

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

Šumarski fakultet

Krunoslav Indir

Utjecaj elemenata strukture na prirast starijih sastojina
u zajednici hrasta lužnjaka i običnoga graba (*Carpino
betuli–Quercetum roboris*, /Anić 1959/ emend. Rauš
1969)

DISERTACIJA

Zagreb, 2011.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

TI (naslov)	Utjecaj elemenata strukture na prirast starijih sastojina u zajednici hrasta lužnjaka i običnoga graba (<i>Carpino betuli–Quercetum roboris</i> , /Anić 1959/ emend. Rauš 1969)
AU (autor)	Krunoslav Indir
AD (adresa)	Križevačka 31a, 48000 Koprivnica, Hrvatska e-mail: krunoslav.indir@gmail.com
AA (mentor)	Prof.dr.sc Jura Čavlović
SO (izvor)	Knjižnica Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu Svetošimunska 25 Knjižnica Hrvatskog šumarskog instituta, Cvjetno naselje 41, Jastrebarsko
PY (godina objave)	2011
LA (izvorni jezik)	Hrvatski
LS (jezik sažetka)	Engleski
DE (ključne riječi)	Hrast lužnjak (<i>Quercus robur</i> L.), elementi strukture, kompeticijski indeksi, debljinski prirast
GE (zemlja objave)	Republika Hrvatska
PT (vrsta objave)	Disertacija
VO (obujam)	148 stranica + 54 tablica + 68 slika + 151 literaturni navod
AB (sažetak)	Istraživanje za potrebe ove doktorske disertacije provedeno je u državnim šumama na području gospodarske jedinice Repaš – Gabajeva Greda, kojom gospodari šumarija Repaš, u sastavu Uprave šuma Podružnice Koprivnica. Predmet istraživanja su starije sastojine hrasta lužnjaka i običnoga graba koje pripadaju šumskoj zajednici <i>Carpino betuli–Quercetum roboris</i>, /Anić 1959/ emend. Rauš 1969. Plohe za izmjeru postavljene su 2000. g. u sastojinama starosti 75-132 godina. Podaci su prikupljeni s 45 kružnih ploha veličine 0,071 do 0,283 ha. Mjereni su prsni promjeri, visine, širine krošanja, određivan položaj stabala na plohi, a lužnjakovim stablima su izvađeni izvrtci i određene širine godova. Uredskom obradom podataka izračunati su elementi strukture, udaljenosti između stabala, debljinski prirasti. za svaku plohu izračunata su tri indeksa strukture sastojine (Clark-Evansov agregacijski indeks, indeks ispremiješanosti vrsta (Feuldner, 1995) te indeks diferencijacije promjera (Fueldner, 1995)). Prema utvrđenim kriterijima na svim su plohama odabrana referentna/glavna stabla te njihovi konkurenti u zoni kompeticije koja je definirana udaljenošću od glavnog stabla. Za sva glavna stabla računati su kompeticijski indeksi (Hegyijev kompeticijski indeks, Weberov visinski kompeticijski indeks, te Weberov dinamički kompeticijski indeks za svaku godinu od 1980-2000. što je bilo moguće zahvaljujući podacima o širinama godova za navedeno razdoblje. Kumulativne krivulje dinamičkog kompeticijskog indeksa su klasterirane kako bi se dobile grupe stabala koje su kroz promatrano razdoblje imale slične obrasce rasta i razvoja s obzirom na njihovu razinu i trend kompeticijskog utjecaja. Na temelju rezultirajućih dendrograma razlučene su grupe stabala sa sličnom kompetitivnom dinamikom. Regresijskom analizom utjecaja pojedinih elemenata strukture na debljinski prirast dobiveni su modeli s koeficijentima determinacije do 47,9%. Regresijske jednadžbe ovisnosti debljinskog prirasta o pojedinim elementima strukture pomoći će u predikciji razvoja stabla i sastojine. Istraživanje je pokazalo mogućnosti primjene i načine interpretacije indeksa strukture sastojine i kompeticijskih indeksa individualnih stabala kao dodatnih pokazatelja strukture koji pomažu u kvantifikaciji stanja i komparaciji sastojina.

BASIC DOCUMENTATION CARD

TI (Title)	Structural elements influence on increment of older pedunculate oak-hornbeam stands (<i>Carpino betuli-Quercetum roboris</i> , /Anić 1959/ emend. Rauš 1969)
OT (Original title)	Utjecaj elemenata strukture na prirast starijih sastojina u zajednici hrasta lužnjaka i običnoga graba (<i>Carpino betuli-Quercetum roboris</i> , /Anić 1959/ emend. Rauš 1969)
AU (Author)	Krunoslav Indir
AD (Address of Author)	Križevačka 31a, 48000 Koprivnica, Hrvatska e-mail: krunoslav.indir@gmail.com
AA (Mentor)	Prof.dr.sc. Jura Čavlović
SO (Source)	Forestry library, Faculty of Forestry Zagreb, University of Zagreb, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb Forestry library, Croatian Forest Research Institute, Cvjetno naselje 41, Jastrebarsko
PY (Publication Year)	2011
LA (Language of Text)	Croatian
LS (Language of Summary)	English
DE (Descriptors, key words)	Pedunculate oak (<i>Quercus robur</i> L.), structural elements, competition indices, radial increment
GE (Geo. Headings)	Republic of Croatia
PT (Publication Type)	Doctoral Thesis
VO (Volume)	148 pages + 54 tables + 68 figures + 151 bibliographical references
AB (Abstract)	Research for this doctoral thesis has been conducted in state-owned forests under the management unit Repaš – Gabajeva Greda area which is administrated by forest office Repaš, part of the regional forest office Koprivnica. Object of the research are older pedunculate oak and common hornbeam stands which belong to the forest community <i>Carpino betuli-Quercetum roboris</i> , /Anić 1959/ emend. Rauš 1969. Sample plots were set in year 2000. on 75-132 year-old stands. Data were collected of 45 circle plots sized 0,071 to 0,283 ha. Breast-high diameters, height and crown widths were measured, tree position on the plot was determined, and pedunculate oak trees had increment cores taken and tree rings width determined. In data processing structural elements, distance between trees and radial increments were calculated, for each plot three stand structure indices were calculated (Clark and Evans aggregation index, species mingling index (Feuldner, 1995) and diameter differentiation index (Feuldner, 1995)). By determined criteria in all the plots referent trees were selected as well as their competitors in competition zone defined by referent tree distance. For all referent trees competition indices were calculated (Hegyi competition index, Weber's height competition index, and Weber's dynamic competition index for each year 1980 – 2000, which was possible thanks to tree rings width data for the stated time period. Competition index cumulative curves were clustered in order to produce tree groups which had similar tree growth patterns according to their level and competing influence trend. Based on the resulting dendrograms, groups of trees with similar competing dynamics were distinguished. Regression analysis of the influence that a particular structural element has on the radial increment produced models with determination coefficient up to 47,9%. Regression equations of radial increment correlation with particular structural elements will be helpful in tree and stand growth prediction. The research has indicated possibilities of use and ways of interpreting stand structure indices as well as ways of interpreting competition indices of individual trees as additional indicators of structure, which are helpful in condition quantification and stand comparison.

SADRŽAJ

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA	II
SADRŽAJ	IV
POPIS TABELA	VI
POPIS SLIKA	VIII
1. UVOD	1
1.1. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA	2
1.1.1. STRUKTURA SASTOJINE	2
1.1.2. PRIRAST STABALA	9
1.1.3. KOMPETICIJA KAO ČIMBENIK VELIČINE PRIRASTA	10
1.2. PREDMET ISTRAŽIVANJA	13
1.3. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA	14
1.3.1. ZEMLJOPISNI POLOŽAJ	15
1.3.2. GEOLOŠKA PODLOGA I TLO	16
1.3.3. KLIMA	17
1.3.4. VEGETACIJA	18
1.3.5. GOSPODARSKE KARAKTERISTIKE	19
1.4. CILJ ISTRAŽIVANJA	22
2. MATERIJAL I METODE	24
2.1. KREIRANJE UZORKA	24
2.2. TERENSKI RADOVI	26
2.2.1. TERENSKI RADOVI 2000. GODINE	27
2.2.2. TERENSKI RADOVI 2007. GODINE	30
2.3. OBRADA PODATAKA	33
2.3.1. BAZA PODATAKA	33
2.3.2. OPIS IZVEDENIH VELIČINA	36
2.3.2.1. SREDNJI PRSNI PROMJER	36
2.3.2.2. ŠIRINE KROŠANJA	36
2.3.2.3. ŠIRINE GODOVA	36
2.3.3. IZRAČUNI ELEMENATA STRUKTURE	37
2.3.3.1. IZRAČUN BROJA STABALA (<i>N</i>), TEMELJNICE (<i>G</i>) I VOLUMENA (<i>V</i>) NA PLOHAMA	37
2.3.3.2. IZRAČUN UDALJENOSTI IZMEĐU STABALA NA PLOHAMA	40
2.3.3.3. DEBLJINSKI PRIRAST	41
2.3.3.4. TEMELJNICA I PRIRAST TEMELJNICE	41
2.3.4. IZRAČUN INDEKSA STRUKTURE SASTOJINE	42
2.3.4.1. CLARK – EVANSOV INDEKS AGREGACIJE	42
2.3.4.2. INDEKS ISPREMIJEŠANOSTI VRSTA (<i>SPECIES MINGLING INDEX</i>)	42
2.3.4.3. INDEKS DIFERENCIRANOSTI PROMJERA	43
2.3.5. ODABIR GLAVNIH I KONKURENTNIH STABALA	44
2.3.6. IZRAČUN KOMPETICIJSKIH INDEKSA	45
2.3.6.1. HEGYIJEV INDEKS	47
2.3.6.2. WEBEROV VISINSKI KOMPETICIJSKI INDEKS	48
2.3.6.3. WEBEROV DINAMIČKI KOMPETICIJSKI INDEKS	49
2.3.7. STATISTIČKA OBRADA PODATAKA	49
2.3.7.1. KLASITERIRANJE KUMULATIVNOG DINAMIČKOG KOMPETICIJSKOG INDEKSA	50
2.3.7.2. REGRESIJSKA ANALIZA DEBLJINSKOG PRIRASTA	51
3. REZULTATI	57
3.1. REZULTATI IZMJERENIH I IZVEDENIH VELIČINA	57
3.2. PRSNI PROMJERI	59
3.3. VISINA STABALA	69
3.4. ŠIRINE KROŠANJA	75
3.5. <i>N</i> , <i>G</i> , <i>V</i> PO PLOHAMA I DOBNIM RAZREDIMA	78

3.6.	REZULTATI IZRAČUNA INDEKSA STRUKTURE SAS TOJINE	82
3.6.1.	CLARK-EVANSOV INDEKS AGREGACIJE	82
3.6.2.	REZULTATI IZRAČUNA INDEKSA ISPREMIJEŠANOSTI VRSTA (<i>MINGLING INDEX</i>).....	85
3.6.3.	REZULTATI IZRAČUNA INDEKSA DIFERENCIRANOSTI PROMJERA SAS TOJINE	87
3.7.	REZULTATI IZRAČUNA KOMPETICIJSKIH INDEKSA	89
3.7.1.	REZULTATI IZRAČUNA HEGYIJEVOG KOMPETICIJSKOG INDEKSA	89
3.7.2.	REZULTATI IZRAČUNA WEBEROVOG VISINSKOG KOMPETICIJSKOG INDEKSA.....	97
3.7.3.	REZULTATI IZRAČUNA WEBEROVOG DINAMIČKOG KOMPETICIJSKOG INDEKSA	98
3.8.	REZULTATI KLASTERIRANJA WEBEROVOG DINAMIČKOG KOMPETICIJSKOG INDEKSA	104
3.9.	OVISNOST DEBLJINSKOG PRIRASTA O ODABRANIM VARIJABLAMA	112
3.9.1.	PARCIJALNE LINEARNE KORELACIJE DEBLJINSKOG PRIRASTA I ODABRANIH VARIJABLI.....	112
3.9.2.	MODELIRANJE DEBLJINSKOG PRIRASTA.....	115
4.	RASPRAVA	122
4.1.	MOGUĆNOSTI KORIŠTENJA INDEKSA SAS TOJINE.....	122
4.2.	STATIČKI KOMPETICIJSKI INDEKSI	124
4.3.	DINAMIČKI KOMPETICIJSKI INDEKS I KLASTERIRANJE	126
4.4.	ELEMENTI STRUKTURE I NJIHOV UTJECAJ NA PREDIKCIJU PRIRASTA	128
5.	ZAKLJUČCI.....	132
6.	LITERATURA.....	135
	SAŽETAK.....	146
	SUMMARY.....	147
	ŽIVOTOPIS.....	148

POPIS TABELA

TABELA 1. STRUKTURNI ATRIBUTI KOJI SE KORISTE ZA OPISIVANJE SASTOJINE (McELHINNY I DR. 2005)	6
TABELA 2. INDEKSI KOJI SE KORISTE ZA KVANTIFICIRANJE STRUKTURNE KOMPLEKSNOSTI SASTOJINE (McELHINNY I DR., 2005)	8
TABELA 3. METEOROLOŠKA POSTAJA KOPRIVNICA - OBORINE (1970.-2007.)	17
TABELA 4. METEOROLOŠKA POSTAJA KOPRIVNICA - PADAVINE (1970.-2007.)	17
TABELA 5. KRETANJE DRVNE ZALIHE PO VRSTAMA DRVEĆA ZA G.J. REPAŠ – GABAJEVA GREDA OD 1951.-2001. (OSNOVA GOSPODARENJA, 2001)	20
TABELA 6. OMJER SMJESE U UREĐAJNOM RAZREDU HRASTA LUŽNJAKA (OSNOVA GOSPODARENJA 2001)	21
TABELA 7. EVIDENCIJE O IZVRŠENIM SJEČAMA (1991-2000) U ODSJECIMA U KOJIMA SU POSTAVLJENE PLOHE	21
TABELA 8. RASPODJELA PLOHA PREMA STAROSNIM KLASAMA PO 10 I 20 GODINA	25
TABELA 9. VELIČINE PLOHE ZA IZMJERU	26
TABELA 10. PARAMETRI DRVNOGROMADNIH TABLICA (ŠPIRANEC, 1975.)	39
TABELA 11. BROJ POSJEČENIH STABALA LUŽNJAKA NA PLOHAMA KROZ REDOVNI PRIHOD U RAZDOBLJU 1991.-2000.	46
TABELA 12. JAKOST VEZE PREMA ROEMER-ORPHALOVOJ SKALI (PREMA. VASILJ 2000.)	52
TABELA 13. SVE VARIJABLE U MATRICI ZA STATISTIČKU OBRADU PODATAKA	52
TABELA 14. UČESTALOST BROJA STABALA POJEDINE VRSTE DRVEĆA PO PLOHAMA 2000./2001. GODINE	57
TABELA 15. UČESTALOST BROJA STABALA POJEDINE VRSTE DRVEĆA PO DOBNIM RAZREDIMA ŠIRINE 20 GODINA (2000./2001.)	58
TABELA 16. UČESTALOST BROJA STABALA POJEDINE VRSTE DRVEĆA PO DOBNIM RAZREDIMA ŠIRINE 10 GODINA (2000./2001.)	59
TABELA 17. DESKRIPTIVNA STATISTIKA MJERENIH PRSNIH PROMJERA 2000./2001. G. PO DOBNIM RAZREDIMA ŠIRINE 20 GODINA	60
TABELA 18. DESKRIPTIVNA STATISTIKA MJERENIH PRSNIH PROMJERA 2000./2001. G. PO DOBNIM RAZREDIMA ŠIRINE 10 GODINA (CM)	60
TABELA 19. DESKRIPTIVNA STATISTIKA MJERENIH VISINA 2000./2001. G. PO DOBNIM RAZREDIMA ŠIRINE 20 GODINA	69
TABELA 20. DESKRIPTIVNA STATISTIKA MJERENIH VISINA PO DOBNIM RAZREDIMA ŠIRINE 10 GODINA	70
TABELA 21. DESKRIPTIVNA STATISTIKA MJERENIH VISINA DO PRVE ŽIVE GRANE PO DOBNIM RAZREDIMA ŠIRINE 20 GODINA	73
TABELA 22. DESKRIPTIVNA STATISTIKA MJERENIH VISINA DO PRVE ŽIVE GRANE (DUŽINA DEBLA) PO DOBNIM RAZREDIMA ŠIRINE 10 GODINA	74
TABELA 23. DESKRIPTIVNA STATISTIKA SREDNJIH ŠIRINA KROŠANJA PO DOBNIM RAZREDIMA ŠIRINE 20 GODINA	75
TABELA 24. DESKRIPTIVNA STATISTIKA SREDNJIH ŠIRINA KROŠANJA PO DOBNIM RAZREDIMA ŠIRINE 10 GODINA	75
TABELA 25. DESKRIPTIVNA STATISTIKA N , G I V TE OMJERA SMJESE 2000./2001. G. PO PLOHAMA I DOBNIM RAZREDIMA ŠIRINE 20 GODINA	78
TABELA 26. DESKRIPTIVNA STATISTIKA N , G I V TE OMJERA SMJESE PO PLOHAMA I DOBNIM RAZREDIMA ŠIRINE 10 GODINA	79
TABELA 27. CLARK-EVANSOV INDEKS PO DOBNIM RAZREDIMA ŠIRINE 20 GODINA	82
TABELA 28. CLARK-EVANSOV INDEKS PO DOBNIM RAZREDIMA ŠIRINE 10 GODINA	82
TABELA 29. "MINGLING" INDEKS PO DOBNIM RAZREDIMA ŠIRINE 20 GODINA	85
TABELA 30. "MINGLING" INDEKS PO DOBNIM RAZREDIMA ŠIRINE 10 GODINA	86
TABELA 31. INDEKS DIFERENCIJACIJE PRSNOG PROMJERA PO DOBNIM RAZREDIMA ŠIRINE 20 GODINA	87
TABELA 32. INDEKS DIFERENCIJACIJE PRSNOG PROMJERA PO DOBNIM RAZREDIMA ŠIRINE 10 GODINA	88
TABELA 33. HEGYIJEV STATIČKI KOMPETICIJSKI INDEKS PO DOBNIM RAZREDIMA ŠIRINE 20 GODINA	89
TABELA 34. HEGYIJEV STATIČKI KOMPETICIJSKI INDEKS PO DOBNIM RAZREDIMA ŠIRINE 10 GODINA	90
TABELA 35. WEBEROV VISINSKI KOMPETICIJSKI INDEKS PO DOBNIM RAZREDIMA OD 20 GODINA	97
TABELA 36. WEBEROV VISINSKI KOMPETICIJSKI INDEKS PO DOBNIM RAZREDIMA OD 10 GODINA	98
TABELA 37. REGRESIJSKA ANALIZA KUMULATIVNOG KOMPETICIJSKOG INDEKSA PO DOBNIM RAZREDIMA ŠIRINE 20 GODINA	103
TABELA 38. REGRESIJSKA ANALIZA KUMULATIVNOG KOMPETICIJSKOG INDEKSA PO DOBNIM RAZREDIMA ŠIRINE 10 GODINA	104
TABELA 39. KLASITERI I PRIPADAJUĆA SVOJSTVA GLAVNIH I KONKURENTNIH STABALA	106

TABELA 40. ANALIZA VARIJANCE VARIJABLI/SVOJSTAVA STABALA I PLOHA PO KLASTERIMA	107
TABELA 41. PROSJEČNI GODIŠNJI DEBLJINSKI PRIRAST PO KLASTERIMA	110
TABELA 42. ELEMENTI STRUKTURE PLOHE/SASTOJINE PO KLASTERIMA – ANALIZA VARIJANCE	111
TABELA 43. KORELACIJE ODABRANIH VARIJABLI I DEBLJINSKOG PRIRASTA HRASTA LUŽNJAKA U RAZDOBLJU 2000.-2007.g.	113
TABELA 44. KORELACIJE ODABRANIH VARIJABLI I DEBLJINSKOG PRIRASTA U RAZDOBLJU 1980.-2000.g.	114
TABELA 45. PREGLED IZRAĐENIH MODELA DEBLJINSKOG PRIRASTA	115
TABELA 46. REGRESIJSKI MODEL ZNAČAJNIH PREDIKTORA PROCJENE DEBLJINSKOG PRIRASTA LUŽNJAKOVIH STABALA – <i>MODEL ID_1</i>	116
TABELA 47. REGRESIJSKI MODEL ZNAČAJNIH PREDIKTORA PROCJENE DEBLJINSKOG PRIRASTA LUŽNJAKOVIH STABALA – <i>MODEL ID_3</i>	117
TABELA 48. REGRESIJSKI MODEL ZNAČAJNIH PREDIKTORA PROCJENE DEBLJINSKOG PRIRASTA LUŽNJAKOVIH STABALA – <i>MODEL ID_14</i>	118
TABELA 49. REGRESIJSKI MODEL ZNAČAJNIH PREDIKTORA PROCJENE DEBLJINSKOG PRIRASTA LUŽNJAKOVIH STABALA – <i>MODEL ID_19</i>	118
TABELA 50. REGRESIJSKI MODEL ZNAČAJNIH PREDIKTORA PROCJENE DEBLJINSKOG PRIRASTA LUŽNJAKOVIH STABALA – <i>MODEL ID_26</i>	119
TABELA 51. REGRESIJSKI MODEL ZNAČAJNIH PREDIKTORA PROCJENE DEBLJINSKOG PRIRASTA LUŽNJAKOVIH STABALA – <i>MODEL ID_27</i>	120
TABELA 52. REGRESIJSKI MODEL ZNAČAJNIH PREDIKTORA PROCJENE DEBLJINSKOG PRIRASTA LUŽNJAKOVIH ALFA STABALA – <i>MODEL ID_A</i>	120
TABELA 53. REGRESIJSKI MODEL ZNAČAJNIH PREDIKTORA PROCJENE DEBLJINSKOG PRIRASTA LUŽNJAKOVIH STABALA – <i>MODEL ID_5D</i>	121
TABELA 54. VRIJEDNOSTI STATIČKIH KOMPETICIJSKIH INDEKSA PO TIPOVIMA STABALA – KLASTERIMA	128

POPIS SLIKA

SLIKA 1. PREGLED TRIJU GLAVNIH KARAKTERISTIKA STRUKTURE SASTOJINA I GRUPA VARIJABLI KOJE JE OPISUJU (POMMERENING, 2002, MODIFICIRANO OD ALBERT, 1999)	3
SLIKA 2. STRUKTURNE ČETVORKE ZA RAČUNANJE INDEKSA ISPREMIJEŠANOSTI VRSTA (<i>SPECIES MINGLING</i>) I INDEKSA DIFERENCIJACIJE PROMJERA (<i>DBH DIFFERENTIATION</i>) (POMMERENING 2002, PREMA ALBERT I GADOW 1998)	5
SLIKA 3. PREKLAPANJA KROŠANJA (O_1-O_4) UKAZUJU NA KOMPETICIJU SA SUSJEDNIM STABLIMA (HASENAUER, 2006)	11
SLIKA 4. RASPROSTRANJENOST HRASTA LUŽNJAKA U HRVATSKOJ (TRINAJSTIĆ, 1996.)	14
SLIKA 5. GOSPODARSKA JEDINICA REPAŠ – GABAJEVA GREDA (NJEN VEĆI DIO) (GOOGLEEARTH™)	15
SLIKA 6. PREKODRAVLJE I ŠUMSKI PROSTOR IZMEĐU ŽDALE I REPAŠA (PREMA CRKVENČIĆ I DR. (2003))	16
SLIKA 7. KLIMADIJAGRAM PO WALTERU ZA METEOROLOŠKU POSTAJU KOPRIVNICA (1970.-2007.)	18
SLIKA 8. UREĐAJNI RAZRED HRASTA LUŽNJAKA - RAZMJER DOBNIH RAZREDA (OSNOVA GOSPODARENJA (2001.))	20
SLIKA 9. POLOŽAJ PLOHA ZA IZMJERU	24
SLIKA 10. RASPODJELA PLOHA PO STAROSTI (ŠIRINA DOBNOG RAZREDA 10 GODINA)	25
SLIKA 11. RASPODJELA PLOHA PO STAROSTI (ŠIRINA DOBNOG RAZREDA 20 GODINA)	26
SLIKA 12. METALNI KLIN ZA OBILJEŽAVANJE SREDIŠTA PLOHE (INDIR, 2004)	27
SLIKA 13. SMJEROVI ODREĐIVANJA ŠIRINE KROŠNJE	29
SLIKA 14. OBRAZAC ZA IZMJERU PLOHA 2000.G.	30
SLIKA 15. KALUSIRANO MJESTO VAĐENJA IZVRTKA NA STABLU HRASTA LUŽNJAKA NAKON 6 GODINA	31
SLIKA 16. PANORAMSKA FOTOGRAFIJA PLOHE BR. 52 (2007.G.)	32
SLIKA 17. PANORAMSKA FOTOGRAFIJA PLOHE BR. 83 (2007.G.)	32
SLIKA 18. MANUAL IZMJERE 2007.G.	32
SLIKA 19. TABELA S PLOHAMA U ACCESS BAZI PODATAKA	34
SLIKA 20. TABELA S MJERENIM PODACIMA U ACCESS BAZI PODATAKA	35
SLIKA 21. KRETANJE ŠIRINE GODOVA ZA 35 STABALA HRASTA LUŽNJAKA (1980.-2000.) NA PRIMJERU PLOHE	37
SLIKA 22. DISTRIBUCIJA PRSNIH PROMJERA SVIH MJERENIH STABALA HRASTA LUŽNJAKA 2000/2001. (DEB. STUPNJEVI 1CM)	61
SLIKA 23. BROJ STABALA PO HEKTARU NA PLOHAMA 2000./2001. G. – 4. DOBNI RAZRED	62
SLIKA 24. BROJ STABALA PO HEKTARU NA PLOHAMA 2000./2001. G. – 5. DOBNI RAZRED	62
SLIKA 25. BROJ STABALA PO HEKTARU NA PLOHAMA 2000./2001. G. – 6. DOBNI RAZRED	63
SLIKA 26. BROJ STABALA PO HEKTARU NA PLOHAMA 2000./2001. G. – 7. DOBNI RAZRED	63
SLIKA 27. 4. DOBNI RAZRED – SREDNJI PRSNI PROMJER PO VRSTAMA DRVEĆA	64
SLIKA 28. 5. DOBNI RAZRED – SREDNJI PRSNI PROMJER PO VRSTAMA DRVEĆA	65
SLIKA 29. 6. DOBNI RAZRED – SREDNJI PRSNI PROMJER PO VRSTAMA DRVEĆA	65
SLIKA 30. 7. DOBNI RAZRED – SREDNJI PRSNI PROMJER PO VRSTAMA DRVEĆA	66
SLIKA 31. 4B DOBNI RAZRED – SREDNJI PRSNI PROMJER PO VRSTAMA DRVEĆA	66
SLIKA 32. 5A DOBNI RAZRED – SREDNJI PRSNI PROMJER PO VRSTAMA DRVEĆA	67
SLIKA 33. 5B DOBNI RAZRED – SREDNJI PRSNI PROMJER PO VRSTAMA DRVEĆA	67
SLIKA 34. 6A DOBNI RAZRED – SREDNJI PRSNI PROMJER PO VRSTAMA DRVEĆA	68
SLIKA 35. 6B DOBNI RAZRED – SREDNJI PRSNI PROMJER PO VRSTAMA DRVEĆA	68
SLIKA 36. 7B DOBNI RAZRED – SREDNJI PRSNI PROMJER PO VRSTAMA DRVEĆA	69
SLIKA 37. VISINE HRASTA LUŽNJAKA IZMJERENE 2000./2001.G.	71
SLIKA 38. IZMJERENE VISINE OBIČNOGA GRABA	72
SLIKA 39. IZMJERENE VISINE PO DOBNIM RAZREDIMA I VRSTAMA DRVEĆA	72
SLIKA 40. IZMJERENE DUŽINE DEBLA PO DOBNIM RAZREDIMA I VRSTAMA DRVEĆA	73
SLIKA 41. SREDNJI PROMJER KROŠNJE SVIH MJERENIH STABALA HRASTA LUŽNJAKA	76
SLIKA 42. SREDNJI PROMJER KROŠNJE SVIH MJERENIH STABALA OBIČNOGA GRABA	77
SLIKA 43. SREDNJI PROMJER KROŠNJE PO DOBNIM RAZREDIMA I VRSTAMA DRVEĆA	77
SLIKA 44. HISTOGRAM FREKVENCIJA CLARK-EVANSOVOG INDEKSA AGREGACIJE SUMARNO ZA SVE DOBNE RAZREDE	83
SLIKA 45. HISTOGRAM FREKVENCIJA VRIJEDNOSTI CLARK-EVANSOVOG INDEKSA AGREGACIJE PO DOBNIM RAZREDIMA ZA SVE VRSTE	84
SLIKA 46. VRIJEDNOSTI CLARK-EVANSOVOG INDEKSA AGREGACIJE PO STAROSTIMA	84

SLIKA 47. HISTOGRAM FREKVENCIJA INDEKSA ISPREMIJEŠANOSTI VRSTA U SASTOJINI SUMARNO ZA SVE DOBNE RAZREDE	86
SLIKA 48. HISTOGRAM FREKVENCIJA INDEKSA DIFERENCIRANOSTI PROMJERA U SASTOJINI SUMARNO ZA SVE DOBNE RAZREDE	88
SLIKA 49. VRIJEDNOSTI IZRAČUNATOG HEGYIJEVOG KOMPETICIJSKOG INDEKSA ZA GLAVNA LUŽNJAKOVA STABLA KADA SE KAO KONKURENTI PROMATRAJU SAMO LUŽNJACI – USPOREDBA ZA SVE DOBNE RAZREDE I GODINU 2001.	92
SLIKA 50. VRIJEDNOSTI IZRAČUNATOG HEGYIJEVOG KOMPETICIJSKOG INDEKSA ZA GLAVNA LUŽNJAKOVA STABLA KADA SE KAO KONKURENTI PROMATRAJU SAMO LUŽNJACI – USPOREDBA ZA SVE DOBNE RAZREDE I GODINU 2007.	93
SLIKA 51. VRIJEDNOSTI IZRAČUNATOG HEGYIJEVOG KOMPETICIJSKOG INDEKSA ZA GLAVNA LUŽNJAKOVA STABLA KADA SE KAO KONKURENTI PROMATRAJU SAMO LUŽNJACI – USPOREDBA ZA DVIJE GODINE IZMJERE (2001. I 2007.) I SVE DOBNE RAZREDE	93
SLIKA 52. VRIJEDNOSTI IZRAČUNATOG HEGYIJEVOG KOMPETICIJSKOG INDEKSA ZA GLAVNA LUŽNJAKOVA STABLA KADA SE KAO KONKURENTI PROMATRAJU SAMO LUŽNJACI – USPOREDBA ZA DVIJE GODINE IZMJERE (2001. I 2007.) I 5. DOBNI RAZRED	94
SLIKA 53. VRIJEDNOSTI IZRAČUNATOG HEGYIJEVOG KOMPETICIJSKOG INDEKSA ZA GLAVNA LUŽNJAKOVA STABLA KADA SE KAO KONKURENTI PROMATRAJU SAMO LUŽNJACI – USPOREDBA ZA DVIJE GODINE IZMJERE (2001. I 2007.) I 6. DOBNI RAZRED	95
SLIKA 54. VRIJEDNOSTI IZRAČUNATOG HEGYIJEVOG KOMPETICIJSKOG INDEKSA ZA GLAVNA LUŽNJAKOVA STABLA KADA SE KAO KONKURENTI PROMATRAJU SAMO LUŽNJACI – USPOREDBA ZA DVIJE GODINE IZMJERE (2001. I 2007.) I 7. DOBNI RAZRED	95
SLIKA 55. ODNOS DEBLJINSKOG PRIRASTA 1980.-1984. I HEGYIJEVOG KOMPETICIJSKOG INDEKSA ZA GLAVNA LUŽNJAKOVA STABLA 1980.G.	96
SLIKA 56. ODNOS DEBLJINSKOG PRIRASTA 1985.-1989. I HEGYIJEVOG KOMPETICIJSKOG INDEKSA ZA GLAVNA LUŽNJAKOVA STABLA 1985.G.	96
SLIKA 57. ODNOS DEBLJINSKOG PRIRASTA 1990.-1994. I HEGYIJEVOG KOMPETICIJSKOG INDEKSA ZA GLAVNA LUŽNJAKOVA STABLA 1990.G.	96
SLIKA 58. ODNOS DEBLJINSKOG PRIRASTA 1995.-1999. I HEGYIJEVOG KOMPETICIJSKOG INDEKSA ZA GLAVNA LUŽNJAKOVA STABLA 1995.G.	96
SLIKA 59. ODNOS DEBLJINSKOG PRIRASTA 2000.-2007. I HEGYIJEVOG KOMPETICIJSKOG INDEKSA ZA GLAVNA LUŽNJAKOVA STABLA 2001.G.	96
SLIKA 60. KRETANJE DINAMIČKOG KOMPETICIJSKOG INDEKSA GLAVNIH STABALA NA PLOHI 26	98
SLIKA 61. KRETANJE KUMULATIVNOG DINAMIČKOG KOMPETICIJSKOG INDEKSA GLAVNIH STABALA NA PLOHI 26	99
SLIKA 62. KRETANJE PROSJEKA DINAMIČKOG KOMPETICIJSKOG INDEKSA GLAVNIH STABALA PO DOBNIM RAZREDIMA OD 20 GODINA	100
SLIKA 63. KRETANJE PROSJEKA DINAMIČKOG KOMPETICIJSKOG INDEKSA GLAVNIH STABALA PO DOBNIM RAZREDIMA OD 10 GODINA	101
SLIKA 64. PROSJEČNE VRIJEDNOSTI KUMULATIVNOG DINAMIČKOG KOMPETICIJSKOG INDEKSA GLAVNIH STABALA PO DOBNIM RAZREDIMA OD 20 GODINA	102
SLIKA 65. PROSJEČNE VRIJEDNOSTI KUMULATIVNOG DINAMIČKOG KOMPETICIJSKOG INDEKSA GLAVNIH STABALA PO DOBNIM RAZREDIMA OD 10 GODINA	103
SLIKA 66. VRIJEDNOSTI KUMULATIVNOG KOMPETICIJSKOG INDEKSA PO GODINAMA (1980.-2000.) I ZA 4 DOBIVENA KLASERA	105
SLIKA 67. DENDROGRAM KLASER RJEŠENJA DOBIVEN WARDOVOM METODOM S KVADRATOM EUKLIDSKE UDALJENOSTI KUMULATIVNIH DINAMIČKIH KOMPETICIJSKIH INDEKSA GLAVNIH STABALA, U RAZDOBLJU OD 1980. DO 2000. GODINE, S OZNAČENIM BROJEM STABALA U KLASERU	105
SLIKA 68. PROSJEČNE VRIJEDNOSTI KUMULATIVNOG DINAMIČKOG KOMPETICIJSKOG INDEKSA GLAVNIH STABALA PO KLASERIMA I PO GODINAMA	106

1. UVOD

Šume i šumska zemljišta u Republici Hrvatskoj čine oko 46% njena teritorija (Šumskogospodarska osnova područja RH, 2006.). Kao obnovljivi prirodni resurs, one predstavljaju iznimno bogatstvo i imaju neprocjenjivu ekološku i gospodarsku vrijednost. Velika biljnogeografska raznolikost Hrvatske daje nam priliku susresti niz vrsta drveća, od nekoliko vrsta vrba (*Salix* spp.) na riječnim sprudovima i poplavnim nizinama do klekovine bora krivulja (*Pinus mugo* L.) na gornjoj granici vegetacije na visinama od preko 1700 metara nad morem. U tom rasponu ekološko-gospodarskih uvjeta, na gredama nizinskog područja svoje mjesto zauzimaju i mješovite sastojine hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) i običnoga graba (*Carpinus betulus* L.), tvoreći šumsku zajednicu *Carpino betuli* – *Quercetum roboris*, /Anić 1959/ emend. Rauš 1969. Lužnjak u navedenoj fitocenozi predstavlja glavnu vrstu prema kojoj je određen cilj gospodarenja, dok obični grab ima pomoćnu ulogu. Značaj ove zajednice je to veći što hrast lužnjak slovi kao najvrednija gospodarska vrsta drveća u Hrvatskoj. U ukupnom drvnom fondu svih šuma u RH, po zastupljenosti se nalazi na drugom mjestu, odmah iza obične bukve. Sa zalihom od preko 48 milijuna m³ i tečajnim godišnjim prirastom od milijun m³ (ŠGOP, 2006) znatno utječe na ukupni ekonomski efekt gospodarenja šumama.

Prirast kao fenomen povećanja dimenzije stabala u direktnoj je vezi s potrajnošću kao temeljnim načelom u gospodarenju hrvatskim šumama. Inventarizacije sastojina i izučavanja prirasta stoga su nužni kako bismo u svakom trenutku znali gospodarimo li potrajno, osiguravajući i ostavljajući budućim naraštajima ono što su nama ostavili prethodnici. Razumijevanje i tumačenje interakcije između strukturnih elemenata sastojine i veličine prirasta pruža nove mogućnosti u unapređenju gospodarenja. U ovoj doktorskoj disertaciji istražiti će se kako u dinamičkom organizmu kao što je sastojina numerički izraziti međusobne odnose između stabala, njihovu konkurentnost u borbi za životni prostor te kako ona utječe na njihov debljinski prirast. Podaci koji su prikupljeni i na kojima će se vršiti istraživanje dolaze iz starijih sastojina hrasta lužnjaka i običnoga graba u kojima su dimenzije stabala takve da daju i najvrednije sortimente pa debljinski prirast stoga ima značajnu ekonomsku vrijednost.

1.1. Dosadašnja istraživanja

1.1.1. Struktura sastojine

Riječ struktura¹ u hrvatskom jeziku ima nekoliko značenja od kojih su nama interesantna sljedeća: unutrašnji raspored sastavnih dijelova neke cjeline, skup kojemu su dijelovi povezani odnosima ovisnosti, organizacija, način na koji je jedna cjelina složena od elemenata ili pojedinosti koje pritom ne gube svoju prepoznatljivost (Anić, Goldstein, 1999.) Navedena značenja u potpunosti se mogu koristiti i u definiranju strukture sastojine.

Od domaćih autora u znanstvenoj šumarskoj literaturi strukturu su definirali i njome se bavili mnogi autori. Tako Pranjić i Lukić (1997) kažu: „Pod strukturom sastojine podrazumijeva se distribucija vrsta, broja stabala i njihovih dimenzija po jedinici površine. Struktura sastojine je rezultat intenziteta rasta pojedinih vrsta pod utjecajem prirodnih faktora i čovjeka.“

U svojim radovima strukturom su se posredno ili neposredno bavili i Matić (1996), Pranjić i Lukić (1989), Lukić (1990), Božić (2003), Novotny (1997, 1998), Novotny i dr. (2001, 2005), Dubravac (2002), Marjanović (2009), Marjanović i dr. (2006).

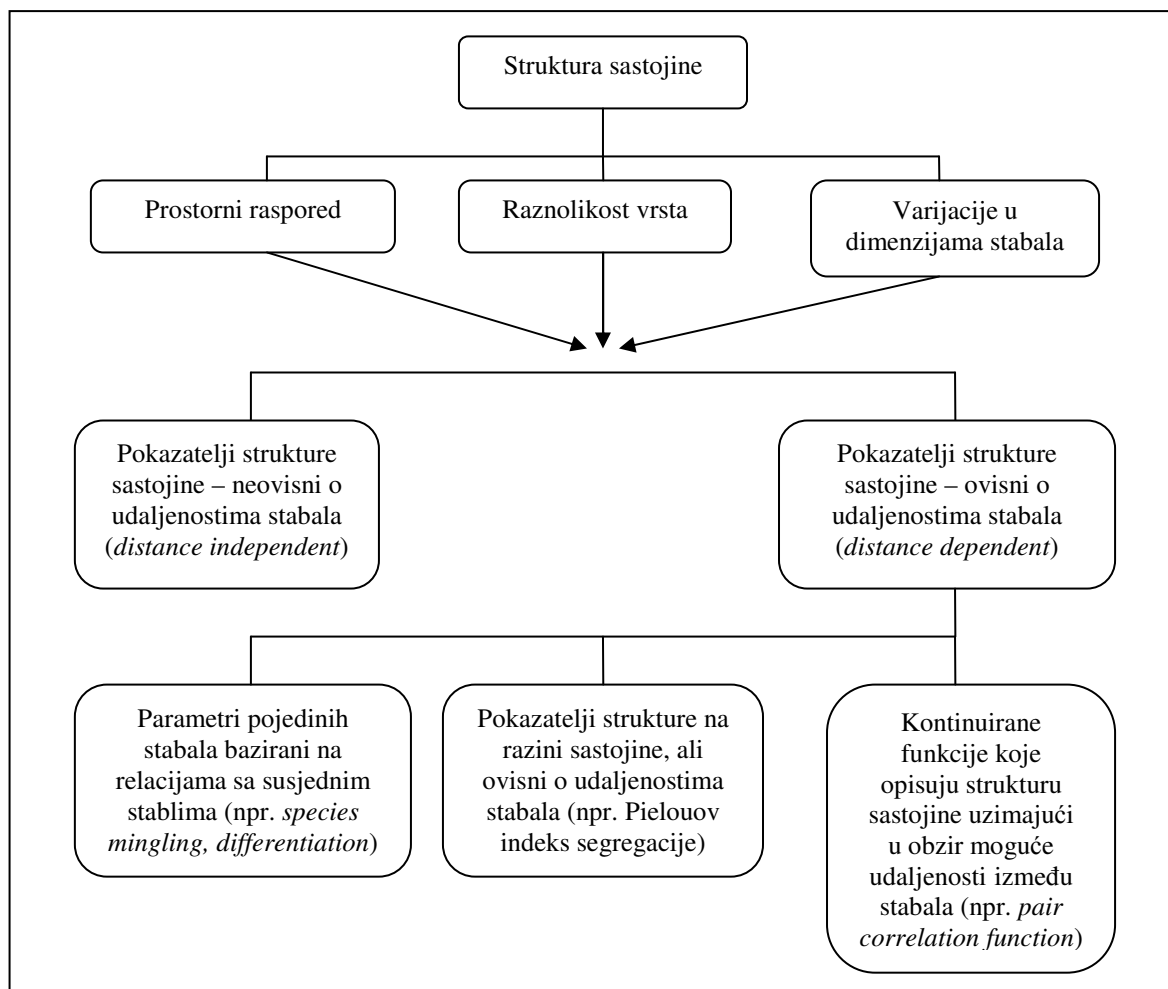
Strani autori strukturu sastojina proučavaju i definiraju već dugi niz godina. Ovdje će biti spomenuti samo neki.

Oliver i Larson (1990) definiraju strukturu sastojine kao fizičku i vremensku distribuciju stabala u sastojini.

Kimmins (1997) jednostavno kaže da je struktura sastojine vertikalna i horizontalna organizacija stabala.

Pommerening (2002) daje prikaz tri glavna aspekta strukture sastojina i mjere koje ju opisuju (Slika 1).

¹ lat. structura, structus: sastavljen



Slika 1. Pregled triju glavnih karakteristika strukture sastojina i grupa varijabli koje je opisuju (Pommerening, 2002, modificirano od Albert, 1999)

Od pokazatelja strukture sastojine ovisnih o udaljenostima stabala u ovoj će se disertaciji koristiti tri: Clark-Evansov agregacijski indeks, indeks ispremiješanosti vrsta (*species mingling*) i indeks diferencijacije promjera (*diameter differentiation index*).

Clark-Evansov indeks agregacije (R) predstavlja odnos konkretne i očekivane srednje udaljenosti među najbližih susjednih stabala. Ako R iznosi 1, znači da je raspored stabala potpuno slučajan, ako je $R > 1$, postoji tendencija prema pravilnosti prostornog rasporeda, a ako je $R < 1$, postoji tendencija ka grupiranju stabala.

Indeks ispremiješanosti vrsta i indeks diferencijacije promjera promatraju referentna stabla i njihova barem 3(4) najbliža susjeda. Takva grupa se prema Albertu i Gadowu (1998) naziva 'strukturna četvorka' (Slika 2).

Indeks ispremiješanost vrsta daje udio (3 ili 4) najbližih susjeda referentnom stablu koji ne pripadaju istoj vrsti drveća kao referentno stablo (Slika 2). Stanje sastojine može se vrlo uspješno opisati koristeći distribuciju varijable ispremiješanosti (Pommerening, 2002) koja uz odabir barem tri najbliža susjedna stabla može poprimiti četiri vrijednosti (0,00; 0,33; 0,67; 1,00). Za određivanje indeksa ispremiješanosti za cijelu sastojinu/plohu, vrijednosti za pojedinačna referentna stabla se zbroje i podijele brojem stabala. Što je tako dobivena vrijednost veća, veća je i ispremiješanost različitih vrsta drveća, dok niske vrijednosti upućuju na segregaciju (Pommerening, 1997).

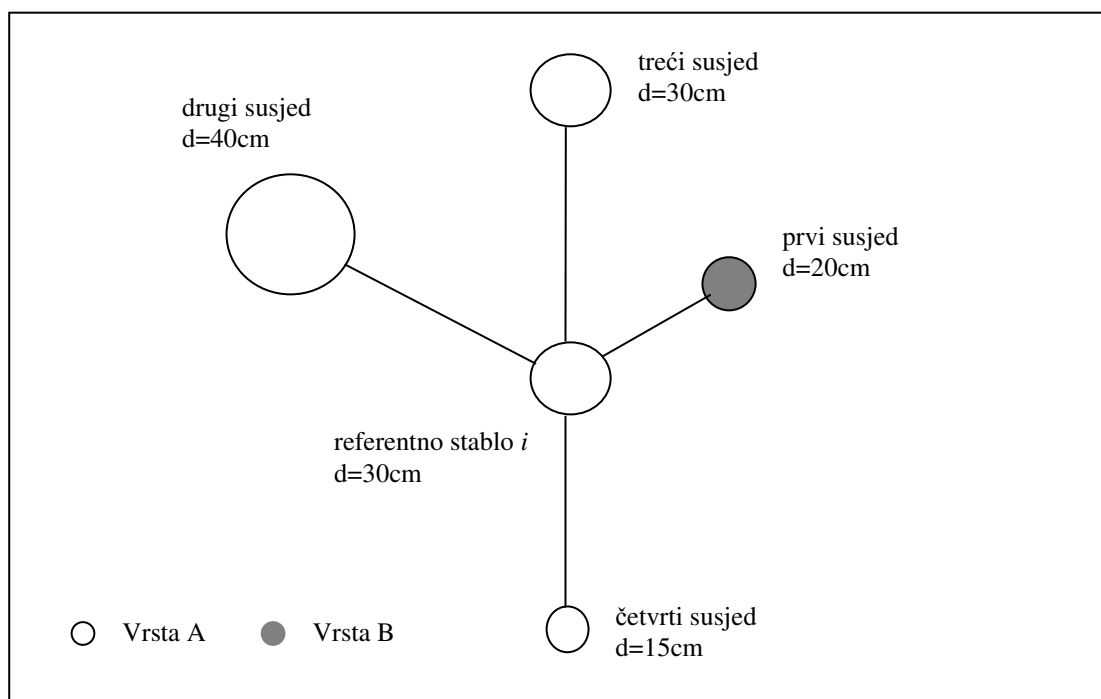
Indeks diferencijacije promjera daje različitost u prsnim promjerima susjednih stabala i opisuje prostornu distribuciju veličina stabala. Vrijednost indeksa (T) se kreće između 0 i 1, gdje 0 znači da susjedna stabla imaju jednake promjere kao i referentno stablo. Za izračun indeksa diferencijacije za cijelu sastojinu/plohu, vrijednosti za pojedina stabla se zbroje i podijele ukupnim brojem stabala. Vrijednosti se prema Pommereningu (2002) mogu klasirati i interpretirati kao :

-mala diferencijacija ($0,0 < T < 0,3$) – stablo najmanjeg promjera je 70% ili više od promjera referentnog stabla

-prosječna diferencijacija ($0,3 < T < 0,5$) – stablo najmanjeg promjera je 50-70% promjera referentnog stabla

-velika diferencijacija ($0,5 < T < 0,7$) – stablo najmanjeg promjera je 30-50% promjera referentnog stabla

-vrlo velika diferencijacija ($0,7 < T < 1,0$) – stablo najmanjeg promjera je manje od 30% promjera referentnog stabla



Slika 2. Strukturne četvorke za računanje indeksa ispremiješanosti vrsta (*species mingling*) i indeksa diferencijacije promjera (*dbh differentiation*) (Pommerening 2002, prema Albert i Gadow 1998)

McElhinny i dr. (2005) navode kako je u ekološkoj literaturi struktura sastojine najčešće definirana kroz dvije komponente: **strukturne atribute** i **strukturnu kompleksnost**. U strukturne atribute svrstava:

- raznolikost vrsta – npr. zastupljenost stabala velikih dimenzija, volumen mrtvog drveta
- relativna raznolikost vrsta – npr. raznolikost prsnih promjera, raznolikost visina
- bogatstvo – npr. zastupljenost prizemnog bilja, zastupljenost grmlja
- varijacije veličina – npr. standardna devijacija prsnih promjera
- prostorne varijacije – npr. koeficijent varijacije udaljenosti do najbližeg susjeda

U Tabeli 1 prikazani su glavni elementi strukture sastojine s atributima koji se najčešće istražuju.

Tabela 1. Strukturni atributi koji se koriste za opisivanje sastojine (McElhinny i dr. 2005)

Element sastojine	Atribut	Izvor*
Lisnatost	Visina baze krošnje	Sullivan et al. (2001), Tanabe et al. (2001), Berger and Puettmann (2000), Gove (1996), MacArthur and MacArthur (1961)
	Slojevitost	Tanabe et al. (2001), Van Den Meersschaut and Vandekerckhove (1998), Maltamo et al. (1997), Uuttera et al. (1997), Koop et al. (1994), MacArthur and MacArthur (1961)
	Gustoća lišća unutar slojeva	Bebi et al. (2001), Ferris-Kaan et al (1996)
Sklop	Pokrovnost	Parkes et al. (2003), Watson et al. (2001), Van Den Meersschaut and Vandekerckhove (1998), Newsome and Catling (1979)
	Klase otvora u sklopu	Tyrrel and Crow (1994)
	Prosječna veličina otvora u sklopu	Tanabe et al. (2001), Ziegler (2000), Tyrrell and Crow (1994)
	Udio stabala sa slomljenim ili mrtvim vrhom	Spies and Franklin (1991)
Promjer stabla	Prsni promjer	Tanabe et al. (2001), Ziegler (2000), Ferreira and Prance (1999), Uuttera et al. (1997), Acker et al. (1998), Spies and Franklin (1991)
	Standardna devijacija prsnih promjera	Zenner (2000), Acker et al. (1998), Van Den Meersschaut and Vandekerckhove (1998), Spies and Franklin (1991), Franklin et al. (1981)
	Diverzitet promjera	Wikstrom and Eriksson (2000), Gove (1996), Buongiorno et al. (1994)
	Horizontalne varijacije prsnih promjera	Zenner (2000)
	Distribucija promjera	Bachofen and Zingg (2001), Uuttera et al. (2000), Ferreira and Prance (1999), Maltamo et al. (1997), Kappelle et al. (1996), Tyrrell and Crow (1994), Koop et al. (1994)
	Broj stabala velikih dimenzija	Ziegler (2000), Acker et al. (1998), Van Den Meersschaut and Vandekerckhove (1998), Tyrrell and Crow (1994), Koop et al. (1994), Spies and Franklin (1991)
Visina stabla	Visina glavne etaže	Dewalt et al. (2003), Bebi et al. (2001), Means et al (1999), Spies (1998), Kappelle et al. (1996), Koop et al. (1994)
	Standardna devijacija visine stabla	Zenner (2000)
	Horizontalna varijacija visina	Svensson and Jeglum (2001), Zenner (2000)
	Bogatstvo visinskih klasa	Sullivan et al. (2001)
Prostorni raspored stabala	Clark Evans indeks, Cox Indeks	Bachofen and Zingg (2001), Svenson and Jeglum (2001)
	Udio stabala u klasterima	Bebi et al. (2001), Zenner (2000), Pretzsch (1997)
	Broj stabala po hektaru	Bachofen and Zingg (2001), Uuttera et al. (2000), Ferreira and Prance (1999), Acker et al. (1998), Kappelle et al. (1996), Spies and Franklin (1991)

Tabela 1. - nastavak

Element sastojine	Atribut	Izvor*
Biomasa sastojine	Temeljnica sastojine	Denslow and Guzman (2000), Ziegler (2000), Means et al. (1999), Ferreira and Prance (1999), Kappelle et al. (1996), Koop et al. (1994)
	Volumen sastojine	Utterra et al. (2000), Means et al. (1999), Ferreira and Prance (1999), Spies (1998)
Vrste drveća	Raznolikost i bogatstvo vrstama	Sullivan et al. (2001), Utterra et al. (2000), Van Den Meersschaut and Vandekerckhove (1998), Maltamo et al. (1997), Utterra et al. (1997)
	Relativna prisutnost glavnih vrsta	Berger and Puettmann (2000), Ziegler (2000), Wikstrom and Eriksson (2000), Spies and Franklin (1991)
Podstojna vegetacija	Pokrovnost zeljastim biljkama	Parkes et al. (2003), Watson et al. (2001), Van Den Meersschaut and Vandekerckhove (1998), Spies and Franklin (1991), Newsome and Catling (1979)
	Pokrovnost grmljem	Parkes et al. (2003), Watson et al. (2001), Berger and Puettmann (2000), Spies and Franklin (1991), Newsome and Catling (1979)
	Visina grmlja	Berger and Puettmann (2000)
	Ukupna pokrovnost podstojnom vegetacijom	Spies and Franklin (1991)
	Bogatstvo podstojne vegetacije	Sullivan et al. (2001), Van Den Meersschaut and Vandekerckhove (1998),
	Brojnost ponika po hektaru	Dewalt et al. (2003), Van Den Meersschaut and Vandekerckhove (1998), Spies and Franklin (1991)
Mrtvo drvo	Brojnost, volumen ili temeljnica sušaca	Dewalt et al. (2003), Bachofen and Zingg (2001), Svenson and Jeglum (2001), Sullivan et al. (2001), Van Den Meersschaut and Vandekerckhove (1998), Tyrrell and Crow (1994), Spies and Franklin (1991), Franklin et al. (1981)
	Volumen sitnog drvnog otpada	Sullivan et al. (2001), Svenson and Jeglum (2001), Ziegler (2000), Wikstrom and Eriksson (2000), Tyrrell and Crow (1994)
	Volumen drveta po klasama promjera ili raspadnutosti	Dewalt et al. (2003), Van Den Meersschaut and Vandekerckhove (1998), Tyrrell and Crow (1994), Spies and Franklin (1991), Franklin et al. (1981)
	Dužina ili pokrovnost mrtvog drva	Parkes et al. (2003), Watson et al. (2001), Newsome and Catling (1979)
	Koeficijent varijacije gustoće mrtvog drva	Spies and Franklin (1991)
	Biomasa otpada	Denslow and Guzman (2000), Parkes et al. (2003), Watson et al. (2001), Newsome and Catling (1979)

* Reference su preuzete iz McElhinny i dr. (2005).

Kako bi se struktura sastojine brojčano izrazila i time valjano mogla komparirati s drugim sastojinama, razvijeni su mnogobrojni indeksi. Oni, svaki za sebe, opisuju određenu mjerenu ili izračunatu veličinu.

Strukturna kompleksnost se očituje u međusobnoj interakciji većeg broja različitih strukturnih atributa i njeno kvantificiranje zahtijeva složenije multivarijatne analize. Stoga je razvijeno niz indeksa koji sumiraju međudjelovanje atributa u jednoj brojci (McElhinny i dr., 2005). Njihov pregled dan je u Tabeli 2.

Tabela 2. Indeksi koji se koriste za kvantificiranje strukturne kompleksnosti sastojine (McElhinny i dr., 2005)

Indeks *	Broj atributa	Opis
Indeks strukturne kompleksnosti - <i>Structural Complexity Index</i> (Barnett et al., 1978)	4	Aditivni indeks, koristi attribute koji opisuju stanište za određeni tip faune
Indeks stanišne kompleksnosti - <i>Habitat Complexity Score</i> (Newsome and Catling, 1979; Watson et al., 2001)	5,6	Aditivni indeks, koristi attribute koji opisuju stanište za određeni tip faune (mali sisavci i ptice)
Indeks starih sastojina - <i>Old-growth index</i> (Acker et al., 1999)	4	Pokazuje stupanj sličnosti s referentnom starom sastojinom
LLNS Diversity Index (Lahde et al., 1999)	8	Radi distinkciju među finskim borealnim sastojinama
Indeks biodiverziteta - <i>Biodiversity Index</i> (Van Den Meersschaut and Vandekerhove, 1998)	18	Korišten za opisivanje biodiverziteta u belgijskim šumama
Vegetation Condition Score (Parkes et al., 2003; Oliver and Parkes 2003; Gibbons et al., 2004)	8, 10	Opisuje vegetacijske uvjete u australskim šumama
Rapid Ecological Assessment Index (Koop et al., 1994)	9	Komparacija atributa iz gospodarene i negospodarene sastojine
Prošireni Shannon-Weiner indeks - <i>Extended Shannon-Weiner Index</i> (Staudhammer and LeMay, 2001)	3	Proširuje Shannon-Weiner indeks na visinu, prsni promjer i broj vrsta drveća
Indeks strukturne kompleksnosti - <i>Index of Structural Complexity</i> (Holdridge, 1967, cited in Neumann and Starlinger, 2001)	4	Temeljen na tradicionalnim parametrima sastojine koji su promatrani zajedno. Osjetljiv na broj vrsta drveća
Indeks raznolikosti sastojine - <i>Stand Diversity Index</i> (Jaehne and Dohrenbusch, 1997, cited in Neumann and Starlinger, 2001)	4	Kombinira varijacije u vrstama, razmaku među stablima, prsnom promjeru i veličini krošnje
Indeks strukturne kompleksnosti - <i>Structural Complexity Index</i> (Zenner, 2000)	2	Pokazuje stupanj varijacije visina baziran na visini i prostornom rasporedu stabala
Strukturni indeks baziran na varijanci - <i>Structure Index based on variance (STVI)</i> (Staudhammer and LeMay, 2001)	2	Temeljen na kovarijanci visine i prsnog promjera.

* Reference su preuzete iz McElhinny i dr. (2005).

1.1.2. Prirast stabala

Uz termin prirasta često se veže i pojam rasta. Pod rastom se podrazumijeva fenomen povećanja dimenzija stabla tijekom vremena, a pod prirastom povećanje dimenzije stabla u određenom vremenskom intervalu (Pranjić i Lukić 1997). Istraživanje prirasta stabala znanstvenicima je bilo interesantno od samih početaka organiziranog gospodarenja šumama, kako u svijetu tako i u Hrvatskoj.

