

Journal of
FOREST SCIENCE

Volume 45, No. 1, January 1999

PRAGUE 1999
ISSN 0024-1105

CZECH ACADEMY OF AGRICULTURAL SCIENCES
INSTITUTE OF AGRICULTURAL AND FOOD INFORMATION

Mezinárodní vědecký časopis vydávaný z pověření Ministerstva zemědělství České republiky a pod gesce 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 Bartuněk, DrSc., Brno

Ing. Josef Běle, CSc., Praha

Doc. Ing. Josef Gross, CSc., Praha

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 45 vychází v roce 1999.

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: editor@login.cz. Den doručení rukopisu do redakce je publikován jako datum přijetí k publikaci.

Informace o předplatném: Objednávky na předplatné jsou přijímány pouze za celý rok (leden–prosinec) a měly by být zaslány na adresu: Ústav zemědělských a potravinářských informací, Slezská 7, 120 56 Praha 2. Cena předplatného pro rok 1998 je 816 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 45 appearing in 1999.

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: editor@login.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 1998 is 195 USD (Europe), 214 USD (overseas).

Úvodník – Editorial

Vážení čtenáři,

vědecký časopis LESNICTVÍ-FORESTRY (LESNICTVÍ), který již po 44 let přináší nové vědecké poznatky ze všech oborů lesnictví, získal za dobu svého vydávání široký okruh čtenářů v České a Slovenské republice i v zahraničí. V posledních letech bylo dosaženo zvýšení kvality časopisu a vzrostl rovněž podíl prací publikovaných v angličtině. Po zvážení stávajících okolností se redakční rada rozhodla změnit název časopisu. Počínaje tímto číslem (1/1999) bude časopis vycházet s názvem JOURNAL OF FOREST SCIENCE. Tato změna je motivována snahou o dosažení větší publicity uveřejněných vědeckých prací a o lepší prezentaci výsledků dosažených na českých a zahraničních pracovištích i o naplnění vlastního poslání časopisu – aby publikované vědecké poznatky dosáhly širšího rozšíření a ocenění jak v domácím, tak i v mezinárodním měřítku. Nový název odráží skutečnost, že časopis je jedním z mezinárodních časopisů, které publikují výsledky základního a aplikovaného výzkumu z oboru lesnictví. Časopis JOURNAL OF FOREST SCIENCE bude jako dosud publikovat významné vědecké poznatky ze všech oborů lesnictví, a to v anglickém a českém (nebo slovenském) jazyce s tím, že v obou případech bude původní článek doplněn rozsáhlejším českým (slovenským) nebo anglickým souhrnem.

V současné době, kdy průmyslová aktivita lidstva dosáhla již takového rozsahu, že je pozměňován celosvětový koloběh některých základních prvků na Zemi, neobyčejně stoupá význam vědeckých poznatků o dějích probíhajících v přírodě, které podstatně ovlivňují růst a zdravotní stav lesů. Je nezbytné, aby se všechna rozhodnutí činila na základě ověřených vědeckých poznatků, bez jejichž znalostí může docházet k nesprávným závěrům. Význam vědeckých poznatků o procesech probíhajících v lesních ekosystémech stále stoupá a s ním i význam publikování a rozšiřování těchto poznatků ve vědeckých časopisech. V příštím století bude veškerá činnost spojená s pěstováním, obnovou, šlechtěním, ochranou i těžbou lesních dřevin stále více závislá na vědeckých poznatcích, které budou mít rozhodující úlohu při provádění odborných prací a při řízení lesního hospodářství. K šíření nových významných vědeckých poznatků bude přispívat i vědecký lesnický časopis JOURNAL OF FOREST SCIENCE.

Prof. Ing. Vladimír Chalupa, DrSc.
předseda redakční rady časopisu
JOURNAL OF FOREST SCIENCE

Dear readers,

The journal LESNICTVÍ-FORESTRY (LESNICTVÍ) which has provided a rapid publication of research results from all spheres of forestry for forty-four years, has won large readership in Czech and Slovak Republic and also in foreign countries. Significant improvement of the quality of the journal has been achieved in recent years, and the proportion of papers written in English has increased. After serious consideration, the editorial board of the journal has decided to change the name of the periodical. Since this issue (1/1999), the new name of the periodical is JOURNAL OF FOREST SCIENCE. This change is motivated by our efforts to improve availability of the journal at an international scale. The new title reflects situation indicating that the journal is one of the international periodicals which publish original results of basic and applied research from the field of forestry. The journal will continue to bring new scientific information from all fields of forestry with special attention to European forest ecosystems. The journal will publish papers in English and in Czech (or Slovak) language.

Currently, when human industrial activities have expanded so much that the world cycle of some basic elements on the Earth has been changed, the importance of scientific knowledge of nature processes with impacts on forest growth has increased considerably. It is necessary that all decisions will be taken on the bases of verified scientific information to avoid wrong decisions. The importance of scientific knowledge of processes occurring in forest ecosystems has increased and it is crucial to publish and disseminate these information in professional journals. In the next century, all activities connected with silviculture, forest regeneration, tree breeding, forest protection and logging operations, will have to apply modern scientific knowledge which will play a key role in forestry management. JOURNAL OF FOREST SCIENCE will help to publish and disseminate new scientific knowledge of great importance.

Prof. Ing. Vladimír Chalupa, DrSc.
Chairman of Board of Editors of
JOURNAL OF FOREST SCIENCE

TECHNIKA PRO PRODUKCI A VÝSADBU VELKÉHO SADEBNÍHO MATERIÁLU LESNÍCH DŘEVIN

TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION AND PLANTING OF LARGE-SIZED PLANTING STOCK OF FOREST TREES

J. Neruda

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

ABSTRACT: Methods of using large-sized planting stock in the past. Present possibilities of using the planting stock in forestry: reforestation of clear-felled areas reforestable only with considerable difficulties, beating up and improvement planting, using admixtures of reinforcing and soil-improving species. Benefits and problems occurring in using large-sized planting stock. Results of grant project No. 504/95/1205 *Technology of planting and production of large-sized planting stock*: new principles of technical means for raising and planting large plants, evaluating the young plantation development on experimental plots established in the course of testing the technical means, calculations of basic economic parameters for particular methods of regeneration/reforestation, tabular proposals of the systems of technical means for the implementation of major operations of production and planting.

forest regeneration; large-sized planting stock; production; planting; methods and technologies

ABSTRAKT: Způsoby použití velkého sadebního materiálu – poloostrodků a odrostků v minulosti. Současné možnosti jeho uplatnění v lesním hospodářství: zalesnění obtížných holin, vylepšování a doplňování kultur, zajištění příměsí zpevňujících a melioračních dřevin. Přínosy a problémy při aplikaci velkého sadebního materiálu. Výsledky výzkumného řešení grantového projektu: nové principy technických prostředků pro pěstování a výsadbu velkých sazenic, vyhodnocování vývoje kultur na pokusných plochách zakládaných při ověřovacích zkouškách technických prostředků, kalkulace základních ekonomických parametrů jednotlivých technologií obnovy, tabulární návrhy souboru technických prostředků pro zabezpečení operací technologických postupů.

obnova lesa; velký sadební materiál; produkce; výsadba; způsoby a technika

ÚVOD

Používání velkých (vzrostlých, silných) prostokořených i obalených sazenic lesních dřevin má ve středoevropských podmínkách dlouhou tradici. Takto označovaná kvalitativní skupina sadebního materiálu pěstovaného speciálními postupy zahrnuje: *poloodrostky* – rostliny s nadzemní částí o výšce 51–120 cm a *odrostky* – rostliny s nadzemní částí o výšce 121–250 cm. Za předpokladu použití sazenic dobré fyziologické a morfologické kvality a vhodného způsobu výsadby poskytuje na určitých stanovištích umělá obnova lesa velkým sadebním materiálem proti užití standardních sazenic významné přínosy nejen pěstební, ale i ekonomického charakteru.

MATERIÁL

Výsadba velkých sazenic byla v minulosti zvláště aktuální tehdy, když se po živelných nebo hmyzích kala-

mitách vytvořily extrémní podmínky pro zalesňování na zabuřenělých holinách. Počátky výsadby dubových odrostků např. v Německu sahají hluboko do středověku. Helbig (1978) označuje používání velkých obalených (hroudových) sazenic dubu v 18. století za běžné, Heneka (1987) popisuje zalesňování nerentabilních zemědělských pozemků na přelomu 19. a 20. století vyspělými sazenicemi (odrostky) smrku. Obdobně příznivé výsledky jsou uváděny např. u borovice černé ve Francii, u jedle v SRN, u smrku v Rumunsku aj.

Používání velkých sazenic bývalo běžnou technikou umělé obnovy i v Čechách a na Moravě. Peřina (1969) se např. zmiňuje o vysazování dubových odrostků v lesích v oblasti Opočna již v polovině minulého století. Odrostky vysoké 1 m byly vysazovány jako příměs do kultur borovice na písčitých půdách borových doubrav ve sponu 10 x 10 až 20 x 20 m.

Řada autorů uvádí obnovu lesů města Písku na silně zabuřenělých holinách vzniklých po mniškové kalamitě

Autor děkuje Grantové agentuře České republiky za podporu řešení grantového projektu 504/95/1205 *Technika a technologie řešení výsadby a výroby vyspělého sadebního materiálu*.

ve dvacátých letech našeho století a po sněhové kalamitě v letech 1939 a 1940. Peřina (1969) popisuje postup pěstování a výsadbu odrostků dubu, buku, lípy a habru v lesích města Písku. Odrostky o výšce 120–150 cm byly vysazovány do jamek 40 x 40 cm ve sponu 1 až 1,3 m ve skupinách. Ztráty po výsadbě činily kolem 20 % a nebylo nutné vylepšování.

Rovněž se zakládáním kultur na holinách po rozsáhlých polomech námrazou v polesí Čachnov u Poličky odrůstými sazenicemi smrku, borovice lesní a javoru kleny bylo v letech 1930–1950 dosaženo dobrých výsledků.

V období po 2. světové válce byly v umělé obnově lesa ve většině středoevropských států preferovány sazenice středních dimenzí. Protože použití vzrostlých sazenic usnadňuje rychlejší odrůstání kultur ze zóny ohrožení bušení a lesní zvěří, je tento způsob obnovy lesa aktuální i v současné době (Dušek, 1980). Důkazem toho je, že v posledních letech v některých evropských zemích včetně České republiky nastává obnovení zájmu o výsadbu poloodrostků a odrostků lesních dřevin listnatých i jehličnatých druhů dřevin.

V SRN začal obnovený zájem o velké sazenice v šedesátých letech při vyvrcholení snah po hledání tzv. optimální sazenice rychle odrůstající z kritické zóny konkurence bušení, přízemních (travních) mrazů a okusu zvěře (Schmidt-Vogt, Gürth, 1969). K obnově zájmu o vyspělý sadební materiál při obnově lesa přispěly mj. i dobré výsledky dosažené při výsadbě velkých, 60 cm (i více) vysokých sazenic a poloodrostků smrku tzv. úhlovou sadbou, kterou zpracoval Reisinger (1965). Schmidt-Vogt, Gürth (1977) a Huss (1993) poukazují na aktuálnost řešení současných problémů se zalesňováním využitím silných sazenic a zdůrazňují potřebu zproduktivnění prací užitím vhodných mechanizačních prostředků.

Vzhledem k aktuálnímu stavu lesního hospodářství jsou současně možností využití poloodrostků či odrostků lesních dřevin (dále velký sadební materiál) v lesním hospodářství České republiky ještě poněkud širší proti minulosti, kdy takovým materiálem byly zalesňovány především kalamitní holiny – např. Lokvenc (1978), Kotek et al. (1989), Hrdý, Kordač (1996), Košulič (1992, 1995), Zezula (1996).

Velký sadební materiál v lesním hospodářství lze uplatnit především při:

- zalesnění holin obřížně zalesnitelných, tj. starých a zabušených, imisních, v blízkosti vodotečí, v mrazových polohách, pod silným tlakem zvěře aj.; cílovou skladbu porostu lze přitom realizovat v několika variantách, např. již přímo při zalesnění, nebo založením kultury přípravné dřeviny a následnou dosadbou cílových dřevin (buku, dubu, jedle, smrku a dalších);
- vylepšování a doplňování kultur, zejména starších, mezernatých a dosud nezajištěných, sazenicemi obdobného vzrůstu a stejného druhu, jako má dané vývojové stadium kultury;
- zajištění příměsí zpevňujících a melioračních dřevin v dosavadních kulturách; souvisí s vysoce aktuální-

mi snahami přeměnit některé monokulturní, málo stabilní jehličnaté porosty (zejména smrkové) na porosty smíšené s dřevinami listnatými (zejména buk, dub, lípa, javor, jasan). Právě toto je jedna z nejvýznamnějších současných možností uplatnění velkých sazenic, kdy je s jejich pomocí vytvářen stabilní a druhově, věkově i prostorově diferencovaný les.

REÁLNÉ PŘÍNOSY A PROBLÉMY PŘI APLIKACI VELKÉHO SADEBNÍHO MATERIÁLU

Při záměru používat pro obnovu lesa velkých sazenic (poloodrostků či odrostků) je nutné uvědomit si okolnosti s tím související, tj. nejen předpokládané přínosy, ale i možné problémy.

Přínosy použití velkých sazenic proti standardním sazenicím středních dimenzí:

- možnost použít výrazně nižšího počtu sazenic pro zalesňování proti standardním sazenicím. Současná legislativa českého lesního hospodářství stanovuje s ohledem na stanoviště minimální počty sazenic na 1 ha plochy samostatně jak pro hlavní, tak i pro přimíšenou dřevinu. U přimíšených dřevin jsou počty sazenic zpracovány jak pro standardní dimenze, tak pro poloodrostky a odrostky. Počet sazenic na výměru 1 ha se určí jako násobek hektarových počtů dřeviny hlavní i přimíšené a procenta jejich projektovaného zastoupení (Zezula, 1996),
 - ztráty na sazenicích a nutnost péče o kultury jsou při dodržení základní technologické kázně v podstatě menším rozsahem,
 - rychlé odrůstání bušení i zvěří a rychlejší dosažení stavu zajištěné kultury,
 - snížení pracnosti a nákladů na ochranu kultur,
 - použitelnost i v odrůstávácích kulturách při jejich vylepšování a doplňování melioračními dřevinami.
- Problémy při použití velkých sazenic:*
- v současnosti obecný nedostatek kvalitních velkých sazenic a vyšší náklady na jejich získávání,
 - vysoká náročnost na technologickou kázeň v celém procesu získávání i užití sadebního materiálu – především při manipulaci, transportu i při samotném zalesňování,
 - intenzivnější dopady selhání tzv. lidského faktoru potlačující uvedené pozitiva,
 - nedostatečné vybavení lesnického provozu vhodnými technickými prostředky k dosažení žádané kvality a produktivity práce jak ve školkách, tak i při zalesňování.

CÍLE A RÁMCOVÝ METODICKÝ POSTUP ŘEŠENÍ

Výzkumný projekt 504/95/1205 *Technika a technologie řešení výsadby a výroby vyspělého sadebního materiálu*, řešený s podporou Grantové agentury ČR v letech 1995–1997 na Fakultě lesnické a dřevařské MZLU v Brně, se zabývá danou problematikou z více hledisek.

Hlavním cílem výzkumu je na základě analýzy soustavy dostupných technických prostředků pro produkci i výsadbu velkého sadebního materiálu vytypovat její nedostatečně obsazené články a navrhnout její úpravu, případně doplnění včetně praktického ověření funkčních parametrů prostředků v podmínkách lesního hospodářství, a zároveň zjistit základní poznatky související s vlivem použití ověřovaných technických prostředků a postupem na vývoj kultur.

Řešení má charakter převážně aplikovaného výzkumu. Tomu odpovídá i metodický postup řešení, který lze rozlišit na tři základní celky:

- zjištění současného stavu poznání problematiky na základě zpracování literárních zdrojů,
- posouzení stavu technického zabezpečení produkce a výsadby velkého sadebního materiálu, vytvoření ideových návrhů a konstrukční dokumentace potřebných nových technických prostředků na úrovni experimentálních či funkčních modelů, jejich realizace a funkční ověření, zhodnocení základních biometrických charakteristik sazenic na zkusných plochách,
- zpracování návrhu upravených soustav technických prostředků pro produkci a výsadbu velkého sadebního materiálu.

Při výzkumném řešení nových, i při návrzích na zařazení již existujících technických prostředků do technologických postupů se braly v úvahu tři skupiny požadavků: provozní (způsob provedení a kvalita práce, snadná agregace s energetickým prostředkem, jednoduchá obsluha), ekonomické (produktivita práce, přijatelné pořizovací a provozní náklady) a koncepčně-konstrukční.

Příspěvek uvádí přehledné informace o výsledcích řešení projektu.

VÝSLEDKY

I. HMOTNÉ VÝSLEDKY ŘEŠENÍ

Jako hmotné výsledky řešení výzkumného projektu lze označit experimentální a funkční modely několika technických prostředků určených pro zařazení do soustavy strojů na úseku produkce i výsadby velkých prostokořenných sazenic.

A. TECHNICKÉ PROSTŘEDKY PRO PĚSTOVÁNÍ PROSTOKOŘENNÝCH POLOODROSTKŮ

Přípravu půdy včetně tvarování záhonů lze zabezpečit stejnými technickými prostředky jako při produkci sadebního materiálu standardních dimenzí. Rozhodující je zde zejména typ použitého energetického prostředku, kterým je zpravidla univerzální kolový traktor. Rozchod kol těchto prostředků udává šíři záhonů, nad kterými pojíždí (v současnosti je to v ČR nejčastěji 146 cm). Příprava půdy se realizuje klasickými adaptéry (pluhy, brana-mi, půdními frézami, utlačovacími válci, tvarovači).

Druh techniky pro školkování závisí na tom, ve které fázi procesu pěstování poloodrostků se má tato operace realizovat. Pro první školkování, kdy se přesazují jed-

noleté nebo dvouleté semenáčky, lze použít standardní školovací stroje. Nejmodernějším tuzemským strojem této skupiny je typ RL2-035 v sedmířádkovém uspořádání pro rozteč řádků 21,0 cm.

Pro druhé školkování, které je charakteristické přesadbou sazenic o výšce minimálně 35–40 cm, nejsou již běžné školovací stroje použitelné. Realizace druhého školkování lesními sázecími stroji není optimální. Je proto potřebné doplnit soustavu prostředků o speciální školovací stroj s mohutnějším sázecím ústrojím adekvátním dimenzím kořenového systému sazenic.

Použití strojů pro podřezávání kořenů se rovněž rozlišuje podle fáze pěstování poloodrostků: jedná-li se o podřezávání sazenic předpěstovaných pro druhé školkování, lze použít běžné typy podřezávačů kořenů, a to i při podřezávání sazenic vyšších (do maximální výšky asi 60 cm), než kolik činí světlá výška traktoru, na kterém je agregován podřezávač (asi 30 cm). Za bezškodné lze uvažovat jejich ohnutí při průjezdu soupravy nad záhonem; je však vhodné spodní část traktoru opatřit vhodnými kryty zamezujícími odření sazenic.

Podřezávače pro druhé podřezávání musí být schopné práce v hloubce 35 cm při výšce sazenic cca 80 cm. Nové řešení podřezávačů je žádoucí.

Podřezávání kořenů vzrostlých poloodrostků o výšce nad 70 cm je dále limitováno použitým energetickým prostředkem. Normální univerzální kolový traktor či nosič nářadí jsou pro dané účely nevhodné z důvodu již nedostatečné světlé výšky. Žádoucí je použití tzv. portálových (chůdových) traktorů vyznačujících se značnou světlou výškou (běžně 100 cm i více). Tyto prostředky jsou dostupné v zahraničí. Např. stroj Pons Trac (SRN) má světlou výšku až 2 m, výkon motoru od 37 do 74 kW, stroj Twin (Rakousko) má dělené rámové konstrukce umožňující průjezd nad sazenicemi až 2,30 m vysokými, výkon motoru je 37 kW, stroj Multi 33 L (Velká Británie) má světlou výšku 1,1 m a výkon motoru 28 kW.

Sklizeň prostokořenných poloodrostků je realizována technickými prostředky, jež musí vyhovovat výšce sklizených rostlin. Protože se při těchto operacích převážně používají jako energetické prostředky běžné typy traktorů, je nutné zvolit bočně nesené jednořádkové sklízecí adaptéry, např. firmy Egedal. Nové je vyřešen tuzemský vyorávač.

TECHNICKÉ PROSTŘEDKY PRO PĚSTOVÁNÍ POLOODROSTKŮ VYŘEŠENÉ V RÁMCI PROJEKTU

a) Funkční model sázecího článku pro pěstování poloodrostků ve školkách: novým konstrukčním principem se vyznačuje zejména sázecí radlička, jejíž uspořádání zamezuje negativním jevům spojeným s vytlačováním půdy do stran a jejím hutněním při vytváření rýhy širší než 9–10 cm průchodem klasických šípových sázecích radliček půdou. Radlička je opatřena vynášecími dlátovitými lištami (vydutého nebo přímého profilu), které ve své svrchní části přecházejí do odhrnovacích ploch. Půda se tak z místa vytvářené rýhy vynáší na povrch záhonu a ukládá do rávků podél vytvářené rýhy. Šifka

vytvářející rýhy může proto být mnohem širší (+10 cm), než kolik činí šířka u tradičních konstrukcí.

Po vložení sazenice do rýhy je půda pomocí dvojice zahrnováků přemístěna zpět do rýhy a utužena utlačovacími koly sázecího článku. Zahnutí kořenů je snazší a kvalitnější než při dosavadním způsobu spočívajícím v borcení utužených stěn rýh.

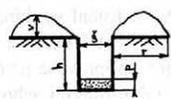
Celková koncepce školkovacího stroje je variabilní; jednotlivé sázecí články mohou být na základním rámu neseném traktorem uspořádány buď jen v jedné řadě (minimální rozteč řádků činí 40 cm), nebo ve dvou řadách za sebou (při požadavku rozteče řádků menší než 40 cm). Variantně lze zavěsit i jediný článek na malotraktor. Na každém článku sedí pracovník, který ručně vkládá sazenice do rýh. Pracovní rychlost je 300 m.h⁻¹.

b) Frézovací rýhovač pro vytváření rýh v půdě záhonů pro zaškolování vyspělých sazenic. Experimentální model ústrojí, uvažovaného jako součást školkovacího článku pro druhé školování. Hlavní částí je frézovací kolo otáčející se proti směru pojezdu stroje a opatřené vhodně postavenými lopatkami, které vynášejí půdu z prostoru vytvářející rýhy. Na modelu kolo pohání hydromotor.

Funkční zkoušky prokázaly použitelnost daného řešení. Parametry vytvářející rýhy však byly poněkud nižší než u konstrukčně mnohem jednodušší vynášecí radličky (tab. I). Proto se s principem rotačního rýhovače neuvažuje pro další užití.

I. Srovnání parametrů rýh vytvářených šípovou a vynášecí radličkou a rotačním rýhovačem (h, š – hloubka a šířka rýhy, r, v – šířka a výška rávků půdy, p – výška vrstvy půdy přepadlé na dno rýhy) – Comparison of parameters of furrows made by duckfoot and lifting shares and rotary drill-hoe (h, š – furrow depth and width, r, v – soil hill width and height, p – thickness of soil layer getting to the furrow bottom)

| Prostředek ¹ | h (cm) | š (cm) | r (cm) | v (cm) | p (cm) |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Šípová radlička ² | 17–20 | 11–12 | 24–26 | 9 | 0 |
| Vynášecí radlička ³ | 17–20 | 11–12 | 25–28 | 10 | 0 |
| Rotační rýhovač ⁴ | 15–17 | 11–12 | 20–22 | 7–8 | 2–3 |



¹ tool, ² duckfoot share, ³ lifting share, ⁴ rotary drill-hoe

c) Aktivní podřezávač záhonů s prořezávačem kořenů sazenic jsou adaptéry, které se řešily ve spolupráci s Výzkumně vývojovou stanicí ve Křtinách. Mohou pracovat samostatně nebo v agregaci. Jsou nesené na tříbodovém závěsu traktoru a poháněny od jeho vývodové hřídele kloubovou hřídelí. Hlavní částí podřezávače je horizontální celozáhonový nůž upevněný v rámu a konající vodorovný krouživý pohyb. Vertikální prořiznutí půdy s kořenů v meziřádkách provádí aktivně poháněný prořezávač záhonů. Malou tloušťkou nožů a jejich aktivním pohybem v půdě je docíleno hladkého řezu kořenů bez ořepů a minimálního nakypření půdy. Tím je opět docíleno hladkého řezu a minimálního nakypření půdy na záhonu. Funkčními zkouškami bylo zjištěno, že v základním uspořádání je směřováno použití strojů především do počátečních fází technologie pěstování velkého sadebního materiálu. Stroje však lze upravit i pro práci ve vyspělejších sazenicích, tj. i pro realizaci

tzv. druhého podřezávání sazenic vysokých cca 80 cm za předpokladu použití tzv. portálového traktoru.

Základní technické parametry: šířka záběru – 1 500 mm, jezdová pracovní rychlost – 1–2 km.h⁻¹, hloubka podřezání – 0–30 cm (po 2,5 cm), výška sazenic – maximálně 60 cm, hloubka podřezávání pro druhé podřezávání – 35 cm, výška sazenic – maximálně 80 cm.

d) Vyorávač velkého sadebního materiálu je vyřešen ve spolupráci s Výzkumně vývojovou stanicí ve Křtinách. Tento jednořádkový adaptér je bočně nesený za traktořem a skládá se z podorávacího nože ve tvaru písmene U a vytřásacího roštu. Podorávací nůž je aktivně poháněn, rovněž rošt vykonává aktivní (vertikální vratný) pohyb, při němž jsou kořeny podorovaných poloodrostků zbaveny přebytečné zeminy. Při práci traktor pojíždí bočně od řádku sklizených rostlin, které proto mohou být i mnohem vyšší, než kolik činí světlá výška traktoru.

Základní technické parametry: maximální pracovní hloubka – 40 cm, jezdová pracovní rychlost – 1–2 km.h⁻¹.

Poznámka: Značnou výhodou strojů ad c) a d) je jejich stavební konstrukce, umožňující využívat společného základního rámu a tím snižující ekonomickou zátěž při jejich pořízení.

e) Jednořádkový podřezávač kořenů je řešen jako adaptér k jednoosému malotraktoru. Skládá se z podvozku s dvojicí hnacích kol a rámu, do něhož je upevněn předozadně kmitající podřezávací nůž ve tvaru písmene T.

Koncepce stroje vychází z předpokladu jeho využití ve školkařských provozech, pro které je neúčelné (např. z důvodu malého objemu produkce) pořizovat si speciální velkou techniku. Při práci je stroj veden po ploše meziřádku, nůž je zahluoben do půdy, ve které provádí vertikální i horizontální řez. Hloubka řezu je stavitelná do cca 28 cm. Řešení stroje má charakter experimentu. Na základě prvních ověřovacích zkoušek bylo zjištěno, že stroj je ovladatelný, nůž lze zahluubit i vyhloubit, jsou však nutné úpravy pojezdu tak, aby se dosáhlo zlepšení přenosu točivého momentu hnacích kol.

f) Adjustační a balicí stojan pro ukládání svazků sklizených sazenic do plastových pytlů přímo na záhonech. Skládá se ze stolu a turniketu. Lehká svařovaná konstrukce umožňuje snadný posun stojanu po ploše. Jeden pracovník upravuje na stole sazenice do svazků. Přebere je druhý pracovník a vloží do plastového pytle upevněného na obruči turniketu; naplněný pytel ováže

a vyjme z turniketu. Obruč s prázdňným pytle navlečeným v mezidobí prvím pracovníkem se pootočí ke druhému pracovníkovi atd. Pracnost na přípravu a uložení jedné dávky sazenic do pytle závisí zejména na jejich druhu, velikosti a na zručnosti obsluhy; orientační hodnota pracnosti při balení poloodrostků činí cca 15–20 s na jeden pytel.

B. TECHNICKÉ PROSTŘEDKY PRO VÝSADBU VELKÉHO SADEBNÍHO MATERIÁLU

Výsadbu sazenic lesních dřevin lze řešit v zásadě třemi základními způsoby:

1. mechanizované sázecími stroji do nepřipravené nebo připravené půdy,
2. kombinované – ruční výsadbou do půdy připravené některým typem stroje,
3. ruční výsadbou do nepřipravené půdy.

1. V současnosti jsou v ČR k dispozici výhradně sázecí stroje nesené na univerzálních nebo speciálních traktorech. Takové stroje převládají i v zahraničí. Tim je limitováno jejich použitím pouze na terény sjízdné pro danou kolovou techniku. Tyto stroje jsou určeny pro řadovou výsadbu sazenic; z toho vyplývá, že je téměř vyloučeno (nebo jen za cenu značného snížení výkonosti) jejich použití při zakládání skupinovitě smíšených kultur. Stroje používané v tuzemsku – nejčastěji rýhový sázecí stroj RL2-019 – jsou schopny vysazovat nejen standardní sazenice, ale i poloodrostky prostokohenné i obalené do výšky cca 80 cm a s kořenovým balem o průměru 10–12 cm. Sázecí stroje pro řadovou výsadbu větších sazenic v tuzemsku k dispozici nejsou.

2., 3. Ruční výsadba do mechanicky připravené půdy se liší v závislosti na druhu přípravy. Jestliže je půda strojově připravena již do podoby jamek (např. přenosnými, samojízdnými nebo nesenými jamkovači nebo bagry), spočívá vlastní výsadba jen v usazení sazenice do půdy, v přihnutí a utužení půdy okolo kořenového systému.

Ruční výsadba do připravených pruhů, pásů, plošek ap. vyžaduje vyhloubení prostoru pro kořenový systém. Ruční výsadba do nepřipravené půdy obsahuje vždy vyhloubení prostoru pro kořenový systém; podle podmínek na stanovišti může být její součástí i odstranění drnu, surového humusu aj.

Velikost sazenic vysazovaných těmito způsoby je téměř libovolná, rovněž realizace prostorového uspořádání kultury (např. skupinové smíšení dřevin) je dobře možná. Jednotlivé pracovní postupy lze vzájemně kombinovat (např. hloubení jamek na pruhové a ploškově připravené půdě lze činit jak ručním kopáním, tak i např. pomocí jamkovačů).

Významným faktorem omezujícím použitelnost některých postupů je svahová a terénní dostupnost technických prostředků. Téměř univerzálně jsou použitelné manuální pracovní postupy a postupy využívající přenosných jamkovačů. I ve velmi složitých a sklonitých terénech jsou použitelné stroje na kráčivých podvozcích. Ostatní stroje na bázi adaptérů ke kolovým ener-

getickým prostředkům jsou použitelné téměř výhradně v terénní skupině A, omezeně ve skupině B (klasifikace Lesprojektu, 1980).

