^+	0.3-0.8	0.3-2
$\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$	10-25	20-80
$\text{NH}_4^+\text{-N}$	6-12	5-35
$\text{NO}_3^-\text{-N}$	5-10	8-20

Pri posudzovaní atmosférickej depozície sa opierame o sekundárne depozičné ekologické limity - **kritické záťaž** (KZ). Podľa UN ECE (1993) sa pod kritickou záťažou rozumie najvyššie prípustná depozícia škodliviny, pri ktorej sa ešte nepozorujú významnejšie škodlivé účinky. Podobne ako pri KÚ sa za smerodajnú hodnotu najčastejšie pokladá 5-percentil. Princíp metódy stanovenia KZ je výpočet kapacity prírodného prostredia pohlcovať vodíkové ióny uvoľnené pri atmosférickej depozícii H, S a N. Dôležité je poznať aj depozíciu bázičných kationov. Výpočet ďalej vyžaduje celý rad informácií o prírodnom prostredí v danom území, napr.

údaje o geologickom podloží, pôdach, klimatické parametre, taxačné veličiny porastov a i. KZ sa pre podmienky lesných pôd Slovenska vypočítali pomocou modelu PROFILE (SVERDRUP - WARFVINGE 1993). Podľa interdisciplinárneho kolektívu (ZÁVODSKÝ *et al.* 1994) je prekračovanie priemernej KZ napr. pre síru 1-2 g.m⁻² za rok asi na polovici územia, hlavne v horských polohách (vplyv oblačnej a hmlovej depozície). Aj napriek poklesu emisií SO₂ sú hodnoty celkovej depozície S vyššie ako je KZ. Pre stanovenie KZ dusíka sme zvolili hodnoty, ktoré uvádzajú POSCH *et al.* (1993) zistené postupmi stacionárnych hmotnostných bilancií (SSMB methodology).

Tab. 3.3.4 Bilancia depozícií síry (g S . m⁻²) pre nížinné a horské polohy podľa Mitošinkovej (1994)* a pre porast jedľobučiny podľa bilančnej metódy (Škvarenina 1994)**

Table 3.3.4 Total sulphur deposition (in g S . m⁻²) for lowlands and mountain regions and for fir-beech forest

Druh depozície	Nížinné polohy*	Horské polohy * (> 1 500 m n.m.)	Jedľobučina** (890 m n.m.)
Suchá	1.2	0.3	0.84
Mokrú	0.7	0.7	1.91
Skrytá	0.1	1.5 (2.0) [#]	1.36
Celková	2.0	2.5 (3.0) [#]	4.11

Kritická záťaž pre síru	1.0-2.0 g S.m⁻²
--------------------------------	-----------------------------------

Pozn.: [#] Horný odhad skrytej depozície

Tab. 3.3.5 Bilancia depozícií dusíka (g N . m⁻²) pre nížinné polohy podľa údajov SHMÚ (1994)* a pre porast jedľobučiny podľa bilančnej metódy (Škvarenina 1993)**

Table 3.3.5 Total nitrogen deposition (in g N . m⁻²) for lowlands and for fir-beech forest

Druh depozície	Nížinné polohy*	Jedľobučina** (890 m n.m.)
Suchá	1.3	0.1
Mokrú	0.8	2.8
Skrytá	0.1	0.7
Celková	2.2	3.6

Kritická záťaž pre dusík	<1.5-2.0 g N.m⁻²
---------------------------------	---------------------------------------

Z hľadiska perspektívy vývoja chemizmu zrážok, teda v rozhodujúcej miere aj depozícií polutantov do lesných porastov chýbajú doteraz komplexnejšie štúdie. Je potrebné uviesť predpoklad ZÁVODSKÉHO A ZÁVODSKEJ (1992), že vzhľadom na pokles oblačnosti u nás (zoslabovanie frontálnej činnosti v dôsledku zoslabovania meridionálneho gradientu teploty) možno predpokladať zosilnenie oxidácie SO₂ vo vode oblakov a zrážok, a tým zvýšenie negatívnych efektov kyslých zrážok, najmä skrytej depozície (záchyt oblačnej a hmlovej vody vegetáciou) v horách. Tento efekt by mohol spomaliť pozitívny účinok znižovania emisií SO₂ na kyslé zrážky (pri nevýraznom trende znižovania emisií NO_x v dôsledku spaľovania ropných produktov), najmä pri horizontálnych zrážkach z hmly a nízkej oblačnosti. Nižšie úhrny zrážok preto asi nepovedú k nižšej depozícii, pretože tento efekt môže byť kompenzovaný vyššími koncentraciami zakysľujúcich látok vo vodách. Priame (cez asimilačný aparát) i nepriame (prostredníctvom pôdy) účinky kyslých zrážkových depozícií sú dnes po nepotvrdení tzv. "čistých" ozónových teórií odumierania lesov i naďalej predmetom značného odborného záujmu (SLAEPFER *et al.* 1993). Osobitná pozornosť sa venuje depozíciám dusíka, keďže trend ich poklesu je nevýrazný nielen v zrážkach, ale aj v asimilačných orgánoch drevín a v pôde. Popri účinkoch kyslých zrážkových depozícií známych už z 80. rokov je potrebné uvažovať aj o ich synergizme s extrémami klímy, napr. zakysľovanie v dôsledku sucha, dusíkovým antagonizmom podmienený pokles mrazuvzdornosti, zvýšená eutrofizácia a ďalšie. Dnešný imisný tlak na lesy nepôsobí izolovane, ale ako ukázali skúmania príčin novodobého poškodenia lesov, je v synergických vzťahoch s činiteľmi poveternostnými. Nakoľko trendy fyziologicky najrelevantnejších atmosférických polutantov nesmerujú k ich výraznejšiemu poklesu, je logicky nutné predpokladať ich negatívne spolupôsobenie s účinkami vyvolanými zmenami globálnej klímy.

LITERATÚRA

- BUBLINEC, E. - DUBOVÁ, M. 1995: Mokrú depozícia v hrebeňovej časti Nízkych Tatier. *Acta Facultatis Forestalis Zvolen - Slovakia*, 3, 85-96.
- FLEMMING, G.-KREČMER, V. 1986: Bioklimatologie k aktuálnym problémom lesníckej biotechniky v imisných oblastiach. *Les. práce* 65, 535-540.
- FÖRCHTGOTT, J. 1986: Meteorologické a bioklimatické účinky anomálnych zdrojů prachu, tepla a vlhkosti. In: *Antropogenní změny přírodního a životního prostředí z hlediska bioklimatologie*, ČSBKS pri ČSAV, 152-160.
- HERMAN, F.-SMIDT, S. 1995: Beschreibung der Nordtiroler Kalkalpen und Abschätzung seiner Gefährdung. In: *Ökosystemare Studien im Kalkalpin*. FBVA Berichte 87, 263-280.
- KALVOVÁ, J. 1991: Radiačne aktívne plyny v atmosfére a zmeny klimatu. Národný klimatický program ČSFR zv. 3, Praha, 73.
- KOLEKTÍV 1995a: Prvá národná správa o zmene klímy. Ministerstvo životného prostredia SR, Bratislava, 68.
- KOLEKTÍV 1995b: Správa o kvalite ovzdušia a podieloch jednotlivých rezortov na jeho znečisťovaní v Slovenskej republike 1994. Ministerstvo životného prostredia SR, Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava, 196.
- KOLEKTÍV 1996: Správa o kvalite ovzdušia a podieloch jednotlivých rezortov na jeho znečisťovaní v Slovenskej republike 1995. Ministerstvo životného prostredia SR, Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava, 186.
- MAREČKOVÁ, K. 1994: Inventarizácia emisií skleníkových plynov na Slovensku. Národný klimatický program SR, zv. 2, MŽP SR, SHMÚ, Bratislava, 81 - 105.
- MIDRIAK, R. 1993: Lesný pôdny fond v horských oblastiach Slovenska - jeho ohrozenie a ochrana. *Lesn. Čas. - Forestry Journal*, 39, 101-115.
- MIHÁLIK, A.- ŠKVARENINA, J.-KRAJČOVIČ, P. 1992: Chemické zloženie zrážkovej vody stekajúcej po kmeňoch drevín jedľobučiny v závislosti od druhu a veku stromov. *Lesnícky časopis - Forestry Journal*, 38, 559-571.
- MINĐÁŠ, J. - ŠKVARENINA, J. 1995: Chemical composition of fog/cloud and rain/snow water in Biosphere reserve Poľana, Slovakia. *Ekológia (Bratislava)*, Supplement 2/95, 125-137.
- POSCH, M. - HETTELINGH, P.J. - SVERDRUP, H. - BULL, K. - DE VRIES, W. 1993: Guidelines for the computation and mapping of critical loads and exceedances of sulphur and nitrogen in Europe. United Nations Economic Commission for Europe, No. 25/93, Berlin, 28.
- SCHLAEPFER, R. (ed.) 1993: Long-term implications of climate change and air pollution on forest ecosystems. IUFRO World Series, 4, 132.
- SVERDRUP, H. - WARFVINGE, P. 1993: Calculating field weathering rates using a mechanistic geochemical model - PROFILE, *J. Appl. Geochem.*, 8, 273-283.
- ŠKVARENINA, J. 1993: Horizontálne zrážky v jedľo-bukovom ekosystéme ako nositeľ depozície vybraných elementov. KDP, TU vo Zvolene, 114.
- ŠKVARENINA, J. 1994: Stanovenie atmosférických látkových vstupov v ekosystéme jedľobučiny pomocou bilančnej metódy. In: *Zborník prác z Bioklimatologických pracovných dní*, 3. - 5. 11. 1993 Nitra, SBKS pri SAV, Bratislava, 99-104.
- ŠKVARENINA, J. - MIHÁLIK, A. 1994: Comparison of deposition rates of selected elements from open field precipitations in Slovakia and in western and central Europe. In: *Bublinec, E. et al. (eds), Ecological stability, diversity and productivity of forest ecosystems*, IFE SAS in Zvolen, 175-183.
- ŠKVARENINA, J. - MINĐÁŠ, J. 1993: Fogs in mountain forests of Kremnické vrchy Region. In: *Sixteenth international conference on Carpatian Meteorology*. Smolenice, 156-161.
- ŠTRBA, S. - MINĐÁŠ, J. 1996: Charakteristiky troposférického ozónu na lokalite Poľana - Hukavský grúň. *Vedecké práce LVÚ vo Zvolene*, zv. 41, (v tlači).
- UN ECE 1990: Draft Manual for mapping critical levels/loads. United Nations Economic Commission for Europe, No. 2/90, Berlin.
- UN ECE 1993: Manual on methodologies and criteria for mapping critical levels/loads and geographical areas where they are exceeded. United Nations Economic Commission for Europe, No. 25/93, Berlin, 25 - 49.
- VIOLOVÁ, A.-MAGULOVÁ, K. 1995: Ťažké kovy v ovzduší. Ministerstvo životného prostredia SR, Bratislava, 29.
- ZÁVODSKÁ, E. - BILČÍK, D. 1995: Kritické hodnoty ozónu pre poľnohospodársku plodinu a lesné porasty. In: *Modelovanie bioklimatických procesov*, SBKS pri SAV, Bratislava, 113 - 116.
- ZÁVODSKÝ, D. - BABIAKOVÁ, G. - MITOŠINKOVÁ, M. - PUKANČIKOVÁ, K. - RONČÁK, P. - BODIŠ, D. - RAPANT, S. - MINĐÁŠ, J. - ŠKVARENINA, J. - CAMBEL, B. - REHÁK, Š. - WATHNE, B.M. - HENRIKSEN, A. - SVERDRUP, H. - TOSETH, K. - SEMB, A. - AAMLID, D. - MULDER, J. 1996: Mapping critical levels / loads for the Slovak republic. *Acid Rain Research*, Oslo, NIVA, 43, 107.
- ZÁVODSKÝ, D. - PUKANČIKOVÁ, K. - ZÁVODSKÁ, E. - BILČÍK, D. 1994: Dôsledky zmien teploty vzduchu a UVB slnečného žiarenia na zmeny chemizmu hraničnej vrstvy atmosféry na Slovensku. Národný klimatický program SR, zv. 1, MŽP SR, SHMÚ, Bratislava, 19 - 53.
- ZÁVODSKÝ, D. - ZÁVODSKÁ, E. 1992: Kvalita ovzdušia a zmeny klímy. Národný klimatický program ČSFR, zv. 7, Praha, 4 - 50.

4. ANALÝZA CITLIVOSTI A ZRANITEĽNOSTI

4.1 MODELOVANIE DÔSLEDKOV KLIMATICKÝCH ZMIEN NA LESNÉ EKOSYSTÉMY

Ak predpokladáme, že v budúcom storočí dôjde k očakávanej klimatickej zmene spôsobenej antropogénnymi emisiami skleníkových plynov do atmosféry, musíme zároveň predpokladať aj následné zmeny v klimatických podmienkach súčasných lesných spoločenstiev. Otázkou je, ako vieme definovať takéto zmeny a nakoľko sme schopní ich presnej predikcie. Najčastejšie sa tento problém rieši na základe použitia modelov najrôznejších druhov, ktoré modelujú vzťahy klímy a lesných spoločenstiev na najrôznejších úrovniach.

Štúdium predpokladaných dôsledkov klimatických zmien nastoľuje pred riešiteľov tejto problematiky otázku hodnovernosti a relevantnosti predpovede budúceho možného vývoja lesov. Otázkou je teda čo najobjektívnejšie zhodnotenie metód a postupov presnej predikcie očakávaných zmien.

V rámci riešenia projektu U.S. Country Study na Slovensku zameraného aj na riešenie problematiky dôsledkov klimatických zmien na lesy a lesné hospodárstvo sa v metodickom postupe odporúča uplatnenie dvoch druhov modelov. V prvej fáze sa predpokladá plošná analýza zmien bioklimatických podmienok existencie lesných spoločenstiev použitím HOLDRIDGE modelu, ktorý predstavuje statický model komparácie dvoch stavov - súčasnej klímy a klimatickej zmeny podľa zvoleného scenára. Výsledky zmien bioklimatických podmienok výskytu zonálnych lesných spoločenstiev v podmienkach klimatickej zmeny na Slovensku sú prezentované v kapitole 4.1.1. V druhej fáze je odporúčaná aplikácia dynamického stochastického modelu (FOREST GAP MODEL) vývoja lesného ekosystému vplyvom zmien environmentálnych podmienok (kapitola 4.1.2).

4.1.1 Holdridge model

Klimatické podmienky patria k rozhodujúcim činiteľom podmieňujúcim charakter a rozloženie prirodzenej vegetácie. V planetárnom (horizontálnom) meradle je výsledkom tohto javu pásovitost' vegetačných formácií, na územiach ktorých je povrch výškovo rozčlenený, sa zonálnosť vegetácie prejavuje vertikálnou stupňovitosťou. Druhý fenomén má v podmienkach územia Slovenska výrazný prejav vyvolaný relatívnu výškovou mohutnosťou Karpatského masívu (ZLATNÍK 1975).

V tejto časti prezentujeme jeden z možných prístupov použitia statického Holdridge modelu pre predikciu zmien klimatických podmienok lesných spoločenstiev na území Slovenska s využitím výsledkov regionálnej interpretácie hodnôt klimatických prvkov podľa modelov všeobecnej cirkulácie ovzdušia.

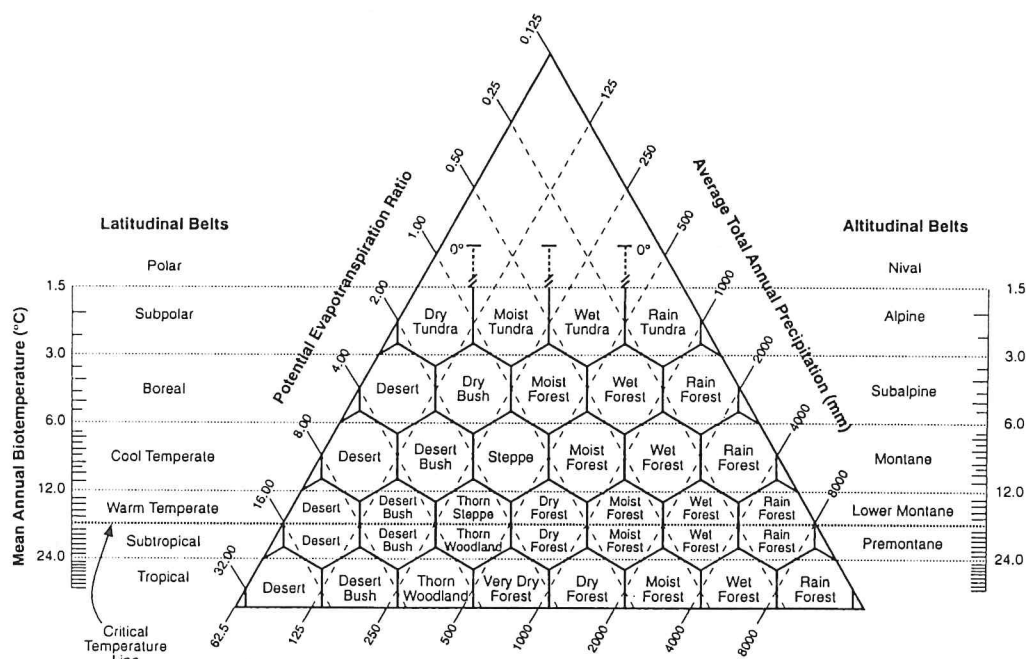
Popis modelu a metodika

Holdridge model predstavuje bioklimatický klasifikačný systém určený pre hlavné komplexy ekosystémov (HOLDRIDGE 1967). Pre modelovanie zmien klimatických podmienok lesných spoločenstiev sme použili fortranovskú úpravu Holdridge modelu (U.S.CSP 1994), ktorý na základe 3 klimatických charakteristík definuje charakteristické lesné spoločenstvá v globálnom meradle, a to ako v smere horizontálnom (podľa zemepisnej šírky), tak aj v smere vertikálnom (podľa nadmorskej výšky). Klasifikačnými klimatickými charakteristikami sú:

- priemerná ročná biotplota (teplotná suma nad 0 °C delená dĺžkou obdobia)
- priemerný ročný úhrn zrážok
- pomer potenciálnej evapotranspirácie k ročnému úhrnu zrážok

Grafické znázornenie výstupu Holdridge modelu prezentuje obrázok 4.1.1, kde jednotlivé vegetačné formácie sa zobrazujú ako série šesťuholníkov v trojstrannom súradnicovom systéme.

Pre aplikáciu modelu, ktorý sme použili, sú základnými vstupnými parametrami klimatické veličiny, a to najmä priemerné mesačné a ročné teploty vzduchu a priemerné mesačné a ročné úhrny zrážok. Ako bázu vstupných dát sme použili údaje zo 174 klimatických staníc siete SHMÚ, pričom za základ boli brané dlhodobé priemery teploty vzduchu a úhrnov zrážok za obdobie 1951-80 (KOLEKTÍV 1991). Údaje zo staníc, ktoré v uvedenom období nepozorovali alebo nemali kompletný rad pozorovaní, ale z hľadiska svojej polohy boli dôležité (najmä stanice v horských oblastiach), boli transformované pre štandardné obdobie na základe referenčných staníc s kvalitnými dlhodobými radmi. Výškové rozloženie použitých 174 staníc podľa tab. 4.1.1.



Obr. 4.1.1 Klasifikácia vegetačných formácií podľa Holdridge (1967)
Figure 4.1.1 Holdridge Life Zone Classification Model (Holdridge 1967)

Tab. 4.1.1 Výškové rozloženie klimatických staníc použitých v Holdridge modeli
Table 4.1.1 Frequency of climatological stations according to the altitude used in the Holdridge model

Nadmorská výška (m)	Počet staníc	Nadmorská výška (m)	Počet staníc
0 - 100	2	701 - 900	10
101 - 200	43	901 - 1100	10
201 - 300	28	1101 - 1300	5
301 - 400	26	1301 - 1500	1
401 - 500	19	1501 - 1800	5
501 - 600	10	1801 - 2650	2
601 - 700	13		

Na stanovenie klimatických hodnôt pre stav $2\times\text{CO}_2$, ktorý sa očakáva okolo roku 2070, sme použili výsledky regionálnych scenárov klimatickej zmeny pre územie Slovenska (kapitola 2), z ktorých sme použili hodnoty podľa CCCM (Canadian Climate Centre Model), GISS (Godard Institute for Space Studies) a GFD3 (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory).

Výsledky

Súčasnú klimatickú podmienku územia Slovenska umožňujú podľa klasifikácie Holdridge vylišiť 6 bioklimatických podmienok vegetačných formácií (tab. 4.1.2). Ako vyplýva z obr. 4.1.2, v súčasnosti na našom území dominujú bioklimatické podmienky spoločenstva chladného temperátneho (montánneho) mierne vlhkého lesa (15), a to hlavne v nižších a stredných polohách. Najteplejšie a najsuchšie oblasti južného Slovenska sa bioklimaticky zatriedili do spoločenstva: chladná temperátna step (14). Vyššie horské lesné polohy bioklimatickými podmienkami pripadajú do formácie vlhkých až veľmi vlhkých subalpínskych lesov (10, 11). Najvyššie polohy napr. Nízkych a Vysokých Tatier sú bioklimaticky charakterizované ako alpínska, veľmi vlhká tundra (6).

Tab. 4.1.2 poskytuje informácie o výskyte vegetačných formácií pre dnešné bioklimatické podmienky a podľa jednotlivých scenárov klimatickej zmeny (CCCM, GISS, GFD3), obr. 4.1.2 znázorňuje relatívne porovnanie troch GCMs a súčasnosti. Vidíme, že výskyt Holdridge vegetačných formácií pre scenáre GCMs je oproti dnešnému stavu značne posunutý, objavujú sa podmienky pre nové formácie. Scenár

GCMs sú navzájom veľmi podobné, len pri GFD3 sa objavuje aj spoločenstvo 17, montánný (chladný temperátny) veľmi vlhký les, aj to len na nepatrnej rozlohe.

V ďalšom spracovaní sme sa preto z dôvodu podobnosti výsledkov pre jednotlivé scenáre podrobnejšie zamerali na CCCM scenár klimatickej zmeny a jeho porovnanie so súčasným stavom. Komplexné výsledky boli spracované aj mapovo s využitím geografických informačných systémov (IDRISI), čo nám umožnilo aj presné plošné zhodnotenie pokryvnosti jednotlivých lesných a vegetačných spoločenstiev tak, ako je prezentované na obr. 4.1.3, 4.1.4.

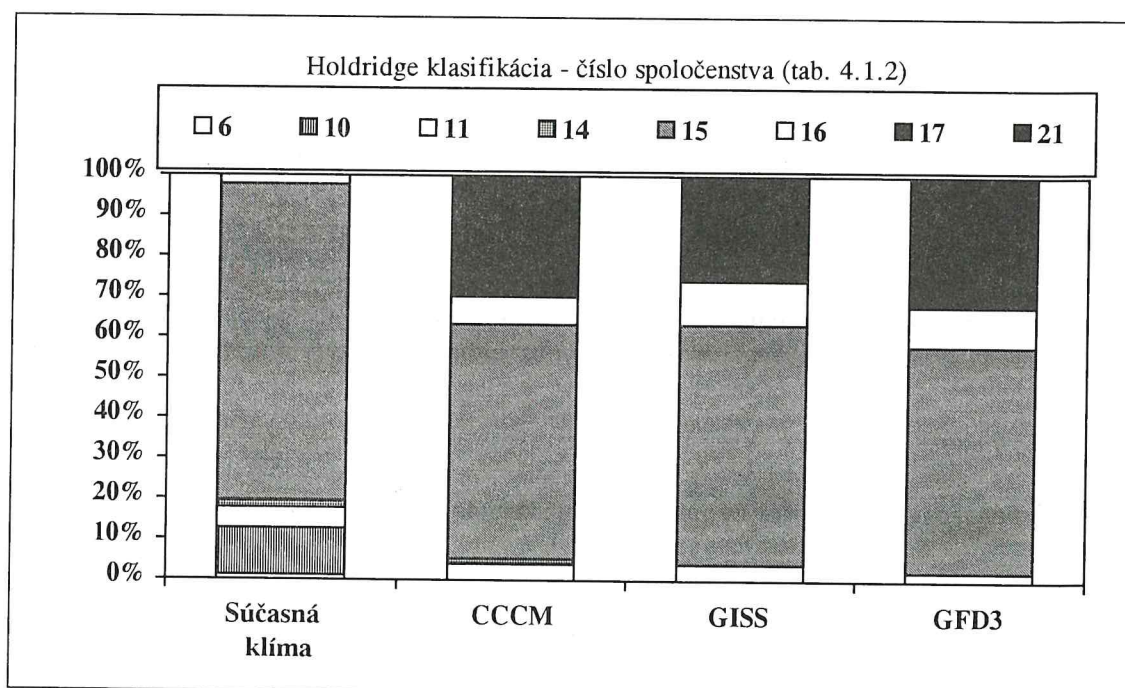
Najdramatickejšie zmeny bioklimatických podmienok možno očakávať v nížinných oblastiach, ako aj v horských polohách. V oblasti nížin juhu Slovenska sa vytvoria bioklimatické podmienky pre nové spoločenstvo suchomilného lesa teplej temperátnej zóny (21), a to na výrazne relevantnej ploche (11,3 % plochy súčasných lesov, ďalej len plochy). V pôvodnej klasifikácii najrozšírenejšie spoločenstvo 15 rozlohu svojich bioklimatických podmienok výraznejšie nezmení (nárast cca o 3 %), avšak modelový výstup predpokladá jeho ústup z nížin a posun smerom do nízkych vysočin až do takej miery, že úplne zaniknú bioklimatické podmienky spoločenstva 10. Naproti tomu v stredných vysočinách sa vyšpecifikujú podmienky pre spoločenstvo 16, pôvodne viazané len na oblasti vlhkých horských údolí. Modelový scenár predpokladá úplný zánik podmienok alpínskych spoločenstiev 6 a ich náhradu bioklimatickými podmienkami subalpínskeho veľmi vlhkého lesa (11). Zaujímavosťou sa javí vznik stepných klimatických podmienok v kotlinách so silnejším zrážkovým tieňom, napr. Spišská kotlina.

Tab. 4.1.2 Výskyt bioklimatických podmienok vegetačných formácií podľa Holdridge modelu pre podmienky súčasnej klímy a podľa scenárov všeobecných cirkulačných modelov (GCMs)

Table 4.1.2 Occurrence of Holdridge formations according to the current climate and GCMs scenarios

Vegetačné spoločenstvo podľa Holdridge klasifikácie	No	Dnešné klimatické podmienky	Klimatický scenár CCCM	Klimatický scenár GISS	Klimatický scenár GFD3
Alpínska (subpolárna) veľmi vlhká tundra alpine (subpolar) rain tundra	6	*			
Subalpínsky (boreálny) vlhký les subalpine(boreal) wet forest	10	*			
Subalpínsky (boreálny) veľmi vlhký les subalpine (boreal) rain forest	11	*	*	*	*
Chladná temperátna (montánná) step cool temperate (montane) steppe	14	*	*	*	
Chladný temperátny (montánný) mierne vlhký les cool temperate (montane) moist forest	15	*	*	*	*
Montánný (chladný temperátny) vlhký les montane (cool temperate) wet forest	16	*	*	*	*
Montánný (chladný temperátny) veľmi vlhký les montane (cool temperate) rain forest	17				*
Teplý temperátny (nižší montánný) suchý les warm temperate (lower montane) dry forest	21		*	*	*

No - číslo vegetačného spoločenstva podľa Holdridge klasifikácie



Obr. 4.1.2 Porovnanie relatívneho zastúpenia bioklimatických podmienok vegetačných formácií pre 174 staníc podľa jednotlivých scenárov klimatickej zmeny

Figure 4.1.2 Result of Holdridge model according to the 174 climatological stations, relative comparison among scenarios

Nakoľko klasifikácia podľa Holdridge modelu sa viac používa v celosvetovom meradle ako v podmienkach strednej Európy, v tab. 4.1.3 sme sa snažili jednotlivé spoločenstvá tejto klasifikácie charakterizovať výskytom dominantných a sporadicky sa vyskytujúcich lesných drevín.

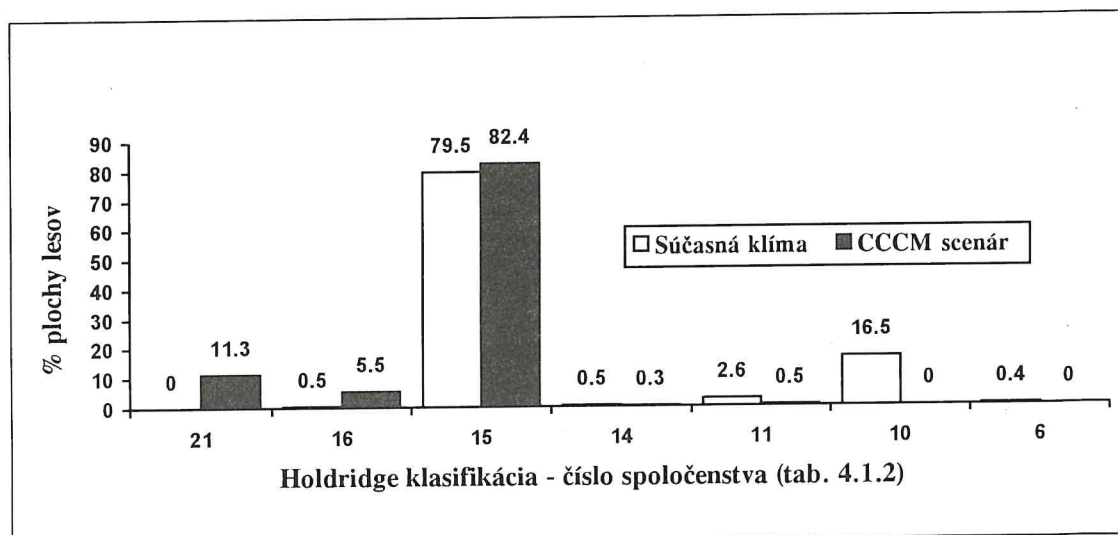
Zaujímavé je analyzovať výskyt bioklimatických podmienok spoločenstiev, ktoré sa v súčasnosti na našom území nevyskytujú (17 a 21). Vegetačná formácia 21 - teplý temperátny suchý les má doteraz svoj výskyt v klimatických podmienkach južných častí Maďarska, Vojvodiny, na severných svahoch Dinárskych Álp a v južnej časti Rumunských Karpát. Podľa MAYERA (1984) a WALTERA (1990) je toto spoločenstvo nazývané ako teplé dubové lesy. Bioklimatické podmienky spoločenstva 21 sú priaznivé pre dub plstnatý a cerový (*Quercus pubescens*, *Q. cerris*), hrab obyčajný (*Carpinus betulus*) jaseň mannový (*Fraxinus ornus*), lipu striebřistú (*Tilia tomentosa*) hrabovec hrabolistý (*Ostrya carpinifolia*), gaštan jedlý (*Castanea sativa*) a na suchších karbonátových podložiach spoločenstvá s krovitou vegetáciou.

Lesné spoločenstvá montánneho veľmi vlhkého lesa (17) majú v súčasných európskych podmienkach ohraničený výskyt v oblastiach s vysokými úhrnmi zrážok pri relatívne vyšších teplotách vzduchu, t. j. Čiernohorské Dinárske Hory, južné časti Švajčiarskych Álp. Drevinové zloženie je veľmi podobné spoločenstvu 16 (tab.4.1.3).

Záver

Na základe uvedeného prístupu k riešeniu impaktu klimatickej zmeny na bioklimatické podmienky lesných spoločenstiev môžeme poukázať na nasledujúce zistenia:

- Holdridge klasifikácia v princípe vystihuje vegetačnú zonálnosť karpatskej oblasti
- pri uplatnení scenára klimatickej zmeny CCCM, najvýraznejšie premeny bioklimatických podmienok môžeme očakávať v nížinných a horských oblastiach
- najmenej bude postihnutá oblasť nízkych vysočín
- predpokladá sa zánik bioklimatických podmienok alpínskeho stupňa a nástup nových suchomilných spoločenstiev teplejšej miernej zóny v nížinách



Obr. 4.1.3 Výsledky plošného výskytu vegetačných formácií podľa Holdridge klasifikácie na súčasnej ploche lesov Slovenska (súčasná klíma, CCCM scenár)

Figure 4.1.3 Results of areal occurrence of the Holdridge zones for Slovak forests (current climate, CCCM scenario)

Tab. 4.1.3 Výskyt lesných drevín v jednotlivých Holdridge vegetačných formáciách (v)

Table 4.1.3 Occurrence of forest trees according to the Holdridge zones

Holdridge - v/súčasný výskyt	Hlavné lesné dreviny	Sporadicky sa vyskytujúce lesné dreviny
6	Alpínske lúky (nelesné plochy)	<i>Pinus mugo</i> , <i>Pinus cembra</i> , <i>Juniperus nana</i> , <i>Alnus viridis</i> , <i>Salix reticulata</i> , <i>Salix retusa</i>
11	<i>Pinus mugo</i> , <i>Pinus cembra</i> <i>Picea abies</i> , <i>Larix decidua</i> <i>Salix silesiaca</i> , <i>Betula pubescens</i> <i>Sorbus aucuparia</i>	<i>Pinus sylvestris</i> <i>Acer pseudoplatanus</i> <i>Ulmus montana</i> <i>Fagus sylvatica</i> , <i>Abies alba</i>
10	<i>Picea abies</i> , <i>Fagus sylvatica</i> <i>Abies alba</i> , <i>Pinus sylvestris</i> <i>Acer (pseudoplatanus, platanoides)</i> <i>Fraxinus excelsior</i> , <i>Ulmus montana</i> <i>Larix decidua</i> , <i>Sorbus aucuparia</i>	<i>Pinus cembra</i> <i>Pinus mugo</i>
16	<i>Picea abies</i> , <i>Fagus sylvatica</i> <i>Abies alba</i> , <i>Fraxinus excelsior</i> <i>Acer (pseudoplatanus, platanoides)</i> <i>Ulmus montana</i>	<i>Pinus sylvestris</i>
15	<i>Quercus (petraea, robur, cerris)</i> <i>Carpinus betulus</i> <i>Fagus sylvatica</i> <i>Abies alba</i> <i>Picea abies</i>	<i>Ulmus (carpinifolia, montana)</i> <i>Pinus sylvestris</i> <i>Fraxinus excelsior</i> <i>Acer (campestre, platanoides, pseudoplatanus)</i> , <i>Tilia cordata</i>
14	<i>Quercus (pubescens, cerris)</i> <i>Acer campestre</i> , <i>Fraxinus ornus</i> <i>Cornus sp.</i> , <i>Lonicera sp.</i>	<i>Quercus petraea</i>
"očakávaný" výskyt		
17	<i>Picea abies</i> , <i>Fagus sylvatica</i> <i>Abies alba</i> , <i>Fraxinus excelsior</i> <i>Acer (pseudoplatanus, platanoides)</i> <i>Ulmus montana</i>	
21	<i>Quercus (pubescens, cerris)</i> <i>Carpinus betulus</i> , <i>Fraxinus ornus</i> <i>Tilia tomentosa</i> , <i>Castanea sativa</i> <i>Ostrya carpinifolia</i>	<i>Quercus petraea</i>

Tento model obsahuje niekoľko funkcií odozvy (response functions), ktoré zahŕňajú nasledujúce environmentálne vplyvy jednotlivých drevín:

- nároky na svetlo
- teplotné podmienky
- vlhková zabezpečenosť

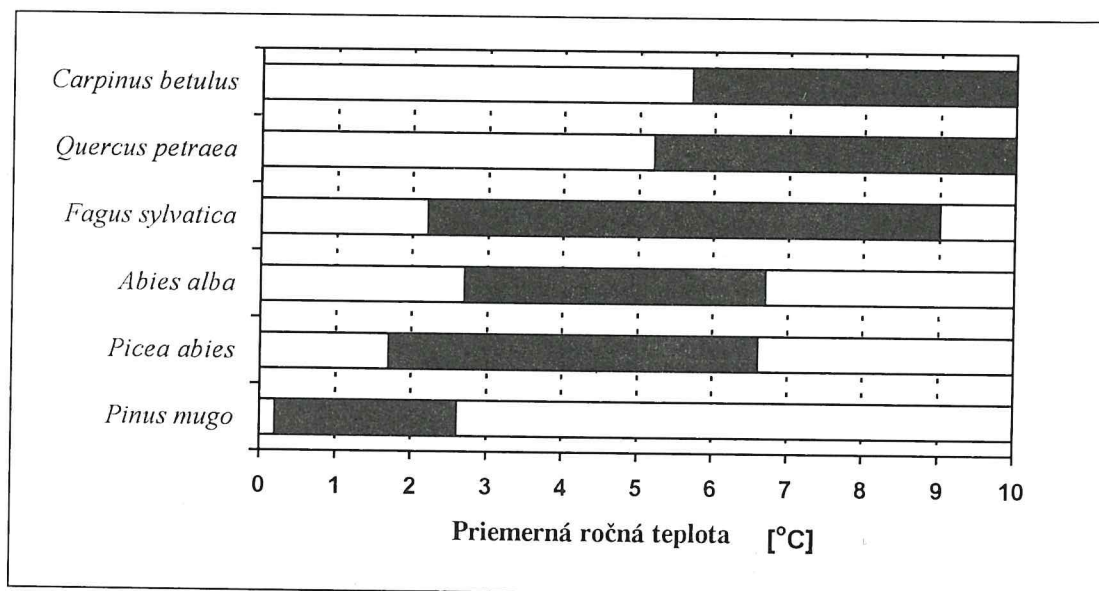
Analýza dynamických zmien lesných ekosystémov bola realizovaná na troch typických lokalitách, ktoré reprezentujú prirodzené zonálne lesné spoločenstvá Západných Karpát. Ich základné charakteristiky sú uvedené v tab. 4.1.4.

Tab. 4.1.4 Základné charakteristiky vybraných lokalít pre použitie Forest Gap Modelu

Table 4.1.4 Basic characteristics of selected sites for using of Forest Gap Model

Lokalita	Nadmorská výška [m n.m.]	Priemerná ročná teplota [°C]	Ročný úhrn zrážok [mm]	Dominantné dreviny
Píľsko	1 250	2.6	1450	<i>Picea abies</i> <i>Sorbus aucuparia</i>
Dobroč	850	4.9	940	<i>Abies alba</i> <i>Fagus sylvatica</i>
Sitno	500	7.7	830	<i>Quercus petraea</i> <i>Carpinus betulus</i> <i>Fagus sylvatica</i>

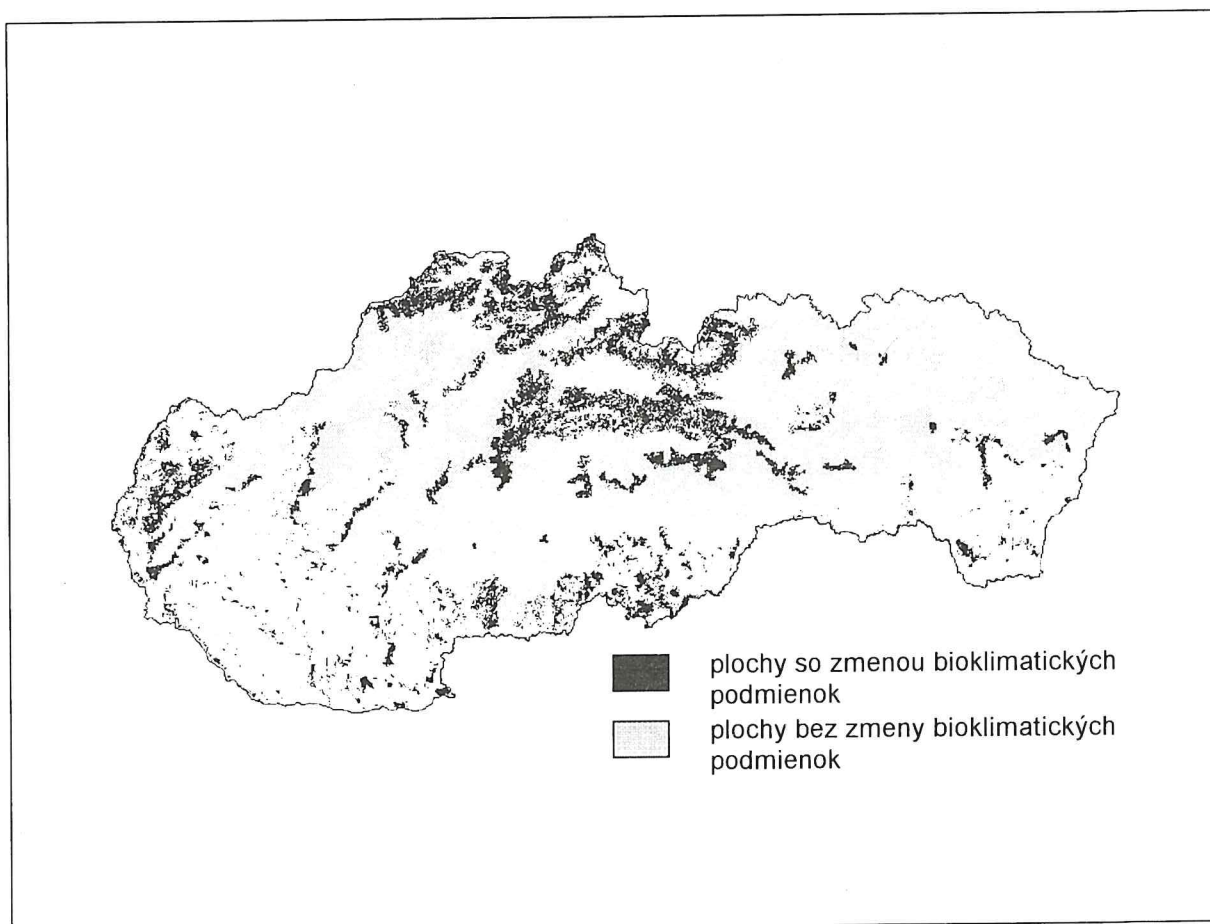
Charakteristiky jednotlivých drevín (vek, hrúbka, výška) boli získané z pozorovaní v prírodných rezerváciách (KORPEL 1989). Vplyv klimatickej zmeny je v modeli zabudovaný prostredníctvom klimatických amplitúd jednotlivých drevín na základe analýz areálov ich rozšírenia. Obr. 4.1.2.1 ilustruje použité amplitúdy priemernej ročnej teploty vzduchu získaných analýzou vertikálneho rozšírenia hlavných lesných drevín na Slovensku.



