

Prethodno priopćenje
Preliminary notice

Prispjelo - *Received*: 23. 03. 2005.
Prihvaćeno - *Accepted*: 21. 06. 2005.

UDK: 630*243+53

Tomislav Dubravac*

PRIMJENA DIGITALIZACIJE KROŠANJA I METODE VIZUALIZACIJE U IZUČAVANJU STRUKTURE SASTOJINA

APPLICATION OF DIGITALISATION OF CROWNS AND METHOD OF VISUALISATION IN A STUDY OF STAND STRUCTURES

SAŽETAK

U radu se iznose mogućnosti novog načina izučavanja strukture sastojina na primjeru digitalizacije krošanja i izrade digitalnog trodimenzionalnog modela sastojina (vizualizacije). Kao podloga za to, uzete su dvije naše karakteristične prirodne mješovite sastojine, sastojina hrasta lužnjaka i običnoga graba (*Carpino betuli-Quercetum roboris*, /Anić 1959/ emend. Rauš 1969) te sastojina bukve i jele (*Omphalodo vernae-Fagetum* Marinček et al. 1992).

Na pokusnim plohama trajnoga karaktera sva su stabla obročana i kartirana, a istima su izmjereni prsni promjeri, visine stabala, dužine debala te snimane horizontalne projekcije krošanja. Projekcije krošanja zatim su digitalizirane u CAD programu *MicroStation*, aplikacija *IRAS B*, sa srednjom točnošću od 4 cm. Samo geokodiranje i izjednačenje obavljeno je *Affinom* transformacijom (projiciranje koordinate iz jedne ravnine-izvorni koordinatni sistem, u drugu paralelnu ravninu- izlazni koordinatni sistem) te prebacivanju rasterskog file-a u vektorski oblik, također u programu *MicroStation*. Na vektorskim plohama izračunate su površine bez zastora krošanja unutar područja (plohe) te površine pod krošnjama izvan područja (plohe). Zatim su datoteke transferirane u program *AutoCAD 2000* dwg zbog pojednostavljenog načina prikazivanja. Projekcije krošanja upotpunjene su vertikalnim profilom (*CorelDraw*) sastojine koji proporcionalno prikazuje odnos osnovnih elemenata krošnje i debala. Na temelju izmjerenih dimenzija stabala na terenu i računalnim programom *3DS Max* napravljen je trodimenzionalni model sastojine. Modelu je pridružena odgovarajuća tekstura krošanja, čime se dobio slikovitiji prikaz situacije. Kod izradbe modela vodilo se računa o prostornom rasporedu stabala, visinama stabala, dužinama debala, dužinama i širinama krošanja te o fenotipskim oblicima krošanja hrasta, graba, bukve i jele.

* Dr. sc. Tomislav Dubravac, Šumarski institut, Jastrebarsko

U sastojini hrasta lužnjaka i običnoga graba simuliran je naplodni sijek te isti prikazan u trodimenzionalnoj naravi.

Modeli omogućuju računalno praćenje i simulaciju obavljenih gospodarskih mjera u sastojini i otvaraju nove mogućnosti rješavanja i upravljanja postojećim informacijama, a svoju primjenu mogu naći u aerofototaksaciji i GIS-u. Metode trodimenzionalne vizualizacije mogu poslužiti predočavanju prirodnog razvoja sastojina, vizualnoj usporedbi sastojina prije i poslije zahvata, kao i pomaku paradigme (primjera-obrasca) istraživanja u šumarstvu od promatranja cijele sastojine prema pristupu istraživanja pojedinog stabla.

Ključne riječi: struktura sastojine, projekcije krošanja, digitalizacija, trodimenzionalni model, hrast, grab, bukva, jela

UVOD I PROBLEMATIKA

INTRODUCTION AND PROBLEMS

Širok je raspon elemenata i raznolikosti koji utječu na zakonitosti razvitka šume, stabilnosti ekosustava, maksimalne proizvodnje i produktivnosti. U izmjeri šuma sve se više primjenjuju novi postupci kojima se na relativno brz i jednostavan način može doći do pouzdanih zaključaka. Iako su prirodni šumski ekosustavi složeni procesi, primjenom računala danas je moguće brojčano pratiti i tako složene procese kao što je razvoj strukture sastojina.

Napretkom i razvojem novih tehnologija, današnjom primjenom računalne opreme, u istraživanja se uvode novi načini i mogućnosti primjene istih. U stranim stručnim krugovima sve više raste svijest o potrebi novih spoznaja koje potiču znanstvenike na razvijanje novih metodologija planiranja, odnosno raznovrsnosti pristupa rješavanju zadataka, korištenju metoda i tehnika u sustavu planiranja. Nezaobilazan čimbenik takvih pristupa istraživanjima razvidan je i u području šumarstva. Kod nas se takvim pristupom proučavanja sustavne dinamike u planiranju gospodarenja bave istraživanja ČAVLOVIĆA (1996, 2003), a u svijetu ih je nemali broj. Jedan od takvih, novijih načina izučavanja rasta i razvoja sastojina možemo naći u primjeni digitalizacije, a isto tako i vizualizacije sastojina.

Općenito, digitalizacija podataka predstavlja “kopiranje” podataka s postojeće kartografske podloge u digitalnu formu, pogodnu za kompjutersku obradbu (LOJO i PONJAVIĆ 2004). Za uporabu ovakvih alata potrebna je kombinacija znanja, računalne opreme (hardver) koja omogućuje brzinu, pouzdanost, ekonomičnost i kvalitetu rješenja, programske opreme-alata (softver) npr. GIS aplikacija, baze podataka, statističke aplikacije, crtači programi (*AutoCAD*, *ArcView*, *CorelDraw*, *MicroStation* i dr.), programi za obradu slika itd, metodologije i što je najvažnije dobar i kvalitetan izvor podataka s terena. Spomenuti autori navode kako kvalitetni i pouzdani podaci čine 55-70% uspješnosti posla.

Prikupljeni podaci za ova istraživanja nalaze se na dvjema trajnim pokusnim ploham na kojima se, osim osnovnih mjerenih dimenzija stabala, obavljaju-ucrta-vaju i horizontalne projekcije krošanja na samom terenu na zato izradenu milimetarsku mrežu. O samom načinu i metodologiji ucrtavanja horizontalnih projekcija krošanja te primjeni digitalizacije krošanja nalazimo u radovima DUBRAVCA

(2002, 2003,) KREJČIJA i DUBRAVCA (2004), kao i mogućnosti izradbe digitalnih trodimenzionalnih modela rasta i razvoja sastojina, s naglaskom na modeliranje krošanja nalazimo u radovima DUBRAVAC, BENKO i ČAVLOVIĆ (2003), DUBRAVAC, KREJČI i VRBEK (2004) te DUBRAVAC, VULETIĆ i VRBEK (2005).