VYŘEŠENÉ TECHNICKÉ PROSTŘEDKY PRO VÝSADBU VELKÉHO SADEBNÍHO MATERIÁLU

Řešení bylo směřováno k uvedeným způsobům 1. a 2.

a) Ruční jednomužný jamkovač na jednokolém podvozku umožňuje využít standardní motorové jamkovače (např. Stihl) pro hloubení jamek jednou osobou. Základem je nosný rukojetový rám opatřený jezdzovým kolem a závažím. Do rámu se upevní motorová jednotka jamkovače s vrtákem. Při hloubení se stroj sklápí okolo jezdzového kola dotýkajícího se terénu. Přínosem tohoto řešení je mj. snížení přenosu klopných silových momentů a zátěže od stroje na pracovníka, dosažení příznivých výkonostních parametrů (do cca 250 jamk.h⁻¹) i zachování univerzálnosti použití samotného jamkovače. Jednoduchost konstrukce rámu umožňuje jeho velmi levné pořízení (proti zahraničním ekvivalentům), a to i vlastní výrobou zájemce o tento prostředek.

b) Samojízdný jednomužný jamkovač s přidavným přihnojovačem jsou adaptéry k jednoosým malotraktorům; slouží pro jamkovou přípravu půdy jedním pracovníkem s možností synchronizovaného přihnojování sypkými materiály (hnojiva). Těleso jamkovače se skládá z nosného rámu, kterým je připojen k malotraktoru; na rámu je připevněna převodová skříň s upínací hlavicí vrtáků a k rámu jsou také připevněny zdvojené rukojeti. Při práci jsou hnací kola i vrták ve stálém záběru – stroj pojíždí po ploše, při hloubení jamky se stroj sklopí okolo pomocných jezdzových kol (hnací kola ztratí kontakt s terénem – pojezd je přerušen). Před vyhloubením jamky nebo po něm lze dávkovat sypký materiál k jamce z přihnojovače; v jedné pracovní operaci je tak vedle vyhloubení jamky provedeno i doplnění obsahu živin v půdě, jež je označováno zvláště pro velké sazenice za důležitou (M r á č e k , L o k v e n c , 1974; R ö h r i g , G u s s o n e , 1982, aj.). Výkonost činí cca 300 jamk.h⁻¹, při přihnojování je snížena o 20 %.

c) Sázecí nástroje pro výsadbu sazenic bagrem (N e r u d a , 1996) slouží k výsadbě sazenic až do velikosti odrostků prakticky na většině stanovišť. V návaznosti na předchozí zkušenosti byly dále rozvíjeny pracovní postupy bagrové výsadby včetně možnosti podsady a dosady do existujících porostů a dělené jamkové výsadby. Byla optimalizována konstrukce sázecího nástroje z původní klínové do ploché (rýčové) podoby, která spolu s vhodnou geometrií břitové části usnadňuje jeho zahlubování, zvyšuje produktivitu práce a umožňuje použít i nižší výkonové třídy bagrů. Použití tzv. malých rypadel výkonových tříd do 20 kW pro výsadbu se ukázalo na základě experimentálního sledování činnosti bagru JCB 804 (hmotnost 3 300 kg, výkon 19,5 kW) jako reálné, výkonost při hloubení jamek činí 80–90 ks.h⁻¹ a při kompletní výsadbě 60–70 sazenic za hodinu.

d) Skarifikátor SK-50 s agregovatelným vápníčem VA-0,2 slouží k ploškové přípravě půdy s přesně defino-

vanými parametry hloubky a délky záběru, a to i v silně zabuřených lokalitách, s možností prokypření středu plošky a synchronizovaného dávkování sypkých materiálů (drcených hornin, hnojiv). Skarifikátor i vápnič jsou nesené na zádi traktoru a mohou pracovat buď samostatně, nebo agregovaně. Při pracovním nasazení se pracovní nástroje skarifikátoru střídavě zahlubují a vyhlubují z půdy. V pracovní poloze jsou nástroje hydraulickým systémem zatlačeny do půdy a v žádoací hloubce záběru fixovány ližinami opírajícími se o povrch půdy. Pohybem traktoru kupředu jsou nástroje v půdě taženy a vytvářejí plošku.

V návaznosti na dosavadní znalosti o těchto strojích byly v rámci řešení projektu uskutečněny především zásadní změny konstrukce dávkovacího ústrojí agregovaného vápniče vedoucí ke zlepšení synchronní práce skarifikátoru a vápniče, ke zpřesnění dávkování sypkých látek a na volbu způsobu rozmístění látky na povrchu půdy. Šířka plošek je cca 50 cm, výkonnost 1,0–1,5 ha za směnu (0,7–0,8 ha se současným vápněním).

e) Pomůcky pro výsadbu velkých sazenic:

– podávací kleště na sazenice při bagrové výsadbě se skládají z dvojitých pákových rukojetí, spojovací trubky a chapadel. Pracovník vloží sazenici mezi chapadla, přidrží ji stiskem rukojetí, podá a přidržuje v jamce mezitím vyhloubené nástrojem na bagru. Záměrem tohoto řešení je zejména zvýšení bezpečnosti práce při bagrové výsadbě sazenic. Přínosná je i možnost vzpřímeného postoje při výsadbě. Jak prokázaly výsledky ověřovacích zkoušek, použití podávacích kleští se nijak neprojevuje na snížení produktivity práce bagrové výsadby;

– vozík na přepravu sazenic slouží pro šetrnou terciérní přepravu sazenic při výsadbě. Vozík se skládá z lehkého trubkového rámu se dvěma koly, k němuž lze připevnit plastovou přepravní nádobu válcového tvaru o průměru volitelné velikosti (na modelu činil její průměr 60 cm) a výšce 80 cm. Použitím vozíku se dosáhne ochrany sazenic před povětrnostními vlivy, je snížena i namáhavost práce pracovníků provádějících výsadbu. Výsledky získané při ověřování vozíku svědčí o tom, že jeho použití je přínosné a nijak nesnižuje produktivitu práce při výsadbě.

f) Experimentální sázecí rameno bylo sestaveno ve snaze prakticky ověřit funkčnost principu sázecího ústrojí pro přerušovanou rýhovou sadbu velkých sazenic.

Takovým sázecím ústrojím je vybaven rakouský sázecí stroj Quickwood II, který se jako jeden z mála evropských sázecích strojů ve firemní dokumentaci označuje za použitelný pro výsadbu sazenic až do výšky 200 cm do hloubky 45 cm. S cílem prověření informací ve firemní dokumentaci pro získání objektivnějšího názoru na použitelnost tohoto stroje v ČR bylo sestrojeno rameno se sázecí botkou s parametry odpovídajícími ramenu na stroji Quickwood II (šířka 145 mm, výška 350 mm, délka 200 mm). Rameno pak bylo nasazeno na standardním stroji Quickwood I. Vysazovaly se sazenice smrku a javoru o výšce nad 1 m (pro umožnění průchodu sazenic strojem musela být jejich nadzemní část zkrácena).

Bylo zjištěno, že nejdůležitější sledovaný parametr – uložení kořenové části v půdě – odpovídá základním požadavkům, tj. většina sazenic byla uložena svisle, kořenový krček byl v úrovni povrchu půdy, půda okolo kořenů byla náležitě utužena a v celé výšce profilu uzavřené rýhy se nevyskytovaly nežádoucí dutiny. Tato orientační zkouška tedy naznačuje, že funkční parametry uváděné ve firemní literatuře jsou reálné a že stroj Quickwood II by mohl zabezpečit řadovou strojovou výsadbu větších polodrostků i odrostků v našich podmínkách. Před zásadním rozhodnutím je ovšem nutné vykonat ověřovací zkoušky originálního typu stroje.

II. NEHMOTNÉ VÝSLEDKY ŘEŠENÍ

Základní výsledky získané na pokusných plochách

Od jara 1995 byly na několika lokalitách v ČR (v Krušných horách, na LH Šternberg v Týništi nad Orlicí a zejména na Školním lesním podniku Křtiny) při ověřovacích zkouškách některých technických prostředků a postupů zakládány pokusné plochy s cílem zjistit případný vliv způsobu a prostředku výsadby na ujímavost a růst sazenic standardních a velkých.

Pro porovnání vlivu jednotlivých variant výsadby na růst sazenic se před výsadbou a následně po každé vegetační periodě měřily výšky sazenic spolu s tloušťkami kořenových krčků a výsledky se zpracovávaly standardními statistickými metodami. Ve stejných intervalech se sledovaly i ztráty na kulturách.

Přehledně jsou některé výsledky z vybraných pokusných ploch na ŠLP zpracovány v tab. II. Při zakládání ploch byly použity vytříděné prostokořenné sazenice. Při jejich transportu i manipulaci byla věnována vysoká pozornost minimalizaci doby vystavení sazenic vnějším vlivům. Sazenice byly vysazeny maximálně do čtyř dnů po vyzvednutí ve školce.

Na příkladu pokusných ploch z oblasti Školního lesního podniku Křtiny je patrné, že dynamika růstu u standardních i velkých sazenic v prvních dvou vegetačních periodách po výsadbě je srovnatelná, tj. že velké sazenice mají tendenci uchovat si svůj proporcionální předstih proti sazenicím standardním. Vlivy různých způsobů výsadby na růst sazenic jsou přitom minimální. Z toho vyplývá, že obávaný šok z přesazení i růstová deprese u velkých sazenic byly minimalizovány dobrou kvalitou sazenic, jejich šetrnou manipulací i správně provedenou výsadbou. Velmi pozitivně lze u mechanizovaných technologií výsadby hodnotit výši ztrát, které byly zřetelně nižší než při ruční výsadbě. Příznivý vliv na růst sazenic dubu i na výši ztrát je zřetelný při aplikaci ochranných tubusů.

Zajímavé jsou i výsledky z nejstarší, v tabulce neuvedené plochy, založené na jaře 1995 bagrovou výsadbou sazenic smrku. Tyto sazenice o průměrné výšce 63,2 cm vykazovaly v prvních dvou letech po výsadbě přírůsty obdobné hodnotám v tabulce (10,5 a 11,9 cm), ale ve třetí periodě je patrný velký přírůst sazenic (37,3 cm).

II. Vývoj výšky sazenic, tloušťky kořenového krčku a procenta ztrát na kulturách založených na podzim 1995 a na jaře 1996 na ŠLP Křtiny – Plant height, root crown thickness and percentage loss in plantations set out in autumn 1995 and in spring 1996 in the Training Forest Establishment Křtiny

| Dřevina/porost, hospodářský soubor, lesní typ, termín výsadby ¹ | Způsob výsadby ² | 0. vegetační perioda ³ /1995 | | I. vegetační perioda ⁴ /1996 | | | | II. vegetační perioda ⁵ /1997 | | | |
|--|---|--|--|--|--|--------------------------------------|----------------------------|--|--|--------------------------------------|--|
| | | průměrný přírůst ⁶ (cm) | průměrná výška ⁷ (cm) | průměrný přírůst ⁶ (cm) | průměrná výška ⁷ (cm) | průměr krčku ⁸ (mm) | ztráty ⁹ (%) | průměrný přírůst ⁶ (cm) | průměrná výška ⁷ (cm) | průměr krčku ⁸ (mm) | celkové ztráty ¹⁰ (%) |
| Smrk ztepilý ¹¹ /295 B 11 HS 44, LT 3H1 podzim 1995 ¹² | ručně (sazenice standard) | 18,4 | 30,0 | 11,4 | 41,4 | 8,9 | 3,0 | 16,1 | 57,5 | 10,6 | 5,0 |
| | sáz. stroj do nepř. půdy (sazenice standard) | 26,6 | 38,3 | 7,8 | 46,1 | 8,5 | 3,0 | 20,6 | 66,7 | 11,5 | 5,0 |
| | sáz. stroj do přípr. půdy (sazenice standard) | 25,9 | 38,5 | 11,9 | 50,4 | 9,3 | 3,0 | 19,6 | 70,0 | 11,9 | 5,0 |
| | jankovač (sazenice standard) | 25,6 | 38,9 | 11,3 | 50,2 | 9,5 | 4,0 | 20,0 | 70,2 | 12,2 | 6,0 |
| | ručně (velké sazenice) | 34,1 | 68,6 | 10,0 | 78,6 | 12,0 | 3,0 | 19,3 | 97,9 | 16,3 | 5,0 |
| | sáz. stroj do přípr. půdy (velké sazenice) | 35,6 | 62,8 | 12,8 | 75,6 | 12,8 | 5,0 | 11,9 | 87,5 | 16,2 | 8,0 |
| | sáz. stroj do nepř. půdy (velké sazenice) | 32,0 | 63,1 | 13,3 | 76,4 | 11,7 | 3,0 | 9,7 | 86,1 | 15,3 | 5,0 |
| | jankovač (velké sazenice) | 30,4 | 63,2 | 10,1 | 73,3 | 11,7 | 3,0 | 18,0 | 91,3 | 15,3 | 5,0 |
| bagr (velké sazenice) | 31,6 | 70,6 | 8,8 | 79,4 | 13,4 | 0,0 | 10,2 | 89,6 | 17,2 | 5,0 | |
| Smrk ztepilý ¹¹ /26 H 11 HS 44, LT 3H2 podzim 1995 ¹² | bagr (velké sazenice) | 33,9 | 58,7 | 9,8 | 68,4 | 11,3 | 0,0 | 20,1 | 88,6 | 16,7 | 3,0 |
| | sáz. stroj do nepř. půdy (velké sazenice) | 30,1 | 61,4 | 10,4 | 71,8 | 12,3 | 0,0 | 16,4 | 88,2 | 16,7 | 4,0 |
| | ručně (velké sazenice) | 29,9 | 55,3 | 8,6 | 63,9 | 11,9 | 10,0 | 17,1 | 81,0 | 16,7 | 15,0 |
| | bagr (sazenice standard) | 20,5 | 35,9 | 12,6 | 48,5 | 8,3 | 0,0 | 18,1 | 66,6 | 12,4 | 5,0 |
| | sáz. stroj do nepř. půdy (sazenice standard) | 18,6 | 35,1 | 9,6 | 44,7 | 8,7 | 0,0 | 23,6 | 68,3 | 11,7 | 4,0 |
| | ručně (sazenice standard) | 22,0 | 32,0 | 7,3 | 39,3 | 7,7 | 5,0 | 20,0 | 59,3 | 12,0 | 10,0 |
| bagr (velké sazenice) | 30,0 | 58,4 | 8,2 | 66,6 | 11,6 | 5,0 | 15,3 | 81,9 | 16,3 | 9,0 | |
| Dub letní ¹³ /380 HS 443, LT 2H2 jaro 1996 ¹⁴ | bagr (velké sazenice) – ochr. tubus | | 72,2 | 9,3 | 81,5 | 10,3 | 0,0 | 65,1 | 146,5 | 13,6 | 3,0 |
| | sáz. stroj (velké sazenice) | | 71,3 | 10,6 | 81,9 | 10,7 | 5,0 | 53,5 | 135,4 | 15,2 | 20,0 |
| | jankovač (velké sazenice) | | 73,7 | 13,7 | 87,3 | 10,2 | 5,0 | 44,2 | 131,5 | 16,3 | 20,0 |
| | ručně (velké sazenice) | | 69,7 | 13,0 | 82,7 | 12,0 | 25,0 | 39,8 | 122,5 | 15,2 | 28,0 |
| | bagr (velké sazenice) – volně | | 64,2 | 11,7 | 75,9 | 9,6 | 5,0 | 44,5 | 120,4 | 13,5 | 12,0 |
| | sáz. stroj (sazenice standard) | | 35,6 | 7,7 | 43,3 | 6,3 | 5,0 | 31,9 | 75,1 | 9,4 | 12,0 |
| | jankovač (sazenice standard) | | 34,0 | 11,6 | 45,6 | 5,6 | 5,0 | 23,7 | 69,3 | 9,4 | 50,0 |
| | ručně (sazenice standard) | | 31,3 | 7,9 | 39,2 | 5,5 | 5,0 | 20,3 | 59,5 | 9,1 | 50,0 |
| Buk lesní ¹⁵ /39 A 14 HS 406, LT 3S9 podzim 1995 ¹² | bagr (velké sazenice) | 13,7 | 66,9 | 12,9 | 79,8 | 13,2 | 2,0 | 31,5 | 111,3 | 18,2 | 8,0 |
| | bagr (sazenice standard) | 9,8 | 31,6 | 8,2 | 39,8 | 7,7 | 0,0 | 25,3 | 65,1 | 11,6 | 5,0 |
| | jankovač (velké sazenice) | 12,9 | 67,5 | 14,3 | 81,8 | 12,5 | 5,0 | 25,9 | 107,7 | 17,9 | 10,0 |

Pokračování tab. II – Continuation of Tab. II

| Dřevina/porost, hospodářský soubor, lesní typ, termín výsadby ¹ | Způsob výsadby ² | 0. vegetační perioda ³ /1995 | | I. vegetační perioda ⁴ /1996 | | | | II. vegetační perioda ⁵ /1997 | | | |
|--|--|--|--|--|--|--------------------------------------|----------------------------|--|--|--------------------------------------|--|
| | | průměrný přírůst ⁶ (cm) | průměrná výška ⁷ (cm) | průměrný přírůst ⁶ (cm) | průměrná výška ⁷ (cm) | průměr krčku ⁸ (mm) | ztráty ⁹ (%) | průměrný přírůst ⁶ (cm) | průměrná výška ⁷ (cm) | průměr krčku ⁸ (mm) | celkové ztráty ¹⁰ (%) |
| Buk lesní ¹⁵ /39 A 14 HS 406, LT 3S9 podzim 1995 ¹² | jamkovač (sazenice standard) | 9,1 | 39,0 | 14,7 | 54,7 | 8,6 | 5,0 | 22,5 | 77,2 | 12,7 | 8,0 |
| | sáz. stroj do příp. půdy (velké sazenice) | 16,2 | 64,9 | 19,0 | 83,9 | 12,1 | 5,0 | 25,9 | 109,8 | 16,8 | 10,0 |
| | sáz. stroj do příp. půdy (sazenice standard) | 10,3 | 27,7 | 15,4 | 43,1 | 7,3 | 5,0 | 21,2 | 64,3 | 11,1 | 10,0 |
| | ručně do příp. půdy (velké sazenice) | 13,7 | 59,3 | 22,1 | 80,3 | 13,1 | 10,0 | 21,4 | 101,8 | 17,3 | 20,0 |
| | ručně do příp. půdy (sazenice standard) | 9,0 | 24,9 | 12,5 | 37,4 | 6,8 | 12,0 | 20,5 | 57,9 | 11,4 | 15,0 |
| Javor klen ¹⁶ /280 B 7 HS 44, LT 4A2 jaro 1996 ¹⁴ | bagr (velké sazenice) – ochr. tubus | | 69,6 | 7,3 | 77,0 | 10,1 | 0,0 | 60,0 | 137,0 | 11,8 | 0,0 |
| | bagr (velké sazenice) – volné | | 69,2 | 8,5 | 77,7 | 9,7 | 0,0 | 19,1 | 96,8 | 12,5 | 0,0 |
| | ručně (sazenice standard) – volné | | 41,8 | 2,5 | 44,3 | 5,7 | 0,0 | 7,3 | 51,7 | 7,3 | 0,0 |
| Osika ¹⁷ /308 HS 443, LT 2H2 jaro 1996 ¹⁴ | bagr – sazenice v ochranném tubusu | | 109,7 | 51,4 | 161,1 | 11,6 | 5,0 | 148,5 | 309,4 | 21,2 | 10,0 |
| | bagr – sazenice volné | | 104,2 | 48,0 | 152,2 | 10,7 | 10,0 | 138,3 | 290,5 | 25,7 | 10,0 |

¹tree species, forest stand group, forest type, planting date, ²planting method, ³vegetation period 0, ⁴vegetation period I, ⁵vegetation period II, ⁶average increment, ⁷average height, ⁸average root crown thickness, ⁹loss, ¹⁰total loss, ¹¹Norway spruce, ¹²autumn 1995, ¹³English oak, ¹⁴spring 1996, ¹⁵European beech, ¹⁶sycamore maple, ¹⁷aspen

III. Rekapitulace některých výsledků kalkulací nákladů na zalesnění a zajištění 1 ha plochy různými postupy – Review of some data on calculations of costs of reforestation and establishment of 1 ha plot by different methods

| Pořadové číslo ¹ | Technologický postup zalesnění ² | Použité sazenice ³ | Celkový počet sazenic včetně vylepšování ⁴ (ks) | Cena sazenic ⁵ (Kč) | Spotřeba času živé práce ⁶ (h) | Spotřeba pohonných hmot ⁷ (l) | Náklady zalesnění ⁸ (Kč na sazenici) | Náklady celkové ⁹ (Kč.ha ⁻¹) |
|--------------------------------|--|---|---|-----------------------------------|--|--|---|---|
| 1a | Klasická ruční technologie | hlavní i přimíšená dřevina standardní sazenice | 5 160 | 22 440 | 918 | 29 | 7,4 | 63 760 |
| 1b | | hlavní dřevina standard, přimíšená dřevina poloodrostek | 3 878 | 19 656 | 826 | 29 | 8,3 | 56 738 |
| 2a | Výsadba do mechanizované přípravené půdy (pruhy + jamky) | hlavní i přimíšená dřevina standardní sazenice | 4 945 | 21 505 | 219 | 164 | 6,6 | 40 448 |
| 2b | | hlavní dřevina standard, přimíšená dřevina poloodrostek | 3 702 | 18 664 | 195 | 155 | 7,6 | 35 524 |
| 3a | Strojová výsadba (hlavní dřevina sázená strojem, přimíšená dřevina ručně do jamek po jamkovači) | hlavní i přimíšená dřevina standardní sazenice | 4 730 | 20 570 | 155 | 181 | 6,0 | 36 729 |
| 3b | | hlavní dřevina standard, přimíšená dřevina poloodrostek | 3 562 | 18 104 | 146 | 186 | 7,5 | 33 733 |
| 3c | | hlavní dřevina standard, přimíšená dřevina odrostek | 3 245 | 17 270 | 136 | 183 | 7,7 | 32 348 |

¹No., ²technological procedure of reforestation, ³planting stock, ⁴total number of plants including beating up, ⁵planting stock cost, ⁶live work consumption, ⁷fuel consumption, ⁸cost of reforestation, ⁹total cost

Ztráty jsou velmi nízké (5 %). Kulturu lze tak považovat ve třetím roce po výsadbě za zajištěnou. Tyto údaje jsou plně v souladu s údaji z literatury (např. Schmidt-Vogt, 1970; Schmidt-Vogt, Gürth, 1969, 1977; A betz, Prange, 1975, aj.).

V Krušných horách byla na LS Janov na jaře r. 1996 v rekonstruovaném porostu náhradních dřevin tvořeném pásy smrku pichlavého a břízy v nadmořské výšce 450 m a na svahu 80–90% založena pokusná plocha v souslosti s ověřováním optimalizovaného sázecího nástroje na kráčivém bagru Menzi Muck. Vysazované sazenice: smrk ztepilý a javor horský, průměrná výška 60 cm. Smrk pichlavý byl pokácen, přitom byly ponechány přízemní přesleny větví jako biologická ochrana proti zvěři. Bylo zjištěno, že bagrem je možné vysazovat sazenice i těsně k ponechaným pahýlům smrku pichlavého (což je jinak při ruční práci značně obtížné). Další významné zjištění je, že bagrovou metodou je možné realizovat i podsadbu sazenic pod ponechaný porost břízy. To je dáno dosahem výložníku (cca 8 m); v případě potřeby by bylo možné tuto technologii aplikovat i v sousvislých porostech po vykácení zpřístupňovacích linek s roztečí cca 15 m. Při kontrole v roce 1997 byla zjištěna velmi malá mortalita (kolem 5 %) sazenic.

I z této relativně krátké časové řady sledování lze odvodit, že ověřované technické prostředky a technologické postupy výsadby velkých sazenic jsou vhodné a přínosné pro provozní použití. Pro detailnější posouzení je ovšem žádoucí ve sledování vývoje kultur na pokusných plochách pokračovat.

Kalkulace přínosů souvisejících s použitím velkých sazenic při obnově lesa

Na základě informací získaných z literárních šetření a potvrzených i vlastními poznatky z pokusných ploch lze zpracovat kalkulace umožňující exaktnější vyjádření důsledků použití velkých sazenic pro obnovu lesa i vzájemné porovnání jednotlivých variant realizace výsadby.

Tato kalkulace musí zohledňovat zejména dvě stránky:

- vyšší pořizovací cenu sadebního materiálu větších dimenzí,
- rozdílné technicko-ekonomické parametry variant technologických postupů při zakládání a péči o kultury do doby zajištění s použitím sazenic standardních a větších dimenzí, zohlednění předpokládaných efektů použití velkých sazenic (snížení hektarových počtů, objemu vylepšování, ožínání aj.).

Kalkulace byly zpracovány pro příklad tvorby kultury smíšeného porostu o rozloze 1 ha s projektovaným zastoupením dřevin: smrk 70 % (hlavní dřevina), buk 30 % (přimíšená dřevina). Bylo zvoleno několik technologických variant – od čistě ruční práce až po mechanizovanou. Ve skutečnosti lze však aplikovat i mnohé další kombinace zde neuvedených technologických postupů. Rekapitulace výsledků kalkulací je uvedena v tab. III.

Z výsledků jednotlivých kalkulací jsou zřejmé významné rozdíly v parametrech individuálních technologií vyjádřených jak v nákladových jednotkách, tak i ve spotřebě lidské práce, sazenic a pohonných hmot. Ekonomiku použití velkých sazenic při obnově lesa nelze vztahovat jen na vlastní zalesnění. Náklad na samotné zalesnění v přepočtu na jednu sazenici může být totiž proti standardním sazenicím vyšší. Je tedy nutné vždy posuzovat delší časový úsek, ve kterém se projeví jejich příznivé vlastnosti. V kalkulacích je tímto časovým úsekem doba reálné potřebné pro zajištění kultury. Ekonomiku použití velkých sazenic příznivým způsobem výrazně ovlivňují: snížení počtu vysazovaných jedinců, nižší úroveň ztrát a zvláště nízké náklady na jejich ochranu před buňmi, případně zvěří. Uvedený závěr koresponduje s literárními prameny (L o k v e n c , 1978; R o s e n s t o c k , 1991).

NÁVRH SOUBORU TECHNICKÝCH PROSTŘEDKŮ PRO PRODUKCI A VÝSADBU VELKÉHO SADEBNÍHO MATERIÁLU

Návrh obsahuje především ty části (prvky) soustav, které jsou pro daný účel specifické, tj. nezmiňuje se o těch prostředcích, jež jsou zcela obvyklé při realizaci i jiných technologických postupů (tj. např. stroje pro přípravu půdy a substrátů, ve školkách, aplikátory pesticidů, dopravní prostředky atd.) a které lze využít i při produkci a výsadbě velkého sadebního materiálu. Do souboru byly zařazeny jak prostředky sériově vyráběné, tak i některé perspektivní prostředky vzešlé z výzkumného řešení grantového projektu, jejichž výsledky z ověřovacích zkoušek naznačují provozní použitelnost.

Návrh je zpracován ve formě tabulkového přehledu (tab. IV a V) a může sloužit pro základní orientaci v dané problematice.

ZÁVĚR

Výsadba poloodrostků a odrostků při umělé obnově lesa má celou řadu pozitiv, ale i problémů. Přestože její uplatnění nelze chápat jako paušální a nebude hlavním způsobem obnovy lesa, může se v určitých podmínkách stát používání velkého sadebního materiálu nejen racionalizačním prvkem, ale i významným prvkem pěstebním. Pro dosažení žádoucích přínosů a potlačení negativních jevů při použití velkého sadebního materiálu je nutné respektovat základní zásady vycházející z biologických požadavků dřevin a stanovištních podmínek.

Proti standardnímu sadebnímu materiálu jsou technologické postupy pěstování i výsadby poloodrostků a odrostků odlišné a při své realizaci vyžadují vhodné technické prostředky, splňující požadavky dané biologickými i technicko-ekonomickými podmínkami. Tato zásada byla respektována i při výzkumném řešení grantového projektu. Prezentované výsledky, přestože nemohou být zcela vyčerpávající, naznačují způsoby technického za-

IV. Přehled technických prostředků vhodných pro pěstování velkého sadebního materiálu – A survey of technical means usable for cultivation of large-sized planting stock

| Pořadové číslo operace ¹ | Operace ² | Pořadové číslo prostředku ³ | Typy technických prostředků ⁴ | Původ prostředku ⁵ | Základní technicko-ekonomické parametry ⁶ | Poznámka ⁷ |
|---|--|--|---|-------------------------------|---|--|
| A. Pěstování prostokořenných poloostrodků | | | | | | |
| 1. | První podřezávání kořenů semenáčků a sazenic | 1. | podřezávač kořenů aktivní – Chameleon | ČR | šířka záběru: 1 500 mm, hloubka podřezání: do 30 cm, řez horizontální i vertikální, výška sazenic do 60 cm, pohon: traktor 40 kW, pracovní rychlost: 1–2 km.h ⁻¹ , obsluha: řidič + pomocník, lze upravit i pro vyzvednutí každého 2. řádku pro spon řad 42 cm | u vyšších sazenic nutný ochranný kryt na traktoru |
| | | 2. | podřezávač aktivní Egedal Prunemaster | Imp. | šířka záběru: 1 500 mm, hloubka podřezání: do 15 cm, řez horizontální i vertikální, sazenice v řádcích, pohon: traktor 40 kW, pracovní rychlost: 1–2 km.h ⁻¹ , obsluha: řidič + pomocník | |
| 2. | Druhé podřezávání kořenů sazenic | 3. | podřezávač kořenů aktivní – Chameleon | ČR | upravená verze stroje ad 1., zvětšení pracovní hloubky na 35 cm a průchodnosti pro sazenice o výšce do 80 cm, ostatní údaje shodné, nutné použít speciální traktor se zvýšenou světlostí! | vhodný jen do specializovaných provozů – nutnost speciálního traktoru! |
| 3. | První školkování | 4. | školkovací stroj RL2-035 | ČR | sedmiřádkový školk. stroj s ruční obsluhou, rozestup řádků 208 mm, semenáčky do 25 cm výšky, traktor 40 kW, obsluha: 1 + 8 osob, pracovní rychlost: do 250 m.h ⁻¹ | |
| | | 5. | školkovací stroj Egedal Super – Prefer | Imp. | obdobné parametry jako ad 4. | |
| 4. | Druhé školkování | 6. | variabilní školkovací stroj ze sázecích článků | ČR | stroj využívající školk. články s vynášecími sázecími radličkami, šířka rýhy: cca 10 cm, výška sazenic: 25–80 cm, počet (1–5) a rozestup článků volitelné, pohon: traktor 40 kW (vícečlánková verze), obsluha ruční, pracovní rychlost: 300 m.h ⁻¹ | použitelný jen ve školce |
| | | 7. | sázecí stroj HARI | Imp. | čtyřřádkový stroj s ruční obsluhou, výška sazenic do 100 cm, výsadba do rýh (sázecí rýhovací radlice) | |
| 5. | Tvarování koruny | 8. | ruční zahradnické nářadí | ČR/Imp. | klasické ruční stříhací nářadí – nůžky | |
| | | 9. | poháněné stříhací nářadí | Imp. | pohon vzduchem nebo hydraulicky, nutný zdroj energie, vhodné jen pro specializované velkoprovozy | |
| 6. | Sklizeň | 10. | vyorávač velkého sadebního materiálu – Chameleon | ČR | jednořádkový, bočně nesený, pracovní hloubka max. 40 cm, traktor 40 kW, 1 pracovník, pracovní rychlost: 1–2 km | |
| | | 11. | vyorávač velkého sadebního materiálu – Fobro | Imp. | obdobné parametry jako ad A/10, pracovní hloubka 50 cm | |
| | | 12. | adjustační a balicí stojan | ČR | balení do plastových pytlů, výkonnost podle sazenic cca 3–4 pytle za minutu, 2 pracovníci | |
| B. Pěstování obalených poloostrodků | | | | | | |
| 1. | Ruční osazování a plnění obalů | 12. | jednoduché pomůcky vlastní výroby | | osazovací stoly se zásobníkem substrátu, držákem plněných obalů, převaha ruční práce, směnová výkonnost 300–500 ks osazených obalů na osobu | vhodné pro malé objemy produkce |
| 2. | Mechanizované osazování a plnění obalů | 13. | plnicí a osazovací stroje (např. Meyer-Möschle, Javo) | Imp. | výkonná zařízení charakteru strojních linek, maximální průměr obalů včetně sáčků do 25 cm, výkonnost na osobu podle obalu a sazenice cca 3 000 ks za směnu, 2–6 osob obsluhy (podle typu stroje) | vhodné pro velké objemy produkce |

