



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU - ŠUMARSKI FAKULTET
ZAVOD ZA ŠUMARSKE TEHNIKE I TEHNOLOGIJE

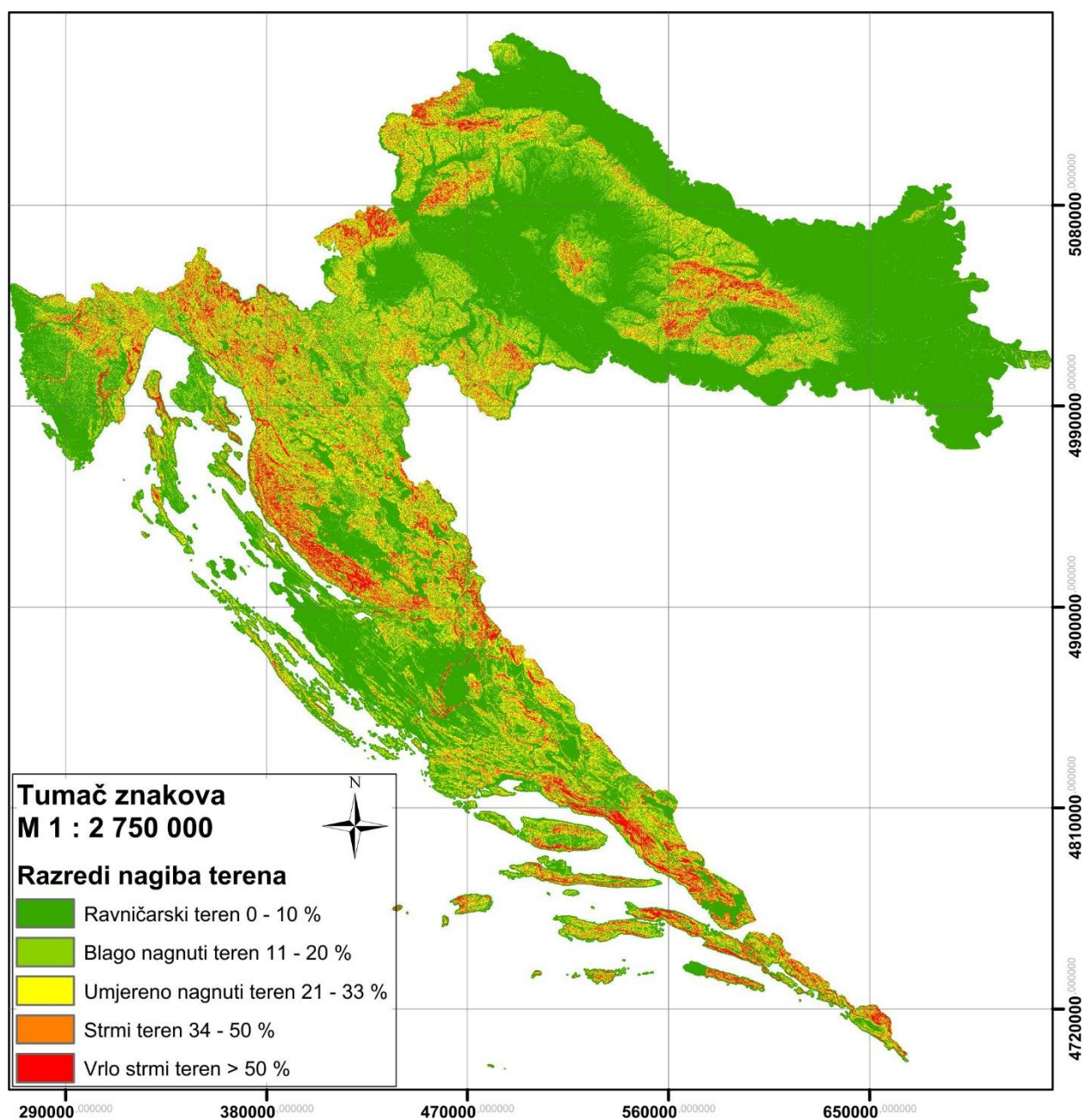


Svetošimunska 25

10000 Zagreb

Projekt: Optimizacija sustava pridobivanja drva i šumske prometne infrastrukture na strateško-taktičkoj razini planiranja

Polugodišnje izvješće: od 1. siječnja 2018. do 1. lipnja 2018.



Uvod

Za prvo polugodište 2018. godine planirane su u prethodnom polugodišnjem izvješću slijedeće glavne aktivnosti:

1. Nastavak terenskih istraživanja glavnoga pokusa u cilju prikupljanja podataka neophodnih za vrednovanje ekoloških pokazatelja, kao i prikupljanje preostalih nužnih podataka;
2. Intenzivan rad na obradi prikupljenih podataka, dovršetak obrada i analiza započelih u prethodnom izvještajnom razdoblju te provođene aktivnosti u cilju postizanja rezultata planiranih radnim planom Projekta;
3. Angažman članova istraživačkog tima na polju diseminacije rezultata Projekta; nastavak aktivnosti vezanih za sudjelovanje na međunarodnim i domaćim stručnim i znanstvenim skupovima te objave stručnih i znanstvenih članaka.

1. Glavni pokus – GJ »Bjelovarska Bilogora«, odsjeci 14b i 14c – Primjena strojne sječe i izrade u proredi bjelogoričnih sastojina

Tijekom izvještajnoga razdoblja završena su terenska istraživanja utjecaja primjene istraživanoga sustava pridobivanja drva na sastojinu s posebnim naglaskom na oštećivanje preostalih dubećih stabala. Evidentirane su visine panjeva harvesterom posječenih stabala i uspoređene s propisanim visinama panjeva u istraživanoj sječini.

Obrađeni su i analizirani podaci o računalnom mjerenju i evidenciji izrađenih drvnih sortimenata harvesterom te su isti uspoređeni s propisanim načinom izmjere drvnih sortimenata. Analiziran je i stupanj potrebe dorade harvesterom izrađenih sortimenata.

1.1 Štete na dubećim stablima

Negativni su ekološki učinci zbog oštećivanja sastojina uporabom strojeva pri šumskim radovima predmet mnogobrojnih istraživanja, rasprava i različitih ocjenjivanja (Poršinsky i dr. 2004). Autori koji su proučavali navedenu problematiku suglasni su da ne postoji mogućnost obavljanja šumskih radova bez oštećivanja okoliša unatoč svim mjerama zaštite (Martinić 2000). Spinelli (1994) zaključuje da je obujam oštećenja u uskoj vezi s radnim sredstvima, kakvoćom organizacije rada, pogodnošću radnih metoda u konkretnim terenskim uvjetima te kakvoćom radne tehnike izvoditelja šumskih radova. Primjerice, kod privlačenja drva obujam oštećivanja raste s porastom dimenzija i snage strojeva, stupnjem mehaniziranosti rada i duljinama privlačene oblovine (Martinić 1991). Većina istraživača smatra da je broj mehanički oštećenih stabala dobar pokazatelj ukupnog oštećenja sastojine, a navedene se štete mogu razmjerno jednostavno i točno odrediti (Martinić 2000). Mehanička oštećenja stabla se najčešće klasificiraju kao izvaljeno i/ili polomljeno stablo, polomljene grane te oštećenja kore (nagnječena kora, oguljena kora). Dok izvala ili lom stabla kao posljedice imaju doznaku stabala u kategoriji ad stabala i sječu istih tijekom redovitih radova pridobivanja drva u predmetnoj sječini, oštećenja kore dubećih stabala ostavljaju dugotrajne i ponekad neizvjesne posljedice po oštećena stabla i cijelu sastojinu. Naime, oštećenja kore predstavljaju otvore na stablu kroz koje je ono pristupačno zarazi uzročnicima truleži drva (Poršinsky i Ožura 2006), što može imati dalekosežne posljedice na kakvoću budućih drvnih sortimenata, ali i na stabilnost cijele sastojine. Pri tome, ozljede kore do 10 cm² površine, za razliku od većih ozljeda kod kojih se s povećanjem površine ozljede povećava i rizik od zaraze, u pravilu ne predstavljaju značajnu opasnost, jer stablo vrlo brzo kalusira nastalu ozljedu čime je smanjena mogućnost zaraze sporama gljiva (Meng 1978).

Istraživanja šteta na dubećim stablima u hrvatskom šumarstvu intenziviraju se devedesetih godina prošloga stoljeća, u trenutku kada uvođenjem modernih sredstava rada za primarni transport drva i modifikacijom tradicionalnih metoda pridobivanja drva u cilju povećanja proizvodnosti rada postaje primjetan i trend porasta oštećivanja stabala. Nažalost, opsežna istraživanja koja provode Martinić

(1990) i Vuletić (1996) nisu rezultirala uspostavom referentnih vrijednosti prihvatljivih razina oštećivanja dubećih stabala, a rezultati stranih autora ograničene su primjene u našim uvjetima (prvenstveno s obzirom na istraživane vrste). Sustavni pristup vrednovanja razine oštećivanja dubećih stabala, čiji izostanak i danas predstavlja ozbiljan izazov šumarskoj struci, u narednim će godinama očekivanim značajnijim korištenjem mehaniziranih sustava pridobivanja drva postati nužan preduvjet za pravilan odabir sječina u kojima je strojna sječa i izrada poželjna alternativa postojećem načinu rada. Do tog trenutka, okvirnu predodžbu o razini oštećenja dubećih stabala pružaju nam samo rezultati pojedinih znanstvenih istraživanja.

Ivanek (1976) utvrđuje da privlačenje konjskom spregom uzrokuje oštećenje na 15 % stabala, privlačenje oblog drva adaptiranim traktorom 15,9 %, a privlačenje zglobnim traktorom 14,5 %. Doležal (1984) utvrđuje da ozljede na pridanku i deblu imaju za posljedicu smanjenje novčane vrijednosti sortimenata i do 20 %. Južinić (1984) u bukovim sastojinama starosti 30 – 60 godina utvrđuje oštećenja na 9,4 % stabla pri sortimentnoj metodi rada, te 22,8 % pri deblovnoj metodi rada. Krznar i dr. (1989) utvrđuju da tijekom provođenja šumsko-uzgojnog zahvata prorede dolazi do ozljede na 18 % stabala. Ozljede ploštine 1–500 cm² zastupljene su na 58 – 89 % ozlijeđenih stabala, a ozljeda u obliku oguljene kore na 95 % stabala nalazila se na prvom metru debla.

Martinić (1990) provodi istraživanje u gospodarskoj jedinici »Novigradska planina«, u mješovitoj sastojini hrasta, bukve i graba starosti 47 godina. Drvena zaliha iznosi 155 m³/ha, a broj stabala 750 kom/ha. U sastojini se nalaze traktorske vlake, a srednja udaljenost privlačenja iznosi 350 m. Prilikom istraživanja postavljene su 24 plohe koje čine približno 10 % površine istraživanog odjela. Obzirom na ukupni opseg oštećenja, nakon provedenih radova utvrđene su štete na 8,16 % stabala. Promatrajući uzrok oštećenja, utvrđeno je da su radovi na privlačenju drva najčešći uzrok oštećivanja stabala i da je 53,17% svih oštećenja uzrokovano sredstvom privlačenja ili vučenim tovarom. Oštećenja prilikom sječe i izrade odnosila su se na veliki broj zaustava prilikom obaranja, što je uzrokovalo lomljenje grana ili cijelih stabala. Prema vrsti oštećenja, u provedenoj analizi, utvrđeno je da najveće učešće zauzima oštećenje u obliku oguljene kore s 48 %, zatim zgnječena kora 37 %, lom-izvala 13 % i lom grana 2 %. Budući da su traktori prilikom formiranja tovara silazili s traktorskih vlaka, značajna oštećenja nastala su na 61,46 % stabala zbog privlačenja izvan vlaka u sastojini. Prema mjestu oštećenja na stablu, najveću zastupljenost ima oštećenje žilišta s 71,46 %, a preostalih 19 % otpada na deblo, krošnju i korijen. Daljnjom analizom došlo se do zaključka da je broj polomljenih grana značajno veći pri izvođenju radova na sječi i izradi stabala, a da je udio stabala s oguljenom korom veći kod privlačenja drva. S gledišta gospodarske važnosti prilikom privlačenja drva, oštećivana su korisna stabla, a kod sječe, gospodarski nevažna stabla. S obzirom na posljedice oštećivanja, utvrđeno je da oštećenja prilikom sječe imaju značajno veće posljedice nego oštećenja pri privlačenju. Utvrđeno je da pri sječi čak 20,3 % oštećenih stabala ima za posljedicu vrlo teško oštećenje.

Krpan i dr. (1993) provode istraživanje u nizinskim sastojinama. Tijekom faze privlačenja drva traktorima došlo je do ozljeda na 38,5 % preostalih stabala u sastojini. Utvrđen je gubitak volumnog prirasta dominantnog sloja za 4,7 % godišnje u odnosu na neozlijeđena stabla. Prema mjestu ozljede većina ih se nalazi na deblu (58 %), a do visine od 1,5 m iznad tla nalazi se 76 %. S obzirom na veličinu ozljede, 74 % ozljeda ima ploštinu veću od 500 cm². Na pojedinom oštećenom stablu u prosjeku se nalazi 1,5 ozljeda.

Vondra i Bogojević (1994) prilikom prorede stare sastojine kitnjaka i bukve, tijekom izvođenja radova obaranja stabala utvrđuju pojavnost ozljeda na 45 % stabala, odnosno 33 teško ozlijeđena stabla po hektaru. Prilikom radova na privlačenju drva utvrđeno je da 88 % svih ozljeda dolazi pri vuči tereta.

Vuletić (1996) provodi istraživanja u sastojinama hrasta lužnjaka s ciljem utvrđivanja na koji način ozljeda, ovisno o vrsti, mjestu i veličini, utječe na kakvoću drva te kakvi i koliki gubici se mogu očekivati i što se na temelju saznanja o posljedicama ozljeđivanja može očekivati u budućnosti. Postotni udio ozlijeđenih stabala između pojedinih pokusnih ploha je vrlo varijabilan i kreće se u rasponu od 27,6 – 66,7 %, dok je na razini svih ozlijeđenih i neozlijeđenih stabala 46,6 %. S obzirom na mjesto ozljede najviše su oštećena debela sa 37,6 %, zatim korijen 34,3 % i pridanak s 28,1 %.

