

LESNICTVÍ FORESTRY

Volume 43, No. 11, 1997

OBSAH – CONTENTS

Chalupa V.: Probíhající změny ve složení zemské atmosféry, kolísání sluneční zářivosti a měnící se růst lesních dřevin – Atmosphere composition changes, solar irradiance variations, and changing forest tree growth	481
Emmer I. M.: Spatial variation of humus form characteristics and its implications for humus form research in monospecies <i>Pinus sylvestris</i> stands – Prostorová proměnlivost charakteristik forem humusu a její důsledky pro výzkum forem humusu ve stejnorodých porostech borovice <i>Pinus sylvestris</i>	503
Kula E., Boháč J.: Biomonitoring stanovištních změn v náhradních porostech břízy imisní oblasti – II. Drabčíkovití – Biomonitoring of site changes in substitute birch stands in an air-polluted area – II. Rove beetles	519
INFORMACE	
Hýsek J., Fabiánek P.: Informace o akcích ICP Forests	527

Mezinárodní vědecký časopis vydávaný z pověření Ministerstva zemědělství České republiky a pod gescí České akademie zemědělských věd

An international journal published under the authorization by the Ministry of Agriculture and under the direction of the Czech Academy of Agricultural Sciences

Managing Editorial Board – Redakční rada

Chairman – Předseda

Prof. Ing. Vladimír Chalupa, DrSc., Praha

Members – Členové

Prof. Ing. Jiří Bartuňek, DrSc., Brno

Ing. Josef Běle, CSc., Praha

Doc. Ing. Josef Gross, CSc., Teplice

Doc. Ing. Jaroslav Koblížek, CSc., Brno

Prof. Ing. Jan Kouba, CSc., Praha

Ing. Vladimír Krečmer, CSc., Praha

Ing. Václav Lochman, CSc., Praha

Ing. František Šach, CSc., Opočno

RNDr. Stanislav Vacek, CSc., Opočno

Advisory Editorial Board – Mezinárodní poradní sbor

Prof. Dr. Don J. Durzan, Davis, California, U.S.A.

Prof. Dr. Lars H. Frivold, Aas, Norway

Doc. Ing. Milan Hladík, CSc., Zvolen, Slovak Republic

Prof. Dr. Hans Pretzsch, Freising, Germany

Dr. Jack R. Sutherland, Victoria, B.C., Canada

Prof. Dr. Sara von Arnold, Uppsala, Sweden

Prof. Dr. Nikolaj A. Voronkov, Moskva, Russia

Executive Editor – Vedoucí redaktorka

Mgr. Radka Chlebečková, Praha, Czech Republic

Odborná náplň: Časopis publikuje původní výsledky základního a aplikovaného výzkumu ze všech oborů lesnictví, mající vztah k evropským lesním ekosystémům.

Abstrakty z časopisu jsou zahrnuty v těchto databázích: Agris, CAB Abstracts, Czech Agricultural Bibliography, Toxline Plus, WLAS.

Periodicita: Časopis vychází měsíčně (12x ročně), ročník 43 vychází v roce 1997.

Přijímání rukopisů: Rukopisy ve dvou vyhotoveních je třeba zaslat na adresu redakce: Mgr. Radka Chlebečková, vedoucí redaktorka, Ústav zemědělských a potravinářských informací, Slezská 7, 120 56 Praha 2, tel.: 02/24 25 51 06, fax: 02/24 25 39 38, e-mail: fofo@uzpi.cz. Den doručení rukopisu do redakce je publikován jako datum přijetí k publikaci.

Informace o předplatném: Objednávky na předplatné jsou přijímány pouze na celý rok (leden–prosinec) a měly by být zasílány na adresu: Ústav zemědělských a potravinářských informací, Slezská 7, 120 56 Praha 2. Cena předplatného pro rok 1997 je 672 Kč.

Scope: The journal publishes original results of basic and applied research from all fields of forestry related to European forest ecosystems.

Abstracts from the journal are comprised in the databases: Agris, CAB Abstracts, Czech Agricultural Bibliography, Toxline Plus, WLAS.

Periodicity: The journal is published monthly (12 issues per year), Volume 43 appearing in 1997.

Acceptance of manuscripts: Two copies of manuscript should be addressed to: Mgr. Radka Chlebečková, executive editor, Institute of Agricultural and Food Information, Slezská 7, 120 56 Praha 2, tel.: 02/24 25 51 06, fax: 02/24 25 39 38, e-mail: fofo@uzpi.cz. The day the manuscript reaches the editor for the first time is given upon publication as the date of receipt.

Subscription information: Subscription orders can be entered only by calendar year (January–December) and should be sent to: Institute of Agricultural and Food Information, Slezská 7, 120 56 Praha 2. Subscription price for 1997 is 170 USD (Europe), 177 USD (overseas).

PROBÍHAJÍCÍ ZMĚNY VE SLOŽENÍ ZEMSKÉ ATMOSFÉRY, KOLÍSÁNÍ SLUNEČNÍ ZÁŘIVOSTI A MĚNÍCÍ SE RŮST LESNÍCH DŘEVIN

ATMOSPHERE COMPOSITION CHANGES, SOLAR IRRADIANCE VARIATIONS, AND CHANGING FOREST TREE GROWTH

V. Chalupa

Česká zemědělská univerzita, Lesnická fakulta, 165 21 Praha-Suchbát

ABSTRACT: The paper deals with changes in the Earth's atmosphere composition, which greatly influence the growth and health condition of forests. Impacts of increasing concentrations of greenhouse gases and anthropogenic aerosols on future climate changes are assessed. New data on solar irradiance variations suggest that solar variability played a significant role in past global temperature changes, and indicate that the cause of recent warming is more complex than the influence of greenhouse gases alone. In the past forty years increasing assimilation of CO₂ by forests growing in temperate and boreal zones in the Northern Hemisphere was observed. Increasing trends in diameter, height and volume growth of forest trees were found in the Central, Western and Northern Europe. Causes of higher increments are not exactly known, however, the results of present measurements indicate that higher air temperature, nitrogen deposition in forest soils and raising atmospheric CO₂ concentration participated in increased growth of forests.

atmospheric CO₂ concentration; anthropogenic aerosols; solar activity; solar irradiance; climatic change; forest tree photosynthesis; forest growth trends; forest tree increment

ABSTRAKT: V práci jsou řešeny problémy spojené s pokračujícími změnami ve složení zemské atmosféry, které významně ovlivňují růst a zdravotní stav lesů. Jsou hodnoceny vlivy zvyšujících se koncentrací skleníkových plynů a antropogenních aerosolů na radiční bilanci Země a na utváření podnebí. Nově získané poznatky o kolísání sluneční aktivity a zářivosti Slunce ukazují, že přírodní faktory, zejména kolísající sluneční aktivita, mají významný vliv na utváření podnebí. V uplynulých čtyřech desetiletích se zvýšila asimilace lesů rostoucích v mírném a boreálním pásmu na severní polokouli. Vzestupný trend tloušťkového, výškového a objemového růstu lesních dřevin byl zjištěn v severní, západní i ve střední Evropě. Příčiny zvýšených přírůstků nejsou přesně známy, podle výsledků dosavadních měření lze soudit, že na zvýšených přírůstcích se podílely vyšší vzdušné teploty v tomto století, zvýšené depozice dusíku v lesních půdách a stoupající koncentrace CO₂ v atmosféře.

koncentrace atmosférického CO₂; antropogenní aerosoly; sluneční aktivita; zářivost Slunce; klimatické změny; fotosyntéza dřevin; růstové trendy lesů; přírůstky dřevin

ÚVOD

K nejzávažnějším současným problémům lesního hospodářství patří pokračující změny ve složení zemské atmosféry, které významně ovlivňují růst a zdravotní stav lesů. I když pozornost lesníků je zaměřena zejména na škody způsobované imisemi, nelze přehlížet další změny a efekty, které vyvolává antropogenní ovlivňování atmosféry. Jak bylo uvedeno již dříve (Chalupa, 1974, 1992), jsou při stoupající hospodářské aktivitě lidstva vypouštěna do atmosféry ohromná množství

oxidů různých prvků, které po delší či kratší dobu setrvávají v ovzduší. Jedná se zejména o oxid uhličitý (CO₂), oxidy dusíku (NO_x), oxidy síry (SO₂) a další látky. Vypouštěním těchto látek do atmosféry provádí člověk nechtěně největší „experiment“ v dějinách lidstva, aniž lze zatím spolehlivě stanovit, jaké budou následky takového pozměňování složení atmosféry.

V důsledku zvyšující se koncentrace CO₂ a dalších látek v ovzduší se mění vlastnosti atmosféry i její schopnosti odrazet a pohlcovat krátkovlnné a dlouhovlnné záření a dochází ke změnám v radiční bilanci

Země i ke změnám v ozonoféře. Růst koncentrací CO_2 a dalších skleníkových plynů v atmosféře může vést ke globálním klimatickým změnám. Kromě stoupající koncentrace CO_2 a dalších skleníkových plynů mohou významně ovlivňovat podnebí i další antropogenní faktory, jako jsou např. antropogenní aerosoly (zejména sulfátové, nitrátové a minerální aerosoly). Klimatické změny jsou ovšem vyvolávány a významně ovlivňovány i přírodními faktory. Jak je podrobněji uvedeno v tomto sdělení, při prognózách klimatických změn je nutné brát v úvahu a věnovat pozornost i přírodním vlivům, zejména dějům vyvolávaných proměnlivou sluneční aktivitou a kolísající zářivostí Slunce i pochodům ovlivňujících atmosférickou a oceánickou cirkulaci. Utváření podnebí a případné budoucí klimatické změny jsou jevy velmi komplikované, ovlivňované mnoha faktory, z nichž mnohé jsou zatím málo známé, nedostatečně prozkoumané a osvětlené. Proto dříve, než se začnou vyslovovat definitivní závěry o budoucích klimatických změnách, je třeba vzít v úvahu četné nové poznatky o antropogenních i přírodních faktorech, které mají významný vliv na utváření podnebí.

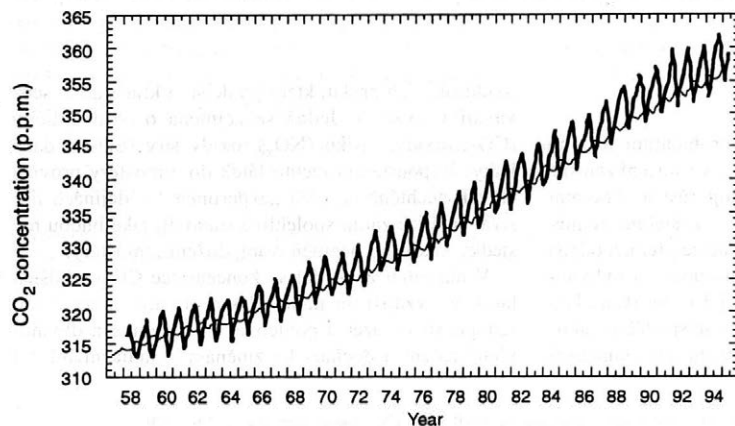
Růst porostů lesních dřevin může být značně ovlivňován měnícím se složením zemské atmosféry. Jak bylo předpověděno již dříve (Chalupa, 1974), stoupající koncentrace CO_2 v atmosféře a zvýšené depozice dusíku v lesních půdách mohou mít kladný vliv na růst porostů lesních dřevin. Vzhledem k tomu, že v lesním hospodářství je nutné pracovat s dlouhodobými perspektivami, zahrnujícími alespoň stoletou obmýtní dobu, je naléhavé získávat o probíhajících změnách nové vědecké poznatky a na základě jejich vyhodnocení z lesnického hlediska je třeba řídit a usměrňovat hospodaření v lesích.

ANTROPOGENNÍ OVLIVŇOVÁNÍ SLOŽENÍ ATMOSFÉRY A KLIMATICKÉ ZMĚNY

Zvyšující se hospodářská aktivita lidstva a rostoucí počet obyvatelstva způsobují, že vlivem spalování fo-

silních paliv značně vzrůstá koncentrace CO_2 v atmosféře. Jak vyplývá z dlouholetých pozorování koncentrací CO_2 v atmosféře, která probíhají od roku 1958 na observatoři Mauna Loa (Havaj, 20° N), na jižním pólu a na dalších místech, mají koncentrace CO_2 od počátku těchto pozorování vzestupný trend (Keeling et al., 1995, obr. 1). Z původní předindustriální koncentrace CO_2 270 ppm – 280 ppm se zvýšila koncentrace CO_2 v roce 1958 na 315 ppm a v roce 1996 na 360 ppm. V současné době dosáhlo zvýšení koncentrace CO_2 v atmosféře vzhledem k předindustriální úrovni již téměř 30 % a každoročně se nyní zvyšuje přibližně o 0,7 %. Během let 1958–1979 rostla koncentrace CO_2 v atmosféře vyrovnaným tempem, průměrně ke stoupajícím průmyslovým emisím. Po roce 1980 se nejprve koncentrace CO_2 v ovzduší zvyšovala více než se předpokládalo, a naopak po roce 1988 došlo ke zpomalení růstu koncentrace CO_2 v atmosféře. Tento neproporcionální vzrůst koncentrace CO_2 v atmosféře byl pravděpodobně způsoben hlavně variabilitou ročních globálních teplot.

Jak vyplynulo z dosud provedených pozorování, koncentrace CO_2 v atmosféře na severní polokouli během roku dosti kolísá; je vyšší v zimním období, kdy je fotosyntéza rostlin v této části světa nízká a kdy je respirací uvolňován do ovzduší CO_2 . Naopak v letním období, kdy u rostlinstva na severní polokouli probíhá intenzivní fotosyntéza, koncentrace CO_2 v atmosféře klesá (obr. 1). Roční amplituda je značná zejména ve vysokých zeměpisných šířkách severní polokoule, kde dosahuje 15–20 ppm (C. D. Keeling et al., 1996). Směrem k rovníku se amplituda koncentrace CO_2 v atmosféře snižuje a v oblasti rovníku dosahuje pouze asi 3 ppm vlivem malých rozdílů v sezonní aktivitě rostlin v těchto oblastech. Z rozboru amplitud koncentrace CO_2 v atmosféře vyplynulo, že jak v nižších zeměpisných šířkách severní polokoule (Mauna Loa, Havaj, 20° N), tak i ve vysokých zeměpisných šířkách severní polokoule (Point Barrow, Aljaška, 71° N) vzrostly mezi lety 1960–1994 relativní amplitudy podstatně, a to na Mauna Loa téměř o 20 % a na Point Barrow ještě více



1. Koncentrace a amplitudy atmosférického CO_2 zjištěné při pozorováních prováděných na observatoři Mauna Loa, Havaj (20° N, silná čára) a na jižním pólu (slabá čára, Keeling et al., 1995) – Concentration and amplitudes of atmospheric CO_2 at Mauna Loa Observatory (20° N, thick line) and at the South Pole (thin line)

– o 40 % (obr. 8a,b). Tyto velké změny v relativních amplitudách koncentrace CO_2 signalizují, že v uplynulých letech došlo k podstatnému zvýšení asimilace CO_2 u rostlinstva na severní polokouli, zejména u porostů lesních dřevin, které se rozkládají na velkých rozlohách. Zvýšené relativní amplitudy v koncentraci CO_2 v atmosféře a zvýšené přírůstky u rostlinstva na severní polokouli byly zřejmě způsobeny zejména stoupající teplotou ovzduší v tomto období (obr. 8a,b). Vzdušná teplota jak v nižších zeměpisných šířkách, tak ve vyšších zeměpisných šířkách (50–80° N) vykazovala desetiletý cyklus kolísání se vzestupným trendem zejména v období 1970–1990. Relativní amplitudy koncentrace CO_2 vykazují podobný trend a je zřejmá kladná korelace obou křivek. Se vzestupem vzdušných teplot souvisí i prodloužení vegetační doby přibližně o 7 dní v posledních letech pozorování. Kromě těchto faktorů se na značném zvýšení asimilace a přírůstků u rostlinstva, zejména u porostů lesních dřevin, podílela i podstatně zvýšená koncentrace CO_2 v atmosféře, která dosáhla nejvyšších hodnot za posledních sto tisíc let.

Na základě měření koncentrací izotopů $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ bylo zjištěno (Ciais et al., 1995), že zejména rostlinstvo rostoucí ve středních a vyšších zeměpisných šířkách severní polokoule (30–60° N) významně absorbuje a váže atmosférický CO_2 , a to ve velkých kvantech (3,5 Gt uhlíku ročně). V letech 1992 a 1993 přibližně polovina množství CO_2 produkovaného spalováním fosilních paliv byla absorbována zejména porosty lesních dřevin rostoucími na severní polokouli. Podle šetření R. F. Keelinga et al. (1996) oceány a rostlinstvo, zejména lesní porosty na severní polokouli, se podílely v letech 1991–1994 významně na absorpci fosilního CO_2 , a to přibližně stejným podílem, oceány 30 % a rostlinstvo rovněž 30 %.

Tropické deštné pralesy rostoucí v Jižní Americe mohou také poutat značné množství atmosférického CO_2 , nikoliv však (vlivem měnlivých vnějších podmínek) ve všech letech. Na základě měření prováděných v tropickém deštném pralese v Brazílii (10° S) v letech 1992 a 1993 zjistili Grace et al. (1995), že tento ekosystém absorboval více CO_2 , než bylo respirací uvolňováno, a to bez ohledu na roční období. Vzhledem k velké rozloze tropických lesů je významné, že tyto ekosystémy mohou rovněž přispívat k poutání atmosférického CO_2 .

Pozorování provedená v lesních porostech na severní polokouli naznačují, že poutání atmosférického uhlíku biosférou se meziročně může lišit i o více než 1 Gt uhlíku ročně vlivem proměnlivého průběhu povětrnosti v různých letech (Goulden et al., 1996). Celková bilance uhlíku v lesích Nové Anglie (USA) kolísala v různých letech v závislosti na průběhu povětrnosti v běžném roce. Během pětiletého pozorování byla zjištěna velká kladná bilance uhlíku v roce 1991, a to vlivem značně zvýšené fotosyntézy v tomto roce, zatímco v roce 1995 byla kladná bilance uhlíku způsobena sníženou respirací.

Z dosud provedených šetření vyplývá, že lesní ekosystémy značně ovlivňují koncentraci CO_2 v atmosféře a jsou důležitými rostlinnými společenstvy, která mají významný modifikující vliv na koloběh uhlíku v přírodě. Vzhledem k jejich velkým plošným rozloham a se zřetelem na jejich dlouhověkost lesní porosty podstatně přispívají k poutání atmosférického CO_2 a omezují rychlé zvyšování jeho koncentrace v atmosféře.

Stoupající koncentrace CO_2 a dalších skleníkových plynů v atmosféře zvyšují tzv. skleníkový efekt v důsledku absorpce infračerveného záření molekulami těchto plynů. Lze očekávat, že další zvyšování koncentrace CO_2 v atmosféře může vyvolat globální oteplování. V posledních letech byly použity různé klimatické modely pro výpočet předpokládaných podnebních změn. Podle dosavadních znalostí lze rovnovážnou reakci teploty na zdvojnásobení obsahu CO_2 v atmosféře s největší pravděpodobností očekávat v intervalu 1,5 až 4,5 °C (3 ± 1,5 °C). Porovnáme-li modelované zvyšování teplot s pozorovanými hodnotami, zjišťujeme však, že vypočtené hodnoty často neodpovídají pozorovaným hodnotám. Jak bylo uvedeno v úvodu, na utváření klimatu má vliv mnoho faktorů. Poznatky získané v posledních několika letech naznačují, že k faktorům, které mohou mít významný vliv na radiční bilanci Země, patří i dosud opomíjené antropogenní aerosoly.

Při spalování fosilních paliv jsou do ovzduší kromě CO_2 vypouštěny i další látky, z nichž v atmosféře vznikají antropogenní aerosoly, mající značný vliv na radiční bilanci Země (Charlson et al., 1992; Langner et al., 1992; Kiehl, Briegleb, 1993; Kaufman, Tanré, 1994; Taylor, Penner, 1994, aj.). Z antropogenních aerosolů je prozatím nejvíce prozkoumán vliv sulfátových aerosolů, které vznikají v atmosféře chemickými reakcemi z molekul SO_2 . Antropogenní sulfátové aerosoly setrvávají v atmosféře jen několik dnů (většinou 5–14 dnů). Kromě antropogenních sulfátových aerosolů se v ovzduší vyskytují i přírodní sulfátové aerosoly, jejichž množství uvolňované do ovzduší je poměrně konstantní. Přírodní sulfátové aerosoly vznikají hlavně činností mořského fytoplanktonu, který uvolňuje do atmosféry dimetylsulfid ($(\text{CH}_3)_2\text{S}$). Kromě toho se přírodní sulfátové aerosoly dostávají do ovzduší při sopečných erupcích, kdy značná množství SO_2 jsou emitována mnohdy až do stratosféry, kde aerosoly setrvávají i déle než rok a způsobují dočasné snížení globální teploty. Sulfátové aerosoly jsou tvořeny částicemi o průměru 0,1–1 mikron. Množství antropogenních sulfátových aerosolů v ovzduší se v uplynulých desetiletích značně zvýšilo vlivem stoupajícího spalování fosilních paliv a v současné době několikrát (4–5krát) převyšuje množství přírodních sulfátových aerosolů. Sulfátové aerosoly ovlivňují radiční bilanci Země jednak přímo – rozptylováním a odrážením slunečního záření, jednak nepřímo, neboť slouží jako kondenzační jádra pro vytváření vodních kapiček. Při velkém množství aerosolů se vytvářejí oblaka složená z kapiček o malém průměru, takže jejich odrážecí

schopnost je větší. Zvýšená koncentrace aerosolových částic v oblacích způsobuje i delší setrvávání oblaků v ovzduší. Efekt zvýšeného albeda oblaků může být značný, jeho hodnota však zatím není zjištěna.

Ochlazující účinek aerosolů v globálním měřítku je významný, existuje však zatím značná nejistota při jeho kvantifikování. Současný vzestup koncentrace CO_2 v atmosféře má za následek zvýšení tepelné bilance Země přibližně o $1,5 \text{ W.m}^{-2}$, a jestliže vezmeme v úvahu i vzestup ostatních skleníkových plynů, představuje zvýšení tepelné bilance Země skleníkovými plyny přibližně $2,5 \text{ W.m}^{-2}$. Ochlazující účinek antropogenních sulfátových aerosolů spolu s ochlazujícím účinkem organických aerosolů vznikajících při spalování biomasy je odhadován na $0,7\text{--}1,5 \text{ W.m}^{-2}$. Nejistota celkového efektu antropogenních aerosolů na tepelnou bilanci Země je značná. Je rovněž třeba vzít v úvahu, že vliv aerosolů je časově i prostorově značně variabilní. Vzhledem ke krátké době setrvávání sulfátových aerosolů v ovzduší vyskytují se antropogenní sulfátové aerosoly hlavně nad průmyslovými oblastmi severní polokoule, kde je emitováno 90 % SO_2 , zatímco na jižní polokouli pouze 10 %. Severní polokoule je proto ochlazována podstatně více než jižní polokoule. Ochlazující vliv aerosolů je v regionálním měřítku velmi rozdílný. Na značné části jižní polokoule je jejich efekt velmi malý, zatímco v některých oblastech severní polokoule se jejich ochlazující efekt blíží 2 W.m^{-2} a v některých oblastech může dosáhnout i vyšších hodnot. Výpočty naznačují, že současné koncentrace antropogenních aerosolů mohou v některých obdobích ve východních oblastech USA způsobit ochlazující efekt až 5 W.m^{-2} , ve východních oblastech Číny a ve střední Evropě až $7\text{--}10 \text{ W.m}^{-2}$.

Kromě sulfátových aerosolů ovlivňují tepelnou bilanci i kouřové zplodiny, vznikající při spalování biomasy, zejména při úmyslně založených či přirozených požárech lesů, kdy aerosolové částice jsou tvořeny organickými látkami. Největší množství aerosolů vznikajících při spalování biomasy je v současné době produkováno v tropických a subtropických oblastech při úmyslném vypalování lesních porostů a savan za účelem získání nové půdy pro zemědělské účely. Je odhadováno, že vlivem úmyslného spalování biomasy se v současné době produkuje desetkrát více organických aerosolů, než vzniká při přírodních požárech.

V posledních letech je věnována pozornost i vlivu minerálních aerosolů vznikajících z půd narušených lidskou aktivitou (Li et al., 1996; Tegen et al., 1996; Sokolik, Toon, 1996). Nadměrné uvolňování minerálních aerosolů je způsobeno rozrušováním a desertifikací půd, zejména vlivem odlesňování a přeměnou lesních půd na zemědělské, větrnou erozí zemědělských půd v sušších oblastech, rozšiřující se pastvou dobytka, povrchovým dobýváním nerostů, používáním motorových vozidel mimo silnice aj. Odhaduje se, že v minulých letech bylo desertifikováno lidskou činností 10 až 16 milionů km^2 půd. V současné době je asi třetina půd zdrojem minerálních aerosolů. Největšími zdroji pra-

chových minerálních částic jsou rozsáhlé pouštní oblasti (Sahara, Gobi, pouštní oblasti Arabského poloostrova, Indie a Austrálie). Minerální aerosoly jsou v ovzduší někdy unášeny až na vzdálenosti několika tisíc kilometrů. Měření provedená pomocí satelitů ukazují, že v posledním desetiletí značně stouplо množství prachových částic transportovaných na delší vzdálenosti. Existují i domněnky, že stovky milionů tun prachu, které spadnou do oceánů, mohou stimulovat růst planktonu (vlivem obsahu železa a dalších minerálních látek), který je zdrojem přírodních sulfátových aerosolů.

Vliv minerálních aerosolů na radiční bilanci Země je komplexní a je závislý na jejich rozměrech a složení. Minerální aerosoly mohou mít jak ochlazující efekt (odrážejí sluneční záření), tak i oteplovací účinky (absorbují sluneční a infračervené záření). Tyto aerosoly mohou významně ovlivňovat radiční bilanci Země a je třeba s jejich vlivy počítat. V regionálním měřítku mohou mít minerální aerosoly stejné, nebo i větší účinky než sulfátové aerosoly.

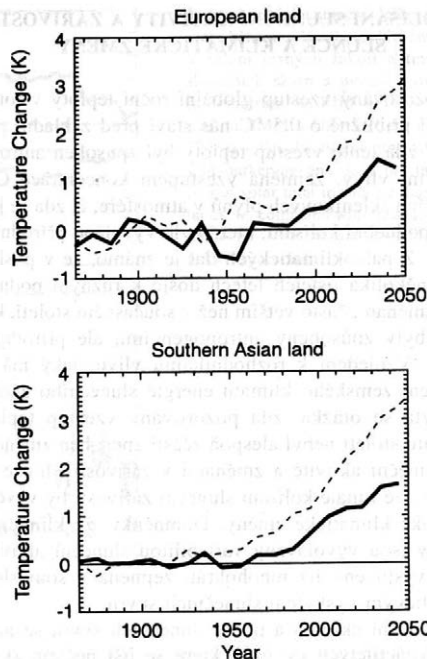
Prognóza budoucích klimatických změn, předpokládaných vzhledem ke stále stoupající koncentraci CO_2 a dalších skleníkových plynů v atmosféře, je problémem velmi složitým. O budoucích klimatických změnách se hlavně usuzuje na základě scénářů, založených na modelování klimatu. Pomocí klimatických modelů je možné charakterizovat současné klima a vypočítat možné budoucí klimatické změny vyvolané vnějšími faktory. Klimatické modely by měly vycházet z prostorového popisu atmosférických a oceánických dějů a jejich časových změn a měly by být schopny zahrnout interakci mezi atmosférou i oceány, dynamické změny ledu i sněhu v polárních oblastech, vývoj a změny oblačných systémů, vlivy biosféry aj. Takové modely jsou však prozatím neuskutečnitelné pro svou složitost a náročnost. Obecně se používá jednodušších globálních cirkulačních modelů (GCM). Klimatické modely lze sestavit buď pro časově závislý kontinuální vzestup CO_2 (tzv. přechodové studie), nebo pro časově nezávislé zvýšení koncentrace CO_2 (tzv. rovnovážné studie). U rovnovážných studií se nepočítá se zpožděním odezvy systému, způsobeným velkou tepelnou kapacitou oceánů. V současné době se k prognóze vývoje klimatických změn používají hlavně rovnovážné klimatické modely, vypracované v několika světových centrech, např. v Canadian Climate Centre (CCC), Geophysical Fluids Dynamics Laboratory (GFDL), Goddard Institute of Space Studies (GISS) aj. Podle dosavadních odhadů lze rovnovážnou reakci teploty na zdvojnásobení koncentrace CO_2 v atmosféře s největší pravděpodobností očekávat v intervalu $1,5\text{--}4,5^\circ\text{C}$. Většina scénářů předpokládá postupný růst koncentrací CO_2 v atmosféře a shodují se v tom, že pokud nebudou přijata účinná opatření, dojde ke zdvojnásobení původní koncentrace CO_2 během příštího století.

Pro území České republiky vypracovala scénář změny klimatu Kalová et al. (1995). K vytvoření scénáře byly použity modely GISS a CCCM, které ze čtyř poskytnutých modelů relativně nejlépe vystihovaly kli-

matické poměry v České republice. Oba modely jsou značně odlišné svou konstrukcí. Podle modelu CCCM lze očekávat globální změnu teploty (pro dvojnásobnou efektivní koncentraci CO_2) $+3,5^\circ\text{C}$, model GISS uvádí $+4,2^\circ\text{C}$. Globální změna srážek činí u modelu CCCM $+3,8\%$, u modelu GISS $+11\%$, přičemž podle modelu CCCM lze očekávat zvýšení zimních srážek asi o 5% , zatímco v letním období je očekáván jejich pokles (až o 15%). Výpočty byly provedeny tak, že se zdvojnásobením efektivní koncentrace CO_2 v atmosféře se počítá v roce 2075. Podle modelu GISS by průměrné měsíční teploty při dvojnásobné efektivní koncentraci CO_2 dosáhly v České republice velkých změn: průměrná teplota ledna by měla být o $6,2^\circ\text{C}$ vyšší, dubna o 4°C , srpna o $2,7^\circ\text{C}$, listopadu o $5,0^\circ\text{C}$ vyšší než je hodnota původního teplotního průměru. Úhrny měsíčních srážek by podle modelu GISS měly být ve všech měsících vyšší, než jsou původní úhrny srážek. Naopak podle modelu CCCM by teplotní změny v České republice neměly být tak vysoké (průměrná teplota ledna by měla být o $3,3^\circ\text{C}$ vyšší, dubna o $2,4^\circ\text{C}$, srpna o $2,8^\circ\text{C}$ a listopadu o $3,3^\circ\text{C}$ vyšší), avšak úhrny srážek v měsících březnu, květnu, červnu, červenci a září by měly být nižší, než jsou původní srážkové úhrny.

Pomocí globálních cirkulačních modelů (GCM) jsou simulovány teplotní změny způsobené stoupajícími koncentracemi skleníkových plynů, nejsou však v nich mnohdy začleněny vlivy měnících se koncentrací antropogenních sulfátových aerosolů. Hodnoty teplot a srážek vypočtené pomocí těchto modelů jsou mnohdy odchýlné od pozorovaných hodnot a vypočtené teploty jsou často vyšší než pozorované (Mitchell et al., 1995). Nedávno tuto autoři publikovali výsledky modelování budoucích teplotních změn, kde kromě obvykle používaných změn v koncentraci skleníkových plynů byly do globálního cirkulačního modelu (GCM) začleněny i vlivy sulfátových aerosolů. Prognóza budoucích vzdušných teplot se po začlenění vlivu sulfátových aerosolů podstatně změnila, a to jak pro evropské země, tak i pro jiné oblasti (obr. 2). Teploty – po začlenění sulfátových aerosolů do modelu – by dosáhly v roce 2050 značně nižších hodnot, než jestliže se v modelech uplatňoval pouze vliv stoupajících koncentrací skleníkových plynů. Rovněž prognóza budoucích srážek je při uplatnění vlivu sulfátových aerosolů odchýlná.

Pro spolehlivé prognózy klimatických změn pomocí globálních cirkulačních modelů (GCM) jsou důležité údaje o odrazu a absorpci slunečního záření při průchodu atmosférou. Vliv oblačnosti na absorpci slunečního záření a na radiační bilanci není dosud dostatečně objasněn a v klimatických modelech představuje jeden z hlavních zdrojů nejistot. Zvýšení celkové oblačnosti, nepřehlídíme-li k typu oblačnosti, by mělo mít ochlazující efekt. Znáčná nejistota existuje v tom, jaká část slunečního záření při průchodu atmosférou je absorbována oblaky a atmosférou. Energie toku slunečního záření dopadající na horní hranici atmosféry činí průměrně $342\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, z toho přibližně 30% ($102\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$) je odraženo zpět do vesmírného prostoru. Zbytek ($240\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$)



2. Modelované změny průměrných vzdušných teplot do roku 2050 v oblasti Evropy a Jižní Asie (vzhledem k teplotnímu průměru z let 1880–1920). Přerušovaná čára: model zahrnující efekt vzrůstající koncentrace skleníkových plynů. Plná čára: model zahrnující efekt vzrůstající koncentrace skleníkových plynů a efekt sulfátových aerosolů (Mitchell et al., 1995) – Changes in area-average decadal mean temperature over European land and Southern Asian land (relative to the 1880–1920 mean). Dashed line: Experiment in which the effect of increased concentration of greenhouse gases was represented. Solid line: Experiment in which both greenhouse gases and sulphate aerosols were represented

je absorbován atmosférou a zemským povrchem. Množství energie absorbované atmosférou, případně zemským povrchem není zatím dostatečně přesně určeno, i když tyto hodnoty mají velký význam pro procesy atmosférické cirkulace a pro výsledné teplotní a srážkové poměry. Při nedávno provedených měřeních byly pozorovány dosti značné rozdíly mezi hodnotami zjištěnými při venkovních měřeních a hodnotami používanými v klimatických modelech (Cess et al., 1995; Ramanathan et al., 1995; Pilewskie, Valero, 1995; Arking, 1996). Při měřeních bylo zjištěno, že v oblačné atmosféře je absorbováno i o $25\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ více, než je předpokládáno v modelech, což by znamenalo značné snížení množství energie dopadající na zemský povrch. Získané výsledky naznačují, že dosavadní hodnoty používané v klimatických modelech podhodnocují množství sluneční energie absorbované v atmosféře přibližně o $25\text{--}30\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (Arking, 1996). Jestliže je skutečně atmosférou a oblaky pohlcováno tak velké množství sluneční energie a zemským povrchem naopak méně, bude třeba tyto hodnoty začlenit do klimatických modelů.