Obr. 4.1.2.1 Celkové amplitúdy priemernej ročnej teploty vzduchu hlavných lesných drevín Slovenska
Figure 4.1.2.1 Total mean annual temperature range for main forest trees in Slovakia

Výsledky

Modelové výpočty sme realizovali pre podmienky súčasnej klímy (priemery 1951-1980), ako aj pre očakávané klimatické podmienky podľa modelu CCCM. Výsledky týchto výpočtov sú vyjadrené ako časový vývoj celkovej biomasy ($t \cdot ha^{-1}$) pre jednotlivé uvažované dreviny. Pre tri zvolené lokality dokumentujú uvedené zistenia obr. 4.1.2 - 4.1.2.7.



Obr. 4.1.4 Mapa areálu s predpokladanou zmenou bioklimatických podmienok vegetačných formácií podľa Holdridge klasifikácie

Figure 4.1.4 Map of impact areas with supposed change of bioclimatic conditions for Holdridge life zone

4.1.2 Forest Gap Model

Metodika a popis modelu

Forest Gap modely sú zahrňané do skupiny dynamických modelov, ktoré sú schopné prognózy rôznych charakteristík lesných drevín v časových sériách. Gap modely sú založené na simulácii prirodzeného zmladenia, rastu a mortality každého stromu na skúmanej ploche (BOTKIN *et al.* 1972).

Odozva jednotlivého stromu na ekologické podmienky danej plochy je definovaná environmentálnymi funkciami odozvy, všeobecne vyjadrených podielom ovplyvnenia optimálneho rastu v relatívnom rozsahu 0 až 100 %. Tieto environmentálne funkcie odozvy boli definované použitím rozličných metód. Podrobný rozbor a teoretické základy týchto metód je možné nájsť v prácach: SHUGART (1984) a SMITH *et al.* (ex U.S.COUNTRY STUDY 1994).

Pre stanovenie klimatických hodnôt pre stav $2\times\text{CO}_2$, ktorý sa očakáva okolo roku 2070, sme použili výsledky regionálnych scenárov klimateckej zmeny pre územie Slovenska (kapitola 2) Vychádzali sme z hodnôt získaných podľa CCCM (Canadian Climate Centre Model) modelu, ktorý najlepšie simuluje súčasné teplotné pomery pre stav $1\times\text{CO}_2$.

Pre účely tejto práce sme použili verziu Forest Gap Modelu vypracovanú prof. Smithom zo State University of Virginia (U.S.COUNTRY STUDY 1994). Do modelu vstupovali tieto údaje pre jednotlivé lesné dreviny:

- maximálny vek dreviny
- maximálna hrúbka $d_{1,3}$
- maximálna výška
- parametre prirodzeného zmladenia drevín

Modelové simulácie poukazujú na významné zmeny vo výskyte a potenciálnej produkcii lesných drevín na všetkých troch skúmaných stanovištiach, najdôležitejšie výsledky sú zhrnuté v tab. 4.1.5.

Tab. 4.1.5 Najvýznamnejšie zmeny (druhovú zloženie, biomasa) na troch nadmorskou výškou diferencovaných lesných stanovištiach Západných Karpát pri aplikácii scenára CCCM

Table 4.1.5 Main changes (species composition, biomass) for three altitudinal different sites in Western Carpathians (CCCM scenario)

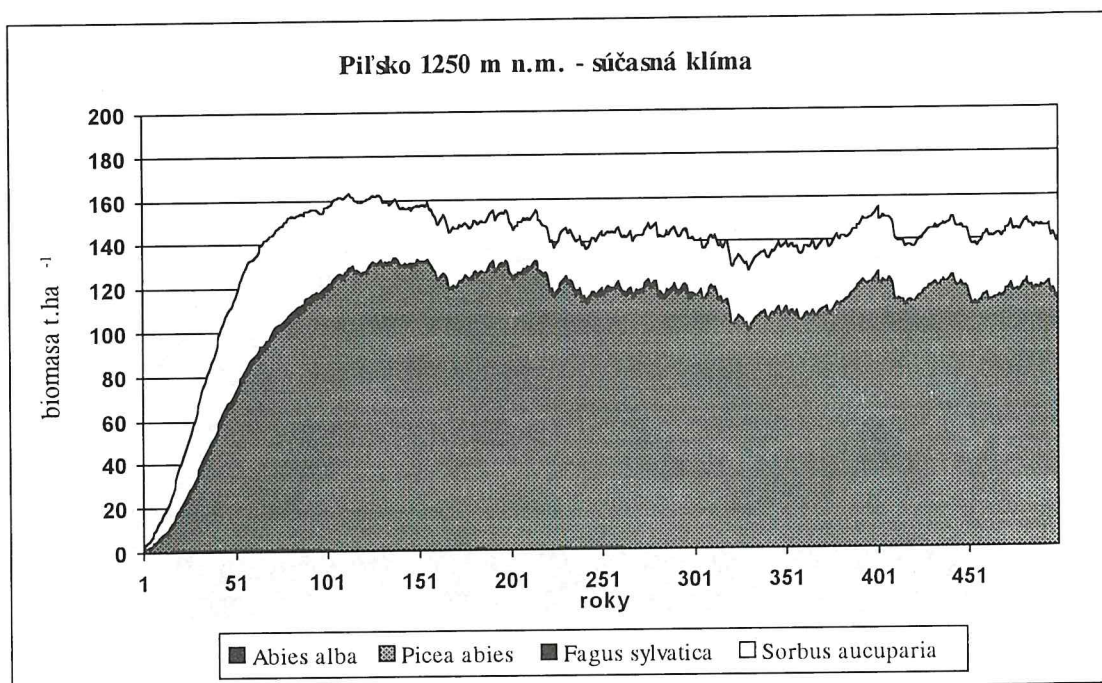
Pil'sko 1250 m n.m.	- Subalpínsky veľmi vlhký les (Subalpine rain forest) - súčasná klíma - Subalpínsky veľmi vlhký les (Subalpine rain forest) - CCCM scenár
• výrazné zvýšenie výskytu buka a javora horského • zníženie zastúpenia smreka • zvýšenie celkovej produkcie biomasy (17 %)	
Dobročský prales 850 m n.m.	- Subalpínsky vlhký les (Subalpine wet forest) - súčasná klíma - Montánný mierne vlhký les (Montane moist forest) - CCCM scenár
• úplná absencia ihličnatých druhov • výrazné zvýšenie zastúpenia dubov, javorov a jaseňa • slabé zvýšenie celkovej produkcie biomasy (5 %)	
Sitno 500 m n.m.	- Montánný (temperátny) mierne vlhký les (Montane (cool temperate) moist forest - súčasná klíma - Montánný (temperátny) mierne vlhký les (Montane (cool temperate) moist forest - súčasná klíma - CCCM scenár
• takmer úplná absencia duba zimného a hraba • výrazná dominancia lesostepných spoločenstiev duba plstnatého • zníženie celkovej produkcie biomasy (-38 %)	

Záver

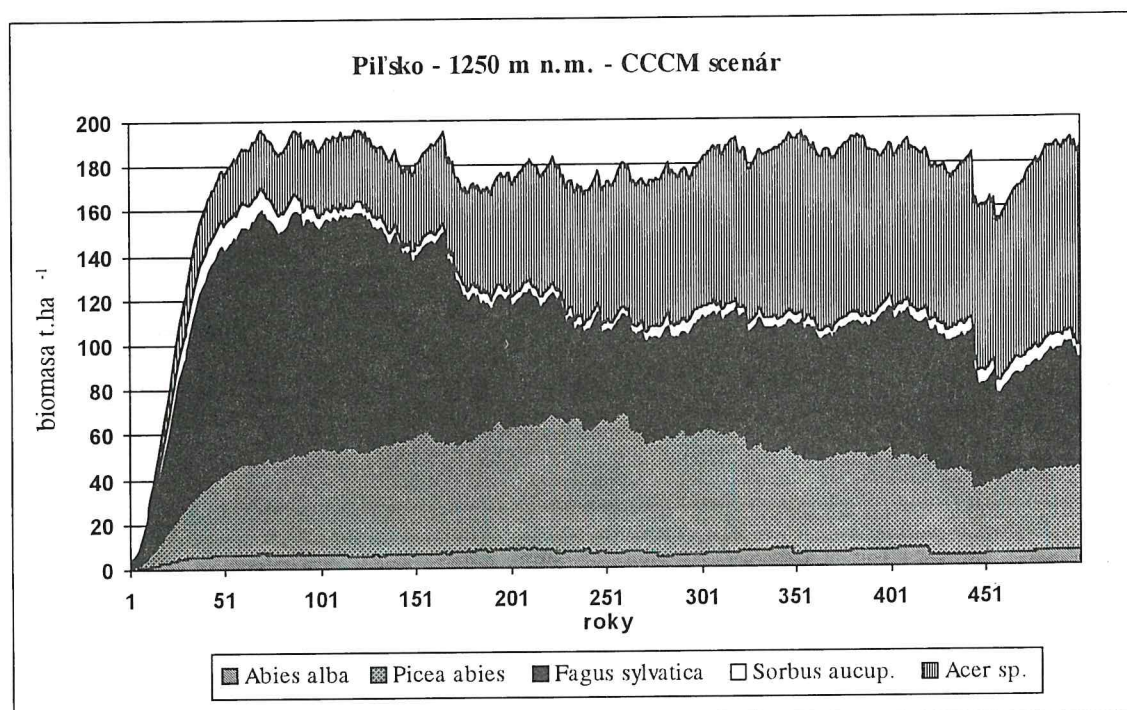
Na základe zhodnotenia modelových výpočtov Forest Gap Modelu môžeme konštatovať, že uvedený metodický postup v zásade vystihuje drevinové zloženie a produkčné schopnosti hlavných zonálnych lesných spoločenstiev Západných Karpát v podmienkach súčasnej klímy.

Táto verifikácia nás oprávňuje považovať modelové zmeny podľa CCCM scenára (pre podmienky 2xCO₂) za relevantné. Pre podmienky klimatickej zmeny môžeme vo všeobecnosti konštatovať, že postihnutie ihličnanov ako smreka a jedle bude väčšie ako listnatých drevín. Z uvedeného dôvodu je možné predpokladať zníženie dlhodobej ekologickej stability lesných porastov ihličnatých drevín (najmä monokultúr).

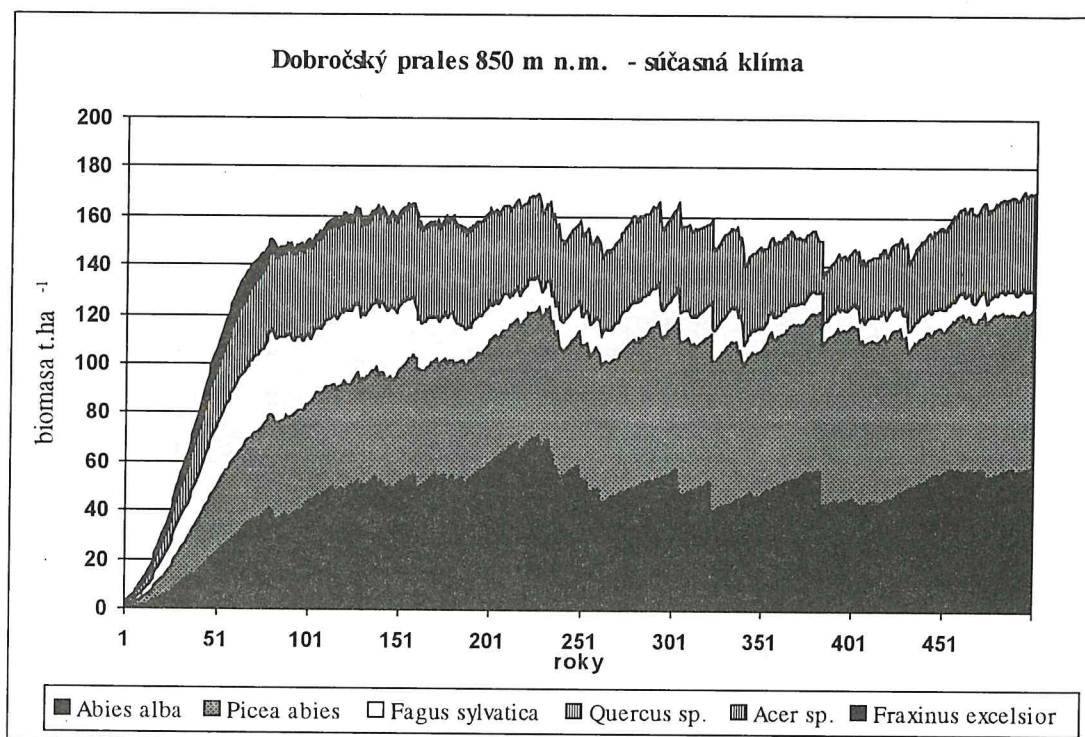
Na základe poznatkov získaných podobnými modelmi pre oblasť Nemecka a Švajčiarska (Alpský región, Solling) (KRAUCHI 1994) je potrebné upozorniť na dôležitú fázu "prechodu" z pomerov súčasnej klímy po rovnovážny stav v nových klimatických podmienkach. Táto fáza podľa výsledkov citovaného autora trvá 100 - 150 rokov, kedy môže dôjsť aj k výraznému zníženiu celkovej produkcie najmä monodrevinových porastov (smreková monokultúra Solling). Fázu prechodu môžeme datovať do obdobia 2050-2200.



Obr. 4.1.5 Výsledky simulácie Forest Gap Modelu pre oblasť Piľska (1 250 m n.m.) - súčasná klíma
Figure 4.1.5 Results from a Forest Gap Model simulations for a subalpine (boreal) rain forest (Piľsko, 1250 m a.s.l.) - Current climate

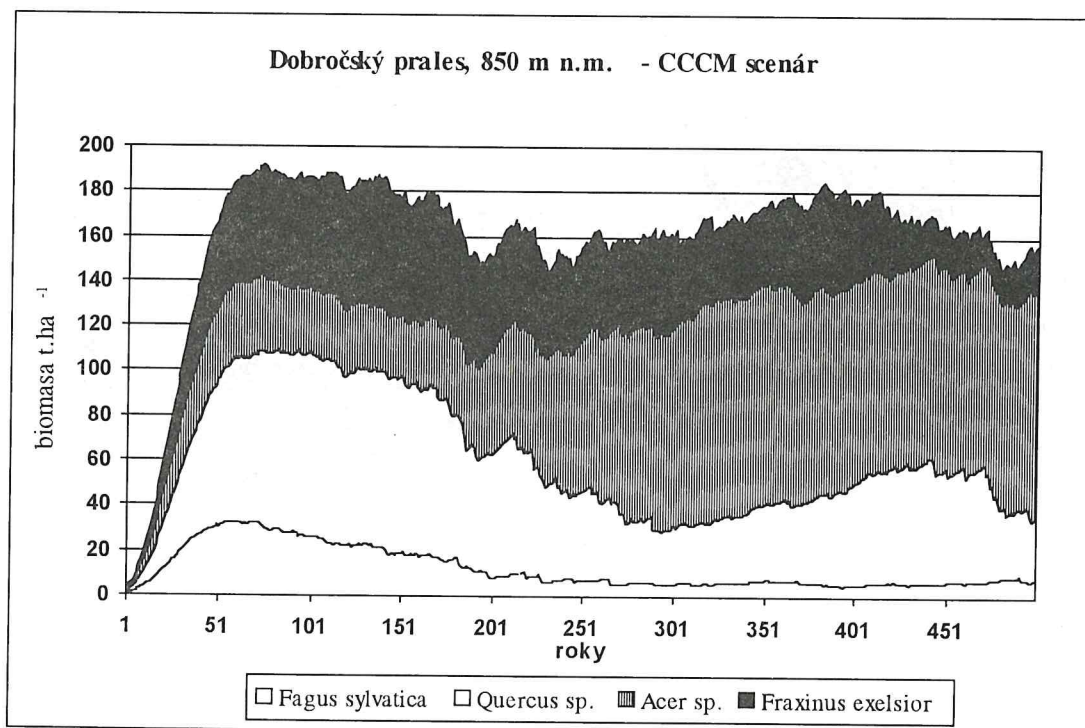


Obr. 4.1.6 Výsledky simulácie Forest Gap Modelu pre oblasť Piľska (1 250 m n.m.) - CCCM scenár
Figure 4.1.6 Results from a Forest Gap Model simulations for a subalpine (boreal) rain forest (Piľsko, 1250 m a.s.l.) - CCCM scenario



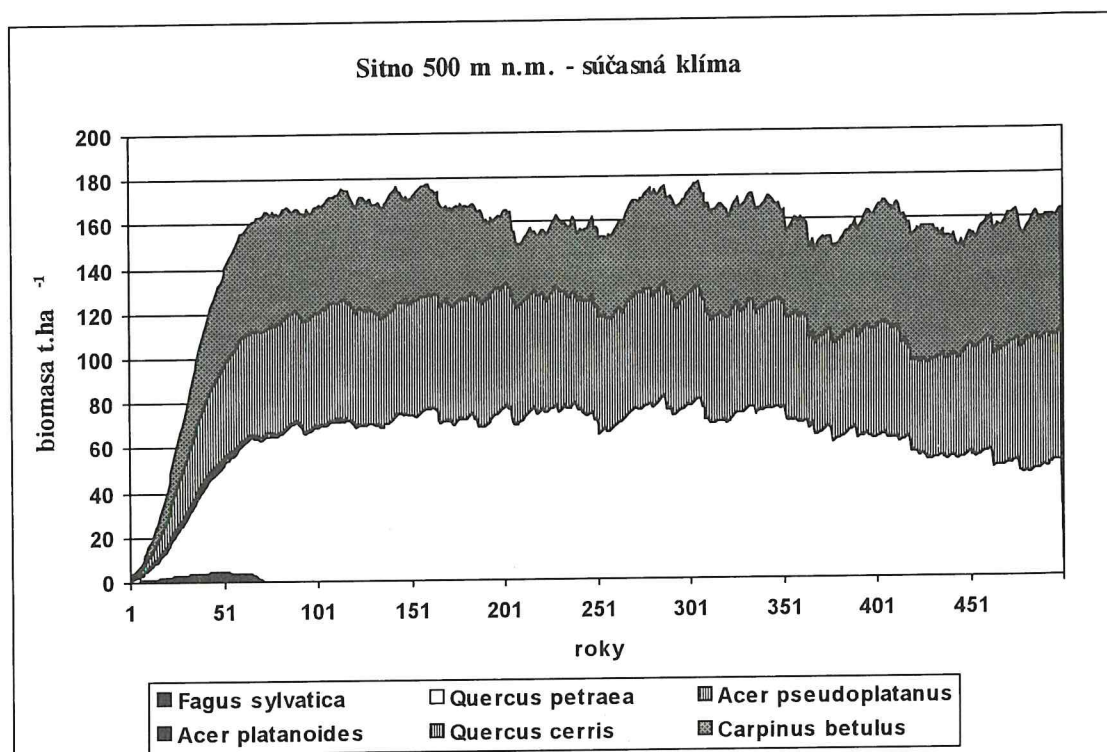
Obr. 4.1.7 Výsledky simulácie Forest Gap Modelu pre oblasť Dobročského pralesa (850 m n.m.) - súčasná klíma

Figure 4.1.7 Results from a Forest Gap Model simulations for a subalpine (boreal) wet forest (Dobroč, 850 m a.s.l.) - Current climate

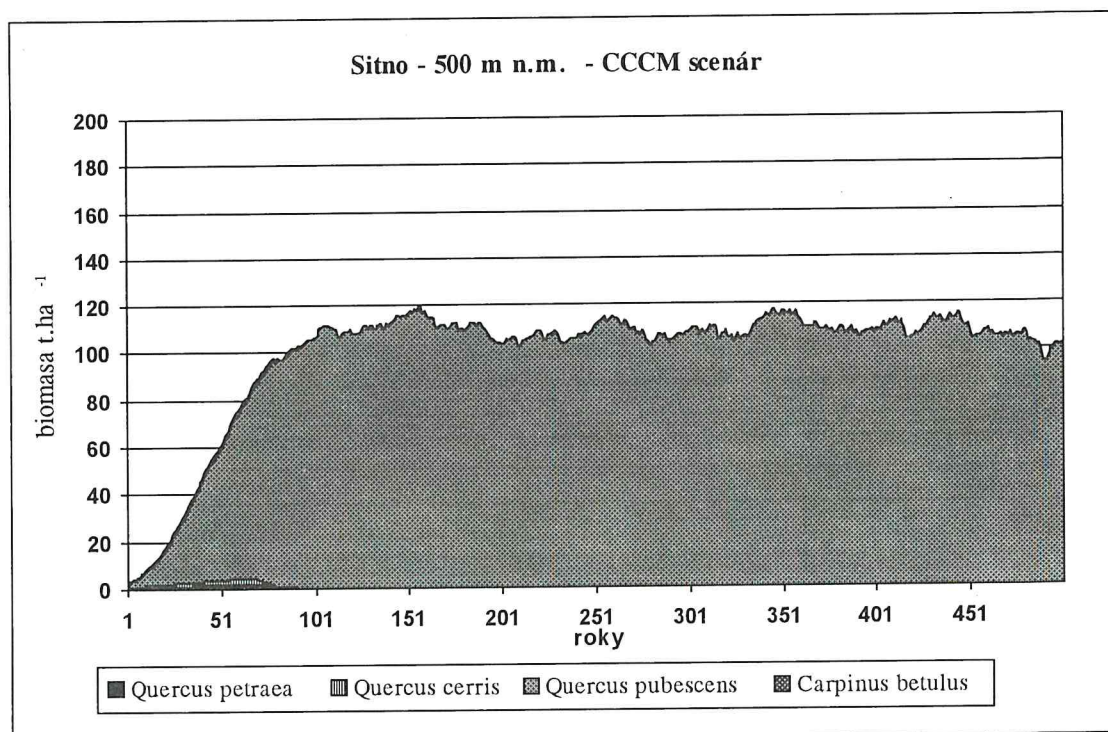


Obr. 4.1.8 Výsledky simulácie Forest Gap Modelu pre oblasť Dobročského pralesa (850 m n.m.) - CCCM scenár

Figure 4.1.8 Results from a Forest Gap Model simulations for a montane (cool temperate) moist forest (Dobroč, 850 m a.s.l.) - CCCM scenario



Obr. 4.1.9 Výsledky simulácie Forest Gap Modelu pre oblasť Sitna (500 m n.m.) - súčasná klíma
Figure 4.1.9 Results from a Forest Gap Model simulations for a montane (cool temperate) moist forest (Sitno, 500 m a.s.l.) - Current climate



Obr. 4.1.10 Výsledky simulácie Forest Gap Modelu pre oblasť Sitna (500 m n.m.) - CCCM scenár
Figure 4.1.10 Results from a Forest Gap Model simulations for a subalpine (boreal) wet forest (Sitno, 500 m a.s.l.) - CCCM scenario

LITERATÚRA

- BOTKIN, D.B.-JANAK, J.F.-WALLIS, J.R., 1972:** Some ecological consequences of a computer model of forest growth. *Journal of Ecology*, 60, 849-873.
- HOLDRIDGE, L.R., 1967:** Life zone ecology. Tropical Science Centre San Jose.
- KOLEKTÍV, 1991:** Klimatické pomery na Slovensku. Zborník prác SHMÚ, zv.33/I, Alfa, Bratislava.
- KORPEL, Š., 1989:** Pralesy Slovenska. Veda, SAV, Bratislava.
- KRAUCH, N., 1994:** Modelling Forest Succession as Influenced by a Changing Environments. *Mit. Eidgenoss. Forsch. für Wald, Schnee und Landschaft*, 69, 2, 145-271.
- MAYER, H., 1984:** Wälder Europas. Gustav Fischer - Verlag, Stuttgart.
- SHUGART, H.H., 1984:** A Theory of Forest Dynamics. Springer-Verlag New York.
- U.S.COUNTRY STUDIES PROGRAM, 1994:** Guidance for Vulnerability and Adaption Assessment. Washington, F1-F38.
- WALTER, H., 1990:** Vegetation und Klimazonen. UTB Ulmer - Verlag, Stuttgart.
- ZLATNÍK, A., 1975:** Ekologie krajiny a geobiocenologie. VŠZ, Brno.

4.2 VPLYV GLOBÁLNYCH ZMIEN KLÍMY NA LESNÉ PÔDY

4.2.1 Úvod do problematiky

V roku 1994 sme mali na Slovensku 1 991 000 ha lesných pôd. Ako uvádza KONÔPKA (1996), plocha hospodárskych lesov bola 64 % a 29 % plochy pripadalo na lesy ochranné a lesy osobitného určenia. Zásoby dreva na tomto pôdnom fonde sa v roku 1950 - 1996 zdvojnásobili, pričom listnaté dreviny u nás tvoria 56 % a ihličnaté 44 %. Kvalitatívna skladba pôd (% z celkovej rozlohy) vyzerá takto (ŠÁLY 1996 c):

kambizeme	55,4 %	hnedozeme	6,6 %	gleje	0,8 %
• typické	40,9 %	podzoly	4,2 %	černozeme	0,5 %
• dystické	2,7 %	rankre	2,8 %	pseudogleje	0,4 %
• iné subtypy	11,8 %	pararendziny	1,7 %	litozeme	0,2 %
rendziny	13,1 %	fluvizeme	1,1 %	organozeme	0,1 %
luzizeme	12,2 %	andozeme	0,8 %	antrozeme a kultizeme	0,09 %
				solončaky a slance	0,01 %

Naše niekdajšie úvahy o kvalite lesného pôdneho fondu (ŠÁLY 1975) sa týkali pôvodnej rozlohy v dobe skončenia všeobecného stanovištného prieskumu, ktorý nám poskytol prvé sumárne prehľady (1,77 milióna ha pôd v roku 1955). Odtedy ubehlo 40 rokov. Zmenila sa rozloha, výrazne sa zmenili emisné podmienky. O pribudnutých viac ako dvestotisíc ha chýbajú presnejšie údaje. Vie sa predovšetkým, že išlo prevažne o menej hodnotné poľnohospodárske pôdy (zmyté, svahovité, skeletnaté atď.), ktoré sa typologicky priradzovali k existujúcim jednotkám *per analogiam*. Pokiaľ ide o zmenené podmienky klimaticko-emisné, tu sa situácia prudko zmenila. Ešte v roku 1985 sa pre Slovensko udával podiel imisne poškodených lesných porastov len 15,6 % plochy a prognózy pre rok 1995 hovorili o 25 % (ŠÁLY 1988). Ostatných desať rokov podiel poškodených lesov nielenže prudko stúpal, ale aj postoj a konanie vedecko-výskumného frontu sa obrátilo.

Ak sme v minulosti hovorili o relatívnej prírodnej priazni pre Slovensko, prejavujúcej sa vo vysokej prirodzenej úrodnosti našich lesných pôd, treba povedať, že značný podiel pôd má dnes umelú, získanú úrodnosť, ktorá je oveľa nižšia ako prirodzená. Vplyvom imisíi došlo k zníženiu pH pôd, zväčšila sa mobilita niektorých kovov (Al, Mn), zmenšila sa zásoba báz (Cd, Mg). Na mnohých pôdach stúplo množstvo mikroelementov, najmä ťažkých kovov (Pb, Cd, Hg, Cu). Ešte nedávno sa diskutovalo o tom, či pri otázkach poškodenia až odumierania lesov rozhodujú priame imisné vplyvy, či druhotné poškodenie - zmeny pôdy a výživy drevín. Dnes sa všeobecne priznáva, že máme poškodené až odumreté lesy i značne znehodnotené pôdy. LVÚ Zvolen 1993 vylišuje na ploche 298 000 ha (15 % z celkovej porastovej plochy) kategóriu "ohrozených lesov".

V nedávno zverejnenej práci (ŠÁLY 1996b) sme odhadli rozlohu príliš kyslých a vápnenie vyžadujúcich lesných pôd na 210 000 ha. Je to hodne menej ako uvedená rozloha ohrozených lesov, čo je pochopiteľné, lebo lesy trpia nielen inputom kyslých zlúčenín, ale aj inými imisnými vplyvmi (prínos ťažkých kovov, NH₃, organické zlúčeniny, alkalizácia pôd a pod.).

Na základe viacročných vlastných a iných pozorovaní dá sa povedať, že územie Slovenska možno z hľadiska lesníckej pôdno-hydrickej bilancie schematicky rozdeliť na tri oblasti (ŠÁLY 1996c):

1. Nížiny a kotliny (do 500 m n.m.)

Na jar sú tu pôdy obyčajne nasýtené na kapilárnu kapacitu, niekedy obsahujú aj gravitačnú vodu, zadržanú na uľahnutejších spodných horizontoch. Cez leto strácajú veľa vody, veľmi preschynajú vo vršku a stávajú sa fyziologicky suché. V hlavnej rizosfére klesajú zásoby vody v auguste či septembri pod bod vädnutia. V tom treba hľadať i príčinu uschynania bylinnej vegetácie koncom leta i predčasného opadávania listia drevín.

2. Stredohorské polohy (500 - 1000 m n.m.)

Pôdy týchto polôh aj v najkritickejšom období obsahujú spravidla aspoň malé kvantum fyziologicky osvojiteľnej vody. Udržujú si aspoň miernu či čerstvú vlhkosť, len v suchých rokoch a len v spodnej časti oblasti môžu i príliš preschnúť.

3. Vyššie horské polohy (nad 1000 m n.m.)

Pôdy v týchto polohách predstavujú vlastne rezervoár vody. Ich príjmy vody sú vysoké, spotreba na evapotranspiráciu je nízka a vody je v nich dostatok. Značná časť pôdnej vody preniká do spodných vrstiev a zásobuje pramene a riečnu sieť. I v dobe, keď sú najsuchšie, zostávajú vo vršku aspoň čerstvo vlhké až vlhké.

Táto schéma platí pre hlboké pôdy a môže mať miestne odlišnosti, ktoré súvisia s plytkosťou a skeletnosťou pôdy, či expozíciou svahu. Plytké a silno skeletnaté pôdy majú malú dažďovú kapacitu a koncom leta trpia nedostatkom vody, vysychávajú. Obyčajne len v polohách nad 700 - 800 m n.m. geografická situácia pri nich vyrovnáva nepriaznivé hydrické dispozície, teda len vo vyšších polohách sa pri nich neprejavuje natoľko nedostatok vody.

V tejto ekologicky nepriaznivej situácii pre lesy prichádza vedecký front s novou hrozbou, s prudkým otepľovaním v najbližších deceniách. Najmä po roku 1990 je veľké množstvo prác venovaných tzv. skleníkovému efektu. Okrem prognóz stretávame sa aj s experimentálnymi prácami, ktoré simulujú očakávané zmeny. Pri pôdach takéto práce vykonali napr. PETERJOHN *et al.* (1994), JOHSON *et al.* (1995), DEGROOT *et al.* (1994). Prvý kolektív skúmal tok pôdných plynov (CO_2 , N_2O , CH_4) pri zvýšenej teplote o 5°C vo vrchnej 10 cm pôdnej vrstve v zmiešanom listnatom poraste od júna do novembra 1991. Druhá skupina autorov študovala vplyv zvýšenej hladiny CO_2 a dusíkatého hnojenia ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) na obsah NH_4 a NO_3 , Ca, Mg, K, P v pôde vegetačných nádob pri 18-, 36-, 58-týždňovom raste borovice *Pinus ponderosa*. Tretí kolektív sledoval v laboratórnych podmienkach emisiu N_2O a CH_4 pri rôznych vlhkostiach vápnitej pôdy hnojenej dusíkom (NaNO_3 a NH_4Cl). Tieto práce ukazujú sčasti protirečivé výsledky, v čom sa podľa nášho názoru prejavuje špecifickosť pôd, že rovnaké príčiny môžu mať pri rôznych pôdach rôzne dôsledky.

Pre uvedené práce je príznačné, že autori si uvedomujú synergizmus zvýšenej teploty a súčasnej či budúcej emisnej situácie, t. j. zvýšenému obsahu polutantov v atmosfére. Podobne my, uvedomujúc si okolnosť, že aspoň budúcich 20 rokov sa bude kombinovať vplyv skleníkového efektu so zvýšenou hladinou dusíkatých, sírových, peroxidantových, organických a iných zlúčenín v ovzduší, umiestnili sme 5 pôdných monolitov $100 \times 100 \times 50$ cm do podobných podmienok o 350 - 400 m nižšie. Teda priemerná ročná teplota na novej lokalite bude o $2 - 2,5^\circ\text{C}$ vyššia. Predpokladáme, že po niekoľkých rokoch nám tento experiment umožní povedať, ako sa zmenili v nových podmienkach niektoré vlastnosti pôd.

V pedológii oddávna sú pôdne vlastnosti rozdeľované podľa toho, či sú človekom ľahšie či ťažšie ovplyvniteľné, či sa menia v krátkom, či dlhom časovom úseku. Aj pôdotvorné procesy, všeobecné, či špecifické, majú určitý časový rámec, teda dobu, za ktorú sa realizujú. Niektoré z týchto vlastností a procesov súvisia s klímou ako pôdotvorným faktorom. Na tvorbu pôdy vplyva medzi iným atmosféra (voda, vzduch) i žiarivá slnečná energia ako hlavný zdroj pôdneho tepla. Tieto dva klimatické faktory ovplyvňujú vodný a tepelný režim pôdy. Hydrotermický režim zase vplyva na ostatné pôdne procesy, či už majú biotickú, fyzikálnu, či chemickú povahu. Okrem toho medzi pôdou a atmosférou prebieha stála výmena plynov (vzduch, kyslík, oxid uhličitý, atď.). Nepriamo sa vplyv na tvorbu a vývoj pôd odráža cez vegetačný kryt, ktorý je významne klímou podmienený. Ak teda dôjde k rýchlym a značným zmenám klímy, vyvolá to i zmeny v pôdach. Priznaním realnosti takejto hrozby z našej strany je naša nedávna práca (ŠÁLY 1996a), ako aj táto štúdia.

Vlhkosť a teplota pôdy boli by teda tie vlastnosti, ako dôsledky všeobecných pôdných procesov, ktoré by na možnú klimatickú zmenu najskôr reagovali. Klimatická zmena môže mať ďalej odozvu i v niektorých špecifických ("rýchlejších") pôdných procesoch. Relatívne krátke časové obdobie, $n \cdot 10^1 - n \cdot 10^2$ rokov, môže stačiť na zmenu humusovej formy na oglejenie, zasolenie a odsolenie (ŠÁLY 1996c).

Rámcom a podkladom našich ďalších úvah je to, čo sa nachádza v Národnom klimatickom programe, resp. to, čo publikoval LAPIN (1993, 1996). Vychádzame teda z predpokladu, že do roku 2030 stúpnu u nás teploty v januári o $1,5 - 3^\circ\text{C}$, v júli o $0,5 - 1,0^\circ\text{C}$, ročná teplota stúpne o $2,3^\circ\text{C}$. Poklesne relatívna vzdušná vlhkosť na južnom Slovensku o 2 %, na severnom Slovensku o 1 %. Predpokladajú sa i zmeny v režime zrážok, väčšia extrémnosť počasia. Vo vegetačnom období a na juhu Slovenska má byť zrážok menej (o 10 - 20 %). Počet dní so snehovou pokrývkou v južnej polovici Slovenska bude menší, takisto aj výška snehovej pokrývky bude menšia. Hranica medzi južnou a severnou polovicou sa uvažuje ako približná, daná spojnicou medzi Senicou - Banskou Bystricou - Prešovom a Michalovcami.

Ako je známe, pôda je akumulátorom vody a živín i filtrom v látkovom kolobehu, hrá teda významnú rolu v produkčných i environmentálnych funkciách lesa. Dôsledky uvedených zmien môžu byť významné v oboch týchto smeroch. Budeme sa im venovať v ďalšom texte. Spomenieme len záležitosti, ktoré sú, podľa nášho názoru, jednoznačnejšie. Zmeny, pri ktorých špekulatívny charakter by bol zrejmy, nepatria medzi takéto úvahy. Myšlienky a názory tlmočené v nasledujúcich odsekoch sú len výsledkom úvah, poznatkov a skúseností získaných za dlhé roky štúdia našich lesných pôd. Výsledky modelovania alebo iného využitia modernej techniky, budú zrejme predmetom pozornosti ďalších pracovníkov, ktorí snád' využijú niektoré naše myšlienkové podnety.

4.2.2 Zmeny vlhkosti pôd

Vlhkosť pôd je pri lesných pôdach, ktoré sú nehnojené, a to sú dosiaľ takmer všetky naše pôdy, najdôležitejším rastovým pôdnym faktorom. Autori našich rastových tabuliek, HALAJ a REHÁK (1979), s vlhkosťou pôd predovšetkým spájajú výškovú bonitu porastov všetkých drevín. Ak teda klimatické zmeny, menej zrážok, väčšia evapotranspirácia, budú viesť k väčšej fyziologickej suchosti pôd, malo by to znamenať menšiu produkciu. Mechanická úvaha vedie síce k posunu lesných vegetačných stupňov zhruba o 200 m smerom nahor, bližší rozbor hovorí o pestrejších dôsledkoch.

Schematické rozdelenie územia podľa hydrologickej bilancie, ktoré sme uviedli, hovorí o tom, že nedostatok vody koncom leta sa prejavoval už doteraz, a to v polohách do 500 m, resp. 750 m pri plytkých či skeletných pôdach. Našťastie väčšina lesných porastov (70 %) je v polohách nad 500 m. V tomto pásme treba počítať i s prípadnou zmenou drevinnej skladby v prospech drevín s menším transpiračným koeficientom. Schematickosť vymedzenia pásma by snáď odstránilo využitie poznatku o klimatickej čiare, ktorý uvádza ZLATNÍK (1959). Hlavná klimatická čiara, vymedzená na základe rozšírenia skupín lesných typov Fageto-Abietum a Fagetum pauper a vedúca krivolako (vrchol Javorníka - údolie Kysuce, Váhu, svahu V. Fatry, južné svahy Nízkych Tatier - Slovenské rudohorie - Branisko - údolie Popradu) oddeľuje dve dôležité európske klimatické oblasti, odzrkadľujúce vplyv Severného či Baltického mora a vplyv Stredozemného mora. Má celkom iný priebeh ako hranica medzi severnou a južnou polovicou Slovenska, ktorý uvažuje vo svojom modeli LAPIN (1993). Bolo by treba túto hranicu pomocou novších klimatických údajov preveriť, byť si však vedomý toho, že rastlinstvo je dobrým indikátorom integrujúcim sumu vplyvov bioticky významných.

Vychádzame z toho, že rozdelenie územia na tri pásma sa zachová, hoci môže dôjsť k výškovému posunu hraníc medzi pásmami (650 - 1100 m).

Dôležitou je otázka, či pri poklese zrážok, pri zvýšení evapotranspirácie, bude všade dosť vody pre les. Problematickými sa môžu stať oblasti s nízkou dažďovou kapacitou pôd, napr. piesčité, skeletnaté či plytké pôdy. Takéto pôdy majú zväčša mozaikovitý výskyt, s výnimkou pôd z viatych pieskov (Záhorie, južné Slovensko - Bajč, východné Slovensko - Kráľovský Chlmec).

S čím treba, podľa našej mienky, rátať v spojitosti so zmenami vo vlhkosti pôd, je pomer medzi hospodárskymi lesmi a lesmi ochrannými či lesmi osobitného určenia. Podiel druhej skupiny je doteraz najväčší v treťom pásme pri najvyšších polohách. Zaiste najviac vzrastie v pásme prvom a i druhom.

4.2.3 Zmeny teploty pôdy a vplyvu snehovej pokrývky

Teplo je dôležitý motor biologických a pôdných procesov. Ak sa teda priemerná ročná teplota vzduchu zvýši o 2,3 °C, zvýši sa i teplota pôdy. Priemerná ročná teplota pôd v hĺbke 20 cm býva u nás o 1,5 - 2 °C vyššia ako teplota ovzdušia meraná na tej istej lokalite vo výške 2 m, čo súvisí s pôdnou teplotnou tlmivosťou s menšími extrémami.

Vyššia teplota pôdy sa odrazí vo vyššej aktivite biotických procesov, rýchlosti rozpúšťania a intenzite chemických procesov vôbec, ktoré spôsobujú zase následky nielen v pedogenetike, ale i vo výžive rastlín. Ukázali to i pokusy PETERJOHNA a kol. (1994), hoci rozdiely medzi zahrievanými a nezahrievanými plôškami neboli vždy totožné. Tieto rozdiely zase viac postihnú nižšie polohy (napr. terajší rozdiel v priemernej ročnej teplote ovzdušia medzi 3. a 4. lesným vegetačným stupňom je 0,6 °C, medzi 6. a 7. lvs 1,5 °C), teda vyvolané zmeny budú mať veľkú odozvu v nižších polohách, menšiu vo vyššie položených pôdach.

Ak klimatické zmeny budú viesť k zníženiu snehovej pokrývky, bude to znamenať zmeny v premrzaní pôd. Pôdy nižšie položených lesov budú hlbšie premrzat' ako doteraz. Hodnotenie tohoto faktu môže byť iné z hydrologického hľadiska a iné z hľadiska produkčného. Z hydrologického hľadiska je premrznutie pôdy nepriaznivý jav (obmedzenie priepustnosti, vsakovania), z hľadiska podmienok rastu drevín, a teda úrodnosti pôdy zase jav priaznivý (zlepšenie fyzikálneho stavu, následné zvýšenie biotickej aktivity).

Upozorňujeme na záležitosť, ktorá sa v spojitosti s teplotou pôdy zvykne zabúdať. Experimentálne sa zistilo, že hranica rastu koreňov našich drevín je 4 - 6 °C (ŠÁLY 1996c). Premrzanie pôd sa teda môže odraziť na dĺžke periódy rastu koreňov a na transpirácii. Táto perióda je iná a dlhšia ako perióda rastu nadzemných častí dreviny. Tam, kde pôda v dôsledku izolačného vplyvu snehu nepremrzne, môže sa zvýšenie teploty pôdy odraziť v dĺžke rastu koreňov, a tým vo zvýšení celkovej biotickej aktivity pôdy. Túto okolnosť, ktorá sa brala málo do úvahy alebo sa vôbec neevidovala, pokladáme za významnú pre úrodnosť pôdy aj pre hydrologickú bilanciu.

4.2.4 Zmeny živinového režimu

O tom, že zvýšenie teploty by malo za následok zmeny v živinovom režime, niet pochýb. Problémom však zostáva, aké by tieto zmeny boli. Ani v prípade súčasného zvýšenia vlhkosti pôdy by nemuseli vždy byť z hľadiska úrodnosti pozitívne. Je viacero neznámych v tomto zložitom procese, čo sťažuje, niekedy až znemožňuje, predvídanie, tvorbu modelov.