Prema veličini ozljede najzastupljenije su one do 500 cm² (65,8 %), zatim od 501 – 1000 cm² (21,7 %), te iznad 1001 cm² (12,5 %). Tijekom daljnje razrade podataka utvrđeno je da 40 % ozljeda pripada u grupu ozbiljnih oštećenja (površine iznad 500 cm²). Takve ozljede značajno utječu na daljnji razvoj stabla u fiziološkom pogledu, ali uzrokuju i ekonomske gubitke radi smanjenja kvalitete sortimenta.

Poršinsky i dr. (2004) istražuju oštećenja dubećih stabala tvrdih listača pri sječi i izradi drva harvesterom u sječini starosti 80 godina, drvene zalihe 323 m³/ha na 449 stabla/ha te utvrđuju ukupno oštećenih 29,5 stabala/ha (odnosno 6,4 % preostalih stabala nakon sječe).

Poršinsky i Ožura (2006) pri istraživanju oštećivanja dubećih stabala pri izvoženju drva forvarderom u sječini hrasta lužnjaka starosti 99 godina, drvene zalihe 398 m³/ha na 183 stabla/ha utvrđuju intenzitet štete u iznosu 2,5 stabla/ha, odnosno svega 1,5 % preostalih stabala nakon sječe.

Prethodno proučena literatura predstavljala je osnovu pri planiranju pokusa tijekom provođenja istraživanja šteta na dubećim stablima nakon primjene mehaniziranog sustava pridobivanja drva u istraživanim 14b i 14c odsjeku.

Prva je izmjera s ciljem utvrđivanja šteta na dubećim stablima provedena neposredno nakon provođenja radova sječe i izrade harvesterom te izvoženja forvarderom na primjernim prugama na kojima su doznačena i obrojčana stabla predstavljala uzorak za utvrđivanje ovisnosti neto obujma stabla o prsnom promjeru stabla. Primarni je cilj ovih istraživanja bio utvrditi uzrok oštećenja, odnosno udio stabala oštećenih pri sječi i izradi stabala harvesterom te stabala oštećenih prilikom izvoženja drvnih sortimenata forvarderom.

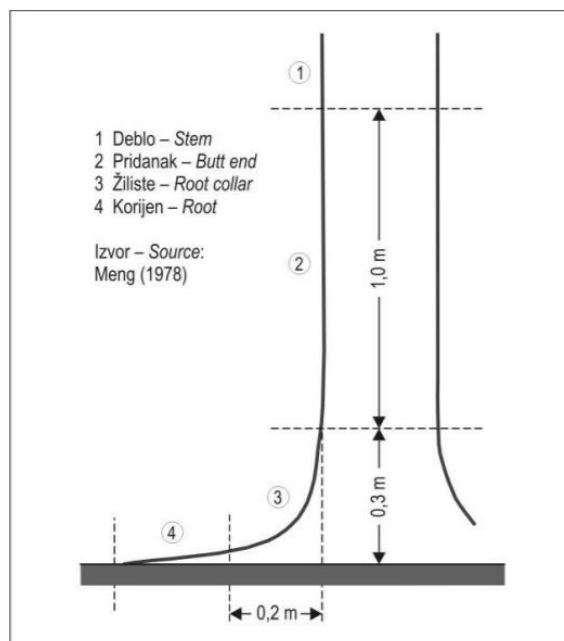
Nakon završetka istraživanja proizvodnosti mehaniziranog sustava, tijekom ovog izvještajnog razdoblja provedena su detaljnija istraživanja šteta na preostalim dubećim stablima na četiri primjerne pruge širine 10 m postavljene na međusobnoj udaljenosti 50 m pod azimutom od 45° na način da presijecaju prosječne »harvesterske pruge« i obuhvate približno 10 % površine odsjeka 14b i 14c.

Terenska izmjera šteta na dubećim stablima sastojala se od izmjere prsnih promjera svih neoštećenih i oštećenih stabala prisutnih na primjernim prugama te evidencije lokacije stabla (sastojina, uz »harvestersku prugu«, uz glavnu vlaklu), vrste oštećenja (izvaljeno i/ili polomljeno stablo, polomljene grane, nagnječena kora, oguljena kora) te mjesta (deblo, pridanak, žilište, korijen) i veličine oštećenja kore (površine pravokutnika). Prikupljanje podataka o sastojini, utvrđivanje, klasifikacija i evidentiranje oštećenja na terenu te sadržaj i struktura snimačkih listova bazirani su na konceptu koji predlažu Tomanić et al. (1989), uvažavajući posebnosti istraživanoga sustava pridobivanja drva.

Podaci su terenskih izmjera sistematizirani i obrađeni s ciljem iskaza odnosa oštećenih i neoštećenih stabala te njihovih lokacija unutar sječine. Oguljenja kore kao najzastupljenija vrsta oštećenja detaljno su analizirana i prikazana s obzirom na mjesto i veličinu oštećenja.



Slika 1.1 Primjerene pruge na kojima su mjerene štete na preostalim dubećim stablima



Slika 1.2 Razredba mjesta oštećenja kore (Prema Poršinsky i Ožura 2006)



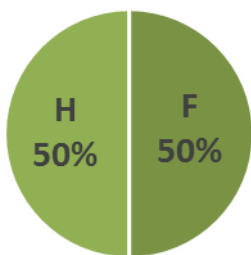
Slika 1.3 Obilježavanje šteta s ciljem utvrđivanja uzroka oštećenja



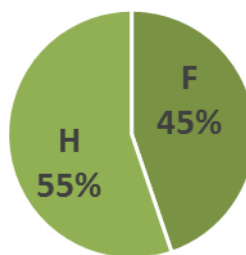
Slika 1.4 Izmjera dimenzija oštećenja

U 14b odsjeku prilikom sječe i izrade stabala harvesterom oštećen je jednak broj stabala kao i prilikom izvoženja drvnih sortimenata forvarderom (slika 1.5), dok je u odsjeku 14c 10 % više stabla oštećeno prilikom sječe i izrade negoli prilikom izvoženja (slika 1.6). Rezultati uzroka oštećivanja ukazuju na činjenicu da je interakcija dimenzija strojeva te dimenzija doznačenih stabala te broja i prostornog rasporeda doznačenih i preostalih stabala odlučujuća za nastanak šteta na preostalim dubećim stablima u odsjeku 14b. U odsjeku 14c relativno veće dimenzije doznačenih stabla uzrokovale su i veću pojavnost šteta uzrokovanih prilikom sječe i izrade negoli prilikom izvoženja. Navedeno je, unatoč povoljnijoj prohodnosti u odsjeku 14c, (uz različit ukupan broj preostalih

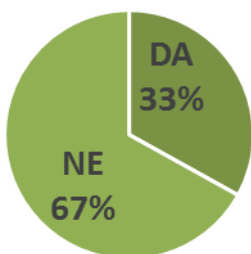
stabala) vjerojatni uzrok povećanom udjelu oštećenih stabla u odsjeku 14c u usporedbi s odsjekom 14b (slika 1.7 i slika 1.8).



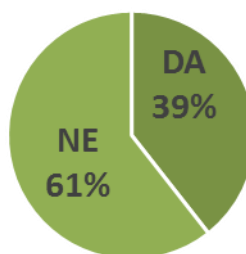
Slika 1.5 Uzrok oštećenja u odsjeku 14b
(H – harvester; F – forvarder)



Slika 1.6 Uzrok oštećenja u odsjeku 14c
(H – harvester; F – forvarder)

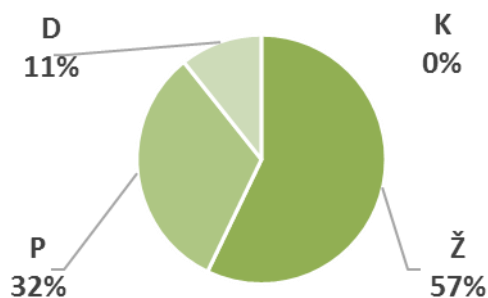


Slika 1.7 Udio oštećenih stabala u odsjeku 14b

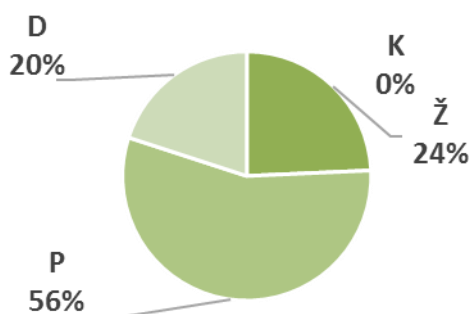


Slika 1.8 Udio oštećenih stabala u odsjeku 14c

Sječa i izrada stabala većih dimenzija debla i krošnji (u 14c odsjeku) uzrokovala je i pomak pojavnosti mjesta oguljenja kore sa primarno žilišta (slika 1.9) u 14b odsjeku (kao posljedice povlačenja stabala po tlu prilikom izrade harvesterom i ograničenog prostora između preostalih stabala) na pridanak i deblo (slika 1.10) u 14c odsjeku (kao posljedice obaranja stabala većih dimenzija).

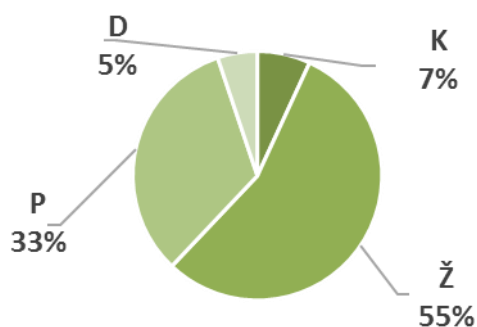


Slika 1.9 Mjesto oštećenja pri radu harvestera u odsjeku 14b (K – korijen, Ž – žilište, P – pridanak, D – deblo)

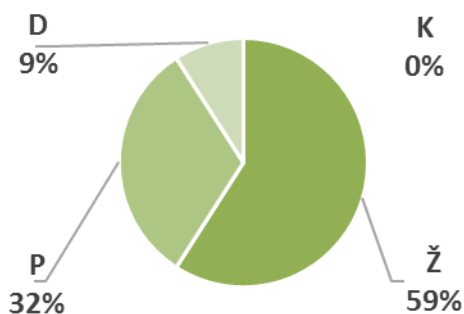


Slika 1.10 Mjesto oštećenja pri radu harvestera u odsjeku 14c (K – korijen, Ž – žilište, P – pridanak, D – deblo)

Razlike u mjestima oguljenja kore pri radu forvardera pokazuju znatno manju varijabilnost između istraživanih odsjeka (slika 1.11 i slika 1.12) i logično ukazuju da se oštećenja mogu očekivati primarno u zoni ispod 1,30 m kao posljedica prometovanja vozila (ali i zahvata izrađenih drvnih sortimenata prilikom utovara).

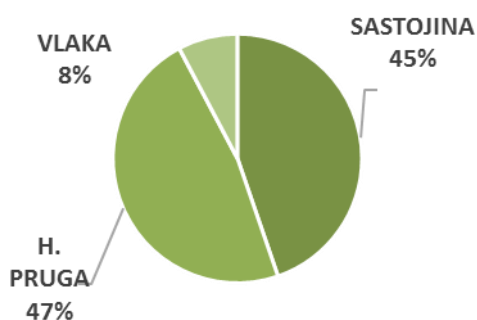


Slika 1.11 Mjesto oštećenja pri radu forvardera u odsjeku 14b (K – korijen, Ž – žilište, P – pridanak, D – deblo)

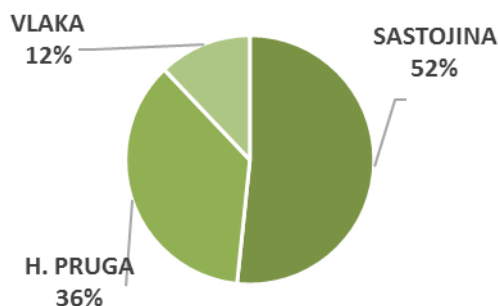


Slika 1.12 Mjesto oštećenja pri radu forvardera u odsjeku 14c (K – korijen, Ž – žilište, P – pridanak, D – deblo)

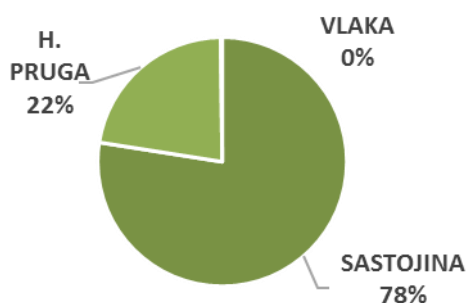
Dimenzije sječenih stabala su i vjerojatni uzrok različitoj distribuciji lokacija oštećenja. Naime, prilikom obaranja i izrade stabala većih promjera i visina, u odsjeku 14c, oštećenja su mogla intenzivnije zahvatiti veći dio sastojine koja se nalazi između posječenih »harvesterskih pruga« (slika 1.14 i slika 1.13). Prilikom analize lokacije neoštećenih stabala nisu uočene veće razlike između istraživanih odsjeka (slika 1.15 i slika 1.16).