Pozorovaný vzestup globální roční teploty v tomto století přibližně o 0,5 °C nás staví před základní problém, zda tento vzestup teploty byl způsoben antropogenní vlivy, zejména vzestupem koncentrace CO₂ a dalších skleníkových plynů v atmosféře, či zda se jedná o podnební kolísání, které bylo vyvoláno přírodními vlivy. Z paleoklimatických dat je známo, že v posledních několika tisících letech došlo k různým podnebním změnám, často větším než v současném století, které nebyly způsobeny antropogenními, ale přírodními vlivy. Vzhledem k rozhodujícímu vlivu, jaký má na utváření zemského klimatu energie slunečního záření, naskytá se otázka, zda pozorovaný vzestup teploty v tomto století nebyl alespoň zčásti způsoben změnami ve sluneční aktivitě a změnami v zářivosti Slunce. Je známo, že i malé kolísání sluneční zářivosti by vyvolalo velké klimatické změny. Domněnky, že klimatické změny jsou vyvolávány variabilitou sluneční aktivity, byly vysloveny již mnohokrát, zejména v souvislosti s cyklickým výskytem slunečních skvrn.

Sluneční aktivita a počet slunečních skvrn se mění v jedenáctiletých cyklech, které se liší počtem skvrn viditelných na slunečním disku a délkou trvání cyklu. Trvání slunečního cyklu může kolísat v rozmezí od 7 do 15 let s průměrnou délkou trvání cyklu 11,2 roku. Různé cykly se vyznačují odlišnou sluneční aktivitou, kdy relativní číslo skvrn v maximu může činit u některých cyklů pouze 40, u jiných cyklů více než 150. Kromě jedenáctiletých cyklů existují i dlouhodobé cykly, např. sekulární cyklus 80–90letý (tzv. Gleissbergův cyklus). Na základě pozorování sluneční aktivity v uplynulých čtyřech stoletích lze soudit, že u Slunce se střídají (v delších časových intervalech) období vysoké sluneční aktivity, vyznačující se výskytem četných slunečních skvrn, s obdobími velmi nízké aktivity, kdy se nevyskytují sluneční skvrny, jak tomu bylo např. v době tzv. Maunderova minima (v letech 1645–1715). Na základě nově shromážděných více než 349 000 pozorování byly rekonstruovány údaje o počtu slunečních skvrn vyskytujících se na slunečním disku v období od roku 1610 do roku 1993 (Hoyt et al., 1994). Ze shromážděných výsledků vyplývá celkový vzestupný trend sluneční aktivity od Maunderova minima (1645–1715) až do dnešní doby s výjimkou většího poklesu sluneční aktivity během tzv. Daltonova minima (1795–1823).

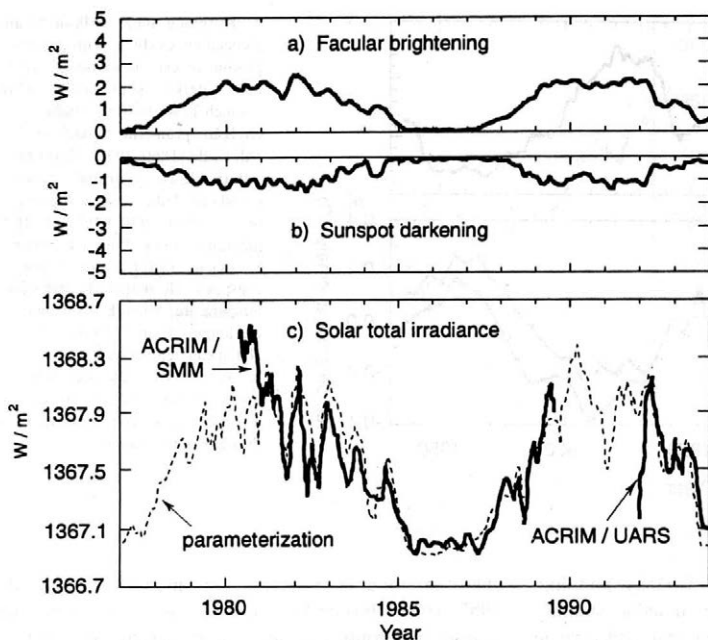
Všechny jevy sluneční aktivity ve sluneční fotosféře (sluneční skvrny, fakulová pole aj.) jsou projevem pohybů sluneční plazmy různých rozměrů a teploty v silných magnetických polích. Sluneční skvrny představují chladnější místa ve sluneční fotosféře. Jak bylo zjištěno pomocí nové pozorovací techniky tzv. helioseismické tomografie (Duvall et al., 1996), která umožňuje pozorování jevů i pod slunečním povrchem, představují sluneční skvrny rozsáhlé aktivní oblasti s velmi silným magnetickým polem, kde probíhají intenzivní rychlá

vertikální proudění směřující do velkých hloubek pod povrchem skvrn.

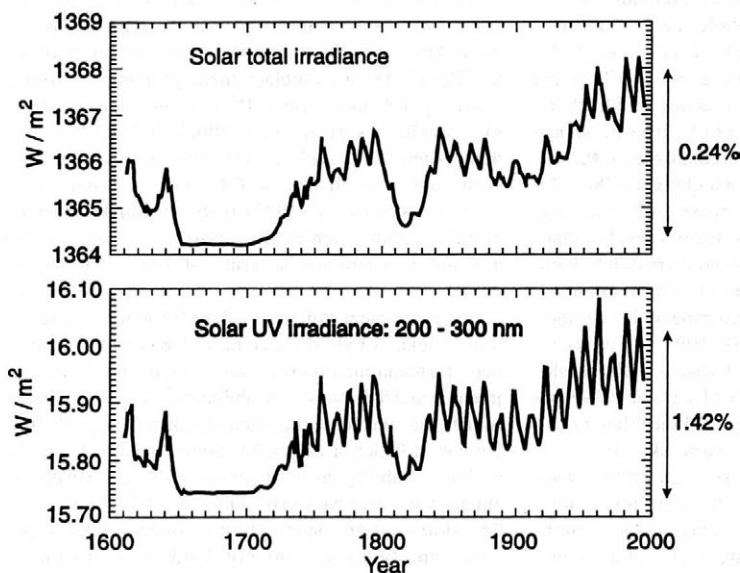
Jedenáctiletý cyklus sluneční aktivity ovlivňuje celkovou zářivost Slunce, jak lze pozorovat i u jiných hvězd (Baliunas, Jastrow 1990; Radick et al., 1990; Lockwood et al., 1992). Magnetická aktivita hvězd podobných Slunci závisí na jejich věku, hmotnosti a rychlosti otáčení. Mladé, rychle rotující hvězdy vykazují velkou aktivitu, která nepravidelně kolísá, zatímco starší, pomaleji se otáčející hvězdy, podobající se našemu Slunci, mají nižší aktivitu, která často kolísá v pravidelných cyklech, trvajících od několika let do několika desítek let. Tyto hvězdy vykazují i další podobnosti se Sluncem – jejich jasnost se zvyšuje se zvětšováním jejich magnetické aktivity, jako je tomu u Slunce. Baliunas, Jastrow (1990) a Lockwood et al. (1992) uvádějí, že u některých hvězd podobných Slunci se mohou vyskytovat i větší cyklická kolísání v jejich zářivosti, než bylo dosud pozorováno u Slunce. Variabilita zářivosti u některých hvězd podobných Slunci byla i několikanásobně vyšší než u Slunce, a kolísala během cyklu o 0,4–0,6 %.

Zatímco sluneční skvrny jsou sledovány již po několik století, znalosti o variabilitě zářivosti Slunce byly až do nedávné doby neuspokojivé, neboť měření prováděná na zemském povrchu neposkytovala přesné výsledky. Teprve na základě měření provedených v posledních 15 letech pomocí satelitů (Willson, Hudson, 1988, 1991; Lee III et al., 1995) byly získány dostatečně přesné údaje o hodnotách celkové sluneční zářivosti (total solar irradiance, dříve tzv. sluneční konstanta, nový termín „sluneční zářivost“ navrhl Krivský, 1990). Sluneční zářivost během jedenáctiletého cyklu kolísá, neboť jasné fakule a tmavší sluneční skvrny modulují zářivost Slunce. Měření provedená v posledních letech pomocí satelitů přinesla důležité poznatky, že v době výskytu velkého počtu skvrn převyšuje zvýšené záření jasných fakul deficit záření tmavších slunečních skvrn, takže hodnota celkové zářivosti Slunce se v této době zvyšuje (Lean et al., 1995a, obr. 3). Z výsledků měření na satelitech vyplynulo, že celková zářivost Slunce je největší v době výskytu četných slunečních skvrn. Průměrná hodnota celkové sluneční zářivosti zjištěná pomocí přístroje ACRIM umístěném na satelitu SMM byla v letech 1980–1986 1 367,5 W.m⁻², přičemž během jedenáctiletého cyklu v době maxima dosahovaly hodnoty zářivosti přibližně 1 368 W.m⁻², v době minima přibližně 1 367 W.m⁻² (obr. 3). Při měřeních celkové sluneční zářivosti provedených na dalších satelitech (ERBS, UARS, ATLAS) byly zjištěny podobné údaje. Celková sluneční zářivost během současného slunečního cyklu 22 by měla dosáhnout minima v roce 1997 a potom v rámci příštího slunečního cyklu 23 by měla zářivost opět vzrůstat k maximálním hodnotám, kterých bude dosaženo kolem roku 2000 (Lee III et al., 1995).

Z dosavadních měření provedených pomocí satelitů vyplynulo, že kolísání celkové zářivosti Slunce v rámci



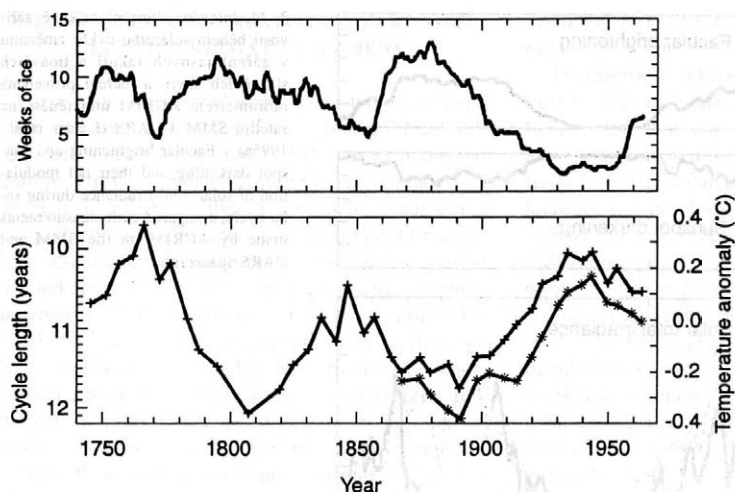
3. Modulování sluneční celkové zářivosti během solárního cyklu změnami v záření jasných fakul a tmavších slunečních skvrn a měření provedená radiometrem ACRIM umístěným na satelitu SMM a UARS (Lean et al., 1995a) – Facular brightening and sunspot darkening and their net modulation of solar total irradiance during solar cycle, compared with measurements made by ACRIM on the SMM and UARS spacecraft



4. Hodnoty rekonstruované sluneční celkové zářivosti a sluneční UV zářivosti od roku 1610 do dnešní doby (Lean et al., 1995a) – Values of reconstructed solar total irradiance and solar UV irradiance from 1610 to the present

jedenáctiletého cyklu je velmi malé, přibližně pouze $1,2-1,3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, tj. necelá 0,1 %. Byla však zjištěna značně odchylná variabilita u paprsků různých vlnových délek spektra, přičemž nejvíce variabilní bylo zejména ultrafialové záření a záření velmi krátkých vlnových délek. Záření vlnových délek kratších než 300 nm se podílelo pouze 1 % na celkové sluneční zářivosti, ale přispívalo 20 % k celkové pozorované variabilitě (Lean, 1989; Lean et al., 1995a).

Zjištění variability zářivosti Slunce během dlouhých časových období, během několika minulých století, případně tisíciletí, je velmi důležité pro poznání vlivu měnlivosti sluneční zářivosti na podnební změny. Kolísání hodnot sluneční zářivosti během posledních čtyř století bylo nedávno vypočteno (Lean et al., 1995a) jednak na základě údajů shromážděných o kolísání sluneční aktivity v minulých stoletích, jednak pomocí nedávno zjištěných poznatků o zářivosti hvězd, které se



5. Korelace mezi délkou trvání slunečních cyklů a průměrnou teplotou severní polokoule: vyrovnané délky slunečních cyklů v letech 1740–1970 ve vztahu k odchylkám průměrné teploty severní polokoule (1860–1970). Horní graf: 22letý klouzavý průměr výskytu mořského ledu v okolí Islandu v letech 1740–1970 během letních měsíců (Friis-Christensen, Lassen, 1991) – Correlation of sunspot cycle lengths to NH mean temperature: Smoothed sunspot cycle lengths from 1740 to 1970 and NH mean temperature (from 1860 to 1970). Top: 22-year running mean of the amount of sea ice around Iceland from 1740 to 1970 during summer months

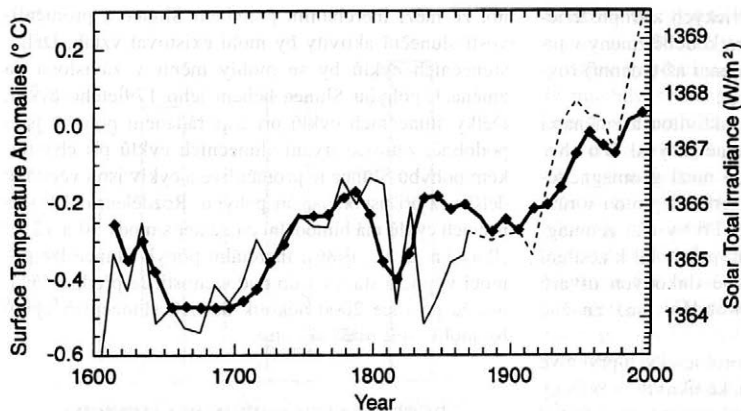
svými parametry podobají Slunci. Hvězdy podobné Slunci lze rozdělit do dvou skupin: u jedné skupiny hvězd se vyskytuje cyklická aktivita podobně jako je tomu v současné době u Slunce, zatímco druhá skupina hvězd nevykazuje cyklickou aktivitu, podobně jako tomu bylo u Slunce před třemi stoletími, v době tzv. Maunderova minima (Baliunas, Jastrow, 1990; Lockwood et al., 1992; White et al., 1992). Na základě srovnání záření Slunce a těchto necyklických hvězd vyplynulo, že hodnota celkové zářivosti Slunce v době Maunderova minima byla redukována o 0,24 % vzhledem k současným hodnotám a u ultrafialového záření (200–300 nm) dosahovala tato změna 1,42 % (Lean et al., 1995a,b, obr. 4). Průběh rekonstruovaných hodnot celkové sluneční zářivosti za poslední čtyři století dobře souhlasí s údaji o průběhu solární aktivity v minulých stoletích odvozených z hodnot kosmogenních izotopů ^{10}Be a ^{14}C (Beer et al., 1990, 1994; Stuiver, Braziunas, 1993). Podobné kolísání celkové sluneční zářivosti uvádějí Hoyt, Schatten (1993) na základě zhodnocení údajů o délce slunečního cyklu, rychlosti jeho rozpadu a hodnot solární aktivity.

Sluneční aktivita dosahuje v současné době vysokých hodnot, jak naznačuje srovnání s aktivitou G-typu hvězd a jak i vyplývá z údajů získaných o koncentracích ^{10}Be v ledovcových vývrtech (Beer et al., 1990, 1994). Údaje o koncentracích kosmogenního izotopu ^{10}Be naznačují, že současná sluneční aktivita se vyznačuje vysokými hodnotami, srovnatelnými např. s hodnotami zjištěnými pro období klimatického optima ve 12. století, a je blízká maximálním hodnotám, zaznamenaným během celého uplynulého tisíciletí.

Při zkoumání příčin podnebních změn, ke kterým došlo v minulosti, se často věnovala pozornost kolísání sluneční aktivity a byly zjišťovány korelace mezi cyklickým kolísáním sluneční aktivity a klimatickými jevy. V nedávných letech byl např. zjištěn úzký vztah mezi teplotami povrchových vrstev moří a solární aktivitou

charakterizovanou počtem slunečních skvrn (Reid, 1987, 1991). Úzkou korelaci mezi průběhem teplot na severní polokouli a sluneční aktivitou zjistili Friis-Christensen, Lassen (1991), když jako indikátor sluneční aktivity použili délku trvání slunečního cyklu (při vysoké sluneční aktivitě je délka slunečního cyklu kratší, při nižší aktivitě trvají sluneční cykly déle). Zjistili těsnou korelaci mezi průměrnou teplotou severní polokoule v letech 1861–1989 a délkou slunečního cyklu, i korelaci mezi dlouhodobým kolísáním délky slunečního cyklu (1740–1989) a výskytem mořského ledu v okolí Islandu (obr. 5). Lassen, Friis-Christensen (1995) zjistili rovněž korelaci mezi délkou slunečních cyklů v posledních pěti stoletích a průměrnou teplotou severní polokoule v tomto období.

Korelace mezi kolísáním sluneční aktivity a teplotními změnami byly donedávna zatíženy skutečností, že nebyla známa měnlivost celkové sluneční zářivosti, zejména v delších časových obdobích. Na základě pozorování shromážděných o sluneční aktivitě v posledních čtyřech stoletích a za použití údajů získaných z porovnání variability zářivosti hvězd byly rekonstruovány změny v celkové zářivosti Slunce za období posledních čtyř století a tyto údaje byly porovnány s údaji o průběhu teploty na severní polokouli v tomto období (Lean et al., 1995a, obr. 6). Tato epocha zahrnuje období Maunderova minima (1645–1715) vyznačující se nízkými hodnotami zářivosti Slunce. Sluneční zářivost později vzrůstala až k současným vysokým hodnotám, které představují moderní maximum. Z porovnání průběhu sluneční zářivosti a průběhu teploty vyplývá úzká korelace mezi oběma křivkami. Korelační koeficient pro roky 1610–1800 dosáhl hodnoty 0,86, pro roky 1800–2000 byl 0,75. Mezi roky 1610–1800, v době, kdy průmyslové emise ještě neovlivňovaly zemské klima, lze 74 % teplotní variability přičítat vlivu změn ve sluneční zářivosti, od roku 1800 do současné doby



6. Desetileté průměry rekonstruované celkové zářivosti Slunce od roku 1610 do dnešní doby (plná silná čára) a jejich porovnání s odchylkami teploty severní polokoule (plná slabá čára: anomálie letních teplot, přerušovaná slabá čára: anomálie ročních teplot, Lean et al., 1995a) – Decadally averaged values of reconstructed solar total irradiance (solid thick line) and NH temperature anomalies from 1610 to the present (solid thin line: NH summer temperature anomalies; dashed thin line: NH annual temperature anomalies)

56 %. Rovněž Hoyt, Schatten (1993) a Crowley, Kim (1996) zjistili významné korelace mezi sluneční aktivitou a průběhem teplot během delších časových období.

Z uvedených výsledků vyplývá, že zvýšení teploty o 0,5 °C od počátku tohoto století do dnešní doby mohlo být do značné míry způsobeno stoupající sluneční aktivitou v tomto období, neboť sluneční aktivita a celková zářivost Slunce má od roku 1900 do dnešní doby vzestupný trend.

Pochybnosti o ovlivňování klimatu vlivem kolísající sluneční aktivity vyplývají z dosud málo objasněné fyzikální podstaty tohoto jevu. Zjištěné změny v celkové sluneční zářivosti během jedenáctiletého cyklu jsou malé. Při amplitudě 0,1 % dochází k ovlivňování atmosféry a zemského povrchu změnami řádu 0,2 W·m⁻² a není objasněno, jak takovéto malé kolísání může výrazněji ovlivňovat zemské klima. Vzhledem k tomu, že teplotní bilance Země je podle dosavadních teorií a výpočtů výrazně více ovlivňována stoupající koncentrací skleníkových plynů (v současné době 2,5 W·m⁻²) než změnami ve sluneční zářivosti, uplatňuje se při modelování budoucích klimatických změn pomocí globálních cirkulačních modelů především vliv stoupajících koncentrací skleníkových plynů, jak vyplývá z publikovaných výpočtů (Kelly, Wigley, 1992; Schlesinger, Ramankutty, 1992). Má-li se výrazněji uplatnit vliv kolísající sluneční aktivity a malých změn v hodnotách sluneční zářivosti na zemské klima, je zapotřebí uvažovat o znásobování těchto malých změn pochody, které zatím nejsou dostatečně objasněny. Při hledání vztahu mezi cyklickými změnami sluneční zářivosti a podnebním kolísáním je třeba vzít v úvahu skutečnost, že hodnoty variability záření se značně mění s vlnovou délkou záření, přičemž největší variabilita se vyskytuje u krátkovlnného záření. Záření kratší než 400 nm se podílí pouze 9 % na celkové zářivosti, avšak 32 % na variabilitě zářivosti. Krátkovlnné záření je pohlcováno ve vysokých vrstvách atmosféry, zejména ve stratosféře a mezosféře.

V souvislosti s cyklickou sluneční aktivitou dosahuje ultrafialové záření vysokých hodnot při maximu slu-

neční aktivity během jedenáctiletého cyklu. Zvětšené intenzity ultrafialového záření vedou ke zvýšení stratosférického ozonu o 1–2 %. Tento stratosférický ozon absorbuje více záření a dochází k oteplování stratosféry, které způsobuje pozměňování drah stratosférického proudění. Van Loon, Labitzke (1994) na základě rozboru 37letých pozorování zjistili významné 10–12leté atmosférické oscilace, při kterých existovala úzká korelace mezi solární aktivitou a tlakovými změnami na severní polokouli, kterými lze vysvětlit značnou část pozorované klimatické variability. Významem stratosférického ozonu pro klimatické změny modulované solární variabilitou se v posledních letech zabývala Haigh (1994, 1996). Pomocí globálního cirkulačního modelu simulovala změny ve sluneční zářivosti a ve stratosférickém ozonu, které vedly k troposférickým změnám. Bylo zjištěno, že v době slunečního maxima stratosférické oteplení vyvolalo změny a posuny v drahách troposférické cirkulace, které vedly k teplotním změnám. Modelované změny se blížily pozorovaným přírodním změnám.

K objasnění zjištěných korelací mezi kolísající sluneční aktivitou a klimatem jsou hledány i další fyzikální vztahy a mechanismy. K osvětlení vztahů mezi solární aktivitou a povětrností mohou přispět zjištěné vztahy mezi tokem kosmického záření a oblačností. Tok kosmického záření, skládající se z velmi rychlých, elektricky nabitých částic, zejména protonů a jader helia, je negativně korelován se sluneční aktivitou. Pudovkin, Veretenenko (1995) zjistili, že poklesy oblačnosti, následující po Forbushových poklesech kosmického záření, byly nejvíce patrné v pásmu vyšších zeměpisných šířek (60–64°). Svensmark, Friis-Christensen (1996) zkoumali změny v globální oblačnosti během slunečního cyklu na základě údajů získaných ze satelitu. Zjistili, že globální oblačnost během slunečního cyklu vykazovala měnlivost 3–4 %. Globální oblačnost byla těsně korelována s tokem kosmického záření a se sluneční aktivitou. Tento efekt byl výraznější ve vyšších zeměpisných šířkách. Pozorované systematické kolísání globální oblačnosti může ovlivnit solární radiaci a může přispět k vytváření

cyklických 10–12letých stratosférických a troposférických oscilací. Bylo zjištěno, že krátkodobé změny v intenzitě toku kosmického záření (denní až týdenní) rovněž ovlivňovaly globální oblačnost.

Vztahy mezi geomagnetickou aktivitou a změnami v atmosférické cirkulaci se podrobně zabýval Bucha (1991). Zjistil významné korelace mezi geomagnetickou aktivitou, atmosférickým tlakem a teplotou v různých oblastech severní polokoule. Při vysoké geomagnetické aktivitě dochází na severní polokouli k zesílení tryskového proudění, k přestavbě tlakových útvarů a k větší intenzitě zonálního proudění, což značně ovlivňuje teplotu a srážky.

Dlouhodobými změnami meteorologických prvků ve vztahu ke sluneční a geomagnetické aktivitě a odhady dalšího vývoje klimatu ve střední Evropě se zabýval Brůžek (1994). Při sledování vlivu sluneční aktivity na atmosférické procesy bylo zjištěno, že největší význam pro výši teplot a úhrny srážek má cirkulace ovzduší a existence určitých synoptických období, která vytvářejí předpoklady pro příliv vzduchových hmot s výraznými charakteristikami. Pro dlouhodobou předpověď meteorologických prvků byla použita metoda integrálních křivek, spočívající v připočítávání odchylek daného prvku od dlouhodobého průměru, čímž byla vymezena období se vzestupným nebo sestupným trendem. Byl zjištěn významný vliv sluneční a geomagnetické aktivity na změny v cirkulaci ovzduší i na teplotu a srážky, zejména ve vztahu k 90leté periodě sluneční aktivity. Na základě zjištěných trendů dospěl Brůžek k závěru, že dosavadní vzestupný trend průměrné roční teploty dosáhl svého maxima v polovině devadesátých let, a že nyní nastává trend sestupný, který bude trvat 40 až 50 let. Lze očekávat nástup chladnější a vlhčí epochy, s větším výskytem teplotně podprůměrných let a srážkově nadprůměrných let, než tomu bylo v období předešlém, tj. od roku 1942. Takoveto jsou trendy, které vyplývají z přírodních, neantropogenních vlivů. Se zřetelem na stoupající koncentrace skleníkových plynů v atmosféře lze očekávat větší ovlivnění teplotních a srážkových poměrů při dalším vzestupu koncentrace skleníkových plynů v ovzduší, kdy skleníkový efekt by dosáhl převahy nad přírodními trendy.

Problematickou inerciální pohyb Slunce ve vztahu k přírodním cyklům a se zřetelem na cyklickou sluneční aktivitu a jejich vlivů na klimatické jevy se zabývali zejména Fairbridge, Shirley (1987), Charvátová (1988), Charvátová, Střeščík (1991, 1995). Inerciální pohyb Slunce (pohyb Slunce kolem těžiště sluneční soustavy) je způsoben měnlivými polohami těles sluneční soustavy, a to především největších, obřích planet (Jupiter, Saturn, Uran, Neptun). Slunce se při inerciálním pohybu pohybuje v oblasti o průměru 4,4 slunečního poloměru. Pohyb Slunce může mít uspořádaný charakter, kdy se pohyb děje po podobných drahách, nebo je chaotický, kdy se dráhy pohybu Slunce od sebe liší. Byl zjištěn přibližně 179letý cyklus v opakování pohybových charakteristik Slunce. Je uvažová-

no, že mezi inerciálním pohybem Slunce a proměnlivostí sluneční aktivity by mohl existovat vztah. Délky slunečních cyklů by se mohly měnit v závislosti na změnách pohybu Slunce během jeho 179letého cyklu. Délky slunečních cyklů při uspořádaném pohybu jsou podobné, zatímco trvání slunečních cyklů při chaotickém pohybu Slunce je proměnlivé a cykly jsou většinou delší než při uspořádaném pohybu. Rozdělení délek slunečních cyklů má bimodální charakter s módy 10 a 12 let (Rabin et al., 1986). Inerciální pohyb Slunce lze pomocí výpočtů stanovit do budoucnosti. Je předpokládáno, že po roce 2000 několik dalších slunečních cyklů by mohlo mít nižší aktivitu.

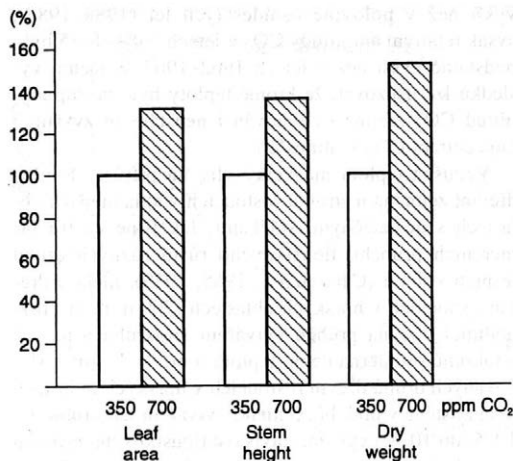
RŮST LESNÍCH DŘEVIN PŘI MĚNÍCÍM SE SLOŽENÍ ZEMSKÉ ATMOSFÉRY

Změny ve složení zemské atmosféry, ke kterým došlo v tomto století, zejména zvýšená koncentrace CO_2 v atmosféře a zvýšená množství oxidů dusíku a síry v ovzduší, významně ovlivňují růst a zdravotní stav lesních dřevin. V oblastech s vysokými koncentracemi SO_2 v ovzduší způsobují imise chřadnutí a odumírání stromů a kyselé deště negativně ovlivňují vlastnosti lesních půd. Na druhé straně zvyšující se koncentrace CO_2 v atmosféře a zvýšené depozice dusíku v lesních půdách mohou mít kladné vlivy na některé fyziologické procesy a na růst lesních dřevin (Chalupa, 1974).

Fotosyntéza u jehličnatých a listnatých lesních stromů je značně závislá na koncentraci CO_2 v ovzduší. Jestliže ostatní vnější faktory jsou příznivé, je to obvykle nízká koncentrace CO_2 v ovzduší, která limituje intenzitu fotosyntézy. Při stoupající koncentraci CO_2 v ovzduší se zvyšuje fotosyntéza, a to mnohdy až do 5–10násobku normální koncentrace CO_2 v ovzduší. Semenačky lesních dřevin rostou většinou rychleji a vytvářejí větší biomasu, jsou-li pěstovány za zvýšené koncentrace CO_2 v ovzduší.

Při našich pokusech s ovlivňováním růstu semenáček pěstovaných za zvýšené koncentrace CO_2 v ovzduší bylo zjištěno, že zvýšená koncentrace CO_2 významně ovlivňuje přírůsty biomasy, suchou hmotnost semenáček, výšku rostlin, počet listů a listovou plochu semenáček. Jak je znázorněno na obr. 7, u semenáček dubu letního (*Quercus robur* L.), které jsme pěstovali po pět měsíců za kontrolovaných vnějších podmínek (teplota 23 °C, 16hodinová fotoperioda), byla u semenáček pěstovaných při dvojnásobné koncentraci CO_2 v ovzduší (700 ppm) zjištěna větší listová plocha (+32 %), větší nadzemní výška (+36 %) a větší suchá hmotnost (+47 %) než u semenáček, které jsme pěstovali za normální koncentrace CO_2 (350 ppm). Podobně tomu bylo i u dalších druhů lesních dřevin, které jsme pěstovali při zvýšené koncentraci CO_2 v ovzduší.

Rovněž v řadě dalších experimentů provedených různými autory bylo zjištěno, že semenáčky a sazenice jehličnatých a listnatých dřevin pěstované po dobu ně-



7. Listová plocha, výška a suchá hmotnost semenáčků *Quercus robur* L., pěstovaných po 22 týdnů za zvýšené koncentrace CO₂ (700 ppm) v ovzduší (při teplotě 23 °C a 16hodinové fotoperiodě) ve srovnání se semenáčky pěstovanými za normální koncentrace CO₂ (350 ppm) – Leaf area, stem height and dry weight of *Quercus robur* L. seedlings, growing during 22 weeks under elevated CO₂ (700 ppm, temperature 23 °C, 16h photoperiod), relative to seedlings in ambient (350 ppm) CO₂

kolika týdnů až několika let za zvýšené koncentrace CO₂ v ovzduší měly většinou vyšší suchou hmotnost, než rostliny pěstované za normální koncentrace CO₂. Suchá hmotnost lesních dřevin pěstovaných za zvýšené koncentrace CO₂ byla obvykle vyšší o 20–120 % (v průměru přibližně o 40 %) než při pěstování za normální koncentrace CO₂ (Jarvis, 1989). Zvýšení biomasy bylo odchylné u různých druhů dřevin a existovaly i rozdíly mezi jehličnatými a listnatými druhy dřevin. Zvýšení biomasy konifer pěstovaných za vyšší koncentrace CO₂ v ovzduší dosahovalo obvykle nižších hodnot (průměrně +38 %) než u listnatých druhů dřevin (průměrně +63 %, Ceulemans, Mousseau, 1994). Rozdíly někdy existovaly i u stejných druhů dřevin, pravděpodobně v závislosti na délce trvání experimentu, stáří rostlin a na podmínkách pěstování rostlin. Zvýšené koncentrace CO₂ stimulovaly u většiny druhů dřevin zvětšení listové plochy, což bylo způsobeno buď zvětšením plochy listů, nebo zvýšením počtu vytvořených listů. Zvětšení listové plochy činilo u konifer průměrně 24 %, u listnatých druhů dřevin 33 %. K většímu zvýšení listové plochy došlo zejména při pěstování rostlin v minerálně bohatších substrátech (Eamus, Jarvis, 1989; Ceulemans, Mousseau, 1994). Vzhledem k tomu, že rostliny pěstované za zvýšené koncentrace CO₂ vykazovaly i zvýšené hodnoty fotosyntézy na jednotku listové plochy (u konifer +40 %, u listnatých druhů +61 %), vedly oba tyto faktory k podstatnému zvýšení celkové asimilace. Významné je zejména zjištění, že roční přírůst biomasy na jednotku listové plochy (tzv. růstová efektivnost) byl trvale vyšší (+37 %), jak bylo zjištěno u dubů pěstovaných po ně-

kolik let při zvýšené koncentraci CO₂ v ovzduší (Norby et al., 1995; Norby, 1996a,b).