Prílišné preschýňanie za súčasného zvýšenia teploty bude mať v produkcii negatívne dôsledky. Toto bude platiť len pre menšiu časť územia, pre nižšie polohy. Tam, kde s výraznými nedostatkami vody nepočítame, a to je viac ako dve tretiny lesného pôdneho fondu, zvýšenie teploty bude znamenať väčší stupeň mineralizácie organickej hmoty, zmenu nadložného humusu z moru na moder, z moderu na moderový mull, z moderového mullu na typický mull, eventuálne i mierny pokles vlastného pôdneho humusu. Hlavným produktom týchto zmien bude oxid uhličitý a kvôli zjednodušeniu uvažujeme, že vďaka nemu vzrastie fotoasymilácia.

Zásoby nadložného humusu v našich pôdach možno odhadnúť v širokom rozpätí 4 - 200 ton na 1 ha, väčšinou však sa pohybujú v rozpätí 10 - 50 t. Ako strednú modálnu hodnotu uvažujeme 20 t, potom zrýchlenou mineralizáciou nadložného humusu sa uvoľní okolo 7 t, teda 3,5 t uhlíka na 1 ha. Pri tejto úvahe sa opierame o poznatky poklesu humusu pri zmene lesných pôd na poľnohospodárske. Ak k tomu pripočítame aj pokles pôdneho humusu (v priemere $200 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, pokles 10 %), uvoľní sa 13,5 t uhlíka. Je to značné množstvo, zmeny nebudú však až tak dramatické. Pri konkrétnych zmenách bude sa uplatňovať tlmivosť pôd, teda pôd s väčšími zásobami humusu, ílu, s väčšou minerálnou silou, budú zmeny menšie. Na humus sú viazané i bázy a iné živiny, včítane tej najdôležitejšej, dusíka. Môžu byť vo zvýšenej miere prístupné rastlinám alebo i vymyté.

Upozorňujeme na dôležitý praktický aspekt. Americké a švédske práce zo 70. rokov (ŠÁLY 1996c) priniesli poznatok, že pri použití holorubnej formy výrazne vzrastá vo vode otekajúcej z vytlačeného územia obsah nitrátov. Pri trvajúcom, resp. vzrastajúcom inpute dusíkových zlúčenín a pri zrýchlenej mineralizácii nadložného a pôdneho humusu, stáva sa táto forma ešte spornejšou. Spomínané práce boli vykonané v dobe, keď input dusíka sa ani zďaleka nevyrovnal dnešnému.

Už v predchádzajúcej práci (ŠÁLY 1996b) sme upozornili na otázku dusíka, ktorá ako veľká neznáma vznáša sa nad vedeckým frontom. Medzičasom sa zistil v niektorých našich porastoch input 15 - 40 $\text{kg} \cdot \text{N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ (BUBLINEC, DUBOVÁ 1995). Zároveň výsledky JOHNSONA *a kol.* (1995) ukazujú, že nadbytok dusíka môže prispievať k redukcii výmenného Ca, Mg, K a mení formy, a tým i prístupnosť takej dôležitej živiny, ako je fosfor.

Najmä v nadložnom humuse sú viazané mikroelementy, či už dôležité živiny (Cu, Mo, Mn), či škodliviny (Pb, Cd, Hg), ktoré doniesla zvýšená imisná záťaž. Mineralizácia nadložného humusu znamená uvoľnenie týchto mikroelementov. Vychádzame z toho, že s výnimkou bezprostredného okolia emisných zdrojov, obsah mikroelementov v pôde nebude taký vysoký, aby brzdil produkčné procesy.

4.2.5 Pedogenetické zmeny

Od očakávanej klimateckej zmeny nemožno, alebo len v špecifických prípadoch, či súbežne s imisnou záťažou možno čakať, že pri pôdach príde k zmene pôdneho typu či podtypu pôd. Môže však najmä v spojitosti so zmenou nadložného humusu prísť k zmene variety a formy pôdneho typu v tom ponímaní, ako je to uvedené v terajšom našom morfogenetickom systéme pôd.

Keďže sa dosť hovorí o očakávanej extrémite počasia, možno upozorniť na privalové dažde a možnosť erózie pôd. Vodná a čiastočne i veterná erózia pôd je historicky najvýznamnejším deštruktívnym činiteľom. Uvádza sa napr., že v súčasnosti odnáša sa v Európe a USA 17 t, v južnej Amerike, v Ázii a Afrike 30 - 40 $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$, hoci súbežná tvorba je len 1 - 2 $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Môžu sa teda na prudších svahoch i v lese vytvoriť erodované a akumulované formy pôd. Obavy v tomto smere vzbudzuje príliš hustá sieť neudržiavaných zemných ciest, zväznic, ktorá bola v ostatných desaťročiach u nás vybudovaná.

Spomínaný klasifikačný systém pôd umožňuje termínmi "imisná, antropogénna" vystihnúť a označiť tie formy či variety pôd, pri ktorých sa očakávajú zmeny i vonkajškovo prejavajú.

Ak príde pri poklese zrážok, stúpnutí teploty a evapotranspirácii k poklesu podzemnej vody, treba zodpovedať otázku, čo sa stane s pôdami, ktoré v hlbších horizontoch túto hladinu majú. Toto je jeden zo spomínaných špecifických prípadov zmeny na úrovni subtypu. Môžu teda viaceré podtypy "pseudoglejové" stratiť tie znaky, ktoré viedli k vylišeniu tohoto podtypu (alebo sa tieto znaky stanú reliktné), pseudoglej či glej organozemný prejde na typický.

LITERATÚRA

- BUBLINEC, E., DUBOVÁ, M., 1995: Vstupy chemických prvkov do lesných pôd. In: Zborník referátov "Antropizácia pôd". Prírodovedecká fakulta KU, Bratislava, 13-16.
- DE GROOT, C.J., VERMOESEN, A., VAN CLEEMPUT, O., 1994: Laboratory study of the emission of N₂O and CH₄ from a calcareous soil. Soil Science, vol. 185, 5, 355-364.
- HALAJ, J., ŘEHÁK, J., 1979: Rastové tabuľky hlavných drevín ČSSR. Bratislava, Príroda.
- JOHNSON, D.W., WALKER, R.F., BALL, J.T., 1995: Combined effects of nitrogen and elevated CO₂ on soils controlled environment studies. Water, Air and Soil Pollution, 85, 1551-1556.
- KOLEKTÍV, 1993: Návrh na odstraňovanie škôd spôsobovaných antropickou činnosťou, najmä imisiami. LVÚ Zvolen.
- KOLEKTÍV, 1996: Der Fischer-Weltalmanach. Frankfurt am Main.
- KONÔPKA, J., 1996: Ochrana lesného fondu v Slovenskej republike. Les, Bratislava, č. 5, 3-6.
- LAPIN, M., 1993: Upresnenie alternatívnych scenárov zmien základných klimatických prvkov na Slovensku do r. 2035. Záverečná správa. SHMÚ, Bratislava.
- LAPIN, M., 1996: Scenáre klimatickej zmeny na Slovensku. In: "Lesné ekosystémy a globálne klimatické zmeny", LVÚ Zvolen, 7-15.
- PETERJOHN, W.P., MELILLO, J.M., STEUDLER, P.A., NEWKIRK, K.M., BOWLES, F.P., ABER, J.D., 1994: Responses of trace gas fluxes and availability to experimentally elevated soil temperatures. Ecological Applications 4, 617-625.
- ŠÁLY, R., 1975: Stav úrodnosti lesného pôdneho fondu. Půdní fond ČSSR. Academia Praha, 108-113.
- ŠÁLY, R., 1988: Opatrenia k udržaniu a zvýšeniu úrodnosti lesných pôd. Věstník ČSAZ, Praha, 2, 92-100.
- ŠÁLY, R., 1996a: Ohrozenie pôdnej úrodnosti v lesoch na Slovensku možnými klimatickými zmenami. In: "Lesné ekosystémy a globálne klimatické zmeny". LVÚ Zvolen, 46-50.
- ŠÁLY, R., 1996b: Ako ďalej s otupením nadmernej kyslosti pôd? Les, Bratislava, 6, 7-10.
- ŠÁLY, R., 1996c: Pedológia. Fakulta ekológie a environmentalistiky, Vydavateľstvo TU Zvolen.
- ZLATNÍK, A., 1959: Přehled slovenských lesu podle skupin lesních typu. Spisy Vědecké laboratoře biogeocenologie a typologie lesa LF VŠZ Brno, č. 3.

4.3 VPLYV GLOBÁLNYCH KLIMATICKÝCH ZMIEN NA GENETICKÚ ŠTRUKTÚRU POPULÁCIÍ LESNÝCH DREVÍN

4.3.1 Selekčné faktory (teploty, zrážky a ich kombinácia)

Prognózy klimatických zmien najčastejšie kvantifikujú zmeny priemerných hodnôt klimatických charakteristík. Na ich základe bývajú nezriedka prognózované zmeny areálov jednotlivých drevín jednoduchým posunom na sever (DAVIS & ZABINSKI 1992) alebo do vyšších nadmorských výšok (GEBUREK 1993). Extrémne prejavy počasia súvisiace s otepľovaním však v podstatne vyššej miere určujú budúcnosť lesných ekosystémov. Je potrebné pripomenúť, že žiadna zmena priemerných hodnôt nespôsobí elimináciu konkrétnych genotypov, ale sú to práve extrémne teploty a zrážok, ktoré vedú k selekcii neadaptovaných jedincov. Fyziologická plasticita jedinca (t. j. jeho schopnosť **prežiť** v rôznych podmienkach prostredia) je vo väčšine drevín relatívne veľká, dreviny sú spravidla schopné prežiť v podstatne širšom diapazóne ekologických podmienok, než sú podmienky v ich prirodzenom areáli. Dôkazom je úspešná introdukcia drevín mimo ich areálu, výsadba exotických drevín v parkoch a pod. Smrek, ktorý je v našich podmienkach horskou drevinou, bol úspešne vysádzaný aj v pahorkatinách. To, čo drevinám neumožňuje prežiť mimo ich areálu, je kompetičný tlak iných, lepšie adaptovaných druhov. Samotné zvýšenie priemerných teplôt o 2 - 3 °C by teda pre dreviny nepredstavovalo nezvládateľnú situáciu, ktorej by sa v priebehu niekoľkých generácií nedokázali prispôsobiť. Extrémne počasia by však mohli viesť k opakovanému alebo trvalému fyziologickému poškodzovaniu, ktoré má za následok odumieranie.

Je pochopiteľné, že vzhľadom na orografickú heterogenitu nie je možné spoľahlivo predpovedať zmenu klimatických charakteristík pre každú lokalitu, ale je absolútne nutné venovať pri prognóze klimatických zmien pozornosť práve zmenám cirkulačných pomerov a ich dôsledkov na priebeh počasia počas roka (vpády studeného vzduchu vo vegetačnom období, vpády teplého vzduchu v období vegetačného pokoja spôsobujúce predčasné rašenie, silné vetry narušujúce statickú stabilitu lesných porastov a pod.). Bez prognózy frekvencie výskytu týchto javov presná predikcia dôsledkov na lesné a iné ekosystémy nie je možná.

Klimatické zmeny nemusia nutne viesť vo všetkých prípadoch k zmene druhovej skladby lesných ekosystémov. Pri každom druhu je potrebné uvažovať s jeho ekologickou amplitúdou a s možnou náhradou miestnych populácií za populácie z teplejšej klímy. Tieto posuny sú možné v prípadoch, keď areál druhu zasahuje ďalej na juh alebo do nižších nadmorských výšok ako záujmová oblasť.

4.3.2 Genetická štruktúra populácií a adaptačný potenciál

Vplyv klimatických zmien na lesné ekosystémy závisí od ich súčasnej a budúcej stability. Vzhľadom na to, že identitu lesného ekosystému určuje v prvom rade drevinová zložka, je pre stabilitu lesných ekosystémov rozhodujúca relatívna stabilita drevinového zloženia a relatívna stabilita populácií jednotlivých druhov drevín. Je potrebné zdôrazniť slovo relatívna, pretože k zmenám prostredia dochádza trvale a ako lesné ekosystémy, tak aj populácie jednotlivých druhov drevín si v priebehu evolúcie vybudovali mechanizmy umožňujúce prispôsobiť sa týmto zmenám. Tieto mechanizmy si však vyžadujú určitý nevyhnutný čas, pokiaľ sú zmeny prostredia príliš radikálne, môže dôjsť k extinkcii jednotlivých populácií drevín, a tým aj k zrúteniu ekosystému. Dôkazom je hromadné odumieranie lesov v oblastiach pod silnou imisnou záťažou.

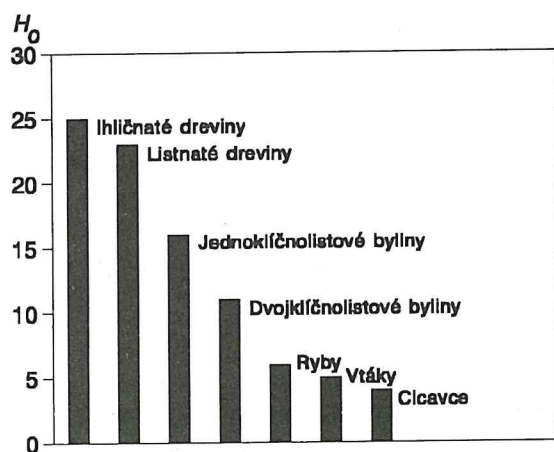
Pokiaľ hovoríme o adaptácii na zmeny prostredia, je potrebné hneď na začiatku definovať používanú terminológiu, vychádzajúcu z rovnakého etymologického základu, ale označujúcu rôzne pojmy. V prvom rade je nutné rozlišovať adaptáciu na úrovni jedinca (fyziologickú) a na úrovni populácie (genetickú, resp. evolučnú).

Pojem **adaptovanosť** (adaptedness, Angepaßtheit) označuje fyziologickú konštitúciu jedinca, resp. genetickú (alelickú a genotypovú) štruktúru populácie, ktorá v aktuálnych podmienkach prostredia umožňuje prežitie. Adaptovanosť je teda **stav**.

Pod pojmom **evolučná adaptácia** (adaptation, Anpassung) rozumieme **proces**, ktorý prostredníctvom selekcie mení genetickú štruktúru populácie tak, aby jeho výsledkom bola adaptovanosť.

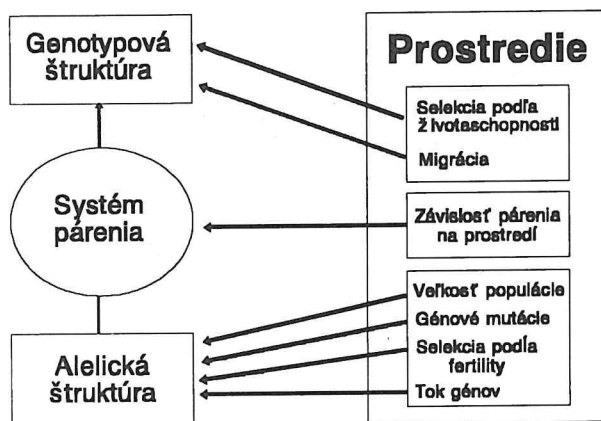
Prispôsobivosťou (adaptability, Anpassungsfähigkeit) sa rozumie genetický **potenciál**, umožňujúci populácii adaptovať sa na meniace sa podmienky prostredia (GREGORIUS 1985).

Pre lesné dreviny ako dlhoveké a stanovištné viazané organizmy je vysoká genetická diverzita základným atribútom ich kompetičnej stratégie. Namiesto prísnej adaptácie populácií na lokálne podmienky prostredia, ktorá u iných organizmov vedie k rozpadu na množstvo úzko špecializovaných, veľmi citlivých druhov, je pre lesné dreviny charakteristická vysoká vnútorná premenlivosť na úrovni jedinca aj na úrovni populácie, umožňujúca prežiť fluktučné zmeny ekologických podmienok. V porovnaní s inými živými organizmami sú priemerné hodnoty heterozygotnosti niekoľkonásobne vyššie (obr. 4.3.1). Dreviny mierneho pásma majú priemernú heterozygotnosť 23 - 25 %, byliny polovičnú a živočíchy asi pätinovú (LEDIG 1986).



Obr. 4.3.1 Priemerná heterozygotnosť rôznych typov organizmov

Figure 4.3.1 Mean heterozygosity in different types of organisms



Obr. 4.3.2 Faktory a procesy podmieňujúce v interakcii s prostredím genetickú štruktúru populácie (STERN & ROCHE 1974)

Figure 4.3.2 Factors and processes determining the genetic structure of populations in interactions with environment

Vzhľadom na uvedené fakty sa lesné dreviny vo všeobecnosti vyznačujú podstatne vyššou adaptačnou schopnosťou než iné organizmy (GREGORIUS *et al* 1979, 1985). Pre dreviny rovnako ako pre ostatné organizmy možno paradoxne konštatovať, že populácie dobre adaptované na súčasné klimatické podmienky nemusia mať nutne aj najvyšší adaptačný potenciál, teda nemusia byť prispôsobivé zmenám klimatických podmienok v budúcnosti.

Pod pojmom genetickej štruktúry rozumieme zastúpenie jednotlivých genotypov a zastúpenie alel. Pre jej hodnotenie sa používajú genetické markéry, najmä izoenzýmy a v posledných rokoch DNA-markéry. Pre posúdenie adaptačného potenciálu jednotlivých populácií lesných drevín bude potrebná genetická inventúra, t. j. odhad ich genetickej diverzity v časových,

priestorových a ekologických súvislostiach. Monitoring zmien genetickej štruktúry prispeje k bližšiemu poznaniu postupujúcej selekcie a ostatných kvantifikovateľných vplyvov evolučných faktorov a procesov.

Genetická štruktúra sa vyznačuje časovou a priestorovou dynamikou, ktorú podmieňujú viaceré populačno-genetické faktory a procesy (obr. 4.3.2), predovšetkým:

- selekcia podľa životaschopnosti a fertility
- systém reprodukcie (rekombinácia génov, tok gamét)
- mutácie
- migrácia a tok génov
- genetický drift (náhodné zmeny).

Selekcia

Pokiaľ ide o lesné dreviny existuje množstvo experimentálnych výsledkov kvantifikujúcich vplyv selekcie na genetickú štruktúru populácií. Sú to ako zmeny v časových radoch (v priebehu ontogenézy lesného porastu), tak aj zmeny v dôsledku rozdielnych ekologických podmienok.

Vo väčšine lesných drevín bola pozorovaná vnútroduhová klinálna premenlivosť alelických frekvencií niektorých génov paralelne s gradientom ekologických podmienok (nadmorskou výškou, zemepisnou šírkou a pod.). Samotná existencia takýchto gradientov ešte nie je dôkazom adaptácie prírodným výberom, pretože rovnako môžu byť dôsledkom postglaciálnej migrácie z rôznych refúgií a introgresie medzi migračnými prúdmi. Na druhej strane, pokiaľ sa rovnaký trend prejavuje na viacerých lokalitách alebo pozdĺž viacerých analogických gradientov, je selekcia najpravdepodobnejším vysvetlením. Príkladom sú zmeny zastúpenia alel kontrolujúcich syntézu rôznych molekulárnych foriem kyslej fosfatázy smreka obyčajného (BERGMANN 1978). Rovnaký trend pozoroval na výškovom tranzekte v Alpách aj v smere rastúcej zemepisnej šírky od Nemecka po sever Škandinávie.

Fyziologickým základom selekcie sú rozdielne vlastnosti enzýmov, ktoré sú produktmi rôznych alel rovnakého génu. Sledovaním kinetiky niektorých enzýmov (IDH jedle bielej – BERGMANN & GREGORIUS 1993, PEPCA smreka – TIETZ & WILD 1991) *in vitro* sa potvrdili trendy alelických zmien pozorované v prirodzených populáciách.

Pri väčšine lesných drevín selekcia vo všeobecnosti uprednostňuje vysoko heterozygotné jedince. Sú to jedince vyznačujúce sa väčšou fyziologickou plasticitou. Preferencia heterozygotov a prejavuje napríklad zmenami alelickej štruktúry v priebehu ontogenézy porastu. Zatiaľ čo semenáčky majú podiel heterozygotných génov spravidla nižší v porovnaní s rovnovážnym stavom (panmixiou) v dôsledku parciálneho samoopelenia, na dospelých jedincoch je spravidla pozorovaný nadbytok heterozygotov. Tento vývoj bol pozorovaný na viacerých drevinách. Podobný vzťah bol pozorovaný pri odolnosti voči imisiám: tolerantné populácie, resp. súbory tolerantných stromov sa spravidla vyznačujú vyššou genetickou diverzitou, ktorá na úrovni jedinca vytvára predpoklady pre vysokú heterozygotnosť (MÜLLER-STARCK 1985 a i.).

Selekcia vplyva na alelickú diverzitu a multiplicitu tých génov, ktorých alely sa odlišujú ich adaptívnou hodnotou, t. j. produkty génov – enzýmy – sa odlišujú katalytickou účinnosťou v rôznych podmienkach prostredia. Zmeny v alelických frekvenciách v dôsledku adaptácie sú teda špecifické pre každý gén a závisia od modu selekcie. Pri úplnej či neúplnej dominancii (príklad génu *Idh-B* jedle a *Acp-B* smreka) povedú k zníženiu frekvencie recesívnych alel, v extrémnom prípade až k ich extinkcii, teda k zníženiu genetickej multiplicity a diverzity. Pri supradominancii (príklad génu *Pepc-A* smreka) sa alelické frekvencie nebudú meniť, keďže zvýšenou životaschopnosťou sa vyznačujú len heterozygotné jedince, t. j. nositelia oboch alel.

V prípade, že populácia nie je vo väzbovej rovnováhe, vedie selekcia aj k zmenám alelických frekvencií génov, nemajúcich žiadny adaptívny význam, ale tesne viazaných na selektovaný gén (t. j. lokalizované na chromozóme v susedstve selektovaného génu). V tomto prípade hovoríme o pasívnej selekcii. Dôsledky pre genetickú diverzitu a multiplicitu sú však analogické ako pri priamej selekcii.

Genetický drift

Pod genetickým driftom rozumieme náhodné zmeny alelických frekvencií, ktoré nemožno vysvetliť adaptáciou ani iným evolučným procesom. Zo zákonitostí štatistiky vyplýva, že vplyv genetického driftu je tým významnejší, čím je populácia menšia. V tejto súvislosti predstavuje prax umelej obnovy lesných porastov isté riziko vzhľadom na obmedzený počet materských jedincov.

Genetický drift môže byť v podmienkach klimatických zmien významným faktorom ovplyvňujúcim genetickú diverzitu. Pri drevinách s užšou fyziologickou amplitúdou možno očakávať značnú početnú redukciu lokálnych populácií. Genetický drift môže pri génoch, ktoré nemajú adaptívny význam vzhľadom na klimatické podmienky, ale môžu mať adaptívny význam vzhľadom na iné selekčné faktory – imisie, škodcovia, choroby a pod.), viesť k extinkcii najmä málo zastúpených alel.

4.3.3 Systém reprodukcie

Prevažná väčšina lesných drevín sa prirodzene reprodukuje generatívnym spôsobom, je jednodomá a anemofilná. Tok génov medzi jedincami v spojitnej populácii prostredníctvom peľu nie je okrem vzdialenosti obmedzený žiadnym ďalším faktorom. Pri génoch jadrovej DNA, ktorú obsahujú ako vajíčka, tak aj peľ, možno teda ich rozptyl v populácii považovať za dokonalý. Naproti tomu tok génov prostredníctvom semien je pri väčšine drevín značne redukovaný, maximálny dolet semien dokonca ani ihličnanov spravidla nepresahuje 50 m (MÜLLER-STARCK 1976). Tok génov mimojadrovej DNA (chloroplastovej a mitochondriálnej) s uniparentálnou dedičnosťou teda v značnej miere závisí od toho, či je prenášaná vajíčkom, alebo peľovým zrncom (modus dedičnosti je pri rôznych drevinách rôzny). Mimojadrová DNA je síce v porovnaní s jadrovou

podstatne kratšia, obsahuje však napr. gény kontrolujúce fotosyntézu, v ktorých možno očakávať veľký adaptívny význam.

Na drevinách opelivých hmyzom (lipa, čerešňa) je autogamia pravidelným javom a vedie k eliminácii väčšiny letálnych alel z genofondu populácie. Samoopelenie tu teda nemá natoľko negatívny dôsledok ako pri drevinách opelivých vetrom. Absencia opeliteľa však pri nich môže viesť k podstatnému zníženiu semennej úrody.

Extrémne klimatické podmienky (neskoré mrazy, extrémne vysoké teploty, výdatné zrážky počas kvitnutia) môžu viesť k narušeniu produkcie a prenosu peľu. Vo väčšine lesných drevín sa bohaté kvitnutie nedostavuje každý rok, ale v dlhších intervaloch (závislých od dreviny a stanovišťa). Výkyvy v počasí môžu viesť aj k zmenám fenologických prejavov a k desynchronizácii kvitnutia. V dôsledku toho aj jedince, bohato kvitnúce samčiami a samičiami kvetmi, nemusia nájsť partnera pre reprodukciu. Pravidelný výskyt extrémnych javov v počasí môže teda výrazne narušiť celý reprodukčný proces a viesť k významným odchýlkam zastúpenia genotypov od rovnovážneho stavu.

Komponentom systému reprodukcie je aj prenos a prežívanie semien. Vo väčšine drevín nepredstavujú nízke teploty nebezpečenstvo pre prežívanie semien ani pri absencii snehovej pokrývky. Rizikovým faktorom však môže byť striedanie vysokých a nízkych teplôt počas dormancie.

Migrácia

Migrácia, t. j. prenos génov medzi populáciami, je jediným procesom, umožňujúcim nahradiť alely stratené v dôsledku selekcie alebo genetického driftu. Rovnako ako pri toku génov vnútri populácií, je prenos možný prostredníctvom peľu alebo semien. Ako už bolo spomenuté, vo väčšine prípadov je prirodzený dolet semien obmedzený na bezprostredné okolie materského stromu. Pre prenos génov má podstatne väčší význam migrácia peľu, v našich podmienkach možno pri niektorých drevinách rátať s možnosťou prenosu na vzdialenosť niekoľko desiatok kilometrov.

Podmienky limitujúce migráciu sú podobné ako pri toku génov. Migrácia je zrejme jediným populačno-genetickým procesom, ktorý môže do určitej miery zmierniť dôsledky klimatických zmien na genetickú diverzitu lesných ekosystémov. Indukovaný posun fenologických fáz, ktorý narušuje tok génov vnútri populácie, môže prispieť k fenologickej synchronizácii medzi geograficky vzdialenými populáciami. Silný vietor môže prispieť k lepšiemu rozptylu peľu na geograficky rozsiahlych územiach. Podmienkou pozitívneho účinku migrácie je však zachovanie alelickej diverzity ak už nie vo vnútri jednotlivých populácií, tak aspoň v rámci druhu ako celku.

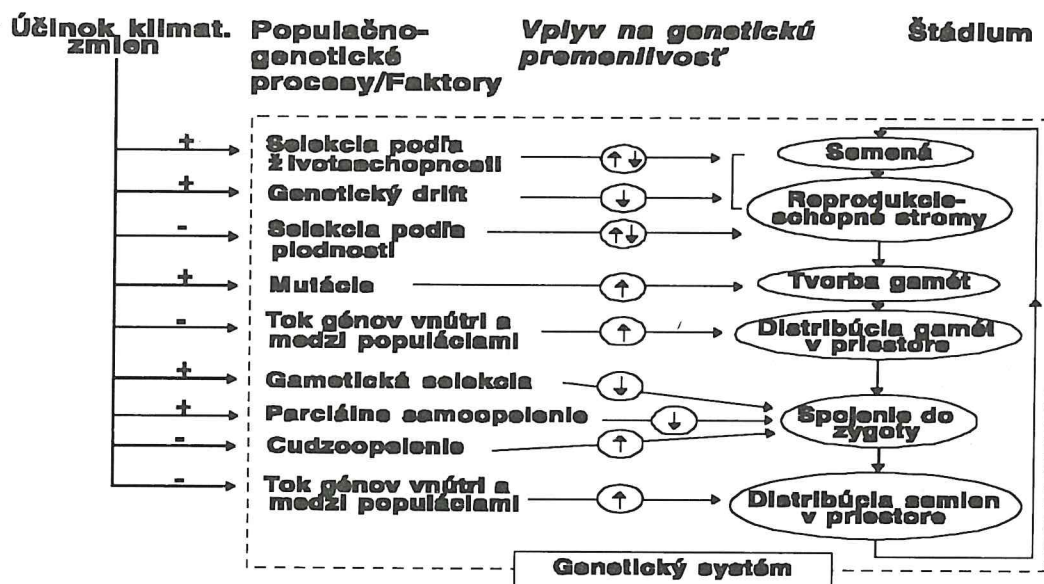
Mutácie

V evolúcii sú mutácie jediným procesom, ktorý vytvára nové alelické formy. Z hľadiska krátkodobého vývoja však nemajú veľký význam. Frekvencia génových mutácií je mimoriadne nízka, navyše veľkú časť z nich predstavujú synonymné mutácie, ktoré sa neodrazia v štruktúre produkovaného enzýmu (genetický kód je redundantný, takže nie každá zmena sekvencie nukleotidov v DNA má za následok zaradenie odlišnej aminokyseliny pri syntéze bielkovín). Frekvencia nesynonymných mutácií za normálnych podmienok dosahuje 1.5×10^{-4} . V oblastiach pod imisnou záťažou sa frekvencia mutácií zvyšuje rádovo 50-krát (BACHTJAROVA *et al.* ex DEGEN 1995). Ešte väčšie zvýšenie frekvencie mutácií (niekoľkostonásobné) pozoroval GONČARENKO (os. spr.) na drevinách v okolí havarovaného reaktora v Černobyle. Väčšina mutácií (spontánnych aj indukovaných) má však letálny charakter. Pravdepodobnosť vytvorenia novej funkčnej alely je veľmi nízka.

Frekvencia chromozómových mutácií sa rovnako v podmienkach imisnej záťaže zväčšuje (MÜLLER *et al.*, 1991). Rovnako ako pri génových mutáciách je väčšina z nich letálna alebo semiletálna.

Od mutačného procesu si teda nemožno sľubovať zmiernenie dôsledkov klimatických zmien. Okrem chromozómových aberácií, ktoré môžu byť spôsobené vysokými teplotami počas gametogenézy, sa však ani netreba obávať zvýšenia frekvencie mutácií v dôsledku zmeny klímy.

Vplyv zmien klímy na populačno-genetické procesy a faktory a ich účinok na genetickú premenlivosť schematicky zachytáva obr. 4.3.3. Schéma pôvodne popisuje účinok imisií, ale je v plnej miere použiteľná aj pre zmeny klímy. Doterajšia úroveň vedomostí neumožňuje kvantitatívnu predikciu zmien genetickej štruktúry jednotlivých drevín (jej predpokladom je napokon presná kvantitatívna prognóza všetkých aspektov klimatických zmien). Čo je možné, je odhad dôsledkov na jednotlivé genetické procesy, a do určitej miery aj odhad ich kompenzujúcich a synergických účinkov.



Obr. 4.3.3 Schéma účinkov klimatických zmien na genetický systém populácií lesných drevín (DEGEN 1995)
 Figure 4.3.3 Scheme of effects of climate changes on the genetic system of forest tree population

4.3:4 Stratégie

Z genetického hľadiska považujeme za mimoriadne významný spôsob zakladania lesných porastov. Bez ďalších diskusií môžeme prijať hypotézu, že prirodzená obnova zabezpečí najlepšie odovzdanie genetickej informácie z rodičovskej populácie na potomstvo. Nespočetnekrát sa však dokázali rozdiely medzi geneticou štruktúrou rodičovskej populácie a potomstva, a to hlavne v tých prípadoch, keď bola porovnávaná genetická štruktúra potomstva v juvenilnej fáze a materského porastu v dospelosti, t. j. po skončení selekcie. Pomerne veľké rozdiely v genetickej štruktúre materského porastu a potomstva sa dajú očakávať pri slabých úrodách semena alebo v tých prípadoch, keď počet kvitnúcich stromov v poraste je nízky.

Dlhé obnovné doby môžu zabezpečiť takú genotypovú štruktúru, ktorá nie je produktom jednej reprodukcie (kvitnutia alebo semenného roku), ale niekoľkých reprodukčných období (semenných rokov). Genetická diverzita následnej generácie (prirodzenej obnovy) sa takto môže približovať alebo dokonca môže byť väčšia, než je genetická diverzita materského porastu (ktorý mohol napríklad vzniknúť ako dôsledok jedného reprodukčného cyklu).

Pri umelej obnove, aj bez aplikácie použitia šľachteného materiálu, vnášame faktory, pomocou ktorých úmyselne alebo aj neúmyselne zužujeme genetickú diverzitu umelo založeného porastu. Počet stromov, z ktorých zbierame semeno, spôsob vypestovania sadobného materiálu, prenos semena a sadobného materiálu, a následne aj spôsob založenia porastu prispievajú k tomu, že genetická diverzita je neraz v porovnaní s materským porastom podstatne zúžená (niekedy ťažko predpokladateľným smerom), a to aj v prípade zberu semena z uznaných porastov. V prípade aplikácie šľachteného materiálu dochádza k zúženiu genetickej diverzity, avšak použitie šľachteného materiálu je založené na testovaní vhodnosti pre dané podmienky.

Vystačíme s prirodzenou obnovou?

Pri porovnaní aplikácie prirodzenej obnovy pôvodných populácií lesných drevín a použitia šľachteného materiálu je potrebné konštatovať, že šľachtený materiál, ako to vyplýva z jeho genetickej konštitúcie, má zúženú genetickú diverzitu a adaptačný potenciál. Má síce vyššiu produkciu než akákoľvek prirodzená populácia (v opačnom prípade by nebol na základe testov odporúčaný na pestovanie), ale jeho adaptačný potenciál je zúžený a zodpovedá len úzkemu okruhu ekologických podmienok.

V prípade ťažko definovateľných podmienok v budúcnosti nebudeme môcť preto použiť výsledky klasického šľachtenia lesných drevín, ktoré sú testované v úzkom okruhu ekologických podmienok, ale musíme

sa *a priori* zamerať na taký šľachtený materiál, ktorý vykazuje dobrý rast a adaptačnú schopnosť v relatívne širokom spektre ekologických podmienok.

Ak máme zodpovedať na otázku, či vystačíme pri takejto náhlej zmene klimatických podmienok s prirodzenou obnovou dnešných populácií musíme odpovedať záporne. Prirodzená obnova môže zabezpečiť reprodukciu populácie optimálne adaptovanej na dnešné ekologické (klimatické) podmienky, ale adaptácia novým podmienkam sa dá uskutočniť len ako evolučný proces (postupná selekcia) a nie ako zmena v priebehu jednej generácie. Navyše, ak predpokladáme takú zmenu klimatických podmienok, ktorá by mala za následok aj zmenu drevinového zloženia, potom táto sa nedá prirodzenou obnovou dosiahnuť vôbec.

4.3.5 Zmena drevinovej skladby *versus* voľba proveniencií

Ak predpokladáme podstatné zmeny klímy, ktoré by viedli k ústupu lokálnych populácií plne adaptovaných na súčasné klimatické podmienky, potom musíme *a priori* predpokladať potrebu náhrady lokálnych populácií za také, v ktorých by bol predpoklad väčšej ekologickej tolerance k novým ekologickým podmienkam. Ak budú zmeny rýchle, nemôže sa vychádzať z pôvodných populácií lesných drevín a ich prirodzenej obnovy s predpokladom následnej selekcie neadaptovaných genotypov, ale musíme uvažovať s náhradou populácií za nové, pochádzajúce z oblastí, ktoré majú podobný charakter klímy.

Tab. 4.3.1 Prehľad významných medzinárodných provenienčných pokusov založených v kontrastných podmienkach prostredia

Table 4.3.1 Overview of important international provenance experiments established in contrasting environment

Drevina	Rok založenia	Počet proveniencií	Počet provenienčných plôch
<i>Picea abies</i>	1938–39	36	15
<i>Pinus sylvestris</i>	1938	53	20
<i>Larix decidua</i>	1942	56	15
<i>Larix decidua</i>	1959–61	25	20
<i>Picea abies</i>	1964–68	1100	22
<i>Picea abies</i>	1972	20	29
<i>Pinus sylvestris</i>	1982–84	20	11
<i>Fagus sylvatica</i>	1982	188	15
<i>Fagus sylvatica</i>	1995	161	22

Predpoklad možnej reakcie rôznych proveniencií na nové podmienky prostredia nám poskytujú provenienčné pokusy lesných drevín, ktoré porovnávajú rôzne proveniencie na tom istom stanovišti alebo porovnávajú rovnakú sadu proveniencií na rôznych stanovištiach s cieľom:

1. preskúmať geografickú premenlivosť rastových znakov a adaptačného potenciálu a
2. preskúmať hranice a smer možného prenosu semena.

Najmä druhá oblasť záujmu je veľmi perspektívna na predikciu vplyvu možných klimatických zmien.

Provenienčný výskum

História provenienčného výskumu je okrem výskumu premenlivosti zviazaná priamo so šľachtením, t. j. s hľadaním smerov a hraníc možného prenosu semena. Už prvé širšie koncipované medzinárodné provenienčné pokusy boli orientované na výskum rastových prejavov a adaptačnej schopnosti rovnakej sady proveniencií v rôznych podmienkach prostredia. Bol poskytnutý prvý predpoklad poznania reakcií daných proveniencií pri prenose do teplejších, resp. do chladnejších podmienok, a to tak z hľadiska rastových prejavov, ako aj z hľadiska adaptačných znakov.

Od 30. rokov bol založený celý rad medzinárodných provenienčných pokusov s hlavnými hospodársky významnými lesnými drevinami, z ktorých mnohé boli založené v klimaticky kontrastných podmienkach. Informácie o najdôležitejších provenienčných pokusoch sú uvedené v tab. 4.3.1. Tento prehľad by bolo možné doplniť niektorými národnými provenienčnými pokusmi, napr. s borovicou lesnou vo Švédsku, obsahujúce rad provenienčných plôch založených v rozmedzí zemepisných šírok 55 - 68°. V medzinárodných provenienčných pokusoch bola v poslednom období venovaná mimoriadna pozornosť listnatým drevinám, najmä buku lesnému.

Práve posledné uvedené provenienčné pokusy s borovicou lesnou (*Pinus sylvestris*) a bukom lesným (*Fagus sylvatica*) boli výrazne koncipované tak, aby zahrnuli podmienky s teplejšou klímou, t. j. tie, ktoré sa

môžu objaviť v severnejších oblastiach po oteplení klímy. Výber proveniencií pre provenienčný pokus s borovicou lesnou zahŕňoval hlavne nížinné proveniencie (teda také, ktoré boli v minulosti pod vplyvom rovnakého charakteru selekcie) a v ktorých by boli odhady reakcií adaptívnych a rastových znakov na prenos do nových podmienok prostredia jednoznačne definované.

Podobný charakter majú aj dve série provenienčných pokusov s bukom lesným (*Fagus sylvatica*), ktoré sú významné súčasne z dvoch hľadísk: (1) významu buka ako náhrady za nepôvodné monokultúry ihličnatých drevín v niektorých oblastiach Európy (napr. Nemecko, západné Poľsko, Česká republika a pod.) a (2) odhadov reakcií pri očakávaných zmenách klímy.

Interakcie genotyp - prostredie (špecialisti *versus* generalisti)

Ak uvažujeme so základným predpokladom, že genotyp je nezávislý na prostredí, potom môžeme tento vzťah zapísať takto $P = G + E$. Interakcia $G \times E$ (t. j., že neexistuje väzba medzi genotypom a podmienkami prostredia) sa považuje za rovnú nule.

V početných provenienčných pokusoch sa však zistilo, že práve tento komponent premenlivosti V_{GE} , ktorý z interakcie genotypu a prostredia môže významne ovplyvniť výsledok celého šľachtenia lesných drevín. Za dobré považujeme také genotypy, ktoré v danom prostredí poskytujú najlepší rast a adaptačnú schopnosť. Existuje mnoho príkladov štatisticky významných interakcií genotypov prostredie, ktoré zefektívňujú šľachtiteľské programy.

Hodnotenie provenienčných pokusov zaviedlo rôzne alternatívy kvantifikovania ekologickej stability, napr. Finlay-Wilkinsonov a Eberhard-Russelov regresný model alebo Wrickeho ekovalencia (model rozkladu reziduálnej variancie) a kvantifikácia interakcie $G \times E$ pomocou rozkladu fenotypovej variancie.

Pri šľachtení lesných drevín na neistú budúcnosť nemôžeme uvažovať s najproduktívnejšími genotypmi alebo súborom najproduktívnejších genotypov v dnešných podmienkach prostredia, ale musíme uvažovať so súborom genotypov s najširšou ekologickou amplitúdou, ktoré sú v protiklade s genotypmi najlepšie adaptovanými na dnešné ekologické podmienky. Aké to majú byť genotypy? Nulová interakcia genotyp x prostredie, široká ekologická amplitúda a dobrá stabilita.

4.3.6 Záver

Neistota je hlavným faktorom, s ktorým je spojená obnova lesných porastov pre budúce obdobie a v ktorom sa súčasne očakávajú výraznejšie klimatické zmeny. Bude to platiť hlavne do obdobia, kým sa nevypracujú spoľahlivé modely klimatických zmien.

Horšou sa javí skutočnosť, že nech sú akékoľvek podmienky na začiatku obnovy porastov, tieto podmienky sa môžu v priebehu ich vývoja až po rubnú dobu podstatne zmeniť. Akokoľvek presné špecifikovanie proveniencií alebo iných zdrojov semena a reprodukčného materiálu pre dané podmienky si vyžaduje predpoklad nemennosti týchto podmienok a ich stability.

Preto najlepšou stratégiou obnovy lesných porastov bude udržanie genetickej diverzity, šľachtenie a selekcia generalistov (t. j. proveniencií so širokou ekologickou amplitúdou), ako aj byť pripravený na možné presuny proveniencií alebo ich zmesí z oblastí s teplejšou klímou.