Pokračování tab. IV – Continuation of Tab. IV

| Pořadové číslo operace ¹ | Operace ² | Pořadové číslo prostředku ³ | Typy technických prostředků ⁴ | Původ prostředku ⁵ | Základní technicko-ekonomické parametry ⁶ | Poznámka ⁷ |
|---|---|--|--|-------------------------------|--|--|
| C. Pěstování odrostků | | | | | | |
| 1. | První podřezávání kořenů semenáčků | | stejně jako ad A/1 nebo A/2 | | | |
| 2. | První školkování | | stejně jako ad A. | | | |
| 3. | Druhé školkování – sazenice jako poloodrostky | | stejně jako ad A. | | | |
| 4. | Druhé podřezávání | 1. | jednořádkový podřezávač CDO-60 | Imp. | podřezávač tažený portálovým traktorem nebo lanem navijáku, pasivní nůž tvaru U, hloubka záběru 50 cm, ruční směrové navádění, 2 pracovníci, pracovní rychlost do 1 km.h ⁻¹ | vhodné pro specializované velkovýrobní provozy |
| 5. | Vyzvedávání jako prostokofenné odrostky | 2. | vyorávač velkého sadebního materiálu Fobro | Imp. | obdobné parametry jako ad A/10, pracovní hloubka 50 cm | |
| 6. | Vyzvedávání jako hroudové odrostky | 3. | vykrajovač hroudových odrostků YMD-60 | Imp. | hydraulicky ovládaný adaptér s otočným nožem tvaru U, průměr balu 40–60 cm, samochoďný podvozek, 1 pracovník, výkonnost 30–50 ks.h ⁻¹ | vhodné pro specializované velkovýrobní provozy |
| D. Vyzvedávání hroudové sadby v porostech | | | | | | |
| 1. | Vyzvedávání ruční | 1. | ruční hloubicí nářadí | ČR/Imp. | různé typy ručního nářadí (motyky, sekeromotyky, krumpáče, rýče, duté rýče), pracnost odvislá od mnoha faktorů (rozpojitelnost půdy, vyspělost a druh dřeviny): poloodrostky 5–10 min.ks ⁻¹ , odrostky 20–35 min.ks ⁻¹ | |
| 2. | Vyzvedávání mechanizované | 2. | vykrajovač hroudových odrostků FZ 80 | Imp. | hydraulicky ovládaný adaptér s otočným nožem tvaru U, průměr balu 30–60 (80) cm, samochoďný podvozek, 1 pracovník, výkonnost 30–50 ks.h ⁻¹ | použití omezeno terénem a půdou (obsahem šterku) |

Vysvětlivky – Explanatory notes: Původ prostředku: ČR – tuzemská výroba existuje nebo je reálná, Imp. – dovoz – Origin of means: CR – domestic production exists or is feasible, Imp. – imported

¹operation No., ²operation, ³means No., ⁴types of technical means, ⁵origin of means, ⁶basic technical and economic parameters, ⁷note

V. Přehled technických prostředků vhodných pro výsadbu velkého sadebního materiálu – A survey of technical means usable for production of large-sized planting stock

| Pořadové číslo operace ¹ | Operace ² | Pořadové číslo prostředku ³ | Typy technických prostředků ⁴ | Původ prostředku ⁵ | Základní technicko-ekonomické parametry ⁶ | Oblast použití ⁷ | Použití v terénních typech ⁸ |
|-------------------------------------|--|--|---|-------------------------------|---|-----------------------------|---|
| A. Příprava půdy | | | | | | | |
| 1. | Řadová plošková příprava s možností přihnojení | 1., 2. | skarifikátor SK-50 + agregovatelný vápnič VA-0,2 | ČR | ploška šíře 50 cm, délka a hloubka volitelné, základní výkonnost 1,0–1,5 ha.sm ⁻¹ , výkonnost s vápničem 0,7–0,8 ha.sm ⁻¹ , 1 pracovník, traktor 40 kW | 1 | 11, 12, (13) |
| 2. | Pruhová příprava půdy | 3. | talířová půdní fréza TPF-1 | ČR | pruh šíře 50 cm, výkonnost 1,0–1,5 ha.sm ⁻¹ , 1 pracovník, traktor 40 kW | 1 | 11, 12 |
| 3. | Následné pomístné přihnojení na pruzích | 2. | agregovatelný vápnič VA-0,2 | ČR | zásobník 0,2 m ³ , dávka volitelná, výkonnost 0,7–0,8 ha.sm ⁻¹ , 1 pracovník, traktor 40 kW | 1 | |
| 4. | Jamková příprava půdy motomanuálními jamkovači | 4. | přenosný motorový jamkovač (např. Stihl BT 360) | Imp. | výkonnost podle dimenzí jamky, stavu půdy a zabuřnění terénu do cca 350 ks.h ⁻¹ , 2 pracovníci, jamka do průměru max. 35 cm | 1, 2, 3 | bez omezení |
| | | 5. | jamkovač na jednokolém podvozku | Imp./ČR | výkonnost podle dimenzí jamky, stavu půdy a zabuřnění terénu do cca 250 ks.h ⁻¹ , 1 pracovník, jamka do průměru max. 35 cm | 1, 2, (3) | 11, 12, (13) |
| | | 6. | samojízdný jamkovač s přihnojovačem | ČR | výkonnost podle dimenzí jamky, stavu půdy a zabuřnění terénu do cca 300 ks.h ⁻¹ (při současném přihnojování snížení o cca 20 %), 1 pracovník, jamka do průměru max. 35 cm | 1, 2, (3) | 11, 12, (13) |
| 5. | Jamková příprava půdy nesenými jamkovači | 7. | nesené jamkovače na univerzálních traktorech (např. JN-90U, WB 1, WB 3) | ČR/Imp. | výkonnost podle dimenzí jamky, stavu půdy a zabuřnění terénu, počtu a umístění vrtáků do cca 300 ks.h ⁻¹ (cca 500 ks.h ⁻¹ u ztrojené verze), traktor 40 kW, 1 pracovník, jamka do průměru max. 50–60 cm | 1, 2 | 11, 12 |
| | | 8. | nesené jamkovače na speciálních traktorech (PK7-021) | ČR | výkonnost podle dimenzí jamky, stavu půdy a zabuřnění terénu do cca 250 ks.h ⁻¹ , jamka do průměru cca 45 cm, 1 pracovník | 1, 2, (3) | 11, 12, 13, (14) |
| | | 9. | jamkovač s přihnojovačem LoBo | Imp. | adaptér k bagru (pásový nebo kráčívý, 40 kW), současné přihnojování, výkonnost cca 180 ks.h ⁻¹ , jamka o průměru cca 35 cm, 1 pracovník | 1, 2, 3 | 11–(14), 21–(24) |
| B. Mechanizovaná výsadba | | | | | | | |
| 6. | Výsadba sázecími stroji | 9. | ryhový sázecí stroj | ČR | poloodrostky do 80 cm, výkonnost podle stanoviště do cca 3 000 ks.sm ⁻¹ , 3 pracovníci | 1 | 11, 12, (13) |
| | | 10. | sázecí stroj Quickwood II | Imp. | poloodrostky a odrostky do 200 cm, výkonnost podle stanoviště do cca 3 000 ks.sm ⁻¹ , 3 pracovníci | 1 | 11, 12, (13) |
| 7. | Výsadba sázecími nástroji na bagru | 11. | základní stroj: pásové bagry třídy 20 kW | ČR (nástroj) | jamky: šířka 40 cm, hloubka 30 cm, výkonnost: 80–90 ks.h ⁻¹ (jen jamkování), 60–70 ks.h ⁻¹ (včetně výsadby), dosah výložníku 4 m | 1, 2, 3 | 11–(14), 21–(24) |
| | | 12. | základní stroj: pásové bagry třídy 40 kW | ČR (nástroj) | jamky: šířka 45 cm, hloubka 40–60 cm, výkonnost cca 150–170 ks.h ⁻¹ (jen jamkování), 100–120 ks.h ⁻¹ (včetně výsadby), dosah výložníku 8 m | 1, 2, 3 | 11–(14), 21–(24) |
| | | 13. | základní stroj: kráčívé bagry třídy 40 kW | ČR (nástroj) | jamky: šířka 45 cm, hloubka 40–60 cm, výkonnost cca 120–140 ks.h ⁻¹ (jen jamkování), 90–110 ks.h ⁻¹ (včetně výsadby), dosah výložníku 8 m | 1, 2, 3 | 11–(15), 21–(25) (31–35) |

Vysvětlivky:

Původ prostředku: ČR – tuzemská výroba existuje nebo je reálná, Imp. – dovoz

Oblast použití: 1. řadově zakládané kultury včetně řadově smíšených, 2. skupinově smíšené kultury, 3. vylepšování kultur, zajištění příměsi melioračních a zpevňovacích dřevin. () – použití omezeno parametry stroje

Použití v terénních typech: () – do limitního sklonu a průchodnosti podle konkrétního typu stroje

For 1–6 see Tab. IV, ⁷ mode of use, ⁸ use in terrain conditions

bezpečení jednotlivých technologických operací a mohou být tvůrčím způsobem uplatněny v lesním provozu.

Literatura

- ABETZ, P. – PRANGE, H., 1975. Waldbauliche Versuche mit Verschiedenen Pflanzensortimenten bei der Fichtenbestandsbegründung in Oberschwaben. Allg. Forst- Jagdztg, 146: 197–205.
- DUŠEK, V., 1980. Současný stav a perspektivy aplikace silněho sadebního materiálu. Zpr. lesn. výzk., XXV, č. 4: 1–5.
- HELBIG, F., 1978. Erste Erfahrungen zum Einsatz von Ballenpflanzen und ihre Auswirkungen auf Pflanzenanwuchs und Verlängerung der Pflanzenperiode. Sozial. Forstwirtschaft., 12: 366–367.
- HENEKA, L., 1987. Tannengrosspflanzen für den Umbau von Fichtenreinbeständen im mittleren Schwarzwald. Allg. Forstz., 42: 203–205.
- HRDÝ, D. – KORDAČ, R., 1996. Zhodnocení výsadeb bukových odrostků na LS Vyšší Brod. Lesn. Práce, 75: 361–362.
- HUSS, J., 1993. Waldbau vor neuen Herausforderungen bei Waldverjüngung und Jungbestandspflege. Forstwiss. Cbl., 112: 278–286.
- KOTEK, K. et al., 1989. Výsadba bukových odrostků na ŠP Hůrka u SLŠ Písek. Lesn. Práce, 68: 120–124.
- KOŠULIČ, M., 1992. K zakládání smíšeného lesa v hospodářských souborech smrkového hospodářství. Lesn. Práce, 71: 291–296.
- KOŠULIČ, M., 1995. Přípravné dřeviny v obnově lesa. Lesn. Práce, 74: 17–18.
- LOKVENC, T., 1978. Problematika zalesňování velkými sazenicemi. Lesn. Práce, 57: 153–157.
- MRÁČEK, Z. – LOKVENC, T., 1974. Základy racionálního zalesňování. Praha, SZN: 183.
- NERUDA, J., 1996. Technika pro obnovu lesů vyspělými sazenicemi. Acta Univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., XLIV: 33–43.
- PEŘINA, V., 1969. Příspěvek k používání listnatých odrostků. Lesn. Práce, 46: 171–176.
- REISSINGER, G., 1965. Erfahrungen bei der Winkelpflanzung mit grossen Pflanzen. Wiss. Z. Techn. Univ. Dresden, 14: 1623–1625.
- ROSENSTOCK, A., 1991. Forstökologische Überlegungen können zugleich Kosten senken. Allg. Forstz., 46: 962–963.
- RÖHRIG, E. – GUSSONE, H., 1982. Waldbau. Hamburg-Berlin, P. Parey: 280.
- SCHMIDT-VOGT, H., 1970. Rationalisierung der Forstkultur durch die Verwendung von Grosspflanzen. Allg. Forstz., 25: 195–200.
- SCHMIDT-VOGT, H. – GÜRTH, P., 1969. Eigenschaften von Forstpflanzen und Kulturerfolg I. Allg. Forst- Jagdztg, 140: 132–142.
- SCHMIDT-VOGT, H. – GÜRTH, P., 1977. Eigenschaften von Forstpflanzen und Kulturerfolg II. Allg. Forst- Jagdztg, 148: 145–157.
- ZEZULA, J., 1996. Zakládání smíšených porostů ve smyslu zákona o lesích č. 289/95 Sb. Lesn. Práce, 75: 360–361.

Došlo 21. 1. 1998

TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION AND PLANTING OF LARGE-SIZED PLANTING STOCK OF FOREST TREES

J. Neruda

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

The following plants rank among the quality group of large-sized planting stock: large plants (height of the above ground part 51–120 cm) and saplings (height of the above ground part 121–250 cm).

In the past, the planting out of large plants was particularly applied when extreme conditions for reforestation occurred on weed-infested areas after natural disasters or insect outbreaks. Such a situation happened e.g. in Germany (Helbig, 1978) and in the Czech Republic (Peřina, 1969). As the use of large plants facilitates rapid growth of young plantations from the zone of frost, weed and game danger, this method of forest regeneration appears to be topical also at present (Dušek, 1980). New interest in large plants in Germany occurs in the 1960s in looking for optimum plants which could rapidly grow away from the endangered zone after planting out (Schmidt-Vogt, Gürth, 1969). It is necessary to study the current problems of reforestation using large plants and the need to increase work produc-

tivity by suitable means of mechanization (Huss, 1993).

With respect to the current state of forestry, the present possibilities of using large plants in forestry of the Czech Republic are even a little larger as compared with the past situation. They can be applied particularly in:

- clear-felled areas reforestable only with considerable difficulties, i.e. old and weed-infested cleared areas, areas induced by air pollution, in the vicinity of watercourses, in frost pools, areas under the heavy impact of game etc.;
- beating up and improvement planting, particularly in young plantations with gaps and not fully established using plants of similar size and the same species as the young plantation;
- using admixtures of reinforcing and soil-improving species in present pure plantations. It is one of the most important possibilities of applying large plants

by means of which a stable forest is established differentiated from the viewpoint of species, age and space.

Expected benefits of using large plants: lower number of plants for reforestation, rapid growing away from the effect of weed and game, lower labour consumption and costs for the protection of young plantations, quicker fulfilment of soil-improvement and reinforcing functions and attaining the condition of an established plantation. Problems in using large plants: general shortage of quality large plants and higher costs of their production, considerable requirements for technological discipline in the whole process of obtaining and using the planting stock, insufficient equipment of forestry practice with suitable technical means.

The main objective of grant project No. 504/95/1205 *Technology of planting and production of large-sized planting stock* is to design on the basis of analysis modification and completion of the system of technical means for the production and planting of large plants and to test functional parameters of the new means. At the same time, three basic interconnected groups of requirements were taken into consideration: operational, economic and constructional.

The following new technical devices have been developed and tested:

- a planting element for raising large plants in forest nurseries equipped with the new type of a planting ploughshare improving the quality of the 2nd transplanting of standard plants. The number and arrangement of particular elements are variable according to the desired spacing of plant rows in nursery beds;
- a milling drill-hoe for making furrows in the soil of nursery beds for transplanting standard plants;
- an active cutter of nursery beds equipped with an undercutter for plant roots (plants up to 60–80 cm in height) serving for raising large-sized plants by means of vertical and horizontal undercutting (no transplanting);
- a large plant digger (lifter) attached behind the tractor and lifting one row of plants at a depth of max. 40 cm;
- a one-row root undercutter designed for an uniaxial tractor of 3.5 kW. Undercutting is carried out by a T-shape vibrating knife at a depth of max. 28 cm;
- an adjusting and packing stand for bundling and wrapping the root parts of bare-root large plants into bags for predispatching preparation of planting stock;

- a manual one-man hole-digger installed on a single-wheel chassis enabling to use standard power hole-diggers for digging holes by one person;
- a self-propelled one-man hole-digger with an additional fertilizer applicator is an attachment for an uniaxial tractor serving for plant hole digging by one worker with the possibility of synchronized fertilizing;
- planting instruments for planting by an excavator serve for planting out plants up to the size of saplings in the majority of sites;
- a scarifier with an aggregable lime applicator attached to a tractor serves for spot site preparation with exactly defined parameters and with a possibility to loosen the centre of a spot as well as to dose loose materials synchronously;
- feeding tongs for plants in excavator planting for increasing work safety;
- a truck for hauling plants equipped with a plastic container serves for the cautious tertiary transport of plants in the course of planting;
- an experimental planting arm. Using the arm, the principle of planting equipment for intermittent trench planting of large plants was tested.

In evaluating the development of young plantations on experimental plots established in the course of testing the technical means it was found that the dynamics of growth in standard and large plants was comparable, i.e. that large plants showed a trend to maintain their proportional advance (advantage) as compared with standard plants. In mechanized methods of planting, markedly lower losses occurred as compared with manual methods of planting large plants.

Economics of using large plants in forest regeneration cannot be related only to reforestation proper. Calculations of basic economic parameters for particular methods of regeneration and their variants show that using large plants is advantageous particularly in relation to a longer time period, i.e. up to the time of the plantation establishment. The conclusions correspond with literature sources (e.g. L o k v e n c , 1978; R o s e n s t o c k , 1991).

Proposals of the systems of technical means for the implementation of major operations of production and planting both bare-rooted and containerized large plants have been prepared in tables.

Kontaktní adresa:

Doc. Ing. Jindřich N e r u d a , CSc., Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Fakulta lesnická a dřevařská, Lesnická 37, 613 00 Brno, Česká republika

TREE AND STAND ARCHITECTURE AND GROWTH DESCRIBED BY FORMAL GRAMMARS – I. NON-SENSITIVE TREES

MODELOVÁNÍ STROMOVÉ A POROSTNÍ ARCHITEKTURY A RŮSTU POMOCÍ FORMÁLNÍCH GRAMATIK – I. PRO STROMY NESENZITIVNÍHO TYPU

W. Kurth, B. Sloboda

Universität Göttingen, Institut für forstliche Biometrie und Informatik, Büsingenweg 4, D-37077 Göttingen

ABSTRACT: With the increase in computer performance, 3-dimensional simulations of tree architecture with an unprecedented level of detail became possible. A formal framework for such structural models is provided by parallel string rewriting grammars (Lindenmayer systems). This formalism is presented here, together with several extensions tailored for botanical and forestry applications, comprising interpretative rules, an accelerated expansion of string parts, and object references. These formalisms are demonstrated by models of growing beech shoots and spruce stands, having an empirical basis and made visible by a generic software named GROGRA.

tree architecture; virtual tree; crown morphology; crown development; Lindenmayer system; growth grammar; simulation; visualization

ABSTRAKT: S rostoucím výkonem počítačů je také umožněna 3-dimenzionální simulace stromové architektury s dosud nevídaným stupněm její komplexity. Formální technika pro tyto strukturální modely se realizuje pomocí gramatiky, která paralelně interpretuje textové řetězce (Lindenmayerovy systémy). Tento formalismus je zde podán společně s dalšími obsahovými rozšířeními, která jsou přizpůsobena pro botanické a lesnické aplikace a která také obsahují mj. interpretační pravidla, zrychlené prodlužování částí stringů a objektové informace. Uvedený formalismus je demonstrován na růstovém modelu pro bukové výhony a pro smrkový porost, které jsou empiricky podloženy a byly vizualizovány pomocí generického softwaru GROGRA.

stromová architektura; virtuální strom; morfologie koruny; vývoj koruny; Lindenmayerův systém; růstová gramatika; simulace; vizualizace

INTRODUCTION

Modelling can be conceived as a means to organize scientific knowledge and to check hypotheses for consistency. In the last decades, models in biology and forestry have often concentrated on population dynamics or on processes affecting or being part of the metabolism of plants. In these „functional models“, the highly heterogeneous structure of forests was often grossly simplified or even neglected. However, knowledge about the structure of plants and plant communities, or forest stands, forms an important part of botany and forest science. Only by creating mathematical models which include some structural, morphological features, one can hope to construct a bridge from the descriptive language of classical botany to contemporary quantitative methods (Kurth, 1994a). Even more, the very activity of changing the structure of forests is the main way how

foresters – traditionally, and still today – control the development of trees and of whole stands. The ecological consequences of different silvicultural techniques, the reactions of trees to thinnings, determinants of wood quality like stem shape or knottiness – all this is intimately related with the 3-dimensional structure of trees and with its control and development during ontogenesis. Since all processes in a forest depend on this structure, even „functional modellers“ detect more and more the relevance of structure-function relationships (Fisher, 1984; Küppers, 1989) and include morphological features into their process-oriented models. The term „functional-structural model“ was coined for approaches combining both aspects, morphology and process (Sievänen et al., 1997).

But for modelling plant structures today, there is no need to begin with Adam and Eve. More or less independently from the „mainstream“ of biological process-

-oriented modelling, there have been at least six traditions of structural plant studies which led to morphological models and computer simulations:

1. Emerging from the work of Hallé, Oldeman (1970) and Hallé et al. (1978) on the (qualitative) architectural classification of trees, there was a French school on tree morphology, which had – together with practical, agronomical motivations (cf. e.g. Reffye, Snoeck, 1976) – a strong influence on the creation of the AMAP simulation system („Atelier for the modelisation of the architecture of plants“) at the CIRAD, Montpellier [see Reffye et al. (1995) for an overview of the current directions of development].

2. Another research direction, traditionally strong in the Anglo-Saxon countries, concentrated on theoretical considerations and on the detection of general morphological rules. The monographies of D'Arcy Thompson (1942) and Stevens (1974) can be seen as forerunners. Interest in the modular construction of plants (White, 1979), in the demography of plant organs (Maillette, 1982), in the fate of buds (with simulation studies based thereupon: Bell, 1976; Bell et al., 1979), in foraging and growth strategies (Bell, 1984; List et al., 1994; Stoll, 1995) and particularly in cost-benefit relationships (Oborny, 1994) and optimality (Fisher, Honda, 1979) can be seen as typical of this rather diverse strand of tradition. Morphology is conceived as a process (Sattler, 1992), and it is tried to bring adaptation in a relation to quantitative morphological indices (Borchert, Slade, 1981) – the latter approach, however, is discussed controversially (Waller, Steingraeber, 1983; Fisher, 1984). Paleobotanical analyses of morphology (Niklas, 1982, 1986) and simulations of the evolution of growth rules (Kim, 1996; Jacob, 1997) can also be subsumed under this „theoretical biology“ studies, since form is seen from the perspective of a singular theoretical principle (adaptation).

3. Originating with the work of Lindenmayer (1968) on rewriting systems describing the growth of filamentous organisms, there was a „theoretical computer science“ strand of tradition, concerned with the so-called Lindenmayer systems (L-systems; we will give an exact definition below in text). This mathematical formalism parallels the notion of „phrase-structure grammar“ used in linguistics to study the syntax of natural languages and of programming languages. It was an important step by Lindenmayer to apply such a formalism to the shape and growth of organisms and hence to build a bridge between biology and formal language theory. However, most of the work done on L-systems concentrated on mathematical properties of the sets of strings defined by them, not on the morphological structures encoded by the strings. – Another approach, also based on a more or less combinatorial formalism, was the matrix method of tree simulation of Viennot et al. (1989). A revitalization of plant modelling with L-systems came with the monography of Prusinkiewicz, Lindenmayer (1990). New developments

are described in Prusinkiewicz et al. (1997). Our approach is also strongly based in this formal foundation of describing plant development by grammars (Kurth, 1994b).

4. For the purposes of visualization and animation of plants, researchers from computer graphics became interested in tree structure. Their algorithms for creating virtual plants were often ad hoc, and concentrated on the optical impression and on efficiency rather than on botanical validity (Kawaguchi, 1982; Bloomenthal, 1985; Reeves, Blau, 1985; Greene, 1989; Brinkhus et al., 1995; Šoch, Beneš, 1995; Deussen, Lintermann, 1997). However, important ideas concerning discretization and efficient data processing coming from this field were useful for other, more substantial models, too.

5. The discussion on forest decline and acid rain on the one hand, and the demand for new predictive tools and for rationalization in forestry on the other hand initiated a renewed interest in morphological phenomena in frequent forest trees (Gruber, 1987; Roloff, 1989; Schill, 1989; Kellomäki, Kurttio, 1991; Colin, 1992; Tselniker, 1994; Deleuze et al., 1996) and in integrated models containing physiological and structural features (Ford et al., 1990; Kellomäki, Strandman, 1995; Pfreundt, Sloboda, 1996; Perttunen et al., 1996) among forest scientists and ecologists. The failure of some process-based models to reproduce the effects of soil pollution on tree growth led to individual-based forest models with more refined structural components but less detailed process descriptions (Hauhs et al., 1995).

6. At last, special-purpose architectural plant models were developed in diverse contexts, particularly in zoology (concerning the interaction of insects with tree crowns: Kaitaniemi, Honkanen, 1996) and in bioclimatology (modelling the radiation regime in plant canopies: Goel et al., 1991; Knyazikhin et al., 1996; Govaerts, 1996).

Today, these strands of tradition are strongly interwoven with each other. Ad hoc plant simulation models are still constructed and can have some advantages in efficiency and interfacing with special software; however, the formalism of L-systems has meanwhile been extended to a powerful description tool, having the characteristics of a general programming language (Chien, Jürgensen, 1992; Goel, Rozehnal, 1992; Borovikov, 1995) and including specialized features for morphological plasticity and interaction mechanisms in plants (Kurth, 1994b, 1998; Prusinkiewicz et al., 1997). The advantage of having such a formal basis lies in the precision and reproducibility of model specification, in the applicability of theoretical results from formal language theory, and in a higher universality and – hopefully – transparency of modelling.

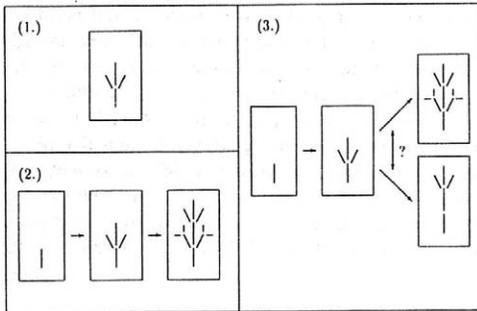
In this paper, we will explain an extended L-system formalism, which was designed for botanical tree simulations with the software GROGRA (Growth Grammar

Interpreter, Kurth, 1994b). The classical ingredients of these „growth grammars“ are presented in Section 2, and some new extensions in Section 3. The application of these extensions is demonstrated by examples in Section 4. A short description of GROGRA and a critical discussion of the results will finish this paper, which is devoted to „non-sensitive“ grammars, i.e. to architectural growth specifications neglecting the influence of the environment on the tree (or accounting for it implicitly by stochastic components). Such models reflect the genetical basis of plant form to a great extent. The sequel of the paper will focus on „sensitive“ grammars, i.e. on the representation of causal relationships between the tree and its environment.

FUNDAMENTAL FORMAL TOOLS

OVERVIEW

The specification of structural development by formal grammars can be conceived as being stratified in three levels of formal description, each with its own ideas, mathematical background and symbolization (Fig.1; Kurth, 1994b):



1. The three levels of formal description of plant form. (1) Static description, (2) development, (3) control of development

- (1) The specification of a structure at a fixed moment in time (static description). This level of specification can be further differentiated into
 - (1a) topology,
 - (1b) geometry,
 - (1c) additional, non-geometric attributes.

In the growth-grammar approach all these specifications are achieved by the so-called *turtle geometry* (Abelson, diSessa, 1982), an interpretation method relating command strings (input) to geometrical structures (output).

- (2) The specification of how these structures develop in time. This is done by *rule systems* operating in a parallel manner on *strings* (which are in turn in-

terpreted in a geometrical manner at level 1). We speak of Lindenmayer systems (*L-systems*) in a narrower sense.

- (3) The control which of several applicable rules is actually applied in a given situation. This control is carried out in the framework of *growth grammars* with the help of features like *stochastic rules*, *random variables*, *parameterization*, *conditions*, *two-phase rule application*, *sensitivity* and *local register handling*.

Some of these specification tools and features are only briefly sketched here, some are explained in more detail below.

TURTLE GEOMETRY

When the dynamical aspect is neglected, the objects which are created by the GROGRA software are simply *branching structures* in a 3-dimensional space which are built up of *cylindrical units* – each with its own length and diameter – which can bear additional, non-geometric *attributes* (standing e.g. for colour or assimilate content). We speak of (*geometrical*) *structures*. The cylinders are called *elementary units* and normally have the meaning of botanical *growth units* or *shoots* (see Room et al., 1994, for a list of definitions of relevant morphological terms). In some applications with a more detailed level of resolution they can also stand for internodes; examples will follow below. The introduction of *object references*, which will be explained later in more detail, enables the inclusion of more complex objects instead of simple cylinders, but the basic principles remain the same. Each unit has at most one *mother unit* (supporting unit) from which it emerges.

Turtle geometry is a formal tool to describe such structures. Its underlying philosophy is that there is a device, called the *turtle*, which can be told by *commands* to move, to change its orientation in space and other attributes, and to *construct elementary units with given attributes* while moving. The *state* of the turtle is a data record containing all relevant information on its position, orientation, and all attributes to be used in the next construction step. More precisely, the state variables of the turtle include:

$P = (p_x, p_y, p_z)$, a vector specifying the *position* of the turtle in space,

$H = (h_x, h_y, h_z)$ (= *head*), a vector of unit length specifying the direction of the turtle's next move,

$L = (l_x, l_y, l_z)$ (= *left*) and $U = (u_x, u_y, u_z)$ (= *up*), two vectors of unit length, orthogonal to each other and to H , specifying directions to be considered as „left“ and „upwards“, respectively, with respect to the turtle,

l , a real number specifying the *length* of the next move and at the same time the length of the next elementary unit to be constructed,

d , a real number specifying the *diameter* of the next elementary unit to be constructed,

v, a real number specifying a *vertical tendency* which is to be obeyed when a special command, the *RV* command, is given,
n, a real number specifying a non-geometrical parameter of the next elementary unit to be constructed, currently used for *foliage mass* or *surface* supported by the shoot,
c, a real number specifying another non-geometrical parameter, currently used for the quantity of carbon or *assimilate* stored in the shoot,
u, an integer specifying a parameter which can be used for various purposes,
p, an integer specifying the *colour* of the next elementary unit (in the current GROGRA version the colour is encoded according to the simple EGA colour table with 16 colours, but this could easily be extended),
q, a real number between 0 and 1 specifying the *relative position* along the mother unit where the next elementary unit will emerge.

There are some more state variables which are of a more technical nature, like the branching order, a reference to the mother unit and the distance to the basic (i.e., motherless) unit; see Kurth (1994b) for details. The default values of most of the state variables can be specified by the user of GROGRA in the declaration part preceding a growth grammar specification. To this purpose, the commands `\set` or `\ask` (the latter is for interactive request) are to be used (examples below will demonstrate this possibility). To change the values of the state variables while the turtle is working, several commands are available. Our turtle command language is a systematized and enlarged version of that used by Prusinkiewicz, Lindenmayer (1990); see Kurth (1994b, 1998) for a complete documentation. Here we introduce only the commands which will be used in the subsequent examples.

The *standard assignment commands* all begin with one of the uppercase letters L, D, V, N, C, U or P and control the value of the respective lowercase state variable. Each of these letters can be used without an argument or with one (numerical) argument, and – when used with an argument – eventually together with some modifiers. E.g. the commands influencing length (L commands) have the following rather systematical syntax and semantics:

L (without argument) sets the state variable *l* back to the default value,
L(*x*) gives *l* the new value *x*,
L+(*x*) adds *x* to *l*,
L*(*x*) multiplies *l* by *x*.

Furthermore, the commands *Ll(x)*, *Ll+(x)* and *Ll*(x)* (*local* commands) are possible which have the same effect as their counterparts *L(x)*, *L+(x)* and *L*(x)*, except that their effect is restricted to the next constructed elementary unit. (The effect of the „normal“ commands – without „l“ – will last until the next command influencing the same state variable occurs.) The other

standard assignment commands are built in an analogous manner, with L replaced by D, V, etc.

The *movement* of the turtle in space and the *construction of a new unit* are triggered by the commands *f* (movement by length *l* without construction) and *F* (movement together with the construction of a new unit). Variants like *F(x)* (enforcing the unit length *x* without changing the value of *l*) are also possible, see Kurth (1994b) for full details. A special movement command is *@(x)*, where *x* is usually a number between 0 and 1. This command is equivalent to *f((x-1).l)*, i.e. the turtle is positioned at a place on the last created unit with the distance *x* from the basis, expressed in terms of the length of the unit (relative positioning of the turtle). This command is normally used when the position of a lateral bud or a branching node on a shoot is to be specified.