Klepac (1996) detaljno obrađuje povijest i razvoj istraživanja rasta i prirasta hrasta lužnjaka u Hrvatskoj. Navodi kako prva znanstvena istraživanja s tom tematikom počinju u Hrvatskoj disertacijom A. Levakovića (1913) koji se posebno bavio odnosom kulminacije visinskog, debljinskog i volumnog prirasta. U svojoj knjizi Dendrometrija, Levaković je 1922. matematički dokazao da prosječni volumni prirast kulminira u trenutku kada je jednak tečajnom prirastu, a 1935 g. je objavio funkciju kojom se može izraziti rast hrasta lužnjaka. Kasnije je tu funkciju izveo na drugoj bazi te predložio pojednostavljene formule.

U svom kapitalnom djelu Klepac (1963) u detalje razrađuje rast i prirast šumskih vrsta drveća i sastojina.

Pranjić i Lukić (1989) istražuju prirast stabala hrasta lužnjaka kao indikator stanišnih promjena.

Lukić (1992) proučava utjecaj strukturnih promjena u jednodobnim bukovim šumama na visinski i debljinski prirast i zaključuje kako kulminacija prirasta ovisi o promjeni strukturnih elemenata.

Kovačić (1993) iz Levakovićevih formula izvodi nove koje definiraju tečajni i poprečni prirast i njihov tijek.

Antonić i dr. (2001) modeliraju prirast hrasta lužnjaka uzimajući u obzir stanišne uvjete, ponajprije vodni režim.

Utjecaj stanišnih i sastojinskih elemenata na prirast obične jele u jelovim sastojinama istražuje Božić (2003).

Modeliranjem razvoja stabala i elemenata strukture u mladim sastojinama hrasta lužnjaka bavi se Marjanović (2009) u svojoj disertaciji.

U stranoj literaturi istraživanjem rasta i prirasta su se bavili mnogi autori. Assmann (1961) i Prodan (1965) u svojim opsežnim djelima sustavno i temeljito obrađuju pitanje

rasta i prirasta glavnih vrsta drveća u Europi, dok se u novije vrijeme korištenjem mogućnosti računalne obrade podataka autori bave modeliranjem procesa koji dovode do povećanja dimenzija.

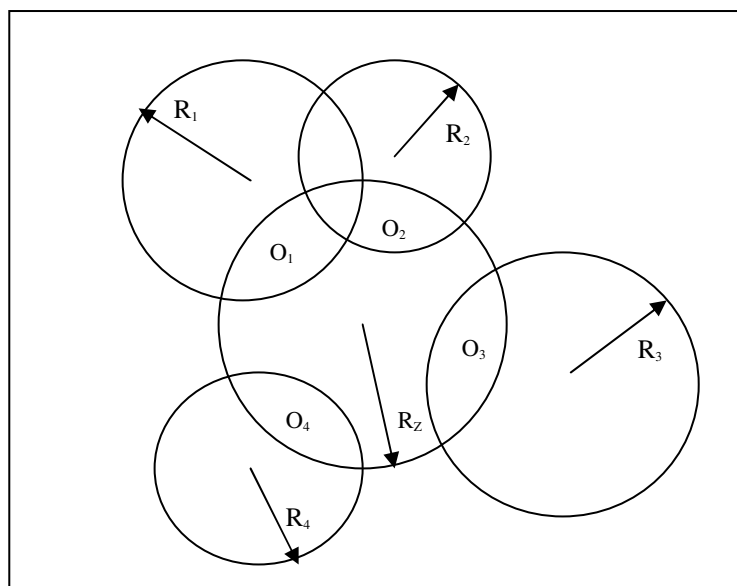
1.1.3. Kompeticija kao čimbenik veličine prirasta

Kompeticija (konkurencija, suparništvo) u ovdje promatranom kontekstu podrazumijeva međusobno nadmetanje stabala na zajedničkom prostoru za što bolje životne uvjete koji će dovesti do povećanja njihove sposobnosti preživljavanja i produkcije drvene mase. Po definiciji, kompeticija je interakcija između individua koja vodi redukciji u preživljavanju, rastu i produktivnosti predmetnih individua (Begon i dr., 1996). Kompeticija među stablima u populaciji postoji onda kada dostupnost resursa za optimalni rast padne ispod ukupnih potreba populacije (Brand i Magnussen, 1988).

Kompeticijom se znanstvenici bave pedesetak godina, a sedamdesetih godina prošlog stoljeća pojavili su se i prvi numerički izrazi za kompetitivne odnose među jedinkama, tzv. kompeticijski indeksi. Pod terminom 'kompeticijski indeks stabla' podrazumijeva se svaki indeks koji procjenjuje ukupnu konkurentnost susjednih stabala za koju se drži da utječe na rast predmetnog stabla ('*subject tree*'). Teško je, ako ne i nemoguće, kod kompeticijskih indeksa individualnih stabala definirati zonu utjecaja koja uključuje sve konkurente i izvore konkurencije za oskudnim resursima (Biging i Dobbartin, 1992). Istraživači su logički i empirijski zaključili da veća zona utjecaja osigurava bolju korelaciju s rastom i prirastom stabla (npr. Bella 1971, Daniels 1976, Alemdag 1978). Osnovni princip za većinu kompeticijskih indeksa je pretpostavka da postoji minimalan razmak između susjednih stabala kod kojeg nema kompeticije (Hasenauer, 2006). Prema Krajicek i dr. (1961), taj minimalni razmak je određen polumjerom projekcije krošnje referentnog stabla koje slobodno raste na otvorenom prostoru i time se razvija bez konkurencije. Navedeni se polumjer krošnje računa koristeći alometrijske funkcije slobodnorastućeg stabla. Ukoliko se konkretnim stablima u sastojini pridruži veličina krošnje referentnog stabla i dolazi do preklapanja krošanja susjednih stabala, znači da postoji određena kompeticija koja će utjecati na rast i prirast (Slika 3).

Razvijene su dvije osnovne skupine kompeticijskih indeksa: ovisni o udaljenosti (*distance-dependent*) i neovisni o udaljenosti (*distance-independent*) (Munro, 1974).

Kod indeksa ovisnih o udaljenosti poznate su stvarne pozicije stabala i njihove međusobne udaljenosti, dok kod indeksa neovisnih o udaljenosti te podatke nemamo izmjerene već su oni pretpostavljeni kao srednje udaljenosti između konkretnog broja stabala na plohi poznate površine. U ovoj disertaciji koristit će se indeksi ovisni o udaljenosti.



Slika 3. Preklapanja krošanja (O_1 - O_4) ukazuju na kompeticiju sa susjednim stablima (Hasenauer, 2006)

Prema Doyleu (1983), kompeticijski indeksi ovisni o udaljenosti mogu se podijeliti u tri skupine:

- indeksi veličinskih odnosa
- indeksi preklapanja krošanja ili zona utjecaja
- indeksi životnog prostora

Indeksi veličinskih odnosa računaju sumu omjera dimenzija promatranog stabla i dimenzija konkurentnih stabala. Ti su omjeri često ponderirani udaljenostima do konkurentnih stabala. Najčešće dimenzije koje se koriste u tim prilikama su prsni promjer, ukupna visina i temeljnica (Spurr 1962, Curtis 1970, Hegyi 1974, Daniels 1976, Martin i

Ek 1984) te biomasa (Doyle 1983) Tipični primjer ovako jednostavnih indeksa je Hegyijev kompeticijski indeks koji je originalnog oblika kako slijedi:

$$CI_i = \sum_{j=1}^n \frac{dbh_j / dbh_i}{dist_{ij}}$$

gdje je:

CI_i = Hegyijev kompeticijski indeks stabla 'i'

dbh_j = prsni promjer konkurentskog stabla 'j'

dbh_i = prsni promjer promatranog/glavnog stabla 'i'

$dist_{ij}$ = udaljenost glavnog i konkurentskog stabla

n = broj konkurentskih stabala u zoni kompeticije

Hegy (1974) je u izvornom radu kao konkurente (n) uključio sva stabla udaljena do 10 stopa (3,05 m) od glavnog stabla u mladim sastojinama bora (*Pinus banksiana* Lamb.). Daniels (1976) je utvrdio veću korelaciju s debljinskim prirastom kada je uključio više konkurentskih stabala.

Indeksi preklapanja krošnja ili zona utjecaja uzimaju u obzir površinu projekcije krošnje ili površinu zone utjecaja koja ovisi o dimenzijama stabla. Kao kompeticijski indeks koristi se suma odnosa između površine preklopa zona utjecaja (glavnog stabla i konkurentnih stabala) i zone utjecaja (površine projekcije krošnje) glavnog stabla (Bella, 1971).

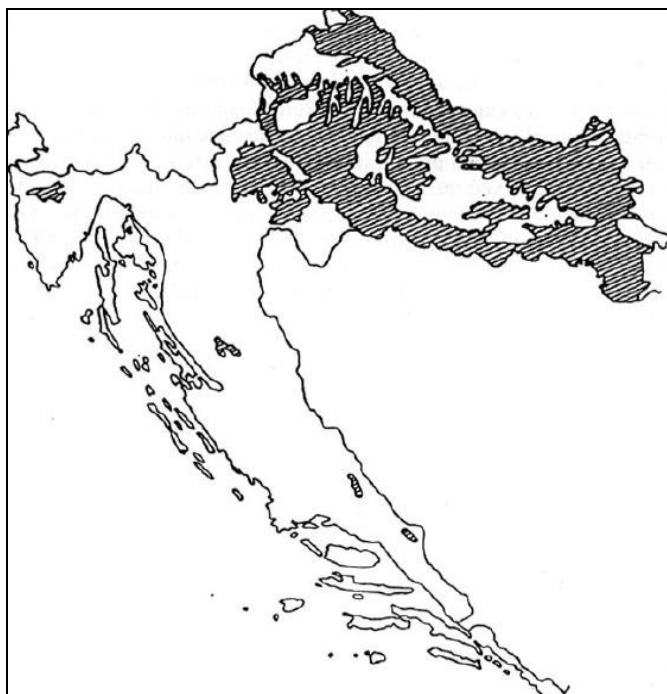
Indeksi životnog prostora koriste se podjelom sastojine na poligone koji predstavljaju potencijalno raspoloživu površinu za svako stablo. Obradili su ih u svojim radovima Moore i dr. (1973), Pelz (1978), Alemdag (1978).

Studije su pokazale da se nijedan indeks ne može izdvojiti kao superioran pred ostalima. Ovisno o vrstama drveća u različitim specifičnim situacijama, primjena različitih indeksa daje bolje rezultate (Bigging i Dobbertyn, 1992).

1.2. Predmet istraživanja

Predmet istraživanja ove disertacije su starije sastojine hrasta lužnjaka i običnoga graba koje pripadaju šumskoj zajednici *Carpino betuli – Quercetum roboris* /Anić 1959/ emend. Rauš 1969. Navedena zajednica u šumskom pokrovu RH dolazi na nizinskim terenima gdje nema poplavne vode što nam pokazuje i prisutnost običnoga graba u njenom sastavu. Termin 'starije sastojine' u ovoj disertaciji označava opći pojam i nema nužno isto značenje kao u Pravilniku o uređivanju šuma (Narodne novine 141/08) gdje je on definiran kao sastojine „...starosti od 2/3 ophodnje do zadnjeg dobnog razreda“. U slučaju uređajnog razreda hrasta lužnjaka koji ima propisanu minimalnu ophodnju od 140 godina, to bi se odnosilo na sastojine starosti od 93-120 godina. U ovom se radu taj opći pojam odnosi na sastojine starosti između 75 i 132 godine.

Hrast lužnjak (*Quercus robur* L.) široko je rasprostranjena listopadna vrsta u Europi i zapadnom dijelu Azije. U Hrvatskoj se uglavnom nalazi između rijeka Drave, Save te u Pokupskom bazenu (Slika 4). Na nadmorskim visinama ispod 200 m dolazi na nekoliko tipova tala. U ostalim dijelovima Hrvatske dolazi iznimno, na nekim krškim poljima (Ličko, Vrličko, Imotsko i Sinjsko), u dolini rijeke Mirne u Istri te na otoku Krku (Trinajstić, 1996.). S ukupno preko 48 milijuna kubnih metara volumena, lužnjak čini 12 % ukupne drvne zalihe u RH i po tome je na drugom mjestu, iza obične bukve. Obični grab s preko 36 milijuna m³ na četvrtom je mjestu (9,1%). I lužnjak i grab javljaju se u niz šumskih zajednica, u kombinacijama s drugim vrstama drveća. Za ovo su istraživanje odabrane sastojine gdje su lužnjak i grab u tipičnim ulogama koje karakteriziraju predmetnu zajednicu. Radi se o jasno diferenciranom vertikalnom profilu sastojina gdje lužnjak čini glavnu, nadstojnu, a grab pomoćnu, podstojnu etažu. Upravo to je i omogućilo da se kasnije u istraživanju kompeticije pretpostavi kako u takvim uvjetima grab više nije konkurent lužnjaku pa su neki aspekti kompeticije promatrani samo unutar lužnjakovih stabala.



Slika 4. Rasprostranjenost hrasta lužnjaka u Hrvatskoj (Trinajstić, 1996.)

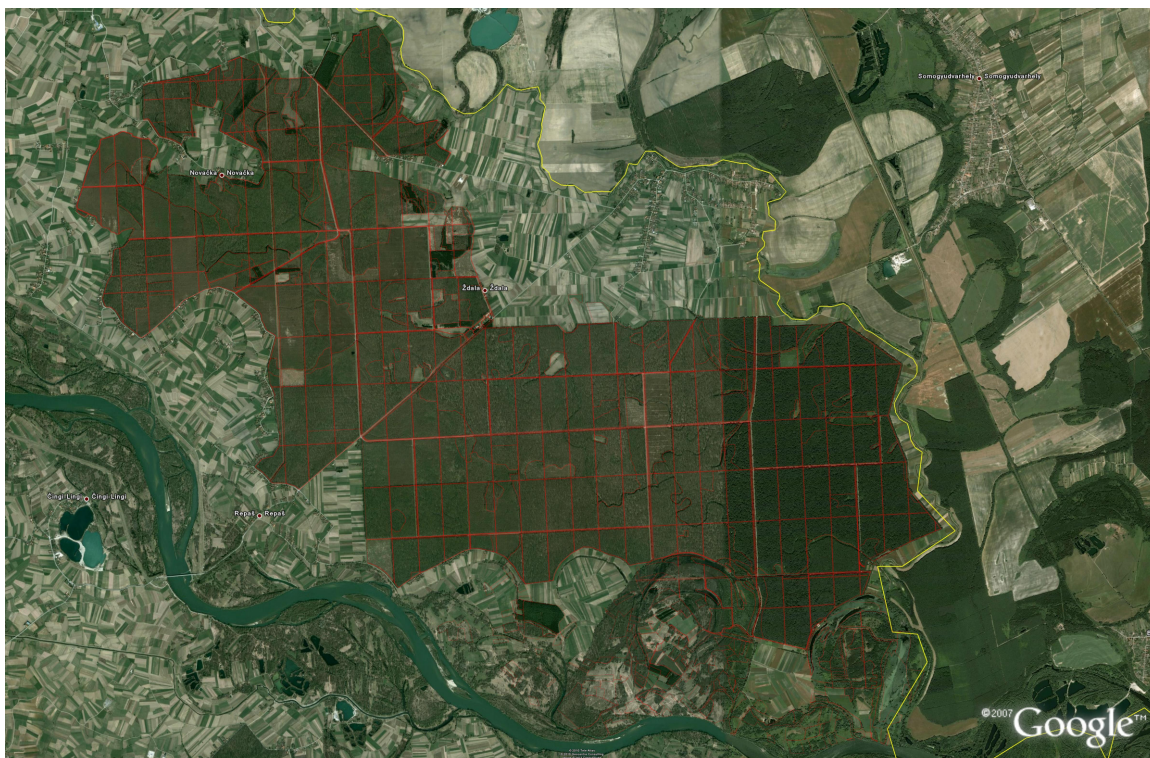
Plohe za izmjeru postavljene su u sastojinama koje su 2001. godine bile u starosti od 75-132 godine. U ukupnoj površini gospodarskih sjemenjača svrstanih u uređajni razred hrasta lužnjaka u RH, najzastupljeniji su upravo V. i VI. dobni razred (starosti 81-120 godina) koji čine oko 41% površine. (ŠGOP, 2006).

1.3. Područje istraživanja

Istraživanje za potrebe ove doktorske disertacije provedeno je u državnim šumama na području gospodarske jedinice Repaš – Gabajeva Greda, kojom gospodari šumarija Repaš, u sastavu Uprave šuma Podružnice Koprivnica (Slika 5).

1.3.1. Zemljopisni položaj

Gospodarska jedinica Repaš – Gabajeva Greda sastavljena je od dva veća šumska kompleksa koji su odvojeni rijekom Dravom. Veći dio nalazi se između rijeke Drave i granice s republikom Mađarskom. Cijeli prostor tzv. Prekodravlja ima površinu od oko 88,78 km², a u njegovom jugoistočnom dijelu smješten je kompleks državnih i u znatno manjoj mjeri privatnih šuma površine oko 4000 ha (40 km²) između sela Gola, Ždala i Repaš (Slika 6). Istraživanje za potrebe disertacije provedeno je državnim šumama navedenog područja, čiji kompleks je smješten između 46°06'37" i 46°11'08" sjeverne zemljopisne širine i 17°03'12" i 17°11'03" istočne zemljopisne dužine.



Slika 5. Gospodarska jedinica Repaš – Gabajeva greda (njen veći dio) (GoogleEarth™)



Slika 6. Prekorađavlje i šumski prostor između Ždala i Repaša (prema Crkvenčić i dr. 2003)

1.3.2. Geološka podloga i tlo

Prema podacima iz Osnova gospodarenja, geološka formacija promatranog područja potiče iz kenozoika, preciznije kvartara. Zastupljeni su sljedeći matični supstrati:

- Facijes korita i povodanjski facijes – najmlađe recentne tvorevine kvartara koje u širem smislu pripadaju fluvijalnom nizu kvartarnih tipova, a čine facijes korita miješan s povodanjskim facijesom. Facijes korita stvara se odlaganjem nošenog materijala u koritu rijeke. To su pijesci i šljunci akumulirani na formi ada ili plaža. Kod plavljenja, relativno nisko područje uz rijeku puni se sitnozrnim pijeskom i muljem u tzv. povodanjskoj zoni.

- Aluvij – sedimenti aluvijalnog tipa izdvojeni su na širokom području uz tokove većih potoka i rijeka, a predstavljani su recentnim nanosima. Sastav aluvijalnog nanosa ovisan je o neposrednoj okolini izvorišta i vodenog toka. Nanos sadrži ilovine, gline, pijesak, šljunak i pješčani mulj te je na velikim područjima prekriven humusom.

- Aluvijalna terasa – izdvojene aluvijalne naslage šljunka i pijeska, srednjeg i krupnog zrna. Predstavljaju terasu nastalu djelovanjem rijeke Drave. Debljina tih naslaga prema poznatim radovima nije određena.

Veći dio tala ove gospodarske jedinice pripada odjelu hidromorfnih tala jer se radi isključivo o nizinskom terenu za čiji je vodni režim karakteristično vlaženje putem atmosferskih taloga, podzemne i poplavne vode, uz značajnije zadržavanje vode koje uvjetuje pojavu redukcijskih procesa. Tu se prvenstveno radi o dva karakteristična tipa tla: Močvarno glejno tlo (euglej) i aluvijalno tlo (fluvisol).

1.3.3. Klima

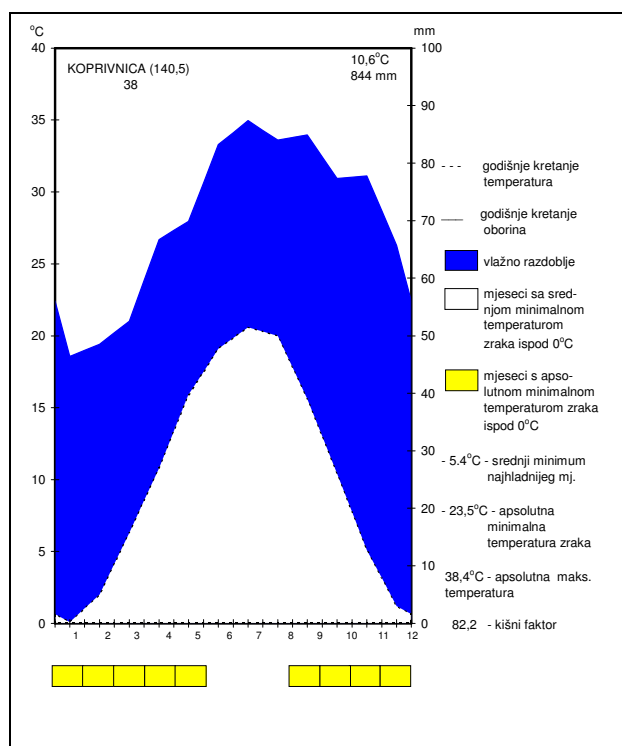
Za kratki prikaz klime istraživanog područja poslužili su podaci meteorološke postaje Koprivnica za razdoblje 1970.-2007. (Tabele 3 i 4, Slika 7). Prema Köppenu, radi se o tipu klime oznake **Cfbwx**". Oznaka **C** predstavlja toplu, umjereno kišnu klimu. Oborine su u ovom tipu klime podjednako raspoređene tijekom čitave godine (oznaka **f**) uz to da manje količine padnu u hladnom dijelu godine (**w**). Glede najtoplijeg mjeseca (srednja mjesečna temperatura zraka je ispod 22°C) oznaci klime se dodaje slovo **b**, a budući da tijekom godine postoje dva maksimuma oborina (ljetno i kasna jesen), na kraju klimatske formule dodaje se slovo **x**".

Tabela 3. Meteorološka postaja Koprivnica - oborine (1970.-2007.)

	Mjeseci												Godina
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Srednja mjesečna i godišnja temperatura	0,1	2,0	6,3	10,8	15,9	19,1	20,6	20,0	15,6	10,4	5,1	1,2	10,6
Apsolutna maksimalna temperatura zraka	19,2	20,5	26,2	28,5	32,5	35,0	38,2	38,2	33,0	28,0	24,2	21,4	38,2
Apsolutna minimalna temperatura zraka	-23,5	-23,1	-19,0	-4,0	-0,8	2,0	6,7	4,4	-1,1	-6,5	-16,1	-20,2	-23,5
Mj. i god. amplituda srednje temperature	11,5	10,4	9,4	6,2	6,3	6,4	4,9	7,2	6,3	7,0	8,4	8,3	3,0
Apsolutna mj. i god. amplituda temperature	42,7	43,6	45,2	32,5	33,3	33,0	31,5	33,8	34,1	34,5	40,3	41,6	61,7

Tabela 4. Meteorološka postaja Koprivnica - padavine (1970.-2007.)

	Mjeseci												Godina
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Srednja mjesečna i godišnja oborina.	46,4	48,5	52,5	66,7	69,9	83,2	87,4	84,0	84,9	77,3	77,8	65,7	844,5
Apsolutni maksimum količine oborina	162,7	108,9	122,1	176,8	167,5	193,1	271,0	239,2	190,2	201,2	180,0	167,5	1178,6
Apsolutni minimum količine oborine	4,7	2,3	7,3	11,0	12,9	33,2	15,3	3,1	21,9	3,1	19,4	12,5	554,3



Slika 7. Klimadijagram po Walteru za meteorološku postaju Koprivnica (1970.-2007.)

1.3.4. Vegetacija

Sastojine gospodarske jedinice „Repaš-Gabajeva Greda“ pripadaju području eurosibirsko-sjevernoameričke šumske regije (njene ilirske provincije) koja se odlikuje dovoljnom količinom oborina u ljetnim mjesecima te zimskim prekidom vegetacije (po Braun-Blanquetu, 1923.g.).

Najveći dio gospodarske jedinice pripada svezi *Carpinion betuli* Isll. 1932., koja obuhvaća mješovite hrastovo-grabove šume visokih položaja u nizinama te u brežuljkastom pojasu do približno 400 mnm.

Na promatranom području najzastupljenija šumska zajednica je šuma hrasta lužnjaka i običnoga graba (*Carpino betuli-Quercetum roboris*, /Anić 1959/ emend. Rauš 1969. sa svojim subasocijacijama 'typicum' i 'fagetosum'. S obzirom da je lužnjakovo-grabova šuma s bukvom zastupljena samo fragmentarno, više će riječi biti o tipičnoj subasocijaciji. Ona se razvija na gredama koje su ili potpuno izvan dohvata poplavne vode ili poplave traju kratko. Najbolji indikator ovog tipa staništa je obični grab koji ne podnosi

stajaću vodu. Prema Vukeliću i Raušu (1996.) sistematski položaj predmetne šumske zajednice izgleda kako slijedi:

RAZRED: *Quercio – Fagetea* Br. – Bl. et Vlieger 1937

RED: *Fagetalia sylvaticae* Pawl. 1928

SVEZA: *Carpinion betuli* Isll. 1932

as.: *Carpino betuli–Quercetum roboris*, /Anić 1959/ emend. Rauš 1969

subas.: *Carpino betuli–Quercetum roboris typicum* Rauš 1969

subas.: *Carpino betuli–Quercetum roboris fagetosum* Rauš 1971

Prema Nacionalnoj klasifikaciji staništa, šumska staništa pripadaju kategoriji E, a predmetna šumska zajednica ima oznaku E.3.1.1.

E. Šume

E.3. Šume listopadnih hrastova izvan dohvata poplava

E.3.1. Mješovite hrastovo-grabove i čiste grabove šume (Sveza *Erythronio-Carpinion* /Horvat1958/ Marinček in Mucina et al. 1993)

E.3.1.1. Šuma hrasta lužnjaka i običnoga graba (tipična subasocijacija) (Subas. *Carpino betuli – Quercetum roboris „typicum“* Rauš 1973)

1.3.5. Gospodarske karakteristike

U ukupnoj drvnoj zalihi gospodarske jedinice prema posljednjoj Osnovi gospodarenja iz 2001.g. najzastupljeniji su upravo hrast lužnjak s 67,56% i obični grab s 15,08% (Tabela 5). Dok udio lužnjaka kroz proteklih 50 godina ne pokazuje značajne promjene, vidljivo je da je graba sve više što ukazuje na postupno isušivanje staništa i prirodnu sukcesiju od šumske zajednice hrasta lužnjaka i velike žutilovke prema zajednici hrasta lužnjaka i običnoga graba.

Sastojine šumske zajednice hrasta lužnjaka i običnoga graba svrstane su u uređajni razred hrasta lužnjaka koji zauzima oko 80% površine gospodarske jedinice. Prema starosti najzastupljeniji su 5. i 6. dobni razred (81-120g.). U uređajnom razredu najviše je lužnjaka (83,33%), a potom graba (9,49%), dok je ostalih vrsta znatno manje (Tabela 6, Slika 8).

Tabela 5. Kretanje drvene zalihe po vrstama drveća za g.j. Repaš – Gabajeva Greda od 1951.-2001. (Osnova gospodarenja, 2001)

VRSTA DRVEĆA	1951/56.	1961/66.	1971.	1981.	1991.	2001.
	%					
H. lužnjak	73,7	74,7	75,4	73,0	74,3	67,56
O. bukva						0,01
P. jasen	11,7	10,5	8,1	7,4	7,8	8,84
O. grab	7,2	9,0	9,4	10,6	12,2	15,08
Klen				1,8	1,9	2,61
Brijest	5,8	4,1	1,4	0,4	0,8	1,15
Trešnja						0,06
OTB	0,1	0,2	2,0			0,44
C. joha	0,1	0,3	0,7	0,5	0,8	1,48
Vrba	1,3	0,6	0,5	0,4	0,7	0,45
D. topole	0,1	0,6	2,5	5,9	0,7	0,36
EA topole						0,21
OMB						0,01
Smreka						0,67
A. borovac	-	-	-	-	0,8	0,69
OC						0,39
UKUPNO m ³ - %	623463 100,0	702955 100,0	973054 100,0	1031331 100,0	1023467 100,0	1128066 100,00
m ³ /ha	181	216	274	296	289	310
m ³ /ha(bez I.d.raz.)	214	235	331	325	366	389

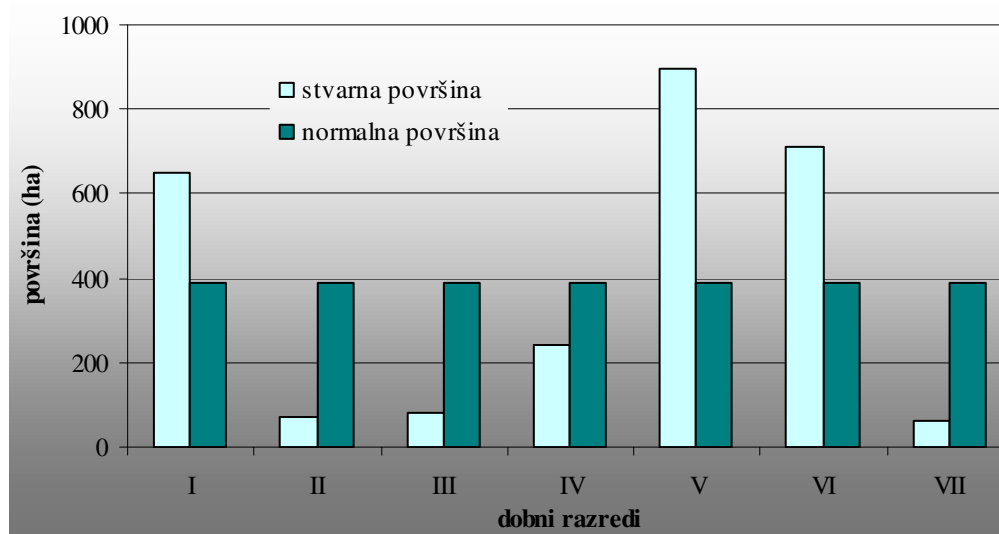
**Slika 8.** Uredajni razred hrasta lužnjaka - razmjer dobnih razreda (Osnova gospodarenja (2001.))

Tabela 6. Omjer smjese u uređajnom razredu hrasta lužnjaka (Osnova gospodarenja 2001)

Vrsta drveća	Postotak %	Vrsta drveća	Postotak %
H. lužnjak	83,33	C. joha	0,13
P. jasen	3,02	Vrba	0,01
O. grab	9,49	D. topole	0,01
Klen	2,53	EA topole	0,02
Brijest	1,06	OMB	0,01
Trešnja	0,06	Smreka	0,02
OTB	0,30	Borovac	0,01
UKUPNO		100,00	

Karakterističnost koja omogućuje istraživanje provedeno u ovoj disertaciji jest da u razdoblju 1980.-2000. godine uglavnom nije bilo redovnih proreda u promatranim sastojinama, već je veliki dio užite drvne mase dolazio od sušaca. U Tabeli 7 prikazani su podaci o sječama u odsjecima u kojima su postavljene plohe, za razdoblje 1991.-2000.

Tabela 7. Evidencije o izvršenim sječama (1991.-2000.) u odsjecima u kojima su postavljene plohe

odsjek	površina	drvena zaliha		broj stabala lužnjaka	posječeno 1991.-2000.			
					redovni prihod		slučajni prihod	
		ukupno	lužnjak		lužnjak	ukupno	lužnjak	ukupno
	ha	m ³ /ha		n/ha	m ³			
17/b	11,91	465	429	140			439	474
19/j	11,38	271	230	258			393	395
19/k	21,86	332	301	244			708	712
20/a	24,8	475	415	229			547	573
20/f	3,87	471	418	189			136	139
23/a	22,68	347	322	206			1010	1031
23/b	12,54	401	354	197			304	320
24/a	30,34	427	389	184			956	996
27/d	3,67	357	331	257			164	164
28/f	36,57	462	414	160	328	371	1225	1225
29/a	27,60	407	337	213	160	349	629	637
29/b	35,85	445	401	176	226	258	1206	1214
30/a	29,86	443	357	188	477	923	535	540
30/f	6,21	465	313	96			227	236
31/a	6,42	397	232	113	64	171	101	110
31/f	17,21	412	367	153			810	824
32/b	17,26	372	353	254			596	609
32/f	24,12	433	409	180			1090	1099
33/b	14,23	373	351	237			560	561
33/e	36,48	391	348	191			1408	1423

Tabela 7. - nastavak

odsjek	površina	drvena zaliha		broj stabala lužnjaka	posječeno 1991.-2000.			
					redovni prihod		slučajni prihod	
		ukupno	lužnjak		lužnjak	ukupno	lužnjak	ukupno
	ha	m ³ /ha	n/ha	m ³				
34/a	17,05	417	381	201			919	925
34/c	1,55	543	446	139			148	150
34/h	31,36	439	362	96			1382	1405
35/a	40,91	496	404	78			2066	2090
36/c	23,06	581	532	139	768	782	789	789
36/f	36,33	502	446	138	1041	1041	1429	1438
37/d	23,24	540	496	150	1139	1176	1095	1097
38/b	50,42	479	448	178	1571	1752	1511	1512
41/b	31	380	343	172			1667	1682
41/c	22,22	429	305	100			1106	1123
42/b	24,95	405	377	185			923	923
42/c	16,2	408	376	173			587	587
42/d	16,25	489	466	189			626	626
52/a	36,71	529	489	176			2103	2107

Za razdoblje 1981.-1990. evidencije su nepotpune, premda upućuju na iste odnose redovnog i slučajnog prihoda u promatranim odsjecima.

1.4. Cilj istraživanja

Kako je međudjelovanje strukturnih elemenata i atributa i njihov utjecaj na debljinski prirast kod hrasta lužnjaka još uvijek nedovoljno istražena tema, ovom disertacijom nastoji se unijeti više svjetla u to područje. Iako su starije sastojine već diferencirane u svom sociološkom statusu i prema dosadašnjim istraživanjima imaju više-manje konstantnu razinu i trend u rastu, detaljnijim analizama i statističkom obradom prikupljenih podataka dobit će se uvid u naizgled nevidljive procese i reakcije stabala na promjene vrijednosti strukturnih parametara sastojine.

Cilj je i uz pomoć kompeticijskih indeksa istražiti utjecaj susjedstva svakog stabla na njegov debljinski prirast. Očekuje se potvrditi pretpostavku da jača konkurencija rezultira manjim debljinskim prirastom.

Nadalje, posebno će se pratiti razvoj kompeticijskih odnosa među lužnjakovim stablima u proteklih 20 godina koristeći retrospektivni dinamički kompeticijski indeks. Na temelju klasteriranja kumulativnih krivulja kompeticijskih indeksa očekuje se dobiti tipove

stabala prema njihovoj kompetitivnoj snazi. Svojstva koja ti tipovi nose sa sobom ukazat će na njihov položaj i perspektivu u sastojini.

S obzirom na obilje podataka izmjerenih na terenu, izradit će se niz modela kojima će se opisati ovisnosti veličine debljinskog prirasta o mjerenim i izvedenim varijablama (promjeri, visine, širine krošanja, udaljenosti do konkurenata...)

2. MATERIJAL I METODE

2.1. Kreiranje uzorka

Podaci korišteni za ovu disertaciju prikupljeni su sa 45 ploha na području gospodarske jedinice Repaš – Gabajeva Greda. Plohe su postavljene i prvi puta izmjerene između 7.4.2000. i 13.2.2001. godine. Drugi puta je izmjera na istim plohama vršena od 25.1.-8.3.2007. godine. Prilikom određivanja sheme uzorka cilj je bio obuhvatiti cijeli prostor gospodarske jedinice kako bi u uzorak ušle i starije sastojine hrasta lužnjaka i običnoga graba koje su različite kakvoće, zdravstvenog stanja, bonitetnog razreda i sl. Na taj način će i podaci o debljinskom prirastu biti reprezentativni i u skladu s prirodnom heterogenošću sastojina. Stoga je odlučeno da se koristi sistematski uzorak. Položaj ploha određen je sjecištima kvadratne mreže stranice 500 m koja je postavljena preko cijele površine promatranog područja. Mreža je imala orijentaciju Sjever-Jug, odnosno Istok–Zapad. Za početnu točku u Gauss-Kruegerovu koordinatnom sustavu odabrana je pozicija u jednom kutu prostora gospodarske jedinice kod koje x-koordinata završava na '...000', a y-koordinata na '...250'. Od te točke dodavane su vrijednosti od 500 m u smjeru pružanja šume i tako dobivene projektirane koordinate ploha za izmjeru. Od ukupno 163 plohe koje su na taj način projektirane, za disertaciju su odabrane one koje su pale na starije sastojine hrasta lužnjaka i običnoga graba (Slika 9). Takvih je bilo 45 i 2001. godine su imale starosti od 75 do 132 godine, što daje raspon starosti od 57 godina. Za podatak o starosti koristile su se evidencije iz Osnova gospodarenja od 1951. do 2001. godine.



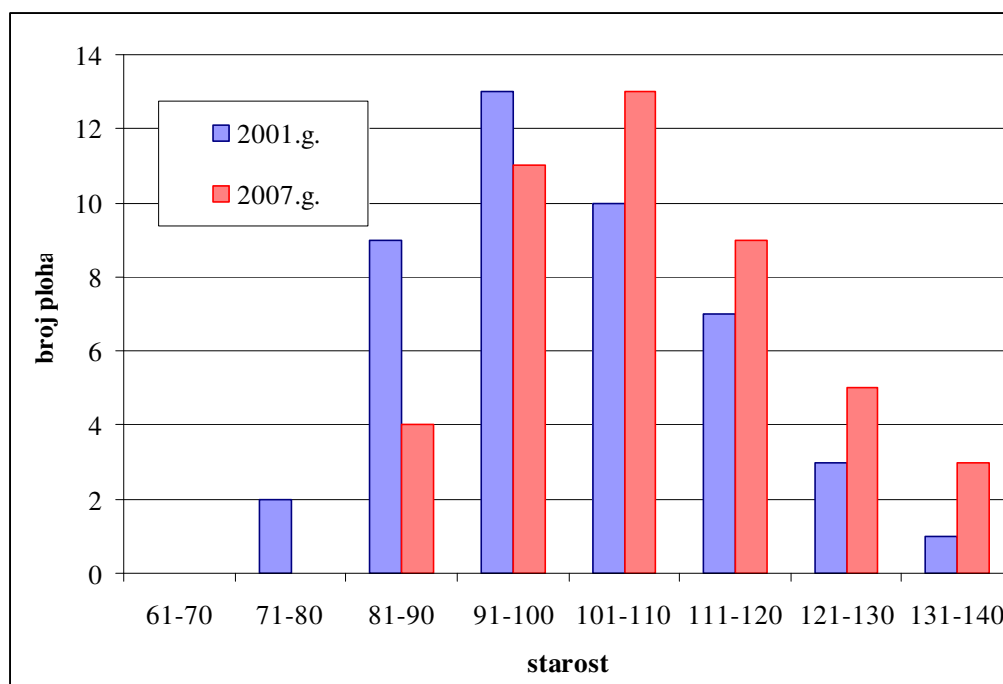
Slika 9. Položaj ploha za izmjeru

U šumarstvu je širina dobnog razreda određena ophodnjom. Za vrste drveća s ophodnjom 140 godina kao što je hrast lužnjak, širina dobnog razreda iznosi 20 godina. U vrijeme osnivanja ploha 2001.g. sastojine su pripadale 4.-7. dobnom razredu prema raspodjeli prikazanoj tabelom 7. Kako bi se rezultati mogli interpretirati i za podatke niže razine od dobnog razreda, u disertaciji je napravljena podjela na desetgodišnje klase starosti čime je svaki dobní razred podijeljen na dva. Oni su označeni slovima 'a' i 'b' iza brojčane oznake dobnog razreda (5a, 5b, 6a, 6b...). Pomak starosti sastojina i prelazak u sljedeći dobní razred u vrijeme druge izmjere vidljiv je u Tabeli 8 i na Slikama 10 i 11.

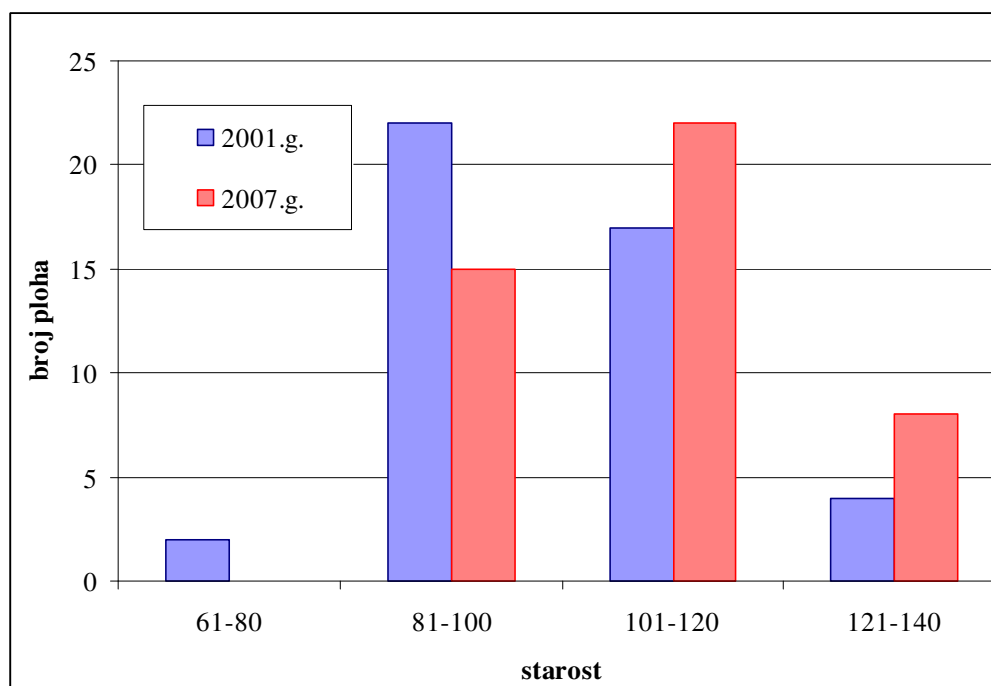
Tabela 8. Raspodjela ploha prema starosnim klasama po 10 i 20 godina

starost (dobni razredi po 20 g.)	dobni razred	broj ploha (2001.)	broj ploha (2007.)	starost (dobni razredi po 10 g.)	dobni razred	broj ploha (2001.)	broj ploha (2007.)
61-80	4	2		61-70	4a		
				71-80	4b	2	
81-100	5	22	15	81-90	5a	9	4
				91-100	5b	13	11
101-120	6	17	22	101-110	6a	10	13
				111-120	6b	7	9
121-140	7	4	8	121-130	7a	1	5
				131-140	7b	3	3
UKUPNO		45	45			45	45

Najviše ploha u starijim sastojinama nalazilo se 2001. godine u 5. i 6. dobnom razredu, odnosno u 5b i 6a starosnoj klasi.



Slika 10. Raspodjela ploha po starosti (širina dobnog razreda 10 godina)



Slika 11. Raspodjela ploha po starosti (širina dobnog razreda 20 godina)

Kao oblik plohe odabran je krug jer kod njega ima najmanje rubnih stabala i jednostavan je za postavljanje na terenu. Veličina kružne plohe ovisila je o starosti sastojine. Polumjer plohe iznosio je 15, 25 ili 30 m (Tabela 9).

Tabela 9. Veličine plohe za izmjeru

Starost sastojine	Površina plohe	Polumjer plohe
<i>godina</i>	<i>ha</i>	<i>m</i>
<80	0,071	15
81-100	0,196	25
101<	0,283	30

2.2. Terenski radovi

Terenski su radovi obavljani u dva navrata. Tijekom godine 2000. (manjim dijelom i 2001.), izvršeno je postavljanje ploha i prva izmjera, a 2007. je izmjera nekih veličina ponovljena.

2.2.1. Terenski radovi 2000. godine

Određivanje središta ploha na terenu se vršilo mjernom vrpcom i busolom, odmjeravanjem od poznatih točaka. Kako je prostor gospodarske jedinice ispresijecan prosjekama, poznate točke bile su njihova sjecišta. Dužine od najbližeg sjecišta prosjeka određene su s Hrvatske osnovne karte (HOK) mjerila 1:5000. Prosjeke dijele šumski kompleks na približno jednake pravokutne površine dimenzija uglavnom oko 600x300 m. Stoga se prilikom postavljanja ploha busolom trebalo kretati kroz sastojinu najviše 150 m, polovinu kraće stranice pravokutnika. Uzimajući u obzir moguću pogrešku kod navigacije busolom, pretpostavlja se da je pozicija plohe relativno blizu projektiranih koordinata.

Nakon što je u sastojini određen položaj središta plohe, obilježen je metalnim klinom (Slika 12) zabijenim desetak centimetara ispod razine tla. Ideja je bila da ploha ne bude vidljiva operativnom osoblju na gospodarenju šumama, kako saznanje da su unutar plohe ne bi utjecalo na njihove odluke u doznaci i sl.



Slika 12. Metalni klin za obilježavanje središta plohe (Indir, 2004)

Krećući se u smjeru kazaljke na satu od pravca sjevera (azimut=0), svakom stablu unutar određenog polumjera kružne plohe potom su izmjerene sljedeće veličine:

- udaljenost od središta plohe do stabla (u metrima, s preciznošću od 1 dm)
- azimut stabla (u stupnjevima)
- prsni promjer stabla u smjeru sjever-jug (u milimetrima)
- prsni promjer stabla u smjeru istok-zapad (u milimetrima)
- prsni promjer stabla u smjeru središta plohe (u milimetrima) – za PPS uzorak

- ukupna visina stabla (u metrima, s preciznošću od 2,5 dm)
- dužina deblovine (u metrima, s preciznošću od 2,5 dm)
- širina krošnje (u metrima, s preciznošću od 1 dm)

Udaljenost od središta plohe do stabla mjerena je mjernom vrpcom dužine 50 m. Dužina se zaokruživala na 1 dm, a mjerena je do vertikalne osi stabla, s lijeve strane gledano iz središta.

Azimut vertikalne osi svakog stabla određivao se iz središta plohe preciznom geodetskom busolom s ugrađenom libelom, zaokruženo na 1 stupanj. Stablo najbliže sjeveru bilo je označeno brojem 1, a dalje je numeracija i izmjera vršena u smjeru kazaljke na satu.

Stablina su mjerena dva unakrsna prsna promjera, milimetarskom Haglof promjerkom, s preciznošću od 1mm. Prvi promjer je mjereno tako da kraci promjerke tangiraju stablo sa zapadne i istočne strane, odnosno usmjereni su u pravcu sjevera ili juga, a drugi promjer okomito na prvi, kada kraci tangiraju stablo sa sjeverne i južne strane. Treći podatak o prsnom promjeru dobiven je mjerenjem u smjeru središta plohe, dakle pod kutem kraka promjere koji je jednak azimutu do stabla.

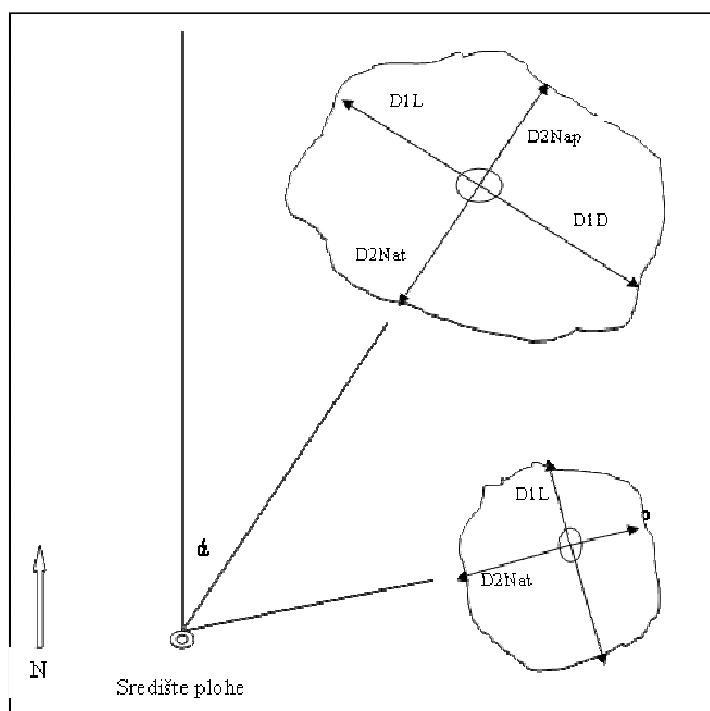
Visina stabla mjerena je Suunto visinomjerom, s preciznošću od 25 cm. Osim ukupne visine, izmjerena je i dužina deblovine, odnosno visina na kojoj počinju žive grane. Takozvani 'živići' se nisu smatrali granama.

Kod određivanja širine krošnje koristile su se trasirke koje su pomoćni radnici pomicali prema uputama opažača s dovoljne udaljenosti. Opažać bi vizualno odredio vertikalnu projekciju od krajnjih točaka krošnje prema tlu i na ta mjesta postavio pomoćne radnike s trasirkama koji bi potom tim istim trasirkama izmjerili udaljenost do vertikalne osi stabla. Svaka je krošnja izmjerena u 4 smjera, D1L i D1D – u smjeru lijevo i desno gledano iz središta plohe, te D2Nap i D2Nat – u smjeru azimuta stabla 'naprijed' i 'nazad' (Slika 13). Preciznost je iznosila 10 cm.

Svim stablima hrasta lužnjaka Presslerovim svrdlom su izvađeni izvrtci dužine 10 – 15 cm. Poznato je da širina goda nije jednaka sa svih strana debla (Klepac 1963), i da je ona veća s južne i zapadne strane. Kako u ovoj disertaciji nije težište na točnom određivanju debljinskog prirasta u apsolutnom iznosu, iz praktičnih je razloga odabrana ista strana stabla za sva stabla. Tako je mjesto za bušenje uvijek bilo na prsnoj visini koja

iznosi 1,30 m, s jugozapadne strane, kako u budućim izmjerama prsnih promjera kraci, odnosno ravnalo promjerke ne bi dodirivali mjesto gdje je stablo bušeno, a koje može imati zadebljanja i nepravilnosti kod kalusiranja. Jednako tako mogle su biti izabrane sjeverozapadna, sjeveroistočna i jugoistočna strana stabla. Izvrtci su zamatani u papir na koji je napisan broj stabla i broj plohe.

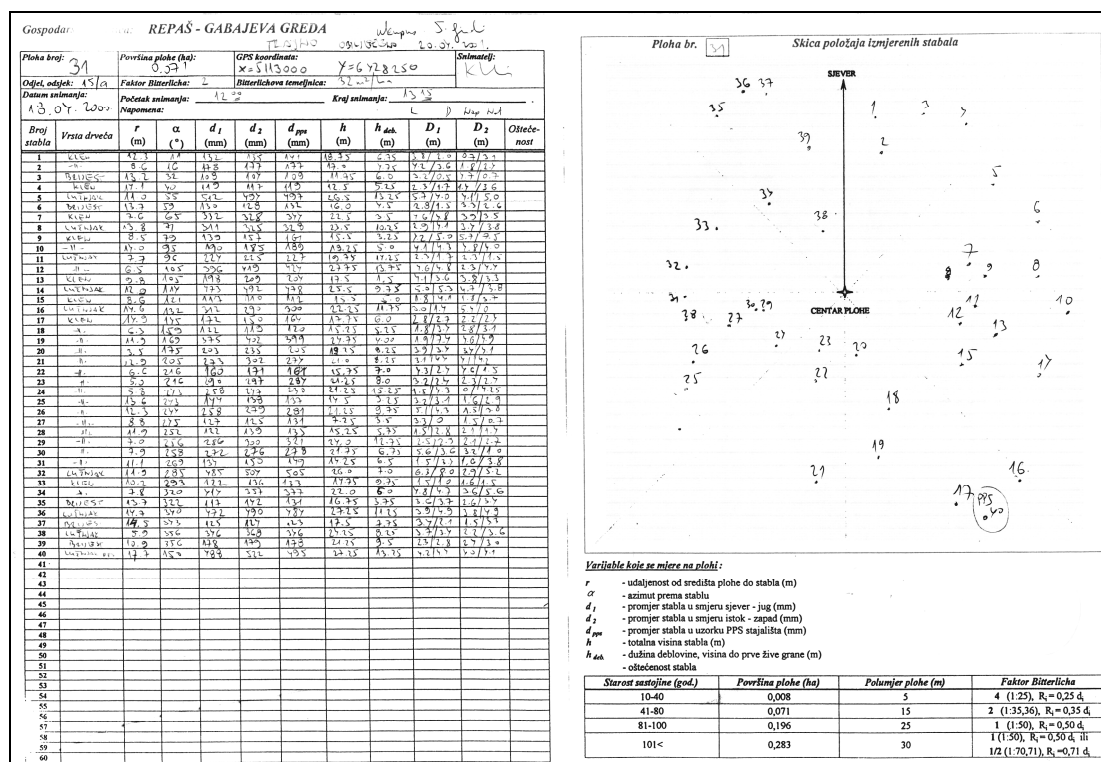
Ukoliko bi ploha bila smještena blizu ruba sastojine, pa bi dio njene površine obuhvatio prosjeku ili šumsku prometnicu, središte bi se pomaknulo u sastojinu.



Slika 13. Smjerovi određivanja širine krošnje

Na obrascu za izmjeru upisivani su i opći podaci o plohi i mjerenju, te se vodila i skica stabala na plohi u koju bi se ucrtavale karakteristične informacije za kasnije lakše pronalaženje (Slika 14).

Izmjeru je vršila terenska ekipa od 3 – 5 osoba, prema čemu se prilagođavao i raspored radnih zadataka pojedine osobe. Isprobane su razne kombinacije kako bi se postigla najveća efikasnost o čemu je više pisao Indir (2004)



Slika 14. Obrazac za izmjeru ploha 2000.g.

2.2.2. Terenski radovi 2007. godine

Početkom 2007. godine izvršena je druga izmjera na ploham postavljanim 2000. godine. S obzirom da plohe nisu bile vidljivo obilježene na terenu, postavljalo se pitanje hoće li biti poteškoća s pronalaženjem središta ploha. Isprobano je detektor metala, ali je bio nepouzdan i nepraktičan u radu pa se od njega odustalo. Koristeći GPS uređaj Garmin eTrex Summit i projektirane koordinate ploha, stiglo se u blizinu središta plohe. Potom se iz manuala prve izmjere potražilo karakteristična stabla (rijetke vrste drveća, stabla velikih dimenzija...), te ih se pokušalo naći u okolici. Iz lužnjakovih stabala su 2000. godine bili s jugozapadne strane vađeni izvrtci pa se i ta činjenica koristila u rekonstrukciji središta. Oštećenja od vađenja izvrtaka su kalusirala, ali su još uvijek bila vidljiva (Slika 15).



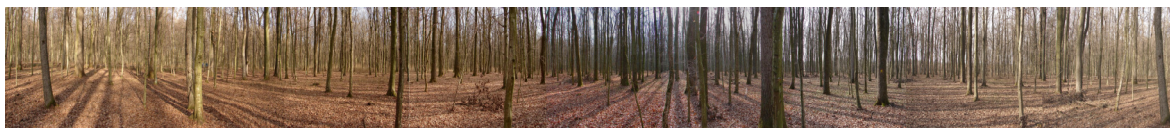
Slika 15. Kalusirano mjesto vađenja izvrtka na stablu hrasta lužnjaka nakon 6 godina.

Nakon što se locirao raspon bušenih stabala s vidljivim oštećenjima, bilo je jednostavno približiti se centru plohe na udaljenost od nekoliko metara. Tada se iz skice i podataka o azimutu i udaljenosti stabala najbližih središtu, točnije odredilo njenu poziciju. Kontrolom kuta i udaljenosti do nekoliko stabala u različitim smjerovima, došlo se do konačnog središta plohe, čije su koordinate i snimljene GPS uređajem. Te koordinate su opterećene pogreškom radi netočnosti instrumenta koja iznosi do desetak metara u povoljnim uvjetima, ali s obzirom na karakter istraživanja, to nije bitno ako plohu možemo ponovo naći.

Kada protekom vremena neće biti vidljiva oštećenja od vađenja izvrtaka, za pronalaženje središta ploha koristit će se samo snimljene koordinate koje su sada ipak točnije od projektiranih.

Prosječno vrijeme za rekonstrukciju središta plohe od trenutka dolaska na projektirane koordinate iznosilo je 5-10 minuta. Svih 45 ploha na kojima se vršila izmjera pronađeno je na terenu premda nije bilo vidljivih oznaka.

Kao pomoć u budućem pronalaženju ploha poslužit će i panoramska fotografija snimljena iz središta plohe (Slike 16 i 17)



Slika 16. Panoramska fotografija plohe br. 52 (2007.g.)



Slika 17. Panoramska fotografija plohe br. 83 (2007.g.)

Pozicije stabala su snimljene prvom izmjerom pa su sada samo prekontrolirane. Svakom stablu su ponovo izmjereni prsni promjeri na isti način i istim alatom kao i 2000. godine i upisani u manuale (Slika 18). Stablama koja su u razdoblju između dvije izmjere postigla prsni promjer od 10 cm snimljene su i pozicije (azimut i udaljenost od središta).