Z hľadiska aplikácie genetiky pre elimináciu nepriaznivého vplyvu klimatických zmien bude potrebné uskutočniť:

- genetickú inventarizáciu vybraných populácií lesných drevín pre dlhodobý monitoring zmien genetickej štruktúry; najlepšie je, ak sa do tejto siete zaradia tak lesné rezervácie s pôvodnou genetickou štruktúrou, ako aj hospodárske porasty vo veku 30 - 40 rokov (aby bolo možné ich dlhodobé sledovanie)
- založenie siete provenienčných plôch pre testovanie sady proveniencií v klimaticky rôznych podmienkach prostredia, najmä v teplejších oblastiach; dve rozsiahlejšie série sú založené v poslednom desaťročí (buk a borovica lesná)
- výskum interakcií genotyp x prostredie pre odhady možných väzieb medzi genetickou štruktúrou populácií a faktormi prostredia
- selekciu proveniencií so širokou ekovalenciou ako základu umelej obnovy porastov v budúcom období, najmä drevín z nižších vegetačných stupňov (buk, duby, borovica lesná, resp. borovica čierna).

LITERATÚRA

- BERGMANN, F., 1978: The allelic distribution at an acid phosphatase locus in Norway spruce (*Picea abies*) along similar climatic gradients. *Theoretical and Applied Genetics* **52**, 57–64.
- BERGMANN, F., GREGORIUS, H.-R., 1993: Ecogeographical distribution and thermostability of isocitrate dehydrogenase (IDH) alloenzymes in European silver fir. *Biochemic and Systematical Ecology* **21**(5), 597–605.
- CHELIAK, W.M., MURRAY, G., PITEL, J.A., 1988: Genetic effects of phenotypic selection in white spruce. *Forest Ecology and Management* **24**, 139–149.
- DAVIS, M.B., ZABINSKI, C., 1992: Changes in geographical range resulting from greenhouse warming: Effects on biodiversity in forests. In: Peters, R.E., Lovejoy, T.E. (eds.): *Global warming and biological diversity*. Yale University Press, 297–308.
- DEGEN B., 1995: Ökologische Genetik. Vorläufiger Ergebnisbericht des Fachgebietes. Bundesumweltamt. Berlin.
- GEBUREK, T., 1994: Genetische Strategien für das forstwirtschaftliche Handeln angesichts klimatischer Änderungen. In: T. Geburek, F. Müller & U. Schultze (eds.): *Klimaänderung in Österreich. Herausforderung an Forstgenetik und Waldbau. FBVA Berichte* **81**, 19–36.
- GÖMÖRY, D., 1992: Effect of stand origin on the genetic diversity of Norway spruce (*Picea abies* KARST.) populations. *Forest Ecology and Management* **54**, 215–223.
- GREGORIUS, H.-R., 1985: Erhaltung der Anpassungsfähigkeit von Baumpopulationen. *Forum Genetik – Wald – Forstwirtschaft*, Göttingen, **10**, 13–22.
- GREGORIUS, H.-R., BERGMANN, F., MÜLLER-STARCK, G., HATTEMER, H.H., 1979: Genetische Implikationen waldbaulicher und züchterischer Maßnahmen. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* **150**(2), 30–41.
- GREGORIUS, H.-R., HATTEMER, H.H., BERGMANN, F., MÜLLER-STARCK, G., 1985: Umweltbelastung und Anpassungsfähigkeit von Baumpopulationen. *Silvae Genetica* **34**(6), 230–241.
- LEDIG, T., 1986: Heterozygosity, heterosis, and fitness in outcrossing plants. In: Soule, M.E. (ed.): *Conservation biology, the science of scarcity and diversity*. Sunderland, Sinauer Associates, 5, 77–104.
- MÜLLER, M., GUTTENBERGER, H., SCHÖGGL, W., GRILL, D., DRUSKOVIC, B., 1991: Eine cytogenetische Methode zur Vitalitätsprüfung von Fichten. *VDI Berichte* **901**, 337–347.
- MÜLLER-STARCK, G., 1976: Einschätzung genetischer Verwandtschafts- und Inzuchtsverhältnisse anhand der Pollen- und Samenverbreitung bei Fichte (*Picea abies* (L.) KARST.) und Kiefer (*Pinus sylvestris* L.). Dissertation. Universität Göttingen.
- MÜLLER-STARCK, G., 1985: Genetic differences between "tolerant" and "sensitive" beeches (*Fagus sylvatica* L.) in an environmentally stressed adult forest stand. *Silvae Genetica* **34**(6), 241–247.
- STERN, K., ROCHE, L., 1974: *Genetics of Forest Ecosystems*. Springer Vlg., Berlin – Heidelberg – New York.
- TIETZ, S., WILD, A., 1991: Investigations on the phosphoenolpyruvate carboxylase of spruce needles relative to the occurrence of novel forest decline. *Journal of Plant Physiology* **137**, 327–331.

4.4 DÔSLEDKY GLOBÁLNYCH KLIMATICKÝCH ZMIEN NA PESTOVANIE LESOV

4.4.1 Dôsledky klimatických zmien na lesné hospodárstvo

Z mnohých problémov životného prostredia, ktoré v súčasnom období ľudstvu robia starosti a musia sa riešiť, je hlavne rast skleníkového efektu atmosféry, ktorý sa prejavuje klimatickou zmenou.

Pri dlhodobom stabilných podmienkach prostredia existuje medzi ním a prirodzenou vegetáciou dynamická rovnováha. Zmenou podmienok prostredia sa mení uvedená rovnováha a ekosystém sa musí prispôbiť zmeneným ekologickým podmienkam.

Pri uvedenej situácii vystupuje do popredia otázka aspektu ekologickej tolerancie rozličných drevín v zmysle ich udržania v pôvodnom areáli. Zvýhodňované budú dreviny s veľkou ekologickou amplitúdou, t. j. s veľkou adaptačnou schopnosťou a ekologickou prispôbivosťou. Ekologická tolerancia drevín je úzko prepojená s genetickou variabilitou.

Ak berieme do úvahy časové hľadisko, tak môžeme povedať, že dreviny, ktoré sa vyznačujú dlhovekosťou a lesné porasty, ktorých pestovné usmerňovanie je dlhodobé, sú výrazne viac poškodzované ako napr. poľnohospodárske kultúry.

Dalším závažným aspektom je rýchlosť ekologických zmien. Pre adaptáciu individuí, ale aj celých populácií drevín, ako aj ekosystému je rýchlosť zmeny podmienok prostredia významná. Ak napr. v minulosti tieto zmeny prebiehali postupne a pomaly, dreviny a celé ekosystémy sa mohli týmto zmenám prispôbiť, v dnešnej situácii zmeny môžu prebiehať pomerne rýchlo, pričom prispôbenie populácií drevín selekciou a rekombináciou ide veľmi pomaly.

Z hľadiska uvedených zmien vyvstáva otázka ako obhospodarovat' lesy. Na danú otázku je veľmi ťažko odpovedať, pretože odpoveď je zaťažená veľkou mierou neurčitosti, pokiaľ sa týka celého komplexu zmien a adaptačnou schopnosťou populácií jednotlivých drevín.

Pri hľadaní cesty, ktorá by bola s maximálnou pravdepodobnosťou správna, by sa malo vychádzať z nasledujúcich požiadaviek (THOMASIUŠ 1991):

- Záruka maximálnej možnej flexibility lesných ekosystémov a lesného hospodárstva proti zmenám prírodného prostredia, a týmto aj prispôbenie požiadaviek spoločnosti na les.
- Minimalizácia ekonomických a ekologických rizík.
- Vyčlenenie výdavkov na ekologicky ponímané obhospodarovanie lesa.

Uvedené požiadavky môžu byť splnené len pri prihliadaní a rešpektovaní ekologických zákonitostí pôsobiacich v lese.

Pri nerešpektovaní uvedených skutočností nastáva:

- Porušenie ekologických väzieb a zákonitostí na dlhšie obdobie, čo je z pohľadu efektívnosti neekonomické a v takomto prípade je reparácia lesa nákladnejšia ako ochrana prírodných síl a rešpektovanie zákonitostí v lese.
- Imbalancia a paralýza samoregulačných mechanizmov lesných ekosystémov, ktorá vedie k narušeniu ich stability.
- Jednostrannosť v obhospodarovaní lesov (monokultúry, holorubný hospodársky spôsob), schematizácia (rovnoveké porasty) vedie k zníženiu ich adaptability na zmenené ekologické podmienky.

Pri rešpektovaní a naplnení uvedených požiadaviek, môžeme vytvoriť predpoklady na:

- Udržanie, resp. zvýšenie plochy lesov (väčšia väzba C, resp. CO₂ ako jedného z určujúcich skleníkových plynov)
- Vytvorenie ekologicky vhodnejších pestovných systémov
- Stálosť lesa na maximálne možnej úrovni z hľadiska akumulácie biomasy
- Požiadavky na rôznorodé a rôznoveké porasty, polesia, lesné závody

Uvedené predpoklady zamedzujú uvoľňovanie oxidu uhličitého do ovzdušia. Drevo je tvorené zhruba 50 % uhlíkom. V zásobách dreva lesov Slovenska je viazané také množstvo uhlíka, že pri jeho spálení by sa uvoľnilo do ovzdušia okolo 560 miliónov ton tohto plynu.

Veľké množstvo uhlíka sa nachádza v humuse. Používaním pestovných koncepcií a spôsobov hospodárenia, ktoré vedú k mineralizácii a k zníženiu jeho organického podielu v lesných pôdach, sa značná časť uhlíka uvoľňuje v podobe oxidu uhličitého. Podľa ZATLOUKALA (1995) pri mineralizácii humusu na ročnej holine z ťažby na rozlohe okolo 27000 ha sa uvoľní 6 - 10 miliónov ton CO₂.

4.4.2 Výstavba a dynamika najdôležitejších hospodárskych súborov lesov Slovenska

4.4.2.1 Lesy v 1.- 4. lesnom vegetačnom stupni

Dubový lesný vegetačný stupeň (Ivs)

Najdôležitejšími drevinami sú dub zimný a letný, dub plstnatý, dub cer a borovica. Primiešané dreviny tvoria hrab, jaseň manový a javor poľný. Dominantné postavenie v tomto lesnom vegetačnom stupni majú súbory sprasových hrabových dúbav, suchých dúbav, suchých hrabových dúbav, živných hrabových dúbav, v ktorých dominantné zastúpenie majú dub zimný a letný. Hospodárske súbory s dominantným postavením borovice, s pomerne veľkým plošným zastúpením sú v tomto Ivs reprezentované vzrastavými borovicovými dúbavami a vlhkými hrabovými dúbavami na viatych pieskoch (HANČINSKÝ 1977).

Súčasný porasty si na mnohých lokalitách udržali pôvodné drevinové zloženie s dominanciou duba letného, resp. zimného v rôznom pomere s výchovnou vrstvou hraba. Na výmere asi 40 % príslušných hospodárskych súborov prevláda borovica s prímiesou brezy. Ide o hospodárske súbory, ktorých porasty sú kvalitné, vzrastavé a pomerne vysoko hodnotné.

Bukovo-dubový lesný vegetačný stupeň

Lesný vegetačný stupeň je rozšírený v pahorkatinách a južných svahoch predhorí tej časti Slovenska, ktorá je ovplyvňovaná podnebí Panónskych nížin a veľkých úvalov vybiehajúcich z nížin do hôr, a to od Malých Karpát až po bázy svahov východoslovenských vyvrenín, (HANČINSKÝ 1977).

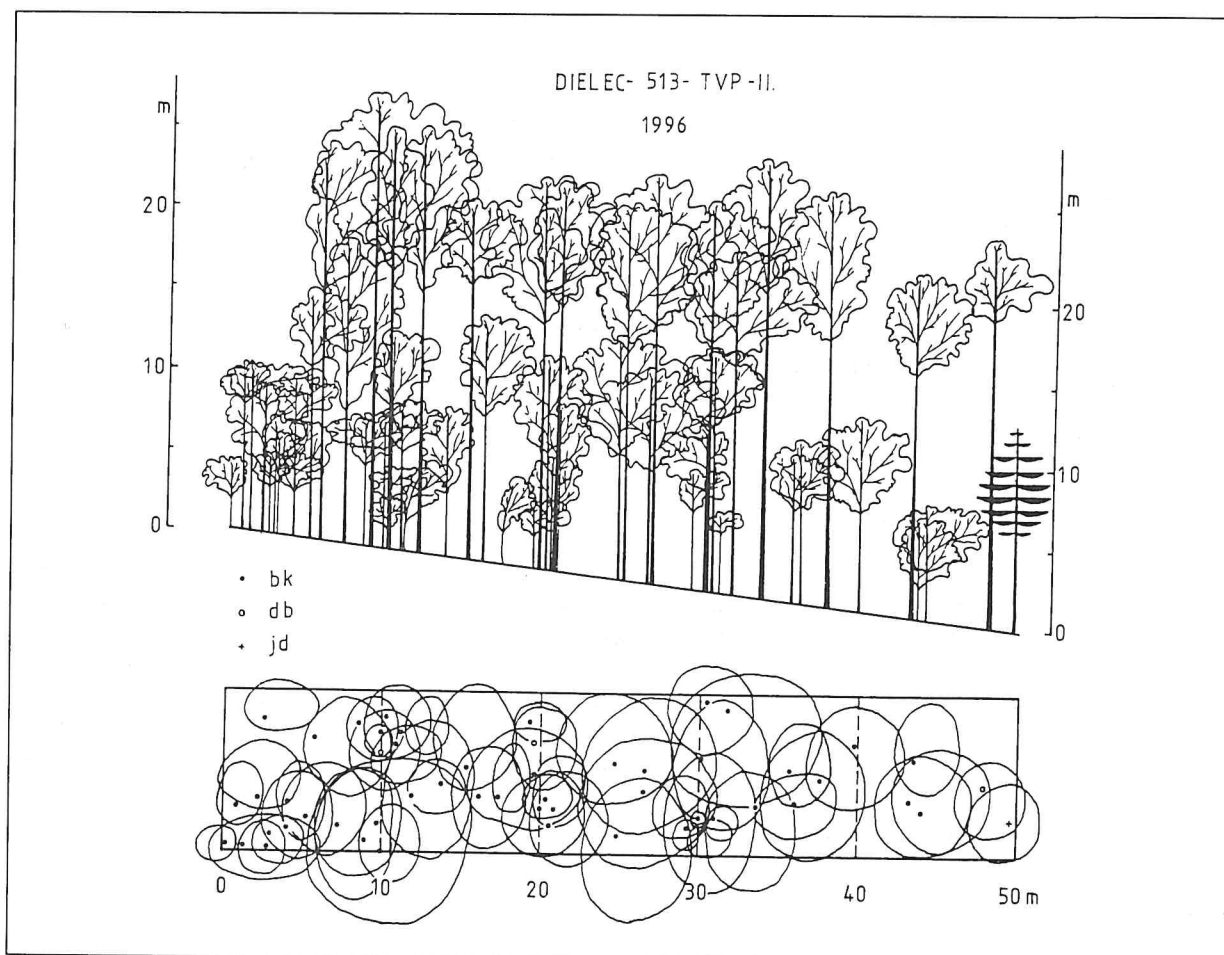
Z hospodárskych súborov, ktoré majú dominujúce postavenie, možno spomenúť svieže vápencové bukové dúbavy, kyslé bukové dúbavy, sprasové bukové dúbavy, suché bukové dúbavy a živné bukové dúbavy. Pôvodné porasty mali typickú dvojvrstvovú štruktúru. Hlavnou drevinou hornej vrstvy bol dub zimný s malou prímiesou buka. Výchovnú funkciu zabezpečoval hrab. V súčasnom období ide sčasti o porasty výmladkového pôvodu, prevahu tvoria porasty pôvodnej drevinovej štruktúry s porastovou výstavbou 2- alebo 3-vrstvovou.

Dubovo-bukový lesný vegetačný stupeň

Tento vegetačný lesný stupeň je rozšírený v predhoriach Karpát južne od hlavnej klimatickej čiary a na svahoch pahorkatín. Na západnom Slovensku sa vyskytuje už v Malých Karpatoch a prerušovane postupne po obidvoch stranách Váhu až k Žiline. V menšej miere sa vyskytuje v Trábečskom pohorí a v oblasti Vtáčnika. Výrazné rozšírenie dosahuje v Štiavnickom pohorí, Krupinskej vrchovine a v Slovenskom rudohorí. Na východnom Slovensku sa vyskytuje najmä v Ondavskej vrchovine a v pohorí Vihorlat (HANČINSKÝ 1977).

V lesných porastoch má prevahu buk nad dubom zimným. Jedľa sa v pôvodných lesných spoločenstvách vyskytovala len ojedinele. Iné dreviny na mnohých lokalitách chýbali, na niektorých boli výraznejšie zastúpené (HANČINSKÝ 1977).

V najdôležitejších hospodárskych súboroch tohoto lesného vegetačného stupňa v pôvodných porastoch dominoval buk. Primiešaný bol dub zimný a niektoré cenné listnáče, predovšetkým javor mliečny. Dnešné porasty majú väčšinou charakter rovnorodých bukových porastov, v menšej miere sú tu zastúpené dubovo-bukové lesy s typickou 2-vrstvovou štruktúrou. Ide o porasty, kde v predrastovom postavení sa vyskytuje dub zimný, úroveň a podúroveň je vytváraná k svetlu tolerantným bukom, ktorý vytvára výchovnú zložku pre dub. V tejto štruktúre porastov na nutrične bohatých stanovištiach dosahuje dub najvyššiu kvalitu kmeňa (obr. 4.4.1).



Obr. 4.4.1 Porastový profil dubovo-bukového porastu s typickou dvojvrstvou až výberovou štruktúrou vytvára dobre predpoklady ekologickej stability (bk-buk, db-dub, jd-jedľa)

Figure 4.4.1 Profile of oak-beech stand with typical two-levels structure (selection forest) creates good assumptions for ecological stability

Bukový lesný vegetačný stupeň

Tento stupeň je jedným z najrozšírenejších lvs karpatskej oblasti, a to na území južne i severne od klimatickej čiary. Vyskytuje sa na rozsiahlych plochách i menších lokalitách na celom území Slovenska.

Buk má v tomto vegetačnom lesnom stupni absolútnu prevahu. Jeho kompetičná schopnosť je veľká. Dub zimný sa vyskytuje len ojedinele. Výraznejšie zastúpenie dosahuje jedľa, lipa a javor mliečny. Smrek sa v pôvodných porastoch nevyskytoval (HANČINSKÝ 1977).

Hlavnou drevinou tohoto lvs je a v pôvodných porastoch bol buk, ku ktorému sa vo zvýšenej miere pridružovali cenné listnáče hlavne javor mliečny, lipa, z ihličnanov ojedinele jedľa (záver 4. lvs), čiastočne borovica a smrekovec.

V súasných porastoch má buk dominantné postavenie, no na mnohých lokalitách najmä v podsvahových delúviách bol nahradený smrekom (smrekové monokultúry), resp. na suchších stanovištiach borovicou (borovicové monokultúry). Práve rovnorodé smrekové porasty, ktoré sú na hranici areálu jeho rozšírenia, resp. mimo neho budú, ale už aj v tomto období sú citlivé na klimatické zmeny. Ich oslabenosť sa premietla v kôrovcovej kalamite.

4.4.2.2 Lesy v montánnom a supramontánnom stupni

Jedľo-bukový lesný vegetačný stupeň

V rámci uvedeného vegetačného stupňa dominujúce postavenie majú hospodárske súbory sviežich vápencových bučín, kyslých jedľových bučín a živných jedľových bučín. Ostatné súbory sú roztrúsené mozaikovitě a na malých plochách.

Lesné ekosystémy hospodárskeho súboru sviežich vápencových jedľových bučín sa viažu na výšku 700 - 800 m n.m. V pôvodných porastoch, ktorých podiel sa v súčasnom období znížil, boli priaznivé podmienky v hornej vrstve pre jedľu, na vlhkosťne lepšie zásobených stanovištiach aj pre smrek. Dolnú vrstvu tvoril buk ako výchovná zložka a drevena masovej produkcie. Jedľa a smrek boli nositeľmi kvalitatívnej a kvantitatívnej produkcie. V súčasnosti, hlavne na extrémnych stanovištiach sa prejavuje výrazne vplyv vápencového substrátu, takže terajšie porasty majú jasnú dominanciu buka. Často boli vytvorené rovnorodé smrekové porasty (oblasť Čierneho Váhu, Liptovská Teplička) alebo zmiešané jedľovo-smrekové porasty v oblasti Červenej Skaly (HANČINSKÝ 1977).

Z hľadiska výstavby porastov ide o 2-vrstvové porasty s dominantným postavením smreka a jedle v hornej vrstve a buka v úrovni, ale hlavne v podúrovni. Podmienky pre prirodzenú obnovu v pôvodných, ale aj zmenených porastoch sú dobré pre smrek, čiastočne pre jedľu a buk.

Iný charakter štruktúry, produkčných schopností a funkcie majú lesné ekosystémy patriace do hospodárskeho súboru kyslých jedľových bučín, ktorých rozšírenie je v rovnakej nadmorskej výške s geologickým podložíom kryštalinika.

V pôvodných porastoch prevažujú, resp. prevažovali ihličnaté dreviny smrek a jedľa s ústupom buka, nakoľko pôdne podmienky určené cez geologické podložie sú pre uvedenú drevinu nepriaznivé. Podľa HANČINSKÉHO (1977) sú dnešné porasty v značnej miere premenené na labilné smrekové monokultúry. Porasty sú prevažne zaradované medzi lesy hospodárske. Pôvodná drevinová skladba sa udržala na pomerne veľkých plochách geografických celkov Oravské Beskydy, Nízke Tatry (oblasť Prašivej, Homôlka, Lupčianska Magura, Kľačianska dolina, Krížska dolina, Demänovská dolina). Pri koncepčnom systematickom pestovnom usmerňovaní môže byť štruktúra uvedených porastov viac-menej 3-vrstvová (výberková). Podmienky pre prirodzenú obnovu smreka a jedle sú dobré až veľmi dobré. Buk z titulu nevhodných pôdných podmienok (kyslý humus) má nedostatočnú prirodzenú obnovu.

Najväčšia výmera lesov v 5. lesnom vegetačnom stupni patrí do hospodárskeho súboru živných jedľových bučín (HANČINSKÝ 1977). Lesné ekosystémy uvedeného hospodárskeho súboru sa nachádzajú najčastejšie vo výškach 700 - 1000 m n.m. Ich výskyt je hlavne v oblasti Oravských a Kysuckých Beskyd, v časti Slovenského rudohoria, Poľany, ale aj v oblasti Spišskej Magury. Pôvodné porasty boli tvorené najproduktívnejšou zmesou drevín smrek, jedľa a buk. Vtrúsene sa vyskytoval javor horský a brest. V súčasných porastoch sa zmenil vzájomný pomer zastúpenia hlavne v prospech smreka a čiastočne aj buka. V uvedených geografických celkoch sú na podstatnej ploche vytvorené rovnorodé smrekové porasty, resp. porasty s vtrúseným zastúpením jedle.

Porasty s rôznym podielom uvedených drevín majú výrazne diferencovanú 2- až 3-vrstvovú štruktúru. Prirodzená obnova smreka a jedle je dobrá. V poslednom období možno pozorovať zvýšenie intenzity regeneračných procesov pri jedli. Sú oblasti (Slovenské rudohorie), kde dynamika jej prirodzenej obnovy je významne vyššia ako pri smreku, v dobrej dynamike je obnova buka. Porasty patriace do uvedeného hospodárskeho súboru sa vyznačujú vysokou produkčnou schopnosťou a pri systematickom usmerňovaní je možné ich prebudovanie na výberkový les.

Smrekovo-bukovo-jedľový lesný vegetačný stupeň

Ekosystémy patriace do uvedeného stupňa sa nachádzajú vo výškach 1000 - 1300 m n.m., v geografických celkoch Vysoké a Nízke Tatry, Oravské Beskydy, Slovenské rudohorie, Malá a Veľká Fatra, Kremnické vrchy a Poľana. Z hospodárskych súborov, ktoré majú významnejšie plošné zastúpenie s ich typickou štruktúrou prichádzajú do úvahy svieže vápencové jedľovo-bukové smrečiny, kyslé horské bučiny, živné jedľovo-bukové smrečiny a vrcholové bučiny.

Ekosystémy sviežich vápencových jedľovo-bukových smrečín sú viazané prísne na geologické podložie s vysokým obsahom CaCO_3 , hlavne v horských oblastiach Nízkych Tatier a Slovenského rudohoria vo výškach 800 - 1250 m n.m. (HANČINSKÝ 1977).

Drevinová skladba autochtónnych porastov bola orientovaná na ihličnaté dreviny, kde jedľa dominovala nad smrekom. Vplyv geologického podložja determinoval vyšší podiel buka, ktorého výškový rast bol pomerne intenzívny, čo mu umožňovalo zastúpenie v úrovni takto vytvorených porastov. Prímes javora, ale hlavne smrekovca (hlavne Nízke Tatry) podporovala a zvyšovala stabilitu pôvodných ekosystémov. Pôvodnosť ekosystémov uvedeného radu bola zmenená zámernou hospodárskou činnosťou človeka, pričom súčasné porasty sú na 90 % drevinovo zmenené na rovnorodé smrečiny s vtrúseným (do 10 - 15 %) zastúpením jedle s čiastočným zastúpením javora (severná časť Nízkych Tatier - Demänovská dolina, Príslop). Porasty majú hlavnú produkčnú funkciu. Výstavba porastov pôvodného drevinového zloženia (smrek, jedľa, buk s prímesou javora horského) má typickú štruktúru s predpokladmi výberkového lesa. Ekosystémy so zmenenou porastovou (drevinovou) skladbou majú väčšinou 2-vrstvovú štruktúru (diagonálny zápoj). V dôsledku uvoľňovacích prebiehok slabej intenzity, resp. ponechania uvedených porastov vo vekovom rozpätí 70 - 90 rokov bez zásahu, je

tendencia vytvorenia nivelizovanej výškovej štruktúry. Pri systematickej výchove a uplatňovaní výberkovej prebiecky je možné dosiahnutie výberkovej štruktúry, nakoľko obnova smreka, ale čiastočne aj jedle je uspokojivá.

Druhý súbor, ktorý má prevahu zastúpenia v geografickom celku Nízkych Tatier, Oravských Beskyd a Slovenského rudohoria sú kyslé jedľovo-bukové smrečiny. Optimum vertikálneho rozšírenia je vo výške 950-1250 m n.m. Geologicky prevládajú horniny kryštalinika (HANČINSKÝ 1977).

V pôvodných porastoch, ktoré sa zachovali (Nízke Tatry - oblasť Korytnica) má absolútnu prevahu smrek pri vtrúsenom zastúpení jedle a jednotlivom zmiešaní smrekovca, ktorý tu pôsobí ako stabilizačný faktor. Buk v dôsledku nepriaznivých edafických, ale aj klimatických podmienok sa vyskytuje v spodnej vrstve a dynamika jeho výškového rastu je veľmi slabá. Štruktúra pôvodných porastov je dvojvrstvová, pri systematickom usmerňovaní aj výberková (obr. 4.4.2).

V zmenených ekosystémoch uvedeného hospodárskeho súboru sú to prevažne jednovrstvové smrekové porasty s prímiesou jedle (čiastočne severná, ale hlavne južná časť Nízkych Tatier). Prirodzená obnova smreka je relatívne dobrá, jedle do výšky 1000 m n.m. dobrá, vo vyšších nadmorských výškach kvôli nepriaznivým klimatickým podmienkam a zlým procesom humifikácie slabá.

Významnejšie plošné zastúpenie v 6. lesnom vegetačnom stupni majú kyslé horské bučiny. Tento súbor tvorí geografický variant s prirodzeným rozšírením buka, bez ihličnatých drevín alebo len s ich sporadickou účasťou. Zaberá väčšie ucelené časti v pohoriach východného Slovenska, vo výške 700 - 1000 m n.m., pričom geologické podložie je tvorené prevažne hrubozrnnými pieskovecami (HANČINSKÝ 1977).

Dnešné porasty si zachovali pôvodný charakter s nízkou kvalitatívnou produkciou. Štruktúra porastov má znaky výškovej diferenciácie (hlavne vo vysokom lese) s dobrou dynamikou prirodzenej obnovy buka. Pomerné veľký plošný podiel majú výmladkové bukové porasty.

Najrozšírenejšími ekosystémami v 6. lesnom vegetačnom stupni sú živné jedľovo-bukové smrečiny, ktoré sa vyznačujú vysokou produkčnou schopnosťou. Porasty uvedeného hospodárskeho súboru majú optimum svojho vertikálneho rozšírenia vo výške 950 - 1200 m n.m., pričom geologické podložie nie je rozhodujúcim faktorom pre rozšírenie spoločenstiev súboru (HANČINSKÝ 1977).

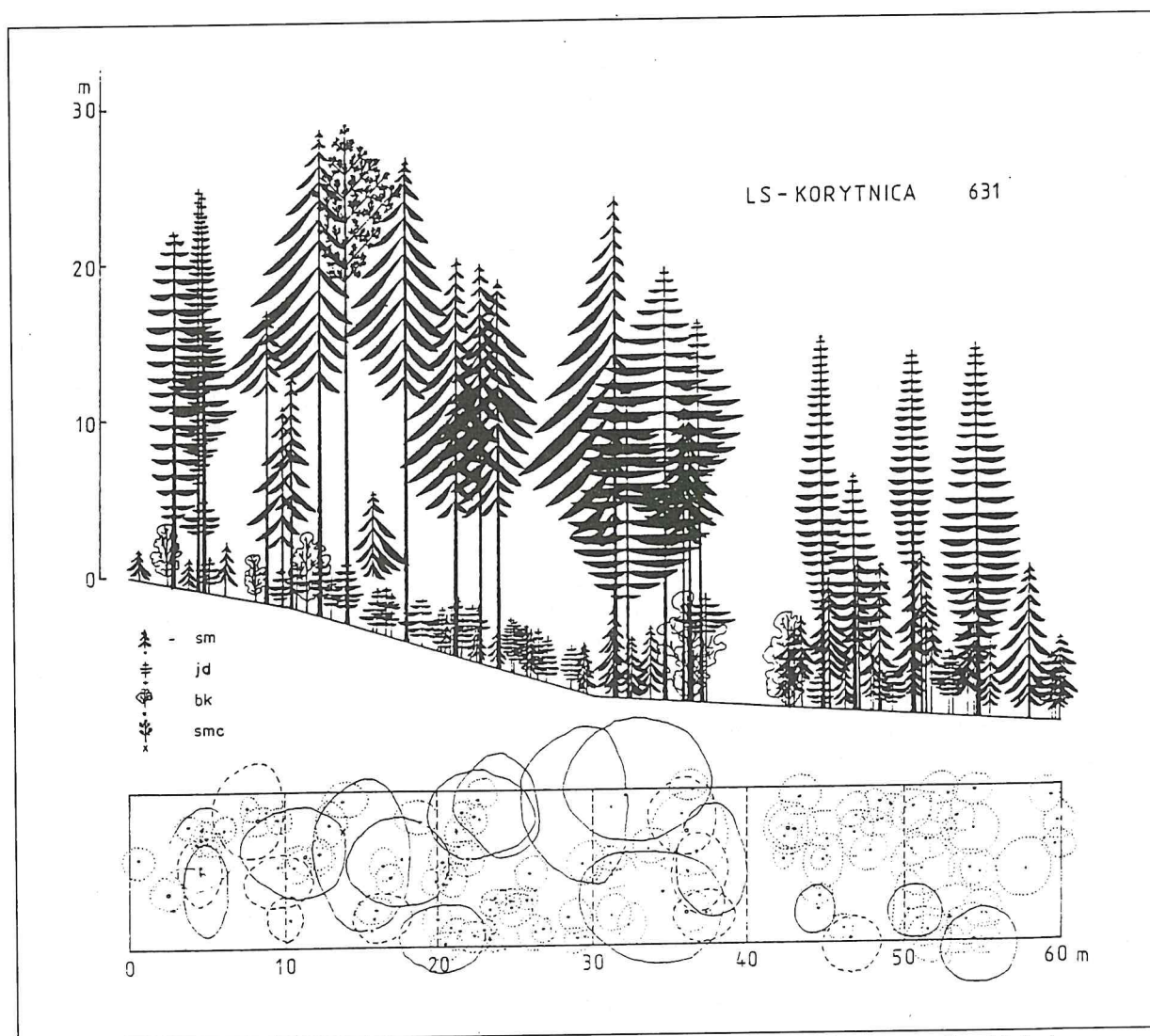
Drevinová štruktúra pôvodných, ale v prevažnej miere aj dnešných porastov, je tvorená smrekom, jedľou a bukom, ich podiel na drevinovej skladbe sa mení podľa nadmorskej výšky. V nadmorskej výške do 1000 m je väčšie zastúpenie jedle a v súčasnom období hlavne buka. Porasty majú znaky výberkovej štruktúry. V porastoch s absenciou buka majú dvojvrstvovú štruktúru. Dynamika prirodzenej obnovy je dobrá za predpokladu, že porasty sú v juvenilnej, resp. optimálnej fáze obnovy. V porastoch, kde z dôvodov nerešpektovania ekologických nárokov uvedených drevín pri pestovnej fyto technike vznikli rovnorodé bučiny (východné Slovensko) sú dobré podmienky pre jeho prirodzenú obnovu. Významnou zložkou horských lesov sú ekosystémy hospodárskeho súboru vrcholových bučín. Ide o rovnorodé bukové porasty s prímiesou javora horského, ktoré sa nachádzajú v podhrebeňových partiách, kde buk tvorí zníženú hornú hranicu lesa (Malá Fatra, Veľká Fatra a Slanské vrchy). V pôvodných a terajších porastoch má absolútnu prevahu buk s prímiesou javora horského a sporadicky smreka. Porasty majú predovšetkým ochrannú a protilavínovú funkciu. Štruktúra je jednovrstvová s prechodom do medzernatého zápoja, s výrazne obmedzeným výškovým rastom, čo je spôsobené vrcholovým fenoménom, resp. dlhodobým pôsobením vetrov v hrebeňových partiách. Obnova buka je slabá, pri dobrých semenných úrodách je možnosť jeho obnoveného zabezpečenia cestou prirodzenej obnovy (Veľká Fatra-Krížna).

Smrekový lesný vegetačný stupeň

Lesy subalpínskeho stupňa v pohoriach Slovenska charakterizuje 7. lesný vegetačný stupeň smrekový. Podľa Hančinského (1977) sa lesy tohto stupňa viažu okrem oblasti centrálnych Karpát na svahy a hrebene vo výškach 1300 m n.m. a vyššie. Jeho najjužnejší výskyt je vo vrcholovej časti oblasti Poľany. Dominujúcou drevinou je tu smrek s prímiesou smrekovca. Súbor tvorí pásmo súvislých smrekových lesov prakticky až po pásmo kosodreviny.

Vysokohorské smrečiny svojou štruktúrou a funkčnou účinnosťou, majú predovšetkým ochrannú funkciu. Väčšina porastov je na horninách kryštalinika, časť na vápencovom podloží. Len vrchol Poľany, kde sa rovnorodé vysokohorské smrečiny nachádzajú ako autochtónne populácie má geologické podložie sopečného pôvodu. Dnešné porasty si zachovali skoro na celej ploche pôvodnú drevinovú štruktúru. Pokiaľ ide o diferenciáciu štruktúry, uvedené komplexy porastov sa vyznačujú typickou jednovrstvovou štruktúrou, s prístupujúcou nadmorskou výškou s medzernatým zápojom, pričom zavetvenie stromov siaha až k zemi.

Prirodzená obnova smreka je slabá, dominantné postavenie má obnova na rozkladajúcich sa kmeňoch, resp. pňoch a vegetatívna obnova hrúžením.



Obr. 4.4.2 Porastový profil výberového lesa s produkčnou funkciou (sm -smrek, jd - jedľa, bk-buk, smc-smrekovec)

Figure 4.4.2 Profile of selection forest with production function

4.4.3 Drevinová skladba a zmenená ekologická situácia

Lesy v SR zaberajú v súčasnom období asi 40 % výmery územia. Bola uskutočnená podrobnejšia analýza 1 925 850 ha porastovej pôdy a 1 989 414 ha lesného pôdneho fondu (Inventarizácia lesov 1994).

Z hľadiska kategórie lesov hospodárske lesy tvoria 76 %, ochranné lesy 13 % a lesy osobitného určenia 11 %. Ihličnaté dreviny na Slovensku sú zastúpené 43 % (smrek 27 %, jedľa 5 %, borovica 7 %, ostatné 4 %), listnaté 57 % (buk 30 %, dub 12 %, ostatné 15 %) (GRÉK *et al.* 1991). Uvedené členenie zastúpenia drevín charakterizuje len hlavné dreviny.

Prvoradým cieľom lesného hospodárstva vzhľadom na imisie a globálne klimatické zmeny, je trvalé udržanie vlastností lesného ekosystému pre príslušnú oblasť. Ide predovšetkým o zachovanie vlastností pôdy a dynamiky štruktúry lesných porastov v potrebnej rovine fungovania. Táto úloha je a bude sťažená aj tou skutočnosťou, že nevhodnými pestovnými opatreniami, najmä obnovnými postupmi sa za posledné desaťročia naakumulovalo veľa nedostatkov, napr. porasty nevhodného druhového (drevinového) zloženia, porastové štruktúry, ktoré nezodpovedajú svojou stabilitou a základnými cieľmi príslušným hospodárskym súborom.

Mnohé porasty sú oslabené a je iluzórne od silne narušeného lesného ekosystému očakávať trvalé produkčné a funkčné efekty na úrovni jeho možnosti a produkčnej výkonnosti (FELBERMEIER-BURSCHER 1994).

Lesné hospodárstvo a pestovanie lesa vedie k zmenám pôvodného drevinového zloženia, vekovej a priestorovej štruktúry, k poklesu akumulácie biomasy a k zmenám regulačných mechanizmov v lesnom eko-

systéme. Tieto zmeny by nemali dôjsť až za hranicu, kedy prestávajú na úrovni zákonitostí pôsobiť tisícročiami upevnené vnútorné vzťahy zložiek ekosystému, a tým aj vzťahy celého ekosystému k okolitému prostrediu. Takto oslabené a drevinovo zmenené lesné ekosystémy budú veľmi citlivé na zmeny klímy a ich ohrozenosť bude úmerná zmene drevinovej skladby od pôvodných (klimaxových) lesných ekosystémov (KORPEE-SANIGA 1995).

Zmeny klímy sa budú dotýkať hlavne drevinovej skladby, t. j. vyvstáva otázka, či dreviny, ktoré sú teraz na príslušných stanovištiach autochtónne, budú napriek zmeneným klimatickým podmienkam vhodné. Ekologické amplitúdy našich hospodárskych drevín sú rôzne. Táto otázka bude ľahšie zodpovedaná pri pionierskych drevinách, drevinách kontinentálnej klímy ako pri klimaxových drevinách oceánickej klímy. Podľa THOMASIIUSA (1991) by v budúcnosti nemali byť problémy s pionierskymi drevinami brezou, osikou a jelšou, ako aj borovicou lesnou a čiernou. Tiež smrekovec svojimi ekologickými nárokmi a amplitúdou sa ukazuje ako málo problémová drevina. Pri teplomilných druhoch, ako sú duby, hrab, lípa malolistá, agát, dub červený a orechy, je zakladanie budúcich porastov z uvedených drevín možné bez veľkého rizika. Javory a jasene zniesu vzostup priemernej teploty o 1 - 2 °C bez závažných problémov.

Z hľadiska drevinovej skladby lesov Slovenska sa problémovou ukazuje smrek obyčajný. Tu vzostup priemernej ročnej teploty nad 7 °C a pokles ročných zrážok pod 800 mm sa ukazuje veľmi problematický pri zakladaní porastov na stanovištiach s uvedenými ekologickými koordinátami. Ak k tomu pripočítame klimatické extrémne počasia výsledkom je, že existencia založených smrekových porastov je neistá.

Našou základnou drevinou s najvyšším podielom zastúpenia je buk. Svojou vysokou konkurenčnou schopnosťou v rastovom optime 3.- 4. lesný vegetačný stupeň (skupina lesných typov Fagetum typicum a Fagetum pauper) ochudobňuje drevinovú skladbu, čo môže v budúcnosti v prípade rúbaňového lesa oslabiť jeho ekologickú stabilitu. Vzhľadom na uvedenú skutočnosť a jeho podiel na drevinovej skladbe lesov Slovenska (30.6 %, inventarizácia lesov 1995), má táto drevina kľúčové postavenie.

V prípade klimatických zmien možno očakávať, že klimatické extrémne (veľké sucha, dlhotrvajúce dažde s následnými silnými vetrami) môžu v živnom rade v sít Fagetum pauper a Fagetum typicum vytvoriť stav narušenia jeho ekologickej stability. Príčinou je minerálna bohatosť pôd a následná reakcia buka v oblasti rhizosféry tvorbou plochého koreňového systému. Uvedená koreňová metamorfóza bude mať za následok pri extrémnych suchách extrémne presychanie povrchovej vrstvy pôdy s následným preriedením korún (defoliácia), a tým oslabením bukových porastov.

Pri dlhšie trvajúcich dažďoch a silných poryvoch vetra možno očakávať vyvrátenie bukov, a tak vytváranie kalamitných plôch. Uvedené skutočnosti potvrdzujú poznatky z Kremnických vrchov a Slanských vrchov.

4.4.4 Pestovné koncepcie a systémy používané v budúcnosti v lesoch Slovenska

Z hľadiska stratégie pestovania lesa, je potrebné vzhľadom na skutočnú situáciu v lesoch Slovenska navrhnúť také pestovné koncepcie, ktoré by znamenali maximálnu prispôsobivosť lesných ekosystémov zmeneným ekologickým podmienkam. **Prítom musia byť dodržané nasledujúce postuláty (THOMASIIUS 1991):**

- udržanie ekologickej stálosti cez minimalizovanie rozdielov medzi procesmi vytvárajúcimi organické látky a procesmi, ktoré organické látky spotrebúvajú v priebehu celého produkčného cyklu
- najlepšie využitie prírodných síl ekosystémov pri ich regenerácii, samoorganizácii a stabilizácii; s tým súvisiaca minimalizácia riadenia vstupov do ekosystému
- udržanie genetickej variability ako predpokladu veľkej adaptačnej schopnosti a adaptácie druhov na zmenené ekologické podmienky
- využívanie stanovištne vhodných a autochtónnych populácií drevín

Lesy Slovenska ovplyvňuje priaznivá skutočnosť, že sú na 70 - 75 % tvorené pôvodnými lesnými ekosystémami, kde odchýlka od ich pôvodného stavu nie je až taká, aby sa nemohli splniť uvedené požiadavky.