Rotations of the turtle can be specified with respect to the directions *H*, *L* and *U*, which are part of the state of the turtle. E.g. the command *RU(x)* induces the turtle to turn around the *U*-axis by *x* degrees. The position remains unchanged. The commands *RH(x)* and *RL(x)* have analogous effects. The whole orthonormal system (*H*, *L*, *U*) is rotated by these commands, but the relation of *H*, *L*, *U* relative to each other remains unchanged.

Another command changing the direction of the turtle is *RV*. In contrast to *RH*, *RU* and *RL*, this command takes information of global character into account, namely, the *vertical* (geotropic) *direction*. The inclusion of tropism vectors in L-systems was already described by Prusinkiewicz, Lindenmayer (1990) and can be viewed as a first step towards global sensitivity. Technically, *RV* calculates the new *H* direction of the turtle as the normalized sum of *H* and $(0, 0, -v)$, the latter vector pointing strictly downwards. A sequence of alternating commands *F* and *RV* thus leads to a „bending down“ of the generated branch. The greater the value of *v*, the stronger the bending. Negative values of *v* are also possible, leading to orthotropic growth.

Two important special turtle commands are the brackets „[“ and „]“. By their use the occurrence of branching is controlled. When an open bracket „[“ is read, the complete actual state of the turtle is stored in a push-down memory (stack). When the corresponding closed bracket „]“ is reached, the turtle stops the construction of the branch which was begun with „[“, forgets its current state and adopts again the old state which was actual when the „[“ was entered, removing the state from the stack and jumping to the old position. Thus, the commands after „]“ will induce the turtle to continue the construction of the „main branch“. Another possible interpretation – which leads to the same result – is that the turtle „divides“ itself at each open bracket and constructs the side branch (corresponding to the string inside the brackets) and the main branch (string after the closed bracket) in a parallel manner. This interpretation is closer to the reality of plant growth, where meristems can divide itself and work in parallel, but due to the lack of properly parallel computers, the

current implementation of GROGRA works according to the first, sequential interpretation.

Two additional commands are useful for constructions of closed polygons (e.g. in leaves):

$S(n)$ = „save“,

$C(m, n)$ = „connect“ (with two arguments).

$S(n)$ (n being an arbitrary integer) saves the current state of the turtle in an internal list under the identifier n , $C(m, n)$ (m and n being integers which were used before in S -commands) puts the turtle at the position which was its position when $S(m)$ was executed, and moves it afterwards to the position corresponding to the state which was actual when $S(n)$ was executed, thereby creating a new elementary unit between the two positions. Diameter, colour, N - and V -value are not taken from the saved state, i.e. they can be specified before the $C(m, n)$ -command is executed. Length and direction vectors (H, L, U) are calculated from the vector connecting the two positions, the other state variables of the turtle (including the mother shoot) are taken from the state saved by $S(m)$.

A quick overview of all commands used in our later examples is provided by the table given in the Appendix.

LINDENMAYER SYSTEMS

A classical *Lindenmayer system* (OL system; the „0“ stands for „zero context“) consists of

- an *alphabet* Σ , consisting of a finite number of *symbols* (e.g. a, b, c),
- a *start string* (or *axiom*) α which is made up of symbols from Σ (e.g., aba),
- a set of *replacement rules*, each of the form

symbol \rightarrow string of symbols

(e.g.: $b \rightarrow cca$), which are to be applied in parallel to all symbols of a string at time t in order to get a new string at time $t + 1$.

We adopt the convention that a symbol for which no rule is applicable remains unchanged.

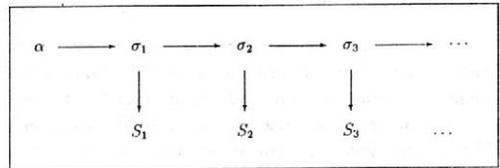
The rewriting process, i.e. the application of the rules to the given string, will normally be iterated several times. Thus we get a (potentially infinite) *sequence of strings* $\sigma_0, \sigma_1, \sigma_2, \dots$, where σ_{t+1} is obtained from σ_t by application of the replacement rules, and $\sigma_0 = \alpha$. This rewriting process of strings forms the heart of the L-system modelling approach. We refer to the numbers or timesteps 1, 2, 3... as *generations* and call the above-mentioned replacement rules also *generative rules*. Technically, in the GROGRA syntax the arrow „ \rightarrow “ of a generative rule is written as „#“. The rules are specified in a file, whereas the start string can be asked interactively from the user.

L-systems are a special case of *grammars* in the sense of formal language theory; see Kari et al. (1997) for an overview of L-systems from the mathematical and linguistic perspective.

But what is the connection between this rewriting system and turtle geometry, i.e. to the specification of 3-D structures representing plants? In the definition of a *growth grammar* we have to include, additionally to the above-mentioned three ingredients,

- a *geometrical interpretation* of the strings (i.e. a *semantics*) translating strings into spatial structures, and this interpretation is given by turtle geometry. The complete turtle command set T is thus included as a subset in the alphabet Σ . Symbols contained in Σ but not in T are ignored by the turtle. They can have a meaning in the rewriting process generating new generations of strings, but not in the geometrical interpretation.

The interpretation is applied to each string of the generated sequence $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots$, yielding a sequence of *geometrical structures* S_1, S_2, S_3, \dots . Hence we arrive at the situation visualized in Fig. 2. Here, the horizontal



2. Structure generation by a simple growth grammar (L-system with interpretation)

arrows stand for the development governed by the generative rules, whereas the vertical arrows correspond to the geometrical interpretation. Only the structures S_1, S_2, S_3, \dots are the output of the GROGRA software. The strings $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots$ used for their creation are written only temporarily into an auxiliary file and are (in the current GROGRA version) not the object of further analysis once they have been used to construct the structures.

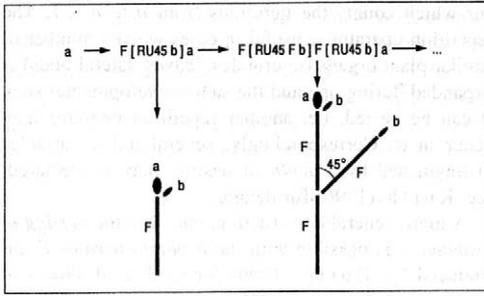
For example, let a stand for a terminal bud of the main axis, b for a bud of a lateral axis, and let F have the already explained turtle command meaning, i.e. F stands for a *shoot* (growth unit). Then the L-system composed of the two generative rules

$a \rightarrow F [RU45 b] a,$
 $b \rightarrow F b$

gives, when applied to the start word a , the sequence of strings and the corresponding sequence of structures which are depicted in Fig. 3 (only the first two developmental steps are sketched).

The buds symbolized by a and b normally will not be visible in the turtle interpretation (if they are not subject to other, interpretative rules; see below), they are depicted as small ovals here to enhance the understanding of the process. Note that F remains unchanged in the second step because no rule is applicable to F .

In a *parametric L-system* (Prusinkiewicz, Lindenmayer, 1990), there can be attached a finite list of real-valued parameters to each symbol, e.g.



3. Structure generation from the growth grammar $a \rightarrow F [RU45 b] a$, $b \rightarrow F b$

$a(7.42, -0.5)$ instead of a . We speak of *modules* instead of symbols in this case. These modules form *parametric strings*, i.e. strings of modules. The L-system rules may now contain formal parameters, e.g.

$$a(x, y, t) \rightarrow b(2 * x + y, t) a(x, y, t + 1) c$$

If this rule is applied to, let us say, $a(-1, 5, 4)$, we get the parametric string $b(3, 4) a(-1, 5, 5) c$. Furthermore, *conditions* like $(t = 0 \ \&\& \ x > y/2)$ containing the formal parameters may restrict the applicability of the rule.

In the arguments attached to the symbols on the right-hand side and in the condition, variables and constants can be combined in *arithmetical expressions*, using the (slightly extended) syntax for such expressions from the programming language C. Analogously, the *condition* is generally a *logical expression*. (Further details can be found in Kurth, 1994b.)

In a *stochastic* L-system, there may exist several rules with the same symbol (or module) on the left-hand side, each of them being attributed a probability. The probabilities of all rules having the same l.h.s. should sum up to 1. In the repeated application of rules, the choice is done randomly with the given probabilities. This implies that the generative process is no longer necessarily deterministic: The random choice of rules can lead to different sequences $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots$ from the same start string α . Syntactically, in GROGRA the probability is written after a „?“ at the end of the rule. It can be specified by a floating-point number or by an arithmetical expression. The general form of a growth grammar rule is hence

$$(condition) \text{ l.h.s. } \# \text{ r.h.s. } ?(probability_expression),$$

where „(condition)“ and „?(probability_expression)“ can be omitted.

If several rules apply to a module and if no conditions and probabilities are involved, the order in which the rules are written down in the grammar file dictates which rule will be applied: It is the first one.

The potential stochasticity of rule applications is further enlarged by the possible *declaration* of variables as „random“ (with a specified distribution controlling the outcome of their value) and by their use in expres-

sions occurring in modules on the r.h.s. of rules or in conditions or probability expressions of rules. GROGRA allows the declaration of variables of a multitude of different types in a declaration part preceding the list of rules of a growth grammar. An especially simple form of declaration is that of a *constant*. It has the form

$$\backslash const \ name \ value,$$

where *value* is a floating-point number, and the effect is that every appearance of *name* in a position in the rules where a numerical value is permitted is replaced by *value*. The general syntax of a *variable* declaration is

$$\backslash var \ name \ specification \ parameter_list,$$

where *specification* must be one of several possible keywords which specifies from where the variable gets its value when it appears in a rule which is to be applied. E.g. „uniform“ qualifies a uniformly distributed random variable, „normal“ one with a normal distribution, „poisson“ one of Poisson type, etc.; see Kurth (1994b, 1998) for a complete list of types.

The *parameter_list* consists of one or several numerical values; it can also be empty. How many values are required and what their meaning is depends on the specification. E.g. $\backslash var \ x1 \ binomial \ 0.3 \ 20$ specifies $x1$ as a random variable with binomial distribution, described by the parameters $p = 0.3$ (probability of success of single Bernoulli experiment) and $n = 20$ (number of repetitions).

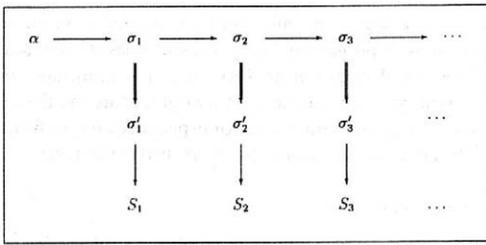
Attention is to be paid to the situation when a certain random variable appears twice (or even more often) on the r.h.s. of the same rule. E.g. in $a(x1) b(x1)$, the argument of a is taken from a random-number generator working according to the specified distribution, and the same holds for the argument of b – with the consequence that both values will normally differ from each other. If b has the same value as a , the *memory operator*, symbolized by an underline (), has to be applied to the second instance of $x1$: $a(x1) b(\underline{x1})$.

It is also possible to declare a variable with specification „function“, which makes it refer to one of a predefined set of special functions implemented in GROGRA. The *parameter_list* is $n \ a$, where n is the number (identifier) of the function and a its arity (number of arguments). Only numerical arguments are counted here, not a possible dependence of the outcome of the function from the generated structure (sensitivity; see Kurth, Sloboda, 1998). The arity may be 0. When a variable declared as function appears in an expression to be evaluated, it must be followed by a list of a parameters. The possible functions are listed in Kurth (1994b, 1998).

EXTENSIONS OF THE GRAMMAR MACHINERY

TWO-PHASE GROWTH GRAMMARS

The structure-generating process can be considerably flexibilized by the introduction of a second set of rules



4. Structure generation by a two-phase growth grammar

(possibly empty), named *interpretative rules* or *rules of the second phase*. Their application intervenes between the generation of a string σ_k and its interpretation. That means, the creation of the structure S_k is delayed until an eventual application of rules of the second phase has transformed σ_k into a string σ'_k . (If the set of interpretative rules is empty or if no such a rule is applicable, $\sigma'_k = \sigma_k$ is assumed.) Note that the interpretative rules – in contrast to the „ordinary“, generative rules – have no influence on the next generation string σ_{k+1} . Fig. 4 summarizes this modified structure generation process, with the vertical double arrows indicating the application of interpretative rules.

Two-phase grammars have proved very useful for abbreviating complex geometrical constructions which stand in no connection with the developmental process modelled by the generative rules. Biologically, we may think of structure-forming processes running at different hierarchical levels and time-scales, one of them is handled as taking place „immediately“ in the model and thus requiring no generative step but only rules of the second phase. Syntactically, the interpretative rules in GROGRA are distinguished from the generative rules by the use of two double-crosses (##) instead of one, fulfilling the function of the arrow of the rule.

ACCELERATED EXPANSION

There often arises a necessity to generate a rather complex structure during a single developmental step of generative rule application. Interpretative rules do not provide a solution to this demand, since their application has no influence on the next generation.

A first formal tool to compress long, redundant rule specifications is the *repetition operator* (implicitly used by G o e l et al., 1991; „cycle operator“: B o r o v i k o v , 1995). It can appear as a part of the right-hand side of a rule in the form

$$\& (nb_iterations) < \sigma >$$

where $nb_iterations$ is an arithmetical expression determining the number n of iterations and σ an arbitrary string of symbols from the L-system alphabet which will be iterated n times once the rule is applied. Inside the string σ , a declared variable of type *index* may oc-

cur which counts the iterations from 0 to $n - 1$. The repetition operator is useful in cases when a number of similar plant organs (internodes, leaves, lateral buds) is expanded during one and the same developmental step. It can be nested, i.e. another repetition operator may occur in σ . Correspondingly, several index variables distinguished by a *depth* of nesting may be declared; see K u r t h (1996) for details.

A more general construction, enabling the *nesting of grammars*, is possible with the *expand operator E*, introduced by K u r t h (1996) for models of shoots of deciduous trees. The appearance of

$$E(nb_steps) < \sigma >$$

on the right-hand side of the rule (with nb_steps being an arithmetical expression yielding an integer value n) enforces the „instantaneous“ application of n steps of the grammar to the string σ and the insertion of the resulting string, all taking place during one developmental step. This is useful when growth processes running on different time scales are to be synchronized. – Again, nested constructions of several *E* operators are possible. An „expand“ is also allowed in interpretative rules.

OBJECT REFERENCES

By the use of the expand operator, complex objects like leaves requiring several steps of rule application for their definition can be created during one developmental step. However, this has the disadvantage that every simple elementary unit defining the geometry of the leaf (veins, parts of the periphery...) is created for every leaf again, leading to an unacceptable waste of memory space during simulation. Therefore, GROGRA allows the creation of several complex objects from grammars and their use in other grammars as *single objects*. In the consequence, a complex object like a leaf or a whole plant will be represented by a mere reference to the structure created once at the beginning, and each occurrence will require no more memory space than a simple elementary unit, which is created by the F command. (The disadvantage is that these „multiply referenced“ objects will – with the exception of a simple scaling – look all alike, i.e. they are really „clones“ of the prototype constructed at the beginning.) By the line

$$\backslash \text{axiom } \alpha \text{ list_of_steps,}$$

where α is a string and $list_of_steps$ a list of strictly monotonically increasing positive integers, GROGRA is told to apply the rules of the current grammar file to the start word α and to create the structures corresponding to the specified steps in memory. (If several objects are required, there is nevertheless no need to write the grammars into distinct files; it is sufficient to specify different start words by a corresponding number of \axiom-statements. The corresponding applicable rules

can be scattered through the whole file.) With an additional line „askaxiom“, GROGRA is enforced to ask an additional start word (and number of steps) from the user. The *list_of_steps* may also contain specifications like $m-n$ (m and n being integers, $m < n$), meaning that all developmental steps between m and n are to be realized.

The reference to a created object is specified by the command

$O(\alpha, n)$

– occurring on the right-hand side of a rule –, where α must be a start string used in an axiom-statement and n an integer which must be part of the *list_of_steps* which was specified for α (GROGRA can establish references only to objects which have been really created before). An iteration of object references is possible, i.e. the rules used in the evaluation of α may contain „ O “ commands.

The scaling of the object referenced by $O(\alpha, n)$ is determined by preceding *Ll* and *Dl* commands. While *Ll*(f), with f a positive floating-point number, causes an enlargement of the whole object by the factor f , the command *Dl*(f) changes only the extension of the object perpendicular to the current axial (H -) direction by the factor f , i.e. the whole object becomes „thicker“ or „thinner“ (useful for crown shapes of trees when working at the stand level).

The examples in the next section will demonstrate the possibilities opened by the *O*-command in the case of modelling single plants and tree stands.

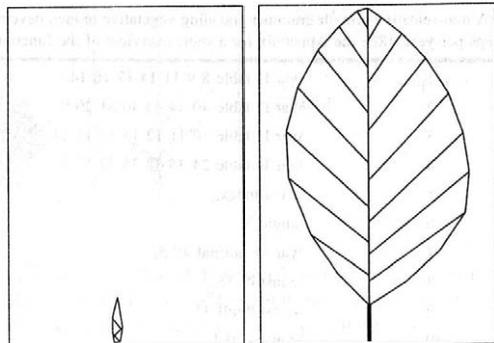
EXAMPLES

SHOOT GROWTH OF EUROPEAN BEECH [*FAGUS SYLVATICA* (L.)]

The following growth grammar is not based on detailed quantitative investigations, but on well-known characteristics of growth habit and shoot morphology of European beech (see e.g. Roloff, 1994). Tab. I shows a rule system which can directly be interpreted by the GROGRA software and which encodes four years of the development of a lateral shoot system of beech, each year being represented by two steps (winter: leafless, summer: with leaves).

Flowering is not included here. To keep the example simple, branch development is assumed to take place in two dimensions only, which is an approximation coming close to reality for branches growing in the shade. The growth grammar contains a bud and a leaf sub-model, both developing from the start word „veg“ (line 13). By lines 13, 15 and 16, GROGRA is told to transform this start word twice, yielding the short generative sequence

veg \rightarrow bud \rightarrow leaf.



5. Result of the submodels „bud“ and „leaf“ of the beech shoot growth grammar in Tab. I, lines 1–5, 13 and 15–19

By the application of the interpretative rules in lines 18 and 19, the symbols „bud“ and „leaf“ are transformed into sequences of turtle commands specifying the explicit geometrical construction of a bud, or a leaf, with the help of line drawing (F), rotation (RU) and save-and-connect (S, C) commands (Fig. 5). Lengths and distances of leaf veins are read from the tables specified in lines 1–4, each leaf-half requiring its own set of parameters due to the slight asymmetry of beech leaves.

The rest of the growth grammar is devoted to branch growth. In line 14, a second start word, „shoot“, is specified, and GROGRA is told to iterate rule application 8 times, beginning with this start word. In line 20, the development of the „shoot“ begins with an initial length scaling (referring to a start length specified in line 8), with a diameter initialization („D+1.2“) and with the creation of an apical meristem, symbolized by „m“. The „meristem“ module, $m(j, n)$, has two parameters: j switches between 1 and 2 (lines 21, 22) and specifies whether a bud (1) or a leaf (2) will be the visible production of m in the actual developmental step. n has the meaning of a *growth potential* or vigour (cf. Kurth, Fröh, 1998) and specifies the number of internodes which will be produced from m in the next year (repetition operator in line 22).

For the sake of simplicity, this grammar was designed as a completely deterministic one (with the exception of a random deviation of the branching angle x_1 from the mean value of 40 degrees, line 7). However, it would be possible to feed the internode number n with values from a random distribution (of binomial, negative binomial or other type) estimated from empirical observations at shoot samples, like in the AMAP model (Reffye et al., 1995). Instead, we let n fixed for the apical meristem at the tip of the shoot [„ $m(1, n)$ “ at the end of line 22], whereas for lateral meristems, we include an acrotonic tendency by letting this parameter depend on the index i of the actual internode.

By the specification

if($i < (n - 1)/2, i/2, i - 1$)

1. A non-sensitive growth grammar encoding vegetative branch development of European beech [*Fagus sylvatica* (L.)] with a rhythm of two steps per year. (See the Appendix for a short overview of the functionality of all used symbols and keywords.)

| | | |
|----|---|--|
| 1 | \var l1 table 8 9 11 14 17 16 14, | /* leaf description: */ |
| 2 | \var l2 table 40 44 44 40 31 20 9, | /* lengths inside leaf blade */ |
| 3 | \var l3 table 10 11 12 15 17 15 13, | |
| 4 | \var l4 table 24 35 38 35 27 17 7, | |
| 5 | \var i index, | |
| 6 | \angle 5, | /* zigzag growth*/ |
| 7 | \var x1 normal 40 5, | /* branching angle*/ |
| 8 | \const bl 35, | /* length conversion factor internode / leaf*/ |
| 9 | \const minlf 15, | /* minimal leaf length */ |
| 10 | \const cf 0.2, | /* coefficient in leaf length estimation */ |
| 11 | \const secgr 1.6, | /* strength of secondary growth */ |
| 12 | \var len length, | |
| 13 | \axiom veg 1 2, | /* vegetative production: bud, leaf */ |
| 14 | \axiom shoot 1-8, | /* half-annual steps of shoot development */ |
| 15 | veg # bud, | |
| 16 | bud # leaf, | |
| 17 | leaf #, | |
| 18 | bud ## P12 [RU-90 F1 S(0)] RU90 F1 S(1) RU-132 F3.8 S(2) f-0.8 RU88 F4 S(3) f-0.8 RU-84 F4.7 S(4) RU52 F7.2 S(5) C(0.2) C(2.4) C(5.3) C(3,1), | |
| 19 | leaf ## P2 D1 F12 D0 [S(0)] RU58 f(15) S(1) [[RU53 f(30) S(2)] &(7) < F(11(i)) [RU(55-4*i) F(12(i)) S(i+3)] > F11 S(10)] [RU-45 f(15) S(18)] &(7) < f(13(i)) [RU(4*i-55) F(14(i)) S(17-i)] > &(18) < C(i, i+1) > C(18, 0), | |
| 20 | shoot # L(bl) D+1.2 m(1, 9), | /* growth starts with 9 internodes */ |
| 21 | (j < 2) m(j, n) # m(j+1, n), | |
| 22 | (j=2 && n > 1) m(j, n) # L*0.68 &(n-1) < - a(0) RH180 - [RU(x1) ang m(1, if(i < (n-1)/2,i/2,i-1)] L*1.1 > - L*0.5 a(0) RH180 - L*1.7 m(1, n), | /* main rule for shoot growth */ |
| 23 | (j=2 && n <= 1) m(j, n) # L*0.4 a(0) L*2 m(1, 1), | |
| 24 | ang # RU10, | |
| 25 | a(t) # a(t+0.5), | |
| 26 | a(t) ## D/(secgr * t) F, | /* internode */ |
| 27 | m(j, n) ## L/(len/bl+1/(cf*len+1/minlf)) D/1 O(veg, j), | |

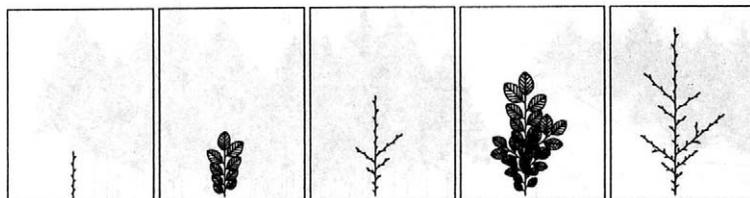
in line 22, the dependency on i will not just be linear, but the suppression of lateral shoot length will be more pronounced in the lower half ($i < (n - 1)/2$) of the annual shoot.

The essential object reference, establishing the link to the bud and leaf submodels, is specified in the interpretative rule for m in line 27. By the „L*” command, a scaling of leaf size controlled by the actual internode length len used by the turtle takes place (avoiding pathologically small leaves, therefore not just linear, but respecting the minimal leaf length given in line 9). The length-width ratio of the leaves is not changed (therefore „D/1”). By „O(veg, j)” a reference to the bud submodel ($j = 1$) or to the leaf submodel ($j = 2$) is included. – The rest of the declarations and rules concerns branching geometry (lines 6, 7, 24) and secondary growth of the internodes (lines 11, 25, 26). Fig. 6 shows the evolution of the resulting branch structure during 5 consecutive semi-annual steps. The artificial branch could be used as a part of a whole-tree model, cf. the

modular construction of the spruce growth grammar in Kurth, Früh (1998).

TREE AND STAND GROWTH OF NORWAY SPRUCE [*PICEA ABIES* (L.) KARST.]

Based on quantitative, empirical observations of several samples, a growth grammar for crowns of young spruce trees (age 5–15 years) was developed. A detailed description of the model will be published elsewhere (Kurth, Früh, 1998). The model is stochastic and consists of 35 declarations of variables or constants and 33 rules. The branch submodel includes quantifications of morphogenetic gradients (axis trend, acrotony), variations in shoot vigour, clustering of branching node positions along the annual shoot, changes of branching angle, differential cambial growth in the branching orders, and shoot mortality depending on length. Stem growth in height and diameter forms



6. Developmental steps 3–7 of the virtual beech branch specified by the growth grammar from Tab. 1, generated by GROGRA

a further submodel. By RV commands, the gravitational impact on branch form is reproduced. (An earlier, similar attempt to simulate the architecture of spruce based on morphological data, which was, however, restricted to branches and did not use the grammar formalism, is given by the work of Pírochťová, Barták, 1991.)

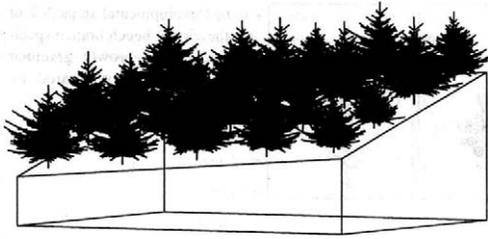
Tab. II shows a grammar describing a sloping spruce stand. It has to be complemented by the grammar for the spruce trees itself from Kurth, Früh (1998), the evaluation of which begins with the symbol „plant“ (line 18). The spruce trees become part of the stand in the form of object references „O(plant, 11)“ in line 16. The size of the trees varies according to the command

„L(*eps(epsplant)*)“ (cf. line 10, where *epsplant* is declared as random variable with normal distribution), but their shapes are exactly equal, since „plant“ is evaluated and stored only once. Fig. 7 shows a view of the resulting sloping stand with 10 years old trees (the number 11 specified in line 11 and in the „O“ command has to be reduced by 1 since the first step in the spruce grammar (not shown here) is an auxiliary step corresponding to no real annual growth).

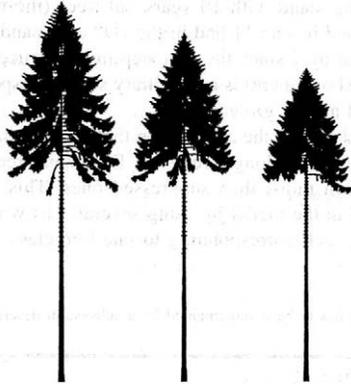
For old stands, the assumption that all trees have the same shape is no longer realistic. Dominant trees have other crown ratios than suppressed ones. This can be respected in the model by using several start words for the trees, each corresponding to one tree class. By in-

II. Part of a growth grammar describing a sloping coniferous stand. This grammar has to be complemented by a subsystem describing the growth of a single tree, beginning in line 18

| | | |
|----|--|--|
| 1 | \const rs 2000, | /* row spacing */ |
| 2 | \const ls 2000, | /* line spacing */ |
| 3 | \const bs 800, | /* border spacing */ |
| 4 | \const soilh 1000, | /* height of soil above zero level */ |
| 5 | \const nb_rows 4, | |
| 6 | \const nb_lines 5, | |
| 7 | \const slope_x 0.25, | |
| 8 | \const slope_y 0.07, | |
| 9 | \var epsilon normal 0 6000 | /*variance of planting position*/ |
| 10 | \var epslant normal 0 0.015, | /* log-variance of tree size factor */ |
| | ... | /* other declarations. concerning the spruce, follow*/ |
| 11 | \axiom plant 11, | |
| 12 | \axiom plot 1 2, | |
| 13 | plot # border RL-90 f(bs) RU90 f(bs) RU-90 RL90 f(soilh + slope_x * bs + slope_y * bs) E(2) < stand >. | |
| 14 | border # [P4 D0 [F(soilh) S(1)] RL-90 F(2*bs + (nb_rows-1)*rs) [RL90 F(soilh + slope_x * (2*bs + (nb_rows-1)*rs)) S(2)] RU90 F(2*bs + (nb_lines-1)*ls) [RL90 F(soilh + slope_x * (2*bs + (nb_rows-1)*rs) + slope_y * (2*bs + (nb_lines-1)*ls)) S(3)] RU90 F(2*bs + (nb_rows-1)*rs) [RL90 F(soilh + slope_y * (2*bs + (nb_lines-1)*ls)) S(4)] RU90 F(2*bs + (nb_lines-1)*ls) P7 C(1, 2) C(2, 3) C(3, 4) C(4, 1)], | |
| 15 | stand # &(nb_rows) < [row] RL-90 f(rs) RL90 f(slope_x * rs) >. | |
| 16 | row # &(nb_lines) < [disturb RH(ro) L(exp(epsplant)) D/I O(plant, 11)] RU90 f(ls) RU-90 f(slope_y * ls) >. | |
| 17 | disturb # RL-90 f(epsilon) RU90 f(epsilon) RU-90 RL90, | |
| 18 | plant # ... | /* spruce system begins here */ |



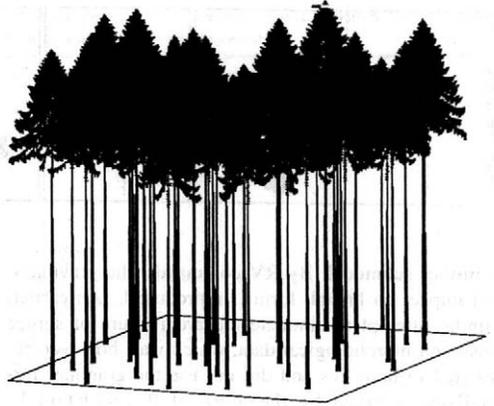
7. Sloping spruce stand, generated by GROGRA from the grammar of Tab. II together with the spruce grammar from Kurth, Früh (1998), corresponding to age 10



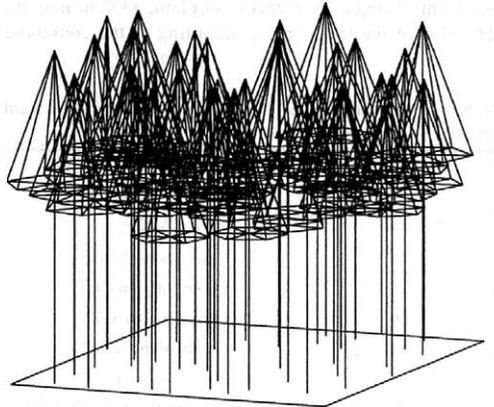
8. 112 years-old spruce trees of 3 different social classes, generated by GROGRA

serting the appropriate start word in the „O“ command, a reference to a tree of a specified class is created. Fig. 9 shows the result of applying this technique to a part of the experimental plot F1 in Solling (site and stand description in Ellenberg et al., 1986). The 42 spruce trees with an age of 112 years were classified into 3 classes (dominant, subdominant, suppressed), and for each class one „typical“ tree was modelled (Fig. 8; Sloboda et al., 1996), using empirical height growth curves. In contrast to the example in Tab. II, the positions of the trees are not assumed to be arranged on a rectangular grid here, but GROGRA reads them from a file. The tree coordinates in this file were obtained from an evaluation of remote sensing data. The height values in the data file also enable an automatic classification of the trees into 3 classes. – Of course, mixed-species stands can be modelled using the same method, with object references distinguishing species instead of social classes (or with a combination of both).

If only a quick overview of the stand structure without individual tree architecture is required, a schematical representation of the stand like in Fig. 10 can also be easily generated by GROGRA – only the set of rules specifying the tree construction has to be exchanged.