GOSP.JEDINICA Repaš-Gabjeva Greda											
Broj plohe		202044		Odjel		Odsjek		Velicina plohe ha		Uredajni razred	
2000.		32		b		0,196		Hrast lužnjak		90	
2007.											
Koordinate projektirane		X		Y		Datum		Vrijeme snimanja			
5112500		6434750		1. izmjera		13.11.2000		Početak		kraj	
5112500		6434750		2. izmjera		21.01.2007		11:26		12:08	
Stabljica		d1 (mm)		d2 (mm)		d3 (mm)					
St.broj	Vrst. drv.	Azimut	r	2000	2007	2000	2007	2000	2007	Napomene	
202044001	Hrast lužnjak	1	8,4	383	405	391	402	381	402		
202044002	Hrast lužnjak	7	19,7	455	485	441	466	438	461		
202044003	Klen	10	10,8	120	134	115	143	117	129		
202044004	Hrast lužnjak	20	21,2	555	559	534	581	533	550		
202044005	Klen	21	22,6	119	138	115	132	117	132		
202044006	Klen	23	11,6	105	110	111	131	104	124		
202044007	Hrast lužnjak	24	18,9	383	390	390	396	378	394		
202044008	Hrast lužnjak	31	8	278	292	338	344	305	312		
202044009	Obični grab	33	20,1	116	133	117	146	113	139		
202044010	Hrast lužnjak	35	20,6	352	376	330	350	354	372		
202044011	Obični grab	44	3,3	126	124	115	143	139	157		
202044012	Hrast lužnjak	52	23,8	517	548	501	550	539	574		
202044013	Hrast lužnjak	53	16,8	507	512	523	533	530	532		
202044014	Obični grab	53	23,4	146	161	146	180	147	169		
202044015	Obični grab	57	23,5	136	163	136	156	131	158		
202044016	Obični grab	69	23,2	127	158	135	147	129	148		
202044017	Hrast lužnjak	76	19,2	364	378	344	358	348	362		
202044018	Obični grab	77	10,6	107	127	97	126	113	143		
202044019	Klen	78	16,4	375	388	378	395	353	358		
202044020	Poljski jasen	80	11	591	625	615	635	623	665		
202044021	Hrast lužnjak	82	24,2	416	444	423	444	418	442		
202044022	Obični grab	87	2	135	152	141	158	148	163		
202044023	Poljski jasen	96	15,6	520	543	546	563	542	579		
202044024	Obični grab	97	24,2	373	367	421	430	427	412		
202044025	Obični grab	98	15	143	158	152	169	153	170		
202044026	Obični grab	99	23,9	359	361	423	418	425	422		
202044027	Obični grab	106	16,9	105	115	106	117	109	118		
202044028	Poljski jasen	108	9,7	413	428	470	501	442	468		
202044029	Klen	115	22,5	127	167	134	170	138	158		
202044030	Klen	125	24,9	98	115	103	121	100	115		
202044031	Klen	127	20,4	119	127	123	128	118	129		
202044032	Obični grab	129	4,8	133	148	141	163	141	162		
202044033	Obični grab	132	13,7	164	185	166	194	165	186		
G.R.P.B		15	17,5	50	50	108	108	96	96		
-11-		20	20,4	115	115	115	115	115	115		
B.R.I.C.S.T		44	24,1	118	118	105	105	118	118		
O.R.R.B		53	32,3	110	110	122	122	122	122		
-11-		118	118	118	118	118	118	118	118		

Slika 18. Manual izmjere 2007.g.

2.3. Obrada podataka

U obradi podataka i njihovom prikazu korišteni su programski alati *Microsoft Access*, *Microsoft Excel*, *ESRI ArcView*, *SPSS* i *Statistica*. Podaci iz izmjera 2000. i 2007. godine uneseni su u pripremljenu bazu podataka u *Microsoft Access*.

2.3.1. Baza podataka

Podaci su prvo uneseni u *Microsoft Access* u dvije tabele. Prva sadrži opće podatke o plohama i svaki redak predstavlja jednu plohu. U drugoj tabeli su mjereni podaci i svaki redak predstavlja jedno stablo. Polje koje označava šifru plohe služi kao veza jer se nalazi u obje tabele. Ploha ima jedinstvenu šifru od 6 brojaka u kojoj prve tri označavaju šifru gospodarske jedinice, a druge tri redni broj plohe. Svako stablo ima jedinstvenu šifru sastavljenu od 9 brojaka, od kojih prvih 6 označava pripadnost plohi, a posljednje tri su redni broj stabla unutar plohe. Npr. šifra stabla '202026011' znači da je u pitanju stablo '011' na plohi '026' u gospodarskoj jedinici '202'.

Tabela s općim podacima o plohi sadrži sljedeća polja (Slika 19):

- broj plohe – u obliku šifre sa 6 znamenaka
- x koordinata (projektirana) – Gauss-Krueggerov koordinatni sustav
- y koordinata (projektirana) – Gauss-Krueggerov koordinatni sustav
- površina plohe (ha)
- odjel (iz Osnove gospodarenja)
- odsjek (prema gospodarskoj podjeli iz Osnove gospodarenja)
- uređajni razred (iz Osnove gospodarenja)
- starost (iz Osnove gospodarenja)
- dobni razred – širina dobnog razreda 20 godina
- faktor Bitterlicha (za određivanje temeljnice iz središta plohe)
- izmjerena temeljnica (Bitterlichovim zrcalnim relaskopom)
- datum snimanja
- početak snimanja – vrijeme početka rada na plohi
- kraj snimanja – vrijeme završetka rada na plohi
- broj osoba u radu na plohi

- napomena
- datum snimanja (2007.)
- x koordinata (2007.) – određena GPS uređajem iz središta plohe
- y koordinata (2007.) – određena GPS uređajem iz središta plohe
- površina plohe (ha)
- početak snimanja (2007.)
- kraj snimanja (2007.)
- broj osoba u radu na plohi (2007.)
- napomena (2007.)

The screenshot shows a Microsoft Access database window with a table named 'plohe : Table'. The table contains numerous records with columns for various attributes. The columns are: broj plohe, x koordin, y koordin, povr(ha), odj, ods, ur raz, star, dob ra, fakt, Br, množitelj, Br, Dat. snim., Poč. s, Kraj s, Dat. obilj, Br, osi, Nap., Dat. snim (2), x koordin (2), y koordin (2), povr(ha) (2), Poč. snim. (2), Kraj snim. (2), Br. o. The table lists data for various plots, including their coordinates, area, and dates.

Slika 19. Tabela s plohamu u Access bazi podataka

Tabela s izmjeranim podacima sastavljena je od sljedećih polja (Slika 20):

- broj plohe – vezno polje isto kao i kod tabele s općim podacima o plohi
- broj stabla – šifra od 9 znamenaka
- vrsta drveća – tekstualno polje
- udaljenost stabla od središta plohe (m)
- azimut – kut što ga zatvara pravac prema stablu sa pravcem sjevera

- d1 (mm) – prsni promjer kada su kraci promjerke usmjereni prema sjeveru ili jugu
- d2 (mm) – prsni promjer kada su kraci promjerke usmjereni ka zapadu ili istoku
- dpps (mm) – prsni promjer kada su kraci promjerke usmjereni k središtu plohe
- h (m) – ukupna visina stabla
- hdeb (m) – visina do prve žive grane
- D1L (m) – polumjer krošnje 'Lijevo' od stabla
- D1D (m) – polumjer krošnje 'Desno' od stabla
- D2Nap (m) – polumjer krošnje 'Naprijed' od stabla'
- D2Nat (m) – polumjer krošnje 'Natrag' od stabla'
- d1 (mm)(2) – prsni promjer d1 2007.
- d2 (mm)(2) – prsni promjer d2 2007.
- dpps (mm)(2) - prsni promjer dpps 2007.
- napomena – 2007.

broj plohe	broj stabla	vrsta drveća	r (m)	azimut	d1 (mm)	d2 (mm)	dpps (mm)	h (m)	hdeb (m)	D1L (m)	D1D (m)	D2Nap (m)	D2Nat (m)	d1 (mm)(2)	d2 (mm)(2)	dpps (mm)(2)	Napomena
202026	202026001	Obični grab	21,9	3	113	143	119	19,8	5	2,7	1,8	3,8	4,1	128	150	133	
202026	202026002	Hrast lužnjak	24	6	554	555	559	32,5	11,5	4,5	4,4	6	4	589	570	584	
202026	202026003	Klen	24,4	8	139	151	140	15	9	1,1	2,4	1,8	1,4	140	156	144	
202026	202026004	Obični grab	21,4	8	164	190	160	22,3	6,25	3,5	3,6	5,1	4,8	171	200	173	
202026	202026005	Obični grab	2,2	8	239	253	245	24,3	8	6	6,4	5,3	6	257	282	272	
202026	202026006	Obični grab	14,9	12	195	218	210	20,8	7,5	5,5	4,3	4,1	2	219	223	232	
202026	202026007	Obični grab	12,2	12	207	227	218	22	5,5	6,2	4,6	5,8	4,9	221	241	232	
202026	202026008	Hrast lužnjak	18,6	15	409	397	398	30	16	2,8	4,2	4,5	4,7	412	412	413	
202026	202026009	Obični grab	24	21	243	260	236	19,3	6	4,3	3,6	6	3,5	248	263	257	
202026	202026010	Klen	20,9	24	113	124	124	18,3	10	1,4	2,7	1,5	2,6	117	124	129	
202026	202026011	Obični grab	28	27	215	232	233	20	6	4,4	4,8	4,6	2,9	228	241	249	
202026	202026012	Obični grab	22,6	30	102	113	110	17	9,5	2,7	1,6	4,9	0,9	106	118	117	
202026	202026013	Hrast lužnjak	21,9	31	567	578	558	34,5	15,5	4,8	6,5	4,3	4,9	600	617	598	
202026	202026014	Obični grab	23	35	127	139	134	13,5	3,5	2	3,5	2,4	3,7	141	147	145	
202026	202026015	Klen	24,4	35	165	178	170	19,8	7,75	3,6	2,9	2,7	1,5	164	183	175	
202026	202026016	Klen	17,1	36	109	114	115	13,5	7,5	3,5	2,3	2,4	2	107	115	114	
202026	202026017	Klen	15,7	37	98	100	100	17	8	0,8	3,4	2,1	1	100	100	102	
202026	202026018	Obični grab	8,6	42	157	164	171	15,8	3,75	5,5	3,1	2,8	2,7	162	168	171	
202026	202026019	Brijest	17,7	49	189	184	188	21,5	11,25	4,1	3,5	3,8	3,1	209	202	206	
202026	202026020	Obični grab	10,7	51	231	262	258	22	7,25	4,8	5,9	5,7	2,8	272	283	284	
202026	202026021	Hrast lužnjak	9,2	57	716	775	738	33	15	7,6	6,3	2	6,6	774	813	804	
202026	202026022	Obični grab	28,6	57	209	249	238	20,8	7,5	5,4	1,3	4,7	6,8	231	270	254	
202026	202026023	Obični grab	28,8	57	167	198	187	20,5	7,25	4,1	3,3	4,2	4,3	183	213	213	
202026	202026024	Hrast lužnjak	13,6	61	613	641	636	33,5	15,5	9	4,2	8,4	4,4	642	665	656	
202026	202026025	Klen	16	61	162	168	169	21,3	9	2,6	2,2	2,7	1,6	177	171	172	
202026	202026026	Obični grab	28,1	61	188	207	199	18,3	5,5	4,7	4,4	3,7	4,1	197	211	206	
202026	202026027	Brijest	21,8	62	159	178	176	18,8	10	4,5	2,7	3,1	2,9	172	186	186	
202026	202026028	Hrast lužnjak	25,8	66	442	457	448	31	12	4	5,4	6	5,2	467	467	464	
202026	202026029	Klen	18,2	73	151	163	161	20,5	9	2,3	2,8	3,6	2,1	156	173	174	
202026	202026030	Klen	26,3	73	180	168	186	19	9,25	2,6	4,2	2,5	4,6	199	192	194	
202026	202026031	Hrast lužnjak	15,1	80	555	569	568	34	14	3,5	7,1	7,8	4,2	545	589	586	
202026	202026032	Obični grab	14,5	84	217	240	239	21,5	4	3,5	4,8	2,8	3,3	236	261	258	
202026	202026033	Brijest	22,9	84	144	141	141	20,3	11	4	2,7	2,3	3,6	160	152	154	
202026	202026034	Brijest	19,1	87	134	131	133	16,8	7,25	2,2	2,6	1,7	2,9	135	130	130	
202026	202026035	Hrast lužnjak	24	90	445	486	486	32,5	17,5	3,6	3,7	3,5	3,5	484	518	518	
202026	202026036	Obični grab	25,8	90	271	290	290	22	4	8	7,1	6,4	5,3	323	319	319	
202026	202026037	Klen	6,7	95	132	144	148	14,3	4	3,5	3,2	1,7	2,9	135	142	148	
202026	202026038	Brijest	23,1	97	107	120	119	15	4,25	1,9	4	1	3,5	111	122	122	
202026	202026039	Klen	18,9	100	180	191	190	19,5	4,5	2,6	3,2	2,8	2,7	197	202	199	
202026	202026040	Brijest	26,9	101	120	113	112	15,3	8,25	2,9	2,1	1,1	5,6	121	112	111	
202026	202026041	Obični grab	10,2	102	157	155	159	15,5	6,75	2,8	6,8	6,3	5,8	168	166	169	
202026	202026042	Hrast lužnjak	25,4	108	669	682	681	33,3	15	4,5	5,3	4	5,5				panj

Slika 20. Tabela s mjerenim podacima u Access bazi podataka

2.3.2. Opis izvedenih veličina

2.3.2.1. Srednji prsni promjer

Srednji prsni promjer svakog mjerenog stabala dobiven je kao aritmetička sredina dva unakrsna mjerenja, iskazano u centimetrima s preciznošću od 1 milimetar.

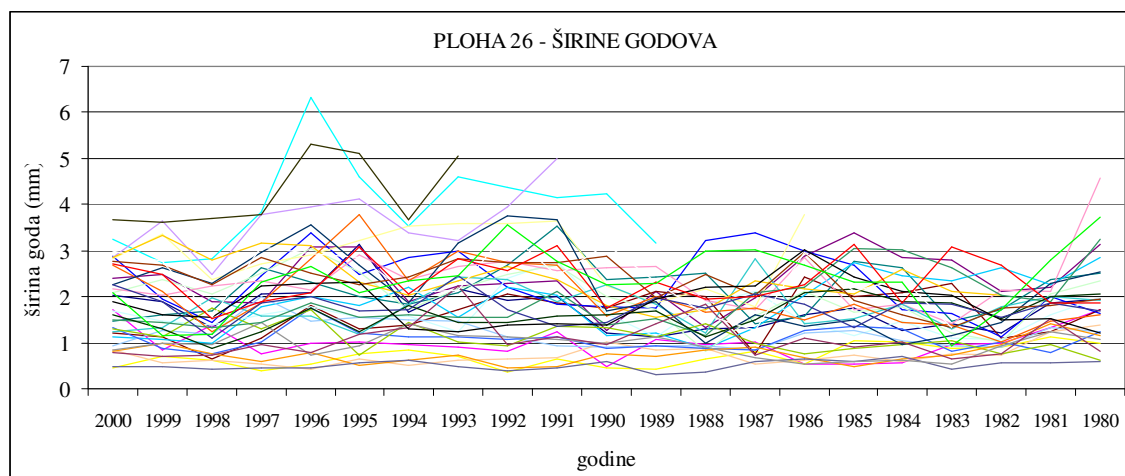
2.3.2.2. Širine krošanja

Krošnjama su mjerene 4 dužine na 4 unakrsna smjera kako je opisano na Slici 13. U bazu podataka upisane su u metrima, s preciznošću od 1 dm. Zbrajanjem po dvije nasuprotne vrijednosti dobiju se dva promjera krošnje. Uz pretpostavku da je tlocrtni oblik krošnje stabla eliptična oblika, iz dva promjera krošnje dobije se i površina projekcije. Ako se od dva promjera krošnje izračuna aritmetička sredina, pretpostavlja se da je projekcija krošnje kružnog oblika i definirana je srednjim promjerom.

Suma površina krošanja svih mjerenih stabala lužnjaka kada su smatrane elipsom u usporedbi sa sumom površina dobivenih iz srednjeg promjera krošnje, razlikuju se za manje od 1,8%. Kod običnoga graba je ta razlika i manja i iznosi 1,5%.

2.3.2.3. Širine godova

Izvrtni su izvađeni iz 1347 stabala hrasta lužnjaka. Očitavanje širina godova obavljeno je na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu na uređaju Digital positiometer. Godovi su očitavani optički uz korištenje binokulara i automatski spremni u računalu. Preciznost je iznosila 0,01 mm. Ovisno o dijelu godine kada su izvrtni vađeni, širine godova su pridjeljivane odgovarajućoj godini. Mjerenja su na plohama vršena u vrijeme mirovanja vegetacije. Za mjerenja izvršena do svibnja 2000.g. prvi god ispod kore predstavljao je god nastao 1999.g. Izvrtni s ploha koje su mjerene tijekom jeseni 2000.g. imali su prvi god do kore onaj koji je nastao te godine. Primjer očitanih širina godova na plohi 26 prikazan je na Slici 21.



Slika 21. Kretanje širine godova za 35 stabala hrasta lužnjaka (1980.-2000.) na primjeru plohe 26

2.3.3. Izračuni elemenata strukture

Na temelju podataka izmjerenih na terenu izvršeni su izračuni koji će dati informaciju o strukturi sastojina i poslužiti za analize.

2.3.3.1. Izračun broja stabala (N), temeljnice (G) i volumena (V) na plohama

Prvi element koji se računao bio je broj stabala po hektaru (N) prema izrazu (1).

$$N = \frac{n}{r^2 \pi} \quad (1)$$

gdje je:

- N – broj stabala po hektaru
- n – broj stabala na plohi
- r – polumjer plohe [m]

Aritmetička sredina dva mjerena promjera daje $d_{1,30}$ kojim se dalje računa u operacijama. Iz promjera se za svako stablo izračuna temeljnica, a potom prsni promjer srednjeg plošnog stabla za vrstu drveća unutar jedne plohe po izrazu:

$$d_s = \sqrt{\frac{40000 * \frac{\sum^n g}{n}}{\pi}} \quad (2)$$

gdje je: d_s – prsni promjer srednjeg plošnog stabla [cm]
 g – temeljnica pojedinog stabla na plohi [m²]
 n – broj stabala na plohi

Temeljnica po hektaru (G) za svaku vrstu ili cijelu plohu računa se po izrazu:

$$G = \frac{\sum^n g}{r^2 \pi} \quad (3)$$

gdje je: G – temeljnica po hektaru određene vrste ili svih stabala na plohi [m²/ha]
 g – temeljnica pojedinog stabla [m²]
 n – broj stabala na plohi
 r – polumjer plohe [m]

Volumen pojedinog stabla izračunat je Schumacher – Hallovom formulom uz upotrebu parametara A , b i c dvoulaznih tablica (Špiranec, 1975) te Meyerovog korekcijskog faktora (f). Korišten je izraz (4)

$$v = A d^b h^c f \quad (4)$$

gdje je: v - volumen stabla određenog promjera [m³]
 d - prsni promjer [cm]

A, b, c - parametri dvoulaznih tablica (Špiranec 1975)

h - izjednačena visina [m]

f - Meyerov korekcijski faktor

Vrijednosti parametara A , b i c te Meyerovog korekcijskog faktora za hrast lužnjak i obični grab prikazani su u Tabeli 10. Volumen za ostale vrste izračunat je pomoću parametara za grab.

Tabela 10. Parametri drvnogromadnih tablica (Špiranec, 1975.)

	Hrast lužnjak	Obični grab
Parametar A	0,00004968	0,00001792
Parametar b	2,048384	2,027826
Parametar c	0,892124	1,227771
Meyerov korekcijski faktor f	1,003739465	1,005592441

Visina stabla kao jedna od varijabli u Schumacher – Hallovoj formuli računata je izrazom za Mihajlovljevu funkciju (5). Sve visine mjerene na plohama poslužile su za izradu visinskih krivulja po grupama odsjeka za potrebe Osnove gospodarenja iz 2001.g. Dakle, premda su mjerene visine svakom stablu, za određivanje volumena iz praktičnih razloga korištene su visinske krivulje iz Osnove gospodarenja.

$$h = b_0 e^{\frac{b_1}{d}} + 1,30 \quad (5)$$

gdje je: h – izjednačena visina za određeni prsni promjer [m]

b_0 – regresijska konstanta

b_1 – regresijski koeficijent

d – prsni promjer [cm]

Volumen po hektaru određene vrste ili cijele plohe dobiven je izrazom:

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{r^2 \pi} \quad (6)$$

gdje je: V – volumen po hektaru [m^3/ha]
 v – volumen pojedinog stabla [m^3]
 n – broj stabala na plohi
 r – polumjer plohe [m]

Postupak računanja N , G i V ponavljao se odvojeno za hrast lužnjak i obični grab. Sve ostale mjerene vrste promatrane su zajedno i svrstane u „ostalo“.

2.3.3.2. Izračun udaljenosti između stabala na plohama

Izmjerom stabala na plohama određene su pozicije svakog stabla u odnosu na središte plohe, odnosno izmjeren azimut i udaljenost. Kako je za korištenje kompeticijskih indeksa ovisnih o udaljenosti (*distance-dependent*) nužno poznavati međusobne udaljenosti stabala, izračunao se taj sastojinski element. Prvi korak je bio iz azimuta i udaljenosti stabla od središta plohe dobiti koordinate x i y za svako stablo. Kut od 0° u matematici odgovara azimutu od 90° . Osim toga, za razliku od azimuta, u matematici kut raste u smjeru obrnutom od kretanja kazaljke na satu. Uzimajući to u obzir, u sustavu kojem je ishodište središte plohe, koordinate x_i i y_i i-tog stabla dobivamo po formulama

$$x_i = r_i * \cos\left(\frac{90 - \alpha_i}{180} * \pi\right) \quad (7)$$

$$y_i = r_i * \sin\left(\frac{90 - \alpha_i}{180} * \pi\right) \quad (8)$$

gdje je r_i – udaljenost stabla i od središta plohe [m]
 α_i – azimut stabla i [$^\circ$]

'Euklidsku udaljenost' između dva stabla ($Dist_{i-j}$) dobivamo prema formuli za udaljenost između dvije točke u ravnini:

$$Dist_{i-j} = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2} \quad (9)$$

2.3.3.3. Debljinski prirast

Debljinski prirast lužnjakovih stabala kojima su vađeni izvrtci dobiven je iz širina godova tako da je za svaku godinu do 1980.g. udvostručena širina goda. Izražen je u milimetrima, na dvije decimale.

Za petogodišnja razdoblja od 1980. do 2006. izračunati su prosječni godišnji debljinski prirasti kao zbroj godišnjih debljinskih prirasta podijeljen s 5. Za razdoblje 1995.-1999./2000. zbroj se dijelio s 5 ili 6, ovisno u koje doba godine su vađeni izvrtci. Za razdoblje 2000./2001.-2006. prosječni godišnji debljinski prirast dobiven je iz razlike prsnih promjera mjerenih u dvije izmjere, podijeljene s brojem proteklih vegetacijskih razdoblja.

2.3.3.4. Temeljnica i prirast temeljnice

Temeljnica ili površina kružnog presjeka stabla na prsnoj visini, računata je svakom stablu prema izrazu:

$$g_i = \frac{d_i^2 * \Pi}{40000} \quad (10)$$

gdje je: g_i – temeljnica stabla 'i' [m^2]
 d_i – prsni promjer stabla 'i' [cm]

Kako je za lužnjakova stabla poznat prsni promjer za svaku godinu od 1980.-2000., izračunata je i temeljnica po godinama. Razlika između dvije temeljnice susjednih godina predstavlja prirast temeljnice (i_g)

Prirast temeljnice u prethodnih 10 godina ($bai10$) računat je svim lužnjakovim stablima za referentnu godinu 2000. kao zbroj 10 prethodnih godišnjih prirasta temeljnice.

Omjer između $bai10$ i temeljnice stabla označen je kao $relbai$ i predstavlja jednu od relativnih mjera sposobnosti rasta.

2.3.4. Izračun indeksa strukture sastojine

2.3.4.1. Clark – Evansov indeks agregacije

Svakoj plohi izračunat je Clark-Evansov indeks agregacije (*CEI*) i to za dva slučaja. U prvom su obzir uzimani samo lužnjaci, a u drugom sva stabla. Na taj način se želi vidjeti kakav je stupanj agregacije lužnjakovih stabala u gornjem sloju sastojine u odnosu na ukupni agregacijski indeks kada se uzimaju u obzir sva stabla na plohi.

$$CEI = \frac{\bar{r}_{observed}}{E(r)} \quad \text{gdje je} \quad E(r) = \frac{1}{2\sqrt{\frac{N}{A}}} \quad (11)$$

CEI – Clark & Evansov indeks agregacije

$r_{observed}$ – srednja udaljenost stabla do najbližeg susjednog stabla na cijeloj plohi

$E(r)$ – očekivana srednja udaljenost do najbližeg susjednog stabla

N – Broj stabala

A – površina plohe

2.3.4.2. Indeks ispremiješanosti vrsta (*species mingling index*)

Indeks ispremiješanosti vrsta je varijabla pojedinačnog stabla koja se može izračunati i za cijelu plohu/sastojinu, zbrajanjem pojedinačnih indeksa i dijeljenjem s ukupnim brojem stabala

$$MI = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_{ij} \quad MI \in [0,1] \quad (12)$$

gdje je MI – Indeks ispremiješanosti vrsta
 n – broj susjednih stabala (3 ili 4 najbliža)
 $v_{ij} = 1$, ako su referentno/glavno stablo i i susjedno stablo j različite vrste
 drveća
 $v_{ij} = 0$, ako su iste vrste drveća.

Svakom stablu i za plohu ukupno računata su dva indeksa ispremiješanosti vrsta – uz promatrana 3 i 4 najbliža susjedna stabla.

2.3.4.3. Indeks diferenciranosti promjera

Indeks diferenciranosti promjera (TI_{ij}) opisuje prostornu distribuciju prsnih promjera stabala. Za referentno stablo ' i ' i njegova $n=3$ ili 4 najbliža susjedna stabla ' j ' indeks diferencijacije promjera (TI_{ij}) definiran je kao:

$$TI_{ij} = 1 - \frac{\min(DBH_i, DBH_j)}{\max(DBH_i, DBH_j)} \quad TI_{ij} \in [0,1] \quad (13)$$

gdje u brojniku od dva promatrana promjera (referentno stablo i n -ti susjed) mora uvijek biti manji, a u nazivniku veći od dva promatrana promjera.

Vrijednost indeksa se povećava kako se povećava prosječna razlika u promjerima susjednih stabala. Indeks ima vrijednost 0 kada su promatrana stabla jednakih promjera.

Za određivanje indeksa diferencijacije promjera cijele plohe, indeksi pojedinačnih stabala su zbrojeni i podijeljeni s brojem stabala na plohi čime se dobio prosječni TI_{ij} .

Svakom stablu i za plohu ukupno računata su dva indeksa diferencijacije promjera – uz promatrana 3 i 4 najbliža susjedna stabla.

2.3.5. Odabir glavnih i konkurentnih stabala

Kao glavna (referentna) stabla za koja će se izračunavati kompeticijski indeksi te istraživati utjecaj elemenata strukture na debljinski prirast odabrana su lužnjakova stabla.

Promatrana su dva oblika kompeticije.:

Hrast lužnjak ↔ hrast lužnjak

Hrast lužnjak ↔ sve vrste drveća

S obzirom na jasnu visinsku diferenciranost na stabla hrasta lužnjaka u gornjem dijelu sastojine i ostalih vrsta u donjem, pretpostavka je da među lužnjakovim stablima postoji veća konkurencija nego između lužnjaka i ostalih vrsta drveća. Zbog toga su u prvom slučaju kod odabira glavnih i konkurentnih stabala uzimana u obzir samo lužnjakova stabla. Kako bi se izbjeglo da kao glavna stabla budu izabrana ona koja su blizu ruba plohe i za koja ne znamo imaju li konkurenata izvan plohe, glavna stabla su mogla biti samo ona koja se nalaze na određenoj udaljenosti od ruba plohe.

Iz baze podataka određena su glavna i njima konkurentna stabla prema sljedećim pravilima:

-ako je ploha polumjera (r) 30 m

-glavna stabla su sva lužnjakova stabla koja su od središta plohe udaljena najviše 20 m ($r=20$ m)

-konkurentna stabla su sva lužnjakova stabla koja su od glavnog stabla udaljena najviše 10 m ($\text{dist} \leq 10$ m)

-ako je ploha polumjera (r) 25 m

- glavna stabla su sva lužnjakova stabla koja su od središta plohe udaljena najviše 15 m ($r \leq 15$ m)

- konkurentna stabla su sva lužnjakova stabla koja su od glavnog stabla udaljena najviše 10 m ($\text{dist} \leq 10$ m)

-ako je ploha polumjera (r) 15 m

- glavna stabla su sva lužnjakova stabla koja su od središta plohe udaljena najviše 8 m ($r \leq 8$ m)

- konkurentna stabla su sva lužnjakova stabla koja su od glavnog stabala udaljena najviše 7 m ($\text{dist} \leq 7$ m)

U drugom se slučaju za glavna lužnjakova stabla konkurente biralo bez obzira na pripadnost vrsti drveća.

Iz baze podataka određena su glavna i njima konkurentna stabla prema sljedećim pravilima:

- ako je ploha polumjera (r) 30 m

- glavna stabla su sva lužnjakova stabla koja su od središta plohe udaljena najviše 20 m ($r=20$ m)

- konkurentna stabla su sva stabla koja su od glavnog stabla udaljena najviše 10m ($\text{dist} \leq 10$ m)

- ako je ploha polumjera (r) 25 m

- glavna stabla su sva lužnjakova stabla koja su od središta plohe udaljena najviše 15 m ($r \leq 15$ m)

- konkurentna stabla su sva stabla koja su od glavnog stabla udaljena najviše 10 m ($\text{dist} \leq 10$ m)

- ako je ploha polumjera (r) 15 m

- glavna stabla su sva lužnjakova stabla koja su od središta plohe udaljena najviše 8 m ($r \leq 8$ m)

- konkurentna stabla su sva stabla koja su od glavnog stabala udaljena najviše 7 m ($\text{dist} \leq 7$ m)

2.3.6. Izračun kompeticijskih indeksa

Za izračun vrijednosti statičkih kompeticijskih indeksa koji se odnose na stanje kompeticije u godini izmjere, dovoljno je poznavati elemente stabala i njihove udaljenosti. Kada se želi rekonstruirati stanje kompeticije u nekoj godini u prošlosti, nameće se pitanje je li osim stabala zatečenih izmjerom 2000. godine, na prostoru plohe bilo i drugih stabala koja su imala svoj udio u kompeticijskim odnosima, a posjećena su tijekom promatranog razdoblja. Kako ne postoje evidencije o sjećama na samim ploham, do takvih informacija

se uvjetno može doći preko evidencija koje se odnose na čitave odsjeke u kojima se plohe nalaze. Prema tim evidencijama (Tabela 7) vidljivo je da su u razdoblju 1991.-2000. u tim odsjecima vršene sječe pretežno suhih stabala (slučajni prihod), koja su imala indiferentnu ulogu u kompeticijskim odnosima među lužnjakovim stablima. Uz pretpostavku ravnomjernog rasporeda posječenih stabala u Tabeli 11 prikazan je broj lužnjakovih stabala koja su kroz redovni prihod mogla biti posječena na plohama.

Tabela 11. Broj posječenih stabala lužnjaka na plohama kroz redovni prihod u razdoblju 1991.-2000.

odsjek	površina	broj ploha u odsjeku	jedinična površina ploha	posječeno redovno stabala lužnjaka na plohi	odsjek	površina	broj ploha u odsjeku	jedinična površina ploha	posječeno redovno stabala lužnjaka na plohi
	ha		ha	n/ploha		ha		ha	n/ploha
17/b	11,91	1	0,283	0	32/f	24,12	2	0,283	0
19/j	11,38	1	0,071	0	33/b	14,23	1	0,196	0
19/k	21,86	1	0,071	0	33/e	36,48	2	0,283	0
20/a	24,8	2	0,196	0	34/a	17,05	2	0,283	0
20/f	3,87	1	0,196	0	34/c	1,55	1	0,283	0
23/a	22,68	1	0,196	0	34/h	31,36	2	0,283	0
23/b	12,54	1	0,196	0	35/a	40,91	1	0,283	0
24/a	30,34	1	0,196	0	36/c	23,06	1	0,283	2,46
27/d	3,67	1	0,196	0	36/f	36,33	1	0,283	2,51
28/f	36,57	1	0,283	0,98	37/d	23,24	1	0,283	4,19
29/a	27,60	2	0,196	0,72	38/b	50,42	1	0,283	3,50
29/b	35,85	4	0,196	0,54	41/b	31	1	0,196	0
30/a	29,86	1	0,196	1,65	41/c	22,22	1	0,283	0
30/f	6,21	1	0,283	0	42/b	24,95	2	0,196	0
31/a	6,42	1	0,196	0,95	42/c	16,2	1	0,196	0
31/f	17,21	2	0,283	0	42/d	16,25	1	0,196	0
32/b	17,26	1	0,196	0	52/a	36,71	1	0,283	0

U 9 od 34 odsjeka (13 od 45 ploha) bile su izvršene 'redovne prorede'. U tim proredama je na 8 od 13 ploha posječeno manje od jednog stabla lužnjaka, uz pretpostavku idealnog rasporeda stabala i doznake na cijeloj površini odsjeka. Na preostalim 5 plohama u 5 odsjeka posječeno je 1,65-4,19 stabala lužnjaka, ali treba naglasiti da u tim odsjecima u godini kada je evidentiran redovni prihod nije bilo evidentiranog slučajnog prihoda (sušaca), što znači da su i oni evidentirani kao redovni prihod. Koliko je sušaca stvarno bilo, nemoguće je utvrditi, ali vrlo je izvjesno da ih je bilo manje od jednog stabla po plohi,

kao i kod 7 ploha u 3 odsjeka gdje su iste godine odvojeno evidentirani redovni i slučajni prihod.

U preostalih 25 odsjeka (32 plohe) nije bilo evidentiranih redovnih sječa, već su vršene samo sječe suhih stabala. Iz navedenog se nameće zaključak da redovna sječa manje od jednog stabla lužnjaka na 13 ploha, odnosno nijednog lužnjaka na preostale 32 plohe, u razdoblju 1991.-2000. nije značajno utjecala na istraživanje.

Za razdoblje 1981.-1990. dostupne evidencije iz Osnova gospodarenja su nepotpune, a za 8 od 34 odsjeka su neusporedive jer je revizijom osnove 1991.g. došlo do mijenjanja granica odsjeka kroz izlučivanja i spajanja.

U 2 od preostalih 26 odsjeka nije bilo redovnog prihoda već su vršene sječe samo suhih stabala.

U 23 od preostala 24 odsjeka evidentirane su redovne sječe, ali ni u jednom nije bilo evidentiranih sušaca u godini redovnog prihoda. To navodi na to da su oni evidentirani zajedno s redovnim prihodom, jer je teško vjerovati da ih nije bilo ni u jednom odsjeku.

U posljednjem preostalom odsjeku sušci su evidentirani odvojeno u istoj godini kada i redovni prihod i čine preko 50% ukupno posjećene drvene mase te godine.

Uz tako manjkave evidencije, sve upućuje da je redovnog prihoda bilo znatno manje, a sušaca znatno više nego što je evidentirano pa se i za razdoblje 1981.-1990. može zaključiti da redovne prorede nisu vršene u mjeri u kojoj bi utjecale na istraživanje.

2.3.6.1. Hegyijev indeks

Hegyijev kompeticijski indeks računat je za sva glavna stabla hrasta lužnjaka i to u dvije varijante. U prvoj su kao konkurenti promatrani samo lužnjaci, a indeks je određen za godine 1980., 1985., 1990., 1995., 2000. i 2006. g. jer postoje podaci o promjeru iz tog vremenskog razdoblja. U drugoj varijanti su kao konkurenti došla u obzir sva stabla, bez obzira na vrstu, a indeks je izračunat za godine 2000. i 2007. u kojima postoje podaci o promjerima.

$$CI1_i = \sum_{j=1}^n \frac{dbh_j / dbh_i}{dist_{ij}} \quad (14)$$

$CI1_i$ = Hegyiev kompeticijski indeks referentnog/glavnog stabla 'i' u godini 2000./2001.

dbh_j = prsni promjer za konkurentsko stablo 'j'

dbh_i = prsni promjer za glavno stablo 'i'

$dist_{ij}$ = udaljenost glavnog i konkurentskog stabla

n = broj konkurentskih stabala u zoni kompeticije

Stabla s nižim vrijednostima indeksa imaju veću kompeticijsku snagu, odnosno u okruženju imaju manju konkurenciju. Više vrijednosti indeksa znače slabiju kompeticijsku snagu, odnosno jaku konkurenciju u okruženju.

2.3.6.2. Weberov visinski kompeticijski indeks

Weberov visinski indeks računat je za glavna stabla hrasta lužnjaka u dvije varijante. U prvoj su kao konkurenti promatrani samo lužnjaci, a u drugoj sve vrste. Indeks je računat za 2000. godinu, u kojoj su mjerene visine koje se koriste u izrazu.

$$CI2_i = \frac{\sum_{j=1}^n H_j}{n} ; \text{ ako je } (h_i > h_j) = > H_j=1, \text{ inače } H_j=0 \quad (15)$$

$CI2_i$ = kompeticijski indeks (visinski) referentnog/glavnog stabla 'i'

h_i = visina glavnog stabla 'i'

h_j = visina konkurentskog stabla 'j'

n = broj konkurentskih stabala u zoni kompeticije

2.3.6.3. Weberov dinamički kompeticijski indeks

Weberov dinamički kompeticijski indeks koristi priraste temeljnica i računa se za svaku godinu određenog vremenskog intervala. Kako iz izvrtaka lužnjakovih stabala postoje širine godova, hrastovim stablima je poznat prsni promjer, a iz toga i temeljnica te prirast temeljnica za svaku od godina između 1980. i 2000. godine. Za promatranje dalje u prošlost podaci nisu kompletni jer nije na svim izvrcima bilo jednako mnogo godova.

$$C_{i,t} = \sum_{j=1}^n \frac{bai_{j,t} / bai_{i,t}}{dist_{ij}} \quad (16)$$

$C_{i,t}$ = dinamički kompeticijski indeks stabla 'i' u godini 't'

$bai_{j,t}$ = prirast temeljnica za konkurentsko stablo 'j' u godini 't'

$bai_{i,t}$ = prirast temeljnica za glavno stablo 'i' u godini 't'

$dist_{ij}$ = udaljenost glavnog i konkurentskog stabla

n = broj konkurentskih stabala u zoni kompeticije

Weberov kumulativni dinamički kompeticijski indeks za promatranu godinu dobiven je zbrajanjem svih pojedinačnih indeksa za sve godine koje su prethodile promatranju.

2.3.7. Statistička obrada podataka

Statistička obrada podataka izvršena je u programskom alatu *IBM SPSS 19* i *Statistica 6.1* (StatSoft, Inc 2004). Varijable opisane u prethodnim poglavljima izračunavane su u samom *SPSS*-u ili uz pomoć za to posebno izrađenog programa u programskom jeziku *Fortran*. To se naročito odnosi na varijable za koje je trebalo prema opisanim kriterijima odabirati glavna i konkurentna stabla. Veći dio regresijske analize izvršen je u programskom alatu *Statistica 6.1*.

Nominalne varijable i skale opisane su apsolutnim i relativnim frekvencijama, a odnos među njima testiran je χ^2 testom. Kontinuirane varijable opisane su parametrima razdioba (prosjeak, standardna devijacija, koeficijent varijacije, intervalom 95%-tne pouzdanosti). Odnos između nominalnih i kontinuiranih varijabli testiran je raznim modelima analize varijance. Odnos među kontinuiranim varijablama testiran je uz pomoć koeficijenata korelacije, odnosno raznim modelima regresijske analize. Kontinuirane varijable testirane su s obzirom na normalnu razdiobu, a rezultati su kod većine varijabli dopustili prihvaćanje njihove razdiobe kao normalne.

Korištena je razina značajnosti od 5%.

2.3.7.1. Klasteriranje kumulativnog dinamičkog kompeticijskog indeksa

Kod istraživanja strukture složenih sustava prirodno se nameće ideja o primjeni metoda klaster analize. Osnovna ideja klaster analize sastoji od rješavanja zadatka grupiranja elemenata (jedinki, subjekata, pojava i sl.) na osnovi njihovih obilježja (atributa, karakteristika) tako da elementi unutar grupe/klastera, imaju visok stupanj "prirodne asocijacije", dok su istovremeno tako formirani skupovi/klasteri, međusobno "relativno udaljeni".

U ovom radu izvršeno je razvrstavanje 392 glavna stabla u prostoru varijabli koje čine kumulativni dinamički kompeticijski indeksi u četiri klastera svim metodama klasteriranja i mjerama udaljenosti koja podržava *IBM SPSS Statistics, ver. 19*. Najprihvatljivijima su se pokazali rezultati dobiveni Wardovom metodom i s kvadratom euklidske udaljenosti među glavnim stablima. Klasterirane su kumulativne vrijednosti dinamičkog kompeticijskog indeksa u svim godinama promatranog razdoblja (1980.-2000.)

2.3.7.2. Regresijska analiza debljinskog prirasta

Regresijskom analizom u programskom alatu *Statistica 6.1.* dobiveni su modeli koji pokazuju utjecaj promatranih varijabli na debljinski prirast Korištena je višestruka linearna regresija. Ukupno je promatrano 35 varijabli, podijeljenih u logičke skupine (varijable izravno mjerene na terenu, varijable koje opisuju okruženje glavnih stabala, varijable statičkih kompeticijskih indeksa, varijable indeksa sastojine, varijable osnovnih strukturnih elemenata sastojine). Varijable se također mogu podijeliti na one koje se odnose na jedno stablo i na one koje se odnose na cijelu plohu.

Parcijalnom linearnom korelacijom debljinskog prirasta i promatranih varijabli dobiven je uvid u njihov predikcijski potencijal. U modeliranju su kao inicijalni prediktori bile uključene odabrane varijable, a '*backward stepwise*' metodom su one potom reducirane na nekoliko njih koje su se pokazale kao značajni prediktori debljinskog prirasta. Opći oblik linearnog modela debljinskog prirasta izgleda kako slijedi (17).

$$I_d = B_0 + \sum_{i=1}^n B_i * x_i \quad (17)$$

I_d – godišnji debljinski prirast [mm]

B_0 – regresijska konstanta

B_i – regresijski koeficijent

x_i – prediktorska varijabla

Ovisno o varijablama koje su odabrane kao inicijalni prediktori, regresijska analiza izvršena je na različitim setovima podataka. Varijable izravno mjerene na terenu te one koje se odnose na indekse sastojine i osnovne elemente strukture (N , G i V) imaju podatke za sva stabla kojima je određivan debljinski prirast (1235 stabala). Kada su u analizu uključene varijable koje opisuju okruženje 'glavnih' stabala, regresijska je analiza izvršena na temelju 501 glavnog stabla, a kada su varijable bile statički kompeticijski indeksi, analiza se bazirala na 499 stabala s potpunim podacima. U modelima s mješovitim varijablama, analiza je uvijek izvršena samo za onaj broj stabala za koja postoje kompletni podaci.

Za opisivanje jakosti korelacije i koeficijenta determinacije dobivenih modela korištena je Roemer-Orphalova skala (Tabela 12).

Tabela 12. Jakost veze prema Roemer-Orphalovoj skali (prema Vasilj 2000)

koeficijent korelacije - R	koeficijent determinacije - R^2	korelacija
0,00-0,10	0,000-0,010	nema
0,10-0,25	0,0100-0,0625	jako slaba
0,25-0,40	0,0625-0,160	slaba
0,40-0,50	0,160-0,250	srednja
0,50-0,75	0,250-0,525	jaka
0,75-0,90	0,525-0,810	vrlo jaka
0,90-1,00	0,810-1,000	potpuna

Sve varijable koje se nalaze u matrici za obradu podataka prikazane su Tabelom 13.

Tabela 13. Sve varijable u matrici za statističku obradu podataka

Šifra	Naziv	Kategorije	
		Kod	Naziv
<i>PLOHA</i>	Broj plohe		
<i>PLO-STB</i>	Broj stabla na plohi		
<i>XKOORD</i>	Planirana x-koordinata središta plohe		
<i>YKOORD</i>	Planirana y-koordinata središta plohe		
<i>POVRS</i>	Površina plohe u hektarima		
<i>POLUMJE</i>	Polumjer plohe u metrima		
<i>ODJEL</i>	Odjel u kojem se nalazi ploha		
<i>ODSJEK</i>	Odsjek u kojem se nalazi ploha		
<i>URRAZS</i>	Uređajni razred sastojine u kojoj se nalazi ploha		
<i>ST-01</i>	Starost sastojine u kojoj se nalazi ploha (1.1.2001.)		
<i>ST-01-20</i>	Dobni razred sastojine u kojoj se nalazi ploha	1	1-20
		2	21-40
		3	41-60
		4	61-80
		5	81-100
		6	101-120
		7	121-140
<i>ST-01-10</i>	Dobni razred sastojine u kojoj se nalazi ploha	1	1a
		2	1b
		3	2a
		4	2b
		5	3a
		6	3b
		7	4a
		8	4b
		9	5a
		10	5b
		11	6a
		12	6b
		13	7a
		14	7b
<i>BITT-FAK</i>	Bitterlichov faktor temeljnice		
<i>BITT-PRE</i>	Pretvorbeni faktor Bitterlichove temeljnice		

Tabela 13. – nastavak

Šifra	Naziv	Kategorije	
		Kod	Naziv
<i>BITT-TEM</i>	Izmjerena Bitterlichova temeljnica (m ² /ha)		
<i>DAT-SNI1</i>	Datum prve izmjere		
<i>POC-SNI1</i>	Vrijeme početka izmjere/snimanja		
<i>KRA-SNI1</i>	Vrijeme kraja izmjere/snimanja		
<i>DAT-OBI</i>	Datum trajne obilježbe plohe		
<i>BR-OSO1</i>	Broj osoba na izmjeri plohe		
<i>DAT-SNI2</i>	Datum druge izmjere (2007.)		
<i>XKOORD2</i>	Snimljena stvarna x-koordinata središta plohe		
<i>YKOORD2</i>	Snimljena stvarna y-koordinata središta plohe		
<i>POVRS2</i>	Površina plohe u hektarima (2007.)		
<i>POC-SNI2</i>	Vrijeme početka druge izmjere/snimanja		
<i>KRA-SNI2</i>	Vrijeme kraja druge izmjere/snimanja		
<i>BR-OSO2</i>	Broj osoba na drugoj izmjeri plohe		
<i>BR-GOD1</i>	Broj godina/vegetacijskih perioda između dvije izmjere		
<i>ST-07</i>	Starost sastojine u kojoj se nalazi ploha (1.1.2007.)		
<i>ST-07-20</i>	Dobni razred sastojine u kojoj se nalazi ploha 1.1.2007.	1	1-20
		2	21-40
		3	41-60
		4	61-80
		5	81-100
		6	101-120
		7	121-140
<i>ST-07-10</i>	Dobni razred sastojine u kojoj se nalazi ploha 1.1.2007.	1	1a
		2	1b
		3	2a
		4	2b
		5	3a
		6	3b
		7	4a
		8	4b
		9	5a
		10	5b
		11	6a
		12	6b
		13	7a
		14	7b
<i>STABLO</i>	Broj stabla		
<i>VRSTA</i>	Vrsta drveća		
<i>VRSTA-K</i>	Vrsta drveća (kategorije)	1	Brijest
		2	Crna joha
		3	Divlja kruška
		4	Glog
		5	Gorski brijest
		6	Gorski javor
		7	Hrast lužnjak
		8	Klen
		9	Kruška
		10	Obična bukva
		11	Obični grab
		12	Poljski jasen
		13	Trešnja

Tabela 13. - nastavak

Šifra	Naziv	Kategorije	
		Kod	Naziv
VRSTA-K3	Vrsta drveća	1	Hrast lužnjak
		2	Obični grab
		3	Ostalo
R-M	Udaljenost stabla od središta plohe (m)		
AZIMUT	Azimut od središta plohe prema stablu (°)		
D1	Prsni promjer stabla u smjeru Sjever-Jug (mm) - prva izmjera		
D2	Prsni promjer stabla u smjeru Istok-Zapad (mm) - prva izmjera		
D-PPS-1	Prsni promjer stabla u PPS uzorku (mm)		
H	Ukupna visina stabla (m)		
HD	Visina do prve žive grane - dužina debla (m)		
SK1-L	Širina krošnje u smjeru lijevo od vertikalne osi stabla (m)		
SK1-D	Širina krošnje u smjeru desno od vertikalne osi stabla (m)		
SK2-NAP	Širina krošnje u smjeru 'Naprijed' od vertikalne osi stabla		
SK2-NAT	Širina krošnje u smjeru 'Nazad' od vertikalne osi stabla (m)		
DS	Srednji prsni promjer stabla u prvoj izmjeri (ovisno o datum		
DS-1	Srednji prsni promjer stabla u prvoj izmjeri, ako je datum izmjere nakon 1.7.2000. => 1.1.2001.		
DS-2	Srednji prsni promjer stabla u prvoj izmjeri, ako je datum izmjere prije 1.7.2000. => 1.1.2000.		
BR-GOD	Broj godina/vegetacijskih perioda/godišnjih debljinskih prirasta		
OP-STB	Opseg stabla u prvoj izmjeri		
D1-S-J	Prsni promjer stabla u smjeru Sjever-Jug (mm) - druga izmjera		
D2-I-Z	Prsni promjer stabla u smjeru Istok-Zapad (mm) - druga izmjera		
D-PPS-2	Prsni promjer stabla u PPS uzorku (mm) - druga izmjera, 2007		
DS-07	Srednji prsni promjer stabla u drugoj izmjeri		
SK1	Prvi promjer krošnje (zbrojena polja D1L i D1D)		
SK2	Drugi promjer krošnje (zbrojena polja D1NAP i D1NAT)		
SK	Srednji promjer krošnje (m)		
G-00-01	Izračunata temeljnica stabla na dan 1.1.2000. ili 1.1.2001 -		
G-07	Izračunata temeljnica stabla na dan 1.1.2007 - druga izmjera		
DS-2007	Prsni promjer 2007 (cm)		
DS-2001	Prsni promjer 2001 (cm)		
DS-i	Prsni promjer (cm) $i = 2000, ..., 1980$		
ID-i	Debljinski prirast (mm), $i = 2000, ..., 1980$		
ID-80-84	Prosječni godišnji debljinski prirast 1980-1984 (mm)		
ID-85-89	Prosječni godišnji debljinski prirast 1985-1989 (mm)		
ID-90-94	Prosječni godišnji debljinski prirast 1990-1994 (mm)		
ID-95-99	Prosječni godišnji debljinski prirast 1995-1999 (mm)		
ID-00-07	Prosječni godišnji debljinski prirast 2000-2007 (mm)		
ID8084-P	Prosječna godišnja širina goda 1980-1984 (mm)		
ID8589-P	Prosječna godišnja širina goda 1985-1989 (mm)		
ID9094-P	Prosječna godišnja širina goda 1990-1994 (mm)		
ID9599-P	Prosječna godišnja širina goda 1995-1999 (mm)		
ID0007-P	Prosječna godišnja širina goda 2000-2007 (mm)		

Tabela 13. - nastavak

Šifra	Naziv	Kategorije	
		Kod	Naziv
<i>BAI10</i>	Prirast temeljnice u 10 god. koje prethode 2000/2001.(m ²)		
<i>RBAI10</i>	Relativ. prirast temeljnice u 10 g. koje prethode 2000/2001.		
<i>G-i</i>	Temeljnica 2007 (m ²), $i = 2000, ..., 1980$		
<i>G-2001</i>	Temeljnica 2001 (m ²)		
<i>IG-i</i>	Prirast temeljnice (cm ²), $i = 2000, ..., 1980$		
<i>DIS-ij</i>	Udaljenost stabla (m), $i, j = 1, ..., N$		
<i>N</i>	Broj stabala na plohi		
<i>CI1LL01</i>	Statički kompeticijski indeks: Hegyi Lužnjak – Lužnjak 2001		
<i>CI1LL07</i>	Statički kompeticijski indeks: Hegyi Lužnjak – Lužnjak 2007		
<i>CI1LL95</i>	Statički kompeticijski indeks: Hegyi Lužnjak – Lužnjak 1995		
<i>CI1LL90</i>	Statički kompeticijski indeks: Hegyi Lužnjak – Lužnjak 1990		
<i>CI1LL85</i>	Statički kompeticijski indeks: Hegyi Lužnjak – Lužnjak 1985		
<i>CI1LL80</i>	Statički kompeticijski indeks: Hegyi Lužnjak – Lužnjak 1980		
<i>CI1LS01</i>	Statički kompeticijski indeks: Hegyi Lužnjak – Ostala stabla 2001		
<i>CI2LL</i>	Statički kompeticijski indeks: Weber Lužnjak – Lužnjak 2001		
<i>CI2LS</i>	Statički kompeticijski indeks: Weber Lužnjak – Ostala stabla 2001		
<i>CEI-L</i>	Clark – Evansov indeks Lužnjaci		
<i>CEI-S</i>	Clark – Evansov indeks Sva stabla		
<i>MI3</i>	Indeks ispremiješanosti vrsta (<i>mingling index</i>) s promatrana 3 najbliža susjeda		
<i>MI4</i>	Indeks ispremiješanosti vrsta (<i>mingling index</i>) sa promatrana 4 najbliža susjeda		
<i>TI3</i>	Indeks diferencijacije promjera s promatrana 3 najbliža susjeda		
<i>TI4</i>	Indeks diferencijacije promjera s promatrana 4 najbliža susjeda		
<i>BRKL</i>	Broj lužnjakovih stabala konkurentnih glavnom stablu		
<i>BRKS</i>	Broj stabala konkurentnih glavnom stablu		
<i>CLL-i</i>	Dinamički kompeticijski indeks, $i=2000, ..., 1980$		
<i>CLLK-i</i>	Kumulativni dinamički kompeticijski indeks, $i=2000, ..., 1980$		
<i>DSKL</i>	Prosječni prsni promjer konkurentnih lužnjakovih stabala		
<i>HKL</i>	Prosječna visina konkurentnih lužnjakovih stabala		
<i>SKKL</i>	Prosječna širina krošnje konkurentnih lužnjakovih stabala		
<i>DISKL</i>	Prosječna udaljenost do konkurentnih lužnjakovih stabala		
<i>DSKS</i>	Prosječni prsni promjer konkurentnih stabala		
<i>HKS</i>	Prosječna visina konkurentnih stabala		
<i>SKKS</i>	Prosječna širina krošnje konkurentnih stabala		
<i>DISKS</i>	Prosječna udaljenost do konkurentnih stabala		
<i>NU</i>	Ukupni broj stabala na plohi (po ha)		
<i>GU</i>	Ukupna temeljnica na plohi (po ha)		
<i>VU</i>	Ukupni volumen na plohi (po ha)		
<i>NL</i>	Postotni udio broja stabala lužnjaka na plohi		
<i>GL</i>	Postotni udio temeljnice lužnjaka na plohi		

Tabela 13. - nastavak

Šifra	Naziv	Kategorije	
		Kod	Naziv
<i>VL</i>	Postotni udio volumena lužnjaka na plohi		
<i>NG</i>	Postotni udio broja stabala običnoga graba na plohi		
<i>GG</i>	Postotni udio temeljnice običnoga graba na plohi		
<i>VG</i>	Postotni udio volumena običnoga graba na plohi		
<i>NO</i>	Postotni udio broja stabala ostalih vrsta na plohi		
<i>GO</i>	Postotni udio temeljnice ostalih vrsta na plohi		
<i>VO</i>	Postotni udio volumena ostalih vrsta na plohi		
<i>KON_KLAS</i>	Pripadnost pojedinom klasteru (Wardova metoda)	K1	Klaster 1
		K2	Klaster 2
		K3	Klaster 3
		K4	Klaster 4

3. REZULTATI

3.1. Rezultati izmjerenih i izvedenih veličina

Godine 2000. izmjereno je ukupno 4715 stabala od kojih je 47 bilo izvan površina plohe, ali su izmjerena jer su svojim promjerom ušle u PPS uzorak. To znači da je unutar ploha premjereno 4668 stabala. Od toga je bilo 1514 stabala hrasta lužnjaka, a 2339 stabala običnoga graba. Ostatak se odnosio na klen, brijest, poljski jasen, johu i ostalu tvrdu bjelogoricu (Tabele 14-16).

Drugom izmjerom 2007. ustanovljeno je da je unutar ploha u međuvremenu uraslo u mjerljivi dio sastojine (10 cm prsnog promjera) 332 stabla, ali i da je posječeno 638 stabala, što znači da su 2007. izmjerena 4362 stabla, a u bazi podataka postoji zapis o njih ukupno 4999.

Tabela 14. Učestalost broja stabala pojedine vrste drveća po plohama 2000./2001. godine

Ploha	Vrste drveća			
	Hrast lužnjak	Obični grab	Ostalo	Ukupno
202026	38 (27,7%)	39 (28,5%)	60 (43,8%)	137 (100%)
202038	32 (36,8%)	15 (17,2%)	40 (46,0%)	87 (100%)
202039	19 (95,0%)	0 (0%)	1 (5,0%)	20 (100%)
202041	16 (26,7%)	36 (60,0%)	8 (13,3%)	60 (100%)
202042	34 (22,7%)	83 (55,3%)	33 (22,0%)	150 (100%)
202043	41 (40,2%)	44 (43,1%)	17 (16,7%)	102 (100%)
202044	26 (26,3%)	38 (38,4%)	35 (35,4%)	99 (100%)
202045	40 (41,2%)	51 (52,6%)	6 (6,2%)	97 (100%)
202046	30 (43,5%)	23 (33,3%)	16 (23,2%)	69 (100%)
202047	44 (55,0%)	34 (42,5%)	2 (2,5%)	80 (100%)
202048	29 (23,0%)	91 (72,2%)	6 (4,8%)	126 (100%)
202051	15 (44,1%)	18 (52,9%)	1 (2,9%)	34 (100%)
202052	35 (34,3%)	48 (47,1%)	19 (18,6%)	102 (100%)
202057	38 (44,7%)	20 (23,5%)	27 (31,8%)	85 (100%)
202059	29 (26,6%)	57 (52,3%)	23 (21,1%)	109 (100%)
202061	37 (27,8%)	73 (54,9%)	23 (17,3%)	133 (100%)
202062	38 (33,6%)	63 (55,8%)	12 (10,6%)	113 (100%)
202063	27 (50,0%)	24 (44,4%)	3 (5,6%)	54 (100%)
202064	55 (50,0%)	52 (47,3%)	3 (2,7%)	110 (100%)
202065	48 (40,7%)	58 (49,2%)	12 (10,2%)	118 (100%)
202066	48 (35,8%)	25 (18,7%)	61 (45,5%)	134 (100%)
202067	49 (34,3%)	60 (42,0%)	34 (23,8%)	143 (100%)
202068	10 (15,2%)	54 (81,8%)	2 (3,0%)	66 (100%)
202069	11 (19,6%)	44 (78,6%)	1 (1,8%)	56 (100%)
202072	65 (39,4%)	64 (38,8%)	36 (21,8%)	165 (100%)
202073	48 (47,1%)	52 (51,0%)	2 (2,0%)	102 (100%)

Tabela 14. - nastavak

Ploha	Vrste drveća			
	Hrast lužnjak	Obični grab	Ostalo	Ukupno
202074	46 (35,9%)	68 (53,1%)	14 (10,9%)	128 (100%)
202075	29 (43,9%)	34 (51,5%)	3 (4,5%)	66 (100%)
202077	28 (40,6%)	19 (27,5%)	22 (31,9%)	69 (100%)
202078	35 (29,4%)	55 (46,2%)	29 (24,4%)	119 (100%)
202079	32 (35,2%)	8 (8,8%)	51 (56,0%)	91 (100%)
202083	42 (29,4%)	70 (49,0%)	31 (21,7%)	143 (100%)
202084	36 (31,0%)	23 (19,8%)	57 (49,1%)	116 (100%)
202085	33 (67,3%)	14 (28,6%)	2 (4,1%)	49 (100%)
202090	24 (20,9%)	62 (53,9%)	29 (25,2%)	115 (100%)
202091	23 (30,7%)	43 (57,3%)	9 (12,0%)	75 (100%)
202092	28 (24,6%)	80 (70,2%)	6 (5,3%)	114 (100%)
202096	40 (24,1%)	122 (73,5%)	4 (2,4%)	166 (100%)
202098	17 (13,5%)	106 (84,1%)	3 (2,4%)	126 (100%)
202099	30 (18,6%)	131 (81,4%)	0 (0%)	161 (100%)
202101	40 (27,2%)	104 (70,7%)	3 (2,0%)	147 (100%)
202105	26 (26,8%)	69 (71,1%)	2 (2,1%)	97 (100%)
202106	28 (29,5%)	38 (40,0%)	29 (30,5%)	95 (100%)
202107	41 (36,0%)	43 (37,7%)	30 (26,3%)	114 (100%)
202123	34 (27,0%)	84 (66,7%)	8 (6,3%)	126 (100%)
Ukupno	1514 (32,4%)	2339 (50,1%)	815 (17,5%)	4668 (100%)

Provedenim χ^2 testom je utvrđena statistički značajna razlika između ploha s obzirom na omjer smjese po broju stabala ($\chi^2=1072,8$; $df=88$; $p<0,001$)

Tabela 15. Učestalost broja stabala pojedine vrste drveća po dobnim razredima širine 20 godina (2000./2001.)