Dřeviny pěstované za zvýšené koncentrace CO₂ měly mnohdy zvýšenou hmotnost podzemní části vzhledem k nadzemní části (průměrně o 9–10 %). Zvýšená koncentrace CO₂ stimulovala mnohdy více růst kořenů než růst nadzemních částí, a to zejména na minerálně chudších půdách (Jarvis, 1989). Jestliže půdy byly přihnány a obsahovaly dostatek živin, poměr podzemní části k nadzemní části byl podobný jako u rostlin pěstovaných za normální koncentrace CO₂. Zvýšená koncentrace CO₂ někdy kompenzovala i nedostatek živin v půdě nebo i nedostatek světla. Semenáčky *Quercus alba*, pěstované při zvýšené koncentraci CO₂ na půdách chudých na živiny, měly vyšší hmotnost než při jejich pěstování za normální koncentrace CO₂ (Norby et al., 1986).

Celková bilance uhlíku u dřevin závisí kromě fotosyntézy i na respiraci, neboť značná část uhlíku vázaného při fotosyntéze je ztracena dýcháním. Vliv zvýšené koncentrace CO₂ na respiraci není zatím dostatečně objasněn. U dřevin pěstovaných při zvýšené koncentraci CO₂ byla pozorována v některých případech redukce temnostní respirace, v jiných případech zvýšená respirace.

V některých experimentech bylo pozorováno, že po určité době pěstování rostlin při zvýšené koncentraci CO₂ u nich nastal pokles fotosyntézy. Tato tzv. fotosyntetická deprese byla často spojována s hromaděním produktů zvýšené asimilace (cukrů, škrobu) v buňkách rostlin. Lze se však domnívat, že tato fotosyntetická deprese byla většinou vyvolána nevhodnými růstovými podmínkami experimentálních rostlin při prováděných pokusech (malý prostor pro růst kořenů, malé a nevhodné kontejnery, nevhodný substrát aj.). Růstové podmínky, při kterých jsou lesní dřeviny pěstovány (rozměry a tvar kontejnerů, koncentrace a složení živin v substrátu), značně ovlivňují reagování rostlin na zvýšenou koncentraci CO₂ v ovzduší.

Zvýšená koncentrace CO₂ v ovzduší ovlivňuje transpiraci lesních dřevin. Při zvyšování koncentrace CO₂ v ovzduší dochází k redukci otevřenosti průduchů a je odhadováno, že při dvojnásobné koncentraci CO₂ v atmosféře by byla transpirace redukována přibližně o 34 %. Dosavadní pokusy ukázaly, že zvýšená koncentrace CO₂ v ovzduší zvyšuje efektivnost využití vody (Guehl et al., 1994; Picon et al., 1996). Tato pozorování naznačují, že u dřevin rostoucích za zvýšené koncentrace CO₂ v ovzduší je zapotřebí na vytvoření váhové jednotky suché hmoty méně transpirační vody, tj. produktivita transpirace se za těchto podmínek zvyšuje.

Dosavadní experimenty týkající se vlivu zvýšené koncentrace CO₂ v ovzduší na fotosyntézu a na zvýšení přírůstu biomasy u lesních dřevin byly většinou prováděny se semenáčky nebo se sazenicemi, jejichž malé rozměry umožňují použít při experimentech větší počet jedinců. Reagování těchto juvenilních stromků na zvýšené koncentrace CO₂ v ovzduší by se ovšem mohlo

odchylovat od reakcí a procesů probíhajících u dospělých stromů. Vzhledem k rozměrům dospělých stromů byla u nich prozatím prováděna měření hlavně pomocí malých komor, do nichž byla umístěna část větve dospělého stromu. Teskey (1995) a Teskey et al. (1995) zjišťovali vliv zvýšené koncentrace CO_2 u 21letých stromů *Pinus taeda* rostoucích v jihovýchodních oblastech USA. Při 1,5násobné koncentraci CO_2 stoupla fotosyntéza u těchto stromů o 45 %, při dvojnásobné koncentraci CO_2 stoupla fotosyntéza o 95 %. I po dvouletém nebo tříletém pěstování větví za zvýšené koncentrace CO_2 zůstávaly hodnoty fotosyntézy zvýšené. Listová plocha při dvojnásobné koncentraci CO_2 v ovzduší stoupla o 50 %. Jarvis (1995) a Jarvis et al. (1995) uvádějí, že na základě pozorování prováděných v síti většího počtu stanic v Evropě a v severní Americe byly získány nové údaje o fotosyntéze dospělých lesních porostů, které potvrzují hypotézu, že lesy mírného a boreálního pásma na severní polokouli jsou významným sinkem atmosférického CO_2 . Na základě výsledků získaných při těchto měřeních v síti stanic dospěli k závěru, že zdvojnásobení koncentrace CO_2 v atmosféře by vedlo ke značnému zvýšení přírůstu biomasy lesních stromů rostoucích v mírné a boreální zóně na severní polokouli, a to o 30–40 %.

Dosud provedené experimenty týkající se asimilace a přírůstu biomasy lesních dřevin při jejich pěstování za zvýšené koncentrace CO_2 v ovzduší ukázaly, že zvýšené koncentrace CO_2 stimulovaly asimilaci uhlíku a vedly k vyšším přírůstkům biomasy u lesních stromů. Na zvyšování asimilace a na zvýšené poutání atmosférického uhlíku lesními porosty na severní polokouli lze usuzovat i z výsledků pozorování o zvyšujících se amplitudách kolísání koncentrace CO_2 v atmosféře na severní polokouli. Jak vyplývá z obr. 8 a,b, relativní amplitudy CO_2 v atmosféře na severní polokouli se zvýšily v letech 1960–1994 velmi výrazně, a to v jižnějších oblastech (Mauna Loa, Havaj, 20° N) o 20 %, v severních oblastech (Point Barrow, Aljaška, 71° N) o 40 %. Dosavadní poznatky naznačují, že každému zvýšení relativní amplitudy CO_2 v atmosféře o 1 % odpovídá přibližně 1 % zvýšení roční čisté asimilace uhlíku lesů mírného a boreálního pásma. Z tohoto odhadu by vyplývalo, že asimilace a přírůsty biomasy u lesních porostů na severní polokouli stouply v posledních desetiletích (1960–1994) přibližně o 20–40 %.

Faktory, které vyvolávají zvýšenou asimilaci a zvýšené poutání atmosférického uhlíku rostlinstvem na severní polokouli, nejsou zatím spolehlivě objasněny. Zvyšování relativních amplitud koncentrací CO_2 v atmosféře na severní polokouli způsobuje zřejmě více faktorů. Z podobného průběhu vzestupu teplotní křivky a křivky amplitud CO_2 (obr. 8a,b) je možné usuzovat, že jedním z významných faktorů, který způsobil zvýšení amplitud CO_2 , byl zřejmě vzestup vzdušné teploty v tomto období (1960–1994). Na vzestup amplitud působily však zřejmě kromě teploty i další faktory. Vyplývá to ze srovnání hodnot relativních amplitud na začátku šedesátých let (1962–1963), kdy teploty byly

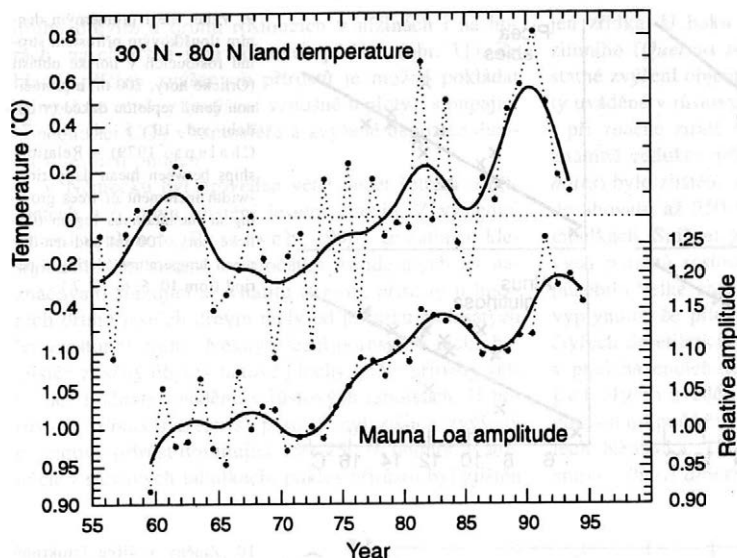
vyšší než v polovině osmdesátých let (1984–1985), avšak relativní amplitudy CO_2 v letech 1984–1985 byly podstatně vyšší než v letech 1962–1963. Z těchto výsledků lze usuzovat, že kromě teploty byl vzestup amplitud CO_2 zřejmě ovlivňován i neustále se zvyšující koncentrací CO_2 v atmosféře.

Vzdušná teplota má velký vliv na přírůsty lesních dřevin, zejména u stromů rostoucích v chladnějších oblastech s dostatečnými srážkami. Jak jsme zjistili při měřeních průběhu tloušťkového růstu různých druhů lesních stromů (Chalupa, 1965, 1979), měla u dřevin rostoucích v horských oblastech (700 m n. m.) rozhodující vliv na průběh vytváření letokruhu a na šíři letokruhů průměrná denní teplota (obr. 9). U všech sledovaných druhů dřevin rostoucích v horských oblastech byla zjištěna v období rychlého vytváření letokruhu (od 10. 5. do 10. 7.) výrazná závislost tloušťkového přírůstu na teplotě (obr. 9). Vztah mezi přírůstem a průměrnou denní teplotou byl velmi těsný (korelační koeficient 0,76 až 0,91).

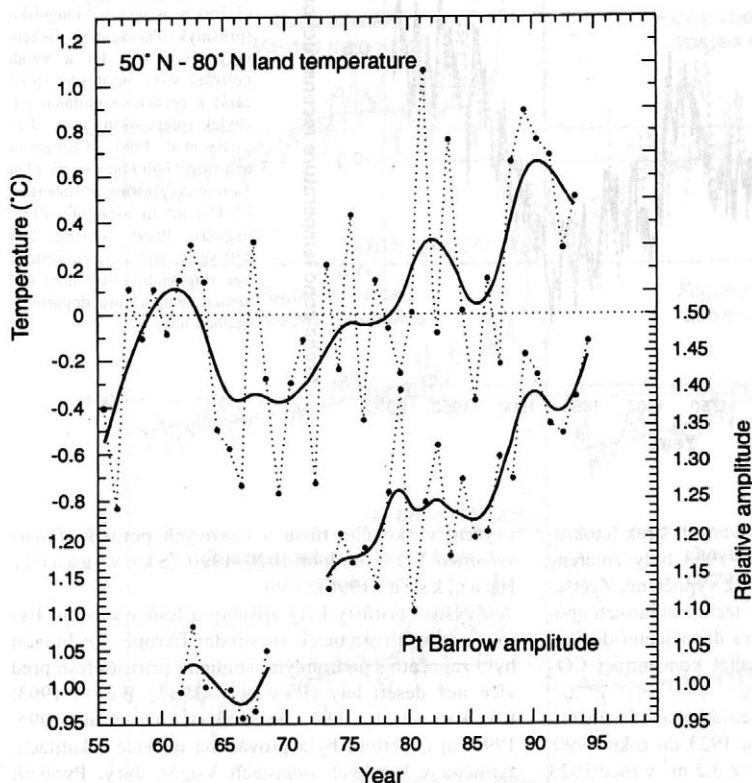
Tloušťkový růst a šířka letokruhů u stromů rostoucích v chladných oblastech je značně závislá na teplotních podmínkách během vegetační doby. Je to patrné z obr. 10, kde je znázorněno kolísání šířky letokruhů v uplynulých čtyřech stoletích (1550–1990) u stromů *Pinus sibirica* rostoucích ve vysokých nadmořských výškách v Mongolsku (Jacoby et al., 1996). Šířka letokruhů ve dvacátém století měla u těchto stromů stoupající trend až do dnešní doby, kdy šíře letokruhů dosáhla nejvyšších hodnot od roku 1550. Šířka letokruhů u stromů *Pinus sibirica* byla úzce korelována s teplotou, a to jak ve dvacátém století, tak i v předcházejících stoletích. Kolísání šířky letokruhů v období od roku 1600 do dnešní doby mělo do určité míry podobné stoupající a klesající trendy jako hodnoty zářivosti Slunce v tomto období.

Důležité poznatky o změnách v tloušťkovém, výškovém a objemovém růstu lesních stromů během dvacátého století byly získány při inventarizacích lesů a při měřeních prováděných na trvalých zkusných plochách. Jak ukázaly studie o růstových trendech evropských lesů, provedené ve 12 evropských zemích (Spiecker et al., 1996), růst evropských lesů se v minulých desetiletích značně změnil. Ve většině provedených studií bylo zjištěno, že přírůsty u porostů lesních dřevin měly v posledních desetiletích vzestupný trend, který byl zjištěn jak ve Skandinávii, tak ve střední a v západní Evropě i v některých oblastech jihozápadní Evropy. Sestupný trend přírůstu byl zjištěn jen na lokalitách, kde lesy byly vystaveny působení vysokých koncentrací škodlivých imisí.

Ve Finsku došlo v posledních 40 letech k celkovému vzestupu dřevní produkce lesů o více než 40 %, na čemž se mohly podílet i různé pěstební a technické záahy. Na trvalých zkusných plochách nebyly většinou zjištěny výrazné dlouhodobé trendy v tloušťkových přírůstech *Pinus sylvestris*, což mohlo být způsobeno i tím, že letní teploty v období 1961–1990 byly ve Finsku nižší než v období 1931–1960, a tyto klimatické



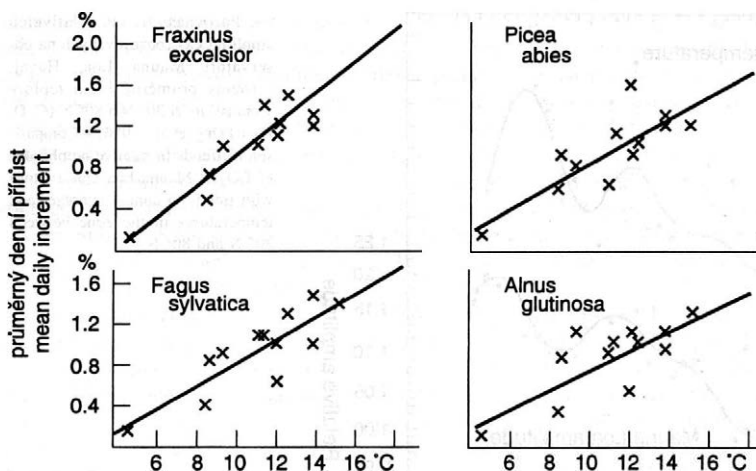
8a. Porovnání trendů relativních amplitud CO_2 pozorovaných na observatoři Mauna Loa, Havaj, s trendy průměrné roční teploty v oblasti mezi 30°N a 80°N (C. D. Keeling et al., 1996) – Comparison of trends in relative amplitudes of CO_2 at Mauna Loa Observatory with trends in annual average land temperatures in the zone between 30°N and 80°N



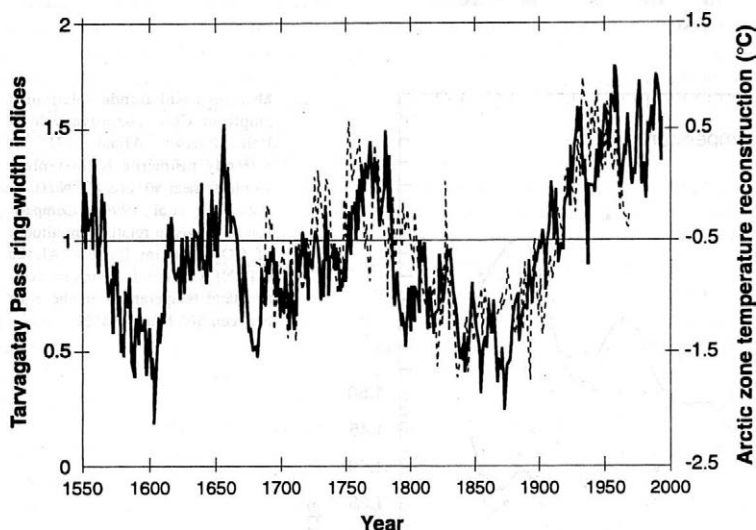
8b. Porovnání trendů relativních amplitud CO_2 pozorovaných na Point Barrow, Aljaška (71°N) s trendy průměrné roční teploty v oblasti mezi 50°N a 80°N (C. D. Keeling et al., 1996) – Comparison of trends in relative amplitudes of CO_2 at Point Barrow, Alaska (71°N) with trends in annual average land temperatures in the zone between 50°N and 80°N

podmínky mohly ovlivnit přírůstové trendy (Mielikäinen, Timonen, 1996). Podrobně se ovlivňováním tloušťkového růstu vnějšími faktory zabývali ve Finsku zejména Arovaara et al. (1984), Hari et al. (1984), Hari, Arovaara (1988). Na základě

modelovaných přírůstků zjistili, že zvýšené tloušťkové přírůsty nemohou být vysvětleny pouze působením klimatických vlivů. Hari, Arovaara (1988) analyzovali data o šířce letokruhů u borovic (*Pinus sylvestris*) rostoucích na severní hranici lesa ve Finsku.



9. Vztah mezi průměrným denním tloušťkovým přírůstem stromů rostoucích v horské oblasti (Orlické hory, 700 m) a průměrnou denní teplotou dekad (v období od 10. 5. do 10. 7., Chalupa, 1979) – Relationships between mean daily ring-width increment of trees growing at mountainous region (Orlické hory, 700 m) and ten-day mean temperature (during a period from 10. 5. to 10. 7.)



10. Změny v šířce letokruhů u stromů *Pinus sibirica* Du Tour, rostoucích na horní hranici lesa (2 450 m n. m.) v Mongolsku (průsmyk Tarvagatay) během uplynulých 450 let a vztah kolísání šířky letokruhů (plná čára) k průběhu teplotních odchylek (přerušovaná čára, Jacoby et al., 1996) – Changes in tree-ring width *Pinus sibirica* Du Tour trees, growing at timberline (2 450 m) in Mongolia (Tarvagatay Pass), during last 450 years, and a comparison of tree ring-width (solid line) and annual temperature departures (dashed line)

Z porovnání změřených a modelovaných šířek letokruhů vyplynulo, že v období 1950–1983 byly změřené šířky letokruhů podstatně vyšší, než vypočtené. Zvětšení šířek letokruhů nemohlo být v těchto oblastech způsobeno ani pěstebními zásahy, ani depozicemi dusíku, ale bylo zřejmě vyvoláno stoupající koncentrací CO_2 v atmosféře.

Ve Švédsku byl zjištěn při inventarizaci lesů stoupající trend přírůstu lesů od roku 1923 do roku 1990. Přírůst se zvýšil přibližně o 60 % z $3,2 \text{ m}^3$ v roce 1923 na $5,2 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ v roce 1990. Byl zjištěn významný vzrůst výškového a tloušťkového přírůstu zejména v období 1953–1992 (Elfving et al., 1996). U smrku a borovice bylo zjištěno největší zvýšení přírůstu zejména v jihozápadní části Švédska, kde se vyskytují největší depozice atmosférického dusíku (Eriksson, Karlsson, 1996). V Dánsku bylo zjištěno podstatné

zvýšení výškového růstu u bukových porostů (*Fagus sylvatica* L.) v období 1920–1990 (Skovsgaard, Henriksen, 1996).

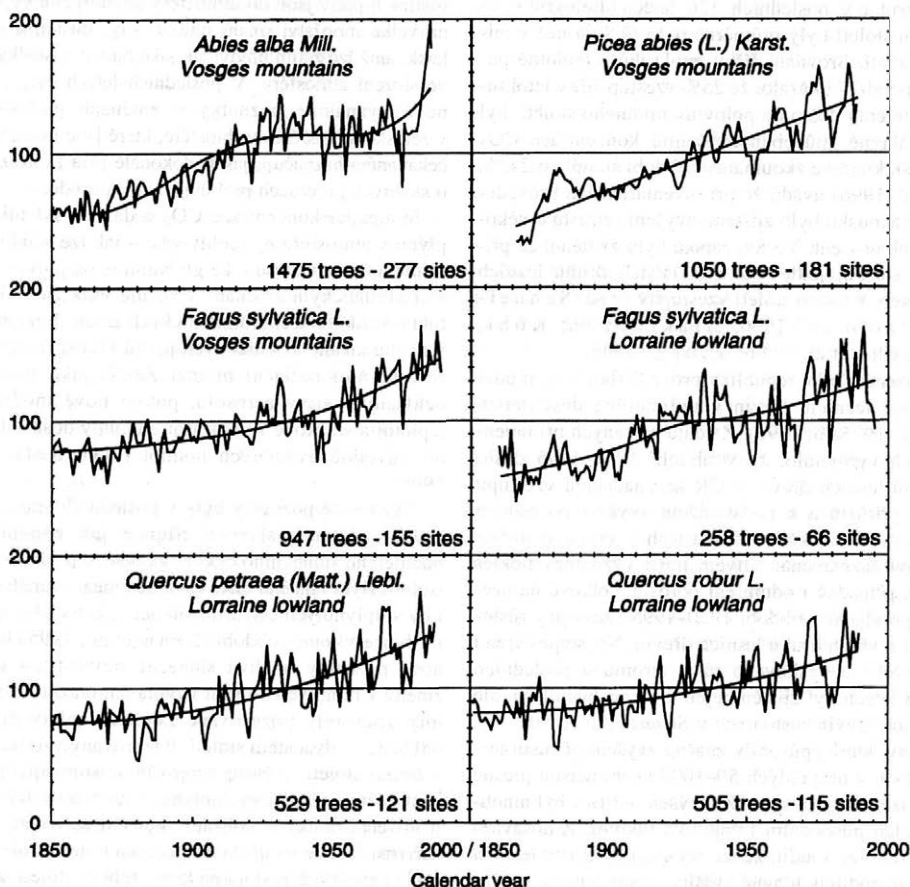
Zvýšené přírůsty byly zjištěny u lesů v západní Evropě i u lesů rostoucích ve střední Evropě. Ve Francii bylo započato s podrobnými studiemi přírůstu lesů před více než deseti lety (Becker, 1987; Bert, 1993; Becker et al., 1994, 1995; Badeau et al., 1995, 1996, aj.). Šetření byla prováděna na více lokalitách, zejména v horských oblastech Vogéz, Jury, Pyrenejí a v nížinných oblastech Lotrinska u různých druhů dřevin. Byly zjištěny významné vzestupné trendy v tloušťkovém růstu lesních dřevin v uplynulých 140 letech, kdy došlo ke zvýšení přírůstu výčetní plochy v letech 1850–1992 o 50–160 %. Získané výsledky ukázaly, že od konce minulého století existuje vzestupný trend tloušťkového růstu dřevin, a to u konifer i u listnatých

druhů dřevin, u druhů rostoucích v nížinách i na horách, na chudých i na bohatých půdách (obr. 11). Za hlavní příčiny zvýšených přírůstů je možné pokládat klimatické změny (zvýšení vzdušné teploty), stoupající koncentraci CO_2 v atmosféře a zvýšené depozice dusíku v lesních půdách.

V Německu byl proveden větší počet šetření o přírůstech a o stavu olistění lesních dřevin. Z výsledků šetření vyplynulo (Pretzsch, 1996), že zatímco klesající olistění stromů od počátku osmdesátých let naznačovalo snižující se vitalitu stromů, přírůsty u hlavních druhů lesních dřevin měly od počátku padesátých let vzestupný trend. Někdy i lesní porosty, u nichž byl zjištěn značný úbytek listové plochy, měly přírůsty větší, než hodnoty uváděné v růstových tabulkách. U borových (*Pinus sylvestris*) porostů byl zjištěn zvýšený objemový přírůst dosahující 150–250 % hodnot uváděných v růstových tabulkách, pokles přírůstu byl zjištěn

jen zřídka. U buku lesního (*Fagus sylvatica*) a dubu zimního (*Quercus petraea*) bylo rovněž zjištěno podstatné zvýšení objemového přírůstu, přesahující hodnoty uváděné v růstových tabulkách. U obou těchto druhů i při značné ztrátě listové plochy nebyla zjištěna významná redukce přírůstu. U smrku ztepilého (*Picea abies*) bylo zjištěno zvýšení objemového přírůstu, které dosahovalo až 250 % hodnot uváděných v růstových tabulkách. Snižování přírůstu bylo zjištěno jen u smrkových porostů rostoucích na lokalitách, kde negativně působilo velké znečištění ovzduší. Z výsledků šetření vyplynulo, že přírůsty u lesních dřevin v posledních čtyřech desetiletích byly většinou významně vyšší než v předcházejících desetiletích. Rovněž Wenk, Vogel (1996) uvádějí rychlejší výškový růst smrkových porostů od počátku tohoto století ve východních oblastech Německa. Unthelm (1996) zjistil u porostů smrku (*Picea abies*) a buku (*Fagus sylvatica*), rostou-

Radial growth index (%)



11. Změny v radiálním růstu a dlouhodobé trendy tloušťkového růstu u významných druhů lesních dřevin rostoucích v různých oblastech Francie (Badeau et al., 1996) – Changes in radial growth and long-term growth trends of various forest tree species growing in several regions in France

		1950	1960	1970	1980	1990	1995
Celkový běžný přírůst (s k.)	m ³ .ha ⁻¹	3,7	3,7	5,8	7,3	7,3	7,7
Current annual increment	%	100,0	100,0	156,8	197,3	197,3	208,1
Zásoba (s k.)	m ³ .ha ⁻¹	150,8	141,8	189,3	229,4	240,5	253,1
Growing stock	%	100,0	94,0	125,5	152,1	159,5	167,8

Zdroj: Inventarizace lesů ČR, Koub a, 1996 – Source: Czech Forest Inventories, Koub a, 1996

cích v západní části Německa, zvyšující se tloušťkový a výškový růst v uplynulých několika desetiletích.

Také ve střední Evropě byl zjištěn vzestupný trend přírůstu u porostů lesních dřevin. Neumann, Schadauer (1995) zjistili v Rakousku zvětšení šířky letokruhů u smrku o 40 % v druhé polovině tohoto století. Schadauer (1996) zjistil stálý vzestupný trend šíře letokruhů v uplynulých sto letech u stromů smrku rostoucích v Rakousku. Nicolussi et al. (1995) zjistili u stromů *Pinus cembra*, rostoucích ve vysokých nadmořských výškách v Alpách, významný vzestup šířky letokruhů v posledních 120 letech. Letokruhy ve dvacátém století byly průměrně o 33 % širší než v minulém století. Srovnání šířky letokruhů z teplotně podobných období ukázalo, že 25 % vzestup šířky letokruhů, ke kterému došlo od poloviny minulého století, byl zřejmě hlavně způsoben zvýšením koncentrace CO₂ v ovzduší, která ve zkoumaném období stoupla o 24 %. Sterba (1996) uvádí, že při inventarizacích provedených v Rakousku bylo zjištěno zvýšení přírůstu o několik desítek procent. Ve Švýcarsku bylo zjištěno, že přírůsty u smrku, jedle, a dalších druhů lesních dřevin měly v tomto století vzestupný trend (Schneider, Hartman, 1996; Bräker, 1996; Köhl, 1996; Köhl et al., 1996; Zingg, 1996).

Pro území České republiky provedl zhodnocení údajů o růstu lesních dřevin v uplynulých desetiletích Koub a (1995a,b; 1996). Z údajů získaných při inventarizacích vyplývá, že v období 1950–1995 došlo u porostů lesních dřevin v ČR ke značnému vzestupu ročního přírůstu a k podstatnému zvýšení porostních zásob (tab. I). Ačkoliv v oblastech s vysokou imisí zátěží byl zaznamenán vlivem imisí významný pokles přírůstu, případně i odumření porostů, celkově na území ČR převládá v období 1950–1995 vzestupný růstový trend u všech druhů lesních dřevin. Vzestupný trend tloušťkového a výškového růstu stromů v posledních padesáti letech byl zjištěn nejen u evropských lesů, ale i u lesních dřevin rostoucích v Severní Americe.

Příčiny, které způsobily značné zvýšení přírůstu lesních dřevin v uplynulých 50–100 letech, nejsou přesně známy, lze však usuzovat, že zvýšený přírůst byl mnohdy vyvolán působením i několika faktorů. Z dosavadních šetření lze soudit, že na zvýšeném přírůstu lesních stromů se podílely hlavně vyšší vzdušné teploty v tomto století, stoupající koncentrace CO₂ v atmosféře a zvýšené depozice atmosférického dusíku v lesních půdách. Kromě těchto faktorů mohly být zvýšené přírůsty lokálně ovlivněny i dalšími faktory (různé způso-

by zakládání a výchovy lesních porostů, pěstební a těžební zásahy, změny v genetickém složení lesních porostů, aj.). K bližšímu objasnění faktorů, které se hlavně podílely na zvýšených přírůstech stromů, bude zapotřebí provést další podrobná šetření.

DISKUSE A ZÁVĚRY

Zvyšující se hospodářská aktivita lidstva a rychlé rostoucí počet obyvatelstva způsobují, že při spalování fosilních paliv jsou do atmosféry každoročně vypouštěna velká množství oxidů uhlíku, síry, dusíku a dalších látek, aniž lze zatím předvídat, jaké budou následky změn ve složení atmosféry. V posledních letech byly získány nové významné poznatky o změnách probíhajících v zemské atmosféře a v biosféře, které jsou mnohdy neočekávané a naznačují, jak nedokonalé jsou zatím znalosti o složitých procesech probíhajících v přírodě.

Stoupající koncentrace CO₂ a dalších skleníkových plynů v atmosféře by mohly vést – jak lze soudit podle klimatických modelů – ke globálnímu oteplování a dalším klimatickým změnám. Existuje však značná nejistota o velikosti těchto klimatických změn. Vezmou-li se v úvahu kromě skleníkových plynů i další faktory, které ovlivňují radiální bilanci Země, jako jsou např. ochlazující vlivy aerosolů, potom nově modelované teplotní a srážkové změny jsou mnohdy dosti odchylné od původně uváděných hodnot (Mitchell et al., 1995).

Významné poznatky byly v posledních letech získány o kolísání zářivosti Slunce jak během jednatiletého slunečního cyklu, tak během posledních čtyř století. Byla zjištěna úzká korelace mezi průběhem teploty v uplynulých čtyřech stoletích a kolísáním zářivosti Slunce v tomto období (Lean et al., 1995a,b). Tyto nové poznatky o vlivu sluneční zářivosti na teplotní změny v minulých dobách vyvolávají otázku, které faktory způsobily pozorované zvýšení teploty přibližně o 0,5 °C ve dvacátém století. Pozorovaný vzestup teplot v tomto století je často spojován se stoupajícími koncentracemi skleníkových plynů v atmosféře. Jak ukazují nové poznatky o kolísání sluneční zářivosti, rovněž zářivost Slunce stoupala od počátku tohoto století a dosáhla nejvyšších hodnot na konci tohoto století. Z údajů o hodnotách kosmogenního izotopu ¹⁰Be vyplývá, že sluneční aktivita na konci dvacátého století je velmi vysoká, srovnatelná s maximálními hodnotami zaznamenanými během celého uplynulého tisíciletí.

Při posuzování a prognózách budoucího klimatu je třeba brát v úvahu jak antropogenní vlivy, vyvolávající změny ve složení zemské atmosféry, tak i přírodní trendy klimatických změn. V holocénu probíhaly na Zemi menší i větší klimatické změny, i když koncentrace skleníkových plynů se podstatně neměnila. V současné době existují značné nejistoty o hodnotách možných budoucích klimatických změn, a to jak u teplot, tak zejména u srážek. Lze očekávat, že o složitých procesech probíhajících v přírodě budou během příštího desetiletí získány další nové poznatky, které umožní vypracovat spolehlivější prognózy budoucího klimatického vývoje.

Při experimentech týkajících se vlivu zvýšené koncentrace CO_2 v ovzduší na růst lesních dřevin bylo získáno mnoho nových poznatků o ovlivňování fyziologických procesů a o růstu lesních dřevin při jejich pěstování za zvýšené koncentrace CO_2 . U juvenilních semenáčků a sazenic pěstovaných za zvýšené koncentrace CO_2 v ovzduší byla stimulována fotosyntéza, a suchá hmotnost semenáčků se obvykle zvýšila o 30–60 %. Rovněž u dospělých stromů byla zjištěna zvýšená fotosyntéza při vyšších koncentracích CO_2 v ovzduší. Lesy mírného a boreálního pásma jsou významnými sinky CO_2 . Dosavadní experimentální šetření ukazují, že zdvojnásobení koncentrace CO_2 v atmosféře by vedlo ke zvýšení přírůstu biomasy u lesních dřevin o 30–40 % (Jarvis, 1995, Jarvis et al., 1995).