Koncepcia pestovania lesa je základným východiskom všetkých pestovných úvah, všetkých pestovných opatrení v lesných porastoch, je širokým rámcom pre najvšeobecnejšie pestovné zásahy. Pestovná koncepcia je rámcom aj pre špecifické užšie vymedzené teoretické otázky a praktickú pestovnú činnosť. Otázky koncepcie v lesnom hospodárstve celkovo, a tým aj v oblasti pestovania lesa sa priamo premietajú do hospodárskych spôsobov, ktoré sú v súčasnom období deklarované **vyhláškou 5/1995** (Vyhláška Ministerstva pôdohospodárstva Slovenskej republiky z 15. decembra 1994 o hospodárskej úprave lesov). Uvedená vyhláška už zohľadňuje dva základné fenomény, ktoré rozhodujúcim spôsobom vplyvajú na lesy, a to inisie a globálne klimatické zmeny. Preto je v nej jasne deklarovaný ako základný hospodársky spôsob podrastový. Hospodársky holorubný spôsob je daný na posledné miesto a vo vyhláške sú definované prípady, kedy sa použije.

Lesy Slovenska majú jadro porastov tvorené pôvodnými lesnými ekosystémami, kde je zachovaná pôvodná drevinová štruktúra. Uvedená skutočnosť vytvára predpoklady diferencovaného obhospodarovania

našich lesov za tých predpokladov, že nebudeme uvažovať len s diferencovanými pestovnými metódami, ale z hľadiska prírodných podmienok, porastových pomerov a stanovených prevádzkových cieľov, budeme diferencovane používať ťažbovo-približovacie technológie.

Z uvedenej situácie, ale predovšetkým z hľadiska viazania uhlíkom a pracovania s ním treba vytvárať a používať také pestovné koncepcie (programy), ktoré vytvárajú porasty pracujúce s vysokou akumuláciou biomasy a uhlíka. Ide hlavne o výberkové lesy, viacvrstvové (viacrubné) porasty s dlhou produkčnou (rubnou) dobou, maloplošné podrastové hospodárstvo s dlhými obnovnými dobami (30 - 40 rokov).

Maximálne treba obmedziť jednovrstvové, rovnorodé porasty a s nimi súvisiaci holorubný hospodársky spôsob, ktorý vytvára les pracujúci s nízkou akumuláciou biomasy a uhlíka, pričom pri monokultúrach smreka k uvedeným skutočnostiam pristupuje riziko stability voči vetru ako sprievodného faktora klimatických zmien. V lesoch Slovenska je možné na 60 - 65 % ich rozlohy používať koncepcie maloplošného podrastového hospodárstva, na viac ako 18 % možno používať výberkový hospodársky spôsob s cieľom formovania štruktúry výberkových lesov.

Nezávisle od vlastníckych vzťahov bude vzhľadom na budúcnosť prevládať tendencia prírode blízkeho pestovania lesa.

Prírode blízke pestovanie lesov vychádza z koncepcie prírode blízkeho lesného hospodárstva, tvorí jeho podstatnú časť, z jeho zásad vyplýva, ale v podstatnejšej miere aj toto hospodárstvo podmieňuje. Prírode blízke hospodárstvo sa principiálne uplatňuje preto, aby sa dosiahol a udržoval prírode blízky (prírodný) les s jeho lokálne typickými znakmi a vysokým odolnostným potenciálom.

Pestovanie lesa je rozhodujúci (kľúčový) úsek lesného hospodárstva (lesníckej činnosti), ktorým sa cieľavedome formuje les ako ekosystém podľa spoločenských požiadaviek (zámerov). V kategórii hospodárskych lesov a v kategóriách, kde sú verejnoprospešné funkcie integrované s produkčnou funkciou musí pestovanie do určitej miery prihliadať na ekonomické aspekty. Pri súčasnom stave poznatkov, technických vymožeností a polyfunkčnosti lesov je povinnosťou pestovateľov dosahovať stanovené úlohy (ciele) pri čo najširšom a najlepšom využívaní prírodných faktorov, zákonitých procesov. Čo najväčšie možné využívanie biologickej racionalizácie predpokladá len primerane malé odchýlenie lesa od pôvodného prírodného stavu. Prírodný (prírode blízky) les predstavuje zdôvodnenú, stanoveným cieľom primeranú syntézu ekologických (biologických) a ekonomických aspektov. Tieto dve často rozporné stránky sa dajú v prírode blízkom lese zladit' pomocou prírode blízkeho pestovania lesa. (KORPEL-SANIGA 1995).

Cieľom všetkých zahrnutých koncepcií a programov je trvalo zdravý, stabilný dobre produkujúci les s vysokou mimoprodukčnou funkčnosťou. Týmto vlastnosťami sa vyznačuje prírodný les systematicky pestovno-ťažbovými opatreniami udržiavaný (formovaný) v požadovanej štruktúre. Znaky tejto štruktúry, nie sú a ani nemôžu byť jednotné, avšak viaceré znaky prírodného lesa majú širšiu platnosť. V podstate to má byť nerovnoveký les tvorený pôvodnými (stanovištno primeranými) drevinami, to znamená prevažne zmiešaný. Spravidla sa vyznačuje hlúčkovitou až ostrokovitou, t. j. nepravidelnou stupňovitou, prípadne viacvrstvovou výstavbou.

Prírode blízke lesné hospodárstvo nie je novým osobitným hospodárskym spôsobom alebo hospodárskou formou, ale je určitým programom (stratégiou) so širšie vymedzeným cieľom obhospodarovania lesov. Nie je zamerané na jeden určitý hospodársky typ lesa ani viazané na jeden hospodársky spôsob. Vylučuje každé úplné odkrytie pôdy, pričom sa trvalo zachováva podstata lesa ako uceleného lesného spoločenstva s prirodzenou štruktúrou. Všetky pestovné opatrenia sú zamerané na to, aby sa zachoval alebo opäť dosiahol prírodný les. Tomuto lesu je cudzia na časový moment viazaná zrelosť celého porastu a rúbaňový poriadok, resp. sled. V značnej miere sa znižuje význam takých pojmov, ako je rubná doba, rozlišovanie rubnej a predrubnej ťažby. Objektom ťažby nie je porast, ale strom. Porast má cez nepravidelné hlúčiky a skupiny rôzneho veku stupňovitú výstavbu. Plošný a časový poriadok je podriadený biologicko-produkčným kritériám jednotlivých stromov a funkčne požadovanej štruktúre porastu.

Vzhľadom na meniace sa ekologické podmienky, zhoršujúci sa zdravotný stav lesov (aj prírodných lesov) sa k uvedeným zásadám môžu pridať ďalšie požiadavky alebo odporúčania. Odporúča sa napríklad, že by sa mali urobiť určité ústupky od pôvodne odporúčaného cieľového zloženia v prospech tých odolnejších drevín, ktoré budú schopnejšie zabezpečovať stabilitu, t. j. trvalosť lesa a trvalé lepšie plnenie požadovaných mimoprodukčných funkcií. Napriek určitým odchýlkam druhového zloženia od navrhovaného typológmi už teraz s časovým predstihom prispôbovať prírode blízke hospodárske porasty zmenám klímy v dôsledku globálneho otepľovania, napr. zvýšeným podielom duba, borovice hlavne v 1. - 3. lvs.

V lesoch 1. - 4. lvs by mal v budúcnosti prevládať podrastový hospodársky spôsob väčším podielom maloplošnej formy. Určitý podiel by mali mať porasty s uplatňovanou koncepciou (hospodárskou formou) dlhodobého 2-vrstvového porastu. Išlo by o 2-vrstvové porasty svetlomilných a tieňomilných listnatých drevín, 2-vrstvové porasty svetlomilných ihličnatých drevín (borovica, smrekovec) a tieňomilných listnatých drevín (buk).

Pri širšom celkovom hodnotení horských lesov Slovenska sa súčasný stav v lesníckych kruhoch považuje za neuspokojivý. Závažnými príčinami takéhoto stavu sú:

1. *Zdravotné oslabenie porastov v dôsledku znečistenia ovzdušia, vrátane ešte pretrvávajúceho odumierania jedle*
2. *Enormne veľké škody spôsobované zverou*
3. *Ekologickým pomerom a biologickým vlastnostiam hlavných drevín nezodpovedajúce obnovné postupy*
4. *Citeľné zníženie hornej hranice lesa pre vysokohorské pasienky*
5. *Neusmerňovaná pastva oviec a dobytky v lese v minulosti*
6. *Veľké veterné kalamity, v poslednom období kôrovcové kalamity a škody spôsobené lavínami v smrekovom lvs.*

Horské a vysokohorské lesy Slovenska sa vyznačujú a v budúcnosti sa budú ešte viac vyznačovať značným podielom ihličnatých drevín s pomerne vysokou objemovou produkciou. Skúsenosti praxe potvrdzujú, že vo funkčne integrovaných a aj ochranných lesoch je potrebné do únosnej miery, pri primeranej šetrnosti ťažbovej technológie využívať podstatnú časť ich produkčnej potencie. Nadmerná akumulácia dendromasy je obvyčajne spojená s priestorovou a druhovou homogenizáciou porastovej štruktúry, s oslabením stability nadmerne atakovaných horských lesných ekosystémov a zmenšovaním ich funkčného efektu. S prihliadnutím na charakter porastov, synekológiu hlavných drevín a stanovené ciele (požiadavky spoločnosti) sa budú v značnom rozsahu uplatňovať zásady (princípy) prírode blízkeho pestovania lesa. Do úvahy prichádza buď niektorá forma výberkového hospodárskeho spôsobu, alebo maloplošná forma podrastového hospodárskeho spôsobu.

Uplatnenie maloplošných holorubných foriem sa môže pripustiť len tam, kde sú závažné biologicko-ekologické ťažkosti pri uplatňovaní uvedených hospodárskych foriem blízke prírode, kde drasticky nerušia charakter krajiny a nebudú deformovať estetické cítenie generácií.

V lesnícky vyspelých krajinách už pochopili a samotná lesnícka prax svojimi skúsenosťami potvrdzuje, že účinnou cestou v budúcnosti je uplatňovanie prírode blízkeho hospodárskych foriem, t. j. maloplošnej podrastovej formy a oboch foriem výberkového hospodárstva. Pretože v horských a vysokohorských lesoch Slovenska sa stupňujú funkčné požiadavky, v prevale sú už funkčne integrované, uvedené koncepcné zameranie pestovania lesa tu platí vo zvýšenej miere.

Ekologicky orientované pestovanie lesa bude v budúcnosti tvoriť základ koncepcii obhospodarovania lesov nielen Slovenska, ale aj ostatných lesnícky vyspelých krajín Európy.

LITERATÚRA

- BURSCHEL,P. - WEBER,M., 1988: Der Treibhauseffekt, Bedrohung und Aufgabe für die Forstwirtschaft. AFZ (43). 1010 - 1013.
- FELBERMEIER,B., 1994: Arealänderungen der Buche infolge von Klimaänderungen. AFZ (5). 222 - 221.
- FELBERMEIER,B. - BURSCHEL,P., 1994: Klimaänderung und Wald Klimaforschung in Bayern 8. 139 - 146.
- GRÉK, J. et al., 1991: Zásady hospodárenia v lesoch Slovenska postihnutých imisiami. Príroda, Bratislava.
- HANČINSKÝ, L., 1977: Lesnícka typológia v prevádzkovej praxi. Príroda, Bratislava.
- KORPEL, Š.- SANIGA, M., 1995: Prírode blízke pestovanie lesa. UVVLH, Zvolen.
- THOMASUS,H. 1991: Mögliche Auswirkungen einer Klimaveränderung auf die Wälder in Mitteleuropa. Forstw. Cbl. 110 (4), 305 - 330.
- ZATLOUKAL, V., 1995: Vliv měnících se přírodních podmínek na lesní hospodářství v ČR. In: Euroforest Práctice "Hospodářství v lesích na prahu 21. století", 5-10.
- Vyhláška Ministerstva pôdohospodárstva Slovenskej republiky o hospodárskej úprave lesov č. 5/1995.

4.5 VPLYV GLOBÁLNYCH ZMIEN KLÍMY NA EKOFYZIOLOGICKÉ PROCESY LESNÝCH DREVÍN

Otázka globálnych zmien v atmosfére a ich predpoveď pre nasledujúcich 50 rokov (EAMUS & JARVIS 1989) v súvislosti s vplyvom na zónu temperátnych lesov je jednou z najdôležitejších oblastí štúdia rastlinných fyziológov.

Kontinuálne a dlhodobé sledovanie vplyvu meniacich sa podmienok prostredia na fyziologické procesy prebiehajúce v drevinách je vzhľadom na veľké rozmery a dlhovekosť drevín zložitá a doteraz bolo publikovaných málo prác týkajúcich sa dospelých drevín. Výskum v tejto oblasti je väčšinou zameraný na sadenice, prípadne mladé dreviny umiestnené v kontrolovaných podmienkach prostredia.

Vplyv globálnych klimatických zmien (GKZ) treba riešiť komplexnejšie pri hodnotení fyziologických účinkov zvýšeného obsahu CO_2 vo vzduchu, teploty, žiarenia a vetra, ich periodicity v priebehu dňa a roka a variability vo vnútri ekosystémov. Odozva drevín rastúcich v prirodzených podmienkach na zmenené prostredie môže byť ovplyvnená procesom adaptácie, teda vplyv zvyšovania CO_2 a teploty na fyziologické procesy môže byť menej výrazný.

4.5.1 Vplyv zvýšenej koncentrácie CO_2 a teploty na fotosyntetickú aktivitu lesných drevín

Fotosyntetickú asimiláciu CO_2 možno považovať za kľúčový fyziologický proces v celej biosfére, pretože je základným procesom tvorby biomasy, ako aj zdrojom energie a látok potrebných na zachovanie biomasy už existujúcej. Ako uvádza EPRON, LIOZON & MOUSSEAU (1996) fotosyntéza je hlavným fyziologickým procesom spomínaným v odpovediach na zvyšovanie atmosférického CO_2 v C3 rastlinách (všetky naše lesné dreviny) a zvyšovanie rastu stromov je primárne sprostredkované zvyšovaním asimilácie uhlíka.

Pre uvedenie skutočnosť, je veľmi dôležité poznať, ako vplyva zvyšovanie koncentrácie CO_2 v zemskej atmosfére (tento jav je súčasťou GKZ) na fotosyntetickú aktivitu lesných drevín.

Pôsobenie zvýšenej koncentrácie CO_2 na asimilačný aparát možno podľa doby pôsobenia rozdeliť na tri skupiny :

- okamžitá odozva (doba pôsobenia zvýšeného CO_2 - sekundy až minúty),
- krátkodobá odozva (dni, týždne, maximálne až jednu sezónu),
- dlhodobá odozva (roky) (KALINA & MAREK 1996).

Keďže z pohľadu GKZ je dôležité najmä skúmanie dlhodobého a krátkodobého vplyvu zvýšeného CO_2 na fotosyntetickú aktivitu lesných drevín, okamžitú odozvu v tejto časti vynecháme.

Ako vyplýva z prác viacerých autorov (MOUSSEAU & SAUGIER 1992, CEULEMANS & MOUSSEAU 1994, MAREK *et al.* 1995, KALINA & MAREK 1996) krátkodobý účinok zvýšenej koncentrácie CO_2 v lesných drevinách zvyšuje rýchlosť fotosyntetickej asimilácie (A_N). MOUSSEAU & SAUGIER (1992) uvádzajú, že zvýšenie A_N vplyvom zvýšenia CO_2 je silne závislé na ostatných environmentálnych faktoroch. Pri C3 rastlinách je zvýšenie najmenšie pri nízkych teplotách a rastie so zvyšovaním teploty. EAMUS & JARVIS (1989) uvádzajú, že stimulácia A_N je rozdielna v rôznych druhoch drevín (od 20 % pri *Populus deltoides* až po 100 % pri *Quercus suber*). Túto skutočnosť potvrdzuje aj WULLSCHLEGER (*ex* LUXMOORE *et al.* 1993), ktorý uvádza, že asimilačná rýchlosť sadeníc drevín rastúcich v prostredí zvýšeného CO_2 vzrástla o 50 až 75 % oproti sadeniciam pestovaným v normálnej CO_2 koncentrácii.

Dôvodom, prečo krátkodobý účinok zvýšenej koncentrácie CO_2 zvyšuje rýchlosť fotosyntetickej asimilácie je to, že zvyčajný obsah CO_2 v atmosfére je suboptimálny pre enzým RuBISCO (kľúčový enzým pre asimiláciu CO_2) a zvýšením koncentrácie CO_2 v stomatálnych priestoroch chloroplastov sa zvyšuje rýchlosť karboxylácie. Okrem toho dochádza k potlačaniu fotorespirácie, čo vedie k zvýšeniu podielu RuBISCO a primárneho akceptoru RuBP, ktoré sú využité priamo v procesoch karboxylácie, teda priamej fixácie CO_2 (STITT *ex* KALINA & MAREK 1996). Dôležitejším, najmä pre zistenie možnosti prispôbenia lesných drevín GKZ, sa javí skúmanie dlhodobého pôsobenia zvýšenej koncentrácie CO_2 na fotosyntetickú asimiláciu CO_2 .

Doba pôsobenia zvýšenej koncentrácie CO_2 na asimilačný aparát je dôležitý faktor, ktorý môže viesť ku vychýleniu rovnovážnych procesov od absorpcie fotosynteticky aktívneho žiarenia až po produkciu (KALINA & MAREK 1996).

Oproti stimulačnému účinku pri krátkodobom pôsobení zvýšeného CO_2 , veľa autorov vo svojich prácach popisuje stav, keď dlhodobým pôsobením zvýšenej koncentrácie CO_2 dochádza k poklesu fotosyntetickej aktivity (aklimatčná depresia fotosyntézy). Veľkosť depresie fotosyntetickej aktivity predstavuje až 30 či 40 % (LONG *et al.* 1993). Iný je časový nástup pri bylinách, drevinách listnatých a ihličnatých (KALINA & MAREK 1996). Pokiaľ MAREK *et al.* (1995) zistili výraznú depresiú asimilácie CO_2 , ktorá sa prejavila na smreku (*Picea*

abies (L.) KARST.) na konci vegetačnej sezóny, v práci CEULEMANS & MOUSSEAU (1994) sú uvedené dreviny napr. buk lesný (*Fagus sylvatica* L.), na ktorých sa výskyt spomínaného javu nepotvrdil. Oproti tomu EPRON, LIOZON & MOUSSEAU (1996) uvádzajú, že sadenice buka, ktoré boli pestované vo zvýšenej koncentrácii CO_2 dve vegetačné sezóny, preukazovali aklimačnú depresiu fotosyntézy až počas druhej sezóny, a to od začiatku augusta.

Podľa KALINU & MAREKA (1996) hlavné príčiny výskytu aklimačnej depresie možno hľadať v stochiometrii troch základných zložiek fotosyntetickej aktivity a ich spätnoväzbovom pôsobení (primárne a sekundárne fotosyntetické reakcie, transport a ukladanie asimilátov).

Aklimačná depresia fotosyntézy za podmienok dlhodober kultivácie smreka obyčajného v atmosfére s dvojnásobnou koncentráciou CO_2 sa prejavuje nielen na úrovni sekundárnych reakcií, ale tiež aj na úrovni primárnych reakcií fotosyntézy.

Ovplyvnenie svetelnej časti fotosyntézy bolo dokazované na úrovni toku elektrónov. Aklimácia je spojená so zníženým tokom elektrónov produkovanými svetelnými reakciami. To znamená, že dochádza k depresii schopnosti asimilačného aparátu účinne využívať svetelnú energiu.

Efektívnosť využitia fotosynteticky aktívneho žiarenia (FAR) pre fotochemické procesy (dokázané pomocou nameraných parametrov fluorescencie chlorofylu) klesá pri jedincoch smreka v prostredí s dvojnásobnou koncentráciou CO_2 a so vzrastajúcim FAR (KALINA & MAREK 1996). Obnova primárneho akceptora elektrónov spolu s transportom elektrónov a niektorými krokmi Calvinovho cyklu boli znížené dlhodobým pestovaním pri zvýšenom obsahu CO_2 . Bola zistená tiež redukcia účinnosti fotosystému II (PSII) a z toho vyplývajúce zníženie fotochemického využitia žiarivej energie (MAREK *et al.* 1995). Za týchto okolností sa usudzuje o možnosti zvýšenej citlivosti asimilačného aparátu a jeho potenciálneho poškodenia za podmienok dlhodobého pôsobenia zvýšenej koncentrácie CO_2 a relatívne nadmernou ožiarenosťou fotosynteticky aktívnou radiáciou.

Ak je pigmentmi svetlozberných komplexov asimilačného aparátu absorbovaných viac kvánt žiarivej energie než môže byť reakčnými centrami využité pre pohon fotochemických reakcií fotosyntézy, tak sa tieto reakčné centrá uzavrujú. Tým sa zvyšuje pravdepodobnosť toho, že môžu priamo v asimilačnom aparáte (chloroplastoch) vzniknúť reaktívne kyslíkaté radikály, ktoré môžu spôsobovať závažné deštrukcie jednotlivých zložiek svetlozberných komplexov, a tak poškodiť asimilačný aparát, a tým znížiť rýchlosť fotosyntézy s možnými dôsledkami v redukcii produkcie novej biomasy. Toto negatívne pôsobenie relatívne nadmerných dávok FAR sa prejavuje fotoinhibíciou asimilačného aparátu, v horšom prípade jeho fotodeštrukciou. Termín fotoinhibícia sa používa pre situáciu, kedy pôsobenie nadmerných dávok FAR vedie k redukcii fotosyntetickej kapacity, ktorá nie je spojená s trvalými zmenami v obsahu fotosyntetických pigmentov (chlorofyly, karotenoidy), zmenami na úrovni transportu elektrónov či v zmenách v otvorenosti prieduchov. Pri fotoinhibícii dochádza k redukcii fotosyntetickej kapacity na úrovni svetelnej fázy fotosyntézy, teda v procesoch zachytu a prenosu kvant žiarivej energie. Dlhodobejšie pôsobenie nadmernej FAR vedie k fotodeštrukcii asimilačného aparátu, pri ktorej dochádza k "vybielovaniu" fotosyntetických pigmentov (ŠPRTOVÁ & MAREK 1996).

Za týchto okolností je významná funkcia karotenoidov. Majú jednak funkciu svetlozbernú (ako doplnkové pigmenty), ale naviac veľmi významnú funkciu ochrannú. Pokiaľ totiž molekuly chlorofylu absorbujú viac žiarivej energie, než môže byť využité pre prenos elektrónov, tak môže dôjsť k excitácii kyslíka. Vzniknutý "singletový" kyslík i niektoré ďalšie formy aktívovaného kyslíka, majú deštrukčné účinky na stavebné súčasti tylakoidov (LONG & HUMPHRIES 1994). Pokiaľ je ale nadbytočná energia prenesená ku karotenoidom, zneškodní sa premenou na teplo. Karotenoidy sú práve pre túto funkciu pre život rastlín celkom nevyhnutné.

Primárne (fotochemické) procesy sa v bežnom rozsahu teplôt menia len veľmi málo. Citlivejšie reagujú sekundárne (biochemické) procesy fotosyntézy. Ich rýchlosť sa s teplotou zvyšuje až po hodnotu zhruba $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, kedy začína denaturácia enzýmov.

Pri zvyšovaní teploty listu pomer medzi koncentráciou CO_2 a O_2 v chloroplastoch klesá, lebo CO_2 má za vyšších teplôt menšiu rozpustnosť vo vode ako kyslík. Podiel oxygenácie, a teda aj fotorespiračných strát vzrastá s teplotou.

Redukcia rýchlosti fotosyntézy býva často prisudzovaná aj poklesu aktivity a množstva enzýmu RuBISCO (MOUSSEAU & SAUGIER 1992). KALINA & MAREK (1996) uvádzajú, že aktivita RUBISCa bola o 26 % nižšia v smrekových jedincoch pestovaných v dvojnásobnom CO_2 oproti jedincom kontrolným. Okrem toho bola aklimačná depresia sprevádzaná preukázateľnou akumuláciou sacharidov v asimilačnom pletive ihlic (nárast o 34 %). Výrazná akumulácia asimilátov vo vnútri chloroplastov môže mať priamy negatívny vplyv, pretože dochádza k praskaniu chloroplastov, čím je priamo poškodzovaná ich funkčnosť (APR *ex* VINŠ *et al.* 1996). Podľa MOUSSEAU & SAUGIERA (1992), akumulácia škrobu indikuje nedostatok sinkov pre asimiláty, ako aj chudobnú schopnosť translokácie.

Zníženie rýchlosti fotosyntézy v dôsledku hromadenia asimilátov (spôsobené ich nedostatočným využívaním) nie je len problémom pri drevinách pestovaných za zvýšenej koncentrácie CO_2 , ktoré majú veľmi

zrýchlenú fotosyntézu. Je veľmi závažný aj za normálnej koncentrácie CO₂ vo vzduchu, a síce za takých podmienok, kedy stromy majú malú kapacitu pre ukladanie asimilátov vo forme zásobných látok a súčasne ich nemôžu využívať na zrýchlenie rastu, či už z dôvodov morfogenetických, či v dôsledku inhibície rastu vonkajšími faktormi (vodný stres, nízka teplota atď.).

Súčasný výskum vzťahov medzi využívaním asimilátov a fotosyntézou sa zameriava na riešenie niekoľkých otázok súčasne. Predovšetkým ide o vysvetlenie mechanizmu inhibície fotosyntézy, čo predpokladá porozumieť biochemickej regulácii zložitého metabolizmu cukrov v bunkách (mimo chloroplastov). Nájst' teda príčiny, ktoré vedú k spomaleniu tvorby sacharózy (ako hlavného cukru transportovateľného do iných orgánov), k hromadeniu fosforylovaných cukrov, a tým aj k nedostatku fosfátových iónov v chloroplastoch.

Veľké úsilie je tiež v súčasnej dobe sústredené na poznanie mechanizmu, ktorý riadi zväčšovanie úložnej kapacity pre asimiláty (rast zásobných orgánov, semien atď.) v závislosti na zrýchlení fotosyntézy. To sú však už problémy, ktoré môžu byť riešené len v spolupráci ako s biochémiou, tak i s rastovou fyziológiou (fytohormonálna regulácia) a s molekulárnou biológiou rastlín (GLOSER 1995).

Výskyt aklimaçnej depresie fotosyntetickej aktivity je výrazne ovplyvňovaný aj ostatnými faktormi vonkajšieho prostredia. Predovšetkým úroveň výživy dusíkom výrazne ovplyvňuje výskyt a veľkosť aklimaçnej depresie a konečnú produkciu (EAMUS & JARVIS 1989).

4.5.2 Vplyv zvýšenej koncentrácie CO₂ na respiračné procesy drevín

Zmeny v respiračnej aktivite môžu byť dôležitým faktorom pôsobiacim na celkovú bilanciú uhlíka drevín rastúcich v podmienkach zvýšenej koncentrácie CO₂ (CEULEMANS & MOUSSEAU 1994). Názory odborníkov na pôsobenie zvýšeného množstva CO₂ na respiračné procesy drevín sú rozdielne. Kým z prác AMTHOR (1991) & POORTER *et al.* (1992) nie je evidentný čistý trend vplyvu zvýšeného CO₂ na tmavú respiráciu drevín, LUXMOORE *et al.* (1993) uvádzajú, že stromy rastúce vo zvýšenej koncentrácii CO₂ majú nižšiu rýchlosť respirácie asimilačného aparátu. Dôvody pre pokles rýchlosti respirácie, v dôsledku zvyšovania CO₂, nie sú stále detailne pochopené, môžu sa týkať priameho efektu CO₂ na niektorú časť respiračného cyklu enzýmov (AMTHOR 1991).

V dostupných vedeckých prácach je veľmi málo údajov, ktoré skúmajú vplyv zvyšovania CO₂ na respiráciu drevnatých častí stromov a koreňov drevín. DVOŘÁK, OPLUŠTILOVÁ & JANOUŠ (1996) uvádzajú, že kým medzi absolútnymi hodnotami respirácie kmeňa a vetiev smreka, nebol zistený žiadny štatisticky významný rozdiel medzi jedincami fumigovanými zvýšenou koncentráciou CO₂ oproti jedincom kontrolným, celková respirácia sa zvýšila o 21 % pri smrekoch rastúcich v dvojnásobnej koncentrácii CO₂. Čo sa týka respirácie koreňov, REID & STREIN (1989) zistili 64 % pokles respirácie koreňov *Fagus grandifolia* vplyvom zvýšenej koncentrácie CO₂.

4.5.3 Vplyv zvýšenej koncentrácie CO₂ na rast a produkciu biomasy drevín

Zvyšovanie asimilácie vedie k zvyšovaniu biomasy celých rastlín v dôsledku krátkodobého vplyvu vyššieho obsahu CO₂ (MOUSSEAU & SAUGIER 1992). V podmienkach zvýšenej koncentrácie CO₂ je veľmi časté zväčšovanie listovej plochy a hmotnosti listov, ako aj nárast biomasy koreňov, ktorý je často proporcionálne väčší ako biomasa výhonkov. V práci CEULEMANS & MOUSSEAU (1994) sa uvádza, že priemerný prírastok biomasy drevín rastúcich v zvýšenej koncentrácii CO₂ bol + 38 % pre ihličnaté a + 63 % pre listnaté dreviny, pričom priemerný nárast fotosyntézy na jednotku plochy predstavoval + 40 % pre ihličnaté a + 61 % pre listnaté dreviny. Asimilačná plocha ihličnatých drevín sa zvýšila v priemere o 24 %, v prípade listnatých drevín o 33 %. K nárastu došlo aj v pomere koreň/výhonok, a to pri ihličnanoch v priemere o 10 % a pri listnáčoch o 9 %. Pri dvojročných sadenicích buka pestovaných vo zvýšenej koncentrácii CO₂ bola listová a koreňová biomasa o 67 a 124 % vyššia ako pri sadenicích kontrolných (EPON *et al.* 1996).

Tieto výsledky však ako uvádza VINŠ *et al.* (1996) sa týkajú len juvenilných jedincov do veku 5 rokov, ktoré mali vo viacerých prípadoch limitujúci rastový priestor. Podľa CEULEMANS & MOUSSEAU (1994) existujú značné diferencie v správaní a odpovediach na pôsobenie zvýšenej koncentrácie CO₂ medzi mladými a dospelými drevinami. Pri juvenilných drevinách dochádza k výraznému nárastu biomasy v pomerne krátkom období expozície vyššou koncentráciou CO₂, po dlhšom pôsobení sa stimulačný vplyv vyššej koncentrácie CO₂ zmierňuje. Na 15-ročných jedincoch smreka obyčajného po dvojročnej kultivácii vo zvýšenej koncentrácii CO₂ nepreukázala fenologická a rastová analýza jednoznačný trend. Okrem poklesu dĺžkového prírastku prาสlenových vetiev nebol zistený žiadny štatisticky významný rozdiel (DVOŘÁK *et al.* 1996). Ako sa uvádza v práci VINŠ *et al.* (1996) pri starších drevinách na rozdiel od sadenic a semenáčikov nie je zrejme nutné očakávať dramatickú reakciu rastu na zvýšenú koncentráciu CO₂.

4.5.4 Vplyv zvýšenej koncentrácie CO₂ a teploty na vodný režim drevín

Vplyv zvýšenej koncentrácie CO₂ na rastliny skupiny C₃ sa prejavuje:

1. zmenou rýchlosti asimilácie CO₂
2. poklesom listovej vodivosti pre tok vodnej pary

Pri náraste koncentrácie CO₂ kombinácia týchto dvoch účinkov má často za následok vzrast okamžitej WUE (water use efficiency: rýchlosť asimilácie CO₂/rýchlosť transpirácie), ktorá je určujúca pre transpiračný koeficient (spotreba vody/produkcia biomasy) (MORISON 1993, CEULEMANS & MOUSSEAU 1994). Veľkosť zmeny asimilácie a listovej vodivosti závisí nielen od druhu dreviny, ale aj od ostatných faktorov prostredia (svetlo, výživa, sucho).

Pri posudzovaní vplyvu zvýšenej koncentrácie CO₂ na transpiráciu a celkovú evapotranspiráciu porastov musíme zobrať do úvahy možnú zmenu indexu listovej plochy (LAI), zmenu biomasy koreňov, akumuláciu opadu a ďalšie faktory, ktoré môžu ovplyvniť celkovú evapotranspiráciu počítanú na jednotku plochy porastu. Nárast koncentrácie CO₂ pri súčasnom vzraste teploty ovzdušia majú protichodný účinok na celkovú evapotranspiráciu.

OVERDIECK & FORSTREUTER (1994) zistili významnú redukciu evapotranspirácie mladého porastu bukových sadeníc umiestnených v modelových podmienkach skleníka pri zvýšenej koncentrácii CO₂ i napriek zvýšenému indexu listovej plochy. Rýchlosť evapotranspirácie vzrástla o 0,2 kg H₂O.dm⁻².deň⁻¹ na každý 1 °C nárastu teploty, avšak na druhej strane evapotranspirácia klesla v priemere o 14 % pri dvojnásobnej koncentrácii CO₂. Uvedené výsledky naznačujú, že pri dvojnásobnej koncentrácii CO₂ dôjde v našich listnatých lesoch, kde je prevládajúcou drevinou buk lesný, k redukcii evapotranspirácie. Príčinou toho je fyziologická reakcia buka na vzrast koncentrácie CO₂ v ovzduší a následne aj v pletivách, ktorá sa prejavuje znížením prieduchovej vodivosti pre tok H₂O z listu do atmosféry.

Je predpoklad, že buk lesný a smrek obyčajný, naše najvýznamnejšie hospodárske dreviny, budú reagovať na zmenené podmienky odlišne, čo vyplýva už z uskutočnených meraní transpirácie na jednotlivých asimilačných orgánoch. KANTOR (1989) na základe meraní viacerých autorov udáva pre naše klimatické podmienky 3- až 5-krát vyššiu intenzitu transpirácie buka než smreka. K podobným výsledkom dospeli i MITSCHERLICH & KUNSTLE (1975) pri porovnaní buka s borovicou a douglaskou. Kvantifikovanie zmeny transpirácie jednotlivých druhov drevín pod vplyvom meniacej sa klímy na základe experimentálnych meraní je však komplikované polyfaktorovou závislosťou tohto procesu a protichodnosťou jednotlivých účinkov.

4.5.5 Vplyv deficitu pôdnej vlhky na vodný režim drevín

Vodný režim drevín v našich podmienkach môže byť determinovaný okrem iného i klesajúcim trendom množstva zrážok hlavne počas mesiacov vegetačného obdobia. Deficit zrážok v poslednom desaťročí, ale i za roky 1961-1990 (FAŠKO & LAPIN 1994), častý výskyt suchých a veľmi suchých období sa prejavuje okrem iného aj nárastom deficitu pôdnej vlhky vo vegetačnom období, o čom svedčia aj výsledky TUŽINSKÉHO (1994) v porastoch vyšších lesných vegetačných stupňov (IV. - V. LVS), kde dochádza v poslednom období k zmene vodného režimu pôd. Táto zmena sa podľa neho najvýraznejšie prejavuje v smrekových porastoch (prekorenenie v povrchových vrstvách pôdy), kde sa stále častejšie tvoria vlhkostné pomery s obmedzenou, resp. nedostatočnou zásobou využiteľnej vody (letné mesiace 1989, 1991, 1992, 1993).

Deficit vody v lesných porastoch je možné chápať ako množstvo vody, ktoré by mohlo byť transpirované pri daných klimatických podmienkach, ale v skutočnosti následkom sucha transpirované nebolo (ČERMÁK 1996).

Z fyziologického hľadiska sa veľmi nepriaznivo javia júlové deficity zrážok, pričom je potrebné pripomenúť, že mesiac júl v minulosti na väčšine staníc Slovenska dosahoval maximálne zrážkové úhrny v roku. Osobitne ohrozenou drevinou vzhľadom na rastúci deficit zrážok vo vegetačnom období sa javí smrek, a to predovšetkým v oblastiach mimo jeho prirodzeného areálu rozšírenia, vzhľadom na jeho vysokú náročnosť na vodu. Porovnanie zrážkových úhrnov za mesiace máj až august v rokoch 1984 - 1993 s limitným zrážkovým úhrnom pre pestovanie smreka za mesiace máj až august (300 mm podľa viacerých autorov), poukázalo na nedostatočnú zrážkovú zabezpečenosť smreka predovšetkým na juhu stredného Slovenska, ako aj v kotlinách nižšieho a stredného stupňa, nakoľko v týchto mesiacoch sú úhrny zrážok značne pod limitnou hodnotou vo väčšine rokov (ŠKVARENINA *et al.* 1996).

Otvorenou však ostáva otázka upresnenia hraníc intervalov prístupnosti vody pre dreviny. Tento problém sa dnes správne posudzuje ako dynamická, procesová záležitosť, v ktorej sa uplatňuje individualita a prispôboivosť rastliny (ŠÁLY 1991). Skromné poznatky o vplyve nedostatočného zásobenia vodou na transpiráciu lesných drevín zdokumentoval PAPRITZ *et al.* (1991). Podľa neho by mohlo dôjsť k určitému obmedzeniu trans-

pirácie bukových porastov pri poklese vodného potenciálu pod hranicu -60 až -70 kPa. Výsledky meraní vodného potenciálu pôdy v Kremnických vrchoch v bukovom poraste (IV. LVS) svedčia o tom, že v priebehu vegetačného obdobia môže dôjsť k situáciám, kedy sa vlhový deficit uplatňuje ako stresový faktor (PICHLEK & GREGOR 1994). Uvedení autori zistili pokles vodného potenciálu pôdy pod hranicu -70 kPa, dokonca pod hodnotu -100 kPa od konca 1. júlovej dekády do polovice septembra 1990. Merania vodného potenciálu pôdy v jedľobučine (V. LVS) na lokalite Poľana - Hukavský Grúň ukázali, že vo vegetačnom období roku 1995 došlo k zníženiu potenciálu pôdnej vody pod hodnotu -70 kPa v polovici augusta (PICHLEK & STŘELCOVÁ, nepublikované). Toto zníženie však nevyvolalo obmedzenie transpirácie, ktorá i v tomto období prebiehala v tesnej závislosti od meteorologických činiteľov, ako je to pri dostatočne vlhkej pôde. Tieto rozporné výsledky naznačujú potrebu komplexnejšieho výskumu v oblasti určenia intervalov prístupnosti pôdnej vody pre dreviny.

Pri dostatočne vlhkej pôde je transpirácia určovaná hlavne atmosférickými podmienkami, zatiaľ čo pri vysychajúcej pôde a dehydratácii pletív sa prieduchy uzatvárajú a transpirácia je redukovaná. Sprievodný vodný stres redukuje rast buniek a výhonkov, zapríčiňuje uzatvorenie prieduchov, inhibuje fotosyntézu a ovplyvňuje ďalšie fyziologické procesy. V konečnom dôsledku vedie k zúženiu letokruhov v rokoch s výskytom sucha. Ak je absorpcia vody koreňmi dlhodobejšie príliš malá na to, aby nahradila straty vody, môže dôjsť k trvalému vädnutiu. Vplyv sucha na dreviny sa obvykle najviac prejavuje koncom leta, nakoľko na začiatku leta (aj pri malých zrážkach) dreviny môžu ešte využiť zásoby vody v pôde naakumulované počas zimného obdobia.

V období sucha plytkokorenné a hlbokokorenné dreviny v tom istom poraste môžu reagovať úplne odlišne. Plytkokorenné druhy (napr. breza a smrek) reagujú na sucho ako prvé zvýšenou hydraulickou vodivosťou, zatiaľ čo dreviny s hlbším koreňovým systémom (dub, buk, borovica) môžu i pri takýchto podmienkach transpirovať dlhšie bez väčšej zmeny (ČERMÁK 1996). Ak sucho trvá dlhšie obdobie (jeden až tri roky), aj hlbokokorenné dreviny vyčerpajú zásoby vody v koreňovej zóne a ich transpirácia klesá. Denné priebehy transpiračného prúdu sú v období poludnia sploštené pri výskyte sucha (pri dosiahnutí limitnej hodnoty vodného potenciálu pôdy) v porovnaní s denným priebehom pri dostatočnej zásobe pôdnej vody.

Ak však plytkokorenné druhy sucho prežijú, môžu obnoviť transpiráciu po zrážkach rýchlejšie (po dňoch, prípadne týždňoch), než hlbokokorenné druhy, ktoré potrebujú dostatočné zavlaženie hlbších pôdnych horizontov a dlhší čas na úplné obnovenie transpirácie (ČERMÁK *et al.* 1995). Medzi správaním jednotlivých druhov drevín v tom istom poraste môžu byť veľké rozdiely závislé na morfológických aj fyziologických vlastnostiach druhov a ich vývoja na danom stanovišti. Transpirácia drevín odráža citlivo efektivitu využitia koruny i koreňového systému stromu, ako aj hustotu zápoja a štruktúru porastu a tento fyziologický proces by mohol byť jedným z vhodných ukazovateľov vitality a stability lesných porastov a efektivity hospodárskych zásahov.

Aby sme v budúcnosti vedeli predpovedať reakciu drevín a porastov na zmenené podmienky prostredia je potrebné dlhodobé sledovanie fyziologických procesov (fotosyntézy, respirácie, transpirácie a transportu vody v drevinách i v pôde), ktoré nám umožní procesy modelovať v čase a priestore a predpovedať procesy regulácie a správania drevín a lesných ekosystémov.