Dobni razredi		Vrste drveća			
		Hrast lužnjak	Obični grab	Ostalo	Ukupno
4 (61-80)	n	34	18	2	54
	n/ha	239	127	14	380
	%	63,0	33,3	3,7	100
5 (81-100)	n	737	1004	470	2211
	n/ha	171	233	109	513
	%	33,3	45,4	21,3	100
6 (101-120)	n	689	1077	329	2095
	n/ha	143	224	68	435
	%	32,9	51,4	15,7	100
7 (121-140)	n	54	240	14	308
	n/ha	48	212	12	272
	%	17,5	77,9	4,5	100
Ukupno	n	1514	2339	815	4668
	%	32,4	50,1	17,5	100

χ^2 testom je utvrđena statistički značajna razlika između ploha s obzirom na omjer smjese po broju stabala u pojedinom dobnom razredu širine 20 godina ($\chi^2=155,6$; $df=6$; $p<0,001$). Uočljiv je pad postotnog udjela broja stabala hrasta lužnjaka s porastom starosti, dok se istovremeno postotni udio broja stabala običnoga graba povećava. Postotni udio pojedine vrste u dobnom razredu dobiven je kao omjer svih izmjenjenih stabala pojedine vrste i ukupnog broja stabala u tom dobnom razredu.

Tabela 16. Učestalost broja stabala pojedine vrste drveća po dobnim razredima širine 10 godina (2000./2001.)

Dobni razredi		Vrste drveća			
		Hrast lužnjak	Obični grab	Ostalo	Ukupno
4b	n	34	18	2	54
	%	63,0	33,3	3,7	100
5a	n	304	367	147	818
	%	37,2	44,9	18,0	100
5b	n	433	637	323	1393
	%	31,1	45,7	23,2	100
6a	n	447	445	219	1111
	%	40,2	40,1	19,7	100
6b	n	242	632	110	984
	%	24,6	64,2	11,2	100
7a	n	17	106	3	126
	%	13,5	84,1	2,4	100
7b	n	37	134	11	182
	%	20,3	73,6	6,0	100
Ukupno	n	1514	2339	815	4668
	%	32,4	50,1	17,5	100

Između desetogodišnjih dobnih razreda postoje statistički značajne razlike u omjeru smjese po broju stabala ($\chi^2=294,8$; $df=12$; $p<0,001$). Kao i kod dvadesetogodišnjih dobnih razreda, udio broja stabala hrasta lužnjaka ima trend smanjenja porastom starosti, s izuzetkom 6b i 7b dobnog razreda koji imaju nešto veći broj stabala.

3.2. Prsni promjeri

Vrijednosti prsnih promjera u bazu podataka uneseni su u milimetrima. Slijedi prikaz izmjerenih veličina kako bi se vidjelo na kojem setu podataka će biti izvršene analize (Tabele 17 i 18).

Tabela 17. Deskriptivna statistika mjerenih prsnih promjera 2000./2001. g. po dobnim razredima širine 20 godina

Dobni razred	Vrsta drveća	n	Aritmet. sredina $\bar{x}$ (cm)	Raspon (cm)		STDEV (cm)	CV (%)
				min	max		
4 (61 – 80)	Hrast lužnjak	34	35,88	22,90	50,65	7,62	21,2
	Obični grab	18	22,32	9,55	38,25	8,13	36,4
	Ostalo	2	19,42	13,20	25,65	8,80	45,3
	Ukupno	54	30,75	9,55	50,65	10,23	33,3
5 (81 – 100)	Hrast lužnjak	737	43,77	20,45	75,25	9,51	21,7
	Obični grab	1004	15,80	9,05	51,75	5,87	37,2
	Ostalo	470	17,63	9,35	72,05	10,16	57,6
	Ukupno	2211	25,51	9,05	75,25	15,33	60,1
6 (101–120)	Hrast lužnjak	689	47,97	15,90	81,80	10,45	21,8
	Obični grab	1077	16,44	9,65	59,30	7,37	44,8
	Ostalo	329	17,52	9,75	71,65	10,48	59,8
	Ukupno	2095	26,98	9,65	81,80	17,24	63,9
7 (121-140)	Hrast lužnjak	54	63,06	39,95	97,70	14,66	23,2
	Obični grab	240	22,06	9,70	60,65	12,98	58,8
	Ostalo	14	41,56	11,55	68,55	19,05	45,8
	Ukupno	308	30,14	9,70	97,70	20,77	68,9

Uz širinu dobnog razreda od 20 godina, vidljivo je jasno povećanje srednjeg prsnog promjera hrasta lužnjaka s porastom starosti. Koeficijenti varijacije se kreću od 21,2 – 23,2%.

Tabela 18. Deskriptivna statistika mjerenih prsnih promjera 2000./2001.g po dobnim razredima širine 10 godina (cm)

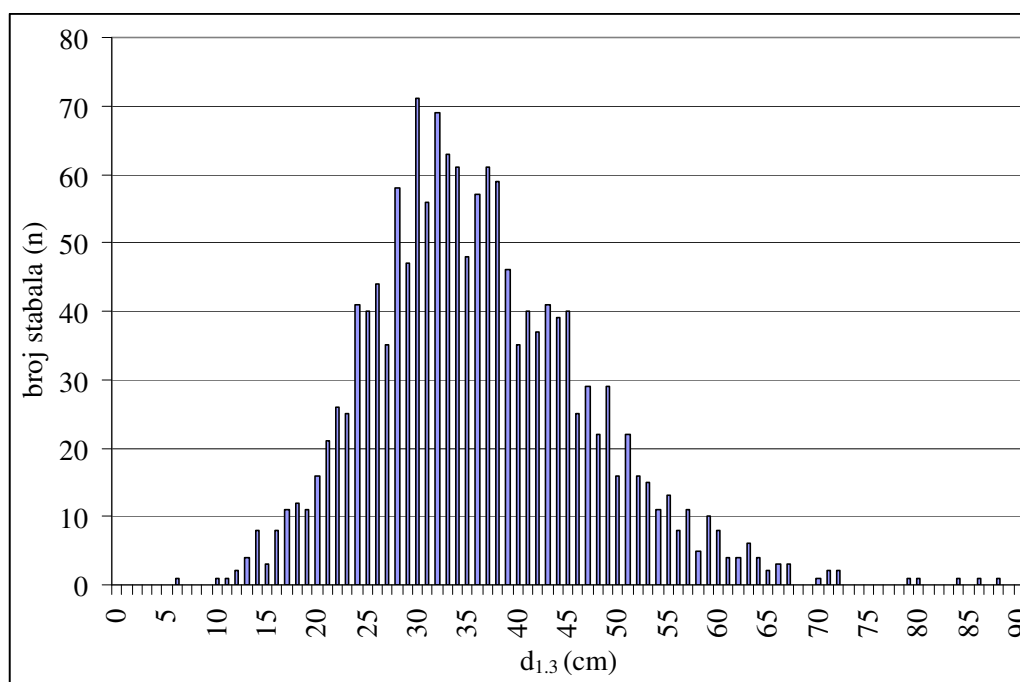
Dobni razred	Vrsta drveća	n	Aritmet. sredina $\bar{x}$ (cm)	Raspon (cm)		STDEV (cm)	CV (%)
				min	max		
4b	Hrast lužnjak	34	35,88	22,90	50,65	7,62	21,2
	Obični grab	18	22,32	9,55	38,25	8,13	36,4
	Ostalo	2	19,42	13,20	25,65	8,80	45,3
	Ukupno	54	30,75	9,55	50,65	10,23	33,3
5a	Hrast lužnjak	304	44,81	24,35	74,25	8,91	19,9
	Obični grab	367	15,77	9,05	43,35	6,65	42,2
	Ostalo	147	17,89	9,35	65,20	10,50	58,7
	Ukupno	818	26,94	9,05	74,25	16,08	59,7
5b	Hrast lužnjak	433	43,04	20,45	75,25	9,85	22,9
	Obični grab	637	15,81	9,80	51,75	5,38	34,0
	Ostalo	323	17,51	9,75	72,05	10,02	57,2
	Ukupno	1393	24,67	9,75	75,25	14,81	60,0
6a	Hrast lužnjak	447	45,91	15,90	76,55	10,24	22,3
	Obični grab	445	16,99	9,65	57,45	9,52	56,0
	Ostalo	219	17,98	9,75	71,65	11,77	65,5
	Ukupno	1111	28,82	9,65	76,55	17,39	60,3
6b	Hrast lužnjak	242	51,77	30,60	81,80	9,76	18,9
	Obični grab	632	16,05	9,70	59,30	5,32	33,1
	Ostalo	110	16,61	9,90	52,40	7,20	43,3
	Ukupno	984	24,90	9,70	81,80	16,83	67,6

Tabela 18. - nastavak

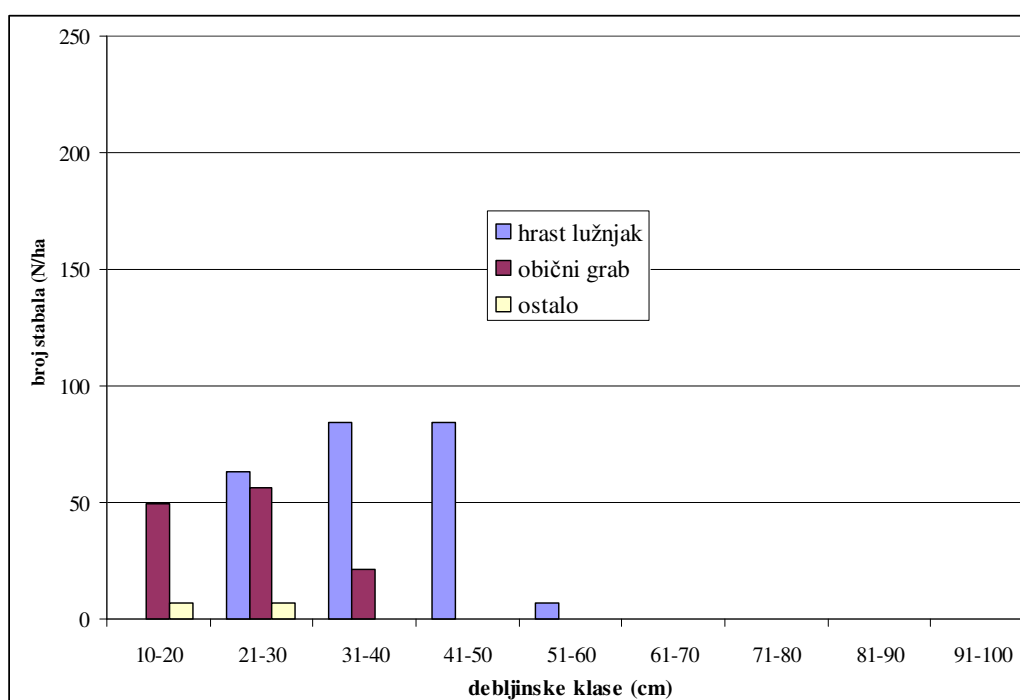
Dobni razred	Vrsta drveća	n	Aritmet. sredina $\bar{x}$ (cm)	Raspon (cm)		STDEV (cm)	CV (%)
				min	max		
7a	Hrast lužnjak	17	64,53	39,95	97,70	16,91	26,2
	Obični grab	106	17,26	10,20	56,50	6,35	36,8
	Ostalo	3	45,70	28,45	59,30	15,75	34,5
	Ukupno	126	24,32	10,20	97,70	18,64	76,6
7b	Hrast lužnjak	37	62,38	40,80	96,40	13,71	22,0
	Obični grab	134	25,86	9,70	60,65	15,43	59,7
	Ostalo	11	40,43	11,55	68,55	20,39	50,4
	Ukupno	182	34,16	9,70	96,40	21,25	62,2

Mjereni prsni promjeri hrasta lužnjaka s porastom starosti su očekivano sve veći s koeficijentima varijacije od 18,9-26,2%. Kod ostalih vrsta nema izraženog trenda, a koeficijenti varijacije su znatno većih vrijednosti.

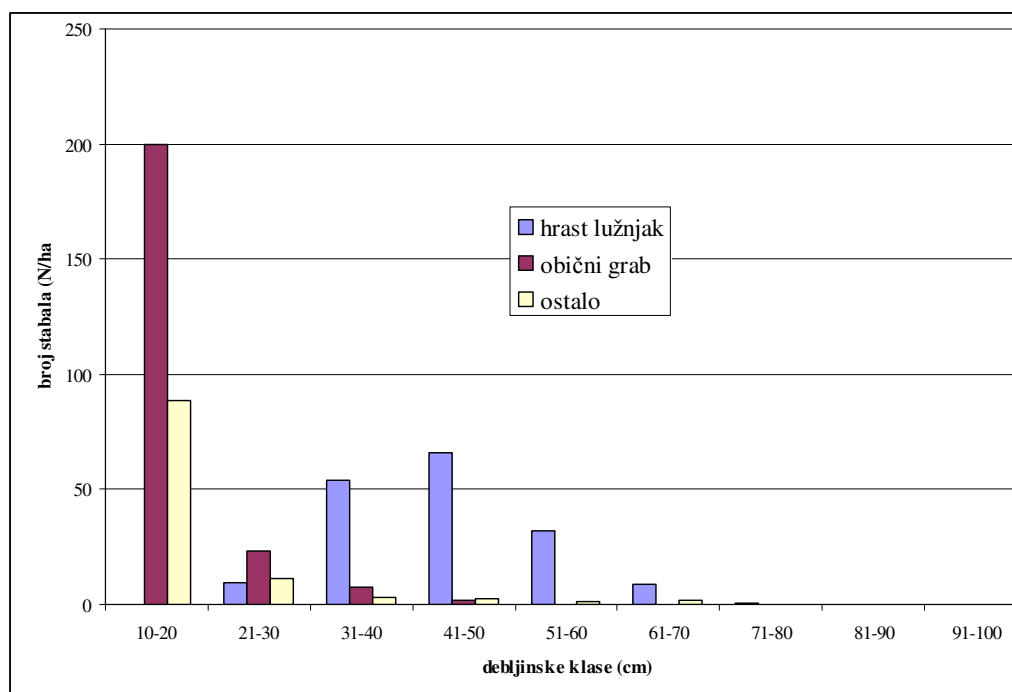
Na Slici 22 prikazana je distribucija prsni promjera svih mjerenih stabala hrasta lužnjaka, bez obzira na dobne razrede.



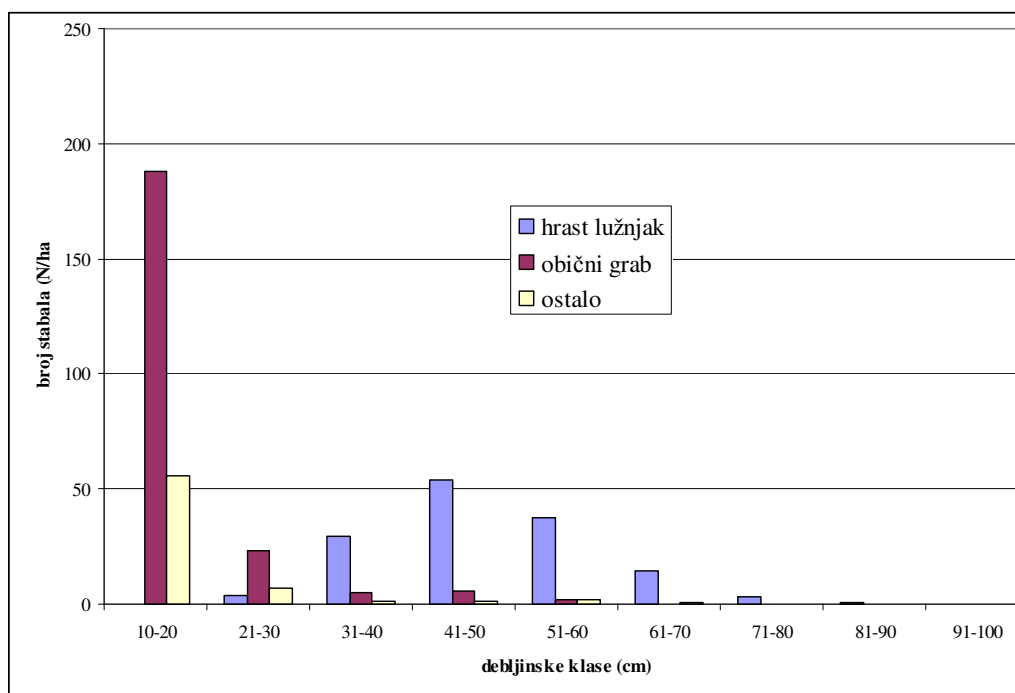
Slika 22. Distribucija prsni promjera svih mjerenih stabala hrasta lužnjaka 2000/2001. (deb. stupnjevi 1cm)



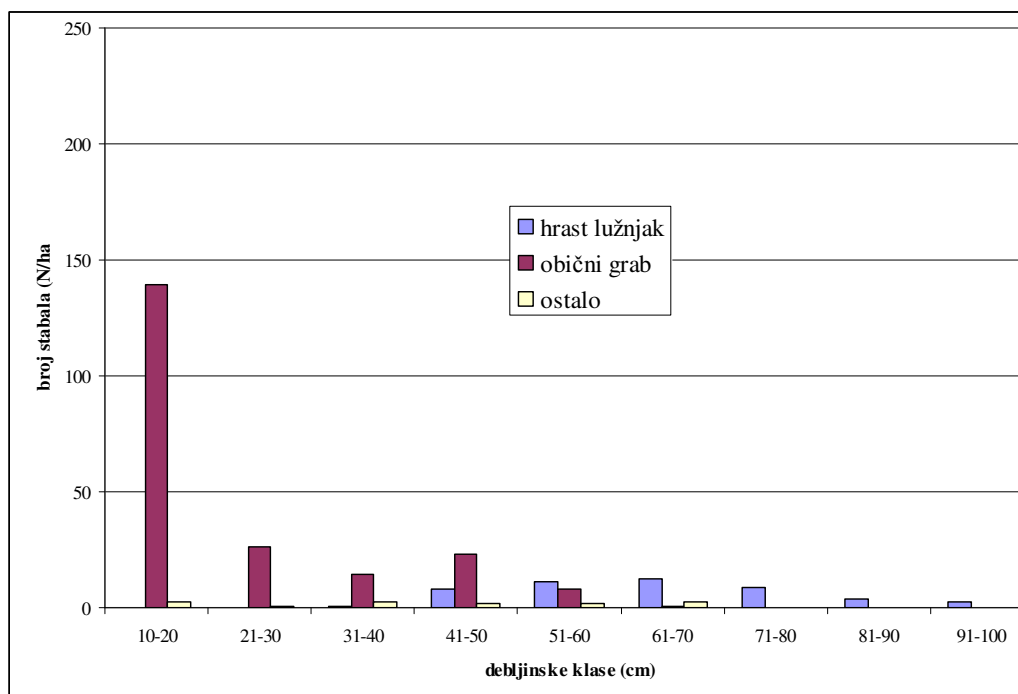
Slika 23. Broj stabala po hektaru na plohama 2000./2001. g. – 4. dobni razred



Slika 24. Broj stabala po hektaru na plohama 2000./2001. g. – 5. dobni razred



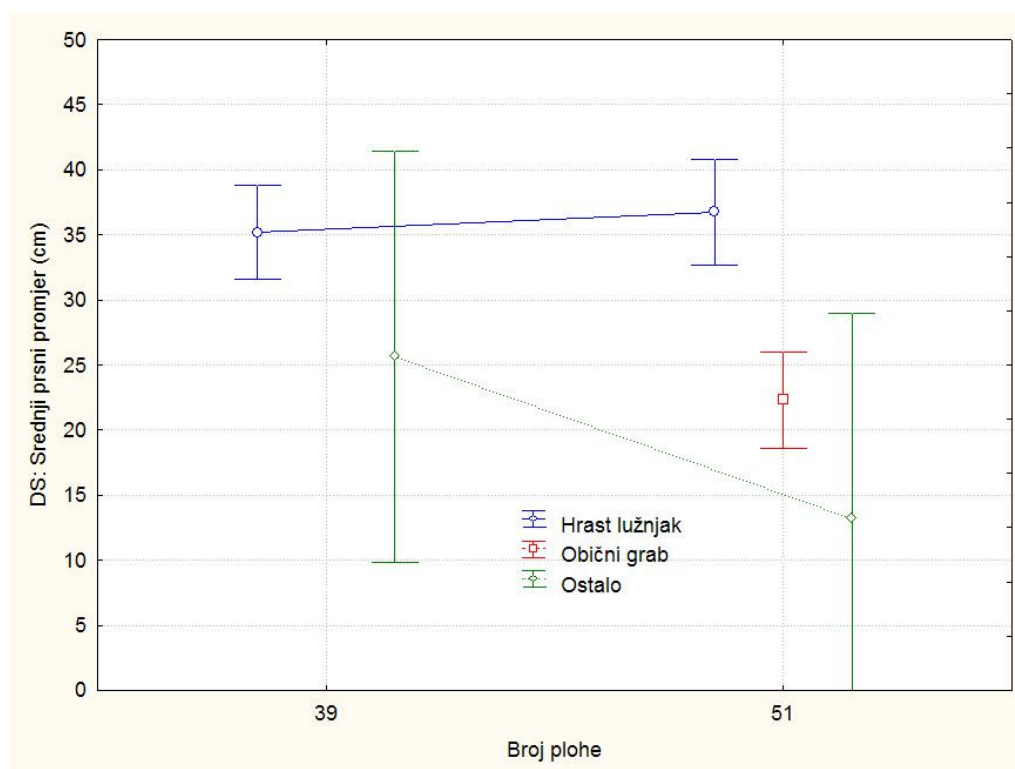
Slika 25. Broj stabala po hektaru na plohama 2000./2001. g. – 6. dobni razred



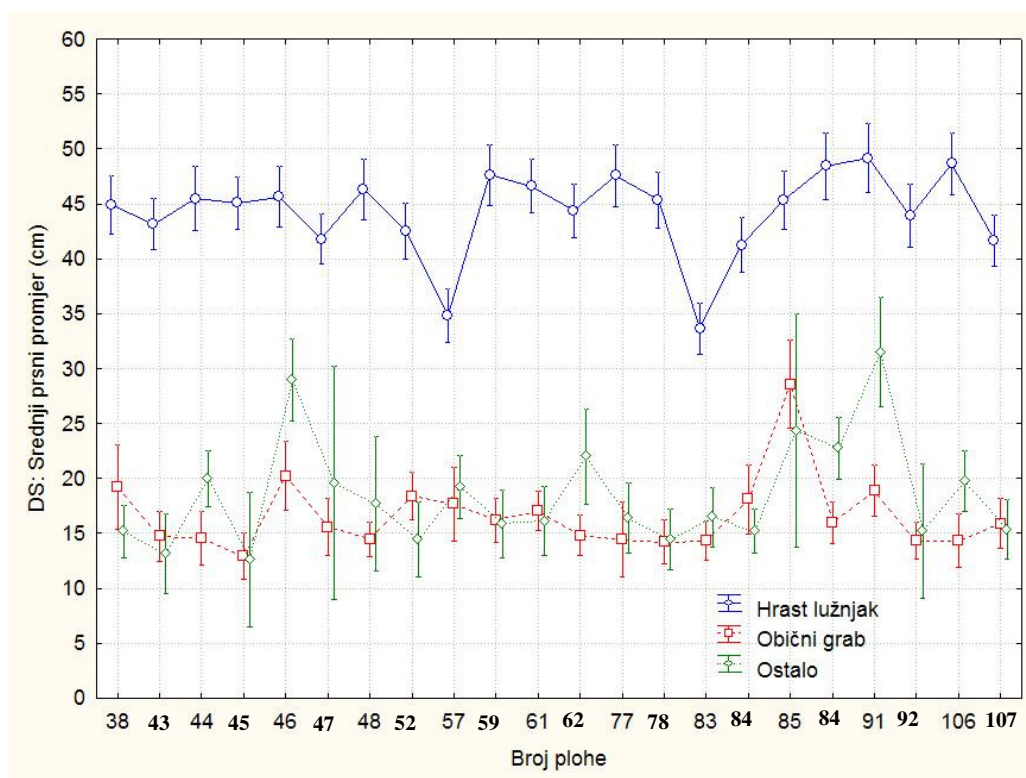
Slika 26 Broj stabala po hektaru na plohama 2000./2001. g. – 7. dobni razred

Iz Slika 23-26 vidljiva je izrazita diferenciranost u socijalnom statusu između hrasta lužnjaka i običnoga graba. Lužnjak u četiri promatrana dobna razreda ima tipičnu normalnu unimodalnu distribuciju karakterističnu za jednodobne sastojine. Grab, čija je uloga da u mješovitim sastojinama tvori podstojnu etažu, ima izrazito velik broj tankih stabala. Klen i brijest su nešto manje zastupljeni, ali im je uloga ista kao i grabu. Upravo ovakva struktura prsnih promjera daje za pravo pretpostavci da stabla graba nemaju značajan kompeticijski utjecaj na hrast lužnjak pa je u istraživanju dano težište na unutarvrstu konkurentnost lužnjakovih stabala.

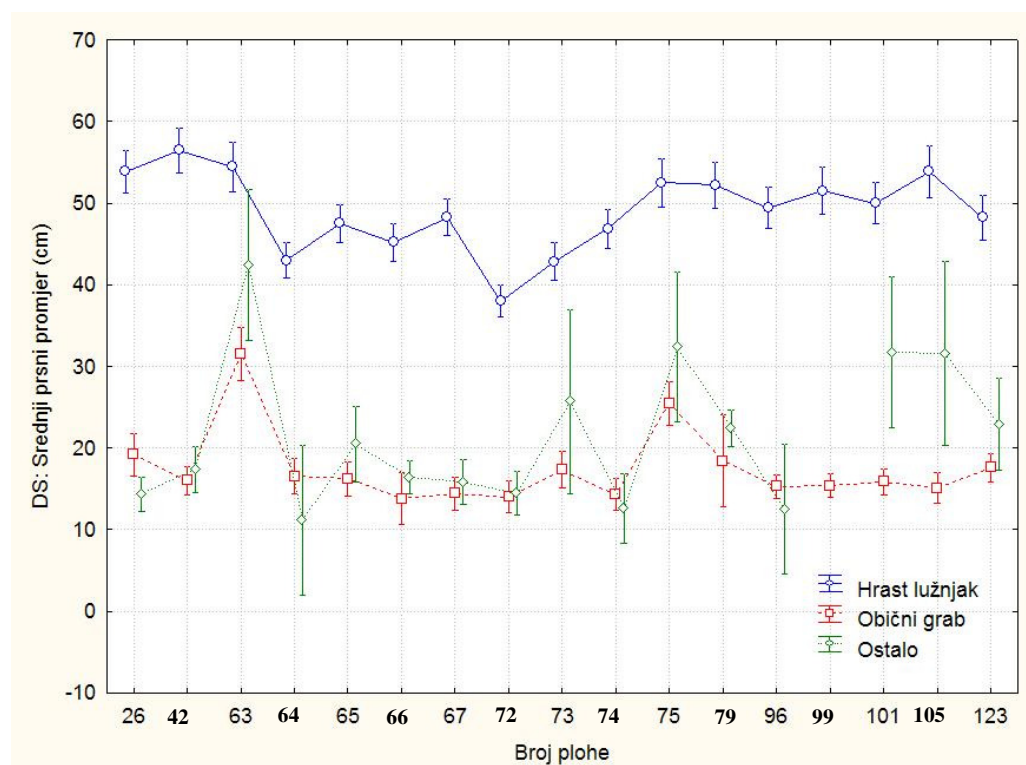
Na Slikama 27-30 prikazani su srednji prsni promjeri po ploham za tri kategorije vrsta drveća (hrast lužnjak, obični grab i ostalo), za dobne razrede širine 20 godina, uz označene granice 95%-tne pouzdanosti. Rezultati po dobnim razredima širine 10 godina prikazani su slikama 31-36.



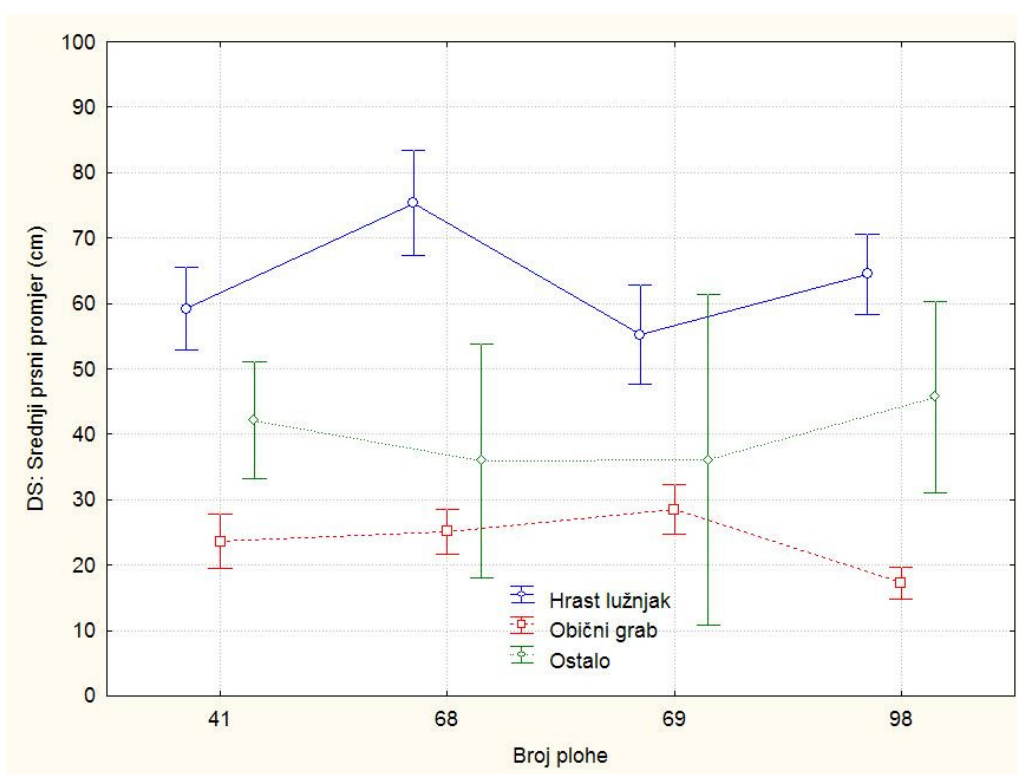
Slika 27. 4. dobni razred – srednji prsni promjer po vrstama drveća



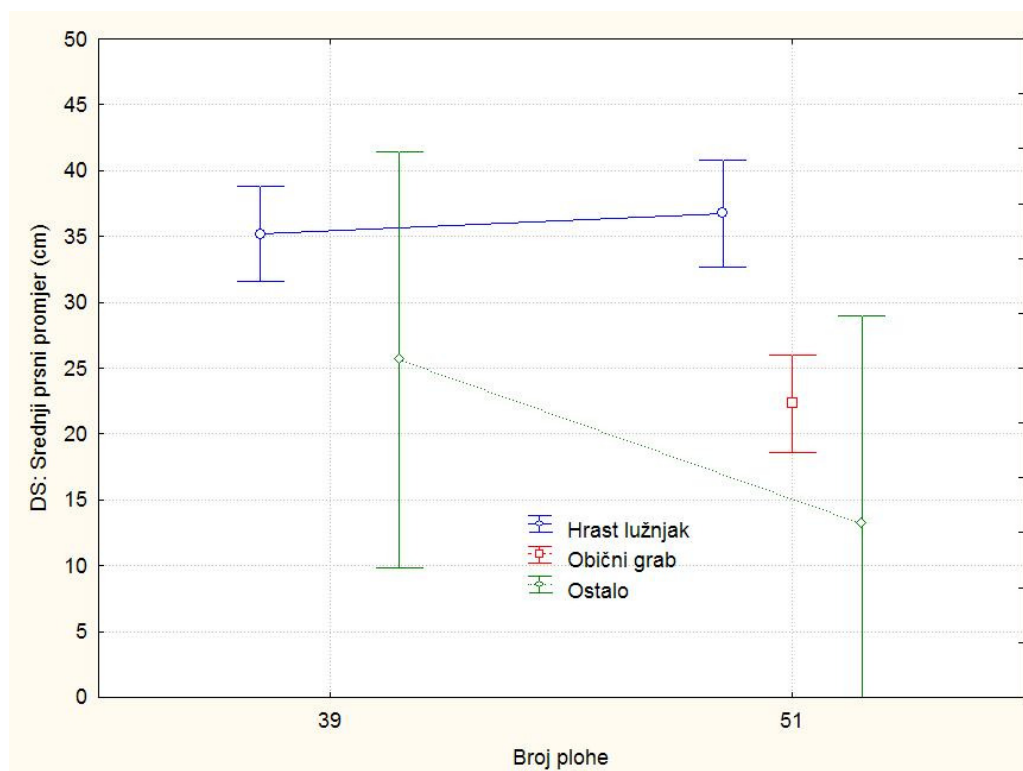
Slika 28. 5. dobni razred – srednji prsni promjer po vrstama drveća



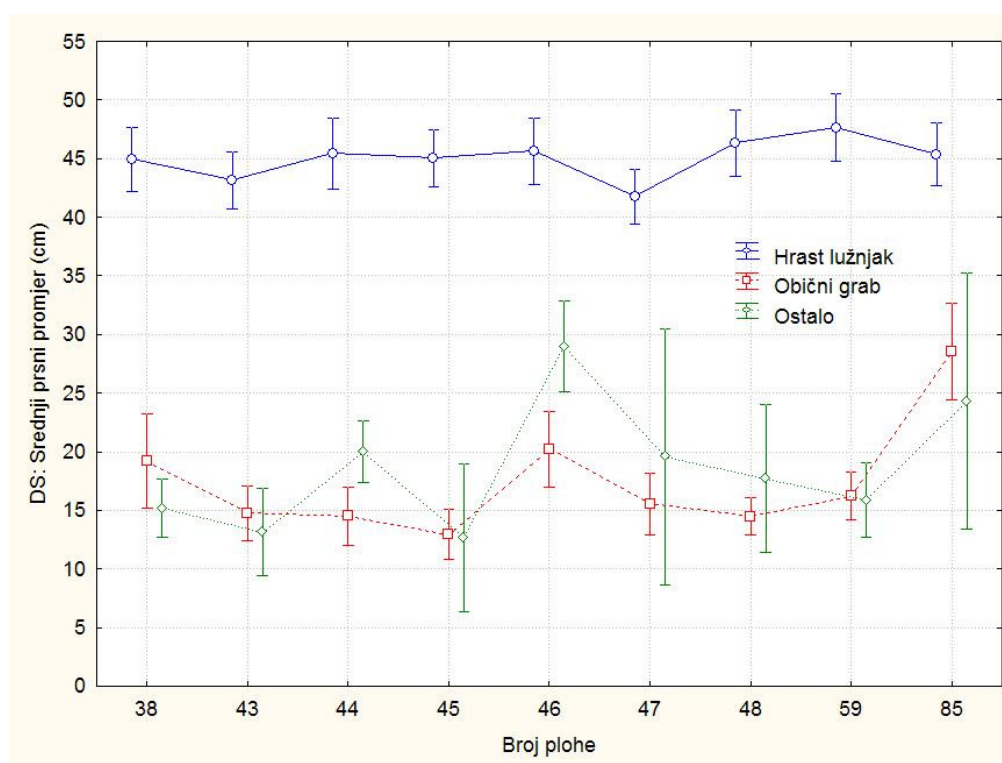
Slika 29. 6. dobni razred – srednji prsni promjer po vrstama drveća



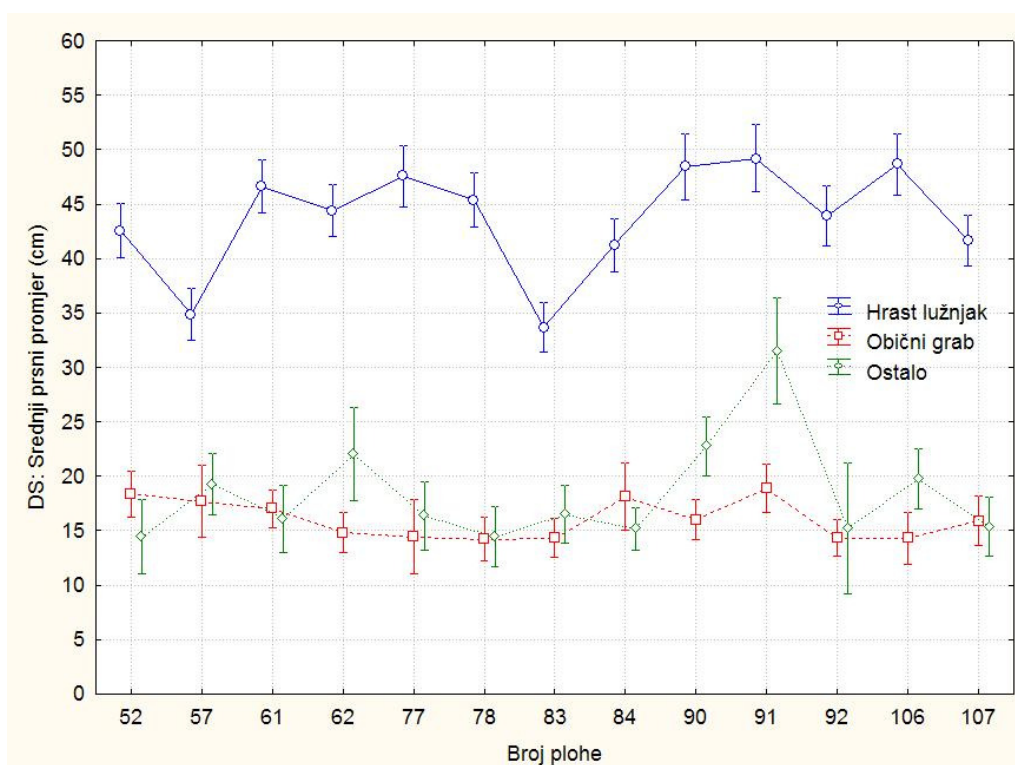
Slika 30. 7. dobni razred – srednji prsni promjer po vrstama drveća



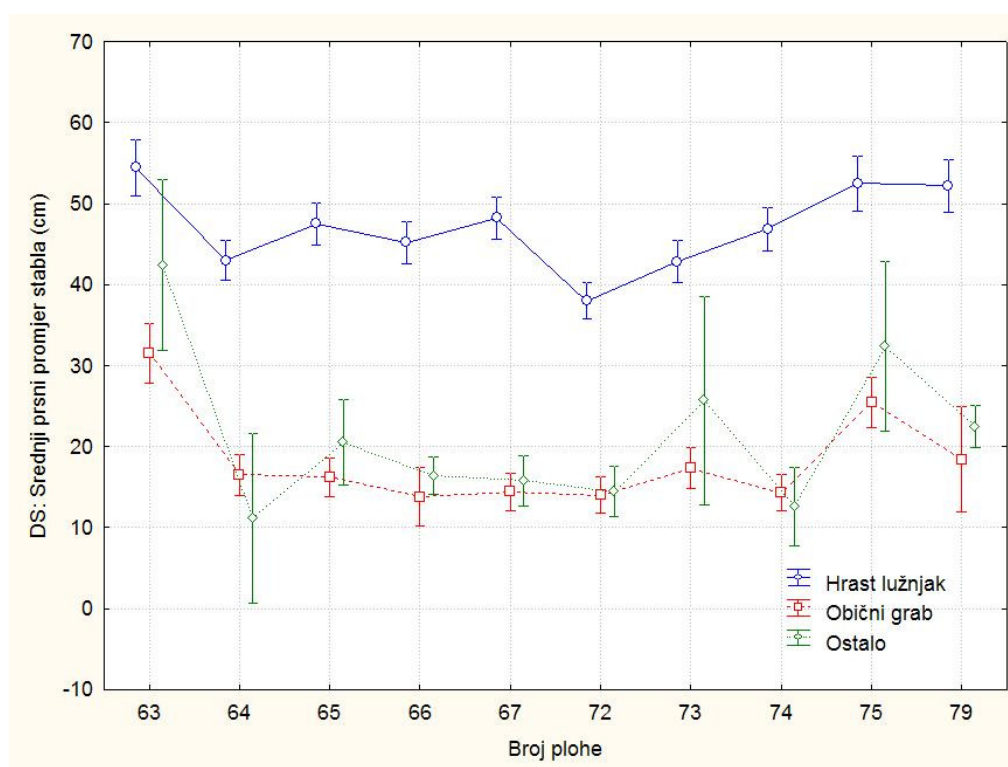
Slika 31. 4b dobni razred – srednji prsni promjer po vrstama drveća



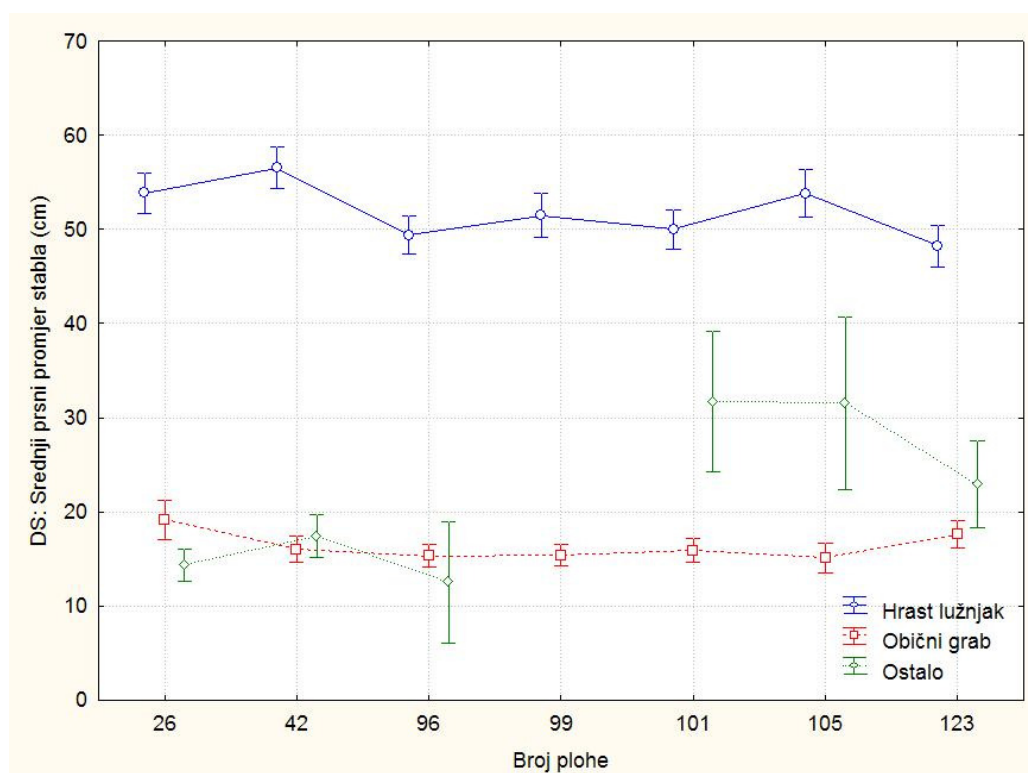
Slika 32. 5a dobni razred – srednji prsni promjer po vrstama drveća



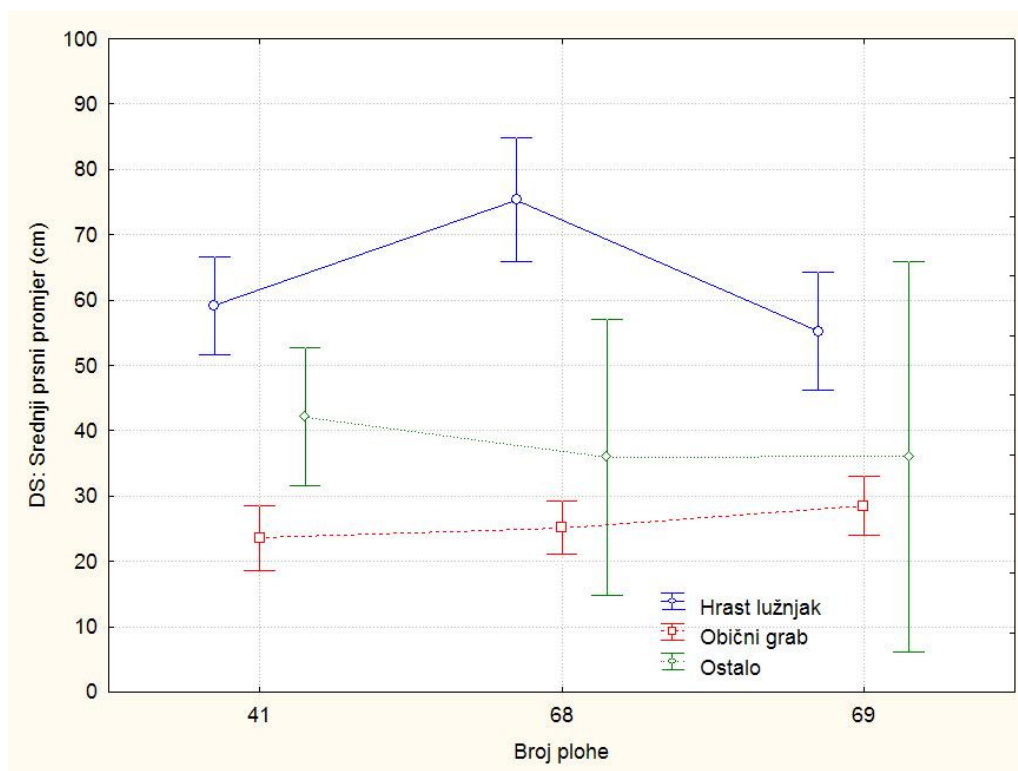
Slika 33. 5b dobni razred – srednji prsni promjer po vrstama drveća



Slika 34. 6a dobni razred – srednji prsni promjer po vrstama drveća



Slika 35. 6b dobni razred – srednji prsni promjer po vrstama drveća



Slika 36. 7b dobni razred – srednji prsni promjer po vrstama drveća

3.3. Visina stabala

Svim stablima su 2000.g. izmjerene ukupne visine i visine do prve žive grane. Najviša izmjerena visina je iznosila 38 m, koliko je imalo lužnjakovo stablo na plohi 98. Njegov je prsni promjer iznosio 89,4 cm. Najduže deblo bez grana bilo je 26 m.

Tabela 19. Deskriptivna statistika mjerenih visina 2000./2001.g. po dobnim razredima širine 20 godina

Dobni razred	Vrsta drveća	n	Aritmet. sredina $\bar{x}$ (m)	Raspon (m)		STDEV (m)	CV (%)
				min	max		
4 (61 – 80)	Hrast lužnjak	34	28,56	22,00	33,25	2,81	9,8
	Obični grab	18	19,11	6,50	26,25	5,18	27,1
	Ostalo	2	20,63	14,50	26,75	8,66	42,0
	Ukupno	54	25,12	6,50	33,25	5,96	23,7
5 (81 – 100)	Hrast lužnjak	737	29,94	18,25	37,50	3,26	10,9
	Obični grab	1004	18,09	4,50	29,00	3,22	17,8
	Ostalo	470	18,26	5,25	35,00	4,37	23,9
	Ukupno	2211	22,08	4,50	37,50	6,58	29,8
6 (101 – 120)	Hrast lužnjak	689	30,51	10,50	37,00	3,00	9,8
	Obični grab	1077	18,12	6,50	29,50	3,30	18,2
	Ostalo	329	17,89	7,00	34,75	4,83	27,0
	Ukupno	2095	22,17	6,50	37,00	6,82	30,8
7 (121 – 140)	Hrast lužnjak	54	31,05	25,50	38,00	3,34	10,8
	Obični grab	240	20,11	7,25	33,50	5,26	26,2
	Ostalo	14	25,34	15,00	33,50	6,21	24,5
	Ukupno	308	22,26	7,25	38,00	6,54	29,4

Prosječna izmjerena visina hrasta lužnjaka po dobnim razredima je očekivano sve veća i kreće se od 28,56 m u 4. dobnom razredu do 31,05 m u 7. dobnom razredu (Tabela 19). S obzirom na relativno velik raspon starosti, prosječne visine su u rasponu os svega 2,5 m što govori o tome kako je visinski prirast u starostima iznad 4. dobnog razreda relativno nizak, naročito ako se u obzir uzme i pomak srednjeg promjera. Pojednostavljeno gledano, ako pretpostavimo da se prosječna visina odnosi na sredinu dobnog razreda, tada je visinski prirast srednjih stabala između 70. i 90. godine 1,38 m, između 90. i 110. godine 0,57 m, a između 110. i 130. godine svega 0,54 m. Stabla običnoga graba nemaju izraženo povećanje visine s porastom starosti, a koeficijenti varijacije su usprkos većem broju mjerenih stabala znatno viši nego kod hrasta lužnjaka.

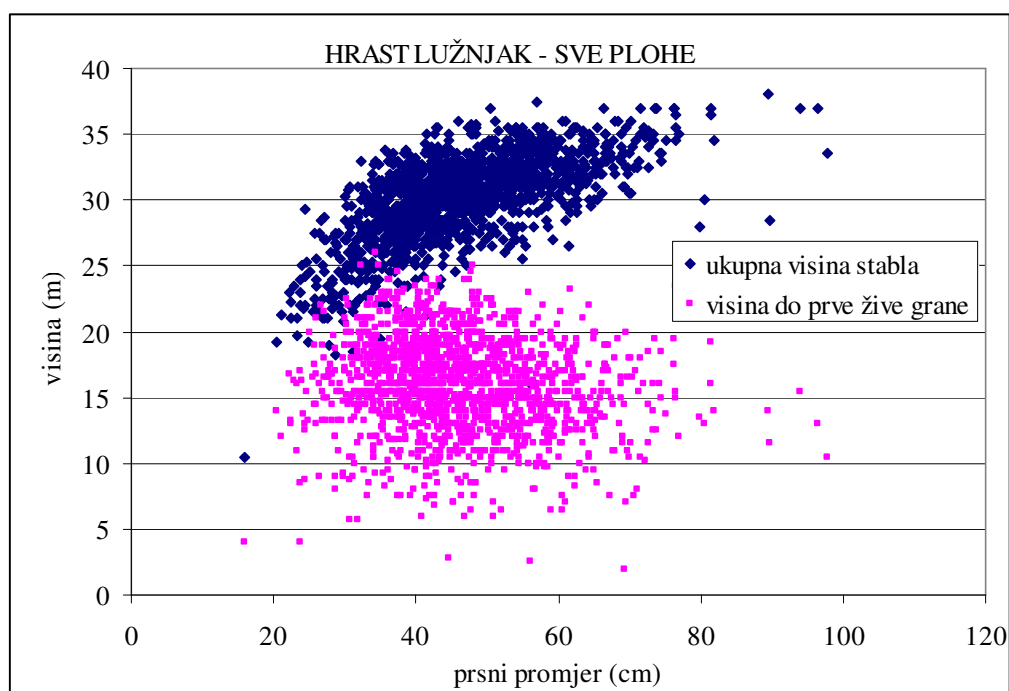
Tabela 20. Deskriptivna statistika mjerenih visina po dobnim razredima širine 10 godina

Dobni razred	Vrsta drveća	n	Aritmet. sredina $\bar{x}$ (m)	Raspon (m)		STDEV (m)	CV (%)
				min	max		
4b	Hrast lužnjak	34	28,56	22,00	33,25	2,81	9,8
	Obični grab	18	19,11	6,50	26,25	5,18	27,1
	Ostalo	2	20,63	14,50	26,75	8,66	42,0
	Ukupno	54	25,12	6,50	33,25	5,96	23,7
5a	Hrast lužnjak	304	31,34	18,50	37,50	2,44	7,8
	Obični grab	367	18,37	9,00	29,00	3,38	18,4
	Ostalo	147	18,26	7,50	35,00	5,19	28,4
	Ukupno	818	23,20	7,50	37,50	7,19	31,0
5b	Hrast lužnjak	433	28,95	18,25	35,50	3,41	11,8
	Obični grab	637	17,93	4,50	29,00	3,11	17,3
	Ostalo	323	18,26	5,25	33,00	3,96	21,7
	Ukupno	1393	21,43	4,50	35,50	6,09	28,4
6a	Hrast lužnjak	447	29,95	10,50	36,50	3,00	10,0
	Obični grab	445	17,61	6,50	29,50	3,75	21,3
	Ostalo	219	17,74	7,50	34,75	5,45	30,7
	Ukupno	1111	22,63	6,50	36,50	7,18	31,7
6b	Hrast lužnjak	242	31,53	16,00	37,00	2,73	8,7
	Obični grab	632	18,48	6,75	26,75	2,90	15,7
	Ostalo	110	18,18	7,00	28,00	3,27	18,0
	Ukupno	984	21,66	6,75	37,00	6,35	29,3
7a	Hrast lužnjak	17	32,71	25,50	38,00	3,49	10,7
	Obični grab	106	19,18	9,00	30,25	3,52	18,4
	Ostalo	3	29,83	23,00	33,50	5,92	19,8
	Ukupno	126	21,26	9,00	38,00	5,98	28,1
7b	Hrast lužnjak	37	30,28	26,00	37,00	3,03	10,0
	Obični grab	134	20,84	7,25	33,50	6,22	29,8
	Ostalo	11	24,11	15,00	31,50	5,95	24,7
	Ukupno	182	22,96	7,25	37,00	6,82	29,7

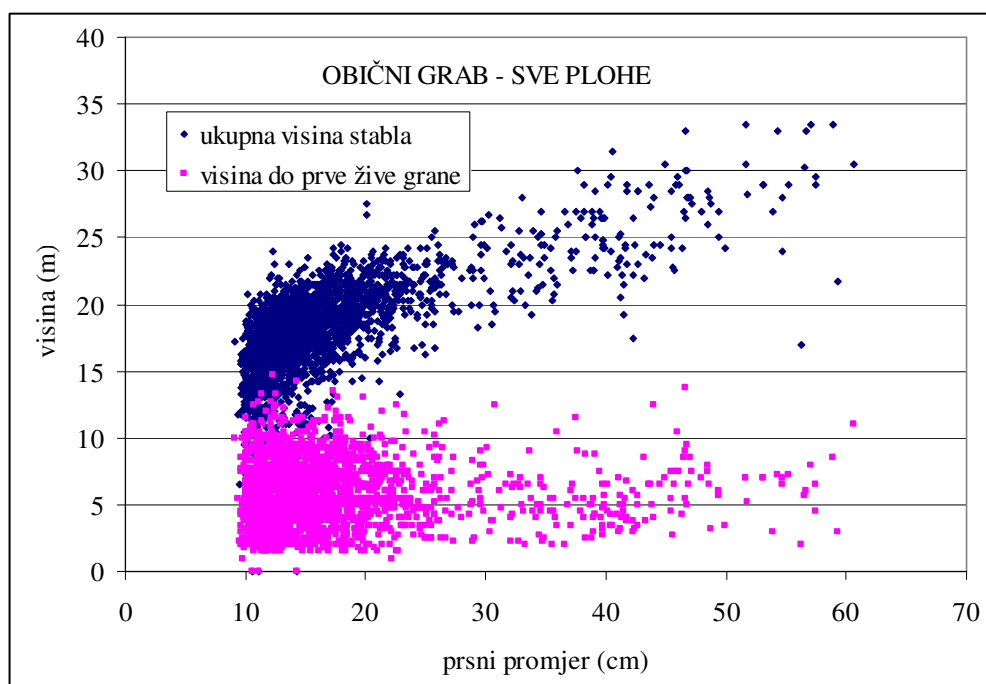
Uz dobne razrede širine 10 godina prosječne visine hrasta lužnjaka s porastom starosti imaju trend povećanja, premda ima i malih odstupanja (Tabela 20). Tako su u 5a dobnom razredu stabla lužnjaka za 2,39 m viša od onih u 5b dobnom razredu. Mogući su razlozi za to nešto kvalitetnije stanište, a time i bonitet na tim plohama, ali treba biti oprezan i s podatkom o starosti sastojine/plohe. Te se anomalije ne mogu uočiti na širinama dobnog razreda od 20 godina.

Sve izmjerene visine grafički su prikazane na Slikama 37 i 38. Kod ukupne visine hrasta lužnjaka i običnoga graba vidljiva je jasna ovisnost o prsnom promjeru, dok kod visine do prve žive grane podaci za lužnjak tvore oblak. Ovdje su prikazane sve mjerene visine bez obzira na dobni i bonitetni razred.