Ze zvyšujících se relativních amplitud koncentrací CO_2 v atmosféře vyplývá, že v uplynulých čtyřech desetiletích se u rostlinstva na severní polokouli podstatně zvýšila asimilace. Na základě stoupajících hodnot relativních amplitud lze soudit, že asimilace a přírůsty u lesních porostů rostoucích v mírném a boreálním pásmu na severní polokouli se v letech 1960–1994 zvýšily přibližně o 20–40 %. Jeden z hlavních faktorů, který způsobil zvýšení amplitud CO_2 a zvýšení asimilace, byl vzestup vzdušných teplot v uvedeném období. Na zvýšení asimilace a vyšších přírůstech se zřejmě podílela i stále stoupající koncentrace CO_2 v atmosféře.

Nové poznatky byly získány o růstu evropských lesů v období 1950–1994. V různých evropských zemích (Česká republika, Rakousko, Švýcarsko, Německo, Francie, Dánsko, Finsko, Švédsko aj.) bylo na základě inventarizací a měření na trvalých zkušních plochách zjištěno podstatné zvýšení tloušťkového, výškového a objemového růstu stromů a zvýšení zásob u lesních porostů o 40–100 % i více (Spiecker et al., 1996; Koub a, 1995a,b, aj.). Pouze ve značně imisně zatížených oblastech došlo ke snížení přírůstu, případně k odumření stromů. Faktory, které způsobily zvýšené přírůsty lesních dřevin, nejsou přesně známy. Již před více než dvaceti lety autor tohoto sdělení vyslovil prognózu, že stoupající koncentrace CO_2 v atmosféře a zvýšené depozice dusíku u lesních půdách budou stimulat asimilaci lesních dřevin, a předpověděl zvýšené přírůsty a vyšší hmotnou produkci lesních porostů (Chalupa, 1974). Na zvýšených přírůstech v uvedeném období se podstatně podílely rovněž klimatické faktory, zejména zvýšené vzdušné teploty.

Hromadné spalování fosilních paliv v tomto století vyvolalo významné změny ve složení zemské atmosféry a ovlivnilo růst lesních dřevin, a to jak negativně, tak i pozitivně. Při dalším hromadném spalování fosilních paliv budou změny pokračovat a hrozí i nebezpečí globálních klimatických změn. Je velmi naléhavé, aby bylo zabráněno dalšímu narušování a pozměňování složení zemské atmosféry a aby bylo dosaženo omezení spalování fosilních paliv. Uzavření mezistátních dohod o omezení spalování fosilních paliv a o snížení emisí CO_2 a dalších látek je velmi potřebné, ovšem dosáhnout celosvětových dohod je obtížné, neboť energetické potřeby mnoha zemí jsou kryty hlavně z fosilních paliv. Lze soudit, že k zásadnímu omezení spalování fosilních paliv dojde tehdy, až se podaří vyrábět dostatečné množství energie z jiných, čistých zdrojů, a to za srovnatelné ceny. Fosilní paliva patří k neobnovitelným zdrojům energie a u některých z nich (nafta, zemní plyn) se blíží doba jejich celkového vyčerpání. Éra fosilních paliv se v měřítku lidské historie blíží ke svému konci, a nezbytně musí být vypracovány nové technologie získávání energie z jiných, čistých a trvalých zdrojů, má-li být zachována současná civilizace.

Ohromná množství energie dopadají neustále na zemský povrch ze Slunce. Pomocí solárních článků je možné produkovat elektrickou energii, jejíž cena by mohla být v budoucnosti, po zvládnutí výroby nové generace solárních článků, srovnatelná s cenou elektřiny vyráběné z fosilních paliv. Zatímco dosavadní solární články z krystalického křemíku jsou drahé, základem nových solárních článků je tenkovrstevný film (povlak) tvořený směsí látek, které umožňují efektivní konverzi slunečního záření na elektřinu. Jak bylo uvedeno na fotovoltaičské konferenci konané v roce 1996 v USA, pomocí nových materiálů tvořených směsí mědi, indiu, galia a selenu (CIGS) se podařilo zhotovit solární články schopné přeměnit 18 % dopadajícího slunečního záření na elektřinu. Při použití nových solárních článků obsahujících buď směs CIGS, nebo CdTe (kadmium a telurium) by cena elektřiny mohla být přibližně 0,50 USD za 1 W, což by se již blížilo ceně elektřiny vyráběné z některých fosilních paliv (Service, 1996). Sluneční zařízení může být využito i pro produkci vodíku, který je používán pro skladování a přenos energie i jako palivo (tzv. vodíkové energetické hospodářství). Dalšími významnými zdroji energie budou v budoucnosti zřejmě termionukleární reaktory pracující na principu fúze deuteria a tritia, při které jsou uvolňována velká množství energie. V budoucím společném termionukleárním reaktoru ITER (spolupráce USA, EU, Ruska a Japonska) by mělo již být dosaženo 10–15minutového trvání jaderné fúze. Průmyslové elektrárny vyrábějící energii na základě jaderné fúze by měly začít pracovat během 50–60 let.

Při prognózování klimatických změn a koncentrací CO_2 v atmosféře v časových horizontech 60–80 let nebo i delších nelze nebrat v úvahu vědecký a technický pokrok ve způsobech výroby energie. Jak bylo krátce naznačeno, lze očekávat, že za toto dlouhé časové ob-

dobí budou vyvinuty, zdokonaleny a realizovány různé způsoby získávání energie i z jiných zdrojů než z fosilních paliv.

Lesní porosty mají a budou mít velmi důležitou funkci jako přírodní ekosystémy, které asimilují a používají ohromná množství atmosférického uhlíku a zajišťují, aby koncentrace CO_2 v atmosféře nestoupala rychlým tempem. Rovněž po omezení spalování fosilních paliv budou lesní ekosystémy hrát významnou úlohu při snižování koncentrace CO_2 v atmosféře a umožní, aby bylo dosaženo vhodné koncentrace CO_2 v zemské atmosféře. Se zřetelem na tuto významnou funkci lesů je třeba zaměřit jejich pěstování tak, aby ji mohly úspěšně plnit. Je i zapotřebí snažit se o zvětšení jejich rozlohy a o zalesnění všech půd, které nejsou racionálně využity.

Naše pokusy s pěstováním lesních dřevin za kontrolovaných vnějších podmínek ukázaly, že teplota a koncentrace CO_2 v ovzduší mají významný vliv na asimilaci a vytváření suché hmoty u lesních dřevin. Různé druhy jehličnatých a listnatých dřevin vykazovaly odchylné reakce na zvýšené teploty a na vyšší koncentrace CO_2 v ovzduší. Zatímco borovice k rychlému růstu vyžadovala vyšší teploty, u smrku probíhaly metabolické pochody rychle i při nižších teplotách. V současné době, kdy prognózy budoucího klimatického vývoje jsou zatíženy značnou nejistotou, je zapotřebí provádět výběr dřevin pro zalesňování tak, aby druhové složení porostů se blížilo jejich přirozenému výskytu. I když smrk je dřevina rostoucí v různých klimatických podmínkách, je třeba používat ho k zalesňování především v oblastech jeho přirozeného rozšíření, ve vyšších nadmořských výškách a v horských oblastech. Je zapotřebí zvýšit druhovou diverzitu porostů lesních dřevin a k zalesňování používat populace a genotypy s vysokou genetickou hodnotou, zajišťující vysokou dřevní produkci a zvýšenou odolnost k biotickým a abiotickým nepříznivým vlivům. K dosažení tohoto cíle bude vhodné aplikovat i nové biotechnologické metody, které umožňují rychlé rozmnožování geneticky vysoce kvalitních, odolných a produktivních lesních dřevin (Chalupa, 1983, 1985, 1987, 1988, 1990). Moderní biotechnologie znamenají kvalitativně novou etapu v reprodukci a šlechtění lesních dřevin. Mají velký význam zejména pro záchranu genových zdrojů a rozmnožování cenných populací a genotypů, které se budou podílet na vytváření zdravých, odolných a vysoce produktivních lesních porostů.

Literatura

ARKING, A., 1996. Absorption of solar energy in the atmosphere: discrepancy between model and observations. *Science*, 273: 779–782.

AROVARA, H. – HARI, P. – KUUSELA, K., 1984. Possible effect of changes in atmospheric composition and acid rain on tree growth. *Commun. Inst. For. Fenn.*, 122: 1–16.

BADEAU, V. – BECKER, M. – BERT, D. – DUPOUEY, J. L. – LEBOURGEOIS, F. – PICARD, J. F., 1996. Long-term

growth trends of trees: Ten years of dendrochronological studies in France. In: *Growth trends in European forests*. H. SPIECKER et al. (eds.), Springer, Berlin: 167–181.

BADEAU, V. – DUPOUEY, J. L. – BECKER, M. – PICARD, J. F., 1995. Long-term growth trends of *Fagus sylvatica* L. in northeastern France. *Acta Oecol.*, 16: 571–583.

BALIUNAS, S. – JASTROW, R., 1990. Evidence for long-term brightness changes of solar-like stars. *Nature*, 348: 520–523.

BEER, J. – BAUMGARTNER, S. T. – DITTRICH-HANNEN, B. et al., 1994. Solar variability traced by cosmogenic isotopes. In: *The Sun as a variable star*. PAP, M. et al. (eds.), Cambridge University Press: 291–300.

BEER, J. – BLINOV, A. – BONANI, G. et al., 1990. Use of ^{10}Be in polar ice to trace the 11-year cycle of solar activity. *Nature*, 347: 164–166.

BECKER, M., 1987. Bilan de santé actuel et rétrospectif du sapin (*Abies alba* Mill.) dans les Vosges. *Ann. Sci. For.*, 44: 379–402.

BECKER, M. – NIEMINEN, T. M. – GEREMIA, F., 1994. Short-term variations and long-term changes in oak productivity in northeastern France. The role of climate and atmospheric CO_2 . *Ann. Sci. For.*, 51: 477–492.

BECKER, M. – BERT, G. D. – BOUCHON, J. – PICARD, J. F. – ULRICH, E., 1995. Growth trends in various broadleaved and coniferous trees in northeastern France from the mid 19th century. In: *Functioning and dynamics of natural and perturbed ecosystems*. BELLAN-SANTINI, D. – BONIN, G. – EMIG, C. (eds.), Lavoisier Publishing, Paris: 35–48.

BERT, G. D., 1993. Impact of ecological factors, climatic stresses and pollution on growth and health of silver fir (*Abies alba* Mill.) in the Jura mountains: an ecological and dendrochronological study. *Acta Oecolog.*, 14: 229–246.

BRÄKER, O. U., 1996. Growth trends of forests: Tree-ring data. Case study Toppwald. In: *Growth trends in European forests*. SPIECKER, H. et al. (eds.), Springer, Berlin: 199–217.

BRŮŽEK, V., 1994. Dlouhodobé změny meteorologických parametrů. *Sborník prací ČHMÚ*, sv. 44, Praha: 80.

BUCHA, V., 1991. Solar and geomagnetic variability and changes of weather and climate. *Jour. Atm. Terr. Phys.*, 53: 1161–1172.

CESS, R. D. – ZHANG, M. H. – MINNIS, P. et al., 1995. Absorption of solar radiation by clouds: observations versus models. *Science*, 267: 496–499.

CEULEMANS, R. – MOUSSEAU, M., 1994. Effects of elevated atmospheric CO_2 on woody plants. *New Phytol.*, 127: 425–446.

CIAIS, P. – TANS, P. P. – TROLIER, M. – WHITE, J. W. C. – FRANCEY, R. J., 1995. A large Northern Hemisphere terrestrial CO_2 sink indicated by the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratio of atmospheric CO_2 . *Science*, 269: 1098–1102.

CROWLEY, T. J. – KWANG YUL KIM, 1996. Comparison of proxy records of climate change and solar forcing. *Geoph. Res. Lett.*, 23: 359–362.

DUVAL, T. R. JR. – D'SILVA, S. – JEFFERIES, S. M. – HARVEY, J. W. – SCHOU, J., 1996. Downflows under sunspots detected by helioseismic tomography. *Nature*, 379: 235–237.

EMAMUS, D. – JARVIS, P. G., 1989. The direct effects of increase in the global atmospheric CO_2 concentration on na-

- tural and commercial temperate trees and forests. *Adv. Ecol. Res.*, 19: 1–55.
- ELFVING, B. – TEGNHAMMAR, L. – TVEITE, B., 1996. Studies on growth trends of forests in Sweden and Norway. In: *Growth trends in European forests*. SPIECKER, H. et al. (eds.), Springer, Berlin: 61–70.
- ERIKSSON, H. – KARLSSON, K., 1996. Long-term changes in site index in growth and yield experiments with Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Sweden. In: *Growth trends in European forests*. SPIECKER, H. et al. (eds.), Springer, Berlin: 79–88.
- FAIRBRIDGE, R. V. – SHIRLEY, J. H., 1987. Prolonged minima and the 179-yr cycle of the solar inertial motion. *Sol. Phys.*, 110: 191–220.
- FRIIS-CHRISTENSEN, E. – LASSEN, K., 1991. Length of solar cycle: An indicator of solar activity closely associated with climate. *Science*, 254: 698–700.
- GOULDEN, M. L. – MUNGER, J. W. – SONG MIAO FAN, – DAUBE, B. C. – WOFSY, S. C., 1996. Exchange of carbon dioxide by a deciduous forest: Response to interannual climate variability. *Science*, 271: 1576–1578.
- GRACE, J. – LLOYD, J. – MCINTYRE, J. et al., 1995. Carbon dioxide uptake by an undisturbed tropical rain forest in southwest Amazonia, 1992 to 1993. *Science*, 270: 778–780.
- GUEHL, J. M. – PICON, C. – AUSSENAC, G. – GROSS, P., 1994. Interactive effects of elevated CO₂ and soil drought on growth and transpiration efficiency and its determinants in two European forest tree species. *Tree Physiol.*, 14: 707–724.
- HAIGH, J. D., 1994. The role of stratospheric ozone in modulating the solar radiative forcing of climate. *Nature*, 370: 544–546.
- HAIGH, H. D., 1996. The impact of solar variability on climate. *Science*, 272: 981–984.
- HARI, P. – AROVAARA, H., 1988. Detecting CO₂ induced enhancement in the radial increment of trees. Evidence from northern timber line. *Scand. Jour. For. Res.*, 3: 67–74.
- HARI, P. – AROVAARA, H. – RAUNEMAA, I. – HAUTOJARVI, A., 1984. Forest growth and energy production, a method for detecting trends in growth potential of trees. *Canad. Jour. For. Res.*, 14: 437–440.
- HOYT, D. V. – SCHATTEIN, K. H., 1993. A discussion of plausible solar irradiance variations, 1700–1992. *Jour. Geophys. Res.*, 98: 18 895–18 906.
- HOYT, D. V. – SCHATTEIN, K. H. – NEMES-RIBES, E., 1994. The one hundredth year of RUDOLF WOLF's death: Do we have the correct reconstruction of solar activity? *Geophys. Res. Lett.*, 21: 2067–2070.
- CHALUPA, V., 1965. Průběh tloušťkového růstu u lesních dřevin (The seasonal course of radial growth of forest trees). *Práce výzk. ústavů lesn. ČSSR*, 30: 185–223.
- CHALUPA, V., 1974. Vliv zvyšování koncentrace kyslíčnicku uhlíkatého v ovzduší na fotosyntézu a přírůst lesních dřevin (The influence of the increase of carbon dioxide concentration in the atmosphere on the photosynthesis and forest tree increment). *Lesnictví (Forestry)*, 20: 297–312.
- CHALUPA, V., 1979. Vliv vnitřních a vnějších faktorů na kambialní aktivitu lesních dřevin (Initiation of cambial activity and seasonal course of radial growth of forest trees in relation to development of leaves and air temperature). *Práce VÚLHM*, 54: 29–48.
- CHALUPA, V., 1983. Micropropagation of conifer and broad-leaved forest trees. *Commun. Inst. For. Czechosl.*, 13: 7–39.
- CHALUPA, V., 1985. Somatic embryogenesis and plantlet regeneration from cultured immature and mature embryos of *Picea abies* (L.) Karst. *Commun. Inst. For. Czechosl.*, 14: 57–63.
- CHALUPA, V., 1987. Somatic embryogenesis and plant regeneration in *Picea*, *Quercus*, *Betula*, *Tilia*, *Robinia*, *Fagus* and *Aesculus*. *Commun. Inst. For. Czechosl.*, 15: 133–148.
- CHALUPA, V., 1988. Large scale micropropagation of *Quercus robur* using adenine-type cytokinins and thidiazuron to stimulate shoot proliferation. *Biol. Plant.*, 30: 414–421.
- CHALUPA, V., 1990. Plant regeneration by somatic embryogenesis from cultured immature embryos of oak (*Quercus robur* L.) and linden (*Tilia cordata* Mill.). *Plant Cell Reports*, 9: 398–401.
- CHALUPA, V., 1992. Mění se složení zemské atmosféry, předpokládá se klimatické změny a jejich vlivy na lesní porosty (The changing atmosphere composition, presumed climatic changes, and their effects on forests). *Lesnictví-Forestry*, 38: 973–986.
- CHARLSON, R. J. – SCHWARTZ, S. E. – HALES, J. M. – CESS, R. D. et al., 1992. Climate forcing by anthropogenic aerosols. *Science*, 255: 423–430.
- CHARVÁTOVÁ, J., 1988. The solar motion and the variability of solar activity. *Advan. Space Res.*, 8: 147–150.
- CHARVÁTOVÁ, J. – STŘEŠTÍK, J., 1991. Solar variability as a manifestation of the Sun's motion. *Jour. Atmosph. Terr. Phys.*, 53: 1019–1025.
- CHARVÁTOVÁ, J. – STŘEŠTÍK, J., 1995. Long-term changes of the surface air temperature in relation to solar inertial motion. *Clim. Change*, 29: 333–352.
- JACOBY, G. J. – D'ARRIGO, R. D. – DAVAAJAMTS, T., 1996. Mongolian tree rings and 20th-century warming. *Science*, 273: 771–773.
- JARVIS, P. G., 1989. Atmospheric carbon dioxide and forests. *Phil. Trans. Royal Soc. London*, B 324: 369–392.
- JARVIS, P. G., 1995. The role of temperate trees and forests in CO₂ fixation. *Vegetatio*, 121: 157–174.
- JARVIS, P. G. – MURRAY, M. – BARTON, C. – LEE, H., 1995. Tree and stand responses to elevated CO₂. Responses of trees in an oceanic climate. In: *Caring for the forest: Research in a changing world*. Abstracts of invited papers, IUFRO XX World Congress, 6–12 August 1995, Tampere: 131.
- KALVOVÁ, J. et al., 1995. Scénáře změny klimatu pro Českou republiku. In: *Národní klimatický program ČR*, sv. 17, Praha: 101.
- KAUFMAN, Y. J. – TANRÉ, D., 1994. Effect of variations in supersaturation on the formation of cloud condensation nuclei. *Nature*, 369: 45–48.
- KEELING, C. D. – CHIN, J. F. S. – WHORF, T. P., 1996. Increased activity of northern vegetation inferred from atmospheric CO₂ measurements. *Nature*, 382: 146–149.
- KEELING, C. D. – WHORF, T. P. – WAHLEN, M. – van der PLICHT J., 1995. Interannual extremes in the rate of rise of atmospheric carbon dioxide since 1980. *Nature*, 375: 666–670.

- KEELING, R. F. – PIPER, S. C. – HEIMANN, M., 1996. Global and hemispheric CO₂ sinks deduced from changes in atmospheric O₂ concentration. *Nature*, 381: 218–221.
- KELLY, P. M. – WIGLEY, T. M. L., 1992. Solar cycle length, greenhouse forcing and global climate. *Nature*, 360: 328–330.
- KIEHL, J. T. – BRIEGLEB, B. P., 1993. The relative roles of sulfate aerosols and greenhouse gases in climate forcing. *Science*, 260: 311–314.
- KÖHL, M., 1996. Growth patterns in forests of the canton of Berne, Switzerland, based on inventory data. In: Growth trends in European forests. SPIECKER, H. et al. (eds.), Springer, Berlin: 219–237.
- KÖHL, M. – ZINGG, A. – BRÄKER, O. U., 1996. A comparison of analytical approaches for detecting diameter growth trends: Case studies from Switzerland. In: Growth trends in European forests. SPIECKER, H. et al. (eds.), Springer, Berlin: 267–274.
- KOUBA, J., 1995a. Změny růstu a přírůstu lesů České republiky (Changes in forest growth and increment in the Czech Republic). In: Seminář „Realizace hospodářské úpravy lesů podle nových legislativních norem.“ Technická Univerzita, Zvolen: 93–98.
- KOUBA, J., 1995b. Growth trends in the Czech Republic and Poland. In: Caring for the forest: Research in a changing world. Abstracts of invited papers, IUFRO XX World Congress, 6–12 August 1995, Tampere: 271.
- KOUBA, J., 1996. Growth trends in the Czech Republic. [Manuscript.]
- KŘIVSKÝ, L., 1990. Sluneční konstanta není konstantní. *Vesmír*, 69: 515–516.
- LANGNER, J. – RODHE, H. – CRUTZEN, P. J. – ZIMMERMANN, P., 1992. Anthropogenic influence on the distribution of tropospheric sulphate aerosol. *Nature*, 359: 712–715.
- LASSEN, K. – FRIIS-CHRISTENSEN, E., 1995. Variability of the solar cycle length during the past five centuries and the apparent association with terrestrial climate. *Jour. Atmosph. Terr. Phys.*, 57: 835–845.
- LEAN, J., 1989. Contribution of ultraviolet irradiance variations to changes in the Sun's total irradiance. *Science*, 244: 197–200.
- LEAN, J. – SKUMANICH, A. – WHITE, O., 1992. Estimating the Sun's radiative output during the Maunder Minimum. *Geoph. Res. Lett.*, 19: 1591–1594.
- LEAN, J. – BEER, J. – BRADLEY, R., 1995a. Reconstruction of solar irradiance since 1610: Implications for climate change. *Geophys. Res. Lett.*, 22: 3195–3198.
- LEAN, J. – WHITE, O. R. – SKUMANICH, A., 1995b. On the solar ultraviolet spectral irradiance during the Maunder Minimum. *Global Biogeochem. Cycl.*, 9: 171–182.
- LEE III, R. B. – GIBSON, M. A. – WILSON, R. S. – THOMAS, S., 1995. Long-term total solar irradiance variability during sunspot cycle 22. *Jour. Geophys. Res.*, 100: 1667–1675.
- LI, X. – MARING, H. – SAVOIE, D. – VOSS, K. – PROSPERO, J. M., 1996. Dominance of mineral dust in aerosol light-scattering in the North Atlantic trade winds. *Nature*, 380: 416–419.
- LOCKWOOD, G. W. – SKIFF, B. A. – BALIUNAS, S. L. – RADICK, R. R., 1992. Long-term solar brightness changes estimated from a survey of Sun-like stars. *Nature*, 360: 653–655.
- MIELIKÄINEN, K. – TIMONEN, M., 1996. Growth trends of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in unmanaged and regularly managed stands in southern and central Finland. In: Growth trends in European forests. SPIECKER, H. et al. (eds.), Springer, Berlin: 41–59.
- MITCHEL, J. F. B. – JOHNS, T. C. – GREGORY, J. M. – TETT, S. F. B., 1995. Climate response to increasing levels of greenhouse gases and sulphate aerosols. *Nature*, 376: 501–504.
- NEUMANN, M. – SCHADAUER, K., 1995. Die Entwicklung des Zuwachses in Österreich an Hand von Bohrkernanalysen. *Allg. Forst- Jagdztg.*, 166: 230–234.
- NICOLUSSI, K. – BORTENSCHLAGER, S. – KÖRNER, C., 1995. Increase in tree-ring width in subalpine *Pinus cembra* from central Alps that may be CO₂ – related. *Trees*, 9: 181–189.
- NORBY, R. J., 1996a. Forest canopy productivity index. *Nature*, 381: 564.
- NORBY, R. J., 1996b. Oaks in a high – CO₂ world. *Ann. Sci. For.*, 53: 413–429.
- NORBY, R. J. – O'NEILL, E. G. – LUXMOORE, R. J., 1986. Effects of atmospheric CO₂ enrichment on the growth and mineral nutrition of *Quercus alba* seedlings in nutrient-poor soil. *Plant Physiol.*, 82: 83–89.
- NORBY, R. J. – WULLSCHLEGER, S. D. – GUNDERSON, C. A. – NIETCH, C. T., 1995. Increased growth efficiency of *Quercus alba* L. trees in a CO₂ – enriched atmosphere. *New Phytol.*, 131: 91–97.
- PICON, C. – GUEHL, J. M. – AUSSENAC, G., 1996. Growth dynamics transpiration and water – use efficiency in *Quercus robur* plants submitted to elevated CO₂ and drought. *Ann. Sci. For.*, 53: 431–446.
- PILEWSKIE, P. – VALERO, P. J., 1995. Direct observations of excess solar absorption by clouds. *Science*, 267: 1626–1629.
- PRETZSCH, H., 1996. Growth trends of forests in southern Germany. In: Growth trends in European forests. SPIECKER, H. et al. (eds.), Springer, Berlin: 107–131.
- PUDOVKIN, M. I. – VERETENENKO, S. V., 1995. Cloudiness decreases associated with Forbush – decreases of galactic cosmic rays. *Jour. Atmosph. Terr. Phys.*, 57: 1349–1355.
- RABIN, D. – WILSON, R. M. – MOORE, R. L., 1986. Bimodality of the solar cycle. *Geophys. Res. Lett.*, 13: 352–354.
- RADICK, R. R. – LOCKWOOD, G. W. – BALIUNAS, S. L., 1990. Stellar activity and brightness variations: a glimpse at the Sun's history. *Science*, 247: 39–44.
- RAMANATHAN, V. – SUBASILAR, B. – ZHANG, G. J. et al., 1995. Warm pool budget and shortwave cloud forcing: a missing physics? *Science*, 267: 499–503.
- REID, G. C., 1987. Influence of solar variability on global sea surface temperature. *Nature*, 329: 142–143.
- REID, G., 1991. Solar total irradiance variations and the global sea surface temperature record. *Jour. Geophys. Res.*, 96: 2835–2844.
- SERVICE, R. F., 1996. New solar cells seem to have power at the right price. *Science*, 272: 1744–1745.
- SCHADAUER, K., 1996. Growth trends in Austria. In: Growth trends in European forests. SPIECKER, H. et al. (eds.), Springer, Berlin: 275–289.

- SCHLESINGER, M. E. – RAMANKUTTY, N., 1992. Implications for global warming of intercycle solar irradiance variations. *Nature*, 360: 330–333.
- SCHNEIDER, O. – HARTMANN, P., 1996. Growth trends of trees. Regional study on Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in the Swiss Jura. In: Growth trends in European forests. SPIECKER, H. et al. (eds.), Springer, Berlin: 183–198.
- SKOVGAARD, J. P. – HENRIKSEN, H. A., 1996. Increasing site productivity during consecutive generations of naturally regenerated and planted beech (*Fagus sylvatica* L.) in Denmark. In: Growth trends in European forests. SPIECKER, H. et al. (eds.), Springer, Berlin: 89–97.
- SOKOLIK, J. N. – TOON, O. B., 1996. Direct radiative forcing by anthropogenic airborne mineral aerosols. *Nature*, 381: 681–683.
- SPIECKER, H. – MIELIKÄINEN, K. – KÖHL, M. – SKOVGAARD, J. (eds.), 1996. Growth trends in European forests. Springer, Berlin: 372.
- STERBA, H., 1996. Forest decline and growth trends in Central Europe – a review. In: Growth trends in European forests. SPIECKER, H. et al. (eds.), Springer, Berlin: 149–164.
- STUIVER, M. – BRAZIUNAS, T. F., 1993. Sun, ocean, climate and atmosphere $^{14}\text{CO}_2$: an evaluation of causal and spectral relationships. *The Holocene*, 3(4): 289–305.
- SVENSMARK, H. – FRIIS-CHRISTENSEN, E., 1996. Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage—a missing link in solar-climate relationships. *Danish Meteor. Inst. Sci. Report*, 96–6: 1–15.
- TAYLOR, K. E. – PENNER, J. E., 1994. Response of the climate system to atmospheric aerosols and greenhouse gases. *Nature*, 369: 734–737.
- TEGEN, I. – LACIS, A. A. – TUNG, I., 1996. The influence on climate forcing of mineral aerosols from disturbed soils. *Nature*, 380: 419–422.
- TESKEY, R. O., 1995. A field study on the effects of elevated CO_2 on carbon assimilation, stomatal conductance and leaf and branch growth of *Pinus taeda* trees. *Plant Cell Envir.*, 18: 565–573.
- TESKEY, R. O. – DOUGHERTY, P. M. – HENNESSEY, T. C., 1995. Responses of *Pinus taeda* to elevated CO_2 in a warm-temperature climate. In: Caring for the forest: Research in a changing world. Abstracts of invited papers, IUFRO XX World Congress. Tampere 1995: 132–133.
- ÚHÚL, 1995. Zpráva o stavu lesního hospodářství České republiky. Min. zeměd. ČR, Praha: 173.
- UNTHEIM, H., 1996. Has site productivity changed? A case study in the eastern Swabian Alb, Germany. In: Growth trends in European forests. SPIECKER, H. et al. (eds.), Springer, Berlin: 133–147.
- van LOON, H. – LABITZKE, K., 1994. The 10–12 year atmospheric oscillation. *Meteorol. Zeitschr.*, 3: 259–266.
- VINŠ, B. et al., 1996. Dopady možné změny klimatu na lesy v České republice. In: Národní klimat. program ČR, sv. 19., Praha: 134.
- WENK, G. – VOGEL, M., 1996. Height growth investigations of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in the eastern part of Germany during the last century. In: Growth trends in European forests. SPIECKER, H. et al. (eds.), Springer, Berlin: 99–106.
- WHITE, O. R. – SKUMANICH, A. – LEAN, J. – LIVINGSTON, W. C. – KEIL, S. L., 1992. The Sun in a noncycling state. *Publ. Astron. Soc. Pac.*, 104: 1139–1143.
- WILLSON, R. C. – HUDSON, H. S., 1988. Solar luminosity variations in solar cycle 21. *Nature*, 332: 810–814.
- WILLSON, R. C. – HUDSON, H. S., 1991. A solar cycle of measured and modeled total irradiance. *Nature*, 351: 42–44.
- ZINGG, A., 1996. Diameter and basal area increment in permanent growth and yield plots in Switzerland. In: Growth trends in European forests. SPIECKER, H. et al. (eds.), Springer, Berlin: 239–265.

Došlo 18. 11. 1996

ATMOSPHERE COMPOSITION CHANGES, SOLAR IRRADIANCE VARIATIONS, AND CHANGING FOREST TREE GROWTH

V. Chalupa

Czech University of Agriculture, Faculty of Forestry, 165 21 Praha-Suchbátol

The paper deals with changes in the Earth's atmosphere composition that significantly influence the growth and health of forests. Every year huge quantities of CO_2 , sulphur and nitrogen oxides, and other compounds are emitted into the atmosphere by fossil fuel combustion. Increasing concentration of CO_2 (Fig. 1) and other greenhouse gases in the atmosphere could induce global climatic changes. Until recently, climate simulations have supposed that the only anthropogenic forcing is caused by greenhouse gases. The study published by Mitchell et al. (1995), in which both carbon dioxide and sulphate aerosol influences have been examined with a coupled ocean-atmosphere general cir-

culation model, indicates that after inclusion of cooling effects caused by sulphate aerosols, simulated temperature changes in the next century are significantly different from previously published data (Fig. 2).

Besides anthropogenic factors, natural factors, particularly solar variability and volcanic eruptions, influence the Earth's surface temperature and climate. New information on variations in the Sun's radiative output during the 11-year solar activity cycle and new data on solar irradiance variations during the last four centuries have been gained (Figs. 3 and 4). The close correlation of solar variability with Northern Hemisphere surface temperature was observed (Figs. 5 and 6). The correla-

tion coefficient of reconstructed solar irradiance and Northern Hemisphere surface temperature was 0.86 in the period from 1610 to 1800, suggesting a predominant solar influence. About half of the observed 0.55 °C warming from 1860 to the present may reflect natural variability arising from solar radiative forcing. Solar variability may have played a significant role in recent global temperature change. The activity level of the Sun has risen steadily during the past 130 years, and surface temperature correlate well with solar activity over this period. In the twentieth century, solar irradiance has been increasing since the beginning of this century, and it has reached high values at the end of this century. The radioisotope data indicate that present solar activity appears to be approaching the levels of the maxima observed in the past 1,000 years. Solar variability played a significant role in past global temperature changes. New data indicate that the causes of recent warming are more complex than the effect of greenhouse gases alone. To improve predictions of climate change, it is not sufficient to consider greenhouse gases alone, and the effects of other forcing factors must be included. Both anthropogenic impacts and natural trends of climatic changes should be taken into account for predictions of the future climate.