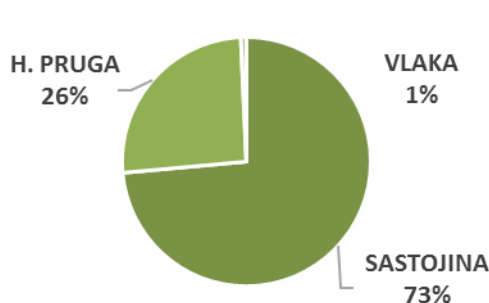
Slika 1.13 Lokacija oštećenih stabala u odsjeku 14b



Slika 1.14 Lokacija oštećenih stabala u odsjeku 14c



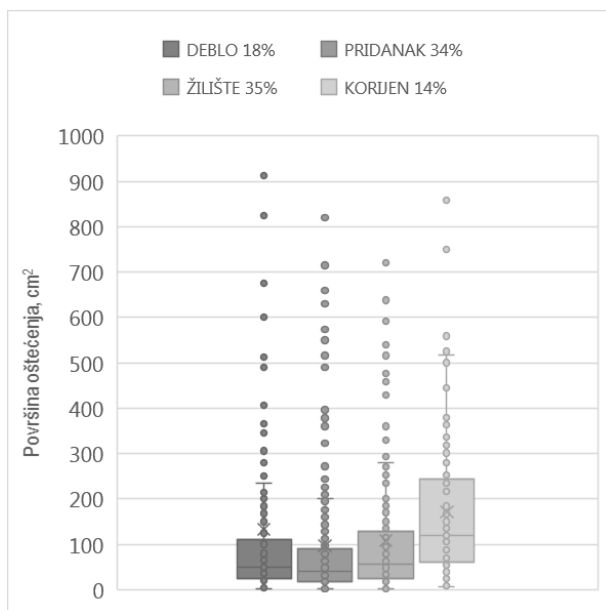
Slika 1.15 Lokacija neoštećenih stabala u odsjeku 14b



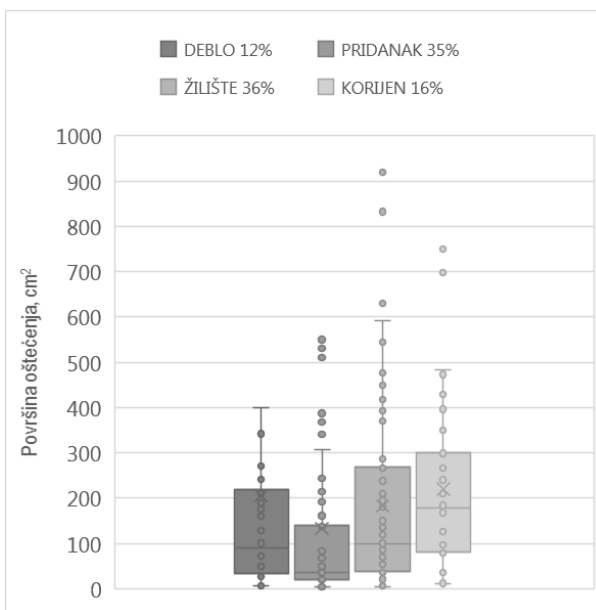
Slika 1.16 Lokacija neoštećenih stabala u odsjeku 14c

Površine pojedinih oguljenja kore (slika 1.17) i oguljenja kore po stablu (slika 1.19) s obzirom na mjesto nastanka oštećenja u odsjeku 14b ukazuju da se 75 % oguljenja kore na deblu, pridanku i žilištu nalaze u kategoriji ispod 100 cm² (odnosno 200 cm²). U istoj se kategoriji nalazi 50 % oguljenja kore na korijenu.

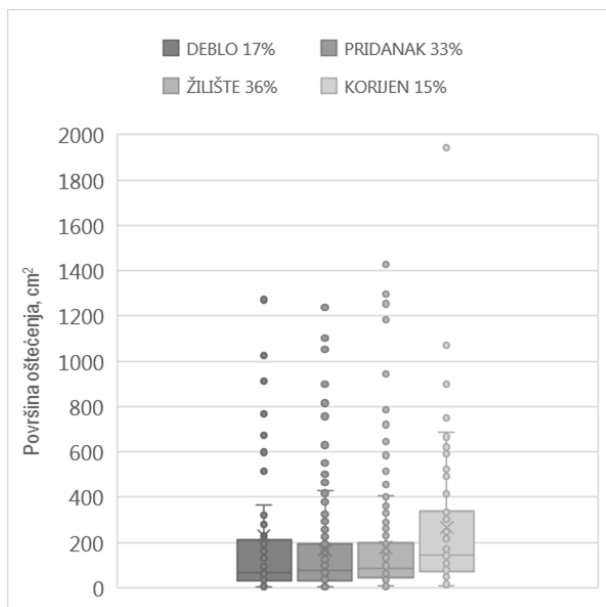
U odsjeku 14c (slika 1.18 i slika 1.20), površine oguljenja debla i pridanka su značajno veća (kao posljedica sječe stabla i utovara drvnih sortimenata većih dimenzija), no još uvijek 50 % oštećenja na navedenim mjestima spada u kategoriju ispod 100 cm² (odnosno 200 cm²).



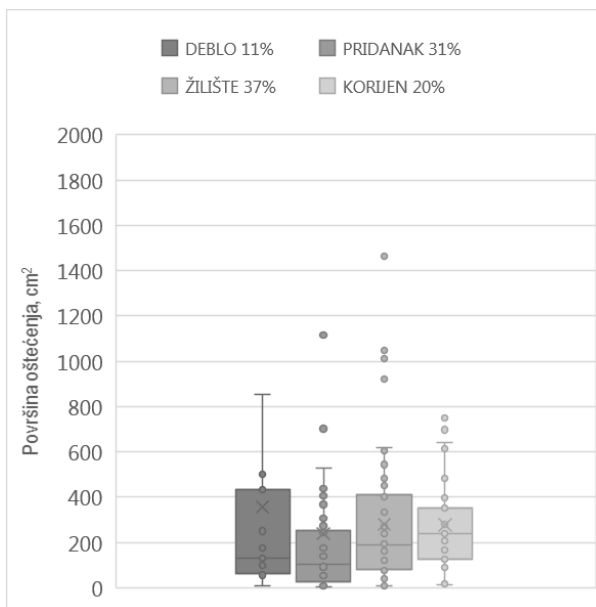
Slika 1.17 Površina oguljene kore (po oštećenju) u odsjeku 14b



Slika 1.18 Površina oguljene kore (po oštećenju) u odsjeku 14c



Slika 1.19 Površina oguljene kore (po stablu) u odsjeku 14b



Slika 1.20 Površina oguljene kore (po stablu) u odsjeku 14c

Prilikom tumačenja rezultata ovog i prethodnih istraživanja nužno je imati na umu da općeprihvaćeni način iskazivanja oštećenih stabala u postotnom odnosu spram svih preostalih stabala u sastojini nakon radova pridobivanja drva posjeduje značajnih prednosti (prvenstveno pruža uvid u izgled održavanja neporemećene strukture sastojine te omogućuje matematičku usporedbu rezultata istraživanja provedenih u raznolikim sastojinskim uvjetima), no i jedan bitan nedostatak; uvelike ovisi o ukupnom broju preostalih stabala. Naime, sastojine u kojima raste veći broj stabala po jedinici površine imaju veći izgled za postizanjem većih apsolutnih iznosa broja oštećenih stabala (posebice prilikom uporabe mehaniziranih sustava pridobivanja drva, odnosno strojeva većih dimenzija koji se kreću i izvan mreže sekundarnih šumskih prometnice) koji pak u odnosu s ukupnim brojem preostalih stabala mogu rezultirati manjim relativnim brojem oštećenih stabala (iskazanih postotkom) prilikom usporedbe sa rezultatima istraživanja provedenim u drugačijim sastojinskim uvjetima.

Literatura

- Doležal, B., 1984: Štete u šumi izazvane primenom mehanizacije. Dokumentacija za tehniku i tehnologiju u šumarstvu, 47, Beograd.
- Ivanek, F., 1976: Vrednotenje poškodb pri spravilu lesa v gozovih na Pohorju, Institut za gozdno in lesno gospodarstvo pri Biotehničkoj fakulteti, 194, Ljubljana.
- Južinić, B., 1984: Poškodbe pri sečnji in spravilu lesa v bukovih drogovnjakih. Diplomski rad. Biotehnička fakulteta v Ljubljani, 1–75.
- Krznar, A., D. Gajdek, S. Dolenc, 1989: Problematika vrednovanja šteta i neki rezultati. Radovi 80: 139–161.
- Krpan, A. P. B., S. Petreš, Ž. Ivanović, 1993.: Neke fizičke štete u sastojini, posljedice i zaštita. Glasnik za šumske pokuse 4: 271–280.
- Martinić, I., 1991: Oštećenje sastojine pri obaranju stabla, izradi i privlačenju drva. Šumarski list 115 (1-2): 33–47.
- Martinić, I., 1991: Oštećenje sastojine pri obaranju stabla, izradi i privlačenju drva. Šumarski list 115 (1-2): 33–47.
- Martinić, I., 2000: Koliko smo blizu ekološki prihvatljivoj uporabi mehanizacije u šumarstvu? Šumarski list 124 (1-2): 3–13.
- Poršinsky, T., A. P. B. Krpan, I. Stankić, 2004: Djelotvornost strojne sječe i izrade u sastojinama tvrdih i mekih listača - 4. dio: Okolišna pogodnost strojne sječe u prirodnim sastojinama. Šumarski list 128 (11-12): 655–669.
- Poršinsky, T., M. Ožura, 2006: Oštećivanje dubelih stabala pri izvoženju drva forvarderom. Nova mehanizacija šumarstva 27: 41–49.
- Spinelli, R., 1994: Environment impact of logging by farm tractors. Interactive seminar and workshop »Soil, tree, machines interaction«, Feldafing, Germany, 1–10.
- Tomanić, S., V., Vondra, I., Martinić, 1989: Oštećivanje sastojine pri šumskim radovima. Mehanizacija šumarstva 14(3-4): 65–72.
- Vondra, V., S. Bogojević, 1994: Prinos znanja o uporabi srednjeg skidera Ecotrac V organizacijskim i ekonomskim pokazateljima rada. Mehanizacija šumarstva 19(4): 247–258.
- Vuletić, D., 1996: Ekonomski gubici na vrijednosti drva hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) kao posljedica ozljeđivanja stabala. Magistarski rad. Šumarski fakultet u Zagrebu, 1–89.
- Martinić, I., 1990: Interakcije metoda rada, radnih uvjeta i proizvodnosti rada pri sječi i izradi drva u poredama sastojina. Magistarski rad. Šumarski fakultet u Zagrebu, 1–100.

1.2 Visina panjeva

Visina je panjeva definirana u Pravilniku o doznaci stabala, obilježavanju drvnih sortimenata, popratnici i šumskom redu (NN 17/2015, NN 57/2017). Članak 26. Stavak 2. propisuje da: »Visina panjeva u sastojinama nakon sječe i izrade u nizinskim predjelima ne smije prelaziti jednu četvrtinu prsnog promjera odnosno jednu trećinu prsnog promjera na nagnutim terenima«. Osim ispravnog izvođenja zasjeka prilikom ručno-strojnog obaranja stabla motornim pilama lančanicama dva su osnovna razloga propisivanja visine panjeva; omogućavanje kretnosti strojeva (ne samo zbog radova pridobivanja drva već prvenstveno zbog radova zaštite šuma te ostalim radovima obnove i njege šuma koji se obavljaju strojno) i adekvatno iskorištenje raspoložive nadzemne biomase stabala (što veće iskorištenje najvrjednijeg dijela deblovine – pridanka).

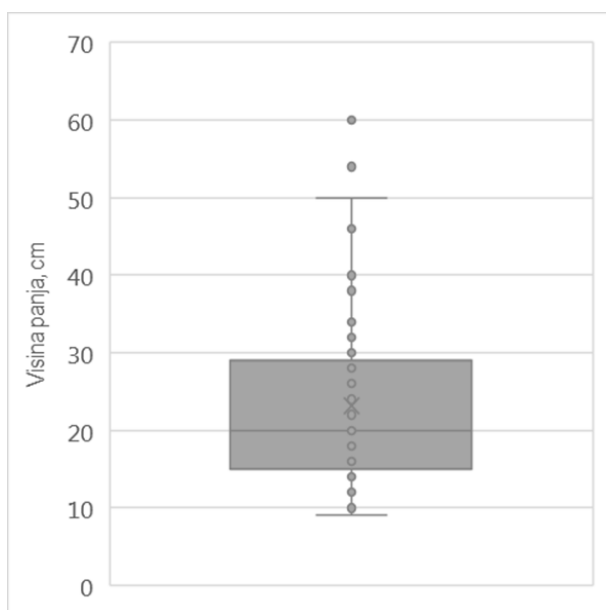
Visina panjeva nakon strojne sječe harvesterom rezultat je interakcije morfoloških karakteristika stabala (razvedenosti žilišta debla), konfiguracije terena i tehničkih značajki harvesterske glave. Visina reza prilikom obaranja stabla ponajprije ovisi o minimalnoj visini reza koju je moguće postići kada se harvesterska glava položi na tlo prilikom obuhvaćanja stabla, ali uvelike ovisi i o mogućnosti sigurnog obuhvata debla harvesterskom glavom u navedenom položaju. Obaranje stabla većih dimenzija i razvedenijeg žilišta u određenim je slučajevima izrazito zahtjevno, osobito ako je podrezivanje zbog duljine vodilice nužno obaviti s dvije strane (slika 1.21) s obzirom da harvesterskom glavom nije moguće izvesti obradu žilišta.



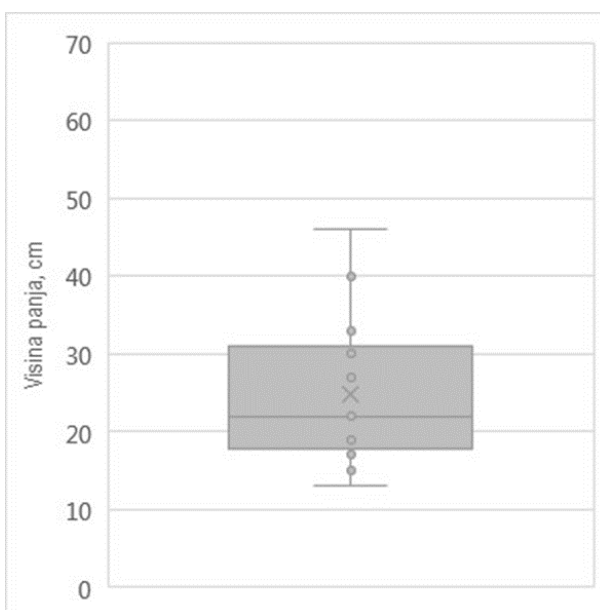
Slika 1.21 Prihvatljiva visina panja nakon strojne sječe



Slika 1.22 Neprihvatljiva visina panja nakon strojne sječe



Slika 1.23 Visine panjeva nakon strojne sječe u 14b odsjeku



Slika 1.24 Visine panjeva nakon strojne sječe u 14c odsjeku

Prosječne su visine panjeva nakon strojne sječe u istraživanim odsjecima iznosile značajno više negoli propisne (slika 1.23 i slika 1.24), približno razini srednjih prsnih promjera doznačenih stabala (za 14b $D_s = 21,7$ cm; za 14c $D_s = 26,4$ cm). Evidentna je nemogućnost dostizanje propisanih vrijednosti posebice za stabla manjih prsnih promjera (zbog tehničkih značajki harvesterske glave). Stablima relativno većih dimenzija (kod kojih je visina panjeva rezultat izvođenja strojnog obaranja stabala na siguran način) moguće je neposredno nakon sječe strojno podrezati panjeve i time

omogućiti prohodnost sječine, ali na uštrb proizvodnosti harvestera istovremeno smanjujući iskorištenje raspoloživog drvnog obujma.

