

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA GOZDARSTVO IN OBNOVLJIVE GOZDNE  
VIRE

Jernej VADNJAL

**KROJENJE LESA IGLAVCEV IN LISTAVCEV PRI  
STROJNI SEČNJI**

DIPLOMSKO DELO  
Univerzitetni študij

Ljubljana 2008

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA GOZDARSTVO IN OBNOVLJIVE GOZDNE VIRE

Jernej VADNJAL

**KROJENJE LESA IGLAVCEV IN LISTAVCEV PRI STROJNI  
SEČNJI**

DIPLOMSKO DELO  
Univerzitetni študij

**MECHANIZED BUCKING OF CONIFEROUS AND DECIDUOUS  
TREES**

GRADUATION THESSIS  
University studies

Ljubljana, 2008

Diplomsko delo je zaključek univerzitetnega študija gozdarstva. Opravljeno je bilo na katedri za gozdno tehniko in ekonomiko Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Terenske meritve so bile opravljene v Soškem gozdnogospodarskem območju v gozdnogospodarski enoti Črni vrh.

Komisija za študijska in študentska vprašanja na Oddelku za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire je na seji, dne 23.06.2006, sprejela predlagano temo in določila za mentorja prof. dr. Boštjana Koširja in za recenzenta dr. Jurija Marenčeta.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddal v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Jernej Vadnjaj

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Dn

DK GDK 323.3:(043.2)=163.6

KG

KK strojno krojenje lesa/Syncrofalke/iglavci/listavci/

AV VADNJAL, Jernej

SA KOŠIR, Boštjan (mentor)

KZ SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83

ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire

LI 2008

IN KROJENJE LESA IGLAVCEV IN LISTAVCEV PRI STROJNI SEČNJI

TD Diplomsko delo (univerzitetni študij)

OP VIII, 52 str., 7 pregl., 23 sl., 19 vir.

IJ sl

JI sl/en

AI

Diplomsko delo se ukvarja s krojenjem lesa iglavcev in listavcev pri dodelavi lesa s strojem za dodelavo. Na stojišču žičnega žerjava s stolpom Syncrofalke s strojem za dodelavo Woody 60 smo pri drevesih, ki so jih spravljali cela, izmerili prsni premer, srednji premer in dolžino ter določili kakovostni razred po standardih SI. Ugotavljali smo: natančnost prežagovanja in vpliv le tega na tržno vrednost sortimenta, odvisnost med velikostjo prsnega premera in vrednostjo drevesa, številom sortimentov in velikostjo povprečnega kosa, odvisnost med drevesno višino in vrednostjo drevesa, števila sortimentov in velikostjo povprečnega kosa, delež vrednosti posameznega sortimenta v vrednosti celega drevesa in delež napake ali nadmere pri posameznem sortimentu v vrednosti napake za celotno drevo.

## KEY WORDS DOCUMENTATION

DN GT

DC FDC 323.3:(043.2)=163.6

CX

CC mechanized tree bucking/Syncrofalke/coniferous trees/deciduous trees/

AU VADNJAL, Jernej

AA KOŠIR, Boštjan (supervisor)

PP SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83

PB University of Ljubljana, Biotechnical faculty, Department of forestry and renewable forest resources obnovljive gozdne vire

PY 2008

TI MECHANIZED BUCKING OF CONIFEROUS AND DECIDUOUS TREES

DT Graduation thesis (University studies)

NO VII, 52 p., 7 tab., 23 fig., 19 ref.

LA sl

AL sl/en

AB

The study deals with mechanical bucking of coniferous and deciduous trees on the standing of the cable crane with tower Syncrofalke. By the standing of cable crane we gathered data of the trees which arrived whole to the harvester head and were then processed. We measured diameter at breast height, diameter at half length of each log, quality class by the standards SI and we assessed the length of tree top. Gathered data enable us to study accuracy of crosscutting and its economic impact on log –making, dependence between diameter at breast height and tree value, number of log derived from each tree and volume of average log, dependence between tree height and tree value, number of log derived from tree and volume of average log, share of value of individual log in value of whole tree and share of value loss, made because inaccurate crosscutting of individual log in value loss accumulated in whole tree.

**KAZALO VSEBINE**

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....	III
KAZALO VSEBINE.....	V
KAZALO PREGLEDNIC.....	VI
KAZALO SLIK.....	VII
1 UVOD.....	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA.....	2
2 PREGLED OBJAV.....	4
3 CILJI RAZISKOVANJA.....	16
3.1 DELOVNE HIPOTEZE.....	17
4 MATERIALI IN METODE.....	18
4.1 TEHNIČNE TEHNOLOŠKE LASTNOSTI ŽIČNEGA ŽERJAVA S STOLPOM SYNCROFALKE.....	20
4.2 TEHNIČNE TEHNOLOŠKE ZNAČILNOSTI HARVERSTERSKE GLAVE WOODY 60.....	20
5 REZULTATI.....	22
5.1 NATANČNOST PREŽAGOVANJA HARVERSTERSKE GLAVE IN VPLIV LE TEGA NA TRŽNO VREDNOST SORIMENTA.....	23
5.2 VPLIV VIŠINE IN PRSNEGA PREMERA DREVESA NA VIŠINO IZGUBE PRI STROJNEM KROJENJU LESA.....	27
6.3 ŠTEVILO IN POVPREČNA VELIKOST IZDELANIH SORTIMENTOV IZ POSAMEZNEGA DREVESA.....	32
7 RAZPRAVA IN SKLEPI.....	40
7.1 RAZPRAVA.....	40
7.2 SKLEPI.....	47
8 POVZETEK.....	50
9 VIRI.....	51

**KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Vrednost 1 m <sup>3</sup> lesa iglavcev. ....	19
Preglednica 2: Vrednost 1 m <sup>3</sup> lesa listavcev. ....	19
Preglednica 3: Tehnični podatki harversterske glave Woody 60. ....	21
Preglednica 4: Frekvenčna porazdelitev dolžin iglavcev. ....	24
Preglednica 5: Podatki o krojenju iglavcev. ....	25
Preglednica 6: Frekvenčna porazdelitev dolžin sortimentov listavcev ....	25
Preglednica 7: Podatki o krojenju listavcev. ....	27

**KAZALO SLIK**

Slika 1: Frekvenčna porazdelitev dolžin sortimentov pri stroju za sečnjo Valmet 901 (Toplitsch 1991) .....	16
Slika 2: Frekvenčna porazdelitev dolžin sortimentov iglavcev.....	23
Slika 3: Frekvenčna porazdelitev dolžin sortimentov listavcev.....	25
Slika 4: Vrednost drevesa v odvisnosti od prsnega premera pri iglavcih.....	28
Slika 5: Vrednost drevesa v odvisnosti od prsnega premera pri listavcih.....	28
Slika 6: Odvisnost med višino in vrednostjo drevesa pri iglavcih.....	29
Slika 7: Odvisnost med višino in vrednostjo drevesa pri listavcih.....	29
Slika 8: Kumulativa vrednosti od prvega sortimenta proti vrhu pri iglavcih.....	30
Slika 9 : Kumulativa vrednosti od prvega sortimenta do vrha drevesa pri listavcih.....	30
Slika 10: Kumulativa vrednosti napak pri prežagovanju lesa iglavcev.....	31
Slika 11: Kumulativa vrednosti nadmere od prvega sortimenta do vrha pri listavcih.....	31
Slika 12: Odvisnost izkoristka drevesa od prsnega premera drevesa pri listavcih.....	32
Slika: 13: Število sortimentov v odvisnosti od prsnega premera pri iglavcih.....	34
Slika 14: Število sortimentov v odvisnosti od prsnega premera pri listavcih.....	34
Slika 15: Število sortimentov v odvisnosti od višine pri iglavcih.....	35
Slika 16: Število sortimentov v odvisnosti od višine pri listavcih.....	35
Slika 17: Velikost povprečnega kosa v odvisnosti od prsnega premera pri iglavcih.....	36
Slika 19: Velikost povprečnega kosa v odvisnosti od drevesne višine pri iglavcih.....	37
Slika 20: Velikost povprečnega kosa v odvisnosti od neto kubature drevesa pri iglavcih..	38
Slika 21: Velikost povprečnega kosa v odvisnosti neto kubature pri listavcih.....	38
Slika 22: Odvisnost števila sortimentov, velikosti povprečnega kosa in velikosti povprečnega kosa v bremenu od neto drevesa pri iglavcih.....	39
Slika 23: Odvisnost števila sortimentov, velikosti povprečnega kosa in velikosti povprečnega kosa v bremenu od neto drevesa pri listavcih.....	39



## 1 UVOD

Krojenje debel je delovni postopek sečnje in izdelave lesa. Z njim skušamo optimalno ovrednotiti deblo; temelji na poznavanju drevesnih vrst, napakah lesa, vrstah, kakovosti in vrednosti gozdnih lesnih sortimentov ter razmer na trgu. S pravilnim postopkom močno zmanjšamo ali celo izenačimo razliko med mogočim in doseženim prihodkom od lesa. Namen krojenja je določiti mesta prerezov med sortimenti različnih kakovostnih razredov (Furlan in Košir 2006).

Iz analize gozdnogospodarskih načrtov območij za obdobje 2000-2010 je moč razbrati, da strojna sečnja v tem obdobju še ni obravnavana kot realna tehnologija pridobivanja lesa. V drugi polovici tega obdobja je postalo jasno, da smo z vstopom v tretje tisočletje na področju gozdarstva vstopili tudi v novo tehnično obdobje, za katerega bo značilna uporaba strojna sečnje, vožnje lesa in izpopolnjene informacijske tehnologije (Košir, 2004). Uvajanje strojne sečnje je posledica sledenju razvojnim trendom, ki so v Evropi in svetu stalno prisotni. Začetek uvajanja novih tehnologij se je pri nas začel dokaj pozno glede na ostale razvite države v Evropi in Svetu. Najverjetneje zaradi politike in slabih ekonomskih razmer v bivši Jugoslaviji ob koncu 80-tih let prejšnjega stoletja in tranzicije, ki je sledila po ustanovitvi nove države.

Kakorkoli že, strojna sečnja je sedaj postala realnost in nudi neslutene možnosti razvoja tehnologij pridobivanja lesa v okviru sonaravnosti, mnogonamenskosti in trajnosti. Nudi veliko izboljšav z vidika ergonomije, varstva pri delu in gospodarnosti. Po drugi strani pa je bila ta tehnologija namenjena gospodarjenju z gozdovi po popolnoma drugačnih načelih kot so uveljavljena pri nas. Za to bo potrebno veliko proučevanja in raziskav o tem, kako to tehnologijo vključiti v naš koncept gospodarjenja z gozdovi v okviru gospodarnosti, ergonomičnosti in varstva pri delu.

Ena takih raziskav je tudi krojenje lesa iglavcev in listavcev pri strojni sečnji.

## 1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Na poti lesa iz gozda do končnega potrošnika je veliko mest, na katerih lahko nastopi potencialna izguba prihodka. Eno takih mest pri katerem lahko nastanejo velike potencialne izgube čistega dohodka je tudi krojenje lesa. Krojenje lesa je delovna faza pri sečnji in izdelavi, ko okleščeno drevo pripravimo za nadaljnjo obdelavo, tako da ga razžagamo na večje število kosov ali sortimentov. To lahko napravimo na panju ob kamionski cesti ali na centralnem mehaniziranem skladišču. Do nedavnega je bila velika večina lesa pri nas krojena motorno-ročno, z motorno žago in sekaškim metrom. Med krojenjem iglavcev in listavcev pa obstajajo pomembne razlike, ki so posledica različne rasti dreves in zgradbe lesa.

Tako je pri iglavcih v veljavi dolžinsko krojenje, predvsem zato, ker je razpored napak in kakovosti od panja proti vrhu drevesa bolj ali manj enakomeren. Osnovna dolžina je 4 m, ki pri jelki in smreki napreduje po 25 cm, pri ostalih iglavcih pa po 10 cm, posameznim sortimentom dodamo 1-2 cm nadmere na meter, toda najmanj 5 cm in največ 20 cm. Kakovost vsakega sortimenta se lahko določa po SIST- 1014 (Furlan, 2006). Za tako določanje kakovosti je potrebno napako prepoznati, jo izmeriti in določiti stopnjo kvarnega vpliva.

Pri listavcih izvajamo krojenje po kakovosti, ker se napake in kakovost ne razporejajo enakomerno od panja proti vrhu drevesa. Sortimentu najslabše kakovosti na korenovcu lahko sledi sortiment odlične kakovosti, potem pa ponovno sortiment nekoliko slabše kakovosti. Zaradi tega je krojenje listavcev zelo zahteven postopek, če hočemo les iz posameznega drevesa ali sestojja maksimalno ovrednotiti. Te cilje je nemogoče doseči z delom po vnaprej predpisanem receptu (Furlan in Košir 2006).

Z vstopom v novo tehnično obdobje se bo znatno povečal delež strojno krojenega lesa, zlasti lesa iz državnih gozdov. V zasebnih gozdovih in pri drevesih izjemnih dimenzij pa bo še nekaj časa ročni-strojni način krojenja v veliki večini prevladoval.

Ne glede na tehnologijo krojenja pa ostaja temeljni problem enak in sicer na kakšne sortimente (dolžina, premer, kakovost), bomo drevo razžagali, da bo njegova vrednost največja. Rešitev tega problema ima odločilen vpliv na celotno gospodarnost sečnje in spravila lesa. Pomembno je predvsem dvoje:

- število in kvaliteta posameznih sortimentov določata vrednost posameznega debla.
- posledic napačnega krojenja ne moremo popraviti v kasnejših fazah delovnega postopka skozi katerega gredo posamezni sortimenti.

Problem postane še večji, ko se zavemo nehomogene zgradbe dreves; ta imajo poleg zunanjih napak, ki jih bolj ali manj preprosto opazimo in določimo stopnjo kvarnega vpliva, tudi notranje napake, kot so razne vrste gnilob, rdeče srce, diskoloracije in druge. Te notranje napake so v času krojenja lahko popolnoma nepoznane. Zaradi gospodarnosti dela potekajo merjenje sortimenta, kleščenje in prežagovanje istočasno. Zato dostikrat krojimo ob nepopolni in zato nezadostni informiranosti o lastnostih posameznega debla. Zaradi tega se pojavljajo izgube čistega dohodka tako pri ročno-strojnem krojenju (11 %), kot pri strojnem (18 %) (Murphy, 2003a, cit. po Hamish in sod., 2006; Marshall, 2005 cit. po Hamish in sod 2006).

Vsak lastnik gozda ali pa pravna oseba, ki se ukvarja z gozdno proizvodnjo zasleduje čim boljši rezultat. Zato je najverjetnejša smer razvoja tehnologij za krojenje lesa v uporabi sistemov za hitro pridobivanje podatkov o obliki in notranji sestavi debel, kot so različni svetlobni in laserski čitalci, ultrazvok, x-ray in CT. Slednje je naprava, ki s kroženjem rentgenskih žarkov okoli zelenega mesta slikanja ustvari zaporedje slik iz različnih kotov.

## 2 PREGLED OBJAV

Objav, ki bi se ukvarjale s problematiko krojenja lesa pri strojni sečnji v slovenskem prostoru nismo zasledili. V tujini je predvsem v gozdarsko bolj razvitih državah takšnih člankov več.

Na temo krojenja lesa sta pri nas največ objavljala Lipoglavšek (1988) in Furlan (Furlan in Košir, 2006). O vrednosti lesa in dejavnikih, ki vplivajo na vrednost lesa posameznih drevesnih vrst pa so veliko pisali Rebula (1996, 1998, 2002), Rebula in Kotar (2005) ter Kadunc in Kotar (2006).

S problematiko krojenja lesa se je veliko ukvarjal Lipoglavšek. Svoje ugotovitve in spoznanja je objavil leta 1988 v učbeniku (Lipoglavšek, 1988) z naslovom Gozdni proizvodi, v katerem avtor natančno opredeljuje problematiko krojenja lesa. Je eno temeljnih del na področju krojenja lesa v Sloveniji. V delu razloži zgradbo drevesa, nadaljuje z razčlenitvijo lastnosti lesa nakar preide na opis napak lesa in načina merjenja ter izračunavanja kvarnega vpliva le teh. Učbenik natančno opredeli merjenje drevja in gozdno lesnih sortimentov. V nadaljevanju opiše vrste gozdno lesnih sortimentov in predstavitvi načine krojenja gozdnih lesnih sortimentov.