New information have been gained on the effect of elevated atmospheric CO₂ concentration on forest tree photosynthesis and growth. In our experiments with *Quercus robur*, seedlings growing under elevated atmospheric CO₂ concentration, exhibited increase leaf area, stem height and dry weight (Fig. 7). Many juvenile forest tree species responded to elevated CO₂ treatment with higher photosynthetic rate and increased biomass in comparison with plants grown at ambient CO₂. New data on the effect of elevated CO₂ on photosynthesis, respiratory processes, leaf area, biomass production, root-shoot ratio, and water use efficiency of juvenile forest tree species have been gained. Higher annual stem wood production per unit leaf area (increased growth efficiency) has been observed in trees growing in CO₂-enriched atmosphere. The results suggest a substantial potential for increased carbon storage in forests. The data indicate that the temperate and boreal forests of the Northern Hemisphere are important sinks of atmospheric CO₂. In past forty years, increasing relative amplitudes of CO₂ concentration in the atmosphere of Northern Hemisphere were observed. Since 1960, the annual amplitude of the seasonal CO₂ cycle has increased by 20% in Hawaii, and by 40% in

the Arctic. The amplitude increases reflect increasing assimilation of CO₂ by land plants, in response to recent increases in temperature and to elevated concentrations of atmospheric CO₂. Increasing values of relative amplitudes indicate that assimilation of CO₂ by forests growing in temperate and boreal zones in the Northern Hemisphere rose approximately by 20–40% in 1960–1994. Comparison of trends in relative amplitudes of CO₂ with trends in annual average temperature indicate that an increase in air temperatures was one of the important factors causing increase in assimilation of CO₂ by forests (Figs. 8a,b).

The air temperature has significant impacts on increments of forest trees growing in cold mountainous regions. We have observed a close relationship between ring-width increment of trees growing at mountainous regions and average daily temperatures (Fig. 9). Tree ring widths of trees growing in cold mountainous regions were sensitive to annual temperature variation. A 450-year tree-ring width chronology of *Pinus sibirica*, growing at timberline in the mountains in Mongolia, showed significant long-term trends in tree-ring widths during the past four centuries (Fig. 10). The annual tree-ring widths exhibited an increasing trend during the last 130 years until the present time, when tree-ring widths reached high values. Both tree-ring widths and solar total irradiance showed increasing trends during the last 130 years.

The growth of European forests has changed substantially in the last decades. New data on diameter, height and volume growth of forest trees have been gained by forest inventories and by measurements of permanent plots. Increasing trends in diameter, height and volume growth of forest trees were found in the Central, Western and Northern Europe. Long-term changes in radial growth of forest trees were studied in France, and significant increasing growth trends were found during the past 150 years (Fig. 11). A highly significant increase in current annual increment and in growing stock has been found in Czech forests (Tab. I). Decline in tree growth and increasing mortality occurred in areas with heavy air pollution. Recent growth studies indicated increasing trends of forest tree increments since the late of the nineteenth century. The causes of greater increments are not exactly known. Results of recent investigations suggest that increasing temperatures, depositions of atmospheric nitrogen in forest soils, and elevated atmospheric CO₂ concentrations participated in increased growth of forests.

Kontaktní adresa:

Prof. Ing. Vladimír Chalupa, DrSc., Česká zemědělská univerzita, Lesnická fakulta, 165 21 Praha-Suchbát, Česká republika

SPATIAL VARIATION OF HUMUS FORM CHARACTERISTICS AND ITS IMPLICATIONS FOR HUMUS FORM RESEARCH IN MONOSPECIES *PINUS SYLVESTRIS* STANDS

PROSTOROVÁ PROMĚNLIVOST CHARAKTERISTIK FOREM HUMUSU A JEJÍ DŮSLEDKY PRO VÝZKUM FOREM HUMUSU VE STEJNORODÝCH POROSTECH BOROVICE *PINUS SYLVESTRIS*

I. M. Emmer

The Netherlands Centre for Geo-Ecological Research (ICG), Landscape and Environmental Research Group, University of Amsterdam, Nieuwe Prinsengracht 130, 1018 VZ, Amsterdam

ABSTRACT: Results are reported of spatial variation of humus forms and their properties based on univariate statistics. The results were compared with those from heterogeneous forests and the role of topography, substrate and individual trees as possible sources of variation of selected humus form characteristics was evaluated. The sample size of 20 profiles was insufficient to estimate the mean with a standard error less than 10% from the population mean at a 95% confidence level. The presumption that relatively homogeneous pine stands exhibit relatively low variance levels for the various humus form characteristics was not proved. Slope angle and aspect, organic matter content, the presence of a podzol and effects of individual trees could not explain variation of selected humus form characteristics.

humus form; mor; *Pinus sylvestris*; sampling; variability

ABSTRAKT: Jsou uvedeny výsledky prostorové proměnlivosti forem humusu a jejich vlastností na základě jednorozměrné statistiky. Tyto výsledky byly porovnány s výsledky získanými v heterogenních lesích a byla hodnocena úloha terénu, substrátu a jednotlivých stromů jako možných zdrojů proměnlivosti vybraných charakteristik forem humusu. Velikost vzorku 20 profilů nepostačovala pro stanovení průměru se směrodatnou chybou menší než 10 % z populačního průměru při 95% hladině spolehlivosti. Předpoklad, že relativně homogenní borové porosty vykazují relativně nízkou hladinu rozptylu pro různé charakteristiky forem humusu, se nepotvrdil. Sklon a expozice svahu, obsah organických látek, přítomnost podzolu a vliv jednotlivých stromů nemohou vysvětlit změny vybraných charakteristik forem humusu.

forma humusu; mor; *Pinus sylvestris*; odebírání vzorků; proměnlivost

INTRODUCTION

Spatial variation of soil characteristics has been studied extensively across various disciplines of soil science (Burrough, 1993). Today, there is an increasing number of studies on humus form variability. Attention has been paid to humus form classification (Brethes et al., 1992; Green et al., 1993; Klinka et al., 1981), species related humus form characteristics (Emmer, 1994; MacLean, Wein, 1977), effects of

site aspect (Pedroli et al., 1988; Sevink, 1988; Vos, Stortelder, 1992) and lateral variation of humus form properties. The literature on the latter topic comprises several studies, which, for a variety of forest types and soil characteristics, determined the sample size and sample volume required to obtain a certain level of precision (Arp, Krause, 1984; Nykvist, Skjellberg, 1989; Van Wesemael, Veer, 1992) and the spatial dependence of samples (Van Wesemael, Veer, 1992; Riha

et al., 1986). The generality of these results is questionable and has to be confirmed in each case.

From the studies mentioned and for obvious reasons, it is likely that spatial variability of humus form characteristics increases with increasing variability of the geological substrate, increasing numbers of tree and undergrowth species, increasing micro-climatic spatial differences (including relief), and depends on forest management and disturbance. Therefore, humus forms in monoculture, even aged stands with few undergrowth species, uniform substrates and sparse forest management are anticipated to show a relatively low variation regarding type, organic matter stock and chemistry.

A priori knowledge of spatial variability would be of great value to design sampling strategies in future research and for the allocation of research funds, as large numbers of samples are prohibitive to forest soil and forest ecosystem studies. Such studies in The Netherlands include „Forest Reserves“ (Broekmeyer, Szabo, 1993) and „Forest Ecosystems“, involving a.o. monoculture stands of *Pinus sylvestris* L., *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco and *Fagus sylvatica* L., together covering a significant part of the Dutch afforested area. Presently, humus form characteristics in pine stands have been studied quite extensively (Emmer, Sevink, 1994; Sevink et al., 1993).

The purpose of this article is 1) to report on spatial variation of humus forms and their properties, based on univariate statistics, and the number of samples required to characterise a forest stand in terms of selected soil parameters, accounting for a certain level of variability, and compare these with results of more heterogeneous forests in the literature, 2) to evaluate the role of relief, substrate and individual trees as possible sources of variation of selected humus form characteristics (amount of organic matter, pH and electrical conductivity in water extracts).

MATERIALS AND METHODS

STUDY AREAS

The forests studied are situated in the drift sand areas near Hulshorst (5°44'E, 52°20'N, 10–15 m above sea level) and Kootwijk (5°46'E, 52°10'N, 30 m above sea level) in The Veluwe, The Netherlands. From the first half of the 19th century on, large areas have been gradually covered with natural colonisations or plantations of *P. sylvestris*. In the study areas two major geomorphologic units are found, viz. sand dunes (generally on old podzol profiles), and blow-outs, i.e. areas where the sand cover has been deflated down to the ground water level or a gravelly layer. Blow-outs were included in the study to exclude the effects of exposition and microclimate on species composition and humus form, as observed in dune sites. Relief in dune sites is characterised by heights of about 2–4 m and slopes of up to about 30°.

The highly quartzitic dune sands are well sorted, with a median of about 175 µm, and are well drained, ground water being usually present at several metres depth. Accessory minerals are dominantly feldspars (13–16%), with less than 1% heavy minerals (Koster, 1978). The sands are yellowish coloured due to the presence of free iron oxide coatings. The dune sands are low or very low in organic matter, and soils (Haplic or Cambic Arenosols, according to FAO-UNESCO, 1988) exhibit development of Hemihumimor-type humus form (Klinka et al., 1981), featuring strong acidification and pronounced horizon differentiation. In the upper part of the mineral soil a micro-podzol develops and organic matter accumulation is restricted to the EA_h horizon and to a lesser extent to the initial Bs horizon. In the blow-outs the sands and gravels are also highly quartzitic and exhibit similar pedogenic features, but they practically lack organic matter and are mineralogically much more heterogeneous than the dune sands.

SAMPLE PLOTS

The plots on the dune sites all comprise even aged, monoculture stands. Ages have been determined using wood cores and historical files on forest management. In the Hulshorsterzand area two planted stands on dunes have been selected, with ages of 59 and 124 years (plots hD59 and hD124, respectively). The dunes supporting the stands overlay podzol profiles that have developed in eolian cover sands. The thickness of the drift sand layer is on average about 2 m. The density of the stands is about 650 trees.ha⁻¹. For comparison with the dune sites, humus forms were studied in blow-outs, with trees of an age of 65 (planted; 650 trees.ha⁻¹) and 80 years on average (naturally colonised; about 200 trees.ha⁻¹). These stands are referred to as hB65 and hB80.

In the Kootwijkzand area a planted stand on dunes was selected, with trees of about 70 years old (kD70). In this plot, parts of the dune sands cover podzol profiles at 1.8 m depth or less, while the sands can also be differentiated according to their organic matter content, i.e. very low (<0.75%) and low (0.75–1.5%).

The stands cover a surface of at least 1 ha. The principal species in the herb layer is *Deschampsia flexuosa* (L.) Trin., except in hD124, where *D. flexuosa*, *Vaccinium myrtillus* L. and *Empetrum nigrum* L. are co-dominant.

SOIL SAMPLING AND ANALYSES

To prevent systematic bias, in the hD and hB stands 20 profiles were sampled along a nested triangular grid, with minimum distances of 2.3 m between two neighbouring points and maximum distances of 63 m. In the hD stands, the humus form was subdivided into L, F₁,

F₂, Hr, Hd and EA_h horizons (definitions according to Klínka et al., 1981; FAO-UNESCO, 1988). The F and H subhorizons conform to Fr, Fm, Hr and Hf horizons (Babel, 1971) and approximately to Oci, Oe, Oea and Oa horizons (Soil Survey Staff, 1981). In the blow-outs (hB), L, F, H and EA_h horizons were distinguished without further subdivision. For the sampling of the ectorganic layer a 25 x 25 cm metal frame was driven into the soil and horizons were peeled off. The EA_h horizon was sampled using a soil monolith sampler (surface 42 cm²; Wardenaar, 1987).

In the kd70 stand 148 profiles were sampled along a rectangular grid with 15 m interspacing. The organic layer was sampled using the soil monolith sampler mentioned above, which allows for a higher number of profiles to be sampled per unit of time, compared to the sample frame. If applicable, the depth of the underlying podzol was established using a core auger. Slope angle, slope aspect, distance to the nearest tree and presence of a tree canopy above it were recorded for each sample point.

Chemical parameters of the L horizons will not be included in this study, as various kinds of bulking procedures were carried out before further analysis.

After air-drying, "living" roots, bark and woody material were removed from the samples before analysis and weighed separately. Dry weights were determined after drying for two days at 70 °C for the organic samples and 105 °C for the mineral samples. Since the organic samples are contaminated with wind-blown sand and silt particles, organic matter contents are expressed on an ash-free basis. Ash content of samples was determined after heating to 550 °C for 16 hours. pH was measured potentiometrically in suspensions of soil material in distilled water and 1 M KCl (1 : 10 and 1 : 2.5 w/v for organic and mineral samples, respectively). Bulk densities of the organic horizons were estimated using bulk weights and sample volumes. Sample volumes were obtained by multiplying the surface of the (25 x 25 cm) sample frame by the mean of the thicknesses measured at the four sides of the sample frame, or the surface of the (42 cm²) soil monolith sampler with the thickness measured at one side.

Organic subsamples of the hD and hB stands were digested with a mixture of concentrated HNO₃ and H₂O₂ and analysed for basic cations and phosphorus in the labile pool (organically bound, adsorbed and soluble). Details are given by Emmer, Verstraten (1993). Total nitrogen was determined by means of a salicylic acid-thiosulphate modification of the regular Kjeldahl procedure (Bremner, Mulvaney, 1982).

Water extractable elements were determined for the samples taken at hB65 and hB80. They were determined in 1 : 5 and 1 : 1 (w/v) extracts for the organic and mineral samples, respectively, prepared by shaking suspensions for 2 hours, centrifugation after 12 hours and filtration of the supernatant liquid over a 0.45 µm filter.

Phosphorus in the HNO₃-H₂O₂ extracts was analysed colorimetrically using the molybdate blue method

(Murphy, Riley, 1962). Other elements and phosphate in the water extracts were analysed using a continuous flow auto-analyser and flame atomic absorption/emission spectrophotometry.

STATISTICAL ANALYSES

For univariate statistics, ANOVA and correlations the UNIVARIATE, GLM and COR procedures of SAS (SAS Institute Inc., 1988) were used, respectively. Under the assumption that the observations were normally distributed and independent, the sample size required to estimate the population mean with an allowable error d (%) at p (%) confidence was calculated according to the formula:

$$n^* = (t_{p(n-1)} \cdot CV/d)^2 \quad (1)$$

where: t – Student's t statistic,
CV – coefficient of variation.

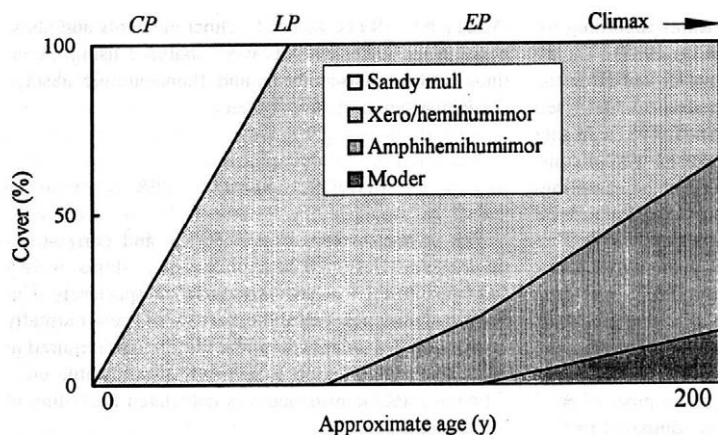
This formula was also used to calculate the error d resulting from the current sample size.

RESULTS AND DISCUSSION

VARIATION OF HUMUS FORMS

During succession of pine stands in the Hulshorsterzand area, the general temporal sequence of humus form taxa is Xeromor – Hemimor – Hemihumimor. This sequence signifies an increasing relative importance of H horizons and a development towards less xeric conditions in the ectorganic profile. Introduction of broad-leaved species, such as *Quercus*, *Betula* and *Fagus* in the later stages of the succession leads to changes in the humus forms towards forms with thicker Ah horizons (Amphihemimimors) and/or moder-like humus forms (Fig. 1). In the monoculture *P. sylvestris* stands only few undergrowth species are found, comprising *D. flexuosa* and heather species. An examination of species-humus form interrelations showed that profile development under *D. flexuosa* is broadly similar to that under pines without undergrowth, while *E. nigrum* seems to induce significantly higher amounts of organic matter, a lower pH and lower base element concentrations in the ectorganic layer (Emmer, 1994). However, irrespective of undergrowth species, in stands of an age of about 60 years and older (Hulshorsterzand and Kootwijk) the principal humus form individual is a Hemihumimor. Particularly under *E. nigrum* and *V. myrtillus*, the H horizons sometimes have a moder-humus character, with mormoders as related humus form taxa.

Although humus form properties under the latter species are found to deviate from *D. flexuosa* dominated and non-vegetated patches, it is questionable whether this inference justifies a stratification according to species dominance. Such a stratification would



1. Cover percentages of humus forms in relation to stand age and vegetation association in *Pinus sylvestris* forests on poor sandy substrates. CP: *Cladonio-Pinetum*, LP: *Leucobryo-Pinetum* and EP: *Empetro-Pinetum* (from Emmer, 1994)

require rather distinct gradients at the boundaries between various patches, which are unlikely to occur in reality. Patches of heather species appear in later phases of the succession and develop in a concentric fashion, which may lead to radial gradients in properties within an individual patch. Moreover, late successional species may have exerted their influence during a relatively short time, with related small changes in humus form properties (Emmer, 1994). For the former reason, it is anticipated that within-stratum variances are considerable, and combined with the latter, differences between species defined strata may be found statistically non-significant.

UNIVARIATE STATISTICS AND ESTIMATIONS OF SAMPLE SIZE IN UNSTRATIFIED SAMPLING

Univariate statistics and estimates of n^* and d of various humus form properties are summarised in Appendix 1. Coefficients of variation of N concentration and pH are relatively low (<10%). CV's of the amount of organic matter and bulk density are high (generally >30% and sometimes >50%), while CV's of element concentrations, excluding N concentration, are intermediate except for incidental extreme values (>40%). In-

creasing or decreasing trends in CV's from F_1 to Hd horizon seem to be lacking. An exception is the thickness and amount of organic matter in stand hD59, the CV's of which increase from F_1 to Hd (because the Hr and Hd horizons are discontinuous) and the pH in both hD stands, which is more variable in the F_1 than in the underlying horizons. The statistics in Appendix 1 show similar values for Hulshorsterzand and Kootwijk. Values of CV and n^* are in the same order of magnitude as found by Arp, Krause (1984) for a mixed stand of *Abies balsamea* (L.) Mill. and *Picea rubens* Sarg. on a glacial till, and Van Wesemael, Veer (1992) for various Mediterranean mixed forests on sandstones, phyllites and limestones. This indicates that botanical variation within a plot is not a good predictor of variation of humus form characteristics.

Sampling to estimate mean total amounts requires a larger sample size than to estimate element concentrations (Appendix 1), which has also been stressed by Arp, Krause (1984). Furthermore, Tab. I indicates that coefficients of variation and sample sizes for the estimation of amounts of organic matter increase when stratifying into various horizons, such as has been done in the hD stands. This is probably due to an averaging out effect (Heuvelink, pers. comm., see Appendix 2), but it may also suggest that the identification of subhorizons is problematic and poorly reproducible (Federer, 1982), and/or that the distribution of organic matter over the various subhorizons varies according to differences in organic matter turnover at a micro-scale. As the author was involved in all these samplings, which took place in a short time, observer's bias as well as inconsistent use of criteria for separation of organic horizons is considered to be a less probable explanation.

ESTABLISHING SIGNIFICANT DIFFERENCES BETWEEN THE STANDS

Although there is a marked botanical difference between stands hD59 and hD124, and a significant influ-

I. Coefficients of variation (%) for amount of organic matter ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) in various layers

Horizon	hD59	hD124
L	35	69
F_1	46	51
F_2	49	30
Hr	97	74
Hd	119	49
F	37	26
H	58	48
LFH	33	32

ence of *E. nigrum* on humus form properties in the latter stand (Emmer, 1994), 20 profiles sampled in each stand were insufficient to detect significant differences for most of the properties (Emmer, Sevink, 1994). This signifies that soil changes in this stage of succession where rates of change are small are difficult to quantify, i.e. require large sample sizes (Sevink et al., 1993). Therefore, when aiming at the assessment of changes in longitudinal studies (for example „Forest Reserves“, „Forest Grazing“), an *a priori* evaluation of the changes anticipated and sample numbers required to reveal statistical significant differences may be useful. However, if it is required to quantify the magnitude of the changes, a much higher level of precision and thus an even larger sample size is required. The values for n^* in Appendix 1 imply that for several relevant parameters a sample size of 20 using the frame are insufficient to reduce the error to less than 10% at 95% confidence. The results from Kootwijk indicate that with the sample size of 50 using the monolith sampler such a precision in general can be achieved.

OUTLIERS

Many parameters show outliers (Appendix 1), which are defined according to their distance outside the 25% and 75% quartiles. Further inspection reveals that the occurrences of outliers (in particular those defined as exceeding 3 inter-quartile distances outside the quartiles) affect the skewness and kurtosis, as well as the coefficient of variation. Outliers can be caused by sampling errors in the field and errors during processing in the laboratory, and by processes that are part of the ecosystem. A detailed evaluation of data and procedures made clear that none of these causes can be linked conclusively to specific outliers. Therefore, it is hazardous to exclude the measurements that are potentially erroneous from the data set. A particular occasion where one could consider to exclude outliers is when mean values for a property have to be related to the area of a particular site (for example to characterise the site) from a restricted number of observations. It should however be realised that extreme values are an intrinsic part of the ecosystem, depending on different conditions in small parts of the sample plot, including a.o. micro-climatic conditions and microrelief, deposition of branches and disturbance by man and macro fauna. Through their relation with the coefficient of variation, outliers affect the values of the sample sizes calculated using Equation 1. Such calculations are suitable for the estimation of the number of samples to be included in composite samples (Carter, Lowe, 1986). In the latter case exclusion of extreme values is unjust, as this would lead to underestimates of required sample sizes. For example, high CV's and values for n^* found for the chemical parameters of the F_2 horizon in stand hD59 are clearly related to the occurrence of extreme values (Appendix 1). This implies that differences found be-

tween stands hD50 and hD124 regarding CV and n^* may be largely controlled by the incidental occurrence of outliers and do not relate to structural differences between the stands. Values for n^* should therefore be considered as an order of magnitude.

SOME NOTES ON SPATIAL PATTERNS

Considering the similarity of ages, stand structures, undergrowth composition and physiography of stands hD59 and kD70, it was expected that the spatial patterns of for example amount of organic matter, thickness and chemical characteristics such as pH and EC would be approximately alike in both stands. Other studies (Grier, McColl, 1971; Nykvist, Skyllberg, 1989) show that variation of these properties occurs at short distances (down to <25 cm).

For a better comparison, the results of stands hD59 and hD124 in Tab. II are based on unstratified F and H horizons, obtained by adding up amounts of organic matter and thickness of the subhorizons and calculating weighted averages for pH and EC. CV's for the chemical properties of stand kD70 are systematically higher than those of the hD stands, while this is not the case for amount of organic matter and horizon thickness.

Given the size of the sample frame, this suggests that spatial variation within a 25 x 25 cm square is considerable for pH and EC, but small for amount of organic matter and horizon thickness. A practical implication is that for the estimation of wet chemical properties one would reduce the sample variance and thus gain precision using the 625 cm² sample frame instead of the 42 cm² monolith sampler, which is much less so for the assessment of ectorganic matter stocks in these pine stands.

II. Comparison of the coefficient of variation (%) of selected properties between stands hD59 and hD124 (625 cm²), and kD70 (42 cm²)

		hD59	hD124	kD70
Organic matter (kg.m ⁻²)	L	35	69	44
	F	37	26	42
	H	58	48	53
Thickness (cm)	F	30	28	25
	H	51	27	55
EC ₂₅ (μS.cm ⁻¹)	F ^a	21	15	27
	H	23	16	28
pH-H ₂ O	F ^a	3	3	4
	H	2	2	3
H ⁺ -H ₂ O (μmol.l ⁻¹)	F ^a	22	27	47
	H	20	17	33

a) LF for stand kD70

SOURCES OF LATERAL VARIATION

Among the abiotic factors, micro-climate and mineral soil are likely to influence vegetation dynamics and

III. Selected characteristics of organic horizons at different slope orientation, soil type and position relative to tree canopies (kD70)

Slope orientation			N-NE		E-SE		S-SW		W-NW		Flat	
			Avg	CV	Avg	CV	Avg	CV	Avg	CV	Avg	CV
Thickness	(cm)	F	4.2	33	4.0	23	2.2	73	4.8	83	3.8	29
		H	2.9	59	3.3	52	3.5	40	2.9	59	3.5	57
Organic matter	(g.m ⁻²)	L	183	46	183	48	178	47	152	36	165	41
		F ^a	1,900	38	2,000	52	1,659	31	1,852	33	1,501	35
EC ₂₅	(μS.cm ⁻¹)	H	2,310	52	2,729	47	2,751	43	2,265	49	2,729	52
		LF	249	24	221	30	226	30	231	28	235	23
		H	131	36	126	25	122	27	112	26	125	28
		0-5	91	51	69	19	73	21	74	23	78	31
pH-H ₂ O		LF	4.15	6	4.09	6	4.10	5	4.15	6	4.09	4
		H	3.71	5	3.72	7	3.69	3	3.72	3	3.69	4
pH-KCl		0-5	3.76	3	3.82	3	3.80	2	3.82	3	3.80	3
		LF	3.19	8	3.12	7	3.13	7	3.16	8	3.12	5
		H	2.67	6	2.64	6	2.63	3	2.67	4	2.64	3
		0-5	3.19	7	3.33	5	3.28	4	3.30	4	3.30	6
Soil type			Very low		Low OM		Podzol					
			Avg	CV	Avg	CV	Avg	CV				
Thickness	(cm)	F	4.3	44	4.2	36	3.7	27				
		H	3.1	52	3.4	50	3.3	52				
Organic matter	(g.m ⁻²)	L	185	37	168	48	156	46				
		F	1,857	40	1,650	31	1,700	48				
EC ₂₅	(μS.cm ⁻¹)	H	2,445	50	2,666	49	2,618	47				
		LF	228	23	228	24	249	35				
		H	133	26	120	25	116	36				
		0-5	77	26	76	37	80	33				
pH-H ₂ O		LF	4.10	6	4.10	4	4.18	6				
		H ^b	3.65	4	3.69	4	3.77	4				
pH-KCl		0-5	3.79	3	3.80	3	3.81	3				
		LF	3.12	8	3.12	5	3.21	8				
		H	2.63	4	2.64	4	2.68	5				
		0-5	3.28	5	3.28	5	3.27	7				
Canopy			Under		Outside							
			Avg	CV	Avg	CV						
Thickness	(cm)	F	4.3	40	3.9	28						
		H	3.4	50	3.1	55						
Organic matter	(g.m ⁻²)	L	171	45	170	45						
		F	1,767	37	1,634	41						
EC ₂₅	(μS.cm ⁻¹)	H	2,696	47	2,415	51						
		LF	237	22	225	34						
		H ^c	128	26	114	32						
		0-5	79	28	74	42						
pH-H ₂ O		LF	4.10	5	4.15	5						
		H	3.68	4	3.72	4						
pH-KCl		0-5	3.79	3	3.82	3						
		LF	3.12	6	3.18	8						
		H ^d	2.63	4	2.67	4						
		0-5	3.26	6	3.31	5						

 a) $p < 0.03$: E-SE and N-NE > others; b) $p < 0.02$: Podzol > Very low OM; c) $p < 0.02$: Under > Outside; d) $p < 0.04$: Outside > Under

humus form development in dune sites. In these sites considerable variations in microclimatological conditions have been found by De Blois et al. (1991). It was shown that temperature means and amplitudes on south and south-east facing slopes exceed those of north facing slopes. Systematic observations by Fanta (1982, 1986) revealed that succession on north and north-east facing slopes is generally faster because of higher rates of organic matter build-up and related higher moisture contents. Regarding the effect of the mineral soil, Schelling (1955) reported that tree growth in dune sites depends on the depth of the drift sand cover, in particular when gravelly or compact materials and/or podzols are present within 1.8 m from the soil surface. To investigate microclimatological and edaphic effects mentioned on selected humus form characteristics (amount of organic matter, pH and electrical conductivity), an analysis of variance was carried out using the data from stand kD70 (Kootwijk). The data set was stratified into 5 groups of slope orientation, viz. flat, and S-SW, W-NW, N-NE and E-SE aspects, 3 groups of mineral soil, viz. drift sands very low in organic matter (<0.75%), low in organic matter (0.75–1.5%) and drift sands with a podzol within 1.8 m from the surface, and 2 groups consisting of points under or outside tree canopies. Sample points ($n = 148$) in stand kD70 were randomly distributed regarding these variables. The results of the analyses (Tab. III) show that these factors have effect only on a small part of the humus form characteristics considered. North to east facing slopes have F horizons with larger amounts of organic matter, which supports the findings by others. The presence of a podzol within 1.8 m from the surface seems to induce somewhat higher pH values in the organic horizons (significant at $p < 0.05$ only for pH-H₂O in the H horizon), a higher EC and a smaller amount of organic matter (not statistically significant in this analysis). The presence of a tree canopy above the soil seems to relate to larger amounts of organic matter, a higher EC and a lower pH, although only significant at $p < 0.05$ for the EC and the pH-KCl in the H horizon. However, the high standard deviations indicate that the factors involved in this analysis do not explain the variation found for each humus form characteristic. Correlation coefficients (Tab. IV) show that tree distance and slope angle explain only a very small part of the variation.

CONCLUSIONS

1. The number of different humus form taxa in mature pine stands on sandy and gravelly substrates is low and is related to the diversity in stand ages and successional stages.
2. Humus form properties show high variance levels, except for pH and nitrogen concentrations. Variations are such that with the sampling scheme adopted, in the Hulshorsterzand stands for many properties the sample size of 20 profiles was insufficient to

IV. Correlations between selected characteristics of horizons and slope angle and distance to the nearest tree (kD70)

			Slope angle	Tree distance
Thickness (cm)	F		0.061	-0.153
	H		-0.093	-0.127
Organic matter (g.m ⁻²)	L		0.060	-0.013
	F		0.153	-0.139
EC ₂₅ (μS.cm ⁻¹)	H		-0.097	-0.112
	LF		-0.124	0.004
pH-H ₂ O	H		0.033	-0.293 ^a
	0-5		-0.011	0.024
pH-KCl	LF		-0.135	0.146
	H		-0.056	0.169
	0-5		-0.095	0.112
	LF		-0.126	0.186 ^b
	H		-0.025	0.262 ^a
	0-5		-0.063	0.099

a) $p < 0.01$; b) $p < 0.03$

- estimate the mean with a standard error less than 10% from the population mean at 95% confidence.
3. The high variance levels found mandate stratified samplings, whenever stratification is relevant, to reduce the variance, and composite sampling techniques to allow for a much larger sample size while analytical work remains reduced. The required sample size should be established in a pilot study, or otherwise be derived from the literature. If chemical and physical properties of the humus forms are to be analysed, a conservative and rough estimate of the sample size is about 25, which in many cases may prove to be insufficient.
 4. As several studies indicate that sample size is inversely related to sample volume, large sample frames (for example 625 cm² or 2,500 cm²) likely reduce sample variance. Moreover, large sample volumes provide material for various kinds of laboratory analyses. However, a more sophisticated sampling apparatus such as the monolith sampler used at Kootwijk allows for a higher rate of sampling and a better view on morphological properties. This apparatus is particularly suitable for composite samplings, but fails on stony substrates and in very dry conditions.
 5. The presumption that the pine stands, which are relatively homogeneous regarding their age, vegetation and substrate, would show relatively low variance levels for the various humus form characteristics was not supported in this study. Coefficients of variation of humus form parameters in the pine stands are of the same order of magnitude as found in other studies, although the latter involve much more heterogeneous stands with respect to botanical composition.
 6. Slope angle and orientation, organic matter content of the drift sands, the presence of a podzol within

1.8 m depth and effects of individual trees could not explain much of the variation of selected humus form characteristics (amount of organic matter, pH and electrical conductivity) in the present study.