Jedna od sastavnica strukture sastojine je i struktura krošanja. Krošnja je izrazito bitan dio stabla, njegova pluća i "tvornica" o čijoj proizvodnji, u suradnji s tlom, ovisi rast stabla. Krošnja je stablu, kako kaže ASSMAN (1970), "oružje za borbu" te je odgovorna za generativnu reprodukciju jer donosi sjeme na čemu se temelji prirodna obnova te svi zakoni potrajnog (održivog) gospodarenja šumama. Krošnje stabala i šumsko tlo glavni su čimbenici svih životnih zbivanja u sastojini (MATIĆ 1973) te su nezaobilazan čimbenik proučavanja strukture sastojine. Prema ŠAFARU (1963): "sklopljenost krošanja je za prosuđivanje strukture sastojine, iz uzgojnog gledišta, važniji kriterij nego odnos broja stabala po debljinskim razredima, jer različite vrste drveća istog debljinskog razreda imaju različitu horizontalnu projekciju krošanja i različit volumen krošanja te k tome i različitu reakciju krošanja na gospodarske zahvate. Reakcija krošanja ovisi ne samo o debljini i vrsti drveća nego i o starosti, te je u mlađoj dobi drveća intenzivnija nego u starijoj". U najširem značenju, pod strukturom krošanja podrazumijevamo veličinu i oblik, rast i razvoj krošanja, njihov raspored u prostoru i vremenu te proporcije prema ostalim dijelovima stabla (DUBRAVAC 1998).

Pionirska uloga u osvjetljavanju uloge i važnosti krošanja u istraživanju strukture sastojine, svakako pripada H. BURGERU (1937) i njegovom radu "Kronennuntersuchungen" te BADOUX-u (1946, 1949).

Mnogi autori uglavnom proučavaju uspješnost prostornog rasta («growing space efficiency») koji je definiran kao debljinski rast stabla po jedinici projicirane površine krošnje (HAMILTON 1969), kao što su WEBSTER i LORIMER (2003), MAQUIRE i dr. (1998). Također, različita sastojinska struktura uvjetuje uspješnost prostornog rasta (O'HARA 1988, O'HARA i dr. 2001). Ipak, temelj proučavanju prostornog rasta svakako valja pripisati prvorazrednom radu ASSMANNA (1970) «The Principles of Forest Yield Study».

U novije vrijeme u znanstvena istraživanja uvode se metode simulacije u proučavanju rasta i razvoja šumskih sastojina (GOULDING 1994; JUDSON 1994; PRETZSCH 1997). Modelima simuliranja individualnih stabala unutar same sastojine bave se istraživanja VANCLAY-a (1994) te istraživanja koja se bave stvarnim kartiranjem stabala na tlu (PRETZSCH 1997; HASENAUER 1994). Značajan broj autora bavi se simulacijom razvoja krošanja od kojih je značajno pripomenuti simulacijski model ZELIG koji je simulator individualnih stabala koji simulira razmještaj, godišnji debljinski prirast i odumiranje svakog stabla, a također i dinamiku rasta šume i karakteristike krošnje.

Jedan od značajnijih radova na polju trodimenzionalne vizualizacije sastojine nalazimo u istraživanjima PRETZSCH (2002b), PRETZSCH i SEIFERT (2000) koji uvode metode vizualizacije (predočavanja) rasta sastojine (sastojinskog rasta, rasta šume). Autori u znanstvenim istraživanjima vizualizacije upotrebljavaju grafičke kompjuterske programe (simulator SILVA 2.2) za obradu i iskorištavanje

znanja sadržanih u rezultatima terenskih izmjera i simulacija. Isto tako valja pripomenuti i značajne radove na polju vizualizacije i izrade trodimenzionalnih modela rasta, kao što su STERBA i dr. (1995), MCGAUGHEY (1997), ORLAND (1997) koji stabla prikazuju kao trodimenzionalne objekte te program *TREEVIEW* kojim se brzo mogu vizualizirati i veća staništa (SEIFERT 1998).

CILJ ISTRAŽIVANJA

RESEARCH AIM

U današnjoj eri primjene računala, potrebom za stjecanjem novih znanja, u znanstvena se istraživanja, pa tako i u šumarstvo, uvode novi pristupi izučavanju šumskih ekosustava. Iako su prirodni šumski ekosustavi složeni, primjenom računala danas je moguće brojčano, a i vizualno pratiti i tako složene procese kao što je razvoj strukture sastojina. U tom smislu, cilj istraživanja je ukazati na mogućnosti novog pristupa u izučavanju strukture sastojine, s naglaskom na digitalizaciju krošanja i izradu digitalnih-dinamičkih modela sastojine (vizualizacije) te mogućnošću simulacije rasta i razvoja sastojina.

PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

RESEARCH AREA

Istraživanje je obavljeno na dvjema stalnim pokusnim ploham koje predstavljaju klimazonalne zajednice istraživanog područja. Prva ploha nalazi se u šumi hrasta lužnjaka i običnoga graba (*Carpino betuli-Quercetum roboris*, /Anić 1959/emend. Rauš 1969), Uprava šuma Podružnica "Vinkovci", Šumarija "Otok", odjel 66c, u Šumskom predjelu "Lože", starosti 145 godina (Fotografija 1.). Sastojina je zakonom zaštićena 1975. godine kao zaštićeni objekt šumske vegetacije. Druga ploha nalazi se u sastojini bukve i jele (*Omphalodo vernae-Fagetum* Marinček et al. 1992) na području Nacionalnog parka "Risnjak" (Fotografija 2.). U sastojini nema gospodarskih aktivnosti od proglašenja Nacionalnog parka "Risnjak" 1949. godine. Na navedenim ploham trajnog karaktera obavlja se praćenje te izučavanja strukture sastojine, rasta i razvoja krošanja, kao i mogućnost prirodne obnove sastojina u negospodarenim šumskim ekosustavima.

METODA RADA

METHOD OF WORK

Istraživanja su obavljena na dvjema stalnim pokusnim ploham po metodologiji DUBRAVAC i NOVOTNY (1992). Plohe su veličine 1 ha, a podploha, na kojoj su sva stabla obrojčana, veličine je 60 x 60 m (0,36 ha). Svim obrojčanim stablima mjereni su prsni promjeri, dužine debala i visine stabala te snimane horizontalne projekcije krošanja. Projekcije krošanja snimaju se u 4 osnovna smjera, ako je krošnja imala pravilan oblik, ili po potrebi u više smjerova, ako je krošnja imala



Fotografija 1. Sastojina hrasta lužnjaka i običnoga graba, Šumarija "Otok", odjel 66c, Predjel "Lože"
*Photo 1 Stand of Peduncled oak and Common hornbeam, "Otok" Forest Office, Compartment 66c,
"Lože" section*



Fotografija 2. Sastojina bukve i jele u N.P. "Risnjak"
Photo 2 Stand of beech and fir in the "Risnjak" N.P.

asimetričan oblik. Polumjeri krošanja vertikalno se projiciraju na tlo i to tako da se iz vrhova grana najšireg dijela krošnje spuštaju okomice na tlo. Tako dobivene konture obodne linije horizontalnih projekcija krošanja zatim se ucrtavaju u kartu (milimetarski papir) horizontalnih projekcija krošanja koja omogućuje primjenu planimetrijskog određivanja površina horizontalnih projekcija krošanja. Iz tako snimljenih tlocrta krošanja u uredu se računaju promjeri krošanja (mogućnost planimetriiranja) te ostali strukturni elementi krošanja, dužine, površine i volumeni krošanja (DUBRAVAC 2002).