Leta 2006 je izšel priročnik, ki sta ga napisala Furlan in Košir (2006). Priročnik ponuja celovit pregled nad problematiko vrednotenja in krojenja lesa. Podrobno so opisane napake lesa in postopki izračunavanja njihovega kvarnega vpliva. Seznanimo se s gozdnimi proizvodi in lokacijo najvrednejših sortimentov v drevesu. Avtorja ugotavljata, da se v prometu z lesom pojavljajo sezonska in letna nihanja cen lesa. Nihanja se največkrat izražajo z zaostrovanjem ali zmanjševanjem kriterijev (dimenzije, vrsta število in velikost grč in drugi), ki uvrščajo posamezen sortiment v določen kakovostni razred. V nadaljevanju nas opozori na pomembnost izbire izvajalca del in načina trženja. Priročnik prikazuje tako trenutno veljavne kot tudi stare jugoslovanske standarde pri prometu z gozdno lesnimi sortimenti. Bistvo priročnika pa je nazoren prikaz dveh načinov krojenja lesa in sicer dolžinsko krojenje, ki je v veljavi pri iglavcih in krojenjem po kakovosti

oziroma po napakah, ki se uporablja pri listavcih. Seznanimo se z najpogostejšimi napakami tako pri iglavcih kot pri listavcih, z načinom merjenja in načinom izračunavanja kvarnega vpliva.

Na tematiko strojne sečnje je v zadnjih letih bilo objavljenih veliko člankov predvsem v Gozdarskem vestniku.

V članku Tehnološke možnosti strojne sečnje (Košir, 2003) je prikazan razvoj gozdarskih tehnologij na našem ozemlju v preteklosti. Predstavljeni so možni načini uporabe novih tehnologij v prihodnosti. Avtor predstavi značilnosti tehnološkega razvoja Slovenskega gozdarstva v preteklosti in se rahlo dotakne vzrokov za zaostanek, ki se je začel v sedemdesetih letih prejšnjega stoletja. Poudarja, da je pomembno odgovoriti na vprašanje katere oblike strojne sečnje so primerne za razmere, ki jih najdemo pri nas in koliko je takih površin.

Nadalje opredeli pojme: tehnika, tehnologija, metode dela, tehnika dela in način dela. Definira še ročno, ročno-strojno ter strojno sečnjo, glede na orodje ( sekira, ročna žaga, motorna žaga in stroj za sečnjo), ki se uporablja pri določeni vrsti sečnje. Definira tudi dva tehnološka sistema in sicer sitem kratkega in dolgega lesa.

Seznani nas s časom in razmerami, ki so vladale, ko so nastali prvi stroji (60-ta leta prejšnjega stoletja). Predstavi tehnološke sisteme strojne sečnje in gibanja uporabe sistemov dolgega in kratkega lesa v svetovnem merilu. Ugotavlja tudi deleže delovnih metod (drevesna 50 %, debelna 20 % in sortimentna 30 %). Seznan nas s stroji, ki v posameznih sistemih nastopajo ter z razmerami v katerih se lahko pojavijo:

- iglavci,
- listavci,
- nakloni do 60 %,
- obvladovanje dreves s prsnim premerom do 90 cm.

V članku so opisane razlike med stroji:

- procesor,
- feller- buncher,
- delimber.

Glede na velik zaostanek pri uvajanju strojne sečnje, ki ga beležimo v primerjavi z gozdarsko bolj razvitimi državami in posebnostmi v Sloveniji, ki jih je potrebno upoštevati pri uvajanju novih tehnologij. Te pa so:

- zakoni in predpisi,
- drevesna in debelinska sestava sestojev,
- posestna struktura,
- terenske značilnosti in gozdarska infrastruktura.

Avtor ugotavlja, da so za naše razmere primerni stroji za sečnjo ali izdelavo. Prvi bi delali na traktorskih terenih v sistemih kratkega lesa. Stroji za izdelavo pa so primerni za žičniške terene v tehnologijah dolgega lesa.

V nadaljevanju ugotavlja, da smo na pragu novega tehničnega obdobja in da se bodo spremembe, ki se danes dogajajo poznale še dolgo časa. Opozarja na različne čustvene odzive in stereotipe, ki se pojavljajo ob nepopolni informiranosti, tako pri strokovni, kot laični javnosti. Poleg tega opozarja še na številne možnosti uporabe, ki jih je potrebno preučiti skozi vidike ergonomije, ekonomike in varstva pri delu.

V članku Volumenska in vrednostna zgradba ter priraščanje smrekovih sestojev v gorskih legah Slovenije (Kadunc in Kotar, 2006.) je predstavljena porazdelitev lesne zaloge v sestoji in sortimentna struktura smreke v Slovenji. Članek omogoča primerjavo med povprečno sortimentno strukturo smreke in sortimentno strukturo smreke zajete v našo raziskavo. Avtorja se v članku ukvarjata s strukturo lesne zaloge, tekočim volumenskim

prirastkom, vrednostjo lesne zaloge in tekočim vrednostnim prirastkom po Kraftovi lestvici socialnih razredov.

Analizirala sta smrekove debeljake 9 rastiščnih enot. Na vsaki rastiščni enoti sta zakoličila pet ploskev 30\*30 m. Na teh ploskvah sta merila:

- prsni premer,
- višino drevesa,
- prirastek v preteklih desetih letih,
- ter ocenila kakovost za vsako četrtino debla posameznega drevesa.

Ugotovila sta, da se več kot 95 % lesne zaloge nahaja v strehi sestoja (prve tri plasti po Kraftu). Isto velja tudi za vrednost lesne zaloge. V tekočem volumenskem in vrednostnem prirastku pa delež strehe sestoja doseže 98 %. V raziskavi sta ugotovila povezanost visokih lesnih zalog z visokimi vrednostnimi prirastki. Ugotovila sta tudi sortimentno strukturo, ki je nastala z ugotavljanjem kakovosti četrtin debla 1811-tim drevesom in sicer

- 3,6 % A
- 14,7 % B
- 66 % C
- 8 % D
- 6,9 % celuloznega lesa

S pomočjo članka Izkoristek lesa pri sečnji bukovine (Rebula, 2002) je moč primerjati izkoristek lesa pri ročno-strojni sečnji bukovine z izkoristkom lesa pri strojni sečnji bukovine. Članek se ukvarja z izkoristkom lesa pri sečnji bukovine, ki ga opredeli kot delež debeljadi, ki jo izdelajo v sortimente in jih po predpisih izmerijo ter prodajo. Volumen debeljadi se lahko določi s primernimi tablicami (tarife, dvovhodne deblovnice) ali pa s pomočjo enačb. Ker avtor v tem članku primerja tablične podatke s podatki pridobljenimi z meritvami pri sečnji, sočasno presoja tudi uporabnost tablic v naših razmerah in dejavnike, ki vplivajo na njihovo uporabnost.

Pri izvedbi raziskave so razpolagali s podatki o 1750 drevesih z 3450 m<sup>3</sup> debeljadi in 3050 m<sup>3</sup> izdelanih sortimentov pridobljenih pri različnih avtorjih. Pri vsakem drevesu so izmerili:

- prsni premer,
- višino in količino izdelanih sortimentov,
- količino debeljadi s pomočjo regresijskih enačb,
- tržno mero sortimentov,
- izkoristek lesa.

Nato so s pomočjo statistične obdelave določili dejavnike, ki vplivajo na višino izkoristka. V članku avtor ugotavlja, da izkoristek pada z večanjem volumna drevesa. Izkoristki so tako največji pri drobnem in tršatem drevju. Najnižji pa so pri debelem ter vitkem drevju. Podvojitve višine in debeline drevesa zmanjša izkoristek za okoli 3,4 %. Če bi bila posekana drevesa enakomerno porazdeljena po debelini in višini, bi povprečni izkoristek znašal 0,91, v praksi pa se uporablja približek 0,88. Znatno nižji izkoristki od omenjenega približka (0,88) so pri debelem in tršatem drevju (zelo vejnata drevesa z velikim ostankom v gozdu). Manjši izkoristek pri debelem drevju avtor razlaga z dejstvom, da se pri takem drevju pojavlja več trohnobe, rogovil, prelomov. Večji so izkoristki pri vitkem drevju, ker so drevesa malo vejnata z izrazitim deblom do vrha. Raziskava je pokazala, da na izkoristek vpliva tudi vejnatos in sicer obratno sorazmerno močno vejnata drevesa imajo izkoristek manjši do 3 %. Izkoristki bukovine so torej lahko zelo različni in gredo od 0,80 pri najbolj košatih in debelih drevesih do celo večjih od 1 pri najbolj vitkih in drobnih drevesih, kar pomeni da iz drevesa izdelajo več sortimentov kot izkazujejo tablice (tarife, dvovhodne deblovnice) debeljadi.

Avtor predlaga, da bi za izračun izkoristka lesa pri sečnji drobnejšega lesa namesto faktorja 0,88 uporabljali faktor 0,92 saj se pri tem drevju uporablja tudi lubje. Za izračun izkoristka pri sečnji debelejšega drevja pa predlaga znatno nižji faktor 0,85 ali še manj. Drugo možnost pa vidi v korigiranju tablic (tarife, dvovhodne deblovnice), tako da bi se znižala količina deblovine pri posameznem drevesu.



Nekateri izsledki raziskave avtorja napeljujejo na misel, da obstaja možnost izkazovanja prevelike količine debeljadi za najbolj vitka drevesa in premajhno izkazovanje debeljadi za debela zelo visoka drevesa. Iz zgoraj navedenega avtor sklepa, da deblovnice v določenih razmerah niso dovolj zanesljive.

Članek Dejavniki, ki vplivajo na vrednost bukovine (Rebula in Kotar, 2005) je pomemben, ker pojasnjuje in kvantificira vpliv posameznih dejavnikov na vrednost bukovega lesa. Sestavek prikazuje vpliv različnih dejavnikov na vrednost bukovine v najbolj ohranjenih in najbolj kakovostnih sestojih v Sloveniji. Upoštevali so:

- prsni premer,
- višina drevesa,
- starost drevesa,
- tržna mera drevesa,
- količina rdečega srca,
- delež rdečega srca,
- dolžina krošnje,
- delež krošnje,
- povprečna proizvodna doba.

V raziskavo je bil sprejet vzorec 1971 dreves s približno 4500 m<sup>3</sup> bukovine. Iz sestavka je razvidno, da so vsi koeficienti med vrednostjo bukovine in zgoraj naštetimi dejavniki značilno različni od nič. Tesnejše so korelacije med vrednostjo bukovega lesa in merami dreves (prsni premer, višina drevesa), ostale pa so nekoliko ohlapnejše. Vrednost debla narašča z merami drevesa. Tako vrednost narašča s kvadratom debeline in linearno z drevesno višino. Vrednost debel narašča sorazmerno z kakovostjo sortimentov izdelanih iz debla. Za vrednost debla je odločilna kakovost prve četrtine debla, saj se tu nahaja kar 85 % vrednosti debla.

Iz članka je razvidno, da je starejše drevo ob istih merah manj vredno, kot mlajše. Rdeče srce je dejavnik, ki lahko vrednost bukovine zmanjša do 30 %. Razlike so večje pri debelem drevju in na slabših rastiščih.

Vpliv krošnje na vrednost bukovine lahko ločimo na posredni in neposredni. Neposredno se njen vpliv kaže v zmanjševanju vrednosti bukovine z grčavostjo debla in sortimentov. Posredno pa večja krošnja povečuje prirastek in zmanjšuje pogostnost pojavljanja rdečega srca. Drevesa z več vrhovi imajo večji volumen, kot ga izkazujejo tablice za določevanje količine debeljadi (računska polnolesnost) in iz njih izdelajo več sortimentov. Povprečna vrednost m<sup>3</sup> bukovega lesa pa je manjša kot pri drevesih z izraženim deblom do vrha, krošnje zato sledi negativna parcialna korelacija med vrednostjo bukovine in tržno mero debla.

V članku Vrednost jelovih hlodov, njeni kazalci in njihova uporabnost pri razvrščanju hlodov (Rebula, 1998) je avtor predstavil vpliv posameznih dejavnikov na vrednost lesa. Ugotovitve se nanašajo na les iglavcev natančneje jelke. Cilji članka so ugotoviti ustrezna merila za določevanje kakovosti žagavcev in kako vplivajo na njihovo vrednost. Istočasno pa so presojali tudi uporabnost standardov v uporabi. Cilje so dosegli z obdelavo podatkov o 1453 m<sup>3</sup> jelovih hlodov. Merilo za vrednost hloda pa je bil izkupiček za deske, nažagane iz določenega hloda. Za vsak hlod so določili tri indekse in sicer:

- Im (količinski izkoristek, razmerje med volumnom desk in volumnom hloda),
- Ik (kakovostni izkoristek, povprečni indeks cen desk, nažaganih iz hloda),
- Iv (vrednostni izkoristek, zmnožek Im in Ik).

Ugotovitve raziskave so pokazale, da med kazalci vrednosti jelove hlodovine in njene vrednosti obstajajo značilne vendar ohlapne korelacije. Z njimi so pojasnili le 30 % variance Iv.

Najboljši pokazatelj vrednosti hlodovine je debelina. Vrednost hlodovine raste z debelino vendar degresivno. Maksimum doseže pri debelinah okrog 60 cm. Pri najboljših hlodih povzroči povečanje debeline za 1 cm povečanje vrednosti za 2,6 %.

Drugi pomemben dejavnik, ki vpliva na vrednost hlodovine, je grčavost. Največji vpliv imajo srednje grče. Vsaka taka grča ali pa venec, ki vsebuje tako grčo, zmanjša vrednost hloda do 1,5 %.

Tretji pomemben dejavnik, ki vpliva na vrednost jelove hlodovine je koničnost. Ta pri velikosti 1 cm/m zmanjša vrednost hloda do 2 %. Pri tem pa ni pomembno, kako je izražena s padcem premera na meter ali z odstotkom srednjega premera. Vpliv napak srca v tej raziskavi ni bil raziskan.

Uporaba standardov za razvrščanje gozdno lesnih sortimentov za napovedovanje vrednosti jelovih hlodov se je izkazala kot zelo tvegana. V 5 % primerov napovedi vrednosti za določen hlod je bila napaka večja kot 30 %. Zanesljive so šele pri napovedovanju večjih količin hlodovine 15 do 20 m<sup>3</sup>.

Članek Sortimentne in vrednostne tablice za debla jelke (Rebula, 1996) dokazuje, da standardi za določevanje kakovosti gozdnih lesnih sortimentov niso najboljši pokazatelj kvalitete lesa. Z raziskavo, ki je predstavljena v članku, je avtor dosegel naslednje zastavljene cilje:

- vrsto in količino posameznega sortimenta v deblu jelke,
- ugotoviti vrednost jelovih debel,
- raziskati, kaj in kako vpliva na sortimentno sestavo jelke,
- izdelati pripomočke (enačbe in tablice) za uporabo izsledkov raziskave v praksi.

V raziskavo so vključili vzorec 284 debel jelke s skupnim volumnom 486 m<sup>3</sup>. Debla so bila debeline od 20 cm do 81 cm, le te so navidezno skrojili s pomočjo računalniškega

programa na 4 m dolge sortimente z nadmero 6 cm in širino reza 1 cm. Po obdelavi podatkov so prišli do naslednjih zaključkov.

Predpisi ali standardi o razvrščanju gozdno lesnih sortimentov žagavcev smreke in jelke niso dovolj zanesljivi pri napovedovanju njihove dejanske vrednosti izražene z vrednostjo desk nažaganih iz posameznega debla. Kot alternativno rešitev predlaga uporabo regresijskih enačb, za oceno vrednosti debel, ki se odlikujejo z visoko značilnostjo in korelacijo. Tveganje je majhno, ocena pa obremenjena z manjšo napako.

Za izračun količine posameznih sortimentov v jelovem deblu, deležu posameznega sortimenta v odkazani lesni masi jelovine ter vrednosti jelovih debel je avtor v članku podal več regresijskih enačb.

Z raziskavo je ugotovil, da na vrednost debel najbolj vplivajo debelina drevesa, višina drevesa ter kvaliteta prvih 8 m debla ocenjena s čistostjo debla. Dovolj dobro pa jo opišemo s kazalci kot so:

- prsni premer,
- višina drevesa,
- kakovost prvih 8 m.

Najvrednejša debela najdemo na intervalu debeline od 40 cm do 55 cm. Z večanjem debeline vrednost počasi pada. Vrednost dreves z manjšo debelino od 40 cm pa hitro pada. Vrednost lesa narašča tudi z višino drevja.

Na koncu članka pa so podane še tablice, s katerimi je moč oceniti količino posameznih sortimentov v odkazani lesni masi jelovine. Zanesljivost ocene se povečuje z velikostjo odkazila.

Članek avtorjev Hamish s sodelavci (Hamish in sod., 2006) obravnava podoben problem in sicer ekonomske posledice napak pri merjenju dolžine in premera sortimentov. Članek

omogoča primerjavo nekaterih izsledkov z izsledki naše raziskave. Avtor predstavi dejstvo, da se pojavljajo vse večje težnje po večji mehaniziranosti dela v gozdarstvu, zaradi večje varnosti pri delu, pomanjkanja delavcev in večje ekonomičnosti dela. Seznanani nas tudi z načinom merjenja dolžin in premerov sortimentov. Zaradi različnih dejavnikov, ki vplivajo na proces merjenja prihaja do slučajnih in sistematičnih napak.

Raziskava je potekala tako, da so snemali podatke pri šestih harvesterjih v borovih sestojih. Podatke o premeru in dolžini sortimentov odčitane z zaslona v stroju so primerjali s tistimi, ki so jih pridobili za iste sortimente s premerko in sekaškim metrom.