References

- ARP, P. A. – KRAUSE, H. H., 1984. The forest floor: Lateral variability as revealed by systematic sampling. *Can. J. Soil Sci.*, 64: 423–437.
- BABEL, U., 1971. Gliederung und Beschreibung des Humusprofils in mitteleuropäische Wäldern. *Geoderma*, 5: 297–324.
- BREMNER, J. M. – MULVANEY, C. S., 1982. Nitrogen-total. In: PAGE, A. L. (ed.): *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. Am. Soc. Agr., Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin: 595–624.
- BRETHES, A. – BRUN, J. J. – JABIOL, B. – PONGE, J.-F. – TOUTAIN, F., 1992. Humus Form Reference Base. Excerpts from *Référentiel Pédologique*. INRA, Paris.
- BROEKMEYER, M. E. A. – SZABO, P. J., 1993. The Dutch forest reserves programme. In: BROEKMEYER, M. E. A. – VOS, W. – KOOP, H. (eds.): *European Forest Reserves*. Pudoc Sci. Publ., Wageningen: 75–85.
- BURROUGH, P. A., 1993. Soil variability: a late 20th century view. *Soils Fertilizers*, 56: 529–562.
- CARTER, R. E. – LOWE, L. E., 1986. Lateral variability of forest floor properties under second-growth Douglas-fir stands and the usefulness of composite sampling techniques. *Can. J. For. Res.*, 16: 1128–1132.
- DE BLOIS, P. – VAN BOXEL, J. H. – FANTA, J., 1991. Microklimaat en successie: ruimtelijk variabiliteit (with extensive English summary). *Ned. Bosb. Tijds.*, 63: 269–276.
- EMMER, I. M., 1994. Humus form characteristics in relation to undergrowth vegetation in a *Pinus sylvestris* forest. *Acta Oecologica*, 15: 677–687.
- EMMER, I. M. – SEVINK, J., 1994. Temporal and vertical changes in the humus form profile during a primary succession of *Pinus sylvestris*. *Plant Soil*, 167: 281–295.
- EMMER, I. M. – VERSTRATEN, J. M., 1993. Applicability of $\text{HNO}_3\text{--H}_2\text{O}_2$ digestion for elemental analysis of organic matter in mor humus forms. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.*, 152: 507–514.
- FANTA, J., 1982. Natuurlijke Verjonging van het Bos op Droge Zandgronden. Report No 301, De Dorschkamp, Research Institute for Forestry and Landscape Planning, Wageningen.
- FANTA, J., 1986. Primary succession on blow-out areas in the Dutch drift sands. In: FANTA, J. (ed.): *Forest Dynamics Research in Western and Central Europe*. Proceedings IUFRO Workshop Ecosystems, Wageningen 1985. Pudoc Sci. Publ., Wageningen: 164–169.
- FAO-UNESCO, 1988. *Soil Map of the World (Revised Legend)*. ISRIC Technical Paper: 20.
- FEDERER, C. A., 1982. Subjectivity in the separation of organic horizons of the forest floor. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46: 1090–1093.
- GREEN, R. N. – TROWBRIDGE, R. L. – KLINKA, K., 1993. *Towards a Taxonomic Classification of Humus Forms*. For. Sci. Monogr.: 29.
- GRIER, C. C. – MCCOLL, J. G., 1971. Forest floor characteristics within a small plot in Douglas-fir in Western Washington. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 35: 988–991.
- KLINKA, K. – GREEN, R. N. – TROWBRIDGE, R. L. – LOWE, L. E., 1981. *Taxonomic Classification of Humus Forms in Ecosystems of British Columbia*. First Approximation. Report No 8, B.C. Min. For. Land Manage., Vancouver, B.C.
- KOSTER, E. A., 1978. *The Eolian Drift Sands of the Veluwe (Central Netherlands); a Physical Geographical Study*. [Ph.D. Thesis.] University of Amsterdam.
- MACLEAN, D. A. – WEIN, R. W., 1977. Changes in understory vegetation with increasing stand age in New Brunswick forests: species composition, cover, biomass, and nutrients. *Can. J. Bot.*, 55: 2818–2831.
- MURPHY, J. – RILEY, J. P., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Act.*, 27: 31–36.
- NYKVIST, N. – SKYLLBERG, U., 1989. The spatial variation of pH in the mor layer of some coniferous forest stands in northern Sweden. *Scand. J. For. Res.*, 4: 3–11.
- PEDROLI, G. M. B. – VOS, W. – DIJKSTRA, H. – ROSSI, R., 1988. *The Farma River Barrage Effect Study*. Regione Toscana, Firenze.
- RIHA, S. J. – JAMES, B. R. – SENESAC, G. P. – PAL-LANT, E., 1986. Spatial variability of soil pH and organic matter in forest plantations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50: 1347–1352.
- SAS Institute Inc. (1988). *SAS/STAT Users Guide*, Release 6.03 Edition. Cary, North Carolina.
- SCHELLING, J., 1955. *Stuifzandgronden*. Uitvoering Verslagen van het Bosbouwkundig Proefstation T.N.O. 2(1).
- SEVINK, J., 1988. Soil organic horizons of Mediterranean forest soils in NE-Catalonia (Spain): Their characteristics and significance for hillslope runoff, and effects of management and fire. *Catena suppl.*, 12: 31–43.
- SEVINK, J. – KEMMERS, R. H. – EMMER, I. M., 1993. Soil research in Dutch forest reserves: the implications of spatial and temporal soil variability. In: BROEKMEYER, M. E. A. – VOS, W. – KOOP, H. (eds.): *European Forest Reserves*. Pudoc Sci. Publ., Wageningen: 109–117.
- Soil Survey Staff, 1981. *Soil Survey Manual*. Chapter 4. U.S.D.A. Soil Conserv. Serv., Washington, D.C.
- VAN WESEMAEL, B. – VEER, M. A. C., 1992. Soil organic matter accumulation, litter decomposition and humus forms under Mediterranean-type forests in southern Tuscany (Italy). *J. Soil Sci.*, 43: 133–144.
- VOS, W. – STORTELDER, A., 1992. *Vanishing Tuscan Landscapes. Landscape Ecology of a Submediterranean-Montane Area (Solano Basin, Tuscany, Italy)*. Pudoc Sci. Publ., Wageningen.
- WARDENAAR, E. C. P., 1987. A new hand tool for cutting soil monoliths. *Can. J. Soil Sci.*, 67: 405–407.

Received 29 January 1997

		n	Avg	CV	Min	Max	Skew	Kurt	n^*A	d^B
Thickness (cm)	F ₁	20	3.5	34	1 [#]	6 [#]	0.19	0.16	52	16
	F ₂	20	3.0	36	0 [#]	5	-0.87	2.35	55	17
	Hr	20	2.3	74	0	7 ^{##}	1.37	2.21	240	35
	Hd	20	1.0	122	0	3	0.84	-0.79	648	57
	EAh	20	2.2	50	1	5	1.32	0.90	110	23
LOI (%)	F ₁	20	89	16	39 [#]	97	-2.19	8.49	11	7
	F ₂	18	85	20	26 ^{##}	96	-2.71	8.19	18	9
	Hr	18	65	30	24	89	-0.41	-0.87	40	14
	Hd	10	46	25	29	63	0.34	-0.88	29	12
	EAh	20	1.6	36	0.6	2.6	.033	-0.90	56	17
Organic matter (g.m ⁻²)	L	20	355	35	150	723 [#]	1.21	3.21	53	16
	F ₁	20	1,153	46	228	2,455 [#]	0.63	0.62	94	22
	F ₂	19	2,102	49	0	4,615	0.27	0.30	103	23
	Hr	20	2,258	97	0	8,060 [#]	1.38	1.45	410	45
	Hd	20	1,533	119	0	5,172	0.73	-0.96	622	56
Bulk density (g.cm ⁻³)	F ₁	20	0.03	36	0.01 [#]	0.05	-0.62	-0.28	57	17
	F ₂	18	0.07	47	0.03	0.17 ^{##}	1.53	3.03	96	22
	Hr	18	0.09	55	0.02	0.23 [#]	1.27	2.02	130	26
	Hd	10	0.17	26	0.09	0.23	-0.73	0.06	33	13
EC ₂₅ (μS.cm ⁻¹)	F ₁	20	263	29	55 [#]	371	-1.09	1.94	36	13
	F ₂	19	178	22	74 [#]	219	-1.32	1.65	20	10
	Hr	18	163	25	109	235	0.18	-1.41	28	12
	Hd	10	136	26	96	202	0.79	-0.21	35	13
	EAh	20	74	20	45	100	0.14	-0.50	17	9
pH-H ₂ O	F ₁	20	4.40	3.8	3.96 [#]	4.66	-0.74	1.08	1	1
	F ₂	19	3.73	2.6	3.60	3.99	0.81	1.10	1	1
	Hr	18	3.62	2.8	3.42	3.83	-0.12	0.30	1	1
	Hd	10	3.69	2.8	3.51	3.84	-0.09	-0.75	1	1
	EAh	20	3.95	2.4	3.75	4.17	0.24	0.72	1	2
pH-KCl	F ₁	20	3.22	6.6	2.78	3.50	-0.69	-0.55	2	3
	F ₂	19	2.64	3.9	2.50	2.81	0.30	-1.22	1	2
	Hr	18	2.49	2.7	2.35 [#]	2.62 [#]	-0.40	0.22	1	1
	Hd	10	2.53	3.2	2.41	2.65	0.14	-0.78	1	1
	EAh	20	3.06	4.0	2.90	3.40	1.19	2.24	1	2
N (g.kg ⁻¹)	F ₁	10	11.5	10	10.20	13.41	-0.69	-0.42	5	6
	F ₂	10	11.8	9	10.51	13.33	1.06	0.59	4	7
	Hr	10	9.8	11	8.45	11.30	0.82	0.31	6	8
	Hd	10	8.9	23	6.51	11.50	0.90	1.21	27	16
P	F ₁	18	0.86	12	0.69	1.07	0.22	-0.43	6	6
	F ₂	18	0.63	11	0.44 [#]	0.77	-0.57	2.20	6	5
	Hr	18	0.36	42	0.19	0.82 [#]	1.65	3.60	77	20
	Hd	10	0.41	36	0.29	0.79 [#]	2.32	6.08	64	18
Fe	F ₁	18	1.28	17	0.82 [#]	1.69	-0.16	-0.14	13	8
	F ₂	19	2.61	68	1.61	9.69 ^{##}	3.95	16.37	202	32
	Hr	18	3.19	27	1.93	4.43	0.07	-1.34	32	13
	Hd	10	3.61	13	2.85	4.29	-0.17	-0.84	8	6
Mn	F ₁	18	0.17	36	0.05	0.29	-0.35	-0.18	55	15
	F ₂	19	0.13	40	0.01 [#]	0.24 [#]	-0.02	0.95	71	19
	Hr	18	0.06	31	0.04	0.11	1.14	1.73	17	9
	Hd	10	0.06	28	0.04	0.09	0.24	-1.23	33	13
Al	F ₁	18	0.85	17	0.64	1.20	0.60	0.34	13	8
	F ₂	19	1.85	106	1.01	9.87 ^{##}	4.18	17.19	6	5
	Hr	18	2.06	35	0.97	3.40	0.36	-0.93	53	16
	Hd	10	3.08	98	2.15	4.27	0.58	1.52	18	9

		n	Avg	CV	Min	Max	Skew	Kurt	n*	d
Na	F ₁	18	0.27	33	0.13	0.47 [#]	0.98	0.95	46	15
	F ₂	19	0.40	48	0.28	1.18 ^{##}	3.94	16.46	102	70
	Hr	18	0.40	20	0.27	0.54	0.14	-1.04	17	9
	Hd	10	0.41	17	0.32	0.54	0.21	0.08	14	8
K	F ₁	18	0.92	29	0.55	1.61	0.90	1.37	36	13
	F ₂	19	0.52	43	0.33	1.35 ^{##}	3.24	12.34	81	20
	Hr	17	0.35	16	0.27	0.45	0.06	-1.16	12	8
	Hd	10	0.37	16	0.28	0.49	0.45	0.57	14	8
Ca	F ₁	18	1.97	18	1.15	2.49	-0.75	0.23	14	8
	F ₂	19	1.33	22	0.90	2.23 [#]	1.65	4.15	21	15
	Hr	17	1.27	24	0.82	1.98	0.60	0.44	24	11
	Hd	10	1.15	30	0.71	1.90	1.12	1.72	45	15
Mg	F ₁	18	0.60	15	0.44	0.77	0.07	-0.69	10	7
	F ₂	19	0.46	33	0.33	1.03 ^{##}	3.28	12.73	46	15
	Hr	18	0.43	19	0.27	0.58	0.12	0.12	15	9
	Hd	10	0.42	22	0.28	0.59	0.11	0.14	24	11
N	(g.m ⁻²) F ₁	10	13.71	36	4.25	21.68	-0.30	-0.35	66	26
	F ₂	10	22.31	37	14.50	20.86	-0.12	-0.49	70	26
	Hr	10	19.46	71	4.17	70.47 [#]	-0.13	2.15	257	51
	Hd	10	9.87	124	0	53.48 ^{##}	0.99	3.25	785	89
P	F ₁	18	1.01	40	0.24	1.81	0.15	-0.14	67	18
	F ₂	18	1.29	52	0	2.91 [#]	0.67	1.04	182	30
	Hr	20	0.79	94	0	2.58	1.01	0.17	388	44
	Hd	20	0.66	137	0	3.07 [#]	1.41	1.34	817	64
Fe	F ₁	18	1.63	57	0.19	4.15 [#]	1.06	1.89	143	27
	F ₂	19	5.72	104	0	28.43 ^{##}	3.4	13.31	517	51
	Hr	20	7.68	103	0	27.02 [#]	1.33	1.02	467	48
	Hd	20	5.39	117	0	16.73	0.61	-1.29	593	54
Mn	F ₁	18	0.19	45	0.06	0.38	0.73	0.45	89	21
	F ₂	19	0.31	70	0	0.79 [#]	1.21	0.46	250	35
	Hr	20	0.13	105	0	0.53 ^{##}	1.90	3.60	486	49
	Hd	20	0.10	127	0	0.35	0.97	-0.51	698	59
Al	F ₁	18	1.07	54	0.15	2.39 [#]	0.60	0.27	126	25
	F ₂	19	4.23	146	0	28.95 ^{##}	3.92	16.30	935	68
	Hr	20	5.33	122	0	25.82 ^{##}	6.49	4.50	647	47
	Hd	20	4.61	118	0	15.16	0.69	-1.08	610	55
Na	F ₁	18	0.32	47	0.06	0.55	-0.11	-1.21	95	22
	F ₂	19	0.88	82	0	3.46 ^{##}	2.71	9.59	331	41
	Hr	20	0.88	96	0	3.22 [#]	1.46	2.08	402	45
	Hd	20	0.64	123	0	2.37	0.87	-0.60	665	58
K	F ₁	18	1.03	39	0.37	1.66	0.11	-1.29	66	18
	F ₂	19	1.14	79	0	3.97 ^{##}	2.09	5.07	308	39
	Hr	19	0.83	92	0	2.58	1.08	0.39	370	43
	Hd	20	0.57	119	0	1.71	0.63	-1.33	615	55
Ca	F ₁	18	2.31	45	0.57	5.00 [#]	0.85	1.71	86	21
	F ₂	19	2.86	58	0	6.55	0.70	0.08	180	30
	Hr	19	2.90	119	0	10.87 ^{##}	1.71	1.72	613	55
	Hd	20	1.86	139	0	8.82 [#]	1.44	1.36	838	65
Mg	F ₁	18	0.72	49	0.17	1.73 [#]	1.29	3.28	103	23
	F ₂	19	0.99	68	0	3.02 [#]	1.65	3.74	236	34
	Hr	20	0.99	98	0	3.65 [#]	1.36	1.57	412	46
	Hd	20	0.65	124	0	2.42	1.00	-0.05	675	57

A) With a maximum error of 10%

B) With the current sample size

#) Outlier: 1.5 interquartile ranges outside 25% or 75% quartile; ##) Outlier: 3 interquartile ranges outside 25% or 75% quartile

		n	Avg	CV	Min	Max	Skew	Kurt	n*	d
Thickness (cm)	F ₁	20	3.8	42	2.0	8.0 [#]	1.16	1.11	76	19
	F ₂	20	5.0	30	3.0	9.0	1.09	1.57	38	14
	Hr	20	2.2	43	0	4.0	-0.38	0.13	82	20
	Hd	20	2.9	32	1.0	5.0	0.35	0.35	46	15
	EAh	20	3.4	60	1.5	9.0	1.59	2.42	158	28
LOI (%)	F ₁	20	96	2.7	86 ^{##}	97	-3.02	10.25	1	1
	F ₂	20	92	10	60 ^{##}	97	-2.66	6.94	5	5
	Hr	19	86	12	56 [#]	95	-1.76	3.55	6	6
	Hd	20	52	28	27	78	-0.34	-0.66	34	13
	EAh	19	2.4	47	0.8	5.2	0.81	0.64	97	22
Organic matter (g.m ⁻²)	L	20	279	69	73	679	0.95	-0.03	209	32
	F ₁	20	1,054	51	206	1,996	0.21	-0.93	113	24
	F ₂	20	2,990	30	1,167	5,030 [#]	0.29	0.47	40	14
	Hr	20	2,323	74	0	8,296 ^{##}	2.21	7.36	240	35
	Hd	20	3,954	49	784 [#]	9,684	1.05	2.97	106	23
Bulk density (g.cm ⁻³)	F ₁	20	0.03	53	0.01	0.07 [#]	1.66	2.58	138	26
	F ₂	20	0.06	29	0.03	0.10	0.30	-0.39	38	14
	Hr	20	0.10	49	0.03 [#]	0.28 ^{##}	2.29	8.39	105	23
	Hd	20	0.14	35	0.04	0.24	0.17	0.08	54	16
EC ₂₅ (μS.cm ⁻¹)	F ₁	20	353	31	192	590 [#]	1.09	0.56	43	15
	F ₂	20	210	15	158	282 [#]	0.67	0.85	9	7
	Hr	19	215	18	136	307	0.35	1.00	14	8
	Hd	20	166	18	106	218	-0.17	-0.60	15	9
	EAh	19	83	25	45	124	0.16	-0.51	28	12
pH-H ₂ O	F ₁	20	4.68	6.7	4.12	5.53 [#]	0.94	1.74	2	3
	F ₂	20	3.83	3.6	3.67	4.13	0.88	-0.08	1	2
	Hr	19	3.54	20	3.34 [#]	3.64	0.35	1.00	1	1
	Hd	20	3.61	3.0	3.43	3.90 [#]	-0.17	-0.60	1	1
	EAh	20	3.88	3.5	3.59	4.22	0.41	1.46	1	2
pH-KCl	F ₁	20	3.56	8.4	3.09	4.27 [#]	1.03	1.27	3	4
	F ₂	20	2.73	3.9	2.47	2.94	-0.11	0.81	1	2
	Hr	19	2.48	2.1	2.41	2.61 [#]	0.92	1.03	1	1
	Hd	20	2.51	3.8	2.38	2.78 [#]	1.42	2.74	1	1
	EAh	20	2.96	3.8	2.67	3.16	-0.72	1.20	1	2
N (g.kg ⁻¹)	F ₁	10	12.13	5.1	11.03	13.08	-0.40	-0.35	1	4
	F ₂	10	12.50	3.8	12.08	13.42	1.09	0.55	1	3
	Hr	10	10.74	8.2	9.79	12.39	0.70	-0.24	3	6
	Hd	10	9.98	18	8.03	14.08 ^{##}	1.62	2.59	17	13
P	F ₁	20	0.83	14	0.68	1.09	0.85	0.04	9	7
	F ₂	18	0.66	15	0.44 [#]	0.91 [#]	0.36	0.01	10	7
	Hr	19	0.59	9.8	0.51	0.70	0.71	-0.25	4	5
	Hd	20	0.60	19	0.49	0.98 [#]	1.90	4.76	16	9
Fe	F ₁	20	1.08	27	0.74	1.83 [#]	1.34	1.31	33	13
	F ₂	18	2.04	20	1.46	2.83	0.56	0.17	18	9
	Hr	19	2.97	19	2.16	4.22	0.68	0.39	15	9
	Hd	20	3.94	19	2.82	6.10 [#]	1.08	1.93	16	9
Mn	F ₁	20	0.51	33	0.29	0.81	0.76	-0.59	47	15
	F ₂	17	0.15	44	0.07	0.29	1.09	0.29	114	24
	Hr	19	0.52	26	0.03	0.08	0.29	-0.23	35	13
	Hd	20	0.05	27	0.03	0.08	0.79	0.22	31	12
Al	F ₁	20	0.69	32	0.33	1.24 [#]	0.89	1.51	46	15
	F ₂	18	1.24	25	0.83	1.95	0.69	-0.03	55	17
	Hr	19	2.15	25	1.48	3.33	0.85	-0.14	27	12
	Hd	19	3.98	25	2.56	6.80 [#]	1.16	2.12	28	12

		n	Avg	CV	Min	Max	Skew	Kurt	n*	d
Na	F ₁	20	0.31	23	0.22	0.48 [#]	1.10	1.38	22	11
	F ₂	18	0.32	24	0.21	0.47	0.17	-0.84	24	11
	Hr	19	0.36	19	0.26	0.53	0.62	0.38	16	9
	Hd	20	0.36	22	0.25	0.50	0.36	-1.34	21	10
K	F ₁	20	1.07	41	0.61	2.09 [#]	1.42	1.66	74	19
	F ₂	18	0.44	17	0.28	0.55	-0.67	0.01	12	8
	Hr	19	0.34	15	0.25	0.42	-0.15	-1.23	10	7
	Hd	20	0.35	15	0.24	0.48 [#]	0.18	0.88	10	7
Ca	F ₁	20	2.69	19	2.17	4.26 [#]	1.73	3.59	16	9
	F ₂	18	0.44	17	0.28	0.55	-0.67	0.01	16	9
	Hr	19	1.70	24	1.27	2.47	0.69	-0.95	25	11
	Hd	20	1.61	25	1.08	2.58 [#]	1.35	1.38	26	11
Mg	F ₁	20	0.67	18	0.50	0.96 [#]	1.23	0.87	14	9
	F ₂	18	0.39	13	0.31	0.52 [#]	0.54	1.03	8	6
	Hr	19	0.41	15	0.23 [#]	0.48	-1.21	3.02	9	7
	Hd	20	0.40	16	0.21 [#]	0.47	-1.43	2.72	11	88
N (g.m ⁻²)	F ₁	10	13.63	39	3.80	21.27	-0.34	-0.27	79	20
	F ₂	10	32.76	31	15.06	45.41	-0.54	-0.65	55	17
	Hr	10	18.60	57	0	39.26 [#]	0.39	1.08	176	30
	Hd	10	31.67	49	7.94	55.88	-0.12	-0.61	127	25
P	F ₁	20	0.85	51	0.14	1.69	0.52	-0.48	113	24
	F ₂	18	1.88	25	1.07	2.75	0.33	-0.58	27	12
	Hr	20	1.33	73	0	4.76 ^{##}	2.33	7.98	233	34
	Hd	20	2.28	42	0.55	4.92 [#]	0.63	1.99	78	20
Fe	F ₁	20	1.18	73	0.26	3.65 [#]	1.51	2.47	230	34
	F ₂	18	5.99	37	3.14	10.82	0.49	-0.45	58	17
	Hr	20	6.68	75	0	23.98 ^{##}	2.33	7.34	246	35
	Hd	20	14.67	39	3.73	27.31 [#]	0	0.25	65	18
Mn	F ₁	20	0.49	45	0.08	1.05 [#]	0.71	1.25	87	21
	F ₂	18	0.44	52	0	0.78	-0.06	-0.94	117	24
	Hr	20	0.12	89	0	0.50 ^{##}	2.47	7.89	348	42
	Hd	20	0.19	58	0.04	0.47 [#]	1.14	0.78	146	27
Al	F ₁	20	0.75	75	0.13	2.48 ^{##}	1.74	3.64	242	35
	F ₂	18	3.66	40	1.83	6.94	0.61	-0.27	69	19
	Hr	20	4.64	66	0	14.09 [#]	1.77	4.45	189	31
	Hd	19	14.8	33	3.01	24.77	-0.44	1.50	73	19
Na	F ₁	20	0.34	64	0.05	0.95 [#]	1.13	1.71	180	30
	F ₂	18	0.97	39	0.31	1.65	0.02	-0.84	68	18
	Hr	20	0.87	82	0	3.44 ^{##}	2.48	8.74	297	39
	Hd	20	1.43	59	0.29	3.94 [#]	1.33	2.75	154	28
K	F ₁	20	1.07	61	0.13 [#]	3.44 ^{##}	2.68	10.12	165	29
	F ₂	18	1.30	35	0.55	2.76 [#]	1.75	5.88	55	17
	Hr	20	0.77	72	0	2.66 ^{##}	2.11	6.62	227	34
	Hd	20	1.34	43	0.32	2.62	0.08	-0.12	81	20
Ca	F ₁	20	2.76	53	0.53	5.62	1.45	-0.42	120	25
	F ₂	18	5.11	38	2.18	10.10 [#]	0.92	1.45	64	18
	Hr	20	3.93	76	0	14.37 ^{##}	2.26	7.62	254	36
	Hd	20	6.75	77	1.33	24.94 ^{##}	2.51	8.07	255	36
Mg	F ₁	20	0.68	52	0.10	1.59	0.83	0.90	117	24
	F ₂	18	1.13	40	0.61	1.89 [#]	0.71	0.05	42	14
	Hr	20	0.96	84	0	3.95 ^{##}	2.80	10.53	308	39
	Hd	20	1.60	56	0.26	4.19 [#]	1.12	2.48	137	26

A) With a maximum error of 10%

B) With the current sample size

#) Outlier: 1.5 interquartile ranges outside 25% or 75% quartile; ##) Outlier: 3 interquartile ranges outside 25% or 75% quartile

		n	Avg	CV	Min	Max	Skew	Kurt	n ^A	d ^B
Thickness (cm)	F	20	5.5	50	2.0	14.5 [#]	2.26	6.36	109	23
	H	20	2.1	35	0.5	3.5	-0.06	0.04	55	17
	EAh	20	3.9	43	2.0	8.5	1.59	2.40	82	20
LOI (%)	F	20	91	6.8	75 [#]	96	-1.47	1.12	2	3
	H	20	53	24	20 [#]	73	-1.17	2.23	26	11
	EAh	20	1.7	21	1.3	2.4	0.72	-0.78	21	10
Organic matter (g.m ⁻²)	L	20	260	49	86	537	0.64	-0.49	104	23
	F	20	4,420	33	2,277	7,950 [#]	0.64	0.51	47	15
	H	20	2,323	42	123 [#]	4,175	0	0.49	75	19
Bulk density (g.cm ⁻³)	F	20	0.09	25	0.05	0.13	0.41	-0.60	25	11
	H	20	0.11	39	0.02	0.20	0.02	-0.29	65	18
EC ₂₅ (μS.cm ⁻¹)	F	20	164	25	96	247	0.51	-0.44	27	12
	H	20	146	24	74 [#]	202 [#]	-0.52	0.40	25	11
	EAh	20	68	18	50	95	0.70	-0.27	18	8
pH-H ₂ O	F	20	3.88	4.0	3.66	4.21	0.51	-0.44	1	2
	H	20	3.74	4.4	3.46	4.01	-0.04	-0.87	1	2
	EAh	20	3.78	2.2	3.62	3.95	-0.11	-0.18	1	1
pH-KCl	F	20	2.95	3.4	2.78 [#]	3.22 ^{##}	1.03	1.80	1	2
	H	20	2.70	4.4	2.54	3.00	1.05	0.71	1	2
	EAh	20	3.24	3.0	3.07	3.40	0.11	-0.81	1	1
N (g.kg ⁻¹)	F	10	12.11	6	10.56	13.05	0.11	0.23	2	4
	H	10	10.23	15	9.42	11.01	0.26	0.61	11	11
P	F	20	0.59	15	0.48	0.84 [#]	1.44	2.92	9	7
	H	20	0.56	42	0.31	1.28 ^{##}	1.83	4.08	78	20
Fe	F	20	1.98	16	1.32	2.58	0.27	-0.23	12	8
	H	20	3.51	28	1.41	5.07	-0.04	-0.42	34	13
Mn	F	20	0.06	31	0.04	0.11 [#]	1.04	1.04	38	14
	H	20	0.06	51	0.03	0.15 [#]	2.02	5.01	69	19
Al	F	20	1.32	17	0.85	1.82	0.23	0.45	13	8
	H	20	3.85	24	2.39	5.60	0.29	-0.60	26	11
Na	F	20	0.31	21	0.19	0.42	-0.05	-0.68	19	10
	H	20	0.32	40	0.10	0.54	0.14	-0.77	69	19
K	F	20	0.51	14	0.36	0.64	0.22	-0.13	9	7
	H	20	0.56	35	0.34	1.10 [#]	1.84	3.21	53	16
Ca	F	20	1.73	21	1.19	2.65 [#]	1.00	1.06	20	10
	H	20	1.44	31	0.88	2.49 [#]	1.25	1.03	42	15
Mg	F	20	0.48	13	0.38	0.62 [#]	0.18	0.21	7	6
	H	20	0.50	21	0.27	0.69	-0.26	0.07	19	10

A) With a maximum error of 10%

B) With the current sample size

#) Outlier: 1.5 interquartile ranges outside 25% or 75% quartile; ##) Outlier: 3 interquartile ranges outside 25% or 75% quartile

		n	Avg	CV	Min	Max	Skew	Kurt	n ^{*A}	d ^B
Thickness (cm)	F	20	5.5	39	3.0	10.0	0.67	-0.71	67	18
	H	20	2.0	55	0.5	5.0	1.44	2.49	134	26
	EAh	19	3.1	48	1.0	7.0	1.42	2.55	99	22
LOI (%)	F	20	89	6.7	70 [#]	96	-1.38	1.00	3	4
	H	20	59	23	33	82	-0.07	-0.91	24	11
	EAh	19	2.1	32	1.3	3.8	0.83	0.38	44	15
Organic matter (g.m ⁻²)	L	20	205	40	86	391 [#]	1.09	1.02	68	18
	F	20	4,523	38	1,708	7,223	0.02	-1.35	61	18
	H	20	2,345	53	620	5,050	0.65	-0.37	122	25
Bulk density (g.cm ⁻³)	F	20	0.09	21	0.06	0.12	0.44	-1.00	20	10
	H	20	0.13	39	0.02	0.25	0.33	0.87	66	18
EC ₂₅ (μS.cm ⁻¹)	F	20	173	15	125	219	0.23	-0.84	10	7
	H	20	146	30	76	215	-0.23	-1.26	40	14
	EAh	19	77	21	47	110	0.25	-0.17	22	10
pH-H ₂ O	F	20	3.92	3.2	3.70	4.17	0.27	-0.43	1	2
	H	20	3.75	3.6	3.54	4.02	0.41	-0.26	1	2
	EAh	19	3.81	2.2	3.68	4.00	0.63	0.13	1	1
pH-KCl	F	20	2.95	4.7	2.74	3.29	0.52	0.50	1	2
	H	20	2.71	4.9	2.54	3.05	1.02	1.11	1	2
	EAh	19	3.15	2.6	2.98	3.30	-0.24	-0.20	1	1
N (g.kg ⁻¹)	F	10	11.54	4	10.82	12.45	0.99	0.49	1	3
	H	10	9.73	19	8.01	14.23	0.24	0.35	18	14
P	F	20	0.57	18	0.28 [#]	0.76	-1.29	3.20	14	8
	H	20	0.54	36	0.20	1.16 [#]	1.49	4.32	58	17
Fe	F	20	1.95	12	1.48	2.44	0.22	0.02	6	6
	H	20	3.54	28	2.36	5.82 [#]	1.07	0.18	35	13
Mn	F	20	0.07	30	0.04	0.13 [#]	0.75	0.87	36	13
	H	20	0.05	45	0.03	0.10	1.00	0.22	89	21
Al	F	20	1.40	21	1.00	2.17 [#]	1.05	1.53	21	10
	H	20	2.94	31	1.78	5.41 [#]	1.12	1.51	50	16
Na	F	20	0.29	22	0.16	0.41	-0.35	-0.05	21	10
	H	20	0.19	38	0.06	0.31	0.12	-0.67	61	14
K	F	20	0.65	28	0.44	1.16 [#]	1.74	3.25	34	13
	H	20	0.53	41	0.30	1.03 [#]	1.22	0.62	74	19
Ca	F	20	1.64	11	1.30	2.02	0.28	0.30	6	5
	H	20	1.24	22	0.73	1.80	0	-0.08	22	10
Mg	F	20	0.48	90	0.38	0.53	-0.77	-0.20	4	4
	H	20	0.47	30	0.28	0.94 [#]	1.96	6.34	39	14

A) With a maximum error of 10%

B) With the current sample size

#) Outlier: 1.5 interquartile ranges outside 25% or 75% quartile; ##) Outlier: 3 interquartile ranges outside 25% or 75% quartile

$$\sigma_{FH} = \sqrt{(\sigma_F^2 + \sigma_H^2) + 2 \cdot \rho_{FH} \cdot \sigma_F \cdot \sigma_H} = \sqrt{(\sigma_F + \sigma_H)^2 - 2 \cdot (1 - \rho_{FH}) \cdot \sigma_F \cdot \sigma_H} \quad (a)$$

and

$$CV = \frac{100 \cdot \sigma}{m} \quad (b)$$

if $\rho_{FH} \leq 1$, then:

$$CV_{FH} \leq 100 \cdot \frac{\sigma_F + \sigma_H}{m_{FH} + m_{FH}} \quad (c)$$

where: CV – coefficient of variation,
 m_{FH} – mean of $F + H$ horizon mass,
 ρ_{FH} – correlation coefficient of mass of F and H horizons,
 σ_F – standard deviation of m_F ,
 σ_H – standard deviation of m_H ,
 σ_{FH} – standard deviation of m_{FH} .

PROSTOROVÁ PROMĚNLIVOST CHARAKTERISTIK FOREM HUMUSU A JEJÍ DŮSLEDKY PRO VÝZKUM FOREM HUMUSU VE STEJNORODÝCH POROSTECH BOROVICE *PINUS SYLVESTRIS*

I. M. Emmer

Nizozemské středisko pro geoeologický výzkum (ICG), Výzkumná skupina pro krajinu a životní prostředí, Univerzita v Amsterdamu, Nieuwe Prinsengracht 130, 1018 VZ, Amsterdam, Nizozemsko

Bylo zjištěno, že charakteristiky forem humusu vykazují značnou prostorovou proměnlivost. Velký počet vzorků požadovaný pro určení vlastností forem humusu znemožňuje výzkum mnoha lesních půd a ekosystémů. Je pravděpodobné, že prostorová variabilita charakteristik forem humusu se zvyšuje s rostoucí proměnlivostí geologického substrátu, zvyšujícím se počtem druhů dřevin a podrostu, rostoucími mikroklimatickými rozdíly; závisí rovněž na způsobu obhospodařování lesa a na narušení lesa. Předpokládalo se, že formy humusu v monokultuře ve stejnověkových porostech s malým počtem druhů v podrostu, s homogenním substrátem a řídkým zápojem, což je případ mnohých borových lesů v Nizozemsku, budou ukazovat relativně nízkou proměnlivost, pokud jde o typ, zásoby organické hmoty a chemismus.

