

Povezanost širine goda i momenta sile prilikom uzimanja izvrtaka hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) i poljskog jasena (*Fraxinus angustifolia* Vahl) Presslerovim svrdlom

Kuhar, Marko

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Forestry and Wood Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:108:985641>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-23**



Repository / Repozitorij:

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE
ŠUMARSKI ODSJEK

SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ
ŠUMARSTVO: UZGAJANJE I UREĐIVANJE ŠUMA S
LOVNIM GOSPODARENJEM



MARKO KUCHAR

POVEZANOST ŠIRINE GODA I MOMENTA SILE PRILIKOM
UZIMANJA IZVRTAKA HRASTA LUŽNJAKA (*Quercus robur*
L.) I POLJSKOG JASENA (*Fraxinus angustifolia* Vahl.)
PRESSLEROVIM SVRDLOM

DIPLOMSKI RAD

ZAGREB (PROSINAC, 2024.)

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE
ŠUMARSKI ODSJEK

POVEZANOST ŠIRINE GODA I MOMENTA SILE PRILIKOM
UZIMANJA IZVRTAKA HRASTA LUŽNJAKA (*Quercus robur* L.)
I POLJSKOG JASENA (*Fraxinus angustifolia* Vahl.)
PRESSLEROVIM SVRDLOM

DIPLOMSKI RAD

Diplomski studij Šumarstvo, smjer: Uzgajanje i uređivanje šuma s lovnim gospodarenjem

Predmet: Rast i prirast

Ispitno povjerenstvo: 1. prof. dr. sc. Mario Božić
2. izv. prof. dr. sc. Mislav Vedriš
3. izv. prof. dr. sc. Krunoslav Teslak
Prof. dr. sc. Jura Čavlović (zamjenski član)

Student: Marko Kuhar

JMBAG: 0068234228

Datum odobrenja teme: 5.4.2023.

Datum predaje rada: 10.12.2024.

Datum obrane rada: 13.12.2024.

Zagreb, prosinac 2024.

DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Naslov	Povezanost širine goda i momenta sile prilikom uzimanja izvrtaka hrasta lužnjaka (<i>Quercus robur</i> L.) i poljskog jasena (<i>Fraxinus angustifolia</i> Vahl.) Presslerovim svrdlom
Title	The correlation between the tree-ring width and the torque during tree-ring cores sampling of the pedunculate oak (<i>Quercus robur</i> L.) and narrow-leaved ash (<i>Fraxinus angustifolia</i> Vahl.) using a Pressler increment borer
Autor	Marko Kuhar
Adresa autora	Valpovačka 18, Veliškovci
Mjesto izrade	Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu
Vrsta objave	Diplomski rad
Mentor	Prof.dr.sc.Mario Božić
Izradi rada pomogao	Izv. prof. dr. sc. Ernest Goršić
Godina objave	2024
Obujam	Poglavlja:5, stranica:80, slika:33, tablica:46, grafova:25, navoda literature:20
Ključne riječi	God, širina goda, Presslerovo svrdlo, moment sile
Key words	Tree ring, tree-ring width, Pressler increment borer, torque
Sažetak	<p>U ovom diplomskom radu istraživana su kretanja momenata sile na četiri različite vrste tvrdih listača pomoću tri različita Presslerova svrdla. Mjereno je na hrastu lužnjaku, hrastu kitnjaku običnoj bukvi i poljskom jasenu, a korištena su svrdla Haglöf 5,15mm, Haglöf 10mm i Djos 5,15mm. Mjereni su i pomaci svrdla prilikom ubušivanja, i analizirano koliko svrdla stablo istisne. Na Lintab stereo lupi analizirani su izvrtci, a time i izmjerene širine godova u programu Tsap-Win. Ekstrapolirani su podatci širine goda iz Tsap-Win programa u Microsoft Excel, gdje je izračunata je prosječna širina goda. Usporedbom podataka o prosječnoj širini goda i momenta sile, zaključena je povezanost širine godova i potrebnog momenta sile. Svi su podatci statistički obrađeni korelacijskom i regresijskom analizom. Napravljeni su regresijski modeli za procjenu momenta sile ovisno o dubini ubušivanja i širini goda. Rezultati ovoga rada mogu pripomoći boljem razumijevanju rada svrdala, i u konačnici poslužiti u izradi prototipa bušilice za prirasna svrdla.</p>
Summary	<p>In this thesis, the movements of torque were researched on four diferent hardwood tree species using three different tipes of Pressler increment borer. It was researched on english oak, irish oak, common beech and the narrow-leaved ash using Haglöf 5,15mm, Haglöf 10mm i Djos 5,15mm increment borers. Also ,the movements of the borers during drilling were measured, and how much is of the borer being pushed out from the tree. The tree-ring cores were analysed on the lintab measuring table, and the tree ring width were mesaured in Tsap-Win program. The data was extrapolated from Tsap-Win to the Microsoft Excel, where the averge tree-ring width was calculated. By comparison of the tree-ring width data and torque data, it was concluded that tree ring width and needed torque for drilling are connected. All data were statistically processed using corerelation and regression analyses. Regression models were created to estimate the needed torque depending on the drilling depth and the tree ring width. The results of these thesis can help us for better understanding of the principal of how increment borers work, and finally help us in making an increment borer-drill prototype.</p>



IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

OB FŠDT 05 07

Revizija: 2

Datum: 29.04.2021.

„Izjavljujem da je moj diplomski rad izvorni rezultat mogega rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni“.

U Zagrebu, 13.12.2024. godine

vlastoručni potpis

Marko Kuhar

PREDGOVOR

Na kraju svog fakultetskog obrazovanja, pomiješanih osjećaja sreće, tuge, nervoze i uzbuđenja pišem ovu zahvalu. Hvala ponajprije izv. prof. dr.sc. Ernestu Goršiću na svakom obliku pomoći pri izradi ovog rada, te na danonoćnoj dostupnosti i vrlo korisnim savjetima. Hvala profesorima na svemu što su me naučili. Hvala mojim kolegama s fakulteta, kao i mojim folklorasima iz Zagreb-Markovca na svakom savjetu i riječi utjehe u teškim trenucima, a li i na veselju i radosti u trenucima slavlja, kao što je ovaj na kraju mog obrazovanja na Fakultetu šumarstva i drvne tehnologije. Hvala mojim najboljim prijateljima, sviračima Brajde banda, s kojima sam dijelio sva iskustva stečena na fakultetu i koji su me svakom novom svirkom učili kako ostati dobar student, ali i postati bolji čovjek. Na kraju, najviše zahvaljujem ocu, majci, baki, sestri, bratu, i ostaloj rodbini koji su me kroz cijeli ovaj put obrazovanja podržavali i savjetovali. Hvala dragome Bogu na darovanoj snazi, kako ne bih odustao, i kako bih došao do kraja puta zvanog obrazovanje.

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. God	1
1.2. Presslerovo svrdlo i drugi poznati izumi	4
1.3. Moment sile.....	13
1.4. Povezanost godova i momenta sile	13
1.5. Ciljevi istraživanja.....	14
1.6. Pregled literature	14
2. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA	17
2.1. Alati za mjerenje.....	18
2.1.1. Svrkla	18
2.1.2. Moment ključ	20
2.1.3. Posebno prilagođeni nastavci	20
2.1.4. „Starter“ za svrdlo.....	21
2.1.5. Mjerna vrpca i ravnalo	22
2.2. Terensko prikupljanje podataka.....	23
2.3. Laboratorijska analiza podataka.....	27
2.3.1. Priprema na mikrotomu	27
2.3.2. Izmjera godova i analiza izvrtaka	28
2.4. Obrada podataka u Microsoft excelu.....	30
2.5. Statistička analiza podataka	32
3. REZULTATI I RASPRAVA.....	33
3.1. Razlika teoretske i stvarne dubine ubušivanja	33
3.1.1. Haglöf 5,15mm.....	35
3.1.2. Haglöf 10mm.....	36
3.1.3. Djos 5,15mm	36
3.2. Deskriptivna statistika	37
3.2.1. Širina goda po vrstama.....	37
3.2.2. Moment sile po vrstama i svrdlu	37
3.3. Povezanost dubine ubušivanja i momenta sile.....	39
3.3.1. Hrast lužnjak (<i>Quercus robur</i> L.)	40
3.3.2. Poljski jasen (<i>Fraxinus angustifolia</i> Vahl.).....	43
3.3.3. Hrast kitnjak (<i>Quercus petraea</i> (Mattuschka) Liebl.).....	46

3.3.4. Obična bukva (<i>Fagus sylvatica</i> L.).....	48
3.3.5. Prosječni momenti sila za svako pojedino svrdlo.....	51
3.3.6. Korelacija dubine ubušivanja (cm) i momenta sile (Nm) po vrstama i svrdlu	54
3.4. Povezanost širine godova i momenta sile	62
3.4.1. Hrast lužnjak.....	62
3.4.2. Poljski jasen.....	64
3.4.3. Hrast kitnjak	66
3.4.4. Obična bukva.....	68
3.4.5. Korelacija širine goda (mm) i momenta sile (Nm)	71
3.5. Regresija	72
3.5.1. Regresija za moment sile i dubinu ubušivanja po vrstama i svrdlu.....	72
4. ZAKLJUČAK.....	78
5. LITERATURA	79

KAZALO SLIKA

Slika 1 Poprečni presjek hrastovog prstenasto-poroznog drva.....	2
Slika 2. Poprečni presjek javorovog difuzno poroznog drva	2
Slika 3. Primjena Presslerovog Messknecht-a.....	4
Slika 4. Prof. Maximilian Robert Pressler.....	5
Slika 5. Naslovnica knjige prof. Presslera koja opisuje kako Messknecht koristiti kao sunčani sat	5
Slika 6. Naslovnica udžbenika o Presslerovom svrdlu iz 1908. godine.....	6
Slika 7. Crtež svrdala s dva i tri navoja.....	7
Slika 8. Crtež poprečnog presjeka i struktura vrha svrdla tvrtke Suunto promjera 5mm	8
Slika 9. Razlika u navojima Suunto svrdla Djos (gore) i Mora svrdla Haglöf (dolje).....	9
Slika 10. Glava svrdla Haglöf 5,15mm.....	10
Slika 11. Ručka svrdla Haglöf 5,15mm s otkvaćenim osiguračem i umetnutim izvlakačem .	10
Slika 12. Zupci na vrhu izvlakača svrdla Djos 5,15mm.....	11
Slika 13. Sklopljeno svrdlo Haglöf 5,15mm	12
Slika 14. Rastavljeno svrdlo Haglöf 5,15mm.....	12
Slika 15 Planetarni reduktor brzine rotacije, a) sunčani zupčanik, b) planetarni zupčanik, c) prstenasti zupčanik	15
Slika 16 Primjena Smartborera, a) akumulatorska bušilica, b) mjenjač, c) reakcijska šipka, d) šipka na izvlačenje, e) drška svrdla, f) uže za sprječavanje reakcijske sile uzrokovane moment silom, g) rča, h) svrdlo	16
Slika 17. Svrdlo Haglöf 5,15mm sklopljeno za ubušivanje u stablo	18
Slika 18. Svrdlo Haglöf 10mm rasklopljeno za ubušivanje u stablo	19
Slika 19. Svrdlo Djos 5,15mm sklopljeno za ubušivanje u stablo.....	19
Slika 20. Moment ključ marke Tohnichi	20
Slika 21. Nastavci prilagođeni za spajanje moment ključa s Presslerovim svrdlom.....	20
Slika 22. Primjena pushera i pomoćne rče pri početnom ubušivanju svrdla u stablo	21
Slika 23. Mjerna π (pi) vrpca marke Bandmass	22
Slika 24. π (pi) strana vrpce koja služi za mjerenje prsnog promjera.....	22
Slika 25. Mjesta ubušivanja dva uspoređivana svrdla u bukovom stablu	23
Slika 26. Početna točka očitavanja momenta sile svrdla Haglöf 10mm na dubini od 3,7cm..	24
Slika 27. Očitavanje momenta sile svrdla Haglöf 10mm u bukovom stablu opetovanim naprežanjem ručke moment ključa	24
Slika 28. Sat moment ključa koji tijekom očitavanja pokazuje najveći očitani moment sile od 65Nm.....	25

Slika 29. Terenski obrazac izrađen u programu Microsoft Excel	26
Slika 30. Mikrotom na kojem se za analizu priprema izvrtak obične bukve	27
Slika 31. LinTab mjerni stol	28
Slika 32. Područje grafa programa TsapWin u kojemu je aktivirano mjerenje	29
Slika 33. Mjerenje izvrtka hrasta lužnjaka na LinTab mjernom stolu te prikaz grafova trenutnog i prijašnjih mjerenja u programu TsapWin	29

KAZALO TABLICA

Tablica 1. Izračun prosječne širine goda za stablo QUR1	31
Tablica 2. Izračun dubine ubušivanja svrdala kroz stablo	33
Tablica 3. Prikaz razlike rezultata očekivane i stvarne dubine ubušivanja, te duljine izvrtka nastale kompresijom drveta prilikom bušenja, te dekompresijom drveta prilikom izvlačenja izvrtka i izbušivanja svrdla	34
Tablica 4 Prosječna vrijednost istiskivanja svrdla Haglöf 5,15mm iz hrasta lužnjaka	35
Tablica 5 Prosječna vrijednost istiskivanja svrdla Haglöf 5,15mm iz obične bukve.....	35
Tablica 6 Prosječna vrijednost istiskivanja svrdla Haglöf 5,15mm iz poljskog jasena	35
Tablica 7 Prosječna vrijednost istiskivanja svrdla Haglöf 5,15mm iz hrasta kitnjaka.....	35
Tablica 8 Prosječna vrijednost istiskivanja svrdla Haglöf 10mm iz hrasta lužnjaka	36
Tablica 9 Prosječna vrijednost istiskivanja svrdla Haglöf 10mm iz obične bukve	36
Tablica 10 Prosječna vrijednost istiskivanja svrdla Djos 5,15mm iz poljskog jasena.....	36
Tablica 11 Prosječna vrijednost istiskivanja svrdla Djos 5,15mm iz hrasta kitnjaka	36
Tablica 12. Širine goda za hrast lužnjak, hrast kitnjak, poljski jasen i običnu buku	37
Tablica 13. Izračun vrijednosti moment sile za sva svrdla i sve vrste drveća	37
Tablica 14. Rezultati očitavanja momenata sila svrdla Haglöf 5,15mm na hrastu lužnjaku... 40	40
Tablica 15. Rezultati očitavanja momenata sila svrdla Haglöf 10mm na hrastu lužnjaku.....	41
Tablica 16. Rezultati očitavanja momenata sila svrdla Haglöf 5,15mm na poljskom jasenu .	43
Tablica 17. Rezultati očitavanja momenata sila svrdla Djos 5,15mm na poljskom jasenu.....	44
Tablica 18. Rezultati očitavanja momenata sila svrdla Haglöf 5,15mm na hrastu kitnjaku ...	46
Tablica 19. Rezultati očitavanja momenata sila svrdla Djos 5,15mm na hrastu kitnjaku	47
Tablica 20. Rezultati očitavanja momenata sila svrdla Haglöf 5,15mm na običnoj bukvi	48
Tablica 21. Rezultati očitavanja momenata sila svrdla Haglöf 10mm na običnoj bukvi	49
Tablica 22. Prosječni moment sile potreban da se ubuši svrdlo Haglöf 5,15mm.....	51
Tablica 23. Prosječni moment sile potreban da se ubuši svrdlo Haglöf 10mm.....	52
Tablica 24. Prosječni moment sile potreban da se ubuši svrdlo Djos 5,15mm	53
Tablica 25. Iznosi korelacija dubine ubušivanja i momenta sile za svako svrdlo na svakom stablu	54
Tablica 26. Odnos prosječne širine goda i momenta ubušivanja za hrast lužnjak	62
Tablica 27. Odnos prosječne širine goda i momenta ubušivanja za poljski jasen	64
Tablica 28. Odnos prosječne širine goda i momenta ubušivanja za hrast kitnjak	66
Tablica 29. Odnos prosječne širine goda i momenta ubušivanja za običnu buku.....	68

Tablica 30. Korelacija momenta sile (Nm) i širine goda (mm) za sva korištena svrdla na svim stablima	71
Tablica 31. Regresijska analiza za moment sile u ovisnosti o dubini ubušivanja za svrdlo Haglöf 5,15mm, hrast lužnjak	72
Tablica 32. Izračun predikcije momenta na dubinama od 50, 75 i 100 cm za svrdlo Haglöf 5,15mm, hrast lužnjak	72
Tablica 33. Parametri za izračunavanje regresije momenta za svrdlo Haglöf 10mm, hrast lužnjak	73
Tablica 34. . Izračun predikcije momenta na dubinama od 50, 75 i 100cm za svrdlo Haglöf 10mm, hrast lužnjak	73
Tablica 35. Parametri za izračunavanje regresije momenta za svrdlo Haglöf 5,15mm, hrast kitnjak.....	73
Tablica 36. Izračun predikcije momenta na dubinama od 50, 75 i 100cm za svrdlo Haglöf 5,15mm, hrast kitnjak.....	73
Tablica 37. Parametri za izračunavanje regresije momenta za svrdlo Djos 5,15mm, hrast kitnjak	74
Tablica 38. Izračun predikcije momenta na dubinama od 50, 75 i 100cm za svrdlo Djos 5,15mm, hrast kitnjak.....	74
Tablica 39. Parametri za izračunavanje regresije momenta za svrdlo Haglöf 5,15mm, poljski jasen.....	75
Tablica 40. Izračun predikcije momenta na dubinama od 50, 75 i 100cm za svrdlo Haglöf 5,15mm, poljski jasen	75
Tablica 41. Parametri za izračunavanje regresije momenta za svrdlo Djos 5,15mm, poljski jasen	75
Tablica 42. Izračun predikcije momenta na dubinama od 50, 75 i 100cm za svrdlo Djos 5,15mm, poljski jasen	75
Tablica 43. Parametri za izračunavanje regresije momenta za svrdlo Haglöf 5,15mm, obična bukva	76
Tablica 44. Izračun predikcije momenta na dubinama od 50, 75 i 100cm za svrdlo Haglöf 5,15mm, obična bukva	76
Tablica 45. Parametri za izračunavanje regresije momenta za svrdlo Haglöf 5,15mm, obična bukva	76
Tablica 46. Izračun predikcije momenta na dubinama od 50, 75 i 100cm za svrdlo Haglöf 10mm, obična bukva	76

KAZALO GRAFOVA

Graf 1. Rezultati pokusnog mjerenja momenta sile bez korigiranja rezultata trzaja	17
Graf 2. Intervali pouzdanosti momenta za sva svrdla, na svim vrstama drveća.....	38
Graf 3. Rezultati očitavanja momenata sila svrdla Haglöf 5,15mm na hrastu lužnjaku	40
Graf 4. Rezultati očitavanja momenata sila svrdla Haglöf 10mm na hrastu lužnjaku.....	41
Graf 5. Rezultati očitavanja momenata sila svrdla Haglöf 5,15mm na poljskom jasenu	43
Graf 6. Rezultati očitavanja momenata sila svrdla Djos 5,15mm na poljskom jasenu.....	44
Graf 7. Rezultati očitavanja momenata sila svrdla Haglöf 5,15mm na hrastu kitnjaku.....	46
Graf 8. Rezultati očitavanja momenata sila svrdla Djos 5,15mm na hrastu kitnjaku	47
Graf 9. Rezultati očitavanja momenata sila svrdla Haglöf 5,15mm na običnoj bukvi	48
Graf 10. Rezultati očitavanja momenata sila svrdla Haglöf 10mm na običnoj bukvi	49
Graf 11. Prosječni moment sile potreban da se ubuši svrdlo Haglöf 5,15mm	51
Graf 12. Prosječni moment sile potreban da se ubuši svrdlo Haglöf 10mm	52
Graf 13. Prosječni moment sile potreban da se ubuši svrdlo Djos 5,15mm.....	53
Graf 14. Korelacija dubine ubušivanja svrdla Haglöf 5,15mm i momenta sile na hrastu lužnjaku	54
Graf 15. Korelacija dubine ubušivanja svrdla Haglöf 10mm i momenta sile na hrastu lužnjaku	55
Graf 16. Korelacija dubine ubušivanja svrdla Haglöf 5,15mm i momenta sile na hrastu kitnjaku	56
Graf 17. Korelacija dubine ubušivanja svrdla Djos 5,15mm i momenta sile na hrastu kitnjaku	57
Graf 18. Korelacija dubine ubušivanja svrdla Haglöf 5,15mm i momenta sile na poljskom jasenu.....	58
Graf 19. Korelacija dubine ubušivanja svrdla Djos 5,15mm i momenta sile na poljskom jasenu	59
Graf 20. Korelacija dubine ubušivanja svrdla Haglöf 5,15mm i momenta sile na običnoj bukvi	60
Graf 21. . Korelacija dubine ubušivanja svrdla Haglöf 10mm i momenta sile na običnoj bukvi	61
Graf 22. Odnos prosječne širine goda i momenta ubušivanja za hrast lužnjak	62
Graf 23. . Odnos prosječne širine goda i momenta ubušivanja za poljski jasen.....	64
Graf 24. Odnos prosječne širine goda i momenta ubušivanja za hrast kitnjak.....	66
Graf 25. Odnos prosječne širine goda i momenta ubušivanja za običnu buku.....	68

1. UVOD

1.1. God

Prema Stokes i Smiley (1968), stabla rastu povećanjem u visinu (apikalni rast) i povećanjem u širinu (radijalni rast). Rast je rezultat aktivnosti stanica meristemskog tkiva u dva dijela biljke. Apikalni meristem formira primarno tkivo koje uzrokuje produživanje stabljike i grana stabla u dužinu. kambij, koji nastaje iz lateranog meristema, formira sekundarno tkivo koje rezultira rastom u debljinu. Stanice vaskularnog kambija se dijele na taj način da stanice nastale u kambiju diferenciraju u ksilemske stanice, tvoreći drvenasto tkivo, a stanice koje nastanu izvan kambija tvore floem.

Količina proizvedenih stanica u kambiju ovisi o vremenskim prilikama, ali i o godišnjim dobima. Na početku vegetacijskog razdoblja stabla radijalno rastu brže, te su stanice drva veće. Na kraju vegetacijskog razdoblja, to jest u jesen, stabla rastu sporije i tvore manje stanice koje imaju zadebljaniju staničnu stijenu.

Traheide ranog drva formiraju se na početku vegetacijske periode i u periodu ubrzanog rasta, odnosno traheide kasnog drva se formiraju pri završetku vegetacijske periode kada se aktivnost kambija smanji (Stokes i Smiley 1968).

Rezultat ponavljanja ovakvog rasta kroz godine ostavlja koncentrične krugove u stablu koje nazivamo godovi. S obzirom na vidljivost i veličinu pora u godu, stabla dijelimo na prstenasto porozna i difuzno porozna. U difuzno poroznomo drvu sve su pore približno jednake veličine, a takvo drvo tvore stabla poput obične bukve ili gorskog javora (slika 2). Stabla koja tvore prstenasto porozno drvo na početku vegetacijskog razdoblja razvijaju provodne elemente većih lumena, a na kraju vegetacijskog razdoblja provodne elemente manjih lumena. Stoga godove prstenasto poroznog drva možemo podijeliti na rani i kasni god, za razliku od difuzno poroznih kod kojih je to nemoguće. Primjeri prstenasto poroznih vrsta su hrast lužnjak, poljski jasen (slika 1). Rast ranog ili kasnog drva u godu uvelike ovisi o stanišnim uvjetima u kojima stablo raste.



Slika 1 Poprečni presjek hrastovog prstenasto-poroznog drva



Slika 2. Poprečni presjek javorovog difuzno poroznog drva (Izvor: Hrvatska enciklopedija, svezak 5, str. 289-321, 1941.-1945. <https://hemu.lzmk.hr/natuknica.aspx?ID=12948#ViewerPDF> (pristupljeno 4.9.2024.))

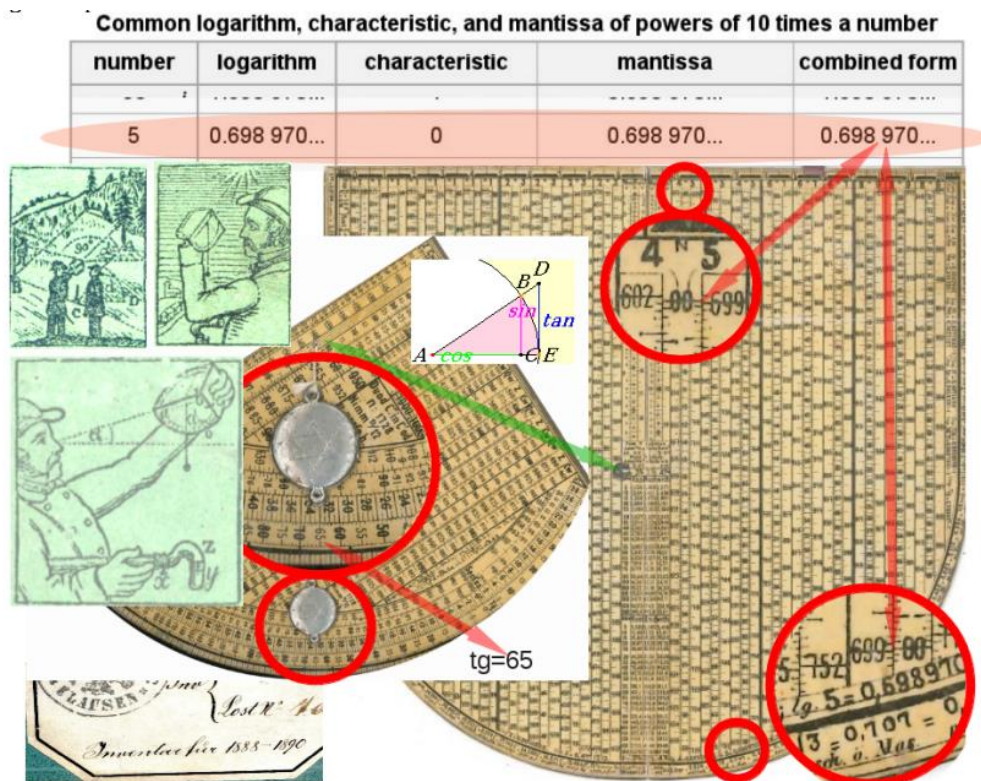
Širina godova veoma je promjenljiva, a zavisna je o brojnim čimbenicima, kao o sastavu tla, o količini vlage u tlu, o množini topline i svjetla, o jakosti vjetra, ali i o drugim utjecajima, naročito na lišće, koje stvara materijal, potreban za izgradnju godova. Radi toga svjedoče nam godovi o mnogim promjenama u životu nekog drveta, jer su čas širi, a čas uži, već prema utjecaju vanjskih čimbenika (Ujević i dr. 1945).

Primjerice, stabla koja rastu na nagibima s jedne strane proizvode više i ranog i kasnog drva kako bi stablo bilo stabilnije. Takvo drvo sa zadebljanim godom zovemo reakcijsko drvo. Bjelogorična stabla reakcijsko drvo tvore na stranama uz padinu (vlačne sile), dok četinjače reakcijsko drvo tvore na strani niz padinu (tlačne sile). Još jedan primjer utjecaja na rast godova u stablu su temperatura, padaline i ostale vremenske prilike. Primjerice, ako je tijekom proljeća i ljeta temperatura zraka bila u prosjeku, ali je palo više kiše nego inače, rani se god može povećati. S druge strane, ako se dogodi temperaturni ekstrem, i zadrži se neko vrijeme, stablo uđe u stres i smanji prirast. Slična pojava se dogodi i kada stablo dug period provede u sušnim uvjetima. Takvo nešto se može dogoditi i pri naglom gubitku lisne mase. Kao rezultat nastane zona kasnoga drva unutar normalno građenog goda, nakon koje prema van ne slijedi oštro omeđena granica goda, a takva pojava se zove lažni god. Lažni god možemo prepoznati po svjetlijoj boji kasnog drva, ali i po tome što ne upotpunjuje prsten na presjeku cijelog stabla. Pojave lažnih godova su predmet istraživanja dendrokronologa diljem svijeta.

Pojave lažnih godova mogu se objasniti fluktuacijama padalina i temperature tijekom vegetacijske periode. Lažni prsten tipa I pojavio se tijekom suše nakon obilne kiše na početku monsunskog razdoblja (Palakit i dr. 2012).

1.2. Presslerovo svrdlo i drugi poznati izumi

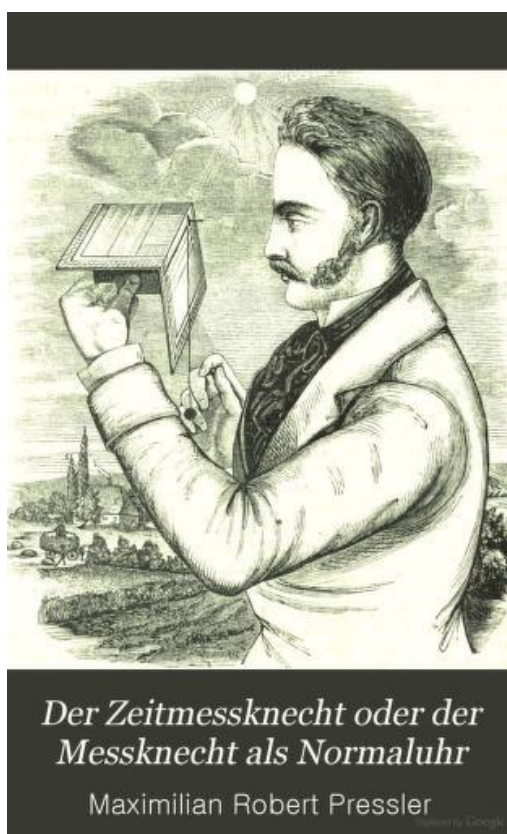
Maximilian Robert Pressler bio je njemački književnik, ekonomist, šumar i izumitelj. Rođen je u Dresdenu gdje je ujedno i završio tehnološki fakultet. Bio je profesor politehnike i matematike u gradu Zittau, a kasnije je postao profesor na šumarskoj akademiji u Tharandtu. Njegov je najpoznatiji izum Messknecht, običan komad kartona na kojem je sastavio nekoliko tablica, među kojima je i grafička logaritamska tablica. Sklapanjem kartona dobio bi se mjerni uređaj koji na sebi ima njihajuću iglu, pomoću koje se naginganjem uređaja mogao odrediti kut nagiba. Pressler je napisao nekoliko knjiga o ovom uređaju s uputama za korištenje.