Projekcije krošanja su zatim digitalizirane (prenesene u digitalni oblik). Prvo su plohe s papira (terenskog tlocrta projekcija krošanja na milimetarskom papiru) skeniranjem prebačene u digitalni oblik te smo tako dobili rasterske slike u nepoznatom mjerilu. Skenirane slike ploha stoga je trebalo geokodirati, što je obavljeno u CAD programu *MicroStation*, aplikacija *IRAS B*, vežući se za postojeću milimetarsku mrežu, sa srednjom točnošću od 4 cm, što je ovisilo o samom mjerilu na terenu. Geokodiranje i izjednačenje obavljeno je *Affinom* transformacijom (projiciranje koordinate iz jedne ravnine-izvorni koordinatni sistem u drugu paralelnu ravninu-izlazni koordinatni sistem). Nakon obavljenog geokodiranja pristupilo se prebacivanju rasterskog file-a u vektorski oblik, također u programu *MicroStation*. Na vektorskim plohamo izračunate su površine bez zastora krošanja unutar područja (plohe) te površine pod krošnjama izvan područja (plohe). Datoteke su zatim transferirane u program *AutoCAD 2000* dwg format zbog pojednostavljenog načina prikazivanja. Projekcije krošanja upotpunjene su vertikalnim profilom sastojine u programu *CorelDraw* koji proporcionalno prikazuje odnos osnovnih elemenata krošnje i debla, kao i prostorni raspored stabala. Temeljem izmjerenih dimenzija stabala na terenu i računalnim programom *3DS Max* izmodelirana je sastojina, odnosno napravljen virtualno-dinamički trodimenzionalni model sastojine za obje pokusne plohe. Modelu je, nadalje, pridružena odgovarajuća tekstura krošanja, čime se dobio slikovitiji prikaz situacije. Model vizualizacije prikazuje točan prostorni raspored stabala, visine stabala, dužine debala, dužine i širine krošanja, zastrtosti te, što je značajno za pripomenuti, također i prosječno-tipične fenotipske oblike krošanja hrasta, graba, bukve i jele.

REZULTATI ISTRAŽIVANJA I RASPRAVA

RESEARCH RESULTS AND DISCUSSION

Kako bismo dobili uvid u strukturu sastojina, jer su iste Zakonom o zaštiti prirode zaštićene, odnosno u njima nema gospodarskih aktivnosti, u Tablici 1. prikazani su osnovni strukturni pokazatelji obrađivanih ploha.

Kako je u poglavlju metoda rada već navedeno, snimljene horizontalne projekcije krošanja ucrtane i kartirane na terenu su prenesene “kopirane” u digitalni oblik. Izgled takvih digitalnih oblika razvidan je na Slikama 1. i 2. Slike su upotpunjene vertikalnim profilom sastojine i prostornim rasporedom stabala koji prikazuje proporcionalan odnos osnovnih mjerenih veličina stabala, dimenzija krošanja, kao i oblika krošanja istraživanih vrsta drveća. Izradba vertikalnih profi-

Tablica 1. Osnovni elementi strukture u sastojinama hrasta lužnjaka i običnoga graba (ploha 1) i sastojini bukve i jele (ploha 2)

Table 1 General structure elements in stands of Peduncled oak and Common hornbeam (Plot 1) and a stand of beech and fir (Plot 2)

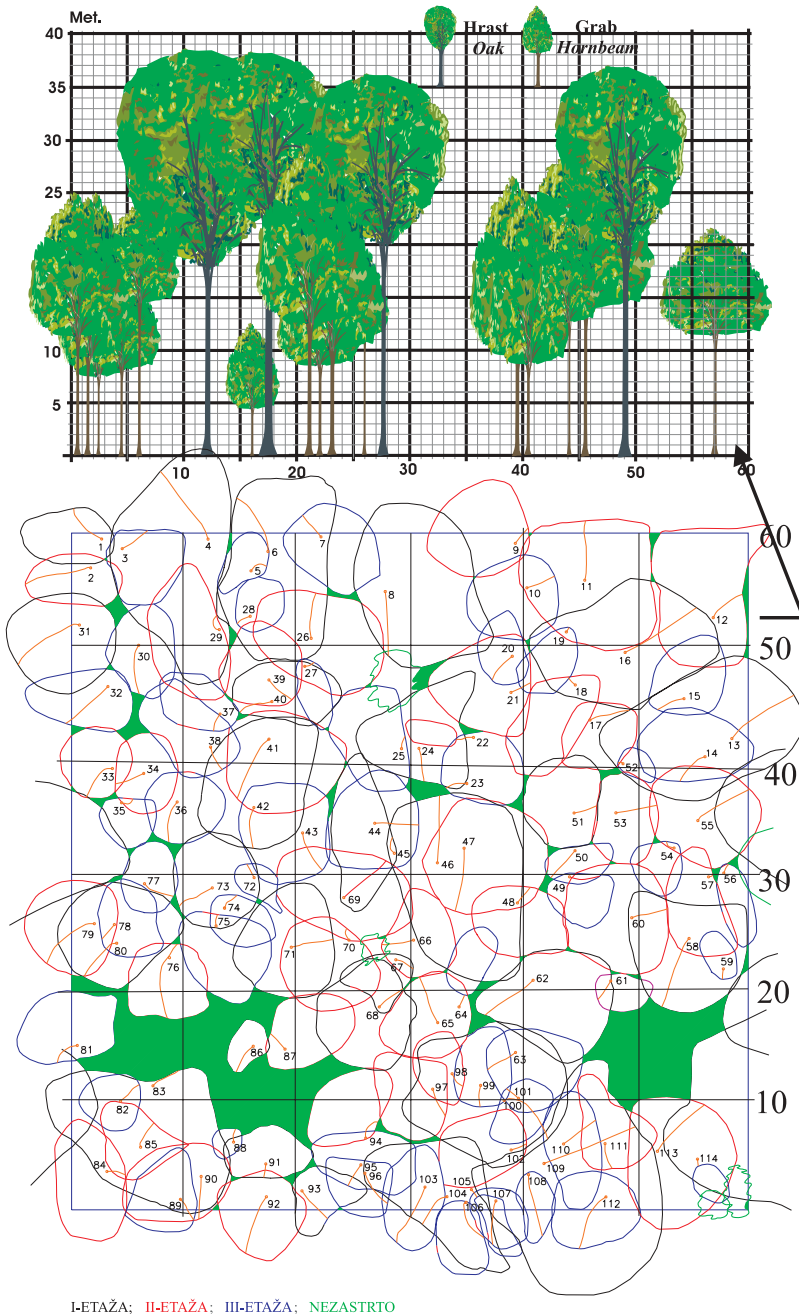
Ploha broj Plot No.	Vrsta drveća Tree species	Broj stabalapo ha Number of trees per ha	Temeljnica Basal area m ²	Volumen Volume m ³	Promjer Diameter cm	Visina Height m
1	Lužnjak-Peduncled oak	50	18,35	349,100	66,83	35,56
	Grab-Hornbeam	232	13,80	159,910	26,54	22,19
	Jasen-Asb	11	2,49	26,510	53,43	
	Klen-Common maple	21	0,93	10,390		
	Ukupno-Total	314	35,57	545,910		
2	Jela-Fir	116	29,67	492,990	51,63	30,78
	Bukva-Beech	235	9,91	110,820	20,85	17,85
	Ostalo-Other	4	0,08	2,310		
	Ukupno-Total	355	39,66	606,120		

la sastojina omogućuje crtanje stabala i određivanje željenog mjerila u proporcionalnim odnosima (CorelDraw) na izrazito brz i jednostavan način.