Účelem příspěvku je podat zprávu o prostorové variabilitě forem humusu a jejich vlastností na základě jednorozměrné statistiky, porovnat tyto výsledky na základě studia literatury s údaji získanými z lesů vykazujících větší heterogenitu a posoudit funkci reliéfu, substrátu a jednotlivých stromů jako možných zdrojů změn vybraných charakteristik forem humusu. Pro jednorozměrnou statistiku byla použita metoda ANOVA, korelace a postupy UNIVARIATE, GLM a COR, vyvinuté v SAS Institute Inc. Hlavní závěry práce:

1. Počet různých taxonů forem humusu v dospělých borových porostech na písčitéch a štěrkovitých subs-

trátech je nízký a je závislý na diverzitě věku porostu a stadiu sukcese.

2. Vlastnosti forem humusu vykazují vysokou úroveň rozptylu s výjimkou pH a koncentrace dusíku. Pro většinu vlastností forem humusu je velikost vzorku 20 profilů nedostatečná ke stanovení průměrné hodnoty se směrodatnou chybou menší než 10 % z populačního průměru při 95% úrovni spolehlivosti.
3. Zjištěná vysoká úroveň rozptylu vyžaduje stratifikovaný odběr vzorků, kdykoliv je stratifikace relevantní, aby se redukoval rozptyl, a dále techniku složeného vzorkování, aby byla umožněna mnohem větší velikost vzorků, přičemž analytické práce zůstávají redukovány.
4. Protože některé studie naznačují, že velikost vzorku je nepřímo úměrná objemu vzorku, velké vzorky (např. 625 cm² nebo 2 500 cm²) pravděpodobně redukovat proměnlivost vzorku a poskytují více materiálu pro různé druhy laboratorních analýz. Komplikovanější aparatura pro odběr vzorků, jako je zařízení pro odběr monolitu použité v Kootwijk, umožňuje rychlejší odběr vzorků a lepší pohled na morfologické vlastnosti. Tento přístroj je zejména vhodný pro složené vzorkování, ale na kamenitých substrátech a ve velmi suchých podmínkách ho nelze použít.
5. Předpoklad, že borové porosty, které jsou relativně homogenní s ohledem na jejich věk, vegetaci a substrát, budou vykazovat relativně nízkou hladinu roz-

ptylu pro různé charakteristiky humusu, se nepotvrdil. Koeficient proměnlivosti parametrů forem humusu v borových porostech byl stejné velikosti, která byla zjištěna v ostatních výzkumech, i když poslední uvedené studie zahrnují mnohem heterogennější porosty se zřetelem na botanickou skladbu.

6. Sklon a expozice svahu, obsah organických látek, přítomnost podzolu do hloubky 1,8 m a vliv jednotlivých stromů nemohou vysvětlit změny vybraných charakteristik forem humusu (množství organické hmoty, hodnota pH a elektrická vodivost vodních extraktů).

Contact Address:

Dr. Ingino M. Emer, The Netherlands Centre for Geo-Ecological Research (ICG), Department of Physical Geography and Soil Science, University of Amsterdam, Nieuwe Prinsengracht 130, 1018 VZ, Amsterdam, The Netherlands

Chalupka, W. – Cecich, R. A.: Control of first flowering in forest trees (Řízení prvního kvetení u lesních stromů)

Scand J. For. Res., 1997, s. 102–111 – 1 tab., lit. s. 108–111

Brzké kvetení má zvláštní význam pro šlechtitele dřevin, protože tak existuje možnost zkrátit generační cyklus. Obsahem práce vzniklé spoluprací pracovníka z Institutu dendrologie v Kórniku v Polsku a pracovníka z North Central Forest Experiment Station Columbia ve státě Missouri je přehled o faktorech, které mohou řídit nebo jsou v korelaci s produkcí prvních květů lesních stromů. Strom může kvést poprvé, když došlo k dostatečnému vývoji koruny a kdy je dostatek meristémů, aby byly podpořeny jak vegetativní, tak reprodukční pupeny. Brzké kvetení se může podporovat technikou pěstování jako fotoperiodou, urychleným růstem, gibbereliny a vodním stresem. Délka juvenilní fáze závisí na genetických proměnných a proměnných prostředí. Vedle problematiky umělé indukovaného brzkého kvetení se věnuje pozornost dědičnosti. Poukazuje se na gen, který reguluje brzké kvetení, jak byl uložen do topolu via transformaci *Agrobacterium*. Zatímco šlechtitelé zaměřeni na produkci dřeva mohou negativně posuzovat vliv kvetení na vegetativní vývoj, ti, kdo mají zájem na časné produkci semen, spatřují v časném dosažení kvetení důležitý jev, i když brzké kvetení nemusí být v korelaci s bohatým následným kvetením. – M. Pagač

Brunnée, J. – Nollkaemper, A.: Between the forests and the trees – an emerging international forest law (Mezi lesy a stromy – vývoj spěje k mezinárodnímu lesnímu zákonu)

Environmental Conservation, 1996, č. 4, s. 307–314, lit. 39

Lesy na celé naší planetě jsou ohroženy zrychlující se degradací a destrukcí. Problémy negativních jevů v oblasti lesů musí řešit nejen jednotlivé státy, ale všechny státy společně. K tomu má sloužit mezinárodní lesní zákon, který je stále ještě nerozvinutou oblastí legislativy. Mezinárodní lesní zákon zatím tvoří řada smluv a nesmluvních nástrojů, které v poměrně značné nekoordinovanosti a neprincipiálnosti pojednávají o takových tématech, jako je biodiverzita, ochrana lesů a obchod s dřevem. Vzhledem ke stoupajícímu tlaku na tropické a jiné lesy dochází ke snahám objasnit a vyjádřit hodnoty a úkoly, které jsou základem mezinárodní lesnické politiky; ta může navodit další koordinovaný vývoj mezinárodního lesního zákona. Konstatuje se, že existuje napětí mezi pevně zakořeněnými požadavky svrchovanosti nad lesy s objevujícími se ve zvýšené míře přijímanými zásadami, které by mohly řídit mezinárodní lesní zákon: zásadami veřejného zájmu, mezigenerační rovnosti a opatřeními. Tyto zásady začínají ovlivňovat vývoj mezinárodního lesního zákona v mezinárodních iniciativách, jako je konvence o biodiverzitě, konvence o změně klimatu a především včetně mezivládního panelu o lesích. Významné je, že práce podává přehled o relevantních dohodách a mezivládních iniciativách. I přes rozmanitost lesů mají obecné principy legislativy o lesích globální význam, což platí nejen pro obchod s dřevem, kdy čtvrtina celkové produkce dřeva vstupuje do mezinárodního obchodu, ale i pro biodiverzitu a pro ochranu lesů. – M. Pagač

BIOMONITORING STANOVIŠTNÍCH ZMĚN V NÁHRADNÍCH POROSTECH BŘÍZY IMISNÍ OBLASTI – II. DRABČÍKOVITÍ

BIOMONITORING OF SITE CHANGES IN SUBSTITUTE BIRCH STANDS IN AN AIR-POLLUTED AREA – II. ROVE BEETLES

E. Kula¹, J. Boháč²

¹ Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Fakulta lesnická a dřevařská, Lesnická 37, 613 00 Brno

² Ústav ekologie krajiny AV ČR, Na sádkách 7, 370 05 České Budějovice

ABSTRACT: The rove beetles (*Staphylinidae*) as a bioindicator group in view of the degree of landscape impairment were employed in an air-polluted area characterized by substitute forest communities with a dominant share of birch (*Betula verrucosa* Ehrh.) that were established in 1980–1983. The ten-year development of the rove beetle fauna (1986–1995) confirmed the high degree of anthropogenic impairment with respect to the dominant occurrence of expansive individuals. A positive shift was indicated by the expansion of the species spectrum of relict rove beetles and by their matching with expansive species at the end of the ten-year period. Photoelectors and ground traps were used for fauna evaluation.

Staphylinidae; biomonitoring; *Betula verrucosa* birch stand; air-polluted area

ABSTRAKT: Drabčíkovití (*Staphylinidae*) jako bioindikační skupina stupně narušení krajiny byli uplatněni v imisní oblasti charakterizované náhradními lesními společenstvy s dominantním zastoupením břízy (*Betula verrucosa* Ehrh.), které byly založeny v letech 1980–1983. Desetiletý vývoj fauny drabčíkovitých (1986–1995) potvrdil vysoký stupeň antropogenního narušení vzhledem k dominantnímu výskytu jedinců expanzivních. Pozitivní posun se projevil nárůstem zastoupení druhového spektra reliktních drabčíkovitých a jejich vyrovnáním s druhy expanzivními v závěru desetileté periody. K hodnocení fauny bylo užito metody fotoelektrů a zemních pastí.

Staphylinidae; biomonitoring; porosty břízy *Betula verrucosa*; imisní oblast

ÚVOD

Antropogenní vlivy působící negativně na lesní ekosystémy vyvolávají často změny ve stanovištních podmínkách, které se projevují např. prosvětlením porostů a následným zabuřeněním, vynucenou dřevinou skladbou, vstupy cizorodých látek, zvýšením zakyselení půdy apod. Fauna především bezobratlých živočichů reaguje změnou druhového spektra a početního zastoupení. I když technický monitoring vychází z přesného měření stupně znečištění jednotlivými polutanty, není z něj možné odvodit bezprostřední reakci daného ekosystému.

Je známo, že některé druhy a skupiny hmyzu a pavouků se vzhledem ke své citlivosti využívají jako bioindikátory stanovištních změn – motýli (Kettlewell, 1973), střevlíkovití (Hůrka et al., 1996), pavouci (Buchar, 1983).

Drabčíkovití jsou jako predátoři a dekompozitoři významnou součástí půdního edafonu a epigeické složky. Jejich etologie a ekologických nároků využil Boháč (1990) při sestavování kategorií reliktnosti a při jejich následném využití při klasifikování stanovišť a odvození stupně narušení krajiny antropickou činností na základě „indexu společenstva drabčíkovitých“, který je

Práce vychází z řešení grantového úkolu Grantové agentury ČR, který získal také sponzorskou podporu Ministerstva zemědělství ČR, regionálních institucí, akciových společností a firem: Obalex, s. r. o., v Jilově, Netex, s. r. o., a Aluminium, a. s., v Děčíně, Městský a Okresní úřad v Děčíně, Setuza, a. s., Teplárna, a. s., Česká pojišťovna, a. s., Komerční banka, a. s., Pyrus, s. r. o., SCES, s. r. o., v Ústí nad Labem, Tonaso, a. s., Nešetřovice, Chemopetrol, a. s., Litvínov, ČEZ, a. s., Elektrárna Ledvice, Čížkovická cementárna, a. s., v Čížkovicích, Severočeské doly, a. s., Chomutov, firma Export a import, s. r. o., Velké Březno, Dieter Bussmann, s. r. o., v Ústí nad Labem.

stanoven podle početního zastoupení exemplářů v jednotlivých skupinách reliktnosti.

B o h á č (1986, 1988a) zařadil jednotlivé druhy drabčíkovitých v závislosti na jejich vztahu k antropické ovlivněnému stanovišti do tří základních kategorií:

Relikty I. řádu (RI) – druhy boreomontánního a boreoalpinského výskytu s ustálenou vazbou na stanoviště nejvíce se svým charakterem blížíci původnímu stavu, tedy člověkem relativně nenarušené lokality, jako jsou např. původní a přirozené lesy, horské polohy, rašeliníště. Tyto druhy jsou specializovány na poměrně úzce vymezené ekologické podmínky.

Relikty II. řádu (RII) – druhy vázané na převládající typ středoevropského klimatu, kterému odpovídají současné přirozené lesní ekosystémy. Jejich nároky na charakter lesa nejsou tak vyhraněné jako u skupiny RI. Vyskytují se i ve všech typech kulturního lesa, v remízích a na pasekách.

Expanzivní druhy (E) – eurytopní druhy se schopností pronikat do uměle odlesněné krajiny a osidlovat stanoviště silně ovlivněná činností člověka, jako jsou např. obhospodařované louky, pole, antropické útvary (haldy, výsypky).

Cílem příspěvku je zhodnotit vývoj fauny drabčíkovitých na lokalitách imisní oblasti s náhradními porosty s dominantním zastoupením břízy.

METODIKA

Drabčíkovití jsou skupinou živočichů, kteří obývají svrchní vrstvu půdy, opad a hrabanku. Pohyblivost a šíření je umožněno díky jejich schopnosti létat.

K získání dostatečně reprezentativního přehledu o fauně drabčíkovitých jsme instalovali zemní pasti a fotoeklektory, nebylo prováděno prosívání a individuální vyhledávání jedinců ve specifických stanovištních podmínkách, jako např. v mraveništech, pod kůrou, na plodnicích hub apod.

Na každé z devíti zvolených pokusných ploch (bříza 6, smrk 1, borovice 1 a modřín 1) bylo liniově instalováno 10 zemních pastí v odstupech 5 m tak, aby byl vyloučen okrajový fenomén porostu. Konzervačním médiem byl 2–4% formaldehyd.

Fotoeklektory (100 x 100 x 25 cm) byly umístěny po sedmi kusech v šesti porostech břízy a ve smrkovém porostu. Konzervačním médiem byl 75% etylalkohol.

Kontrola se uskutečňovala v sedmidenním intervalu po celé vegetační období (15. 4.–30. 10.) v letech 1986–1995.

Na determinaci drabčíkovitých se podíleli K. Ma jer z VŠZ v Brně a RNDr. J. B o h á č, DrSc. Nomenklatura a systematické uspořádání je v souladu s prací B o h á č et al. (1993).

POPIS OBLASTI ŠETŘENÍ

Území, ve kterém se uskutečnil výzkum, je silně antropogenně ovlivněno především imisemi (SO_2), které

v kombinaci se silným mrazem (1978/1979) způsobily rozpad a velkoplošné odumření smrkových porostů na počátku osmdesátých let. Následně byla celá oblast zalesněna náhradními dřevinami s dominantním zastoupením břízy.

Šetření se uskutečnilo v šesti porostech břízy a jednom porostu modřínu, borovice, které byly založeny v letech 1981–1983, a smrku (1910), které jsou situovány do oblasti charakterizované průměrnou roční teplotou 6 °C, ročními úhrnnými srážkami 800 mm, nadmořskou výškou 450–600 m, délkou vegetační doby 110–120 dní a průměrnou roční koncentrací SO_2 dlouhodobě nad 60 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (K u l a, 1997).

VÝSLEDKY

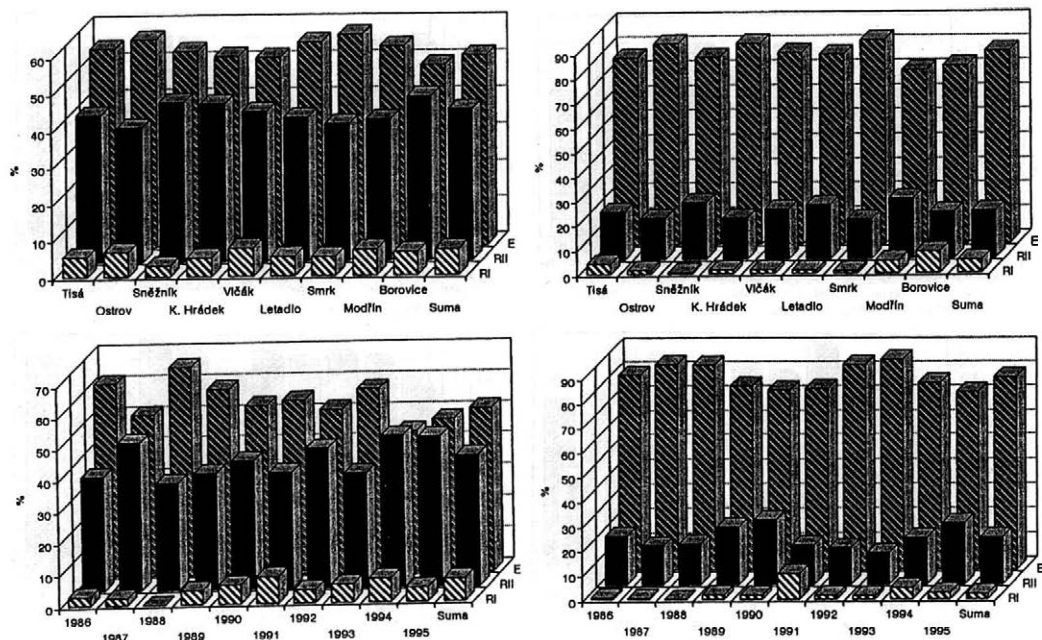
ZHODNOCENÍ DRABČÍKOVITÝCH PODLE RELIKTNOSTI

Reliktnost je kategorie využívaná při stanovení stupně narušení stanoviště prostřednictvím zástupců některých živočišných skupin. Při sumárním hodnocení let 1986–1995 bylo zjištěno shodné zastoupení druhů drabčíkovitých v reliktních kategoriích (RI + RII) 45 % a druhů expanzivních (55 %). Drabčíkovití zachycení metodou fotoeklektorů v porostech břízy naznačili pozvolný ústup druhů expanzivních a nárůst reliktní druhého řádu. V roce 1986 se expanzivní druhy podílely 85 %, zatímco v r. 1994 tato skupina tvořila 47,6 %. Druhy reliktní prvního řádu (RI) měly relativně nízké zastoupení. V závěru desetileté periody systematického hodnocení drabčíkovitých podle reliktnosti nastalo vyrovnání mezi druhy reliktními a expanzivními 52,4 x 47,6 % (1994) a 46,7 x 53,3 % (1995). Při metodě zemních pastí bylo spektrum drabčíkovitých částečně odlišné, ale s vyšší celkovou vyrovnaností a mírnou převahou druhů reliktních RI + RII (obr. 1).

Podle počtu zachycených jedinců bylo dosaženo významně vyššího zastoupení druhů expanzivních s tím, že jejich podíl tvořil 70,4 % (1990) až 91,5 % (1993), zatímco druhy reliktní RII zaznamenaly maximum v r. 1990 (25,3 %). V desetileté časové řadě se neprojevil očekávaný pokles počtu expanzivních jedinců, ale po mírném snížení v letech 1989–1990 následoval jejich výrazný vzestup do r. 1994. Jedinci nejvýznamnější kategorie reliktní RI měli nízké zastoupení od 0 do 4,0 %, přičemž rok 1991 byl výjimkou (13 % – obr. 1).

RELIKTNOST DRABČÍKOVITÝCH NA JEDNOTLIVÝCH STANOVIŠTÍCH

Při metodě fotoeklektorů se projevila shoda v zastoupení drabčíkovitých podle reliktnosti v porostech břízy Ostrov, Kristín Hrádek, Vlčák, Letadlo a ve smrkovém porostu, kde bylo zjištěno nejvíce expanzivních druhů této čeledi (61,5–65,6 %). Nižší podíl této kategorie charakterizoval lokalitu Tisá a Sněžník (55,4–54,1 %).



1. Zastoupení druhů (vlevo) a jedinců (vpravo) drabčíkovitých podle ekologických skupin (RI – reliktů I. řádu, RII – reliktů II. řádu, E – expanzivní druhy) na sledovaných lokalitách LS Sněžník v porostech břízy (Tisá, Ostrov, Sněžník, Kristin Hrádek, Vlčák, Letadlo) a v jehličnatých porostech (smrk, modřín, borovice) (nahore) a vývoj změn v letech 1986–1995 (dole) – Representation of species (left) and individuals (right) of the rove beetles according to ecological groups (RI – relicts of order I, RII – relicts of order II, E – expansive species) in the investigated locations of Sněžník Forest District in birch stands (Tisá, Ostrov, Sněžník, Kristin Hrádek, Vlčák, Letadlo) and in coniferous stands (spruce, larch, pine) (upper part) and change pattern in 1986–1995 (lower part)

Z metody zemních pastí vyplynula celkově vyšší vyrovnanost lokalit. Nejvíce expanzivních zástupců bylo ve smrkovém porostu (60,4 %), v modřínovém porostu (54,4 %) a v porostu břízy na lokalitě Sněžník (55,9 %). V porostech břízy Kristin Hrádek, Vlčák, Letadlo převažovaly druhy reliktní RI + RII (52,9–53,2 %) a shodný podíl obou skupin (R a E) byl v porostu břízy Ostrov a v borovém porostu.

Z analýzy odchycených jedinců podle reliktnosti fotoeklektory i zemními pastmi vyplývá jednoznačná shoda mezi lokalitami a rozhodující postavení expanzivních jedinců. Jako nejvíce antropogenně narušené lokality se podle této klasifikace projevují smrkový porost a porosty břízy Ostrov a Kristin Hrádek (obr. 1).

VÝVOJ RELIKTNOSTI DRABČÍKOVÝCH JEDNOTLIVÝCH LOKALIT LS SNĚŽNÍK

Druhové spektrum drabčíkovitých zachycených fotoeklektory a zemními pastmi jsme hodnotili na jednotlivých lokalitách v desetileté časové řadě. Obecně lze konstatovat, že na všech lokalitách měly dominantní postavení druhy expanzivní a ve velmi nízkém zastoupení se nacházely druhy reliktní RI.

Na lokalitě Tisá jsme zaznamenali nárůst expanzivních druhů od r. 1987 (54,5 %) do roku 1990 (70,4 %); potom nastalo střídání vyššího a nižšího počtu druhů

v této kategorii. Podíl druhů reliktních RII kontinuálně narůstal (1989–1994 – obr. 2).

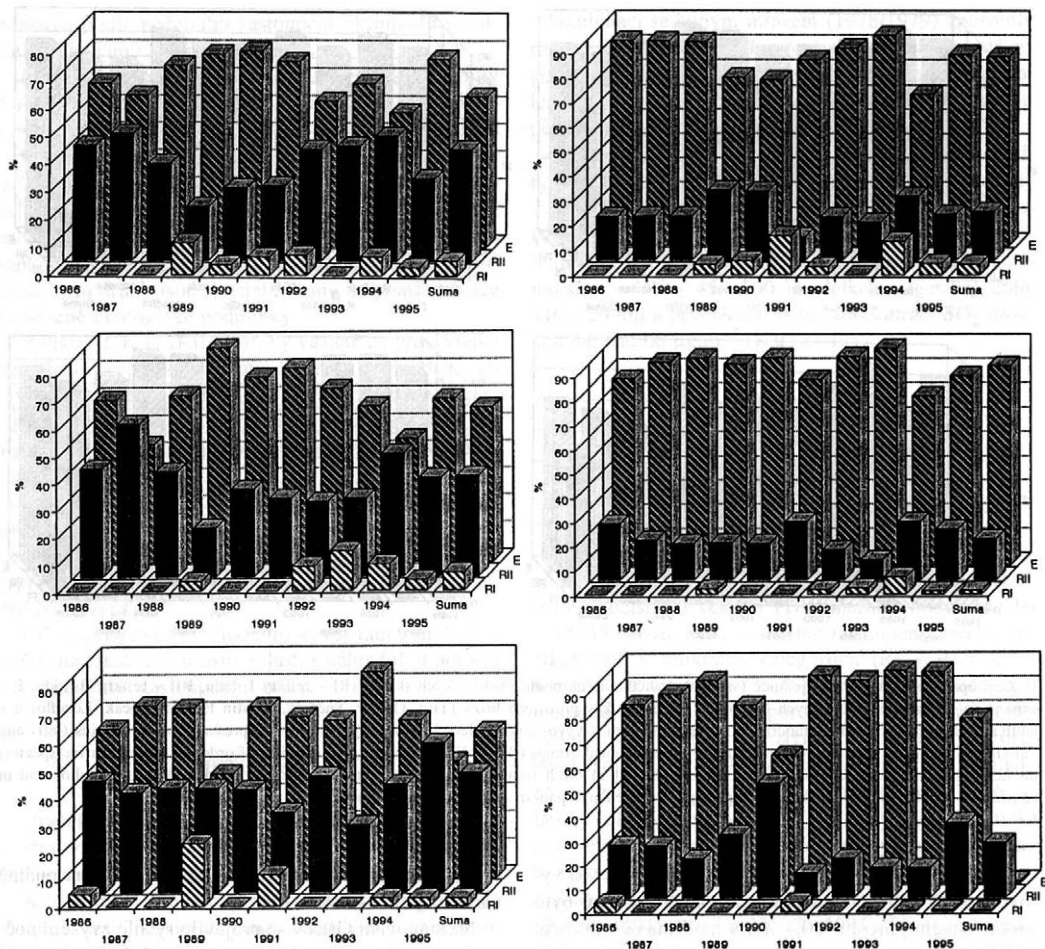
Na stanovišti Ostrov se projevilo rychlé zvýšení počtu druhů expanzivních v r. 1987 (43,5 %) až 1989 (78,6 %), které pozvolna ustupovaly na původní hladinu 45,2 % (1994). Zástupci v kategorii reliktní RII ustoupili v letech 1987–1989 a v následujících čtyřech letech se počty udržely na stejné úrovni. Jako pozitivní se projevuje zvýšení počtu reliktní RI v letech 1992–1994 (obr. 2).

Porost břízy Sněžník měl relativně vyvážené zastoupení druhů reliktních (RII), jejichž podíl se zvýšil v následujících dvou letech tak, že převýšily druhy expanzivní (1995 – obr. 2).

Na stanovišti Kristin Hrádek se projevilo ústup expanzivních druhů drabčíkovitých a nárůst reliktních zástupců (RII). V letech 1994 a 1995 převyšovaly reliktní druhy zástupce expanzivní (52,7 x 47,3 %, 56,5 x 43,5 % – obr. 3).

V porostu břízy Vlčák převažovaly výrazně druhy expanzivní v letech 1986–1990 s tím, že kategorie druhů RI + RII pozvolna zvyšovala své zastoupení (obr. 3).

Na stanovišti Letadlo i přes výrazný podíl expanzivních druhů do r. 1990 jsme zaznamenali kontinuální pokles tohoto druhového spektra. V letech 1993–1995 nastalo vyrovnání hladiny kategorie RI + RII a expanzivních zástupců (obr. 3).



2. Zastoupení druhů (vlevo) a jedinců (vpravo) drabčíkovitých podle ekologických skupin (RI – relikty I. řádu, RII – relikty II. řádu, E – expanzivní druhy) v porostech břízy na sledovaných lokalitách LS Sněžník: Tisá (nahore), Ostrov (uprostřed), Sněžník (dole) – Representation of species (left) and individuals (right) of the rove beetles according to ecological groups (RI – relicts of order I, RII – relicts of order II, E – expansive species) in birch stands in the investigated locations of Sněžník Forest District: Tisá (upper part), Ostrov (middle), Sněžník (lower part)

V jehličnatých porostech – zvláště ve smrkovém a borovém – převažovaly druhy expanzivní.

Ve smrkovém porostu se druhy expanzivní nacházely ve vysokém zastoupení (50,0–73,3 %). Druhy reliktní RII měly nestejně, bez zákonitostí zastoupení počty, přičemž pouze v některých letech jsme zachytili druhy reliktní (RI – obr. 4).

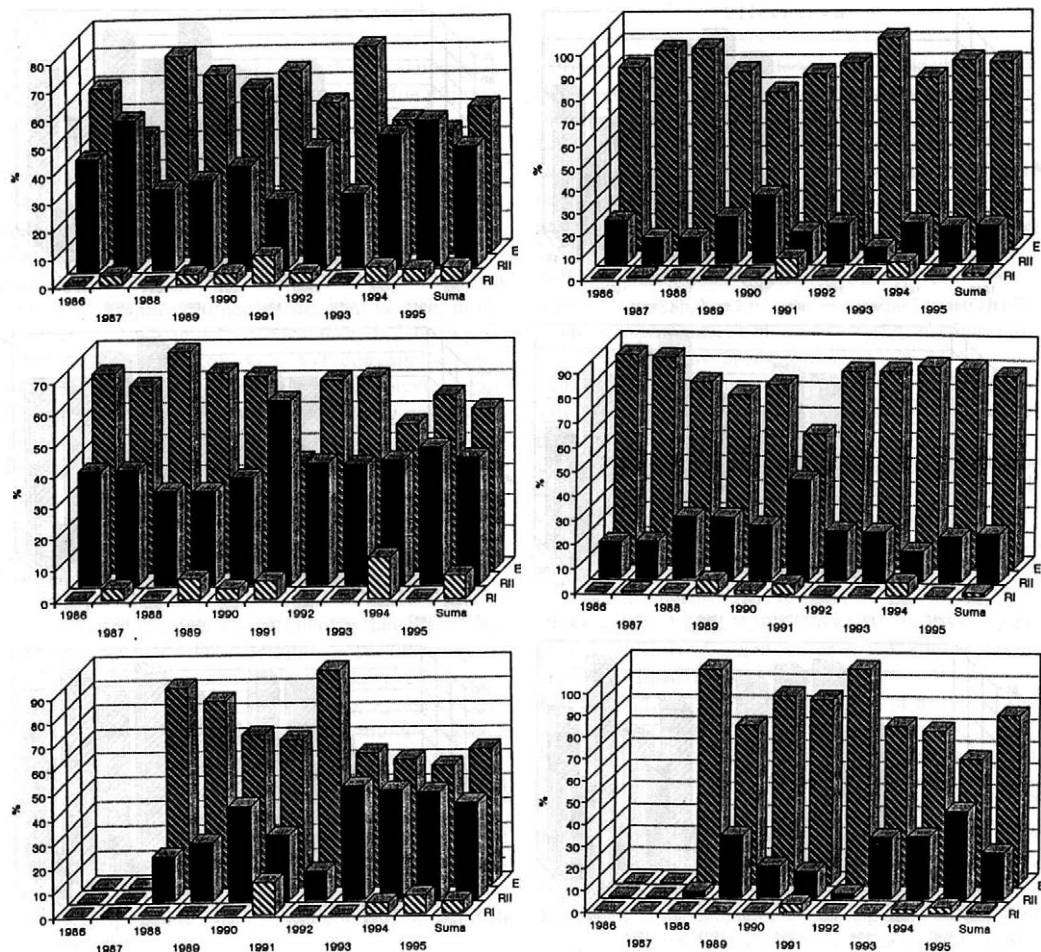
V modřínovém porostu jsme zaznamenali kulminaci počtu expanzivních druhů v r. 1992 a následně pokles, který byl vyrovnán zvýšeným zastoupením především reliktní RII. Skupina reliktní RI byla pravidelně zastoupena (obr. 4).

V borovém porostu se nacházely v rozhodujícím postavení expanzivní druhy drabčíkovitých, zatímco reliktní druhy RI se nejvýrazněji v rámci sledovaných lokalit blížily podílu reliktní RII (obr. 4).

Jednoznačně dominantní postavení měly na všech sledovaných lokalitách počty zachycených jedinců expanzivních druhů drabčíkovitých.

Zhodnocení směru vývoje a změny v početním zastoupení jednotlivých kategorií nelze odvodit, protože hladina zastoupení se pouze mírně měnila v jednotlivých letech (Tisá, Vlčák, Kristin Hrádek, Ostrov), nebo se projevil náhlý odchylný (Sněžník). Pouze na lokalitě Letadlo lze stanovit určitý stupeň ústupu expanzivních jedinců a vzestup reliktních zástupců RII. Podíl jedinců reliktních RI byl vzácný.

V jehličnatých porostech dosáhli rozhodujícího postavení jedinci expanzivních druhů a ve smrkovém porostu byly celkově potlačeny počty jedinců reliktních druhů. Vyšší podíl reliktních druhů jsme zaznamenali v modřínovém porostu a v porostu borovice, kde relik-



3. Zastoupení druhů (vlevo) a jedinců (vpravo) drabčíkovitých podle ekologických skupin (RI – relikty I. řádu, RII – relikty II. řádu, E – expanzivní druhy) v porostech břízy na sledovaných lokalitách LS Sněžník: Kristin Hrádek (nahore), Vlčák (uprostřed), Letadlo (dole) – Representation of species (left) and individuals (right) of the rove beetles according to ecological groups (RI – relicts of order I, RII – relicts of order II, E – expansive species) in birch stands in the investigated locations of Sněžník Forest District: Kristin Hrádek (upper part), Vlčák (middle), Letadlo (lower part)

ty RI byly v relativně nejvyšším zastoupení v rámci sledovaných lokalit.