Literatura

Pravilnik o doznaci stabala, obilježavanju drvnih sortimenata, popratnici i šumskom redu. NN 17/2015, NN 57/2017

1.3 Mjerenje i značajke izrađenih drvnih sortimenata

Moderni harvesteri opremljeni su tehničkim komponentama i računalnim programima čijom se primjenom osim za osnovnu namjenu upravljanja radom stroja i pomoći pri postupcima sječe i izrade drva može bitno unaprijediti cjelokupni logistički sustav. Bitna komponenta logističkog sustava je i pravodobna i točna informacija o količini, kakvoći i lokaciji izrađenih drvnih sortimenata. Prilikom izrade drvnih sortimenata koriste se matematički algoritmi koji na temelju izmjerenih dimenzija oblog drva sugeriraju operateru optimalno mjesto trupljenja. Neposredno mjerenje se obavlja putem mehaničkih sastavnica, a obrada, prikaz i evidencija rezultata mjerenja obavlja se računalno. Mjerena duljina provodi se pomoću impulsnog uređaja, koji je pričvršćen na mjerni zupčanik koji se nalazi u harvesterskoj glavi i njegova jedina namjena je izmjera duljina izrađenog drva. Izmjera duljine se mjeri s točnošću na cm (Sladek i Neruda 2007). Promjer može biti izmjeren na dva načina: putem položaja noževa za kresanje grana i odgovarajuće kinematike ili položaja valjaka i odgovarajuće kinematike. U oba ova slučaja podaci o promjeru su određeni kontaktom koji je ostvaren s deblom (Hohmann 2017). Izmjera promjera oblovine pomoću senzora koji su postavljeni na noževe kojima se krešu grane uglavnom se obavlja na način da se promjer mjeri za svaki cm duljine te se određuje srednji promjer za svaku sekciju duljine 10 cm; tako se promjer debla na svaki metar duljine određuje na temelju 11 mjerenja (Sladek i Neruda 2007). Izmjera promjera debala kod harvestera vrši se s točnošću na mm.

Iako je izmjera izrađenog drva pomoću harvestera mnogo jednostavnija i brža u odnosu na ručni način izmjere obujma drva, uporabom harvesterske tehnologije za izmjeru drva nastaju tri ključna problema, a to su: točnost same izmjere, pouzdanost evidencije te način obilježavanja sortimenata.

Istražujući točnost izmjere harvesterom Hohmann i dr. (2017) su usporedili točnost ručne metode mjerenja i mjerenje harvesterom koristeći tehniku uranjanja u vodu temeljenu na poznatom Arhimedovom principu. Rezultati ukazuju da je volumen drva izmjeren harvesterom u prosjeku za 0,45 % manji od stvarnog volumena. Odstupanja su u intervalima od 2,08 % do -3,60 %. Iz dobivenih rezultata se može zaključiti da je mjerni sustav harvestera dovoljno točan. Volumen drva koji je izmjeren ručnim načinom izmjere (izmjera promjera promjerkom i izmjera duljina mjernom vrpcom) te određivanja volumena pomoću Huberove formule u prosjeku je 7,53 % manji od stvarnog volumena. Odstupanja u izmjeri ovdje su se kretala u intervalima od -3,05 % do -12,73 %.

Razlog zbog kojeg je mjerenje harvesterom točnije u odnosu na mjerenje ručnim načinom leži u činjenici da se harvesterom promjer mjeri na više kraćih sekcija na deblu, dok se kod ručnog načina mjeri samo jedan promjer (na sredini debla). Navedeni rezultati potvrđuju rezultate koje su objavili Dvořák i dr. (2016) ukazujući da je točnost mjerenja harvesterom u prosjeku 4,7 % veća u odnosu na mjerenje klasičnim ručnim načinom. Također još jedan od razloga za točnije mjerenje harvesterom je i izmjera promjera u milimetrima, dok se ručnim načinom promjer mjeri u centimetrima i zaokružuje na nižu vrijednost. U oba slučaja ispitivane su samo metode mjerenja s korom, dok odbitak kore nije proveden. Može se zaključiti da se izmjerom promjera na više sekcija na deblu bolje prati geometrija debla i rezultat navedenog je točniji izračun obujma.

Iako rezultati ukazuju da je harvesterom moguće točnije i preciznije izmjeriti stvarni obujam postavlja se pitanje obračuna količina i izračuna prodajne cijena ako je kao propisani način izmjere određeno ručno mjerenje.

U cilju postizanja točnosti iznimno preciznih rezultata izmjere obujma drva harvesterom nužna je redovna kalibracija mjernih uređaja harvestera prema propisanim specifikacijama. Primjera radi u Finskoj je propisano da odstupanje obujma oblog drva izmjenjenog harvesterom može biti unutar ± 4 % od stvarnog obujma drva, dok se na godišnjoj razini postiže točnost od ± 2 % (Gingras 1995). Slične rezultate o točnosti izmjere obujma drva harvesterom potvrđuju i istraživanja provedena u Britaniji (British Forestry Commission). Istraživanje provedeno u Irskoj 2001. godine pokazuje da razina točnosti izmjere obujma za čiste sječe iznosi 6,7 % dok je razina točnosti prilikom proreda 5,3 % (Nieuwenhuis i Dooley 2006). Miklašević (2017a) navodi da su u Latviji zakonom dozvoljena odstupanja unutar ± 5 % od stvarnog obujma za furnirsku oblovinu breze, ± 3 % za ostalu tehničku oblovinu i ± 10 % za drvo za celulozu i drvo za ogrjev. Osim toga, zahtjevi za točnošću izmjere oblog drva harvesterom propisuju da odstupanja izmjenjenog obujma mogu biti unutar granice od ± 3 % od stvarnog obujma i najmanje 80 % svih izmjerenih promjera mora biti unutar granice odstupanja ± 6 mm (Miklašević 2017a). Nieuwenhuis i Dooley (2006) iznose da su u irskom šumarstvu dozvoljena odstupanja izmjere oblog drva harvesterom u odnosu na klasičnu izmjeru (promjerkom i mjernom vrpcom) do 5 % za tehničku oblovinu i do 7 % za celuložno drvo, a ako odstupanja prelaze dozvoljene granice nužno je provesti kalibraciju mjernog uređaja harvestera.

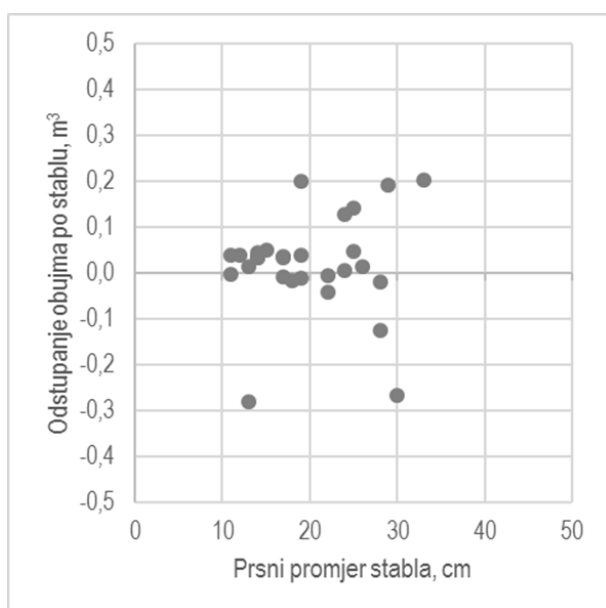
Kalibracija se obavlja na način da se nakon izrađenih 7 do 8 drvnih sortimenata iz računala harvestera pribave podatci o dimenzijama predmetnih sortimenata i zatim se pristupa ručnoj izmjeri te se obavlja usporedba. Za ručnu izmjeru procedura je propisana od strane proizvođača harvestera. Svaki sortiment se počevši od debljeg kraja podjeli na sekcije duljine 1 m i na polovini svake sekcije se mjere dva unakrsna promjera tako da se promjeri mjere na 0,5 m, 1,5 m, itd. Na posljednjoj sekciji svakog sortimenta, ako je kraći od 1 m promjeri se mjere na sredini stvarne duljine. Ako se na mjestu gdje se mjeri promjer nalaze kvrge mjesto izmjere se pomiče kako bi izmjereni promjer bio reprezentativan. Obujam se izračunava za svaku sekciju zasebno na temelju duljine i srednje vrijednosti izmjerenih dvaju promjera. Zbrojem obujama svih sekcija jednog drvnog sortimenta računa se stvarni obujam drvnog sortimenta. Navedenim načinom izmjere nastoji se oponašati mjerenje harvesterom koji obujam pojedinog drvnog sortimenta izračunava na temelju obujama više manjih sekcija (interval izmjere obično bude 5 do 10 cm). Nakon ručne izmjere u računalo harvestera se upisuju ručno izmjerene duljine i izračunati obujmi svakog sortimenta kako bi se mjerni sustav kalibrirao i na temelju provedene kalibracije iskazivao što točnije podatke o obujmu izrađenog drva.

S obzirom na mogućnosti koje harvesterska tehnologija pruža u pogledu izmjere izrađenih drvnih sortimenata logična je želja za što većom integracijom prikupljenih podataka u cjelokupni logistički sustav. Möller i Sondell (2003) predlažu plaćanje drva na temelju izmjere drva harvesterom čime bi se ubrzala transakcija, poboljšala kontrola toka pridobivanja drva i povećala učinkovitost prijema drva u pilanama. No, Hohmann i dr. (2017) navode da su njemačkom šumarstvu, samo instalirani opto-elektronični mjerni uređaji na ulazu u pilane validni za komercijalne transakcije. Mjerna tehnologija inkorporirana u mjernom sustavu harvestera koristi se samo za utvrđivanje referentnih vrijednosti duljina. Iako je mjerna tehnologija harvestera prilično napredna, ona se ne smatra pouzdanom u Njemačkoj i nizu drugih europskih zemalja, kao što je primjerice Češka. Posebno, zakonski zahtjevi ne dopuštaju korištenje mjernog sustava harvestera u svrhu naplate drva. Pravna osnova u Njemačkoj, s učinkom od 1. siječnja 2015. godine koja regulira način izmjere drva je Zakon o mjerenju i umjeravanju (kalibraciji) i Pravilnik o mjerenju i umjeravanju (kalibraciji). Zbog jednog pravnog ograničenja onemogućeno je korištenje harvestera za mjerenje drva, a navedeni se odnosi na činjenicu da takvi sustavi nisu »zatvoreni«, odnosno da su dopuštene intervencije, kao što su prilagodbe komponenta mjerenja (vrsta drva ili okolišnih uvjeta). Dok je takva prilagodba neophodna kako bi se prilagodio mjerni sustav pri promjeni uvjeta rada, treba propisati zakonske odredbe da bi se spriječilo neovlašteno miješanje, odnosno intervencije bilo kakve vrste u mjernom sustavu harvestera. Primjerice, Hohmann i dr. (2017) istražujući točnost izmjere obujma u slučaju izmjere promjera debela pomoću posmičnih valjaka koji služe za pomicanje debela kroz harvestersku glavu, odnosno ovisnost obujma o promjeni tlaka kojim valjci pritišću deblo utvrđuju da se povećanjem tlaka kojim valjci pritišću deblo povećava i razlika u obujmu jer su valjci dublje utisnuti u koru i izmjereni promjer debela je manji, a sukladnom tome i izmjereni obujam je manji. Drugi autori pak navode primjere u kojima se rezultati harvesterskih mjerenja koriste u komercijalnim transakcijama.

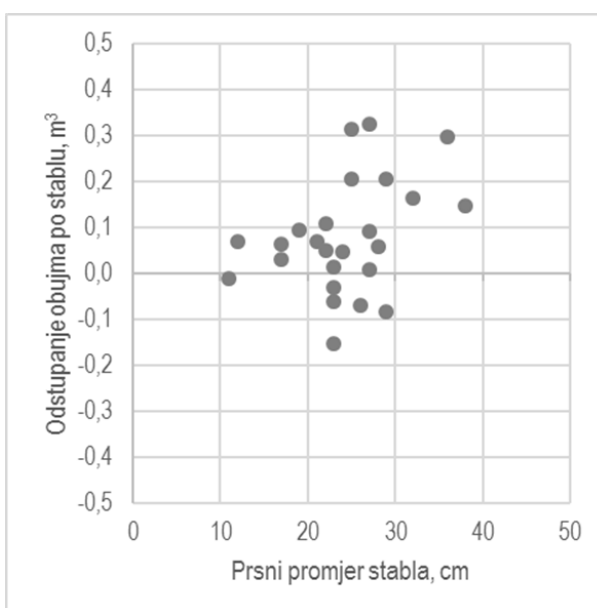
Nieuwenhuis i Dooley (2006) navode kako je izmjera drva harvesterom prilikom komercijalnih transakcija dopuštena u Irskoj i u Skandinavskim zemljama. Miklašević (2017b) navodi da je u Latviji prihvatljiva izmjera drva harvesterom, ali posebno ističe nužnost kalibracije mjernog uređaja harvestera kako bi samo mjerenje bilo u skladu sa zakonskim regulativama koje definiraju dopuštenja odstupanja prilikom izmjere. Isti autor navodi da su za provjeru točnosti izmjere oblog drva harvesterom nadležni neovisni revizori koji nekoliko puta godišnje provjeravaju točnost izmjere svakog harvestera, odnosno provjeravaju da li su odstupanja izmjerenog volumena unutar odstupanja propisanih zakonom.