Slika 3. Primjena Presslerovog Messknecht-a (Izvor: Wolfgang J. Irlner 2012: The Double Use of a Graphical Card Board Logarithm Table: The Pressler „Ingenieur-Messknecht“ (Measurement Servant) from 1852 https://www.rechnerlexikon.de/it/upload/8/8f/Messknecht_IM2012_WJI.pdf. (pristupljeno 15.11.2024.)

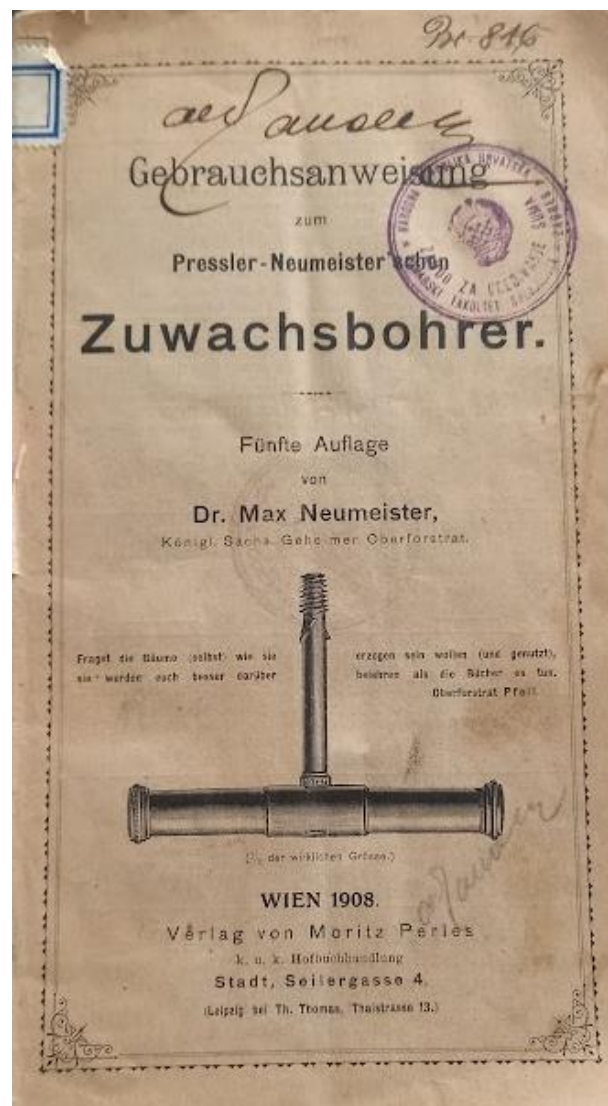


Slika 4. Prof. Maximilian Robert Pressler (Izvor: Wikipedia, Max Pressler https://en.wikipedia.org/wiki/Max_Pressler (pristupljeno 15.11.2024.)



Slika 5. Naslovnica knjige prof. Presslera koja opisuje kako Messknecht koristiti kao sunčani sat (Izvor: Internet archive, Der Zeitmessknecht oder der Messknecht als Normaluhr ein Brieftascheninstrument und Tabellenwerk zur leichten und bequemen Messung der Zeit und Stellung der Uhren nach der Sonne, sowie zur vereinfachten Ausführung mannigfaltiger bürgerlicher, technischer und wissenschaftlicher Messungs und RechnungsArbeiten für Forst und Lan https://archive.org/details/bub_gb_S5k5AAAACAAJ (pristupljeno 15.11.2024.)

Drugi je poznatiji izum prof. Presslera prirasno svrdlo. Ovo je svrdlo za razliku od ostalih svrdala iznutra bilo šuplje, te je služilo da se prilikom bušenja drveta izbušeni materijal ne uništi, već sačuva unutar svrdla. Prvo takvo svrdlo predstavio je svijetu u Parizu 1889. godine. Jedna od priča koja povezuje današnje svrdlo s Presslerovim izumom je ta da je djelatnik švedske tvrtke Mora, Anders Mattson kupio svrdlo od Presslera, te sa svojom braćom pokrenuo tvrtku za proizvodnju svrdala. Jedan od njegove braće, Jannes se odvojio od njih i osnovao svoju tvrtku Beus&Mattson, koja je počela s proizvodnjom svrdala pod imenom Djos. Djelatnik Andersa Mattsona, August Haglöf, redizajnirao je svrdlo, te su njegovi sinovi nastavili izrađivanje svrdala. Tvrtka je danas poznata pod nazivom Haglöf.



Slika 6. Naslovnica udžbenika o Presslerovom svrdlu iz 1908. godine

Iako je izum poprilično star, izvorni oblik svrdla nije se pretjerano mijenjao. Osnovni dijelovi Presslerovog svrdla su ručka za ubušivanje, svrdlo, te izvlakač. Svrdlo na svom vrhu ima oštricu koja sječe drvo prilikom bušenja i pužne navoje koji služe za ubušivanje (smjer kazaljke na satu), i izbušivanje (smjer obrnut kazaljka na satu). Proširivač na kraju navoja služi tome da se prilikom ubušivanja napravi veća rupa u stablu, kako bi svrdlo lakše prodiralo u stablo. Najpoznatije tvrtke koje su se bavile proizvodnjom Presslerovih svrdala su švedska tvrtka Haglöf i finska tvrtka Suunto. Suunto više ne proizvodi svrdla, a 2010. godine tvrtka Haglöf otkupila je tvrtku Djos i sada proizvodi svrdla Haglöf, Mattson i Djos. Proizvode se svrdla posebno za meko, a posebno za tvrdo drvo. Za meko drvo proizvode se svrdla s tri pužna navoja, a za tvrdo drvo svrdla s dva pužna navoja. Razlog tome je taj što se svrdlo s tri pužna navoja puno teže ubuši u drvo, pa se iz tog razloga primjenjuje samo pri ubušivanju u meke vrste drveća. Prednost svrdla s tri navoja je ta što brže ulazi u drvo i izvrtak se izvadi brže.

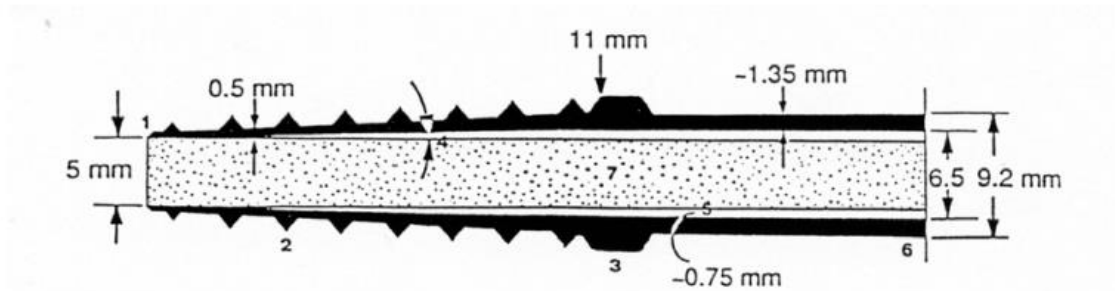


Slika 7. Crtež svrdala s dva i tri navoja (Izvor: Instruction for use increment borer Suunto 300mm/400mm https://www.promat.hk/cfolder/promat/Library/Tree/Catalog_and_Manual/Tree_Inspection/IML/Increment_Borer.pdf (pristupljeno 27.11.2024.)

Tvrtka Haglöf proizvodi Haglöf svrdla unutrašnjeg promjera od 4,3mm, 5,15mm, 10mm i 12mm. Dužine se svrdala kreću od 100mm do 1000mm. Svrkla Djos dostupna su u dužini od 150mm do 400mm, ali samo u jednom promjeru od 5,15mm. Svrklima Mattson dužina se kreće od 100mm do 500mm, a promjeri od 3,5mm, 4,3mm i 5,15mm.

Tvrtka Suunto proizvodila je svrdla dužine od 300 i 400mm, unutrašnjeg promjera od 5mm.

Structure of the Increment Borer



- | | | |
|----------------|------------------|------------------------------------|
| 1 Cutting edge | 3 Spreader cams | 5 Clearance between core and drill |
| 2 Helix | 4 Aperture angle | 6 Shaft |
| | | 7 Core |

Slika 8. Crtež poprečnog presjeka i struktura vrha svrdla tvrtke Suunto promjera 5mm (Izvor: Instruction for use increment borer Suunto 300mm/400mm

https://www.promat.hk/cfolder/promat/Library/Tree/Catalog_and_Manual/Tree_Inspection/IML/Increment_Borer.pdf (pristupljeno 27.11.2024.)

Još jednu razliku među svrdlima, osim dužine, promjera i broja navoja čini dužina samih navoja. Tvrtna Haglöf je na svojim prvim svrdlima razvila takozvane Mora navoje, nastali još u istoimenoj tvrtki, koji se prepoznaju po tome što navoji završavaju na proširivaču. Za razliku od Mora navoja, Suunto navoji koje je razvila istoimena tvrtka krajeve navoja imaju preko, te nekoliko milimetara iza proširivača. Takva vrsta pužnog navoja olakšava operateru izbušivanje svrdla iz stabla, jer za razliku od Mora navoja, nije potrebno fizički rukama „čupati“ svrdlo prilikom izbušivanja.

Suunto navoje koriste obje tvrtke, s time da tvrtka Haglöf navoje suunto proizvodi samo na svrdlima Djos. Mora navoje Haglöf proizvodi na svrdlima Mattson i Haglöf.



Slika 9. Razlika u navojima Suunto svrdla Djos (gore) i Mora svrdla Haglöf (dolje)

Svrđlo je na drugom kraju kvadratnog oblika, kako bi se ručka za bušenje mogla zakačiti na svrdlo. Na ručki imamo i osigurač, koji zakačimo na svrdlo prilikom bušenja, kako nam ručka ne bi ispala sa svrdla u procesu bušenja. Ručka je iznutra šuplja, s ciljem skladištenja svrdla i izvlakača, a i zaštite oštrice noža svrdla.



Slika 10. Glava svrdla Haglöf 5,15mm



Slika 11. Ručka svrdla Haglöf 5,15mm s otkvačenim osiguračem i umetnutim izvlakačem

Treći dio Presslerovog svrdla je izvlačač, predmet žljebastog oblika koji na svom vrhu ima zupce koji služe za hvatanje izvrtka unutar svrdla.



Slika 12. Zupci na vrhu izvlačača svrdla Djos 5,15mm

Izvrtci se koriste u raznim znanstvenim istraživanjima. Struktura goda može pojasniti uvjete u kojima stablo raste te moguće stresne čimbenike kao što su poplave, požari, suše ili nagle promjene temperature. Zbog toga se izvrtci, osim za otkrivanje starosti stabla i određivanja debljinskog prirasta, koriste i u dendrokronološkim i dendroklimatološkim analizama. Ponekad nam za analize godova budu potrebni manji ili veći izvrtci, ovisno o tome kakve analize provodimo. Izvrtci koji se koriste pri analizi 10-godišnjeg prirasta u uređivanju šuma ne trebaju biti dugački, jer se deset i nešto više godova može pronaći na par centimetara, stoga nam nisu potrebna velika svrdla. Međutim, ako se bavimo dendrokronologijom i potrebno nam je što više godova moguće za analize i datiranje stabala, potrebna su nam dugačka svrdla, kako bismo i kod debljih stabala mogli zahvatiti centar stabla.



Slika 13. Sklopljeno svrdlo Haglöf 5,15mm



Slika 14. Rastavljeno svrdlo Haglöf 5,15mm

1.3. Moment sile

Zakretni moment ili moment sile vektorska je fizikalna veličina koja kod rotacije tijela ima sličnu ulogu kakvu sila ima kod jednolikog ubrzanog gibanja po pravcu (translacije tijela). To znači da moment sile daje tijelu kutno ubrzanje. Po definiciji, moment sile se računa u odnosu na neku točku, pomoću vektorskog produkta:

$$\vec{M} = \vec{F} \cdot \vec{r}$$

Prema Kruz, V. (1969), M označava moment sile, F silu, a r označava krak sile. Krak sile predstavlja udaljenost točke u odnosu na koju se računa moment sile od pravca sile. Iznos momenta sile jednak je umnošku iznosa sile i toga kraka (“sila puta krak”).

Mjerna jedinica za moment sile je njutnmetar (Nm), a ima istu vrijednost kao i džul. U ovom istraživanju posvetit ćemo se takozvanom statičkom momentu. On se više odnosi na predmete poput vijaka ili svrdala koje je potrebno negdje ušarafiti ili ubušiti. Statički moment prouzrokuje vrtnju predmeta.

Prema Kruz V. (1969) da se odvrti matica ili vijak, upotrebljava se ključ. Što je ručica ključa dulja, manja je sila koju je potrebno upotrijebiti kako bi se postigao isti moment. Ako sila ne prolazi kroz središte matice ili vijka (ako postoji krak sile), ona će prouzročiti vrtnju. Djelovanje ključa ovisno je o dužini ručice ključa i o veličini sile koja djeluje na kraju ručice ključa. Središte vrtnje naziva se pol ili momentni pol, a okomiti razmak pola od pravca sile (najkraća udaljenost) zove se krak sile. Umnožak veličine sile F i njezina kraka r zove se statički moment M sile F s obzirom na pol:

$$M = F * r$$

Mjerna jedinica je također njutnmetar (Nm), jer se sila mjeri njutnima, a krak sile metrima.

1.4. Povezanost godova i momenta sile

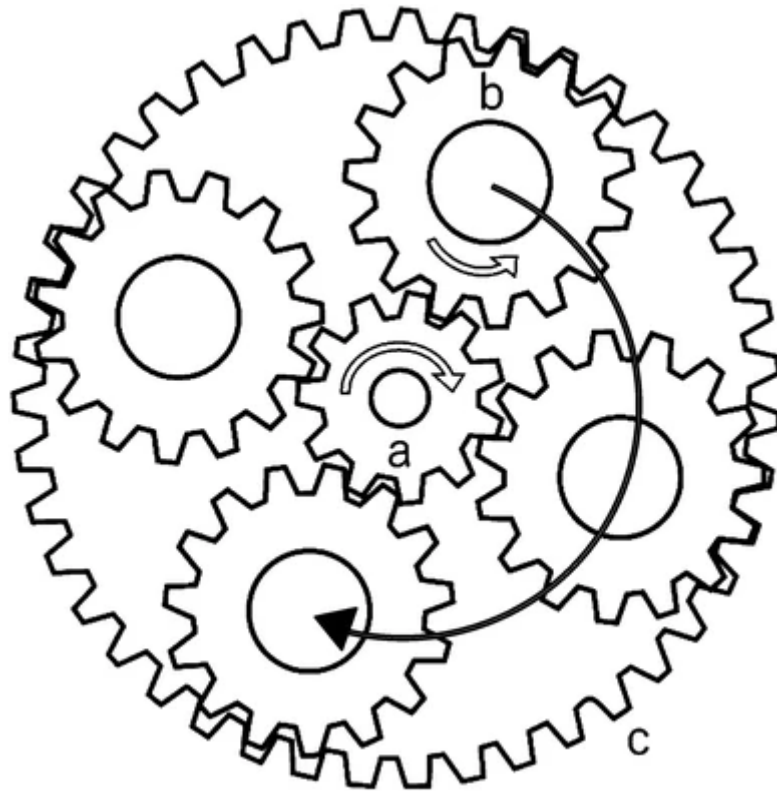
Godovi su korisni izvori informacija koji se koriste u raznim granama prirodnih znanosti. Do godova se može doći invazivnim ili neinvazivnim metodama. Primjer invazivne metode bi bio rušenje stabala i radijalnim prerezivanjem drveta. Najpopularniji način uzimanja uzorka godova iz stabala je korištenjem Presslerovog svrdla. Njegovim ubušivanjem u stablo odreže se uzorak radijalnog presjeka i izvlačenjem tog uzorka dobiva se poprečni presjek stabla. Tim načinom stablo ne ubijamo, a dobivamo jasnu sliku unutrašnjosti stabla. Utvrdili smo da stabla u godovima stvaraju rano i kasno drvo, a oni nisu jednake gustoće i tvrdoće. Također, tvrdoća drvene mase u stablu ovisi i o vrsti stabla. Do sada nije istraživano koliki moment sile je potreban da se svrdlo ubuši u drvo, pa se ni ne zna jesu li gustoća godova i momenti sile uopće povezani.

1.5. Ciljevi istraživanja

Glavni cilj ovoga istraživanja jest otkriti koliko opterećenje trpi svrdlo prilikom ubušivanja u različite vrste tvrdih listača, te preko izvrtaka otkriti koliko su kasno drvo goda i moment sile ubušivanja povezani. Cilj je također dobivene rezultate koristiti pri izradi konstrukcije prototipa električne bušilice za uzimanje izvrtaka. Pretpostavka je da je veći udio kasnog drva u godu pruža veći otpor svrdlu, pa je time i moment sile veći. Također, ako neka vrsta drveća ima veću gustoću, pretpostavlja se da gušće drvo stvara veće trenje na svrdlo, pa su i momenti sile veći. Zbog toga će se u ovome radu istražiti odnosi između različitih svrdala s godovima na istom stablu, razlike između stabala iste vrste mjerene istim svrdlom, te razlike između momenata sile istih svrdala na različitim vrstama drveća.

1.6. Pregled literature

Radovi na temu koja se obrađuje u ovom radu ne postoje. Do sada nije poznato koliki moment sile mora biti upotrijebljen da se svrdlo na određenoj dubini u stablu počne okretati, a niti utječe li debljina godova na porast ili pad potrebnog momenta sile. Ali, s druge strane, dosta se istraživalo na ubušivanju Presslerovog svrdla mehaničkim putem. U japanskom je znanstvenom časopisu „Journal of Wood science“ objavljen rad japanskih znanstvenika Kagawa & Fujiwara (2018): „Smart increment borer: a portable device for automated sampling of tree-ring cores“, u prijevodu „Pametno svrdlo, prijenosni uređaj za automatizirano uzorkovanje izvrtaka“. U navedenom su se radu istraživali načini ubušivanja Presslerovog svrdla pomoću električne bušilice. Prikazana je problematika i prijašnjih istraživanja u kojima se testiralo ubušivanje bušilicama na benzinski pogon, bušilicama s izmjeničnom strujom (na kabel), akumulatorskim bušilicama, i na kraju pneumatskim pištoljem. Budući da sve ove bušilice imaju veliku brzinu rotacije, sastavili su planetarni reduktor, s ciljem usporavanja brzine okretaja na Presslerovo svrdlo.

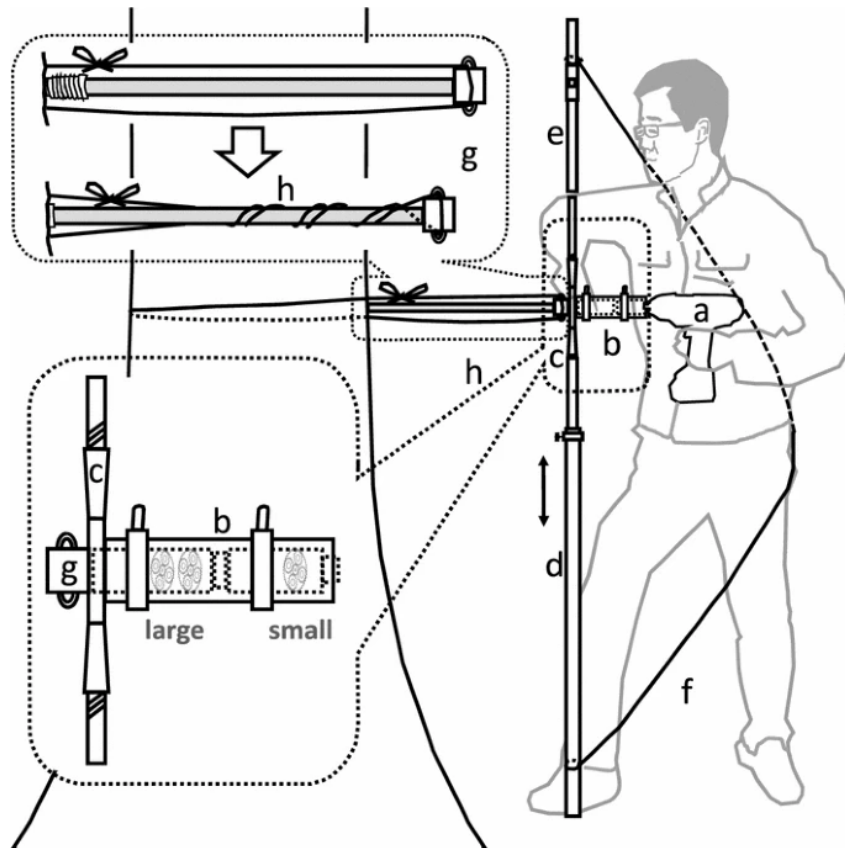


Slika 15 Planetarni reduktor brzine rotacije, a) sunčani zupčanik, b) planetarni zupčanik, c) prstenasti zupčanik (Izvor: Kagawa, A., Fujiwara, T. Smart increment borer: a portable device for automated sampling of tree-ring cores. *J Wood Sci* 64, 52–58 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10086-017-1668-6> (pristupljeno 28.11.2014.)

Najveći problem predstavljala im je težina bušilice, ali i očekivani velik moment sile, budući da su radili s Haglöf svrdlima promjera 12mm i dubine ubušivanja 80cm.

Prema procjeni japanskih znanstvenika, moment sile potreban za uzimanje izvrtaka debljine 12 mm i dužine 80 cm od japanskog hrasta (*Quercus crispula*) ili tikovine (*Tectona grandis*) prelazi 500 Nm.

U ovom se radu istraživači nisu fokusirali na iznos momenta sile, već na sprječavanje utjecaja momenta sile na izvođača, te na izradu alata za bušenje koji je lagan i siguran za korištenje koji su nazvali Smartborer (pametno svrdlo). U Smartborer ugradili su reakcijsku šipku koja služi da podupire mjenjač, te da pri visokim okretnim momentima, čovjek nogom pridržava šipku i time sprječujući okretanje mjenjača, a i ne mora svu snagu koristiti iz ruku.



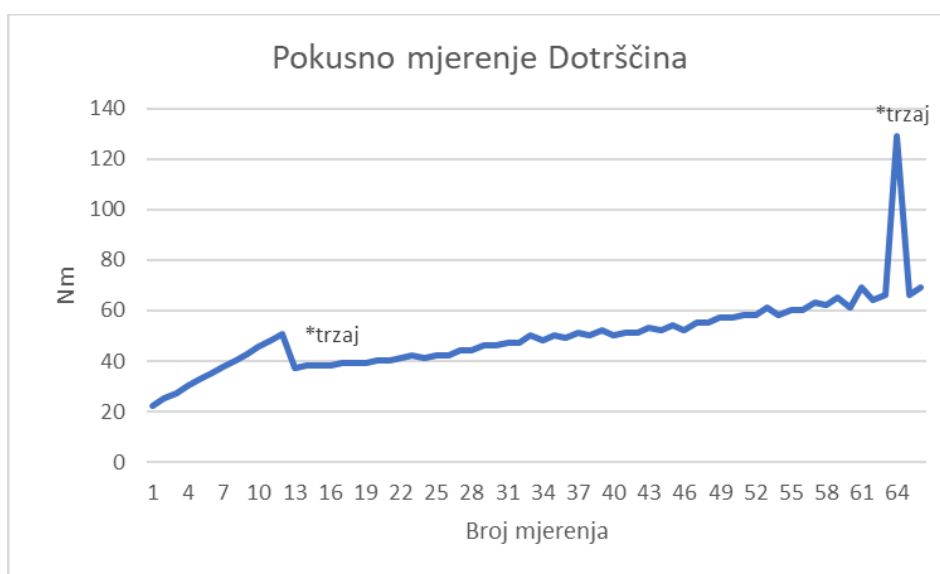
Slika 16 Primjena Smartborera, a)akumulatorska bušilica, b)mjenjač, c)reakcijska šipka, d)šipka na izvlačenje, e)držka svrdla, f)uže za sprječavanje reakcijske sile uzrokovane moment silom, g)rča, h)svrdlo
 (Izvor: Kagawa, A., Fujiwara, T. Smart increment borer: a portable device for automated sampling of tree-ring cores. J Wood Sci 64, 52–58 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10086-017-1668-6> (pristupljeno 28.11.2014.)

Ovi su japanski znanstvenici utvrdili da je između više vrsta pogona bušilica, najbolja ona na električni pogon.

Prema Kagawa & Fujiwara (2018), među različitim vrstama bušilica koje su korištene (akumulatorska, benzinska, na kabel i pneumatska), utvrđeno je da je najkorisnija akumulatorska električna bušilica Makita TW450D za teške uvjete rada. Unatoč tome što je prijenosna, može proizvesti velik moment sile.

2. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA

Budući da do sada nitko nije mjerio momente sile, odlučeno je da se odradi probno mjerenje u nastavno pokusno šumskom objektu (NPŠO) Dotrščina u Zagrebu 22.ožujka 2023. godine. Tada je izmjereno samo jedno stablo, a moment sile je mjereno na svakih pola okretaja svrdla. Stablo prilikom prodiranja svrdla sve više steže svrdlo, te tada dolazi do zapinjanja svrdla. Stoga se prilikom svakog novog pokretanja pod velikim naprežanjem svrdlo naglo zavrti i moment ključ trzne, pa izmjeri veliku vrijednost momenta sile. Iz tog su razloga kao važeći uzimani samo rezultati bez trzaja, a konačni rezultat je bio linearan rast momenta sile (graf 1).



Graf 1. Rezultati pokusnog mjerenja momenta sile bez korigiranja rezultata trzaja

Nakon pokusnog mjerenja odrađeno je sljedeće uzorkovanje stabala, a za analize su u početku odabrane dvije vrste tvrdih listača nizinskih šuma. To su Hrast lužnjak (*Quercus robur* L.) i Poljski jasen (*Fraxinus angustifolia* Vahl.). Ta su mjerenja odrađena u NPŠO Lipovljani fakulteta šumarstva i drvne tehnologije 6.srpnja 2023.godine. Budući da je ovdje, za razliku od Dotrščine, prsni promjer stabala bio veći, dublje su ubušivana svrdla. Nakon nekoliko centimetara ubušivanja stablo bi počelo stezati svrdlo, a svrdlo je pod velikim naprežanjem opet naglo popuštalo. Kako bi se eliminirali nagli skokovi u mjerenju, opetovano je moment ključem naprežano svrdlo, te prilikom naprežanja očitavan moment sile. Naprežanjem svrdla i gledanjem u sat moment ključa istovremeno, očitavani su točni iznosi momenta sile u trenutku naglog popuštanja svrdla. Zbog vrlo preciznog mjerenja, svakih pola okretaja svrdla, očitavan je veliki broj podataka, ali za takav način mjerenja trebalo jako puno vremena. Prilikom sljedećeg mjerenja, uočeno je da rezultati rastu približno linearno, pa je racionalizirano mjerenje metodom mjerenja momenta sile svakih 5 punih okretaja svrdla. Kako bi se dobio što veći broj raznolikih očitavanja moment sile, odlučeno je da se istraživanje proširi na Hrast kitnjak (*Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl.) i Običnu bukvu (*Fagus sylvatica* L.).

2.1. Alati za mjerenje

Za terenske analize i prikupljanje izvrtaka koristili smo svrdla tvrtke Haglöf, najvećeg svjetskog proizvođača Presslerovih svrdala. Koristili smo tri različita svrdla, Haglöf 5,15mm, Haglöf 10mm i Djos 5,15mm. Uz svrdla koristili smo moment ključ, posebno izrađene nastavke za povezivanje moment ključa sa svrdlima, „starter“ za svrdlo, mjernu π (pi) vrpцу za mjerenje prsnog promjera, te ravnalo za izmjeru dužine svježeg izvrtka i dubine ubušivanja.

U laboratorijskim analizama izvrtaka koristili smo mikrotom za pripremu izvrtaka za analizu te Rinntech opremu, točnije Lintab mjernu postaju za izmjeru godova i program TsapWin za analizu izmjerenih godova.

2.1.1. Svrdla

2.1.1.1. Haglöf 5,15mm

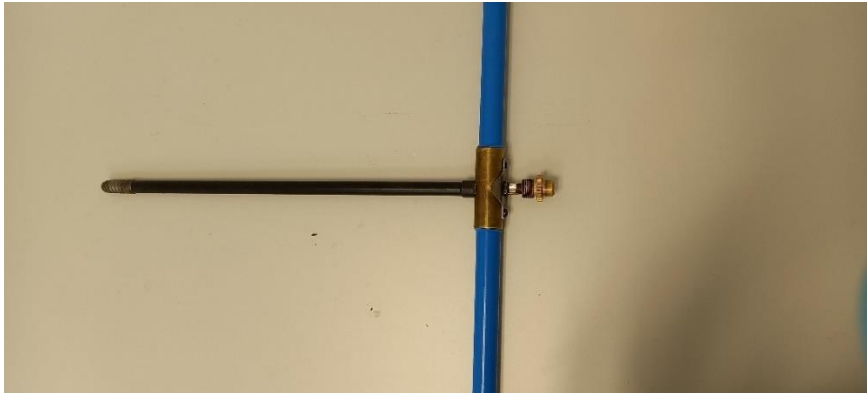
Haglöf svrdla prepoznatljiva su po plavo obojanim ručkama. Proizvode ih po već spomenutim standardnim veličinama, ali i po narudžbi u svim različitim veličinama. Kao prvo svrdlo za analizu uzeli smo Haglöf svrdlo promjera izvrtka 5,15mm, a dužine 50 cm, s 2 pužna navoja. Ostala Haglöf svrdla 5,15mm su iste konstrukcije. Razlikuju je jedino u dužini i broju pužnih navoja.