9. Part of the experimental spruce stand Solling F1, generated by GROGRA from a growth grammar for aged spruce trees of 3 different social classes (cf. Fig. 8), together with a list of tree coordinates and heights



10. The same spruce stand as in Fig. 8. Here, a simplified tree description was inserted into the growth grammar instead of the detailed tree model of Fig. 8

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The software GROGRA, which was used to interpret the grammars described above, offers several options to work with the generated artificial trees and stands:

- In combination with other, specialized software and with statistical analysis packages, a lot of analysis tools are at hand, ranging from pathlength analysis (McMahon, Kronauer, 1976) and determination of fractal dimension (Falconer, 1991) to the statistical analysis of shoot length and internode number distribution (cf. Reffye et al., 1995) and their comparison with intensively measured branches or trees (Kurth, Anzola, 1997), contributing to

a better understanding of the botanical basis of crown development.

- The visualization by printable Postscript files or on the screen of a high-resolution graphics-end workstation – with possible growth animation in a special „movie modus“ – offers possibilities for educational applications as well as for forest planning and landscape design. With the AMAP software, following a similar modelling philosophy, simulated tree stands in Japan with several thousands of trees have already been visualized (Lecoustre et al., 1997).
- Interfaces to process-oriented simulation software enable the use of GROGRA-generated virtual tree architectures as a structural basis for other models designed to investigate the ecophysiology of single trees and tree stands: A discretization mechanism was included in GROGRA which makes the tree structures accessible for a radiation transport model (Knyazikhin et al., 1996) allowing the calculation of intercepted solar radiation and of photosynthesis. Another type of (re-)discretization was used for the flow model HYDRA (Früh, 1995) which simulates the transpiration-driven water movement in the branched tree architecture. Future extensions will combine the simulation of radiation and water flow (Lanwert et al., 1997), from which a new insight into stomatal control and drought reaction of trees may result.

These different directions of work, and the partial results which are already obtained, cannot be exposed in more detail here. However, one objection should be mentioned which can often be met when high-resolution 3D simulations of trees are presented: It is the argument that these models have an „unreasonably high level of detail“ and an unnecessary complexity, even more pronounced: that it is „sheer madness to construct every leaf of a tree“. Indeed, for a human being it would be madness, but the computer is perfectly suited to do a mechanical, iterative work like creating thou-

sands of virtual leaves. But what is more important: The underlying grammars are not really „very complex“. The beech shoot example had only 13 rules, the rather elaborated grammar for young spruce consists of not more than 33 rules. We can conclude that the encoding of tree architecture in grammars provides us with a powerful method of „database amplification“ which makes the seemingly over-complex structure of tree crowns manageable and can lead to botanical insights (on the scale of the single tree) as well as to an unprecedented visual realism in forest planning (on the stand scale).

But one objection will remain in the mind of a sceptical reader: All grammars presented so far were „non-sensitive“, i.e. they allowed neither a dynamical interaction of tree growth with the environment, nor an influence of trees on each other while they grow. This is, of course, an earnest shortcoming since the shape of trees is strongly influenced by environmental factors and by competition, and therefore the sequel of this article (Kurtz, Sloboda, 1998) will be devoted to sensitive grammars which include such interactions.

Acknowledgements

The authors wish to express their thanks to Dirk Lanwert for his technical skill concerning the XWindows interface of GROGRA and to Thomas Beisch and Silke Beleit (Institute for Yield Science, Göttingen) for their help in evaluating remote sensing data of the Solling research plot. The research reported here was funded by the DFG (German Research Foundation) in the frame of a postdoc grant for the first author, and by the BMBF (German Ministry of Research) in the frame of the Forest Ecosystem Research Centre, University of Göttingen. Facilities of the Faculty of Forest Sciences and Forest Ecology and of the GWDG (computation centre, Göttingen) were also essential. All support is gratefully acknowledged.

Appendix: Overview of used grammar symbolism

| Keywords | |
|-------------|--|
| \angle | sets the angle α for subsequent + and – operations |
| \ask I | asks a value for global register I from the user |
| \axiom | sets a start word |
| \const | declaration of a constant |
| function | associates a variable with one of several predefined functions |
| if | in arithmetical expressions: if(<i>condition</i> , <i>v1</i> , <i>v2</i>) gives value <i>v1</i> , if <i>condition</i> is true, and <i>v2</i> otherwise |
| index | declares a variable to act as a counter in repeated parts, counting from 0 to $n - 1$, inside &(n) <...> |
| length | declares a variable to stand for the actual length |
| normal | declaration of a normally distributed (Gaussian) random variable |
| register | declaration of a global register variable |
| \set V | sets the strength of vertical tendency for subsequent RV |
| table | declaration of a table variable with predefined, subsequent values |
| uniform | declaration of a uniformly distributed random variable |
| \var | keyword preceding each declaration of a variable |
| zcoordinate | declares a variable to stand for the actual height |

| Keywords | |
|--|---|
| Symbols | |
| # | separates left and right side of a generative rule |
| ## | separates left and right side of an interpretative rule |
| [] | branch delimiters |
| + | rotation, equivalent to $RU(\alpha)$ |
| - | rotation, equivalent to $RU(-\alpha)$ |
| @ | relative positioning; @ (x) is equivalent to $f((x-1)*length)$ |
| % | cut operator |
| * | default start word |
| & | repetition operator |
| && | logical „and“ |
| < > | delimiters for part of string subject to „&“ or „E“ |
| /**/ | delimiters for comments |
| In arithmetical, resp. logical expressions, the usual operators +, -, *, /, <, >, <=, >=, = and != („not equal“) are allowed | |
| Letter combinations with fixed meaning | |
| C | connection operator (with two arguments; cf. „S“) |
| D | sets the diameter for subsequent F commands |
| DI | sets the local diameter, affecting only the next F |
| D+ | increments the diameter |
| DI + | increments the diameter locally |
| E | expansion operator |
| F | movement and shoot generation |
| F* | like F, but with length multiplied by a given factor |
| f | movement without shoot generation |
| L | sets the length for subsequent F and f commands |
| LI | sets the local length, affecting only the next F |
| L* | multiplies the length with a given factor |
| N | sets the foliage parameter for subsequent F commands |
| O | inclusion of a shared object: O(w, n) refers to the result of the n th developmental step obtained from start word w |
| P | sets the colour for subsequent F commands |
| PI | sets the local colour, affecting only the next F |
| RH | rotation around the H (head) axis |
| RL | rotation around the L (left) axis |
| RU | rotation around the U (up) axis |
| RV | rotation downward, according to current vertical tendency |
| S | saves current position for later connection by C |

References

- ABELSON, H. – DISESSA, A. A., 1982. *Turtle Geometry*. M.I.T. Press, Cambridge.
- BELL, A., 1976. Computerized vegetative mobility in rhizomatous plants. In: LINDENMAYER, A. – ROZENBERG, G. (eds.), *Automata, Languages, Development*. Amsterdam: 3–14.
- BELL, A. D., 1984. Dynamic morphology: A contribution to plant population ecology. In: DIRZO, R. – SARUKHÁN, J. (eds.), *Perspectives on plant population ecology*. Sinauer, Sunderland, MA.: 48–65.
- BELL, A. D. – ROBERTS, D. – SMITH, A., 1979. Branching patterns: The simulation of plant architecture. *J. theor. Biol.*, 81: 351–375.
- BLOOMENTHAL, J., 1985. Modelling the mighty maple. *Computer Graphics (ACM/SIGGRAPH)*, 19: 305–311.
- BORCHERT, R. – SLADE, N. A., 1981. Bifurcation ratios and the adaptive geometry of trees. *Bot. Gaz.*, 142: 394–401.
- BOROVIKOV, I. A., 1995. L-systems with inheritance: An object-oriented extension of L-systems. *ACM SIGPLAN Notices*, 30: 43–60.
- BRINKHUS, L. – DREWES, F. – KREOWSKI, H.-J. – WIRDEMANN, R. (Hg.), 1995. *Benutzung des Bizzarr2-Studios*. Universität Bremen, Studiengang Informatik, Projekt-Abschlussbericht.
- CHIEN, T. W. – JÜRGENSEN, H., 1992. Parameterized L systems for modelling: Potential and limitations. In: ROZENBERG, G. – SALOMAA, A. (eds.), *Lindenmayer Systems*. Springer, Berlin: 213–229.
- COLIN, F., 1992. *Analyse et modélisation de la branchaison de l'épicéa commun en vue de prédire la qualité de la ressource*. Thèse, ENGREF, Nancy.
- D'ARCY THOMPSON, W., 1942. *On growth and form*. Cambridge University Press, Cambridge.
- DELEUZE, C. – HERVÉ, J.-C. – COLIN, F. – RIBEYROLLES, L., 1996. Modelling crown shape of *Picea abies*: Spacing effects. *Can. J. For. Res.*, 26: 1957–1966.

- DEUSSEN, O. – LINTERMANN, B., 1997. A modelling method and user interface for creating plants. Graphics Interface '97 (May 1997), Postscript preprint: <http://sim-srv.cs.uni-magdeburg.de/~deussen/GI97.ps.gz>.
- ELLENBERG, H. – MAYER, R. – SCHAUERMANN, J. (Hg.), 1986. Ökosystemforschung. Ergebnisse des Sollingprojekts 1966–1986. Ulmer, Stuttgart.
- FALCONER, K. J., 1991. Dimensions – their determination and properties. In: BÉLAIR, J. – DUBUC, S. (eds.), *Fractal Geometry and Analysis*. Kluwer, Amsterdam: 221–254.
- FISHER, J. B., 1984. Tree architecture: Relationships between structure and function. In: WHITE, R. A. – DICKISON, W. C. (eds.), *Contemporary Problems in Plant Anatomy*. Academic Press, Orlando: 541–589.
- FISHER, J. B. – HONDA, H., 1979. Branch geometry and effective leaf area: a study of Terminalia-branching pattern. I. Theoretical trees. *Amer. J. Botany*, 66: 633–644.
- FORD, E. D. – AVERY, A. – FORD, R., 1990. Simulation of branch growth in the *Pinaceae*: Interactions of morphology, phenology, foliage productivity, and the requirement for structural support, on the export of carbon. *J. theor. Biol.*, 146: 15–36.
- FRÜH, TH., 1995. Entwicklung eines Simulationsmodells zur Untersuchung des Wasserflusses in der verzweigten Baumarchitektur. *Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme Göttingen, Ser. A*, 131.
- GOEL, N. S. – ROZEHNAL, I., 1992. A high-level language for L-systems and its applications. In: ROZENBERG, G. – SALOMAA, A. (eds.), *Lindenmayer Systems*. Springer, Berlin: 231–251.
- GOEL, N. S. – KNOX, L. B. – NORMAN, J. M., 1991. From artificial life to real life: Computer simulation of plant growth. *Int. J. General Systems*, 18: 291–319.
- GOVAERTS, Y. M., 1996. A model of light scattering in three-dimensional plant canopies: A Monte Carlo ray tracing approach. [Ph. D. Dissertation.] Université Catholique de Louvain (Belgium), Joint Research Centre of the European Commission, Doc. EUR16394EN.
- GREENE, N., 1989. Voxel space automata: Modelling with stochastic growth processes in voxel space. *Computer Graphics (ACM/SIGGRAPH)*, 23: 175–184.
- GRUBER, F., 1987. Das Verzweigungssystem und der Nadelfall der Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) als Grundlage zur Beurteilung von Waldschäden. *Ber. Forschungszentr. Waldökosys./Waldsterben Göttingen, Ser. A*, 26.
- HALLÉ, F. – OLDEMAN, R. A. A., 1970. *Essai sur l'architecture et la dynamique de croissance des arbres tropicaux*. Masson & Cie, Paris.
- HALLÉ, F. – OLDEMAN, R. A. A. – TOMLINSON, P. B., 1978. *Tropical trees and forests – an architectural analysis*. Springer, Berlin.
- HAUHS, M. – KASTNER-MARESCH, A. – ROST-SIEBERT, K., 1995. A model relating forest growth to ecosystem-scale budgets of energy and nutrients. *Ecol. Modelling*, 83: 229–243.
- JACOB, C., 1997. *Principia Evolvica*. dpunkt Verlag, Heidelberg.
- KAITANIEMI, P. – HONKANEN, T., 1996. Simulating source-sink control of carbon and nutrient translocation in a modular plant. *Ecol. Modelling*, 88: 227–240.
- KARI, L. – ROZENBERG, G. – SALOMAA, A., 1997. L systems. In: ROZENBERG, G. – SALOMAA, A. (eds.), *Handbook of Formal Languages, Vol. 1*. Springer, Berlin: 253–328.
- KAWAGUCHI, Y., 1982. A morphological study of the form of nature. *Computer Graphics (ACM/SIGGRAPH)*, 16: 223–232.
- KELLOMÄKI, S. – KURTIO, O., 1991. A model for the structural development of a Scots pine crown based on modular growth. *For. Ecol. Manag.*, 43: 103–123.
- KELLOMÄKI, S. – STRANDMAN, H., 1995. A model for the structural growth of young Scots pine crowns based on light interception by shoots. *Ecol. Modelling*, 80: 237–250.
- KIM, J. T. T., 1996. Untersuchungen zur Evolution von morphologischer und taxonomischer Diversität und Komplexität anhand von Computermodellen. [Dissertation.] Universität Köln, Math.-naturwiss. Fak.
- KNYAZIKHIN, YU. – KRANIGK, J. – MIESSEN, G. – PANFYOROV, O. – VYGODSKAYA, N. – GRAVENHORST, G., 1996. Modelling three-dimensional distribution of photosynthetically active radiation in sloping coniferous stands. *Biomass and Bioenergy*, 11: 189–200.
- KÜPPERS, M., 1989. Ecological significance of above-ground architectural patterns in woody plants: A question of cost-benefit relationships. *Trends in Ecology and Evolution*, 4: 375–379.
- KURTH, W., 1994a. Morphological models of plant growth: Possibilities and ecological relevance. *Ecol. Modelling*, 75/76: 299–308.
- KURTH, W., 1994b. Growth Grammar Interpreter GROGRA 2.4. A software tool for the 3-dimensional interpretation of stochastic, sensitive growth grammars in the context of plant modelling. *Introduction and Reference Manual*. Ber. Forschungszentr. Waldökosys. Göttingen, Ser. B, 38.
- KURTH, W., 1996. Elemente einer Regelsprache zur dreidimensionalen Modellierung des Triebwachstums von Laubbäumen. In: HEMPEL, G. (Hg.), 8. Tagung Sekt. Forstl. Biometrie u. Informatik DVFF (Tharand / Grillenburg, 25.–28. 9. 1995). Ljubljana: 174–187.
- KURTH, W., 1998. Some new formalisms for modelling the interactions between plant architecture, competition and carbon allocation. *Bayreuther Forum Ökologie*, 52: 53–97.
- KURTH, W. – ANZOLA, G., 1997. Triebwachstum und Verzweigung junger Fichten in Abhängigkeit von den beiden Einflußgrößen „Beschattung“ und „Wuchsdichte“: Datenaufbereitung und -analyse mit GROGRA. In: PELZ, D. (Hg.), 10. Tagung Sekt. Forstl. Biometrie u. Informatik DVFF (Freiburg i. Br., 24.–26. 9. 1997). Ljubljana: 89–108.
- KURTH, W. – FRÜH, TH., 1998. Modelling crown structure and hydraulic function in conifers. I. A stochastic growth grammar for the developing branching system of spruce. (Submitted to *Tree Physiology*.)
- KURTH, W. – SLOBODA, B., 1998. Tree and stand architecture and growth described by formal grammars. II. Sensitive trees and competition. *J. For. Sci.*, 45: (in press).
- LANWERT, D. – DAUZAT, J. – FRÜH, TH., 1997. Water use of forest trees: About a possibility of combining structures and physical process models. *Bayreuther Forum Ökologie*, 52: 117–128.
- LECOUSTRE, R. – SAITO, K. – KUMAGAI, Y. – HONJO, T. – REFFYE, PH. DE – ISHIDA, Y., 1997. Simulation d'un paysage forestier à partir d'un SIG et de la technique de modélisation des plantes. In: BOUCHON, J. – REFFYE, PH. DE – BARTHÉLÉMY, D. (eds.), *Modélisation*

- et simulation de l'architecture des végétaux. INRA, Paris: 425-434.
- LINDENMAYER, A., 1968. Mathematical models for cellular interactions in development. *J. theor. Biol.*, 18: 280-299, 300-315.
- LIST, R. – KÜPPERS, M. – SCHRÖDER, F., 1994. Madeira – ein Programm zur Simulation des Wachstums (Biomasse und Architektur) von Holzgewächsen. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie*, 23: 39-48.
- MAILLETTE, L., 1982. Structural dynamics of silver birch. I. The fates of buds. *J. appl. Ecol.*, 19: 203-218.
- MCAHON, TH. A. – KRONAUER, R. E., 1976. Tree structures: Deducing the principle of mechanical design. *J. theor. Biol.*, 59: 443-466.
- NIKLAS, K. J., 1982. Computer simulations of early land plant branching morphologies: Canalization of patterns during evolution? *Paleobiology*, 8: 196-210.
- NIKLAS, K. J., 1986. Computer simulations of branching patterns and their implications on the evolution of plants. *Lect. Math. Life Sci.*, 18: 1-50.
- OBORNY, B., 1994. Growth rules in clonal plants and environmental predictability – a simulation study. *J. Ecology*, 82: 341-351.
- PERTTUNEN, J. – SIEVÄNEN, R. – NIKINMAA, E. – SALMINEN, H. – SAARENMAA, H. – VÄKEVÄ, J., 1996. LIGNUM: A tree model based on simple structural units. *Ann. bot.*, 77: 87-98.
- PFREUNDT, J. – SLOBODA, B., 1996. The relation of local stand structure to photosynthetic capacity in a spruce stand: A model calculation. *Lesnictví-Forestry*, 42: 149-160.
- PIROCHTOVÁ, M. – BARTÁK, M., 1991. Formalizace architektury koruny smrku ztepilého [*Picea abies* (L.) Karst.]: Model větvení vyšších řádů. *Lesnictví-Forestry*, 37: 233-243.
- PRUSINKIEWICZ, P. – LINDENMAYER, A., 1990. *The Algorithmic Beauty of Plants*. Springer, New York.
- PRUSINKIEWICZ, P. – HAMMEL, M. – HANAN, J. – MĚCH, R., 1997. Visual models of plant development. In: ROZENBERG, G. – SALOMAA, A. (eds.), *Handbook of Formal Languages*, Vol. 3. Springer, Berlin: 535-597.
- REEVES, W. T. – BLAU, R., 1985. Approximate and probabilistic algorithms for shading and rendering structural particle systems. *Computer Graphics (ACM/SIGGRAPH)*, 19: 313-322.
- REFFYE, PH. DE – SNOECK, J., 1976. Modèle mathématique de base pour l'étude et la simulation de la croissance et de l'architecture du *Coffea robusta*. *Café Cacao Thé*, 20: 11-32.
- REFFYE, PH. DE – HOULLIER, F. – BLAISE, F. – BARTHÉLÉMY, D. – DAUZAT, J. – AUCLAIR, D., 1995. A model simulating above- and below-ground tree architecture with agroforestry applications. *Agroforestry Systems*, 30: 175-197.
- ROLOFF, A., 1989. Kronenentwicklung und Vitalitätsbeurteilung ausgewählter Baumarten der gemäßigten Breiten. J. D. Sauerländer, Frankfurt.
- ROLOFF, A., 1994. Effects of pollutants and environmental stress on the morphology of deciduous trees and on the ground vegetation. In: GODBOLD, D. L. – HÜTTERMANN, A. (eds.), *Effects of acid rain on forest processes*. Wiley-Liss, New York: 325-351.
- ROOM, P. M. – MAILLETTE, L. – HANAN, J. S., 1994. Module and metamer dynamics and virtual plants. *Adv. Ecol. Res.*, 25: 105-157.
- SATTLER, R., 1992. Process morphology: Structural dynamics in development and evolution. *Canad. J. Botany*, 70: 708-714.
- SCHILL, H., 1989. Triebbildung, Verzweigungsverhalten und Kronenentwicklung junger Fichten und Lärchen. Birkhäuser, Basel: 157.
- SIEVÄNEN, R. – MÄKELÄ, A. – NIKINMAA, E. – KORPILAHTI, E., 1997. *Silva Fennica special issue on functional-structural tree models*, Preface. *Silva fenn.*, 31: 237-238.
- SLOBODA, B. – KURTH, W. – FRÜH, TH., 1996. Morphologisches Modell des Baumwachstums. In: BEESE, F. (Hg.), *Verbundprojekt „Veränderungsdynamik von Wald-ökosystemen“*, Zwischenbericht 1994/1995, Teil II. Ber. Forschungszentr. Waldökosys. Göttingen, Ser. B, 52: 185-193.
- STEVENS, P. S., 1974. *Patterns in nature*. Little, Brown and Co., Boston.
- STOLL, P., 1995. Modular growth and foraging strategies in rhizome systems of *Solidago altissima* L. and branches of *Pinus sylvestris* L. [Dissertation.] Universität Zürich.
- ŠOCH, M. – BENEŠ, B., 1995. Simulation of plant development using strands model. In: PLACHETKA, T. (ed.), *Proc. 11th Spring School on Computer Graphics*, Bratislava, May 1995: AP.30-AP.35.
- TSEL'NIKER, YU. L., 1994. Structure of spruce crown. *Russian For. Sci.*, 1994-4: 29-37.
- VIENNOT, X. G. – EYROLLES, G. – JANEY, N. – ARQUÈS, D., 1989. Combinatorial analysis of ramified patterns and computer imagery of trees. *Computer Graphics (ACM/SIGGRAPH)*, 23: 31-40.
- WALLER, D. M. – STEINGRAEBER, D. A., 1983. Branching and modular growth: Theoretical models and empirical patterns. In: BUSS, L. – JACKSON, J. (eds.), *Symposium on the Biology of Clonal Organisms*. Yale University Press, Yale: 85-108.
- WHITE, J., 1979. The plant as a metapopulation. *A. Rev. Ecol. System.*, 10: 109-145.

Received 30 January 1998

Contact Address:

Prof. Dr. Dr. h. c. Branislav Sloboda, Universität Göttingen, Institut für forstliche Biometrie und Informatik, Büsgenweg 4, D-37077 Göttingen, Germany

NIEKTORÉ VÝSLEDKY A MOŽNOSTI PESTOVANIA ORECHA ČIERNEHO (*JUGLANS NIGRA* L.) V PODMIENKACH NÍŽINNÝCH OBLASTÍ SLOVENSKA

SOME DATA ON BLACK WALNUT (*JUGLANS NIGRA* L.) STANDS AND THEIR MANAGEMENT IN LOWLAND AREAS OF SLOVAKIA

Š. Kohán

Lesnícky výskumný ústav, Výskumná stanica, Čárskeho 3, 040 01 Košice

ABSTRACT: Some data are presented on intensive and traditional methods of black walnut management in the area of Potiská a Podunajská Lowlands in Slovakia. Research plots are situated on uninundated alluvia of the rivers Latorica, Tisa, Hron and Dunaj, in terms of typology they are included in the management complex of forest types of floodplain hornbeam-ash stands (hardwood floodplains). The texture is represented by sandy, medium-heavy loamy and heavy-textured clay-loamy to clayey soils with slightly acid, neutral or weakly alkaline reactions. Data evaluation showed that tree growth and volume production were positively influenced by broadcast soil preparation and cultivation under an intensive management system. Silvicultural treatments are also very important. The present evidence documents that effective management of black walnut is possible under negatively altered ecological conditions of lowland areas in Slovakia when appropriate agrotechnical and biotechnical measures are taken.

black walnut; silvicultural technology; growth and volume production; altered ecological conditions; Potiská and Podunajská Lowlands

ABSTRAKT: V práci sú hodnotené niektoré výsledky a možnosti intenzívneho a tradičného spôsobu pestovania orecha čierneho v oblasti Potiskej a Podunajskej nížiny na Slovensku. Sledované výskumné plochy ležia na nezaplavovaných alúviách Latorice, Tisy, Hrona a Dunaja a typologicky patria do hospodárskeho súboru lesných typov hrabových lužných jaseňín (tvrdých luhov). Po stránke zrnitosti sú to ľahšie piesočnaté, stredne ťažké hlinité, ako aj ťažšie ílovitohlinité až ílovité pôdy s mierne kyslou, neutrálnou a slabó alkalickou reakciou. Z hodnotenia výsledkov vyplýva, že na rast a objemovú produkciu pozitívne vplývali najmä celoplošná príprava a celoplošná kultivácia pôdy v rámci intenzívneho pestovania. Veľký význam má v tomto ohľade aj vykonanie výchovných zásahov. Dosiiahnuté výsledky svedčia o tom, že pri uplatnení správnych agrotechnických a biotechnických opatrení sú možnosti efektívne pestovať orech čierny aj v negatívne ovplyvnených ekologických podmienkach nížinných oblastí Slovenska.

orech čierny; pestovné technológie; rast a objemová produkcia; zmenené ekologické podmienky; Potiská a Podunajská nížina

ÚVOD

Význam orecha čierneho narastá v poslednom období vo všetkých nížinných oblastiach Slovenska, v ktorých stanovištné podmienky boli negatívne ovplyvnené najmä rozsiahlymi vodohospodárskymi úpravami ako aj inými technickými opatreniami. Jeho význam spočíva najmä v tom, že nie je iba rýchlorastúcou drevinou, ale súčasne poskytuje aj veľmi hodnotné drevo. Okrem toho pre priaznivé estetické vlastnosti, pre značnú fytoncídnu aktivitu a vysoký obsah repelentných látok má svoje miesto aj v sadovníckej a krajinárskej tvorbe. Nie je zanedbateľná ani jeho odolnosť voči rozličným škodcom a chorobám. Ako jedna z prvých introdukovaných drevín sa v Európe pestuje od roku 1629, kedy bola dovezená z východnej časti Severnej Ameriky. V nížin-

ných oblastiach Mississippi a Ohia dosahuje v porastných výsadbách výšku až 45 m. Veľmi dobré výsledky dáva aj vo Francúzsku, najmä v údolí Rhône, kde vytvára vysoké a čisté kmene, vhodné aj na výrobu najcennejších sortimentov (Garavel, 1960; Magyar, 1960).

Problematike pestovania orecha čierneho sa už dávnejšie veľmi intenzívne venujú najmä v susednom Maďarsku, a to v rovnakých alebo podobných stanovištných podmienkach, aké sú v nížinných oblastiach Slovenska. Z hodnotenia ich výsledkov vyplýva, že jeho úspešné pestovanie predpokladá hlboké a úrodné pôdy, ktoré sa vyznačujú priaznivými fyzikálnymi vlastnosťami. Naproti tomu neznáša veľmi ťažké a vlhké pôdy s vysokou hladinou podzemnej vody. Dáva však uspokojivé výsledky aj na relatívne suchších piesočnatých pôdach ako

aj na sofných pôdach I. triedy, ktoré vykazujú ešte priaznivé fyzikálne vlastnosti. Keďže je slinnou drevinou, veľký dôraz sa kladie pri jeho pestovaní aj na voľbu vhodných sponov ako aj na včasné a správne vykonávanie výchovných zásahov. Pri intenzívnom pestovaní poskytuje mimoriadne cenné, hrubé sortimenty už aj pri 50-ročnej rubnej dobe, kým pri tradičnom spôsobe pestovania pri 60–70-ročnej rubnej dobe. Pri tradičnom pestovaní sa porasty orecha čierneho zakladajú v relatívne hustejších sponoch prevažne 2 x 2 m, kým pri intenzívnom pestovaní v širších sponoch, napr. 4 x 2 m a viac. Na vytváranie spodnej etáže najmä pri tradičnom pestovaní sa používajú vhodné dreviny, najmä javor mliečny, lipa, hrab a ďalšie (Majerszky, 1914, 1916; Ihrig et al., 1952; Róth, 1953; Babos, 1954; Magyar, 1961; Tóth et al., 1972).

Na základe výsledkov výskumov, ktoré sa konali v oblasti dolného toku Moravy, na vodohospodárske zásahy podľa rastu a zdravotného stavu tam negatívne reagovali najmä brest a jaseň. Pomerne dobré výsledky dáva však v tamajších zmenených ekologických podmienkach orech čierny, a to aj na pôdach so zníženou hladinou podzemnej vody. Význam a funkcia orecha čierneho narastá tam aj v parkovníctve (Šika, 1964; Mottl, Prudič, 1973; Pokorný, Fér, 1964).

Štruktúru rovnorodých porastov orecha čierneho ako aj produkciu nadzemnej biomasy zmiešaných a nezmiešaných porastov tejto dreviny spracoval Tokár (1984, 1986, 1987). Čiastkové výsledky doterajšieho pestovania orecha čierneho v ekologických podmienkach nížinných oblastí Slovenska hodnotili vo svojich prácach najmä Kohán (1990, 1991) a Soják (1996).

Cieľom príspevku je hodnotiť niektoré výsledky pestovania orecha čierneho v zmenených ekologických podmienkach Potiskej a Podunajskej nížiny na Slovensku.

MATERIÁL A METODIKA

Výskum pestovania orecha čierneho sa uskutočnil jednak v porastoch, ktoré boli pestované intenzívnym spôsobom, jednak v porastoch pestovaných tradičným spôsobom. Intenzívne porasty sa zakladali na celoplošne pripravených pôdach a do zapojenia porastu sa v nich uskutočnila aj celoplošná kultivácia pôdy. Pri celoplošnej príprave pôdy sa po vyťažení nekvalitných výmladkových porastov odstránili pne a hrubé korene kľčováním, potom nasledovala povrchová úprava pôdy, ďalej hlboká orba a napokon sa pôda ošetrila diskovaním. Pri tradičnom spôsobe pestovania sa porasty zakladali bez celoplošnej prípravy pôdy jamkovou sadbou a v prvých troch rokoch sa v nich uskutočnilo iba individuálne ošetrovanie stromov, a to okopávaním. Intenzívne porasty sú reprezentované výskumnými plochami Bořany a Podunajské Biskupice, kým tradičným spôsobom pestované porasty reprezentujú výskumné plochy Hrable a Horeš. V priebehu ďalšieho vývoja sa v intenzívnych porastoch uskutočnila jedna prečistka a jeden schematicko-selektívny prebierkový zásah. Pri tradičnom spôsobe pestovania sa uskutočnila jedna prečistka a dva selektívne prebierkové zásahy.

Údaje o sponě, počte vysadených stromov ako aj o rastovej ploche pripadajúcej na jeden strom na sledovaných výskumných plochách sa uvádzajú v tab. I.

I. Prehľad základných údajov a stanovištných pomerov – Basic data and site conditions

| Názov plochy ¹ | Bořany | Podunajské Biskupice | Hrable | Horeš |
|---|--------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------|
| Povodie rieky | Latorica | Dunaj | Hron | Tisa |
| Spôsob pestovania | intenzívny | intenzívny | tradičný | tradičný |
| Spon (pôvodný) (m) | 4,0 x 2,0 | 2,5 x 2,5 | 2,0 x 1,5 | 2,5 x 1,5 |
| Počet stromov (ks.ha ⁻¹) | 1 250 | 1 600 | 3 333 | 2 666 |
| Rastová plocha na 1 strom (m ²) | 8,00 | 6,25 | 3,00 | 3,75 |
| Číslo HSLT | 124 | 124 | 124 | 124 |
| Číslo LT | 953 | 954 | 952 | 954 |
| Pôdny predstaviteľ | hnedá glejová pôda | sivá vápnná paternia | hnedastá vápnná paternia | hnedá glejová pôda |
| Druh pôdy | fluvito-hlinitá | hlinitá až piesočnatá | hlinitá | ilovitá |
| Reakcia pôdy | mierne kyslá | slabo alkalická | neutrálna | mierne kyslá |

¹plot name

Z výsledkov týchto hodnotení vyplýva, že pri aplikácii vhodných technológií zakladania a pestovania dáva orech čierny aj v týchto menej vhodných stanovištných podmienkach uspokojivé výsledky. Tieto predbežné výsledky chceme doplniť a upresniť novšími údajmi a poznatkami, ktoré sme získali v poslednom období na sledovaných výskumných plochách.