Poseban izazov pri uvođenju i zakonskom reguliranju korištenja podataka mjerenja harvesterom u Republici Hrvatskoj predstavlja postojeći način prodaje drva. Naime, označavanje svakog pojedinog sortimenta (izuzev onih u kategoriji prostornoga drva) i utvrđivanje njegove kakvoće, nužno je u slučajevima kada se obavlja komadna prodaja vrjednijih sortimenata ili prodaja određene količine drvnih sortimenata poznatog obujma, kakvoće i u konačnici ukupne cijene; odnosno u svim onim slučajevima u kojima se ne prodaje ukupna količina izrađenih sortimenata (pojedine kakvoće) proizvedena u određenoj sječini (podatak koji dostupan iz računalnog ispisa harvesterskog mjerenja). Osim toga, sukladno propisanom načinu (NN 17/2015, NN 57/2017), obilježavanje se izrađenih drvnih sortimenata u Republici Hrvatskoj obavezno obavlja prije njihovog stavljanja u transport i to režijskim čekićem, a za sve drvene sortimente izuzev onih u kategoriji prostornoga drva i identifikacijskom pločicom ili rednim brojem koji služi kao poveznica s propisanim podacima (vrsta drva, dužina i srednji promjer sortimenta, drveni obujam, mjesto obilježavanja i osoba koja je izvršila obilježavanje). Navedena propisnost, s obzirom na proizvodnost i uobičajeni način rada harvestera (uhrpavanje izrađenih drvnih sortimenata u cilju optimizacije proizvodnosti izvoženja forvarderom) može predstavljati značajni organizacijski izazove prilikom preuzimanja drvnih sortimenata posebice u sječinama povoljnije sortimentne strukture (manjeg udjela prostornoga drva) u kojima se prikrajanje tehničke oblovinne obavlja po principu »buck-to-quality«. No, već niz godina poznati su napredni načini označavanja drvnih sortimenata uporabom RFID (Radio Frequency ID) tehnologije (Picchi i dr. 2015). Na navedeni način drveni sortimenti se obilježavaju čipom sa pripadajućim informacijama iz harvesterskog računalnog programa (koje mogu zadovoljavati i zahtjeve naše trenutne propisnosti). Gjerdrum (2009) navodi jediničnu cijenu koja se kreće do jednog eura za jedan čip uvećanu za dodatne troškove uvođenja novoga sustava identifikacije drvnih sortimenata.

Rezultati istraživanja provedenoga u okviru ovoga Projekta ukazuju na značajne razlike između obujama drvnih sortimenata utvrđenih na propisani način prilikom preuzimanja i podataka preuzetih iz računalne evidencije harvestera.

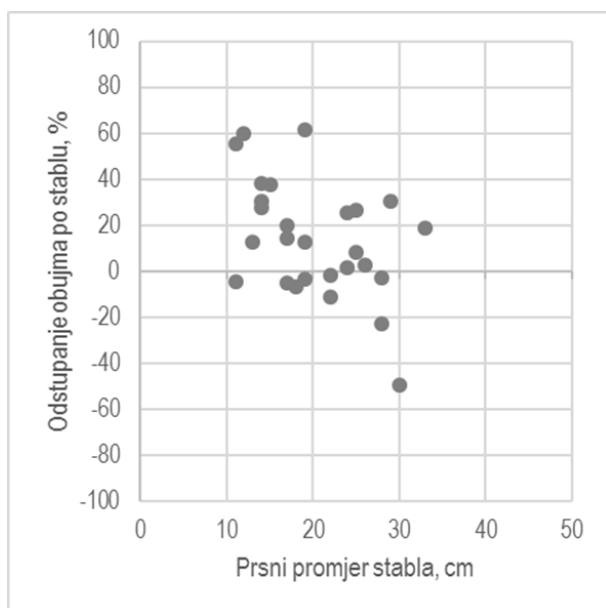


Slika 1.25 Odstupanje obujma po stablu (m^3) u 14b odsjeku (preuzeto – evidencija harvestera)

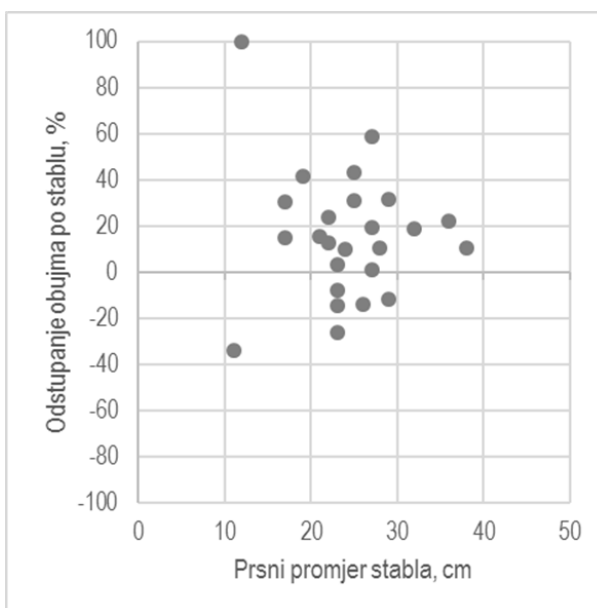


Slika 1.26 Odstupanje obujma po stablu (m^3) u 14c odsjeku (preuzeto – evidencija harvestera)

Odstupanja na razini stabla ukazuju da računalna evidencija harvestera u većini slučajeva iskazuje manji obujam u oba promatrana odsjeka (slika 1.25 i slika 1.26). Većina razlika iskazanih u postotnim iznosima nalazi se u rasponu ± 20 %, uz značajan broj odstupanja (uglavnom pozitivnih) i izvan navedenog raspona (slika 1.27 i slika 1.28).



Slika 1.27 Odstupanje obujma po stablu (%) u 14b odsjeku (preuzeto – evidencija harvestera)



Slika 1.28 Odstupanje obujma po stablu (%) u 14c odsjeku (preuzeto – evidencija harvestera)

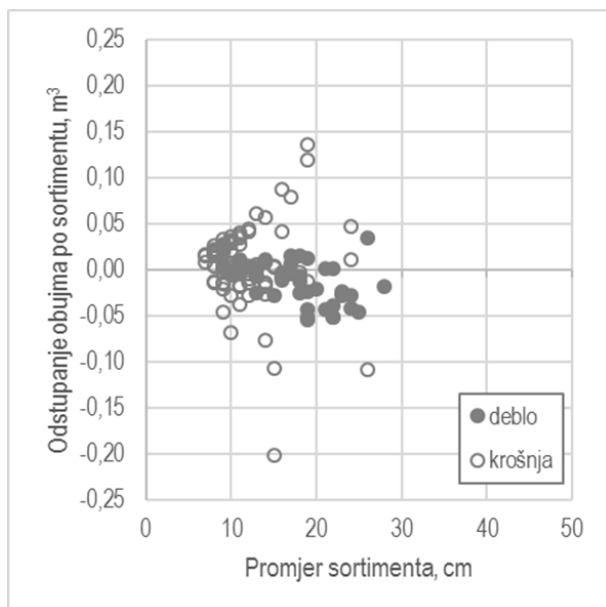
Tek detaljnije analize odstupanja, provedene na razini pojedinih sortimenata (slika 1.29 i slika 1.30), ukazuju i na razloge relativno velikih odstupanja na razini stabala uzorka. Evidentno je da glavina razlika nastaje pri mjerenju drvnih sortimenata izrađenih iz krošnje. Analiza postotnih razlika u dva istraživana odsjeka (slika 1.31 i slika 1.32), uz potrebu redovite kalibracije mjernih uređaja harvestera (normalno distribuirana odstupanja), jasno identificira dva uzroka nastanka razlika prilikom mjerenja drvnih sortimenata izrađenih iz krošnje:

- neevidentiranje izrađenih sortimenata (pozitivna postotna razlika 100 %) koja prvenstveno nastaje prilikom evidencije obujma sortimenata čija je stvarna duljina manja od nominalne;
- evidentiranje većeg obujma izrađenih drvnih sortimenata (negativna razlika) istovremenom izradom više komada oblog drva u jednom zahvatu (mjerenje većeg promjera uz istovremeni izostanak jednog ili više komada u evidenciji – što djelomično sudjeluje i pri stvaranju pozitivnih razlika navedenih pod prethodnom točkom).

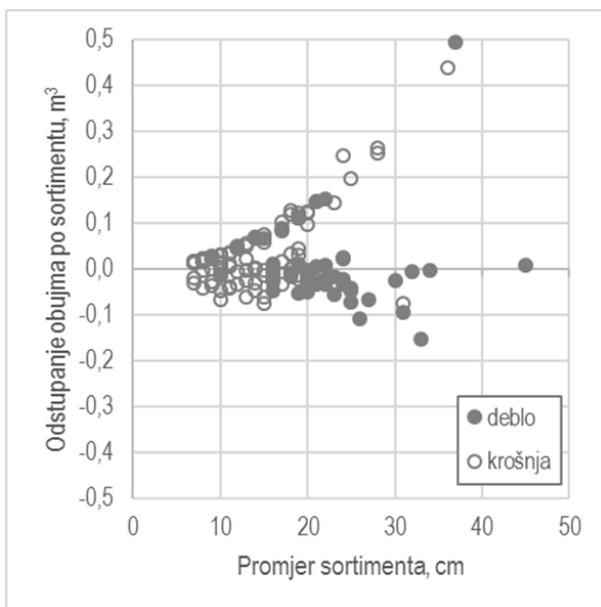
Zanimljivo je primijetiti da odstupanja na razini harvesterom evidentiranih sortimenata imaju mahom negativni predznak; dakle da harvestersko mjerenje rezultira većim obujmom negoli propisani način mjerenja (što potvrđuje rezultate prethodnih mjerenja), a da je suprotan predznak na razini stabla prvenstveno rezultat izostanka evidentiranja velikog broja sortimenata čija je duljina manja od nominalne.

Evidentiranje sortimenata čija je duljina manja od nominalne stvar je prilagodbe postavki računalnoga sustava harvestera i ne bi trebala predstavljati prepreku u ostvarivanju točnosti (i pouzdanosti) računalne evidencije. Glavnina odstupanja koja pokazuju trend normalne distribucije moguće je anulirati pravovremenom kalibracijom mjernoga sustava i njenom redovitom provjerom. Poseban problem prilikom mjerenja dimenzija drvnih sortimenata i posljedično evidencije njihova obujma predstavlja način izrade drvnih sortimenata iz krošnje istovremenim trupljenjem dva ili više komada obloga drva. Navedeni način rada predstavlja modifikaciju karakterističnu prvenstveno za rad u sječinama listača s ciljem povećanja ostvarive proizvodnosti, ali nedvojbeno rezultira netočnom izmjerom izrađenih sortimenata. Ostali razlozi netočnoga mjerenja leže također u morfološkom

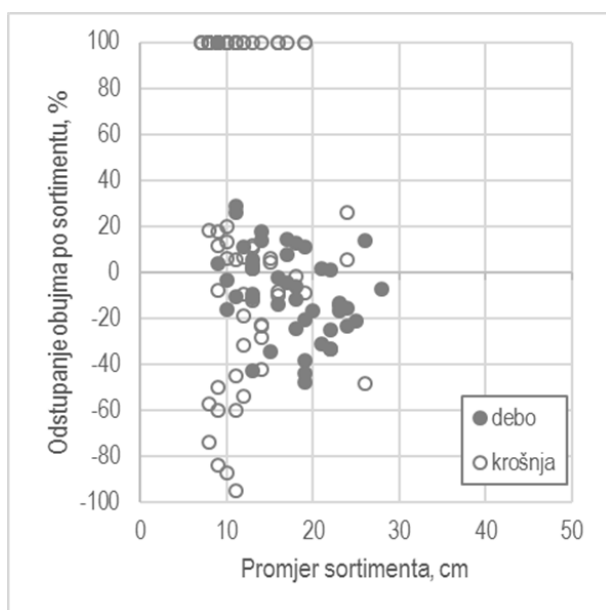
obliku izrađivanih bjelogoročnih stabala i posljedično nemogućnosti potpunog kresanja grana i izradi rašlji u jednome zahvatu.



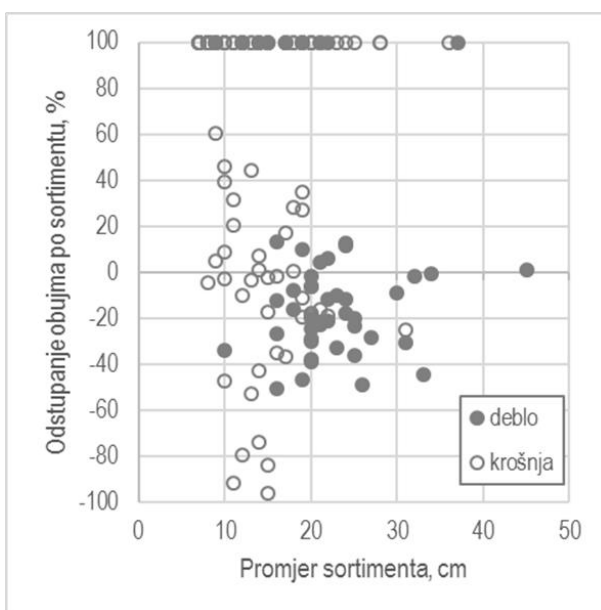
Slika 1.29 Odstupanje obujma po sortimentu (m^3) u 14b odsjeku (preuzeto – evidencija harvester)



Slika 1.30 Odstupanje obujma po sortimentu (m^3) u 14c odsjeku (preuzeto – evidencija harvester)



Slika 1.31 Odstupanje obujma po sortimentu (%) u 14b odsjeku (preuzeto – evidencija harvester)



Slika 1.32 Odstupanje obujma po sortimentu (%) u 14c odsjeku (preuzeto – evidencija harvester)

Prethodno navedene posebnosti pri izradi bjelogoričnih stabala rezultirale su potrebom dorade drvnih sortimenata; odnosno neizostavno bi rezultirale potrebom dorade da su dimenzije posječenih stabala uvjetovale pojavnost tehničkih sortimenata i u krošnji. Potreba dorade iskazana brojem stabala ukazuje da se na oko 5 % komada u odsjeku 14b, odnosno na oko čak 25 % komada u odsjeku 14c može očekivati potreba dorade sortimenata (slika 1.35 i slika 1.36). No rezultati iskazani obujmom, svode navedene podatke u značajno manje iznose, ipak ukazujući da se na stablima većih dimenzija (odsjek 14c) može očekivati navedene probleme na razini 19 % izrađene količine drvnih sortimenata (prvenstveno kao posljedica pojavnosti grana/rašlji većih dimenzija, a opet nedovoljno velikih da bi se proizvodnost harvester žrtvovala njihovim pojedinačnim zahvaćanjem i izradom).