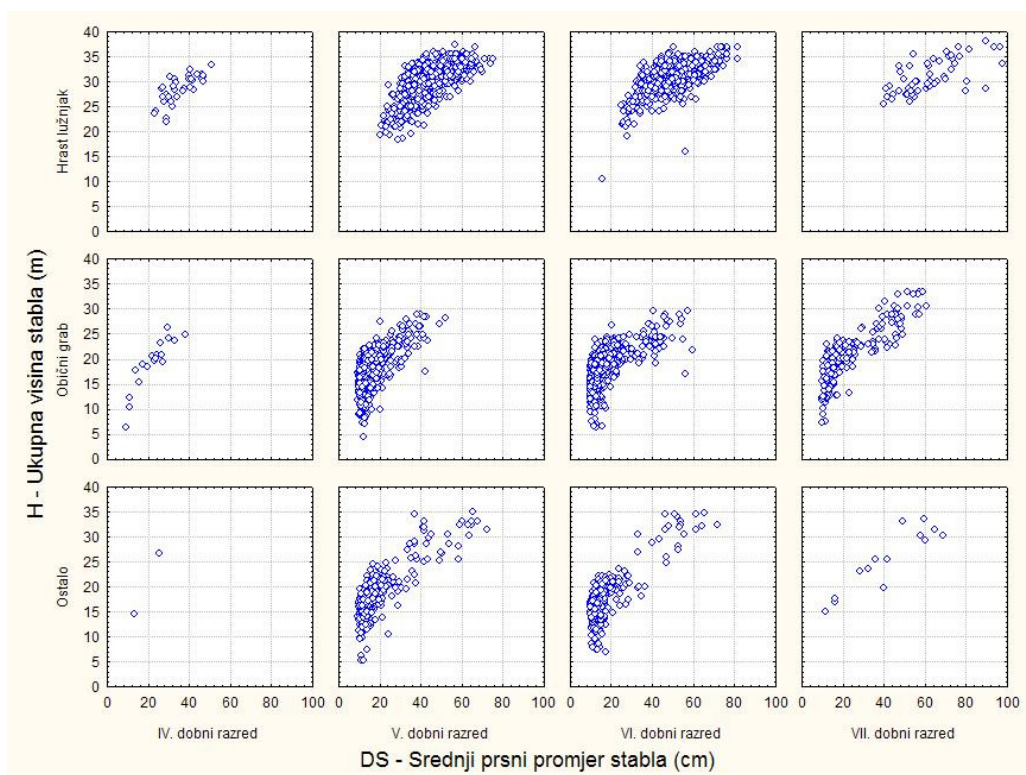
Na Slikama 39 i 40 prikazane su visine odnosno visine do prve žive grane po vrstama i dobnim razredima.



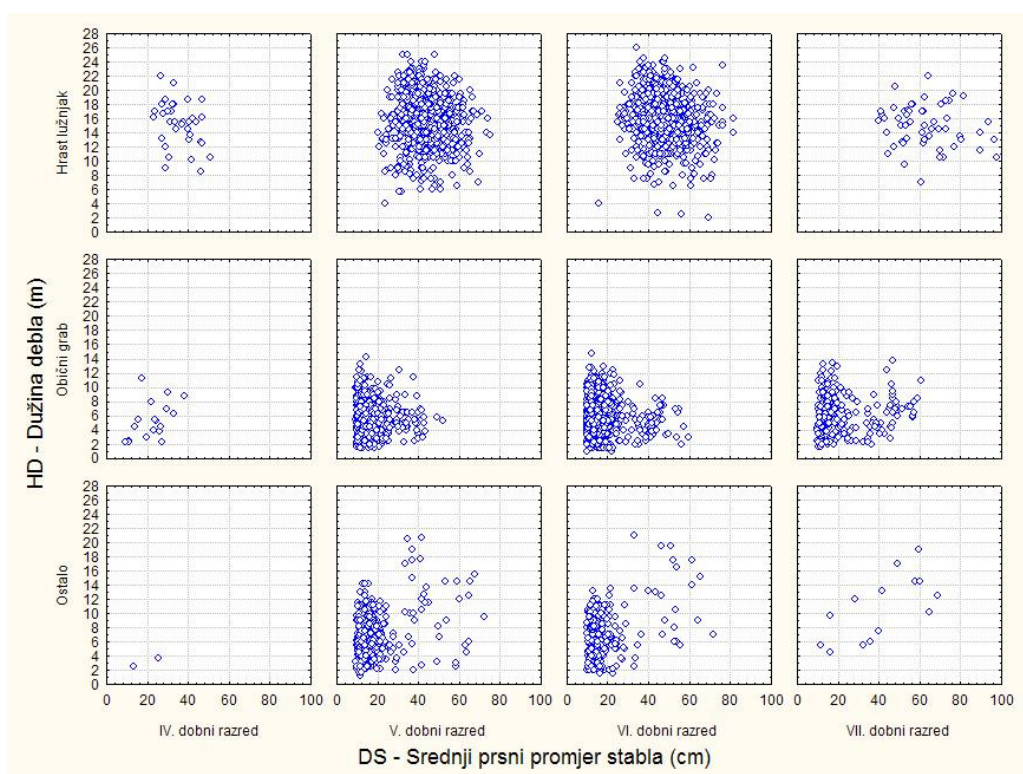
Slika 37. Visine hrasta lužnjaka izmjerene 2000./2001.g.



Slika 38. Izmjerene visine običnoga graba



Slika 39. Izmjerene visine po dobnim razredima i vrstama drveća



Slika 40. Izmjerene dužine debla po dobnim razredima i vrstama drveća

Tabela 21. Deskriptivna statistika mjerenih visina do prve žive grane po dobnim razredima širine 20 godina

Dobni razred	Vrsta drveća	n	Aritmet. sredina $\bar{x}$ (m)	Raspon		STDEV (m)	CV (%)
				min	max		
4 (61 – 80)	Hrast lužnjak	34	15,21	8,50	22,00	3,23	21,2
	Obični grab	18	5,32	2,25	11,25	2,66	50,0
	Ostalo	2	3,13	2,50	3,75	0,88	28,1
	Ukupno	54	11,47	2,25	22,00	5,77	50,3
5 (81 – 100)	Hrast lužnjak	737	15,86	4,00	25,00	3,66	23,1
	Obični grab	1004	5,66	1,50	14,25	2,18	38,5
	Ostalo	470	7,19	1,25	20,75	2,94	40,9
	Ukupno	2211	9,39	1,25	25,00	5,46	58,1
6 (101-120)	Hrast lužnjak	689	16,17	2,00	26,00	3,64	22,5
	Obični grab	1077	5,80	1,00	14,75	2,41	41,6
	Ostalo	329	6,82	1,50	21,00	3,19	46,8
	Ukupno	2095	9,38	1,00	26,00	5,64	60,1
7 (121-140)	Hrast lužnjak	54	14,96	7,00	22,00	3,01	20,1
	Obični grab	240	6,17	1,75	13,75	2,70	43,8
	Ostalo	14	10,84	4,50	19,00	4,60	42,4
	Ukupno	308	7,92	1,75	22,00	4,43	55,9

Prosječne visine do prve žive grane hrasta lužnjaka po dvadesetogodišnjim dobnim razredima pokazuju trend blagog porasta od 15,21 m do 16,17 m, dok u 7. dobnom razredu

padnu na 14,96 m (Tabela 21). Te su razlike među dobnim razredima toliko male da se može reći kako je dužina debla, odnosno čistoća od grana kod lužnjaka postignuta već u 4. dobnom razredu i kasnije se mijenja vrlo malo.

Ako se podaci promatraju grupirani u desetgodišnje dobne razrede (Tabela 22), ne vidi se jasan trend kretanja dužine debla hrasta lužnjaka. Vrijednosti po dobnim razredima variraju od 14,51 m do 16,57 m.

Tabela 22. Deskriptivna statistika mjerenih visina do prve žive grane (dužina debla) po dobnim razredima širine 10 godina

Dobni razred	Vrsta drveća	n	Aritmet. sredina $\bar{x}$ (m)	Raspon		STDEV (m)	CV (%)
				min	max		
4b	Hrast lužnjak	34	15,21	8,50	22,00	3,23	21,2
	Obični grab	18	5,32	2,25	11,25	2,66	50,0
	Ostalo	2	3,13	2,50	3,75	,88	28,1
	Ukupno	54	11,47	2,25	22,00	5,77	50,3
5a	Hrast lužnjak	304	16,57	6,00	25,00	3,74	22,6
	Obični grab	367	5,88	1,50	14,25	2,41	41,0
	Ostalo	147	7,09	1,25	20,75	3,54	49,9
	Ukupno	818	10,09	1,25	25,00	5,94	58,9
5b	Hrast lužnjak	433	15,37	4,00	25,00	3,52	22,9
	Obični grab	637	5,52	1,50	12,50	2,02	36,6
	Ostalo	323	7,24	1,75	20,50	2,64	36,5
	Ukupno	1393	8,98	1,50	25,00	5,11	56,9
6a	Hrast lužnjak	447	16,12	2,00	24,50	3,73	23,1
	Obični grab	445	4,57	1,00	10,50	1,87	40,9
	Ostalo	219	6,70	2,00	21,00	3,46	51,6
	Ukupno	1111	9,66	1,00	24,50	6,19	64,1
6b	Hrast lužnjak	242	16,26	2,50	26,00	3,49	21,5
	Obični grab	632	6,66	1,50	14,75	2,36	35,4
	Ostalo	110	7,05	1,50	12,50	2,60	36,9
	Ukupno	984	9,07	1,50	26,00	4,92	54,2
7a	Hrast lužnjak	17	15,94	10,50	20,50	2,84	17,8
	Obični grab	106	6,87	1,75	13,50	2,94	42,8
	Ostalo	3	16,00	12,00	19,00	3,61	22,6
	Ukupno	126	8,31	1,75	20,50	4,43	53,3
7b	Hrast lužnjak	37	14,51	7,00	22,00	3,01	20,7
	Obični grab	134	5,62	1,75	13,75	2,36	42,0
	Ostalo	11	9,43	4,50	14,50	3,83	40,6
	Ukupno	182	7,65	1,75	22,00	4,42	57,8

3.4. Širine krošanja

Tabela 23. Deskriptivna statistika srednjih širina krošanja po dobnim razredima širine 20 godina

Dobni razred	Vrsta drveća	n	Aritmet. sredina $\bar{x}$ (m)	Raspon		STDEV (m)	CV (%)
				min	max		
4 (61 – 80)	Hrast lužnjak	34	5,80	2,45	9,60	1,77	30,5
	Obični grab	18	8,34	4,10	10,70	1,74	20,9
	Ostalo	2	5,40	4,45	6,35	1,34	24,8
	Ukupno	54	6,63	2,45	10,70	2,11	31,8
5 (81 – 100)	Hrast lužnjak	737	7,38	1,65	19,10	2,52	34,1
	Obični grab	1004	6,49	,00	14,65	1,95	30,0
	Ostalo	470	5,82	2,30	13,15	1,90	32,6
	Ukupno	2211	6,65	,00	19,10	2,22	33,4
6 (101-120)	Hrast lužnjak	689	7,88	1,55	17,75	2,94	37,3
	Obični grab	1077	7,03	2,05	19,75	2,30	32,7
	Ostalo	329	5,63	1,55	17,25	1,91	33,9
	Ukupno	2095	7,09	1,55	19,75	2,59	36,5
7 (121-140)	Hrast lužnjak	54	12,13	4,85	23,45	4,10	33,8
	Obični grab	240	8,61	3,70	18,15	2,85	33,1
	Ostalo	14	9,22	4,40	13,70	2,87	31,1
	Ukupno	308	9,25	3,70	23,45	3,37	36,4

Širina krošnje po dvadesetogodišnjim dobnim razredima kod hrasta lužnjaka ima trend povećanja i kreće se od 5,80 m u 4. do 12,13 m u 7. dobnom razredu (Tabela 23). Koeficijenti varijacije su 30,5 – 37,3% i viši su nego kod običnoga graba (20,9-33,1). Za razliku od visina i dužina debla, ova se varijabla značajnije mijenja u promatranim starostima. Stabla još uvijek povećavaju volumen svoje krošnje tako što širenjem krošnje popunjavaju prostore nastale sječom.

I kod desetogodišnjih dobnih razreda trend povećanja je vidljiv (Tabela 24). Izuzetak je 6a dobní razred koji ima za 0,69 m manji promjer krošanja hrasta lužnjaka nego u 5b dobnom razredu.

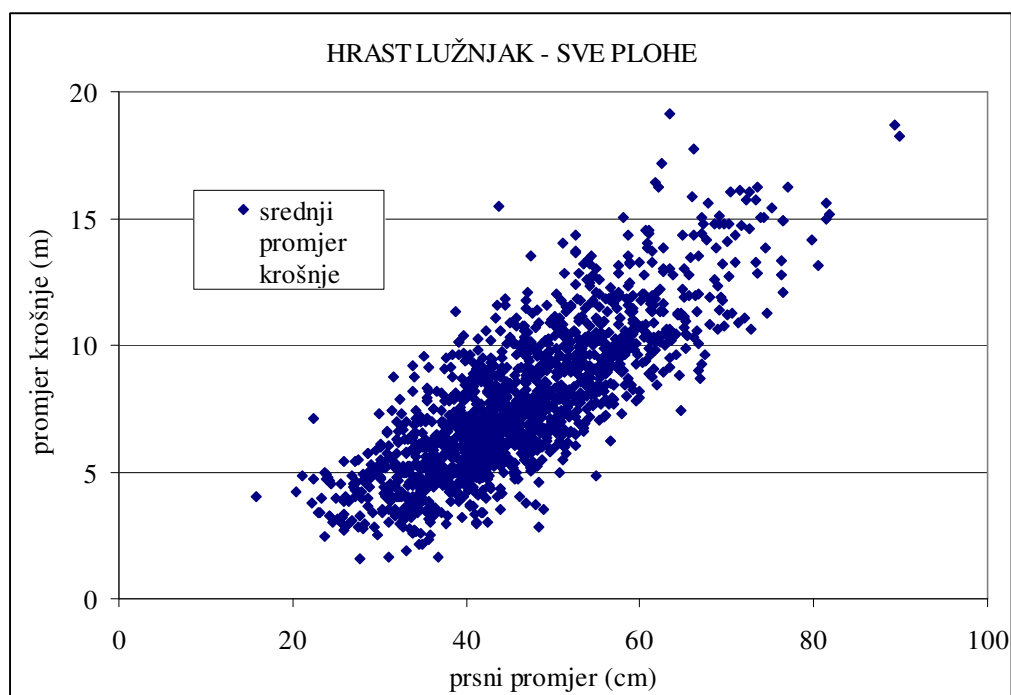
Tabela 24. Deskriptivna statistika srednjih širina krošanja po dobnim razredima širine 10 godina

Dobni razred	Vrsta drveća	n	Aritmet. sredina $\bar{x}$ (m)	Raspon		STDEV (m)	CV (%)
				min	max		
4b	Hrast lužnjak	34	5,80	2,45	9,60	1,77	30,5
	Obični grab	18	8,34	4,10	10,70	1,74	20,9
	Ostalo	2	5,40	4,45	6,35	1,34	24,8
	Ukupno	54	6,63	2,45	10,70	2,11	31,8
5a	Hrast lužnjak	304	7,08	1,65	19,10	2,48	35,0
	Obični grab	367	6,28	2,30	14,65	2,13	33,9
	Ostalo	147	5,86	2,45	12,25	1,71	29,2
	Ukupno	818	6,50	1,65	19,10	2,25	34,6

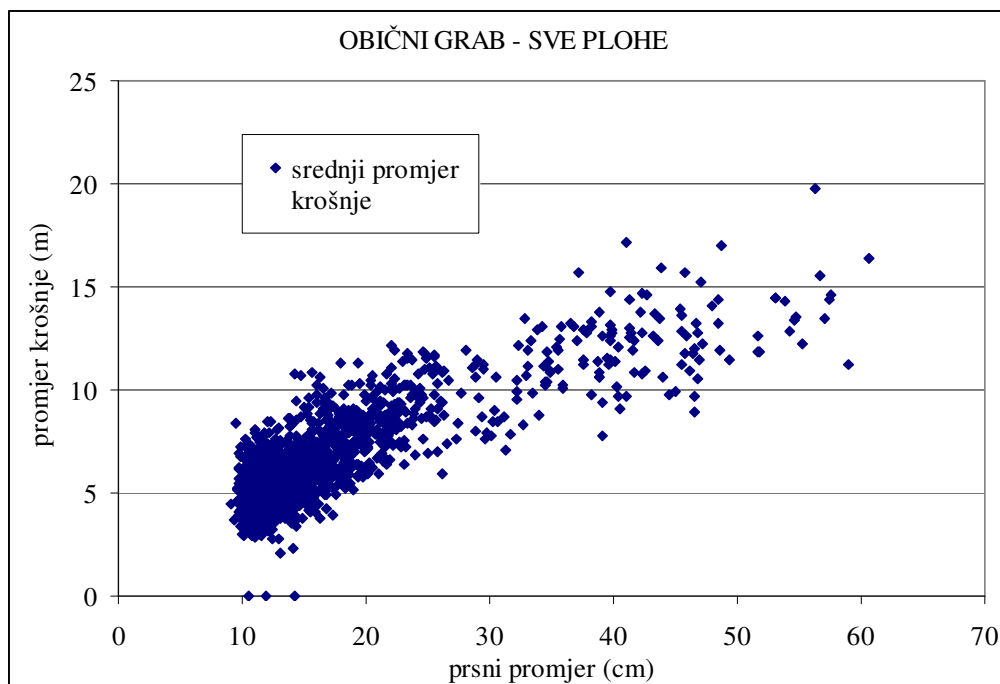
Tabela 24. - nastavak

Dobni razred	Vrsta drveća	n	Aritmet. sredina $\bar{x}$ (m)	Raspon		STDEV (m)	CV (%)
				min	max		
5b	Hrast lužnjak	433	7,59	1,90	16,40	2,52	33,2
	Obični grab	637	6,62	,00	13,45	1,82	27,5
	Ostalo	323	5,80	2,30	13,15	1,97	34,0
	Ukupno	1393	6,73	,00	16,40	2,20	32,7
6a	Hrast lužnjak	447	6,90	1,55	15,85	2,57	37,2
	Obični grab	445	6,80	2,05	19,75	2,72	40,0
	Ostalo	219	5,45	1,85	13,55	1,75	32,1
	Ukupno	1111	6,58	1,55	19,75	2,56	38,9
6b	Hrast lužnjak	242	9,69	2,60	17,75	2,70	27,9
	Obični grab	632	7,19	3,15	17,70	1,95	27,1
	Ostalo	110	5,97	1,55	17,25	2,17	36,3
	Ukupno	984	7,67	1,55	17,75	2,50	32,6
7a	Hrast lužnjak	17	13,53	5,60	22,85	4,55	33,6
	Obični grab	106	8,70	4,70	18,15	2,28	26,2
	Ostalo	3	10,80	7,50	13,70	3,12	28,9
	Ukupno	126	9,41	4,70	22,85	3,15	33,5
7b	Hrast lužnjak	37	11,49	4,85	23,45	3,77	32,8
	Obični grab	134	8,53	3,70	16,35	3,24	38,0
	Ostalo	11	8,79	4,40	13,70	2,80	31,9
	Ukupno	182	9,14	3,70	23,45	3,52	38,5

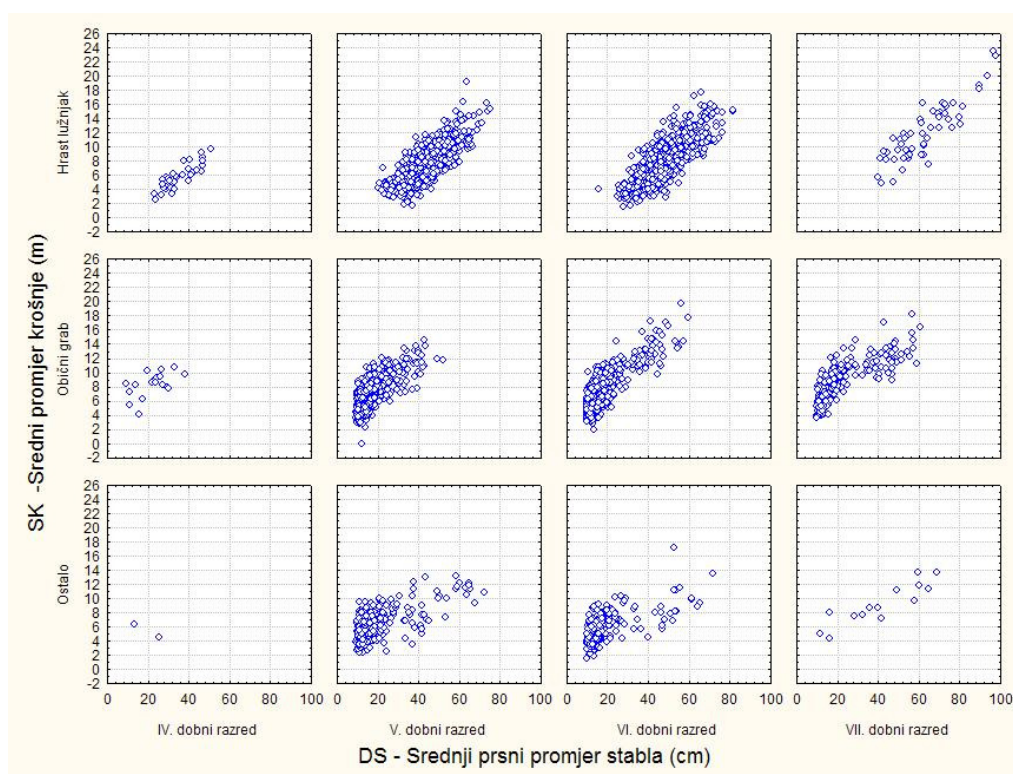
Na Slikama 41-43 prikazani su srednji promjeri krošanja po vrstama i dobnim razredima.



Slika 41. Srednji promjer krošnje svih mjerenih stabala hrasta lužnjaka



Slika 42. Srednji promjer krošnje svih mjerenih stabala običnoga graba



Slika 43. Srednji promjer krošnje po dobnim razredima i vrstama drveća

3.5. *N*, *G*, *V* po plohama i dobnim razredima

Osnovni elementi strukture plohe/sastojine (*N*- broj stabala, *G* – temeljnica i *V* – volumen), prikazani su po dobnim razredima širine 20 godina (Tabela 25), odnosno 10 godina (Tabela 26), s temeljnim statističkim veličinama koje ih opisuju. Varijable *NU* – ukupni broj stabala na plohi (po ha), *GU* – ukupna temeljnica na plohi (po ha) i *VU* – ukupni volumen na plohi (po ha) prikazane su u apsolutnim, a sve ostale varijable u relativnim iznosima, kao postotni udio. Ti postoci dobiveni su kao srednja vrijednost varijable po plohama određenog dobnog razreda.

Najveću pravilnost pokazuje postotni udio lužnjaka odnosno graba u broju stabala na plohi koji se smanjuje odnosno povećava sa starošću. Najniži koeficijenti varijacije su kod ukupne temeljnice na plohi što potvrđuje temeljnicu kao postojan strukturni element.

Tabela 25. Deskriptivna statistika *N*, *G* i *V* te omjera smjese 2000./2001.g. po plohama i dobnim razredima širine 20 godina

Varijabla	Dobni razred	Broj ploha	Aritmet. sredina $\bar{x}$	Raspon		STDEV	CV (%)
				min	max		
<i>NU</i> - Ukupan broj stabala na plohi (N/ha)	61 – 80	2	381,95	282,90	481,00	140,08	36,7
	81 - 100	22	511,84	249,55	728,29	116,97	22,9
	101 – 120	17	435,86	190,99	587,11	116,83	26,8
	121 - 140	4	272,34	198,06	445,64	116,45	42,8
	Ukupno	45	456,08	190,99	728,29	133,77	29,3
<i>GU</i> - Ukupna temeljnica na plohi (m ² /ha)	61 – 80	2	31,44	27,81	35,07	5,13	16,3
	81 - 100	22	35,61	27,67	45,52	3,84	10,8
	101 – 120	17	35,10	27,67	40,64	3,53	10,1
	121 - 140	4	28,66	22,78	32,94	4,26	14,9
	Ukupno	45	34,62	22,78	45,52	4,20	12,1
<i>VU</i> - Ukupni volumen na plohi (m ³ /ha)	61 – 80	2	456,60	423,60	489,60	46,67	10,2
	81 - 100	22	528,83	364,52	696,67	75,06	14,2
	101 – 120	17	543,75	439,95	635,55	57,53	10,6
	121 - 140	4	447,36	340,72	517,93	75,68	16,9
	Ukupno	45	524,02	340,72	696,67	72,35	13,8
<i>NL</i> - Postotni udio lužnjaka u broju stabala na plohi	61 – 80	2	69,56	44,12	95,00	35,98	51,7
	81 - 100	22	35,25	20,87	67,35	11,01	31,2
	101 – 120	17	34,49	18,63	50,00	9,71	28,2
	121 - 140	4	18,33	13,49	25,02	5,16	28,2
	Ukupno	45	35,10	13,49	95,00	14,74	42,0
<i>GL</i> - Postotni udio lužnjaka u temeljnici na plohi	61 – 80	2	82,45	67,49	97,40	21,15	25,7
	81 - 100	22	75,59	58,47	89,31	8,04	10,6
	101 – 120	17	77,28	68,20	85,96	5,56	7,2
	121 - 140	4	53,22	42,22	64,05	8,92	16,8
	Ukupno	45	74,60	42,22	97,40	10,40	13,9

Tabela 25. - nastavak

Varijabla	Dobni razred	Broj ploha	Aritmet. sredina $\bar{x}$	Raspon		STDEV	CV (%)
				min	max		
VL - Postotni udio lužnjaka u volumenu na plohi	61 – 80	2	86,48	75,26	97,70	15,87	18,4
	81 - 100	22	83,14	66,97	94,83	7,33	8,8
	101 – 120	17	84,71	75,58	92,44	5,21	6,2
	121 - 140	4	59,66	45,65	76,87	12,96	21,7
	Ukupno	45	81,85	45,65	97,70	10,21	12,5
NG - Postotni udio graba u broju stabala na plohi	61 – 80	2	26,47	0,00	52,94	37,44	141,4
	81 - 100	22	43,61	17,24	72,22	14,68	33,7
	101 – 120	17	50,24	8,79	81,37	19,45	38,7
	121 - 140	4	76,13	60,00	84,13	10,99	14,4
	Ukupno	45	48,24	0,00	84,13	19,62	40,7
GG - Postotni udio graba u temeljnici na plohi	61 – 80	2	15,97	0,00	31,94	22,58	141,4
	81 - 100	22	14,40	5,43	23,14	5,30	36,8
	101 – 120	17	16,64	2,09	28,90	7,80	46,9
	121 - 140	4	39,30	26,87	56,18	13,47	34,3
	Ukupno	45	17,53	0,00	56,18	10,39	59,3
VG - Postotni udio graba u volumenu na plohi	61 – 80	2	12,27	0,00	24,53	17,35	141,4
	81 - 100	22	9,21	2,89	16,28	3,72	40,4
	101 – 120	17	11,01	1,30	21,01	5,89	53,5
	121 - 140	4	33,24	18,60	52,89	15,49	46,6
	Ukupno	45	12,16	0,00	52,89	9,36	77,0
NO - Postotni udio ostalog u broju stabala na plohi	61 – 80	2	3,97	2,93	5,00	1,46	36,8
	81 - 100	22	21,14	2,50	49,14	12,96	61,3
	101 – 120	17	15,27	0,00	56,05	17,46	114,3
	121 - 140	4	5,54	1,77	14,99	6,32	114,1
	Ukupno	45	16,66	0,00	56,05	15,04	90,3
GO - Postotni udio ostalog u temeljnici na plohi	61 – 80	2	1,57	0,54	2,60	1,46	93,0
	81 - 100	22	10,03	0,89	26,60	7,29	72,7
	101 – 120	17	6,10	0,00	29,79	7,37	120,8
	121 - 140	4	7,52	1,58	20,30	8,71	115,8
	Ukupno	45	7,89	0,00	29,79	7,52	95,3
VO - Postotni udio ostalog u volumenu na plohi	61 – 80	2	1,26	0,22	2,30	1,47	116,7
	81 - 100	22	7,64	0,44	23,55	6,55	85,7
	101 – 120	17	4,27	0,00	23,12	5,56	130,2
	121 - 140	4	7,11	1,45	20,33	8,92	125,5
	Ukupno	45	5,99	0,00	23,55	6,43	107,3

Tabela 26. Deskriptivna statistika N, G i V te omjera smjese po ploham i dobnim razredima širine 10 godina

Varijabla	Dobni razred	Broj ploha	Aritmet. sredina $\bar{x}$	Raspon		STDEV	CV (%)
				min	max		
NU - Ukupan broj stabala na plohi (N/ha)	4b	2	381,95	282,90	481,00	140,08	36,7
	5a	9	462,89	249,55	641,71	116,07	25,1
	5b	13	545,73	351,41	728,29	109,19	20,0
	6a	10	392,94	190,99	583,58	121,17	30,8
	6b	7	497,18	343,07	587,11	83,17	16,7
	7a	1	445,64	445,64	445,64		
	7b	3	214,57	198,06	233,43	17,80	8,3
	Ukupno	45	456,08	190,99	728,29	133,77	29,3

Tabela 26. - nastavak

Varijabla	Dobni razred	Broj ploha	Aritmet. sredina $\bar{x}$	Raspon		STDEV	CV (%)
				min	max		
GU - Ukupna temeljnica na plohi (m ² /ha)	4b	2	31,44	27,81	35,07	5,13	16,3
	5a	9	35,78	33,55	37,73	1,45	4,1
	5b	13	35,49	27,67	45,52	4,94	13,9
	6a	10	34,97	31,61	39,08	2,90	8,3
	6b	7	35,29	27,67	40,64	4,53	12,8
	7a	1	32,94	32,94	32,94		
	7b	3	27,23	22,78	29,80	3,87	14,2
	Ukupno	45	34,62	22,78	45,52	4,20	12,1
VU - Ukupni volumen na plohi (m ³ /ha)	4b	2	456,60	423,60	489,60	46,67	10,2
	5a	9	551,79	509,73	589,24	33,21	6,0
	5b	13	512,94	364,52	696,67	91,95	17,9
	6a	10	540,94	482,34	635,55	51,28	9,5
	6b	7	547,76	439,95	623,69	69,64	12,7
	7a	1	517,93	517,93	517,93		
	7b	3	423,84	340,72	474,94	72,61	17,1
	Ukupno	45	524,02	340,72	696,67	72,35	13,8
NL - Postotni udio lužnjaka u broju stabala na plohi	4b	2	69,56	44,12	95,00	35,98	51,7
	5a	9	40,22	23,02	67,35	14,42	35,9
	5b	13	31,81	20,87	45,88	6,51	20,5
	6a	10	41,23	34,27	50,00	6,16	14,9
	6b	7	24,88	18,63	27,74	3,32	13,3
	7a	1	13,49	13,49	13,49		
	7b	3	19,94	15,17	25,02	4,94	24,8
	Ukupno	45	35,10	13,49	95,00	14,74	42,0
GL - Postotni udio lužnjaka u temeljnici na plohi	4b	2	82,45	67,49	97,40	21,15	25,7
	5a	9	78,77	62,65	89,31	8,73	11,1
	5b	13	73,38	58,47	84,36	7,03	9,6
	6a	10	78,56	68,20	85,96	6,39	8,1
	6b	7	75,45	69,54	80,20	3,82	5,1
	7a	1	64,05	64,05	64,05		
	7b	3	49,61	42,22	53,71	6,41	12,9
	Ukupno	45	74,60	42,22	97,40	10,40	13,9
VL - Postotni udio lužnjaka u volumenu na plohi	4b	2	86,48	75,26	97,70	15,87	18,4
	5a	9	85,46	69,95	94,83	7,88	9,2
	5b	13	81,54	66,97	89,76	6,76	8,3
	6a	10	84,78	75,58	92,44	6,45	7,6
	6b	7	84,61	79,27	88,49	3,15	3,7
	7a	1	76,87	76,87	76,87		
	7b	3	53,92	45,65	59,86	7,38	13,7
	Ukupno	45	81,85	45,65	97,70	10,21	12,5
NG - Postotni udio graba u broju stabala na plohi	4b	2	26,47	0,00	52,94	37,44	141,4
	5a	9	41,91	17,24	72,22	15,71	37,5
	5b	13	44,79	19,83	69,30	14,46	32,3
	6a	10	40,47	8,79	53,13	14,96	37,0
	6b	7	64,19	29,93	81,37	16,93	26,4
	7a	1	84,13	84,13	84,13		
	7b	3	73,46	60,00	81,82	11,77	16,0
	Ukupno	45	48,24	0,00	84,13	19,62	40,7

Tabela 26. - nastavak

Varijabla	Dobni razred	Broj ploha	Aritmet. sredina $\bar{x}$	Raspon		STDEV	CV (%)
GG - Postotni udio graba u temeljnici na plohi	4b	2	15,97	0,00	31,94	22,58	141,4
	5a	9	13,30	7,71	23,14	4,76	35,8
	5b	13	15,17	5,43	22,16	5,71	37,6
	6a	10	13,77	2,09	25,99	7,86	57,1
	6b	7	20,73	10,86	28,90	6,01	29,0
	7a	1	30,20	30,20	30,20		
	7b	3	42,34	26,87	56,18	14,72	34,8
	Ukupno	45	17,53	0,00	56,18	10,39	59,3
VG - Postotni udio graba u volumenu na plohi	4b	2	12,27	,00	24,53	17,35	141,4
	5a	9	8,55	4,72	13,23	3,22	37,7
	5b	13	9,67	2,89	16,28	4,09	42,3
	6a	10	9,69	1,30	21,01	6,80	70,2
	6b	7	12,90	6,83	18,14	4,00	31,0
	7a	1	18,60	18,60	18,60		
	7b	3	38,11	23,41	52,89	14,74	38,7
	Ukupno	45	12,16	0,00	52,89	9,36	77,0
NO - Postotni udio ostalog u broju stabala na plohi	4b	2	3,97	2,93	5,00	1,46	36,8
	5a	9	17,87	2,50	45,98	15,28	85,5
	5b	13	23,40	6,15	49,14	11,16	47,7
	6a	10	18,30	1,97	56,05	18,83	102,9
	6b	7	10,93	0,00	42,33	15,63	143,0
	7a	1	2,38	2,38	2,38		
	7b	3	6,60	1,77	14,99	7,29	110,5
	Ukupno	45	16,66	0,00	56,05	15,04	90,3
GO - Postotni udio ostalog u temeljnici na plohi	4b	2	1,57	0,54	2,60	1,46	93,0
	5a	9	7,94	0,89	26,60	8,76	110,3
	5b	13	11,47	2,67	23,35	6,04	52,7
	6a	10	7,68	0,32	29,79	9,08	118,2
	6b	7	3,86	0,00	8,93	3,34	86,5
	7a	1	5,71	5,71	5,71		
	7b	3	8,12	1,58	20,30	10,56	130,0
	Ukupno	45	7,89	0,00	29,79	7,52	95,3
VO - Postotni udio ostalog u volumenu na plohi	4b	2	1,26	0,22	2,30	1,47	116,7
	5a	9	5,99	0,44	23,55	7,74	129,2
	5b	13	8,79	1,81	20,83	5,63	64,1
	6a	10	5,52	0,12	23,12	6,95	125,9
	6b	7	2,49	0,00	4,68	1,91	76,7
	7a	1	4,53	4,53	4,53		
	7b	3	7,96	1,45	20,33	10,72	134,7
	Ukupno	45	5,99	0,00	23,55	6,43	107,3

3.6. Rezultati izračuna indeksa strukture sastojine

3.6.1. Clark-Evansov indeks agregacije

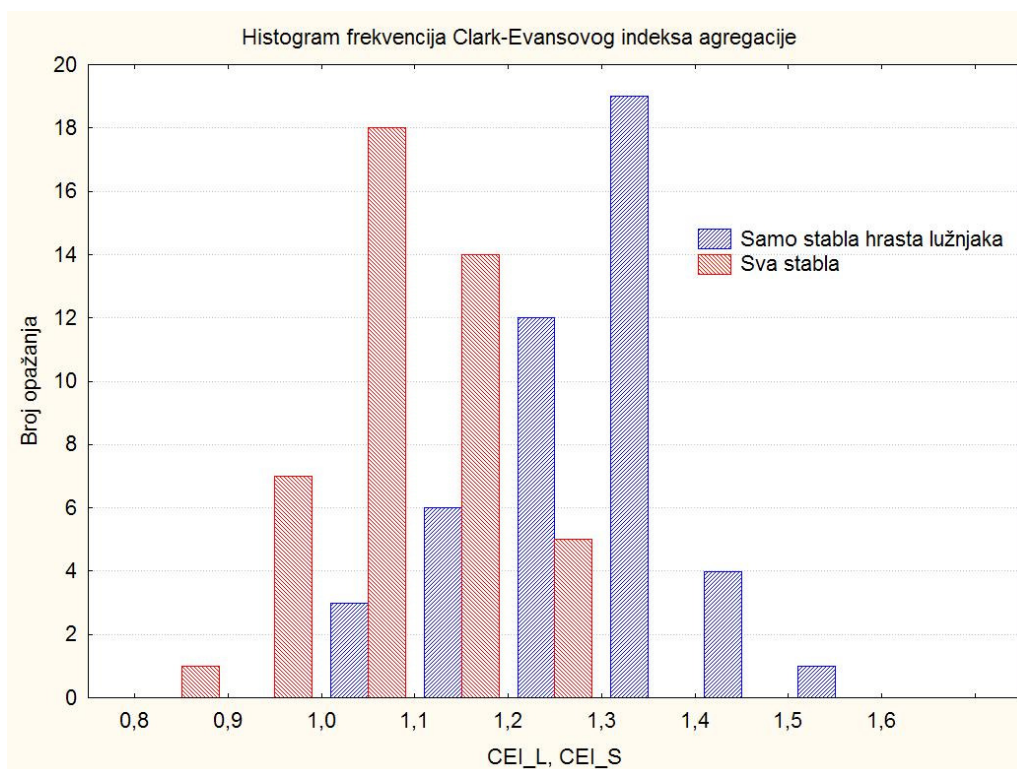
Clark-Evansov indeks agregacije računat je za svih 45 ploha u dvije varijante. U prvoj su promatrana samo stabla hrasta lužnjaka, a u drugoj sva stabla na plohi (Tabele 27 i 28).

Tabela 27. Clark-Evansov indeks po dobnim razredima širine 20 godina

Clark-Evansov indeks	Dobni razred	Broj ploha	Aritmet. sredina $\bar{x}$	Raspon		STDEV	CV (%)
				min	max		
<i>CEI_L</i> - samo lužnjaci	4 (61 – 80)	2	1,303	1,302	1,305	0,002	0,2
	5 (81–100)	22	1,287	1,018	1,485	0,107	8,3
	6 (101–120)	17	1,290	1,088	1,428	0,110	8,6
	7 (121–140)	4	1,265	1,138	1,508	0,168	13,3
	Ukupno	45	1,287	1,018	1,508	0,109	8,5
<i>CEI_S</i> - sva stabla	4 (61 – 80)	2	1,162	1,085	1,239	0,109	9,4
	5 (81–100)	22	1,079	0,895	1,234	0,077	7,2
	6 (101–120)	17	1,054	0,980	1,174	0,062	5,9
	7 (121–140)	4	1,191	0,958	1,283	0,156	13,1
	Ukupno	45	1,083	0,895	1,283	0,089	8,2

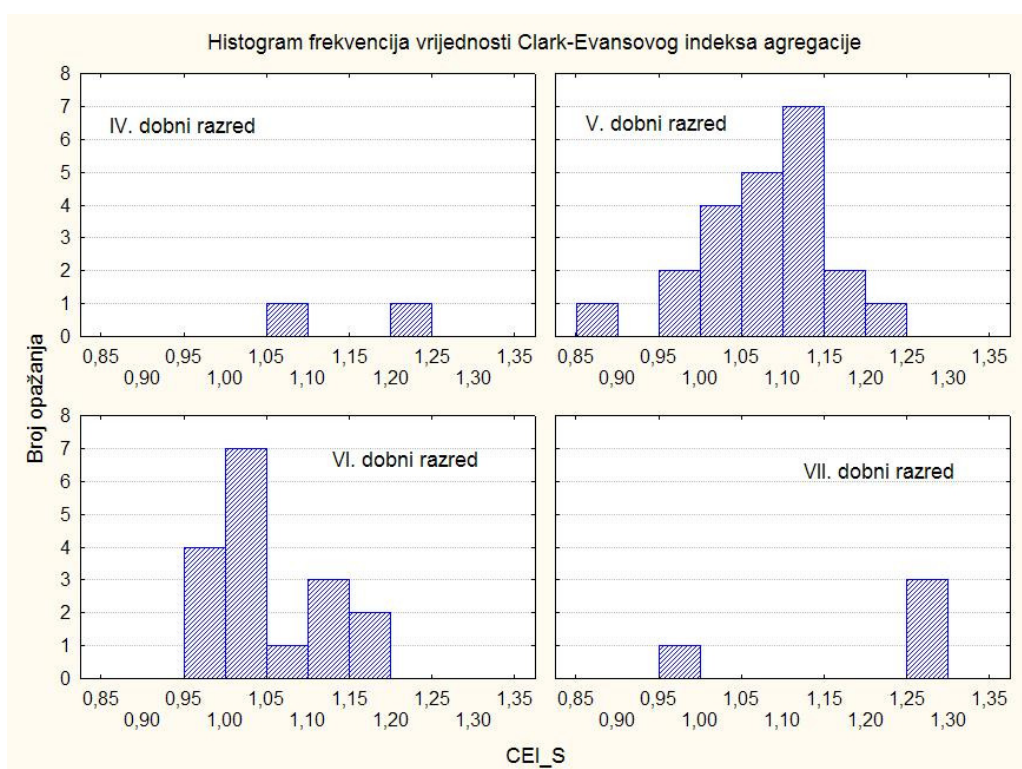
Tabela 28. Clark-Evansov indeks po dobnim razredima širine 10 godina

Clark-Evansov indeks	Dobni razred	Broj ploha	Aritmet. sredina $\bar{x}$ (m)	Raspon		STDEV	CV (%)
				min	max		
<i>CEI_L</i> - samo lužnjak	4b	2	1,303	1,302	1,305	0,002	0,2
	5a	9	1,282	1,106	1,384	0,095	7,4
	5b	13	1,290	1,018	1,485	0,118	9,1
	6a	10	1,263	1,088	1,405	0,106	8,4
	6b	7	1,328	1,104	1,428	0,113	8,5
	7a	1	1,168	1,168	1,168		
	7b	3	1,297	1,138	1,508	0,190	14,7
	Ukupno	45	1,287	1,018	1,508	0,109	8,5
<i>CEI_S</i> - sva stabla	4b	2	1,162	1,085	1,239	0,109	9,4
	5a	9	1,080	0,895	1,234	0,109	10,1
	5b	13	1,078	0,982	1,152	0,051	4,7
	6a	10	1,059	0,985	1,163	0,060	5,7
	6b	7	1,046	0,980	1,174	0,069	6,6
	7a	1	0,958	0,958	0,958		
	7b	3	1,269	1,250	1,283	0,017	1,3
	Ukupno	45	1,083	0,895	1,283	0,089	8,2

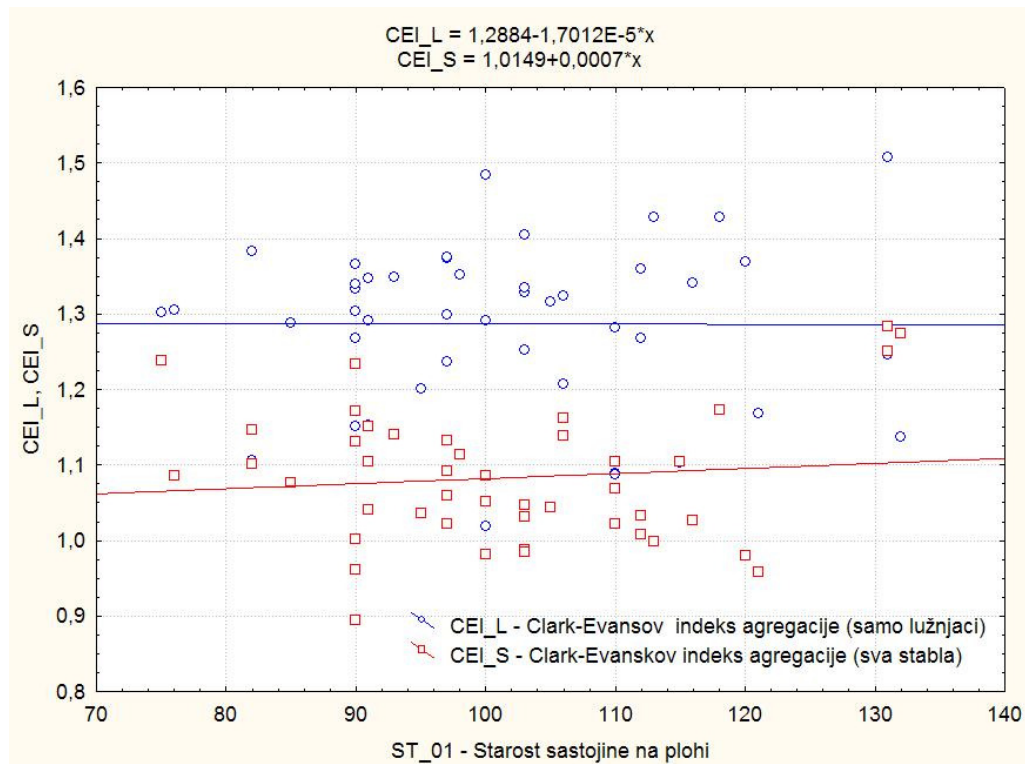


Slika 44. Histogram frekvencija Clark-Evansovog indeksa agregacije sumarno za sve dobne razrede

Vrijednosti Clark-Evansovog indeksa agregacije kada se promatraju sva stabla kreću se od 0,89 do 1,28 što znači da je raspored stabala blizu slučajnog. U slučaju uzimanja u obzir samo lužnjakovih stabala, indeks se po plohama kreće od 1,02-1,51, odnosno postoji tendencija prema pravilnosti prostornog rasporeda (Slika 44). Po dobnim razredima vrijednosti indeksa blago rastu (Slika 45). Porastom starosti ne dolazi do značajnog povećanja vrijednosti indeksa te se on prema funkciji izjednačenja kreće oko 1,29 (Slika 46). Iz toga se može zaključiti da stabla hrasta lužnjaka u promatranim sastojinama već u starosti od 70 godina postižu stupanj pravilnosti prostornog rasporeda koji zadržavaju do isteka ophodnje.



Slika 45. Histogram frekvencija vrijednosti Clark-Evansovog indeksa agregacije po dobnim razredima za sve vrste



Slika 46. Vrijednosti Clark-Evansovog indeksa agregacije po starostima

3.6.2. Rezultati izračuna indeksa ispremiješivosti vrsta (*Mingling index*)

Indeks ispremiješivosti vrsta u svom izrazu za 3 odnosno 4 najbliža stabla ispituje jesu li ona iste vrste drveća kao i glavno stablo. Indeks poprima vrijednosti između 0 i 1. Kada su sva susjedna stabla različite vrste od glavnog stabla, indeks iznosi maksimalnih 1, a kada su susjedna stabla iste vrste kao i glavno stablo, vrijednost indeksa je 0. Indeks se računao za svako stablo, a vrijednost za cijelu plohu/sastojinu i dobivena je kao prosječni indeks pojedinačnih stabala.

Rezultati po dobnim razredima širine 20 godina pokazuju da indeks ima vrijednosti od 0,395-0,620 uz promatranje tri najbliža susjeda (Tabela 29). Koeficijenti varijacije su visoki, naročito kod dobnih razreda s malim brojem ploha. Kada se u obzir uzmu 4 najbliža susjeda, vrijednosti indeksa te koeficijenti varijacije se neznatno smanje u svim dobnim razredima (Slika 47). Plohe koje se nalaze u 4. i 7. dobnom razredu imaju znatno niže vrijednosti indeksa što znači da je u njima ispremiješivost različitih vrsta manja. S obzirom na već spomenutu činjenicu da u 4. dobnom razredu postoji ploha s vrlo malo običnoga graba, u ovom se rezultatu to i pokazuje.

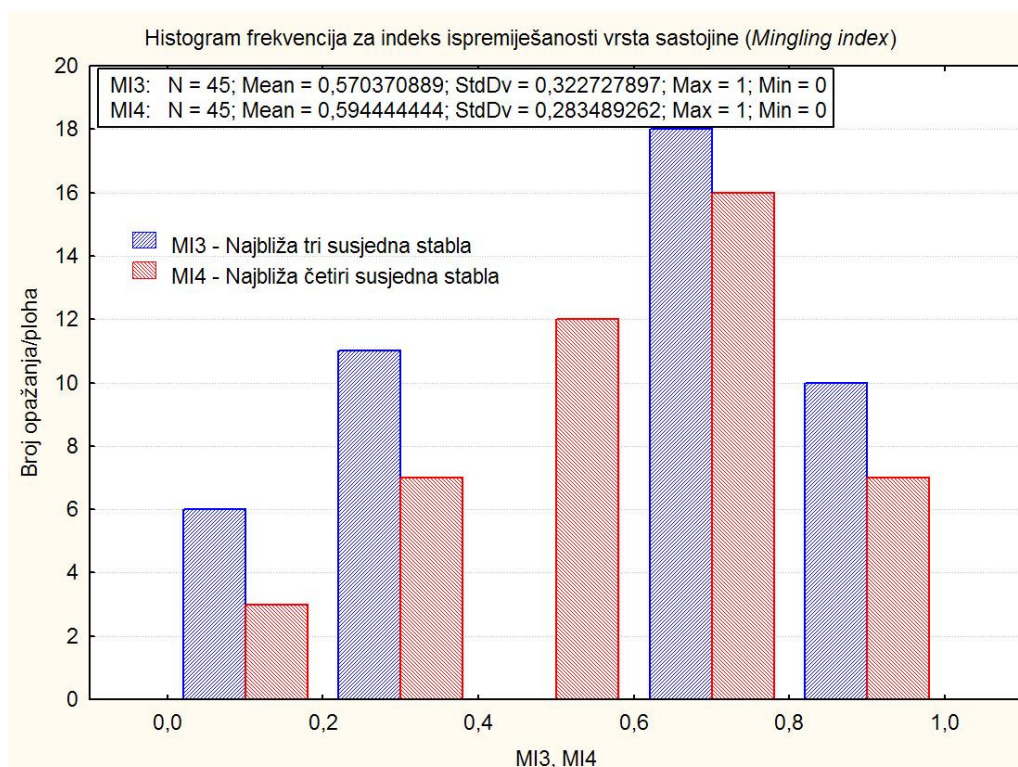
Tabela 29. "Mingling" indeks po dobnim razredima širine 20 godina

"Mingling" indeks	Dobni razred	n	Aritmet. sredina $\bar{x}$	Raspon		STDEV	CV (%)
				min	max		
MI3 - 3 najbliža stabla	4 (61 – 80)	54	0,395	0,000	1,000	0,343	86,8
	5 (81–100)	2211	0,620	0,000	1,000	0,294	47,5
	6 (101–120)	2095	0,566	0,000	1,000	0,311	55,0
	7 (121–140)	308	0,393	0,000	1,000	0,353	90,0
	Ukupno	4668	0,578	0,000	1,000	0,312	54,0
MI4 - 4 najbliža stabla	4 (61 – 80)	54	0,370	0,000	1,000	0,321	86,7
	5 (81–100)	2211	0,611	0,000	1,000	0,267	43,6
	6 (101–120)	2095	0,560	0,000	1,000	0,285	50,9
	7 (121–140)	308	0,379	0,000	1,000	0,341	89,9
	Ukupno	4668	0,570	0,000	1,000	0,287	50,4

Tabela 30. "Mingling" indeks po dobnim razredima širine 10 godina

"Mingling" indeks	Dobni razred	n	Aritmet. sredina $\bar{x}$	Raspon		STDEV	CV (%)
				min	max		
MI3 - 3 najbliža stabla	4b	54	0,395	0,000	1,000	0,343	86,8
	5a	818	0,592	0,000	1,000	0,295	49,9
	5b	1393	0,637	0,000	1,000	0,293	46,0
	6a	1111	0,625	0,000	1,000	0,275	43,9
	6b	984	0,500	0,000	1,000	0,336	67,2
	7a	126	0,310	0,000	1,000	0,332	107,4
	7b	182	0,451	0,000	1,000	0,357	79,2
	Ukupno	4668	0,578	0,000	1,000	0,312	54,0
MI4 - 4 najbliža stabla	4b	54	0,370	0,000	1,000	0,321	86,7
	5a	818	0,583	0,000	1,000	0,267	45,9
	5b	1393	0,628	0,000	1,000	0,265	42,2
	6a	1111	0,623	0,000	1,000	0,239	38,4
	6b	984	0,488	0,000	1,000	0,314	64,3
	7a	126	0,292	0,000	1,000	0,328	112,5
	7b	182	0,440	0,000	1,000	0,337	76,7
	Ukupno	4668	0,570	0,000	1,000	0,287	50,4

Kada se indeks ispremiješivosti vrsta promatra po dobnim razredima širine 10 godina, uočava se da je on znatno nižih vrijednosti u najmlađim i najstarijim promatranim sastojinama (Tabela 30). Najviše vrijednosti (0,637) ima uz uzimanje u obzir tri najbliža susjeda u 5b dobnom razredu koji je i najzastupljeniji prema broju stabala.

**Slika 47.** Histogram frekvencija indeksa ispremiješivosti vrsta u sastojini sumarno za sve dobne razrede

Srednja vrijednost indeksa ispremiješanosti vrsta svih 45 ploha bez obzira na dobne razrede iznosi 0,570 uz tri najbliža susjeda, te 0,594 uz 4 najbliža susjeda. Najviše ploha ima indeks vrijednosti između 0,6 i 0,8. (Slika 47).

3.6.3. Rezultati izračuna Indeksa diferenciranosti promjera sastojine

Indeks diferenciranosti promjera računat je za sva stabla, a za cijelu plohu njegova je vrijednost dobivena kao prosječni indeks pojedinačnih stabala. Kao i kod '*mingling*' indeksa, računata su dva slučaja: s tri odnosno četiri najbliža susjedna stabla.

Tabela 31. Indeks diferencijacije prsnog promjera po dobnim razredima širine 20 godina

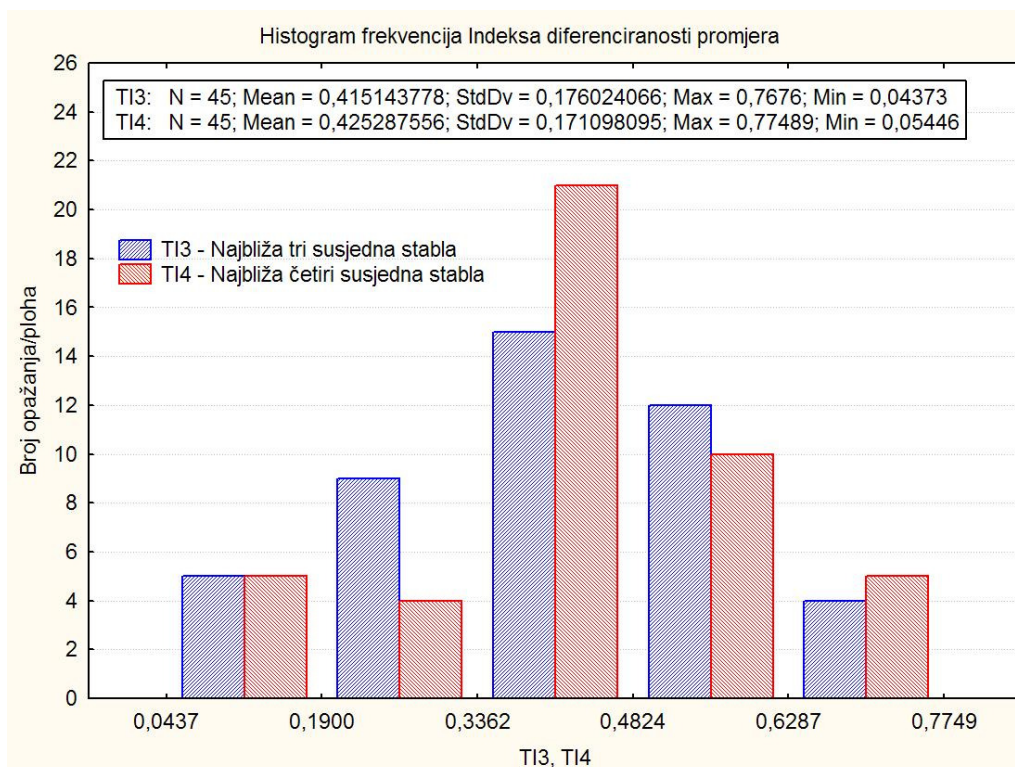
Indeks diferencijacije prsnog promjera	Dobni razred	n	Aritmet. sredina $\bar{x}$	Raspon		STDEV	CV (%)
				min	max		
TI3 - 3 najbliža stabla	4 (61 – 80)	54	0,299	0,102	0,678	0,160	53,5
	5 (81–100)	2211	0,414	0,044	0,834	0,163	39,3
	6 (101–120)	2095	0,424	0,019	0,835	0,167	39,3
	7 (121–140)	308	0,407	0,055	0,851	0,188	46,3
	Ukupno	4668	0,417	0,019	0,851	0,167	40,0
TI4 - 4 najbliža stabla	4 (61 – 80)	54	0,289	0,105	0,677	0,147	50,9
	5 (81–100)	2211	0,409	0,043	0,834	0,149	36,4
	6 (101–120)	2095	0,420	0,052	0,822	0,152	36,1
	7 (121–140)	308	0,401	0,062	0,858	0,175	43,7
	Ukupno	4668	0,412	0,043	0,858	0,153	37,1

S tri promatrana najbliža susjeda, rezultati po dobnim razredima širine 20 godina pokazuju da je diferenciranost promjera u 5., 6. i 7. dobnom razredu gotovo jednaka, s prosječnim indeksom koji ima vrijednosti 0,407-0,424. Njegova je vrijednost samo u 4. dobnom razredu niža (0,299). Gotovo jednaka je situacija kada se u obzir uzmu 4 najbliža susjedna stabla. Prema tomu, što se tiče diferenciranosti promjera, među sastojinama starosti 81-140 godina nema značajne razlike (Tabela 31).