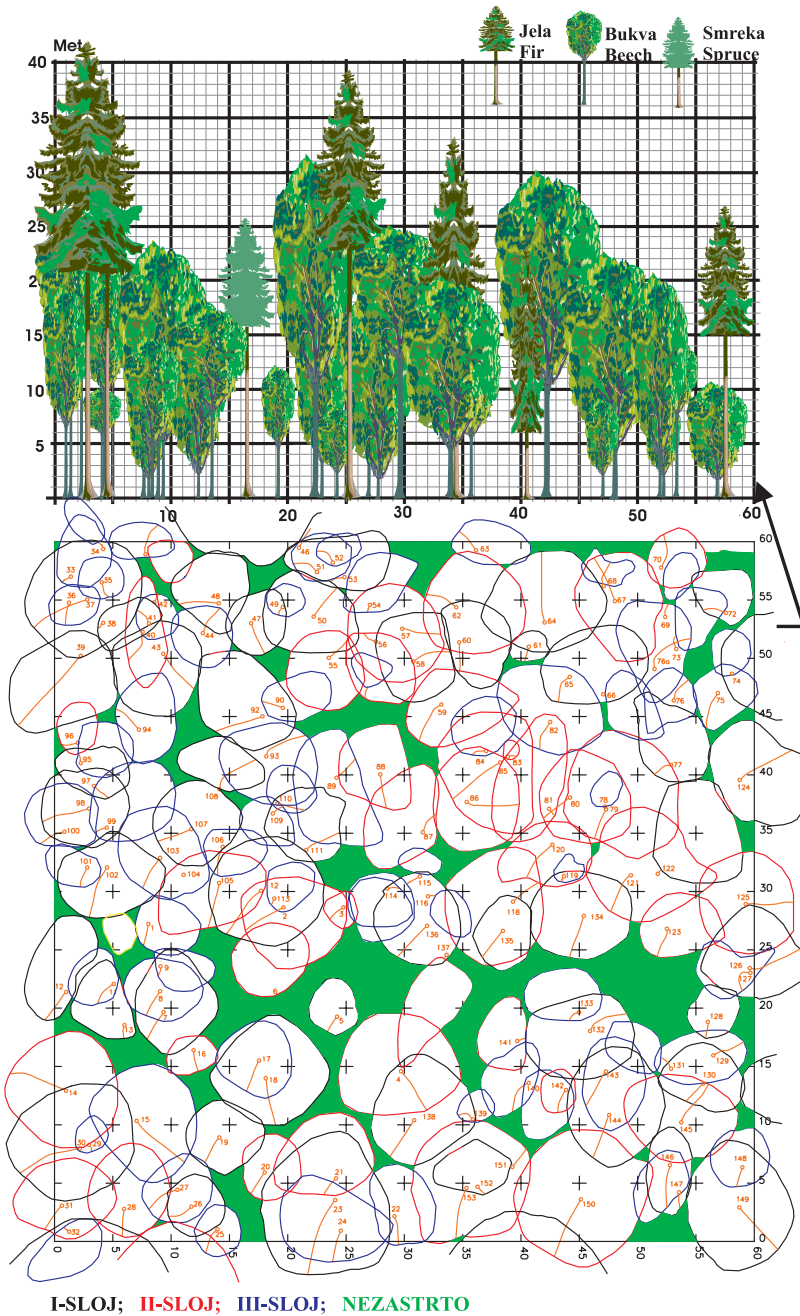
Zbroj horizontalnih projekcija krošanja u šumi hrasta i graba (Slika 1.) po hektaru iznosi 15624,6 m² ili 156 %. Od ukupnog zbroja projekcija krošanja na proizvodni dio sastojine-dominantnu i nuzgrednu etažu (gornju etažu hrasta) dolazi 5869 m² ili 37 %, a na pomoćni dio sastojine-podstojnu etažu (donju etažu graba) 9755,6 m² ili 63 %. Nezastrto je svega 6,9 % obrasle šumske površine (zelene površine). Projekcija krošnje srednjeg stabla hrasta iznosi 117,38 m², a graba 42,05 m², dok je srednji promjer krošnje hrasta 12,04, a graba 7,11 m.

Zbroj horizontalnih projekcija krošanja u šumi bukve i jele (Slika 2.) po hektaru iznosi 17008,99 m² ili 170 %. Od ukupnog zbroja projekcija krošanja gornji sloj jele čini 5160,58 m² ili 33 %, a donji sloj bukve 11848,41 m² ili 67 %. Nezastrto je 11,54 % obrasle šumske površine (zelene površine). Projekcija krošnje srednjeg stabla jele iznosi 36,01 m², a obične bukve 33,86 m², dok je srednji promjer krošnje jele 6,37 m, a obične bukve 6,25 m.

Rezultati ukazuju na preveliku zastrtost tla krošnjama na objema istraživanim plohama (93,1%, odnosno 88,46%) te posebice višestruku zastrtost. Znano je kako zastrtost tla krošnjama predstavlja bitan čimbenik koji utječe na mogućnost prirodne obnove. Gust sklop u šumi hrasta i graba (krošnje susjednih stabala zadiru jedna u drugu) razvidan je u drugoj etaži, a posebice je izražen u šumi bukve i jele. Razloge nalazimo u neprovedenim uzgojnim zahvatima u sastojini te velikom broju prezrelih stabala jele, a naročito uzrok leži u prevelikom broju stabala bukve u drugom sloju, kao i u sloju grmlja loše kvalitete koja skoro u potpunosti prekrivaju površinu tla. Razvidno je kako nedostaje srednji sloj stabala te kako se radi o vertikalnom obliku sklopa. Naime, zbog narušenosti prirodne strukture (nedostaku tanjih i srednjih stabala jele u sloju drveća) izostao je stepeničasti oblik sklopa koji je inače karakterističan za raznodobne sastojine. Sklop krošanja i njegova struktura izrazito je bitan čimbenik kod ekoloških uvjeta (svjetla, oborina, «sastojinske klime», topline i vlage te mineralizacije i humifikacije organske tvari u tlu) i naročito uvjeta pomlađivanja.