Slika 17. Svrdlo Haglöf 5,15mm sklopljeno za ubušivanje u stablo

2.1.1.2. Haglöf 10mm

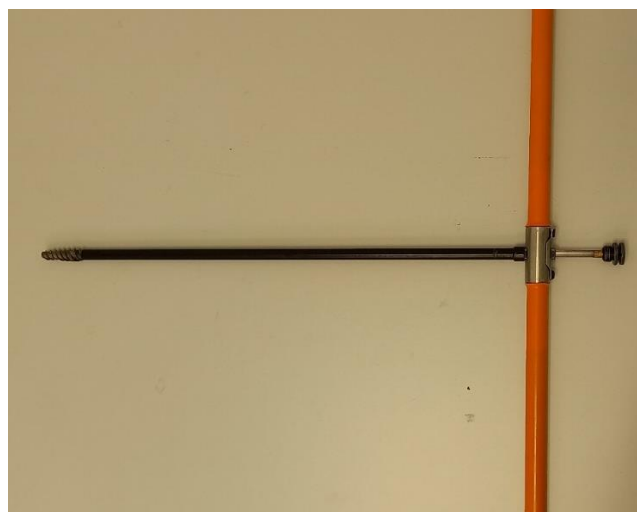
Za usporedbu prilikom analiziranja momenta sile, uzeli smo svrdlo istog proizvođača, također ima 2 pužna navoja, samo što promjer izvrtka iznosi 10 mm, a dužina svrdla iznosi 400 mm



Slika 18. Svrldo Haglöf 10mm rasklopljeno za ubušivanje u stablo

2.1.1.3. Djos 5,15mm

Za treće smo svrdlo za usporedbu pri analiziranju odabrali ono s tri pužna navoja, s ciljem da vidimo kako će se svrdlo za meko drvo ponašati u tvrdom drvu. Karakteristika Djos svrdala je narančasta ručka, te tri pužna navoja koja ubrzavaju proces ubušivanja, ali i izbušivanja. Kao što je u uvodu o svrdlima napisano, Djos svrdla, za razliku od Haglöf svrdala, imaju preko proširivača nekoliko milimetara produžene pužne navoje, kako bi lakše zahvatili drvo prilikom izbušivanja.



Slika 19. Svrldo Djos 5,15mm sklopljeno za ubušivanje u stablo

2.1.2. Moment ključ

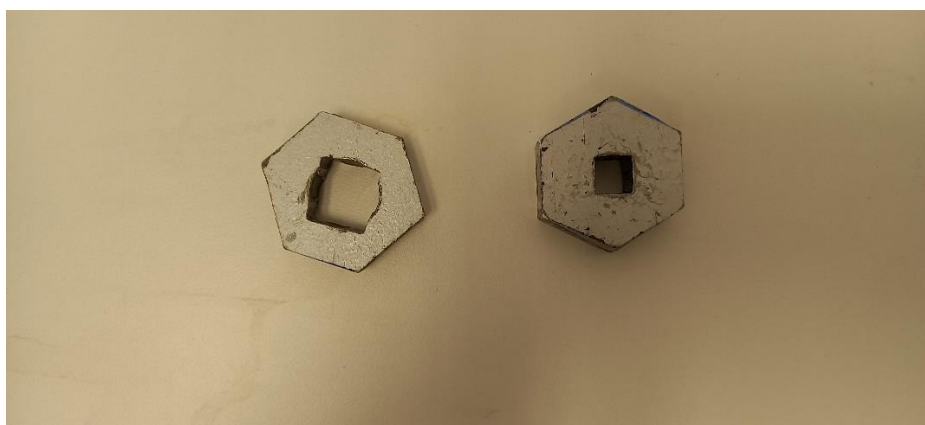
Moment ključevi su specijalizirani alati koji se koriste za primjenu, mjerenje ili kontrolu nekog određenog zakretnog momenta kod zatezanja, a koristi ih se u industrijskim procesima, radionicama za servis, domaćim garažama pa čak i u kućama gdje postoji potreba za preciznim zatezanjem navojnog vijka ili matice. Ima ih u različitim veličinama i silama zatezanja. Osnovni dijelovi su mu glava račne, drška i mjerni sat za njutnmetre. Moment ključevi su inače dizajnirani za dotezanje vijaka do određene vrijednosti, ali mi smo njime mjerili maksimalne vrijednosti zakretnog momenta Presslerovog svrdla. Budući da moment ključevi nisu izrađeni za takav rad, često smo se doveli u situaciju gdje nam je svrdlo popustilo, proizvelo zvuk pucanja, a vrijednosti na moment ključu skočile van prosjeka (slika 1). Zbog toga smo na određenim mjestima ponavljali mjerenje. Koristili smo moment ključ japanskog proizvođača Tohnichi, sa maksimalnim mjerljivim momentom sile od 200 Nm.



Slika 20. Moment ključ marke Tohnichi

2.1.3. Posebno prilagođeni nastavci

Budući da spomenuti moment ključ i Presslerovo svrdlo nisu nikada korišteni u kombinaciji, nema posebnih nastavaka koji bi povezali zapornu spojku (račna) moment ključa sa Presslerovim svrdlom. Dodatno otežava spajanje ova dva alata to što je glava moment ključa šesterokutna, a vrh Presslerovog svrdla četvrtast. Stoga smo morali koristiti nastavke kućne izrade, jedno za Haglöf i Djos 5,15mm, a drugi za Haglöf 10mm, a izradio ih je izv. prof. dr.sc. Ernest Goršić.



Slika 21. Nastavci prilagođeni za spajanje moment ključa s Presslerovim svrdlom

2.1.4. „Starter“ za svrdlo

Presslerova svrdla mogu biti teška za ubušivanje, pogotovo na početku bušenja. Kako bismo iz stabla izvukli što bolji izvrtak, moramo pokušati pogoditi centar stabla, što može biti izazovno jer istovremeno treba pritiskati svrdlo u stablo i okretati ručku. Stoga su u tvrtci Haglöf proizveli „starter“ koji se slično kao puška naslanja na rame, a drugi kraj se ugura u rupu Presslerovog svrdla. Profesor Goršić je na ovaj pomoćni alat nadodao i račnu s nasadnim ključem, kojom na isti način kao i kod zatezanja šarafa, ubušujemo u stablo, a da nam ručka svrdla ne smeta u procesu. Time smo dobili preciznije ubušivanje i manju mogućnost loma izvrtka.



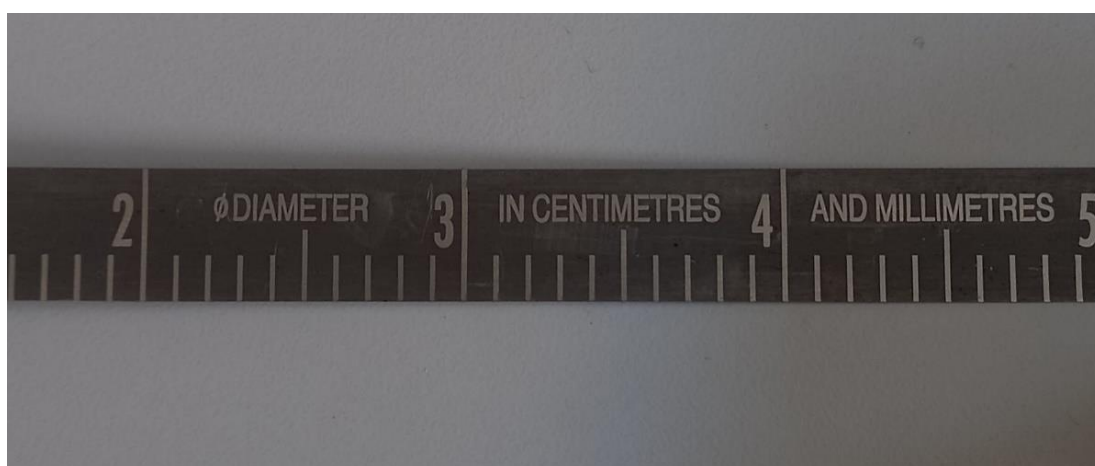
Slika 22. Primjena pushera i pomoćne rče pri početnom ubušivanju svrdla u stablo

2.1.5. Mjerna vrpca i ravnalo

Koristili smo takozvanu pi (π) mjernu vrpca koja na jednoj strani ima centimetarsku skalu kojom mjerimo opseg, a druga strana ima skalu kojom direktno očitamo promjer stabla. Idealna je zamjena za promjerku jer se ne mora kalibrirati, stane u ruksak pa je praktičnija za nošenje na terenu, a i daje nam točniji prosječni promjer stabla jer anulira ekscentričnost stabla. Prsni promjer služio nam je kao vrijednost preko koje smo procjenjivali mogući centar stabla prilikom ubušivanja. Ravnalom smo mjerili dužinu izvrtaka s korom i bez kore, te dubinu ubušivanja svrdla u stablo.



Slika 23. Mjerna π (pi) vrpca marke Bandmass



Slika 24. π (pi) strana vrpce koja služi za mjerenje prsnog promjera

2.2. Terensko prikupljanje podataka

Lokaliteti na kojima smo vršili terenska mjerenja su nastavno pokusno šumski objekti Fakulteta šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu. Gospodarska jedinica Opeke, koja pripada NPŠO Lipovljani, nalazi se u dolini rijeka Save i njezinih lijevih pritoka Velikoga Struga i Trebeža. U ovoj gospodarskoj jedinici prevladavaju šume hrasta lužnjaka i poljskog jasena. Mjerenja su u G.j. Opeke konkretno vršena 6. srpnja 2023. i 25. lipnja 2024. godine. Mjerenja hrasta kitnjaka i obične bukve, koji pak prevladavaju u park-šumi Dotrščina NPŠO-a Zagreb, obavljena su 3. rujna 2024., a pokusno mjerenje 22. ožujka 2023.

Prikupljanje podataka na terenu na svakom pojedinom stablu koje je izmjereno moguće je podijeliti na 3 dijela. To su mjerenja na stablu, mjerenja momenata sila, te u konačnici izmjere izvučenog izvrtka. Mjereno je sveukupno 20 stabala, 5 hrastova lužnjaka, 5 hrastova kitnjaka, 5 poljskih jasena i 5 običnih bukvi. Na svakom su pojedinom stablu očitavanja momenata rađena na dva različita svrdla, što u konačnici znači da je očitavanje momenata rađeno 40 puta. Pri prvom smo mjerenju rad usporedbe kao glavno svrdlo koristili Haglöf 5,15mm, a kao usporedna svrdla Haglöf 10mm i Djos 5,15mm. Takav smo način mjerenja primijenili i na drugom mjerenju, pa iz tog razloga hrast lužnjak i obična bukva imaju usporedbu svrdala Haglöf 5,15mm i Haglöf 10mm, dok poljski jasen i hrast kitnjak imaju usporedbu svrdala Haglöf 5,15mm i Djos 5,15mm. Prije samog mjerenja, pri odabiru stabla obratili smo pažnju na zdravstveno stanje stabla, udaljenost drugih stabala, nagib i oblik debla. Osim toga, birali smo stabla sa što većim mogućim prsnim promjerom, kako bismo očitali veći broj podataka. Svakom je stablu na početku mjerenja pi mjernom vrpcom izmjeren prsni promjer, s ciljem procjene dubine na kojoj se nalazi centar stabla. Nakon izmjere prsnog promjera, odabirano je mjesto ubušivanja svrdla. Budući da su uspoređivana dva svrdla, odabirane su dvije pozicije ubušivanja, i to na različitim visinama, i ne jedna pozicija ispod druge. Razlog tome jest mogućnost pucanja stabla po sekundarnim zrakama srčike prilikom drugog ubušivanja, čime stablo ne bi davalo stvaran otpor svrdlu.



Slika 25. Mjesta ubušivanja dva uspoređivana svrdla u bukovom stablu

Nakon odabiranja mjesta ubušivanja svrdla, Svrldo bi se pomoću „startera“ ubušilo nekoliko centimetara, točnije sve dok se zadebljani kraj navoja ne bi izravnao s korom stabla. Razlog tome je da se svrdlo prilikom mjerenja ne pomakne van odabranog pravca bušenja prema centru stabla.



Slika 26. Početna točka očitavanja momenta sile svrdla Haglöf 10mm na dubini od 3,7cm

Nakon početnog ubušivanja svrdla, započeta su očitavanja momenata sile. Prva su očitavanja moment ključem rađena nakon svakih pola okretaja svrdla, ali kako je hod svrdla cca 5 milimetara, a korištena su dendrokronološka svrdla, mjerenje je po izvrtku trajalo dugo, ali davalo poprilično linearan rast očitanih momenata sile. Zbog toga je provedena racionalizacija vremena mjerenja, te smo očitavanja na ostalim stablima radili nakon svakih punih 5 okretaja svrdla. Dakle, nakon početnog ubušivanja svrdla, „starter“ svrdla je zamijenjen moment ključem kojim se očitao okretni moment svrdla. Potom je moment ključ zamijenjen originalnom ručkom svrdla, te je ručkom okrenuto 5 punih krugova svrdla. Nakon okretanja ručka je zamijenjena moment ključem kojim se opet očitavalo moment sile. Taj postupak opetovano je ponavljan sve dok nije zahvaćen centar stabla.



Slika 27. Očitavanje momenta sile svrdla Haglöf 10mm u bukovom stablu opetovanim naprezanjem ručke moment ključa



Slika 28. Sat moment ključa koji tijekom očitavanja pokazuje najveći očitani moment sile od 65Nm

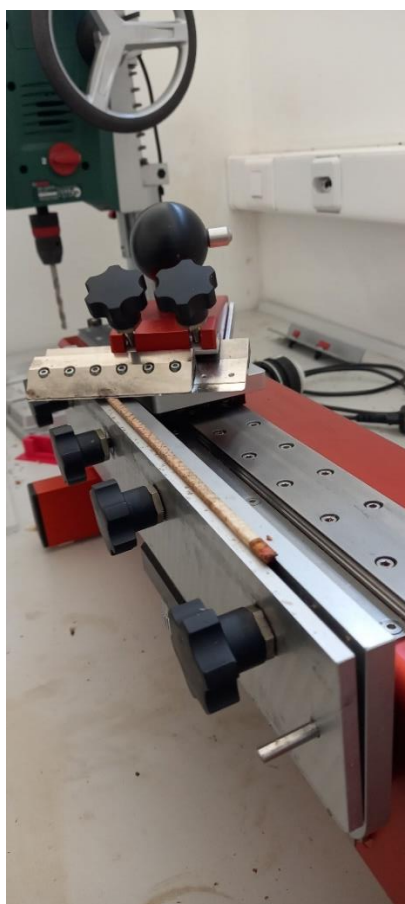
Nakon očitavanja momenata sile i ustanovljenog ubušivanja u centar stabla (ubušene polovice promjera stabla), izvučen je izvrtak iz svrdla. Nakon izvlačenja, izvrtku je ravnalom izmjerena duljina s korom i bez kore, te je izvlakačem i ravnalom izmjerena dubina rupe izbušene u stablu. Dubina je rupe mjerena iz razloga da se provjeri kompromitiraju li se i u kojoj mjeri izvrtci prilikom bušenja. Nakon obavljene izmjere izvrtka, izvrtci su spremljeni u aluminijske cjevčice, te su ostavljena u laboratoriju u hladnjaku kako bi se sačuvalo njihovo svježe stanje. Na većini stabala opisani postupak vršen je dva puta, jer je rađena usporedba dva svrdla. Svi podatci mjereni na terenu upisivani su u terenski obrazac (slika29) a svaki papir predstavljao je jedno izmjereno stablo.

2.3. Laboratorijska analiza podataka

2.3.1. Priprema na mikrotomu

Budući da je svrha izvrtaka u ovom istraživanju bila povezati očitani moment sile s širinom goda, za analizu su bili potrebni izvrtci u svježem stanju. Iz toga su razloga izvrtci prikupljeni na terenu bili čuvani u hladnjaku na 4°C. Sve je izvrtke potom bilo potrebno pripremiti za analiziranje, a to podrazumijeva izgladivanje površine izvrtka s ciljem da godovi budu vidljiviji. Gladjenje površine izvrtka vrši se rezanjem, a kako bi rezanje bilo što točnije, koristili smo specijalizirani alat po imenu mikrotom. Mikrotom je alat sličan blanji za drvo, samo što uz glavu s nožem za rezanje ima i vijak kojim podešavamo visinu rezanja, te dvije metalne ploče s vijcima između kojih se stegne izvrtak. Izvrtci se zbog gubitka vlage počnu izvijati, stoga nisu potpuno ravni prilikom rezanja. Zbog toga im se na mikrotomu prilagođavanjem visine noža režu slojevi debljine nekoliko mikrometara, sve dok se cijeli izvrtak ne izravna i dok ne bude vidljiv svaki god.

Poslije rezanja svaki se izvrtak morao vratiti natrag u cjevčicu u kojoj je bio skladišten, a izlomljene dijelove izvrtka bilo je potrebno poslagati točno kako bi analiza koja slijedi bila točna.



Slika 30. Mikrotom na kojem se za analizu priprema izvrtak obične bukve

2.3.2. Izmjera godova i analiza izvrtaka

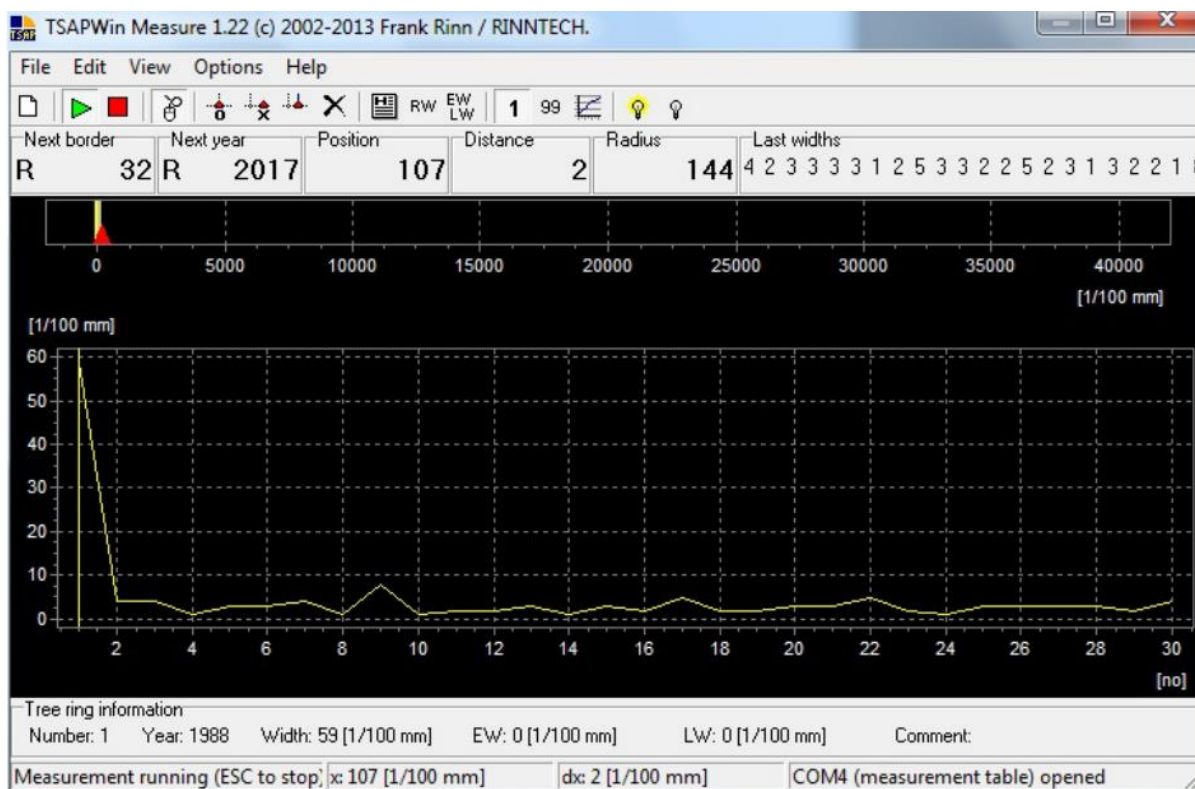
Rinntech je tvrtka koja se bavi proizvodnjom raznih alata i programa koji služe za izmjeru unutrašnjosti stabala. Tvrtku je osnovao Frank Rinn, izumitelj rezistografa, uređaja koji je zapravo bušilica s vrlo malim svrdlom, te bušenjem kroz drvo preko otpora utvrdi kvalitetu drvnog materijala, ali i zdravstveno stanje živog stabla. Tvrtka Rinntech proizvodi mjerni alat LinTab koji služi mjerenju godova na kolutovima i izvrtcima, a dolazi u paketu s programom TsapWin, u kojemu se analizira izmjereno. LinTab je zapravo stol s pokretnom daskom koja se pokreće malim ručnim valjkom, te stereo lupom iznad pomične daske. Stol je kablom povezan za računalo, koje očitava pomak daske na LinTabu, te bilježi koordinate pomaka u programu TsapWin. U programu se prvo upiše o kojem se stablu radi, šifra cjevčice u koju je izvrtak skladišten, vrsta drveta te mjerimo li god po god, ili dijelimo godove na rano i kasno drvo, te koja godina pripada najmlađem godu na izvrtku. Prethodno obrađeni izvrtak se postavi na pokretnu dasku stola tako da mjerimo od centra stabla prema kori.



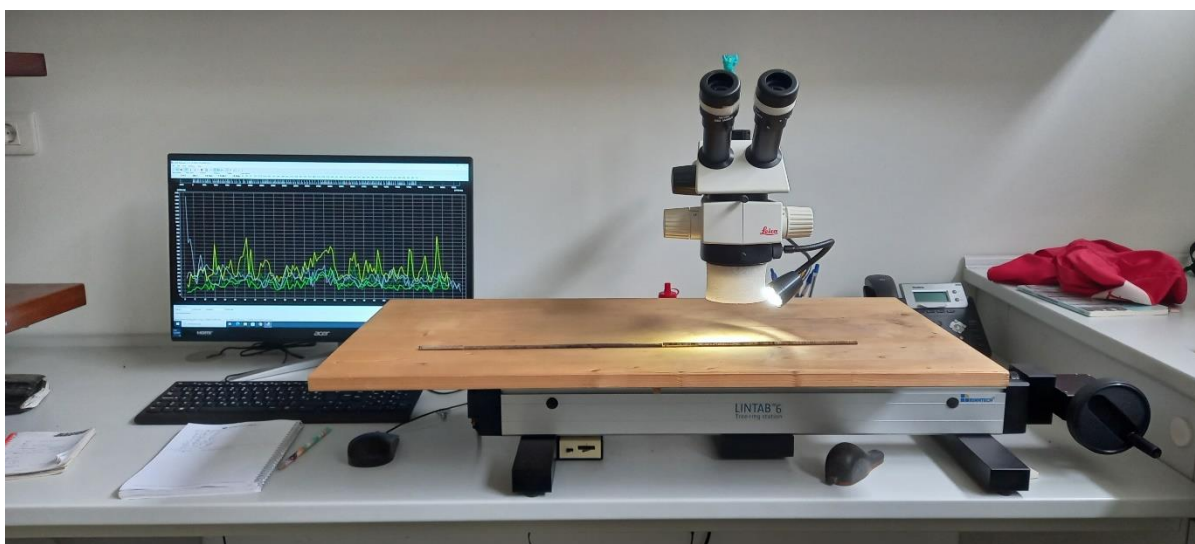
Slika 31. LinTab mjerni stol. (Izvor: Rinntech Internet stranica <https://rinntech.info/products/lintab/> (pristupljeno 17.11.2024.)

Mjerenje započinjemo pronalaženjem prvog mjerljivog goda od centra stabla pomoću stereo lupe, te klikom miša na područje budućeg grafa u program spremimo koordinatu. Okretanjem valjka na statičnom dijelu stola pomičemo dasku s izvrtkom, te na stereo lupi pratimo pomak izvrtka, dok računalo u isto vrijeme prati pomak. Sljedeći klik miša obilježava novu koordinatu i izmjeri udaljenost između dvije točke, to jest dva goda, i očitava kao prvu godinu starosti. Prstenasto poroznim vrstama obilježavamo svaki prijelaz iz ranog u kasno, te iz kasnog u rano drvo. Rezultat takvog mjerenja je graf koji pokazuje dvije linije, jednu za rano, a drugu za kasno drvo. Kod difuzno poroznih vrsta, u ovom slučaju obične bukve, obilježavamo samo granicu između dva goda, čime dobivamo samo jednu liniju grafa koja predstavlja širinu godova. Na kraju mjerenja spremimo izmjerene podatke, te nam program izračuna odnos ranog i kasnog drva u izvrtku, te nam prikaže godinu početka rasta izvrtka.

Poneki su izvrtci bili ispucani do te mjere da nije bilo moguće odrediti točan položaj godova, na nekim se pak izvrtcima niz godova prekinuo kvrgom nekadašnje grane. Slične pojave otežavaju mjerenje u Tsap-Win programu, stoga se stereo lupom prvo morao odrediti prvi mjerljivi god od centra stabla.



Slika 32. Područje grafa programa TsapWin u kojemu je aktivirano mjerenje (Izvor: (2018.)Instructions for using the Lintab measuring table and the Tsapprogramme. https://slunik.slu.se/kursfiler/SG0179/20064.1819/Instruktioner_anvandning_av_matstationen_och_tsap_win_2018.pdf (pristupljeno 17.11.2024.)



Slika 33. Mjerenje izvrtka hrasta lužnjaka na LinTab mjernom stolu te prikaz grafova trenutnog i prijašnjih mjerenja u programu TsapWin

2.4.Obrada podataka u Microsoft excelu

Podatci prikupljeni na terenu prepisani su u Microsoft excel. Moment sile sortirane su posebno za svako svrdlo, i za svaku vrstu. Svaku vrstu stabla označili smo inicijalima njezinog latinskog naziva, i nadodali broj kako bi znali o kojem se stablu radi:

Hrast lužnjak (*Quercus robur*) – QUR

Obična bukva (*Fagus sylvatica*) – FAS

Poljski jasen (*Fraxinus angustifolia*) – FRA

Hrast kitnjak (*Quercus petraea*) – QUP

Izmjerom dužine hoda svrdla, izračunata je dubina ubušivanja na kojoj je mjerena svaki moment. Iz podataka moment sila izračunat je prosječni moment sile na svakoj vrsti, za svako svrdlo na temelju određenih dubina ubušivanja. Sve analize prikazane su u rezultatima tablično i grafički.

Osim usporedbe momenta sile i dubine ubušivanja, uspoređivani su i moment sila s prosječnom širinom goda. Nakon spremanja podataka iz analize izvrtaka u programu TsapWin, od svih dobivenih rezultata u programu, podatci vezani za širinu godova ekstrapolirani su u Microsoft excel. Zbrojem svih dužina godova izračunala se dužina izvrtka, koja je uspoređena s teorijskom dubinom ubušivanja. Određene su točke na kojima je očitana moment sile, te je iz podataka dužine godova između dva mjerenja (5 okretaja svrdla) izračunata prosječna dužina godova. Budući da nismo mogli sigurno znati gdje se nalazi centar stabla, gotovo na svakom stablu smo ubušili dublje od centra stabla, stoga su u rezultatima usporedbe momenta i prosječne širine goda prikazani samo oni momenti sila očitani prije središta stabla. Usporedba širine godova s potrebnim momentom sile za ubušivanje napravljena je za svako stablo posebno.

Tablica 1. Izračun prosječne širine goda za stablo QUR1

QUR1				
širina goda (1/100mm)	kumulativna širina godova- dubina ubušivanja (1/100mm)	Prosječna širina goda između 5 okretaja svrdla (mm)	Dubina ubušivanja (cm)	Moment sile(Nm)
58	58	2,244	3,60	20
157	215	3,165	8,00	25
128	343	3,688	12,40	28
127	470	3,796	16,80	28
153	623	3,641	21,20	29
166	789	3,760	25,60	31
241	1030	4,153	30,00	32
303	1333	4,088	34,40	34
349	1682	2,888	38,80	35
256	1938	4,084	43,20	38
294	2232	6,001	47,60	38
288	2520	3,515	52,00	44
255	2775	2,648	56,40	42
255	3030			
291	3321			
269	3590			

U tablici 1 prikazan je način izračunavanja prosječne širine goda. Zbrajanjem dužine godova izračunata je dubina ubušivanja. Pomoću teorijske dubine ubušivanja (označene crveno) određivane su granice izračunavanja prosjeka dužina goda, u ovom slučaju od 58 do 3590 stotine milimetra, a pripadajućim širinama goda izračunat je prosjek u milimetrima od 2,244 mm (označeno plavo).

2.5. Statistička analiza podataka

Za obradu podataka korištena je deskriptivna statistika. Deskriptivnom analizom određene su prosječne vrijednosti momenta sile za svako svrdlo i vrstu posebno, te širine goda za svaku vrstu posebno. Postupkom korelacije izračunava se jačina povezanosti dviju različitih varijabli. U ovom radu računata je korelacija (povezanost) momenta sile i dubine ubušivanja, te korelacija prosječne širine goda i momenta sile, te su podatci prikazani grafički. Regresijska analiza je statistički postupak kojim se procjenjuje ovisnost zavisnih varijabli (y) o nezavisnoj (x). Jednostrukom linearnom regresijom utvrđene su jednadžbe ovisnosti momenta sile (zavisna varijabla) o dubini ubušivanja (nezavisna varijabla). Kao rezultat izjednačavanja nezavisne i zavisne varijable dobiva se regresijska jednadžba koja se na x-y grafu raspršenih podataka naziva linijom izjednačenja. Na temelju regresijske jednadžbe izračunate su procijenjene vrijednosti momenta za određene vrijednosti dubine ubušivanja. U svim navedenim analizama primijenjena je razina statističke značajnosti 5%. Sve ovdje navedene analize odrađene su u programu Statistica (TIBCO 2020).

3.REZULTATI I RASPRAVA

Do navedenih rezultata doveli su statistički obračuni mjerenih momenata sila, mjerenja promjera i određivanje dubine ubušivanja, statistički obračuni i mjerenja izvrtaka, to jest godova. Izračunati su prosjeci, standardne devijacije, medijani te maksimalne i minimalne vrijednosti s obzirom na varijabilnost za moment sile, širinu goda i dubinu ubušivanja. Rezultati su popraćeni tabličnim i grafičkim prikazima.

3.1. Razlika teoretske i stvarne dubine ubušivanja

Mjerenjem dužine pužnog navoja izračunat je teorijski pomak svrdla kroz drvo prilikom ubušivanja.

Tablica 2. Izračun dubine ubušivanja svrdala kroz stablo

	HOD (mm)	pola okretaja (cm)	5 okretaja (cm)
Haglölf 5,15	4,4*2	0,44	4,4
Haglölf 10	4,3*2	0,43	4,3
Djos 5,15	4,65*3	0,6975	6,975

Svrdlo Haglölf 5,15mm ima 2 pužna navoja širine 4,4 mm, što znači da se, u teoriji, na svakih pola okretaja svrdlo ubuši za 0,44 cm, a na svakih 5 okretaja 4,4 cm. Haglölf 10mm tako za pola okretaja treba ubušiti 0,43 cm, a za 5 okretaja 4,3 cm. Svrdlo Djos 5,15mm ima 3 navoja, što znači da bi u teoriji na pola okretaja trebalo ubušiti približno 0,7 cm, a na 5 okretaja skoro 7cm.