Z nej vyplýva, že spon pri založení intenzívnych porastov sa pohyboval v medziach od 4,0 x 2,0 m do 2,5 x 2,5 m s počtom stromov 1 250 kusov, resp. 1 600 kusov na jeden hektár, čomu zodpovedá rastová plocha 8,00 m², resp. 6,25 m² na jeden strom. V tých porastoch, ktoré boli založené tradičným spôsobom, sa aplikovali hustejšie spony, a to v rozpätí od 2,0 x 1,5 m do

2,5 x 1,5 m. Týmto sponom zodpovedal počet 3 333 stromov, resp. 2 666 kusov na jeden hektár a rastová plocha 3 m², resp. 3,75 m² na jeden strom.

V rámci biotechnických meraní sa uskutočnilo meranie výšok (s presnosťou na 0,5 m) ako aj meranie hrúbok vo výške 1,3 m (s presnosťou na 0,5 cm) všetkých jedincov na jednotlivých sledovaných výskumných plochách. Pri spracovaní materiálu z meraní sa zisťovali hlavné taxačné veličiny, a to stredná výška, stredná hrúbka, zásoba, objem prebierok a celková objemová produkcia na jeden hektár, ďalej bežné a priemerné prírastky, objem stredného kmeňa ako aj kruhová základňa na jeden hektár a kruhová základňa stredného kmeňa. Pri objemovej produkcii sa uvádza objem hrubiny, ktorý sa vypočítal podľa objemových tabuliek H a l a j a (1963). Rozdelenie početnosti, zásoby a kruhovej základne v hrúbkových stupňoch sa urobilo v percentách, a to z celkového počtu stromov, zo zistených zásoby a kruhovej základne na sledovaných výskumných plochách a uvádza sa v tab. III.

Pre charakteristiku klimatických pomerov sa uvádza priemerná teplota vzduchu, priemerný úhrn zrážok, počet letných dní, dĺžka slnečného svitu, snehová pokrývka a ročný výpar z pôdy. Teplota vzduchu a úhrn zrážok sa uvádza jednak v ročnom priemere, jednak vo vegetačnom období. Pre typologickú charakteristiku sa na jednotlivých výskumných plochách zisťoval hospodársky súbor lesných typov (HSLT) ako aj lesný typ. Pre hodnotenie pôdných pomerov sa zisťoval pôdny predstaviteľ, druh pôdy a reakcia pôdy. Uvedené údaje sa získali v rámci pôdneho prieskumu, ako aj na základe výsledkov laboratórneho rozboru mechanických a che-

mických vlastností pôdy. Hodnotenie klimatických a prírodných pomerov umožní posúdiť možnosti na úspešné pestovanie orecha čierneho v ekologických podmienkach nížinných oblastí Slovenska.

PRÍRODNÉ POMERY

Sledované výskumné plochy, z ktorých sme naše výsledky získali, ležia v oblasti Potiskej a Podunajskej nížiny na nezaplavovaných alúviách Latorice, Tisy, Hrona a Dunaja.

Oblasť Potiskej nížiny môžeme klimaticky charakterizovať ako teplú, mierne suchú, s chladnou zimou a dlhým slnečným svitom. Dlhoročná priemerná teplota vzduchu dosahuje 9,4 °C, vo vegetačnom období 16,5 °C. Priemerný úhrn ročných zrážok predstavuje 597 mm, z čoho 362 mm pripadá na vegetačné obdobie. Priemerný počet letných dní je 67,2. Najteplejším mesiacom v roku je júl (priemerná teplota 20,2 °C), najchladnejším je január (-3,1 °C). Slnečné žiarenie priemerne trvá ročne 1 916 hodín. Snehová pokrývka trvá v priemere 53 dní, kým ročný výpar z pôdy predstavuje 550–600 mm.

Klimaticky môžeme oblasť Podunajskej nížiny charakterizovať ako teplú, suchú, s miernou zimou a dlhým slnečným žiarením. Dlhoročná priemerná teplota vzduchu dosahuje 9,5 °C, vo vegetačnom období 16,3 °C. Priemerný úhrn zrážok predstavuje 579 mm, z čoho na vegetačné obdobie pripadá 318 mm. Priemerný počet letných dní je 71,2. Dĺžka slnečného svitu v dlhoročnom priemere predstavuje 2 118 hodín. Najteplejším mesiacom je júl (priemerná teplota nad 20 °C), najchladnejším je január (-2,3 °C). Snehová pokrývka trvá

II. Prehľad rastových údajov a objemovej produkcie – Growth data and volume production

| Názov plochy ¹ | Bořany | Podunajské Biskupice | Hrable | Horeš |
|----------------------------------|--|----------------------|-----------|-----------|
| Spôsob pestovania | intenzívny | intenzívny | tradičný | tradičný |
| Vek | (r.) 40 | 30 | 70 | 50 |
| Priemerný spon (súčasný) | (m) 5,0 x 5,0 | 3,8 x 3,8 | 5,1 x 5,1 | 4,8 x 4,8 |
| Počet stromov | (ks.ha ⁻¹) 400 | 683 | 383 | 426 |
| Rastová plocha na 1 strom | (m ²) 25,00 | 14,44 | 26,01 | 23,04 |
| Stredná výška | (m) 22,3 | 19,2 | 28,0 | 24,3 |
| Priemerný výškový prírastok | (m) 0,5 | 0,6 | 0,4 | 0,5 |
| Bežný výškový prírastok | (m) 0,3 | 0,5 | 0,1 | 0,2 |
| Stredná hrúbka | (cm) 25,3 | 18,5 | 31,2 | 27,9 |
| Priemerný hrúbkový prírastok | (cm) 0,6 | 0,6 | 0,4 | 0,5 |
| Bežný hrúbkový prírastok | (cm) 0,5 | 0,6 | 0,2 | 0,3 |
| Kruhová základňa | (m ² .ha ⁻¹) 20,000 | 18,441 | 29,491 | 26,838 |
| Kruhová základňa stredného kmeňa | (m ²) 0,050 | 0,027 | 0,077 | 0,063 |
| Zásoba | (m ³ .ha ⁻¹) 240,0 | 173,5 | 443,9 | 335,2 |
| Objem prebierok | (m ³ .ha ⁻¹) 127,6 | 14,4 | 195,0 | 84,0 |
| Celková objemová produkcia | (m ³ .ha ⁻¹) 367,6 | 187,9 | 638,9 | 419,2 |
| Priemerný objemový prírastok | (m ³ .ha ⁻¹) 9,2 | 6,3 | 9,1 | 8,4 |
| Bežný objemový prírastok | (m ³ .ha ⁻¹) 10,1 | 10,6 | 3,2 | 6,5 |
| Objem stredného kmeňa | (m ³) 0,601 | 0,257 | 1,159 | 0,787 |

¹plot name

III. Prehľad rozdelenia početnosti, zásoby a kruhovej základne v hrúbkových stupňoch (%) – Distribution of frequency, standing volume and basal area in diameter classes (%)

| Názov plochy ¹ | Bofany | | | Podunajské Biskupice | | | Hrable | | | Horeš | | |
|-----------------------------------|-------------------------|-------|-------|-------------------------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|
| Spôsob pestovania ² | intenzívny ⁷ | | | intenzívny ⁷ | | | tradičný ⁸ | | | tradičný ⁸ | | |
| Vek ³ | 40 | | | 30 | | | 70 | | | 50 | | |
| Rozdelenie ⁴ | P | Z | KZ | P | Z | KZ | P | Z | KZ | P | Z | KZ |
| Hrúbkové stupne ⁵ (cm) | | | | | | | | | | | | |
| 14,0–15,9 | – | – | – | 23,2 | 11,8 | 14,0 | – | – | – | – | – | – |
| 16,0–17,9 | 2,5 | 0,9 | 1,1 | 9,8 | 8,5 | 8,2 | – | – | – | – | – | – |
| 18,0–19,9 | 5,0 | 2,0 | 2,6 | 28,0 | 26,2 | 26,1 | 2,2 | 0,8 | 0,7 | – | – | – |
| 20,0–21,9 | 8,8 | 5,6 | 5,6 | 20,7 | 24,2 | 24,8 | 4,3 | 1,8 | 1,8 | 3,1 | 1,5 | 1,6 |
| 22,0–23,9 | 18,8 | 12,9 | 14,7 | 17,1 | 26,6 | 24,7 | 4,3 | 1,9 | 2,3 | 18,7 | 10,6 | 12,4 |
| 24,0–25,9 | 20,0 | 19,5 | 18,6 | 1,2 | 2,7 | 2,2 | – | – | – | 14,2 | 9,5 | 10,1 |
| 26,0–27,9 | 16,2 | 16,7 | 17,4 | – | – | – | 4,3 | 2,3 | 3,1 | 18,7 | 15,4 | 16,5 |
| 28,0–29,9 | 17,6 | 23,9 | 23,1 | – | – | – | 23,7 | 20,3 | 20,7 | 10,9 | 12,2 | 11,4 |
| 30,0–31,9 | 6,2 | 9,0 | 8,9 | – | – | – | 19,7 | 16,6 | 18,9 | 9,4 | 10,5 | 11,0 |
| 32,0–33,9 | 2,5 | 4,3 | 3,1 | – | – | – | 6,5 | 7,7 | 7,0 | 10,9 | 17,4 | 14,5 |
| 34,0–35,9 | 1,2 | 2,2 | 2,3 | – | – | – | 13,0 | 15,3 | 15,3 | 7,8 | 11,7 | 11,8 |
| 36,0–37,9 | 1,2 | 3,0 | 2,6 | – | – | – | 13,0 | 19,8 | 17,9 | 4,7 | 8,3 | 7,9 |
| 38,0–39,9 | – | – | – | – | – | – | 6,5 | 9,7 | 8,6 | 1,6 | 2,9 | 2,8 |
| 40,0–41,9 | – | – | – | – | – | – | 2,5 | 3,8 | 3,7 | – | – | – |
| Spolu ⁶ | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

Legenda – Legend: P – početnosť – frequency; Z – zásoba – standing volume; KZ – kruhová základňa – basal area

¹plot name, ²management system, ³age, ⁴distribution, ⁵diameter classes, ⁶total, ⁷intensive, ⁸traditional

pomerne krátko, a to v priemere iba 37,7 dní. Ročný výpar z pôdy dosahuje 550–600 mm; je v mesiacoch máj až august veľmi intenzívny a môže dosahovať až 450 mm.

Prehľad o typologických jednotkách a pôdnych pomeroch na sledovaných výskumných plochách poskytuje tab. I. Z nej vyplýva, že tieto plochy patria do HSLT č. 124, teda hrabových lužných jasenín (tvrdých luhov). Z lesných typov sú zastúpené žihlavová brestová jasenina s hrabom (č. 952), cesnaková brestová jasenina s hrabom (č. 953) ako aj suchá brestová jasenina s hrabom (č. 924). Okrem vlhkej brestovej jaseniny s hrabom (č. 951) sú teda zastúpené všetky lesné typy, ktoré tvoria HSLT hrabových lužných jasenín.

Z pôdnych predstaviteľov tak na ploche Bofany, ako aj na ploche Horeš, ktoré ležia v oblasti Potiskej nížiny, je zastúpená hnedá glejová pôda, ktorá je ilovitohlinitá až ilovitá, teda ťažká, a vykazuje mierne kyslú reakciu. V oblasti Podunajskej nížiny na výskumnej ploche Podunajské Biskupice je pôdnym predstaviteľom sivá vápnatá paternia. Po zrnitosti stránke je pôda prevažne piesočnatá a vykazuje slabo alkalickú reakciu. Plocha Hrable je typologicky charakterizovaná ako hnedastá vápnatá paternia so stredne ťažkou hlinitou pôdou, ktorá vykazuje priaznivé fyzikálne vlastnosti. Reakcia pôdy je neutrálna. Hladina podzemnej vody poklesla na sledovaných výskumných plochách v dôsledku vodohospodárskych úprav proti pôvodnému stavu asi o 1,5 m.

Uvedená charakteristika a hodnotenie prírodných pomeroch ukazuje, že sledované výskumné plochy verne

reprezentujú suchšie stanovišťa v oblasti Potiskej a Podunajskej nížiny, ktoré vznikli po vykonaní vodohospodárskych úprav a iných technických opatrení v týchto regiónoch. Súčasne môžeme konštatovať, že po stránke klimatickej sú v týchto oblastiach vhodné podmienky na úspešné pestovanie orecha čierneho. Na niektorých – najmä na ťažkých – pôdach je však žiadúce zlepšiť vlahovú bilanciáciu a prevzdušnenosť pôdy, čo sa dosiahne predovšetkým aplikáciou intenzívnych technológií zakladania a pestovania porastov. Význam týchto stanovišť je v lesoch záujmových oblastí značný najmä preto, lebo ich rozloha v dôsledku vodohospodárskych úprav a iných technických opatrení sa značne rozšírila. Výsledky hodnotenia bude možné takto aplikovať na pomerne rozsiahlom území s negatívne ovplyvnenými ekologickými podmienkami v nížinných oblastiach Slovenska.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

So zreteľom na rozdielnosť stanovištných pomeroch, spôsoby pestovania ako aj na odlišný vek jednotlivé sledované výskumné plochy sa hodnotia osobitne. Výsledky hodnotenia platia pre ten stanovištný typ, na ktorom sa hodnotená výskumná plocha nachádza.

V tab. II uvádzame prehľad o zmene sponu, počtu stromov na 1 hektár ako aj o zmene rastovej plochy na 1 strom, a to k danému veku, v ktorom sa uskutočnilo hodnotenie jednotlivých výskumných plôch. Údaje

o strednej výške, strednej hrúbke a kruhovej základni, ďalej o zásobe, objeme prebierok a celkovej objemovej produkcii ako aj o bežných a priemerných prírastkoch sa uvádzajú tiež v tab. II. O rozdelení početnosti, zásoby a kruhovej základne v hrúbkových stupňoch v percentách informuje tab. III.

Pokusná plocha Boľany, ktorá leží na nezaplavovaných ťažších fľovitohľinitých alúviách Latorice, sa hodnotí vo veku 40 rokov. Na tejto ploche sa vykonala doteraz jedna prečistka a jeden schematicko-selektívny prebierkový zásah o intenzite 68 % z počtu stromov, čím sa pôvodný spon rozšíril na 5,0 x 5,0 m. Z výsledkov hodnotenia vyplýva, že orech čierny tu dosiahol strednú výšku 22,3 m, priemerný ročný výškový prírastok 0,5 m a bežný ročný výškový prírastok 0,3 m. Tak priemerný, ako aj bežný ročný výškový prírastok sa znížil v poslednom päťročnom období iba o 0,1 m. Podobné priaznivé výsledky sme dostali aj z hodnotenia hrúbkového rastu. Stredná hrúbka dosiahla na tejto výskumnej ploche 25,3 cm, kým priemerný a bežný ročný hrúbkový prírastok 0,6 cm, resp. 0,5 cm, pričom tieto hodnoty sú za posledných päť rokov sledovania v podstate ustálené. Táto skutočnosť svedčí o intenzívnom hrúbkovom raste aj v danom veku. Celková objemová produkcia dosiahla na tejto ploche hodnotu 367,6 m³ na 1 ha, čo svedčí o tom, že aj na relatívne suchších a ťažších pôdach možno intenzívnym pestovaním dosiahnuť primeranú drevnú produkciu. Je pozoruhodné, že tak hodnota priemerného, ako aj bežného ročného objemového prírastku, ktorý predstavuje 9,2 m³, resp. 10,1 m³ na 1 ha, je v poslednom päťročnom období sledovania v podstate ustálená. Na zlepšenie hrúbkového rastu je potrebné vykonať na tejto ploche ešte jeden selektívny prebierkový zásah o intenzite asi 30 % z počtu stromov, čím sa dosiahne rubný spon 6,0 x 6,0 m.

Pokusná plocha Podunajské Biskupice je najmladším objektom, ktorý sa hodnotí vo veku 30 rokov. Po vykonaní jednej prečistky a jedného prebierkového zásahu o intenzite 57 % sa pôvodný spon zväčšil na 3,8 x 3,8 m. Hoci leží na suchších nezaplavovaných pôdach Podunajskej nížiny, vykazuje zatiaľ pomerne dobrý rast, keďže stredná výška dosahuje 19,2 m, kým stredná hrúbka 18,5 cm. Priemerný a bežný ročný výškový prírastok, ktorý predstavuje 0,6 m, resp. 0,5 m, a priemerné hrúbkové prírastky, ktoré dosahujú 0,6 cm, sú v poslednom období pozorovania ustálené. Naproti tomu tak priemerný, ako aj bežný ročný objemový prírastok s hodnotami 6,3 m³, resp. 10,6 m³ na 1 ha sa doteraz mierne zvyšuje, čo zároveň potvrdzuje priaznivý vplyv intenzívneho pestovania na objemovú produkciu orecha čierneho v daných podmienkach. Na zabezpečenie ďalšieho priaznivého vývoja – najmä na zlepšenie hrúbkového rastu – bude potrebné uskutočniť v poraste ešte jeden schematicko-selektívny prebierkový zásah o intenzite 50–60 % z počtu jedincov, čím sa dosiahne rubný spon 5,7 x 5,7 až 6,0 x 6,0 m.

Pokusná plocha Hrable, ktorá leží na stredne ťažkých hľinitých pôdach v oblasti dolného toku Hrona s priaz-

nivými fyzikálnymi vlastnosťami a takto poskytuje vhodné podmienky na pestovanie orecha čierneho aj tradičným spôsobom, sa hodnotí vo veku 70 rokov, čo tu predstavuje rubný vek. Hoci sa tu vykonal tri selektívne prebierkové zásahy o intenzite 88 %, hustý pôvodný spon 2,0 x 1,5 m sa rozšíril iba na 5,1 x 5,1 m, čo s ohľadom na stanovištné pomery ako aj na biologické vlastnosti tejto dreviny neumožní vytvárať dostatočne veľké koruny ako aj primerané, lepšie hrúbkové dimenzie. Z toho potom logicky vyplýva, že stredná hrúbka, ktorá predstavuje 31,2 cm, nezodpovedá potenciálnym možnostiam daného stanovišta. Na výšku celkovej objemovej produkcie, ktorá dosahuje 638,9 m³ na 1 ha, aj napriek nižším hrúbkovým dimenziám do istej miery pozitívne vplýval relatívne vysoký počet jedincov. Podobne sa dosiahol pomerne dobrý priemerný ročný objemový prírastok, ktorý predstavuje 9,1 m³ na 1 ha, hoci s ohľadom na dobrú potenciálnu produkčnú schopnosť stanovišta by bolo možné dosiahnuť až 10 m³ na 1 ha. To by však predpokladalo vytvárať rubný spon v rozpätí od 6,0 x 6,0 m do 6,5 x 6,5 m, čím by sa dosiahla stredná hrúbka asi 40 cm. S ohľadom na rubný vek porastu je pochopiteľné, že tak priemerné, ako aj bežné prírastky vykazujú v poslednom období sledovania klesajúcu tendenciu.

Pokusná plocha Horeš, ktorá leží na ťažkých, nedostatčne prevzdušnených alúviách Tisy, sa hodnotí vo veku 50 rokov. Podobne ako v predošlom prípade, aj tento porast sa pestoval tradičným spôsobom a po vykonaní výchovných zásahov sa pôvodný spon 2,5 x 1,5 m rozšíril na 4,8 x 4,8 m. Stredná výška predstavuje na tejto ploche 24,3 m, kým priemerný a bežný ročný výškový prírastok 0,5 m, resp. 0,2 m, ktoré v poslednom období sledovania vykazujú mierne klesajúcu tendenciu. Podobne sa znížili aj hrúbkové prírastky, ktoré pri strednej hrúbke 27,9 cm dosiahli hodnotu 0,5 cm, resp. 0,3 cm. S ohľadom na menej priaznivé stanovištné podmienky poskytujú tento porast aj nižšiu objemovú produkciu aj objemové prírastky, keďže celková objemová produkcia predstavuje 419,2 m³, kým priemerný objemový prírastok 8,4 m³ a bežný objemový prírastok 6,5 m³ na 1 ha.

Na základe doterajšieho vývoja porastu je reálny predpoklad dosiahnuť strednú hrúbku 35 cm a vypestovať cennejšie sortimenty, a to pri asi 70-ročnej rubnej dobe. Predpokladom je však uskutočniť čo najskôr jeden selektívny prebierkový zásah o intenzite cca 30–35 %, čím sa dosiahne rubný spon 5,8 x 5,8 m až 6,0 x 6,0 m.

Naše výsledky sme porovnávali s výsledkami, ktoré dosiahol Palotás (1973) v podobných stanovištných podmienkach Maďarska. Z toho vyplýva, že výškový rast orecha čierneho bol v oboch prípadoch v podstate rovnaký, kým hrúbkový rast bol tam mierne lepší, a to v priemere o 3–6 %. Podobné výsledky sme dostali aj z porovnania objemovej produkcie a objemových prírastkov, ktoré sa v Maďarsku dosiahli v dôsledku priaznivejších klimatických podmienok.

ZÁVER

Hodnotenie rastu a objemovej produkcie orecha čierneho pestovaného intenzívnym a tradičným spôsobom sa vykonalo na pokusných plochách Boľany, Podunajské Biskupice, Hrable a Horeš v zmenených ekologických podmienkach Potiskej a Podunajskej nížiny. Typologicky patria tieto plochy do HSLT hrabových lužných jasenín. Zrntostne sú charakterizované ľahšími piesočnatými až ťažšími ílovitými pôdami.

Výsledky hodnotenia ukázali, že intenzívnym pestovaním orecha čierneho možno dosiahnuť uspokojivé výsledky tak na suchších, ako aj na ťažších, teda menej vhodných pôdach. Podľa stanovištných podmienok predpokladáme dosiahnuť priemerný ročný objemový prírastok cca 8–10 m³ na 1 ha pri 50–70-ročnej rubnej dobe. Dôležité je však včasnými a správnymi prebierkami vytvárať rubný spon v rozpätí 6 x 6–5,6 x 5,6 m.

Naše výsledky zároveň potvrdili, že orech čierny je perspektívnou drevinou našich nížinných oblastí, ktoré boli v poslednom období negatívne ovplyvnené vodohospodárskymi zásahmi a inými technickými opatreniami. Jeho pestovanie je odôvodnené najmä na tých stanovištiach, ktoré pre zhoršenú vlahovú bilanciю pôdy nie sú vhodné na pestovanie šľachtených topoľov.

Literatúra

- BABOS, I., 1954. Magyarország táji erdőművelésének alapjai. Budapest, Mezőgazdasági Kiadó: 163.
- GARAVEL, I., 1960. Le noyer d'Amerique. Rev. for. franç., 6: 362–373.
- HALAJ, J., 1963. Tabuľky na určovanie hmoty a prírastku porastov. Bratislava, SVPL: 327.
- IHRIG, D. et al., 1952. A hullámtéri fásítás kérdése. Budapest, Mezőgazdasági Kiadó: 59.
- KOHÁN, Š., 1990. Technológia obhospodarovania nížinných lesov vo Východoslovenskom kraji. [Záverečná správa.] Zvolen, VÚLH: 57.

- KOHÁN, Š., 1991. Výsledky pestovania rýchlorastúcich listnatých drevín v meniacich sa hydrologických podmienkach nížinných lesov. Lesn. Čas., 37: 263–274.
- MAGYAR, P., 1960. Alföldfásítás I. Budapest, Akadémiai Kiadó: 575.
- MAGYAR, P., 1961. Alföldfásítás II. Budapest, Akadémiai Kiadó: 622.
- MAJERSZKY, I., 1914. Az amerikai fekete dió (*Juglans nigra* L.). Erdészeti Lapok, 53: 789–792.
- MAJERSZKY, I., 1916. Az ártéri szigeterdők felújításáról. Erdészeti Lapok, 55: 117–120.
- MOTTL, J. – PRUDIC, Z., 1973. Optimální zaměření pěstování lesů v souvislosti s vodohospodárskými úpravami Moravy. Zpr. lesn. výzk., 19, č. 3: 9–13.
- PALOTÁS, F., 1973. Feketedió-allományok fatermése. Erdészeti Kutatások, 69: 191–199.
- POKORNÝ, J. – FÉR, F., 1964. Listnáče lesů a parků. Praha, SZN: 365.
- RÓTH, G., 1953. A magyar erdőművelés különleges feladatai. Budapest, Mezőgazdasági Kiadó: 286.
- SOJÁK, D., 1996. Produkcia dendromasy vybraných ihličnatých a tvrdých listnatých drevín Podunajskej nížiny. Zpr. lesn. výzk., 41, č. 2: 17–22.
- ŠIKA, A., 1964. Pěstování ořešáku černého (*Juglans nigra* L.) na jižní Moravě. Čas. Slez. Muz., Dendrol., 3: 31–42.
- TOKÁR, F., 1984. Štruktúra, produkcia rovnorodých porastov orecha čierneho (*Juglans nigra* L.) v lužných lesoch Hrona. Lesnictví, 30: 993–1000.
- TOKÁR, F., 1986. Nadzemná biomasa nezmiešaného porastu orecha čierneho (*Juglans nigra* L.). Lesnictví, 32: 717–722.
- TOKÁR, F., 1987. Biomasa vybraných cudzokrajných drevín v lesných porastoch juhozápadného Slovenska. Acta dendrol., Bratislava, Veda: 116.
- TÓTH, B. et al., 1972. Szikesek fásítása. Budapest, Akadémiai Kiadó: 206.

Došlo 7. 4. 1998

SOME DATA ON BLACK WALNUT (*JUGLANS NIGRA* L.) STANDS AND THEIR MANAGEMENT IN LOWLAND AREAS OF SLOVAKIA

Š. Kohán

Forestry Research Institute, Research Station, Čárskeho 3, 040 01 Košice

Tree growth and volume production of black walnut were evaluated in stands in which intensive and traditional management systems were applied to experimental plots Boľany, Podunajské Biskupice, Hrable and Horeš situated in lowland areas of Slovakia on unundated alluvia of the rivers Latorica, Tisa, Hron and Dunaj. The intensive management system consisted in stand establishment on plots with broadcast soil preparation and in broadcast soil cultivation performed until

the stand canopy was formed. Silvicultural treatments involved a cleaning and a geometric-selective thinning. The traditional management system consisted in stand establishment by hole planting on plots without broadcast soil preparation, followed by individual plant treatment in the first three years. A cleaning and two thinnings were performed in the successive years.

The results of evaluation of the experimental plots are shown in tables. Tab. I shows basic data and site

conditions. Tab. II informs about changes in tree spacing, number and growth area at the given age: data on mean height and mean diameter, on basal area, standing volume, volume of thinnings and total volume production per 1 ha, and on average and current increments are presented. Tab. III documents distribution of frequency, standing volume and basal area in diameter classes at per cent expression.

Data in Tab. I show that intensively managed stands were established at spacings of 4.0 x 2.0 m and 2.5 x 2.5 m while the spacings of stands under a traditional management system were 2.0 x 1.5 m and 2.5 x 1.5 m. In terms of typology, these plots belong to the management complex of forest types of floodplain hornbeam-ash stands. Soil types involve gley Cambisol, gray calcareous soil and brown calcareous soil. As to texture, light sandy soils, medium-heavy loamy soils, heavy-textured clay-loam to clay soils are represented with slightly acid, neutral or weakly alkaline reactions.

Tab. II indicates that the black walnut stand on Boľany experimental plot with heavy-textured clay-loamy soil, at the age of 40 years under intensive management system consisted of trees with the mean height 22.3 m, mean diameter 25.3 cm and total volume production 367.6 m³ per 1 ha. Average annual volume increment was 10.1 m³ per 1 ha. The black walnut stand on Podunajské Biskupice experimental plot with light sandy soil, at the age of 30 years under intensive management system consisted of trees with the mean height 19.2 m, mean diameter 18.5 cm and total volume production 187.9 m³ per 1 ha. Average annual volume increment was 6.3 m³ while current annual increment

made 10.6 m³ per 1 ha. The respective values for mean height, mean diameter and total volume production for the black walnut stand on Hrable experimental plot with medium-heavy loamy soil at 70 years of age under traditional management system were 28.0 m, 31.2 cm and 638.9 m³ per 1 ha. Average annual volume increment was 9.1 m³ while current annual volume increment was only 3.2 m³ per 1 ha. It is to note that the age of 70 years is considered as a felling age in the given conditions. Horeš experimental plot, situated on heavy-textured clay soil, has adverse physical characteristics. The mean height of black walnut trees at the age of 50 years was 24.3 m, mean diameter 27.9 cm and total volume production amounted to 419.2 m³ per 1 ha on this plot under traditional management system. As a result of less beneficial site conditions, average annual volume increment on this plot was lower, 8.4 m³ per 1 ha, and current annual volume increment was also lower, 6.5 m³ per 1 ha. Tab. III shows that the intensive management system had positive effects on distribution of frequency, standing volume and basal area in diameter classes.

Evaluation of the above data has demonstrated that the intensive management of black walnut stands can provide satisfactory results under less convenient, rather arid conditions as well as on heavy-textured soils. It has also been confirmed that the black walnut is a promising tree species to be grown also in altered ecological conditions of lowland areas of Slovakia. Its planting is reasonable mainly at those sites that are not suitable for planting bred poplars due to a worse moisture balance of soil.

Kontaktná adresa:

Ing. Štefan K o h á n, CSc., Lesnícky výskumný ústav, Výskumná stanica, Čárskeho 3, 040 01 Košice, Slovenská republika

FINANČNÁ OPTIMALIZÁCIA OBHOSPODAROVANIA LESNÉHO MAJETKU V PODMIENKACH RIZIKA NÁHODNÝCH ŤAŽIEB

FINANCIAL OPTIMIZATION OF THE FOREST PROPERTY MANAGEMENT UNDER CONDITIONS OF SALVAGE CUTTINGS RISK

J. Holécy

Technická univerzita, Lesnícka fakulta, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen

ABSTRACT: The paper demonstrates how linear programming technique together with some results provided by the theory of Markov processes can be used to specify the financial optimum pattern of harvests from an irregular forest during the period of its conversion to sustained yield. The deterministic and the stochastic models are compared. Both the models are exercised on the example of possible development of the spruce even-aged forest. The problem of calculation of the present value of the expected net perpetual annual income under conditions of risk is also solved.

linear programming; conversion to sustained yield; Markov processes; risk of salvage cuttings; net perpetual annual income

ABSTRAKT: Článok ukazuje, ako možno využiť techniku lineárneho programovania spolu s niektorými výsledkami teórie Markovových procesov na určenie finančne optimálneho programu ťažby počas obdobia prevodu vekovo nerovnomerne rozdeleného lesného majetku na normálny les. Porovnáva sa deterministický model so stochastickým. Obidva modely sú odskúšané na príklade možného vývoja rovnovekého smrekového lesa. Príspevok rieši aj výpočet súčasnej hodnoty očakávanej trvalej renty ročne v podmienkach rizika.

lineárne programovanie; prevod na normálny les; Markovove procesy; riziko náhodných ťažieb; trvalá renta ročná

ÚVOD

Prinavrátanie užívacieho práva lesov ich pôvodným majiteľom a ich priama privatizácia prostredníctvom reštitúcií po roku 1989 vyvolali zásadné zmeny v ekonomických názoroch na hodnotenie lesov Slovenska. Majiteľ lesa dnes už nie je pasívnym pozorovateľom, prípadne prijímateľom hospodárskych rozhodnutí štátnych orgánov. V konečnom dôsledku o návrhu hospodárskych opatrení v lesnom hospodárskom pláne (LHP) rozhoduje sám. Motiváciou hospodárenia súkromných, ale i štátnych lesných podnikov sa stala maximalizácia výnosov. Osobitným problémom hospodárenia na lesnej pôde dnes je však riziko vzniku náhodnej ťažby. Hoci lesní hospodári v súkromných i štátnych podnikoch musia riešením problémov, ktoré toto riziko vyvoláva, venovať veľa času a energie, jeho finančné dôsledky na hospodárenie im zvereného majetku sa doposiaľ dôsledne neanalyzujú. Cieľom príspevku je návrh a odskúšanie modelu finančnej optimalizácie obhospodarovania lesného majetku s prihliadnutím na riziko vzniku náhodných ťažieb v jednotlivých vekových stupňoch pestovaných porastov.