Slika 1. Digitalizirane (*AutoCad 2000*) horizontalne projekcije krošanja i vertikalni profil sastojine (*CorelDraw*) na pokusnoj plohi u sastojini hrasta lužnjaka i običnoga graba
Figure 1 Digitalised (*AutoCad 2000*) horizontal projections of crowns and vertical profile of a stand (*CorelDraw*) on an experimental plot in a stand of Peduncled oak and Common hornbeam



Slika 2. Digitalizirane (AutoCad 2000) horizontalne projekcije krošanja i vertikalni profil sastojine (CorelDraw) na pokusnoj plohi u sastojini bukve i jele
Figure 2 Digitalised (AutoCad 2000) horizontal projections of crowns and vertical profile of a stand (CorelDraw) on an experimental plot in a stand of beech and fir

Temeljem digitalnih modela projekcije krošanja te mjerenih veličina na terenu (visina stabala i dužina debala te dužina i širina krošanja), izrađen je trodimenzionalni digitalno-vizualni model sastojine, a također i virtualno-dinamički film. Kod izrade modela vodilo se računa o prostornom rasporedu stabala i fenotipskim oblicima krošanja. Model omogućuje simulaciju bilo kakvih promjena (sušci, prorede, oplodne sječe, vjetroizvale...) u strukturi sastojine. Nekoliko raznih pogleda



Slika 3. Trodimenzionalni model sastojine hrasta lužnjaka i običnoga graba - Pogled sa strane
Figure 3 Three-dimensional model of a stand of Pedunculled oak and Common hornbeam - lateral view



Fotografija 4. Sastojina hrasta lužnjaka i običnoga graba - Pogled sa strane
Photo 4 Stand of Pedunculled oak and Common hornbeam - lateral view

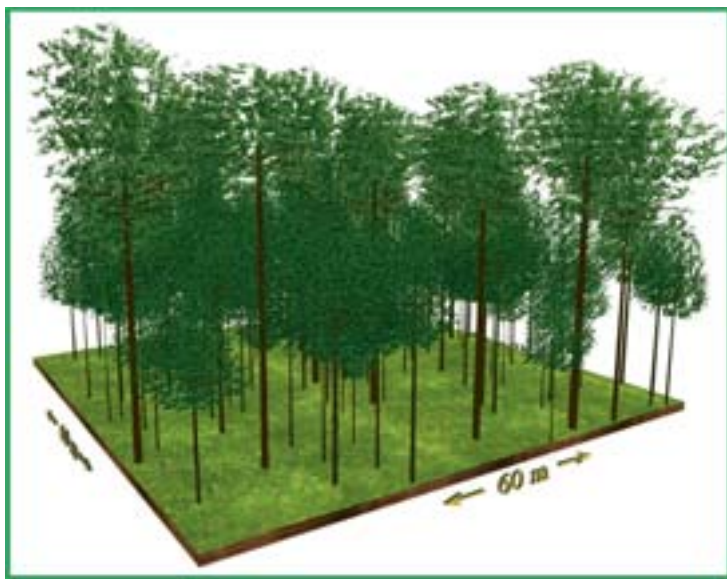
na izgled sastojine, kao i vizualno-trodimenzionalni model, prikazani su na Slikama 3.-8. Valja naglasiti kako Slika 3. i Fotografija 4. te Slika 4. i Fotografija 5. predstavljaju iste poglede, odnosno slika predstavlja pogled iz modela, a fotografija isti takav pogled iz sastojine.



Slika 4. Trodimenzionalni model sastojine hrasta lužnjaka i običnoga graba - Pogled iz sastojine
*Figure 4 Three-dimensional model of a stand of Peduncled oak and Common hornbeam
- view from inside the stand*



Fotografija 5. Sastojina hrasta lužnjaka i običnoga graba - Pogled iz sastojine
Photo 5 Stand of Peduncled oak and Common hornbeam - view from inside the stand



Slika 5. Trodimenzionalni model sastojine hrasta lužnjaka i običnoga graba - Pogled odozgo
Figure 5 Three-dimensional model of a stand of Peduncled oak and Common hornbeam - view from above

Budući se sastojinom hrasta i graba aktivno ne gospodari od proglašenja šume zaštićenim objektom šumske vegetacije (1975.), metodom simulacije proveden je naplodni sijek tako da su na terenu označena, a na modelu i povadena stabla iz sastojine. Intenzitet doznake je bio 17% po broju stabala, a 15% po temeljnici i volumenu. Nekoliko raznih pogleda na tako simulacijski obavljen naplodni sijek prikazano je na Slikama 9.-12.



Slika 6. Trodimenzionalni model sastojine bukve i jele - Pogled sa strane
Figure 6 Three-dimensional model of a stand of beech and fir - lateral view



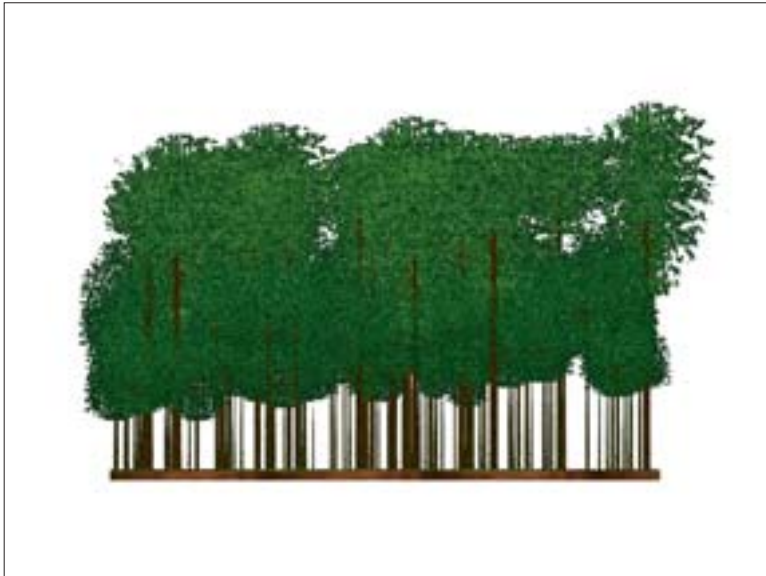
Slika 7. Trodimenzionalni model sastojine bukve i jele - Pogled iz sastojine
Figure 7 Three-dimensional model of a stand of beech and fir - view from inside the stand



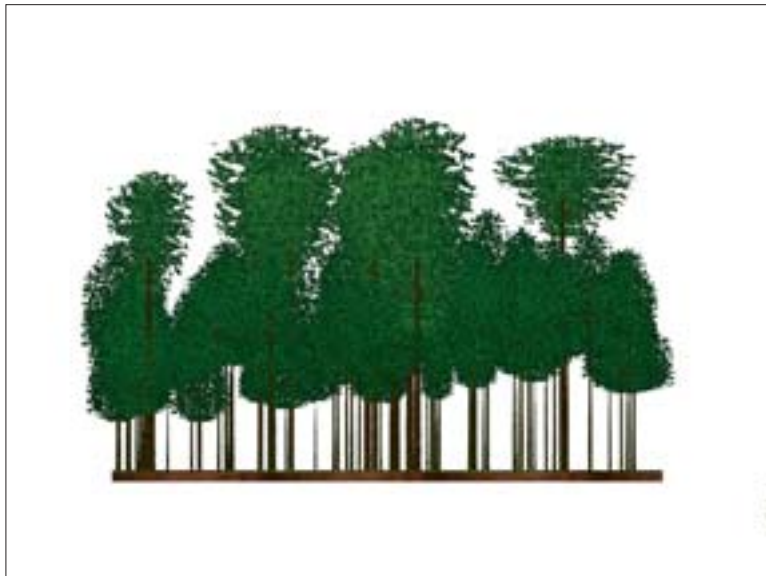
Slika 8. Trodimenzionalni model sastojine bukve i jele - Pogled odozgo
Figure 8 Three-dimensional model of a stand of beech and fir - view from above

Na navedenom modelu prikazanom u sastojini hrasta lužnjaka i običnoga graba također se može, na vrlo jednostavan način, pojedinačno, po slojevima (layer-ima-*AutoCAD*) promatrati prostorni raspored stabala (Slika 13.a), zastrtost (nezastrtost) tla krošnjama (Slika 13.b), pojedine etaže (Slika 13.c), pojedinačna stabla ili bilo koje druge kombinacije.