Iz rezultatov raziskave je razvidno, da največje izgube nastajajo zaradi napak pri merjenju premerov in zaradi napak pri merjenju dolžin sortimentov med samim krojenjem. Izgube pri merjenju premerov so največje, ko so izmerjeni premeri manjši od stvarnih. Ravno tako so izgube, zaradi napak pri merjenju dolžin med samim krojenjem (prežagovanjem) največje, ko so izmerjene vrednosti dolžin manjše od stvarnih. Posledica tega je, da posamezni sortimenti ne dosegajo dimenzij, ki so zahtevane v standardih in so zaradi tega razvrščeni v nižji kakovostni razred. Take izgube so v raziskavi dosegle tudi vrednost 20 \$/kos

Iz istih rezultatov je razvidno, da pozitivne napake, tako pri merjenju premera, kot tudi dolžin, povzročijo manjše izgube, kot negativne. To pa zaradi preprostega dejstva, ker predolgih sortimentov ni potrebno uvrščati v nižji kakovostni razred, kot je temu primer pri sortimentih, ki ne dosegajo dimenzij, ki jih zahtevajo standardi.

Povprečna izguba dohodka, zaradi napak pri merjenju, ko so bile vključene vse napake (premer, merjenje dolžine, merjenje dolžine med krojenjem) je znašala 18 %. Ta vrednost drži ob predpostavki, da je celotno deblo izmerjeno in šele potem skrojeno. Ker pa tega večina strojnikov ne počne zaradi zamudnosti, je izguba zmanjšana na 7 %. Avtor v razpravi omenja možnost zmanjšanja izgub z namernim krojenjem daljših sortimentov, vendar tudi tu nastajajo izgube, saj kupec nadmere ne plačuje. Pri takšnem krojenju pa obstaja možnost izgube zadnjega sortimenta, ker zaradi prevelikih nadmer prejšnjih sortimentov postane prekratek.

Na koncu avtor ugotavlja, da je za zmanjšanje izgub pri krojenju odločilnega pomena strojnikovo poznavanje merilnega sistema, ki ga uporablja in poznavanje vpliva natančnosti tega sistema na ekonomiko celotnega delovnega procesa.

Članek Conrandie in sodelavcev (Conradie in sod., 2004) je zanimiv, ker dejansko vrednost strojnega krojenja več strojev za sečnjo v različnih sestojnih razmerah primerjajo z vrednostjo istega lesa pri optimalnem krojenju. Zbirali so podobne podatke, kot smo jih v naši raziskavi s to razliko, da so za vsako drevo podatke zbrali pred in po strojnem krojenju.

Raziskavo so izvedli na treh lokacijah s tremi enakimi harvesterji. Podatke so snemali na sledeč način. Po tem ko so drevo podrli, so mu dodelili identifikacijsko številko in izmerili:

- višino panja,
- premer korenovca z lubjem,
- prsni premer, premere z lubjem na določenih razdaljah od začetka debla.

Poiskali so napake in jih locirali glede na oddaljenost od začetka debla na koncu so izmerili še višino drevesa brez panja. Nato je strojnik deblo skrojil, raziskovalec pa je izmeril premere sortimentov. Posnete podatke so vnesli v programsko orodje AVIS (assessment of value by individual stem), s pomočjo katerega so določili optimalne in dejanske prihodke od posameznega drevesa.

Na prvi lokaciji so posekali 60,4 m<sup>3</sup>, lesa pri katerem so dosegli 92,6 % optimalne vrednosti, izguba pa je znašala 7,3 %. Na drugem delovišču so posekali 34,2 m<sup>3</sup> lesa in dosegli 89,7 % optimalne vrednosti. Izguba zaradi krojenja pa je znašala 10,3 %. Na tretjem delovišču so podrli 25,5 m<sup>3</sup> lesa, s katerim so dosegli 93,8 % optimalne vrednosti, izguba zaradi krojenja je tako znašala le 6,2 %. Izgube zaradi krojenja avtor pripisuje težnji programa za optimalno krojenje lesa vgrajenega na harvesterju, k izdelavi manjšega števila daljših sortimentov. Drugi vzrok za izgube pri krojenju pa avtor pripisuje napakam

merilnega sistema harvesterja, ki je izmeril premajhne vrednosti premerov sortimentov na tanjšem koncu.

Pomen članka avtorjev Sondell-a s sodelavci (Sondell in sod., 2002) je v tem, da nudi neposredno primerjavo natančnosti prežagovanja sortimentov med stroji, ki so bili vključeni v raziskavo in procesorjem, ki je vgrajen na žičnem žerjavu s stolpom Syncrofalke. Avtorji članka so v raziskavi primerjali pet računalniških sistemov (programov) za krojenje lesa v istem sestoji smreke na jugu Švedske. Posamezen program so ocenjevali s pomočjo sedmih kriterijev:

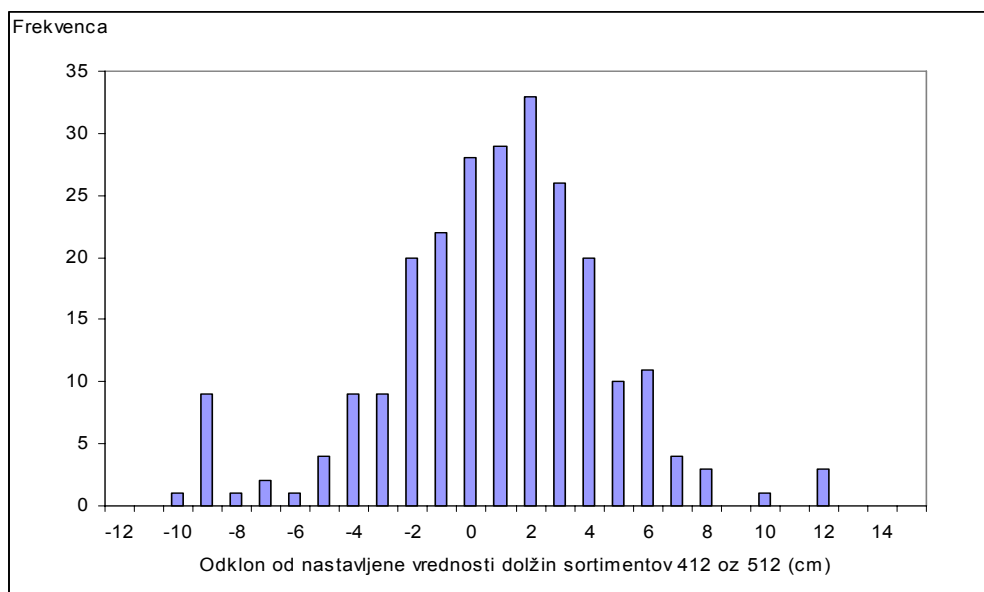
- natančnost merjenja dolžin,
- natančnost merjenja premerov,
- doseženem deležu optimalne vrednosti,
- dolžinskem krojenju,
- indeks sortimentne strukture,
- številu novih funkcij,
- možnosti prenosa podatkov.

Natančnost merjenja dolžin so ocenjevali z deležem sortimentov znotraj intervala  $\pm 2.5$  cm od modusa (the best five) na grafikonu frekvenčne porazdelitve dolžin sortimentov. Rezultati so se gibal med 69.4 % do 86.3 %. Noben sistem pa ni dosegel standarda 90 %.

Natančnost merjenje premerov so izrazili z deležem sortimentov znotraj intervala  $\pm 4$ mm od pravega premera merjenega s premerko. Rezultati so se gibal med 50.4 % do 78 %.

Spodnja slika prikazuje grafikon frekvenčne porazdelitve dolžin sortimentov pri stroju za sečnjo Valmet 901, ki jo je ugotovil Toplitsch (Toplitsch 1991). Raziskoval je natančnost prežagovanja sortimentov iglavcev. Odstopanja od nastavljenih dolžin 412 cm in 512 cm je predstavil z grafikonom frekvenčne porazdelitve. Delež sortimentov znotraj 5 cm širokega intervala v sredini katerega je modus porazdelitve izračunan iz Toplitschove frekvenčne porazdelitve pa znaša 54,5 %. Raziskava predstavlja enega od možnih načinov

ugotavljanja natančnosti prežagovanja. Neposredna primerjava s sliko 2, na kateri je predstavljena frekvenčna porazdelitev dolžin sortimentov iglavcev, ki smo jih posneli v naši raziskavi ni smiselna, saj smo v naši raziskavi prikazali odstopanja od modusa in ne od nastavljene dolžine.



Slika 1: Frekvenčna porazdelitev dolžin sortimentov pri stroju za sečnjo Valmet 901 (Toplitsch, 1991)

### 3 CILJI RAZISKOVANJA

Izdelave diplomskega dela smo se lotili z namenom doseči naslednje cilje. Ugotoviti, ločeno za iglavce in listavce, natančnost prežagovanja procesorske glave in vpliv le tega na tržno vrednost sortimentov. S pomočjo naslednjih kazalcev:

- frekvenčna porazdelitev dolžin sortimentov,
- aritmetična sredina,
- modus,
- standardna napaka,
- standardni odklon,
- delež sortimentov znotraj intervala  $\pm 2.5$  cm okoli modusa porazdelitve dolžin.



Ugotoviti morebitne povezave kot so:

- odvisnost med vrednostjo drevesa od prsnega premera in drevesne višine,
- odvisnost kumulativne vrednosti drevesa od drevesne višine,
- odvisnost kumulativne vrednosti napak pri prežagovanju od drevesne višine,
- izkoristek lesa,
- odvisnost izkoristka lesa od prsnega premera in drevesne višine.

Ugotoviti, ali in kako se število sortimentov iz enega drevesa razlikuje med iglavci in listavci. To nameravamo pokazati z naslednjimi kazalci:

- število sortimentov v odvisnosti od prsnega premera in višine drevesa,
- velikostjo povprečnega sortimenta v odvisnosti od prsnega premera in višine drevesa,
- velikostjo povprečnega sortimenta v odvisnosti od količine bruto debeljadi drevesa.

### 3.1 DELOVNE HIPOTEZE

Strojna sečnja je primerna za dolžinsko krojenje lesa iglavcev in manj vrednega lesa listavcev manjših dimenzij ter manj primerna za krojenje visoko kakovostnih sortimentov listavcev večjih dimenzij.

Natančnost prežagovanja lesa bo večja pri iglavcih kot pri listavcih.

Število kosov iz posameznega drevesa je večje pri listavcih kot pri iglavcih in je odvisno od prsnega premera drevesa ter drevesne višine.

Izkoristek lesa bo pri strojni sečnji tako pri iglavcih kot pri listavcih manjši od izkoristkov ugotovljenih pri raziskavah o izkoristkih lesa pri ročno strojni sečnji.

#### 4 MATERIALI IN METODE

Za izdelavo diplomskega dela je bilo za posamezno drevo potrebno zbrati podatke o:

- drevesni vrsti,
- prsnem premeru,
- številu sortimentov v posameznem drevesu,
- dolžini sortimentov,
- srednjem premeru sortimentov,
- kakovosti
- ter oceniti dolžino vrhača posameznega drevesa.

Podatke smo zbirali na objektu v Soškem gozdnogospodarskem območju in sicer v gospodarski enoti Črni vrh.

Sečnja se je odvijala v starejšem drogovnjaku smreke, ki je bil osnovan s sadnjo pred približno 50-timi leti. Sečnjo bi lahko označili kot zapoznelo redčenje, ki se je odvijalo tako, da so delavci SGG Tolmin na klasičen način (ročno strojna sečnja) drevesa, ki so bila označena za posek podrlji in jih nato s pomočjo žičnega žerjava s stolpom Syncrofalke na katerem je montirana harversterska glava Woody 60 po drevesni metodi spravili do stojišča žičnega žerjava, kjer je poteka preostala izdelava.

Tu smo s pomočjo premerke, sekaškega metra in snemalnih listov tudi zbirali potrebne podatke.

Cene gozdno lesnih sortimentov smo pridobili z anketo pri Kmetijsko gozdarski zadrugi Pivka (KGZ Pivka, 2007). Vrednosti 1 m<sup>3</sup> lesa iglavcev so podane v preglednici 1. Vrednosti 1 m<sup>3</sup> lesa listavcev pa v preglednici 2 .

**Preglednica 1: Vrednost 1 m<sup>3</sup> lesa iglavcev.**

Kvaliteta	Vrednost (€/m <sup>3</sup> )
B	70
C	58
D	48
Celulozni les	22

**Preglednica 2: Vrednost 1 m<sup>3</sup> lesa listavcev.**

Kvaliteta	Vrednost (€/m <sup>3</sup> )
A	150
L	80
B	61
C	46
D	40
Prostorninski les	34-40

Aritmetično sredino, modus, standardni odklon, standardno napako in mediano smo izračunali s pomočjo Excelovega ukaza analiza podatkov.

Delež sortimentov znotraj 5 cm intervala v sredini katerega je modus porazdelitve dolžin sortimentov, smo odčitali iz kumulativne frekvenčne porazdelitve izražene z deleži posameznega razreda. Vrednost sortimenta smo izrazili relativno tako, da smo vrednost posameznega sortimenta po veljavnem ceniku delili z vrednostjo celega drevesa.

Grafikone frekvenčne porazdelitve smo izdelali iz podatkov, ki smo jih pridobili tako, da smo od modusa frekvenčne porazdelitve dolžin sortimentov odšteli dejanske vrednosti dolžin sortimentov.

Kumulativno vrednost drevesa v odvisnosti od višine smo izrazili z grafikonom, ki smo ga izdelali tako, da smo na absciso postavili kumulativo iz povprečja deležev dolžin posameznih kosov. Na ordinato pa smo postavili kumulativo iz povprečja deležev vrednosti posameznih kosov.

Na isti način smo izdelali grafikon, ki prikazuje kumulativno vrednosti napak pri prežagovanju. Le da smo podatke na ordinati zamenjali s kumulativo iz povprečja deležev vrednosti napak pri posameznih kosih.

Količino bruto debeljadi smo odčitali iz dvovhodnih deblovnic in izračunali s pomočjo tarif (vmesne tarife).

#### 4.1 TEHNIČNE TEHNOLOŠKE LASTNOSTI ŽIČNEGA ŽERJAVA S STOLPOM SYNCROFALKE

Osnovno platformo predstavlja tovornjak znamke MAN, ki zagotavlja pogon za vso nadgradnjo. Le ta obsega bobne za nosilno, vlečno, povratno, montažno in sidrno vrv, stolp in dvigalo LIV 24.94 s kabino, iz katere poteka upravljanje z žičnim žerjavom, rampno desko ter voziček Sherpa U III z nosilnostjo 3 t, ki je radijsko voden in ga je moč upravljati na samem tovornjaku kot tudi v delovišču (SGG, 2007). Hitrost vozička pri prazni vožnji doseže 8 m/s (Mayr-Melnhof, 2007). Organizacijska oblika je 1+2, kar pomeni strojnika, ki odpenja bremena in izdeluje ter zлага sortimente, ter dva delavca, ki v delovišču oblikujeta breme in upravljata z vozičkom med privlačevanjem.

#### 4.2 TEHNIČNE TEHNOLOŠKE ZNAČILNOSTI HARVERSTERSKE GLAVE WOODY 60

Na žičnem žerjavu Syncrofalke je bila nameščena harvesterska glava Woody 60 avstrijskega proizvajalca Konrad. Primerna je za sečnjo in izdelavo, ker pa se prednji del glave zloži navzgor, je zelo učinkovita tudi pri prekladanju gozdnih lesnih sortimentov. Posebna oblika okvirja in posebna razmestitev nožev za kleščenje omogoča izdelavo krivih debel listavcev. V preglednici 3 so predstavljeni tehnični podatki za harvesterstvo glavo Woody 60 (Herzog-Forsttechnik, 2007).

**Preglednica 3: Tehnični podatki harversterske glave Woody 60.**

Največji premer hloda	65 cm (75 cm)
Najbolj odprte klešče	125 cm
Podajalna moč naprej	36-45 kW
Podajalna hitrost naprej	0-4 m/sec
Priporočena moč motorja	140 kW
Največji pritisk v sistemu	300-350 bar; 220 l/min
Stalni pritisk v sistemu	200 bar; 60 l/min
Hitrost prežagovanja	40 m/sec
Rotator	Integrierter Endlosrotator
Merilni sistem	Konrad KSS 3.2

## 5 REZULTATI

Za potrebe izdelave diplomskega dela smo zbrali podatke o prsnem premeru, višini drevesa, dolžini, premeru in kvaliteti izdelanih sortimentov za drevesa s skupnim volumnom 101,2 m<sup>3</sup> lesa. Od tega je bilo 66,7 m<sup>3</sup> lesa smreke.