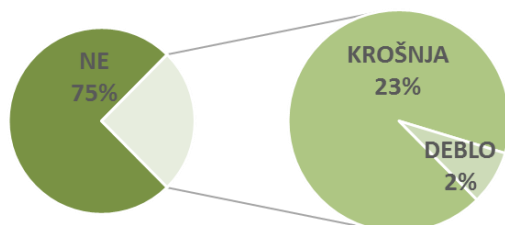
Slika 1.33 Preuzimanje strojno izrađenih drvnih sortimenata



Slika 1.34 Drvni sortimenti kojima je potrebna dorada



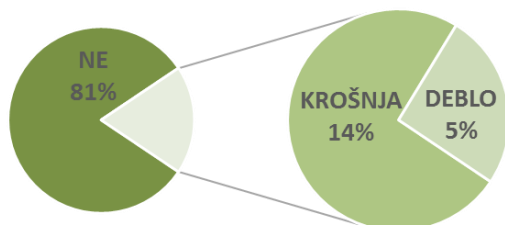
Slika 1.35 Potreba dorade drvnih sortimenata u 14b odsjeku (broj komada)



Slika 1.36 Potreba dorade drvnih sortimenata u 14c odsjeku (broj komada)



Slika 1.37 Potreba dorade drvnih sortimenata u 14b odsjeku (obujam)



Slika 1.38 Potreba dorade drvnih sortimenata u 14c odsjeku (obujam)

Literatura

British Forestry Commission, 2005: Technical Development Branch, Report Nos. 2/95, 7/95 and 9/95. HMSO Publications Centre, London.

Dvořák, J., P. Natov, J. Kašpar, G. Szewczyk, M., Kormanek, 2016: Comparison of Standing Timber Sorting with Bucking by Harvesters. In: From Theory to Practice: Challenges for Forest Engineering; Proceeding and Abstracts of the 49th Symposium on Forest Mechanization, Warsaw University of Life Sciences, Warsaw, Poland, September 4 - 7, pp. 13-18.

Gingras, J-F, 1995: Recent Developments in Chip Cleaning and Cut-To-Length Harvesting Technologies in Finland. Forest Engineering Research Institute of Canada (FERIC) Eastern Division, Internal Report: IR-1995-06-01.

Gjerdrum, P., 2009: RFID tags applied for tracing timber in the forest products chain. pp. 1–6.

Hohmann. F., A. Ligocki. L. Frerichs., 2017: Harvester measuring system for trunk volume determination: comparasion with real trunk volume and applicability in the forest industry. Bulletin of the Transilvania University of Braşov 10(59): 27–33

Miklašėvičs, Z., 2017a: The Impact of Harvester Calibration on the Accuracy of Birch Veneer Logs Measurements by Measuring Diameter in Short Intervals Using Electronic 3d Systems. Proceedings of the 11th International Scientific and Practical Conference. III: 217–221.

Miklašėvičs, Z., 2017b: The analysis of coniferous logs top diameter measurement accuracy using harvester and 3D systems. Bulletin of the Transilvania University of Braşov 10(59): 35–42.

Möller J., J. Sondell, 2000: Customer driven assortments call for better diameter measuring: Improvements possible in the forests. In: Resultat – SkogForsk 15 (4). The Forest Research Inst. of Sweden, Uppsala, Sweden, pp. 1–4.

Nieuwenhuis, M., T. Dooley, 2006: The Effect of Calibration on the Accuracy of Harvester Measurements. International Journal of Forest Engineering 17 (2): 25–33.

Picchi, G., M. Kühmaier, J. D. D. Marques, 2015: Survival Test of RFID UHF Tags in Timber Harvesting Operations. Croatian Journal of Forest Engineering 36(2): 165–174.

Sladek, P., J. Neruda, 2007: Analysis of Volume Differences in Measuring Timber in Forestry and Wood Industry. In: Austro 2007/FORMEC'07: Meeting the Needs of Tomorrow's Forests – New Developments in Forest Engineering, October 7 – 11, 2007, Vienna and Heiligenkreuz – Austria, p. 1-11.

Pravilnik o doznaci stabala, obilježavanju drvnih sortimenata, popratnici i šumskom redu. NN 17/2015, NN 57/2017

1.4 Interaktivna baza recentnih izvora literature

Za potrebe provedbe Projekta, a u cilju analize i sinteze rezultata strojne sječe i izrade (ovoga istraživanja, ali i budućih istraživanja predmetne problematike) uspostavljena je baza recentnih literaturnih izvora sa pripadajućim sažecima radova i poveznicama na cjelovite radove. Navedena baza predstavlja sastavni dio ovog izvješća (Prilog 1).

2. Određivanje reljefnih područja šuma sa stajališta pridobivanja drva i otvaranja

2.1 Uvod

Kao terenske čimbenike šuma određenog zemljopisnog položaja, koji uvjetuju stupanj težine, mogućnosti i ograničenja izvođenja mehaniziranih šumskih radova uopće, većina autora navodi: nagib terena, površinske prepreke te nosivost podloge (Conway 1976, Staff i Wiksten 1984, Löffler 1984, Silversides i Sundberg 1988, Saarilahti 2002A). Terenski čimbenici imaju velik utjecaj na odabir mehaniziranih sredstava rada kao i na njihovu učinkovitost, a samim time i na troškove rada (Bojanin 1980, Kulušić 1990, Poršinsky 2005).

Pri razredbi terena razlikuju se dvije razine pristupa (Saarilahti 2002B). Prvu razinu predstavlja opisna (deskriptivna, primarna) razredba terena koja opisuje teren prema mjerljivim značajkama i raščlanjuje ga u razrede neovisno o primijenjenim tehnologijama (Mellgren 1980, Berg 1992). Drugu razinu pristupa čini namjenska (funkcionalna ili sekundarna) razredba koja povezuje mogućnost primjene određenih tehnologija pridobivanja drva s razredima terenskih čimbenika (MacDonald 1999, Rowan 1995, Owende i dr. 2002).

Glavna prednost opisne razredbe terena je njena zasnovanost na razredima čimbenika šumskih terena te neovisnost o vrsti i tipu strojeva, čime je osigurana stalnost razredbe, odnosno izbjegnuta potreba za ponovnom razredbom terena pri uvođenju u rad novih tipova strojeva (Davis i Reisinger 1990).

Primjenom GIS-a, osigurana je brza manipulacija datotekama prostornih podataka te omogućeno brzo uočavanje mogućih terenskih problema povezanih s određenim tehnologijama šumskih radova (Saarilahti 2002B).

Izradba razredbi terena za šumarstvo započinje u Norveškoj nakon II. Svjetskog rata (Löffler 1984), dok su sami počeci istraživanja terenskih čimbenika i njihovog utjecaja na kretnost vozila vezani za američku vojsku, odnosno WES laboratorij (*US Army Engineer Waterway Experiment Station*) te datiraju iz srpnja 1945. godine (Fatherree 2006). Kieslinger (1953) u Njemačkoj radi razredbu terena za period od 1861. do 1946., dok se u skandinavskim zemljama tom tematikom prvi bave: Jakobson (1965), Mattsson-Märn (1946), Putkisto (1964), Samset (1975). Löffler (1979) zaključuje da je šumarstvo prihvatilo razredbu terena kao važan logički alat pri gospodarenju šumama, planiranju radova u šumarstvu te provedbu radova pridobivanja drva. Isti autor (1984), navodi da su tehničke mogućnosti ograničene, a troškovi su šumarskih radova uvjetovani pristupačnosta šumskog terena. Zbog tih ovisnosti, vrsta i obuhvatnost upravljanja u šumi također ovisi o pristupačnosti mjestu rada. Osim radova pridobivanja drva to uključuje i ostale šumsko-uzgojne radove, zaštitu šuma te otvaranje šuma. Samset (1975) utvrđuje da pristupačnost šumi (u gospodarskome smislu) ovisi o: 1) prometnoj infrastrukturi (otvorenosti šume) i uvjetima (načinu) transporta, te 2) terenskim uvjetima unutar mreže prometnica.

Razredba terena podrazumijeva označivanje i razvrstavanje šumskog zemljišta u ovisnosti o njegovoj pristupačnosti ili ovisno o stupnju težine izvođenja šumskih radova (Löffler 1984).

Temelj većine (područje Europe i Sjeverne Amerike) razredbi terena danas je NSR razredba (Eriksson i dr. 1975). Ona sadrži opsežnu podjelu stalnih terenskih čimbenika te se danas u cijelosti koristi na području skandinavskih zemalja (osim u Finskoj) i u Kanadi (Saarilahti 2002A).

Eriksson i dr. (1975) navode da zbog kompleksnosti terenskih uvjeta postoje različiti načini i razine razredbi terena:

- ⇒ Regionalna razredba terena: namijenjena za velika šumska područja (na nacionalnoj razini), registracija pokusnih ploha (nisu zabilježene na kartografskim prikazima), rezultati prikazuju relativne distribucije između čimbenika.
- ⇒ Lokalna razredba terena: namijenjena za manja šumska područja, registracija pokusnih ploha koje se obavezno ucrtavaju na karte sitnog mjerila.
- ⇒ Makro-razredba terena: dijeli šumske površine u jedinice za koje vrijede isti ili gotovo isti terenski uvjeti.
- ⇒ Mikro-razredba terena: detaljna razredba terena, nastala mjerenjima na pokusnim ploham
- ⇒ Opisna razredba terena: opisuje terenske uvjete putem njegovih mjerljivih značajki i na dugoročnoj je razini.
- ⇒ Namjenska razredba terena: opisuje razinu teškoće izvođenja radova (operativnih metoda). Kako se razine mehaniziranosti mijenjaju sa vremenom, tako je i ova razredba kratkoročnog karaktera te se zasniva na opisnoj razredbi terena.

Samset (1975) navodi da namjenska razredba terena zastarijeva s tehnološkim i operativnim razvojem radnih metoda, dok je opisnu razredbu također potrebno poboljšati te početi opisivati terenske uvjete na makro i mikro reljefnim razinama.

Rowan (1977) u svojoj knjizi »Terrain classification« koristi i dorađuje skandinavski sustav razredbe terena i tako postavlja temelje britanske razredbe, a 1996. godine Agencija šumarske komisije izdaje Tehničko priopćenje 16/95 sa sažetim prikazom (s ciljem korištenja u praksi) Rowanove razredbe. Svrha ove razredbe je pomoć pri dugoročnome planiranju radova pridobivanja drva, detaljnome operativnom planiranju i detaljnome opisu radilišta.

Neovisno o geografskom mjestu nastanka pojedinih opisnih razredbi terena, one su sve zasnovane na tri najvažnija terenska čimbenika (nosivost tla, površinske prepreke, nagib terena) koji su najčešće razvrstani u pet razreda (tablica 2.1).

Tablica 2.1 Osnovna podjela terenskih čimbenika u pet razreda terena

Nosivost (čvrstoća) tla		Površinske prepreke		Nagib terena	
1	Vrlo čvrsto tlo	1	Vrlo ravan teren	1	Ravničasti teren
2	Čvrsto tlo	2	Djelomično ravan teren	2	Blago nagnuti teren
3	Osrednje čvrsto tlo	3	Djelomično neravan teren	3	Umjereno nagnuti teren
4	Meko tlo	4	Neravan teren	4	Strmi teren
5	Vrlo meko tlo	5	Vrlo neravan teren	5	Vrlo strmi teren

Radi pojednostavljenja prikaza međudjelovanja pojedinih razreda terenskih čimbenika opisne razredbe terena (velik broj mogućih kombinacija), teren se prikazuje u obliku troznamenastoga broja, gdje prvi broj označava – razred nosivosti tla, drugi broj – razred površinskih prepreka i treći broj – razred nagiba terena. Tako npr. teren oznake 2.1.3. znači: teren s vrlo čvrstim tlom, bez površinskih prepreka, dobro stanje tla, umjerenoga nagiba.

Britanska šumarska komisija (Anon. 1975) razlikuje tri razine razredbe terena ovisno o veličini površine, točnosti opisanih detalja, razini planiranja radova i dr. (tablica 2.2).

Tablica 2.2 Britanska razredba terena (Anon. 1975)

Primjena razredbe terena		Veličina jedinичne površine koja se promatra	Malena zasebna jedinica koja se može odrediti	Temelji opisa i razredbe	Zahtjevi točnosti podataka
(1)	Dugoročno planiranje gospodarenja (5 – 10 godina)				
1.1.	Široka procjena šumskog zemljišta s obzirom na mogućnosti i teškoće gospodarenja šumom (ocjena staništa)	Velika (srednja)	Ne	Srednje stanje	Niski
1.2.	Procjena potreba i prvenstva s obzirom na istraživanja i razvoj radnih metoda i opreme	Velika (srednja)	Ne	Srednje stanje	Niski do srednji
1.3.	Statističke informacije o stanju terena za različite potrebe	Velika	Ne	Srednje stanje	Srednji
1.4.	Opće planiranje otvaranja šuma (potrebe i procjena troškova)	Srednja do velika	Ne	Srednje stanje	Niski do srednji
(2)	Srednjeročno planiranje gospodarenja (2 – 5 godina)				
2.1.	Raspologanje s opremom, odluke o potrebama za opremom	Srednja (velika)	Ne	Srednje stanje	Srednji
2.2.	Procjena troškova i proizvodnje	Srednja	Da (ne)	Srednje stanje	Srednji
2.3.	Planiranje gradnje cesta	Srednja	Da	Srednje stanje	Srednji
2.4.	Procjena prodanog drva	Srednja	Da	Srednje stanje	Srednji
(3)	Kratkoročno planiranje radova, procjena radilišta i nadopune (ispod 2 godine)				
3.1.	Procjena, kontrola i analiza troškova i proizvodnje pojedinih radova (utjecaj terena i pristupačnosti na jedinичne troškove i satnu proizvodnju)	Mala	Da	Trenutno stanje	Srednji do veliki
3.2.	Izbor optimalnog radnog postupka i opreme za postojeću činidbu na određenom radilištu	Mala	Da	Trenutno stanje	Srednji do veliki
3.3.	Utvrđivanje omjera nadnica i ugovora u pridobivanju drva (do stupnja dok na njih utječe teren)	Mala	Da	Trenutno stanje	Srednji do veliki
3.4.	Detaljni opis radilišta i postupak za izvješće studija rada, za znanstvene potrebe i promijenjena iskustva (nova saznanja)	Mala	Da	Trenutno stanje	Veliki