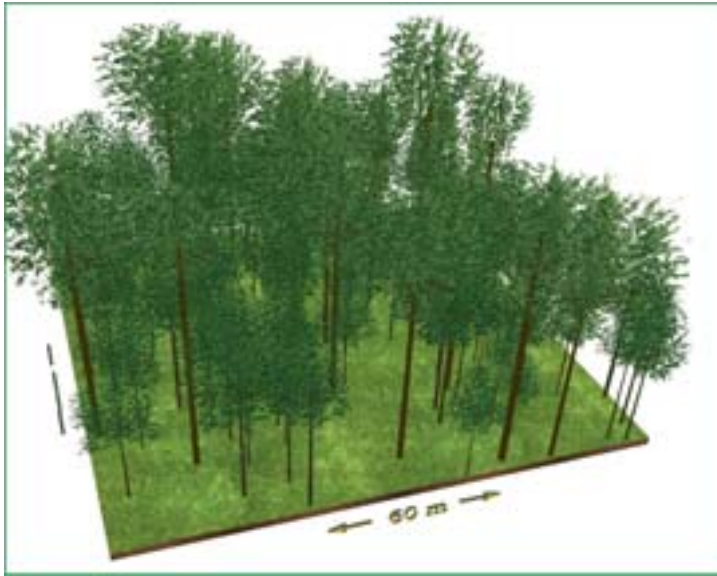
Promatrajući ova dva modela primjerom digitalizacije krošanja, izradbom vertikalnih profila i trodimenzionalnog modela, može se puno toga reći o strukturi ovih sastojina (visinskoj strukturi, strukturi krošanja po slojevima-etažama, oblicima krošanja, površinama i volumenima krošanja itd.), što, međutim, nije bio cilj



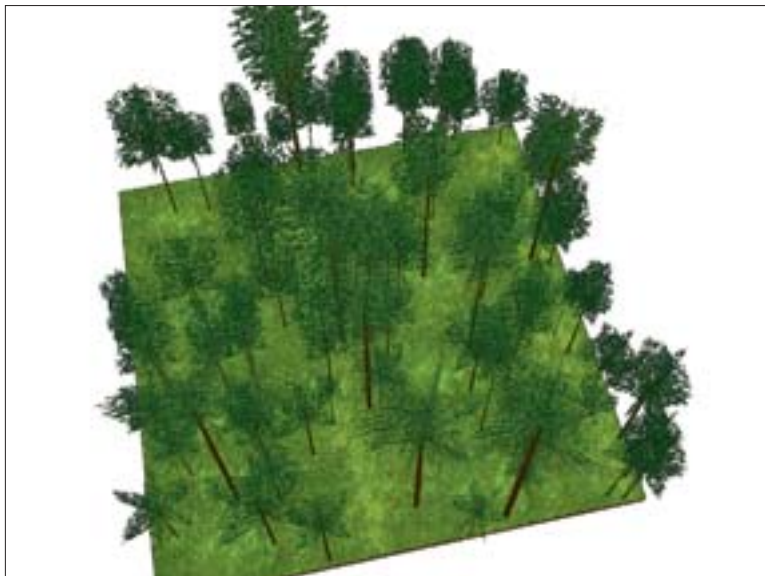
Slika 9. Trodimenzionalni model sastojine hrasta lužnjaka i običnoga graba prije simulacije izvođenja napludnog sijeka - pogled sa strane
Figure 9 Three-dimensional model of a stand of Peduncled oak and Hornbeam before the simulation of performing seed-cutting - lateral view



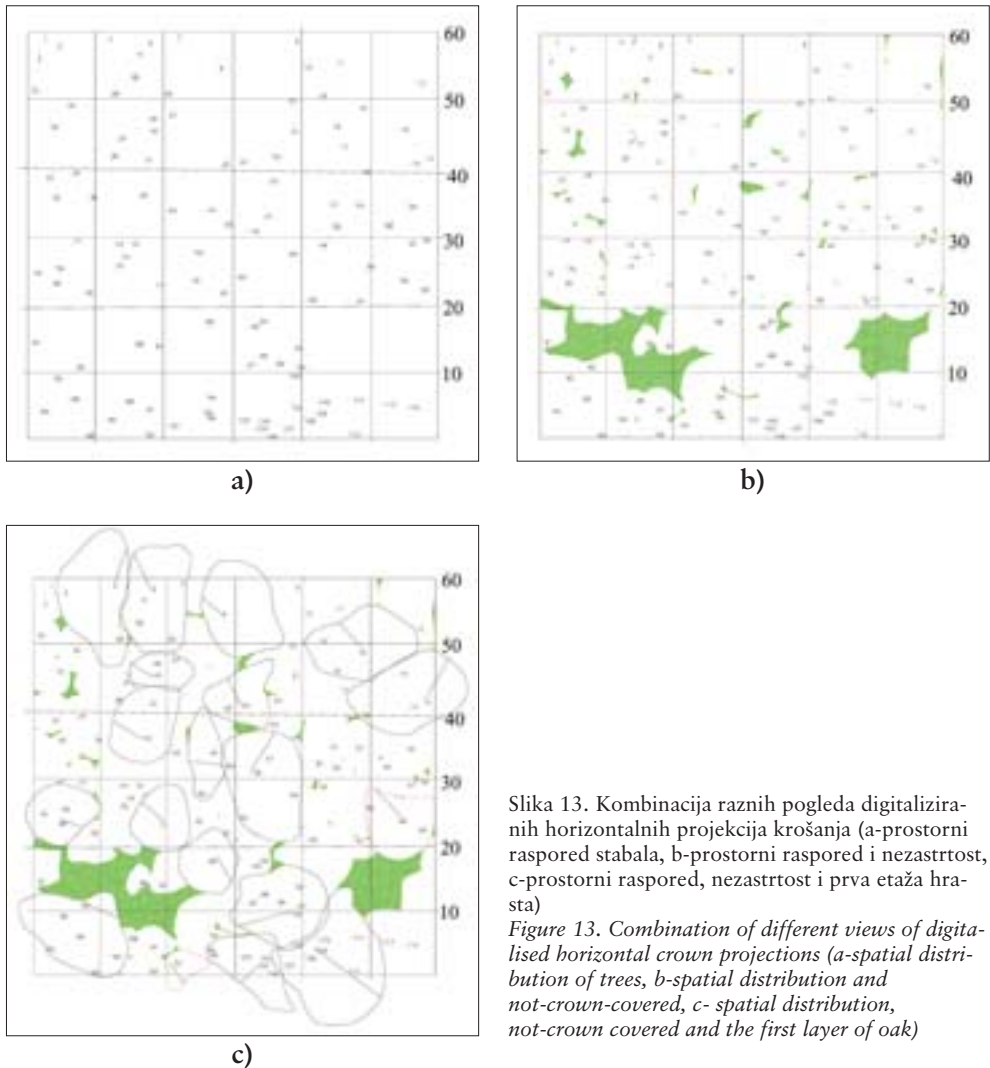
Slika 10. Trodimenzionalni model sastojine hrasta lužnjaka i običnoga graba poslije simulacije izvođenja napludnog sijeka - pogled sa strane
Figure 10 Three-dimensional model of a Peduncled oak and Common hornbeam stand after simulation of performing seed-cutting - lateral view