Rezultati su nam pokazali da u praksi to tako ne funkcionira, jer stablo istiskuje svrdlo dok se ubušuje, tako da se već na tridesetak centimetara može uočiti razlika od nekoliko centimetara između predviđene i stvarne dubine ubušivanja. Također, sam izvrtak popusti pod pritiskom svrdla, pa se unutar svrdla stegne, a prilikom izvlačenja iz svrdla rastegne. Kao rezultat toga nastaju pukotine na izvrtku, izvijanje i savijanje izvrtka, a i dužina izvrtka ponekad ne odgovara niti predviđenoj, niti stvarnoj dubini ubušivanja.

Na terenu je pomoću izvlakača i ravnala izmjerena svaka rupa odmah nakon izbušivanja svrdla, a time smo dobili stvarnu dubinu ubušivanja. Teorijsku dubinu ubušivanja dobili smo zbrajanjem dubine ubušivanja na kojoj je počelo mjerenje (primjerice za Djos 5,15mm je to 3,8 cm) sa umnoškom preostalog broja mjerenja i hoda svrdla za 5 okretaja (za Djos iznosi 6,975 cm)

$$\text{Teorijska dubina ubušivanja (cm)} = 3,8 \text{ cm} + (5 \text{ mjerenja} * 6,975 \text{ cm}) = 38,675 \text{ cm}$$

Tablica 3. Prikaz razlike rezultata očekivane i stvarne dubine ubušivanja, te duljine izvrtka nastale kompresijom drveta prilikom bušenja, te dekompresijom drveta prilikom izvlačenja izvrtka i izbušivanja svrdla

		MK11			
	Vrsta	P.jasen			
	Lokalitet	Lipovljani			
	Datum izmjere	25.6.2024.			
	Promjer stabla	72,5			
IZVRTAK 1	FRA4a	NAPOMENE	IZVRTAK 2	FRA4b	NAPOMENE
Svrdlo	Haglof 5,15		Svrdlo	djos	
šifra cjevčice	Z28		šifra cjevčice	MK11	
dužina izvrtka s.k.	43,8		dužina izvrtka s.k.	36	
dužina izvrtka b.k.	42,5		dužina izvrtka b.k.	34,4	
dubina rupe	44,1		dubina rupe	36,5	
MOMENT SILE (Nm)	DUBINA UBUŠIVANJA (cm)		MOMENT SILE (Nm)	DUBINA UBUŠIVANJA (cm)	
12	3,6		10	3,8	
22	8		24	10,775	
21	12,4		30	17,75	
23	16,8		35	24,725	
26	21,2		45	31,7	
26	25,6		52	38,675	
31	30				
36	34,4				
37	38,8				
40	43,2				
42	47,6				

Na prikazanoj tablici naznačene su izmjerene: dužina izvrtka s korom, dubina rupe u stablu, te teorijska dubina ubušivanja na oba izvrtka s istog stabla. Razlike između dužine izvrtka i dubine rupe u stablu variraju za nekoliko milimetara, dok se stvarna i teorijska dubina ubušivanja razlikuju za nekoliko centimetara. Iz tog nam je razloga teorijska dubina ubušivanja poslužila kao orijentacija prilikom analiziranja momenata sila pri kojima su korištena ista svrdla.

Preko podataka upisanih i izračunatih za svako pojedino stablo, izračunati su udjeli istiskivanja svrdla iz stabla te je izračunat prosjek istiskivanja svrdla iz stabla prilikom ubušivanja za svaku vrstu stabla i za svako svrdlo posebno.

$$\text{Istiskanost svrdla} = \frac{\text{stvarna dubina ubušivanja}}{\text{teorijska dubina ubušivanja}} * 100 (\%)$$

3.1.1. Haglöf 5,15mm

Tablica 4 Prosječna vrijednost istiskivanja svrdla Haglöf 5,15mm iz hrasta lužnjaka

Haglöf 5,15mm	QUR1	QUR2	QUR3	QUR4	QUR5	Prosjek
Teorijska dubina ubušivanja (cm)	59,92	47,6	60,8	52	56,4	55,344
Stvarna dubina ubušivanja (cm)	58,8	44,3	55,4	47,4	53,3	51,84
Istiskano iz stabla (%)	1,87	6,93	8,88	8,85	5,50	6,33

Tablica 5 Prosječna vrijednost istiskivanja svrdla Haglöf 5,15mm iz obične bukve

Haglöf 5,15mm	FAS1	FAS2	FAS3	FAS4	FAS5	Prosjek
Teorijska dubina ubušivanja (cm)	25,6	34,4	30	34,4	34,4	31,76
Stvarna dubina ubušivanja (cm)	23,5	31,8	28,3	32,3	32,3	29,64
Istiskano iz stabla (%)	8,20	7,56	5,67	6,10	6,10	6,68

Tablica 6 Prosječna vrijednost istiskivanja svrdla Haglöf 5,15mm iz poljskog jasena

Haglöf 5,15mm	FRA1	FRA2	FRA3	FRA4	FRA5	Prosjek
Teorijska dubina ubušivanja (cm)	47,6	47,6	47,6	47,6	47,6	47,6
Stvarna dubina ubušivanja (cm)	43,5	44,5	43,8	44,1	43,5	43,88
Istiskano iz stabla (%)	8,61	6,51	7,98	7,35	8,61	7,82

Tablica 7 Prosječna vrijednost istiskivanja svrdla Haglöf 5,15mm iz hrasta kitnjaka

Haglöf 5,15mm	QUP1	QUP2	QUP3	QUP4	QUP5	Prosjek
Teorijska dubina ubušivanja (cm)	34,4	38,8	47,6	30	38,8	37,92
Stvarna dubina ubušivanja (cm)	32,5	36,3	44,7	28,4	36,6	35,7
Istiskano iz stabla (%)	5,52	6,44	6,09	5,33	5,67	5,85

3.1.2. Haglöf 10mm

Tablica 8 Prosječna vrijednost istiskivanja svrdla Haglöf 10mm iz hrasta lužnjaka

Haglöf 10mm	QUR1	QUR2	QUR3	QUR4	QUR5	Prosjek
Teorijska dubina ubušivanja (cm)	38,1	38,1	38,1	42,4	38,1	38,96
Stvarna dubina ubušivanja (cm)	36,1	36,6	36,6	38,2	33,3	36,16
Istiskano iz stabla (%)	5,25	3,94	3,94	9,91	12,60	7,19

Tablica 9 Prosječna vrijednost istiskivanja svrdla Haglöf 10mm iz obične bukve

Haglöf 10mm	FAS1	FAS2	FAS3	FAS4	FAS5	Prosjek
Teorijska dubina ubušivanja (cm)	29,5	33,8	29,5	33,8	33,8	32,08
Stvarna dubina ubušivanja (cm)	27,1	29,8	28	31,9	32	29,76
Istiskano iz stabla (%)	8,14	11,83	5,08	5,62	5,33	7,23

3.1.3. Djos 5,15mm

Tablica 10 Prosječna vrijednost istiskivanja svrdla Djos 5,15mm iz poljskog jasena

Djos 5,15mm	FRA1	FRA2	FRA3	FRA4	FRA5	Prosjek
Teorijska dubina ubušivanja (cm)	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7
Stvarna dubina ubušivanja (cm)	35,3	36,5	36,5	36,5	35,8	36,12
Istiskano iz stabla (%)	8,79	5,68	5,68	5,68	7,49	6,67

Tablica 11 Prosječna vrijednost istiskivanja svrdla Djos 5,15mm iz hrasta kitnjaka

Djos 5,15mm	QUP1	QUP2	QUP3	QUP4	QUP5	Prosjek
Teorijska dubina ubušivanja (cm)	31,7	31,7	31,7	31,7	38,7	33,1
Stvarna dubina ubušivanja (cm)	30,5	30,4	30,15	30,3	36,6	31,59
Istiskano iz stabla (%)	3,79	4,10	4,89	4,42	5,43	4,56

Iz priloženih tablica možemo vidjeti da se svrdlo Djos 5,15mm zbog trećeg pužnog navoja teže istiskuje iz stabala. Hrast kitnjak ga prosječno istisne za 4,56% do dubine ubušivanja od 31,6 cm, a poljski jasen za 6,67% do dubine ubušivanja od 36,12 cm. S druge pak strane, obična bukva do dubine od 29,76 cm svrdlo Haglöf 10mm istiska za 7,23%, a lužnjak ga do 36,16 cm istisne 7,19%. Svrdlo Haglöf 5,15mm najviše istiskuje poljski jasen (7,82% do 43,88 cm), a najmanje hrast kitnjak (5,85% do 35,7 cm).

3.2. Deskriptivna statistika

3.2.1. Širina goda po vrstama

Tablica 12. Širine goda za hrast lužnjak, hrast kitnjak, poljski jasen i običnu bukvu

Vrsta drveća	Širina goda (mm)					
	N	Srednja vrijednost	Medijan	Minimum	Maksimum	Std.Dev.
QUR	84	2,934	2,714	1,631	6,001	0,826
QUP	48	3,883	3,802	1,579	6,151	1,052
FRA	54	2,362	2,114	1,161	4,386	0,898
FAS	52	3,719	3,601	1,965	5,471	0,982

Deskriptivnom analizom statistički je određena prosječna širina goda za svaku vrstu. Kod hrasta lužnjaka ona iznosi 2,83 mm, medijan 2,71 mm, a standardna devijacija 0,83 mm. Vrijednosti za hrast kitnjak iznose 3,88 mm za srednju vrijednost, 3,80 mm iznosi medijan, a standardna devijacija 1,05 mm. Kod poljskog jasena, srednja je vrijednost 2,36 mm, medijan 2,11 mm, a standardna devijacija 0,90 mm. Srednja vrijednost obične bukve iznosi 3,72 mm, medijan 3,60 mm, a standardna devijacija 0,98 mm.

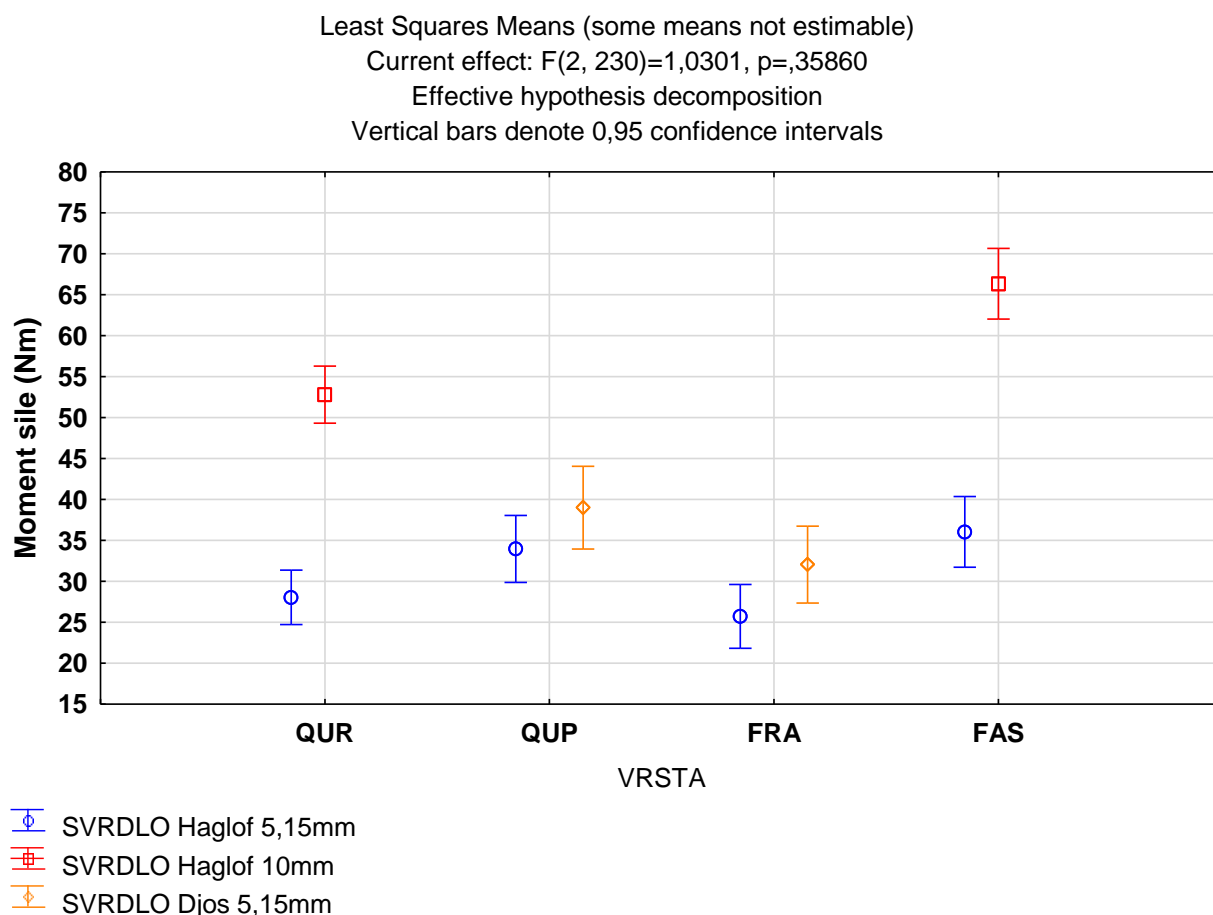
3.2.2. Moment sile po vrstama i svrdlu

Tablica 13. Izračun vrijednosti moment sile za sva svrdla i sve vrste drveća

Vrsta drveća	svrdlo	N	Moment sile (Nm)			
			Srednja vrijednost	Minimum	Maksimum	Std.Dev
QUR	Haglölf 5,15mm	44	28,045	10,00	44,00	7,159
	Haglölf 10mm	40	52,800	25,00	72,00	11,476
QUP	Haglölf 5,15mm	29	33,966	10,00	56,00	11,645
	Djos 5,15mm	19	39,000	12,00	72,00	16,918
FRA	Haglölf 5,15mm	32	25,719	8,00	38,00	7,621
	Djos 5,15mm	22	32,046	10,00	54,00	13,37
FAS	Haglölf 5,15mm	26	36,039	17,00	56,00	9,362
	Haglölf 10mm	26	66,346	39,00	94,00	13,740

Osim prosječne širine goda, deskriptivnom analizom analizirane su moment sile po vrstama i svrdlima. Za hrast lužnjak na svrdlu Haglölf 5,15mm srednja vrijednost momenta iznosi 28,05 Nm, standardna devijacija 7,16 Nm, dok vrijednosti za Haglölf 10mm iznose 52,8 Nm za srednju vrijednost, a standardna devijacija iznosi 11,48 Nm. Za hrast kitnjak, vrijednosti na svrdlu Haglölf 5,15mm iznose 25,72 Nm za srednju vrijednost, standardna devijacija

11,65 Nm, dok je za svrdlo Djos 5,15mm srednja vrijednost 39 Nm, a standardna devijacija 16,92 Nm. Srednje vrijednosti momenta na poljskom jasenu iznose 25,72 Nm za Haglöf 5,15mm i 32,05 Nm za Djos 5,15mm. Standardne devijacije iznose 7,62 Nm za Haglöf 5,15mm, a za Djos 5,15mm 13,37 Nm. Za svrdlo Haglöf 5,15mm na običnoj bukvi srednja vrijednost momenta iznosi 36,04 Nm, a standardna devijacija 9,36 Nm. Za svrdlo Haglöf 10mm srednja vrijednost momenta iznosi 66,35 Nm, a standardna devijacija 13,74 Nm.



Graf 2. Intervali pouzdanosti momenta za sva svrdla, na svim vrstama drveća

Graf intervala pouzdanosti momenta sile oko srednje vrijednosti momenta pokazuje da najveći interval procjene ima hrast kitnjak na svrdlu Djos 5,15mm, a najmanji hrast lužnjak na svrdlu Haglöf 5,15mm. Budući da je riječ o procjeni podataka unutar nekog intervala, u ovom slučaju 0,95, veličina tog intervala ovisi o razlici podataka varijable, ali i količini podataka za određenu varijablu. Primjerice već uspoređivani, hrast lužnjak ima veći broj podataka (44) od hrasta kitnjaka koji na istom svrdlu ima 29 podataka, pa je kao rezultat te razlike interval na hrastu kitnjaku veći.

3.3. Povezanost dubine ubušivanja i momenta sile

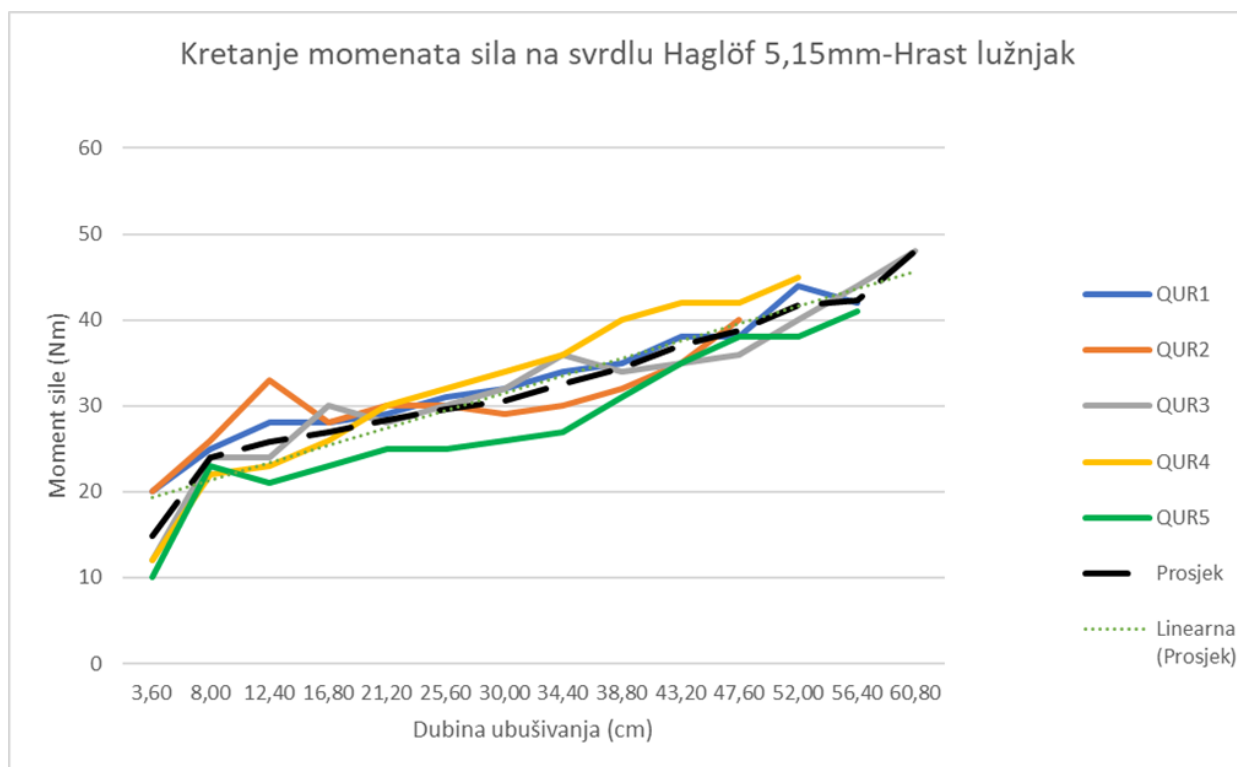
Budući da su mjerena stabla različitih dimenzija, različite strukture koja je nastajala rastom, ne možemo sa sigurnošću znati prilikom ubušivanja svrdla gdje se točno nalazi središte stabla. Iz tog razloga na istim vrstama sličnih dimenzija imamo različit broj očitavanja moment sile. Pri izračunu prosječnih vrijednosti po vrstama korištene su sve vrijednosti, ali pri izračunu prosječnih vrijednosti po svrdlima, korištene su vrijednosti do one dubine ubušivanja koje imaju sve vrste.

3.3.1 Hrast lužnjak (*Quercus robur* L.)

Haglöf 5,15mm

Tablica 14. Rezultati očitavanja momenata sila svrdla Haglöf 5,15mm na hrastu lužnjaku

Dubina ubušivanja (cm)	Moment sile (Nm)					Prosjek lužnjak
	QUR1a	QUR2a	QUR3a	QUR4a	QUR5a	
3,60	20	20	12	12	10	14,80
8,00	25	26	24	22	23	24,00
12,40	28	33	24	23	21	25,80
16,80	28	28	30	26	23	27,00
21,20	29	30	28	30	25	28,40
25,60	31	30	30	32	25	29,60
30,00	32	29	32	34	26	30,60
34,40	34	30	36	36	27	32,60
38,80	35	32	34	40	31	34,40
43,20	38	35	35	42	35	37,00
47,60	38	40	36	42	38	38,80
52,00	44		40	45	38	41,75
56,40	42		44		41	42,33
60,80			48			48,00

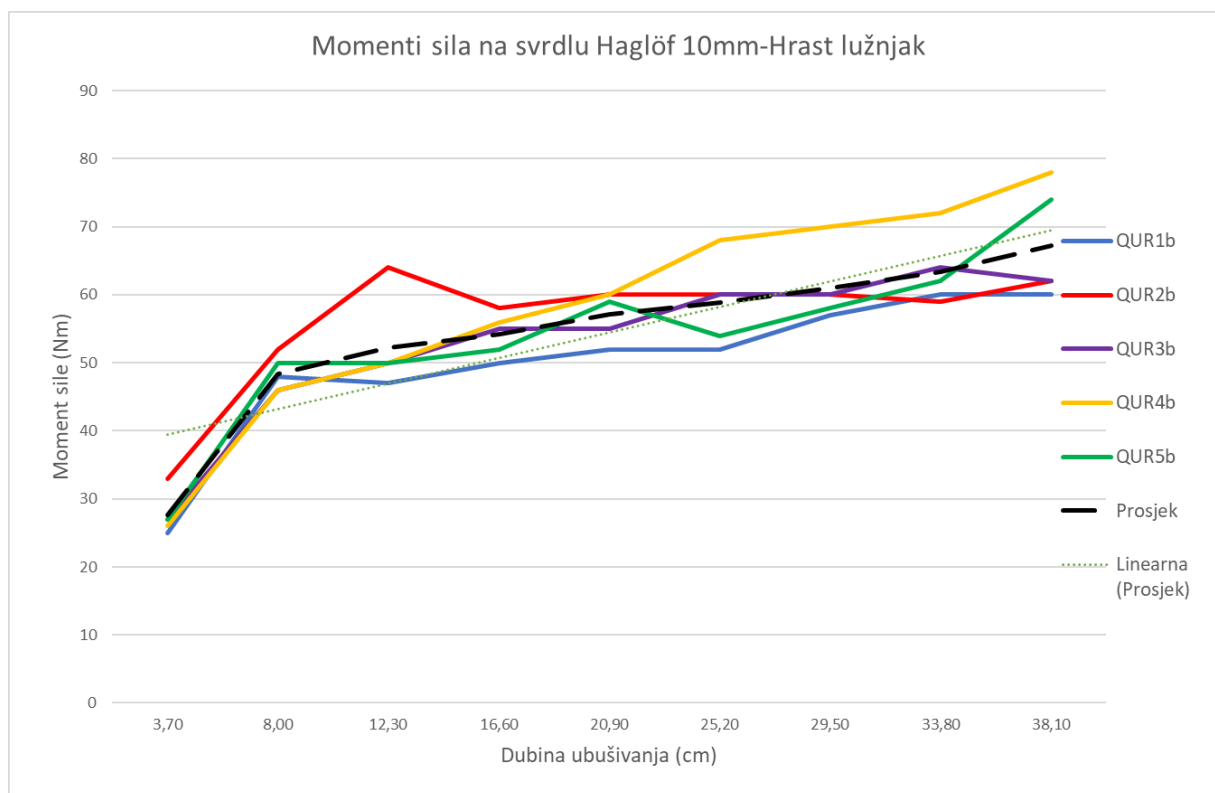


Graf 3. Rezultati očitavanja momenata sila svrdla Haglöf 5,15mm na hrastu lužnjaku

Haglölf 10mm

Tablica 15. Rezultati očitavanja momenata sila svrdla Haglölf 10mm na hrastu lužnjaku

Dubina ubušivanja (cm)	Momenti sila (Nm)					
	QUR1b	QUR2b	QUR3b	QUR4b	QUR5b	Prosjek
3,70	25	33	27	26	27	27,60
8,00	48	52	46	46	50	48,40
12,30	47	64	50	50	50	52,20
16,60	50	58	55	56	52	54,20
20,90	52	60	55	60	59	57,20
25,20	52	60	60	68	54	58,80
29,50	57	60	60	70	58	61,00
33,80	60	59	64	72	62	63,40
38,10	60	62	62	78	74	67,20



Graf 4. Rezultati očitavanja momenata sila svrdla Haglölf 10mm na hrastu lužnjaku

Svrdom Haglöf 5,15mm bušeno je 5 stabala hrasta lužnjaka, a minimalni otpor pri početku očitavanja moment sila pružilo je stablo kodnog imena QUR5 (10 Nm), dok su najveći otpor pružala stabla QUR1 i QUR2 (20 Nm). Na kraju očitavanja, najmanju vrijednost pokazalo je stablo QUR3 (36 Nm), dok je najveća vrijednost očitana sa stabla QUR4 (42 Nm). Na temelju linije prosjeka, u programu excel izračunata je i ucrtana linija linearne regresije. Najmanja prosječna vrijednost momenta sile iznosi 14,80 Nm, dok najveća iznosi 38,80 Nm. Linearna prosječna vrijednost kreće se od minimalne 19 Nm do najveće 39 Nm.

Za očitavanje moment sila sa svrdla Haglöf 10mm, odabrano je 5 već mjenjenih stabala hrasta lužnjaka, a rezultati su očekivano veći jer je riječ o debljem svrdlu. Minimalna vrijednost na početku mjerenja očitana je sa stabla QUR1 (25 Nm), dok je najveća vrijednost očitana na stablu QUR2 (33 Nm). Na kraju mjerenja minimalnu vrijednost ima stablo QUR1 (60 Nm), dok najveću ima stablo QUR4 (78 Nm). Minimalna prosječna vrijednost iznosi 27,60 Nm, dok najveća iznosi 67,20 Nm. Zbog velikih skokova vrijednosti između prvog i drugog očitavanja, najmanja linearna prosječna vrijednost iznosi 39 Nm, dok najveća iznosi 70 Nm.

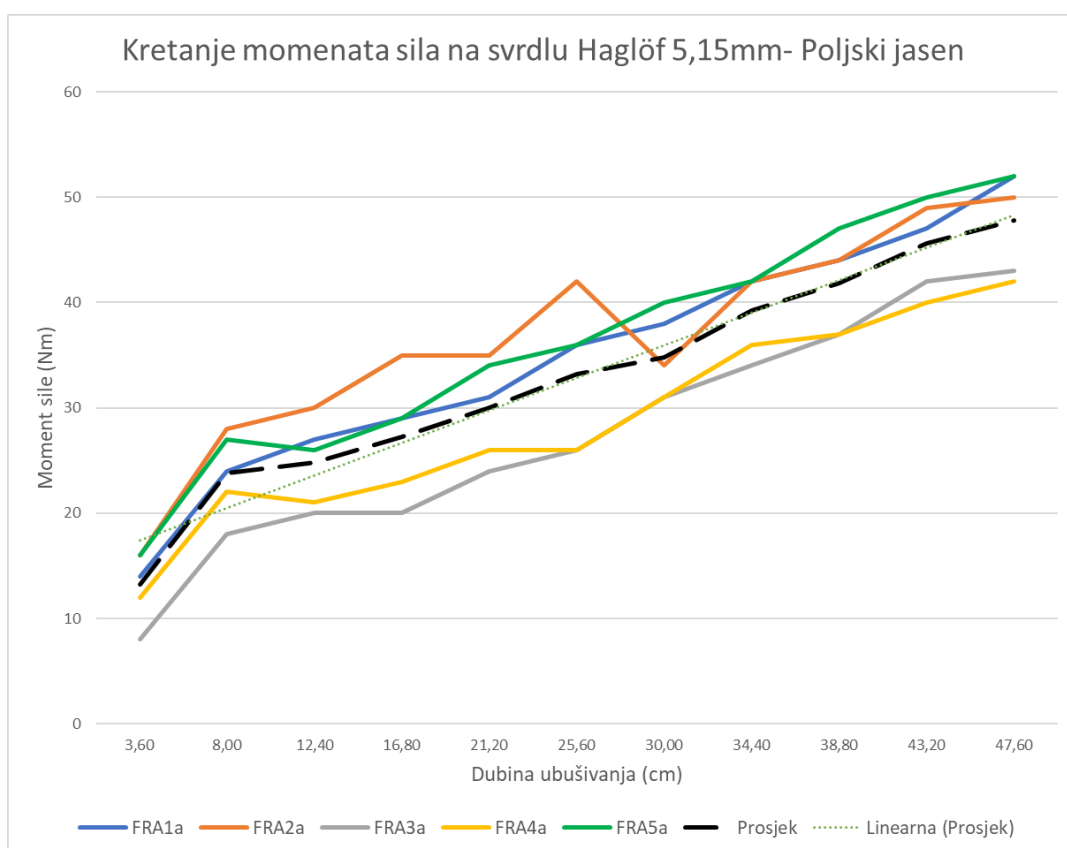
Razlika između minimalne i maksimalne očitane vrijednosti moment sile na dubini od 43,20 cm za svrdlo Haglöf 5,15mm iznosi 16,7%, dok za svrdlo Haglöf 10mm na dubini od 38,1 cm ona iznosi 23,08%.