LITERATÚRA

- AMTHOR, J.S., 1991: Respiration in future highter-CO₂ world. *Plant, Cell and Environment*, 14, 13-20.
- CEULEMANS, R. - MOUSSEAU, M., 1994: Tansley Rewiew No. 71. Effects of elevated atmospheric CO₂ on woody plants. *New Phytol.* 127, 425-446.
- ČERMÁK, J., CIENCIALA, E., KUČERA, J., LINDROTH, A., - BEDNAŘOVÁ, E., 1995: Individual variation of sap-flow rate in large pine and spruce trees and stand transpiration: a pilot study at the central NOPEX site. *J. of Hydrology* 168, 17-27.
- ČERMÁK, J., 1996: Direct measurements of transpiration in forest stands and its dynamics under contrasting environmental conditions. In: Nemešová, I. (ed.), *Climatic variability and climate change vulnerability and adaptation*, Proceedings of the Regional Workshop Prague, 1996, 171-186.
- DVOŘÁK, V. - OPLUŠTILOVÁ, M. - JANOUŠ, D., 1996: Růstová a respirační aktivita smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) KARST.) rostoucího ve zvýšené koncentraci CO₂. In: (Škvarenina, J., Mind'áš, J., Čaboun, V., eds.) *Lesné ekosystémy a globálne klimatické zmeny*. LVÚ Zvolen, 127-130.
- EAMUS, D. - JARVIS, P.G., 1989: The direct effects of increase in the global atmospheric CO₂ concentration on natural and comercial temperate trees and forests. *Advances in Ecological Research* 19, 1-55.
- EPRON, D. - LIOZON, R. - MOUSSEAU, E., 1996: Effects of elevated CO₂ concentration on leaf characteristics and photosynthetic capacity of beech (*Fagus sylvatica*) during the growing season. *Tree Physiology* 16, 425-432.
- FAŠKO, P. - LAPIN, M., 1994: Pozoruhodné zrážky na Slovensku v apríli a máji 1994 v dlhodobom rade pozorovaní. *Bulletin SMS PRI SAV*, V, č.2, Bratislava, SHMÚ, 7-16.

- GLOSER, J., 1995: Fyziologie rostlin. Masarykova univerzita Brno.
- KALINA, J. - MAREK, M.V., 1996: Aklimatické deprese fotosyntézy v podmínkách dlouhodobého působení zvýšené koncentrace CO₂. In: (Škvarenina, J., Mind'áš, J., Čaboun, V., eds.) Lesné ekosystémy a globálne klimatické zmeny. LVÚ Zvolen, 127-130.
- KANTOR, P., 1989: Transpirace smrkových a bukových porostů a z přízemní vegetace ve smrkových a bukových lesích. Vodohosp. Čas. 35, 81-93.
- LONG, S.P., - BAKER, N.R. - RAINES, C.A., 1993: Analysing the responses of photosynthetic CO₂ assimilation to long-term elevation of atmospheric CO₂ concentration. Vegetatio 104/105, 33-45.
- LONG, S.P. - HUMPHRIES, S., 1994: Photoinhibition of photosynthesis in nature. Ann. Rev. Plant Physiol. Mol. Biol. 45, 633-662.
- LUXMOORE, R.J. - WULLSCHLEGER, S.D., HANSON, P.J., 1993: Forest responses to CO₂ enrichment and climate warming. Water, Air, and Soil Pollution 70, 309-323.
- MAREK, M.V. - KALINA, J. - MATOUŠKOVÁ, M., 1995: Response of photosynthetic carbon assimilation of Norway spruce exposed to long-term elevation of CO₂ concentration. Photosynthetica 31(2), 209-220.
- MITSCHERLICH, G. - KUNSTLE, E., 1975: Photosynthese, Transpiration und Atmung in einem Mischbestand im Schwarzwald. Allg. Forst und Jagztg. 5, 88-100.
- MORISON, J.I.L., 1993: Response of plants to CO₂ under water limited conditions. Vegetatio 104/105, 193-209.
- MOUSSEAU, M. - SAUGIER, B., 1992: The direct effect of increased CO₂ on gas exchange and growth of forest tree species. J. Exp. Bot. 43, 1121-1130.
- NÁTR, L., 1990: Změny koncentrace CO₂ v atmosféře Země a fotosyntetická produktivita rostlin. Biologické listy 55(4), 257-287.
- OVERDIECK, D. - FORSTREUTER, M., 1994: Evapotranspiration of beech stands and transpiration of beech leaves subject to atmospheric CO₂ enrichment. Tree Physiology 14, 997-1003.
- PAPRITZ, A. - SCHNEEBELI, M. - ATTINGER, W., 1991: Schnelle Transportvorgänge im Wurzelraum. Luftaushalt, Luftverschmutzung und Waldschaden in der Schweiz. Ergebnisse aus dem Nationalen Forschungsprogramm 14, Band 6, Belastung von Waldboden. VDF, Zurich, 33-96.
- PICHLER, V. - GREGOR, J., 1994: The possibility of moisture deficit as a potential stress factor in the beech forest stand on the EES Kremnické vrchy mountains. In: Bublinec, E., Kontrišová, O. (eds.), Ecological stability, diversity, and Productivity of forest ecosystems, IFE SAS Zvolen, 254-259.
- POORTER, H. - GIFFORD, R.M., - KRIEDEMANN, P.E., - WONG, S.C., 1992: A quantitative analysis of dark respiration and carbon content as factors in the growth response of plants to elevated CO₂. Australian Journal of Botany 40, 501-513.
- REID, C.D. - STREIN, B.R., 1989: Effects of CO₂ enrichment on respiration and carbon balance of seedling of hardwood trees. Bulletin of the Ecological Society of America 70, 239.
- ŠÁLY, R. 1991: Pedológia a mikrobiológia. VŠLD, Zvolen.
- ŠKVARENINA, J. - STŘELCOVÁ, K. - KAMENSKÝ, L., 1996: Zrážková zabezpečenosť smrekťa obyčajného na vybraných lokalitách stredného Slovenska. In: Škvarenina, J., Mind'áš, J., Čaboun, V. (eds.), Lesné ekosystémy a globálne klimatické zmeny, LVÚ, Zvolen, 89-95.
- ŠPRTOVÁ, M. - MAREK, M.V., 1996: Vysoké dávky sluneční radiace - významný přirozený stresor fotosyntetické aktivity horských smrčů. Lesnictví (Forestry), 42(6), 271-276.
- TUŽINSKÝ, L., 1994: Vplyv počasia na zdravotný stav lesov. In: Výskyt škodlivých činiteľov v lesoch Slovenska za rok 1993 a prognóza ich vývoja na rok 1994. LVÚ, Zvolen, 1-4.
- VINŠ *et al.*, 1996: Dopady možné změny klimatu na lesy v České republice. Územní studie změny klimatu pro Českou republiku, Element 2, Praha.

4.6 VPLYV GLOBÁLNYCH ZMIEN KLÍMY NA EKOLOGICKÚ STABILITU LESNÝCH EKOSYSTÉMOV

Problematika ekologických zmien, predovšetkým globálnych klimatických zmien a antropogénnych vplyvov na rôzne ekosystémy, ako aj na ich ekologickú stabilitu, je v súčasnosti veľmi aktuálna a často diskutovaná. Doteraz však nebola vytvorená ucelená teória, ktorá by mohla vyústiť do modelu vplyvu očakávaných ekologických zmien vrátane antropogénnych vplyvov na ekologickú stabilitu jednotlivých ekosystémov. Vzhľadom na to, že očakávané zmeny sa určite prejavajú aj na lesných ekosystémoch - základnej, nenahraditeľnej a stabilizačnej zložky životného prostredia, pokúsili sme sa analyzovať tieto vplyvy.

Pri sledovaní dynamiky zmien v lesných ekosystémoch je dôležité analyzovať príčiny a dôsledky všetkých zmien, ktoré prebiehali, prebiehajú a budú prebiehať v lesoch Slovenska. Príčiny týchto zmien je možné rozdeliť do troch veľkých skupín:

1. *Prirodné prirodzené zmeny*
2. *Prirodné antropogénne ovplyvnené prirodzené zmeny*
3. *Antropogénne zmeny*

Globálne klimatické zmeny klímy patria medzi prírodné antropogénne ovplyvnené prirodzené zmeny.

Dôsledok týchto zmien môžeme rozdeliť podľa toho, na akej úrovni vplyv zmien budeme sledovať. Ide o sledovanie vplyvov a zmien na bunkovej úrovni, na úrovni zmien pletív, orgánov, organizmov, druhovej, až po ekosystémovú úroveň.

Pri bunkovej, pletivovej a orgánovej úrovni ide predovšetkým o možnosť poškodenia jednotlivých častí organizmov, morfológické, fyziologické a funkčné zmeny.

4.6.1 Vplyv globálnych klimatických zmien na dreviny

Pre pochopenie vplyvu globálnych klimatických zmien na ekologickú stabilitu lesných ekosystémov, je potrebné poznať možný vplyv očakávaných zmien na jednotlivé zložky lesného ekosystému, predovšetkým na najdôležitejšiu - určujúcu zložku, lesné dreviny. V závislosti od organizmu, druhu, rýchlosti a veľkosti zmeny môže organizmus ako jedinec alebo ako druh reagovať pozitívne i negatívne. Rozhodujúci je smer zmeny existenčných podmienok - k optimu alebo opačne. Miera ovplyvnenia závisí aj od migračnej schopnosti druhu, teda schopnosti migrovať - premiestniť sa do oblasti, kde sú pre ňu vyhovujúce podmienky.

Bolo zistené, že niektoré dreviny (ako druh) sa v minulosti za 100 rokov premiestnili aj o 200 km. Oteplenie o 1 °C môže znamenať posun vegetačných pásiem o 150 až 200 km na sever alebo výškovo o 125 až 180 m. Popri rýchlosti očakávaných zmien bude hrať dôležitú úlohu fruktifikácia dreviny - tvorba semien, zachovanie klíčivosti semien na dostatočne dlhú dobu, počas ktorej sa vyskytnú vhodné podmienky pre klíčenie a následný rast.

Je možné predpokladať, že druhy špecializované na určité stanovištné podmienky, podobne ako druhy rozšírené mimo svojho areálu alebo na jeho okraji a ekotypy s úzkou ekologickou amplitúdou, budú silno ohrozené a v dlhodobej perspektíve pravdepodobne úplne vylúčené z druhovej skladby týchto lesov. Zvýšenie priemernej teploty teda zrejme spôsobí všeobecný ústup smreka a rozšírenie listnáčov a borovice až do stredných nadmorských výšok. Hlavnou drevinou vyšších horských polôh by mal byť buk.

Pri dostatočnej vlhkosti by mali vyššie teploty, vyšší obsah CO₂ v ovzduší a väčší obsah živín v pôde (ako následok intenzívnejšej mineralizácie humusu, zvetrávania hornín a depozícií dusíka) viesť k vyššiemu prírastku drevín a k väčšej produkcii biomasy najmä drevín so širokou ekologickou amplitúdou a migrácie schopných drevín. Pri ustupujúcich drevinách, najmä smreka z nižších vegetačných stupňov, sa dá naopak predpokladať znížená vitalita, nižšia produkcia biomasy, zvýšený výskyt patogénnych škodcov zhoršený zdravotný stav a vysoká mortalita.

Keďže ústup drevín z niektorých lokalít prebehne s rýchlosťou väčšou, akou sú schopné na uvoľnené miesto imigrovať dreviny iné, bude potrebná cieľavedomá kultivácia vhodných drevín hospodárením v lesoch. Ekologická amplitúda vysadzovaných drevín musí byť taká široká, aby vyhovovala súčasným, ale aj budúcim stanovištným podmienkam. Táto požiadavka zrejme bude ľahšie splniteľná pri drevinách s kontinentálnym rozšírením (duby, hrab, javory, lipy). Obstať by mohol aj smrekovec a z naturalizovaných drevín agát, dub červený a orechy. Použitie ihličnatých exot bude zrejme problematické, ekologickú rezervu má snáď duglaska. Predpokladá sa zvýšená expanzia buka na úkor smrečín, ktorých zdravotný stav sa rapídne zhoršuje. Predpokladajú sa značné zmeny a posun areálov výskytu jednotlivých drevín, z čoho vyplýva aj potreba zmeny štruktúry lesov (druhovej, vekovej i priestorovej).

Vzhľadom na aktuálnosť otepľovania klímy sme sa pokúsili využiť vybrané provenienčné plochy smreka, smrekovca a jedle, kde sa posudzovali rastové reakcie potomstiev vysadených na lokalitách s vyššími priemernými teplotami a nižšími úhrnmi zrážok, ako boli lokality ich pôvodného výskytu.

Tento postup nie je identický s priebehom očakávaných zmien v dôsledku skleníkového efektu, najmä z hľadiska časového priebehu, ale napriek tomu môže do určitej miery simulovať predpokladané zmeny a priniesť orientačné poznatky o tom, aké sú ďalšie perspektívy skúmaných druhov drevín v priebehu predpokladaných klimatických zmien na území Slovenska.

Zistené bolo priamo úmerné znižovanie výšky a hrúbky rastu smreka s narastajúcim rozdielom priemernej ročnej teploty a ročným úhrnom zrážok pôvodnej a súčasnej lokality. Inými slovami - čím väčšie oteplenie, tým negatívnejší vplyv na výškový a hrúbkový rast smreka. Je však potrebné zdôrazniť, že nielen rozdiel medzi priemernými ročnými teplotami a ročnými úhrnmi zrážok lokalít pôvodu proveniencie a súčasnou lokalitou sú limitujúce, ale aj vhodnosť komplexu ekologických podmienok novej lokality pre rast sledovanej dreviny.

Jedľa podobne ako smrekovec, nereagovali na zmenu klimatických podmienok tak jednoznačne ako smrek. Ide tu skôr o individuálnu reakciu jednotlivých drevín, resp. pri výškovom raste sú dôležitejšie iné faktory a vzťahy ako mierna zmena teploty.

Adaptácia jednotlivých populácií na zmenené podmienky prostredia je proces komplexnej povahy, kde sa súčasne uplatňuje množstvo ekologických faktorov a vzájomných interakcií. Uvedomujeme si, že ináč budú reagovať na meniace sa podmienky drevin rastúce v meniacich sa podmienkach ako drevin generatívne prenesené a od začiatku pestované v zmenených podmienkach. Preto simulácia pomocou provenienčných pokusov je veľmi nedokonalá a použiteľná iba ako orientačná. Napriek tomu je možné konštatovať, že získané výsledky potvrdzujú do značnej miery i praktické skúsenosti s pestovaním drevín mimo areálu ich "pôvodného" rozšírenia.

Výsledky našich pokusov, ale najmä reakcia smreka na imisné zaťaženie a znížené množstvo vlhky pozorované v minulosti, oprávňuje túto drevinu vylúčiť z obnovných cieľov v dubovo-bukovom vegetačnom stupni a v nižších vegetačných stupňoch.

4.6.2 Vplyv globálnych klimatických zmien na ekosystémy

Vplyv globálnych klimatických zmien a zmeny chemizmu atmosféry na úrovni ekosystémov je pomerne komplikovaný s multifaktoriálnymi priamymi, nepriamymi aj spätnými väzbami (ČABOUN 1994). Z doteraz známych poznatkov je zrejmé, že ekosystémy nebudú na očakávané zmeny reagovať rovnako, ale špecificky podľa ich zloženia, ich ekologickej stability, podľa druhu, veľkosti a intenzity očakávanej zmeny prostredia. Kým pri niektorých sa môže ekologická stabilita zvýšiť, iné ekosystémy sa úplne rozpadnú - zaniknú, resp. budú nahradené inými, zodpovedajúcimi zmeneným podmienkam.

Snaha o zmiešané porasty cenoticky znášanlivých drevín je opodstatnená tým, že všetkým škodlivým činiteľom a negatívnym vplyvom najlepšie odolávajú zmiešané listnaté a zmiešané listnato - ihličnaté porasty s výraznou výškovou rozrôznenosťou. Z toho vyplýva potreba širšieho a dôslednejšieho uplatňovania prírodných hospodárskych foriem, ktorými sa zachová prirodzený charakter lesných porastov.

Predpokladané zmeny klímy pravdepodobne spôsobia, že zdravotný stav lesných porastov, ktorý je už dnes neuspokojivý, spolu so synergickým účinkom abiotických a biotických vplyvov, znečisťovaním ovzdušia a ďalšími antropickými vplyvmi, sa ďalej zhorší. Opatrenia ochrany lesov musia vziať do úvahy, že hmyz a patogény nebudú mať významnejšie obmedzenie pre migráciu a ich areály sa budú pomerne rýchlo meniť. Výhodné postavenie získajú krátkoveké organizmy s rýchlym vývojom generácií, ktorých vývoj sa ešte urýchlí a bude ústiť do vzniku gradácií až pandémie. Môžeme očakávať, že najmä podkôrni škodcovia budú štartujúcimi strešmi konečného hynutia drevin.

4.6.3 Ovplyvnenie ekologickej stability lesných ekosystémov

Vzhľadom na nevyhnutnosť pochopenia možných vplyvov globálnych klimatických zmien na ekosystémy a ich jednotlivé zložky, je potrebné definovať aspoň niektoré základné pojmy.

Ekologická rovnováha je dynamický stav ekosystému, ktorý napriek tomu, že sa vyvíja, udržiava sa v prirodzenej variabilite prejavujúcej sa v určitých cykloch na rôznej úrovni, ale zabezpečujúci základné funkcie.

Ekologická stabilita je schopnosť ekosystému kompenzovať vonkajšie, ale aj vnútorné vplyvy bez trvalého narušenia funkčnej štruktúry tohoto systému.

Z uvedeného vyplýva, že kým ktorýkoľvek ekosystém je schopný čeliť endogénnym aj exogénnym vplyvom, pričom si zachová plnenie svojich funkcií, je tento ekosystém stabilný. Ak tieto sily sú silnejšie ako autoregulačné schopnosti daného ekosystému, tento ekosystém sa rúca.

Zdravie je možné pre jednotlivé organizmy definovať podobne ako ekologickú rovnováhu pri ekosystémoch. Zdravie (zdravotný stav) je teda určitý dynamický stav organizmu, ktorý napriek tomu, že sa vyvíja a starne, udržiava sa v určitých medziach (prirodzenej variabilite), zabezpečuje funkcie tohto organizmu.

Vitalita organizmu, rovnako ako ekologická stabilita pri ekosystémoch, je schopnosť organizmu kompenzovať vonkajšie, ale aj vnútorné vplyvy bez výrazného trvalého narušenia zdravia, teda funkcií jednotlivých zložiek tohto organizmu. Ak teda sledujeme vplyv globálnych klimatických zmien a s nimi úzko súvisiace zmeny chemizmu atmosféry zistíme, že tieto zmeny sa na ekosystémovej úrovni prejavajú:

1. ovplyvnením stanovištných podmienok, inými slovami existenčných podmienok (ovzdušia, vodnej bilancie, látkovo - energetických bilancií...)
2. ovplyvnením vnútroekosystémových vzťahov (teda ovplyvnením biodiverzity, štruktúry, funkčných vzťahov...)

Tým, že dôjde k ovplyvneniu stanovištných podmienok, dôjde k zmene funkčného potenciálu územia. Ovplyvnenie vnútroekosystémových vzťahov ovplyvní plnenie funkcií ekosystému.

Reakcia ekosystému, v našom prípade lesného ekosystému, bude závisieť od rýchlosti a intenzity zmeny.

1. Môže dôjsť k zlepšeniu podmienok pre dané vývojové štádium ekosystému. Takýto ekosystém môže reagovať podľa uvedených kritérií rýchlosti a intenzity rôzne. Ak ekosystém je schopný túto zmenu využiť, blíží sa k svojmu optimu a jeho ekologická stabilita sa zvýši.
2. Ak ekosystém nie je schopný využiť danú zmenu alebo je k danej zmene tolerantný, teda dokáže eliminovať kladný alebo záporný vplyv, ekosystém ostáva bez zmeny a jeho ekologická stabilita je nenarušená.
3. Ak došlo k negatívnej zmene a ekosystém je schopný prispôsobiť sa daným zmenám, nastanú v ekosystéme štrukturálne zmeny a ekologická stabilita je obnovená. Podobne reaguje ekosystém pri prudkých pozitívnych zmenách, ktoré ako celok nevie využiť. Dôjde k štrukturálnym zmenám, lebo niektoré zložky ekosystému nie sú schopné dané zmeny využiť, ale ekologická stabilita je obnovená, prípadne časom sa môže zvýšiť.
4. Ak ekosystém nie je schopný prispôsobiť sa rýchlym a intenzívnym zmenám a je schopný presunu - migrácie do vyhovujúcich podmienok, nastanú štrukturálne zmeny a ekologická stabilita je obnovená.
5. Ak ekosystém nie je schopný prispôsobiť sa daným zmenám a nie je schopný ani migrácie do vyhovujúcich podmienok, dochádza k rozpadu ekosystému, lebo ekologická stabilita je narušená.

VAN VORIS et al. (1980), ktorého cituje ODUM (1986), píše, že funkcionálna zložitosť podľa všetkého vo väčšej miere než štrukturálna zložitosť zväčšuje stabilitu systému, čím vzniká potenciálne väčšie množstvo spojov spätnej väzby. Ak je niektorý spoj narušený, preberajú jeho funkciu iné zhodné alebo veľmi podobné spoje. Ak takéto spoje absentujú, to je v prípade zníženia biodiverzity, dochádza k narušeniu ekosystému.

Z hľadiska vzťahu vnútroekosystémovej stability a biodiverzity teda nie je dôležitá biodiverzita ako taká, teda rozmanitosť druhová, veková, morfológická, fyziologická, či genetická. Tu ide o výsledný pomer medzi kladne a záporne pôsobiacimi vzťahmi (ČABOUN 1994, 1995).

Pri sledovaní záporných, ale aj kladne pôsobiacich vzťahov je dôležitý celkový počet týchto vzťahov v ekosystéme a miera účinku - teda kvantitatívna a kvalitatívna stránka vzťahov.

Ako už bolo uvedené, termínom ekologická rovnováha označujeme stav ekosystému, ekologická stabilita je schopnosť ekosystému zachovania hlavných funkcií, teda schopnosť odolávať alebo eliminovať (kompenzovať) vonkajšie, ale aj vnútorné vplyvy bez trvalého narušenia funkčnej štruktúry tohto systému. Ide teda o odolnosť ekosystému proti negatívne pôsobiacemu vplyvu na jednej strane a schopnosť eliminovať daný vplyv či pôsobenie - teda pružnosť ekosystému na strane druhej.

PRUŽNOSŤ (Resilience) je schopnosť ekosystému navrátiť sa do normálnych ("pôvodných") funkčných vzťahov po ukončení pôsobenia rušivých faktorov (často vďaka vnútorným štrukturálnym zmenám). Veľkou pružnosťou sa vyznačujú ekosystémy s veľkou plošnou biodiverzitou podmienenou prevažne existenciou krátkodobo žijúcich druhov (alebo druhov v mladom veku) so schopnosťou rýchleho vývoja a produkcie biomasy. Takýto ekosystém, s prevahou konkurenčných (záporných) vzťahov, je málo odolný, ale veľmi pružný, schopný rýchleho vývoja. Umelo - antropicky je možné zvyšovať pružnosť odoberaním hromadiacej sa biomasy v ekosystéme alebo umelým zväčšovaním biodiverzity, najmä druhovej pestrosti (zvýšenie konkurencie - hybnej sily vývoja).

ODOLNOSŤ (Resistance) je schopnosť ekosystému odolávať vnútorným alebo vonkajším rušivým vplyvom, faktorom alebo pôsobeniam bez zmeny vnútornej a funkčnej štruktúry ekosystému. Pri odolných ekosystémoch biodiverzita nie je už taká veľká, ale nahromadilo sa značné množstvo biomasy. V tomto spoločenstve prevládajú kladné vzťahy, ktoré sa vyvinuli prirodzene postupným prechodom konkurencie k spolupráci alebo umelým odstránením konkurencie. Biodiverzita je tu zabezpečená vertikálne. Spoločenstvo je tvorené

predovšetkým dlhovekými druhmi. Spoločenstvo odolné, ale málo pružné je neschopné prudkého vývoja. Antropogénne je možné odolnosť zvyšovať pridávaním hmoty a energie (hnojenie, ošetrovanie...) alebo umelým odstraňovaním konkurenčných organizmov z ekosystému.

Na základe uvedeného môžeme graficky znázorniť vplyv vnútroekosystémových vzťahov a antropogénnych vplyvov na ekologickú rovnováhu formou váh: na ľavej miske váh pôsobiace zložky ekosystému (spolupráca) a množstvo antropicky dodávanej hmoty a energie. Na pravej miske váh bude popri záporne pôsobiacich zložkách (konkurencii) aj množstvo hmoty a energie antropicky odoberanej. Jazýček váh potom pri narastajúcej prevahe kladných vzťahov sa bude stále viac nakláňať na stranu odolnosti, teda bude narastať rezistencia ekosystému. Pri prevahe záporných vzťahov sa bude zvyšovať resiliencia - pružnosť.

Kým ekologickú rovnováhu človek môže umelo udržiavať, hoci je to ekonomicky náročné (teda určitý stav ekosystému, podobne ako zdravotný stav organizmu, je možné pomocou liekov udržiavať v určitých funkčných medziach), ekologická stabilita ako schopnosť sa týmto antropickými vplyvmi nemusí zvyšovať, ak nepôsobí v súlade s vývojom spoločenstva (organizmu). Vo väčšine prípadov sa nezvyšuje, ale posiluje sa umelo vnútroekosystémová odolnosť - rezistencia ekosystému (podporovaním kladných vzťahov alebo dodávkou subsidiárnej energie).

Ekologická stabilita nie je univerzálna, ale ide vždy o schopnosť ekosystému (odolnosť a pružnosť) vzhľadom na konkrétny vplyv. Optimalizácia, resp. zvýšenie ekologickej stability spočíva v tom, že na základe analýzy funkčnej štruktúry ekosystému (výslednice pomeru vnútroekosystémových vzťahov ovplyvnených antropogénnymi vplyvmi), vývoja rozhodujúcich existenčných podmienok (predovšetkým stanovištných podmienok) a najmä očakávaných zmien a ďalších možných vplyvov podporuje buď odolnosť ekosystému, alebo jeho schopnosť eliminácie - pružnosť.

Vždy je teda potrebné vedieť, aké ekosystémy na riešenom území máme a aké potrebujeme, teda chceme a môžeme mať. Teda, aký je pomer medzi pružnosťou a odolnosťou a aký pomer vzhľadom na očakávané zmeny a vplyvy je z hľadiska ekologickej stability potrebný, ak chceme dlhodobo zachovať požadovanú funkčnosť ekosystému. Kým pri imisnom pôsobení je snaha zvyšovať odolnosť lesných ekosystémov, pri očakávaných klimatických zmenách sa z hľadiska ekologickej stability podstatne viac uplatní pružnosť ekosystémov. Nesmieme však pri tom zabudnúť na stupeň ekologickej stability z hľadiska vhodnosti ekosystému pre dané a očakávané podmienky a z hľadiska narušenia vnútroekosystémových vzťahov najmä antropickými aktivitami.

Znalosť prírodných súvislostí a dôsledkov očakávaných zmien a ich vplyv na lesné ekosystémy je limitujúcim faktorom pri navrhovaní účinných opatrení a stratégie obhospodarovania lesov pre zabezpečenie ich existencie, plnenie produkčných, ale najmä všeužitočných funkcií, nevyhnutných pre trvale udržateľný rozvoj.

LITERATÚRA

ČABOUN, V.: Klimatické zmeny a ich vplyv na ekologickú stabilitu lesov Slovenska. Expertízna správa, NKP SR, Zvolen 1994.

ČABOUN, V.: Globálne klimatické zmeny a trvalo udržateľný rozvoj horských lesov Slovenska. In: Trvalo udržateľný rozvoj a krajinnoeekologické plánovanie v európskych horských regiónoch. TU Zvolen 1994. 258 - 262.

ČABOUN, V.: The relations among the stability, diversity and forest ecosystems production. In: Bublinec, Kontriš, Kontrišová: Ecological Stability, Diversity and Productivity of Forest Ecosystems. IFE SAS in Zvolen, 1994, 9-18.

ČABOUN, V.: Reakcia niektorých druhov drevín na zmeny prostredia na základe analýzy provenienčných pokusov. In: Lesné ekosystémy a globálne klimatické zmeny, LVÚ, TU Zvolen, 1995, 80 - 84.

ODUM, E.P.: Základy ekológie. Academia Praha, 1977.

ODUM, E.P.: Ekologija. Moskva, Mir, 1986.

WHITTAKER, R.H.: Soobščerstva i ekosistemy. Progres, Moskva, 1980.

5. ADAPTAČNÉ OPATRENIA V LESNOM HOSPODÁRSTVE

5.1 EKONOMICKÁ ANALÝZA RIZIKA DÔSLEDKOV OČAKÁVANÝCH KLIMATICKÝCH ZMIEN NA LESY SLOVENSKA

Pre potreby ekonomickej analýzy rizika dôsledkov klimatickej zmeny na lesné porasty bolo potrebné zostrojiť scenár vývoja takých parametrov lesných porastov, ktoré mohli byť ekonomicky zhodnotené. Preto sme sa rozhodli simulovať vývoj zásob dreva na pni pre obdobie 1990 - 2070 s použitím metódy pravdepodobnostných percent prechodu z i-tého vekového stupňa do i+1-vého vekového stupňa. Simulácia bola robená na základe predpokladu zmeny drevinového zloženia (iné aspekty dôsledkov klimatickej zmeny simulované neboli), pričom ako modelové dreviny boli vybrané: smrek, dub a buk, teda dreviny s najväčším rozšírením (viac ako 70 %) na našom území.

Celkovo bolo definovaných 5 scenárov:

1. základný scenár
2. scenár dôsledkov klimatickej zmeny - minimálna verzia
3. scenár dôsledkov klimatickej zmeny - maximálna verzia
4. scenár dôsledkov klimatickej zmeny + adaptačné opatrenia - minimálna verzia
5. scenár dôsledkov klimatickej zmeny + adaptačné opatrenia - maximálna verzia

1. Základný scenár

Pre tento scenár, ktorý neuvažuje vplyv klimatickej zmeny, boli použité reálne percentá prechodu medzi jednotlivými vekovými stupňami odvodené z obdobia 1980 - 1990 s predpokladom ich nemennosti až do roku 2070.

2. Scenár dôsledkov klimatickej zmeny - minimálna verzia

Pre tento scenár bola simulovaná klimatická zmena vyjadrená zhoršením pravdepodobnosti prechodu medzi vekovými stupňami, a to pre drevinu smrek o 2 % a pre dub a buk o 1 % na každú dekádu.

3. Scenár dôsledkov klimatickej zmeny - maximálna verzia

Pre tento scenár bola simulovaná klimatická zmena vyjadrená zhoršením pravdepodobnosti prechodu medzi vekovými stupňami, a to pre drevinu smrek o 5 %, pre dub o 1.5 % a buk o 2 % na každú dekádu.

Navrhované zmeny pravdepodobnostných percent prechodu medzi vekovými stupňami vychádzal z predpokladu dosiahnutia stavu v drevinovom zložení, ktoré korešponduje s výsledkami Holdridge modelu pre územie Slovenska (kap. 4.1.1), pričom sa vychádzalo z predpokladu linearitu očakávaných zmien.

Adaptačné opatrenia boli simulované cieľovou zmenou drevinového zloženia v prvom vekovom stupni takto:

- plocha smreka bola znižovaná podľa rozdielu výmery smreka v 1. a 3. vekovom stupni vyplývajúceho z dôsledkov klimatickej zmeny podľa príslušného scenára
- plocha buka bola znižovaná podľa rozdielu výmery buka v 1. a 2. vekovom stupni pre scenár klimatickej zmeny a bola zvyšovaná o rozdiel plôch medzi scenármi pre smrek pri klimatickej zmene s opatreniami a bez nich
- plocha duba bola zvyšovaná rozdielom medzi scenármi pre buk pri klimatickej zmene s opatreniami a bez nich

Ako základnú globálnu veličinu na ocenenie rizika hospodárenia v lesoch pri možnom oteplení atmosféry v priebehu budúcich 80. rokov sme zvolili súčasné úradné ceny dreva na pni tak, ako sú uvedené vo Vyhláske č.465/1991 Z.z. Tieto ceny boli stanovené podľa Faustmannových vzorcov pre výpočet nákladovej a výnosovej hodnoty porastov v zmysle princípov „školy čistého výnosu z pôdy“ tak, ako ich pre potreby slovenského lesného hospodárstva upravil TUTKA *et al.* (1992). Tieto ceny sú počítané pre priemernú vzdialenosť sústreďovania vyťaženého dreva (1 km) a pri priemernej odvoznnej vzdialenosti 20 km. Ceny porastov uvedených drevín v jednotlivých vekových stupňoch pri plnom zakmenení sú uvedené v tab. 5.1.1.

Pre celé územie Slovenska sme vypočítali ceny dreva na pni jednotlivých drevín v jednotlivých vekových stupňoch takto:

$$V_i [\text{Sk}] = P_i [\text{Sk.ha}^{-1}] \times A_i [\text{ha}] \times S_i \quad (1)$$

kde:

V_i - cena dreva na pni v i-tom vekovom stupni pre priemernú bonitu danej dreviny

P_i - cena dreva na pni na 1 ha pri plnom zakmenení

A_i - plocha dreviny v i-tom vekovom stupni

S_i - uvažované zakmenenie v i-tom vekovom stupni

Tab. 5.1.1 Ceny dreva na pni pre jednotlivé dreviny pri plnom zakmenení

Table 5.1.1 Stumpage prices of forest stands according to the individual tree species at full stocking

Vek porastu	smrek	dub	buk
3	57900	93000	72400
10	66300	103900	81300
20	67900	106900	83300
30	68900	108500	84500
40	69900	110100	85800
50	70900	111800	87100
60	72000	113500	88400
70	73100	119900	89700
80	127100	218800	91000
90	198700	310900	128400
100	263700	401600	193800
110	321500	485500	246700
120	375400	568400	286900
130	423300	645700	316300

Do úvahy sme brali priemerné zakmenenie týchto drevín, ktoré v jednotlivých vekových stupňoch dosahuje hodnoty uvedené v tab. 5.1.2.

Tab.5.1.2 Priemerné zakmenenie lesných porastov po vekových stupňoch (SLHP 1993)

Table 5.1.2 Mean stocking of forest stands in particular age classes within Slovakia

Vekový stupeň	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Zakmenenie	0.85	0.89	0.86	0.82	0.8	0.78	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.7	0.68	0.69	0.68

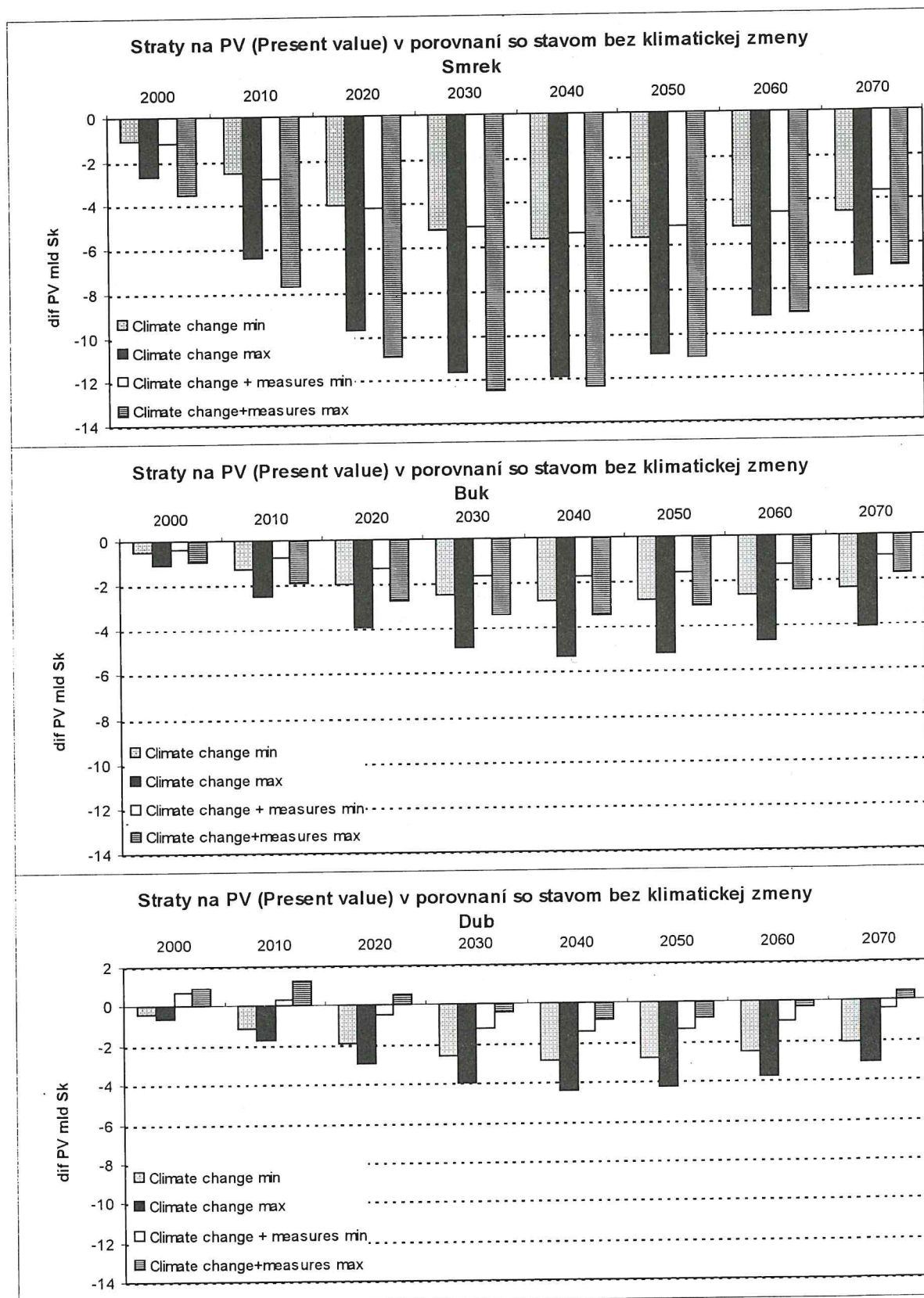
Výčíslenie vplyvu klimatických zmien na hodnotu lesov na Slovensku vychádza zo spomenutých očakávaných zmien v drevinovom zložení podľa jednotlivých uvažovaných scenárov. Ekonomickým ukazovateľom tejto zmeny je súčasná hodnota rozdielov v cene dreva na pni v jednotlivých scenároch oproti základnému scenáru, ktorý nepredpokladá žiadne významné klimatické zmeny, a teda ani zmeny v drevinovom zložení. Súčasnú hodnotu týchto rozdielov sme vypočítali pre spomenuté scenáre podľa nasledujúcich vzťahov:

$$PVA = \sum_{j=1}^n \frac{SPA_j - SPB_j}{(1+i)^{10j-5}}$$

kde:

PVA - súčasná hodnota rozdielov medzi cenami porastov pri drevinovom zložení podľa scenára B a pri možnom vývoji zmeny drevinového zloženia podľa jednotlivých scenárov zmien

SPB_j - cena dreva na pni všetkých drevín vo všetkých vekových stupňoch v j-tom desaťročí podľa základného scenára B



Obr. 5.1.1 Porovnanie predpokladaných scenárov vyjadrených prostredníctvom súčasnej hodnoty (PV) cien dreva na pni porastov smreka, buka a duba v perióde 1993 - 2070

Figure 5.1.1 Comparison of assumed scenarios expressed in terms of PV (Present Value) related to time series differences concerning expected stumpage prices of *Picea abies*, *Fagus sylvatica* and *Quercus* sp.) during period 1993-2070, (data in billion Sk, 30 Sk $\approx$ 1\$ USD).

SPAj - cena dreva na pni všetkých drevín vo všetkých vekových stupňoch v j-tom desaťročí podľa uvažovaného scenára A (dôsledky klimatickej zmeny s opatreniami alebo bez nich)

i - diskontná miera používaná pre lesnícke projekty na Slovensku ($i = 2.5 \%$)

n - počet desaťročí v projekte scenára ($n = 8$)

Význam ostatných symbolov je rovnaký ako vo vzťahu (1). V obidvoch vzťahoch sme použili diskontnú mieru, ktorú pre lesnícke projekty v prírodných podmienkach Slovenska navrhol TUTKA *et al.* (1992).

Výsledky

Získané výsledky sú prezentované sumárne v tab. 5.1.3 a na obr. 5.1.1 pre jednotlivé uvažované dreviny. Predpokladané riziko možných dôsledkov klimatickej zmeny sa pohybuje podľa týchto údajov od -67.32 po -126.7 miliárd Sk. Realizáciou simulovaných adaptačných opatrení sa riziko znižuje od 20.7 až po 33.7 miliárd Sk. Rozdiely medzi jednotlivými drevinami sú pritom evidentné, najhoršie je na tom smrek, potom buk a nakoniec dub, ktorý pri realizácii adaptačných hodnôt sa dokonca dostáva aj do oblasti kladných hodnôt rozdielu oproti základnému scenáru.

Tab. 5.1.3 Porovnanie predpokladaných scenárov vyjadrených prostredníctvom súčasnej hodnoty (PV) cien dreva na pni porastov smreka, buka a duba v periode 1993 - 2070 (sumár)

Table 5.1.3 Comparison of assumed scenarios expressed in terms of PV (Present Value) related to time series differences concerning expected stumpage prices of forest stands (*Picea abies*, *Fagus sylvatica*, *Quercus sp.*) during period 1993-2070, (data in billion Sk, 30 Sk $\approx$ 1\$ USD)

Základný scenár	Klimatická zmena Max. variant	Klimatická zmena Min. variant	Klimatická zmena + adaptačné opatrenia Max. variant	Klimatická zmena + adaptačné opatrenia Min. variant
0	-126.7	-67.32	-93.0	-46.61

Súčasná hodnota rozdielov v cene dreva na pni v jednotlivých scenároch vo vzťahu k základnému scenáru B informuje v trhovom hospodárstve o súčasnej cene dôsledkov klimatických zmien na produkciu dreva. Tento údaj je možné využiť pri vyhodnocovaní lesníckych projektov orientovaných na náklady pri opatreniach, ktoré by boli potrebné na zmiernenie negatívnych dôsledkov očakávanej klimatickej zmeny na národnej úrovni. Porovnaním súčasnej hodnoty zmien v produkcii dreva a súčasnej hodnoty zmien nákladov v jednotlivých scenároch je možné uskutočniť ich širšiu ekonomickú analýzu, a tým zvýšiť výpovednú schopnosť získaných výsledkov.

Prezentované výsledky a prezentovaný metodický prístup je potrebné chápať ako prvý pokus serióznej ekonomickej analýzy rizík spojených s negatívnymi dôsledkami klimatickej zmeny, pričom sme zahrnuli len zmenu drevinového zloženia (bez uvažovania ďalších ekonomických dôsledkov) a je v súlade s používanými metodikami hodnotenia nákladovosti a ziskovosti environmentálnych rizík a projektov na ich minimalizáciu (cost-benefit assessments) vo svetovej ekonomickej literatúre venujúcej sa tejto problematike. Získané výsledky však zd'aleka nemožno absolutizovať a je potrebné ich brať ako prvé rádové priblíženie k reálnym hodnotám ekonomického rizika dôsledkov klimatickej zmeny na lesy Slovenska a mali by byť impulzom pre ďalší výskum a analýzu tohto problému.