Slika 11. Trodimenzionalni model sastojine hrasta lužnjaka i običnoga graba prije simulacije izvođenja napludnog sijeka - pogled odozgo
Figure 11 Three-dimensional model of Peduncled oak and Common hornbeam stand before the simulation of performing seed cutting - view from above



Slika 12. Trodimenzionalni model sastojine hrasta lužnjaka i običnoga graba poslije simulacije izvođenja napludnog sijeka - pogled odozgo
Figure 12 Three-dimensional model of Peduncled oak and Common hornbeam stand after the simulation of performing seed-cutting - view from above



Slika 13. Kombinacija raznih pogleda digitaliziranih horizontalnih projekcija krošnja (a-prostorni raspored stabala, b-prostorni raspored i nezastrotost, c-prostorni raspored, nezastrotost i prva etaža hrasta)

Figure 13. Combination of different views of digitalised horizontal crown projections (a-spatial distribution of trees, b-spatial distribution and not-crown-covered, c- spatial distribution, not-crown covered and the first layer of oak)

ovih istraživanja. Ipak, temeljno je i razvidno na modelima kako navedeni rezultati ukazuju na upitnost zadovoljavajuće prirodne obnove i opstojnosti istraživanih sastojina u budućnosti. Posebice se to odnosi na šumu bukve i jele na plohi u Nacionalnom parku "Risnjak". Rezultati, općenito promatrajući, a što je razvidno iz Slike 2., ukazuju kako je unazad više desetljeća izostao priliv jele iz prirodnog pomlađivanja, posljedice čega se očituju u izmjeni vrste drveća, o čemu je pisano u radu DUBRAVAC, VULETIĆ i VRBEK (2005). Naime, stalnost neprestane prirodne obnove je osnovna pretpostavka za postojanje odgovarajuće preborne strukture u očuvanju biološke raznolikosti te temeljnog cilja u smislu stabilnosti, opstojnosti i potrajnosti istraživanih šumskih sastojina.

ZAKLJUČAK

CONCLUSION

Temeljem izučavanja nekih strukturnih čimbenika na dvjema našim karakterističnim šumskim zajednicama, sastojini hrasta lužnjaka i običnoga graba te bukve i jele, a rabeći novi način i mogućnost praćenja strukture na primjeru digitalizacije krošanja, kao i izradbom trodimenzionalnog modela sastojine mogu se donijeti sljedeći zaključci:

1. Primjenom digitalizacije horizontalnih projekcija krošanja (*Microstation-AutoCAD*) izrađeni su digitalni modeli projekcija krošanja i vertikalni profili sastojina (*CorelDraw*). Izrađen je virtualno-digitalni dinamički trodimenzionalni model sastojina s konkretnim mjerenim stablima. Modeli omogućuju računalno-digitalno praćenje obavljenih uzgojnih, ali i svih drugih mjera u sastojini, uspostavu monitoringa, simulaciju takvih mjera te otvaraju nove mogućnosti rješavanja i upravljanja postojećim informacijama, a svoju primjenu mogu naći u aerofototaksaciji i GIS-u.

2. Digitalni model projekcije krošanja u šumi bukve i jele, vertikalni profil sastojine, kao i trodimenzionalni model sastojine pokazuju izrazito gusti sklop bukve u drugom sloju drveća koji onemogućuje očekivanu prirodnu obnovu jele, posljedice čega se očituju u izmjeni vrste drveća.

3. Iz modela u šumi bukve i jele razvidna je narušena prirodna struktura sastojina, zbog neprovođenja adekvatnih uzgojnih mjera jer su iste pod stupnjem zaštite. Prevelika zastrtost tla krošnjama u objema sastojinama, kao i prevelika drvna masa nagomilana na malom broju starih prezrelih stabala, posebice u šumi bukve i jele, izrazito su važni čimbenici izostanka pojave mladog naraštaja jele iz sjemena.

4. Iako su prirodne pojave izrazito složeni procesi, u današnjoj eri primjene računala, razvojem novih tehnologija, u istraživanja se mogu uvesti nove mogućnosti praćenja razvoja sastojina. Metode digitalizacije i trodimenzionalne vizualizacije mogu poslužiti predočavanju prirodnog razvoja sastojina, vizualnoj usporedbi sastojina prije i poslije zahvata, kao i pomaku paradigme (primjera-obrasca) istraživanja u šumarstvu od promatranja cijele sastojine prema pristupu istraživanja pojedinog stabla.

5. Digitalizacija krošanja i vizualizacija sastojina primjenjiva je kod šuma posebne namjene (nacionalni parkovi, park šuma, trajne pokusne plohe u šumama za znanstvena istraživanja) te kod ploha za ICP monitoring.

LITERATURA

REFERENCES

- ASSMANN, E., 1970: Forest Yield Study, Pergamon Press. pp. 506.
BADOUX, E., 1949: L allure del accroissement dans la foret jardinée, 9-58, Zürich.
BURGER, H., (1937): Kronenuntersuchungen, Schweizerische Zeitschrib für Forstwesen, 44-49, Zürich.