V slovenskih standardih, s katerimi smo ugotavljali kakovost hlodov iglavcev in listavcev, se za hlod iglavcev zahteva najkrajša dolžina 300 cm in premer na najtanjšem koncu 20 cm. Dolžine napredujejo po 25 cm pri jelki in smreki, ter po 10 cm pri ostalih iglavcih, nadmera znaša 1-2 cm/m, vendar najmanj 5 cm. V praksi pa po pripovedovanju Kovšce (Kovšca 2007) dolžine v večini primerov napredujejo po 1 m. Tako na primer hlod točne dolžine 395 cm v večini primerov prodajo kot hlod dolžine 300 cm in ne 375 cm. Najmanjša nadmera znaša 4 cm. Na vrednost hloda v največji meri vplivajo njegove dimenzije in grče. Sortimentna struktura izmerjenih dreves iglavcev je naslednja:

- B 7 %
- C 21 %
- D 8 %
- Celulozni les 64 %

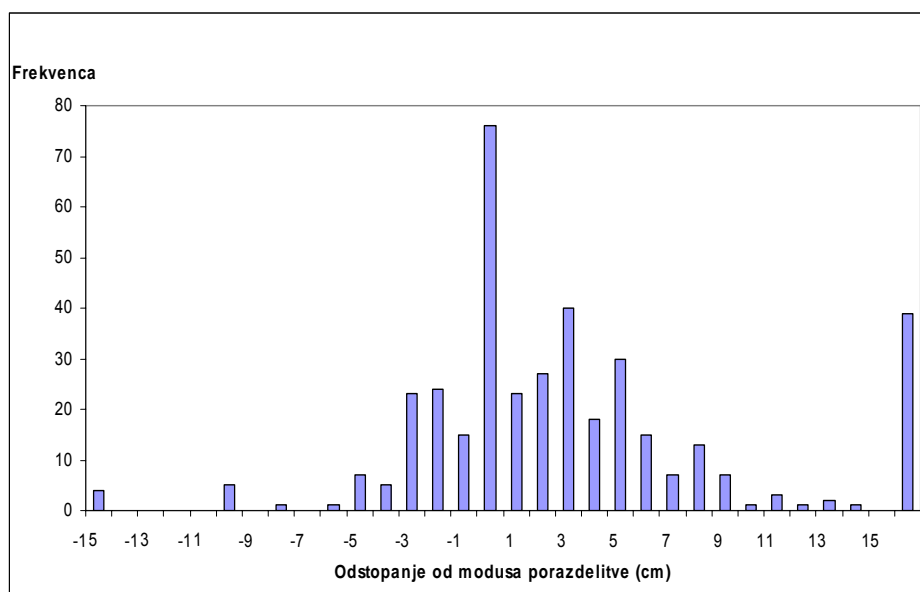
Pri listavcih pa je najmanjša zahtevana dolžina 2 m, najmanjši premer pa ravno tako 20 cm. Dolžine napredujejo po deset centimetrov z najmanjšo nadmero 10 cm. Vrednost posameznega hloda v največji meri določajo njegove dimenzije, grče in morebitne diskoloracije jedra. Sortimentna struktura listavcev je naslednja:

- A 2 %
- B 14 %
- C 14 %
- D 0 %
- Prostorninski les 68 %

## 5.1 NATANČNOST PREŽAGOVANJA HARVERSTERSKE GLAVE IN NJEN VPLIV NA TRŽNO VREDNOST SORIMENTA

Natančnost prežagovanja harversterske glave pri krojenju lesa smo ugotavljali ločeno za iglavce in listavce. Uporabljali smo kazalce, kot smo jih zasledili v tuji literaturi, in ki nam omogočajo kasnejšo primerjavo in vrednotenje dobljenih rezultatov. Pomembna kazalca sta frekvenčna porazdelitev dolžin sortimentov in delež sortimentov v pet centimetrskem intervalu v sredini katerega je modus frekvenčne porazdelitve. Tako pri iglavcih kot pri listavcih se modus frekvenčne porazdelitve dolžin sortimentov razlikuje od dolžine, ki je bila nastavljena v merilnem sistemu vgrajenem v žičnem žerjavu. V obeh primerih je bila nastavljena dolžina za 6 cm (414 cm) manjša od modusa (420 cm) porazdelitve.

Frekvenčna porazdelitev dolžin sortimentov iglavcev je predstavljena na sliki 2 in v preglednici 4.



Slika 2: Frekvenčna porazdelitev dolžin sortimentov iglavcev.

**Preglednica 4: Frekvenčna porazdelitev dolžin iglavcev.**

Odstopanje od modusa porazdelitve (cm)	Frekvenca	Kumulativa (%)
-15	4	1,03
-14	0	1,03
-13	0	1,03
-12	0	1,03
-11	0	1,03
-10	5	2,32
-9	0	2,32
-8	1	2,58
-7	0	2,58
-6	1	2,84
-5	7	4,64
-4	5	5,93
-3	23	11,86
-2	24	18,04
-1	15	21,91
0	76	41,49
1	23	47,42
2	27	54,38
3	40	64,69
4	18	69,33
5	30	77,06
6	15	80,93
7	7	82,73
8	13	86,08
9	7	87,89
10	1	88,14
11	3	88,92
12	1	89,18
13	2	89,69
14	1	89,95
15	0	89,95
Več ko 15	39	100,00

Delež sortimentov znotraj intervala 5 cm v sredini katerega je modus porazdelitve, pa znaša 54,33 %.

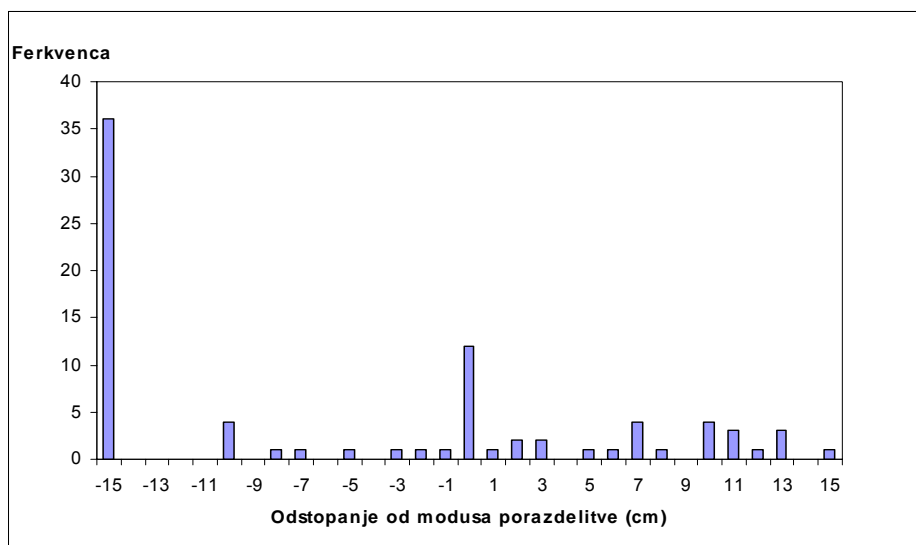
Preostali pomembni podatki o krojenju iglavcev so zbrani v preglednici 5.



**Preglednica 5: Podatki o krojenju iglavcev.**

Skupno število sortimentov	389
Število sortimentov med 304 in 404 cm	7
Delež sortimentov med 304 in 404 cm	2%
Število sortimentov pod 304	15
Delež sortimentov pod 304 cm	4%
Število sortimentov pod 404	22
Delež sortimentov pod 404 cm	6 %
Volumen sortimentov pod 304 cm	0,8 m <sup>3</sup>
Volumen sortimentov med 304 in 404 cm	0,4 m <sup>3</sup>
Aritmetična sredina dolžin sortimentov	408,52 cm
Standardna napaka dolžin sortimentov	2,11 cm
Mediana dolžin sortimentov	419 cm
Modus dolžin sortimentov	420 cm
Standardni odklon	41,34 cm
Nastavitev računalnika	414 cm

Vpliv krojenja lesa iglavcev na tržno vrednost smo prikazali z velikostjo in vrednostjo nadmere, ki jo kupcu »podarimo«. Pri tej raziskavi je nastalo 2,71 m<sup>3</sup> nadmere, kot posledica razlike med dejansko dolžino hloda in minimalno zahtevano dolžino 404 cm, v vrednosti 129 €. Če izračunamo vrednost vzorčene hlodovine smreke, vidimo da ta izguba znaša 4,38 %. Kazalci natančnosti prežagovanja in vpliva le tega na tržno vrednost lesa listavcev so prikazani na sliki 3.

**Slika 3: Frekvenčna porazdelitev dolžin sortimentov listavcev.**

**Preglednica 6: Frekvenčna porazdelitev dolžin sortimentov listavcev**

Odstopanje od modusa (cm)	Frekvenca	Kumulativa (%)
-15	36	24,00
-14	0	24,00
-13	0	24,00
-12	0	24,00
-11	0	24,00
-10	4	26,67
-9	0	26,67
-8	1	27,33
-7	1	28,00
-6	0	28,00
-5	1	28,67
-4	0	28,67
-3	1	29,33
-2	1	30,00
-1	1	30,67
0	12	38,67
1	1	39,33
2	2	40,67
3	2	42,00
4	0	42,00
5	1	42,67
6	1	43,33
7	4	46,00
8	1	46,67
9	0	46,67
10	4	49,33
11	3	51,33
12	1	52,00
13	3	54,00
14	0	54,00
15	1	54,67
Več	68	100,00

Delež sortimentov znotraj intervala 5 cm v sredini katerega je modus porazdelitve znaša 11,33 %.

Preglednica 7 prikazuje ostale podatke pridobljene pri obdelavi podatkov o krojenju listavcev.

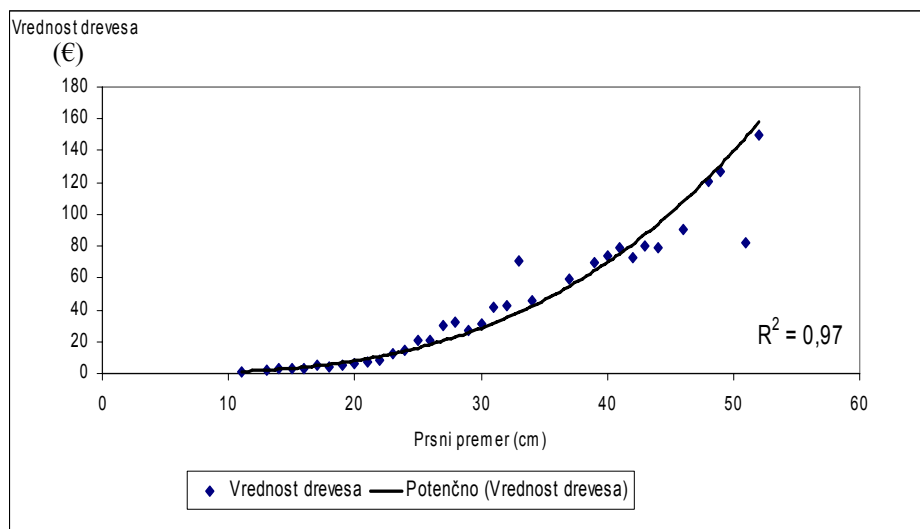
**Preglednica 7: Podatki o krojenju listavcev.**

Aritmetična sredina dolžin sortimentov	392,80 cm
Standardna napaka dolžin sortimentov	5,49 cm
Mediana dolžin sortimentov	409 cm
Modus dolžin sortimentov	420 cm
Standardni odklon dolžin sortimentov	67,19 cm
Število sortimentov	150

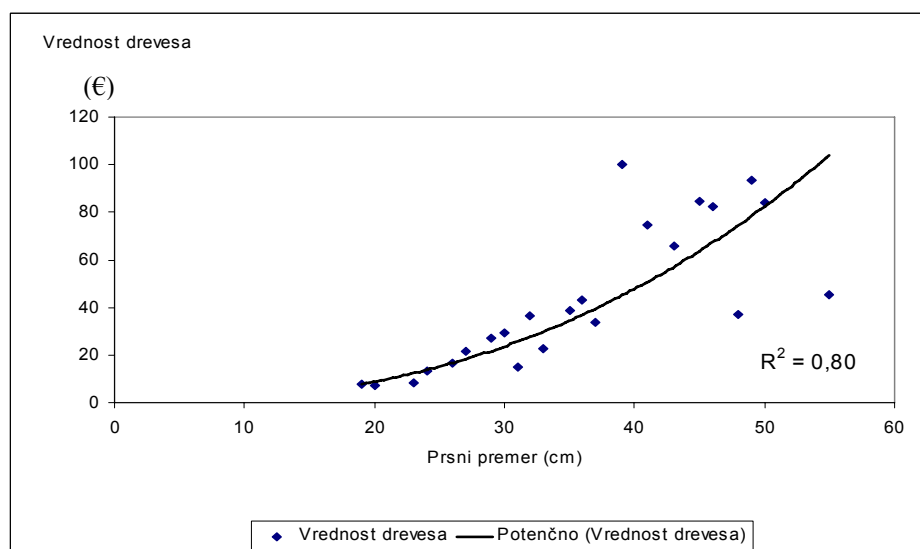
Večji standardni odklon in večjo standardno napako pri frekvenčni porazdelitvi dolžin sortimentov listavcev si lahko razlagamo z drugačnim načinom krojenja listavcev. Ker se listavce kroji po kakovosti in ne po dolžini, kakor je temu primer pri iglavcih in ker dolžine pri listavcih napredujejo po 10 cm, je pri krojenju listavcev potrebno več posredovanja strojnika v sam proces krojenja lesa. Tako o izgubi zaradi nenatančnosti prežagovanja težko govorimo. Lahko pa govorimo o razliki med dejanskim in komercialnim volumnom, in vrednosti, ki je posledica velikosti nadmere. Tako smo izmerili 33,38 m<sup>3</sup> lesa listavcev ter 1,14 m<sup>3</sup> nadmere v vrednosti 62,14 €. Tako izguba zaradi velikosti nadmere znaša 3,4 %.

## 5.2 VPLIV VIŠINE IN PRSNEGA PREMERA DREVEŠA NA VIŠINO IZGUBE PRI STROJNEM KROJENJU LESA

S primerjavo prsnega premera proti vrednosti drevesa smo ugotovili, da se z večanjem prsnega premera drevesa veča tudi vrednost drevesa. Ta odnos najbolje opišemo s potenčno regresijo, s katero pojasnimo kar 97 % variabilnosti ( $R^2 = 0,97$ ). Ta odnos je prikazan tudi na sliki 4. Na sliki 5 pa je isti odnos prikazan za listavce. Tudi tu pojav najbolje opišemo s potenčno funkcijo vendar pojasnimo nekoliko manj variabilnosti pojava in sicer 80% ( $R^2 = 0,80$ ).

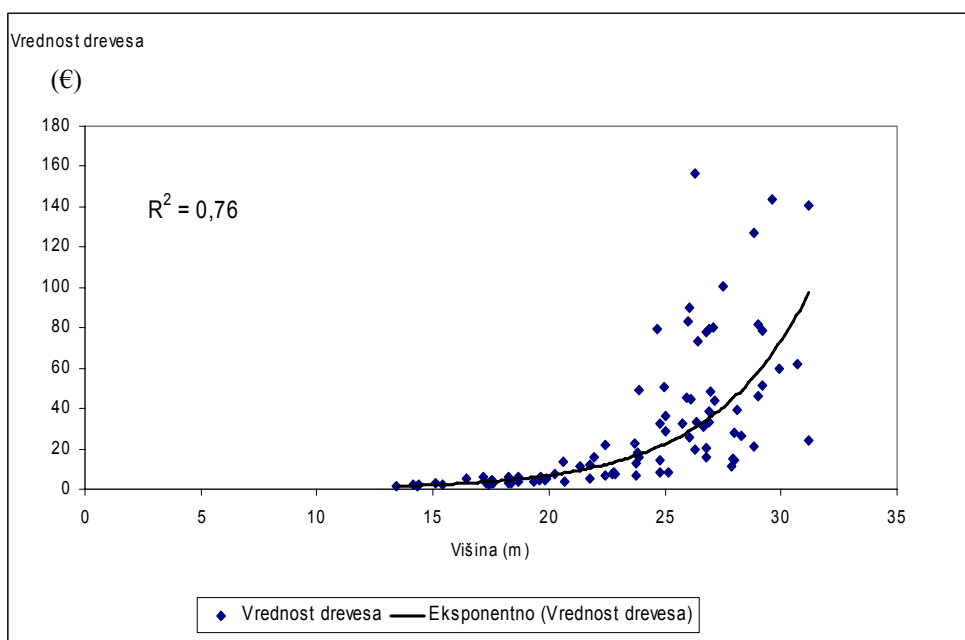


Slika 4: Vrednost drevesa v odvisnosti od prsnega premera pri iglavcih.