PROBLEMATIKA FINANČNÝCH ANALÝZ HOSPODÁRENIA NA LESNEJ PÔDE

Metódy finančných analýz hospodárenia na lesnej pôde sa teoreticky vyvíjajú už viac ako 200 rokov. Najväčším prínosom v tomto smere bola práca Faustmanna (1849). Výstižný prehľad týchto metód a zhodnotenie ich významu pre riešenie aktuálnych otázok lesnickej ekonomiky publikoval napr. Kató (1985). Niektoré klasické metódy pri riešení súčasných problémov však už dnes nedávajú vždy v praxi použiteľné výsledky. Informuje o tom napr. Vehkamäki (1990). Napriek týmto skutočnostiam klasické metódy sa pri analýzach hospodárenia podnikov i v oceňovaní lesov naďalej používajú i rozvíjajú. Dôvodom je skutočnosť, že ich výsledky možno vždy jasne a jednoznačne interpretovať. Príkladom sú postupy založené na princípoch Faustmannovho vzorca i Endresových podmienok jeho platnosti, ako ich uvádza Kató (1985). Optimalizujú obhospodarovanie lesa s cieľom maximalizovať súčasnú hodnotu očakávaných výnosov pri určitých daných prírodných i zákonných obmedzeniach. Základný pro-

blém takto chápanej optimalizácie riadenia rubných ťažieb v čase pomocou metód lineárneho programovania vyriešili Nautiyal, Pearse (1967). Systemizáciu používania modelov lineárneho programovania pre tieto účely vykonali Johnson, Scheurman (1977). Túto úlohu rozšírenú o hľadanie optimálnej stratégie ťažieb s ohľadom na súčasnú hodnotu prebierok formuloval tiež Kilki (1985). Všetky tieto modely sú deterministické, a preto ich výsledky možno považovať za spoľahlivé len v podmienkach, kde riziko hospodárenia v lese nie je významné. Na deterministickom prístupe sú tiež založené metódy pre výpočet úradných cien lesnej pôdy uvedených vo Vyhláške Ministerstva financií Slovenskej republiky č. 465/1991 Z. z. Svedčia o tom práce jej navrhovateľov v publikáciách Tutka et al. (1990, 1992).

Riziko náhodných ťažieb je však dnes mimoriadne závažný problém. Autori, ktorí hľadajú jeho riešenie, vychádzajú z kvantifikácie tohoto rizika odhadom pravdepodobnosti vzniku očakávanej náhodnej udalosti a ich využitia pri ocenení očakávaných úžitkov. Teoretickým východiskom je hlavne modelovanie náhodných procesov pomocou Markovových reťazcov, ako ich uvádza napr. Howard (1969). V lesníctve tieto metódy v našich podmienkach použili napr. Koub a (1984) a Priesol, Ngo Khim Khô i (1989). Posledné dve publikácie však nepoužívajú teóriu Markovových reťazcov pre finančnú optimalizáciu obhospodarovania lesov, ale len na predvídanie dôsledkov hospodárenia pri jeho nemenných pravidlách v podmienkach rizika. Otázkam kalkulácie rizika hospodárenia na lesnej pôde sa venujú napr. Van Wag ner (1983) a Gassman (1989). Oba za najväčší rizikový faktor pri hospodárení v lese považujú požiare a obaja modelujú pravdepodobnosť ich rizika exponenciálnym rozdelením pravdepodobnosti.

V našich podmienkach existuje viacero významných rizikových faktorov hospodárenia v lese. Sú to hlavne veterné polomy a vývraty, kôrovcové a iné biologické kalamity a odumieranie porastov v dôsledku toxických priemyselných imisií. Z finančného hľadiska však nie je dôležitý činiteľ, ktorý náhodnú ťažbu spôsobil, ale skutočnosť, že poškodený porast sa v uvažovanom období vyťaží nezrelý a neprodukuje drevnú hmotu až po svojom rubnom veku. Takto kalkuluje riziko produkcie drevnej hmoty Koub a (1984) i iní autori. Pravdepodobnosti, ktoré opisujú riziko vzniku náhodnej ťažby v závislosti od veku porastov, možno získať s využitím výkazov lesnej hospodárskej evidencie a lesného hospodárskeho plánu (LHP), hlavne porovnaním výšky plánovaných obnovných ťažieb so skutočnými, alebo porovnaním plochy holín, ktoré vznikli neplánovanou ťažbou v jednotlivých vekových stupňoch, k celkovej ploche vekových stupňov.

Medzi základné ciele hospodárenia na lesnom majetku patria:

- dosiahnutie neprerušiteľnosti a vyrovnanosti produkcie dreva, t.j. modelu tzv. „normálneho“ lesa,
- taký program ťažieb, ktorý pri dodržaní všetkých zákonných obmedzení výšky decenálnych ťažieb a zaľesňovacích povinností zabezpečí majiteľovi maximálny očakávaný výnos.

Dosiahnutie prvého z týchto cieľov v súčasnosti ohrozuje najmä vysoké percento podielu predčasných náhodných ťažieb dreva. Koub a (1984) zistil, že pomocou známej matice pravdepodobností prechodov porastov z nižších vekových stupňov do vyšších P je možné vypočítať stacionárny vektor limitných pravdepodobností rozdelenia plôch jednotlivých vekových stupňov. Tento vektor, ktorý nezávisí od ich počiatočného rozdelenia na celkovej ploche lesného majetku, je určený vzťahom:

$$\bar{a} \cdot P = \bar{a} \quad (1)$$

Uvedené platí pre stacionárny proces, ktorý sa opakuje trvale až do nekonečna. Zároveň platí, že dosiahnuť rovnomerné zastúpenie plôch jednotlivých vekových stupňov (alebo vekových tried) je v podmienkach rizika prakticky nemožné.

Problémom dosiahnutia druhého uvedeného cieľa sa už zaoberalo mnoho autorov. Dôsledne ho vyriešili už spomenutým modelom Nautiyal, Pearse (1967). Optimalizuje prevod súboru niekoľkých rovnovekých, ale rôzne starých porastov na normálny les. Stručne formuloval ho možno nasledovne:

1. O vekových stupňoch musí platiť

$$\sum_{j=1}^{m+i-1} x_j - \sum_{k=1}^{p-1} x_{k+i,k} = 0 \quad \text{pre } i = 1, \dots, p-n \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{m+i-1} x_j - \sum_{k=1}^{p-1} x_{k+i,k} = \frac{A}{n} \quad \text{pre } i = p-n+1, \dots, p-1 \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^{m+i-1} x_j = \frac{A}{n} \quad \text{pre } i = p \quad (4)$$

2. O plochách vyťažených z počiatočných vekových stupňov musí platiť

$$\sum_{k=1}^p x_{k,k+i-1} = A_i \quad \text{pre } i = 1, \dots, m \quad (5)$$

pretože porasty, ktoré sú na konci prevodu staršie ako rubná doba, musia byť úplne vyťažené.

kde: \bar{a} – limitný stacionárny vektor stavov matice P ,
 V – diagonálna matica, kde na diagonále sú zásoby drevnej hmoty na 1 ha v uvažovaných vekových triedach,
 $p^{(1)}$ – prvý riadkový vektor matice P (vektor rizik).

2. Z ekologických dôvodov sme vylúčili možnosť obnovnej ťažby v porastoch mladších ako 40 rokov. Všetky x_{i1} a x_{i2} sme postavili rovné 0 a vynechali zo sústav rovníc obidvoch modelov.

Zostavenú úlohu podľa klasifikácie, ktorú uvádzajú Johnson, Scheurman (1977), možno preto klasifikovať ako model typu II.

VSTUPNÉ ÚDAJE PRE MODEL Y A ICH ÚPRAVA

Pre odskúšanie obidvoch typov modelov sme použili údaje LHP pre Lesný hospodársky celok (LHC) Hriňová (1984). Pre zložitosť konštrukcie obidvoch modelov sme optimalizovali len hospodárenie na ploche porastov smreka obyčajného o celkovej výmere $A = 2\,411,35$ ha. Súčasnú zastúpenosť plôch vekových tried tejto dreveniny na ploche LHC Hriňová je uvedené v tab. I.

Zásoby drevnej hmoty na 1 ha v jednotlivých vekových triedach rešpektujú existujúce zakmenenie smreka v prírodných podmienkach LHC Hriňová. Výšky zásob drevnej hmoty na 1 ha tejto dreveniny sú uvedené v poslednom riadku tab. I.

Zásoby na 1 ha vo vyšších vekových triedach, ako je 8. trieda, sme odhadli pomocou Gompertzovej krivky:

$$Y = e^{a-bc^x} \quad (10)$$

kde x je číslo vekovej triedy. Funkciu krivky sme získali vyrovnaním údajov v tab. I metódou najmenších štvorcov. V našom prípade má tvar:

$$Y = e^{6,68302481 - 6,44421701 \cdot 0,53005157^x}$$

Využili sme však len hodnoty tejto krivky pre 9. až 11. vekovú triedu. Pre ďalšie vekové triedy sme uvažovali už len konštantnú hodnotu zásoby ($799 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$). Vychádzali sme z predpokladu, že na ploche, kde sa neuskutočnila obnovená ťažba už viac ako 200 rokov, bude zastúpených už len málo stromov z pôvodného zalesnenia. Na druhej strane však možno očakávať, že vplyvom prirodzeného zmladenia i odumierania prestarých jedincov sa vytvorí niekoľko etáží a veková štruktúra takéhoto porastu sa bude približovať k štruktúre prírodného, resp. výberkového lesa.

Vyrovnanú hodnotu zásoby možno pre naplnenie modelu doporučiť aj v prípade, ak plocha niektorého uvažovaného nižšieho vekového stupňa alebo triedy nemá v súčasnosti na ploche lesného majetku (LHC) žiadne zastúpenie.

Výšku dvadsaťročného etátu pre hmotné obmedzenia ťažby v deterministickej úlohe sme určili ako zásobu poslednej vekovej triedy v normálnom lese:

$$E_{nD} = \frac{A}{n} \cdot w_n = \frac{2\,411,35 \text{ ha}}{5} \cdot 637 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} = 307\,161 \text{ m}^3$$

Dvadsaťročný etát na ten istý účel pre stochastickú úlohu sme stanovili s využitím matice pravdepodobností prechodu porastov z nižšej vekovej triedy do vyššej – P . Tento dôležitý vstupný údaj sme prebrali z publikácie Priesol, Ngo Khim Khôï (1989) s dovolením autorov. Matica bola zostavená pre ihličnaté porasty Školského lesného podniku Technickej univerzity vo Zvolene, ktorý hospodári vo veľmi podobných pôdnych i klimatických podmienkach, ako sú na území LHC Hriňová. Matica prechodu P má pri zvolenej rubnej dobe 100 rokov tento tvar:

| Veková trieda | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | | 1,000000 | | | |
| 2 | | | 1,000000 | | |
| 3 | 0,119425 | | | 0,880575 | |
| 4 | 0,073900 | | | | 0,926100 |
| 5 | 1,000000 | | | | |

Všetky ostatné prvky matice sú rovné 0. Tejto matici zodpovedá limitný vektor \bar{a} :

$$\bar{a} = [0,2129, 0,2129, 0,2129, 0,1875, 0,1736]$$

Dvadsaťročný etát pre stochastickú úlohu sme potom stanovili podľa vzťahu (9):

$$E_n = [0,2129, 0,2129, 0,2129, 0,1875, 0,1736]$$

$$\begin{vmatrix} 16 & & & & & & & & 0 \\ & 149 & & & & & & & 0 \\ & & 319 & & & & & & 0,1194 \\ & & & 489 & & & & & 0,0739 \\ & & & & 637 & & & & 1 \end{vmatrix}$$

$$E_n = 302\,503 \text{ m}^3$$

I. Zastúpenie plôch vekových tried smreka na ploche LHC Hriňová – Areas of stand age classes in the territory of the FMU Hriňová

| Veková trieda ¹ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|--------|--------|-------|--------|--------|--------|------|------|
| Plocha ² (ha) | 501,38 | 273,71 | 310,2 | 777,96 | 375,69 | 144,18 | 18,5 | 9,73 |
| Zásoba ³ ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) | 16 | 149 | 319 | 489 | 637 | 741 | 781 | 788 |

¹age class, ²area, ³growing stock

Pre smrekové porasty sme zvolili rubnú dobu $n.u = 100$ rokov, kde $u = 20$ rokov a $n = 5$. Obdobie prevodu však voliť nebolo možné. Bolo potrebné ho hľadať. Jeho počiatočnú hodnotu $p = 5$ dvadsaťročí sme postupne zvyšovali, až kým sme nenašli prípustné riešenie úlohy. Deterministická úloha prvý raz mala riešenie pri dobe prevodu $p = 14$, t.j. 280 rokov. Pri stochastickej úlohe sme našli riešenie podstatne skôr, pri hodnote $p = 8$, t.j. 160 rokov.

FORMULÁCIA OPTIMALIZAČNÝCH ÚLOH A ICH RIEŠENIE

Formulácia deterministickej úlohy nepredstavovala problém. Vykonalí sme ju podľa vzťahov (2) až (6).

Stochastickú úlohu sme sformulovali ako kombináciu pravdepodobnostného modelu vývoja lesa reprezentovaného redukovanou maticou **P** a stavovou rovnicou (8). Plochy, ktoré prechádzali z nižších vekových tried do vyšších, sme násobili pravdepodobnosťami ich prechodu z matice **P**. Účelovú funkciu sme skonštruovali pre obidve optimalizačné úlohy tú istú. Tento prístup umožnil porovnať deterministickú úlohu so stochastickou. Ceny dreva na pni sme zistili ocenením zásob smrekových porastov LHC Hriňová podľa Vyhlášky č. 465/1991 Z. z. Koeficienty účelových funkcií sme získali podľa známeho vzťahu

$$f_{ij} = d_i (w_j - c)$$

kde: f_{ij} – súčasná hodnota očakávaného výnosu pri vyťažení 1 ha j -tej vekovej triedy v i -tom dvadsaťročí,

w_j – hodnota zásoby na 1 ha v j -tej vekovej triede.

c – náklad na zalesnenie hneď po ťažbe (zvolili sme paušálne 10 000 Sk.ha⁻¹),

d_i – diskontný faktor pre i -te dvadsaťročie.

Diskontovanie sme vykonali pri úrokovej miere $r = 0,03$. V tejto výške ju pre lesnícke projekty na území Slovenska navrhujú používať Tutka et al. (1992). Pre vysoký počet štruktúrnych premenných (175 v deterministickom modeli a 41 v stochastickom modeli) koeficienty účelových funkcií tu neuvádzame. Úplné formulácie obidvoch modelov a výsledky ich riešenia sú uvedené v publikácii Holécy et al. (1993).

Riešenie obidvoch úloh sme uskutočnili na PC s využitím balíka programov PC PROG firmy Kavelagen (z Holandska).

VÝSLEDKY RIEŠENIA MODELOV

Hodnoty štruktúrnych premenných x_{ij} v obidvoch úlohách informujú o postupoch plánovanej ťažby v jednotlivých dvadsaťročiach prevodu, ktoré sú z finančného hľadiska najvýhodnejšie. Účelové funkcie obidvoch úloh informujú o maximálnej výške ČSH obidvoch projektov úmyselnej ťažby dreva.

Deterministický model obsahuje 36 obmedzení (plochových aj hmotových) a 112 premenných. Výsledky jeho riešenia sú uvedené v tab. II.

Stochastický model obsahuje 24 obmedzení a 41 premenných a výsledky jeho riešenia sú uvedené v tab. III.

II. Štruktúrne premenné x_{ij} a hodnota účelovej funkcie Z^*_{MAX} v optimálnom riešení deterministického modelu prevodu smrekových porastov LHC Hriňová na normálny les – Structural variables x_{ij} and value of the objective function Z^*_{MAX} at the optimum solution of the deterministic model for conversion of spruce stands within the FMU Hriňová to fully regulated forest

| Deterministický model ¹ | | | | | | | | |
|--|---|---|--------|--------|--------|--------|-------|------|
| i \ j | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | | | | | 279,02 | 144,18 | 18,50 | 9,73 |
| 2 | | | | | 369,23 | 96,67 | | |
| 3 | | | | | 4,75 | 408,73 | | |
| 4 | | | | | 125,38 | 305,45 | | |
| 5 | | | | | 308,89 | 148,33 | | |
| 6 | | | | | 257,31 | 192,49 | | |
| 7 | | | 0,35 | | 255,23 | 194,12 | | |
| 8 | | | | 430,48 | 413,48 | 210,67 | | |
| 9 | | | | 457,22 | | | | |
| 10 | | | 449,35 | 449,80 | | | | |
| 11 | | | 572,42 | | | | | |
| 12 | | | 482,20 | | | | | |
| 13 | | | 24,98 | 457,22 | | | | |
| 14 | | | 90,22 | 391,98 | | | | |
| Všetky ostatné ² $x_{ij} = 0$ | | | | | | | | |
| $Z^*_{MAX} = 288\ 106\ 821\ \text{Sk}$ | | | | | | | | |

¹deterministic model, ²all other

III. Štruktúrne premenné x_{ij} a hodnota účelovej funkcie Z^*_{MAX} v optimálnom riešení stochastického modelu prevodu smrekových porastov LHC Hriňová na normálny les – Structural variables x_{ij} and value of the objective function Z^*_{MAX} at the optimum solution of the stochastic model for conversion of spruce stands within the FMU Hriňová to fully regulated forest

| Stochastický model ¹ | | | | | | | | |
|---------------------------------|---|---|--------|--------|--------|--------|--------|------|
| i \ j | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | | | | 38,23 | 154,92 | 124,86 | 18,15 | 9,73 |
| 2 | | | 90,76 | | 320,13 | | | |
| 3 | | | | | 162,95 | | 168,74 | |
| 4 | | | 127,23 | | | | 272,83 | |
| 5 | | | 360,75 | | | 89,34 | 62,84 | |
| 6 | | | 127,34 | | 97,02 | 147,23 | 23,47 | |
| 7 | | | | 228,92 | | | 182,09 | |
| 8 | | | 117,54 | | 43,75 | 83,69 | 158,68 | |

Všetky ostatné² $x_{ij} = 0$
 $Z^*_{MAX} = 215\,354\,424$ Sk

¹stochastic model, ²all other

Okrem výstupných zostáv riešení obidvoch optimalizačných úloh sú pre ich porovnanie potrebné aj údaje o výškach očakávaných náhodných ťažieb pri stochastickej úlohe a ich ČSH. Výšky náhodných ťažieb sme vypočítali z matematickej formulácie sústavy rovníc stochastickej úlohy. Výšky náhodných ťažieb sú v nej implicitne zadané. Je to súčin plochy porastov, ktoré neprejdú do nasledujúcej vekovej triedy, a zásoby na 1 ha v tejto triede. V tab. IV sú očakávané výšky náhodných ťažieb v jednotlivých dvadsaťročných prevodu. Prvé číslo v prvom riadku každého políčka je zásoba na 1 ha v j -tej vekovej triede. Druhé číslo v prvom riadku je plocha očakávanej náhodnej ťažby v j -tej vekovej triede

majetku počas i -teho dvadsaťročia obdobia prevodu. Číslo v druhom riadku každého políčka je ich súčin. V poslednom stĺpci tab. IV sú súčty náhodných ťažieb NT_{ij} v m^3 v i -tom dvadsaťročí prevodu. Údaje v tab. IV sme použili pre zníženie hmotových obmedzení (normálneho normovaného etátu) ťažby v jednotlivých dvadsaťročných prevodu. V tab. V je ČSH očakávaných náhodných ťažieb počas obdobia prevodu lesného majetku na normálny les. Všeobecne je možné túto veličinu určiť podľa vzťahu:

$$CSH_{NT} = \sum_{i=1}^p \sum_{j=3}^m \frac{NT_{ij} (w_j - c)}{(1+r)^{20i-10}} \quad (11)$$

IV. Výšky očakávaných náhodných ťažieb počas jednotlivých dvadsaťročí prevodu smrekových porastov LHC Hriňová na normálny les – Volumes of expected salvage cuttings during the particular two decades during the period of conversion of spruce stands within the FMU Hriňová to fully regulated forest

| Veková trieda ¹ | 3 | 4 | 5 | 6 | ΣNT_{ij} (m^3) |
|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|
| 20-ročie ² | | | | | |
| 1. | 319 . 37,04 11 816 | 489 . 57,49 28 113 | 637 . 25,92 16 511 | 741 . 19,32 14 316 | 70 756 |
| 2. | 319 . 32,68 10 425 | 489 . 20,19 9 873 | 637 . 49,71 31 665 | 741 . 46,87 34 731 | 86 694 |
| 3. | 319 . 59,86 19 095 | 489 . 17,81 8 709 | 637 . 17,45 11 116 | 741 . 89,88 66 601 | 105 521 |
| 4. | 319 . 20,02 6 386 | 489 . 32,63 15 956 | 637 . 15,40 9 810 | 741 . 31,56 23 386 | 55 538 |
| 5. | 319 . 17,84 5 691 | 489 . 10,91 5 335 | 637 . 28,21 17 970 | 741 . 27,74 20 555 | 49 551 |
| 6. | 319 . 22,09 7 047 | 489 . 9,73 4 758 | 637 . 9,43 6 007 | 741 . 50,96 37 761 | 55 573 |
| 7. | 319 . 11,89 3 793 | 489 . 12,04 5 888 | 637 . 8,41 5 357 | 741 . 17,06 12 641 | 27 679 |
| 8. | 319 . 10,08 3 216 | 489 . 6,49 3 174 | 637 . 10,41 6 631 | 741 . 15,20 11 263 | 24 284 |

¹age class, ²two-decade period

V. Výpočet ČSH očakávaných náhodných ťažieb smreka na LHC Hriňová počas obdobia jeho prevodu na normálny les. ČSH náhodnej ťažby očakávanej v i -tom dvadsaťročí z j -tej vekovej triedy je uvedený v poslednom riadku každého políčka – Calculation of the NPV of expected salvage cuttings of spruce stands within FMU Hriňová. The NPV of salvage cuttings expected in the i -th two decades period from the j -th age class is presented in the last row of each cell

| Veková trieda ¹ 20-ročie ² | 3 | 4 | 5 | 6 | ΣN_{ij} (Sk) |
|---|--|---|---|---|--------------------------------------|
| 1. | 74 225 232,65 . 11 816 2 749 347 | 154 893 316,75 . 28 113 8 904 793 | 247 308 388,24 . 16 511 6 410 231 | 328 696 443,58 . 14 316 6 350 291 | 24 414 662 |
| 2. | 41 097 128,83 . 10 425 1 343 053 | 85 760 175,38 . 9 873 1 731 524 | 136 928 214,96 . 31 665 6 806 708 | 181 991 245,60 . 34 731 8 529 934 | 18 411 221 |
| 3. | 22 754 71,33 . 19 095 1 362 046 | 47 483 97,10 . 8 709 845 644 | 75 814 119,02 . 11 116 1 323 026 | 100 764 135,98 . 66 601 9 056 404 | 12 587 120 |
| 4. | 12 529 39,49 . 6 386 252 183 | 26 290 53,76 . 15 956 857 795 | 41 976 65,90 . 9 810 646 479 | 55 790 75,29 . 23 386 1 760 732 | 3 517 189 |
| 5. | 6 975 21,87 . 5 691 124 462 | 14 566 29,78 . 5 335 158 876 | 23 241 36,48 . 17 970 655 546 | 30 890 41,69 . 20 555 856 938 | 1 795 822 |
| 6. | 4 249 13,32 . 7 047 93 866 | 8 447 17,27 . 4 758 82 171 | 13 225 20,76 . 6 007 124 705 | 17 490 23,60 . 37 761 891 160 | 1 191 902 |
| 7. | 2 352 7,37 . 3 793 27 954 | 4 677 9,56 . 5 388 56 289 | 7 339 11,52 . 5 357 61 713 | 9 684 11,72 . 12 641 148 153 | 294 109 |
| 8. | 1 303 4,08 . 3 216 13 121 | 2 589 5,29 . 3 174 16 790 | 4 063 6,38 . 6 631 42 306 | 5 362 7,24 . 11 263 81 544 | 153 762 |
| | | | | | $S = \text{ČSH}_{NT} = 62\,365\,787$ |

For 1–2 see Tab. IV

kde: p – uvažovaný počet dvadsaťročí prevodu (8),
 m – počet existujúcich vekových tried na ploche lesného majetku,
 r – úroková miera ($r = 0,03$),
 w_j – cena dreva na pni na 1 ha porastov j -tej vekovej triedy,
 c – náklady na zalesnenie 1 ha vzniknutej holiny (10 000 Sk),
 NT_{ij} – plocha očakávanej náhodnej ťažby v i -tom dvadsaťročí z j -tej vekovej triedy (ha).

Veličinu ČSH_{NT} je však možné vypočítať aj postupom, ktorý používa hodnotu čistého diskontovaného výnosu z predaja 1 m³ dreva na pni v j -tej vekovej triede, tak ako je to uvedené v tab. V. Pod čistým diskontovaným výnosom rozumieme cenu 1 m³ zníženú o podiel nákladov na zalesnenie po ťažbe, diskontovanú k počiatku projektu prevodu.

V prvom riadku každého políčka tab. V sú hodnoty výnosov ($w_j - c$) diskontované 3% diskontnou mierou k začiatku prevodu. V druhom riadku sú súčiny hodnôt 1 m³ dreva na pni diskontované k začiatku obdobia prevodu s výškami očakávaných náhodných ťažieb N_{ij} . V treťom riadku sú hodnoty týchto súčinov, t.j. súčasná hodnota očakávaných výnosov NT_{ij} . V poslednom stĺpci

tabuľky sú súčasné hodnoty výnosov z očakávaných náhodných ťažieb počas i -teho dvadsaťročia prevodu. ČSH očakávaných náhodných ťažieb počas obdobia prevodu určená optimálnym riešením stochastického modelu je v poslednom riadku tabuľky.

Údaj o čistom výnose z predaja 1 m³ dreva na pni uvádzame z toho dôvodu, že je tiež dôležitou informáciou pre rozhodovanie.

Existujúce rozdiely medzi hodnotami súčinnov čísel v tab. V a súčasnými hodnotami náhodných ťažieb vypočítanými podľa vzťahu (11) sú spôsobené len zaokrúhľovaním vstupných údajov pre výpočet podľa vzťahu (11).

INTERPRETÁCIA VÝSLEDKOV RIEŠENIA

Podľa výstupných zostáv riešení optimalizačných úloh a výpočtu očakávanej výšky náhodných ťažieb sú získané výsledky zhrnuté v tab. VI. Sú v nej uvedené súčasné hodnoty očakávaných maximálnych možných výnosov z projektu prevodu majetku na normálny les,

VI. Maximálne očakávané výnosy projektu prevodu smrekových porastov LHC Hriňová na normálny les – Maximum expected revenues induced by the project of conversion of spruce stands within the FMU Hriňová to fully regulated forest

| Typ úlohy ¹ | ČSH _{Z*} (Sk) | ČSH _{NT} (Sk) | ČSH _p (Sk) |
|--|------------------------|------------------------|-----------------------|
| Deterministická optimalizácia ² | 288 106 821 | 0 | 288 106 821 |
| Stochastická optimalizácia ³ | 215 354 424 | 62 365 787 | 277 720 211 |

¹type of problem, ²deterministic optimization, ³stochastic optimization

kde: ČSH_{Z*} – hodnota účelovej funkcie modelu, t.j. čistá súčasná hodnota plánovaných rubných ťažieb,
 ČSH_{NT} – čistá súčasná hodnota očakávaných náhodných ťažieb,
 ČSH_p – čistá súčasná hodnota celého projektu prevodu.

S využitím získaných údajov možno lesný majetok aj oceniť. Pre tento účel možno navrhnúť vzťah:

$$W = \text{ČSH}_{Z*} + \text{ČSH}_{NT} + \frac{1}{(1+r)^{pu}} \cdot K \quad (12)$$

kde: W – výnosová hodnota lesného majetku,
 p – obdobie prevodu potrebné na zmenu lesného majetku na normálny les (počet dvadsaťročí),
 u – 20 rokov (dĺžka vekovej triedy),
 K – kapitalizovaná hodnota trvalej renty ročnej, ktorá začne plynúť z normálneho lesa po období prevodu.

Pre deterministický model o tejto veličine (K_D) platí:

$$K_D = \frac{A_n (w_n - c)}{r} \quad (13)$$

kde: n – počet vekových tried na lesnom majetku po dosiahnutí normality,
 A_n – plocha poslednej vekovej triedy po dosiahnutí normality,
 w_n – cena dreva na pni 1 ha n -tej vekovej triedy (poslednej),
 c – náklad na zalesnenie 1 ha pôdy,
 u – počet rokov vo vekovej triede ($u = 20$),
 r – použitá úroková miera ($r = 0,03$).

Kapitalizovaná (súčasná) hodnota trvalej renty ročnej je v prípade deterministického prístupu rovná hodnote

$$K_D = 266\,990\,381 \text{ Sk.}$$

Výpočet kapitalizovanej očakávanej trvalej renty ročnej pri uvažovanom stochastickom vývoji lesa je potrebné vykonať s využitím prvkov vektora \bar{a} . Po dosiahnutí normality sa zrejme budú ťažiť v priebehu každého dvadsaťročia trvale až do nekonečna vplyvom náhodných faktorov porasty, ktorých plocha nedosiahne nasledujúcu vekovú triedu. Dvadsaťročný výnos z ťažby preto možno opísať ako súčet očakávaných výnosov

z jednotlivých vekových tried. Súčasnú hodnotu trvalej renty ročnej K_x pri známych očakávaných pravdepodobnostiach výskytu náhodných ťažieb v jednotlivých vekových triedach preto možno vypočítať nasledovne:

$$K_x = \frac{\sum_{i=1}^m A(a_i + a_{i+1}) \cdot (w_i - c)}{u \cdot r} \quad (14)$$

kde: A – celá plocha porastov smreka na lesnom majetku,
 m – rozmer matice pravdepodobnosti prechodov P (počet vekových tried po dosiahnutí normality),
 a_i – i -ty prvok vektora limitných pravdepodobností \bar{a} rozdelenia plôch jednotlivých vekových tried na ploche A , teda $a_{m+1} = 0$,
 w_i – cena dreva na pni v i -tej vekovej triede.

Ostatné symboly sú rovnaké ako vo vzťahu (13).

V prípade stochastického prístupu potom výška očakávanej trvalej renty ročnej, počítaná navrhnutým postupom, je rovná hodnote

$$K_x = 253\,657\,430 \text{ Sk.}$$

Porovnanie ceny lesného majetku pri použití deterministického a stochastického modelu je prehľadne znázornené v tab. VII.

Rozdiel v uvedených kapitálových cenách lesného majetku pri použití deterministického a stochastického modelu prevodu porastov na normálny les (ΔW) informuje o vplyve výskytu náhodných ťažieb na finančnú efektívnosť projektu prevodu.

$$\Delta W = 288\,174\,753 \text{ Sk} - 279\,960\,439 \text{ Sk} = 8\,214\,314 \text{ Sk}$$

Tento rozdiel možno považovať za ekonomickú stratu, ktorú hospodárstvu na lesnom majetku spôsobuje riziko výskytu náhodných ťažieb.

Zaujímavé poznatky môže priniesť aj analýza duálnych cien. Pri plochových obmedzeniach, ktoré sú splnené ako rovnice, možno význam hodnôt duálnych cien zhodnotiť po zistení ich fyzického rozmeru:

VII. Porovnanie ocenenia lesného majetku smrekových porastov LHC Hriňová deterministickým a stochastickým modelom – Comparison of the valuation of spruce stand forest property in Hriňová FMU using deterministic and stochastic models

| Model ¹ | Z' _{MAX} (Sk) | ČSH _{NT} (Sk) | $K \cdot [1/(1+0,03)^{pu}]$ (Sk) | W (Sk) |
|--|------------------------|------------------------|----------------------------------|-------------|
| Deterministická optimalizácia ² | 288 106 821 | 0 | 67 932 | 288 174 753 |
| Stochastická optimalizácia ³ | 215 354 424 | 62 365 787 | 2 240 228 | 279 960 439 |

¹model, ²deterministic optimization, ³stochastic optimization

$$\dim [u_i] = \frac{\dim [f_{ij}]}{\dim [a_{ij}]} = Sk \cdot ha^{-1} \cdot d_i \quad (15)$$

Duálne ceny plochových obmedzení informujú o súčasnej hodnote výnosov, prípadne strát, ktoré vyplývajú z prísneho dodržania plochy jednotlivých vekových tried počas obdobia prevodu.