Tablica 2.3 Kanadska razredba terena (Mellgren 1980)

Razred		1 – Vrlo dobar		2 – Dobar		3 – Srednji		4 – Loš		5 – Vrlo loš			
Čimbenici	Vodni režim tla (ljeti)	Dobro osušeno i drenirano tlo		Osušeno tlo		Svježe tlo		Vlažno tlo		Mokro tlo	Vrlo mokro tlo	Vrlo mokro tlo	
	Tekstura tla	Grubo-zrnati pijesci, pješčenjaci		Srednje-zrnati pijesci, pjeskovita ilovača		Sitno-zrnati pijesci, pjeskoviti silt, glinoviti silt				Silt, glinoviti silt i pjeskovita glina, organski ostatak do 60 cm dubine tla		Organski ostatak više od 60 cm dubine tla	
	Porijeklo	Prekambrijski nanosi, pijesci i kalko-fluvijalni nanosi		Glacijalni nanosi		Lakustrijski i fluvijalni nanosi				Stratificirani glacio-lakustrijski nanosi		Trestetišta,	
	Površinske prepreke	Vrlo ravan teren		Djelomično ravan teren		Djelomično neravan teren			Neravan teren		Vrlo neravan teren		
		Visina ili dubina prepreke (cm) i učestalost prepreke (kom/100 m ²)											
		10 – 30	0 – 4	10 – 30 30 – 50	0 – 4 1 – 4	10 – 30 30 – 50 50 – 70	> 4 5 – 40 1 – 4	10 – 30 30 – 50 50 – 70 70 – 90	> 4 5 – 40 1 – 4 1 – 4	10 – 30 30 – 50 50 – 70 70 – 90 > 90	> 4 > 40 > 4 > 4 > 0		
Nagib, %	>10		10 – 20		20 – 33		33 – 50		>50				
Vegetacijski indikatori	Vrste drveća	<i>Pinus banksiana</i> , <i>Betula papyrifera</i> , <i>Populus tremuloides</i>		<i>Pinus banksiana</i> , <i>Betula papyrifera</i> , <i>Populus tremuloides</i> , <i>Abies balsamea</i> , <i>Picea glauca</i> , <i>Pinus strobus</i>		<i>Abies balsamea</i> , <i>Picea glauca</i> , <i>Populus tremuloides</i> , <i>Pinus banksiana</i> , <i>Picea mariana</i>		<i>Abies balsamea</i> , <i>Picea mariana</i> , <i>Picea glauca</i> , <i>Populus sp.</i>	<i>Picea mariana</i> , <i>Larix laricina</i> , <i>Thuja occidentalis</i>	<i>Picea mariana</i> , <i>Larix laricina</i> , <i>Sqalix sp.</i>	<i>Picea mariana</i> "Nana", <i>Larix laricina</i>		
	Prizemno rašće	Lišajevi, <i>Arctostaphylos</i> sp., mahovine iz porodice <i>Hypnaceae</i> , travnate zajednice		Travnate zajednice, mahovine iz porodice <i>Hypnaceae</i>		Mahovine iz porodice <i>Hypnaceae</i> , travnate zajednice			<i>Alnus</i> sp., <i>Sphagnum</i> sp., <i>Rhododendron</i> sp., <i>Kalmia</i> sp.		<i>Chamaedaphn e callyculata</i> , <i>Sphagnum</i> sp., <i>Rhododendron</i> sp., <i>Betula nana</i>		
NGP, kPa		>200		70 – 200		40 – 70			20 – 40		<20		

Kanadska se razredba terena (Mellgen 1980) temelji na norveškim i švedskim razredbama, te se zasniva na tri glavna terenska čimbenika koji utječu na kretnost vozila (tablica 2.3), ali i na

vegetacijskim indikatorima (tipične vrste drveća i prizemnog rašća) te daje preporuke za dopuštene dodirne tlakove vozila na tlo (*NGP*).

Skandinavska razredba trenena iz 1992. (Berg 1992) opisnog je karaktera te uzima u obzir sljedeće terenske čimbenike: 1) nosivost tla, 2) površinske prepreke, 3) nagib terena, 4) vrstu i pokrov tla, 5) stjenovitost, 6) panjeve i šumski ostatak te 7) tvrdoću snijega. Služi za primjenu u praksi te na jednostavan način objašnjava kako odrediti veličinu pojedinog čimbenika (tablica 2.4). Stanje tla, autor opisuje kroz vrstu tla, vlažnost tla i navodi moguću stabilizaciju tla različitim materijalima. Površinske prepreke dijeli u 4 razreda visine i ovisno o njihovom udjelu, svrstava teren u pojedine razrede. Ispitivanja stjenovitosti služe za određivanje postotnog udjela stijena ili kamenja (do dubine tla od 20 cm) ovisno o ispitivanoj šumskoj površini (uzorak točaka može biti nasumičan ili sistematski). Tvrdoća snijega procjenjuje se na većem uzorku površine gdje se u određeni dio zasiječe snijeg i odredi čvrstoća ručnim testom.

Tablica 2.4 Skandinavska razredba terena (Berg 1992)

Razred	1		2		3	4	5
Vlažnost tla	Dobro osušeno		Osušeno		Svježe	Vlažno	Vrlo vlažno
Tekstura tla	Grubo-zrnati pijesci		Sitno-zrnati pijesci, glinoviti silt		Pjeskoviti sitno-zrnati silt	Glinoviti silt	Glinasta
Operativno	Moguća vožnja tokom cijele godine.		Moguća vožnja tokom cijele godine – oprez u vrijeme topljenja snijega i dužeg kišnog perioda.		Oprez kod udolina, korištenja teških vozila i brojnih prolazaka vozila istim pravcem.	Potrebna stabilizacija; korištenje teških vozila jedino na smrznutom tlu.	Korištenje kotačnih vozila jedino kada je tlo smrznuto.
Organski materijal	Malo (ljeti mrvičast)		< 5 cm		5 – 15 cm	15 – 30	>30 cm
Površinske prepreke	Vrlo ravan teren		Djelomično ravan teren		Djelomično neravan teren	Neravan teren	Vrlo neravan teren
	Broj prepreka (kom/ha) i međusobna udaljenost (m)						
H20 (10 – 30 cm)	40 – 400 5 – 16 m	400 – 4000 1,6 – 5 m	400 – 4000 1,6 – 5 m	> 4000 < 1,6 m	> 4000 < 1,6 m	> 4000 < 1,6 m	Svi uvjeti iznad 4
H40 (30 – 50 cm)	4 – 40 16 – 50 m	0	40 – 400 5 – 16 m	4 – 40 16 – 50 m	400 – 4000 1,6 – 5 m	400 – 4000 1,6 – 5 m	
H60 (50 – 70 cm)			4 – 40 16 – 50 m		40 – 400 5 – 16 m	40 – 400 5 – 16 m	
H80 (> 70 cm)					4 – 40 16 – 50 m		
Stjenovitost, %	Udio = (broj uočenih stijena * 100) / ukupan br.ispitivanih točaka						
	0		1 – 20		21 – 40	41 – 60	61 – 100
Nagib, %	0 – 10		10 – 20		20 – 33	33 – 50	> 50
Šumski ostatak i panjevi	Prekriveno 10 % površine, ostatak debljine do 10 cm		Prekriveno 60 – 70 % površine, ostatak rijetko deblji od 20 cm		Prekriveno 60 –90 % površine, ostatak rijetko deblji od 30 cm	Prekriveno 90 – 100 % površine, ostatak deblji od 30 cm	Svi uvjeti iznad 4

Sa naglaskom na okolišnu pogodnost, 2002. godine nastaje EcoWood razredba terena (tablica 2.5) kao svojevrsan operativni protokol za radove pridobivanja drva na ekološki osjetljivim područjima (Owende i dr. 2002). Kao rezultat navedenoga projekta nastaje i preporuka o primjeni (korištenju) pojedinih sredstava privlačenja drva s obzirom na prisutne terenske čimbenike (tablica 2.6).

Tablica 2.5 EcoWood razredba terena (Owende i dr. 2002)

Razred	Stanje podloge	Neravnost terena						Nagib	
		Opis	Visina prepreke, cm	Visina prepreka, cm					
				20	40	60	80		
				Prosječna udaljenost, m					
1	Dobro	Ravan	H 20	1,6 – 5 5 – 16	> 16	> 16	> 16	Blag	< 8° ili 14 %
			H 20 – 40	< 1,6 1,6 – 5	> 16 5 – 16	> 16 > 16	> 16 > 16		
2	Prosječno	Djelomično neravan	H 40 – 60	< 1,6 < 1,6	1,6 – 5 1,6 – 5	5 – 16 1,6 – 5	> 16 > 16	Srednji	8° – 14° ili 14 – 25 %
			H 40 – 80	< 1,6 1,6 – 5	< 1,6 1,6 – 5	5 – 16 1,6 – 5	5 – 16 5 – 16		
3	Loše	Neravan	H 40 – 80	< 1,6 < 1,6	< 1,6 < 1,6	1,6 – 5 < 1,6	5 – 16 < 1,6	Strmi	> 14° ili > 25 %
4	Vrlo loše (kretnost onemogućena)								

Tablica 2.6 EcoWood razredba terena za privlačenje drva (Owende i dr. 2002)

1.1.1	2.1.1	3.1.1	4.1.1
Forvarder, skider, konj			Forvarder sa postavljenim polugusjenicama, šumska žičara
1.1.2	2.1.2	3.1.2	4.1.2
Forvarder, skider, konj		Forvarder, forvarder sa postavljenim polugusjenicama, šumska žičara	
1.1.3	2.1.3	3.1.3	4.1.3
Forvarder, skider, konj		Šumska žičara	
1.2.1	2.2.1	3.2.1	4.2.1
Forvarder, skider, konj			Forvarder sa postavljenim polugusjenicama, šumska žičara
1.2.2	2.2.2	3.2.2	4.2.2
Forvarder, konj	Forvarder, forvarder sa postavljenim polugusjenicama	Forvarder sa postavljenim polugusjenicama, šumska žičara	
1.2.3	2.2.3	3.2.3	4.2.3
Forvarder sa postavljenim lancima, šumska žičara		Šumska žičara	
1.3.1	2.3.1	3.3.1	4.3.1
Forvarder, šumska žičara		Forvarder sa postavljenim polugusjenicama, šumska žičara	
1.3.2	2.3.2	3.3.2	4.3.2
Forvarder, šumska žičara	Forvarder, forvarder sa postavljenim polugusjenicama, šumska žičara	Šumska žičara	
1.3.3	2.3.3	3.3.3	4.3.3
Šumska žičara			

Velika je važnost ujednačenosti razredbi terena jer jedino su u tom slučaju moguće usporedbe i izmjene znanja te iskustava na međunarodnoj razini. Značajke i troškovi radnih operacija se ne mogu objašnjavati i predviđati ako radni uvjeti (značajke okruženja) nisu poznati.

Primjenom suvremenih metoda (GIS), poznavanjem terenskih značajki (čimbenika), tehnoloških mogućnosti šumarskih vozila (proizvodnost, okolišna pogodnost) te načina gospodarenja šumama (sječna gustoća, otvorenost šuma) nastaju brojni modeli i sustavi za potporu odlučivanja čiji su temelj upravo razredbe terena odnosno prometnost terena.

2.2 Prikupljanje dostupnih prostornih podataka i njihova prilagodba za analizu

Razredba terena za šumarstvo predstavlja podjelu šumskih površina u jedinice, za koje vrijedi isti ili barem sličan stupanj poteškoća sa stajališta izvođenja bilo koje vrste šumskih radova (Owende i dr. 2002). Razredbe terena za izvođenje šumskih radova namijenjene su praktičnoj primjeni pri: planiranju radova pridobivanja drva i njege šuma, kontroli izvođenja radova, ocjeni pogodnosti mehaniziranih sredstava rada te njihovoj međusobnoj usporedbi, razvoju mehaniziranih sredstava rada, planiranju tržišta, odnosno kao podloge pri sklapanju ugovora s privatnim poduzetnicima (Mellgren 1980) te planiranju budućeg otvaranja šuma šumskom prometnom infrastrukturom.

Za određivanje reljefnih područja gospodarskih šuma republike Hrvatske sa stajališta pridobivanja drva i otvaranja šuma prikupljeni su i analizirani prostorni podatci vezani uz:

- Nagib terena
- Indeks neravnosti terena
- Stjenovitost tla
- Način vlaženja tla
- Rizik od erozije
- Biljne zajednice
- Drvnu zalihu
- Srednju udaljenost privlačenja drva

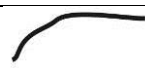
2.2.1 Nagib terena

Nagib terena spada u grupu makrotopografskih značajki terena, koje utječu na kretanje vozila, pri čemu se svi kotači vozila sukobljavaju s jednakim makrotopografskim vrijednostima. Među makrotopografske značajke terena ubrajaju se:

- Inklinacija terena ili kut nagiba terena – prikazuje se kao vertikalni profil određenog presjeka terena, a uobičajeno se iskazuje kao postotak nagiba ($100 \tan \alpha$);
- Smjer nagiba terena predstavlja uzdužni nagib terena u smjeru kretanja vozila, a može biti pozitivan (kretanje vozila uz nagib), odnosno negativan (kretanje vozila niz nagib). Nagib terena u smjeru vožnje, ograničava uporabu strojeva s obzirom na kut uzdužne stabilnosti vozila. Osim uzdužnog nagiba terena, vozila za kretanje po bespuću koja se primjenjuju u eksploataciji šuma pod utjecajem su i bočnog nagiba;
- Duljina nagiba određene inklinacije;
- Oblik nagiba predstavlja način razvedenosti nagnute površine (konkavan, konveksan, terasast).
- Ekspozicija predstavlja izloženost nagnute površine stranama Svijeta.

Nagib terena određene šumske površine, zbog utjecaja na siguran rad vozila, najbitniji je čimbenik pri izboru sredstava privlačenja drva. Löffler (1984) raščlanjuje nagib terena u pet razreda, i to s obzirom: na inklinaciju terena, duljinu te oblik nagiba (tablica 2.7). Isti autor, navodi da značenje duljine nagiba terena treba poimati kroz slučajeve neprekinute (od podnožja do vrha padine terena) i prekinute (pravilno položeni nagibi unutar terasa) duljine nagiba, dok za oblike nagiba terena navodi da su pogodni za opis manjih površina terena.