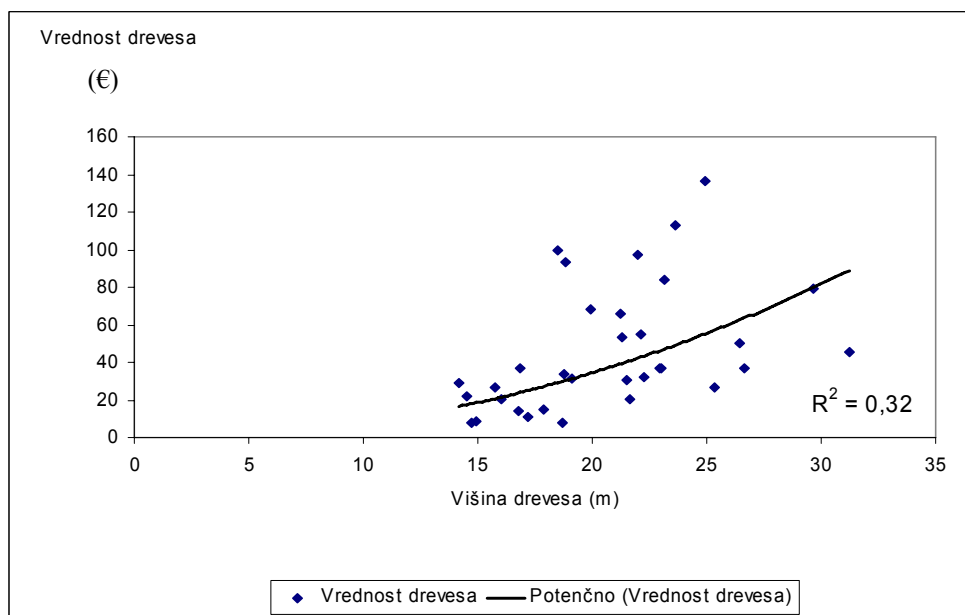


Slika 5: Vrednost drevesa v odvisnosti od prsnega premera pri listavcih.

Nadalje smo proučili odnos med višino drevesa in njegovo vrednostjo. Tudi v tem primeru se z večanjem višine povečuje vrednost drevesa. Odnos pri iglavcih najbolje opišemo z eksponentno funkcijo, s katero pojasnimo 76 % variabilnosti ( $R^2 = 0,76$ ), slika 6. Pri listavcih pa odnos najbolje opišemo s potenčno funkcijo, s katero pojasnimo 32 % variabilnosti pojava ( $R^2 = 0,32$ ) slika 7.



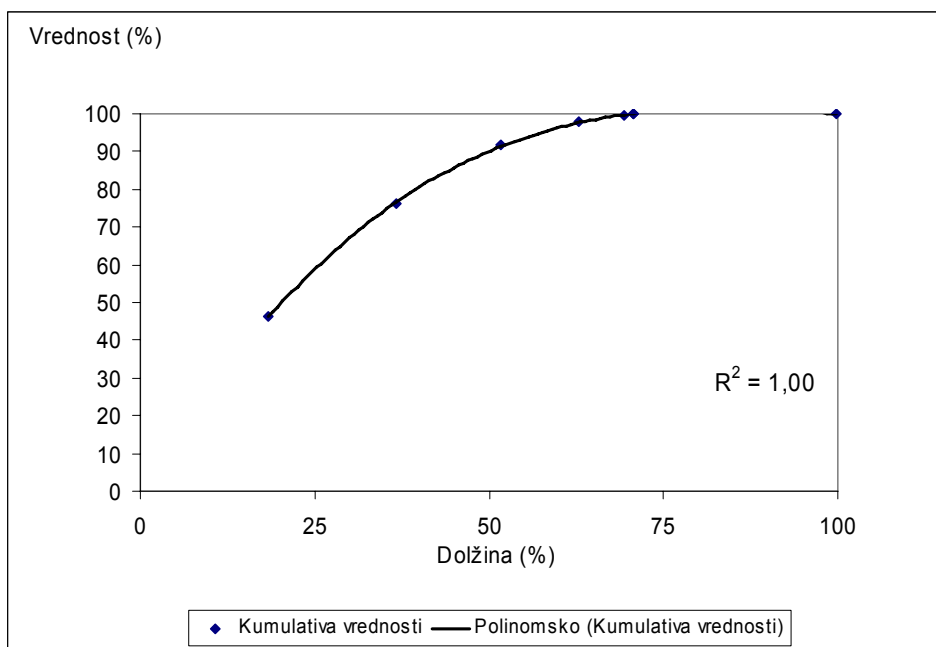
Slika 6: Odvisnost med višino in vrednostjo drevesa pri iglavcih.



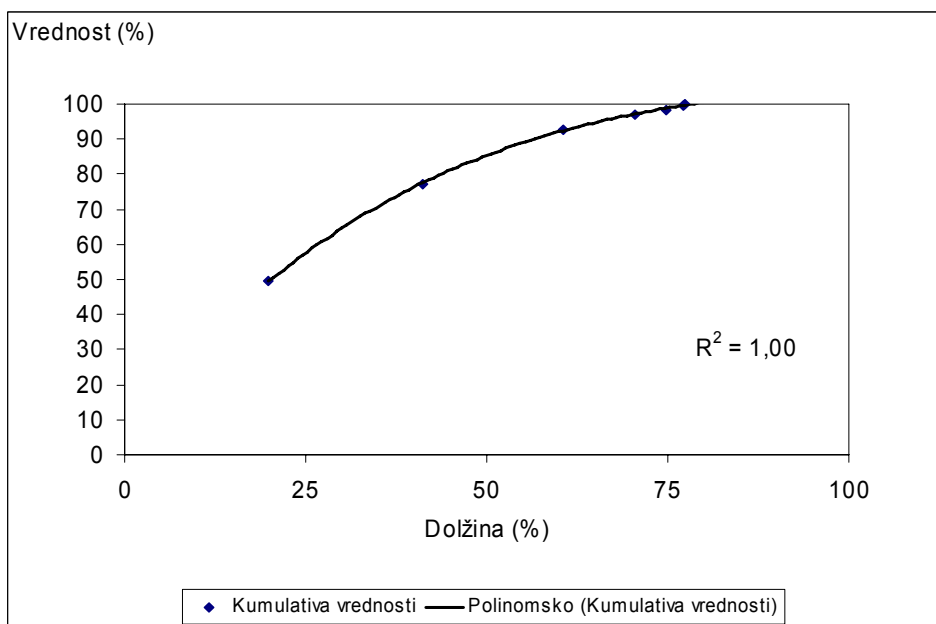
Slika 7: Odvisnost med višino in vrednostjo drevesa pri listavcih.

V nadaljevanju nas je zanimalo, kje se nahaja glavnina vrednosti drevesa. To smo ugotovili tako, da smo izračunali kumulativno vrednosti od prvega sortimenta pa vse do vrha drevesa. Rezultat smo prikazali ločeno za iglavce in listavce na slikah 8. in 9. Tako pri iglavcih kot

pri listavcih smo z uporabo parabole tretje stopnje pojasnili 100% variabilnosti.  $R^2$  je v obeh primerih znašal 1.

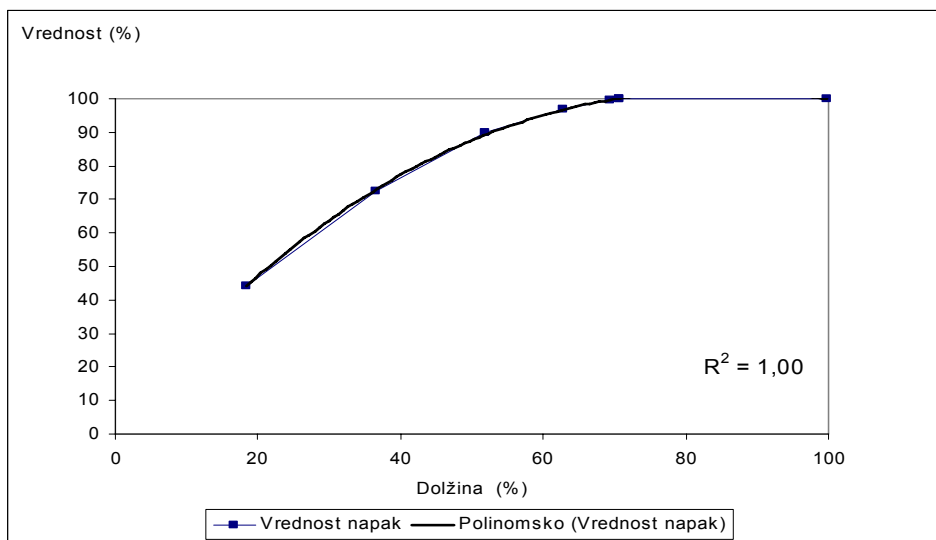


Slika 8: Kumulativa vrednosti od prvega sortimenta proti vrhu pri iglavcih.

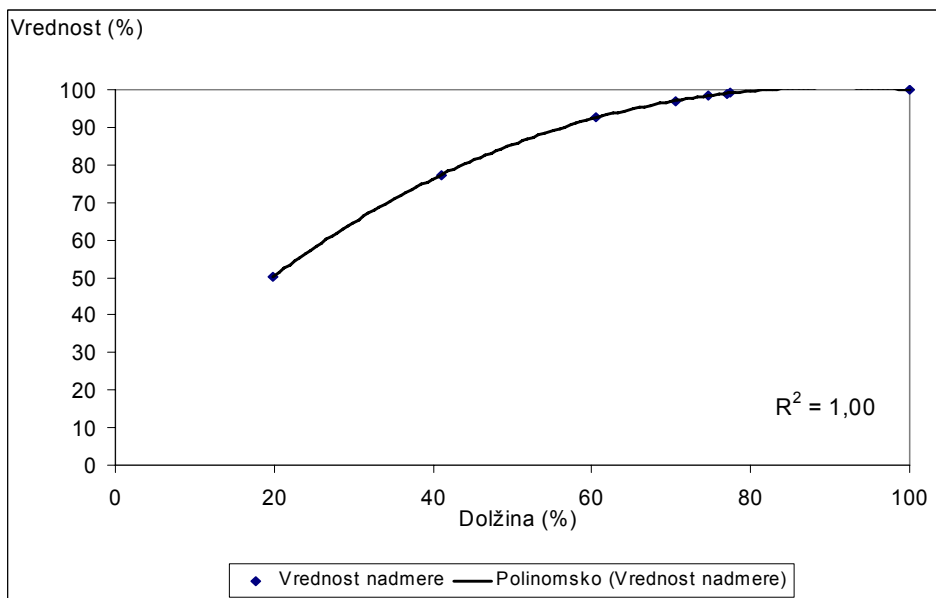


Slika 9 : Kumulativa vrednosti od prvega sortimenta do vrha drevesa pri listavcih.

Ker se to delo ukvarja tudi s problemom natančnosti prežagovanja in vplivom le tega na tržno vrednost lesa, nas je zanimalo, kje v deblu so napake pri prežagovanju največje. To smo ugotovili tako, da smo vrednost sortimentov v zgornjih slikah zamenjali z relativno vrednostjo napak. Rezultat je prikazan na slikah 10 in 11. Tako pri iglavcih kot pri listavcih smo z uporabo parabole tretje stopnje pojasnili skoraj 100% variabilnosti  $R^2 = 1$  in  $R^2 = 1$



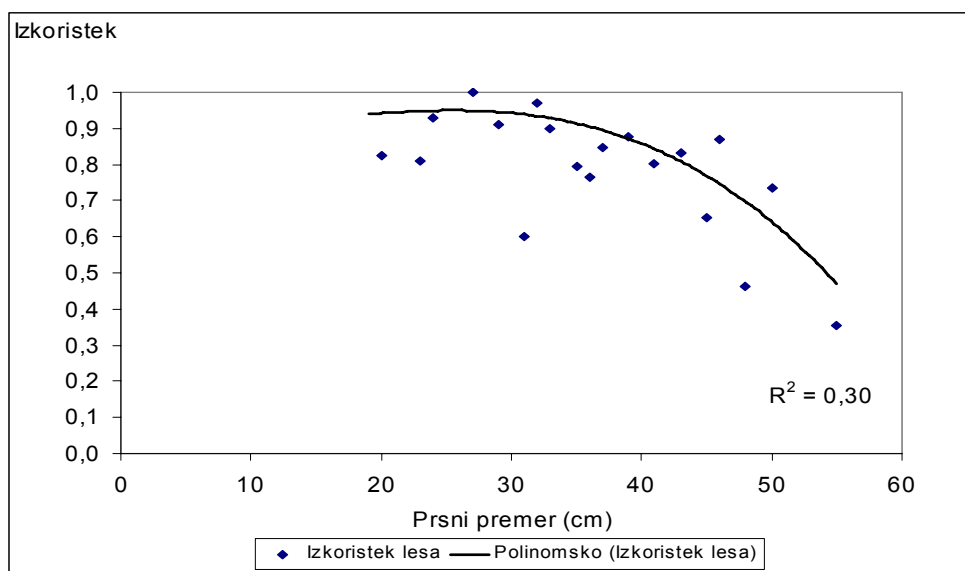
Slika 10: Kumulativa vrednosti napak pri prežagovanju lesa iglavcev



Slika 11: Kumulativa vrednosti nadmere od prvega sortimenta do vrha pri listavcih.

Zanimalo nas je še, ali se relativna vrednost napak pri posameznem drevesu zaradi natančnosti prežagovanja spreminja z večanjem ali manjšanjem višine drevesa in prsnega premera. Kot kazalec pa smo uporabili izkoristek pri sečnji lesa in sicer kot kvocient iz drevesa izdelanih sortimentov in količino debeljadi v drevesu. Vendar tako pri iglavcih kot pri listavcih nismo uspeli pojasniti veliko variabilnosti v izkoristku lesa. Pri iglavcih smo ugotovili izkoristek 0,77 pri listavcih pa 0,85.

Preizkušali smo tudi odvisnost izkoristka od drevesne višine in prsnega premera tako pri iglavcih kot pri listavcih. Ugotovili smo samo odvisnost izkoristka od prsnega premera pri listavcih slika 12. V preostalih primerih pa smo pojasnili zanemarljivo malo variabilnosti.



Slika 12: Odvisnost izkoristka drevesa od prsnega premera drevesa pri listavcih.

### 6.3 ŠTEVILO IN POVPREČNA VELIKOST IZDELANIH SORTIMENTOV IZ POSAMEZNEGA DREVESA

V tem poglavju prikazujemo, kako se število sortimentov izdelanih iz enega drevesa razlikuje pri iglavcih in listavcih.



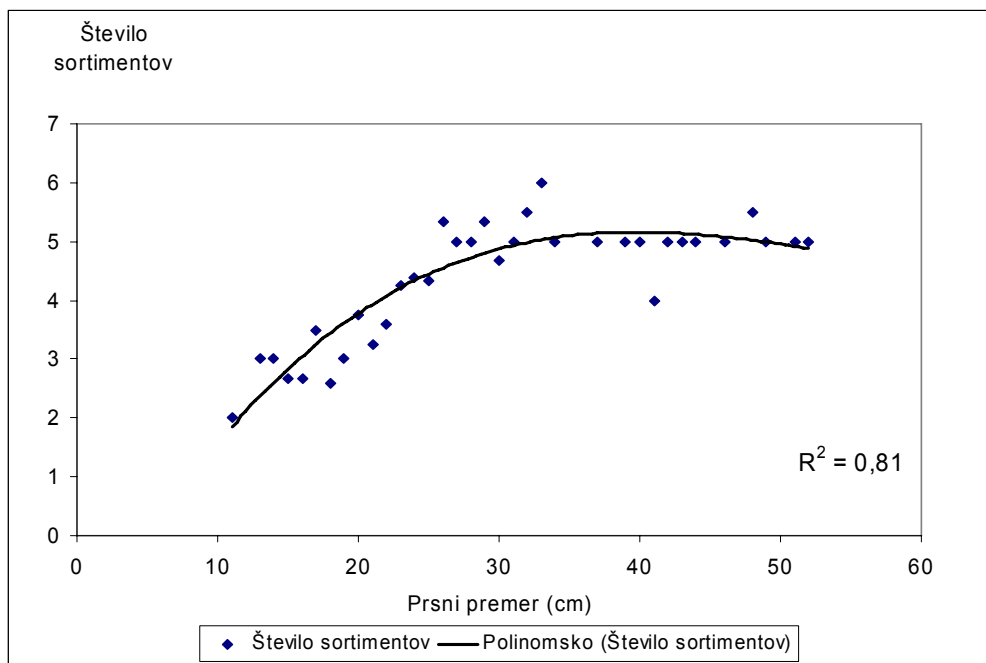
Ugotovili smo, da je povprečno število izdelanih sortimentov iz posameznega drevesa pri iglavcih 4,14 pri listavcih pa 4,05. Ugotovitve zavračajo na začetku postavljeno hipotezo, ki trdi, da je število izdelanih sortimentov iz posameznega drevesa pri listavcih večje kot pri iglavcih.

Število sortimentov v odvisnosti od prsnega premera pri iglavcih najbolje pojasnjuje parabola tretjega reda. Pri iglavcih smo pojasnili 81 % variabilnosti ( $R^2=0,81$ ) pri listavcih pa 21 % ( $R^2 = 0,21$ ).