3.3.2. Poljski jasen (*Fraxinus angustifolia* Vahl.)

Haglölf 5,15mm

Tablica 16. Rezultati očitavanja momenata sila svrdla Haglölf 5,15mm na poljskom jasenu

Dubina ubušivanja (cm)	Momenti sila (Nm)					
	FRA1a	FRA2a	FRA3a	FRA4a	FRA5a	Prosjek
3,60	14	16	8	12	16	13,20
8,00	24	28	18	22	27	23,80
12,40	27	30	20	21	26	24,80
16,80	29	35	20	23	29	27,20
21,20	31	35	24	26	34	30,00
25,60	36	42	26	26	36	33,20
30,00	38	34	31	31	40	34,80
34,40	42	42	34	36	42	39,20
38,80	44	44	37	37	47	41,80
43,20	47	49	42	40	50	45,60
47,60	52	50	43	42	52	47,80

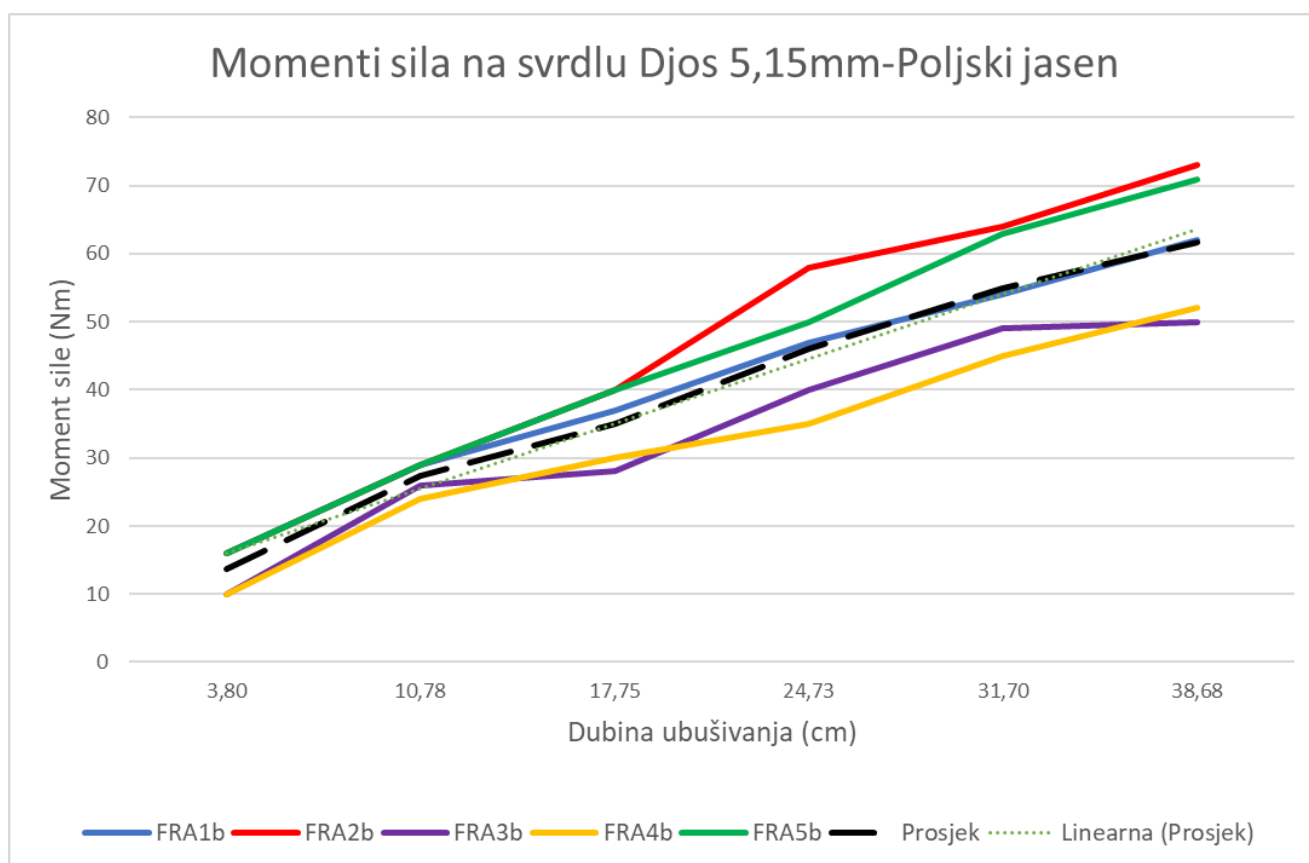


Graf 5. Rezultati očitavanja momenata sila svrdla Haglölf 5,15mm na poljskom jasenu

Djos 5,15mm

Tablica 17. Rezultati očitavanja momenata sila svrdla Djos 5,15mm na poljskom jasenu

Dubina ubušivanja (cm)	Momenti sila (Nm)					
	FRA1b	FRA2b	FRA3b	FRA4b	FRA5b	Prosjek
3,80	16	16	10	10	16	13,60
10,78	29	29	26	24	29	27,40
17,75	37	40	28	30	40	35,00
24,73	47	58	40	35	50	46,00
31,70	54	64	49	45	63	55,00
38,68	62	73	50	52	71	61,60



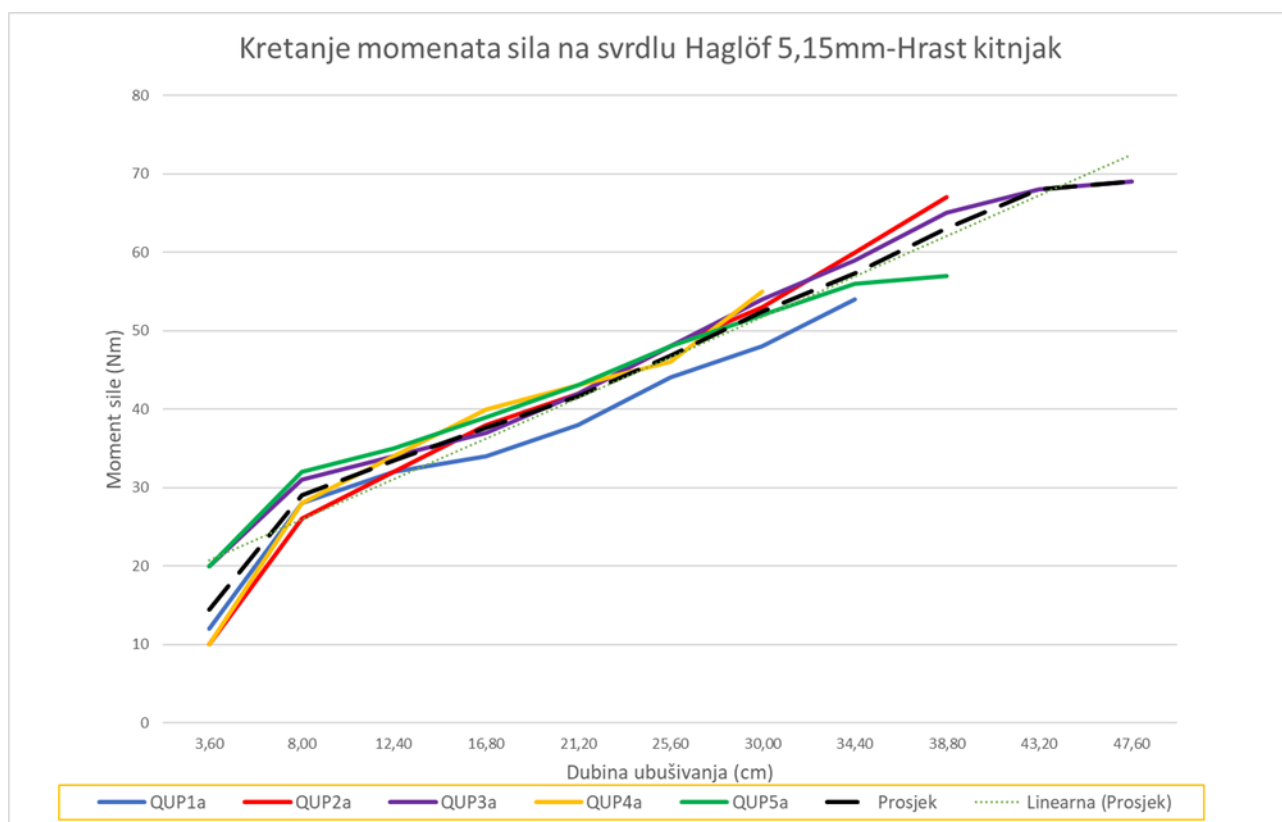
Graf 6. Rezultati očitavanja momenata sila svrdla Djos 5,15mm na poljskom jasenu

Za daljnje očitavanje momenata sila odabrano je 5 stabala jasena i svrdla Haglöf 5,15mm i Djos 5,15mm. Svrdlu Haglöf 5,15mm na početku očitavanja najmanji je okretni moment trebao na stablu FRA3 (8 Nm), a najveći na stablima FRA2 i FRA5 (16 Nm). Pri većim dubinama na kraju očitavanja najmanji otpor pružalo je stablo FRA4 (42 Nm), a najveći stablo FRA1 (52 Nm). Svrdlu Djos 5,15mm su pak na početku mjerenja najmanji otpor pružala stabla FRA4 (10 Nm), te također kao i Haglöf-u, stablo FRA3 (10 Nm). Kod preostalih je stabala Djos svrdlu na početku trebalo 16 Nm. Na zadnjem očitavanju najmanji otpor pružilo je stablo FRA3 (50 Nm), a najveći otpor stablo FRA2 (73 Nm). Razlika između minimalne i maksimalne izmjerene vrijednosti moment sile na dubini od 43,20 cm za svrdlo Haglöf 5,15mm iznosi 20%, dok za svrdlo Djos 5,15mm na dubini od 24,73 cm ona iznosi 39,8%.

3.3.3. Hrast kitnjak (*Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl.) Haglöf 5,15mm

Tablica 18. Rezultati očitavanja momenata sila svrdla Haglöf 5,15mm na hrastu kitnjaku

Dubina ubušivanja (cm)	Momenti sila (Nm)					
	QUP1a	QUP2a	QUP3a	QUP4a	QUP5a	Prosjek
3,60	12	10	20	10	20	14,40
8,00	28	26	31	28	32	29,00
12,40	32	32	34	34	35	33,40
16,80	34	38	37	40	39	37,60
21,20	38	42	42	43	43	41,60
25,60	44	48	48	46	48	46,80
30,00	48	53	54	55	52	52,40
34,40	54	60	59		56	57,25
38,80		67	65		57	63,00
43,20			68			68,00
47,60			69			69,00

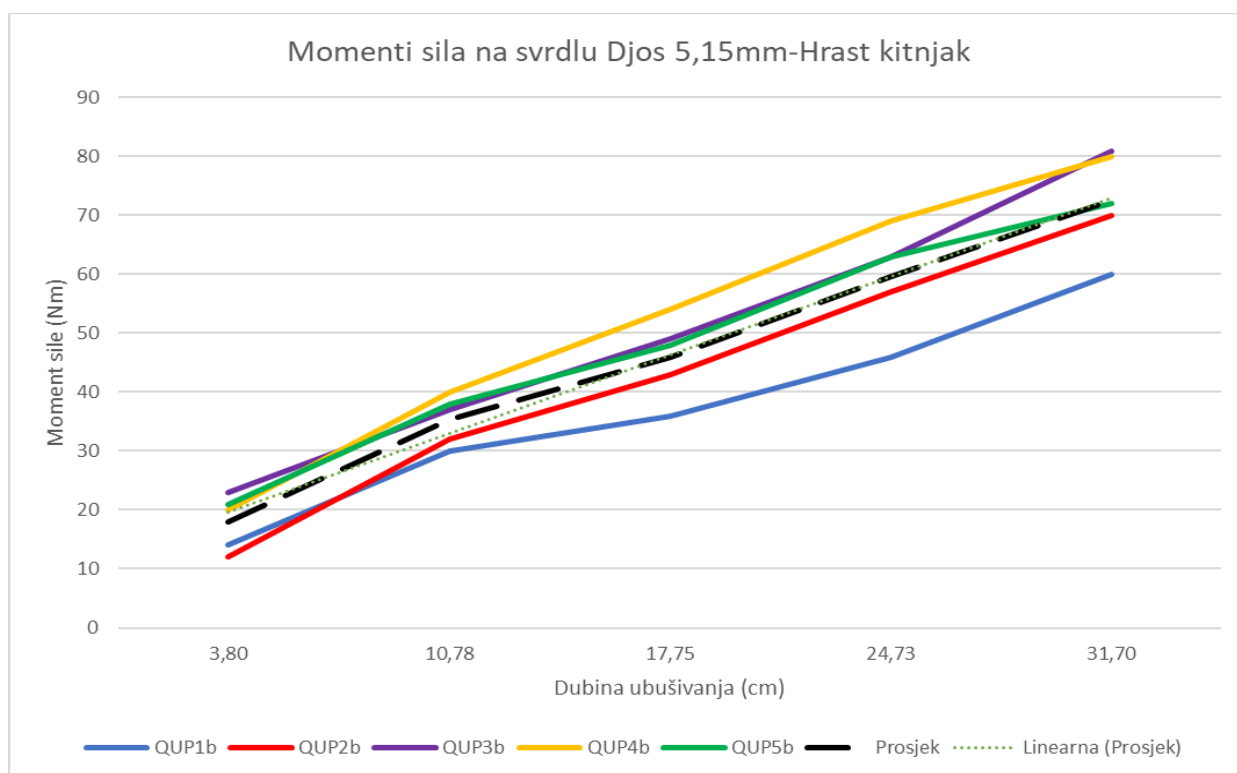


Graf 7. Rezultati očitavanja momenata sila svrdla Haglöf 5,15mm na hrastu kitnjaku

Djos 5,15mm

Tablica 19. Rezultati očitavanja momenata sila svrdla Djos 5,15mm na hrastu kitnjaku

Dubina ubušivanja (cm)	Momenti sila (Nm)					
	QUP1b	QUP2b	QUP3b	QUP4b	QUP5b	Prosjek
3,80	14	12	23	20	21	18,00
10,78	30	32	37	40	38	35,40
17,75	36	43	49	54	48	46,00
24,73	46	57	63	69	63	59,60
31,70	60	70	81	80	72	72,60



Graf 8. Rezultati očitavanja momenata sila svrdla Djos 5,15mm na hrastu kitnjaku

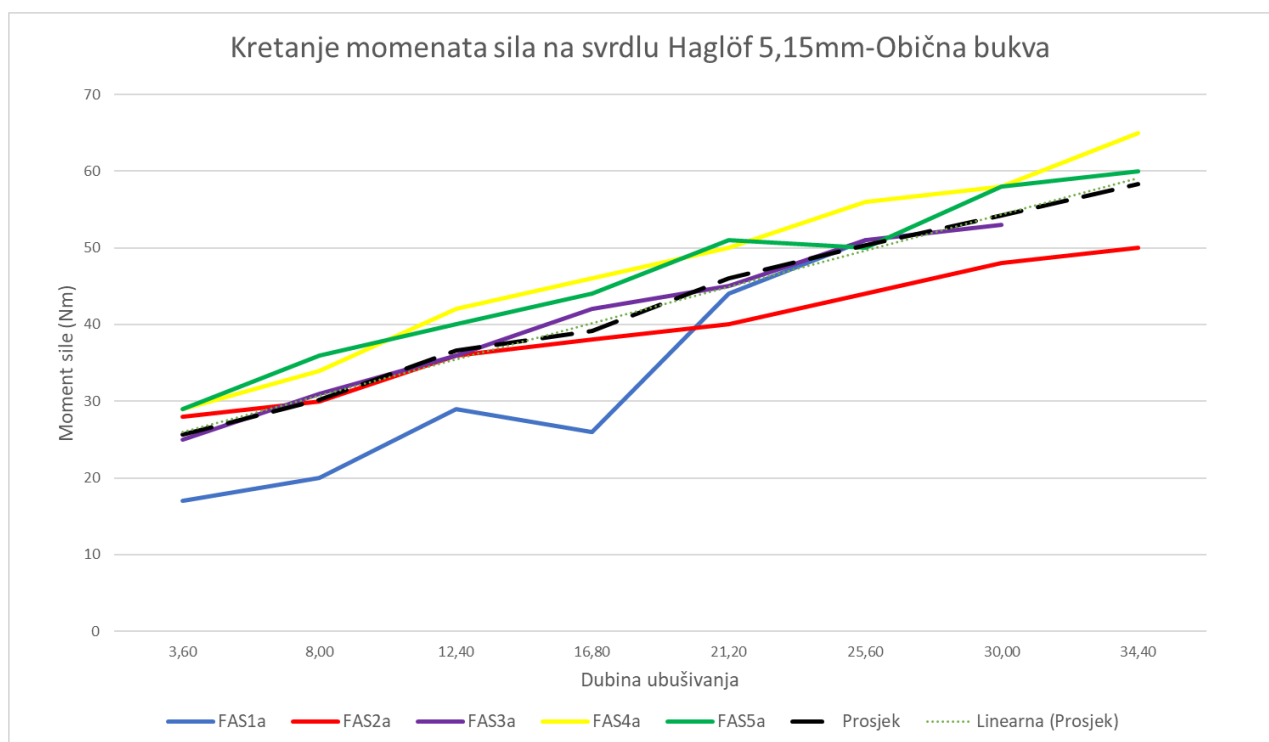
Pri mjerenjima na hrastu kitnjaku, od 5 odabranih stabala, odabrali smo jedno s reakcijskim drvom. Riječ je o stablu QUP 3, a rezultati pokazuju da je potrebno malo više sile da se svrdlo ubuši u takvo drvo, ali tek nekoliko Nm. Stablo QUP 5 nema reakcijsko drvo, ali mu je početna vrijednost ubušivanja svrdla Haglöf 5,15mm ista kao i kod reakcijskog drva, 20 Nm. Najmanji su otpor na početku pružila stabla QUP 2 i QUP 4 od 10 Nm. Najdublja točka do koje je vršeno mjerenje na svim svrdlima je 30 cm, a na toj dubini najveći otpor pružilo je stablo QUP 4 sa 55 Nm, a najmanji stablo QUP 1 sa 48 Nm. Djos svrdlu najveći je okretni moment očitao upravo na reakcijskom drvu stabla QUP 3, a vrijednosti se kreću od 23 Nm do 81 Nm. Stablo QUP 1 dalo je najniže vrijednosti, od početne 14 Nm do završne 60 Nm. Razlika između minimalne i maksimalne očitane vrijednosti momenta sile za svrdlo Haglöf 5,15mm na dubini od 30 cm iznosi 12,73%, dok za svrdlo Djos 5,15mm na dubini od 31,70 cm ona iznosi 25,9%.

3.3.4. Obična bukva (*Fagus sylvatica* L.)

Haglöf 5,15mm

Tablica 20. Rezultati očitavanja momenata sila svrdla Haglöf 5,15mm na običnoj bukvi

Dubina ubušivanja (cm)	Momenti sila (Nm)					
	FAS1a	FAS2a	FAS3a	FAS4a	FAS5a	Prosjek
3,60	17	28	25	29	29	25,60
8,00	20	30	31	34	36	30,20
12,40	29	36	36	42	40	36,60
16,80	26	38	42	46	44	39,20
21,20	44	40	45	50	51	46,00
25,60	51	44	51	56	50	50,40
30,00		48	53	58	58	54,25
34,40		50		65	60	58,33

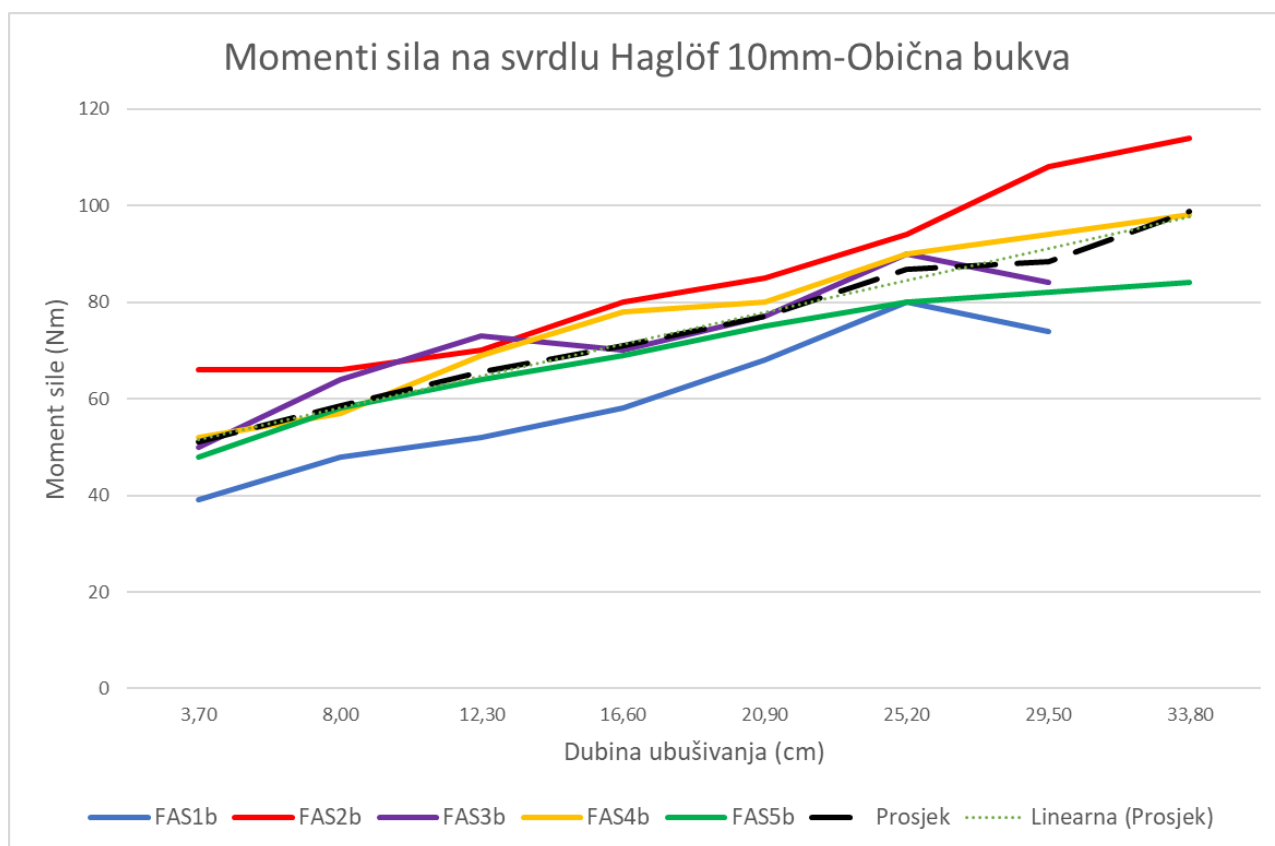


Graf 9. Rezultati očitavanja momenata sila svrdla Haglöf 5,15mm na običnoj bukvi

Haglölf 10mm

Tablica 21. Rezultati očitavanja momenata sila svrdla Haglölf 10mm na običnoj bukvi

Dubina ubušivanja (cm)	Momenti sila (Nm)					
	FAS1b	FAS2b	FAS3b	FAS4b	FAS5b	Prosjek
3,70	39	66	50	52	48	51,00
8,00	48	66	64	57	58	58,60
12,30	52	70	73	69	64	65,60
16,60	58	80	70	78	69	71,00
20,90	68	85	77	80	75	77,00
25,20	80	94	90	90	80	86,80
29,50	74	108	84	94	82	88,40
33,80		114		98	84	98,67



Graf 10. Rezultati očitavanja momenata sila svrdla Haglölf 10mm na običnoj bukvi

Od 5 odabranih bukovih stabala, stablo FAS 1 ima konusno drvo. Konusno (uvijeno) drvo nastaje kada se stablo prilikom rasta okrene oko svoje osi, pa mu provodni elementi narastu spiralno oko stabla. Rezultati su pokazali da takvo drvo pruža najmanji otpor, od 17 Nm na početku, do 51 Nm na kraju mjerenja. Najveći moment sile bio je potreban na stablu FAS4, od 29 Nm na početku mjerenja, do 65 Nm na kraju mjerenja.

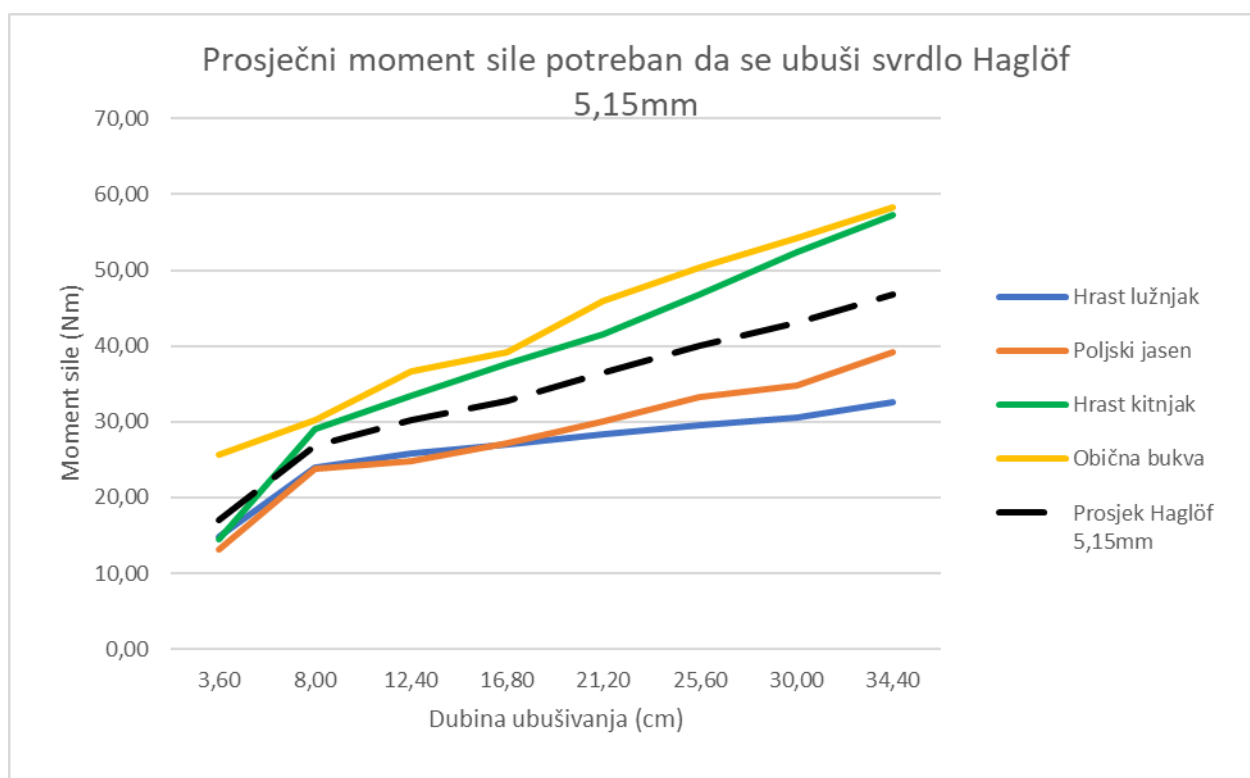
Za razliku od svrdla Haglöf 5,15mm, svrdlo Haglöf 10mm treba puno veće momente sile da bi se ubušilo. Kao i na prethodnom svrdlu, najmanje vrijednosti dobivene su mjereći na stablu FAS 1 s konusnim drvom, a kreću se od 39 Nm na početku mjerenja, do 74 Nm na kraju mjerenja. Najveće rezultate u ovom, a i svim prethodnim mjerenjima dalo je stablo FAS 2, s početnom vrijednosti od 66 Nm, do čak 114 Nm na kraju mjerenja.

Razlika između minimalne i maksimalne očitane vrijednosti momenta sile za svrdlo Haglöf 5,15mm na dubini od 25,60cm iznosi 21,4%, dok za svrdlo Haglöf 10mm ona iznosi 31,5%.