Tabela 32. Indeks diferencijacije prsnog promjera po dobnim razredima širine 10 godina

Indeks diferencijacije prsnog promjera	Dobni razred	n	Aritmet. sredina $\bar{x}$	Raspon		STDEV	CV (%)
				min	max		
T13 - 3 najbliža stabla	4b	54	0,299	0,102	0,678	0,160	53,5
	5a	818	0,402	0,044	0,834	0,173	43,0
	5b	1393	0,421	0,044	0,831	0,156	37,0
	6a	1111	0,431	0,019	0,819	0,164	38,0
	6b	984	0,417	0,036	0,835	0,170	40,7
	7a	126	0,390	0,087	0,851	0,181	46,5
	7b	182	0,418	0,055	0,825	0,193	46,1
	Ukupno	4668	0,417	0,019	0,851	0,167	40,0
T14 - 4 najbliža stabla	4b	54	0,289	0,105	0,677	0,147	50,9
	5a	818	0,400	0,043	0,834	0,159	39,8
	5b	1393	0,415	0,054	0,827	0,143	34,4
	6a	1111	0,428	0,052	0,818	0,145	34,0
	6b	984	0,412	0,057	0,822	0,158	38,5
	7a	126	0,376	0,085	0,858	0,177	47,0
	7b	182	0,418	0,062	0,812	0,173	41,3
	Ukupno	4668	0,412	0,043	0,858	0,153	37,1

Ako se promatraju rezultati po dobnim razredima širine 10 godina, oni pokazuju vrlo male razlike u odnosu na dvadesetogodišnje dobne razrede (Tabela 32). Vrijednost indeksa se kreće od 0,390 – 0,431 za dobne razrede od 5a-7b. Jedino je indeks u 4b dobnom razredu niži (0,299), što je i za očekivati jer je u mlađim jednodobnim sastojinama manji raspon različitih prsnih promjera.

**Slika 48.** Histogram frekvencija Indeksa diferenciranosti promjera u sastojini sumarno za sve dobne razrede

Srednja vrijednost indeksa diferenciranosti promjera svih 45 ploha bez obzira na dobne razrede iznosi 0,415 uz tri najbliža susjeda, te 0,425 uz 4 najbliža susjeda. (Slika 48).

3.7. Rezultati izračuna kompeticijskih indeksa

3.7.1. Rezultati izračuna Hegyijevog kompeticijskog indeksa

Hegyijev kompeticijski indeks izračunat je glavnim stablima hrasta lužnjaka za dvije godine izmjere (2000/2001. i 2007.g.) te za svaku petu godinu od 1980.-2000. Kao konkurenti su u prvoj varijanti promatrani samo lužnjaci, a u drugoj sva stabla koja zadovoljavaju kriterije da budu konkurenti (Tabela 33).

Koeficijenti varijacije su kod svih varijabli koje predstavljaju kompeticijski indeks relativno visokih vrijednosti radi vrlo različitih oblika i stupnjeva konkurencije među stablima na plohama.

Tabela 33. Hegyijev statički kompeticijski indeks po dobnim razredima širine 20 godina

Hegyijev statički kompeticijski indeks	Dobni razred	n	Aritmet. sredina $\bar{x}$	Raspon		STDEV	CV (%)
				min	max		
CHILL07 – lužnjak – lužnjak 2007	4 (61 – 80)	9	0,830	0,265	1,763	0,529	63,8
	5 (81–100)	247	0,707	0,073	1,704	0,330	46,6
	6 (101–120)	236	0,520	0,077	2,805	0,346	66,6
	7 (121–140)	14	0,187	0,074	0,454	0,113	60,6
	Ukupno	506	0,607	0,073	2,805	0,357	58,8
CHILL01 – lužnjak – lužnjak 2001	4 (61 – 80)	10	0,806	0,261	1,707	0,513	63,6
	5 (81–100)	289	0,870	0,076	2,276	0,396	45,5
	6 (101–120)	302	0,658	0,077	2,713	0,350	53,2
	7 (121–140)	14	0,211	0,072	0,457	0,128	60,6
	Ukupno	615	0,749	0,072	2,713	0,394	52,6
CHILL95 – lužnjak – lužnjak 1995	4 (61 – 80)	10	0,806	0,263	1,658	0,509	63,2
	5 (81–100)	281	0,859	0,078	2,246	0,393	45,8
	6 (101–120)	240	0,611	0,077	2,041	0,294	48,1
	7 (121–140)	12	0,227	0,072	0,448	0,129	57,0
	Ukupno	543	0,734	0,072	2,246	0,379	51,6
CHILL90 – lužnjak – lužnjak 1990	4 (61 – 80)	10	0,808	0,265	1,667	0,506	62,7
	5 (81–100)	278	0,852	0,081	2,214	0,387	45,5
	6 (101–120)	240	0,609	0,075	2,010	0,292	47,9
	7 (121–140)	12	0,225	0,072	0,436	0,127	56,3
	Ukupno	540	0,729	0,072	2,214	0,373	51,2

Tabela 33. - nastavak

Hegyijev statički kompeticijski indeks	Dobni razred	n	Aritmet. sredina $\bar{x}$	Raspon		STDEV	CV (%)
				min	max		
CHILL85 – lužnjak – lužnjak 1985	4 (61 – 80)	10	0,808	0,265	1,661	0,502	62,1
	5 (81–100)	257	0,785	0,098	1,992	0,354	45,1
	6 (101–120)	220	0,585	0,073	1,498	0,279	47,8
	7 (121–140)	7	0,197	0,072	0,366	0,109	55,5
	Ukupno	494	0,688	0,072	1,992	0,343	49,9
CHILL80 – lužnjak – lužnjak 1980	4 (61 – 80)	7	0,500	0,266	0,882	0,245	49,1
	5 (81–100)	215	0,669	0,093	1,594	0,321	48,1
	6 (101–120)	176	0,512	0,073	1,363	0,260	50,7
	7 (121–140)	4	0,230	0,072	0,368	0,141	61,2
	Ukupno	402	0,593	0,072	1,594	0,305	51,4
CHILS01 – lužnjak – sva stabla 2001	4 (61 – 80)	11	0,949	0,244	1,677	0,468	49,3
	5 (81–100)	289	1,628	0,287	4,047	0,616	37,8
	6 (101–120)	306	1,286	0,145	3,831	0,536	41,7
	7 (121–140)	20	0,582	0,117	1,408	0,375	64,3
	Ukupno	626	1,415	0,117	4,047	0,615	43,4

Rezultati izračuna Hegyijevog statičkog kompeticijskog indeksa prikazani po dobnim razredima širine 10 godina pokazuju jednake trendove kao i kod dvadesetogodišnjih dobnih razreda (Tabela 34).

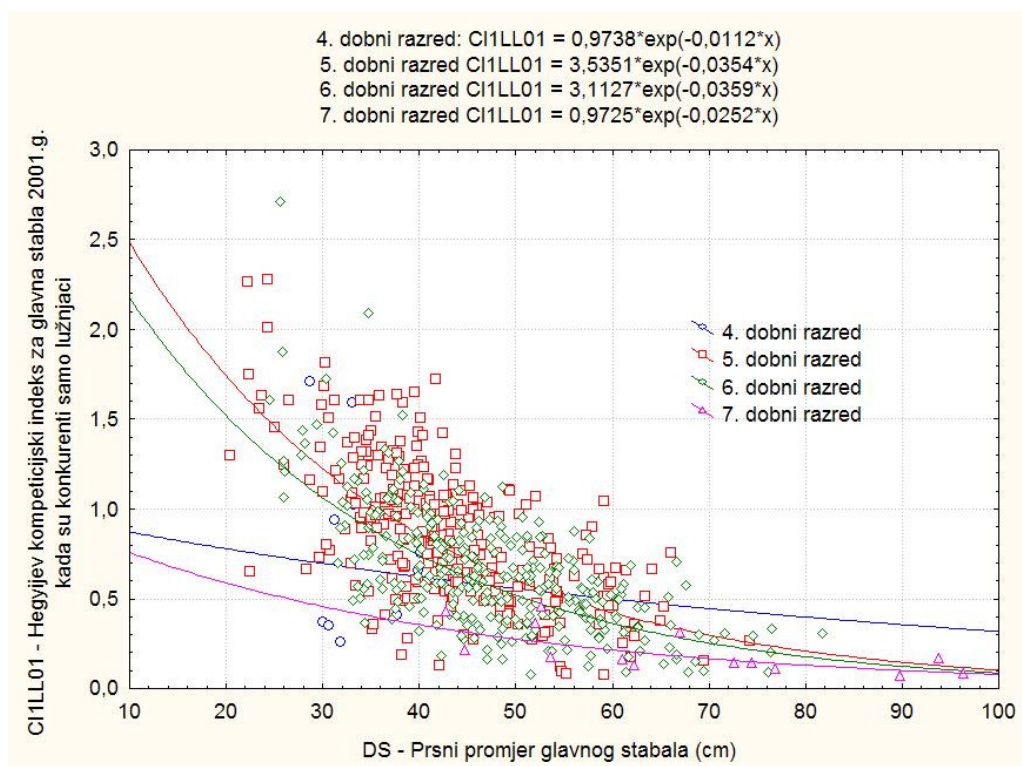
Tabela 34. Hegyijev statički kompeticijski indeks po dobnim razredima širine 10 godina

Hegyijev statički kompeticijski indeks	Dobni razred	n	Aritmet. sredina $\bar{x}$	Raspon		STDEV	CV (%)
				min	max		
CHILL07 – lužnjak – lužnjak 2007	4b	9	0,830	0,265	1,763	0,529	63,8
	5a	106	0,740	0,073	1,527	0,314	42,5
	5b	141	0,682	0,081	1,704	0,340	49,8
	6a	143	0,577	0,077	2,805	0,400	69,3
	6b	93	0,433	0,086	0,985	0,217	50,2
	7a	4	0,261	0,112	0,454	0,155	59,5
	7b	10	0,157	0,074	0,364	0,084	53,4
	Ukupno	506	0,607	0,073	2,805	0,357	58,8
CHILL01 – lužnjak – lužnjak 2001	4b	10	0,806	0,261	1,707	0,513	63,6
	5a	122	0,898	0,076	2,276	0,402	44,8
	5b	167	0,849	0,084	2,265	0,391	46,1
	6a	196	0,741	0,077	2,713	0,373	50,4
	6b	106	0,504	0,087	1,253	0,234	46,4
	7a	4	0,260	0,110	0,457	0,156	60,0
	7b	10	0,191	0,072	0,431	0,118	61,9
	Ukupno	615	0,749	0,072	2,713	0,394	52,6
CHILL95 – lužnjak – lužnjak 1995	4b	10	0,806	0,263	1,658	0,509	63,2
	5a	118	0,893	0,078	2,246	0,391	43,8
	5b	163	0,834	0,087	2,220	0,394	47,3
	6a	168	0,668	0,077	2,041	0,300	44,9
	6b	72	0,478	0,088	1,264	0,233	48,6
	7a	4	0,258	0,109	0,448	0,152	58,8
	7b	8	0,211	0,072	0,434	0,125	59,1
	Ukupno	543	0,734	0,072	2,246	0,379	51,6

Tabela 34. - nastavak

Hegyijev statički kompeticijski indeks	Dobni razred	n	Aritmet. sredina $\bar{x}$	Raspon		STDEV	CV (%)
				min	max		
CIILL90 – lužnjak – lužnjak 1990	4b	10	0,808	0,265	1,667	0,506	62,7
	5a	117	0,883	0,081	2,214	0,387	43,9
	5b	161	0,829	0,092	2,184	0,387	46,7
	6a	168	0,667	0,075	2,010	0,297	44,5
	6b	72	0,473	0,089	1,265	0,228	48,2
	7a	4	0,257	0,108	0,436	0,148	57,5
	7b	8	0,210	0,072	0,427	0,123	58,5
	Ukupno	540	0,729	0,072	2,214	0,373	51,2
CIILL85 – lužnjak – lužnjak 1985	4b	10	0,808	0,265	1,661	0,502	62,1
	5a	101	0,784	0,098	1,992	0,358	45,6
	5b	156	0,786	0,127	1,871	0,353	45,0
	6a	155	0,642	0,073	1,498	0,272	42,3
	6b	65	0,448	0,074	1,259	0,250	55,9
	7a	0					
	7b	7	0,197	0,072	0,366	0,109	55,5
	Ukupno	494	0,688	0,072	1,992	0,343	49,9
CIILL80 – lužnjak – lužnjak 1980	4b	7	0,500	0,266	0,882	0,245	49,1
	5a	85	0,652	0,093	1,594	0,334	51,2
	5b	130	0,680	0,126	1,586	0,314	46,2
	6a	123	0,565	0,075	1,363	0,257	45,5
	6b	53	0,390	0,073	1,127	0,224	57,5
	7a	0					
	7b	4	0,230	0,072	0,368	0,141	61,2
	Ukupno	402	0,593	0,072	1,594	0,305	51,4
CIILS01 – lužnjak – ostala 2001	4b	11	0,949	0,244	1,677	0,468	49,3
	5a	122	1,483	0,287	3,186	0,532	35,9
	5b	167	1,733	0,443	4,047	0,652	37,6
	6a	198	1,309	0,145	3,831	0,578	44,1
	6b	108	1,244	0,328	2,503	0,448	36,0
	7a	4	0,979	0,599	1,397	0,350	35,8
	7b	16	0,483	0,117	1,408	0,317	65,7
	Ukupno	626	1,415	0,117	4,047	0,615	43,4

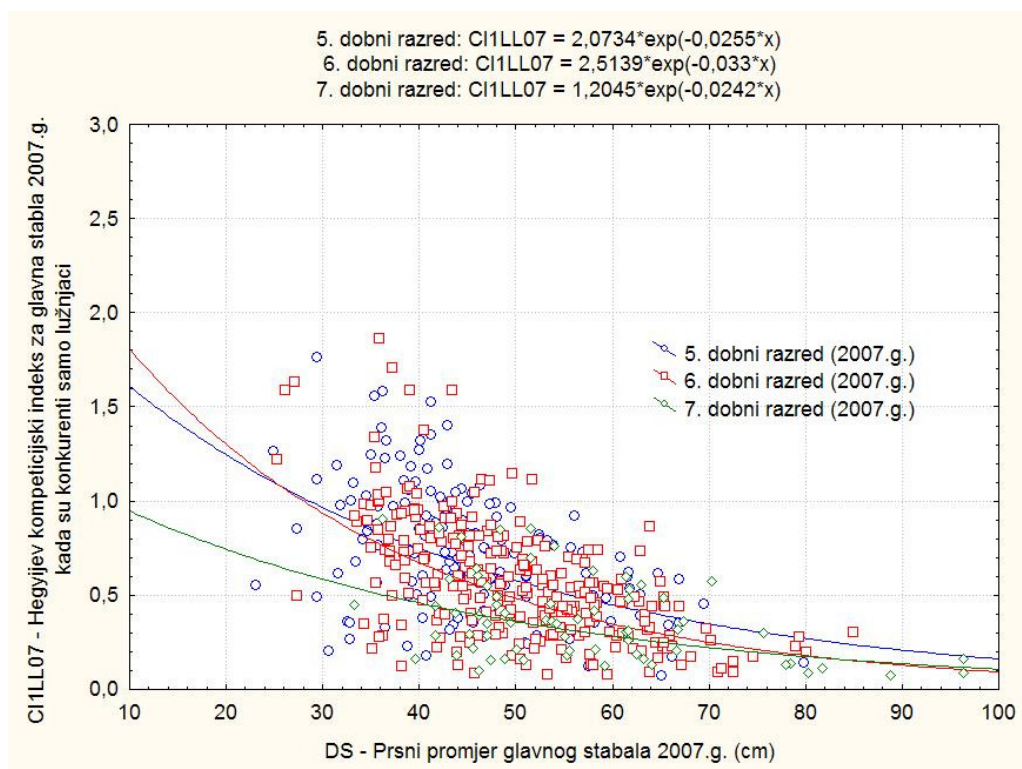
Kako izgleda pomak krivulje Hegyijevog kompeticijskog indeksa po dobnim razredima u godini 2001. prikazano je na Slici 49.



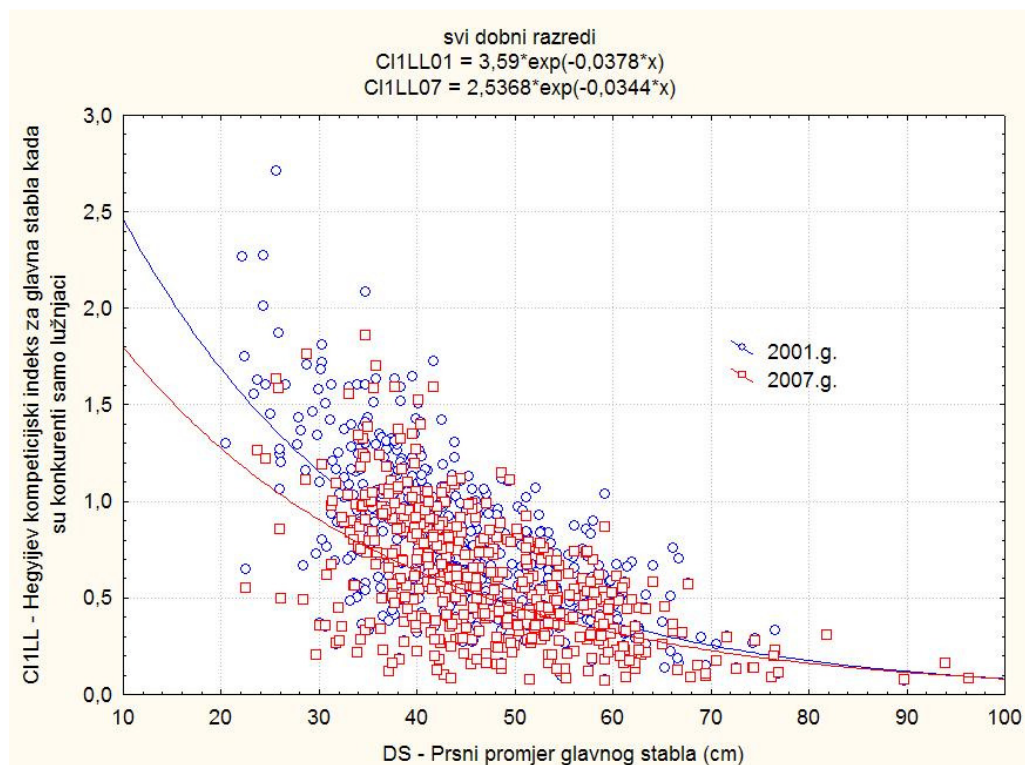
Slika 49. Vrijednosti izračunatog Hegyijevog kompeticijskog indeksa za glavna lužnjakova stabla kada se kao konkurenti promatraju samo lužnjaci – usporedba za sve dobne razrede i godinu 2001.

S izuzetkom 4. dobno razreda u kojem je bilo samo 10 glavnih stabala, u godini 2001. krivulje izjednačenja vrijednosti Hegyijevog kompeticijskog indeksa po prsnim promjerima smanjuju se s porastom starosti, što znači sve manji kompeticijski pritisak.

Porastom starosti između 2001. i 2007. godine došlo je do prelaska ploha u više dobne razrede pa 2007. više nije bilo ploha u 4. dobno razredu. Na dijelu raspona prsnih promjera gdje je najviše glavnih stabala (30-80 cm), odnos među krivuljama kompeticijskog indeksa po dobnim razredima isti je kao i 2001.g. uz nešto niže vrijednosti, što znači da je kompeticijski pritisak sve manji porastom starosti i prsnog promjera (Slika 50).

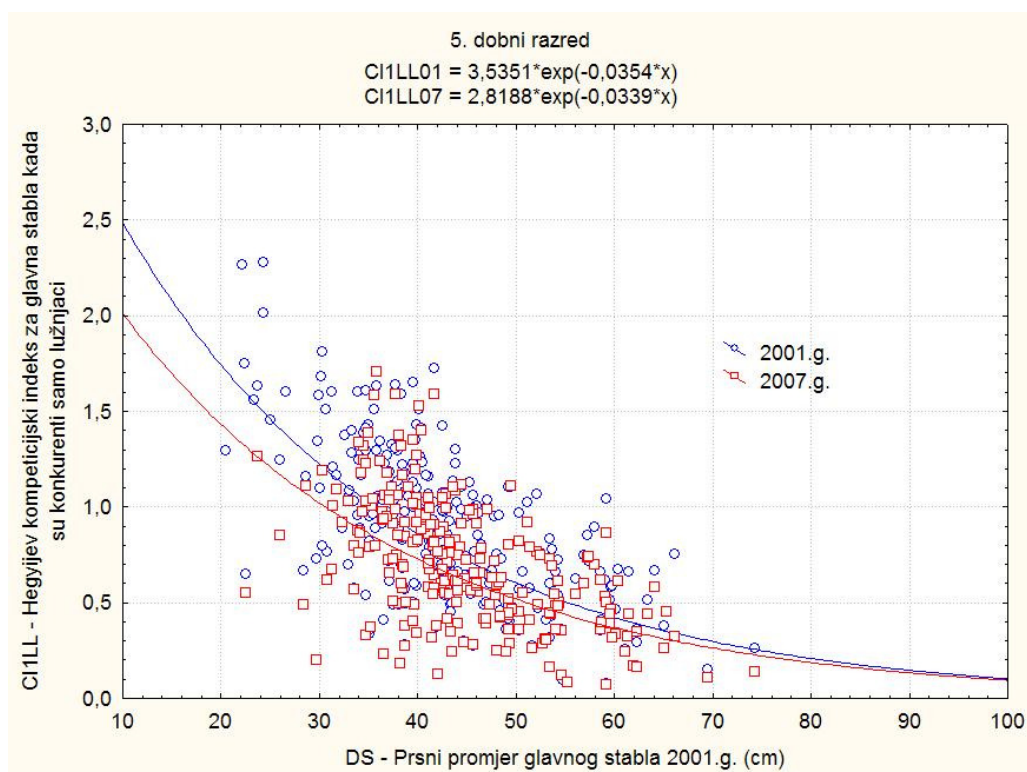


Slika 50. Vrijednosti izračunatog Hegyijevog kompeticijskog indeksa za glavna lužnjakova stabla kada se kao konkurenti promatraju samo lužnjaci – usporedba za sve dobne razrede i godinu 2007.

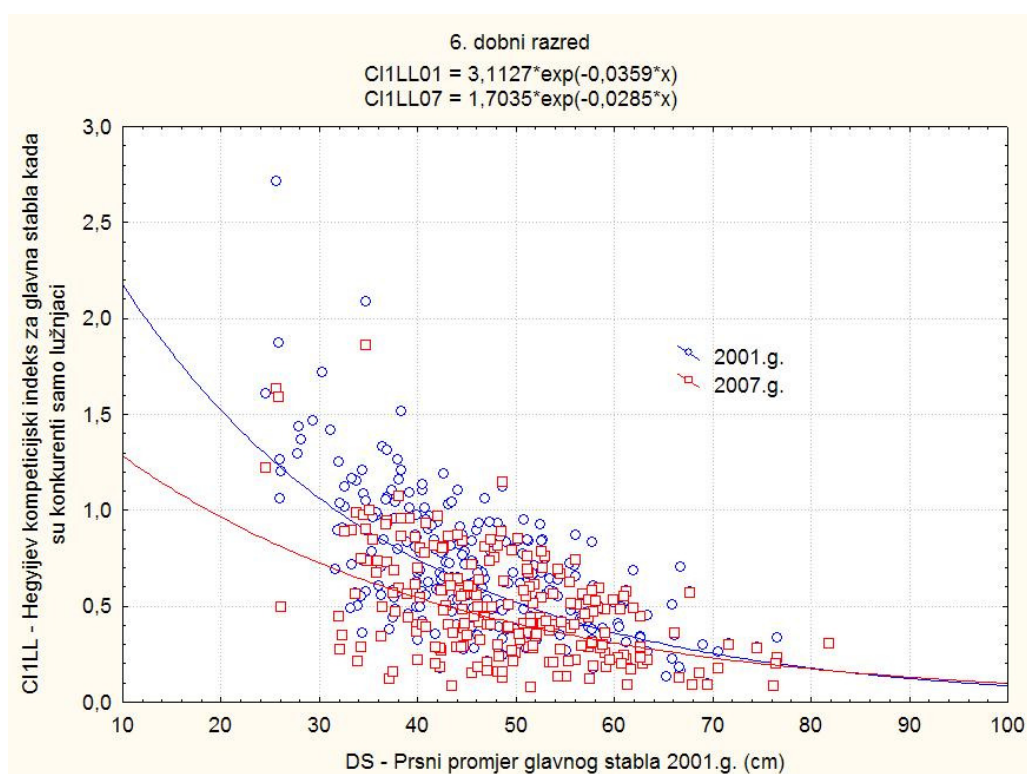


Slika 51. Vrijednosti izračunatog Hegyijevog kompeticijskog indeksa za glavna lužnjakova stabla kada se kao konkurenti promatraju samo lužnjaci – usporedba za dvije godine izmjere (2001. i 2007.) i sve dobne razrede

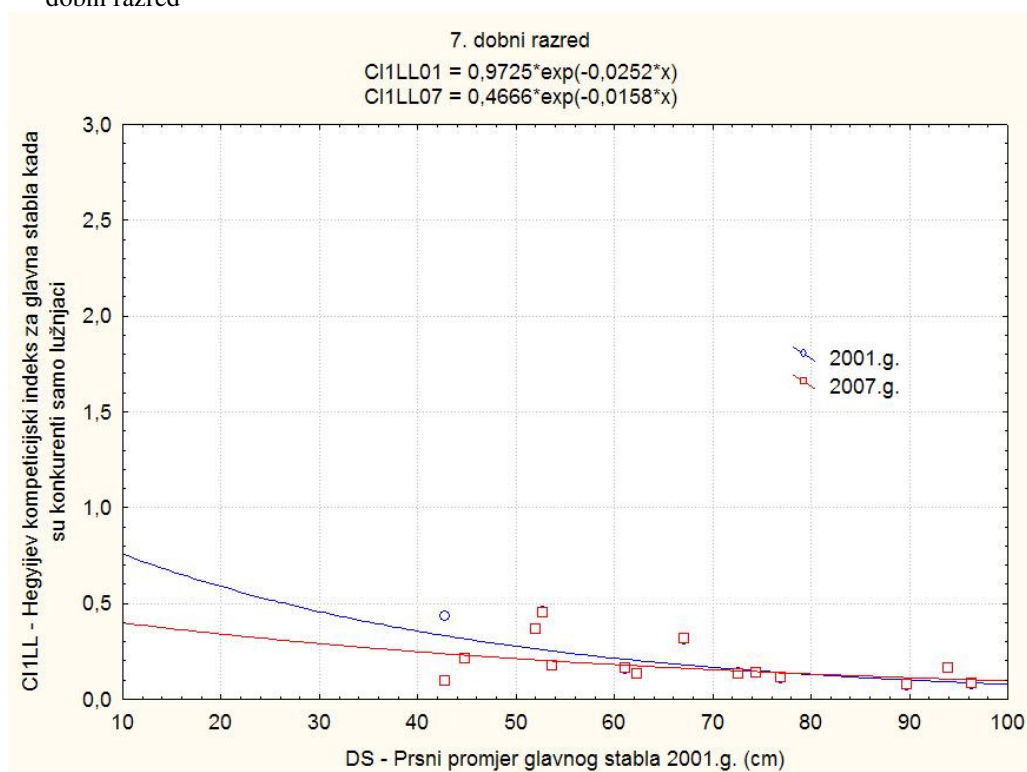
Na Slici 51 vidljiv je pomak krivulje koja predstavlja izjednačenje Hegyijeveg kompeticijskog indeksa po prsnim promjerima glavnog stabla, za dvije godine u kojima je vršena izmjera (2000/2001. i 2007.). Premda se radi o razdoblju od svega 6 ili 7 godina, odnosno vegetacijskih perioda, smanjenje kompeticije među lužnjakovim stablima je evidentno. Razlog tomu leži u činjenici da su u tom razdoblju osim sječe sušaca koji su ionako imali ograničenu kompeticijsku snagu, izvršeni i proredni zahvati kojima su iz sastojina uklanjana i živa stabla. Premda su odabirana uglavnom fenotipski lošija stabla koja su imala i veći stupanj oštećenosti, njihov utjecaj u konkurentskim odnosima je bio značajan, što se vidi i po reakciji preostalih glavnih stabala. Pomak krivulje po pojedinim dobnim razredima prikazan je na Slikama 52-54.



Slika 52. Vrijednosti izračunatog Hegyijeveg kompeticijskog indeksa za glavna lužnjakova stabla kada se kao konkurenti promatraju samo lužnjaci – usporedba za dvije godine izmjere (2001. i 2007.) i 5. dobní razred

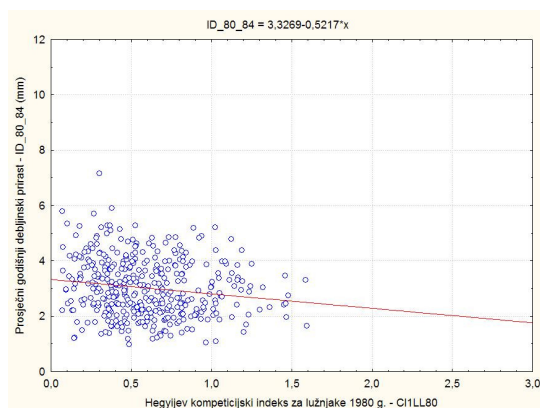


Slika 53. Vrijednosti izračunatog Hegyijevog kompeticijskog indeksa za glavna lužnjakova stabla kada se kao konkurenti promatraju samo lužnjaci – usporedba za dvije godine izmjere (2001. i 2007.) i 6. dobni razred

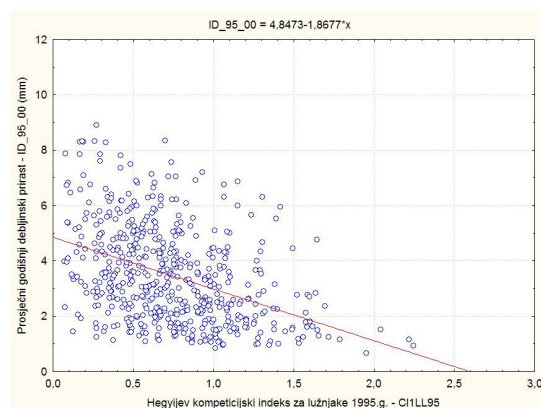


Slika 54. Vrijednosti izračunatog Hegyijevog kompeticijskog indeksa za glavna lužnjakova stabla kada se kao konkurenti promatraju samo lužnjaci – usporedba za dvije godine izmjere (2001. i 2007.) i 7. dobni razred

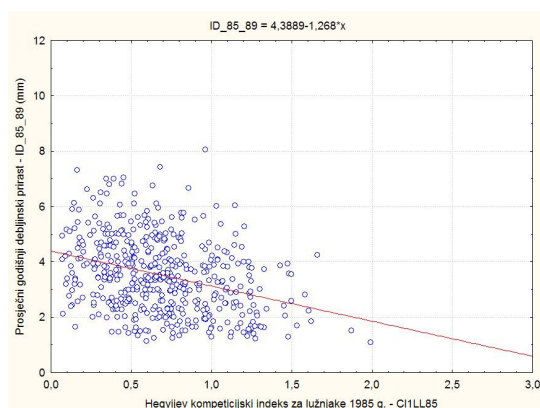
Hegyijev kompeticijski indeks koji je izračunat za 1980., 1985., 1990., 1995., 2000. i 2007. godinu, stavljen je u odnos s ostvarenim debljinskim prirastom za pripadajuća petogodišnja razdoblja (Slike 55-59).



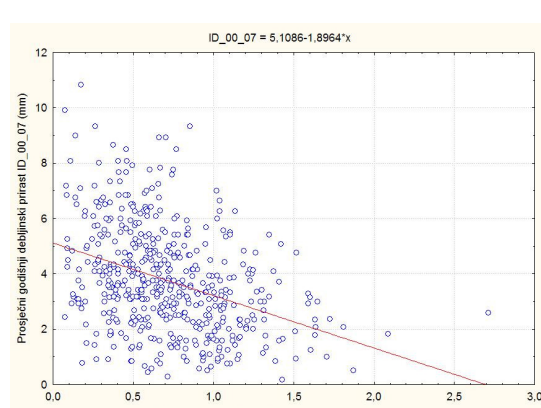
Slika 55. Odnos debljinskog prirasta 1980.-1984. i Hegyijevog kompeticijskog indeksa za glavna lužnjakova stabla 1980.g.



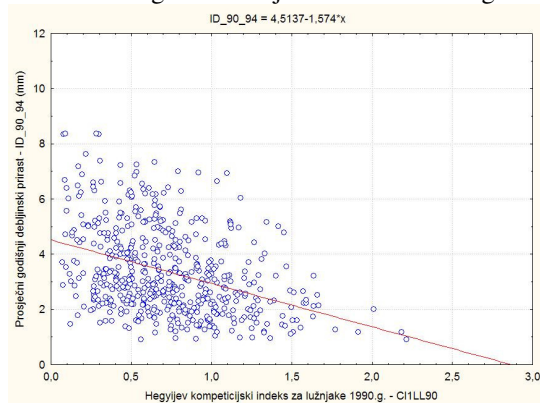
Slika 58. Odnos debljinskog prirasta 1995.-1999. i Hegyijevog kompeticijskog indeksa za glavna lužnjakova stabla 1995.g.



Slika 56. Odnos debljinskog prirasta 1985.-1989. i Hegyijevog kompeticijskog indeksa za glavna lužnjakova stabla 1985.g.



Slika 59. Odnos debljinskog prirasta 2000.-2007. i Hegyijevog kompeticijskog indeksa za glavna lužnjakova stabla 2001.g.



Slika 57. Odnos debljinskog prirasta 1990.-1994. i Hegyijevog kompeticijskog indeksa za glavna lužnjakova stabla 1990.g.

Linija izjednačenja debljinskog prirasta u odgovarajućim petogodišnjim razdobljima i Hegyijevog kompeticijskog indeksa u godinama koje čine početak tih razdoblja pokazuje padajući trend što znači da je prirast sve niži porastom vrijednosti indeksa. Osim toga i nagib pravca koji izjednačava podatke sve je veći od 1980. do 2001. godine.

3.7.2. Rezultati izračuna Weberovog visinskog kompeticijskog indeksa

Za kvantificiranje kompeticijske snage promatranog glavnog/referentnog stabla, Weberov visinski indeks koristi ukupne visine glavnog i konkurentnih stabala. Indeks može poprimiti vrijednosti između 0 i 1. On je jednak nuli kada su sva konkurentna stabla viša od glavnog stabla, odnosno jednak je jedinici kada su sva konkurentna stabla niža od glavnog stabla. Prema tomu, više vrijednosti indeksa znače da glavno stablo ima veću kompeticijsku snagu, odnosno manje konkurencije u svom okruženju. Indeks je računat u dvije varijante: samo s lužnjacima kao konkurentima te sa svim stablima kao kompetitorima.

Tabela 35. Weberov visinski kompeticijski indeks po dobnim razredima od 10 godina

Weberov visinski kompeticijski indeks	Dobni razred	n	Aritmet. sredina $\bar{x}$	Raspon		STDEV	CV (%)
				min	max		
CI2LL - lužnjak - lužnjak	4 (61 – 80)	10	0,402	0,000	1,000	0,417	103,6
	5 (81–100)	289	0,470	0,000	1,000	0,344	73,2
	6 (101–120)	302	0,469	0,000	1,000	0,365	77,8
	7 (121–140)	14	0,536	0,000	1,000	0,499	93,1
	Ukupno	615	0,470	0,000	1,000	0,359	76,4
CI2LS – lužnjak - sve vrste	4 (61 – 80)	11	0,698	0,250	1,000	0,275	39,4
	5 (81–100)	288	0,813	0,125	1,000	0,150	18,4
	6 (101–120)	306	0,837	0,333	1,000	0,138	16,5
	7 (121–140)	20	0,897	0,571	1,000	0,150	16,7
	Ukupno	625	0,826	0,125	1,000	0,149	18,0

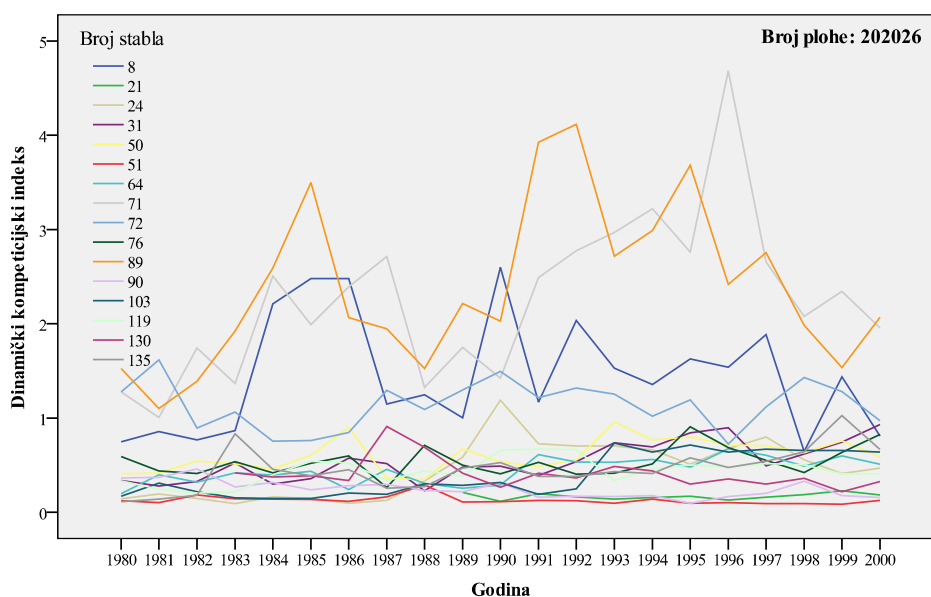
Rezultati izračuna Weberovog visinskog kompeticijskog indeksa prikazani po dobnim razredima širine 20 godina (Tabela 35) pokazuju jednake trendove kao i kod desetogodišnjih dobnih razreda (Tabela 36).

Tabela 36. Weberov visinski kompeticijski indeks po dobnim razredima od 10 godina

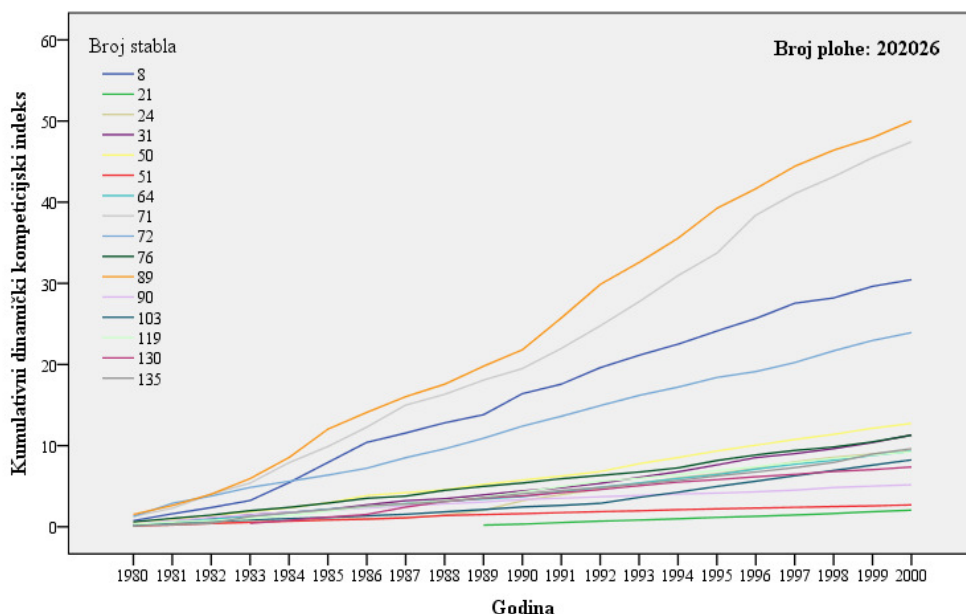
Weberov visinski kompeticijski indeks	Dobni razred	n	Aritmet. sredina $\bar{x}$	Raspon		STDEV	CV (%)
				min	max		
CI2LL - lužnjak - lužnjak	4b	10	0,402	0,000	1,000	0,417	103,6
	5a	122	0,465	0,000	1,000	0,348	75,0
	5b	167	0,474	0,000	1,000	0,342	72,1
	6a	196	0,479	0,000	1,000	0,360	75,1
	6b	106	0,450	0,000	1,000	0,376	83,4
	7a	4	0,625	0,000	1,000	0,479	76,6
	7b	10	0,500	0,000	1,000	0,527	105,4
	Ukupno	615	0,470	0,000	1,000	0,359	76,4
CI2LS - lužnjak – sve vrste	4b	11	0,698	0,250	1,000	0,275	39,4
	5a	122	0,784	0,125	1,000	0,168	21,4
	5b	166	0,835	0,273	1,000	0,132	15,8
	6a	198	0,812	0,333	1,000	0,150	18,5
	6b	108	0,883	0,600	1,000	0,095	10,8
	7a	4	0,953	0,875	1,000	0,060	6,3
	7b	16	0,883	0,571	1,000	0,163	18,5
	Ukupno	625	0,826	0,125	1,000	0,149	18,0

3.7.3 Rezultati izračuna Weberovog dinamičkog kompeticijskog indeksa

Svim stablima hrasta lužnjaka kojima su izvađeni izvrtci moguće je bilo pratiti kompeticijsku dinamiku u proteklih 20 godina. Weberov kompeticijski indeks koristi prirast temeljnice dobiven iz razlika prsnih promjera susjednih godina u razdoblju od 1980. do 2000. Indeks je izračunat za svaku godinu svakom glavnom lužnjakovom stablu za koje postoje podaci o širinama godova, te je izražen i kumulativno, počevši od 1980. godine. Na taj je način obrađeno 626 stabala koja su određena kao 'glavna'.

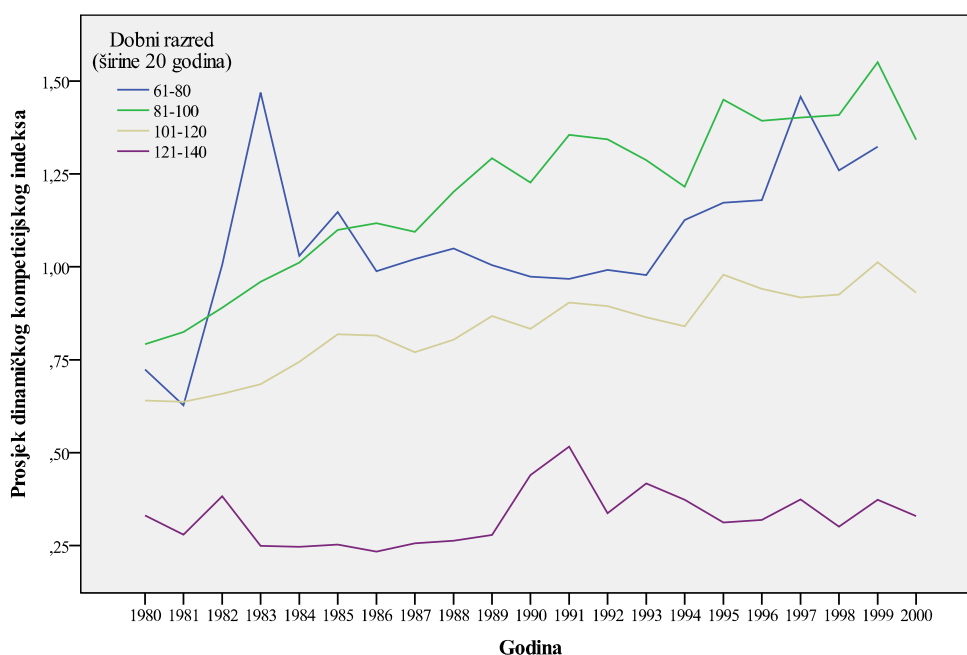
**Slika 60.** Kretanje dinamičkog kompeticijskog indeksa glavnih stabala na plohi 26

Prema tomu, varijacije u vrijednostima Weberovog kompeticijskog indeksa u direktnoj su vezi sa širinom goda određene godine, a time i s prsnim promjerom i temeljnicom iz čijeg je prirasta indeks i računat. Visoke vrijednosti indeksa predstavljaju jak pritisak konkurentnih stabala i male širine godova, odnosno prirast temeljnice. Većina glavnih stabala na primjeru plohe 26 imala je nisku razinu kompeticije, s vrijednostima indeksa manjim od 1 (Slika 60). Kada se vrijednosti izračunatog indeksa za svako stablo kumulativno zbrajaju počevši od 1980. godine, dobiju se za svaku godinu kumulativne vrijednosti dinamičkog kompeticijskog indeksa, kao zbir svih pojedinačnih indeksa do određene godine. Krivulje tih vrijednosti prikazane su na Slici 61. Konstantan rast krivulja, bez izraženih varijacija, predstavlja stabilne kompeticijske odnose u promatranom razdoblju. Visoke vrijednosti pak ukazuju na stabla koja rastu pod izraženijim pritiskom konkurenata. Na primjeru plohe 26 takvih je stabala bilo 4 od 16.



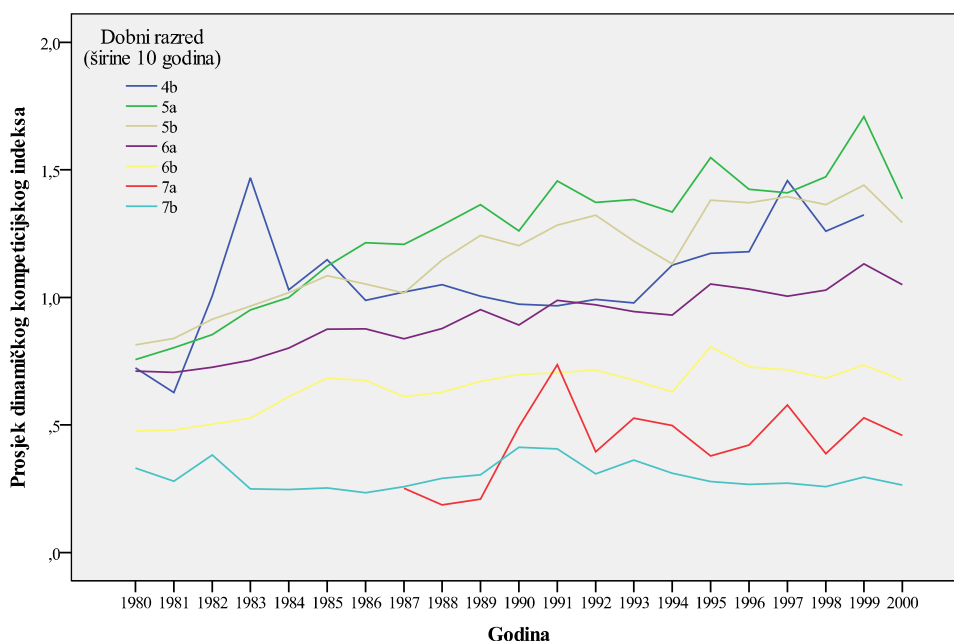
Slika 61. Kretanje kumulativnog dinamičkog kompeticijskog indeksa glavnih stabala na plohi 26

Na Slici 62 prikazano je kretanje srednjih vrijednosti dinamičkog kompeticijskog indeksa za sve plohe po dobnim razredima širine 20 godina.



Slika 62. Kretanje prosjeka dinamičkog kompeticijskog indeksa glavnih stabala po dobnim razredima od 20 godina

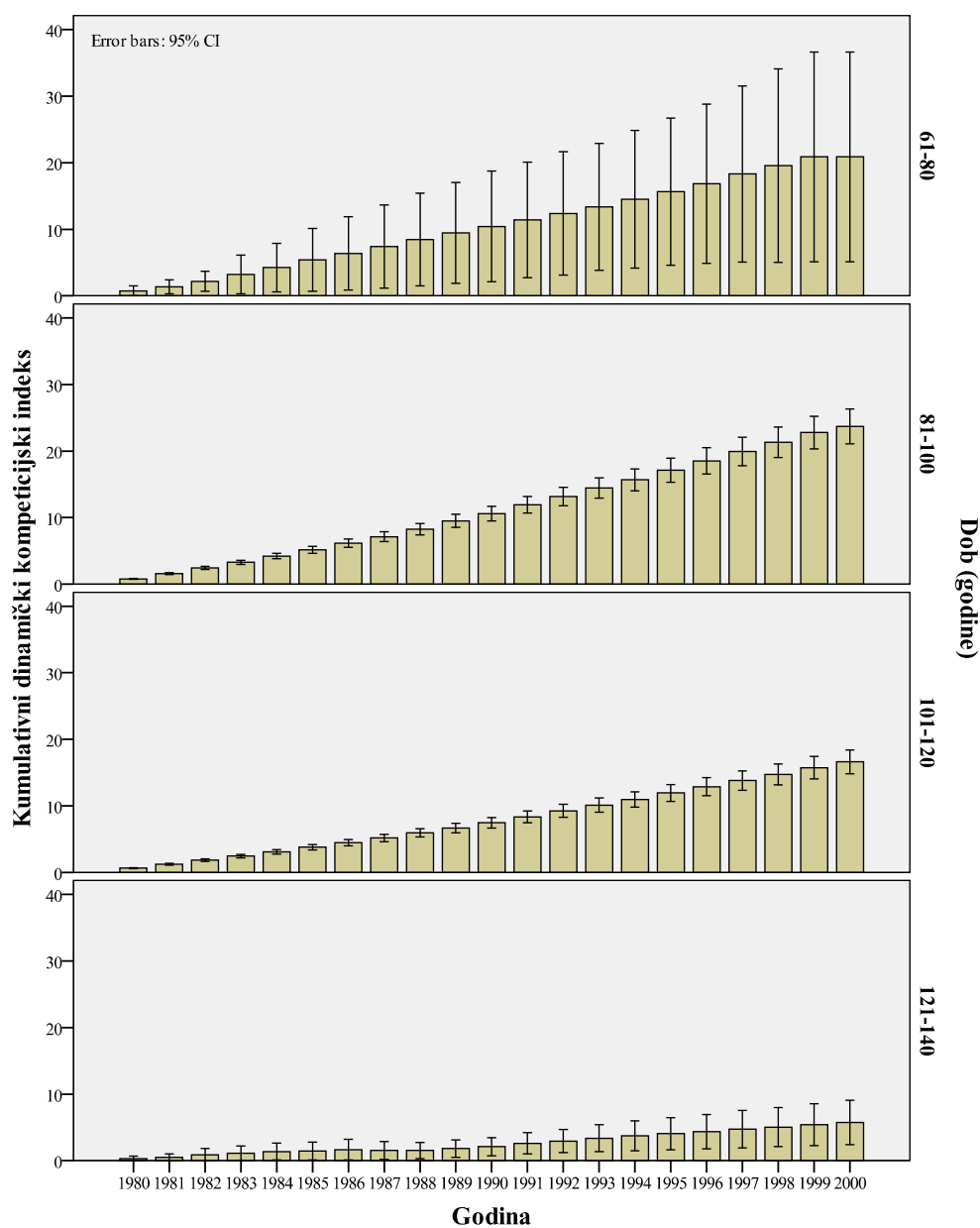
Krivulje prosječnih vrijednosti dinamičkog kompeticijskog indeksa od 1980. do 2000. za dvadesetogodišnje dobne razrede od 80 do 120 godina pokazuju trend porasta što znači da je u to vrijeme konkurencija među stablima bivala sve veća. Da su u to vrijeme vršene redovne prorede, konkurencija bi se zasigurno smanjila. U starosti preko 120 godina krivulja je relativno konstantne razine jer su u toj dobi već definirani konkurentski odnosi među stablima i nema više velikih promjena. Relativni odnosi među krivuljama pokazuju da mlađi dobni razredi imaju više vrijednosti kompeticijskog indeksa. Takav odnos vrijedi za sve dobne razrede osim najmlađeg (4) u kojem su samo dvije plohe starosti 61-80 g.



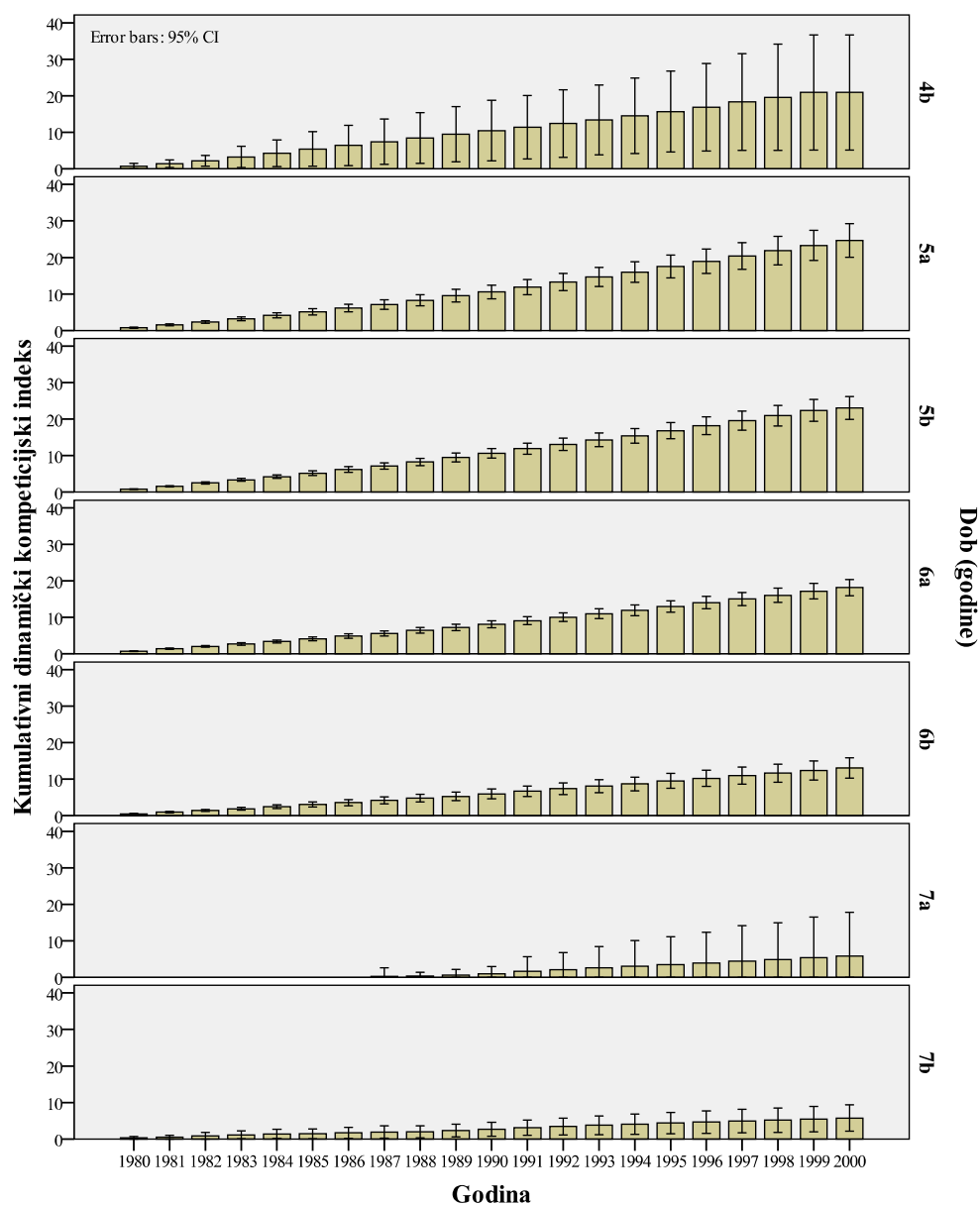
Slika 63. Kretanje prosjeka dinamičkog kompeticijskog indeksa glavnih stabala po dobnim razredima od 10 godina

Kod dobnih razreda širine 10 godina, svi dobni razredi osim 4b imaju jasno razdvojene krivulje dinamike kompeticijskog indeksa s vrijednostima najvišima u petom, a najnižim u sedmom dobnom razredu (Slika 63). I krivulja za četvrti dobni razred prati trend, ali su vrijednosti iste kao i kod dvadesetogodišnjih dobnih razreda, jer se obje predmetne plohe nalaze u 4b., a samim time i u 4. dobnom razredu. Dobni razredi s malim brojem ploha, odnosno glavnih stabala pokazuju i veće oscilacije u srednjim vrijednostima što je vidljivo za 4b i 7a dobni razred.

Prosječne vrijednosti kumulativnog dinamičkog kompeticijskog indeksa glavnih stabala po dobnim razredima širine 20 i 10 godina, 95%-tnim intervalom pouzdanosti prikazane su Slikama 64 i 65. Linearna regresija vrijednosti kumulativnih dinamičkih kompeticijskih indeksa po dobnim razredima širine 20 i 10 godina s pripadajućim parametrima prikazana je u Tabelama 37 i 38.