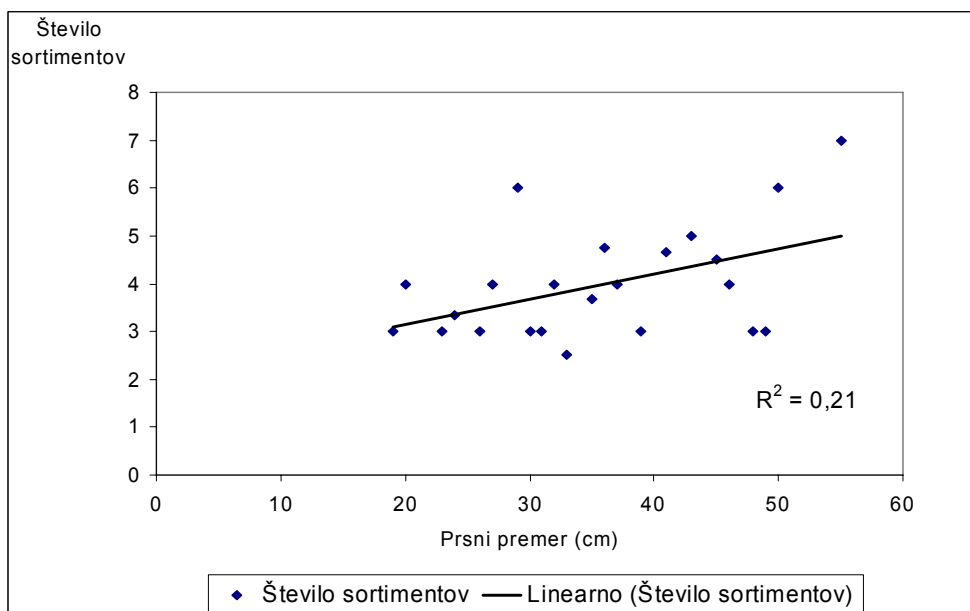
Pri številu sortimentov v odvisnosti od drevesne višine največ variabilnosti pojasni linearna regresija. Pri iglavcih pojasnimo 84 % variabilnosti ( $R^2 = 0,84$ ). Ista regresija pojasni 73 % variabilnosti pojava pri listavcih ( $R^2 = 0,76$ ).

S pomočjo pridobljenih rezultatov ne moremo v celoti ovreči ali sprejeti hipoteze, ki trdi da je število sortimentov odvisno od drevesne višine in prsnega premera. Pri iglavcih to hipotezo lahko sprejmemo, saj smo z regresijo v obeh primerih pojasnili več kot 80 % variabilnosti pojava. Pri listavcih pa te hipoteze ne moremo sprejeti, ker je raztros na sliki 14 in sliki 16 prevelik, da bi lahko sklepali o odvisnosti med številom sortimentov iz posameznega drevesa in prsnim premerom ter višino drevesa.

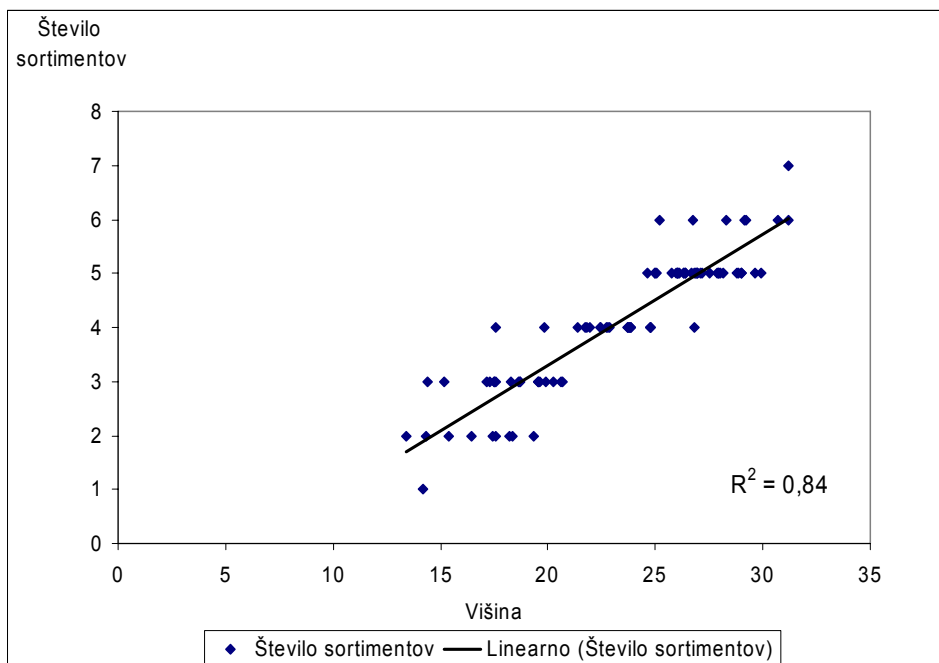
Primerjave med številom sortimentov in prsnim premerom ter višine drevesa smo prikazali na slikah 13, 14, 15 in 16



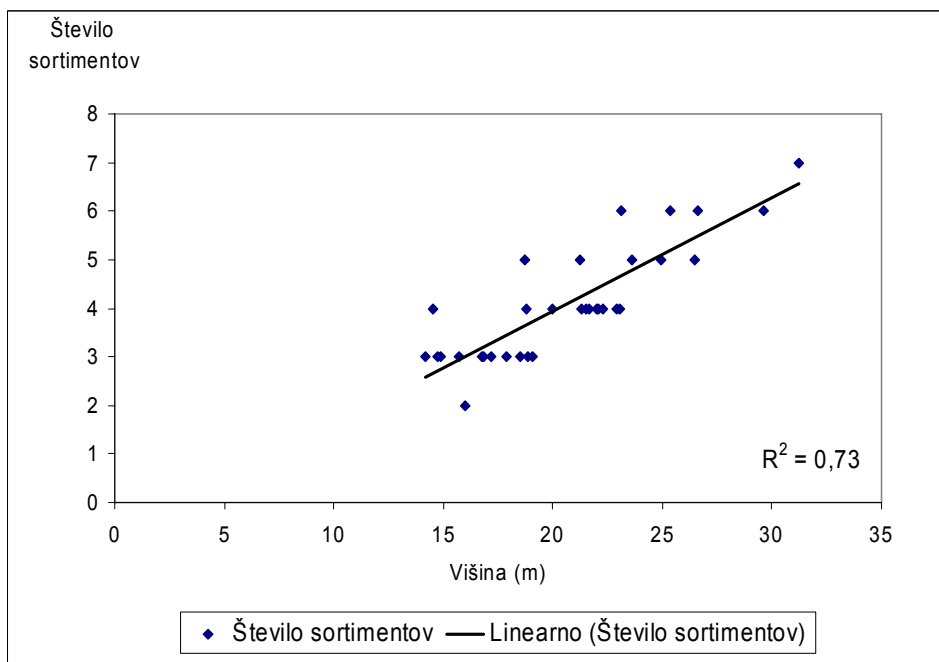
Slika 13: Število sortimentov v odvisnosti od prsnega premera pri iglavcih.



Slika 14: Število sortimentov v odvisnosti od prsnega premera pri listavcih.



Slika 15: Število sortimentov v odvisnosti od višine pri iglavcih



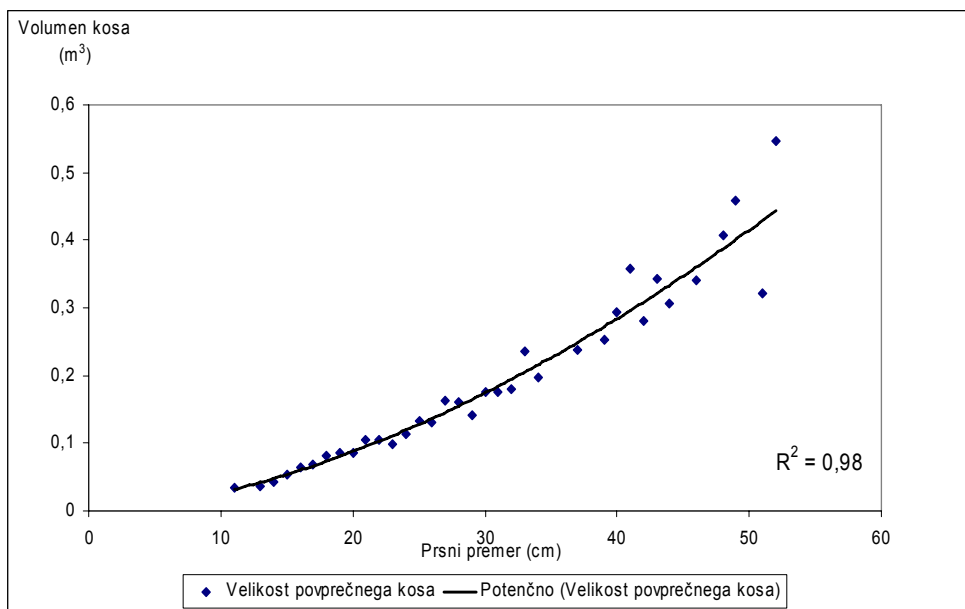
Slika 16: Število sortimentov v odvisnosti od višine pri listavcih.

Poleg števila sortimentov izdelanih iz posameznega drevesa pa je pomembna tudi velikost povprečnega sortimenta. Tako smo preučevali odnose med volumnom srednjega sortimenta in prsnim premerom, drevesno višino in količino neto debeljadi.

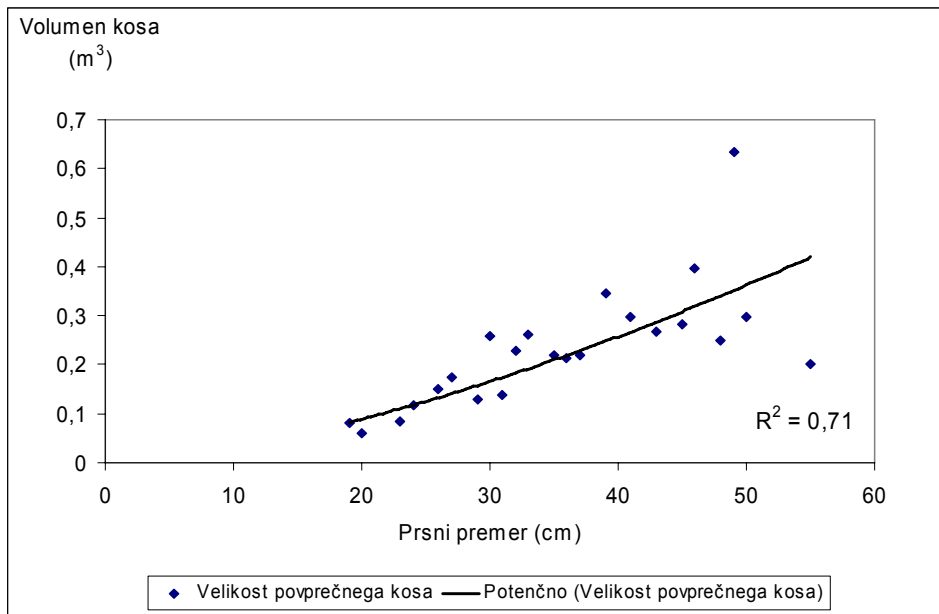
Velikost povprečnega kosa v odvisnosti od prsnega premera dobro ponazarja potenčna funkcija, ki je pri iglavcih pojasnila 98 % variabilnosti ( $R^2 = 0,98$ ) pri listavcih pa nekoliko manj; pojasnili smo 71 % variabilnosti ( $R^2 = 0,71$ ) na sliki 17 in sliki 18.

Pri primerjavi volumna povprečnega kosa z drevesno višino pa je eksponentna funkcija pri iglavcih pojasnila 58 % variabilnosti ( $R^2 = 0,58$ ) pri listavcih pa nismo z nobeno funkcijo uspeli pojasniti več kot 5 % variabilnosti. Iz česar lahko sklepamo, da ni odvisnosti med drevesno višino in velikostjo povprečnega kosa. ( $R^2 = 0,05$ ) na sliki 19.

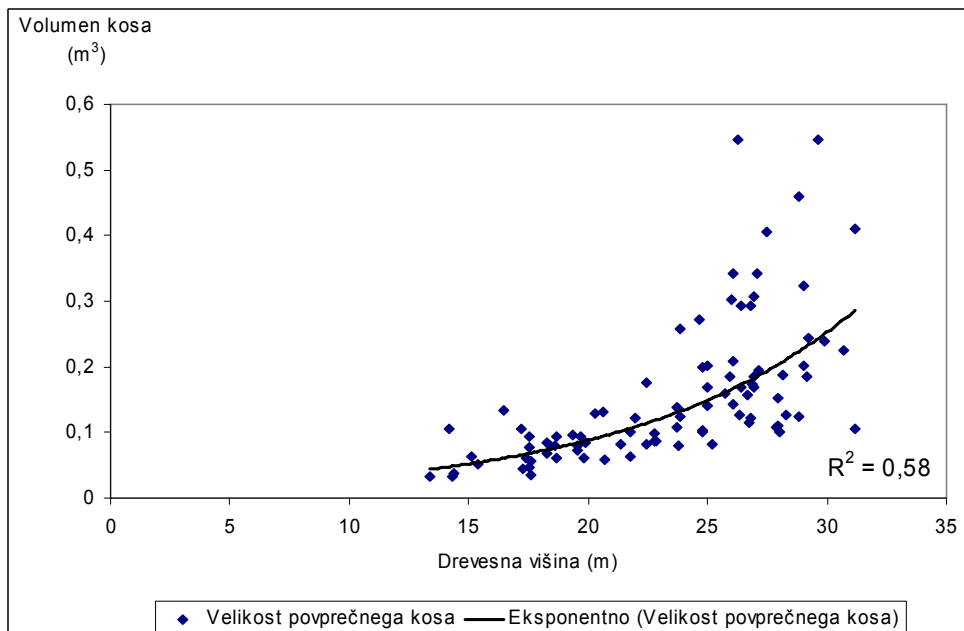
Podobno dobro kot prsni premer pa rast velikosti povprečnega sortimenta pojasnjuje tudi neto volumen drevesa. Tako smo pri iglavcih z uporabo parabole tretje stopnje pojasnili 96 % variabilnosti ( $R^2 = 0,96$ ). Pri listavcih pa je bila potenčna funkcija tista, ki je pojasnila največ variabilnosti in sicer 79 % ( $R^2 = 0,79$ ) na sliki 20 in sliki 21.



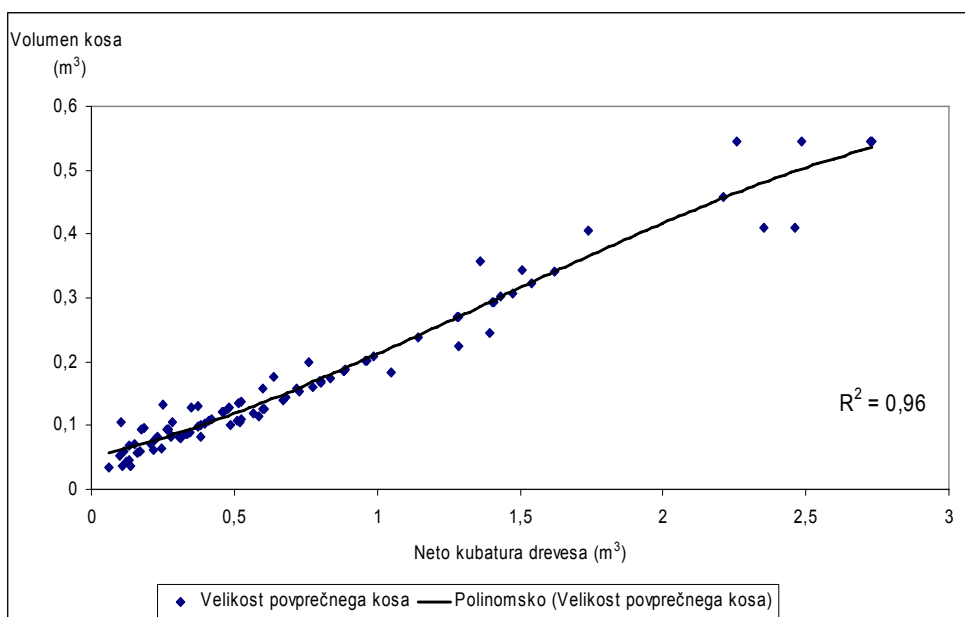
Slika 17: Velikost povprečnega kosa v odvisnosti od prsnega premera pri iglavcih.