3.3.5. Prosječni momenti sila za svako pojedino svrdlo Haglöf 5,15mm

Tablica 22. Prosječni moment sile potreban da se ubuši svrdlo Haglöf 5,15mm

Dubina ubušivanja (cm)	Moment sile (Nm)				
	Hrast lužnjak	Poljski jasen	Hrast kitnjak	Obična bukva	Prosjek Haglöf 5,15mm
3,60	14,80	13,20	14,40	25,60	17,00
8,00	24,00	23,80	29,00	30,20	26,75
12,40	25,80	24,80	33,40	36,60	30,15
16,80	27,00	27,20	37,60	39,20	32,75
21,20	28,40	30,00	41,60	46,00	36,50
25,60	29,60	33,20	46,80	50,40	40,00
30,00	30,60	34,80	52,40	54,25	43,01
34,40	32,60	39,20	57,25	58,33	46,85

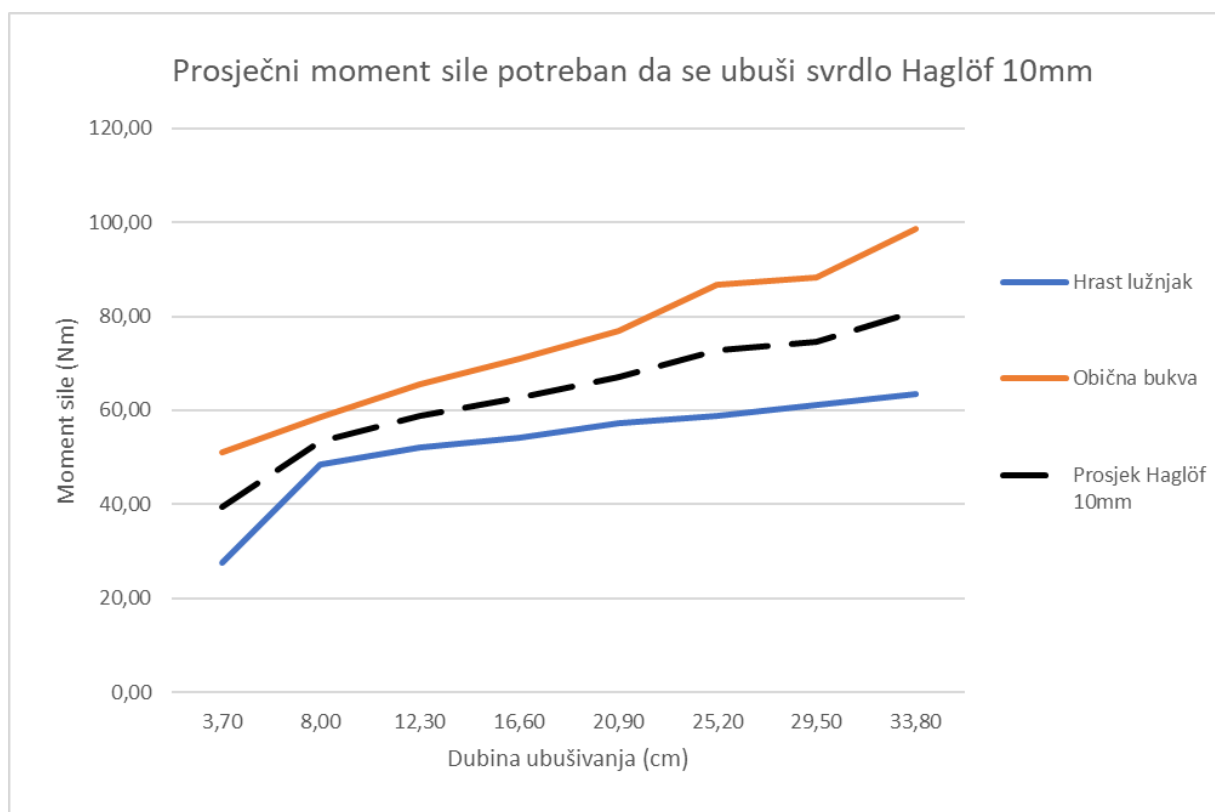


Graf 11. Prosječni moment sile potreban da se ubuši svrdlo Haglöf 5,15mm

Haglölf 10mm

Tablica 23. Prosječni moment sile potreban da se ubuši svrdlo Haglölf 10mm

Dubina ubušivanja (cm)	Moment sile (Nm)		
	Hrast lužnjak	Obična bukva	Prosjek Haglölf 10mm
3,70	27,60	51,00	39,30
8,00	48,40	58,60	53,50
12,30	52,20	65,60	58,90
16,60	54,20	71,00	62,60
20,90	57,20	77,00	67,10
25,20	58,80	86,80	72,80
29,50	61,00	88,40	74,70
33,80	63,40	98,67	81,03

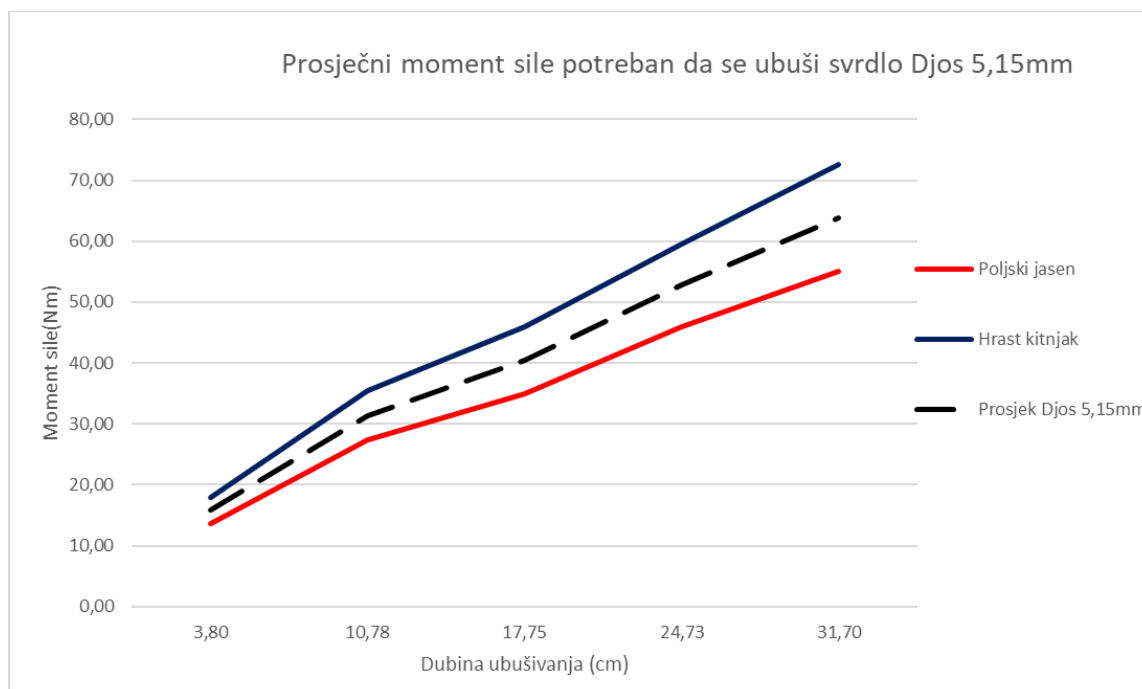


Graf 12. Prosječni moment sile potreban da se ubuši svrdlo Haglölf 10mm

Djos 5,15mm

Tablica 24. Prosječni moment sile potreban da se ubuši svrdlo Djos 5,15mm

Dubina ubušivanja (cm)	Moment sile (Nm)		
	Poljski jasen	Hrast kitnjak	Prosjek Djos 5,15mm
3,80	13,60	18,00	15,80
10,78	27,40	35,40	31,40
17,75	35,00	46,00	40,50
24,73	46,00	59,60	52,80
31,70	55,00	72,60	63,80



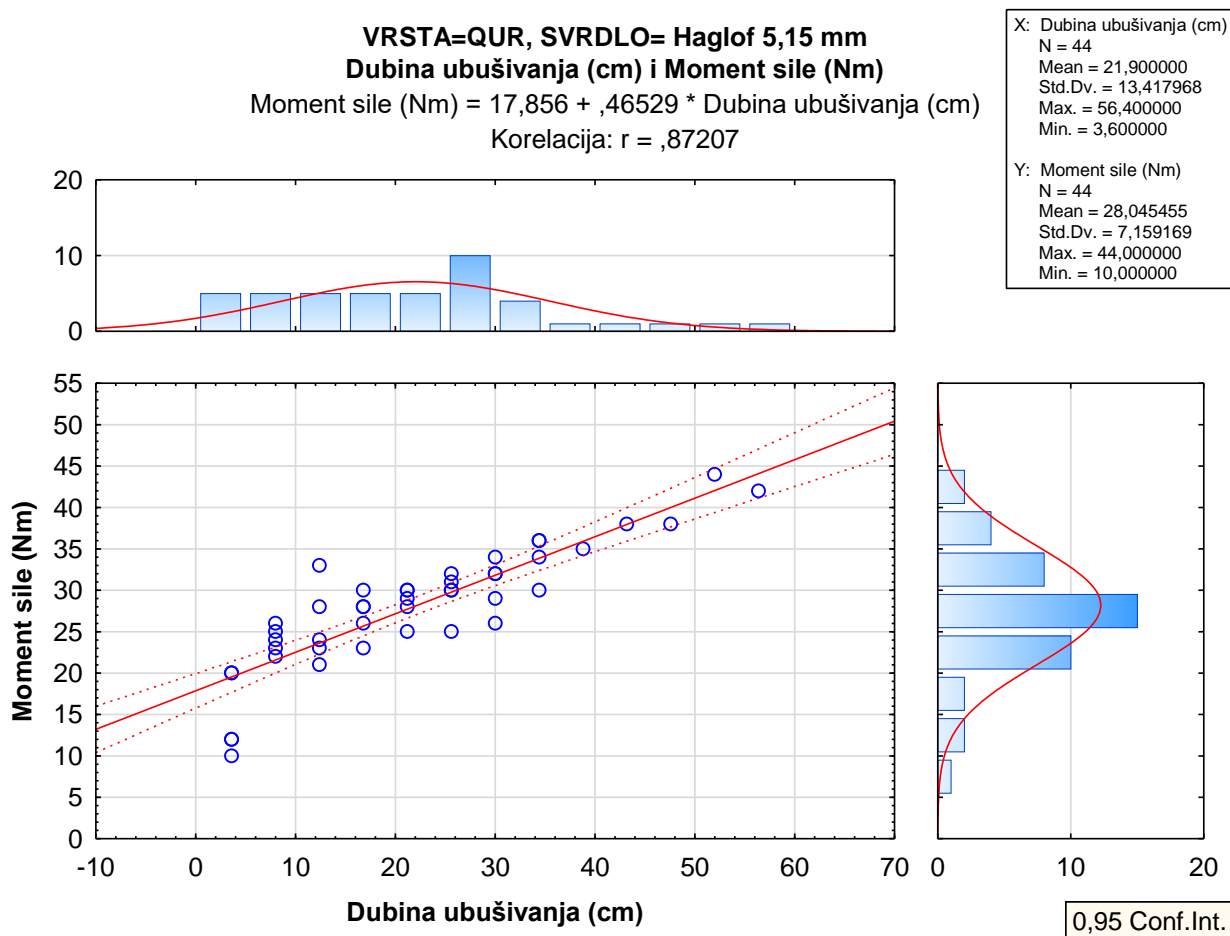
Graf 13. Prosječni moment sile potreban da se ubuši svrdlo Djos 5,15mm

Usporedbom prosječnih momenata sile očitanih sa istih svrdala na različitim vrstama stabala, izračunat je prosječni očekivani moment sile za svako svrdlo posebno. Rezultati pokazuju da na svrdlu Haglöf 5,15mm do dubine od približno 35 cm pri ubušivanju u tvrde listače možemo očekivati rast momenata sile od 13,48 Nm do 42,48 Nm. Tako će nam za ubušivanje svrdla Haglöf 10mm do dubine od oko 35 cm u prosjeku trebati od 39,30 Nm do 81,03 Nm, a za svrdlo Djos od 15,80 Nm do 63,80 Nm do dubine od približno 32 cm. Razlika između minimalne i maksimalne prosječne vrijednosti momenta sile za svrdlo Haglöf 5,15mm na dubini od 34,4 cm iznosi 44,1%, za svrdlo Haglöf 10mm na dubini od 33,8 cm iznosi 35,8%, dok za svrdlo Djos 5,15mm na dubini od 31,7 cm iznosi 24,2%. Iz rezultata se može vidjeti da hrast lužnjak i poljski jasen imaju manje prosječne vrijednosti moment sile u odnosu na hrast kitnjak i običnu bukvu.

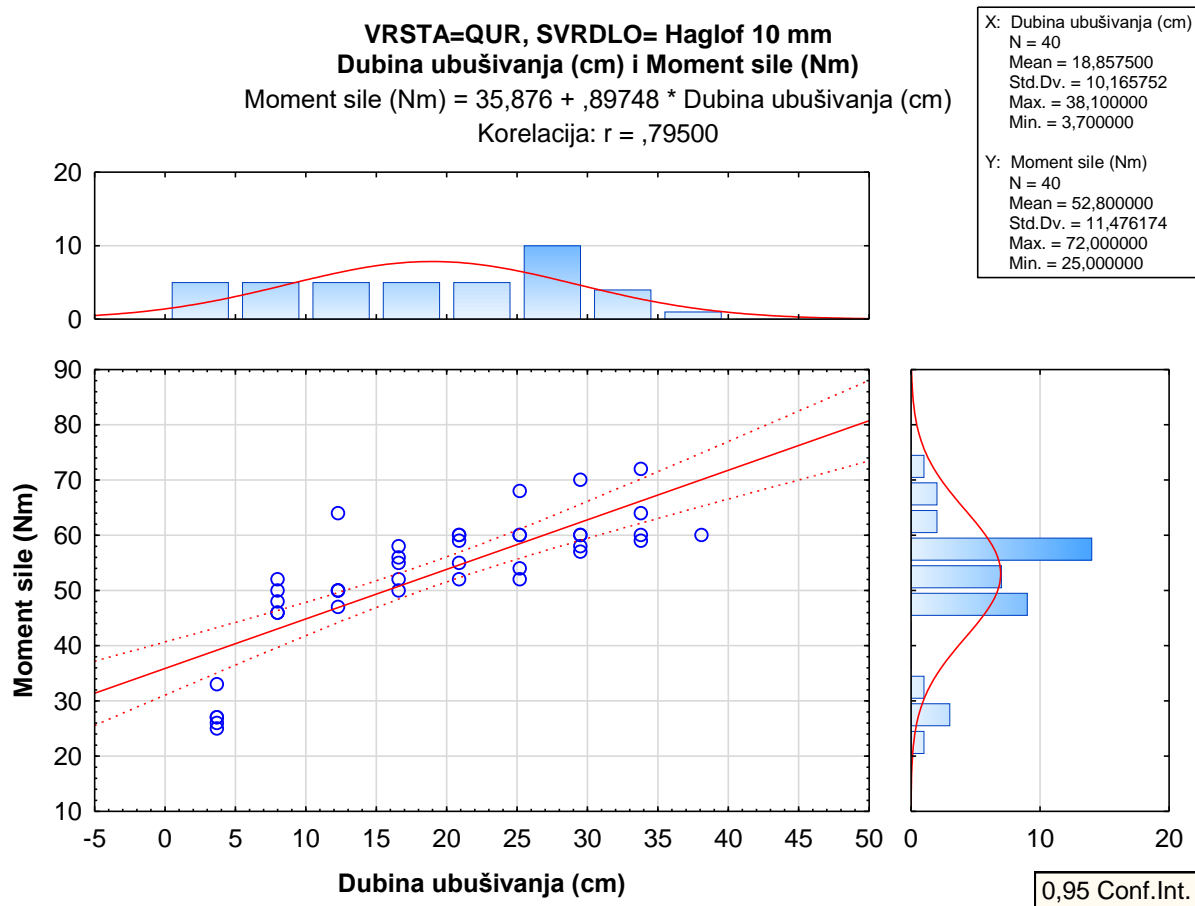
3.3.6. Korelacija dubine ubušivanja (cm) i momenta sile (Nm) po vrstama i svrdlu

Tablica 25. Iznosi korelacijskih koeficijenata dubine ubušivanja i momenta sile za svako svrdlo po vrstama drveća

Vrsta	Svrdlo	Korelacija dubine ubušivanja (cm) i momenta sile (Nm)
QUR	Haglöf 5,15mm	0,872
	Haglöf 10mm	0,795
QUP	Haglöf 5,15mm	0,939
	Djos 5,15mm	0,940
FRA	Haglöf 5,15mm	0,775
	Djos 5,15mm	0,929
FAS	Haglöf 5,15mm	0,813
	Haglöf 10mm	0,839



Graf 14. Korelacija dubine ubušivanja svrdla Haglöf 5,15mm i momenta sile na hrastu lužnjaku



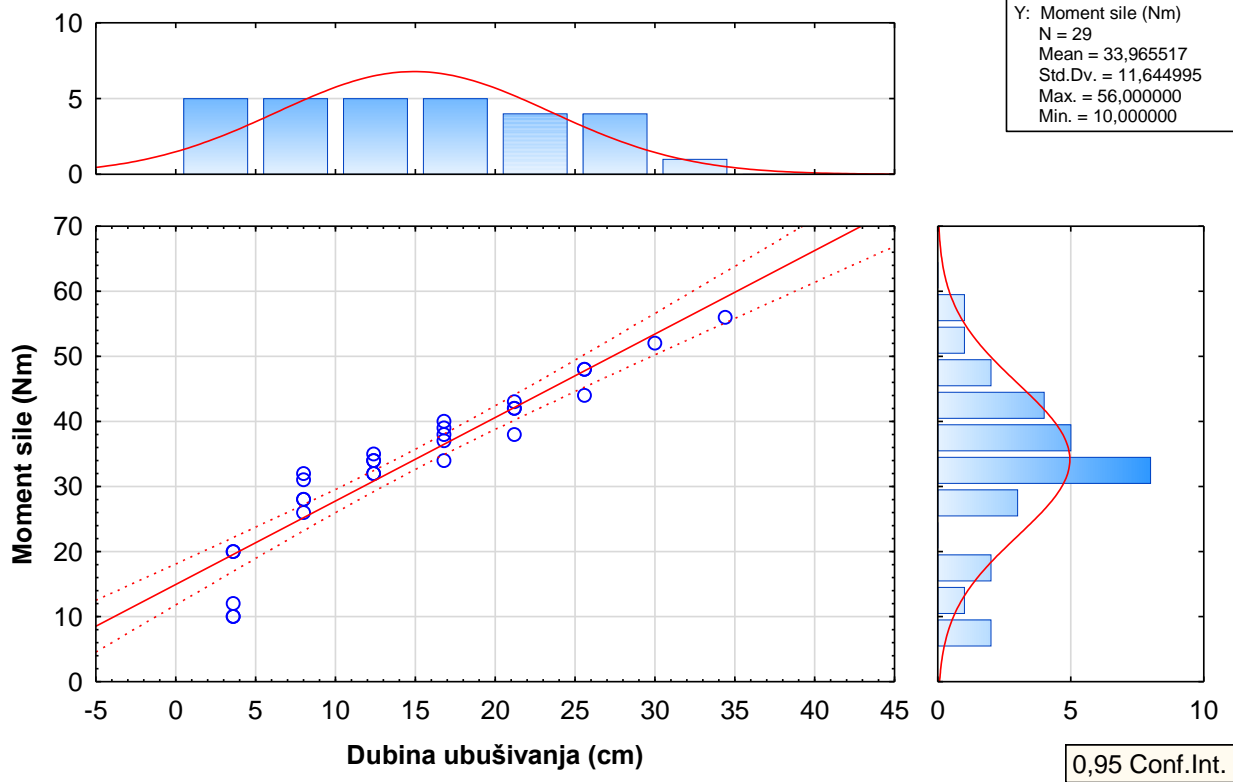
Graf 15. Korelacija dubine ubušivanja svrdla Haglöf 10mm i momenta sile na hrastu lužnjaku

. Na hrastu lužnjaku za svrdlo Haglöf 5,15mm srednje vrijednosti iznose 21,9 cm dubine ubušivanja i 28,05 Nm momenta. Standardne devijacije iznose 13,42 cm za dubinu ubušivanja i 7,16 Nm za moment sile. Korelacija za svrdlo Haglöf 5,15mm iznosi 0,87. Za svrdlo Haglöf 10mm srednje vrijednosti iznose 18,86 cm i 52,8 Nm, a standardne devijacije 10,17 cm i 11,48 Nm. Korelacija iznosi 0,794999.

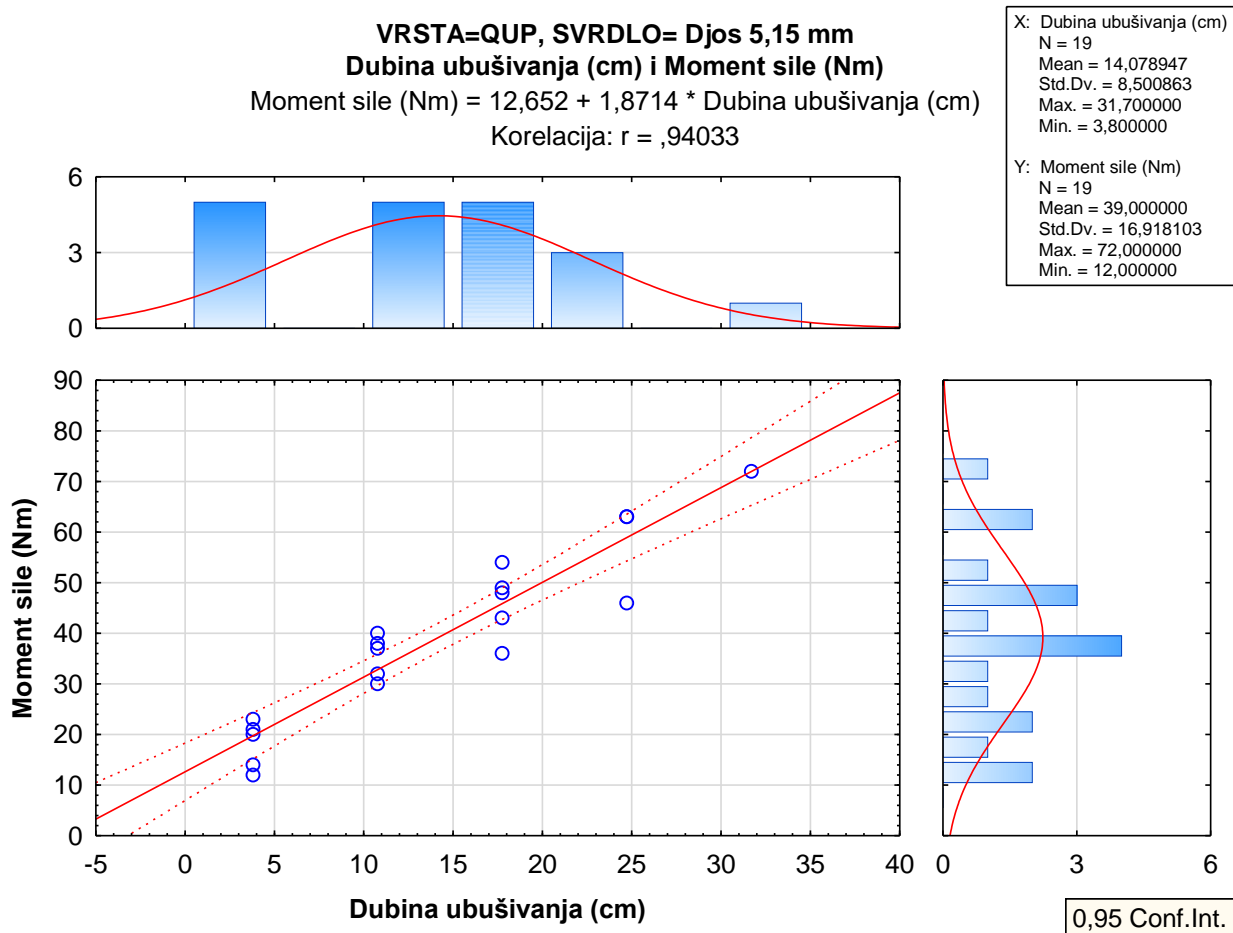
VRSTA=QUP, SVRDLO= Haglöf 5,15 mm
Dubina ubušivanja (cm) i Moment sile (Nm)
 Moment sile (Nm) = 14,947 + 1,2826 * Dubina ubušivanja (cm)
 Korelacija: r = ,93927

X: Dubina ubušivanja (cm)
 N = 29
 Mean = 14,827586
 Std.Dv. = 8,527556
 Max. = 34,400000
 Min. = 3,600000

Y: Moment sile (Nm)
 N = 29
 Mean = 33,965517
 Std.Dv. = 11,644995
 Max. = 56,000000
 Min. = 10,000000



Graf 16. Korelacija dubine ubušivanja svrdla Haglöf 5,15mm i momenta sile na hrastu kitnjaku



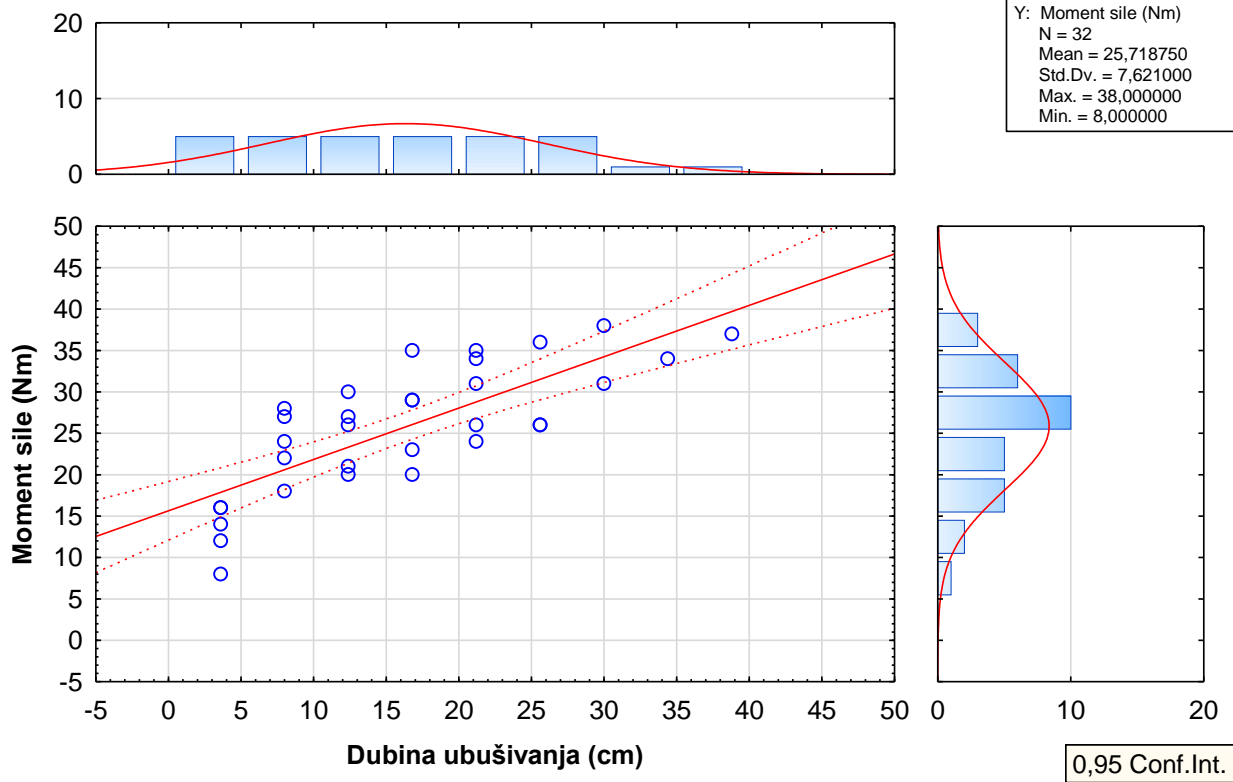
Graf 17. Korelacija dubine ubušivanja svrdla Djos 5,15mm i momenta sile na hrastu kitnjaku

Na hrastu kitnjaku, srednje vrijednosti za svrdlo Haglöf 5,15mm iznose 14,83 cm dubine i 33,97 Nm momenta. Standardne devijacije iznose 8,53 cm i 11,65 Nm. Korelacija za svrdlo Haglöf 5,15mm iznosi 0,939268. Za svrdlo Djos 5,15mm srednje vrijednosti iznose 14,08 cm dubine i 39,00 Nm momenta. Standardne devijacije iznose 8,5 cm i 16,92 Nm. Korelacija iznosi 0,940335.

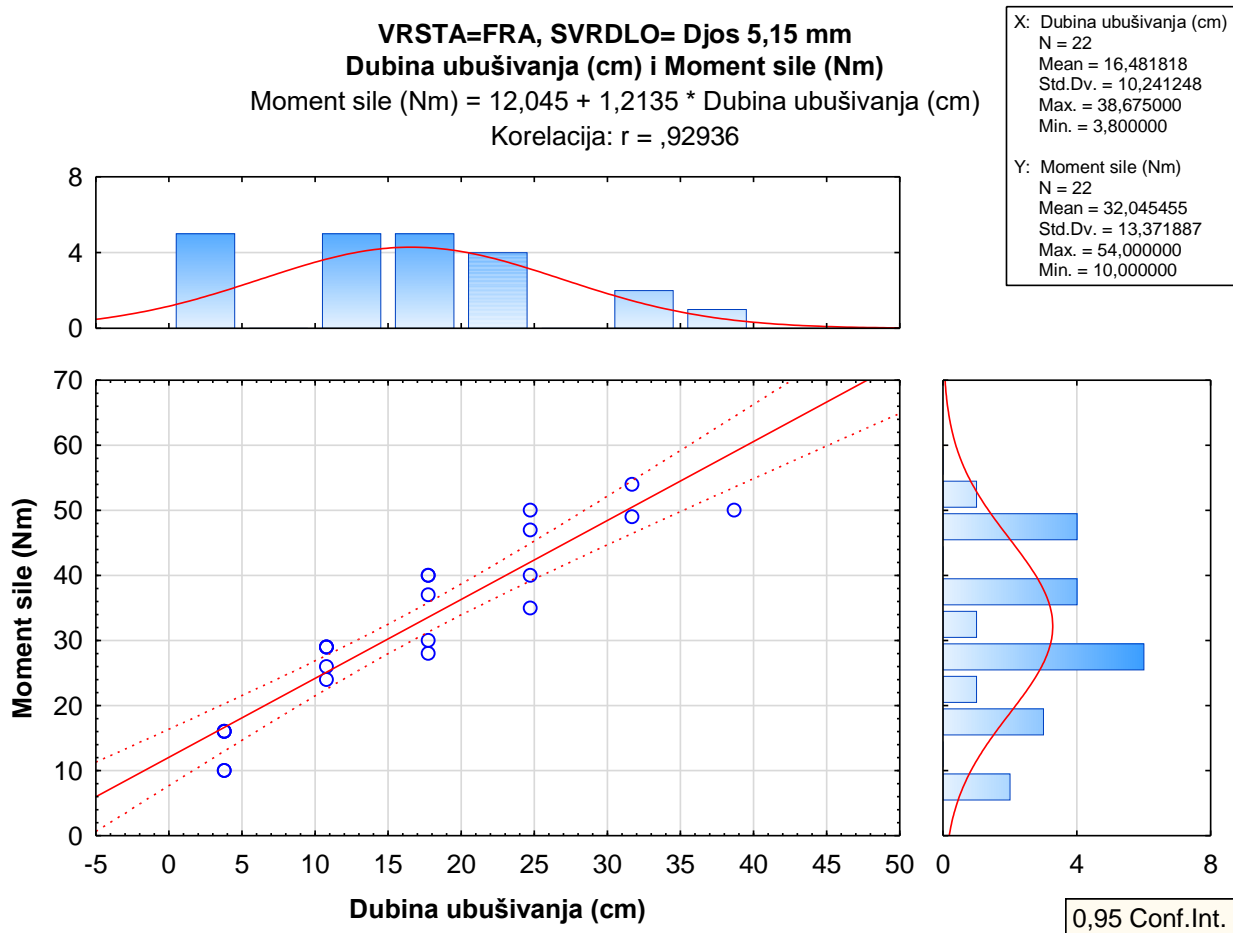
VRSTA=FRA, SVRDLO= Haglöf 5,15 mm
Dubina ubušivanja (cm) i Moment sile (Nm)
 Moment sile (Nm) = 15,645 + ,61992 * Dubina ubušivanja (cm)
 Korelacija: r = ,77541

X: Dubina ubušivanja (cm)
 N = 32
 Mean = 16,250000
 Std.Dv. = 9,532423
 Max. = 38,800000
 Min. = 3,600000

Y: Moment sile (Nm)
 N = 32
 Mean = 25,718750
 Std.Dv. = 7,621000
 Max. = 38,000000
 Min. = 8,000000



Graf 18. Korelacija dubine ubušivanja svrdla Haglöf 5,15mm i momenta sile na poljskom jasenu



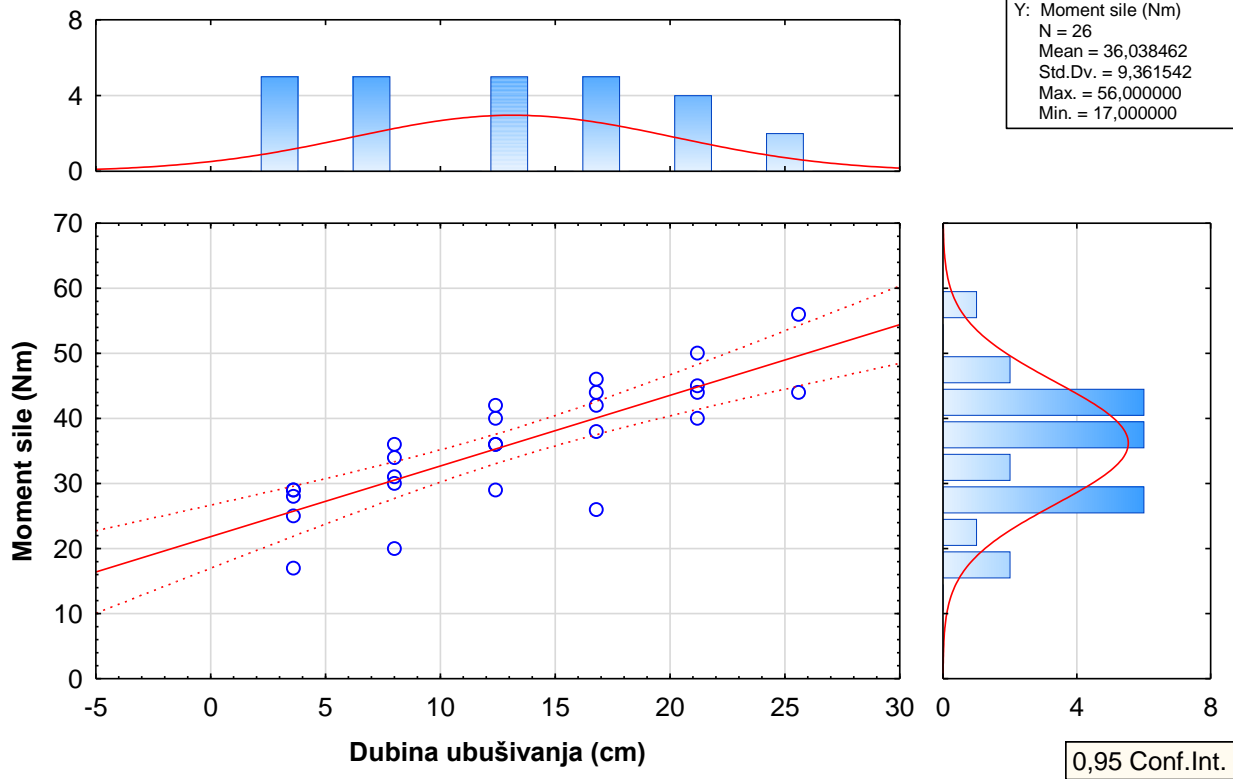
Graf 19. Korelacija dubine ubušivanja svrdla Djos 5,15mm i momenta sile na poljskom jasenu

Na poljskom jasenu srednje vrijednosti svrdla Haglöf 5,15mm iznose 16,25 cm dubine i 25,72 Nm momenta. Standardne devijacije iznose 9,53 cm i 7,62 Nm, a korelacija iznosi 0,775407. Srednje vrijednosti svrdla Djos 5,15mm iznose 16,48 cm dubine i 32,05 Nm momenta. Standardne devijacije iznose 10,24 cm i 13,37 Nm, a korelacija iznosi 0,929361.