LITERATÚRA

TUTKA, J.-HLADÍK, M.-LINDEROVÁ, R.-ĎURKOVÍČ, J., 1992: Oceňovanie lesov. Zvolen, Ústav pre výchovu a vzdelávanie pracovníkov LVH SR.

SLHP 1993: Súhrnný lesný hospodársky plán za rok 1993. Lesoprojekt Zvolen.

VYHLÁŠKA č.465/1991 Z.z. MF SR o cenách stavieb pozemkov, trvalých porastov, úhradách za zriadenie práva osobného užívania pozemkov a náhradách za dočasné užívanie pozemkov.

5.2 ADAPTAČNÁ STRATÉGIA A ADAPTAČNÉ OPATRENIA

Existujúce reálne riziko dôsledkov klimatickej zmeny na lesy Slovenska nás núti uvažovať o prijatí určitých opatrení na ich zmiernenie, pričom vzhľadom na dlhodobosť reprodukcie v lesnom hospodárstve nie je možné prijímať opatrenia na odstraňovanie negatívnych dôsledkov zmien klímy na lesy až v čase, keď už budú neodvratné. Preto vypracovanie a postupná realizácia dlhodobej adaptačnej stratégie sa javí jednou z reálnych ciest ako v predstihu reagovať na možné negatívne dôsledky a účinne im predchádzať (ČABOUN 1994, ĎURSKÝ 1994, MINDÁŠ-ŠKVARENINA 1994, PAULE 1996, SANIGA 1996, ŠÁLY 1996).

Na základe dostupných súčasných poznatkov o interakčných väzbách klímy a lesných spoločenstiev, ich dôkladnej analýze, odbornej a vedeckej diskusie je potrebné postulovať základné princípy adaptačnej stratégie a zosúladiť ju s požiadavkami trvale udržateľného obhospodarovania lesov. Adaptačná stratégia by mala byť postavená na nasledujúcich základných princípoch:

- *komplexné prepracovanie princípov a metód súčasnej typológie s cieľom rešpektovania časových zmien podmienok prostredia v dlhodobom výhľade (obdobie rubnej doby) a uplatnenie týchto princípov v hospodársko-úpravníckom plánovaní*
- *vytvoriť legislatívno-ekonomické podmienky pre napĺňanie princípov funkčne integrovaného obhospodarovania lesov bez ohľadu na vlastnícke pomery*
- *dôsledne uplatňovať pestovateľské princípy prírody blízkeho obhospodarovania lesov na báze zvyšovania druhovej a genetickej diverzity založenej na prirodzenej obnove lesných porastov.*

Na základe takto formulovaných strategických zámerov môžeme postulovať nasledujúce konkrétne kroky pre časový horizont roku 2005:

- vytvorenie predpokladov pre spracovanie "strategickej štúdie" o potenciálnych dôsledkoch globálnych zmien na lesy Slovenska a možných adaptačných opatreniach na minimalizáciu ich negatívnych dôsledkov podľa upresnených regionálnych scenárov
- podpora vedeckotechnických projektov v oblasti lesníckej bioklimatológie, ekofyziológie, lesníckej dendrochronológie a dendroklimatológie, ochrany lesa a genetiky a šľachtenia lesných drevín
- vytvorenie odbornej a informačnej bázy o vplyve globálnych zmien na lesy pre potreby riadiacich orgánov
- podpora monitoringu zdravotného a produkčného stavu lesa v sieti 4x4 km s rozšírením o sledovanie zmien ekologických podmienok (vrátane klimatických zmien) na vybraných plochách
- vypracovať komplexný program riešenia otázky smrekových monokultúr v 1. - 5. lesnom vegetačnom stupni
- zabezpečiť ochranu prirodzeného náletu pred ohryzom ochrannými prostriedkami a znížením stavov rati-ovej zveri

Rešpektujúc dlhodobosť reprodukčného procesu lesných ekosystémov, ako aj pôsobenie predpokladaných klimatických zmien uvažujeme o ďalších detailnejších adaptačných opatreniach s dlhodobou a trvalou platnosťou:

1. Pre lesné dreviny ako dlhoveké a stanovištne viazané organizmy je vysoká genetická diverzita základným atribútom ich kompetičnej stratégie. Najlepšou stratégiou obnovy lesných porastov bude udržanie genetickej diverzity, šľachtenie a selekcia generalistov (t. j. proveniencií so širokou ekologickou amplitúdou), ako aj byť pripravený na možné presuny proveniencií alebo ich zmesí z oblastí s teplejšou klímou. Z hľadiska aplikácie genetiky pre elimináciu nepriaznivých dôsledkov klimatických zmien bude potrebné uskutočniť:
 - genetickú inventarizáciu vybraných populácií lesných drevín pre dlhodobý monitoring zmien genetickej štruktúry; najlepšie ak sa do tejto siete zaradia tak lesné rezervácie s pôvodnou genetickou štruktúrou, ako aj hospodárske porasty vo veku 30 - 40 rokov (aby bolo možné ich dlhodobé sledovanie)
 - založenie siete provenienčných plôch pre testovanie sady proveniencií v klimaticky rôznych podmienkach prostredia, najmä v teplejších oblastiach; dve rozsiahlejšie série sú založené v poslednom desaťročí (buk a borovica lesná)
 - výskum interakcií genotyp x prostredie pre odhady možných väzieb medzi genetickou štruktúrou populácií a faktormi prostredia
 - selekciu proveniencií so širokou ekovalenciou ako základu umelej obnovy porastov v budúcom období, najmä drevín z nižších vegetačných stupňov (buk, duby, borovica lesná, resp. borovica čierna).
2. Pôvodná drevinová štruktúra. Uvedená skutočnosť vytvára predpoklady diferencovaného obhospodarovania našich lesov za tých predpokladov, že nebudeme uvažovať len o diferencovaných pestovných metódach, ale z hľadiska prírodných podmienok, porastových pomerov a stanovených prevádzkových cieľov, budeme diferencovane používať ťažbovo-približovacie technológie. V lesoch Slovenska je možné na 60 - 65 % ich roz-

lohy používať koncepcie maloplošného podrastového hospodárstva, na viac ako 18 % možno používať výberkový hospodársky spôsob s cieľom formovania štruktúry výberkových lesov. Situácia lesného hospodárstva (LH) si vyžaduje:

- maximálne obmedziť jednovrstvové, rovnorodé porasty a s nimi súvisiaci holorubný hospodársky spôsob, ktorý vytvára les pracujúci s nízkou akumuláciou biomasy a uhlíka, pričom pri monokultúrach smreka k uvedeným skutočnostiam pristupuje riziko stability voči vetru ako sprievodného faktora klimatických zmien
 - nezávisle od vlastníckych vzťahov by mala v budúcnosti prevládať tendencia prírode blízkeho pestovania lesa s jeho lokálne typickými znakmi a vysokým odolnostným potenciálom
 - s časovým predstihom prispôbovať prírode blízke hospodárske porasty zmenám klímy v dôsledku globálneho otepľovania, napr. zvýšeným podielom duba, borovice hlavne v 1. - 3. lvs
 - v lesoch 1. - 4. lvs by mal v budúcnosti prevládať podrastový hospodársky spôsob väčším podielom maloplošnej formy; určitý podiel by mali mať porasty s uplatňovanou koncepciou (hospodárskou formou) dlhodobu dvojvrstvových porastov; išlo by o dvojvrstvové porasty svetlomilných a tieňomilných listnatých drevín, dvojvrstvové porasty svetlomilných ihličnatých drevín (borovica, smrekovec) a tieňomilných listnatých drevín (buk)
 - pri širšom celkovom hodnotení sa stav horských lesov považuje za neuspokojivý (kalamity, imisie, zver, nezodpovedajúce obnovné postupy a i.); účinnou cestou do budúcnosti je uplatňovanie prírode blízkych hospodárskych foriem, t. j. maloplošnej podrastovej formy a oboch foriem výberkového hospodárstva
 - pri plánovaní drevinového zloženia v porastoch hraničných lvs uprednostňovať zastúpenie vybraných vhodných drevín z nižších lvs
3. Z hľadiska znižovania emisie skleníkových plynov a zvyšovania fixácie uhlíka v lesných ekosystémoch je potrebná realizácia týchto opatrení:
- na základe vykonaných analýz možných opatrení na znižovanie emisie skleníkových plynov v sektore lesného hospodárstva možno konštatovať, že najdôležitejšími opatreniami na zníženie emisie skleníkových plynov sú:
 - * zalesňovanie nelesných plôch
 - * zmena drevinového zloženia
 - * ochrana uhlíkových zásob v imisných lesoch
 - z hľadiska emisie skleníkových plynov zväziť problematiku obmedzenia spaľovania ťažobných zvyškov
 - zväziť prípadné možnosti zvýšenia fixácie CO₂ prostredníctvom zväčšenia zalesnených plôch, najmä v horských a podhorských oblastiach (realizácia Programu zalesňovania nelesných pôd)
 - pri rekultivácii alebo revitalizácii najviac poškodených porastov a rekonštrukcii rozpadajúcich sa porastov posúdiť mieru zmeny stanovištných podmienok a stupeň antropogénneho ovplyvnenia, aby prostriedky určené na revitalizáciu neboli vynaložené neúčelne
 - z hľadiska viazania a dlhodobej kumulácie uhlíka v ekosystémoch treba vytvárať a používať také pestovné koncepcie (programy), ktoré vytvárajú porasty pracujúce s vysokou akumuláciou biomasy a uhlíka; ide hlavne o výberkové lesy, viacvrstvové (viacrubné) porasty s dlhou produkčnou (rubnou) dobou, maloplošné podrastové hospodárstvo s dlhými obnovnými dobami (30 - 40 rokov)

LITERATÚRA

- ČABOUN, V. 1994: Klimatické zmeny a ich vplyv na ekologickú stabilitu lesov. Expertízna správa pre NKP SR, Zvolen.
- ĎURSKÝ, J. 1994: Dôsledky očakávaných klimatických zmien na lesné hospodárstvo Slovenska. Expertízna správa pre NKP SR, Zvolen.
- MINDÁŠ, J.-ŠKVARENINA, J. 1994: Predpokladané dôsledky klimatických zmien na lesné ekosystémy. Národný klimatický program SR, I, 57-82.
- PAULE, L. 1996: Vplyv globálnych klimatických zmien na genetickú štruktúru populácií lesných drevín. In: Škvarenina, J. et al. (eds.) Lesné ekosystémy a globálne klimatické zmeny, LVÚ, Zvolen.
- SANIGA, M. 1996: Globálne klimatické zmeny a pestovanie lesov na Slovensku. In: Škvarenina, J. et al. (eds.) Lesné ekosystémy a globálne klimatické zmeny, LVÚ, Zvolen.
- ŠÁLY, R. 1996: Ohrozenie pôdnej úrodnosti v lesoch na Slovensku možnými klimatickými zmenami. In: Škvarenina, J. et al. (eds.) Lesné ekosystémy a globálne klimatické zmeny, LVÚ, Zvolen.

6. EMISIE SKLENÍKOVÝCH PLYNOV A ZMIERŇOVACIE OPATRENIA NA ICH ZNÍŽENIE V LESNOM HOSPODÁRSTVE

6.1 BILANCIA EMISÍ SKLENÍKOVÝCH PLYNOV V LESNOM HOSPODÁRSTVE

Z hľadiska bilancovania emisií skleníkových plynov zo sektoru lesného hospodárstva je kľúčovým plynom CO₂, ktorý je viazaný biomasou vo forme rôznych uhľikátých organických zlúčenín. Preto je veľmi dôležité poznať nielen okamžitý stav v emisii, resp. pohlcovaní CO₂, ale aj celkové zásoby uhlíka v lesných ekosystémoch, ktoré môžu byť potenciálnym zdrojom emisií skleníkových plynov pri ich ohrození.

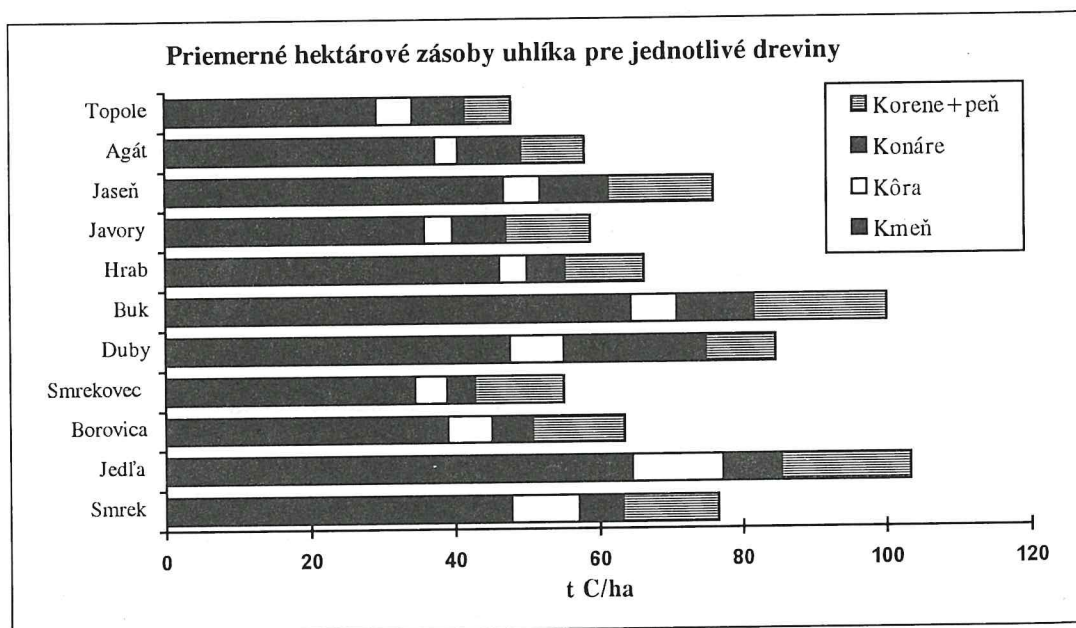
6.1.1 Zásoby uhlíka v lesoch Slovenska

Charakter a súčasný stav lesov Slovenska je determinovaný prírodnými faktormi (klíma, pôda, reliéf) a spôsobom obhospodarovania lesov. Z hľadiska celkových zásob uhlíka sú najdôležitejšie dve hlavné zásobárne uhlíka, a to biomasa lesných drevín a pôdny humus. Výška a štruktúra uhľikových zásob sú určované najmä týmito faktormi:

- drevinové zloženie lesov
- rastové pomery a veková štruktúra jednotlivých drevín
- zastúpenie jednotlivých pôdnych typov

Na základe inventarizácie lesov možno skonštatovať, že celková objemová zásoba drevnej hmoty lesov Slovenska je 348,1 mil. m³, čo predstavovalo priemernú hektárovú zásobu 189 m³.ha⁻¹ v roku 1990. Priemerná hektárová zásoba jednotlivých drevín sa pohybuje v rozpätí 64 - 326 m³.ha⁻¹. Analýza tejto veličiny za posledných 20 rokov ukázala, že priemerná hektárová zásoba od roku 1970 (161 m³.ha⁻¹) sa zvýšila do roku 1990 o 28 m³.ha⁻¹, čo predstavuje zvýšenie o 17,3 %. Tento fakt je veľmi zaujímavý najmä z hľadiska bilancovania a nárastu zásob uhlíka v našich lesoch.

V súčasnosti je známe, že okolo 55 - 90 % (v závislosti od druhu dreviny) celkovej biomasy stromu môže byť uložených v kmeni stromu (ŠEBÍK 1989). Redukovaná hustota drevnej hmoty (sušiny) našich drevín varíruje v rozpätí od 350 do 800 kg.m⁻³ (POŽGAJ *et al.* 1993). Použitím týchto údajov a obsahu uhlíka v suchom dreve, ktorý je 49,7 % (POŽGAJ *et al.* 1993) sme stanovili množstvo uhlíka viazaného v nadzemnej biomase lesných ekosystémov, ktoré predstavuje 157,4 Tg (10¹² g) uhlíka (MINĐÁŠ *et al.* 1995).

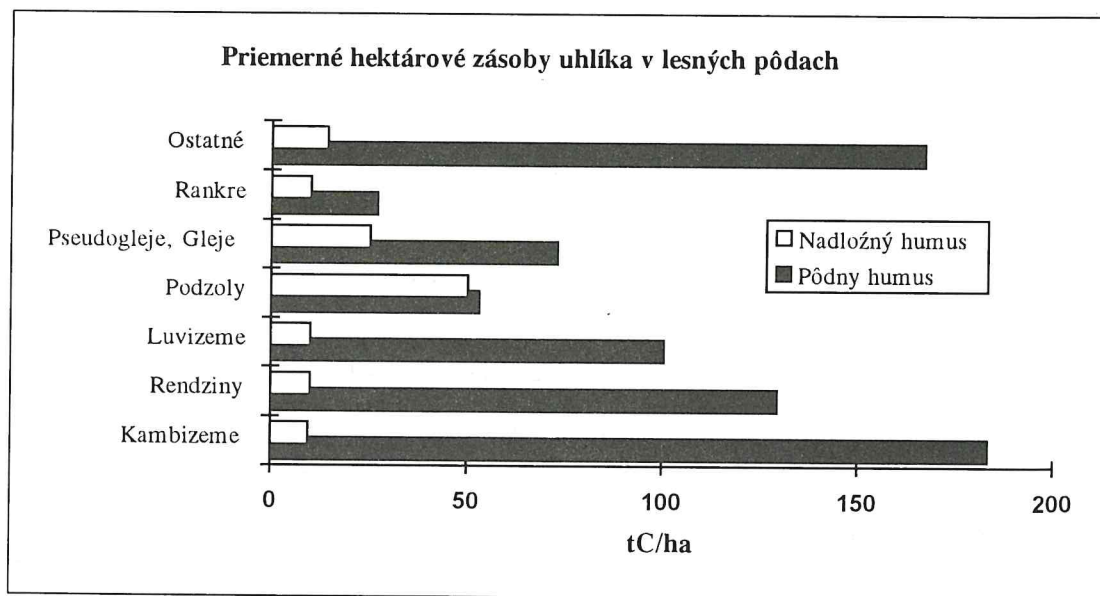


Obr. 6.1.1 Priemerné hektárové zásoby uhlíka pre jednotlivé dreviny lesov Slovenska

Figure 6.1.1 Average carbon stocks per hectare for individual forest trees in Slovakia

Priemerné zásoby uhlíka na hektár jednotlivých drevín sa pohybujú od 47,9 t.ha⁻¹ (topole) až do 108,8 t.ha⁻¹ (buk). Na obr. 6.1.1 možno vidieť priemerné hektárové zásoby uhlíka pre jednotlivé dreviny.

Lesné pôdy tvoria druhú veľmi dôležitú časť uhlíkových zásob. Pôdny uhlík sa akumuluje v dvoch formách, a to ako nadložný humus (opadanka) a vlastný pôdny humus. Podľa ŠÁLYHO (1988) zásoby nadložného humusu sa v našich lesoch pohybujú v rozpätí 10 - 100 t.ha⁻¹ a zásoby humusu v našich lesných pôdach kolíšu od 100 do 400 t.ha⁻¹. Na základe uvedených údajov ŠÁLYHO (1988) (priemerný obsah a kvalita humusu pre jednotlivé pôdne typy) sme stanovili celkové množstvo uhlíka viazaného v pôde na 301,1 Tg (MINĐÁŠ *et al.*, 1995), pričom priemerná zásoba uhlíka na hektár je 151,4 tony. V nadložnom humuse, s obsahom uhlíka cca 50 %, je viazaných 23,1 Tg uhlíka, s priemernou hektárovou zásobou 11,6 ton uhlíka. Výsledky hektárových uhlíkových zásob v lesných pôdach rozdelených podľa jednotlivých pôdnych typov sú znázornené na obr. 6.1.2.



Obr. 6.1.2 Priemerné hektárové zásoby uhlíka v lesných pôdach Slovenska
Figure 6.1.2 Average carbon stock per hectare for individual forest soil types

6.1.2 Bilancia uhlíka v lesoch Slovenska v roku 1994

Pri spracovaní bilancie uhlíka sme vychádzali z metodiky IPCC (verzia 1994), ktorú sme modifikovali pre naše podmienky, najmä čo sa týka jednotlivých bilančných kategórií, ktoré u nás nemožno vyčleniť tak, ako je to v spomínanej metodike. Pre naše potreby sme vyčlenili 4 kategórie, ktoré sme potom samostatne bilancovali, pravda taktiež v modifikovanej podobe. Ide o tieto kategórie:

1. Hospodárske lesy - prírastok, ťažba
2. Zalesňovanie nelesných plôch
3. Odlesňovanie
4. Spaľovanie ťažobných zvyškov a lesné požiare

Nasledujúca tabuľka (tab. 6.1.1) nám poskytuje niekoľko základných relevantných dát použitých pri bilancii uhlíka.

Celková bilancia uhlíka v lesoch Slovenska je pozitívna (okolo 1 521 kt uhlíka), čo znamená vyššiu sekvestráciu uhlíka, než je jeho uvoľňovanie (MINĐÁŠ *et al.*, 1996). Sumárne výsledky sú prezentované v tab. 6.1.2. Najdôležitejšiu časť z hľadiska viazania uhlíka v biomase predstavujú hospodárske lesy okolo 80 % celkovej sekvestrácie. Uvoľňovanie uhlíka sa deje z procesov horenia biomasy a pri odlesňovaní. Výsledky emisie ostatných skleníkových plynov sú sumárne spracované v tab. 6.1.2.

Na tomto mieste je potrebné ešte pripomenúť otázku miery nepresnosti získaných výsledkov. Z tohto pohľadu je rizikovým hlavne otázkou zachytu uhlíka v pôde v časti zalesňovanie, nakoľko sa neopiera o priame zistenia v našich podmienkach, ale vychádza len z použitia všeobecných faktorov z metodiky IPCC. Je teda potrebné zvážiť či tento údaj do bilancie zahrnúť.

Ak si porovnáme ročnú bilanciu uhlíka v roku 1994, ktorá predstavuje hodnotu +1521 kt uhlíka, vo vzťahu k celkovým zásobám uhlíka v lesoch Slovenska (458 500 kt uhlíka), môžeme konštatovať, že ročná bilancia uhlíka sa pohybuje na úrovni 0.3 % celkových zásob uhlíka. Z tohto aspektu môžeme teda konštatovať,

že zásoby uhlíka v lesoch Slovenska sú dlhodobo stabilné a len kumulované a dlhodobé pôsobenie veľmi nepriaznivých faktorov by mohlo tieto zásoby vážnejšie narušiť. Vzhľadom na pokračujúce trendy nárastu výmery lesných porastov, stabilizované výšky ťažieb dreva a zákonnú ochranu lesného pôdneho fondu dávajú dobré predpoklady pre dlhodobo stabilizovaný stav uhlíkových zásob v lesných ekosystémoch Slovenska.

Tab. 6.1.1 Základné vstupné údaje použité pri bilancii GHGs v sektore lesného hospodárstva
Table 6.1.1 Basic input data used for GHGs emission estimation in forestry sector

1994	Ihličnaté	Listnaté	Spolu	Zdroj
Ročná ťažba (tis. m ³)	2 622	2 288	4910	[16]
Priemerná ročná odlesnená plocha za posledných 10 r. (ha)	-	-	970	[10][16]
Zalesnenie nelesných plôch 1920 - 1994 (ha)	200 408	134 994	335 402	[10][15][16]
Celková porastová plocha lesov SR (tis. ha)	808,6	1116,8	1 925,4	[16]

Tab. 6.1.2 Výsledky inventarizácie emisií skleníkových plynov za rok 1994 - lesy SR (Gg) (MINĐAŠ et al., 1995)

Table 6.1.2 Results of GHGs inventory in 1994 - Slovak forests (Gg)

Kategória	CO ₂	CO	CH ₄	N ₂ O	NO _x
Hospodárske lesy	4 460.71	-	-	-	-
Odlesňovanie	-126.26	-	-	-	-
Zalesňovanie	(1772.76)	-	-	-	-
Spaľovanie biomasy	- 527.90	33.59	2.30	0.0316	0.7444
Spolu	(5579.31)	33.59	2.30	0.0316	0.7444

(-) emisia (+) záchyt

6.2 OPATRENIA NA ZNIŽOVANIE EMISIÍ SKLENÍKOVÝCH PLYNOV V SEKTORE LESNÉHO HOSPODÁRSTVA

V zásade rozlišujeme 2 základné kategórie zmierňovacích opatrení, a to:

- Ochrana existujúcich zásob uhlíka
- Rozširovanie sinkov uhlíka

Do prvej kategórie zaraďujeme všetky opatrenia zamerané na udržanie súčasných zásob uhlíka v lesných ekosystémoch, t. j. ide o opatrenia zamerané na ochranu pred poškodzovaním súčasných porastov rôznymi činiteľmi (biotickí škodcovia, imisie a pod.). Druhá kategória je zameraná na priame zvyšovanie zásob uhlíka, a to buď opatreniami na ploche súčasných lesov (zvyšovanie jednotkového množstva uhlíka), ale v prvom rade ide o zalesňovacie projekty, ktoré možno zaradiť ku kľúčovým opatreniam v sektore lesného hospodárstva.

Nasledujúca tabuľka (tab. 6.2.1) podáva prehľad možných opatrení v sektore lesného hospodárstva vo vzťahu k emisiám skleníkových plynov.

Pri úvahách o efektívnosti jednotlivých opatrení nemožno zabúdať, že všetky procesy (s výnimkou spaľovania ťažobných zvyškov a energetického využívania biomasy) spojené s fixáciou, resp. uvoľňovaním CO₂ vo vzťahu k biomase alebo pôde, majú dlhodobý charakter. Preto kalkulácie týkajúce sa týchto opatrení musia počítať s časovými horizontmi rádovo desiatky rokov.

Vychádzajúc z bilančných kategórií v podmienkach lesného hospodárstva Slovenska je možné počítať najmä s tými opatreniami na zníženie emisií skleníkových plynov, ktoré rozoberáme v nasledujúcich kapitolách.

Tab. 6.2.1 Prehľad možných opatrení v sektore lesného hospodárstva vo vzťahu k emisiám skleníkových plynov (Richards et al., 1995) - upravené

Table 6.2.1 Summary of possible measures in forestry sector in relation to GHGs emissions (Richards et al., 1995) - modified

Činnosť	Zvyšovanie zásob uhlíka	Udržanie a ochrana zásob uhlíka	Zníženie emisie CH ₄ , N ₂ O, NO _x	Význam *
Zalesňovanie nelesných pôd	*			+++
Agrolesníctvo	*	*	*	++
Šľachtenie/Genetika	*	*		+
Meliorácie	*		*	+
Hnojenie	*	*		+
Redukcia ťažby dreva		*		++
Predĺženie rubnej doby	*	*		++
Zmena drevinového zloženia	*	*		+
Kontrola škodlivých činiteľov		*		+
Protipožiarna kontrola		*	*	+
Energetické využitie biomasy			*	++
Ekologické hospodárenie v lesoch	*	*		++

*význam opatrenia: + menej významné ++ významné +++ veľmi významné

6.2.1 Analýza možností znižovania emisií GHGs v sektore lesného hospodárstva

Hospodárske lesy

Na základe uvedených skutočností v rámci tejto kategórie prichádzajú do úvahy nasledujúce opatrenia vo vzťahu k znižovaniu emisií skleníkových plynov:

- opatrenia na zvyšovanie prírastku biomasy
- zníženie ťažby drevnej hmoty
- zmena drevinového zloženia (preferencia drevín s vyššími jednotkovými zásobami uhlíka)

Nakoľko opatrenia na zvyšovanie prírastku sú náročné a finančne nákladné (hnojenie, meliorácie), pričom efekt nie je vždy preukazný, nepatrí tento okruh opatrení medzi perspektívne, ktorých realizáciou by sme mohli významnejšie ovplyvniť výšku emisií skleníkových plynov. Podobne aj analýza výšky ťažieb a predpoklad jej vývoja nám napovedajú, že zníženie výšky ťažieb je nereálne, dôležité bude dosiahnuť, aby sa ťažba udržala a dlhodobo stabilizovala na hladine 5 mil.m³.

Dôležitejším dlhodobým opatrením by mohla byť zmena drevinového zloženia najmä z aspektu dôsledkov očakávaných klimatických zmien a aj v súlade s navrhovanými adaptačnými opatreniami v sektore lesného hospodárstva.

Ako už bolo konštatované v časti o celkových zásobách uhlíka v lesoch Slovenska, jednotkové zásoby uhlíka jednotlivých drevín sa od seba dost' líšia. Ak teda v dlhodobom výhlade dochádza k postupnej zmene drevinového zloženia lesov, zákonite dochádza aj k zmenám zásob uhlíka na tej istej ploche lesov. Z tohto hľadiska je najdôležitejšia zmena percentuálneho zastúpenia smreka a buka ako našich najrozšírenejších drevín (spolu pokrývajú takmer 60 % plochy našich lesov). Súčasný zastúpenie smreka v slovenských lesoch je značne vyššie oproti jeho prirodzenému ekologicky podmienenému areálu. V súčasnosti je snaha o zníženie účasti smreka pri obnovných postupoch a jeho náhrada najmä bukom. Táto snaha je podporená aj v návrhu adaptačných opatrení v lesnom hospodárstve na minimalizáciu rizík spojených s dôsledkami očakávaných klimatických zmien. Ak si uvedomíme, že rozdiel jednotkových zásob uhlíka medzi bukom a smrekom je 23 % v prospech buka, tak postupná premena smrekových porastov na porasty buka by sa výrazne odrazila aj na režime a zásobách uhlíka.

Predbežné prepočty potenciálnych možností zmien drevinového zloženia ukázal, že pri maximálnom predpoklade ročného zalesňovania bukom na ploche cca 5 000 ha, je možné dosiahnuť v priebehu najbližších 40 rokov zmenu zastúpenia smreka zo súčasných 27 na 9 %. Z ekonomického pohľadu si však táto zmena vyžiada vyššie náklady, nakoľko zalesňovanie listnatými drevinami (aj buka) je finančne náročnejšie, čo by znamenalo dodatočné náklady pri zalesňovaní a ochrane listnatých kultúr vo výške 7 - 11 mild. Sk (na ploche cca 200 tis. ha). Táto suma zároveň predstavuje investície na zabezpečenie zvýšených zásob uhlíka. Pri prepočte na jednotkové náklady na tonu získaného uhlíka sa tieto náklady pohybujú v intervale 1520 - 2390 Sk/t C.

Zalesňovanie nelesných pôd

Lesné pôdy obsahujú viac pôdneho uhlíka ako pôdy nelesné. Pri transformácii nelesnej na lesnú pôdu dochádza k postupnej akumulácii uhlíka v pôde. Tento proces je dlhodobý a rovnovážny stav pôdneho humusu, a tým aj zásob pôdneho uhlíka, je dosahovaný počas obdobia rádovo 100 rokov. Proces akumulácie uhlíka teda musíme uvažovať na všetkých pôvodne nelesných pôdach zalesnených za obdobie posledných 70 - 100 rokov. Bohužiaľ priame údaje o bilančnom náraste uhlíka v pôde v našich podmienkach nie sú nám známe, preto sme použili koeficienty uvádzané v metodike IPCC pre oblasť lesov mierneho a boreálneho pásma. Celkový záchyt uhlíka v pôde za rok takto predstavuje 483,5 kt C, čo je v prepočte 1772,8 Gg fixovaného CO₂. Tento proces je viazaný na výmeru zhruba 335 400 ha zalesnenej v období 1920 - 1994 (tab. 6.1). Tento údaj je však potrebné brať s rezervou, nakoľko tieto údaje nevychádzajú z priamych zistení obsahov uhlíka v týchto pôdach a nie je známy ani východiskový stav týchto pôd, čo sa týka obsahu humusu. Uvedený údaj podľa našich skúseností, vychádzajúc z celkových zásob humusu v jednotlivých pôdnych typoch, zdá sa byť hornou hranicou odhadu viazaného uhlíka v zalesnených pôdach.

Na základe doterajších údajov z bilancovania GHGs jednoznačne vyplýva, že kvantitatívna stránka (celková emisia) predstavuje zalesňovanie nelesných plôch najefektívnejší spôsob fixácie CO₂ biomasou lesných drevín a pôdnym humusom lesných pôd.

Ak vychádzame z vládneho uznesenia č. 550 (Anonymous 1994a), tak náklady na zalesňovanie nelesných plôch sa pohybujú v rozpätí 30 - 50 tis. Sk/ha. Pri predpoklade vytvorenia trvalých hektárových uhlíkových zásob drevín na úrovni spomínanej v časti o uhlíkových zásobách, t. j. cca 50 - 100 t C/ha, tak jednotková nákladová cena sa bude pohybovať na úrovni 300 - 1000 Sk/t C. Ak k tomu prirátame ešte možný efekt zvýšenia uhlíkových zásob v pôde, čo je však v súčasnosti veľmi ťažko kvantifikovateľné, jednotkové ceny by sa ešte znížili.

Vývoj celkových zásob uhlíka na predpokladanej ploche 46 500 ha (čo predstavuje prvú fázu optimálneho variantu zalesňovacieho programu a v súčasnosti je už v realizačnej fáze) v závislosti od veku porastu ukazuje, že už vo veku 10 rokov po zalesnení predstavuje množstvo zachyteného uhlíka takmer 180 kt C, vo veku 50 rokov je to už 4 385 kt C a vo veku 100 rokov po zalesnení sa táto hodnota pohybuje na úrovni 10 tisíc kt C, čo predstavuje takmer 37 Tg pohlteného CO₂ z atmosféry.

K týmto efektom pohlcovania uhlíka biomasou pristupuje ešte zvyšovanie zásob pôdneho uhlíka, ktoré je však náročné presne kvantifikovať. Pre minimálny odhad môžeme vychádzať aspoň zo zásob nadložného humusu, ktorý v priemere predstavuje zásobu okolo 10 t C/ha, čo znamená, že v priebehu cca 100 rokov dôjde k

zachyteniu zhruba 465 kt C už na spomínanej výmere novozaložených porastov. Celkové množstvo zachyteného uhlíka vo veku 100 rokov teda bude zhruba 10 500 kt C. Súhrnný prehľad o množstve redukovaného CO₂ z atmosféry väzbou uhlíka v biomase aj s uvažovaním minimálneho množstva fixácie uhlíka v nadložnom humuse podáva tab.6.2.2.

Tab. 6.2.2 Celkové množstvo viazaného CO₂ na predpokladanej ploche zalesnenia v závislosti od veku novozaložených lesných porastov (46 500 ha)

Table 6.2.2 Total amounts of CO₂ sequestration on supposed area of afforestation in relation to stand age (46 500 ha)

Roky po zalesnení	30	50	70	100
Množstvo zachyteného CO ₂ [Tg (10 ¹² g)]	4.7	17.0	28.6	38.3

Odlesňovanie

Odlesňovanie je spojené s odstraňovaním biomasy (ťažba stromov), rozkladom ťažbových zvyškov a nadložného humusu, ako aj zmenami pôdneho uhlíka. Predstavuje vlastne protiváhu k zalesňovaniu a z toho hľadiska je to najnebezpečnejší proces vedúci k uvoľňovaniu značných množstiev CO₂ do atmosféry.

Základným opatrením v tejto kategórii je maximálne obmedzenie trvalého odlesňovania. Táto problematika je u nás legislatívne riešená a trvalé odlesnenie je možné len so súhlasom orgánov štátnej správy a len v prípadoch, ktoré taxatívne vymedzujú príslušné zákonné normy.

Nakol'ko výmera trvalého odlesňovania nepresahuje u nás ročne ani 1000 hektárov a uskutočňuje sa len v najnutnejších prípadoch (výstavba ciest, výstavba sietí a pod.) nemá táto činnosť z hľadiska opatrení na znižovanie emisie skleníkových plynov veľký význam a ďalej sa ňou už nebudeme zaoberať.

Spaľovanie ťažobných zvyškov

Zníženie množstva spaľovaných ťažobných zvyškov by v zásade nemalo byť vážnym problémom, aj keď by mohlo dôjsť k zvýšeniu nákladov na ich odstránenie kvôli následnému zalesňovaniu. Možné opatrenia v rámci tejto kategórie by sme mohli zhrnúť takto:

- zníženie výmery, na ktorej dochádza k spaľovaniu ťažobných zvyškov
- využitie časti ťažobných zvyškov na energetické využitie
- zmena systému hospodárenia (obmedzovanie holorubov, na ktorých dochádza ku kumulácii ťažobných zvyškov a ich odstraňovaniu spaľovaním)
- zmena zalesňovacích postupov, nevyžadujúcich si "úplné" vyčistenie plochy spaľovaním ťažobných zvyškov

Pri všetkých týchto opatreniach je však potrebné zobrať do úvahy aj hľadisko celkovej živinovej bilancie na týchto plochách. Biomasa, ktorá zostáva po ťažbe, predstavuje značnú zásobu živín, ktorá sa vracia späť do pôdy a čiastočne eliminuje živinové straty vzniknuté ťažbou. Premiestnenie ťažobných zvyškov z dôvodu ich nespáľovania, resp. ich odvoz na spálenie pre bioenergetické využitie, znamená nebezpečenstvo ďalšieho ochudobnenia stanovišťa, čo v konečnom dôsledku môže znamenať zhoršenie rastových pomerov následného porastu, a tým zhoršený efekt fixácie CO₂, čo môže plne eliminovať kladný efekt predchádzajúcich opatrení. Z tohto hľadiska má zrejme zmysel uvažovať len s takými opatreniami, ktoré znamenajú obmedzenie spaľovania bez toho, aby dochádzalo k premiestňovaniu ťažbových zvyškov. Systémy spojené s celoplošným hnojením ako potenciálnej náhrady živín nie sú v našom lesnom hospodárstve zabehnuté a s ich rozširovaním v blízkej budúcnosti ani nemožno počítať.

Samostatným problémom sú lesné požiare. Tieto v súčasnosti nepredstavujú, v porovnaní so spaľovaním ťažobných zvyškov, vážny problém z hľadiska emisie GHGs, preto im nebudeme venovať vážnu pozornosť aj vzhľadom na skutočnosť, že v rámci lesného hospodárstva funguje systém protipožiarnej ochrany. V budúcnosti v súvislosti s očakávaným vzrastom aridity je však potrebné počítať so zvýšením nebezpečenstva výskytu požiarov.

Ochrana existujúcich zásob uhlíka

V podmienkach Slovenskej republiky je v súčasnosti ohrozených cca 350 000 ha prevažne horských smrekových lesov (Anonymous 1994) vplyvom antropogénnej činnosti, najmä imisiami. Ak vychádzame zo súčasného a predchádzajúceho stavu týchto lesov, môžeme predpokladať, že zníženie porastových zásob týchto porastov môže dosiahnuť v najhoršom prípade hodnotu 50 %. Reálny predpoklad je na úrovni 10 - 20 %, nakoľko situácia ešte nedosahuje úrovne imisného poškodzovania českých hraničných hôr (Krušné a Jizerské hory) a klesajúce trendy koncentrácií sírnych zlúčenín dávajú do budúcnosti istú nádej na zlepšenie. Na druhej strane je tu nebezpečenstvo zvyšovania oxidatívneho stresu (najmä ozónom), čo by mohlo ovplyvniť produkčné fotosyntetické procesy a znížiť prírastok biomasy. Ani v prípade katastrofických scenárov úplného rozpadu týchto lesových spoločenstiev neklesá jednotková zásoba biomasy na nulu, nakoľko tu prebieha plánované zalesňovanie a obnova kalamitných holín a sčasti možno sledovať prirodzené sukcesné zarastanie plôch pionierskymi a hospodárskymi drevinami. V súčasnosti je pripravený a schválený program revitalizácie týchto lesov, podrobnejšie údaje sú uvedené v nasledujúcej tabuľke (Anonymous 1994), ktorá prináša aj rámcový prepočet celkových revitalizačných nákladov vo vzťahu k zásobám uhlíka (tab. 6.2.3).

Tab. 6.2.3 Ohrozená zásoba uhlíka v imisných lesoch Slovenska a predpokladané náklady na ich revitalizáciu (MINDÁŠ, ŠTRBA 1996)

Table 6.2.3 Endangered carbon stock in Slovak forests affected by immissions and expected costs on their revitalization

Oblasť	Výmera ohrozených lesov, ha	Ohrozená zásoba uhlíka, kt C		Náklady na revitalizáciu mil. Sk	Náklady na tonu C Sk/t C
		Max	Min		
Horské lesy	80 000	3280	656	976	297 - 1485
Spiš	53 000	2065	413	1495	724 - 3620
Kysuce - Orava	57 000	2335	467	1740	745 - 3726
Horná Nitra Žiar, str. Považie	31 000	1380	276	1294	938 - 4688
Záhorie	15 000	475	95	785	1653 - 8263
Jelšava - Lubeník	7 600	350	70	537	1534 - 7671
VL Kežmarok	(10 000)	400	80	425	1063 - 5313
Podunajská nížina	15 000	675	135	600	888 - 4444
Ostatné	80 000	3480	696	945	272 - 1358

Na základe týchto poznatkov je možné kategorizovať tieto oblasti podľa ekonomickej efektívnosti vo vzťahu k ochrane uhlíkových zásob.