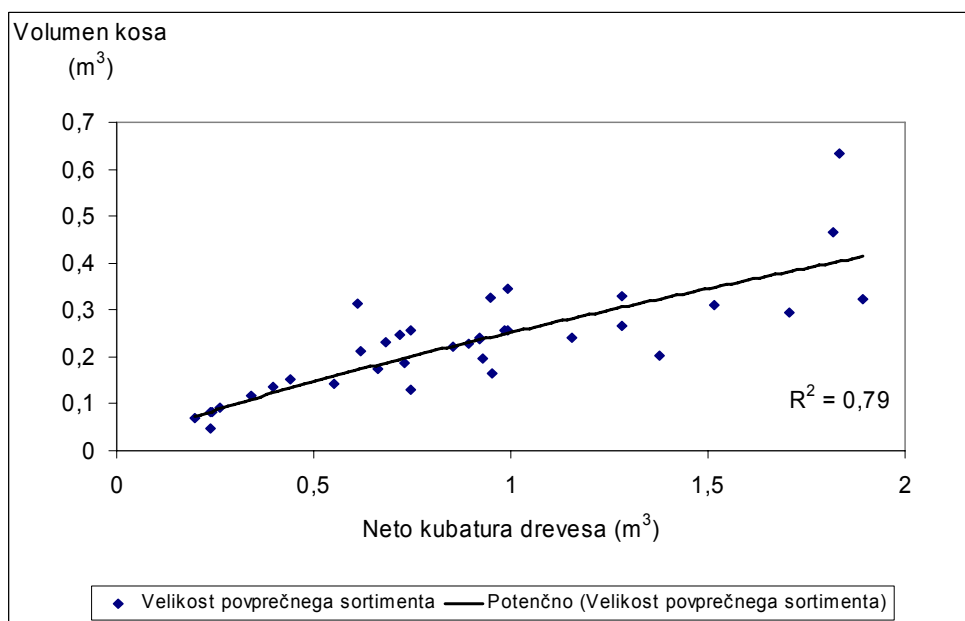
Slika 18: Velikost povprečnega kosa v odvisnosti od prsnega premera pri listavcih.



Slika 19: Velikost povprečnega kosa v odvisnosti od drevesne višine pri iglavcih.



Slika 20: Velikost povprečnega kosa v odvisnosti od neto kubature drevesa pri iglavcih.

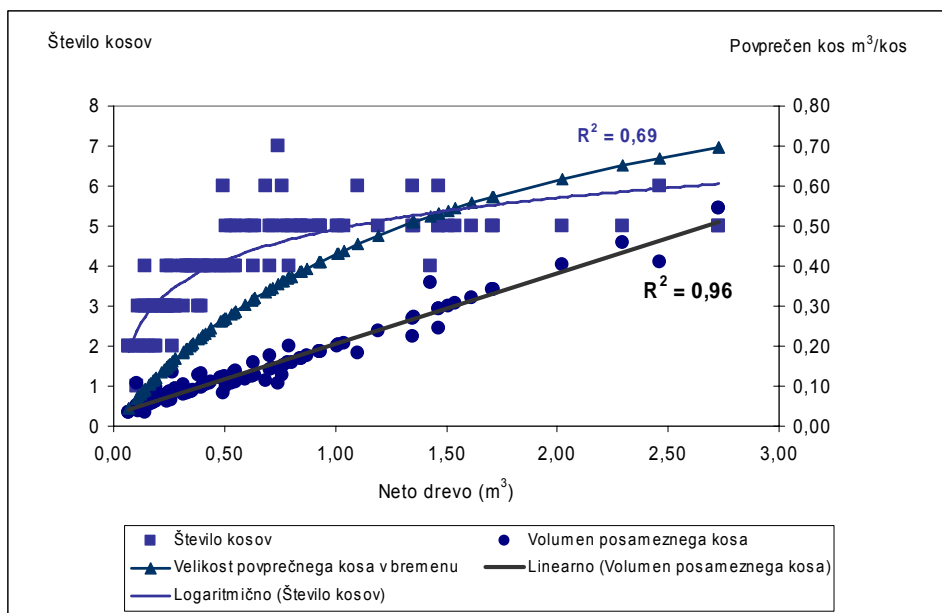


Slika 21: Velikost povprečnega kosa v odvisnosti neto kubature pri listavcih.

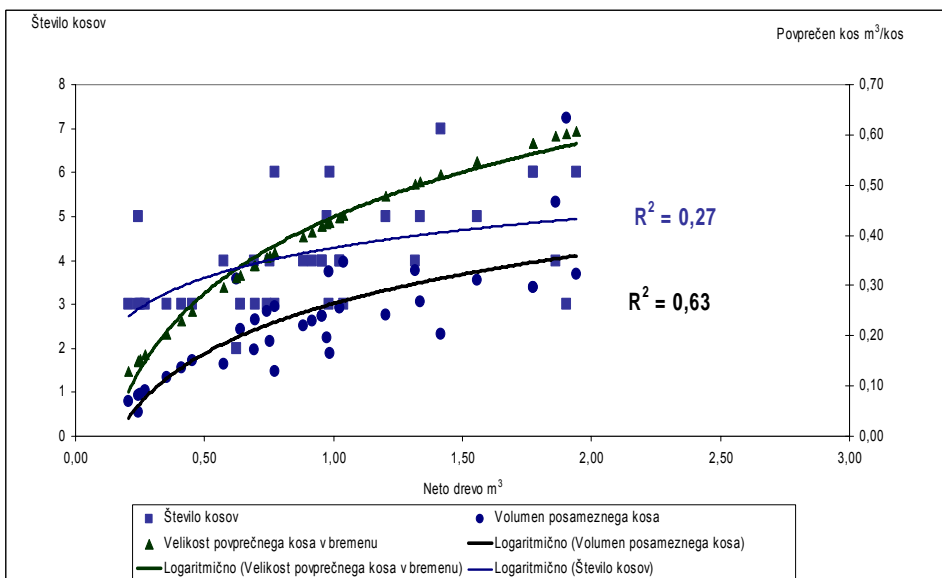
Kot sintezo tega poglavja smo primerjali odvisnosti med:

- številom kosov in neto kubaturo drevesa,
- velikostjo povprečnega kosa in neto kubaturo drevesa
- ter velikostjo povprečnega kosa v bremenu (MAS) in neto kubaturo drevesa.

Rezultati so predstavljeni ločeno za iglavce in listavce na slikah 22 in 23.



Slika 22: Odvisnost števila sortimentov, velikosti povprečnega kosa in velikosti povprečnega kosa v bremenu od neto drevesa pri iglavcih.



Slika 23: Odvisnost števila sortimentov, velikosti povprečnega kosa in velikosti povprečnega kosa v bremenu od neto drevesa pri listavcih.

## 7 RAZPRAVA IN SKLEPI

### 7.1 RAZPRAVA

Ugotovljena sortimentna struktura smreke močno odstopa od sortimentne strukture, ki jo navajata Kadunc in Kotar (Kadunc in Kotar, 2005) v svojem članku. Ugotovljena sortimentna struktura v raziskavi ima kar 57 % več celuloznega lesa. To si razlagamo z razvojno fazo sestoja (starejši drogovnjak), v katerem se je odvijala sečnja. Tudi sortimentna struktura listavcev je slaba, saj vsebuje kar 68 % prostorninskega lesa. V tej luči je potrebno presoјati tudi majhne razlike med krojenjem iglavcev in listavcev. Med krojenjem listavcev manjših dimenzij slabše kvalitete in krojenjem iglavcev z vidika strojnika praktično ni razlike. Takšna drevesa listavcev skroji na dolžine, ki jih zahteva transportno sredstvo, s katerim bo potekal nadaljnji transport. V našem primeru je to tovornjak s prikolico.

Primerjamo lahko natančnost prežagovanja harversterske glave Woody 60, ki je nameščena na žičnem žerjavu Syncrofalke last SGG Tolmin s frekvenčno porazdelitvijo dolžin, ki jo je ugotovil Toplitsch (Toplitsch, 1991). Ugotovimo, da direktna primerjava rezultatov ni mogoča, niti ni smiselna, ker Toplitsch predstavlja natančnost prežagovanja z odstopanjem dolžin sortimentov od nastavljenih dolžin, mi pa natančnost prežagovanja predstavljamo z odstopanjem dolžin sortimentov od modusa porazdelitve. Ko pa iz Toplitschove frekvenčne porazdelitve izračunamo delež sortimentov znotraj 5 cm širokega intervala v sredini katerega je modus porazdelitve 54,5 % (the best five) in ga primerjamo z deležem ugotovljenim v naši raziskavi 54,3 % ugotovimo, da je natančnost prežagovanja praktično enaka. Pri harversterski glavi Woody 60, se pojavlja sistematična napaka zaradi katere so sortimenti 6 cm daljši, od nastavljene dolžine. Napako je možno odpraviti z umeritvijo merilnega sistema ali z enostavnim upoštevanjem sistematične napake pri nastavljanju zelenih dolžin sortimentov.

V rezultatih vidimo, da je pri iglavcih zelo majhen delež sortimentov krajših od 404 cm (6 %). To je popolnoma razumljivo, saj z namernim krojenjem daljših sortimentov dosežemo



manjšo izgubo, kot če krojimo prekratke sortimente. Hamish (Hamish in sod., 2006) v svoji raziskavi ugotavlja izgubo pri namernem krojenju 10 cm daljših sortimentov v severnoameriških borovih sestojih do 0,90 \$/kos. V istih sestojih pa je izguba pri krojenju 10 cm prekratkih sortimentov dosegla 20 \$/kos. To pa zato, ker sortimenti niso dosegli minimalnih dimenzij, ki jih zahtevajo njihovi standardi in je bilo tak sortiment potrebno uvrstiti v nižji kakovostni razred, kjer je dosegel nižjo ceno.

Drug pogosto uporabljan kazalec natančnosti prežagovanja procesorske glave je delež sortimentov znotraj 5 cm širokega intervala, v sredini katerega je modus porazdelitve. V tuji literaturi ga imenujejo »best five«. Ta delež je v našem primeru za iglavce znašal 54,33 %. Ko ga primerjamo z rezultati raziskave (Sondell in sod. 2002) vidimo, da za najslabšimi rezultati zaostaja za 14 % za najboljšimi pa celo 32 %. Čeprav noben rezultat ni dosegel postavljenih ciljev v raziskavi, ki so ga postavili na 90 %. Vendar so ti stroji delovali v debeljaku smreke in so se izogibali obdelovanju poškodovanih dreves in tako dosegli minimalno vpletanje strojnika v proces krojenja. Tako enega od vzrokov za manjši delež sortimentov znotraj 5 cm širokega intervala vidimo prav v dejstvu, da se je sečnja odvijala v močnejšem drogovnjaku smreke in se je med sečnjo in spravirom veliko dreves polomilo, ali pa so bila v preteklosti poškodovana zaradi snega in žledu, kar se izraža v vilasti razraščeni dreves.

Pri listavcih o natančnosti prežagovanja v takem smislu kot pri iglavcih ne moremo razpravljati, saj se listavce kroji po napakah oz. kakovosti in ne po dolžini, kot je temu primer pri krojenju iglavcev. V tej luči moramo tudi presojati frekvenčno porazdelitev na sliki 3 in komaj 11,33 % delež sortimentov znotraj 5 cm širokega intervala. Tako je konica pri 420 cm posledica nekaj dreves kakovosti prostorninskega lesa, katere krojijo avtomatsko. Druga velika konica pri -15 ali pri dolžini 435 cm pa je tako posledica načina krojenja listavcev, kot tudi širšega razreda.

Z drugačnim načinom krojenja lahko pojasnimo več kot dvakrat večjo standardno napako pri listavcih in mnogo večji standardni odklon pri dolžinah sortimentov listavcev.

Da bi ugotovili, kako se natančnost prežagovanja izraža v višini izgube, je potrebno najprej predstaviti način izračuna izgube. V našem primeru smo jo izrazili z vrednostjo nadmere, ki jo kupcu v bistvu podarimo. Tako je po besedah Kovšce (Kovšca, 2007) najkrajša dolžina sortimenta, ki ga še uspejo prodati kot sortiment neto dolžine 4 m in sicer 404 cm. Izguba je torej vrednost volumna hloda z dolžino, ki jo izračunamo kot razliko med dejansko dolžino sortimenta in minimalno dolžino 404 cm, ter srednjim premerom sortimenta. V primeru, ko je sortiment krajši kot 404 cm pa ga v najboljšem primeru prodajo kot sortiment neto dolžine 3,5 m največkrat pa kot sortiment neto dolžine 3 m. V tem primeru je izguba vrednost hloda z dolžino izračunano kot razliko med dejansko dolžino hloda in minimalno dolžino sortimenta, ki je potrebna, da sortiment prodajo kot sortiment neto dolžine 3 m to je 304 cm.

Ker je izguba v našem primeru vrednost določenega dela debla drevesa, je za ugotavljanje spreminjanja izgub ob spreminjanju prsnega premera debla in drevesne višine nujno potrebno poznati, kako se spreminja vrednost drevesa z omenjenima parametroma.

Tako smo ugotovili, da se z večanjem prsnega premera pri iglavcih večja vrednost drevesa s potenčno funkcijo (slika 4), kar se sklada z ugotovitvami Rebule (Rebula, 1996) in (Rebula, 1997), ki ugotavlja, da vrednost pri jelovih hlodih z debelino najprej hitro narašča, pri debelinah 40 do 50 cm kulminira in se nato počasi zmanjšuje. Indeks vrednosti (Iv) se pri povečanju debeline hloda za 1 cm poveča za 2,6 %.

Pri listavcih oziroma bukovini rezultati o vplivu debeline drevesa na njegovo vrednost kažejo podobne zaključke. Naraščanje vrednosti drevesa z debelino tudi tu najbolje prikazuje potenčna funkcija (slika 5) vendar z njo v tem primeru pojasnimo 17 % manj variabilnosti. Tudi v tem primeru se ugotovitve iz naše raziskave skladajo z ugotovitvami iz drugih raziskav. Tako sta Rebula in Kotar (Rebula in Kotar, 2003) in Rebula (2005) ugotovila, da vrednost drevesa narašča približno s kvadratom debeline. Kulminacijo pa doseže med 50 do 70 cm debeline. Izsledki naše raziskave tako pri iglavcih kot pri listavcih ne kažejo na kulminacije vrednosti. To si razlagamo z vsebino podatkov, saj podatkov o drevesih z prsnim premerom večjim od prsnega premera drevesa ob kulminaciji vrednosti praktično nimamo.

Vrednost dreves iglavcev se spreminja tudi z drevesno višino. V našem primeru smo z eksponentno funkcijo (slika 6) pojasnili 76 % variabilnosti. Podobne rezultate je moč zaslediti tudi v članku Rebule (Rebula, 1996), kjer ugotavlja da z večjo dolžino debla ob nespremenjenem premeru drevesa vrednost debel narašča progresivno.

V primeru listavcev naša raziskava ne pokaže velike odvisnosti med drevesno višino in vrednostjo drevesa. Največ variabilnosti pojasnjuje potenčna funkcija (slika 7), vendar pojasnjuje le 32 % variabilnosti. Rebula in Kotar (Rebula in Kotar, 2005) ugotavljata značilna in precej tesna pozitivna koeficienta korelacije (Pearsonov in parcialni) med drevesno višino in vrednostjo drevesa. Ugotavljata, da vrednost drevesa narašča linearno z drevesno višino, kar kaže, da je odvisnost med višino drevesa in njegovo vrednostjo manj tesna, kot odvisnost med debelino drevesa in njegovo vrednostjo.

Če hočemo zmanjšati izgube pri strojnem krojenju lesa, ki nastanejo zaradi nenatančnosti prežagovanja, je potrebno vedeti, kje se nahaja večina vrednosti drevesa. V našem primeru smo ta podatek pridobili tako, da smo vrednosti določenega deleža dolžine debla primerjali z vrednostjo celotnega drevesa in podatke nato prikazali na grafikonih.

Gibanje vrednosti drevesa je predstavljeno na grafikonih ločeno za iglavce in listavce (slika 8 in slika 9). Tako smo ugotovili, da se v prvi četrtini debel iglavcev nahaja 64 % vrednosti drevesa.

Ko primerjamo še delež izgube v odvisnosti od deleža višine drevesa (slika 10) ugotovimo, da smo že ob prvem prerezu dosegli skoraj 50 % skupne izgube pri drugem prerezu pa že več kot 80 %.

Pri listavcih je situacija podobna. V prvi četrtini se namreč nahaja 62 % vrednosti celotnega drevesa, kar se sklada z ugotovitvami Kotarja in Rebule (Rebula in Kotar, 2003), ki sta ugotovila v prvi četrtini v povprečju 63 % njegove vrednosti. Druga ugotovitev pa je bila, da se delež prve četrtine v vrednosti debla zelo spreminja z merami drevesa. Tako je pri zelo vitkem in drobnem drevju delež vrednosti prve četrtine le 50 % pri debelem in tršatem drevju pa lahko doseže 75 % vrednosti drevesa.

Tudi s primerjavo deleža izgube v odvisnosti od deleža višine drevesa pri listavcih dobimo podobne rezultate. Ugotovili smo, da napaka pri natančnosti prežagovanja že pri prvem prežagovanju doseže vrednost 50 % pri drugem že več kot 80 % in pri tretjem prežagovanju 90 %.

V raziskavi smo ugotovili izgubo zaradi nenatančnosti prežagovanja pri iglavcih 4,38 %, pri listavcih pa izgubo zaradi prevelike nadmere 3,4 %. Ko te rezultate primerjamo z rezultati raziskav Conradie (2004) in Hamisha (2006), ki ugotavljata izgube pri strojnem krojenju v razponu med 6 % in 18 % so naši rezultati izjemno dobri, vendar se moramo zavedati, da rezultati med seboj niso primerljivi, ker sta zgoraj omenjena avtorja primerjala poleg napak zaradi prežagovanja tudi razliko v vrednosti lesa med dejanskim krojenjem in optimalnim krojenjem, ki ga je izvedel poseben računalniški program. Naša raziskava pa se je osredotočila zgolj na izgube, ki nastanejo zaradi prevelike ali premajhne nadmere pri določenem sortimentu.