Slika 64: Prosječne vrijednosti kumulativnog dinamičkog kompeticijskog indeksa glavnih stabala po dobnim razredima od 20 godina



Slika 65. Prosječne vrijednosti kumulativnog dinamičkog kompeticijskog indeksa glavnih stabala po dobnim razredima od 10 godina

Tabela 37. Regresijska analiza kumulativnog kompeticijskog indeksa po dobnim razredima širine 20 godina

Dobni razred	R ²	Konstanta	<i>p</i>	Regresijski koeficijent	<i>p</i>
4 (61-80)	0,193	-2087,736	<0,001	1,054	<0,001
5 (81-100)	0,249	-2326,918	<0,001	1,175	<0,001
6 (101-120)	0,263	-1607,281	<0,001	0,812	<0,001
7 (121-140)	0,198	-556,248	<0,001	0,281	<0,001

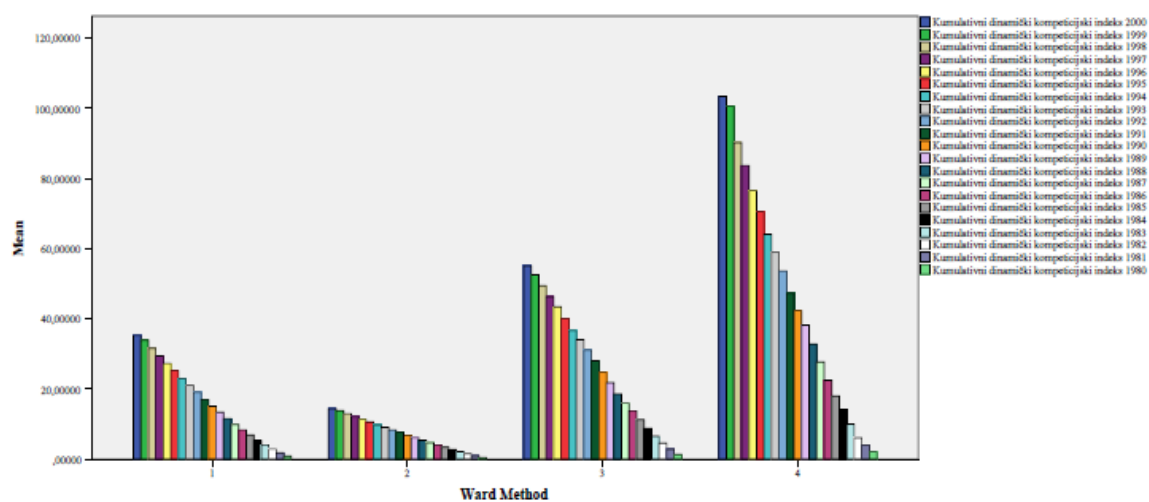
Tabela 38. Regresijska analiza kumulativnog kompeticijskog indeksa po dobnim razredima širine 10 godina

Dobni razred	R ²	Konstanta	<i>p</i>	Regresijski koeficijent	<i>p</i>
4b	0,193	-2087,736	<0,001	1,054	<0,001
5a	0,229	-2391,932	<0,001	1,208	<0,001
5b	0,266	-2282,286	<0,001	1,153	<0,001
6a	0,282	-1751,684	<0,001	0,885	<0,001
6b	0,232	-1269,989	<0,001	0,641	<0,001
7a	0,143	-914,473	<0,003	0,460	<0,003
7b	0,271	-551,048	<0,001	0,278	<0,001

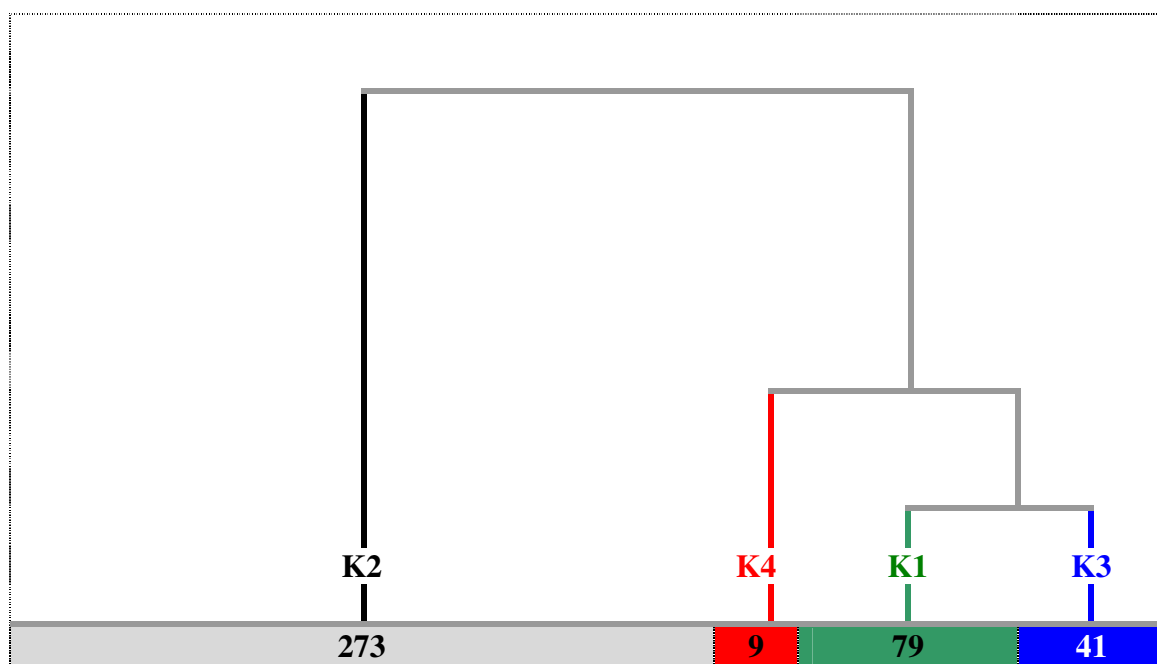
Regresijska analiza kumulativnog kompeticijskog indeksa po dobnim razredima širine 20 i 10 godina dala je koeficijente determinacije od 0,14 do 0,28 koji pokazuju pretežno srednju korelaciju prema Roemer – Orphalovoj skali. U 5. i 6. dobnom razredu koeficijenti determinacije su viši nego u 4. i 7. dobnom razredu.

3.8. Rezultati klasteriranja Weberovog dinamičkog kompeticijskog indeksa

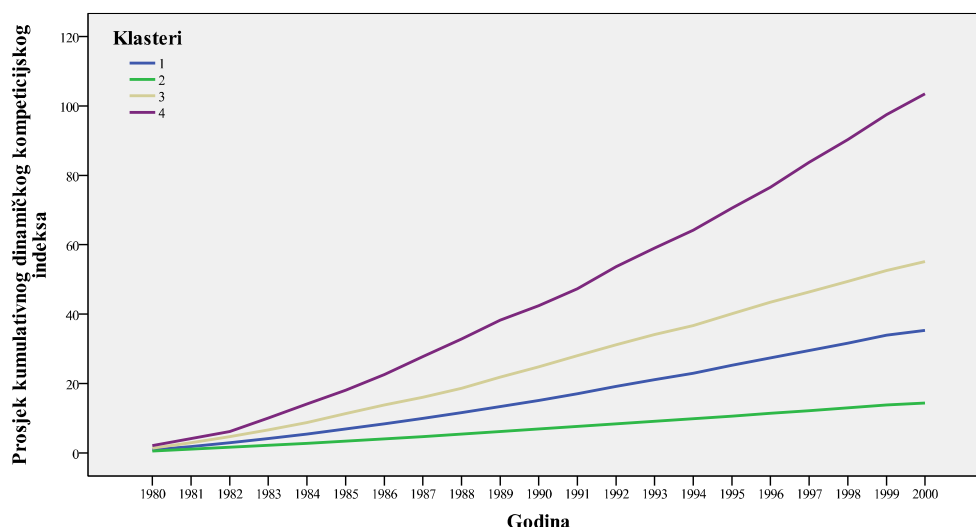
Od 626 glavnih stabala, njih 402 imaju potpune podatke o širinama godova za cijelo vremensko razdoblje 1980.-2000. i njihove su kumulativne kompeticijske krivulje poslužile za klastersku analizu, kako je to opisao Weber (2008). Wardovom metodom dobivena su 4 klastera kumulativnih kompeticijskih krivulja koji predstavljaju 4 različita kompetitivna obrasca rasta lužnjakovih stabala u razdoblju 1980.-2000. godine (Slike 66 i 67). Klasteriranje je izvršeno na temelju vrijednosti kumulativnih krivulja u svim promatranim godinama. S obzirom da je podjelom na dobne razrede već izvršeno određeno grupiranje podataka, uzimanjem u obzir i kompetitivne dinamike u promatranom razdoblju te njenim klasteriranjem, namjera je steći uvid u to koliko ti klasteri korespondiraju s konkretnim dobnim razredima.



Slika 66. Vrijednosti kumulativnog kompeticijskog indeksa po godinama (1980.-2000.) i za 4 dobivena klastera



Slika 67. Dendrogram klaster rješenja dobiven Wardovom metodom s kvadratom Euklidske udaljenosti kumulativnih dinamičkih kompeticijskih indeksa glavnih stabala, u razdoblju od 1980. do 2000. godine, s označenim brojem stabala u klasteru



Slika 68. Prosječne vrijednosti kumulativnog dinamičkog kompeticijskog indeksa glavnih stabala po klasterima i po godinama

Klasteriranjem dobivene 4 krivulje kumulativnog dinamičkog kompeticijskog indeksa jasno razdvajaju podatke na cijelom promatranom vremenskom razdoblju (Slika 68). Svojstva stabala koja su ušla u pojedini klaster prikazana su Tabelama 39 i 40.

Tabela 39. Klasteri i pripadajuća svojstva glavnih i konkurentnih stabala

Klaster	Broj stabala	Prosječna starost sastojine/ stabla na plohi	Srednji prsni promjer 2000.	Prosječna visina stabla	Prosječna dužina debla	Prosječni promjer krošnje	Prosječni prsni promjer konk. stabala	Prosječna visina konk. stabala	Prosječna širina krošnje konk. stabala	Prosječna udaljenost konk. stabala
		<i>god</i>	<i>cm</i>	<i>m</i>			<i>cm</i>	<i>m</i>		
1	79	97,4	38,24	28,97	16,49	5,63	44,23	29,85	7,26	6,99
2	273	101,0	46,03	30,57	16,27	7,55	46,26	30,55	7,51	7,26
3	41	96,4	34,62	28,78	18,15	4,91	44,88	30,59	7,28	6,85
4	9	92,8	28,18	25,94	14,78	4,51	43,00	29,04	7,14	6,71

Najveći broj glavnih stabala svrstan je u klaster 2. Njegove su karakteristike između ostalog najviša starost, najveći srednji prsni promjer te visina stabla, najveći promjer krošnje, ali i veća udaljenost do konkurentnih stabala nego kod ostalih klastera. Prosječni godišnji debljinski prirast je u klasteru 2 značajno viši nego kod ostalih klastera i iznosi preko 3mm godišnje tijekom cijelog razdoblja 1980.-2007.(Tabela 41). Takva svojstva navode na zaključak da su stabla u tom klasteru upravo ona koja su nosioci sastojine i njene produkcije te da će upravo unutar njih biti ona stabla koja će dočekati istek ophodnje odnosno sječivu dob. U daljnjem tekstu nazivat će se 'Alfa' stabla.

U klaster 1 ('Beta' stabla) svrstano je 79 glavnih stabala koja su manjih dimenzija nego 'Alfa' stabla i pod jačim su utjecajem konkurenata koji imaju veće promjere i širine krošanja.

Još manje prsne promjere i širine krošnje imaju stabla svrstana u klaster 3 ('Gama' stabla). Njihovi su konkurenti redom većih dimenzija, pa se može reći da su u odnosu na njih u podređenom položaju. Varijabla po kojoj se 'gama' stabla ističu je dužina debla (*HD*) koja je viša nego u ostalim klasterima.

U klaster 4 ('Delta' stabla) izlučen je mali broj glavnih stabala (9) koja su po svojim karakteristikama specifična. Ona potječu s ploha koje imaju prosječnu starost od 92,8 godina, ali sa srednjim prsnim promjerom tih stabala od samo 28,18 cm i visinom 25,94 m. Te su vrijednosti manje od onih koje se očekuju i upućuju na potisnuta stabla pod jakim utjecajem konkurentnih stabala koje imaju značajno veći prsni promjer (43 cm), visinu (29,04 m) i širinu krošnje (7,14 m).

Koliko se pojedina svojstva glavnih stabala i ploha/sastojina u kojima se nalaze, uopće razlikuju po klasterima pokazala je analiza varijance s rezultatima u Tabeli 40.

Tabela 40. Analiza varijance varijabli/svojstava stabala i ploha po klasterima

Varijabla/svojstvo	Klaster	Broj stabala	Aritmet. sredina $\bar{x}$	STDEV	F	df ₁ /df ₂	<i>p</i>
<i>ST_01</i> - Starost sastojine u kojoj se nalazi ploha (1.1.2001.) (god)	1	79	97,4	9,63	5,700	3/398	0,001
	2	273	101,0	10,46			
	3	41	96,4	8,75			
	4	9	92,8	8,51			
	Ukupno	402	99,6	10,28			
<i>H</i> - Ukupna visina stabla (m)	1	78	28,97	3,19	16,536	3/397	<0,001
	2	273	30,57	2,54			
	3	41	28,78	3,17			
	4	9	25,94	3,25			
	Ukupno	401	29,97	2,92			
<i>HD</i> - Visina do prve žive grane - dužina debla (m)	1	78	16,49	4,10	3,940	3/397	0,009
	2	273	16,27	3,46			
	3	41	18,16	3,36			
	4	9	14,78	4,54			
	Ukupno	401	16,47	3,64			
<i>DS</i> - Srednji prsni promjer stabla u prvom izmjeri (1.1.2000. ili 1.1.2001.) (cm)	1	79	38,24	5,00	53,032	3/398	<0,001
	2	273	46,03	8,51			
	3	41	34,62	5,09			
	4	9	28,18	4,97			
	Ukupno	402	42,93	8,94			
<i>SK</i> - Prosječni promjer krošnje (m)	1	79	5,63	1,39	34,142	3/398	<0,001
	2	273	7,55	2,36			
	3	41	4,91	1,53			
	4	9	4,51	1,06			
	Ukupno	402	6,84	2,36			

Tabela 40. - nastavak

Varijabla/svojstvo	Klaster	Broj stabala	Aritmet. sredina $\bar{x}$	STDEV	F	df ₁ /df ₂	p
ID_00_07 - Prosječni debljinski prirast 2007-2001/2000 (cm)	1	54	2,37	1,14	17,537	3/311	<0,001
	2	235	3,64	1,65			
	3	23	2,13	0,89			
	4	3	1,72	0,62			
	Ukupno	315	3,32	1,64			
BAI10 - Prirast temeljnice u posljednjih 10 godina od 2000/2001 (m ²)	1	79	0,01210	0,00408	73,483	3/398	<0,001
	2	273	0,02298	0,00945			
	3	41	0,00840	0,00281			
	4	9	0,00541	0,00209			
	Ukupno	402	0,01896	0,01002			
BRKL Broj konkurentnih lužnjaka	1	79	5,89	1,40	34,699	3/398	<0,001
	2	273	4,26	1,68			
	3	41	6,07	1,51			
	4	9	6,67	1,66			
	Ukupno	402	4,82	1,80			
BRKS Broj konkurentnih stabala	1	79	17,04	4,50	5,388	3/398	0,001
	2	273	14,95	5,26			
	3	41	17,20	3,70			
	4	9	17,00	5,15			
	Ukupno	402	15,63	5,06			
CI1LL01 - Statički kompeticijski indeks: Hegyi lužnjak-lužnjak 2001	1	79	1,084	0,247	152,791	3/398	<0,001
	2	273	0,644	0,258			
	3	41	1,265	0,257			
	4	9	1,802	0,388			
	Ukupno	402	0,820	0,379			
CI1LS01 - Statički kompeticijski indeks: Hegyi lužnjak-ostala 2001	1	79	1,810	0,475	72,635	3/398	<0,001
	2	273	1,304	0,458			
	3	41	2,089	0,472			
	4	9	2,839	0,755			
	Ukupno	402	1,518	0,583			
CI2LL - Statički kompeticijski indeks: Weber lužnjak-lužnjak	1	60	0,403	0,254	10,388	3/304	<0,001
	2	219	0,584	0,280			
	3	26	0,384	0,213			
	4	3	0,345	0,052			
	Ukupno	308	0,530	0,281			
CI2LS - Statički kompeticijski indeks: Weber lužnjak-ostala	1	78	0,742	0,144	17,555	3/397	<0,001
	2	273	0,828	0,139			
	3	41	0,711	0,155			
	4	9	0,627	0,136			
	Ukupno	401	0,795	0,150			
CEI_L - Clark-Evansov indeks - samo lužnjaci	1	79	1,302	0,084	0,469	3/398	0,704
	2	273	1,296	0,097			
	3	41	1,312	0,098			
	4	9	1,317	0,092			
	Ukupno	402	1,299	0,094			
CEI_S - Clark-Evansov indeks - sva stabla	1	79	1,072	0,073	1,853	3/398	0,137
	2	273	1,063	0,073			
	3	41	1,062	0,069			
	4	9	1,117	0,072			
	Ukupno	402	1,066	0,073			

Tabela 40. - nastavak

Varijabla/svojstvo	Klaster	Broj stabala	Aritmet. sredina $\bar{x}$	STDEV	F	df ₁ /df ₂	p
MI3 - "Mingling" indeks - 3 najbliža stabla	1	79	0,658	0,261	4,291	3/398	0,005
	2	273	0,752	0,268			
	3	41	0,642	0,252			
	4	9	0,630	0,261			
	Ukupno	402	0,720	0,268			
MI4 - "Mingling" indeks - 4 najbliža stabla	1	79	0,652	0,228	4,695	3/398	0,003
	2	273	0,733	0,241			
	3	41	0,616	0,217			
	4	9	0,639	0,283			
	Ukupno	402	0,703	0,241			
TI3 - Indeks diferencijacije prsnog promjera - 3 najbliža stabla	1	79	0,446	0,154	7,230	3/398	<0,001
	2	273	0,529	0,182			
	3	41	0,451	0,128			
	4	9	0,404	0,121			
	Ukupno	402	0,502	0,175			
TI4 - Indeks diferencijacije prsnog promjera - 4 najbliža stabla	1	79	0,447	0,141	7,717	3/398	<0,001
	2	273	0,520	0,165			
	3	41	0,437	0,121			
	4	9	0,404	0,109			
	Ukupno	402	0,494	0,159			
DSKL - Prosjek prsnih promjera konkurentnih lužnjaka (cm)	1	79	44,23	6,30	2,568	3/398	0,054
	2	273	46,26	7,00			
	3	41	44,89	5,64			
	4	9	43,00	6,69			
	Ukupno	402	45,65	6,77			
HKL - Prosjek visine konkurentnih lužnjaka (m)	1	79	29,85	2,73	2,833	3/398	0,038
	2	273	30,55	2,17			
	3	41	30,59	2,43			
	4	9	29,04	4,09			
	Ukupno	402	30,38	2,38			
SKKL - Prosjek širine krošnje konkurentnih lužnjaka (m)	1	79	7,26	1,71	0,601	3/398	0,615
	2	273	7,51	1,89			
	3	41	7,28	1,48			
	4	9	7,14	1,47			
	Ukupno	402	7,43	1,81			
DISKL - Prosjek udaljenosti konkurentnih lužnjaka (m)	1	79	6,99	0,71	4,842	3/398	0,003
	2	273	7,26	0,92			
	3	41	6,85	0,66			
	4	9	6,71	1,12			
	Ukupno	402	7,15	0,88			
DSKS - Prosjek prsnih promjera konkurentnih stabala (cm)	1	79	24,48	4,24	0,315	3/398	0,814
	2	273	24,32	6,12			
	3	41	25,14	4,80			
	4	9	25,25	2,44			
	Ukupno	402	24,46	5,60			
HKS - Prosjek visine konkurentnih stabala (m)	1	79	20,64	2,58	1,368	3/398	0,252
	2	273	20,43	3,18			
	3	41	21,40	3,00			
	4	9	21,23	2,50			
	Ukupno	402	20,59	3,04			

Tabela 40. - nastavak

Varijabla/svojstvo	Klaster	Broj stabala	Aritmet. sredina $\bar{x}$	STDEV	F	df ₁ /df ₂	p
SKKS - Prosjek širine krošnje konkurentnih stabala (m)	1	79	5,97	1,23	0,482	3/398	0,695
	2	273	6,14	1,39			
	3	41	6,20	1,12			
	4	9	5,89	1,47			
	Ukupno	402	6,11	1,33			
DISKS - Prosjek udaljenosti konkurentnih stabala (m)	1	79	6,79	0,58	1,524	3/398	0,208
	2	273	6,83	0,63			
	3	41	6,79	0,50			
	4	9	6,39	0,91			
	Ukupno	402	6,81	0,62			

Analiza varijance varijabli odnosno svojstava stabala i plohe/sastojine po klasterima pokazala je da su klasteri kod većine varijabli koje se odnose na glavna stabla i kompeticijske indekse signifikantno različiti. To se ne odnosi na Clark-Evansov indeks agregacije gdje bez obzira promatraju li se samo lužnjaci ili sva stabla, nema značajne razlike među klasterima. Isto tako kod većine varijabli koje se tiču konkurentnih stabala, nema značajne razlike među klasterima. U Tabeli 40 je značajnost označena crvenim u koloni 'p'.

Tabela 41. Prosječni godišnji debljinski prirast po klasterima

Klaster	Prosječni godišnji debljinski prirast				
	i _d 80-84	i _d 85-89	i _d 90-94	i _d 95-99	i _d 00-07
	mm				
1	2,50	2,47	2,08	2,10	2,37
2	3,36	3,64	3,21	3,28	3,64
3	2,02	1,86	1,59	1,56	2,13
4	1,73	1,51	1,39	1,11	1,72

Prosječni godišnji debljinski prirast iskazan za četiri petogodišnja razdoblja od 1980. do 2000. godine, pokazuje jasan trend smanjenja kod 1., 3. i 4. klastera. Kod 2 klastera taj je trend manje izražen. Za razdoblje od 6 ili 7 godina između dvije izmjere (2000. i 2007. godine) debljinski je prirast značajno viši kod svih klastera. S obzirom na dob sastojina, smanjenje širine goda od 1980.-2000. je očekivano, ali se ne može u potpunosti pripisati samo povećanju starosti već i inhibicijskim procesima koji vladaju u sastojinama koje se ne prorjeđuju. Budući da su se u razdoblju od 1980.-2000. godine u starijim sastojinama hrasta lužnjaka gospodarske jedinice Repaš – Gabajeva Greda vršile

pretežno sanitarne sječe, nije bilo adekvatnih proreda kojima bi se utjecalo na debljinski prirast. Nakon što je u razdoblju nakon 2000. godine bilo sječnih zahvata kojima se osim sušaca sjeklo i stabla koja igraju ulogu u konkurentskim odnosima među lužnjakovim stablima, očigledno je povećanje debljinskog prirasta.

Najveći skok u debljinskom prirastu vidljiv je u klasterima 3 i 4 u kojima je u razdoblju 2000.-2007. posječeno 46 odnosno 67% lužnjakovih stabala. U klasterima 1 i 2 povećanje prirasta je nešto manje, što je u skladu i s manjim sječnim zahvatima (posječeno 29 odnosno 11% stabala hrasta lužnjaka).

Tabela 42. Elementi strukture plohe/sastojine po klasterima – analiza varijance

Varijable NGV	Klaster	Broj stabala	Aritmet. sredina $\bar{x}$	STDEV	F	df ₁ /df ₂	p
NU - Ukupni broj stabala na plohi (po ha)	1	79	492,74	117,28	4,049	3/398	0,007
	2	273	457,90	112,05			
	3	41	483,32	87,20			
	4	9	553,92	144,56			
	Ukupno	402	469,49	112,90			
GU - Ukupna temeljnica na plohi (po ha)	1	79	35,00	3,70	0,728	3/398	0,536
	2	273	35,47	3,88			
	3	41	36,06	3,20			
	4	9	35,26	5,42			
	Ukupno	402	35,43	3,81			
VU - Ukupni volumen na plohi (po ha)	1	79	524,28	73,97	1,218	3/398	0,303
	2	273	539,84	67,46			
	3	41	542,67	70,37			
	4	9	523,51	103,98			
	Ukupno	402	536,70	70,04			
NL - Postotni udio lužnjaka u broju stabala na plohi	1	79	38,34	13,75	1,132	3/398	0,336
	2	273	36,13	11,61			
	3	41	37,86	9,79			
	4	9	40,90	22,53			
	Ukupno	402	36,85	12,22			
GL - Postotni udio lužnjaka u temeljnici na plohi	1	79	78,22	7,86	0,941	3/398	0,421
	2	273	77,07	7,81			
	3	41	78,81	6,93			
	4	9	78,60	10,85			
	Ukupno	402	77,51	7,81			
VL - Postotni udio lužnjaka u volumenu na plohi	1	79	85,44	6,34	1,147	3/398	0,330
	2	273	84,20	7,42			
	3	41	85,74	6,20			
	4	9	86,17	7,84			
	Ukupno	402	84,65	7,12			
NG - Postotni udio graba u broju stabala na plohi	1	79	42,57	16,71	0,648	3/398	0,585
	2	273	44,33	17,09			
	3	41	43,55	12,59			
	4	9	37,66	17,73			
	Ukupno	402	43,76	16,61			

Tabela 42. - nastavak

Varijable NGV	Klaster	Broj stabala	Aritmet. sredina $\bar{x}$	STDEV	F	df ₁ /df ₂	p
GG - Postotni udio graba u temeljnici na plohi	1	79	13,67	6,06	0,644	3/398	0,587
	2	273	14,72	7,59			
	3	41	13,72	5,03			
	4	9	13,40	7,21			
	Ukupno	402	14,38	7,07			
VG - Postotni udio graba u volumenu na plohi	1	79	8,65	4,05	1,126	3/398	0,338
	2	273	9,80	6,27			
	3	41	8,91	3,97			
	4	9	8,29	4,68			
	Ukupno	402	9,45	5,67			
NO - Postotni udio ostalog u broju stabala na plohi	1	79	19,09	15,64	0,109	3/398	0,955
	2	273	19,54	15,66			
	3	41	18,59	13,53			
	4	9	21,45	11,89			
	Ukupno	402	19,40	15,34			
GO - Postotni udio ostalog u temeljnici na plohi	1	79	8,12	7,57	0,136	3/398	0,939
	2	273	8,22	7,24			
	3	41	7,46	6,14			
	4	9	8,00	5,36			
	Ukupno	402	8,12	7,15			
VO - Postotni udio ostalog u volumenu na plohi	1	79	5,91	6,15	0,151	3/398	0,929
	2	273	6,00	6,00			
	3	41	5,35	5,09			
	4	9	5,54	4,68			
	Ukupno	402	5,90	5,90			

Analiza varijance varijabli koje opisuju plohu/sastojinu po pokazala je da od svih varijabli jedino ukupni broj stabala na plohi (NU) pokazuje signifikantnu različitost po klasterima (Tabela 42).

3.9. Ovisnost debljinskog prirasta o odabranim varijablama

3.9.1. Parcijalne linearne korelacije debljinskog prirasta i odabranih varijabli

U Tabeli 43 su prikazane odabrane varijable čije su nam vrijednosti poznate iz izmjere 2000./2001. i njihova korelacija s debljinskim prirastom ostvarenim u razdoblju 2000.-2007., kroz iskazani koeficijent korelacije (r). Među signifikantnima, negativnu korelaciju očekivano imaju varijable broj konkurentnih lužnjaka (BRKL) te Hegyijevi kompeticijski indeksi (CILL01 i CILS01)

Tabela 43. Korelacije odabranih varijabli i debljinskog prirasta hrasta lužnjaka u razdoblju 2000.-2007.g.

KORELACIJA IZMEĐU VARIJABLI I PROSJEČNOG GODIŠNJEG DEBLJINSKOG PRIRASTA (R) (signifikantna korelacija označena je crvenom bojom, p=0,05)		
Varijable koje su mjerene na terenu		ID_00_07
<i>H</i>	Visina stabla	0,41
<i>HD</i>	Visina do prve žive grane - dužina debla	0,02
<i>DS_2000</i>	Prsni promjer mjeran 2000.g.	0,50
<i>SK</i>	Širina krošnje	0,46
Varijable koje opisuju okruženje glavnih stabala		
<i>BRKL</i>	Broj konkurentnih lužnjaka	-0,14
<i>BRKS</i>	Ukupni broj konkurenata	-0,08
<i>DSKL</i>	Srednji prsni promjer konkurentnih lužnjaka	0,10
<i>HKL</i>	Srednja visina konkurentnih lužnjaka	0,13
<i>SKKL</i>	Srednja širina krošnje konkurentnih lužnjaka	0,08
<i>DISKL</i>	Srednja udaljenost do konkurentnih lužnjaka	0,17
<i>DSKS</i>	Srednji prsni promjer konkurentnih stabala	0,04
<i>HKS</i>	Srednja visina konkurentnih stabala	0,08
<i>SKKS</i>	Srednja širina krošnje konkurentnih stabala	0,13
<i>DISKS</i>	Srednja udaljenost do konkurentnih stabala	0,14
Varijable - statički kompeticijski indeksi		
<i>CI1LL01</i>	Hegyijev kompeticijski indeks - samo lužnjaci	-0,37
<i>CI1LS01</i>	Hegyijev kompeticijski indeks - sva stabla	-0,38
<i>CI2LL</i>	Weberov visinski kompeticijski indeks - samo lužnjaci	0,38
<i>CI2LS</i>	Weberov visinski kompeticijski indeks - sva stabla	0,36
Varijable - indeksi strukture sastojine		
<i>CEI_L</i>	Clark - Evansov agregacijski indeks - lužnjaci	-0,00
<i>CEI_S</i>	Clark - Evansov agregacijski indeks - sva stabla	-0,04
<i>MI3</i>	Indeks ispremiješnosti vrsta - 3 najbliža susjeda	0,05
<i>MI4</i>	Indeks ispremiješnosti vrsta - 4 najbliža susjeda	0,08
<i>TI3</i>	Indeks diferencijacije promjera - 3 najbliža susjeda	0,19
<i>TI4</i>	Indeks diferencijacije promjera - 4 najbliža susjeda	0,22
Varijable koje opisuju sastojinu (osnovni strukturni elementi)		
<i>NU</i>	Ukupni broj stabala po hektaru	-0,02
<i>GU</i>	Ukupna temeljnica po hektaru	0,06
<i>VU</i>	Ukupni volumen po hektaru	0,06
<i>NL</i>	Postotni udio lužnjaka po broju stabala	-0,09
<i>GL</i>	Postotni udio lužnjaka po temeljnici	-0,04
<i>VL</i>	Postotni udio lužnjaka po volumenu	-0,03
<i>NG</i>	Postotni udio graba po broju stabala	0,12

Tabela 43. - nastavak

GG	Postotni udio graba po temeljnici	0,12
VG	Postotni udio graba po volumenu	0,11
NO	Postotni udio ostalih vrsta po broju stabala	-0,07
GO	Postotni udio ostalih vrsta po temeljnici	-0,08
VO	Postotni udio ostalih vrsta po volumenu	-0,08

U Tabeli 44 su prikazane korelacije debljinskog prirasta za petogodišnja razdoblja od 1980.-2000. godine i varijabli čije se vrijednosti mogu pratiti u prošlost. Kako postoje podaci o širinama godova, poznati su prsni promjeri za svaku godinu. Nadalje, iz prsnih promjera glavnih stabala i konkurentnih lužnjaka izračunati su Hegyijevi kompeticijski indeksi za željene godine. Sve su korelacije prirasta i odgovarajućih varijabli signifikantne, ali slabe.

Tabela 44. Korelacije odabranih varijabli i debljinskog prirasta u razdoblju 1980.-2000.g.

KORELACIJA IZMEĐU VARIJABLI I PROSJEČNOG GODIŠNJEG DEBLJINSKOG PRIRASTA PO RAZDOBLJIMA (R) (signifikantna korelacija označena je crvenom bojom, $p=0,05$)					
Varijabla	Opis varijable	ID_80_84	ID_85_89	ID_90_94	ID_95_00
DS_1995	Prsni promjer 1995.g.				0,50
DS_1990	Prsni promjer 1990.g.			0,49	
DS_1985	Prsni promjer 1985.g.		0,41		
DS_1980	Prsni promjer 1980.g.	0,29			
CIILL95	Hegyijev kompeticijski indeks 1995. g.				-0,41
CIILL90	Hegyijev kompeticijski indeks 1990. g.			-0,38	
CIILL85	Hegyijev kompeticijski indeks 1985. g.		-0,33		
CIILL80	Hegyijev kompeticijski indeks 1980. g.	-0,15			

Prsni promjeri u predmetnim godinama imaju koeficijente korelacije s debljinskim prirastom u rasponu od 0,29-0,50 što je prema Roemer-Orphalovoj skali za tri promatrana razdoblja srednja korelacija dok je za razdoblje 1980.-1984. ona slaba. Hegyijevi kompeticijski indeksi za iste godine imaju nešto nižu korelaciju s prirastom dok je za 1980. godinu ona prema skali jako slaba.

3.9.2. Modeliranje debljinskog prirasta

Modeli debljinskog prirasta dobiveni regresijskom analizom podijeljeni su nekoliko skupina, ovisno koje su varijable uzimane kao inicijalni prediktori. Modeliranjem su isprobane različite kombinacije predmetnih varijabli kao inicijalnih prediktora. Analizom dobivenih modela kroz promatranje njegovih karakteristika (značajnost, koeficijent determinacije, distribucija reziduala, logička smislenost...) odabrani su oni koji objašnjavaju debljinski prirast u zadovoljavajućoj mjeri. Od ukupno 29 modela (*ID_1* – *ID_29*) kao prihvatljivo je odabrano njih 8. U Tabeli 45 prikazan je način njihovog označavanja te na kojem su setu podataka napravljeni.

Tabela 45. Pregled izrađenih modela debljinskog prirasta

Naziv modela	Inicijalni prediktori	Broj inicijalnih varijabli	Broj varijabli u modelu	Set podataka (N)
<i>ID_1</i>	Mjerene varijable	4	4	Sva stabla (1235)
<i>ID_3</i>	Mjerene varijable	2	2	Sva stabla (1235)
<i>ID_14</i>	Statički indeksi	4	3	Glavna stabla (499)
<i>ID_19</i>	Varijable iz više skupina	7	6	Glavna stabla (499)
<i>ID_26</i>	Varijable iz više skupina	18	5	Glavna stabla (499)
<i>ID_27</i>	Varijable iz više skupina	19	7	Glavna stabla (499)
<i>ID_α</i>	Varijable iz više skupina	7	3	Alfa stabla (239)
<i>ID_5d</i>	Varijable iz više skupina	7	4	Glavna stabla u 5. dob.raz. (247)

Modeli s mjerenim varijablama kao prediktorima

Prva skupina varijabli za koju je vršena regresijska analiza bile su one koje su izravno mjerene na terenu, a to su prsni promjer (*DS*), visina (*H*), dužina debla (*HD*) i širina krošnje (*SK*). S obzirom na korelaciju s debljinskim prirastom, te varijable (izuzev dužine debla) imaju veću vjerojatnost da budu jaki prediktori. Kako bi se ustanovio 'referentni' koeficijent determinacije (R^2), u modeliranju se krenulo od samo jedne varijable kao prediktora. Od 4 promatrane varijable jedino za dužinu debla (*HD*) analiza je pokazala da nema regresije, na što je upućivala već i nesignifikantna korelacija. *DS*, *H* i *SK*, svaki u svom modelu, daju koeficijente determinacije od 0,248, 0,165 i 0,209. Dakle,

prсни promjer daje najviši koeficijent determinacije kada je jedina varijabla u modelu i njime je objašnjeno 24,8% varijabiliteta. Kada se kao inicijalne prediktorske varijable uvrste sve 4 mjerene veličine, u modelu (*backward stepwise* metodom) ostanu sve, pa i dužina debla, ali s najmanjim utjecajem (najmanji standardizirani regresijski koeficijent – β). Takav model (nazvan *Model ID_1*) sa svojim parametrima prikazan je Tabelom 46.

Tabela 46. Regresijski model značajnih prediktora procjene debljinskog prirasta lužnjakovih stabala – *Model ID_1*

<i>Model ID_1</i>	Prediktori	Koeficijenti				
		B ^d	SE B ^c	β^f	t ^g	p ^h
N ^a = 1235	Konstanta	-3,337	0,525		-6,358	<0,001
p ^b < 0,001	H	0,103	0,024	0,149	4,324	<0,001
R ² ^c = 28,1%	HD	0,040	0,016	0,072	2,562	0,011
	DS	0,046	0,009	0,243	5,072	<0,001
	SK	0,154	0,030	0,218	5,189	<0,001

^a broj stabala, ^b značajnost modela, ^c koeficijent determinacije, ^d regresijski koeficijent, ^e pogreška regresijskog koeficijenta, ^f standardizirani regresijski koeficijent, ^g test statistika, ^h značajnost test statistike. H visina stabla HD dužina debla, DS prсни promjer SK širina krošnje

U *Modelu ID_1* koji objašnjava 28,1% debljinskog prirasta najjači je prediktor prсни promjer ($\beta=0,243$), zatim slijede širina krošnje, visina i na kraju dužina debla. Za razliku od referentnog koeficijenta determinacije dobivenog samo s prsnim promjerom u modelu, u *Modelu ID_1* taj je koeficijent uvrštenjem preostale tri varijable popravljen apsolutno za 3,3%, ali relativno za 13,3%.

Izraz za debljinski prirast po *Modelu ID_1* izgleda kako slijedi (18)

$$ID_1 = -3,337 + 0,103 \cdot H + 0,040 \cdot HD + 0,046 \cdot DS + 0,154 \cdot SK \quad (18)$$

Kada se kao inicijalni prediktor izostavi dužina debla, sve preostale tri varijable opstaju u modelu i koeficijent determinacije se u odnosu na *Model ID_1* apsolutno smanji za 0,3%. Uvrštenjem samo prsnog promjera i visine stabla u prediktore, model izgubi dodatnih 1,3% u koeficijentu determinacije (*Model ID_3*). S obzirom da su to dvije varijable koje se najčešće mjere u šumarskoj operativi, *Model ID_3* ima svoju praktičnu vrijednost (Tabela 47). Određivanje dužine debla, a naročito širine krošnje značajno poskupljuje pridobivanje podataka pa je korištenje modela s tim varijablama teže provedivo u praksi.

Tabela 47. Regresijski model značajnih prediktora procjene debljinskog prirasta lužnjakovih stabala – *Model ID_3*

<i>Model ID_3</i>	Prediktori	Koeficijenti				
		B ^d	SE B ^e	β^f	t ^g	p ^h
N ^a = 1235	Konstanta	-3,190	0,530		-6,022	<0,001
p ^b < 0,001	H	0,114	0,021	0,166	5,408	<0,001
R ² ^c = 26,5%	DS	0,076	0,006	0,398	13,019	<0,001

^a broj stabala, ^b značajnost modela, ^c koeficijent determinacije, ^d regresijski koeficijent, ^e pogreška regresijskog koeficijenta, ^f standardizirani regresijski koeficijent, ^g test statistika, ^h značajnost test statistike.
H visina stabla, DS prsni promjer

Modeli s ostalim kombinacijama izravno mjerenih varijabli nisu dali zadovoljavajuće rezultate.

Modeli s varijablama koje opisuju okruženje glavnih stabala

Sljedeća skupina varijabli (varijable okruženja) su one koje se odnose na konkurentna stabla iz okruženja promatranog glavnog stabla i koje opisuju dimenzije tih stabala te njihovu udaljenost do glavnog stabla, odvojeno promatrajući lužnjake i sve vrste drveća kao konkurente. Modeliranje debljinskog prirasta uz samo tu skupinu varijabli dalo je niske vrijednosti koeficijenta determinacije koji nije prelazio 6% pa zbog njihove vrlo niske pouzdanosti primjena nije opravdana. Međutim, u kombinaciji s nekim drugim varijablama, pojedine varijable iz ove skupine mogu naći svoje mjesto u pouzdanijim modelima, o čemu će kasnije biti riječi.

Modeli sa statičkim indeksima kao prediktorskim varijablama

Treća skupinu varijabli čine 4 kompeticijska indeksa, Hegyijev za lužnjake i za sva stabla kao konkurente (*CIILL01* i *CIILS01*) i Weberov visinski indeks, također za lužnjake i sva stabla kao konkurente (*CI2LL* i *CI2LS*). Kombiniranjem inicijalnih prediktorskih varijabli u modelu redovito nije opstajao *CI2LS*, premda je imao koeficijent korelacije s prirastom gotovo jednak kao i ostali indeksi. *Model ID_14*, koji je imao sve 4 varijable kao inicijalne prediktore, od kojih su tri ostale u modelu, prikazan je u Tabeli 48.

Tabela 48. Regresijski model značajnih prediktora procjene debljinskog prirasta lužnjakovih stabala – *Model ID_14*

Model ID_14	Prediktori	Koeficijenti				
		B ^d	SE B ^e	β ^f	t ^g	p ^h
N ^a = 499	Konstanta	4,416	0,245		18,038	<0,001
p ^b < 0,001	CI1LL01	-0,866	0,315	-0,167	-2,748	0,006
R ² ^c = 24,0%	CI1LS01	-0,618	0,208	-0,181	-2,975	0,003
	CI2LL	1,620	0,210	0,308	7,716	<0,001

^a broj stabala, ^b značajnost modela, ^c koeficijent determinacije, ^d regresijski koeficijent, ^e pogreška regresijskog koeficijenta, ^f standardizirani regresijski koeficijent, ^g test statistika, ^h značajnost test statistike. CI1LL01 Hegyijev kompeticijski indeks – samo lužnjaci kao konkurenti CI1LS01 Hegyijev kompeticijski indeks – sve vrste kao konkurenti, CI2LL Weberov visinski indeks – samo lužnjaci kao konkurenti

Modeli s prediktorskim varijablama iz različitih skupina

Objek preostale skupine varijabli (indeksi strukture sastojine i varijable osnovnih elemenata strukture sastojine (*N*, *G* i *V*)) ne odnose se na pojedinačna stabla, već na plohu/sastojinu. Parcijalne korelacije tih varijabli i debljinskog prirasta su relativno niske i prema očekivanju modeliranjem su dobivene niske vrijednosti koeficijenata determinacije koje nisu prelazile 8%. Stoga upotrebom samo varijabli iz ovih skupina nisu dobiveni zadovoljavajući modeli. Kombiniranjem varijabli iz prve i druge skupine u modelu su redovito opstajale varijable izravno mjerene na terenu što je potvrdilo njihovu predikcijsku superiornost prema varijablama koje opisuju okruženje. Međutim, kada se modelu ponude i varijable kompeticijskih indeksa, u *Modelu ID_19* opstaju varijable iz sve tri skupine, uz koeficijent determinacije od 35,7% (Tabela 49).

Tabela 49. Regresijski model značajnih prediktora procjene debljinskog prirasta lužnjakovih stabala – *Model ID_19*

Model ID_19	Prediktori	Koeficijenti				
		B ^d	SE B ^e	β ^f	t ^g	p ^h
N ^a = 499	Konstanta	-2,134	0,880		-2,425	0,016
p ^b < 0,001	H	0,089	0,034	0,132	2,645	0,008
R ² ^c = 35,7%	DS	0,042	0,014	0,225	2,959	0,003
	SK	0,113	0,044	0,161	2,565	0,011
	BRKL	0,173	0,066	0,177	2,618	0,009
	CI1LL01	-1,105	0,414	-0,214	-2,669	0,008
	CI2LL	0,660	0,223	0,126	2,959	0,003

^a broj stabala, ^b značajnost modela, ^c koeficijent determinacije, ^d regresijski koeficijent, ^e pogreška regresijskog koeficijenta, ^f standardizirani regresijski koeficijent, ^g test statistika, ^h značajnost test statistike. H visina stabla, DS prsni promjer SK širina krošnje, BRKL broj konkurentnih lužnjaka, CI1LL01 Hegyijev kompeticijski indeks – samo lužnjaci kao konkurenti, CI2LL Weberov visinski indeks – samo lužnjaci kao konkurenti

Prihvatljivi model debljinskog prirasta dobiven je i kada su kao inicijalne prediktorske varijable uzete sve one koje se odnose na pojedinačna stabla (varijable mjerene na terenu, varijable okruženja, statički indeksi). Od njih 18 u modelu je opstalo 5 (Tabela 50).

Tabela 50. Regresijski model značajnih prediktora procjene debljinskog prirasta lužnjakovih stabala – *Model ID_26*

Model ID_26	Prediktori	Koeficijenti				
		B ^d	SE B ^e	β^f	t ^g	p ^h
N ^a = 499	Konstanta	-2,745	0,790		-3,475	<0,001
p ^b < 0,001	H	0,107	0,034	0,158	3,107	0,002
R ² ^c = 36,2%	HD	0,051	0,022	0,094	2,315	0,021
	DS	0,070	0,013	0,377	5,207	<0,001
	SK	0,145	0,043	0,206	3,357	<0,001
	DSKL	-0,043	0,009	-0,184	-4,582	<0,001

^a broj stabala, ^b značajnost modela, ^c koeficijent determinacije, ^d regresijski koeficijent, ^e pogreška regresijskog koeficijenta, ^f standardizirani regresijski koeficijent, ^g test statistika, ^h značajnost test statistike. H visina stabla HD dužina debla, DS prsni promjer SK širina krošnje, DSKL prosječni promjer konkurentnih lužnjaka

U ovom modelu najjači prediktor je prsni promjer, a najslabiji dužina debla. Negativnu vrijednost koeficijenta ima prsni promjer konkurentnih lužnjaka, što je i logično.

Posljednji testirani model je onaj koji uz varijable stabla uključuje i starost plohe/sastojine u kojem se nalazi pojedino stablo. Ovdje se pretpostavlja da je stablo jednake starosti kao i sastojina, premda s tim treba biti oprezan. U situaciji kada bi se točno znalo kolika je starost svakog pojedinog stabla, starost bi kao prediktor mogla imati i značajniju ulogu. Ovo je izvedivo u umjetno podignutim sastojinama, kulturama i plantažama kada je poznata točna starost sadnog materijala i godina sadnje.

U testiranju je ispitano i koliki koeficijent determinacije ima model s varijablom starosti ako je ona jedini prediktor. Dobivena vrlo niska vrijednost od 0,4% ne daje pouzdan model, ali kao dodatna varijabla uz niz onih koje se odnose na pojedina stabla, ipak doprinosi pouzdanosti *Modela ID_27* (Tabela 51). Uz iste inicijalne prediktore kao i kod *Modela ID_26*, nove varijable koje su opstale u *Modelu ID_27* su starost (*ST_01*), Weberov visinski indeks – sve vrste kao konkurenti (*CI2LS*) i prosječni prsni promjer konkurentnih stabala (*DSKS*) dok se u modelu nije zadržala visina stabla (*H*).

Tabela 51. Regresijski model značajnih prediktora procjene debljinskog prirasta lužnjakovih stabala – *Model ID_27*

Model ID_27	Prediktori	Koeficijenti				
		B ^d	SE B ^e	β^f	t ^g	p ^h
N ^a = 499	Konstanta	-0,989	0,842		-1,174	0,241
p ^b < 0,001	ST_01	-0,025	0,007	-0,147	-3,358	<0,001
R ² ^c = 37,3%	HD	0,071	0,021	0,130	3,452	<0,001
	DS	0,077	0,012	0,416	6,375	<0,001
	SK	0,157	0,044	0,223	3,551	<0,001
	CI2LS	1,926	0,628	0,144	3,069	0,002
	DSKL	-0,024	0,011	-0,104	-2,194	0,029
	DSKS	0,032	0,014	0,102	2,341	0,020

^a broj stabala, ^b značajnost modela, ^c koeficijent determinacije, ^d regresijski koeficijent, ^e pogreška regresijskog koeficijenta, ^f standardizirani regresijski koeficijent, ^g test statistika, ^h značajnost test statistike. ST_01 starost sastojine/plohe, HD dužina debla DS prsni promjer SK širina krošnje, CI2LS Weberov visinski indeks – sve vrste drveća kao konkurenti, DSKL prosječni prsni promjer konkurentnih lužnjaka, DSKS prosječni prsni promjer svih konkurenata

Modeli na razini klastera i dobnih razreda

S obzirom da je na temelju kompeticijske dinamike u prethodnih 20 godina izvršeno klasteriranje stabala, modeliranje debljinskog prirasta testirano je i po klasterima. Za Beta, Gama i Delta stabla modeli nisu bili prihvatljivi radi premalog uzorka, premda je koeficijent determinacije za Gama stabla bio gotovo jednake vrijednosti (21,3%) kao i u prihvatljivom modelu za klaster Alfa stabala (*Model ID_α*, Tabela 52).

Tabela 52. Regresijski model značajnih prediktora procjene debljinskog prirasta lužnjakovih Alfa stabala – *Model ID_α*

Model ID_α	Prediktori	Koeficijenti				
		B ^d	SE B ^e	β^f	t ^g	p ^h
N ^a = 239	Konstanta	-2,219	1,151		-1,927	0,055
p ^b < 0,001	H	0,104	0,040	0,162	2,601	0,010
R ² ^c = 21,7%	SK	0,271	0,044	0,384	6,158	<0,001
	BRKL	0,135	0,056	0,141	2,402	0,017

^a broj stabala, ^b značajnost modela, ^c koeficijent determinacije, ^d regresijski koeficijent, ^e pogreška regresijskog koeficijenta, ^f standardizirani regresijski koeficijent, ^g test statistika, ^h značajnost test statistike. H visina stabla, SK širina krošnje, BRKL broj konkurentnih lužnjaka

Bez obzira na pripadnost pojedinom klasteru, podaci su grupirani po dobnim razredima pa je za dva najzastupljenija (5. i 6.) testirano modeliranje debljinskog prirasta s onim inicijalnim prediktorskim varijablama koje su se pokazale kao jaki prediktori u

ostalim modelima. U modelu za 5. dobni razred (*Model ID_5d*)u kojem su opstale 4 varijable (*H*, *DS*, *SK*, *CI2LL*) postignut je koeficijent determinacije od 47,9% što je relativno visoka vrijednost u odnosu na ostale modele (Tabela 53).

Tabela 53. Regresijski model značajnih prediktora procjene debljinskog prirasta lužnjakovih stabala – *Model ID_5d*

<i>Model ID_5d</i>	Prediktori	Koeficijenti				
		B ^d	SE B ^e	β^f	t ^g	p ^h
N ^a = 247	Konstanta	-4,629	0,993		-4,664	<0,001
p ^b < 0,001	<i>H</i>	0,126	0,040	0,190	3,128	0,002
R ² ^c = 47,9%	<i>DS</i>	0,048	0,019	0,218	2,544	0,012
	<i>SK</i>	0,266	0,064	0,312	4,139	<0,001
	<i>CI2LL</i>	0,923	0,305	0,160	3,022	0,003

^a broj stabala, ^b značajnost modela, ^c koeficijent determinacije, ^d regresijski koeficijent, ^e pogreška regresijskog koeficijenta, ^f standardizirani regresijski koeficijent, ^g test statistika, ^h značajnost test statistike. *H* visina stabla, *DS* prsni promjer, *SK* širina krošnje, *CI2LL* Weberov visinski indeks – samo lužnjaci kao konkurenti

Među odabranim varijablama, najjači prediktor debljinskog prirasta u 5. dobnom razredu je širina krošnje, potom prsni promjer, visina i na kraju Weberov visinski kompeticijski indeks. Uz iste inicijalne prediktore, u modelu za 6. dobni razred u modelu je opstao jedino prsni promjer, uz R²=0,294.

4. RASPRAVA

4.1. Mogućnosti korištenja indeksa sastojine

Svaki od tri upotrijebljena indeksa strukture sastojine kvantificira na svoj način prostorne odnose. Kod Clark – Evansovog indeksa agregacije promatra se pravilnost u prostornom rasporedu, kod indeksa ispremiješanosti vrsta težište je na obliku bioraznolikosti jer se promatra u kojoj mjeri različite vrste drveća dijele zajednički životni prostor. Indeks diferencijacije promjera pak promatra dimenzije (prsne promjere) najbližih susjednih stabala i pokazuje u kojoj su mjeri oni različiti.

Rezultati izračunatog Clark – Evansovog indeksa agregacije na podacima sa 45 ploha pokazuju da taj indeks ima vrijednosti 0,89-1,28 i ima blagu tendenciju rasta (Slika 46). Međutim, kada se promatra prostorni raspored samo lužnjakovih stabala, tada vrijednosti indeksa agregacije ukazuju na veću pravilnost u rasporedu, a porastom starosti sastojina do 130 godina vrijednosti se praktički ne mijenjaju, odnosno linija izjednačenja ima zanemariv nagib. Iz toga se može zaključiti da stabla hrasta lužnjaka u promatranim sastojinama već u starosti od 70 godina postižu stupanj pravilnosti prostornog rasporeda koji zadržavaju do kraja ophodnje. Dobiveni rezultati donekle su usporedivi s radom Marjanovića i dr.(2006), koji istražuje kretanje tog indeksa u starijim sastojinama hrasta lužnjaka i običnoga graba na prostoru središnje Hrvatske. Njegovi rezultati pokazuju da se vrijednost indeksa kreće u rasponu 0,8-1,2 što ukazuje na slučajnost prostornog rasporeda kada se promatraju sva stabla u sastojini. Prema njemu, trend blagog porasta pravilnosti u starijim sastojinama nije dovoljno izražen da bi ga se moglo smatrati značajnim. Nadalje, Stoyan i Penttinen (1998) istraživali su sastojine u različitim razvojnim fazama i zaključili da stare sastojine imaju tendenciju prema slučajnom rasporedu stabala.

Indeks ispremiješanosti vrsta prema rezultatima u Tabelama 29 i 30 te na Slici 47 ne daje mogućnost za čvrste zaključke. Velika varijabilnost u prisutnosti običnoga graba i ostalih vrsta po ploham utjecali su u tolikoj mjeri na rezultate da se ne uočava trend u kretanju vrijednosti indeksa, premda bi očekivano bilo da su vrijednosti s povećanjem starosti sve više. To stoga jer povećanjem starosti smanjuje se broj lužnjakovih stabala, a samim time i povećava vjerojatnost da su tri ili četiri najbliža susjedna stabla grabovi, ili neka druga prateća vrsta koja tvori podstojnu etažu, s mnogo tankih stabala.

Indeks diferencijacije promjera za najveći dio istraživanih sastojina ima približne vrijednosti i kod dvadesetogodišnjih dobnih razreda iznosi između 0,40 i 0,42 za 5, 6, i 7. razred. Prema Pommereningu (2002) te vrijednosti predstavljaju prosječnu diferencijaciju promjera. Bez obzira uzimaju li se u obzir tri ili četiri najbliža stabla, dobni razredi po 10 ili 20 godina širine, vrijednost indeksa ostaje u istim granicama s vrlo malim razlikama. Nešto niže vrijednosti (0,29) u 4. dobnom razredu gdje su razlike među prsnim promjerima susjednih stabala manje, objašnjive su manjim rasponom prsnih promjera u mlađim sastojinama. Zaključak koji se nameće je da se negdje na granici 4. i 5. dobno razreda sastojina toliko stabilizira da se vrijednosti indeksa diferencijacije više značajno ne mijenjaju.

Indeksi ispremiješivosti vrsta i diferencijacije promjera koriste metodu tri ili četiri najbliža susjeda kod izračuna. Nedostatak te metode može biti u slučaju velike udaljenosti među stablima, kada je upitno postoji li među njima uopće interakcije, dok mala udaljenost među stablima implicira jaku interakciju. Pommerening (2002) naglašava kako je metoda uzimanja u obzir tri ili četiri najbliža susjeda praktična u slučajevima kada se ne snimaju lokacije svih stabala, već ciljano samo udaljenost od prvih susjeda. Stoga je i razvijena metoda uzorkovanja putem 'strukturne četvorke' (Slika 2) koja bez velikih troškova izmjere daje uvid i u taj segment strukture sastojine. Izračuni indeksa ispremiješivosti vrsta i diferencijacije promjera mogli bi se izvoditi i iz trenutno korištenih primjernih krugova u uređajnoj inventuri, kada bi se osim prsnih promjera, izmjerila i udaljenost najbližih stabala u odnosu na referentno stablo.

Tri indeksa strukture sastojine obrađena u disertaciji mogu poslužiti kao dodatni pokazatelji njene strukture, preko kojih se mogu uočiti naizgled neprimjetne promjene u prostornim odnosima među vrstama drveća, te pomoću kojih se mogu uspoređivati sastojine. Podjela na dobne razrede širine 10 godina nije se pokazala kao korak naprijed u razmatranju kretanja vrijednosti izračunatih indeksa sastojine, što zbog nepouzdanosti podataka o točnoj starosti svake sastojine/plohe, ali i zbog relativno malih razlika u strukturi promatranih starijih sastojina. Primjena klasične širine dobnih razreda od 20 godina pokazala se dovoljno dobrom u predmetnom kontekstu.

Ono što čini ovdje obrađene indekse strukture sastojine teže primjenjivima jest nužnost poznavanja prostornog rasporeda stabala na plohi, odnosno u sastojini. To poskupljuje postupak pridobivanja podataka i za sada je provedivo jedino u istraživanjima,

koja su ograničenog opsega. Intenzivniji procesi rasta i razvoja u mlađim dobnim razredima sastojina hrasta lužnjaka i običnoga graba zasigurno bi pokazali i značajnije promjene u vrijednostima indeksa nego što je to slučaj u starijim sastojinama, što se dijelom može zaključiti i u radu Marjanovića (2009), no to je predmet budućih istraživanja.

4.2. Statički kompeticijski indeksi

Dva statička kompeticijska indeksa korištena u istraživanju (Hegyijev i Weberov) zasnivaju se na dvije varijable koje se najčešće mjere u uređajnoj inventuri sastojina u Hrvatskoj, prsni promjer i visina, međutim za izračun indeksa potrebno je poznavati položaje stabala, odnosno njihove međusobne udaljenosti, što se u praktičnom šumarstvu rijetko određuje. Analizom kretanja vrijednosti Hegyijevog kompeticijskog indeksa u ovisnosti o dobi (dobni razredi) i prsnom promjeru, na jednostavan se način dobiva uvid u stanje kompeticije među konkurentnim stablima, što je izraženo brojkom, a time i usporedivo s drugim stablima/sastojinama.

Osim za dvije godine kada su vršene izmjere, iskorišteni su uzeti izvrtci iz lužnjakovih stabala te su vrijednosti Hegyijevog indeksa izračunate i za svaku petu godinu od 1980.-2000. Vrijednost indeksa ima trend smanjenja od nižih k višim dobnim razredima što znači da je, kada su u pitanju lužnjakova stabla, kompeticija sve manja što su sastojine starije. Od ovog trenda izuzetak je 4. dobni razred u kojem su vrijednosti indeksa nešto niže nego u 5. dobnom razredu (Tabela 33), što se može objasniti malim brojem glavnih stabala (10) jer se radi o svega dvije plohe. U ostalim dobnim razredima trend smanjenja je jasno izražen.

Međutim, ako se promatraju prosječne vrijednosti indeksa glavnih stabala u svakoj petoj godini od 1980.-2000. (varijable *CIILL80-CIILL01*), vidljivo je da ista glavna stabla imaju sve veće vrijednosti kompeticijskog indeksa što znači da je njihova kompeticijska snaga povećanjem starosti bivala sve slabija, odnosno konkurencija oko njih sve jača. To se može objasniti izostankom proreda u tom razdoblju što je rezultiralo blagim povećanjem konkurencije. Nakon proreda u razdoblju 2001.-2007. indeks izračunat za 2007. godinu je nešto manji, kao reakcija na smanjenje konkurencije. To je vidljivo na primjeru 5. dobno razreda u kojem indeks 1980. g. iznosi 0,669 i raste do 0,869 u 2000., da bi 2007. g. pao na 0,707 (Tabela 33).

Kada se umjesto samo lužnjaka kao konkurenata, promatraju i sve ostale vrste drveća, od kojih je najviše zastupljen obični grab, Hegyijev kompeticijski indeks (*CIILS01*) za isti dobni razred ima znatno veće vrijednosti, ali ponajviše radi većeg broja stabala koja su uopće došla u obzir kao konkurenti. Kako se u izrazu za indeks sumiraju utjecaji konkurenata, makar oni pojedinačno bili mali, pridonose ukupnom utjecaju na glavno stablo. Treba napomenuti da ostale vrste drveća u zoni kompeticije svakako imaju svoj utjecaj na glavna stabla u smislu konkurencije za ugljičnim dioksidom, vodom i hranjivim tvarima u tlu (Becker, 1991, Pretzsch, 2002), ali u ovom su istraživanju za određivanje kompeticijskih indeksa korišteni samo veličinski odnosi između konkurentnih stabala.