6.2.2 Konštrukcia scenárov znižovania emisií skleníkových plynov

Jednotlivé scenáre vývoja emisií GHGs pre jednotlivé opatrenia boli skonštruované tak, aby zahŕňali širokú škálu možností znižovania emisií skleníkových plynov v rámci jednotlivých navrhovaných opatrení. V našich kalkuláciách sme analyzovali každé navrhované opatrenie individuálne a definovali sme 4 typy scenárov (Mindáš, Štrba 1996):

Baseline scenario	⇒ zachovanie súčasného stavu
High scenario	⇒ vyjadruje stav maximálnej možnej realizácie opatrení
Low scenario	⇒ vyjadruje stav minimálnej (nutnej) realizácie opatrení
Medium (optimum scenario)	⇒ vyjadruje optimálny stav realizácie opatrení

Scenáre zmien možných zmierňovacích opatrení

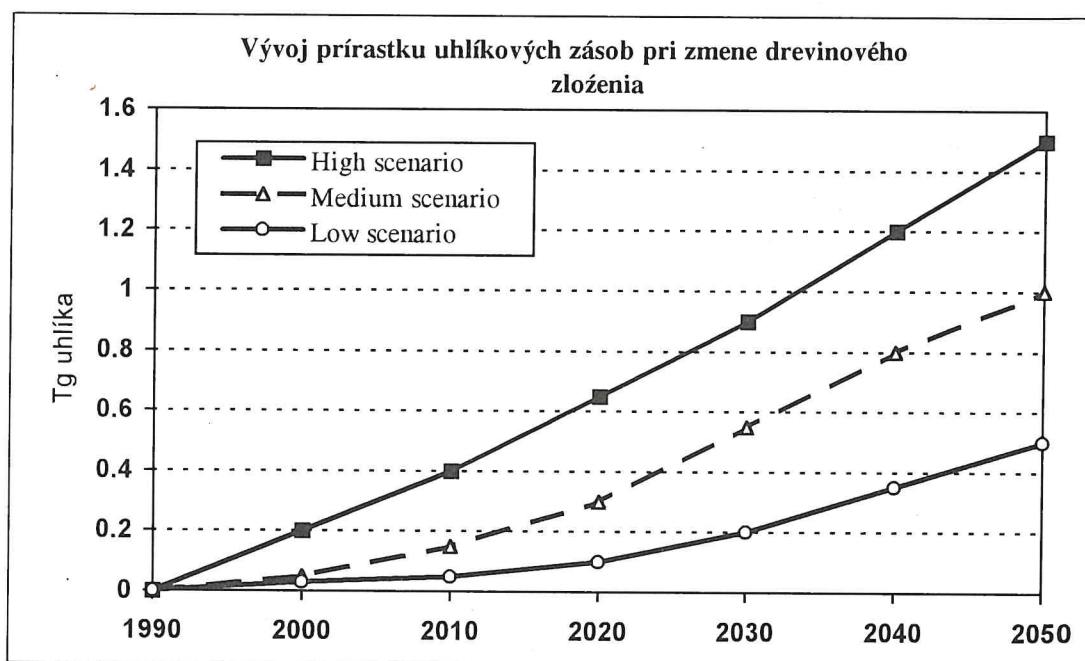
Na základe predchádzajúcich analýz sme definovali 3 najvýznamnejšie okruhy možných zmierňovacích opatrení a pre každé z nich sme vypracovali možné scenáre ich realizácie tak, ako sú uvedené v nasledujúcej tabuľke (tab. 6.2.4).

Tab. 6.2.4 Navrhované scenáre možných zmierňovacích opatrení v lesnom hospodárstve
Table 6.2.4 Proposed scenarios of possible mitigation measures in forestry sector of Slovakia

	Scenáre zmien drevinového zloženia
High scenario	⇒ zmena drevinového zloženia na rozlohe 300 000 ha
Medium (optimal) scenario	⇒ zmena drevinového zloženia na rozlohe 200 000 ha
Low scenario	⇒ zmena drevinového zloženia na rozlohe 100 000 ha
Baseline scenario	⇒ zachovanie súčasného stavu
	Scenáre zalesňovania nelesných plôch
High scenario	⇒ zalesnenie 245 000 ha nelesných plôch do r. 2050
Medium (optimal) scenario	⇒ zalesnenie 166 500 ha nelesných plôch do r. 2050
Low scenario	⇒ zalesnenie 43 000 ha nelesných plôch do r. 2050
Baseline scenario	⇒ zachovanie súčasného stavu
	Scenáre realizácie revitalizačných opatrení
High scenario	⇒ realizovanie revitalizačných opatrení na 80 % plôch
Medium (optimal) scenario	⇒ realizovanie revitalizačných opatrení na 60 % plôch
Low scenario	⇒ realizovanie revitalizačných opatrení na 40 % plôch
Baseline scenario	⇒ nerealizovanie revitalizačných opatrení

Scenáre zmien drevinového zloženia

Kalkulácia fixovaného CO₂ bola urobená na základe uvažovaných výmer a rozdielu uhlíkových zásob medzi smrekom a bukom v závislosti od veku. Sumárne výsledky podáva obrázok 6.2.1 a tab. 6.2.5.



Obr. 6.2.1 Vývoj prírastku uhlíkových zásob pri zmene drevinového zloženia podľa jednotlivých scenárov

Figure 6.2.1 Development of carbon stock increment for tree species composition change according to individual scenarios

Tab. 6.2.5 Množstvo fixovaného CO₂ z atmosféry biomasou lesných drevín realizáciou jednotlivých scenárov zmeny drevinového zloženia (Tg)

Table 6.2.5 Amount of sequestered CO₂ from the atmosphere by forest trees biomass by realization of individual scenarios of tree species composition change (Tg)

Scenár	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
High	0.00	0.73	1.47	2.38	3.30	4.40	5.50
Medium	0.00	0.18	0.55	1.10	2.02	2.93	3.67
Low	0.00	0.11	0.18	0.37	0.73	1.28	1.83

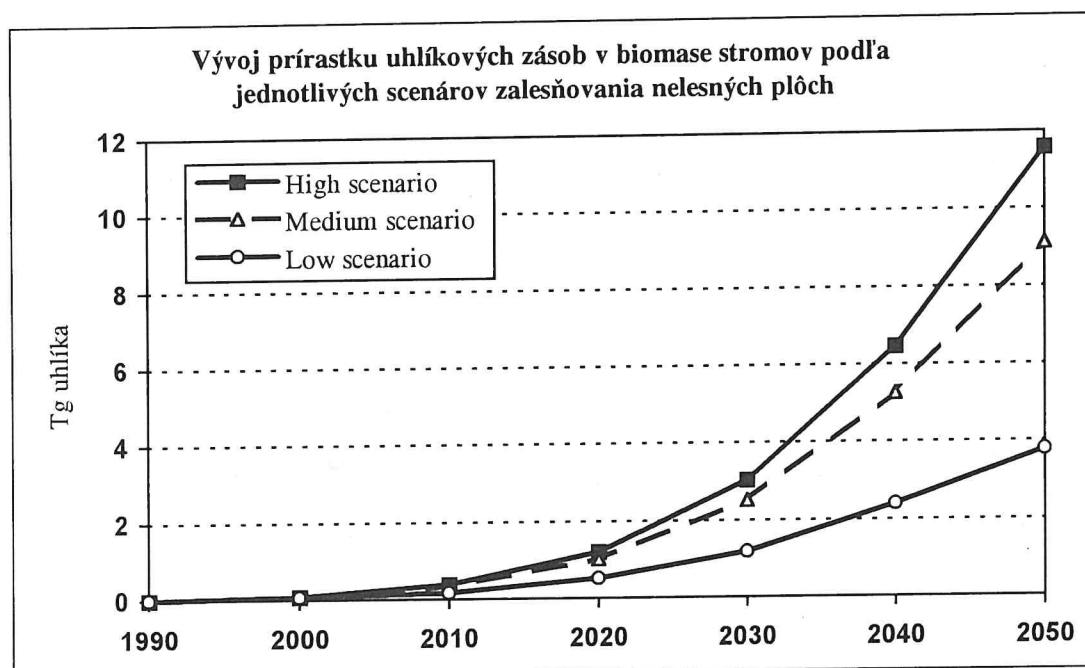
Scenáre zalesňovania nelesných pôd

Pri odhade množstva pohlteneho uhlíka biomasou novozakladaných lesných porastov sme vychádzali z nasledujúcich vstupných údajov:

- pomer plochy vysádzaných ihličnatých a listnatých drevín bude zhruba 1:1
- vývoj hektárových zásob lesných porastov bol odvodený z rastových tabuliek pre priemerné rastové pomery Slovenska
- konveržno-expanzný faktor bol pre ihličnaté dreviny 0.7, pre listnaté dreviny 1.2
- obsah uhlíka v biomase 50 %

Pri kalkulácii sme vychádzali z rastových kriviek priemerných hektárových zásob uhlíka dvoch najrozšírejších drevín na Slovensku (smrek, buk), ktoré boli základom výpočtu celkovej sekvestrácie uhlíka pre priemerné rastové pomery Slovenska.

Obr. 6.2.2 a tab. 6.2.6 ilustrujú predpokladaný vývoj uhlíkových zásob v biomase stromov na základe predložených scenárov zalesňovania nelesných plôch.



Obr. 6.2.2 Vývoj prírastku uhlíkových zásob v biomase stromov podľa jednotlivých scenárov zalesňovania nelesných plôch

Figure 6.2.2 Development of carbon stock increment in tree biomass according to the individual afforestation scenarios

Tab. 6.2.6 Množstvo fixovaného CO₂ z atmosféry biomasou lesných drevín realizáciou jednotlivých scenárov zalesňovania nelesných plôch (Tg)

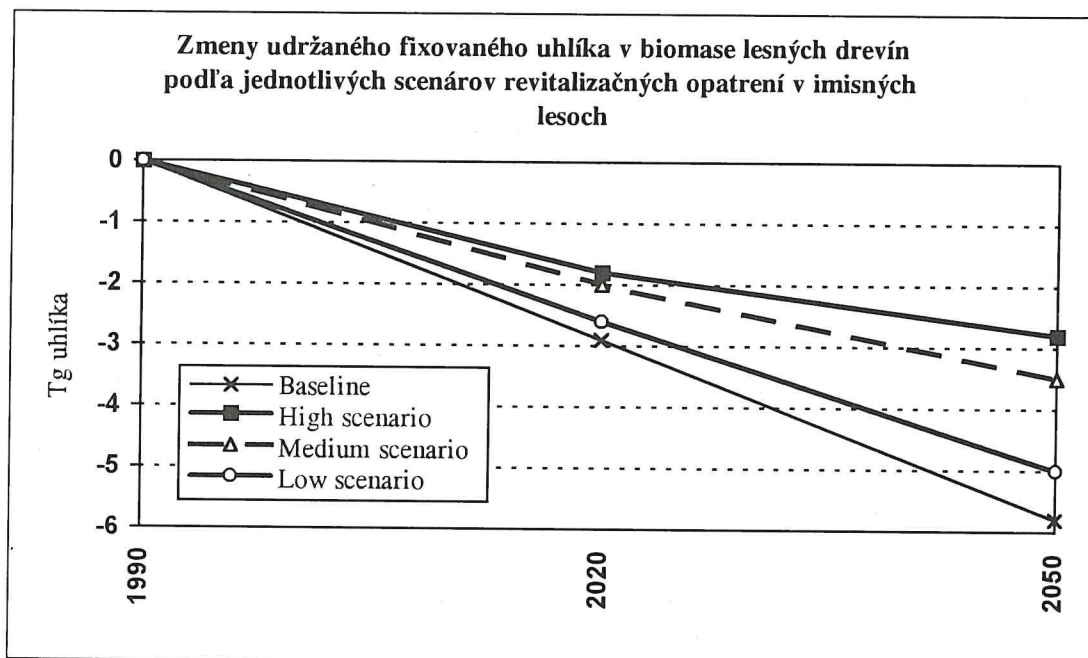
Table 6.2.6 Amounts of sequestered CO₂ from the atmosphere into tree biomass by realization of individual afforestation scenarios (Tg)

Scenár	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
High	0.00	0.33	1.39	4.40	11.11	23.72	42.46
Medium	0.00	0.29	1.25	3.74	9.20	19.29	33.48
Low	0.00	0.22	0.62	1.91	4.36	8.76	13.90

Scenáre ochrany existujúcich zásob uhlíka v imisne ohrozených lesoch

Konštrukcia scenárov vychádzala z možností realizovania revitalizačných opatrení v jednotlivých imisných oblastiach Slovenska.

Výsledky prepočtov sú uvedené na obr. 6.2.3 a v tab. 6.2.7, pričom uvedené hodnoty sú uvádzané ako diferencia k baseline scenario.



Obr. 6.2.3 Zmeny udržaného fixovaného uhlíka v biomase lesných drevín realizáciou jednotlivých scenárov revitalizačných opatrení v imisne ohrozených lesoch (Tg)

Figure 6.2.3 Changes of sequestered carbon in tree biomass by realization of individual scenarios for of revitalization measures in forests affected by immissions (Tg)

Tab. 6.2.7 Množstvo udržaného fixovaného CO₂ v biomase lesných drevín realizáciou jednotlivých scenárov revitalizačných opatrení v imisne ohrozených lesoch (Tg)

Table 6.2.7 Amount of maintaining of sequestered CO₂ in tree biomass realization of individual scenarios for of revitalization measures in forests affected by immissions (Tg)

Scenár	1990	2020	2050
High	0.00	1.10	2.94
Medium	0.00	3.30	8.44
Low	0.00	4.03	11.00

6.2.3 Politika znižovania emisií skleníkových plynov

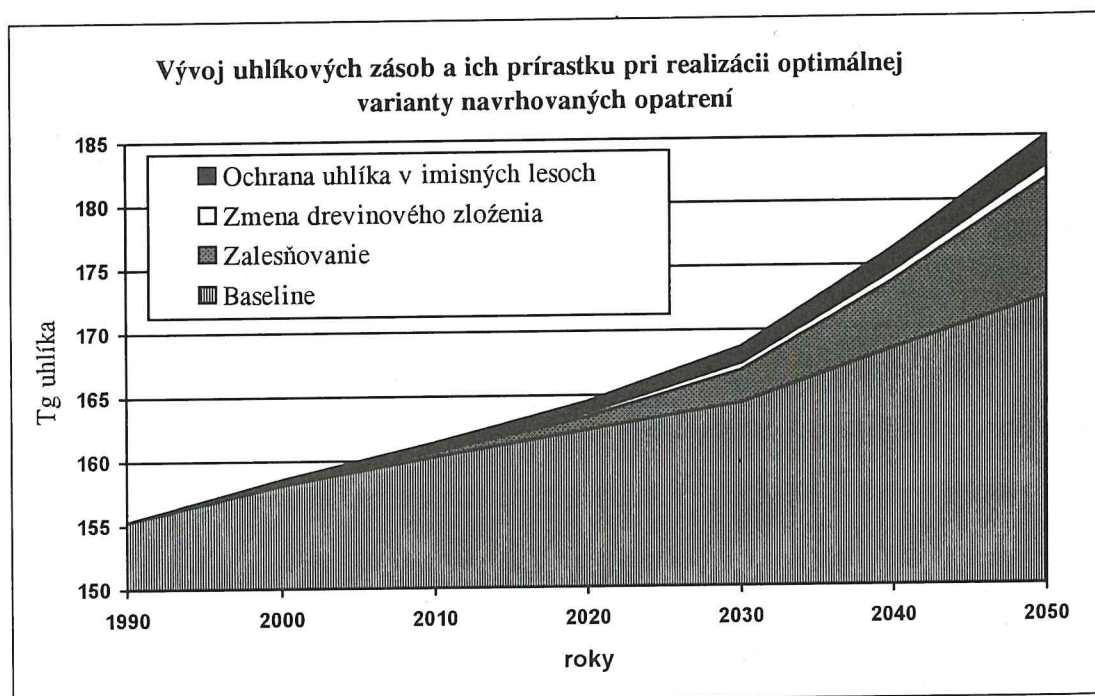
Na základe vykonaných analýz možných opatrení na znižovanie emisií skleníkových plynov v sektore lesného hospodárstva možno sformulovať, že najdôležitejšími opatreniami na zníženie emisií skleníkových plynov sú:

- zalesňovanie nelesných plôch
- zmena drevinového zloženia
- ochrana uhlíkových zásob v imisných lesoch

Obr. 6.2.4 podáva syntézne výsledky vývoja uhlíkových zásob a ich prírastku pri realizácii optimálnej (medium) varianty navrhovaných opatrení.

Na zabezpečenie navrhovaných opatrení v sektore lesného hospodárstva by bolo potrebné realizovať nasledujúce odporúčania:

1. Zabezpečenie realizácie "Uznesenia Vlády Slovenskej republiky zo 7. júna 1994 číslo 550" k návrhu Programu zalesňovania poľnohospodársky nevyužitelných nelesných pôd.
2. Zabezpečenie realizácie ozdravných opatrení v imisne ohrozených lesných oblastiach.
3. Vytvorenie organizačných a finančných predpokladov pre realizáciu zmien drevinového zloženia v súlade s návrhom adaptačných opatrení pre minimalizáciu rizík spojených s klimatickou zmenou.
4. Vypracovať komplexný materiál realizácie dlhodobých opatrení na podporu sekvestrácie uhlíka v lesných ekosystémoch.



Obr. 6.2.4 Vývoj uhlíkových zásob a ich prírastku pri realizácii optimálnej (medium) varianty navrhovaných opatrení

Figure 6.2.4 Development of carbon stocks and their increment by realization of optimal (medium) variant of proposed measures

Medzi ďalšie aktivity, ktoré by mohli prispieť k zvýšeniu uhlíkových zásob možno zaradiť:

- skvalitnenie a ekologizáciu hospodárenia v lesoch najmä vzhľadom na ochranu pôdného uhlíka (protierózne opatrenia)
- preventívne opatrenia proti pôsobeniu škodlivých činiteľov, ktoré znižujú prírastok alebo poškodzujú existujúcu biomasu najmä stromov
- zalesňovacie aktivity v poľnohospodárskej krajine v nadväznosti na realizáciu "Územných systémov ekologickej aktivity (ÚZES)"
- ozeleňovacie projekty mestských a priemyselných aglomerácií

Závery a odporúčania

Predbežné závery a odporúčania vo vzťahu k zmierňovacím opatreniam v sektore lesného hospodárstva možno zhrnúť takto:

- zásoby uhlíka v lesných ekosystémoch Slovenska sú dlhodobu stabilné, medziročné bilančné zmeny sa pohybujú pod úrovňou 1 % z celkových uhlíkových zásob
- zásoby uhlíka v lesoch Slovenska vykazujú trvalý trend postupného nárastu minimálne od roku 1950
- analýza trendov budúceho vývoja plochy lesných porastov, výšky ťažieb a hektárových zásob je v súlade s pokračujúcim miernym narastaním zásob uhlíka v našich lesoch
- vzhľadom na potenciál zalesňovania nelesných plôch, efektívnosť investícií vo vzťahu k tvorbe nových zásob uhlíka a ďalším kladným funkčným efektom lesov v krajine predstavujú zalesňovacie projekty v našich podmienkach najefektívnejší spôsob zvyšovania zásob trvale viazaného uhlíka
- realizácia ďalších zmierňovacích opatrení je daná ich ekonomickou efektívnosťou, ktorá je niekedy porovnateľná s efektívnosťou zalesňovacích projektov, pričom je potrebné brať do úvahy aj ďalšie environmentálne efekty, aby sa dosiahol efekt maximálneho využitia finančných prostriedkov
- potenciál energetického využitia biomasy z hľadiska bilancie uhlíka je potrebné zhodnotiť v komplexe celého sektoru energetiky

LITERATÚRA

- ANONYMUS 1994:** Predkladacia správa k návrhu uznesenia Vlády Slovenskej republiky zo dňa 20. júna 1994 číslo 106 k návrhu Realizačného programu na odstraňovanie škôd spôsobovaných antropogénnou činnosťou, najmä imísiami na lesných ekosystémoch.
- ANONYMUS 1994a:** Uznesenie Vlády Slovenskej republiky zo 7. júna 1994 číslo 550 k návrhu Programu zalesňovania poľnohospodársky nevyužitelných nelesných pôd.
- GREENHOUSE GAS INVENTORY.** IPCC Draft Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory. Vol. 1-3, U.S. EPA, 1994.
- KERN, J., 1995:** Stav a trendy rozvoja využitia lesnej biomasy na energetické účely. In: Rozvojové programy lesného hospodárstva, prognózy a koncepcie. Záverečná správa referenčnej úlohy 5/95, Zvolen, 106-113.
- MICHALÍK, 1994:** Program zalesňovania nelesných pôd. Les 7/94.
- MINĐAŠ, J.-PRIWITZER, T.-ŠTRBA, S., 1995:** Zásoby a bilancia uhlíka v lesoch Slovenska. Vedecké práce LVÚ, zv. 42 (v tlači).
- MINĐAŠ, J.-ŠTRBA, S.-PRIWITZER, T.-ČABOUN, V., 1996:** Greenhouse gases inventory of the Slovak Republic. Slovak's Republic Country Study Program, Zvolen 1996.
- MINĐAŠ, J.-ŠTRBA, S., 1996:** Stratégia zmierňovacích opatrení emisií skleníkových plynov v lesnom hospodárstve. Slovak's Republic Country Study Program, Bratislava 1996.
- NOVOTNÝ, J. et al., 1994:** Lesy Slovenska. Poly-Kontakt.
- PERMANENTNÁ INVENTARIZÁCIA LESOV** za roky 1990 a 1994. MP SR Sekcia lesnícka.
- POŽGAJ et al., 1993:** Štruktúra a vlastnosti dreva. Príroda, Bratislava.
- RICHARDS, K.R.-ALIG, R.-KINSMAN, J.D.-PALO, M.-SOHNGEN, B. 1995:** Consideration of country and forestry/land-use characteristics in choosing forestry instruments to achieve climate mitigation goals. In: Sampson R.N. et al. (eds.): Economics of carbon sequestration in forestry, Forest Policy Center, Washington, 23-36.
- ŠÁLY, R., 1988:** Pedológia and mikrobiológia. Scriptum VŠLD Zvolen.
- ŠEBÍK, L., 1989:** Náuka o produkcii. Scriptum VŠLD Zvolen.
- Štatistické ročenky** za roky 1921, 1984-1994.
- Zelená správa** o lesnom hospodárstve Slovenskej republiky. Les 9/95, 5-9.

7. ZÁVER

Antropogénna činnosť v druhej polovici 20. storočia dosiahla také rozmery, že dokázala významne ovplyvniť životné prostredie v globálnom celoplanetárnom meradle. Ovpłyvnenie biogeochemických cyklov má za následok reťazovité zmeny v atmosfére (oslabovanie stratosférickej ozónovej vrstvy, rast koncentrácií skleníkových plynov, zmeny oxidačnej kapacity a pod.) a determinuje ďalšie zmeny najmä v biosfére.

Reálny rast koncentrácií skleníkových plynov a hrozba klimatickej zmeny sa v súčasnosti považuje za vôbec najzávažnejšie ohrozenie životného prostredia z hľadiska trvale udržateľného rozvoja ľudskej civilizácie a celej biosféry na tejto planéte. Lesy ako jedna z rozhodujúcich zložiek životného prostredia sú zároveň jeho veľmi citlivou zložkou, preto poznanie ich reakcií na globálne zmeny životného prostredia predstavuje dôležitý prvok v správnom pochopení a usmernení činností v lesnom hospodárstve.

Napriek neistotám v scenároch klimatickej zmeny nie je možné tento problém ignorovať, aby nedošlo k podceneniu prvých varovných signálov možných negatívnych dôsledkov. Lesné hospodárstvo stojí dnes pred mimoriadne náročnou úlohou zabezpečenia trvale udržateľného rozvoja lesného hospodárstva v podmienkach pretrvávajúceho imisného stresu a pod hrozbou klimatických zmien. Vzhľadom na skutočnosť, že očakávané zmeny prebehnú počas jednej generácie lesa, stáva sa prijatie účinných opatrení znižujúcich negatívne dôsledky týchto zmien vysoko aktuálnou už v súčasnosti. Na základe podrobnej analýzy súčasného stavu a perspektív ďalšieho vývoja lesných ekosystémov je už dnes naliehavá potreba vypracovať kvalitné adaptačné opatrenia na minimalizáciu negatívnych dôsledkov a rizík a začať s ich urýchlenu aplikáciou v praxi na jednotlivých organizačných úrovniach lesného hospodárstva.

Pod'akovanie

Zostavovatelia a autori tejto publikácie si dovoľujú láskavo poďakovať Ministerstvu životného prostredia Slovenskej republiky za koordináciu, reprezentáciu a podporu Národného klimatického programu SR, v ktorého edícii piaty zväzok NKP SR vychádza. Zároveň ďakujeme prezidentovi a vláde USA za iniciovanie a financovanie "Programu krajinných štúdií SR" (U.S. Country Study Programme), v rámci ktorého vznikli niektoré kapitoly. Tiež ďakujeme Vedeckej grantovej agentúre Ministerstva školstva SR a Slovenskej akadémii vied SR za podporu a financovanie vedeckého projektu 95/5195/116, ktorého riešenie tiež významnou mierou pomohlo k vzniku predloženej publikácie.

Osobitné poďakovanie patrí aj lektorom: prof. Ing. Eduardovi Bublincovi, CSc., Ing. Jánovi Ďurškému, CSc., RNDr. Olge Majerčákovej, CSc., doc. RNDr. Dušanovi Závodskému, CSc., za pozorné preštudovanie rukopisov a za cenné a konštruktívne pripomienky.

ZOZNAM SKRATIEK, SYMBOLOV A LATINSKÝCH NÁZVOV DREVÍN

AOT 80	- accumulated exposure over a threshold of 80 $\mu\text{g.m}^{-3} \text{O}_3$ - index kumulovanej expozície nad prahovú hodnotu 80 $\mu\text{g.m}^{-3} \text{O}_3$	REZZO	- Register emisií a zdrojov znečisťovania ovzdušia SR
CBP	- celkový bežný prírastok	RT	- rastové tabuľky
CCCM	- Canadian Climate Center Model	SHMÚ	- Slovenský hydrometeorologický ústav
CFC	- chlorfluorcarbon - halogénizované uhlíkovodíky - freóny	SLHP	- súhrnný lesný hospodársky plán
CL/CL	- Critical levels/Critical loads - kritická úroveň, kritická záťaž	Tg	- teragram = 10^{12} gramov = 10^6 ton
CPP	- celkový priemerný prírastok	TU	- Technická univerzita (vo Zvolene)
E	- environment - prostredie	UNEP	- United Nations Environmental Programme
EÚ	- Európska únia	UN ECE	- Európska hospodárska komisia
FAR	- fotosynteticky aktívna radiácia	USCSP	- U.S. Country Study Programme
FCCC	- UN framework convention on climate change - Rámcový dohovor OSN o zmene klímy		- program krajinných štúdií dôsledkov klimatickej zmeny financovaný vládou USA
G	- genotyp	vf	- vegetačná formácia
GCM	- General Circulation model - všeobecný model cirkulácie	WMO	- World Meteorological Organisation - Svetová meteorologická organizácia
Gg	- gigagram = 10^9 gramov = 10^3 ton	WUE	- Water Use Efficiency - rýchlosť asimilácie CO_2 /rýchlosť transpirácie
GHG, GHGs	- greenhouse gases - skleníkové plyny (CO_2 , CH_4 , N_2O ...)		
GFD3	- Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (klimatický model)		
GISS	- Goddard Institute for Space Studies (klimatický model)		
GKZ	- globálne klimatické zmeny	<i>Abies alba</i>	- jedľa biela
HSLT	- hospodársky súbor lesných typov	<i>Acer campestre</i>	- javor poľný
IPCC	- Intergovernmental panel of climate change (skupina vedcov syntetizujúcich poznatky v oblasti zmien klímy a jej príčin)	<i>Acer pseudoplatanus</i>	- javor horský
KÚ	- kritická úroveň	<i>Acer platanoides</i>	- javor mliečny
KZ	- kritická záťaž	<i>Alnus viridis</i>	- jelša zelená
LF	- Lesnícka fakulta (vo Zvolene)	<i>Betula pubescens</i>	- breza plstnatá
LH	- lesné hospodárstvo	<i>Castanea sativa</i>	- gaštan jedlý
LHC	- lesný hospodársky celok	<i>Carpinus betulus</i>	- hrab obyčajný
LHP	- lesný hospodársky plán	<i>Cornus sp.</i>	- rod drieň
LOS	- lesnícka ochranná služba	<i>Fagus sylvatica</i>	- buk lesný
LVS (lvs)	- lesný vegetačný stupeň (tab. 3.1.2)	<i>Fraxinus excelsior</i>	- jaseň štíhly
LVÚ	- Lesnícky výskumný ústav (vo Zvolene)	<i>Fraxinus ornus</i>	- jaseň manový
LÚ	- lesný úrad	<i>Juniperus nana</i>	- borievka nízka
NKP	- Národný klimatický program	<i>Larix decidua</i>	- smrekovec opadavý
OECD	- Organizácia pre ekonomickú spoluprácu a rozvoj	<i>Ostrya carpinifolia</i>	- hrabovec hrabolistý
P	- fenotyp	<i>Picea abies</i>	- smrek obyčajný
PRP	- priemerný rubný prírastok	<i>Pinus cembra</i>	- borovica limbová
PS	- porastový súbor	<i>Pinus mugo</i>	- bor. horská, kosodrevina
PV	- present value - súčasná cena	<i>Pinus sylvestris</i>	- borovica lesná
		<i>Quercus cerris</i>	- dub cerový
		<i>Quercus petraea</i>	- dub zimný
		<i>Quercus pubescens</i>	- dub plstnatý
		<i>Quercus robur</i>	- dub letný
		<i>Salix sp.</i>	- rod vŕba
		<i>Tilia cordata</i>	- lipa malolistá
		<i>Tilia tomentosa</i>	- lipa plstnatá
		<i>Ulmus sp.</i>	- rod brest

CLIMATE CHANGES AND SLOVAK FORESTS

SUMMARY

Increase in concentrations of greenhouse gases (CO_2 , N_2O , CH_4) and the ongoing trend of increasing the antropogenic emissions represent a real danger of global climate changes. Both persisting immission load and changes of climatic conditions and disturbance of protective properties of the atmosphere will probably affect forest ecosystems in the third millennium. In relation to the forest communities, the induced change of ecology will imply the change in species diversity, ecological biogeochemical cycles stability and ecophysiological processes, mainly on the level of tree species that are the principal biotic components of the forest ecosystems.

Climatic change scenarios in the Slovak Republic

Long-term climate changes and variability in Slovakia is possible to describe according to the observations at the Hurbanovo and Vienna observatory (Figure 2.1 and 2.2). Increase of mean annual air temperature (T) by about 1 °C and decrease of annual precipitation totals (R) by about 15 % in the south, and by about 5 % in the north of Slovakia as well as significant relative air humidity (U) decrease in the south-western Slovakia and snow cover decrease nearly in all Slovakia were found. Preliminary air temperature change scenarios were prepared for the CSFR (Czecho-Slovakia) in 1991 and preliminary analogues climate change scenarios were issued in December 1993 with respect of 1 - 2 °C mean annual warming about the year 2025 compared to 1951 - 1980 means. Regional modification of the General Circulation Models (GCMs) outputs (GISS, CCCM and GFD3) was completed in 1995. All regional climate scenarios - GCMs based, updated analogues and incremental scenarios for Slovakia were issued before March 1996. The Slovak Republic's Country Study and the National Climate Program experts could use these regional scenarios gradually since January 1995. The selected results are presented in the Tables 2.1 and 2.2. (More information in Lapin, Nieplová and Faško, 1995)

Present stage of the Slovak forests and their predicted development

The contemporary state of the forests in Slovakia is a determining factor of future changes in Slovakia. It can be briefly characterised in the following way:

- increase in the forest land acreage since 1950 by 12.3% (contemporary forest cover in Slovakia is 40.6%)
- contemporary tree species composition does not correspond to optimal state, especially spruce and pine
- mean growing stock per hectar has shown a slight increase since 1950
- according to the ICP monitoring of forests, the deciduous tree species show a lower mean decennial defoliation (23.9%) than conifers (31.2%)
- development of incidental felling has shown a constant increase and in 1996 it represented 60% of the total annual cutting
- critical levels for SO_2 and NO_x have been exceeded on the local level in the vicinity of industrial centres. AOT 40 ppb for ozone has been exceeded on midaltitudinal and montane levels on the whole territory
- critical loads for sulphur, nitrogen and actual acidity have been exceeded on the half of territory, mainly on mountain levels in spruce stands.

Model of the climate change impact

Holdridge model scenario assumes the change of bioclimatic conditions for the contemporary forest communities on more than 31 % of the whole territory of forest.

Based on the above mentioned approach to solution of the climatic change impact on bioclimatic conditions of forest communities it is possible to point out that:

- the Holdridge classification, basically corresponds to the altitudinal zonality of the Carpathian region
- when applying a scenario of the climatic change CCCM, the most pronounced changes of bioclimatic conditions may be expected in the lowland and the alpine regions, similar results can be expected also for GISS and GFD3 scenarios
- the lower highlands are expected to be the less affected region
- decline of the bioclimatic conditions of alpine zone and invasion of new xerophilous communities of the warmer and milder zones in lowlands are expected.

Forest Gap Model model calculations were realised according to the CCCM scenario (GCMs scenario from Canadian Climate Centre) for three altitudinal different sites in the Western Carpathians. Main results can be described as follows:

Pil'sko, 1250 m a.s.l.: Subalpine rain forest - current climate and CCCM scenario:

- marked increase of *Fagus silvatica* and *Acer pseudoplatanus* occurrence
- decrease of occurrence of *Picea abies*, *Sorbus aucuparia*
- increase of total biomass production (17%)

Dobročský prales, 850 m a.s.l.: Subalpine wet forest - current climate, montane moist forest - CCCM scenario:

- total absence of coniferous tree species
- marked dominance of *Quercus sp.*, *Acer sp.* and *Fraxinus excelsior* occurrence
- slight increase of total biomass production (5%)

Sitno, 500 m a.s.l.: Montane (cool temperate) moist forest - current climate and CCCM scenario:

- nearly total absence of *Quercus petraea* and *Carpinus betulus*
- marked dominance of forest steppe communities of *Quercus pubescens*
- decrease of total biomass production (-38%)

Influence of the global climate change on forest soils

- We issue from the conviction, that the impact of the possible climatic change should be considered in relation to the situation of pollution and its consequences to the forest ecosystems of Slovakia.
- Approximately 300.000 ha of forests, i.e. 15% of the total stand area, were declared endangered. Soil on a major part of this area is changed, due to artificial and decreased fertility. The soil is acidified (pH of the upper layer is 4 or less), frequently containing accumulated undesirable microelements. The input of nitrogen compounds is big as well. Issuing from the balance measurements in neighbouring countries supplemented by lysimetric measurements in Slovakia, we can consider the input of 40 kg N.ha⁻¹.a⁻¹ excessive. In the acid pollution type (A₁ -III, A₁ -II), occurring in the surroundings of the industrial plants and in higher altitudes, a decline of production caused primarily by the changes in acidification and humification may therefore be expected. The soils of a small part of this area (approx. 12.000 ha) are alkalisied, where, in addition to this defect, changes caused by the decreased moisture can occur.
- An increased evapotranspiration will be manifested especially in the soils of lowlands, basins and hills, where we already encountered a regularly repeating shortage of water in autumn. The altitudinal boundary of the water shortage of 500 m (700 m for shallow soils and soil with a high content of gravel and stones) will be shifted upwards.
- Change in the snow cover, more exactly its decline, can induce a more intensive freezing of soil, changes in the hydric function of forest, shorter time span for the root growth and subsequently the decline of yield.
- Changes in soil processes may frequently have controversial consequences, which has to be considered in the construction of models.
- There will be approx. 300.000 ha of forests planted on former agricultural land in year 2000, mostly less productive to some extent. These soils must be recorded separately, and particular information about them must be obtained (data on the buffering capacity, water capacity etc.). If the snow cover and precipitation will decline, this group must be considered endangered as well.

Influence of the global climatic change on structure of the forest tree populations

Considering the fact, that the prediction of the extent and exact course of the expected climate change are very difficult, the enhancement of the adaptive potential of the existing and potential populations of forest tree species is recommended.

From the point of view of the climate change effects, their influence on the genetic structure of populations is analysed, as well as on the genetic processes on the population level. The change of the concepts of forest stand management must be based on the fact, that the populations adapted for the present climatic conditions cannot be considered prospective also in the changed climatic conditions. The prospective populations must be composed of new sets of genotypes, which will be formed either by successive evolutionary changes, or, in case of a rapid course of climatic change, by artificially replacing the original populations.

Selection of the potentially suitable forest tree populations must be based on wide-framed provenance trials, which can be used for the simulation of the potential climate change.

Gene-pool protection of the local populations is of an extraordinary importance, since they can be considered the centres of a high genetic diversity, which may be used for the colonisation of new sites.

Consequence of the global climate change for silviculture

In this contribution, the consequence of this phenomenon for forestry are analysed, the structure of forest ecosystems is evaluated, and silvicultural systems for the future are proposed.

From the viewpoint of the silvicultural strategy, and considering the actual situation in the forests, it is necessary to propose such silvicultural conceptions, which would allow a maximum adaptability of forest ecosystems to the changed environment.

The forests of Slovakia have core forest stands, formed by the original forest ecosystems, where the original tree species composition has been preserved. This fact allows differentiated management of our forests, however, under condition, that we will not only consider differentiated silvicultural systems, but we also will utilise logging and extraction technologies differentiated according to the environmental conditions, the state of the forest stands, and defined management goals.

Considering the character of the stands, synecology of the principal tree species, and defined goals (requirements of the society), the principles of the silviculture following natural processes will widely be applied. Some forms of the silvicultural system selection, or small-scale form of the shelterwood system comes into consideration.

Influence of the global climate change on ecophysiological processes in the forest trees

CO₂ enrichment of the atmosphere is now well documented and its direct effects on ecophysiological processes of short - term experiments have shown an increased photosynthetic rate and biomass production of trees. In longer experiments this increase is reduced after few weeks or months (an acclimation process). Elevated CO₂ seems to decrease the dark respiration rate, but the results are still controversial.

Atmospheric CO₂ enrichment tends to lower tree stomatal conductances, and this phenomenon reduces tree transpiration rates. CO₂ enriched plants possess more leaf area from which water may be lost. It is not known how these competing phenomena influence the depletion of soil water and the consequent productivity of trees when water is limiting their growth.

Economic analysis of the climatic change risk impacts

Results of economic analysis, especially in relation to the expected risk of tree species composition change, can also explain an interval estimate of the expected value of assumed changes (from -67.32 to -126.7 billions Sk). By performing the adaptation measures it is also possible to mitigate these economic consequences within intervals from 20.7 to 33.7 billions Sk (30 Sk = 1 USD).

Present value of differences in stumpage price within particular scenarios, in relation to baseline scenario informs about market value of the analysed climate changes at wood production in Slovakia. By comparison of analysed changes, concerning production of wood in monetary terms by using scenarios with and without adaptation measures it is possible to carry out their economic analysis at a large scale and to improve both, the declarative ability, and possible application of obtained results, as well.

Adaptation strategy and measures

Life cycle of the natural Slovak forests is in the range 200 - 400 years, rotation period in managed forests is about 100 years; therefore it is clear, adaptation strategy must be based on anticipatory adaptation measures, because reactive measures will not be effective. In the end we can summarise the following key issues.

Key issues in the Forestry sector of the Slovak Republic:

- monocultures may be particularly vulnerable to climate change and therefore it is necessary to increase forest biodiversity in these stands
- system of the forest management should mimic natural forest ecosystem processes and eliminate inappropriate management techniques (clearcutting systems)
- support of the research activities especially from the point of view of international scientific collaboration
- the important task of all relevant forestry institutions is to support research, adaptation and mitigation activities

GHGs emissions and mitigation measures in the forestry sector

The forest ecosystems play the most significant role in a global carbon cycle from natural terrestrial ecosystems. Forests are important regulator in carbon balance by significant way in relation to GHGs emissions to the atmosphere. Management of the forest ecosystems can lead to significant changes in carbon stock. Therefore one proposed approach to decrease GHGs emissions with aim to manage forest ecosystems to conserve or sequester (remove and store) carbon.

On the basis of the performed analysis of the possible mitigation measures in Slovak forestry sector, the most important and effective mitigation measures can be formulated as follows:

- afforestation of nonforest areas
- tree species composition change
- protection of carbon stock in the forests affected by air pollution

Zostavovatelia	Pracovisko
RNDr. Ing. Jozef Mind'áš	Lesnícky výskumný ústav Zvolen
RNDr. Milan Lapin, CSc.	Slovenský hydrometeorologický ústav Bratislava
Ing. Jaroslav Škvarenina, CSc.	Lesnícka fakulta TU Zvolen
Autori	Pracovisko
RNDr. Ing. Jozef Mind'áš	Lesnícky výskumný ústav Zvolen
RNDr. Milan Lapin, CSc.	Slovenský hydrometeorologický ústav Bratislava
Ing. Jaroslav Škvarenina, CSc.	Lesnícka fakulta TU Zvolen
Prof. Ing. Milan Hladík, CSc.	Lesnícka fakulta TU Zvolen
Doc. Ing. Vladimír Čaboun, CSc.	Lesnícky výskumný ústav Zvolen
Prof. Ing. Rudolf Šály, DrSc.	Lesnícka fakulta TU Zvolen
Prof. Ing. Ladislav Paule, CSc.	Lesnícka fakulta TU Zvolen
Ing. Dušan Gomory, CSc.	Lesnícka fakulta TU Zvolen
Prof. Ing. Milan Saniga, DrSc.	Lesnícka fakulta TU Zvolen
Ing. Jaroslav Kmeť, CSc.	Lesnícka fakulta TU Zvolen
Ing. Katarína Štrélcová	Lesnícka fakulta TU Zvolen
Ing. Tibor Priwitzer	Lesnícky výskumný ústav Zvolen
Ing. Ján Holécy, CSc.	Lesnícka fakulta TU Zvolen
Ing. Stanislav Štrba, CSc.	Tulská 15 960 01 Zvolen
Lektori	Pracovisko
Prof. Ing. Eduard Bublinec, CSc.	Lesnícka fakulta TU Zvolen
Ing. Ján Ďurský, CSc.	Lesnícka fakulta TU Zvolen
RNDr. Oľga Majerčáková, CSc.	Slovenský hydrometeorologický ústav Bratislava
Doc. RNDr. Dušan Závodský, CSc.	Slovenský hydrometeorologický ústav Bratislava

Lesnícky výskumný ústav T. G. Masaryka 22 960 92 Zvolen	Lesnícka fakulta Technickej Univerzity T. G. Masaryka 24 960 53 Zvolen	Slovenský hydrometeorologický ústav Jeséniova 17 833 15 Bratislava
---	---	--

Redakčná rada

Predseda:

Ing. Ľubomír Žiak, MŽP SR

Členovia:

RNDr. Milan Lapin, CSc., SHMÚ

RNDr. Oľga Majerčáková, CSc., SHMÚ

Mgr. Ľubica Prokopová, SHMÚ

Doc. RNDr. Dušan Závodský, CSc., SHMÚ

NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM SLOVENSKEJ REPUBLIKY
Zväzok 5

Vydáva:

Ministerstvo životného prostredia SR, Nám. L. Štúra 1, 812 35 Bratislava
Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava

Odborný redaktor: RNDr. M. Lapin, CSc.

Rediguje: Mgr. Ľ. Prokopová

Tlač: GRAPHIC, tel. 07/ 377 337 v roku 1996

Účelová publikácia, 98 s., 37 tab., 34 obr., náklad 400 výtlačkov