Izkoristek deblovine je kazalec, ki nam pove, kolikšen del deblovine smo izdelali v sortimente in prodali. Če izkoristek odštejemo od 1 dobimo izgubo, ki vsebuje nadmero sortimentov in napake zaradi izmere sortimentov.

V našem primeru smo proučevali odnos med višino izkoristka in prsnim premerom debla ter višino drevesa pri iglavcih in listavcih.

Pri iglavcih smo ugotovili izkoristek v višini 0,77, nismo pa uspeli pojasniti več kot 8 % variabilnosti v odnosu med višino izkoristka in prsnim premerom. Pri odnosu med višino izkoristka in drevesno višino smo pojasnili le 4 % variabilnosti. Ko naše ugotovitve primerjamo z ugotovitvami raziskave, ki jo je izvedel Rebula (Rebula, 1996) opazimo, da se je tudi v tej raziskavi vpliv debeline na izkoristek pokazal kot neznačilen. Pokazalo pa se je, da je izkoristek odvisen predvsem od dolžine debla oziroma drevesne višine, odvisnost pa je progresivna. Rebula je ugotovil izkoristek v višini 91,5 %. Tako velik izkoristek avtor pojasnjuje z dimenzijo debel. V raziskavo je bilo zajeto le drevje debelejše od 20 cm. Predpostavljeno pa je bilo tudi, da je vse drevje zdravo.

Izkoristek pri listavcih je znašal 0,85. Na grafikonu, ki kaže odvisnost izkoristka lesa pri listavcih (slika 12) je moč opaziti trend, da z večanjem prsnega premera izkoristek pada. S parabolo tretje stopnje smo uspeli pojasniti le 30 % variabilnosti. V odnosu med višino izkoristka in drevesno višino nismo opazili posebnega trenda. Tudi regresijska enačba pojasni le 18 % variabilnosti.

Z izkoristkom lesa pri sečnji bukovine se je ukvarjal tudi Rebula (Rebula, 2002). Ugotovil je, da se izkoristki lesa pri listavcih gibljejo na intervalu med 0,85 in 0,98, ki je ožji kot pri iglavcih. Ugotovil je, da z debelino izkoristek pada. To razlaga z večjo količino lesnih ostankov pri debelem drevju v obliki rogovil, prelomov in trhljih delov. Z višino izkoristki lesa naraščajo, kar pomeni, da imajo višja drevesa pri enakem prsnem premeru večji izkoristek lesa.

Zadnji del diplomskega dela smo posvetili številu sortimentov iz posameznega drevesa v odvisnosti s prsnim premerom in višino ter velikosti povprečnega sortimenta v odvisnosti od prsnega premera, višine drevesa in neto drevesa.

Med povprečnim številom sortimentov iz enega drevesa pri iglavcih in listavcih praktično ni razlike. Povprečno število sortimentov pri iglavcih znaša 4,15, pri listavcih pa 4,05.

Ko smo primerjali število sortimentov iz enega drevesa s prsnim premerom drevesa, smo ugotovili, da se z debelino število sortimentov veča, vendar regresivno. Pri iglavcih smo s parabolo tretje stopnje (slika 13) pojasnili 82 % variabilnosti. Pri listavcih pa je pojasnjena variabilnost precej manjša in sicer 34 % (slika 14). Da se število sortimentov z večanjem prsnega premera regresivno veča je logično, saj se z večanjem prsnega premera sprva veča tudi višina drevesa, dokler drevesa ne dosežejo strehe sestoja. Vzrok večji variabilnosti istega pojava pri listavcih vidimo predvsem v drugačni razrasti debla. Za razliko od iglavcev, kjer se pojavlja monopodialna razrast, se pri listavcih pogosto pojavi simpodialna razrast. Tako ima enako debelo drevo, ki se v krošnji razraste v več vrhov (debelih vej) več sortimentov, kot drevo, ki je monopodialne razrasti.

Rezultati primerjave števila sortimentov izdelanih iz enega drevesa z višino drevesa potrjujejo zgornjo razlago. Z višino tako pri iglavcih (slika 15), kot pri listavcih (slika 16) namreč pojasnimo veliko več variabilnosti v številu sortimentov izdelanih iz enega drevesa.

Ko smo primerjali odvisnost med velikostjo povprečnega kosa in prsnim premerom, smo ugotovili, da se z večanjem prsnega premera potenčno večja volumen povprečnega kosa tako pri iglavcih (slika 17) kot pri listavcih (slika 18). Vendar smo pri iglavcih pojasnili več variabilnosti, saj je odvisnost skoraj funkcijska ( $R^2 = 0,98$ ).

Na sliki 19 je prikazan odnos med volumnom povprečnega kosa in drevesno višino. Pri iglavcih (slika 19) opazimo naraščanje volumna povprečnega kosa z drevesno višino. To naraščanje lahko opišemo z eksponentno funkcijo, pri tem pa pojasnimo 58 % variabilnosti. Pri listavcih pa je raztros velik in v najboljšem primeru pojasnimo zanemarljivo malo variabilnosti. V splošnem višina pojasni mnogo manj variabilnosti volumna srednjega kosa kot prsni premer. Tako majhno odvisnost med volumnom srednjega kosa in drevesno višino pri listavcih pa ponovno razlagamo s simpodialno razrastjo nekaterih dreves listavcev, ki imajo pri enaki drevesni višini večji volumen.

Primerjava med volumnom srednjega kosa in neto drevesom (slika 20 in slika 21) nam je postregla s približno enakimi rezultati, kot primerjava med prsnim premerom in volumnom srednjega kosa. Kar ni nič nenavadnega, saj je prsni premer bistveni podatek za izračun volumna drevesa ali sortimenta.

Na slikah 22 in 23 smo ločeno za iglavce in listavce prikazali odvisnost med številom sortimentov iz posameznega drevesa, volumnom povprečnega kosa, velikostjo povprečnega kosa v bremenu in neto volumnom drevesa. Velikost povprečnega kosa v bremenu izhaja iz normativov gozdnih del za žičniško spravilo in je pomemben podatek za izračun osnovnega normativa spravila lesa. Ko primerjamo število sortimentov z neto volumnom drevesa pri iglavcih vidimo, da krivulja sprva strmo narašča, ko pa drevo doseže  $1 \text{ m}^3$  se izravna in narašča mnogo bolj položno. To je predvsem posledica dejstva, da drevo doseže streho sestaja in se rast drevesa v višino upočasni; ker pa je število

sortimentov v drevesu močno odvisno od drevesne višine (slika 15) se tudi krivulja, ki prikazuje odvisnost med neto volumnom drevesa in številom sortimentov (slika 22) izravna. Pri listavcih (slika 23) je situacija podobna, vendar je krivulja bolj položna zaradi večjega raztrosa, ki je posledica že večkrat omenjene več vrhatosti pri nekaterih drevesih listavcev.

Na slikah 22 in 23 sta predstavljeni tudi krivulji povprečnega kosa v bremenu in volumna povprečnega kosa v bremenu. Krivulja velikosti povprečnega kosa v bremenu je vedno nad krivuljo, ki ponazarja volumen povprečnega kosa v odvisnosti od neto drevesa. To ni nič nenavadnega, saj so normativi izračunani za metodo mnogokratnikov pri iglavcih ali za metodo kombiniranih hlodov pri listavcih, katerih dolžine se gibljejo okoli osmih metrov. Sortimentni pri naši raziskavi pa so nastali pri sortimentni metodi njihove, dolžine pa se gibljejo okoli štirih metrov.

Bolj nenavadna se na prvi pogled zdi razlika v oblikah krivulj. Krivulji velikosti povprečnega kosa v bremenu sprva z volumnom neto drevesa strmo naraščata, kasneje pa se izravnata. Pri iglavcih se to zgodi pri približni vrednosti neto volumna drevesa  $1\text{ m}^3$ , pri listavcih pa pri približno  $0,75\text{ m}^3$ . Krivulji, ki ponazarjata volumen povprečnega kosa pa kažeta bolj ali manj linearno naraščanje volumna srednjega kosa z neto volumnom drevesa. Vzrok temu najverjetneje tiči v načinu izbire dreves za analizo. Merili smo namreč samo tista drevesa, ki so na cesto prišla cela, saj smo le v tem primeru lahko dobili podatke, ki smo jih iskali. Ker pa je žični žerjav omejen z maso bremena, ki ne sme presežati 3 t, prihaja do tega, da debelejša drevesa delno skrojijo že v delovišču. Tako je z večjim volumnom drevesa, ki je na cesto prišlo celo, povprečni volumen kosa rasel skoraj linearno.

## 7.2 SKLEPI

Natančnost prežagovanja smo predstavili z frekvenčno porazdelitvijo in deležem sortimentov znotraj 5 cm intervala okoli modusa porazdelitve. Pri iglavcih je ta delež znašal 54 %, pri listavcih pa le 11%, kar pojasnujemo s krojenjem listavcev po kakovosti.

Z večanjem prsnega premera se večja vrednost drevesa tako pri listavcih kot pri iglavcih. Pri iglavcih vpliv prsnega premera na vrednost drevesa pojasni več variabilnosti.

Drevesna višina pri iglavcih pojasni manj variabilnosti v vrednosti drevesa kot prsni premer, medtem ko je pri listavcih vpliv drevesne višine na vrednost drevesa zelo majhen.

Ugotovili smo, da se v prvi četrtini debla iglavcev nahaja 64 % vrednosti celotnega drevesa. Z nenatančnostjo prežagovanja smo s prvim prerezom dosegli 50 %, z drugim prerezom pa 80 % celotne izgube nastale pri krojenju lesa. Na podobno situacijo smo naleteli pri listavcih, pri katerih prva četrtina drevesa pomeni 62 % vrednosti celotnega drevesa. Nadmera pri prvem sortimentu je predstavljala 50 % vrednosti celotne nadmere, pri drugem 80 % in pri tretjem 90 % vrednosti celotne nadmere.

Ugotavljali smo tudi izkoristek lesa, ki je pri iglavcih znašal 0,77 pri listavcih pa 0,85. Z drevesno višino in prsnim premerom smo pri iglavcih pojasnili zanemarljivo malo variabilnosti. Pri listavcih pa smo opazili trend manjšanja izkoristka z večanjem prsnega premera.

Število sortimentov se večja s prsnim premerom pri iglavcih, je ta odvisnost skoraj funkcijska. Pri listavcih pa zaradi simpodialne razrasti pojasnimo veliko manj variabilnosti pojava. Višina drevesa se je pokazala kot boljši pokazatelj števila sortimentov v posameznem drevesu kot prsni premer.

Velikost povprečnega kosa se s prsnim premerom večja tako pri iglavcih kot pri listavcih, podoben vpliv na velikost povprečnega kosa ima tudi neto volumen drevesa.

Višina se je izkazala kot slabši pokazatelj velikosti povprečnega kosa, še posebej pri listavcih.

Krivulji povprečnega kosa sta bili vedno pod krivuljama velikosti srednjega sortimenta v bremenu, ker so vrednosti velikosti srednjega sortimenta v bremenu izračunane za mnogokratnike in kombinirane hlode. Krivulji velikosti povprečnega kosa za razliko od



krivulj velikosti srednjega sortimenta v bremenu, ki rasteta degresivno, rasteta skoraj linearno. Vzrok temu je v metodologiji snemanja podatkov, ki je zahtevala izmero celih dreves, kar pa pri drevesih z večjo maso kot 3 t ni bilo mogoče; pri tem nas je omejevala nosilnost žičnega žerjava Syncrofalke.

## 8 POVZETEK

Diplomsko delo je nastalo z namenom, da bi spoznali lastnosti krojenja lesa iglavcev in listavcev pri strojni sečnji. Na vzorcu 131 dreves s skupnim volumnom  $123 \text{ m}^3$  debeljadi in  $101,2 \text{ m}^3$  sortimentov, ki smo ga posneli v Soškem gozdnogospodarskem območju v gozdnogospodarski enoti Črni vrh. Na treh linijah žičnega žerjava s stolpom Syncrofalke smo ugotavljali: natančnost prežagovanja in vpliv le tega na tržno vrednost sortimenta, odvisnost med velikostjo prsnega premera in vrednostjo drevesa, številom sortimentov in velikostjo povprečnega kosa, odvisnost med drevesno višino in vrednostjo drevesa, števila sortimentov in velikostjo povprečnega kosa. Ugotavljali smo tudi delež vrednosti posameznega sortimenta v vrednosti celega drevesa in delež napake ali nadmere pri posameznem sortimentu v vrednosti napake za celotno drevo ter višino izkoristka lesa in odvisnost med volumnom neto drevesa, velikostjo povprečnega kosa in maso povprečnega kosa v bremenu iz normativov gozdnih del za žičniško spravilo.

Pri iglavcih se je znotraj 5 cm intervala in modusa porazdelitve dolžin sortimentov nahajalo 54 %, pri listavcih pa 11 % vseh sortimentov.

Ugotovili smo, da prsni premer dobro ponazarja vrednost drevesa, velikost povprečnega kosa in število sortimentov iz drevesa pri iglavcih; pri listavcih pa število sortimentov predstavlja slabše.

Drevesna višina dobro predstavlja število sortimentov, slabše pa vrednost drevesa in velikost povprečnega kosa v drevesu. Večina vrednosti drevesa se nahaja v njegovi prvi četrtini (iglavci 64 % listavci 62 %). Podobno se večina celotne izgube zaradi nenatančnosti prežagovanja nahaja pri prvem kosu.

Izkoristek lesa je pri iglavcih znašal 0,77, pri listavcih pa 0,85.

## 9 VIRI

Lipoglavšek E. 1988. Gozdni proizvodi. Ljubljana, Tehnična založba Slovenije: 115 str.

Furlan F., Košir B. 2006. Vrednotenje okroglega lesa. Ljubljana, Zveza gozdarskih društev Slovenije: 78 str.

Košir B. 2002. Tehnološke možnosti strojne sečnje. V: Strojna sečnja v Sloveniji, Krajčič D. (ur.) Ljubljana, Gospodarska zbornica Slovenije, Združenje za gozdarstvo: 7-20

Košir B. 2004. Dejavniki razvoja tehnoloških sprememb. Gozdarski vestnik, 62: 3-11.

Kadunc A., Kotar. M. 2006. Volumenska in vrednostna zgradba ter priraščanje smrekovih sestojev v gorskih legah Slovenije. Gozdarski vestnik, 64, 2: 76-80, 97-104.

Rebula. E. 2002. Izkoristek lesa pri sečnji bukovine. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 69: 197-213.

Rebula E., Kotar M., 2005. Dejavniki, ki vplivajo na vrednost bukovine. Gozdarski vestnik, 63: 99-108.

Rebula E. 1998. Vrednost jelovih hlodov, njeni kazalci in njihova uporabnost pri razvrščanju hlodov. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 55: 151-199.

Rebula E. 1996. Sortimentne in vrednostne tablice za debla jelke. Gozdarski vestnik, 54: 2-31.

Završnik A. 1965. Izmera drevja in lesa. Ljubljana, Zveza gozdarjev Socialistične republike Slovenije: 143 str.

Hamish D. in sod. 2006. Evaluation of the economic impact of length and diameter measurement error on mechanical harvesters and processors operating in pine stands, Canadian journal of forest research: 1661-1673

Conradie in sod. 2004. Value recovery with harvesters in southeastern U.S. pine stands. Forest product journal 80-85

Sondell J in sod. 2002. Third generation of merchandising computers. Skogforsk Results:1-5

Toplitsch M. 1991. Langenmessung Valmet 901 Hochburg/ Ach Lange 4m od. 5m. Harvester/Prozessoren, str. 1

Kovšca S. 2007. »Najmanjše dolžine 4m hlodov iglavcev«. Idrija, Soško gozdno gospodarstvo – Tolmin. (osebni vir, 7.12.2007)

Ambrožič J. 2007. »Cenik gozdno lesnih sortimentov« Pivka, kmetijsko gozdarska zadruga Pivka. (osebni vir, 23.12.2007 dne)

Herzog-Forsttechnik: spletna stran podjetja  
<http://www.herzog-forsttechnik.ch> (3.12.2007)

Mayr-Melnhof: spletna stran podjetja  
<http://www.mm-forst.at> (3.12.2007)

SGG-Tolmin: spletna stran podjetja  
<http://www.sgg-tolmin.si> (3.12.2007)

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Boštjanu Koširju za pomoč in usmerjanje pri izdelavi diplomskega dela.

Dr. Juriju Marenčetu se zahvaljujem za recenzijo.

Zahvaljujem se tudi vsem delavcem Soškega gozdnega gospodarstva, ki so mi omogočili zbiranje potrebnih podatkov.

Posebno se zahvaljujem družini za vso podporo pri mojem študiju.

Hvala!