Na temelju grafičkih prikaza ovisnosti odnosno povezanosti Hegyijevog kompeticijskog indeksa lužnjakovih stabala i debljinskog prirasta (Slike 55-59), iz kojih je vidljivo da se prirast smanjuje kako se povećava vrijednost indeksa, odnosno kako se povećava utjecaj konkurenata na glavno stablo, potvrđuje se pretpostavka da općenito jača konkurencija rezultira manjim debljinskim prirastom (Bigging i Dobbartin 1992, Clinton i dr. 1997).

Linija izjednačenja debljinskog prirasta i Hegyijevog kompeticijskog indeksa kroz razdoblja postaje sve strmija što znači da je kod istih malih vrijednosti kompeticijskog indeksa, debljinski prirast postajao sve veći. To se može objasniti time da male vrijednosti indeksa uglavnom imaju stabla većih dimenzija koja pak bez jakih konkurenata oko sebe postižu veći debljinski prirast. Primjetna je i manja rasutost podataka u razdoblju 1980.-1984., koja se s vremenom povećava. Tako 1980. godine nije bilo glavnih stabala s vrijednostima indeksa većim od 1,6 (Slika 55), dok se svakim idućim razdobljem, pojačavanjem konkurencije pojavljuje sve više glavnih stabala s većim vrijednostima indeksa i godine 2001. ih je bilo 12 (Slika 59).

Rezultati prosječnih vrijednosti Weberovog visinskog indeksa glavnih stabala (*CI2LL*) po dobnim razredima širine 20 godina pokazuju trend povećanja vrijednosti s porastom starosti. Kada se kao konkurenti promatraju sve vrste drveća (*CI2LS*), indeks ima znatno veće vrijednosti jer su grabovi najčešće nižih visina od lužnjaka, a svojim brojem prevladavaju pa ih se više nalazi u zoni kompeticije. Koeficijenti varijacije su u tom slučaju 16,5-39%, što je znatno manje nego kod *CI2LL* (73,2-103,6%). To je i očekivano jer kod uzimanja u obzir svih stabala, nije se dogodio slučaj da sva konkurentna stabla (od

kojih je najviše stabala običnoga graba) budu veće visine od visine glavnog stabla pa i minimalna vrijednost indeksa ni u jednom slučaju nije bila 0. Samim time je i raspon vrijednosti koje je poprimao indeks bio manji, a time je manji bio i koeficijent varijacije.

4.3. Dinamički kompeticijski indeks i klasteriranje

Klasteriranje dinamičkog kompeticijskog indeksa provedeno je za 402 glavna stabala, bez obzira na starost te su promatrana samo glavna lužnjakova stabala koja imaju kompletne podatke o širinama godova do 1980. godine. Klasteriranje po dobnim razredima od 20 i 10 godina ne bi bilo učinkovito jer bi bilo dobnih razreda s premalo stabala. Upotrebom dinamičkog kompeticijskog indeksa i klasteriranjem stabala hrasta lužnjaka dobivena su 4 klastera koji pokazuju 4 različita kompeticijska obrasca i definiraju 4 tipa lužnjakovih stabala.

Najveći broj glavnih stabala hrasta lužnjaka (68%) ima relativno nisku i konstantnu razinu kompeticijskog indeksa tijekom vremena i njegova kumulativna krivulja je gotovo linearna kroz promatrano razdoblje od 1980.-2000. godine. (klaster 2, „Alfa“ stabla, Slika 68). Istraživanje Webera (2006) pokazalo je da 87% hrastovih stabala na 5 pokusnih ploha pokazuje vrlo sličnu kompetitivnu dinamiku, odnosno konstantnu kompeticiju na relativno niskoj razini, te je svrstano u isti klaster. Činjenica da je od svih promatranih stabala, najveći broj onih koja su svrstana upravo u Alfa stabla i koja su nosioci sastojine, daje za pravo vjerovati kako je predmetnim sastojinama dobro gospodareno u vrijeme njihova formiranja u mladosti. Cilj gospodarenja i jest uzgojiti što više takvih Alfa stabla koja neće biti pod jakim pritiskom konkurenata unutar svoje ili neke druge vrste drveća. U uvjetima uravnoteženih i konstantnih kompeticijskih odnosa kada nema izuzetno snažnih kompetitora koji imaju jak utjecaj na stabla u svojoj okolini, u sastojini može egzistirati i dobro prirašćivati razmjerno velik broj Alfa stabala. Kako Alfa stabala potječu s ploha na kojima je postotni udio lužnjaka u broju stabala 36,13%, od ukupno 457,9 stabala po hektaru (Tabela 42), dobije se broj od 165 stabala lužnjaka po hektaru koja predstavljaju nosioce sastojine. Logično bi bilo da smanjenjem broja stabala, pada i kompeticija i uz više životnog prostora za svako lužnjakovo stablo za očekivati je i veći debljinski prirast, ali manji broj stabala sa sobom nosi i druge pojave koje nisu uvijek poželjne. U prerijetkim sastojinama gdje nema izražene borbe za prostor, manji je visinski prirast, manja je dužina

debla, a u slučaju nedovoljno razvijene podstojne etaže prateće vrste, nepotpuna pokrovnost krošnjama dovodi do previše svjetla na tlo i mogućeg zakorovljenja (Matić, 1996). Stoga je zadatak stručnjaka, bez velikih stresova po sastojinu, svojim zahvatima održavati sastojinu stabilnom, potpuna sklopa, i voditi je k završetku ophodnje postupnim smanjenjem broja stabala lužnjaka, izlučivanjem iz sastojine onih koja nisu Alfa stabla. Prosječan broj od 4,26 konkurentnih lužnjakovih stabala, te prosječna udaljenost konkurenata u odnosu na promatrana Alfa stabla od 7,26m (Tabela 40) uvjetno mogu poslužiti operativnom osoblju kao orijentir u prepoznavanju rasporeda lužnjakovih stabala kojem se teži.

Klaster 1 (Beta stabla) je po broju stabala svrstanih u njega na drugom mjestu sa 79 stabala (29%). Njegove vrijednosti dinamičkog kompeticijskog indeksa su nešto veće, ali je razina konstantna tijekom vremena. Među Beta stablima treba tražiti ona koja bi u povoljnim uvjetima nešto smanjene kompeticije mogla prijeći u Alfa stabla i postati nosioci sastojine. U Alfa i Beta stabla zajedno izdvojeno je 97% svih promatranih stabala. Klasteri 3 (Gama stabla) i 4 (Delta stabla) imaju veće vrijednosti kompeticijskog indeksa, i predstavljaju stabla koja se svojim svojstvima značajnije razlikuju od Alfa stabala. To se naročito odnosi na Delta stabla jer imaju prosječni prsni promjer od svega 28,18 cm što je za gotovo 18 cm manje od prosječnog prsnog promjera Alfa stabala. Delta stabla zaostaju i prema ostalim mjeranim varijablama, ukupnoj visini, dužini debla, i promjeru krošnje (Tabela 39). a njihov debljinski prirast je dvostruko manji u odnosu na Alfa stabla. To znači da ona takvim prirašćivanjem svake godine zaostaju sve više i vrlo je vjerojatno da neće dočekati kraj ophodnje već će iz sastojine biti izlučena redovnom proredom. Ipak, treba primijetiti da Delta stabla još uvijek imaju potencijal za prirašćivanje i ne može ih se tretirati kao stabla kojima slijedi brzo propadanje. To se dobro vidi u reakciji Delta stabala kroz ostvareni debljinski prirast nakon prorednih zahvata u razdoblju 2000.-2007., kada je prosječni debljinski prirast porastao za 55% (Tabela 41). Za usporedbu, Alfa stabla su u tom razdoblju povećala debljinski prirast za 11%, Beta stabla za 13%, a Gama stabla za 37%. Dakle, premda su apsolutne vrijednosti debljinskog prirasta sve manje od Alfa do Delta stabala, njihova reakcija na smanjenje kompeticije je u relativnim odnosima sve veća. Pripadajuće vrijednosti statičkih kompeticijskih indeksa (Hegyijev – *CIILL01* i *CIILS01* i Weberov visinski – *CI2LL* i *CI2LS*) po klasterima iz Tabele 40, prikazane su radi preglednosti i Tabelom 54.

Tabela 54. Vrijednosti statičkih kompeticijskih indeksa po tipovima stabala - klasterima

Tip stabla - klaster	varijabla			
	<i>CI1LL01</i>	<i>CI1LS01</i>	<i>CI2LL</i>	<i>CI2LS</i>
Alfa -2	0,644	1,304	0,584	0,828
Beta -1	1,084	1,810	0,403	0,742
Gama -3	1,265	2,089	0,384	0,711
Delta -4	1,802	2,839	0,345	0,627

Vrijednosti tih indeksa su konzistentne s kompeticijskim obrascima dobivenih klasteriranjem. To znači da su po razini kompeticije, ali i po broju stabala klasteri poredani kako slijedi: Alfa – Beta – Gama – Delta (klasteri 2 – 1 – 3 – 4.), a istim tim redoslijedom su poredane i vrijednosti promatranih indeksa. Kod Hegyijevog indeksa je to porast vrijednosti od 0,644 za Alfa stabla do 1,802 za Delta stabla (kada se promatraju samo lužnjaci), te porast od 1,304 za Alfa stabla do 2,839 za Delta stabla (kada se kao konkurenti promatraju sva stabla). Kod Weberovog visinskog indeksa vrijednosti padaju od 0,584 do 0,345 kod Delta stabla. (samo lužnjaci kao konkurenti), te pad od 0,828 kod Alfa stabala do 0,627 kod Delta stabala (sva stabla kao konkurenti). Do jednakih rezultatskih odnosa došao i Weber (2006) promatrajući 4 klastera hrasta i 4 klastera bora te pripadajuće statičke kompeticijske indekse. Usporedba s njegovim istraživanjem ipak je samo metodološke naravi jer je promatrao hrast medunac i obični bor.

4.4. Elementi strukture i njihov utjecaj na predikciju prirasta

Sastojine koje su predmet ove disertacije redom su jednodobne sjemenjače. Starost ploha odnosno sastojine u kojoj se plohe nalaze preuzeta je iz Osnova gospodarenja. Pouzdanost tih podataka ima i svoja ograničenja pa ih treba ovdje raspraviti. Kako se ne radi o umjetno podignutim sastojinama, kulturama ili plantažama gdje se točno može znati godina sadnje te starost sadnog materijala, određivanje starosti sastojine nije tako jednoznačno definirano. U normalnim uvjetima obnove sastojina hrasta lužnjaka, vrijeme napludnog sijeka, odnosno uroda sjemenom predstavlja početak ophodnje za većinu jedinki u sastojini. Dio jedinki se pojavio i prije napludnog sijeka, a dio i nakon (kroz urod stabala ostavljenih za dovršni sijek, odnosno kroz popunjavanje nakon dovršnog sijeka).

Prva osnova gospodarenja za gospodarsku jedinicu Repaš izrađena je 1951.g. Od tada postoje evidencije o sječama i uzgojnim radovima pa su i podaci o starosti sastojina nastalih nakon te godine vjerodostojniji. Međutim, za sastojine koje su 1951. godine imale manje od 80 godina, a koje su upravo predmet ove disertacije, teško je bilo znati točnu starost. Prva inventura tih šuma, u to vrijeme srednjodobnim sastojinama starost je izrazila rasponom godina (npr. 60-80). Dijelom stoga jer su odsjeci bili formirani iz sastojina koje su imale slične, ali ne i iste starosti, a dijelom i zato jer nisu postojale evidencije o sječi prethodne generacije pa se nije znalo je li sastojina nastala kroz neko duže pomladno razdoblje ili, u krajnosti, jednim sječnim zahvatom. Za tako iskazanu starost u rasponu koji je uglavnom odgovarao širini dobnog razreda, u svakom se slučaju ne može reći da je bila netočna, i zadovoljavala je tadašnje potrebe. Sljedećim revizijama Osnove gospodarenja takvo prikazivanje starosti više nije bilo moguće pa su uređivači morali starost sastojine izraziti jednom brojkom, koja je predstavljala prosječnu starost sastojine, bez obzira na činjenicu što su pojedina stabla, ovisno o dužini pomladnog razdoblja, imala manju ili veću starost. Ta prosječna starost uglavnom se dobila kao sredina početno određenog raspona.

Kada je tijekom proteklih desetljeća prilikom revizija u nekim slučajevima dolazilo do spajanja dva odsjeka, približnih, ali ne i istih starosti (uglavnom bi se odsjeci male površine pripajali većima približne starosti), njihova zajednička starost najčešće je bila preuzimana od većeg odsjeka. U suprotnom slučaju, kada je izlučivanjem veći odsjek podijeljen na dva dijela radi razlika u strukturi, dimenzijama i slično, starost je neki puta jednom od tih odsjeka smanjena ili povećana, premda to nije moralo biti tako, ako se radi o dijelu sastojine lošijeg ili boljeg boniteta, s plićim ili dubljim tlom itd. Kada se to spajanje ili izlučivanje događa s odsjecima odnosno sastojinama kojima je 1951. godine određena starost na već opisan način, tada i današnji podatak o starostima odsjeka/sastojina/ploha starosti preko 60 godina treba uzeti s rezervom. On je svakako dobar za većinu osnovnih potreba i analiza koje se u operativnom šumarstvu provode, međutim u istraživanjima u kojima se neke pojave promatraju na nižim razinama od dobnog razreda širine 20 godina, točno određena prosječna starost sastojine može imati veliku važnost. Idealno bi bilo znati starost svakog stabla, što je praktički teško izvedivo, odnosno moguće je u slučaju da se takvo stablo posiječe.

Kako se na svim plohama korištenima za ovo istraživanje redovno gospodari, i sve će one u određeno vrijeme biti obnovljene, bilo bi korisno tijekom obnove odsjeka,

odnosno neposredno nakon dovršnog sijeka izbrojati godove na panjevima i utvrditi starost stabala, te tom varijablom dopuniti istraživanje.

Zbog opisane nedovoljne pouzdanosti podatka o točnoj starosti sastojina u kojima su postavljene plohe, nju u ovoj disertaciji kao varijablu u predikciji prirasta treba uzeti s rezervom.

Rezultati izračuna strukturnih elemenata prikazani su po dobnim razredima širine 20 i 10 godina koji zadovoljavaju željenu točnost starosti, čime su potvrđene zakonitosti u rastu i razvoju mješovitih sastojina hrasta lužnjaka i običnoga graba (Klepac, 1963). Širina dobnog razreda od 10 godina za sastojine hrasta lužnjaka nije u upotrebi u operativnom uređivanju šuma već samo u istraživanjima. U ovom istraživanju bilo je očekivano da će prikazom elemenata strukture sastojina po desetogodišnjim dobnim razredima trendovi vrijednosti varijabli pratiti one kod dvadesetogodišnjih dobnih razreda, te da će se tako dobiti finiji uvid u strukturu. Kada se promatraju svi dobnih razredi, tada su takvi trendovi i dobiveni, ali pojedinačne vrijednosti za neke dobne razrede su odstupale od očekivanih. Tako su npr. prosječni prsni promjeri i visine u 5a dobnom razredu (81-90 godina starosti), nešto viši nego u 5b dobnom razredu (91-100 godina starosti) (Tabele 18 i 20). Razlog tomu može biti premali uzorak, različitost u bonitetima među ploham, ali i problem točnog određivanja starosti o čemu je pisano u ovom poglavlju. Kako se u ovom istraživanju radilo o uzorku, a ne čitavoj populaciji, premali broj ploha vjerojatno je uzrok nemogućnosti dobivanja očekivanih vrijednosti prilikom prikaza po desetogodišnjim dobnim razredima.

Za dobivanje slike o međusobnoj povezanosti pojedinih varijabli i debljinskog prirasta izvršena je parcijalna linearna korelacija (Tabela 43). Varijable su logički podijeljene u skupine kao je prikazano istom tabelom.

Najveću korelaciju s debljinskim prirastom imaju prsni promjer ($r=0,50$) i širina krošnje ($r=0,46$). Prema Roemer-Orphalovoj skali radi se o srednjoj korelaciji (Tabela 12). Od varijabli direktno mjerenih terenskim radom, jedino visina do prve žive grane (*HD*) ima nesignifikantnu korelaciju ($r=0,02$). Osim toga, ta varijabla značajno ne mijenja svoje vrijednosti u svim promatranim dobnim razredima (Tabele 21 i 22) i prema svemu nije značajan individualni prediktor debljinskog prirasta.

Od varijabli koje opisuju okruženje glavnih stabala, najveću korelaciju (pozitivnu) s debljinskim prirastom ima srednja udaljenost konkurentnih lužnjaka (*DISKL*) i ona iznosi

0,17. Od ostalih varijable koje opisuju konkurentne lužnjake jedino srednja širina krošnje (*SKKL*) nema signifikantnu korelaciju ($r=0,08$), dok kod varijabli koje kao konkurente promatraju i grabova stabla korelacija je značajna kod srednje širine krošnje i udaljenosti (*SKKS* i *DISKS*).

Statički kompeticijski indeksi koreliraju s debljinskim prirastom značajno, premda slabo, a korelacija je neznatno veća kada se promatraju sva konkurentna stabla kod Hegyijevog indeksa, a neznatno manja kod Weberovog visinskog indeksa. Rezultati su donekle usporedivi s onima koje je dobio Božić (2003) kod radijalnog prirasta jele, gdje su, ovisno o vremenskom periodu koji se promatra, korelacije Hegyijevog indeksa i prirasta između -0,31 i -0,34.

Od indeksa strukture sastojine koji se odnose na cijelu plohu, a ne pojedinačna stabla, Clark-Evansov indeks agregacije i Indeks ispremiješanosti vrsta (uz 3 promatrana susjeda) ne koreliraju signifikantno s debljinskim prirastom. Značajnu, premda jako slabu korelaciju prema Roemer-Orphalovoj skali (0,19 i 0,22) pokazuje indeks diferenciranosti promjera, što znači da se veći debljinski prirast ostvaruje na plohama koje imaju veće razlike u promjerima lužnjaka i najbližih susjeda.

Prilikom modeliranja, kao inicijalni prediktori poslužile su već definirane skupine varijabli, naročito one koje su parcijalnom korelacijom prepoznate kao potencijalni značajni prediktori. Dobiveni modeli dali su koeficijente determinacije od 21,7 do 47,9%. Najveću objašnjenost debljinskog prirasta dao je model koji je uzeo u obzir samo stabla s ploha u 5. dobnom razredu (*Model ID_5d*) i u kojem su kao varijable opstale visina (*H*), prsni promjer (*DS*), širina krošnje (*SK*) i Weberov visinski indeks (*CI2LL*).

Najmanji koeficijent determinacije od prikazanih modela ima *Model ID_a*, koji promatra samo Alfa stabla, a kao varijable ostale u modelu ima visinu (*H*), širinu krošnje (*SK*) i broj konkurentnih lužnjaka (*BRKL*). Svi odabrani modeli (Tabele 46-53), statistički su značajni i pokazuju da u njima opstaju pretežno varijable mjerene na terenu.

U usporedbi sa sličnim istraživanjima pri modeliranju rasta stabala hrasta lužnjaka može se zaključiti da su koeficijenti determinacije veći u mlađim sastojinama i za prirast temeljnice u sastojinama prvog dobno razreda pokazuju jaku i vrlo jaku korelaciju (Marjanović, 2009). Kod modeliranja radijalnog prirasta obične jele Božić (2003) je dobio znatno više koeficijente determinacije u modelima u kojima je koristio i ekološke varijable.

5. ZAKLJUČCI

Na temelju obrade i analize prikupljenih i izračunatih podataka mogu se donijeti zaključci glede primjene indeksa strukture sastojine te kompeticijskih indeksa u dodatnoj kvantifikaciji strukture sastojine te promatranju utjecaja elemenata strukture na debljinski prirast lužnjakovih stabala u mješovitim sastojinama hrasta lužnjaka i običnoga graba u zajednici *Carpino betuli-Quercetum roboris*, /Anić 1959/ emend. Rauš 1969).

Starije sastojine hrasta lužnjaka i običnoga graba starosti 81-120 godina (5. i 6. dobnii razred) na promatranom području pokazuju veliku sličnost osnovnih elemenata strukture (*N*, *G* i *V*) te se jasno razlikuju od 4. i 7 dobnog razreda.

Upotreba Clark-Evansovog indeksa agregacije pokazala je da su istraživane sastojine prema dobivenim vrijednostima pretežno slučajnog rasporeda stabala. Kada se promatraju samo stabla hrasta lužnjaka, taj indeks je na svim ploham veći 1,51 što znači da su prostorni raspored lužnjakovih stabala pokazuje tendenciju k pravilnosti. Stabla hrasta lužnjaka u promatranim sastojinama već u starosti od oko 70 godina postižu stupanj pravilnosti prostornog rasporeda koji zadržavaju do isteka ophodnje. Indeks ispremiješanosti vrsta na ploham pokazuje vrijednosti koje ne omogućuju donošenje čvrstih zaključaka o njegovu trendu. Indeks diferencijacije promjera po dobnim razredima pokazuje vrlo male razlike u vrijednostima bez obzira promatraju li se tri ili četiri najbliža stabla, što znači da se oko starosti 80 godina sastojina toliko stabilizirala da nakon tog vremena nema značajnih promjena u odnosima prsnih promjera hrasta lužnjaka i običnoga graba.

Tri upotrebljena indeksa strukture sastojine koristan su alat za dodatno kategoriziranje sastojina jer sadrže komponentu udaljenosti među stablima i bazirani su na parametrima pojedinih stabala.

Hegyijev kompeticijski indeks porastom starosti poprima sve niže vrijednosti što znači da su kompeticijski procesi sve slabiji porastom starosti. Istovremeno, potvrđena je pretpostavka da jača konkurencija, odnosno veće vrijednosti Hegyijevog kompeticijskog indeksa rezultira manjim debljinskim prirastom. Weberov kompeticijski indeks za određivanje kompetitivne snage referentnih stabala u pokazuje veće vrijednosti s porastom starosti što znači da su kompeticijski pritisci na glavno stablo sve slabiji. Dinamički kompeticijski indeks omogućuje detektiranje trenda u kompeticiji za razliku od statičkih

indeksa koji opisuju samo trenutno stanje. Spoznaja o trendu kompeticije može biti jedan od faktora u odlučivanju kada je vrijeme za proredne zahvate u sastojini.

Klasteriranjem kumulativnog kompeticijskog indeksa dobiveni su klasteri (tipovi stabala) koji daju uvid u kompetitivne obrasce prema kojima su se ponašala promatrana stabla tijekom vremena. Promatranje pojedinih tipova stabala i njihovih svojstava pokazuje nam koja su to i kakva stabla koja su nosioci sastojine i pred kojima je cilj da dočekaju kraj ophodnje ostvarujući kvalitetan debljinski prirast. Za tzv. Alfa stabla koja imaju najprihvatljiviji obrazac kompeticije u proteklih 20 godina, srednja udaljenost do konkurentnih stabala hrasta lužnjaka iznosi 7,26 m i čini udaljenost koja se može smatrati poželjnom kao preduvjet ostvarivanja kvalitetnog debljinskog prirasta. Prilikom odabiranja stabala za sječu u starijim sastojinama hrasta lužnjaka i običnoga graba, stručnjacima bi ta udaljenost mogla služiti kao orijentir u postizanju prostornog rasporeda lužnjakovih stabala kod kojeg njihovo nadmetanje za životni prostor ne bi djelovalo inhibirajuće na debljinski prirast. Do takvog se prostornog rasporeda treba doći postupno tijekom prorednih zahvata u vrijeme kada su sastojine mlade i srednjodobne.

Iz podataka koje osigurava aktualna metodologija uređajne inventure šuma u Hrvatskoj, moguće je dobiti srednju udaljenost među stablima određene vrste drveća na razini sastojine odnosno jedinice uzorka, međutim nepoznat je prostorni raspored i odnosi među dimenzijama susjednih stabala. Kada bi uređajna inventura koristila trajne plohe za određivanje elemenata strukture sastojina, raspolagalo bi se i podacima o udaljenostima između stabala poznatih dimenzija što bi pomoglo u detektiranju Alfa stabala i njihovu prostornu rasporedu. Tako prikupljeni podaci bili bi višestruko iskoristivi jer osim spoznaja o prostornim odnosima između stabala omogućili bi i primjenu metoda za određivanje stanja i trenda kompeticijskih odnosa u sastojinama.

Od varijabli koje su u istraživanju bile na raspolaganju, najveću korelaciju s debljinskim prirastom imaju prsni promjer ($r=0,50$) i širina krošnje ($r=0,46$). Regresijskom analizom dobiveni modeli ovisnosti debljinskog prirasta o varijablama koje predstavljaju elemente strukture sastojina pokazali su da objašnjavaju prirast do 47,9%. Kao glavni prediktori prirasta uglavnom su se pokazale varijable direktno mjerene na terenu (prsni promjer, visina, širina krošnje). U modelu koji daje najveću objašnjivost debljinskog prirasta od 47,9% uz mjerene varijable opstao je i Hegyijev kompeticijski indeks koji promatra samo lužnjakova stabla kao konkurente. Dobiveni modeli mogu se koristiti i u

operativnom uređivanju šuma u predikciji debljinskog prirasta sastojina hrasta lužnjaka i običnoga graba.

Nastavak istraživanja praćenjem razvoja stabala na istim plohama, te postavljanje ploha u sastojinama prvog, drugog i trećeg dobnog razreda pomoglo bi u razumijevanju kompeticijskih odnosa i u mlađim sastojinama hrasta lužnjaka i običnoga graba.

6. LITERATURA

Popis korištene i citirane literature:

- Alemdag, I. S., 1978: Evaluation of some competition indexes for the prediction of diameter increment in planted white spruce. For. Manage. Inst. Inf. Rep. FMR-X-108. 39 p.
- Albert, M. 1999: Analyse der eingriffsbedingten Strukturwervaenderungen und Durchforstungsmodellierung in Mischbestaenden. Ph.D. dissertation, Faculty of Forestry and Forest Ecology, University of Goettingen, Hainholz Verlag Goettingen, 195 pp.
- Albert, M., Gadow, K.v. 1998: Assessing biodiversity with new neighbourhood-based parameters. In *Data Management and Modelling Using Remote Sensing and GIS for Tropical Forest Land Inventory*. Y. Imaumonier, B. King, C. Legg and K. Rennolls (eds). Proceedings of the FIMP-INTAG International Conference, October 26-29, 1998, Jacarta, Indonesia, pp 433-445.
- Antonić, O., 2001: Je li hrast lužnjak u Hrvatskoj vrsta klimatogene rasprostranjenosti? Šum. list 1-2: 45-56, Zagreb.
- Antonić, O., Hatić, D., Križan, J. Bukovec, D., 2001: Modelling groundwater regime acceptable for the forest survival after the building of the hydro-electric power plant. Ecol. Model. 138, 277-288.
- Assmann, E., 1961: Waldertragskunde. BLV Bayerischen Landwirtschaftsverlag GmbH, München.
- Assmann, E., 1970: The principles of forest Yield Study. Studies in the Organic Production, Structure, Increment and Yield of Forest Stands, first English ed. Pergamon Press Ltd.
- Bailey, R. L., 1980: Individual tree growth derived from diameter distribution models. For. Sci. 26, 626–632.
- Barrio Anta, M., J. G. Álvarez González, 2005: Development of a stand density management diagram for even-aged pedunculate oak stands and its use in designing thinning schedules. Forestry 78: 209-216.

- Becker, M., 1991: Impact of climate, soil and silviculture on forest growth and yield. U: Landmann, G. (ur.), French research into forest decline. Ecole nationale du Génie rural, des Eaux et des Forêts, 23-38, Nancy.
- Begon, M., J. I. Harper, C. R. Townsend, 1996: Ecology: Individuals, Populations and Communities, third ed. Blackwell Science. Oxford, Great Britain.
- Bella, I. E., 1971: A new competition model for individual trees. For. Sci. 17:364-372.
- Benko, M., V. Novotny, D. Vuletić, 2001: Modeliranje mješovitih sastojina hrasta lužnjaka u EGT-u II-G-10. Znanost u potrajnom gospodarenju hrvatskim šumama – znanstvena knjiga, 395-406, Zagreb.
- Bezak, K., 1990: Proučavanje strukture i veličine sastojinskog rasta i prirasta hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u zajednici hrasta lužnjaka s velikom žutilovkom (*Genisto elatae* – *Quercetum roboris* Horv. 1938). Doktorska disertacija 1-168, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Biging, G. S., M. Dobbartin, 1992: A Comparison of Distance-Dependent Competition Measures for Height and Basal Area Growth of Individual Conifer Trees. For. Sci. 38, 695-720.
- Biging, G. S., M. Dobbartin, 1995: Evaluation of competition indices in individual-tree growth models. For. Sci. 41(2), 360-377.
- Brand, D. G., S. Magnussen, 1988: Asymmetric, two-sided competition in even-aged monocultures of red pine. Can. J. For. Res. 18: 901-910.
- Božić, M., 2003: Utjecaj stanišnih i sastojinskih elemenata na prirast obične jele (*Abies alba* Mill.) u jelovim sastojinama na kršu u Hrvatskoj, Disertacija, Šumarski fakultet, 190 s., Zagreb.
- Clark, P. J., F. C. Evans, 1954: Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationships in populations. Ecology 35, 445-453.
- Clinton, B.D., K.J. Elliott, W.T. Swank, 1997: Response of Planted Eastern White Pine (*Pinus strobus* L.) to Mechanical Release, Competition, and Drought in the Southern Appalachians. The Southern Journal of Applied Forestry, vol 21(1):19-23
- Crkvenčić, I., M. Crkvenčić, 2003: Prekodravlje – Repaš. Razvoj naselja i stanovništva. Društvena istraživanja. Vol.12, br. 3-4:445-468.
- Crowder, M. J., 1990: Analysis of Repeated Measures. Chapman and Hall, New York.
- Curtis, R. O., 1970: Stand density measures: An interpretation. For. Sci. 16(4):403-414.

- Čavlovic, J., 1996: Sustavna dinamika u planiranju gospodarenja regularnim šumama na području Uprave šuma Zagreb, Glas. šum. pokuse, 33: 109-152, Zagreb.
- Čavlović, J., Kremer, D., Božić, M., Teslak, K., Vedriš, M. and Goršić, E., 2010. Stand growth models for more intensive management of *Juglans nigra*: A case study in Croatia, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 25: 2, 138—147.
- Daniels, R. F., 1976: Simple Competition Indices and Their Correlation with Annual Loblolly Pine Tree Growth. *For. Sci.* 22:454-456.
- Dobrowolska, D., 2008: Effect of stand density on oak regeneration in flood plain forests in Lower Silesia. *Forestry* 81: 511-523, Poland.
- Doyle, T. W., 1983: Competition and growth relationships in a mixed-aged, mixed-species forest community. Ph.D. diss. Univ. of Tenn. 86 p.
- Dubravac, T., 2002: Zakonitosti razvoja strukture krošanja hrasta lužnjaka i običnoga graba ovisno o prsnom promjeru i dobi u zajednici *Carpino betuli* – *Quercetum roboris* Anic ex Rauš 1969, disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Eid, T., 2001: Models for prediction of basal area mean diameter and number of trees in forest stands. *Scand. J. For. Res.* 16, 467–479.
- Emrović, B., 1958: Veličina slučajne griješke kod određivanja volumnog prirasta sastojine pomoću izvrtaka uz upotrebu tarifa. *Šum. list* 1-2: 14-20, Zagreb.
- Eskelson, B. N. I., H. Temesgen, T. M. Barrett, 2008: Comparison of stratified and non-stratified most similar neighbour imputation for estimating stand tables. *Forestry* 81: 125-134.
- Fueldner, K., 1995: Strukturbeschreibung von Buchen-Edellaubholz-Mischwäldern [Describing forest structures in mixed beech-ash-maple-sycamore stands]. Ph.D. dissertation, University of Goettingen, Cuvillier Verlag, Goettingen, 163 pp.
- Fonti, P., P. Cherubini, A. Rigling, P. Weber, G. Bigging, 2006: Tree rings show competition dynamics in abandoned *Castanea sativa* coppices after land-use changes. *Journal of Vegetation Science* 17:103-112
- Gadow, K., G. Hui, 1998: Modeling forest development. Faculty of Forest and Woodland Ecology, University of Göttingen.
- Hartigan, J.A. 1975: Clustering Algorithms. London – Sydney - Toronto, Wiley.
- Hasenauer, H. 2006: Concepts Within Tree Growth Modeling. In: Sustainable Forest Management – Growth Models for Europe. Springer Berlin Heidelberg.

- Hegyi, F., 1974: A simulation model for managing jack-pine stands. u: Fries, J. (ur.), Growth Models for Tree and Stand Simulation. Royal College of Forestry, Stockholm, Sweden, pp. 74–90.
- Horne, R., G. Robinson, J. Gwalter, 1986: Response increment: a method to analyze thinning response in even-aged forests. For. Sci. 32, 243–253.
- Hren, V., 1979: Podesnost Levakovićeve formule za izražavanje i praćenje sastojinske strukture. Radovi 36, 1-79, Zagreb.
- Hren, V., Đ. Kovačić, 1987: Normalna raspodjela po debljinskim stupnjevima i dobnim razredima u ekološko-gospodarskim tipovima šuma II-G-10, II-G-11 i II-G-22. Rad. Šumar. inst. 22(72): 1-65, Zagreb.
- Indir, K., 2004: Optimalni načini prikupljanja i obrade podataka kontrolnom metodom u inventuri šuma, Magistarski rad, Šumarski fakultet, 117 str., Zagreb
- Johannsen, V. K., 1999: A growth model for oak in Denmark. Ph. D. Thesis, Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen.
- Johannsen, V. K., 2002: Selection of diameter-height curves for even-aged oak stands in Denmark. Dynamic growth models for Danish forest tree species, Working paper 16, Danish Forest and Landscape Research Institute, Hørsholm, Denmark, 70 p.
- Kariuki, M., 2002: Height estimation in complete stem analysis using annual radial growth measurements. Forestry 75: 63-74.
- Kerr, G., 1996: The effect of heavy or 'free growth' thinning on oak (*Quercus petraea* and *Q. robur*). Forestry 69, 303 – 317.
- Kimmins, J. P., 1997: *Forest Ecology*. Macmillan Inc. New Jersey.
- Klepac, D., 1954: Tablice postotka prirasta. Šum. list 9-10, str. 454-485, Zagreb.
- Klepac, D., 1956: Upotreba frekvencijskih krivulja broja stabala pri opisu sastojina. Šum. list 11-12: 357-369, Zagreb,
- Klepac, D., 1957: Jedna brza metoda utvrđivanja prirasta. Šum. list 7-8: 274-292, Zagreb.
- Klepac, D., 1962: Anučinova metoda utvrđivanja sastojinskog prirasta pomoću lateralne površine stabla. Šum. list 11-12: 403-405, Zagreb.
- Klepac, D., 1963: Rast i prirast šumskih vrsta drveća i sastojina, Nakladni zavod Znanje, 300 s., Zagreb.
- Klepac, D., 1964: Kako je reagirala 50-godišnja sastojina hrasta lužnjaka nakon jakih proreda? Šum. list 11-12: 469-475, Zagreb.

- Klepac, D., I. Spaić, 1965: Utjecaj nekih defolijatora na debljinski prirast hrasta lužnjaka. Šum. list 3-4: 93-101, Zagreb.
- Klepac, D., 1969: Opadanje prirasta u našim vrijednim hrastovim šumama. Šum. list 3-4: 85-91, Zagreb.
- Klepac, D., 1971: Jedan pokus o tome kako se pomiče visinska krivulja u jednodobnim sastojinama hrasta lužnjaka s obzirom na njihovu starost. Šum. list 5-6: 141-149, Zagreb.
- Klepac, D., 1977: Primjena Patroneova principa dualiteta na hrastove šume. Šum. list 5-7: 293-297, Zagreb.
- Klepac, D., 1988: Uređivanje šuma hrasta lužnjaka. Glas. šum. pokuse 24, Zagreb.
- Klepac, D. 1996: Rast i prirast hrasta lužnjaka, U: D. Klepac (gl. ur.), Hrast lužnjak u Hrvatskoj, HAZU Centar za znanstveni rad Vinkovci i HŠ p.o., 213-226, Zagreb.
- Krajicek, J. E., K. A. Brinkmann, S. F. Gingrich, 1961: Crown competition: a measure of density. For. Sci.7: 35-42.
- Kramer H, Saetre O.J., Leonhardt J., 1969: Untersuchungen ueber die Baummerkmale und ueber den genetischen Einfluss auf das Wachstum bei frei erwachsenen Jungfichten Allg Forst Jagd Ztg 141:30–41.
- Lahde, E., O. Laiho, Y. Norokorpi, T. Saksa, 1999: Stand structure as the basis of a diversity index. For. Ecol. Manage. 115, 213–220.
- Latham, A. P., H. R. Zuuring, D. W. Coble, 1997: A method for quantifying vertical forest structure. For. Ecol. Manage. 104, 157–170.
- Levaković, A., 1913: Vergleichende Untersuchungen über Zuwachseleistungen der slavonischen Eiche, Esche und Ulme. Disertacija.
- Levaković, A., 1922: Dendrometrija (udžbenik i priručnik), Zagreb, str 1-356.
- Levaković, A., 1935: An analytical form of growth law. Glas. šum. pokuse 4, 189–282, Zagreb.
- Levaković, A., 1939: O nekim formulama za prosječni postotak prirasta. Šum. list 4-5, Zagreb.
- Levaković, A., 1939: Metode ubrzanog izračunavanja parametara za neke novije funkcije rasteja. Šum. list 6, Zagreb.
- Levaković, A., 1948: O analitičkom izražavanju sastojinske strukture. Glas. šum. pokuse 9, Zagreb.

- Lukić, N., 1988: Udaljenost dominantnih stabala obične bukve (*Fagus silvatica* L.) u jednodobnim sastojinama. Šum. list 3-4: 115-124, Zagreb.
- Lukić, N., 1990: Utjecaj strukturnih promjena jednodobnih bukovih sastojina na visinski i debljinski prirast. Doktorska disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Lukić, N., 1992a: Utjecaj strukturnih promjena jednodobnih bukovih sastojina na visinski i debljinski prirast. Glas. šum. pokuse. 28, Zagreb.
- Lukić, N., 1992b: Prirast obične bukve (*Fagus silvatica* L.) u panonskom dijelu Hrvatske (Utjecaj emisije ili čovjekova rada). Šum. list 3-5, 56:425, Zagreb.
- Lukić, N., Ž. Galić, J. Čavlović, 2001: Dendrokronološka analiza debljinskog prirasta lužnjakovih sastojina u šumama Žutica i Opeke, U: S. Matić, A.P.B. Krpan, J. Gračan (ur.), Znanost u potrajnom gospodarenju hrvatskim šumama, Šumarski fakultet, Zagreb i Šumarski institut, Jastrebarsko, 435-445, Zagreb.
- Magnussen, S., T. J. B. Boyle, 1995: Estimating sample size for inference about the Shannon–Weaver and the Simpson’s indices of species diversity. For. Ecol. Manage. 78, 71–84.
- Marjanović, H., 2009: Modeliranje razvoja stabala i elemenata strukture u mladim sastojinama hrasta lužnjaka, Disertacija, Šumarski fakultet, 213 str., Zagreb
- Marjanović, H., T. Dubravac, K. Indir, M. Ivanković. 2006. Kvantitativni pokazatelji strukture izabranih sastojina zajednice hrasta lužnjaka s običnim grabom (*Carpinus betuli* – *Quercetum roboris* Anić 1959 /em. Rauš 1969). Rad. Šumar. inst. Jastrebar. 41(1-2):107-113.
- Markić, M., M. Špiranec, B. Emrović, 1959: Tablice drvnih masa za hrast lužnjak u Spačvanskom bazenu. Šum. list 4-5: 91-105, Zagreb.
- Martin, G. L., A. R. Ek, 1984: A comparison of competition measures and growth models for predicting plantation red pine diameter and height growth. For. Sci. 30(3):731-743
- Martínez Pastur, G., M. V. Lencinas, J. M. Cellini, I. Mundo, 2007: Diameter growth: can live trees decrease? Forestry 80: 83-88.
- Matić, S., 1989: Intenzitet proreda i njihov utjecaj na stabilnost i pomlađivanje sastojina hrasta lužnjaka, Glas. šum. pokuse 25:261-278, Zagreb.
- Matić, S., 1996: Uzgojni radovi na obnovi i njezi sastojina hrasta lužnjaka. U: D. Klepac (gl. ur.), Hrast lužnjak u Hrvatskoj, HAZU Centar za znanstveni rad Vinkovci i HŠ p.o., 167-212, Zagreb.

- McElhinny, Ch., Ph. Gibbons, C. Brack, J. Bauhus, 2005: Forest and woodland stand structural complexity: Its definition and measurement. *For. Ecol. Manag.* 218:1-24.
- Meyer, W. H., 1930: Diameter distribution series in even-aged forest stands. *Yale Univ. Sci. For. Bull.* 28, 105.
- Moller, C. M., 1954: The influence of thinning on volume increment. I. Results of investigations in Thinning Problems and Practices in Denmark. S. O. Heiberg, (ed). State University of New York, College of Forestry at Syracuse, World Forestry Series, Syracuse, New York Publication One.
- Momirović, K., Gredelj, M. i Szivovics, L. 1977: Metode multivarijatne analize. Statistički seminar II. Zavod za produktivnost: Zagreb.
- Monserud, R. A., 1986: Time series analyses of tree-ring chronologies. *For. Sci.* 32, 349–372.
- Monserud, R. A., H. Sterba, 1996: A basal area increment model for individual trees growing in even- and uneven-aged forest stands in Austria. *For. Ecol. Manage.* 80, 57–80.
- Moore, J. A., C. A. Budelsky, R. C. Schlesinger, 1973: A new index representing individual tree competitive status. *Can. J. For. Res.* 7:495-500.
- Munro, D. D., 1974: Forest growth models—a prognosis P. 7-21 in Growth models for tree and stand Simulation. Fries, J. (ed.). Royal Coll. of For., Stockholm, Sweden.
- Nanos, N., S.C. Gonzales – Martinez, F. Bravo, 2004: Studying within-stand structure and dynamics with geostatistical and molecular marker tools. *For. Ecol. Manag.* 189:223-240.
- Novotny, V., 1998: Pomak osnovnih sastojinskih elemenata u vremenu između dviju izmjera u zajednici *Carpino betuli – Quercetum roboris* / Anić 1959/Rauš 1969. *Rad. Šumar. inst.* 33 (1):1-46, Jastrebarsko.
- Novotny, V., A. Seletković, T. Dubravac, 2001: Stand structure as the main indicator in the elaboration of management plans. I International Symposium "Present and new ways of development of forest management" The problems of spatial arrangement of the forest and cutting control at the present time. *Proceedings*: 101-106. Zvolen.
- Novotny, V., Dubravac, T., Seletković, A., Indir, K. 2006: Istraživanje debljinske strukture sastojina hrasta lužnjaka i običnoga graba (*Carpino betuli-Quercetum roboris* Anić ex. Rauš 1969.) *Rad. Šumar. inst. Izvanredno izdanje* 9: 263-278, Jastrebarsko.

- Oliver, C. D., B. C. Larson, 1990: Forest Stand Dynamics. McGraw-Hill, New York.
- Osborne, J. G., F. X. Schumacher, 1935: The construction of normal yield and stand tables for even-aged timber stands. *J. Agric. Res.* 51, 547–564.
- Pelz, D. R., 1978: Estimating individual tree growth with tree polygons. P. 172-178 in *Growth models for long term forecasting of timber yields*. VPI FWS-1-78.
- Penttinen, A., 1984: Modelling interaction in spatial point patterns: parameter estimation by the maximum likelihood method. *Jyväskylä Studies in Computer Science, Economics and Statistics*.
- Perry, D. A., 1985: The competition process in forest stands. In: Cannel, M.G., Jackson, J. (Eds.), *Attributes of Trees as Crop Plants*. Institute of Terrestrial Ecology, Abbots Ripton, Hunts, pp. 481–506.
- Pesonen, E., K. Mielikäinen, H. Mäkinen, 2004: A new girth band for measuring stem diameter changes. *Forestry* 77: 431-439.
- Plauborg, K.U., 2004: Analysis of radial growth responses to changes in stand density for four tree species. *For. Ecol. Manag.* 188:65-75.
- Plavšić, M., D. Klepac, 1959: Utvrđivanje prirasta po kontrolnoj metodi na pokusnim plohama gosp. jedinice "Posavske šume" u šumariji Lipovljani. *Šum. list* 8-9: 257-270, Zagreb.
- Pommerening, A., 1997: Eine Analyse neuer Ansätze zur Bestandesinventur in strukturreichen Wäldern (An analysis of new approaches towards stand inventory in structure-rich forests]. Ph.D. dissertation, Faculty of Forestry and Forest Ecology, University of Goettingen, Cuvillier Verlag Goettingen, 187 pp.
- Pommerening, A., 2002: Approaches to quantifying forest structures. *Forestry* 75, 305-324
- Pommerening, A., 2006: Evaluating structural indices by reversing forest structural analysis. *For. Ecol. Manage.* 224: 266-277.
- Pommerening, A., D. Stoyan, 2006: Edge-correction needs in estimating indices of spatial forest structure. *Can. J. For. Res.* 36:1723-1739.
- Pranjić, A., 1970: Sastojinske visinske krivulje hrasta lužnjaka. *Šum.list* 7-8: 201-220, Zagreb.
- Pranjić, A., 1979: Standardne visinske krivulje i jednoulazne tablice hrasta lužnjaka. *Šum. list* 7-8, str. 349-355, Zagreb.

- Pranjić, A., 1980: Odnos visinskog i debljinskog prirasta u sastojinama hrasta lužnjaka. Glas. šum. pokuse 20: 5-92, Zagreb.
- Pranjić, A., 1985: Hipotetski razvoj sastojina hrasta lužnjaka. Glas. šum. pokuse 23, str. 1-23, Zagreb.
- Pranjić, A., V. Hitrec, N. Lukić, 1988: Praćenje razvoja sastojina hrasta lužnjaka tehnikom simuliranja. Glas. šum. pokuse 24, Zagreb.
- Pranjić, A., N. Lukić, 1989: Prirast stabala hrasta lužnjaka kao indikator stanišnih promjena, Glas. šum. pokuse 25: 79-94, Zagreb.
- Pranjić, A., N. Lukić, 1997: Izmjera šuma. 405 str., Zagreb.
- Pretzsch, H., 1998: Structural diversity as a result of silvicultural operations. *Lesnictvi-Forestry* 44 (10), 429–439.
- Pretzsch, H., 2002: Grundlagen der Waldwachstumsforschung. Parey Buchverlag, 414 str., Berlin.
- Prodan, M., 1965: Holzmesslehre. J.D. Sauerlaender's Verlag, Frankfurt am Main.
- Prodan, M., 1968: Forest Biometrics, Pergamon Press, London W.1 447 pp.
- Pukkala, T., 1989: Predicting diameter growth in even-aged Scots pine stands with a spatial and non-spatial model. *Silva Fennica* 23 (2), 101–116.
- Pukkala, T., 1989: Methods to describe the competition process in a tree stand. *Scandinavian Journal of Forest Research* 4:187-202.
- Puumalainen, J., M. Maltamo, A. Kangas, 2002: Calibrating predicted diameter distribution with additional information for structurally diverse forest stands. In: Gadow, K.v., Nagel, J., Saborowski, J. (Eds.), Continuous Cover Forestry. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 107–121.
- Särkkä, A., 1995: Pseudo-likelihood approach for Gibbs point processes in connection with field observations. *Statistics* 26, 89–97.
- Särkkä, A., E. Tomppo, 1998: Modelling interactions between trees by means of field observations. *Forest Ecology and Management* 108, 57–62.
- Schröder, J., K. Gadow, 1999: Testing a new competition index for Maritime pine in northwestern Spain. *Can. J. For. Res.* 29(2): 280–283.
- Siipilehto, J., 1999: Improving the accuracy of predicted basal-area diameter distribution in advanced stands by determining stem number. *Silva Fenn.* 33, 281–301.

- Skovsgaard, J. P., J. K. Vanclay, 2008: Forest site productivity: a review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands. *Forestry Advance Access published on October 24, 2007. Forestry* 81: 13-31.
- Soares, P., M. Tomé, 1999: Distance-dependent competition measures for eucalyptus plantations in Portugal. *Ann. For. Sci.* 56, 307-319.
- Spurr, S. H., 1962: A measure of point density. *For. Sci.* 8:85-96.
- Stadt, K. J., C. Huston, K. D. Coates, Z. Feng, M. R. T. Dale, V. J. Lieffers, 2007: Evaluation of competition and light estimation indices for predicting diameter growth in mature boreal mixed forests. *Ann. For. Sci.* 64, 477-490.
- Stamatellos, G., G. Panourgias, 2005: Simulating spatial distributions of forest trees by using data from fixed area plots. *Forestry* 78: 305-312.
- StatSoft, Inc. 2004.: STATISTICA Electronic Manual, Statistica (data analysis software system), Version 6.
- Sterba, H., 2008: Diversity indices based on angle count sampling and their interrelationships when used in forest inventories. *Forestry* 81: 587-597.
- Stokes, M. A., T. L. Smiley, 1968: An Introduction to Tree-Ring Dating. University of Chicago Press, Chicago, IL.
- Stoyan, D. A. Penttinen, 1998. *Spatial Point Process Methods in Forestry Statistics*. Technical University Freiberg, Faculty of Mathematics and Informatics, 66 p.p.
- Špiranec, A., 1973: Drugi prilog poznavanju obličnog broja graba. *Šum. list* 1-2: 45-52, Zagreb.
- Špiranec, M., 1975: Prirasno-prihodne tablice za hrastove, bukvu, obični grab i pitomi kesten, *Rad. Šumar. inst.* 25:1-103, Jastrebarsko.
- Trasobares, A., T. Pukkala, 2004: Using past growth to improve individual-tree diameter growth models for uneven-aged mixtures of *Pinus sylvestris* L. and *Pinus nigra* Arn. in Catalonia, north-east Spain. *Ann. Sci. For.* 61 (5), 409–417.
- Trinajstić, I. 1996: Taksonomska problematika hrasta lužnjaka u Hrvatskoj, U: D. Klepac (gl. ur.), *Hrast lužnjak u Hrvatskoj*, HAZU Centar za znanstveni rad Vinkovci i HŠ p.o., 96-101, Zagreb.
- Tomé, M., H. Burkhart, 1989: Distance-Dependent Competition Measures for Predicting Growth of Individual Trees. *Forest Science*, Vol. 35, Number 3, pp. 816-831(16).

- Tuškan, S., 2000: Utjecaj strukture na njegu sastojina prorjedom u šumi hrasta lužnjaka i običnog graba (*Quercus robur-Carpinetum illyricum*, Anić) Šum. list 1-2, 242, Zagreb.
- Uotila, A., M. Maltamo, J. Uuttera, A. Isomäki, 2001: Stand structure in semi-natural and managed forests in eastern Finland and Russian Karelia. Ecol. Bull. 49, 149–158.
- Vancly, J. K., 1994: Modelling forest growth and yield. In: Applications to Mixed Tropical Forests, CAB International, Wallingford.
- Vasilj, Đ., 2000: Biometrika i eksperimentiranje u bilnogojstvu. Hrvatsko agronomsko društvo, str. 109, Zagreb.
- Visser, H., J. Molenaar, 1990: Estimating trends in tree-ring data. For. Sci. 36 (1), 87–100.
- Vukelić, J., Đ. Rauš, 1998: Šumarska fitocenologija i šumske zajednice u Hrvatskoj. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Weber, P., H. Bugmann, P. Fonti, A. Rigling, 2008: Using a retrospective dynamic competition index to reconstruct forest succession, For. Ecol. Manage. 254:96-106.
- Wykoff, W. R., R. A. Monserud, 1988: Representing site quality in increment models: a comparison of methods. In: Ek, A.R., Shifley, S.R., Burk, T.E. (Eds.), Forest Growth Modelling, Prediction, USDA For. Serv. Tech. Re NC-120, vol. 2, pp.184–191.
- Zelić, J., 2000: Prilog raspravi o teoriji rasta, prirasta i održivog razvoja. Šum. list 9-10, 569-611, Zagreb.
- Zenner, E., D.E.Hibbs, 2000: A new method for modeling the heterogeneity of forest structure. For. Ecol. Manag. 129:75-87.
-Osnova gospodarenja gospodarskom jedinicom Repaš – Gabajeva greda (2001.-2010.)
-Pravilnik o uređivanju šuma, Narodne novine 111/06, 141/08.
-Šumskogospodarska osnova područja Republike Hrvatske, 2006

SAŽETAK

Istraživanje za potrebe ove disertacije provedeno je u državnim šumama na području gospodarske jedinice Repaš – Gabajeva Greda, kojom gospodari šumarija Repaš, u sastavu Uprave šuma Podružnice Koprivnica. Predmet istraživanja su starije sastojine hrasta lužnjaka i običnoga graba koje pripadaju šumskoj zajednici *Carpino betuli-Quercetum roboris*, /Anić 1959/ emend. Rauš 1969. Plohe za izmjeru postavljene su 2000. g. u sastojinama starosti 75-132 godina. Podaci su prikupljeni s 45 kružnih ploha veličine 0,071 do 0,283 ha. Mjereni su prsni promjeri, visine, širine krošanja, određivan položaj stabala na plohi, a lužnjakovim stablima su izvađeni izvrtci i određene širine godova. Uredskom obradom podataka izračunati su elementi strukture, udaljenosti između stabala, debljinski prirasti. za svaku plohu izračunata su tri indeksa strukture sastojine (Clark-Evansov agregacijski indeks, indeks ispremiješanosti vrsta (Feuldner, 1995).) te indeks diferencijacije promjera (Feuldner, 1995). Prema utvrđenim kriterijima na svim su plohama odabrana referentna/glavna stabla te njihovi konkurenti u zoni kompeticije koja je definirana udaljenošću od glavnog stabla. Za sva glavna stabla računati su kompeticijski indeksi (Hegyijev kompeticijski indeks, Weberov visinski kompeticijski indeks, te Weberov dinamički kompeticijski indeks za svaku godinu od 1980-2000. što je bilo moguće zahvaljujući podacima o širinama godova za navedeno razdoblje. Kumulativne krivulje dinamičkog kompeticijskog indeksa su klasterirane kako bi se dobile grupe stabala koje su kroz promatrano razdoblje imale slične obrasce rasta i razvoja s obzirom na njihovu razinu i trend kompeticijskog utjecaja. Na temelju rezultirajućih dendrograma razlučene su grupe stabala sa sličnom kompetitivnom dinamikom. Regresijskom analizom utjecaja pojedinih elemenata strukture na debljinski prirast dobiveni su modeli s koeficijentima determinacije do 47,9%. Regresijske jednadžbe ovisnosti debljinskog prirasta o pojedinim elementima strukture pomoći će u predikciji razvoja stabla i sastojine. Istraživanje je pokazalo mogućnosti primjene i načine interpretacije indeksa strukture sastojine i kompeticijskih indeksa individualnih stabala kao dodatnih pokazatelja strukture koji pomažu u kvantifikaciji stanja i komparaciji sastojina.

SUMMARY

Research for this doctoral thesis has been conducted in state-owned forests under the management unit Repaš – Gabajeva Greda area which is administrated by forest office Repaš, part of the regional forest office Koprivnica. Object of the research are older penduculate oak and common hornbeam stands which belong to the forest community *Carpino betuli–Quercetum roboris*, /Anić 1959/ emend. Rauš 1969. Sample plots were set in year 2000. on 75-132 year-old stands. Data were collected of 45 circle plots sized 0,071 to 0,283 ha. Breast-high diameters, height and crown widths were measured, tree position on the plot was determined, and penduculate oak trees had increment cores taken and tree rings width determined. In data processing structural elements, distance between trees and radial increments were calculated, for each plot three stand structure indices were calculated (Clark and Evans aggregation index, species mingling index (Feuldner, 1995) and diameter differentiation index (Fueldner, 1995)). By determined criteria in all the plots referent trees were selected as well as their competitors in competition zone defined by referent tree distance. For all referent trees competition indices were calculated (Hegyi competition index, Weber's height competition index, and Weber's dynamic competition index for each year 1980 – 2000, which was possible thanks to tree rings width data for the stated time period. Competition index cumulative curves were clustered in order to produce tree groups which had similar tree growth patterns according to their level and competing influence trend. Based on the resulting dendrograms, groups of trees with similar competing dynamics were distinguished. Regression analysis of the influence that a particular structural element has on the radial increment produced models with determination coefficient up to 47,9%. Regression equations of radial increment correlation with particular structural elements will be helpful in tree and stand growth prediction. The research has indicated possibilities of use and ways of interpreting stand structure indices as well as ways of interpreting competition indices of individual trees as additional indicators of structure, which are helpful in condition quantification and stand comparison.

ŽIVOTOPIS

Krunoslav Indir rođen je 10. prosinca 1971. godine u Koprivnici gdje pohađa osnovnu i srednju školu (matematičko informatički smjer). Godine 1990. upisuje studij na Šumarskom odsjeku Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu te odlazi na odsluženje vojnog roka. Po povratku započinje studij 1991. g. i kao redovni student diplomira 1995. iz predmeta Uređivanje šuma s temom „Prirast obične bukve (*Fagus sylvatica* L.) u specijalnom rezervatu šumske vegetacije Dugačko brdo“.

Od 1996. godine radi u poduzeću Hrvatske šume, Odjelu za uređivanje šuma Uprave šuma Koprivnica, najprije kao pripravnik, a potom kao pomoćnik taksatora i taksator. Od 1999.-2005. godine radi u istom Odjelu kao samostalni taksator, na poslovima izrade Šumskogospodarskih planova.

Godine 1998. upisuje poslijediplomski znanstveni studij na Šumarskom fakultetu u Zagrebu koji završava 2004. g. obranom magistarskog rada pod naslovom „Optimalni načini prikupljanja i obrade podataka kontrolnom metodom u inventuri šuma“.

Od 2005. radi kao asistent u tada Odjelu, a sada Zavodu za uređivanje šuma i šumarsku ekonomiku Hrvatskog šumarskog instituta. Suradnik je na nekoliko projekata financiranih od države i poduzeća Hrvatske šume d.o.o. U svojstvu autora/koautora objavio je desetak članaka u znanstvenim i stručnim časopisima. Kao član povjerenstava resornog Ministarstva, od 2005. g. sudjeluje u postupku pregleda i odobrenja Šumskogospodarskih planova. Član je ispitnog povjerenstva za provođenje stručnih ispita u Hrvatskoj komori inženjera šumarstva i drvne tehnologije.

Ovlašteni je inženjer šumarstva i stalni sudski vještak.

Član je Hrvatskog šumarskog društva, Hrvatske komore inženjera šumarstva i drvne tehnologije, Hrvatskog društva sudskih vještaka, Planinarskog društva Pevec.

Otac je četvero djece. Živi u Koprivnici.