- ČAVLOVIĆ, J., 1996: Simulacijski model dinamičkog sustava preborne sastojine. Hrvatsko šumarsko društvo, Skrb za hrvatske šume od 1846. do 1996. Unapređenje proizvodnje biomase šumskih ekosustava, Knjiga 1: 147-156, Zagreb.
- ČAVLOVIĆ, J., T. DUBRAVAC, M. BENKO, 2003: SD simulation model as support in regulation of selection stands with irregular structure and absence of recruitment. IUFRO Interdisciplinary Conference and Field Tour, «Uneven-aged Forest Management: Alternative Forms, Practises, and Constraints» Finland and Sweden, June 8-17, 2003., (oral presentation), 6 pages.
- DUBRAVAC, T., V. NOVOTNY, 1992: Metodologija tematskog područja uzgajanje šuma - rast i prirast (primijenjena u multidisciplinarnom projektu ekološko ekonomske valencije tipova šuma). Rad. Šumar. inst. 27 (2): 157-166, Jastrebarsko.
- DUBRAVAC, T., 2002: Zakonitosti razvoja strukture krošanja hrasta lužnjaka i običnoga graba ovisno o prsnom promjeru i dobi u zajednici *Carpino betuli-Quercetum roboris* Anić em Rauš 1969". Disertacija, pp 197, Zagreb.
- DUBRAVAC, T., 2003: Dinamika razvoja promjera krošanja hrasta lužnjaka i običnoga graba ovisno o prsnom promjeru i dobi. (*Developmental dynamics of crown diameters in peduncled oak and common hornbeam related to diameter breast height and age*). Rad. Šumar. inst. 38 (1): 35-54, Jastrebarsko.
- DUBRAVAC, T., M. BENKO, J. ČAVLOVIĆ, 2003: Application of digitalisation in studying the structure of uneven-aged stands in non-economic forests of Croatia. IUFRO International Interdisciplinary Conference and Field Tour, «Uneven-aged Forest Management: Alternative Forms, Practises, and Constraints» Finland and Sweden, June 8-17, 2003., (oral presentation), 5 pages.
- DUBRAVAC, T., V. KREJČI, B. VRBEK, 2004: Stanje strukture i mogućnost prirodne obnove čistih bukovih sastojina u šumskom rezervatu Medvjedak. Plitvički bilten br. 6, RADOVI, 179-200, Nacionalni park Plitvička jezera.
- DUBRAVAC T., D. VULETIĆ, B. VRBEK, 2005: Natural Reforestation and Future of Beech and Fir Forests in the Risnjak NP, Periodicum Bilogorum br. 1, Vol. 107, pp. 73-79, Zagreb.
- GOULDING, C.J., 1994: Development of growth models for pinus radiata in New Zeland, Experience with management and process models. For. Ecol. Manage., 69: 331-343
- HAMILTON, G.J., 1969: The dependence of volume increment of individual trees on dominance, crown dimensions, and competition. Forestry 42, pp. 133-144.
- HASENAUER, H., 1994: Ein Einzelbaumwachstumssimulator für ungleichaltrige Fichten-Kiefern und Buchen-Fichtenmischbestände. Forstl. Schriftenreihe, Band 8.
- JUDSON, O.P., 1994: The rise of individual-based model in ecology. Trends Ecol. Evol., 9: 9-14.
- LOJO, A., K., PONJAVIĆ, 2004: GIS u gazdovanju prirodnim resursima. Udžbenik, pp 205, Tuzla.
- KREJČI V., T. DUBRAVAC, 2001: Mogućnost obnove šuma Nacionalnih parkova. Rad. Šumar. inst. 36 (2): 113-122, Jastrebarsko.
- KREJČI, V., T. DUBRAVAC, 2004: Problemi obnove šuma hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) vlažnoga tipa tijekom oplodnih sječa. Šum. list 3-4: 119-126, Zagreb.
- MATIĆ, S., 1973: Prirodno pomlađivanje kao faktor strukture sastojine u šumama jele s rebračom (*Blechno-Abietetum* Horv.). Šum. list (9-10): 321-358 Zagreb.
- MAGUIRE, D.A., J.C. BRISSETTE, L., GU, 1998: Crown structure and growth efficiency of red spruce in uneven-aged, mixed-species stands in Maine. *Can. J. For. Res.* 28, pp. 12333-1240. Abstract-GEOBASE. Full Text via CrossRef.
- McGAUGHEY, R. J., (1997): Stand Visualization System, USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Electronic distribution, Online-Publikation, 52 S.

- O'HARA, K.L., 1988: Stand structure and growing space efficiency following thinning in an even-aged Douglas-fir stand. *Can. J. For. Res.* 18, pp. 859-866.
- O'HARA, K.L., E., LAHDE, O., LAIHO, Y., NOROKORPI, Y., SAKSA, 2001: Leaf area allocation as a guide to stocking control in multi-aged, mixed-conifer forests in southern Finland. *Forestry* 2, pp. 171-185.
- ORLAND, B., 1997: SmartForest-II: Forest Visual Modeling for Forest Pesat Management and Planning, Online Publikation der Universität von Illinois, , Januar 2000.
- PRETZSCH, H., 1997: Analysis and modeling of spatial stand structures. Methodological Considerations on mixed beech-larch stands in lower Saxony. *For. Ecol. Manage.*, 97: 237-253.
- PRETZSCH, H., S. SEIFERT, 2000: Methoden zur Visualisierung des Waldwachstums. *Forstw. Cbl.* 119: 100-113, Berlin.
- PRETZSCH, H., 2002: Application and evaluation of the growth simulator SILVA 2.2 for forest stands, forest estates and large regions. *Forstw. Cbl.* 121(Suppl.1): 28-51, Berlin.
- SEIFERT, S., 1998: Dreidimensionale Visualisierung des Waldwachstums, Dipl.-Arbeit im Fachbereich informatik der Fachhochschule München in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Waldwachstumkunde der Ludwig-Maximilians-Universität München, 133 S. und Anh.
- STERBA, H., M. MOSER, R. MONSERUD, 1995: Prognaus – Ein Waldwachstumssimulator für Reinund Mischbestände, *Österreichische Forstzeitung*, H. 5, S. 19-20.
- WEBSTER, C.R., C.G. LORIMER, 2003: Comparative growing space efficiency of four tree species in mixed conifer-hardwood forests. *Forest Ecology and Management*, Volume 177, Issues 1-3, april, pp. 361-377.
- VANCLAY, J.K., 1994: Modeling forest growth and yield. CAB International, 380 pp.
- ŠAFAR, J., 1963: Uzgajanje šuma. Udžbenik, pp. 598, Zagreb.

APPLICATION OF DIGITALISATION OF CROWNS AND METHOD OF VISUALISATION IN A STUDY OF STAND STRUCTURES

Summary

*The paper presents the possibilities of a new method for the study of stand structures by crown digitalisation and production of a three-dimensional model of stands (visualisation). An investigation was carried out in a natural mixed stand of Peduncled oak and Common hornbeam (*Carpino betulli-Quercetum roboris*, [Anić 1959] emend. Rauš 1969) and in a beech and fir stand (*Omphalodo vernaе-Fagetum*, Marinček et al 1992).*

On experimental plots of permanent character all trees were marked by numbers and mapped, and d b h, tree heights and stem lengths measured and horizontal crown projections recorded. Crown projections were then digitalised in the CAD programme MicroStation, application IRAS B with mean accuracy of 4 cm. Geo-coding and functions of equation were performed by Affin transformation (coordinate projection from one plane-source coordinating system into another plane-exit coordinating system) and by transforming the raster file into vector form; also in the programme MicroStation. On the vector planes without canopy within the area (plot) and surfaces under crowns outside the area (plots), were calculated. Data were then transferred into the AutoCAD 2000 dwg programme for the purpose of simplification of presentation. Crown projections were completed by the vertical profile (Corel Draw) of the stand, which proportionally shows the relation between basic elements of the crown and stem. A three-dimensional model of the stand was made based on the measured dimensions of trees in the field and by the computer programme 3DS Max. The corresponding texture of crowns was added to the model, which resulted in a clearer presentation of the situation. During construction of the model attention was paid to the spatial distribution of trees, tree heights, stem lengths, lengths and widths of crowns and phenotypical forms of crowns of oak, hornbeam, beech and fir. Seed - cutting was simulated in the stand of Peduncled oak and Common hornbeam and shown in three-dimensional form.

The models enable computer monitoring and simulation of management measures in a stand and present new possibilities for solving and using existing information, and their application can be found in aerial-photography estimation and GIS. Methods of three-dimensional visualisation can serve for the presentation of natural development of stands, visual comparison of stands before and after intervention, as well as for the change of the paradigm (example-pattern) in forestry research from whole-stand observation to investigation of an individual tree.

Key words: *stand structure, crown projections, digitalisation, three-dimensional model, oak, hornbeam, beech, fir*