Pri hmotových obmedzeniach je možné význam duálnych cien interpretovať podobným spôsobom. O ich rozmere platí:

$$\dim [u_i] = \frac{\dim [f_{ij}]}{\dim [a_{ij}]} = Sk \cdot m^{-3} \cdot d_i \quad (16)$$

Informujú o súčasnej hodnote výnosov, ktoré majiteľ lesného majetku môže získať za každý 1 m³ prekročenia dvadsaťročného etátu.

DISKUSIA K VÝSLEDKOM A MOŽNOSTIAM POUŽÍVANIA MODELOV

Z výsledkov je zjavné, že výnosová hodnota lesného majetku je vyššia pri použití deterministického modelu. Výsledky sú v rozpore s predpokladom, že pri použití stochastického modelu by mala byť hodnota lesného majetku vyššia, pretože vplyvom náhodných ťažieb sa urýchlí návrat z vložených investícií. Získané výsledky podľa nás možno vysvetliť tým, že:

1. ceny prestarnutých porastov v deterministickom modeli, použité pre ich ocenenie v účelovej funkcii podľa vyhlášky, sú pravdepodobne oveľa vyššie ako ich skutočná hodnota,

2. do úvahy treba brať aj fakt, že normovaný dvadsaťročný etát, počítaný podľa Koubovej teórie zo vzťahu (9), je o niečo nižší ako ten istý etát, počítaný klasickým deterministickým spôsobom.

Tak deterministická, ako aj stochastická úloha boli konštruované pri absencii výnosov z prebierok, t.j. za predpokladu, že výnosy z predrubných ťažieb plne pokrývajú správne náklady obhospodarovania. Priame náklady zalesňovania 1 ha pôdy (10 000 Sk) boli odhadnuté na úrovni nákladov z roku 1990. Dôvodom bola skutočnosť, že aj ceny dreva na pni, ktoré sme prebrali z vyhlášky č. 465/1991 Z. z., boli počítané z nákladov a cien guľatiny v tomto období.

Vstupné údaje však možno rozšíriť o percentá prebierok pre všetky plochy, ktoré prechádzajú v jednotlivých dvadsaťročiach do vyšších vekových tried (podľa optimálneho riešenia úlohy). Diskontovanú hodnotu výnosov z prebierok potom možno pripočítať k hodnote účelovej funkcie optimálneho riešenia.

Z výsledkov tiež vyplýva, že vyrovnanosť ťažieb či „normalitu hospodárenia“ na lesnom majetku je možné dosiahnuť podstatne skôr použitím stochastického modelu (až o 120 rokov). Deterministický model je zrejme aj z tohoto pohľadu nereálny.

Z hľadiska praktického používania oboch modelov je pozoruhodná skutočnosť, že stochastický model

má oveľa menšie rozmery ako jeho deterministický variant. Stochastický variant však vyžaduje oveľa vyššie nároky pre spracovanie vstupných dát.

Literatúra

- FAUSTMANN, M., 1849. Berechnung des Wertes welchen Waldboden sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirtschaftbesitzen. Allg. Forst- Jagdztg, 15: 112–129.
- GASSMAN, H. I., 1989. Optimal Harvest of a Forest in the Presence of Uncertainty. Can. J. For. Res., 19: 1267–1274.
- HOLÉCY, J. – MAKOVÁ, L. – ROŠKO, A., 1993. Oceňovanie funkcií lesných ekosystémov. AL-II-03/04 [Záverčná správa výskumného projektu.] Zvolen, TU: 62.
- HOWARD, R. A., 1969. Dynamic Programming and Markov Processes. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts: 136.
- JOHNSON, K. J. – SCHEURMAN, H. L., 1977. Techniques for Prescribing Optimal Timber Harvest and Investment under Different Objectives – Discussion and Synthesis. Society of American Foresters, Forest Science Monograph, 18, Washington, D.C.: 31.
- KATÓ, F., 1985. Aufgaben und Probleme der Waldbewertung in Theorie und Praxis. Allg. Forstz., 40: 510–515.
- KILKKI, P., 1985. Timber Management Planning. Silva Carelica, 5, University of Joensuu, Joensuu: 160.
- KOUBA, J., 1984. Teorie normálního lesa na základě náhodných procesů. Lesnictví, 29: 915–930.
- NAUTIYAL, J. C. – PEARSE, P. H., 1967. Optimizing the Conversion to Sustained Yield – A Programming Solution. Forest Sci., 13: 131–139.
- PRIESOL, A. – NGO KIM KHÔI, 1989. Regulácia výšky ťažby dreva podľa základných ťažbových ukazovateľov a počtu pravdepodobnosti. [Záverčná správa výskumu.] Zvolen, VŠLD: 122.
- TUTKA, J. – LINDEROVÁ, R. – HATJAR, S. – ĐURKOVIČ, J., 1990. Návrh na oceňovanie lesnej pôdy. [Záverčná správa výskumu.] Zvolen, Lesnícky výskumný ústav: 21.
- TUTKA, J. – HLADÍK, M. – LINDEROVÁ, R. – ĐURKOVIČ, J., 1992. Oceňovanie lesov. Zvolen, Ústav pre výchovu a vzdelávanie pracovníkov lesného a vodného hospodárstva: 215.
- VAN WAGNER, C. E., 1983. Simulating the effect of forest fire on long-term annual timber supply. Can. J. For. Res., 13: 451–457.
- VEHKAMÄKI, S., 1990. Woodlot Price Formation in the Early 1980s. Acta for. fen., The Society of Forestry in Finland, Helsinki: 32.
- Lesný hospodársky plán pre LHC Hriňová. Lesprojekt Zvolen, 1984.
- Vyhláška Ministerstva financií Slovenskej republiky č. 465/1991 Z. z. o cenách stavieb, pozemkov, trvalých porastov, úhradách za zriadenie práva osobného užívania pozemkov a náhradách za dočasné užívanie pozemkov.

Došlo 4. 12. 1997

FINANCIAL OPTIMIZATION OF THE FOREST PROPERTY MANAGEMENT UNDER CONDITIONS OF SALVAGE CUTTINGS RISK

J. Holécý

Technical University, Faculty of Forestry, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen

The optimization is based on the linear programming model that proposes such a procedure of harvests which maximizes the present value of net benefits from fellings during the period of conversion of the stands of forest property to the fully regulated forest. This model was published by Nautiyal, Pearse (1967), and does not take into account the risk of salvage cuttings which can occur under the influence of natural elements or as the impact of various kinds of industrial immissions. For the purposes of modelling the mentioned risk we used the matrix of transition probabilities (**P**) for transitions of particular even-aged stands from lower age classes to higher ones as it was formulated using the theory of Markov processes by Kouba (1983). By adding this matrix to the original deterministic model we obtained a stochastic dynamic model that can be applied to forecasting the influence of salvage cuttings on profitability concerning the whole project of conversion. To compare the results obtained by both deterministic and stochastic models, coefficients in both objective functions are the same. These coefficients consist of discounted stumpage prices within the particular age classes expressed in (Sk.ha⁻¹) reduced by direct cost of afforestation induced by planned fellings. Areas of expected salvage cuttings in the stochastic model are given implicitly. We obtained them by simple introducing the structural variables of the optimal solution into area constraints which concern future harvests. Both models are exercised on the example of spruce stands belonging to forest management unit (FMU) Hriňová. The rotation period of 100 years was used. But the length of conversion period (*p*) had to be sought till the feasible solution of the model was found. The deterministic model approaches the first feasible solution when the conversion period *p* = 280 years.

The stochastic model approaches the feasible solution at the value of *p* = 160 years. Both these models were solved on PC using PC PROG package of the Kavelagen Co. (The Netherlands). The results can be presented as follows:

| Model | Z _{MAX} (Sk) | NPV _{sc} (Sk) | K _s [1/(1+r) ^p] (Sk) | W (Sk) |
|---------------|--------------------------|---------------------------|--|-------------|
| Deterministic | 288 105 821 | 0 | 67 932 | 288 174 753 |
| Stochastic | 215 354 424 | 62 365 787 | 2 240 228 | 279 960 439 |

The capital value of the forest property in FMU Hriňová (*W*) is equal to the sum of the maximum value of objective function (Z*_{MAX}), net present value of salvage cuttings (NPV_{sc}) and present value of the net perpetual annual income (*K*) which is to occur after the conversion of spruce stands to fully regulated forest. The discount rate *r* = 0.03 was used. The value *K* for stochastic model of forest property development (*K_s*) was calculated from the formula:

$$K_s = \frac{\sum_{i=1}^m A(a_i + a_{i+1}) \cdot (w_i - c)}{u \cdot r}$$

It is the product of the whole area of forest property (*A*) and elements of the vector \bar{a} which describe steady-state probabilities of the expected forest property development process (*a_{m+1}* = 0). These probabilities are multiplied by stumpage price of the particular age classes (*w_i*) reduced by cost of afforestation (*c*).

Symbol (*u*) denotes the number of years within the age class and (*m*) is the dimension of matrix **P** or the number of age classes within the period of rotation. Presented results concerning the valuation of forest property in two different ways confirm the assumption that salvage cuttings decrease expected profitability of both the conversion project and the project of management of the fully regulated forest, as well.

The difference in presented capital values of forest property (ΔW) informs about the influence of salvage cutting occurrence on the financial profitability of the whole project of conversion.

$$\Delta W = 288\,174\,753 \text{ Sk} - 279\,960\,439 \text{ Sk} = 8\,214\,314 \text{ Sk}$$

This difference expresses the economic loss of forest property management induced by the risk involving the occurrence of salvage cuttings.

From the application point of view it is remarkable that the dimension of stochastic model is smaller in a great deal than it is in the case of its deterministic variant. However, stochastic model requires higher demands of input data processing.

Kontaktná adresa:

Ing. Ján Holécý, CSc., Technická univerzita, Lesnícka fakulta, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovenská republika

VYUŽITÍ OBRAZOVÉ ANALÝZY PRO AUTOMATICKÉ TŘÍDĚNÍ SADEBNÍHO MATERIÁLU, MOŽNOSTI MONITOROVÁNÍ JEHO BIOMETRICKÝCH PARAMETRŮ A VOLBA VHODNÉ FYTOTECHNIKY

USE OF IMAGE PROCESSING ANALYSIS FOR AUTOMATIC GRADING
OF FOREST PLANTS, MONITORING OF THEIR BIOMETRICAL
PARAMETERS AND CHOICE OF APPROPRIATE PHYTOTECHNICAL
PRACTICES

S. Šustek, M. Druckmüller

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

ABSTRACT: An automatic sorter with operation speed one plant per second was designed for automatic sorting of forest plants. These characteristics were measured: root collar diameter, aboveground height, slenderness ratio, i.e. aboveground height to root collar diameter ratio, projection area of shoots, projection area of roots and root system depth. Plant sorting will be based on these predetermined characteristics. Long-term monitoring of forest plants should be the task of this machine. The data obtained in this way would not only reflect the quality of the seedlings but also of the stands and seeds collected in them.

image processing analysis; measurement; morphology; quality

ABSTRAKT: Pro automatické třídění sadebního materiálu jsme navrhli automatický třídící stroj s rychlostí práce jedna sazenice za vteřinu. Měřili jsme tloušťku kořenového krčku, nadzemní výšku, štíhlostní koeficient, tj. poměr nadzemní výšky a tloušťky kořenového krčku, projekční plochu prýtů, projekční plochu kořenů a hloubku kořenového systému. Podle těchto předdefinovaných parametrů se bude provádět třídění sadebního materiálu. Posláním stroje by mělo být dlouhodobé monitorování kvality sadebního materiálu. Takto získané údaje by monitorovaly nejen kvalitu sadebního materiálu, ale i porostů a osiva v nich sebraných.

obrazová analýza; kontrola měření; morfologie; kvalita

ÚVOD

V českých zemích se každoročně vypěstuje velké množství sadebního materiálu, který by měl být roztríděn, aby se zabránilo výsadbě nevhodných sazenic a zamezilo vzniku geneticky slabých porostů, které pak rychle podléhají škůdcům. Náklady na dodatečně vloženou energii do takto vzniklých ekosystémů jsou pak neúnosně velké, dodatečně vložené finanční prostředky jsou zcela nepřiměřené k celkově vynaloženým prostředkům.

Je nutné podotknout, že genetická kvalita sadebního materiálu spočívá hlavně v přizpůsobení se místním podmínkám včetně klimatických extrémů a zpravidla méně souvisí s morfologickou kvalitou sadebního materiálu ve školce. Spornou otázkou by mohly řešit „místní“ normy pro jednotlivé lesní oblasti. Zatím tuto úlohu částečně řeší nová zákonná norma, kde jsou již uvedeny doporučované optimální hodnoty biometrických charakteristik – vnější znaky kvality sadebního materiálu (vyhláška č. 82/1996 Sb., příloha č. 7), ale tato směrnice není závazná.

Sledování fenotypu sadebního materiálu by mělo probíhat nejen na úrovni sledování genotypu osiva, ale i monitoringu kvality sadebního materiálu, vypěstovaného z osiva.

Účinný sběr takových dat by umožnilo mechanizované třídění sadebního materiálu spojené s automatickým záznamem vybraných biometrických charakteristik na vhodném médiu. Je zřejmé, že tento proces musí být mechanizovaný a automatizovaný; lidská práce je v tomto případě namáhavá, zatížená chybami a zdlouhavá.

V zahraničí jsou v několika případech používány prototypy obdobných zařízení, dosud však pro experimentální shromažďování dat, a ve velkých školkách (hlavně v USA) pro hodnocení vlivů pěstebních technologií na morfologickou kvalitu sazenic (Kranzler, Rigney, 1989). Požadavky na třídění sadebního materiálu podle morfologických znaků vycházejí z odlišných potřeb, zejména z potřeby získat po výsadbě dobře se ujímající a rostoucí kulturu.

Mechanické třídění sadebního materiálu by umožnilo získávat cenné informace i pro volbu odpovídající fytotechniky. Rychlost takového třídění sadby by měla být asi jedna sazenice za vteřinu, což znamená výraznou úsporu lidské pracovní síly.

Hardware: minimální požadavky – Pentium 200 MHz, 16 MB RAM, VGA 1 MB, HD 1 GB, barevný monitor
Software: MS Windows 95, DIPS 5.0 for Windows

METODIKA

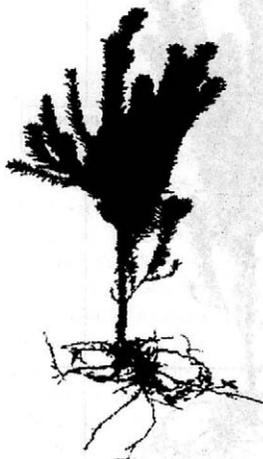


Prvním krokem pro provedení měření je pořízení digitalizovaného obrazu tříděné sazenice (buď listnaté, nebo jehličnaté) a nutná rozměrová kalibrace systému.

K tomuto účelu lze užít běžnou televizní černobílou CCD kameru a digitalizační adaptér pro PC s rozlišením alespoň 640 x 480 pixelů. Podmínkou pro další úspěšné zpracování je kontrastní pozadí (nejlépe bílé) a rovnoměrně kolmé nasvětlení snímání sazenice. Potom následuje numerická analýza obrazu počítačem. Za tím účelem byl použit univerzální obrazový analyzátor DIPS 5.0 for Windows firmy SOFO (Druckmüller, Heriban, 1996). V současné době se pracuje na vývoji specializovaného systému, který umožní plnou automatizaci snímání a analýzy obrazu.

Numerická analýza se skládá z následujících kroků.

Prahování obrazu



Účelem této operace je získat binární obraz (obsahující jen bílou a černou), na kterém je pokud možno nejlépe definována hranice mezi pozadím a objektem sazenice.

Orientace obrazu



Důležitým krokem je přesná orientace sazenice při snímání. Je nutné zajistit, aby podélná osa sazenice byla rovnoběžná s definovanou stranou obrazu. Pokud to nelze zajistit (např. při automatickém zakládání sazenic do snímacího zařízení), je nutné provést otočení obrazu matematickou operací. K tomuto účelu se využívají momenty objektu sazenice až do 3. řádu, které určují tzv. hlavní soustavu souřadnou (procedure Analysis Object Shape). Obrazem otočíme tak, aby

osa x hlavní soustavy souřadné byla rovnoběžná se zvolenou stranou obrazu.

Popis jednotlivých operací při měření:

- průměr kořenového krčku,
- výška nadzemní části,
- štihlostní koeficient (tj. poměr výška k průměru),
- projektovaná plocha výhonů,
- projektovaná plocha kořenů,
- povrch kořenů,
- hloubka kořenového systému.

Tabulka oměřených charakteristických parametrů (mm, mm²) sazenice sm 1/2, bk 1/2

| Druh sazenice | sm | bk |
|---|-------|------|
| Průměr kořenového krčku (mm) | 10,1 | 5,5 |
| Výška nadzemní části (mm) | 44,5 | 25,3 |
| Štíhlostní koeficient | 4,41 | 4,6 |
| Projektovaná plocha výhonů (mm ²) | 383,0 | 9,9 |
| Projektovaná plocha kořenů (mm ²) | 80,6 | 13,0 |
| Povrch kořenů (mm ²) | 320,8 | 40,8 |
| Hloubka kořenového systému (mm) | 18,8 | 7,8 |

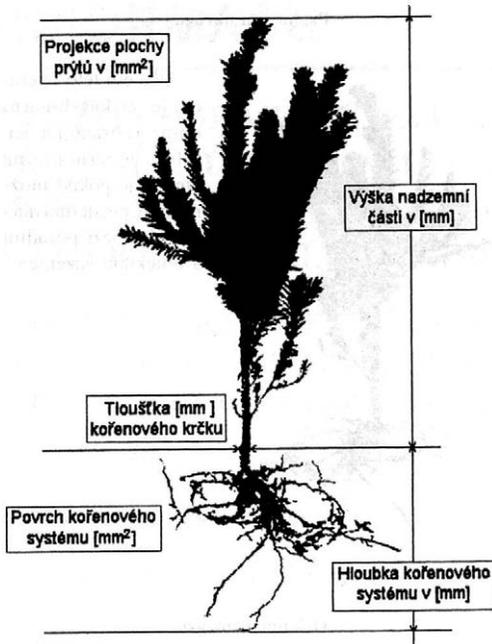
ZÁVĚR

Zavádění těchto technologií je jistě náročné a bude se obtížně prosazovat, ale je nevyhnutelné, jak ukazuje vývoj v ostatních tržních ekonomikách západních zemí. Hlavním přínosem je také dlouhodobé biometrické sledování kvality sadebního materiálu a návazné komplexní ekologické studie.

Literatura

- DRUCKMÜLLER, M. – HERIBAN, P., 1996. Scientific Image Analyzer Dips 4.0.
- KRANZLER, G. A. – RIGNEY, M. P., 1989. Machine vision grading of tree seedlings. In: DODD, V. A. – GRACE, P. M. (eds.), Land and water use. Proc. of the 11th International Congress on Agricultural Engineering in Dublin. Agricultural Engineering, Rotterdam: 1883–1886.

Došlo 25. 8. 1998



VÝSLEDKY

Oměřené parametry pokusného sadebního materiálu jsou uvedeny v tabulce. Při dostatečně velkém statistickém souboru bychom zjistili požadované hodnoty parametrů, podle kterých bychom nastavili třídící zařízení.

V současné době náklady na počítač, digitalizační adaptér, kameru a software pro obrazovou analýzu nepřekročí částku 150 000 Kč. Podmínkou realizace tohoto stroje jsou potenciální zájemci, kontakty na výrobce jsou již vytvořeny.

Kontaktní adresa:

Ing. Svatopluk Šustek, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Fakulta lesnická a dřevařská, Lesnická 37, 613 00 Brno, Česká republika

VÝZNAMNÉ ŽIVOTNÍ JUBILEUM

ING. JIŘÍHO ŠINDELÁŘE, CSc.

Modřín patří bezesporu nejen k našim nejkrásnějším dřevinám, ale také ke dřevinám vysoce ekonomickým, s kvalitním, krásným a velmi žádaným dřevem. Chceme-li se blíže a podrobněji seznámit s problematikou modřínu, s jeho pěstováním a šlechtěním, pak nemůžeme pominout základní závažné a obsáhlé práce, které modřínu věnoval jubilant Ing. Jiří Šindelář, CSc., během celé své dlouholeté a plodné práce v provozu i ve výzkumu. V rámci svého pracovního zaměření na genetiku a šlechtění lesních dřevin propracoval zejména velmi podrobně tuto problematiku u modřínu, a tím podstatně přispěl k tomu, že modřín patří mezi nejlépe prostudované druhy našich lesních dřevin nejen po stránce geneticko-šlechtitelské, ale i mezi ty hospodářské dřeviny, o nichž můžeme najít velké množství základních i praktických informací, potřebných právě pro odborné lesní hospodáře i pro všechny ostatní pracovníky lesního hospodářství, kteří se zabývají praktickou péstební činností. Jeho práce věnovaná modřínu byla po zásluze oceněna i v mezinárodním měřítku, kdy byl požádán IUFRO o vypracování základní monografie *Genetika a šlechtění modřínu opadavého (Genetics and improvement of European larch Larix decidua Mill.)*, která vyšla v angličtině v nakladatelství Akademie věd a umění v Záhřebu v r. 1992. Ve stejném roce byl pak publikován jeho zásadní referát pro konferenci IUFRO v Berlíně, vypracovaný spolu s Dr. H. Weisgerberem, *History, results, and future trends of research and international cooperation with European larch Larix decidua Mill.*, *Silvae Genetica* 1992. O značném zájmu o výsledky jeho práce svědčí i četné přednášky o této dřevině. Ovšem práce jubilanta nebyla zaměřena jen na modřín, ale věnoval se i dalším hospodářsky i lesnický významným dřevinám, jako je smrk, jedle a borovice, dále buk a dub, i některým „vedlejšími“ dřevinám, jako je např. olše, která dnes patří mezi významné meliorační dřeviny a má své nezastupitelné místo v našich lesních porostech.

K význačným životním výročím Ing. Jiřího Šindeláře byla v minulosti uveřejněna řada příspěvků (např. Lesnická práce 1979, 1989, 1994, Lesnictví 1989), v nichž byla uvedena a zhodnocena jeho činnost do příslušného roku. Proto se omezíme jen na informace o jeho neutuchající vědecké a pracovní aktivitě v posledních letech.

Jubilant se narodil 27. února 1919 v Běstvině u Chrudimi a po absolvování základní a střední školy v Havlíčkově Brodě a Vyšší lesnické školy v Písku studoval na Lesnické fakultě Vysoké školy zemědělské nejprve v Brně, ale svá studia ukončil v r. 1946 na ČVUT v Praze. Po absolutoriu zastával řadu významných hospodářských funkcí v provozu a podílel se na

řídící, organizační a odborné činnosti v lesním hospodářství. Od r. 1957 pracuje ve Výzkumném ústavu lesního hospodářství a myslivosti v Jilovišti-Strnadedech a v r. 1966 obhájil kandidátskou dizertační práci na téma *Proměnlivost modřínu opadavého (Larix decidua Mill.)*. Vychoval řadu vědeckých pracovníků, byl konzultantem a žadáným oponentem velkého množství kandidátských i doktorských dizertačních prací, pracoval jako koordinátor pro genetiku a šlechtění lesních dřevin, v komisích i pracovních skupinách bývalé Československé akademie zemědělské i v pracovních skupinách IUFRO a v dalších odborných komisích.

I když je od 1. 4. 1990 v důchodu, pokračuje ve svých pracovních aktivitách ve VÚLHM i nadále s obdivuhodnou svěžestí a tvůrčí invencí. V posledních deseti letech byly jeho pracovní aktivity zaměřeny na velmi široký okruh studií, z nichž bychom mohli uvést alespoň některé nejdůležitější. Je to především příspěvek k dalšímu poznání problematiky genetiky, šlechtění a pěstování modřínu, jakož i zpracovávání výsledků měření, dalších pozorování a hodnocení výzkumných prací z minulých období, zejména provenienčních ploch a potomstev modřínů z volného sprášení i z kontrolovaného křížení. Zaměřil se i na hodnocení výsledků pozorování a sledování některých dalších dřevin, zejména smrku ztepilého, borovice lesní a buku lesního. Zpracoval dlouhodobou výhledovou koncepci prací z oboru genetiky a šlechtění lesních dřevin, založil nebo inicioval založení sítě srovnávacích pokusných ploch lesních dřevin s potomstvy porostů, uznaných ke sklizni osiva, jako základ prakticky orientovaného šlechtění lesních dřevin. Výsledkem jeho dlouholeté práce je i návrh koncepce genových základů v lesním hospodářství, který byl plně akceptován a principy koncepce byly promítnuty do současného lesního zákona. Navrhl i koncepci žádoucího druhového složení lesů v ČR, plně odpovídající i koncepci, vypracované v ÚHÚL, a zpracoval rovněž koncepci možných racionalizačních opatření v oboru pěstování lesů. Ing. Šindelář pracuje také na četných studiích nejružnějšího charakteru, zejména v oboru pěstování lesů – např. vliv možných klimatických změn na lesy, druhová skladba lesů, zajištění reprodukčního materiálu pro potřeby lesnické praxe. Soustavně sleduje lesnickou literaturu a zajišťuje potřebné literární prameny pro útvary biologie a šlechtění lesních dřevin a podle potřeby pracoviště i ústavu zpracovává překlady nebo výtahy pro ústavní publikace.

Publikační činnost Ing. Šindeláře je neuvěřitelně bohatá. Během své vědecké a výzkumné práce ve VÚLHM publikoval hodně přes 500 prací, z toho je polovina původních a originálních prací vědeckého

charakteru, následuje množství studijních a závěrečných zpráv (kolem 50) a zbývající podíl jeho publikací tvoří práce odborné a popularizační v nejvýznamnějších lesnických, přírodovědeckých i populárních časopisech. Neopominutelné jsou i jeho práce pro ochranu přírody a životního prostředí, jako je problematika biodiverzity v lesním hospodářství, zásady uplatňování prvků přírody blízkého hospodaření v lesích, stabilita lesních ekosystémů včetně otázek zastoupení lesních dřevin. Těžší část jeho prací však stále spočívá v otázkách lesnických, jako je opatření k záchraně a reprodukci genetických zdrojů, problematika genetiky a šlechtění lesních dřevin, vyúsťující ve specifickou problematiku smrku, jedle, borovice, modřínu, buku, olše i některých ohrožených druhů lesních dřevin, jako jsou např. druhy rodů *Prunus*, *Sorbus*, *Malus*, *Pyrus* a jiné.

Výběr 77 prací Ing. Šindeláře z celkového rozsáhlejšího souboru 262 prací z období do r. 1988 byl uveřejněn v *Lesnictví* 1989, č. 2 na str. 177–181. V následujícím období od r. 1989 publikoval Ing. Šindelář 199 prací v domácím i zahraničním tisku a vypracoval 9 rozsáhlejších studijních zpráv. Největší počet titulů je věnován problematice genetiky a šlechtění lesních dřevin včetně otázek biodiverzity, záchrany a využívání genových zdrojů, zejména genových základen. Značný podíl tvoří i problematika modřínu opadavého, řada prací se týká buku lesního, borovice lesní, smrku ztepilého a ně-

kterých listnatých dřevin. Dále jsou to obecné problémy pěstování lesů včetně otázek, spojených s původním složením a žádoucím zastoupením dřevin v druhové skladbě našich lesů. Značný počet prací se týká i problematiky lesního semenářství, semenných porostů a semenných sadů. V souvislosti s racionalizací prací v pěstování lesů vznikly i některé publikace o obnově a výchově lesních porostů.

Úplný seznam prací jubilanta za posledních deset let bude publikován ve Zprávách lesnického výzkumu (1998, č. 3).

Významné životní jubileum zastihuje Ing. Jiřího Šindeláře, CSc., v plně tvůrčí činnosti, o čemž svědčí i obšáhly počet jeho publikací a studijních zpráv z posledního desetiletého období. Jubilant tak uplatňuje své dlouholeté vědecké i odborné poznatky v nejširším okruhu pracovníků lesního hospodářství pro zlepšování a udržování dobrého stavu našich lesů. Jeho neuvěřitelně objemná práce a neutuchající úsilí zaslouží obdiv a její autor naše uznání, úctu i poděkování za tuto obrovskou práci pro české lesy. Proto mu my všichni, jeho přátelé a spolupracovníci, přejeme do dalších let pevné zdraví, dobrou pohodu, životní optimismus a stále vysoký pracovní elán.

Za všechny přátele a spolupracovníky

Vlastislav Jančařík

POKYNY PRO AUTORY

Časopis 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 zaslání příspěvku nemá přesáhnout 25 stran (A4 formátu, psaných obědřek) včetně tabulek, obrázků, literatury, abstraktu a souhrnu. K rukopisu je třeba přiložit disketu s textem práce a s grafickou dokumentací pořízenou na PC s uvedením použitého programu. K publikování jsou přijímány práce psané v češtině, slovenštině nebo angličtině. Zaslání rukopisu 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 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 obecně i vědecké názvy rostlin. Je-li zapotřebí používat zkratky, je nutné při prvním použití zkratky uvést i její plný název. Je nezbytné používat jednotky odpovídající soustavě měrových 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. Měla by sestávat hlavně z lektorovaných periodik. 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. Současně 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.

Rukopis nebude redakci přijat k evidenci, nebude-li po formální stránce odpovídat pokynům pro autory.

INSTRUCTIONS TO AUTHORS

The journal publishes original results of fundamental and applied research from all fields of forestry related to European forest ecosystems. An article submitted to Journal of Forest Science 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 and 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.“ They should mainly consist of reviewed periodicals. 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.

The manuscript will not be accepted to be filed by the editorial office if its formal layout does not comply with the instructions for authors.

CONTENTS

| | |
|---|----|
| Chalupa V.: Editorial..... | 1 |
| Neruda J.: Technology for the production and planting of large-sized planting stock of forest trees..... | 2 |
| Kurth W., Sloboda B.: Tree and stand architecture and growth described by formal grammars – I. Non-sensitive trees | 16 |
| Kohán Š.: Some data on black walnut (<i>Juglans nigra</i> L.) stands and their management in lowland areas of Slovakia..... | 31 |
| Holécý J.: Financial optimization of the forest property management under conditions of salvage cuttings risk | 38 |
| INFORMATION | |
| Šustek S., Druckmüller M.: Use of image processing analysis for automatic grading of forest plants, monitoring of their biometrical parameters and choice of appropriate phytotechnical practices | 48 |
| Jančařík V.: The Jubilee of Ing. Jiří Šindelář, CSc..... | 51 |

OBSAH

| | |
|---|----|
| Chalupa V.: Úvodník..... | 1 |
| Neruda J.: Technika pro produkci a výsadbu velkého sadebního materiálu lesních dřevin..... | 2 |
| Kurth W., Sloboda B.: Modelování stromové a porostní architektury a růstu pomocí formálních gramatik – I. Pro stromy nesenzitivního typu | 16 |
| Kohán Š.: Niektoré výsledky a možnosti pestovania orecha čierneho (<i>Juglans nigra</i> L.) v podmienkach nížinných oblastí Slovenska | 31 |
| Holécý J.: Finančná optimalizácia obhospodarovania lesného majetku v podmienkach rizika náhodných ťažieb | 38 |
| INFORMACE | |
| Šustek S., Druckmüller M.: Využití obrazové analýzy pro automatické třídění sadebního materiálu, možnosti monitorování jeho biometrických parametrů a volba vhodné fytotechniky | 48 |
| Jančařík V.: Významné životní jubileum Ing. Jiřího Šindeláře, CSc. | 51 |