VRSTA=FAS, SVRDLO= Haglöf 5,15 mm
Dubina ubušivanja (cm) i Moment sile (Nm)
 Moment sile (Nm) = 21,838 + 1,0859 * Dubina ubušivanja (cm)
 Korelacija: r = ,81267

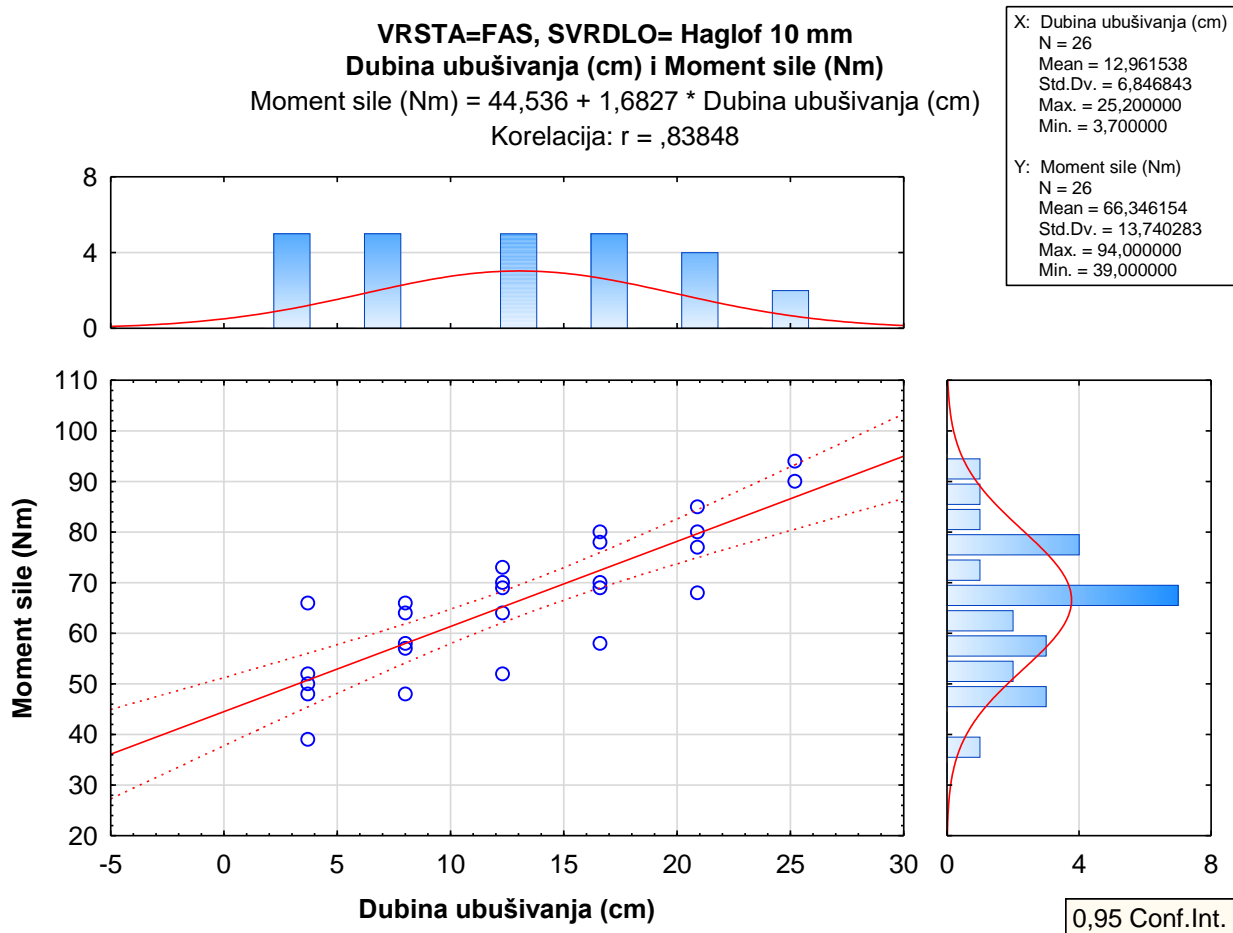
X: Dubina ubušivanja (cm)
 N = 26
 Mean = 13,076923
 Std.Dv. = 7,006072
 Max. = 25,600000
 Min. = 3,600000

Y: Moment sile (Nm)
 N = 26
 Mean = 36,038462
 Std.Dv. = 9,361542
 Max. = 56,000000
 Min. = 17,000000



0,95 Conf.Int.

Graf 20. Korelacija dubine ubušivanja svrdla Haglöf 5,15mm i momenta sile na običnoj bukvi



Graf 21. . Korelacija dubine ubušivanja svrdla Haglöf 10mm i momenta sile na običnoj bukvi

Srednje vrijednosti svrdla Haglöf 5,15mm na običnoj bukvi iznose 13,08 cm dubine i 36,04 Nm momenta. Standardne devijacije iznose 7,01 cm i 9,36 Nm, a korelacija iznosi 0,812667. Srednje vrijednosti svrdla Haglöf 10mm iznose 12,96 cm dubine ubušivanja i 66,35 Nm momenta sile. Standardne devijacije iznose 6,85 cm i 13,74 Nm, a korelacija iznosi 0,838477.

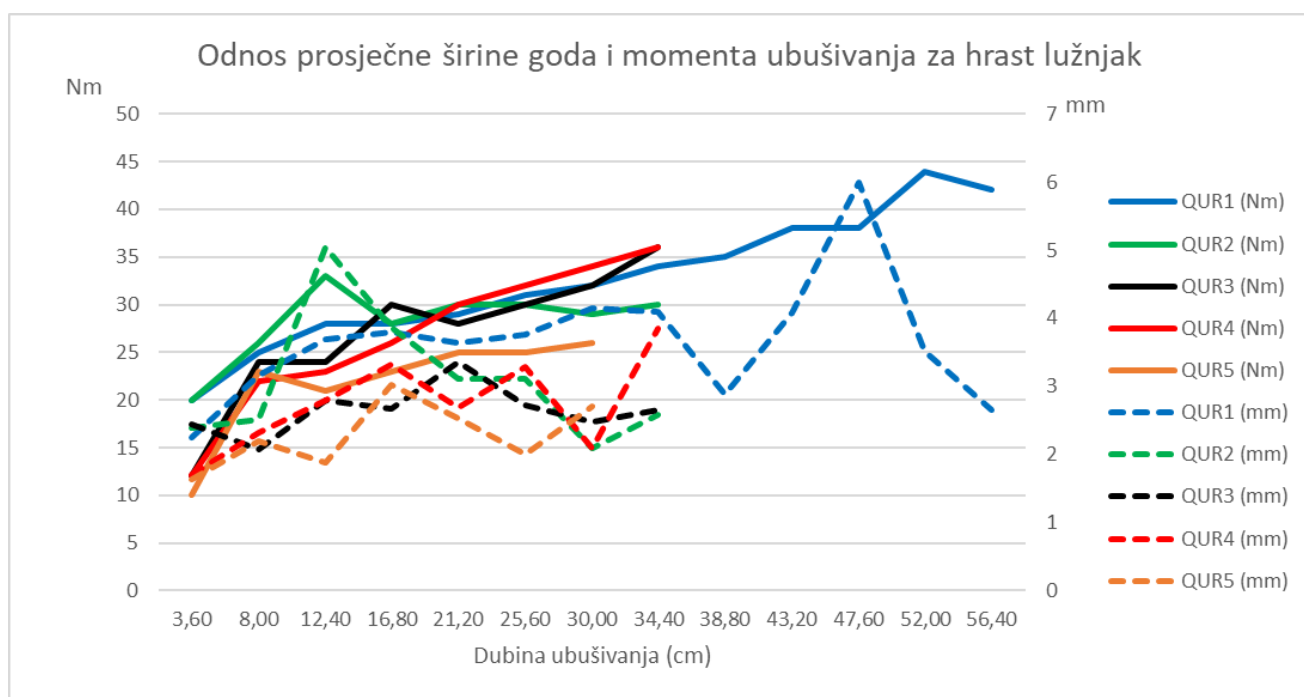
Statističkom analizom korelacije uspoređeni su dubina ubušivanja i moment sile posebno za svaku vrstu i svako svrdlo. Korelacije su značajne ako iznose više od 0,05. Sve su korelacije statistički značajne. Najveću korelaciju ima hrast kitnjak za svrdlo Djos 5,15mm (0,940), a najmanju poljski jasen za svrdlo Haglöf 5,15mm (0,775). Kada pogledamo grafičke prikaze kretanja moment sile na svakom stablu posebno, možemo uočiti da se momenti sile za Djos 5,15mm na hrastu kitnjaku kreću poprilično jednoliko, za razliku od svrdla Haglöf 5,15mm na poljskom jasenu, na kojemu rast momenata sile poprilično varira. Upravo to bi mogao biti uzrok razlike korelacije momenta i dubine ubušivanja.

3.4. Povezanost širine godova i momenta sile

3.4.1. Hrast lužnjak

Tablica 26. Odnos prosječne širine goda i momenta ubušivanja za hrast lužnjak

QUR1			QUR2			QUR3			QUR4			QUR5		
Prosječna širina goda između 5 okretaja svrdla (mm)	Dubina ubušivanja (cm)	Moment sile(Nm)	Prosječna širina goda između 5 okretaja svrdla (mm)	Dubina ubušivanja (cm)	Moment sile(Nm)	Prosječna širina goda između 5 okretaja svrdla (mm)	Dubina ubušivanja (cm)	Moment sile(Nm)	Prosječna širina goda između 5 okretaja svrdla (mm)	Dubina ubušivanja (cm)	Moment sile(Nm)	Prosječna širina goda između 5 okretaja svrdla (mm)	Dubina ubušivanja (cm)	Moment sile(Nm)
2,244	3,6	20	2,394	3,6	20	2,443	3,6	12	1,709	3,6	12	1,631	3,6	10
3,165	8	25	2,520	8	26	2,081	8	24	2,315	8	22	2,190	8	23
3,688	12,4	28	5,038	12,4	33	2,788	12,4	24	2,788	12,4	23	1,877	12,4	21
3,796	16,8	28	3,874	16,8	28	2,675	16,8	30	3,326	16,8	26	3,017	16,8	23
3,641	21,2	29	3,111	21,2	30	3,355	21,2	28	2,689	21,2	30	2,537	21,2	25
3,760	25,6	31	3,102	25,6	30	2,721	25,6	30	3,293	25,6	32	1,999	25,6	25
4,153	30	32	2,086	30	29	2,479	30	32	2,098	30	34	2,707	30	26
4,088	34,4	34	2,579	34,4	30	2,648	34,4	36	3,843	34,4	36			
2,888	38,8	35												
4,084	43,2	38												
6,001	47,6	38												
3,515	52	44												
2,648	56,4	42												



Graf 22. Odnos prosječne širine goda i momenta ubušivanja za hrast lužnjak

Najdužem izvrtku, stablu QUR 1 (plavo), u početku paralelno rastu i moment i prosječna širina goda. Prosječna širina goda raste od 2,2 do 4,2 mm, a moment od 20 do 22 Nm. Na dubini se od 38,8 cm naglo smanji širina godova s 4,2 na 2,8 mm, ali nema promjene u brzini rasta momenta. Od 38,8 do 43,20 cm dubine širina godova se poveća do 6 mm, a rast momenta se smanji te ostane na 38 Nm. Dalje opadanjem širine godova, moment prvo naraste na 44 Nm, a zatim se smanji na 42 Nm.

Stablu QUR 2 (zeleno) na početku moment raste kontinuirano od 20 Nm do 26 Nm, dok prosječna širina goda slabo raste od 2,3 do 2,5 mm. Nakon prijeđene dubine od 8 cm prema 12,40 cm, moment poraste s 26 na 33 Nm, ali i širina koja naraste s 2,5 mm na 5 mm. Dalje prema dubini od 16,80 cm opadaju i moment i širina godova, i to na 28 Nm i 3,8 mm. Od te se dubine pa na dalje vrijednosti momenta kreću oko 30 Nm, dok prosječna širina goda opada prema 2,5 mm.

Na stablu QUR 3 (crno) s druge se strane rast i pad momenta i širine godova stalno izmjenjuju. Od 3,6 do 8 cm dubine vrijednost momenta raste duplo, sa 12 Nm na 24 Nm, dok u isto vrijeme opada prosječna širina goda s 2,4 mm na 2,1 mm. Dalje prema dubini od 12,40 cm moment stagnira na vrijednosti od 24 Nm, a širina godova naraste s 2,1 na 2,8 cm. Na dubini od 16,80 cm pak širina godova stagnira na 2,7 mm, dok moment raste na 30 Nm. Od 16,80 do 21,20 cm dubine širina godova naraste s 2,7 mm na 3,3 mm, a moment opadne s 30 na 28 Nm. Daljnjim je očitavanjima moment sile rastao prema 36 Nm, uz istovremeni pad širine godova na 2,6 mm.

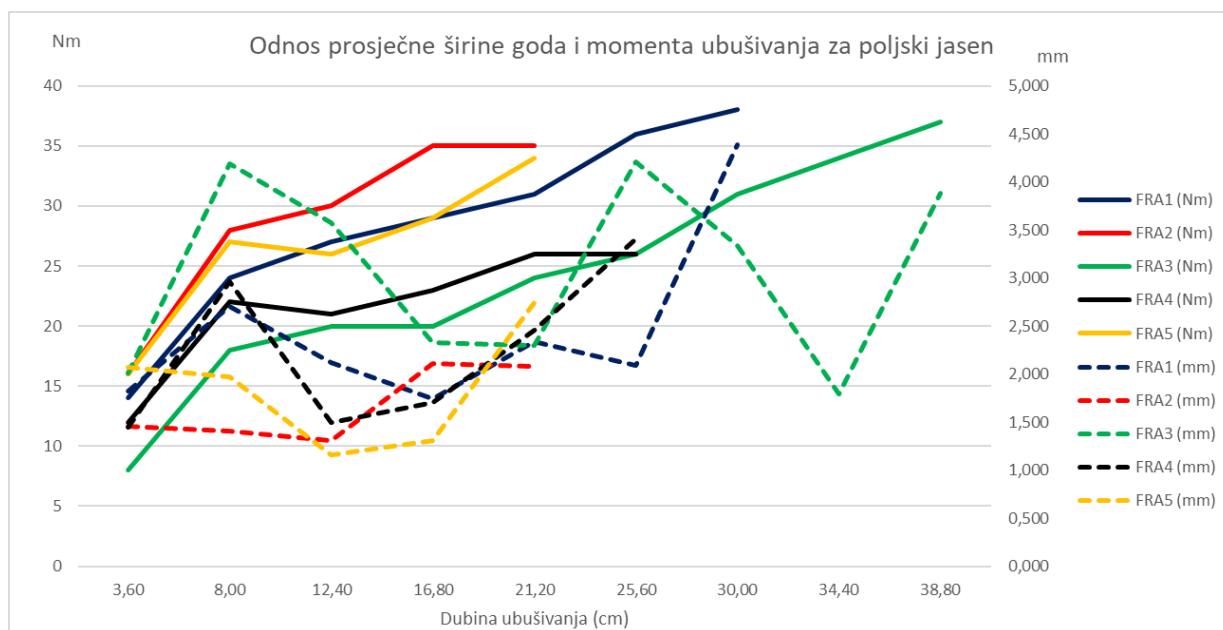
Moment sile na stablu QUR 4 (crveno) kontinuirano raste, s manjim usporavanjima rasta od 8 do 12,40 cm dubine, te od 21,20 do 34,40 cm. S druge strane, prosječna širina goda do dubine od 16,80 raste besprekidno od 1,7 mm do 3,3 mm. Dalje širina godova pri svakom očitavanju naizmjenično raste i pada (3,3 mm; 2,6 mm; 3,3 mm; 2,1 mm; 3,8 mm), dok moment naraste do vrijednosti od 36 Nm.

Od dubine 3,6 cm do 8 cm na stablu QUR 5 (narančasto) rastu i moment i prosječna širina goda, i to s 10 na 23 Nm, te s 1,6 mm na 2,1 mm. Dalje prema dubini od 12,40 cm padaju i moment na 21 Nm, i širina goda na 1,8 mm. Od te dubine pa na dalje moment jednoliko raste prema 26 Nm na dubini od 30 cm. Prosječna širina goda s druge strane prema dubini od 16,80 cm naraste na 3 mm, pa do 25,60 cm opet pada na 1,9 mm, pa onda do 30 cm opet naraste na 2,7 mm.

3.4.2. Poljski jasen

Tablica 27. Odnos prosječne širine goda i momenta ubušivanja za poljski jasen

FRA1			FRA2			FRA3			FRA4			FRA5		
prosječna širina goda između 5 okretaja svrdla (mm)	Dubina ubušivanja (cm)	Moment sile(Nm) 5,15mm	prosječna širina goda između 5 okretaja svrdla (mm)	Dubina ubušivanja (cm)	Moment sile(Nm) 5,15mm	prosječna širina goda između 5 okretaja svrdla (mm)	Dubina ubušivanja (cm)	Moment sile(Nm) 5,15mm	prosječna širina goda između 5 okretaja svrdla (mm)	Dubina ubušivanja (cm)	Moment sile(Nm) 5,15mm	prosječna širina goda između 5 okretaja svrdla (mm)	Dubina ubušivanja (cm)	Moment sile(Nm) 5,15mm
1,83	3,60	14,00	1,46	3,60	16,00	2,01	3,60	8,00	1,45	3,60	12,00	2,07	3,60	16,00
2,70	8,00	24,00	1,40	8,00	28,00	4,19	8,00	18,00	2,96	8,00	22,00	1,98	8,00	27,00
2,12	12,40	27,00	1,31	12,40	30,00	3,57	12,40	20,00	1,50	12,40	21,00	1,16	12,40	26,00
1,74	16,80	29,00	2,11	16,80	35,00	2,32	16,80	20,00	1,70	16,80	23,00	1,31	16,80	29,00
2,34	21,20	31,00	2,08	21,20	35,00	2,30	21,20	24,00	2,46	21,20	26,00	2,74	21,20	34,00
2,09	25,60	36,00				4,21	25,60	26,00	3,40	25,60	26,00			
4,39	30,00	38,00				3,34	30,00	31,00						
						1,80	34,40	34,00						
						3,88	38,80	37,00						



Graf 23. . Odnos prosječne širine goda i momenta ubušivanja za poljski jasen

Na stablu FRA 1 (plavo) zabilježen je istovremeni rast momenta sile i prosječne širine goda, od 14 do 24 Nm, te od 1,8 do 2,7 mm na dubinama ubušivanja između 3,6 i 8 cm. Moment sile raste jednoliko do kraja očitavanja do vrijednosti od 38 Nm. Prosječna širina goda naizmjenično raste i pada, na dubini od 16,80 cm padne do 1,7 mm, na dubini od 21,20 cm naraste do 2,3 mm, pa opet padne na 2,1 na dubini od 25,60 cm, te na poslijetku prema dubini ubušivanja od 30 cm naglo se poveća na 4,4 mm širine.

Na stablu FRA 2 (crveno) moment isto raste između 3,6 i 8 cm sa 16 na 28 Nm, ali zato prosječna širina goda padne sa 1,4 na 1,3 mm do dubine od 12,40 cm, dalje prema 16,80 cm poraste do 2,1 mm, te na tome ostane do dubine od 21,20 cm. Moment sile između 8 i 16,80 cm blago raste prema 35 Nm, te kao i prosječna širina goda, stagnira do 21,20 cm.

Kontinuiran rast momenta sile od 8 Nm do 37 Nm, s malo bržim porastom između 3,6 i 8 cm dubine (8-18 Nm) očitao je na stablu FRA 3 (zeleno). Prosječna širina goda raste s 2 na 4,2 mm na dubinama od 3,6 do 8 cm. Dalje pada i stagnira na 2,3 mm do dubine od 21,20 cm, kada opet počne rasti na 4,2 mm na dubini od 25,60 cm. Dalje prema dubini od 34,40 cm pada na 1,8 mm, a do dubine od 38,80 cm naraste do 3,9 mm.

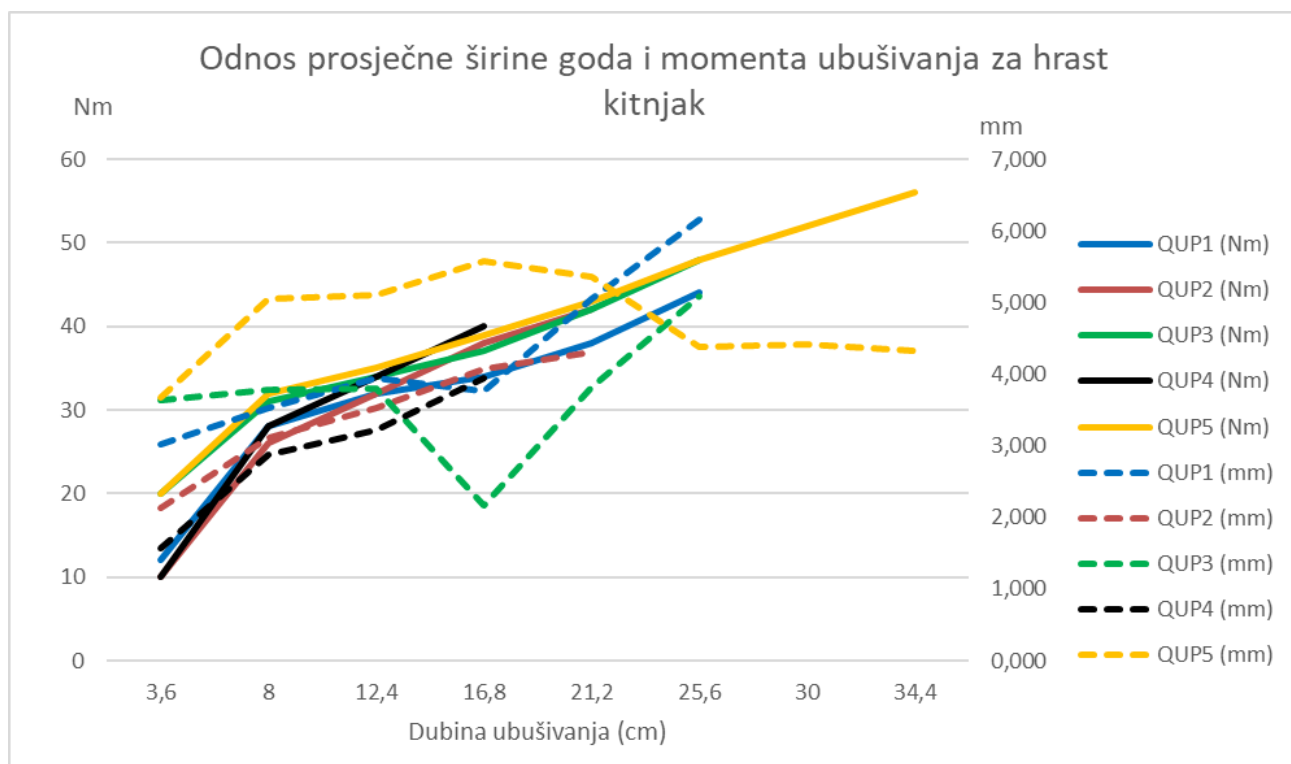
Na stablu FRA 4 (crno) između dubina ubušivanja od 3,6 i 8 cm momenti rastu od 12 Nm do 22 Nm, a prosječna se širina godova poveća od 1,5 mm do 3 mm. Dalje prema dubini od 12,40 cm moment padne na 21 Nm, a širina godova na 1,5 mm. Momenti dalje rastu sve do dubine od 21,20 cm, te dalje i stagniraju na 26 Nm. Prosječna širina goda isto raste, samo od 12,40 do 16,80 cm raste sporije (do 1,7 mm), a dalje do dubine od 25,60 cm naraste do 3,4 mm.

Slično kao na stablu FRA 2, na stablu FRA 5 (narančasto) između dubina ubušivanja od 3,6 do 8 cm moment raste (16-27 Nm), a prosječna širina goda pada (2,1 mm-2 mm). Na dubinama između 8 i 12,4 cm moment polako pada sa 27 na 26 Nm, dok prosječna širina goda naglo pada s 2 na 1,2 mm. Dalje prema dubini od 16,80 oboje rastu, moment od 26 do 29 Nm, a prosječna širina goda od 1,2 do 1,3 mm. Od 16,80 cm do 21,2 cm moment naraste na 34 Nm, a prosječna širina goda na 2,7 mm.

3.4.3. Hrast kitnjak

Tablica 28. Odnos prosječne širine goda i momenta ubušivanja za hrast kitnjak

QUP1			QUP2			QUP3			QUP4			QUP5		
Prosječna širina goda između 5 okretaja svrdla (mm)	Dubina ubušivanja (cm)	Moment sile(Nm) 5,15mm	Prosječna širina goda između 5 okretaja svrdla (mm)	Dubina ubušivanja (cm)	Moment sile(Nm) 5,15mm	Prosječna širina goda između 5 okretaja svrdla (mm)	Dubina ubušivanja (cm)	Moment sile(Nm) 5,15mm	Prosječna širina goda između 5 okretaja svrdla (mm)	Dubina ubušivanja (cm)	Moment sile(Nm) 5,15mm	Prosječna širina goda između 5 okretaja svrdla (mm)	Dubina ubušivanja (cm)	Moment sile(Nm) 5,15mm
3,54	8,00	28,00	3,11	8,00	26,00	3,77	8,00	31,00	2,88	8,00	28,00	5,04	8,00	32,00
3,94	12,40	32,00	3,52	12,40	32,00	3,80	12,40	34,00	3,22	12,40	34,00	5,10	12,40	35,00
3,76	16,80	34,00	4,08	16,80	38,00	2,17	16,80	37,00	3,95	16,80	40,00	5,58	16,80	39,00
5,04	21,20	38,00	4,31	21,20	42,00	3,81	21,20	42,00				5,35	21,20	43,00
6,15	25,60	44,00				5,08	25,60	48,00				4,39	25,60	48,00
												4,41	30,00	52,00
												4,33	34,40	56,00



Graf 24. Odnos prosječne širine goda i momenta ubušivanja za hrast kitnjak

Na stablu QUP 1 (plava) moment sile poraste s 12 Nm na 28 Nm od dubine 3,6 cm do 8 cm. Dalje prema dubini od 25,6 cm raste konstantno prema 44 Nm. Prosječna širina goda od 3,6 do 12,4 cm naraste od 3 do 3,9 mm. Između 12,4 i 16,8 cm dubine padne na 3,7 cm, pa opet poraste na 6,2 mm na dubini od 26,6 cm.

Za razliku od prvog stabla, na stablu QUP 2 (crvena) podjednako rastu i moment sile i prosječna širina goda. Između 3,6 i 8 cm rastu brže, moment od 10 do 26 Nm, a prosječna širina goda od 2,1 do 3,1 mm. Na dubinama od 8 do 16,8 cm rast uspori, moment raste od 26 do 38 Nm, a prosječna širina goda od 3,1 do 4,1 mm. Prema kraju izvrтка, na dubini od 21,2 cm rast je još više usporio. Moment je narastao do 42 Nm, a prosječna širina goda do 4,3 cm.

Kod stabla QUP 3 (zelena) u početku prosječna širina goda iznosi 3,8 mm i to sve do dubine od 12,4 mm, dalje prema dubini od 16,8 pada na 2,2 mm, a do dubine 25,6 cm naraste do 5,1 mm. Moment s druge strane u prvih par cm dubine (3,6-8 cm) brzo poraste, od 20 Nm do 31 Nm, no dalje prema dubini od 16,8 uspori rast (37 Nm). Dalje nastavi rast do 48 Nm do dubine od 25,6 cm.