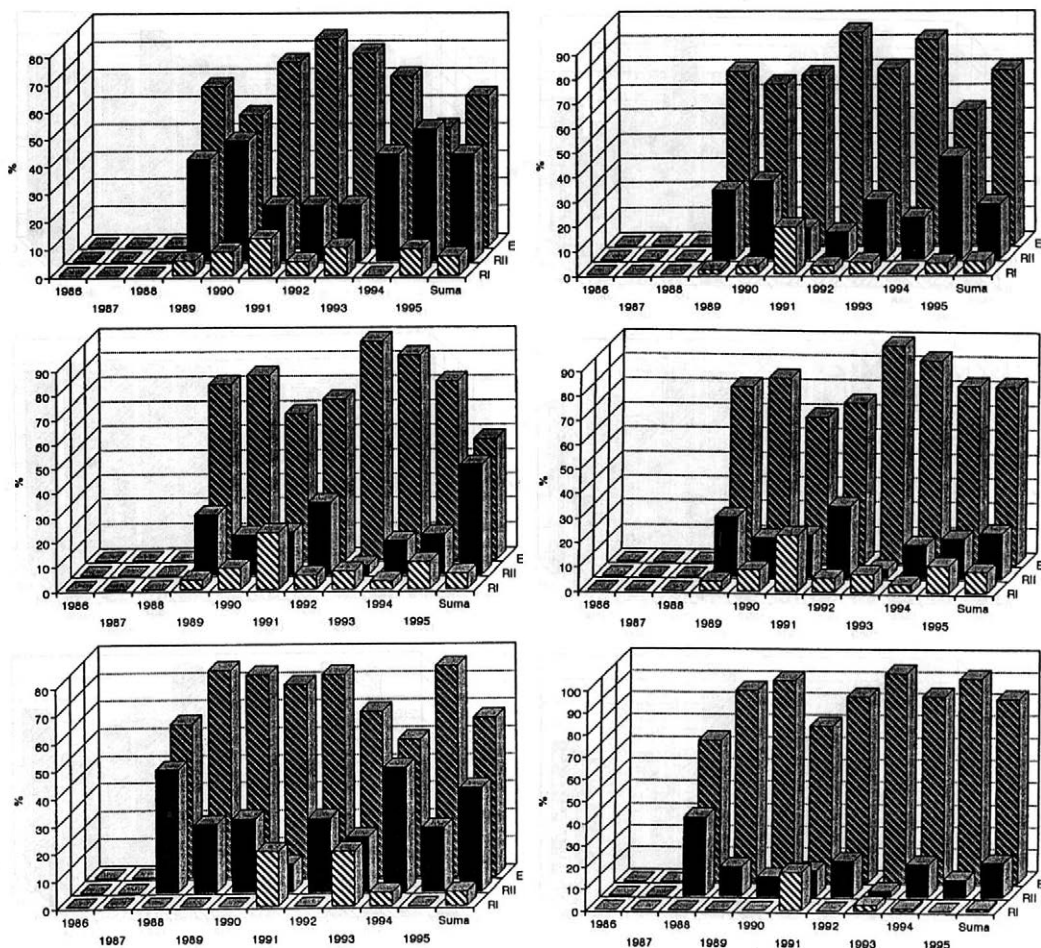
DISKUSE

Společenstvo drabčíkovitých může být užito v bioindikaci přírodního prostředí a zvláště vlivu člověka na ekosystémy (Boháč, 1986, 1988a,b, 1990; Růžička, Boháč, 1994). Předpokládá to uskutečnit jejich sběr pomocí zemních pastí nebo fotoeklektorů po celé vegetační období.

Stanovená dominance a podíl jednotlivých skupin podle reliktnosti byl ovlivněn metodou sběru a aktivitou jednotlivých druhů hodnocené živočišné skupiny. Výsledky dosažené metodou zemních pastí jsou závislé

na hustotě drabčků na sledované lokalitě, ale i na jejich velikosti a etologii, způsobu lovu, rychlosti pohybu, období pohlavní aktivity; v podstatě měří aktivitu pohybujících se brouků. Zvolení pěti až deseti zemních pastí je dostatečně reprezentativní podle Sechťerové-Špičákové (1988). K přesnějšímu stanovení biomonitoringu více přispívá užití fotoeklektorů, které výrazněji odrážejí podmínky stanoviště, protože jsou zachyceni méně migrující jedinci edafonu zpravidla menších velikostí uzavřeného půdního prostoru. Tyto rozdíly jsou známy i od jiných epigeických skupin brouků (*Carabidae*) (Spence, Niemela, 1994).

Z celkového vývoje zastoupení drabčíkovitých ve sledovaném území lze odvodit pozitivní posun ve stanovištních podmínkách na základě zvyšujícího se spektra druhů reliktních druhého řádu a kontinuálním pokle-



4. Zastoupení druhů (vlevo) a jedinců (vpravo) drabčíkovitých podle ekologických skupin (RI – reliktů I. řádu, RII – reliktů II. řádu, E – expanzivní druhy) na sledovaných lokalitách LS Sněžník v jehličnatých porostech: modřín (nahore), borovice (uprostřed), smrk (dole) – Representation of species (left) and individuals (right) of the rove beetles according to ecological groups (RI – relicts of order I, RII – relicts of order II, E – expansive species) in the investigated locations of Sněžník Forest District in coniferous stands: larch (upper part), pine (middle), spruce (lower part)

sem druhů expanzivních. Tento výsledek byl průkazně doložen odchty pomocí fotoeklektorů, kdy nastalo vyrovnání skupiny RI + RII a expanzivních druhů až po deseti letech.

Analýza rozložení počtu jedinců drabčíkovitých v reliktních skupinách potvrzuje, že celá oblast je silně antropogenně ovlivněná a narušená, neboť vysoce dominantní byli jedinci expanzivních druhů a ani desetiletý vývoj lesních porostů se neprojevil zmírněním nepříznivého poměru mezi skupinami RI + RII a E. Rozhodující podíl na tomto stavu má druh *Atheta crassicornis* (Fabr.), který byl dlouhodobě eudominantním druhem na všech sledovaných lokalitách s břízou (45,3–52,7 %) s výjimkou porostu Letadlo (26,8 %), zatímco v zemních pastech se tento druh vyskytoval maximálně do 11 %.

Druhové spektrum a složení reliktních skupin za sledované období v jednotlivých porostech břízy a jehličnatých porostech bylo v souladu s obecnou charakteristikou v průměru s vyrovnáním zastoupením expanzivních a reliktních druhů bez výraznějšího vlivu důležitých státních specifíků jako expozice, nadmořská výška, zařazení a dřevinná skladba.

Metodou fotoeklektorů byl stanoven dominantní podíl expanzivních druhů, zatímco u zemních pastí byl s výjimkou smrkového porostu stav vyrovnaný. Pouze dílčí odchylka mezi těmito metodami sběru se projevila při hodnocení počtu jedinců nepoměrem mezi expanzivními a reliktními skupinami v půdním edafonu pod fotoeklektory. U zemních pastí byla zjištěna odchylka mezi lokalitou smrkového porostu a sousedního státního s porostem břízy (Letadlo), kde jsme zjistili nej-

výraznější přiblížení obou skupin na úrovni jedinců drabčíkovitých.

Z hodnocení vývoje podílu jednotlivých skupin podle druhu na lokalitách v časové řadě je možné přijmout závěr, že každá lokalita se utvářela individuálně.

Naše šetření potvrzuje zjištění z dlouhodobého monitorování společenstva drabčíkovitých. V horských oblastech Krkonoš pod imisním vlivem a zvyšující se acidifikací (Boháč, Fuchs, 1995) se změny v poškozeném smrkovém lese odrazily ve zvýšeném zastoupení ubiquistických a tolerantnějších druhů žijících v otevřené krajině, zatímco na stres citlivé lesní druhy ustupovaly. Vyšší abundanci zaznamenali zástupci podkorní fauny drabčíkovitých, vyhledávající stromy s odumřelou kůrkou a preferující mokré otevřené biotopy, které se v podmínkách porostů břízy nevyskytovaly; podkorní fauna ve smrkovém porostu nebyla studována užitými metodami.

ZÁVĚR

Drabčíkovití byli jako bioindikační skupina využiti při hodnocení stupně narušení oblasti s náhradními lesními společenstvy s dominantním postavením břízy. Ze zastoupení druhů a jedinců ve skupinách podle kategorií stanovených Boháčem (1988a,b) vyplynulo, že – nastal pozitivní vývoj ve výskytu druhů reliktních (RI + RII) a pokleslo druhové spektrum expanzivních zástupců až k vyrovnání obou skupin v závěru desetileté časové řady hodnocení, – vysoký podíl jedinců expanzivních se nezměnil a charakterizuje sledovanou imisní oblast i přes realizované změny v lesních ekosystémech i nadále jako antropogenně silně narušenou bez zřetelných změn, – jednotlivé lokality si byly z hlediska uplatněného biomonitoringu podobné i přes různé stanovištní a porostní podmínky.

Literatura

- BOHÁČ, J., 1986. Kurzflüglerkäfer als Bioindikatoren für ökologische Gleichgewichte einer Landschaft und menschlichen Einfluss. In: PAUKERT, J. – RŮŽIČKA, V. – BOHÁČ, J. (eds.): Proc. of the 4th Inter. Conf. Bioindicators Deteriorationis regionis, Inst. of Landscape Ecology CAS, České Budějovice: 23–34.
- BOHÁČ, J., 1988a. Drabčíkovití (Coleoptera, Staphylinidae) – bioindikátoři antropogenních změn prostředí. [Doktorská dizertační práce.] České Budějovice, ÚEK AV ČR: 445.
- BOHÁČ, J., 1988b. Využití společenstev drabčíkovitých (Coleoptera, Staphylinidae) k bioindikaci kvality životního prostředí. Zpr. Českoslov. Společ. ent. ČSAV, 24: 33–41.
- BOHÁČ, J., 1990. Numerical estimation of the impact of terrestrial ecosystem by using the staphylinid beetles communities. Agrochemistry and Soil Sci., 39: 565–568.
- BOHÁČ, J. – FUCHS, R., 1995. The effect of air pollution and forest decline on epigeic staphylinid communities in the Giant Mountains. Acta zool. fenn., 196: 311–313.
- BUCHAR, J., 1983. Klasifikace druhů pavoučí zvířeny Čech jako pomůcka k bioindikaci kvality životního prostředí. Fauna Boh. Septentrionalis, 8: 119–135.
- HŮRKA, K. – VESELÝ, P. – FARKAČ, J., 1996. Využití střevlíkovitých (Coleoptera, Carabidae) k indikaci kvality prostředí. Klapalekiana, 32: 15–26.
- KETTLEWELL, B., 1973. The evolution of melanism. Clarendon Press-Oxford: 423.
- KULA, E., 1997. Biomonitoring stanovištních změn v náhradních porostech břízy imisní oblasti – I. Střevlíkovití. Lesnictví-Forestry, 43: 453–463.
- RŮŽIČKA, V. – BOHÁČ, J., 1994. The utilization of epigeic invertebrate communities as bioindicators of terrestrial environmental quality. In: SALANKI, J. – JEFFREY, D. – HUGHES, G. M. (eds.): Biological monitoring of the environment, A manual of methods. Wallinford, CAB International: 79–86.
- SECHTEROVÁ-ŠPIČÁKOVÁ, E., 1988. Metoda zemních pastí a její užití v arachnologii. Studia Oecologica, 1: 45–56.
- SPENCE, J. – NIEMELA, J., 1994. Sampling carabid assemblages with pitfall traps: the madness and the method. Can. Entomol., 126: 881–894.

Došlo 18. 2. 1997

BIOMONITORING OF SITE CHANGES IN SUBSTITUTE BIRCH STANDS IN AN AIR-POLLUTED AREA – II. ROVE BEETLES

Kula, E.¹, Boháč, J.²

¹ Mendel University of Agriculture and Forestry, Faculty of Forestry and Wood Technology, Lesnická 37, 613 00 Brno

² Institute of Landscape Ecology, Academy of Sciences of CR, Na sádkách 7, 370 05 České Budějovice

The rove beetles as predators and decomposers are an important part of the soil edaphon and epigeal component. Their ethology and ecological demands were employed by Boháč (1990) to draw up relict categories,

and subsequently to apply them to site classification and to determine the degree of landscape impairment by anthropic activities on the basis of the „index of rove beetle community“, which was calculated from

the abundance of specimens in the particular groups of relict occurrence.

B o h á č (1988a,b) classified the rove beetle species into three basic categories with respect to their relation to the anthropically affected site: relicts of I and II order and expansive species.

The objective of this paper was to evaluate the development of the rove beetle fauna in locations of an air-polluted area, with substitute stands with a dominant share of birch (*Betula verrucosa* Ehrh.).

Ninety ground traps and photoelectors of the area 42 m² were installed to obtain a sufficiently representative survey of the rove beetle fauna. Checks took place in 7-day intervals throughout the growing season (15th April – 30th October) in the years 1986–1995.

Surveys were carried out in six birch stands and one stand of larch, pine, which were established in 1981–1983, and that of spruce (1910); they were situated in the area with an average annual temperature of 6 °C, annual precipitation sum of 800 mm, height above sea level of 450–600 m, length of growing season 110–120 days and average annual concentration of SO₂ above 60 µg.m⁻³ in the long run.

Overall evaluation of the years 1986–1995 indicated identical representation of rove beetle species in relict categories (RI + RII), 45%, and of expansive species (55%).

As for the number of caught individuals, the number of expansive species was significantly higher, making 70.4% (1990) – 91.5% (1993) while the relict species RII showed their maximum in 1990 (25.3%). The expected decrease in the number of expansive individuals was not observed in the ten-year time series.

Analysis of the number of individuals according to their relict nature, caught both by photoelectors and ground traps, showed an explicit agreement between the locations and the dominant position of expansive individuals.

The species spectrum of rove beetles caught by photoelectors and ground traps was evaluated on the particular locations in the ten-year time series. It can be stated in general that expansive species showed a dominant position in all locations while the representation of relict species RI was very low.

A positive shift in site conditions can be deduced from the overall development of the rove beetle occurrence in the given area, on the basis of an enlarging spectrum of relict species of second order and continual decrease in expansive species densities. This result was conclusively demonstrated by photoelector catches, when the balance between the group RI + RII and expansive species was set up in ten years only.

Analysis of the distribution of the number of rove beetles in ecological groups confirms that anthropogenic impacts are heavy in the whole area and landscape impairment is great because the individuals of expansive species were highly dominant, and not even was the ten-year development of forest stands reflected in a reduction in the adverse ratio of groups RI + RII to group E. The species *Atheta crassicornis* (Fabr.) played a key role in this situation as it was a eudominant species in all investigated locations with birch (45.3–52.7%) except the stand Letadlo (26.8%), while the occurrence of this species in ground traps reached maximally 11%.

The rove beetles, as a bioindicator group, were used to evaluate the degree of impairment in the area with substitute forest communities with dominant position of birch. The representation of species and individuals in the groups according to the categories defined by B o h á č (1988a,b) has shown that

- development of the presence of relict species (RI + RII) was positive, and the species spectrum of expansive species was reduced, so that both groups were balanced at the end of the ten-year time series of evaluation,
- the high share of expansive individuals has not changed and is typical of the investigated air-polluted area which remains, inspite of some changes in the forest ecosystems, without any visible changes with still great anthropogenic impacts,
- the particular localities were similar in view of biomonitoring even though their site and stand conditions were different.

Monitoring of site changes by means of suitable animal groups will continue in the next ten years.

Kontaktní adresa:

Doc. Ing. Emanuel K u l a , CSc., Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Fakulta lesnická a dřevařská, Lesnická 37, 613 00 Brno, Česká republika

INFORMACE O AKCÍCH ICP FORESTS

INTERKALIBRAČNÍ KURS HODNOCENÍ STAVU KORUNY KOORDINAČNÍ MÍTINK O HODNOCENÍ STAVU PŮD

Národní centrum ICP Forests a PCC – Section East se sídlem ve VÚLHM v Jílovišti-Strnadlech (ředitel Ing. K. Vančura, CSc.) uspořádaly v polovině června 1997 dvě zajímavá mezinárodní setkání na Božím Daru v Krušných horách.

Ve dnech 16.–17. 6. 1997 byl uskutečněn interkalibrační kurs hodnocení stavu koruny, na kterém bylo přítomno 31 zástupců ze 17 zemí Evropy (Rakousko, Belgie, Bělorusko, Česká republika, Dánsko, Finsko, Maďarsko, Německo, Irsko, Itálie, Lotyšsko, Litva, Slovensko, Slovensko, Švédsko, Ukrajina, Velká Británie).

Defoliace – jako jeden z hlavních ukazatelů zdravotního stavu koruny – byla hodnocena na šesti druhích lesních dřevin: na smrku ztepilém, modřinu opadavém, buku lesním, jasanu ztepilém, olši lepkavé a bříze bělokórné. Defoliace lesních dřevin je zpravidla způsobena interakcí několika škodlivých faktorů, jako jsou: imise, sucho, mraz, biotičtí škůdci, mechanická působení okolních korun atd. Hodnocení defoliace se provádí vizuálně a mohlo by být značně subjektivní. Právě z tohoto důvodu se každoročně pořádají na různých místech Evropy mezinárodní interkalibrační kursy.

Referenční stromy sloužící pro srovnání výchozího hodnocení byly u každé dřeviny předem vyhodnoceny odborným pracovníkem z národního centra ICP Forests. Hodnoty defoliace pěti referenčních stromů u každé dřeviny obdrželi účastníci kursu na začátku hodnocení. Zástupci jednotlivých zemí pak prováděli šetření defoliace na dvaceti vybraných stromech u každého hodnoceného druhu. Výsledky byly nakonec statisticky vyhodnoceny.

Největší odchylky v hodnocení průměrné defoliace podle jednotlivých zemí byly u nejvíce poškozeného jasanu (50 %), kde se průměrné hodnoty defoliace pohybovaly v rozmezí 38–60 % (Belgie–Rakousko). Nejmenší rozpětí v hodnocení průměrné defoliace bylo naopak u dřevin relativně nejméně poškozených: u olše (24 %) a u břízy (25 %). Uvedené rozpětí bylo u olše 19–31 %, u břízy 19–33 %. Přitom defoliace jednotlivých stromů vybraných pro hodnocení měla u každé této dřeviny, pokud to bylo možné, co nejširší rozpětí: jasan 33–79 %, olše 10–68 % a bříza 11–41 %.

Pravidelná společná cvičení si kladou za cíl sjednotit hodnocení pozorovatelů a snížit subjektivitu vnášenou do hodnocení. Dalším cílem je seznámit se se specifickými podmínkami a stavem lesních dřevin v různých zemích Evropy.

Pro mezinárodní mítink byla vydána publikace P. Fabiánka a kol.: Ore Mountains, Winter 1995/96

(vydal VÚLHM Jíloviště-Strnady, 1997, 31 stran, pouze anglická verze). Je v ní na barevných fotografiích zachyceno extrémní a rozsáhlé poškození lesních porostů v oblasti Krušných hor v zimním období 1995–1996 způsobené vlivem nepříznivých klimatických a imisních faktorů. Důsledkem tohoto poškození byla i výrazná defoliace především jehličnatých druhů. Mechanické poškození částí nebo i celých korun se však nevyhnulo ani listnatým dřevinám. Oblast Krušných hor má netypické klimatické podmínky a měla by být i v budoucnosti intenzivně sledována.

Na tuto akci navazoval ve dnech 18.–19. 6. 1997 mezinárodní koordinační mítink o hodnocení stavu půd, organizovaný především pro zástupce zemí střední a východní Evropy. Setkání se zúčastnil za mezinárodní koordinační centrum Lucas Van Mechelen z univerzity v Gentu v Belgii. Z východoevropských zemí přijeli zástupci z Litvy, Ukrajiny, Běloruska, Slovenska, Slovinska a z České republiky; chyběli specialisté z Maďarska, Polska, Rumunska a Bulharska. Při exkurzích odborníci navštívili pět ploch monitoringu první úrovně s hlavním půdním typem našich lesů – s kambizemí. Účastníci mítinku posoudili popis půdního profilu, výsledky chemické analýzy a vyjádřili se k půdní klasifikaci FAO, podle níž jsou v souladu s pravidly ICP Forests posuzovány i lesní půdy. Tato klasifikace nepočítá s tvorbou a formou humusu a je určena spíše pro hodnocení zemědělských půd. Účastníci se shodli na tom, že uvedená klasifikace pro hodnocení lesních půd dostatečně nevyhovuje. Pro exkurzi byla vydána brožura, v které byly uvedeny hodnoty sledovaných prvků v jednotlivých půdních horizontech na vybraných lokalitách: pH (H_2O), C ($g.kg^{-1}$), N ($g.kg^{-1}$), poměr C/N, Al ($mg.kg^{-1}$), Ca ($mg.kg^{-1}$), Fe ($mg.kg^{-1}$) a Pb ($mg.kg^{-1}$). Po terénní exkurzi se konala diskuse k výsledkům šetření a k problematice klasifikace a chemické analýzy lesních půd v jednotlivých zemích.

Poslední den, 20. 6. 1997, byla uspořádána exkurze v nejvíce postižených oblastech Krušných hor s ukázkou poškození jehličnanů (zvláště smrku) a listnáčů (buk, bříza). U břízy bylo zhlédnuto poškození korun spojené s usycháním a vysokou defoliací.

Obě mezinárodní akce se setkaly u účastníků s příznivým ohlasem. Kladné hodnocení jejich organizační úrovně se stalo dobrou vizitkou pro další mezinárodní setkání ICP Forests pořádané VÚLHM v České republice.

RNDr. Josef Hýsek, CSc., Ing. Petr Fabiánek,
Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, Jíloviště-Strnady

RECENZE

G. Hofmann: *Mitteleuropäische Wald- und Forst-Ökosystemtypen in Wort und Bild* (Středoevropské typy ekosystémů přírodních a kulturních lesů slovem a obrazem)

Jako zvláštní číslo časopisu *AFZ – der Wald* vydal v polovině července 1997 prof. G. Hofmann z Eberswalde přehled 81 lesních společenstev. Je to reedice popisu významných ekosystémů, jak se pravidelně objevovaly nejprve v časopisu *Der Wald* a v posledních dvou letech ve spojeném časopisu *AFZ – der Wald*.

Seznámení veřejnosti s lesními ekosystémy má svůj standardní rámec: nejprve barevný snímek porostu a potom následuje slovní popis. Ten se skládá z terénního výskytu, charakteristiky stromového patra, jeho struktury, popisu původní vegetace a stanovištních poměrů. Pro každé společenstvo je uvedena primární produkce sušiny na 1 ha (dřeva, listí a půdní vegetace). Závěr tvoří lesnické zhodnocení.

Ve zvláštním čísle je čtenář seznámen se 21 společenstvy buku, osmi společenstvy olše, šesti dubu a pěti společenstvy borovice a habru. Jsou popsána čtyři společenstva břízy a javoru, tři společenstva smrku a jasanu, dvě jilmu a jedno společenstvo lípy. Samostatně jsou zhodnocena společenstva kulturních lesů smrku

(sedm jednotek) a borovice (dvanáct); ta jsou značena jako *Cultopiceetum* nebo *Cultopinetum*. Při jejich popisu je uvedeno, o které náhradní společenstvo přírodních lesů se jedná.

Pro české poměry je zajímavá charakteristika *Calamagrostio-Cultopinetum sylvestris* – bořin se třtinou – jako náhradních ekosystémů s vývojem ovlivněným imisemi. V naší republice se tato skutečnost příliš neuvážovala.

V přehledu prof. Hofmanna – i když je označen jako středoevropské lesní ekosystémy – se prakticky nevyskytuje jedle. Tu uvádí autor jako vtroušenou ve třech společenstvech. V tomto směru je pojetí střední Evropy velmi zúženo, protože lesnický obraz střední Evropy bez jedle není myslitelný. Byla také opomenuta vysokohorská společenstva.

Práce je velmi zajímavá a přispěje k popularizaci typologie a ekologie ve Spolkové republice Německo. Ke skutečnému obrazu přírodních poměrů lesů střední Evropy je nutné její doplnění.

(Zvláštní číslo *AFZ – der Wald* stojí 28 DEM a je možné je objednat v redakci časopisu ve Stuttgartu.)

Ing. Z. Prudíř, CSc.

Enos, A. R.: *Wind as an ecological factor* (Vitr jako ekologický faktor)

Tree, 1997, č. 3, s. 108–111 – lit. 30

Vitr se již dávno považoval za významný ekologický faktor vzhledem k tomu, jaké škody způsobuje při smrštích. Pomíjel se ale silný vliv, jaký má na růst stromů dlouhodobý režim větrů na daném stanovišti. Účinky chronických větrů je třeba zvažovat odděleně od účinku, který mají hurikány a smršť. Podrobné studie tří těchto událostí prokázaly, že smršť poškozují a zabíjejí klimaxové a pionýrské stromy. Celkový účinek smršť je do určité míry opakem procesu sukcese. Režim chronického větru určitého stanoviště má patrně poměrně větší vliv na lesnickou ekologii, než se předpokládá. Silné větry snižují fotosyntézu. Vitr ochlazuje listy a redukuje jejich účinnou plochu tím, že je stáčí, průduchy listů se uzavírají, aby redukovaly ztrátu vody, a tak zvýšily odolnost proti vstupu oxidu uhličitého. Přesný účinek závisí na morfologii listů a optimální teplotě fotosyntetických enzymů. Pionýrské stromy by měly mít v prostředí větrů zpeřené nebo laločnaté listy a pružné větve. Dřeviny chráněných stanovišť by měly mít jednoduché listy a tuhé větve, aby si snadněji uchovaly lepší intercepci světla. Výzkumy by měly ukázat, jak jsou stromy přizpůsobené a jak se osvědčily výsledky, které mají být použitelné pro lesní hospodářství. Výzkumy biotických účinků větru jsou teprve v počátcích. Mohou ovšem pomoci ekologům v otázce různorodosti lesů jak místně, tak na globální úrovni. – M. Pagač

POKYNY PRO AUTORY

Obecné pokyny

Časopis Lesnictví-Forestry uveřejňuje původní vědecké práce ze všech oborů lesnictví, které mají vztah k evropským lesním ekosystémům. Autor práce je odpovědný za původnost příspěvku; práce nesmí být publikována nebo zaslána k publikování do jiného časopisu. Rozsah zasláního příspěvku nemá přesáhnout 25 stran (A4 formátu, psaných oběma směry) včetně tabulek, obrázků, literatury, abstraktů a souhrnu. K rukopisu je vhodné přiložit disketu s textem práce, popř. s grafickou dokumentací pořízenou na PC s uvedením použitého programu. K publikování jsou přijímány práce psané v češtině, slovenštině nebo angličtině. Zaslání rukopisů musí obsahovat anglický souhrn o rozsahu 3 strany. Autor odpovídá za správnost anglického textu. Rukopisy mají být napsány na papíře formátu A4 (60 úhozů na řádku, 30 řádků na stránce). Uspořádání článku musí odpovídat formě, ve které jsou články v časopisu Lesnictví-Forestry publikovány. Je třeba zaslat dvě kopie rukopisu na adresu vedoucí redaktorky: Mgr. Radka Chlebečková, Ústav zemědělských a potravinářských informací, 120 56 Praha 2, Slezská 7. O uveřejnění práce rozhoduje redakční rada časopisu se zřetelem k lektorským posudkům, vědeckému přínosu a celkové kvalitě práce a s přihlédnutím k významu článku pro lesní hospodářství.

Úprava textu

Rukopis má obsahovat titulní stranu, na které je uveden název článku, jméno autora (autorů), název a adresa instituce, kde práce byla vypracována, a číslo telefonu a faxu autora, popř. e-mail.

Každý článek by měl obsahovat český (slovenský) a anglický abstrakt, který nemá mít více než 90 slov, a klíčová slova. Úvod by měl být stručný, s uvedením zaměření a cíle práce ve vztahu k dosud provedeným pracím. Neměl by v něm být uváděn rozsáhlý přehled literatury. V kapitole Materiál a metody by měl být uveden popis použitých experimentálních metod tak, aby byl postačující pro zopakování pokusů. Měly by být uvedeny obecné i vědecké názvy rostlin. Je-li zapotřebí používat zkratky, je nutné při prvním použití zkratky uvést i její plný název. Je nezbytné nutně používat jednotky odpovídající soustavě měřových jednotek SI. V části Výsledky by měla být přesně a srozumitelně prezentována získaná data a údaje. V kapitole Diskuse se obvykle získané výsledky konfrontují s výsledky dříve publikovanými. Je přípustné spojit část Výsledky a Diskuse v jednu kapitolu. Citování literatury v textu se provádí uvedením jména autora a roku vydání publikace. Při větším počtu autorů se uvádí v textu pouze první z nich a za jeho jméno se doplní zkratka „et al.“.

V části Literatura se uvádějí pouze publikace citované v textu. Citace se řadí abecedně podle jména prvního autora: příjmení, zkratka jména, rok vydání, plný název práce, úřední zkratka časopisu, ročník, první a poslední strana. U knihy je uvedeno i místo vydání a vydavatel.

Tabulky

Tabulky jsou číslovány průběžně a u každé je uveden i nápis. Každá tabulka je napsána na jednom listu.

Obrázky

Jsou přiloženy jen obrázky nezbytné pro dokumentaci výsledků a umožňující pochopení textu. Současné uvádění stejných výsledků v tabulkách a na grafech není přijatelné. Všechny obrázky musí být vysoce kvalitní, vhodné pro reprodukci. Nekvalitní obrázky nebudou překreslovány, budou autorovi vráceny. Fotografie musí být dostatečně kontrastní. Všechny obrázky je třeba číslovat průběžně arabskými číslicemi. Jak grafy, tak i fotografie jsou označovány jako obrázky. Jestliže má být několik fotografií publikováno jako jeden obrázek, je třeba je vhodně uspořádat a nalepit na bílou podložku. U každého obrázku je nutné uvést jeho stručný výstižný popis.

Separáty. Z každého článku obdrží autor 40 separátů zdarma.

INSTRUCTIONS TO AUTHORS

General

The journal publishes original results of fundamental and applied research from all fields of forestry related to European forest ecosystems. An article submitted to Lesnictví-Forestry must contain original work and must not be under consideration for publishing elsewhere. Manuscripts should not exceed 25 double-spaced typed pages (A4 size) including tables, figures, references, abstract and summary. A PC diskette with the paper text or graphical documentation should be provided with the paper manuscript, indicating the used editor program. Papers should be clear, concise and written in Czech, Slovak or English. Each manuscript must contain two or three pages of English summary. Correct English is the responsibility of the author. Manuscripts should be typed on standard paper (A4 size, 60 characters per line, 30 lines per page). They must fully conform to the organization and style of the journal. Two copies of the manuscript should be sent to the executive editor: Mgr. Radka Chlebečková, Institute of Agricultural and Food Information, 120 56 Praha 2, Slezská 7, Czech Republic.

Text

Manuscript should be preceded by a title page comprising the title, the complete name(s) of the author(s), the name and address of the institution where the work was done, and the telephone and fax numbers of the corresponding author, or e-mail. Each paper must begin with an Abstract of no more than 90 words, and key words. The Introduction should be concise and define the scope of the work in relation to other work done in the same field. As a rule, it should not give an exhaustive review of literature. In the chapter Materials and Methods, the description of experimental procedures should be sufficient to allow replication of trials. Plants must be identified by taxonomic and common name. Abbreviations should be used if necessary. Full description of abbreviation should follow the first use of an abbreviation. The International System of Units (SI) and their abbreviations should be used. Results should be presented with clarity and precision. Discussion should interpret the results. It is possible to combine Results and Discussion in one section. Literature citation in the text should be by author(s), and year. If there are more than two authors, only the first one should be named in the text, followed by the phrase „et al.“. References should include only publications quoted in the text. They should be listed in alphabetical order under the first author's name, citing all authors.

Tables

Tables should be numbered consecutively and have an explanatory title. Each table, with title, should be on a separate sheet of paper.

Figures

Figures should be referred solely to the material essential for documentation and for the understanding of the text. Duplicated documentation of data in figures and tables is not acceptable. All illustrative material must be of publishing quality. Figures cannot be redrawn by the publisher. Photographs should exhibit high contrast. All figures should be numbered consecutively with arabic figures. Both line drawings and photographs are referred to as figures. If several separate line drawings or photographs are to be incorporated in a single figure, they should be stuck on a white card with a minimum of space left between them. Each figure should contain a concise, descriptive legend.

Offprints. Forty (40) offprints of each paper are supplied free of charge to the author.

UPOZORNĚNÍ PRO ODBĚRATELE

Veškeré služby spojené s distribucí časopisu Lesnictví-Forestry vyřizuje vydavatel – Ústav zemědělských a potravinářských informací Praha.

Objednávky na předplatné posílejte na adresu:

Ústav zemědělských a potravinářských informací
referát odbytu
Slezská 7
120 56 Praha 2

LESNICTVÍ-FORESTRY 1997, No. 12, uveřejní tyto příspěvky:

Lochman V.: Vývoj zatížení lesních ekosystémů na povodí Pekelského potoka (objekt Želivka) a jeho vliv na změny v půdě a ve vodě povrchového zdroje – Load patterns of forest ecosystems in the watershed of the Pekelský potok stream (Želivka hydrological structure) and their impacts on changes in the soil and water of a surface source

Sevink J.: Humus forms and ecosystem studies – Formy humusu a studium ekosystémů

Kula E.: Biomonitoring stanovištních změn v náhradních porostech břízy imisní oblasti – III. Pavouci – Biomonitoring of site changes in substitute birch stands in an air-polluted area – III. Spiders

Valtýni J.: Príspevok k poznaniu vplyvu lesnatosti malého povodia na odtok – Study of the effect of forest percentage on runoff rates in a small watershed

Bartuněk J.: Možnosti zvýšení alokační efektivnosti lesní výroby – Possibilities of increasing the allocative efficiency of forest production

REFERÁT

Šindelář J.: Technika pěstování lesů a jakost dřeva – Technology of forest cultivation and wood quality

Vědecký časopis LESNICTVÍ-FORESTRY ● Vydává Česká akademie zemědělských věd – Ústav zemědělských a potravinářských informací ● Vychází měsíčně ● Redaktorka: Mgr. Radka Chlebečková ● Redakce: Slezská 7, 120 56 Praha 2, tel.: 02/24 25 51 06, fax: 02/24 25 39 38 ● Sazba: Studio DOMINO – Ing. Jakub Černý, Bří Nejedlých 245, 266 01 Beroun, tel.: 0311/22 959 ● Tisk: ÚZPI Praha ● © Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha 1997

Rozšiřuje Ústav zemědělských a potravinářských informací, referát odbytu, Slezská 7, 120 56 Praha 2