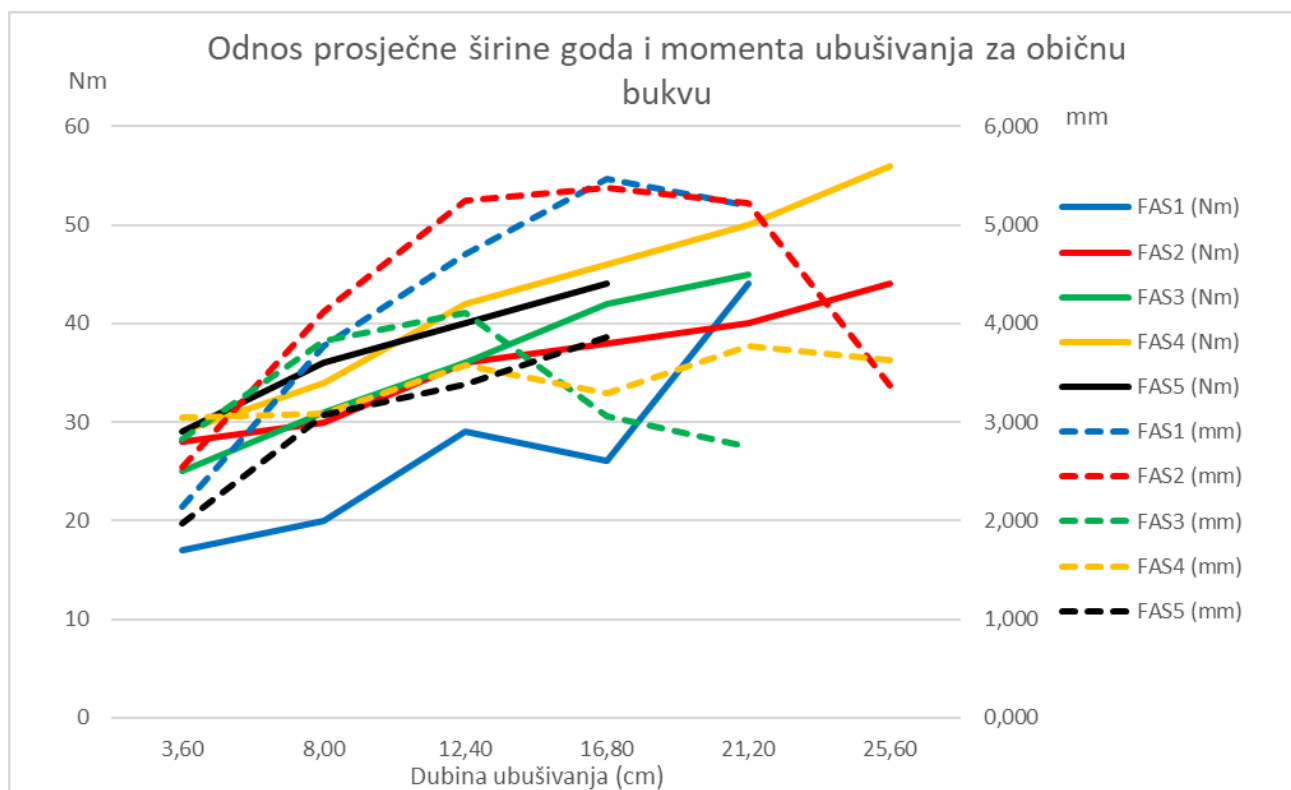
Na stablu QUP 4 (crna) moment i prosječna širina goda zajedno rastu od 3,6 do 8 cm dubine. Moment naraste od 10 na 28 Nm, a prosječna širina goda od 1,6 do 2,9 mm. Moment sile dalje nastavi stalni rast do dubine od 16,8 cm te dosegne 40 Nm, dok prosječna širina goda uspori rast i na dubini od 12,4 cm naraste do 3,2 mm. Dalje prema dubini od 16,8 cm ponovno ubrza rast i dosegne 4 mm.

I na stablu QUP 5 (narančasta) moment i prosječna širina goda rastu. Između 3,6 i 8 cm dubine moment naraste sa 20 na 32 Nm, a prosječna širina goda sa 3,7 na 5 mm. Između 8 i 12,4 cm dubine rast uspori i moment dosegne 35 Nm, a prosječna širina goda 5,1 mm. Moment dalje prema dubini od 24,4 cm raste jednoliko do 56 Nm. Između 12,4 i 16,8 cm dubine prosječna širina goda još malo naraste na 5,6 mm, ali nakon toga prema dubini od 21,2 cm prosječna se širina goda smanji na 5,4 mm. Do dubine od 25,6 cm padne do 4,4 mm i dalje do dubine od 34,4 cm ostane ista.

3.4.4. Obična bukva

Tablica 29. Odnos prosječne širine goda i momenta ubušivanja za običnu bukvu

FAS1			FAS2			FAS3			FAS4			FAS5		
Prosječna širina goda između 5 okretaja svrdla (mm)	Dubina ubušivanja (cm)	Moment sile(Nm) 5,15mm	Prosječna širina goda između 5 okretaja svrdla (mm)	Dubina ubušivanja (cm)	Moment sile(Nm) 5,15mm	Prosječna širina goda između 5 okretaja svrdla (mm)	Dubina ubušivanja (cm)	Moment sile(Nm) 5,15mm	Prosječna širina goda između 5 okretaja svrdla (mm)	Dubina ubušivanja (cm)	Moment sile(Nm) 5,15mm	Prosječna širina goda između 5 okretaja svrdla (mm)	Dubina ubušivanja (cm)	Moment sile(Nm) 5,15mm
3,77	8,00	20,00	4,12	8,00	30,00	3,82	8,00	31,00	3,09	8,00	34,00	3,07	8,00	36,00
4,70	12,40	29,00	5,25	12,40	36,00	4,11	12,40	36,00	3,58	12,40	42,00	3,39	12,40	40,00
5,47	16,80	26,00	5,38	16,80	38,00	3,06	16,80	42,00	3,29	16,80	46,00	3,86	16,80	44,00
5,20	21,20	44,00	5,22	21,20	40,00	2,75	21,20	45,00	3,78	21,20	50,00			
			3,37	25,60	44,00				3,62	25,60	56,00			



Graf 25. Odnos prosječne širine goda i momenta ubušivanja za običnu bukvu

Na stablu FAS 1 od 3,6 do 8 cm dubine zabilježen je rast momenta sile od 17 do 20 Nm, a prosječna širina goda raste od 2,1 do 3,8 mm. Moment sile dalje raste od 8 do 12,40 cm do 29 Nm, a onda do dubine od 16,80 cm padne na 26 Nm. Prosječna širina goda od 8 do 16,80 cm raste do 5,5 mm. Od 16,80 do 21,20 Nm moment raste do 44 Nm, a prosječna širina goda padne s 5,5 na 5,2 mm.

Od 3,6 do 8 cm dubine na stablu FAS 2 prosječna širina goda raste od 2,5 do 4,1 mm, dok moment raste od 28 do 30 Nm. Do dubine od 12,40 moment raste do 36 Nm, a prosječna širina goda do 5,3 mm. Na dubini od 16,8 cm godovi su u prosjeku široki 5,4 mm, a moment iznosi 38 Nm. Do 21,20 cm smanjuje se prosječna širina goda na 5,2 cm, a moment naraste do 40 Nm. Na dubini od 25,60 Nm moment je opet porastao, do 44 Nm, a prosječna širina goda je opala na 3,4 mm.

Na stablu FAS 3 moment konstantno raste od 3,6 do 16,8 cm dubine u rasponu od 25 do 42 Nm. Kako se dublje ubušuje svrdlo, do dubine od 21,20 moment i dalje raste, ali sporije, pa dosegne 45 Nm. Što se prosječne širine goda tiče, od 3,6 do 12,40 cm dubine raste od 2,8 do 4,1 mm. Od te dubine do 21,20 cm prosječna širina goda opadne do 2,8 mm.

Porast momenta sile na stablu FAS 4 kreće se od 3,6 do 8 cm dubine, od 29 do 34 Nm. Prosječna širina goda na toj dubini raste od 3 do 3,1 mm. Od 8 do 12,40 cm dubine moment naraste do 42 Nm, a prosječna širina goda do 3,6 mm. Prosječna širina goda krene se smanjivati od 12,4 do 16,8 cm dubine, a padne na 3,3 mm. Moment sile na istoj dubini poveća se na 46 Nm. Do dubine od 21,20 cm prosječna širina goda poraste do 3,8 mm, ali se opet nastavlja sve do dubine od 25,6 cm, a smanji se do 3,6 mm, dok se moment sile na istim dubinama poveća na 50 i 56 Nm.

Na stablu FAS 5 rastu i moment sile i prosječna širina goda, od 29 do 36 Nm i od 2 do 3,1 mm na dubinama od 3,6 do 8 cm. Moment nastavlja kontinuirano rasti do dubine od 16,8 cm kada dostigne 44 Nm. Prosječna širina goda također poraste, od 3,4 mm na dubini od 12,40, do 3,9 mm na dubini od 16,8 cm.

Kada se prikaže odnos momenta sile i prosječne širine goda na samo jednom stablu, u većini se slučajeva ne može primijetiti utjecaj širine goda na rast momenta sile u stablu. Međutim, nađu se i izuzetci, poput stabla hrasta lužnjaka, konkretno QUR 3, u kojemu pri padu širine goda i povećanjem gusto zbijenih slojeva kasnog drva, moment sile poraste, jer je otpor koji takvo drvo pruža veći od onoga s većim godovima. Ostala stabla, poput poljskog jasena, konkretno FRA 3, na kojemu širina goda i raste i pada u odnosu na rast momenta sile, ne daje pravu sliku utjecaja. Na bukvi koja je difuzno porozna vrsta, iz grafa možemo vidjeti da godovi stabala FAS 1 i FAS 2 mogu biti prilično slične prosječne širine, a da su razlike u kretanjima moment sile i više od 10 Nm.

Međutim, kada se na graf stavi više stabala iste vrste, lako se može uočiti da stabla s većim prosječnim širinama goda imaju slabiji porast momenta sile. To je uočljivije kod poljskog jasena i obične bukve, za razliku od hrastova. Kada se pogleda graf odnosa prosječne širine goda i momenta ubušivanja za hrast lužnjak (graf 13.), može se uočiti da prosječne širine goda stabala QUR 1 i QUR 2 dosežu i preko 5 mm, dok za stabla QUR 3 i QUR 4 prosječne širine godova iznose do 3,4 mm. Momenti sile stablima QUR 1 i QUR 2 rastu slabije za razliku od QUR 3 i QUR 4. Primjerice na dubini od 34,40 cm, moment sile za stablo QUR 1 iznosi 34 Nm, za QUR 2, 30 Nm, dok za QUR 3 i QUR 4 on iznosi 36 Nm. Na grafu 15. vidljivi su primjeri hrasta kitnjaka koji dokazuju ovu tezu su QUP 4 i QUP 5. Stablo QUP 4 većinu prosječnih širina godova ima u vrijednostima ispod 4 mm, dok stablo QUP 5 većinu vrijednosti ima iznad 5 mm. Vrijednost momenta sile na dubini od 3,6 cm za stablo QUP 5 iznosi 20, a za QUP 4 10 Nm, čak duplo manje. Međutim, zbog širih godova, na dubini od 16,80 cm za QUP 4 ono iznosi 40 Nm, dok za QUP 5 ono iznosi 39 Nm. Graf 14. prikazuje primjere stabla poljskog jasena. Stablo koje ima velike prosječne širine godova, a kao rezultat toga manje momente sile je FRA 3, dok je njegova suprotnost FRA 2. Prosječna širina goda na dubini od 8cm za stablo FRA 3 iznosi 4,19 mm, dok za FRA 2 iznosi 1,5 mm. Kao rezultat toga, iznosi moment sile na istoj dubini iznose 18 Nm za stablo FRA 3, i 28 Nm za stablo FRA 2. Primjeri bukve (graf 16) koji dokazuju tezu su FAS 2 i FAS 4. Prosječna širina goda na dubini od 21,20 cm iznosi 5,22 mm za stablo FAS 2, a za stablo FAS 4 ona iznosi 3,78 mm. Moment sile pak za stablo FAS 2 na istoj dubini iznosi 40 Nm, a za stablo FAS 4 50 Nm.

3.4.5. Korelacija širine goda (mm) i momenta sile (Nm)

Tablica 30. Korelacijski koeficijenti momenta sile (Nm) i širine goda (mm) za korištena svrdla po vrstama drveća

Vrsta	Svrdlo	Korelacija
QUR	Haglölf 5,15mm	0,566
	Haglölf 10mm	0,416
QUP	Haglölf 5,15mm	0,663
	Djos 5,15mm	0,577
FRA	Haglölf 5,15mm	0,203
	Djos 5,15mm	0,493
FAS	Haglölf 5,15mm	0,165
	Haglölf 10mm	0,335

Osim dubine ubušivanja i momenta, statističkom analizom korelacije uspoređeni su i moment sile s prosječnom širinom goda. Vrijednosti korelacije momenta i širine goda manje su od korelacija momenta i dubine ubušivanja, zbog toga što širine godova variraju od stabla do stabla, i njihov rast ne prati rast momenta sile. Sve su korelacije statistički značajne, a najmanju korelaciju ima svrdlo Haglölf 5,15mm na običnoj bukvi (0,165), dok najveću ima svrdlo Haglölf 5,15mm na hrastu kitnjaku (0,663).

3.5. Regresija

3.5.1. Regresija za moment sile i dubinu ubušivanja po vrstama i svrdlu

U nastavku su prikazani linearni regresijski modeli za procjenu momenta sile u ovisnosti o dubini ubušivanja po svrdlima i vrstama drveća te rezultati predikcije momenta sile za dubine od 50, 75 i 100 cm na temelju regresijskih modela.

QR – Haglöf 5,15mm

Tablica 31. Regresijska analiza za moment sile u ovisnosti o dubini ubušivanja za svrdlo Haglöf 5,15mm, hrast lužnjak

N=44	VRSTA=QR, SVRDLO=Haglof 5,15mm R= 0,872 R2= 0,7605 Adjusted R2= 0,7548 F(1,42)=133,37, p <0,01			
	b	Std. Err. of b	t(42)	p-value
Odsječak na y osi	17,856			
Dubina ubušivanja (cm)	0,465	0,040	11,548	0,0000

Tablica 32. Izračun predikcije momenta na dubinama od 50, 75 i 100 cm za svrdlo Haglöf 5,15mm, hrast lužnjak

Dubina ubušivanja (cm)	Moment sile (Nm)	Donja granica intervala (-95%) (Nm)	Gornja granica intervala (+95%) (Nm)
50	41,12	38,59	43,65
75	52,75	48,30	57,20
100	64,39	57,94	70,83

QR – Haglöf 10mm

Tablica 33. Parametri za izračunavanje regresije momenta za svrdlo Haglöf 10mm, hrast lužnjak

N=40	VRSTA=QR, SVRDLO=Haglof 10mm R= 0,795 R2= 0,632 Adjusted R2= 0,622 F(1,38)=65,267, p<0,01			
	b	Std.Err. of b	t(38)	p-value
Odsječak na y osi	35,876			
Dubina ubušivanja (cm)	0,898	0,111	8,078	0,000

Tablica 34. . Izračun predikcije momenta na dubinama od 50, 75 i 100cm za svrdlo Haglöf 10mm, hrast lužnjak

Dubina ubušivanja (cm)	Moment sile (Nm)	Donja granica intervala (-95%) (Nm)	Gornja granica intervala (+95%) (Nm)
50	80,75	73,39	88,10
75	103,19	90,36	116,01
100	125,62	107,24	144,01

QUP – Haglöf 5,15mm

Tablica 35. Parametri za izračunavanje regresije momenta za svrdlo Haglöf 5,15mm, hrast kitnjak

N=29	VRSTA=QUP, SVRDLO=Haglof 5,15mm R= 0,939 R2= 0,882 Adjusted R2= 0,877 F(1,27)=202,25, p<0,01			
	b	Std.Err. of b	t(27)	p-value
Odsječak na osi y	14,947			
Dubina ubušivanja (cm)	1,282	0,090	14,221	0,000

Tablica 36. Izračun predikcije momenta na dubinama od 50, 75 i 100cm za svrdlo Haglöf 5,15mm, hrast kitnjak

Dubina ubušivanja (cm)	Moment sile (Nm)	Donja granica intervala (-95%) (Nm)	Gornja granica intervala (+95%) (Nm)
50	79,08	72,39	85,77
75	111,15	99,90	122,39
100	143,21	127,37	159,05

QUP – Djos 5,15 mm

Tablica 37. Parametri za izračunavanje regresije momenta za svrdlo Djos 5,15mm, hrast kitnjak

N=19	VRSTA=QUP, SVRDLO=Djos 5,15mm R= 0,940 R2= 0,884 Adjusted R2= 0,877 F(1,17)=129,84, p<0,01			
	b	Std.Err. of b	t(17)	p-value
Odsečak na osi y	12,652			
Dubina ubušivanja (cm)	1,871	0,164	11,394	0,000

Tablica 38. Izračun predikcije momenta na dubinama od 50, 75 i 100cm za svrdlo Djos 5,15mm, hrast kitnjak

Dubina ubušivanja (cm)	Moment sile (Nm)	Donja granica intervala (-95%) (Nm)	Gornja granica intervala (+95%) (Nm)
50	106,22	93,45	118,99
75	153,01	131,71	174,31
100	199,79	169,88	229,70

FRA – Haglöf 5,15mm

Tablica 39. Parametri za izračunavanje regresije momenta za svrdlo Haglöf 5,15mm, poljski jasen

N=32	VRSTA=FRA, SVRDLO=Haglof 5,15mm R= 0,775 R2= 0,601 Adjusted R2= 0,587 F(1,30)=45,236, p<0,01			
	b	Std.Err. of b	t(30)	p-value
Odsječak na osi y	15,645			
Dubina ubušivanja (cm)	0,619	0,092	6,725	0,000

Tablica 40. Izračun predikcije momenta na dubinama od 50, 75 i 100cm za svrdlo Haglöf 5,15mm, poljski jasen

Dubina ubušivanja (cm)	Moment sile (Nm)	Donja granica intervala (-95%) (Nm)	Gornja granica intervala (+95%) (Nm)
50	46,64	40,01	53,24
75	62,14	50,94	73,34
100	77,64	61,77	93,50

FRA – Djos 5,15 mm

Tablica 41. Parametri za izračunavanje regresije momenta za svrdlo Djos 5,15mm, poljski jasen

N=22	VRSTA=FRA, SVRDLO=Djos 5,15mm R= 0,929 R2= 0,863 Adjusted R2= 0,856 F(1,20)=126,75, p<0,01			
	b	Std.Err. of b	t(20)	p-value
Odsječak na osi y	12,045			
Dubina ubušivanja (cm)	1,213	0,107	11,258	0,000

Tablica 42. Izračun predikcije momenta na dubinama od 50, 75 i 100cm za svrdlo Djos 5,15mm, poljski jasen

Dubina ubušivanja (cm)	Moment sile (Nm)	Donja granica intervala (-95%) (Nm)	Gornja granica intervala (+95%) (Nm)
50	72,72	64,86	80,58
75	103,06	89,71	116,40
100	133,39	114,48	152,30

FAS – Haglöf 5,15mm

Tablica 43. Parametri za izračunavanje regresije momenta za svrdlo Haglöf 5,15mm, obična bukva

N=26	VRSTA=FAS, SVRDLO=Haglof 5,15mm R= 0,812 R2= 0,660 Adjusted R2= 0,646 F(1,24)=46,677, p<0,01			
	b	Std.Err. of b	t(24)	p-value
Odsječak na osi y	21,838			
Dubina ubušivanja (cm)	1,085	0,158	6,832	0,000

Tablica 44. Izračun predikcije momenta na dubinama od 50, 75 i 100cm za svrdlo Haglöf 5,15mm, obična bukva

Dubina ubušivanja (cm)	Moment sile (Nm)	Donja granica intervala (-95%) (Nm)	Gornja granica intervala (+95%) (Nm)
50	76,13	63,81	88,45
75	103,28	82,84	123,72
100	130,43	101,83	159,03

FAS – Haglöf 10mm

Tablica 45. Parametri za izračunavanje regresije momenta za svrdlo Haglöf 5,15mm, obična bukva

N=26	VRSTA=FAS, SVRDLO=Haglof 10mm R= 0,838 R2= 0,703 Adjusted R2= 0,690 F(1,24)=56,820, p<0,01			
	b	Std.Err. of b	t(24)	p-value
Odsječak na osi y	44,536			
Dubina ubušivanja (cm)	1,682	0,223	7,537	0,000

Tablica 46. Izračun predikcije momenta na dubinama od 50, 75 i 100cm za svrdlo Haglöf 10mm, obična bukva

Dubina ubušivanja (cm)	Moment sile (Nm)	Donja granica intervala (-95%) (Nm)	Gornja granica intervala (+95%) (Nm)
50	128,67	170,74	212,80
75	170,74	141,99	199,49
100	212,80	172,58	235,02

Regresijskom analizom izračunati su parametri za svaku vrstu i tip svrdla posebno, pomoću kojih se računalo predviđanje (porasta) momenta sile s obzirom na određenu dubinu ubušivanja. Svi su modeli statistički značajni.

Za svrdlo Haglöf 5,15mm na hrastu lužnjaku predviđeno je da će na dubini od 50 cm moment biti 41,12 Nm, na 75 cm 52,75 Nm, a na 100 cm 64,39 Nm. Za svrdlo Haglöf 10mm predviđen je moment od 80,75 Nm na 50 cm dubine, 103,19 Nm na 75 cm dubine i 125,62 Nm na 100 cm dubine.

Za svrdlo Haglöf 5,15mm na hrastu kitnjaku očekuje se 79,08 Nm na 50 cm dubine, 111,15 Nm na 75 cm dubine, te 143,21 Nm na 100 cm dubine. Za Djos 5,15mm na 50 cm očekuje se 106,22 Nm, na 75 cm 153,01 Nm i na 100 cm 199,79 Nm.

Na poljskom jasenu se na svrdlu Haglöf 5,15mm očekuje 46,64 Nm na 50 cm, 62,14 Nm na 75 cm, a 77,64 Nm na 100 cm dubine ubušivanja. Na svrdlu Djos 5,15mm na dubini od 50 cm očekuje se moment od 72,72 Nm, na 75 cm 103,06 Nm, te na 100 cm 133,39 Nm.

Za Haglöf 5,15mm svrdlo se na običnoj bukvi na 50 cm ubušivanja očekuje 76,13 Nm momenta, na 75 cm 103,28 Nm i na 100 cm 130,43 Nm. Za deblje svrdlo, Haglöf 10mm, na 50 cm može se očekivati moment sile od 128,67 Nm, na 75 cm 170,74 Nm, a na 100 cm dubine ubušivanja moment od 212,80 Nm.

Na svrdlu Haglöf 5,15mm najveći moment sile na dubini od 100 cm može se očekivati na hrastu kitnjaku (143,21 Nm), dok se najmanji moment može očekivati na hrastu lužnjaku (64,39 Nm). Na običnoj bukvi za svrdlo Haglöf 10mm na dubini od 100 cm trebat će 212,80Nm, dok će za isto svrdlo i u istoj dubini na hrastu lužnjaku biti potrebno 125,62 Nm. Svrdlo Djos bi na dubini od 100 cm manji moment trebalo na poljskom jasenu (133,39 Nm), a veći na hrastu kitnjaku (199,79 Nm.)

4. ZAKLJUČAK

Prilikom uzorkovanja stabala, očekivana (teorijska) dubina ubušivanja ne poklapa se sa stvarnom dubinom, ovisno od stabla do stabla zbog toga što ne istiskuje svako stablo jednako. Prosječna istiskanost (odnos stvarne i teorijske dubine ubušivanja) za svrdlo Haglöf 5,15 mm iznosi 6%, za svrdlo Haglöf 10mm 7%, a za svrdlo Djos 5,15mm 6%. Pri obradi podataka korištena je teorijska dubina ubušivanja, zbog grupiranja pri analizama. Dokazano je da je najveći prosječni moment sile za ubušivanje svrdla Haglöf 5,15mm potreban na običnoj bukvi (36,039 Nm), a najmanji na poljskom jasenu (25,719 Nm). Usporedbom prosječne širine goda i očitanih momenata sile utvrđeno je da potreban moment sile raste sporije na stablima sa širim godovima, za razliku od stabala s užim godovima, naravno pod uvjetom da je stablo dobrog zdravstvenog stanja. Razlika u smanjenju momenta sile pod utjecajem širine godova vidljivija je na običnoj bukvi i poljskom jasenu nego na hrastovima. Primjerice stablo FRA 3 na dubini od 21,20 cm ima prosječnu širinu goda 2,30 mm i moment sile 24 Nm, dok stablo FRA 2 na istoj dubini ima prosječnu širinu goda 2,08 mm, a potreban moment za ubušivanje 35 Nm. Statističkom je analizom regresije izračunata prognoza kretanja moment sile kroz dubinu ubušivanja, i to za 50, 75 i 100 cm. Najmanje se vrijednosti mogu očekivati na hrastu lužnjaku za svrdlo Haglöf 5,15mm, i to 41,1 Nm na 50 cm dubine, 52,8 Nm na 75 cm dubine i 64,4 Nm na 100 cm dubine. Najveće se pak vrijednosti mogu očekivati na običnoj bukvi za svrdlo Haglöf 10mm i to 128,7 Nm na 50 cm, 170,7 Nm na 75 cm, i 212,8 Nm na 100 cm dubine. Pomoću koeficijenta smjera moguće je prognozirati kretanje momenta na bio kojoj dubini ubušivanja.

Očekivano je bilo da će momenti sile rasti kontinuirano s porastom dubine ubušivanja, no nije bilo očekivano da će širina goda toliko utjecati na brzinu porasta momenta sile. Ovo otkriće može poslužiti dendrokronolozima i dendroklimatolozima u prognoziranju očekivanog momenta sile na temelju odnosa starosti i debljine stabla, to jest, ako je stablo raslo brže, ima šire godove i očekivani manji porast potrebnog momenta sile. Podatci o momentima sile mogu se upotrijebiti u novim istraživanjima vezanih uz strojarstvo i elektrotehniku, u obliku izgradnje prototipa bušilice koja bi zamijenila dosadašnji spoj akumulatorske bušilice i mjenjača s planetarnim reduktorima.

5. LITERATURA

Burić, I. Uvod u deskriptivnu i inferencijalnu statistiku, odjel za psihologiju, Sveučilište u Zadru, powerpoint prezentacija <https://www.unizd.hr/Portals/12/Nastavnici/Irena%20Buric/Uvod%20u%20deskriptivnu%20i%20inferencijalnu%20statistiku.pdf> (pristupljeno 1.12.2024.)

Djos increment borer, Haglof Sweden https://haglofsweden.com/wp-content/uploads/2022/06/Djos-Borer_EN.pdf (pristupljeno 28.11.2024.).

Instruction for use increment borer Suunto 300mm/400mm https://www.promat.hk/cfolder/promat/Library/Tree/Catalog_and_Manual/Tree_Inspection/IML/Increment_Borer.pdf (pristupljeno 28.11.2024.).

Instructions for using the Lintab measuring table and the Tsaprogramme. https://slunik.slu.se/kursfiler/SG0179/20064.1819/Instruktioner_anvandning_av_matstationen_och_tsap_win_2018.pdf (pristupljeno 17.11.2024.).

Internet archive, Der Zeitmessknecht oder der Messknecht als Normaluhr ein Brieftascheninstrument und Tabellenwerk zur leichten und bequemen Messung der Zeit und Stellung der Uhren nach der Sonne, sowie zur vereinfachten Ausführung mannigfaltiger bürgerlicher, technischer und wissenschaftlicher Messungs und RechnungsArbeiten für Forst und Lan https://archive.org/details/bub_gb_S5k5AAAacAAJ (pristupljeno 15.11.2024.).

Irler, W. J. 2012: The Double Use of a Graphical Card-Board Logarithm Table: The Pressler „Ingenieur-Messknecht“ (Measurement Servant) from 1852. https://www.rechnerlexikon.de/it/upload/8/8f/Messknecht_IM2012_WJI.pdf (pristupljeno 15.11.2024.).

Kagawa, A., Fujiwara, T., 2018: Smart increment borer: a portable device for automated sampling of tree-ring cores, Journal of Wood Science, 64: 52–58. <https://doi.org/10.1007/s10086-017-1668-6> (pristupljeno 28.11.2024.).

Kruz, V. 1969: Moment sile <https://svafizika.org/2017/04/19/sta-je-to-moment-sile/> (pristupljeno 1.9.2024.).

Mattson increment borer, Haglof Sweden <https://haglofsweden.com/wp-content/uploads/2021/03/Mattson-Borers-Product-sheet-ENU.pdf> (pristupljeno 28.11.2024.).

Max Pressler https://en.wikipedia.org/wiki/Max_Pressler (pristupljeno 5.9.2024.).

Nastavno pokusno šumski objekti, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, Zagreb, Internet stranica <https://www.sumfak.unizg.hr/hr/sumarski-odsjek/zavod-za-npso/npso-zagreb/> (pristupljeno 10.9.2024.).

Palakit, K., Siripattanadilok, S., Duangsathaporn K., 2012: False ring occurrences and their identification in Teak (*Tecona grandis*) in north-eastern Thailand, Journal of Tropical Forest Science 24(3): 387–398 <https://www.frim.gov.my/v1/JTFSONline/jtfs/v24n3/387-398.pdf> (pristupljeno 5.9.2024.).

Prirasna svrdla Haglöf Sweden <https://haglofsweden.com/project/increment-borers/> (pristupljeno 5.9.2024.).

Rinntech, Technology for wood and tree analysis <https://www.rinntech.com/index-52147.html> (pristupljeno 17.11.2024.).

Stokes, M.A., Smiley, T.L., 1996: An Introduction to tree-ring dating, the University of Arizona Press, Tucson, 5-10.

Suunto increment borers users guide https://ns.suunto.com/Manuals/Increment_Borers/Userguides/Increment_Borers_Users_Guide_multi.pdf (pristupljeno 28.11.2024.).

TIBCO Software Inc. (2020). Data Science Workbench, version 14. <http://tibco.com>.

Top Alati 2020: Sedam stvari koje biste trebali znati o vašem moment ključu <https://top-alati.hr/sedam-stvari-koje-biste-trebali-znati-o-vasem-moment-kljucu> (pristupljeno 10.9.2024.).

Ujević, M. 1945: Drvo, Hrvatska enciklopedija, Svezak V, Hrvatski izdavački bibliografski zavod, Zagreb (stranice 289-321) <https://hemu.lzmk.hr/natuknica.aspx?ID=12948> (pristupljeno 5.9.2024.).