Tablica 2.7 Raščlamba kuta, duljine te oblika nagiba terena (Löffler 1984)

Razredi kuta nagiba terena	Opis terena	Raspon vrijednosti			Razredi duljine nagiba terena	Raspon Vrijednosti
		%	°			
1	Ravničasti teren	0 – 10	0 – 6		1	25 – 100 m
2	Blago nagnuti teren	10 – 20	6 – 11		2	100 – 200 m
3	Umjereno nagnuti teren	20 – 33	11 – 18		3	200 – 300 m
4	Strmi teren	33 – 50	18 – 27		4	300 – 700 m
5	Vrlo strmi teren	> 50	> 27		5	> 700 m
Razredba oblika nagiba terena						
Oblici nagiba terena	Pravilan nagib (R)	Terasast nagib (T)	Valoviti nagib (U)	Konkavni nagib (V)	Konveksni nagib (X)	
Izgled nagiba terena						

U današnje vrijeme digitalni modeli reljefa (DMR) pružaju osnovne kvantitativne informacije o površini Zemlje (Varga i Bašić 2013). Isti autori navode da većina pružatelja podataka i profesionalnih korisnika rabi izraz digitalni model reljefa i za digitalni model terena (eng. *Digital Terrain Model*, DTM) i za digitalni model površine (eng. *Digital Surface Model*, DSM).

Digitalni model terena najčešće se odnosi na fizičku površinu Zemlje (visinu stvarne površine), dok digitalni model površine opisuje gornju plohu koja uključuje i visine vegetacije, izgrađene objekte i ostale površinske objekte, a visine fizičke površine opisuje jedino u područjima gdje nema navedenih objekata (Maune 2007).

Digitalni modeli reljefa daju podatke o visinama i položaju točaka na terenu te se iz njih mogu dalje dobiti različiti geomorfološki parametri poput nagiba terena (iznosa i smjera), indeksa zakrivljenosti terena, indeksa vlažnosti tla i dr. (Beven i Kirkby 1979, Hirt i dr. 2010).

Varga i Bašić (2013) zaključuju da su kvalitetni digitalni modeli reljefa potrebni u gotovo svim geoznanstvenim aplikacijama i primjenama.

Uzroci nastajanja pogrešaka i razlika između digitalnih modela reljefa su mnogobrojni, a neki su od njih: mjerna tehnika (lasersko ili fotogrametrijsko snimanje površine Zemlje), razvedenost reljefa (nizinsko ili planinsko područje), tip površine (površina Zemlje s vegetacijom ili bez vegetacije i izgrađenih objekata), razlučivost modela, pogreške vertikalnog datuma (srednje razine mora ili modela geoida), horizontalno neslaganje modela i drugi.

2.2.2 Indeks neravnosti terena

Neravnost reljefa (eng. *terrain ruggedness*) određena je nagibom, oblicima nagiba te smjerom pružanja nagiba na nekoj površini. Ona utječe na bogatstvo biljnog i životinjskog svijeta, hidrološke prilike, demografiju, a samim time i na pristupnost šumskim površinama. Određivanje neravnosti reljefa često je korišteno u svrhu proučavanja staništa životinja, njihovih migracija i kretanja (Fabricius i Coetzee 1992, Canon i Bryant 1997), prilikom proučavanja biodiverziteta biljaka te ekološkog modeliranja (Van Niel i dr. 2004), u hidrološkim istraživanjima kretanja i zadržavanja vode na/u tlu (Huang i Jiang 2002, Hjerdt i dr. 2004), u istraživanjima o širenju požara i njihovom utjecaju na biodiverzitet (Wimberly i Riley 2007).

Beasom i dr. (1983) predstavljaju metodu određivanja neravnosti terena na temelju slojnica i kota sa topografskih karata, a Koeln i dr. (1996) navode da razvojem (i ubrzavanjem) rada računala i računalnih programa dostupnost prostornih podataka postaje veća.

Riley i dr. (1998, 1999) razvijaju indeks neravnosti terena (eng. *Terrain Ruggedness Index* – TRI) koji se zasniva na podacima o nadmorskim visinama dobivenih sa digitalnih modela visina terena (DEM – eng. *Digital Elevation Model*). Autori na temelju korjenovane razlike u nadmorskoj visini i smjeru pružanja nagiba između točaka na terenu određuju sedam razreda neravnosti terena:

1. Ravan teren: 0 – 80 m
2. Gotovo ravan teren: 81 – 116 m
3. Djelomično ravan teren: 117 – 161 m
4. Djelomično neravan teren: 162 – 239 m
5. Neravan teren: 240 – 497 m
6. Vrlo neravan teren: 498 – 958 m
7. Potpuno neravan teren: 959 – 4367 m.

2.2.3 Stjenovitost tla

Površinske prepreke spadaju u grupu mikrotopografskih značajki terena, koje su neovisne o makrotopografiji terena, a obuhvaćaju sve neravnosti terena, odnosno površinske prepreke koje utječu na kretanje jednog ili više kotača vozila. Procjena stupnja prekrivenosti tla stijena i kamenom jedan je od elemenata za određivanje kakvoće i proizvodnosti staništa (Čavlović 2010). Isti autor u nacionalnoj inventuri šuma navodi da na 55,11 % površina privatnih i državnih šuma nema kamenitosti, na 16,99 % površina je udjel kamenitosti od 0 do 25 %, na 10,91% površina je udjel kamenitosti 26 do 50 %, a na 15,77 % površina je kamenitost preko 50 % (na 1,2 % površine šuma kamenitost nije procijenjena). Nadalje autor zaključuje da cijela nizinska zona, najveći dio brdske zone (77 %), cio visokogorske (26 %) i submediteranske zone (14 %) čine površine šuma bez kamenitosti. Unutar eumediteranske zone postoji gotovo apsolutna kamenitost.

Površinske prepreke terena koje ograničavaju kretanje vozila po šumskom bespuću predstavljaju površinska mikroreljefna ispupčenja (stijenje, kamenje, džombe) i uleknuća (vodotoci, jarci, vrtače), zatim dubeća stabla, panjevi posječenih stabala te otpad pri sječi i izradbi. Löffler (1984) površinske prepreke sa stajališta kretnosti vozila opisuje kao:

- Depresije (uleknuća) s čvrstim i jasno određenim rubovima (duboke najmanje 0,2 m pri čemu se depresije s promjerom 6 puta većim od dubine ne uzimaju u obzir);
- Kamenje, stijenje i terenske zapreke visine najmanje 0,1 m.

Sve raščlambe neravnosti terena (površinskih prepreka) za potrebe izrade razredba terena kod izvođenja šumskih radova određene su veličinom i rasporedom površinskih prepreka određene šumske površine. Löffler (1984) i Rowan (1995) navode da se površinske prepreke utvrđuju na primjernim plohama, kružnoga ili kvadratnog oblika, najmanje ploštine od 100 m², te se dijele u četiri visinska razreda: H20 (10 – 30 cm), H40 (30 – 50 cm), H60 (50 – 70 cm) i H80 (> 70 cm).

Ovisno o autorima, raščlambe površinskih prepreka terena, zasnovane su s obzirom na visinu i međusobnu udaljenost površinskih prepreka, na visinu i učestalost prepreka po jedinici površine odnosno učestalost prepreka određenog visinskog razreda opisanu s gustoćom po jedinici površine, ali i međusobnim razmakom.

Prema američkom priručniku za pedološka istraživanja (Anon. 2017) broj, veličina i razmak između stijena/kamenja na površini tla (ali i ispod površine) utječu na način korištenja i gospodarenja tlom. Autori dijele površinske prepreke odnosno stjenovitost i kamenitost tla u 5 razreda:

1. Do 0,10 % udio stijena
2. Udio od 0,11 – 3% stijena
3. Udio od 3,01 – 15 % stijena
4. Udio od 15,01 – 50 % stijena
5. Više od 50,1 % stijena na površini tla.

2.2.4 Način vlaženja tla

Način vlaženja tla opisuje kretanje i zadržavanje vode u tlu. Prema namjenskoj pedološkoj karti republike Hrvatske (Bogunović i dr. 1997) način vlaženja tla može biti automorfni, gdje se tlo vlaži isključivo oborniskim vodama koje se ne zadržavaju u tlu. Smeiglejni način je vlaženje tla podzemnom vodom ispod 1 m dubine. Pseudoglejni je stagnirajućom oborniskom vodom, hipoglejni

isključivo podzemnom vodom do površine, epiglejni vlaženje poplavnim i slivenim (gornjim) vodama koje leže na tlu, amfiglejni vlaženje podzemnom i gornjom vodom i pseudoglej-glejni je kombinirani način vlaženja stagnirajućom oborinskom i podzemnom vodom.

2.2.5 Rizik od erozije

Prema Husnjaku (2000) potencijalni je rizik od erozije tla vodom definiran kao temeljna osjetljivost tla prema eroziji tla vodom i to ne uzimajući u obzir vegetacijski pokrov ili način korištenja. Potencijalni rizik predstavlja dakle najgori mogući slučaj, odnosno procjena potencijalnog rizika od erozije tla vodom bazira se na pretpostavci da se cjelokupno područje istraživanja koristi kao obradivo. Osnovne značajke nekog terena koje imaju dominantni utjecaj na potencijalni rizik od erozije tla vodom su erodibilnost tla, erozivnost oborina i nagib terena.

Indeks potencijalnog rizika određen je na temelju slijedećeg proračuna:

$$\text{Indeks potencijalnog rizika} = \text{Klasa erodibilnosti tla} \cdot \text{Klasa erozivnosti oborina} \cdot \text{Klasa nagiba terena} \quad (1)$$

Nakon proračuna indeksa potencijalnog rizika erozije tla vodom, izdvojeni su klase i potklase potencijalnog rizika o erozije (tablica 2.8).

Tablica 2.8 Klase potencijalnog rizika od erozije tla vodom

Klasa potencijalnog rizika od erozije	Opis rizika	Indeks potencijalnog rizika
1	Nizak rizik	> 0 – 5
2	Umjereni rizik	> 5 – 11
3	Visok rizik	> 11

Isti autor navodi da sa druge strane stvarni rizik od erozije tla vodom predstavlja stvarni, aktualni ili postojeći rizik od erozije s obzirom na sadašnji vegetacijski pokrov i način korištenja. Na područjima s drugom klasom vegetacijskog pokrova koja predstavlja obradiva područja, odnosno sva područja koja nisu pod šumom, potencijalni rizik je ujedno i stvarni rizik od erozije tla vodom, dok se na područjima s prvom klasom vegetacijskog pokrova koja predstavlja površine pod šumom i permanentnim pašnjacima, visina rizika od erozije tla vodom smanjuje za jedan, ali samo kod druge i treće klase potencijalnog rizika, dok se prva klasa ne mijenja. Shodno tome, na područjima s umjerenim i visokim potencijalnim rizikom od erozije tla vodom i područjima s prvom klasom vegetacijskog pokrova, umjereni potencijalni rizik predstavlja niski stvarni rizik dok visoki potencijalni rizik predstavlja umjereni stvarni rizik (tablica 2.9).

Tablica 2.9 Matrica za određivanje klase stvarnog rizika od erozije tla vodom

Klasa potencijalnog rizika od erozije	Klasa vegetacijskog pokrova	Stvarni rizik od erozije tla vodom	
		Klasa	Opis klase
1	1	1	Nizak rizik
	2	1	Nizak rizik
2	1	1	Nizak rizik
	2	2	Umjeren rizik
3	1	2	Umjeren rizik
	2	3	Visok rizik

2.2.6 Biljne zajednice

Za svrsihodnu ekološko-biološku raščlambu reljefa, apsolutne visine nisu dovoljno realan oslonac jer su one iako stalne često i nepostojani bioekološki pokazatelj i razdjeljivač jer ovisno o vrlo utjecajnim ostalim reljefnim čimbenicima vrlo variraju na pojedinom ili udaljenijim lokalitetima unitar istih reljefnih oblika (Bertović 1999). Isti autor nadalje navodi da je iznenađujuće što se u gotovo svim reljefnim interpretacijama zanemaruje već odavno znanstveno dobro opisan i poznat biljni svijet, iako je šumska i ostala vegetacija istaknuti reljefni i zemljopisni čimbenik, posebno u Hrvatskoj,

najsigurniji u obilježbi i omeđenju osnovnih reljefnih oblika tj. nizina, brda, gora, a osobito pretplaninskih područja i planina. Autor definira pojam *bioklimat* kao prostorno definirano područje (lokalitet), s izraženim osobitostima podneblja (klimatski tip) i s određenim, toj klimi, prilagođenim vegetacijskim tipom (biljnom zajednicom). Stoga i pojedine reljefne pojase i potpojase predstavljaju njima analogno oblikovani bioklimati s njihovim neposredno uočljivim biocenoza edifikatorima, primarnim zonalnim i intrazonalnim te ostalim sekundarnim fitocenoza.

Pilaš i dr. (2014) izdvajaju jedanaest šumskih bioklimata zasnovanih na sličnim klimatskim prilikama koji se rasprostiru duž hrvatskog teritorija te koji predstavljaju prostornu raspodjelu glavnih tipova šumskim zajednica:

- A. Pretplaninske šume klekovine (*Hyperico grisebachii-Pinetum mugii*)
- B. Pretplaninske bukove i smrekove šume (*Lonicero caeruleae-Piceetum, Ranunculo platanifolii-Fagetum*)
- C. Jelove, bukovo-jelove te smrekove šume (*Calmagrostio-Abietetum, Blechno-Abietetum, Omphalodo-Fagetum, Festuco drymeiae-Abietetum, Aremonio-Piceetum*)
- D. Brdske bukove šume (*Lamio orvale-Fagetum, Vicio oroboidi-Fagetum, Cephalanthero longifoliae-Fagetum, Helleboro nigri-Pinetum sylvestris*)
- E. Brežuljkaste šume hrasta kitnjaka (*Luzulo-Quercetum petraeae, Quercu-Castaneetum sativae, Epimedio-Carpinetum betuli, Festuco drymeiae-Carpinetum betuli, Quercu-Ostryetum carpinifoliae*)
- F. Šume sladuna i cera (*Quercetum frainetto-cerris*)
- G. Nizinske šume hrasta lužnjaka i poplavne šume (*Salici-Populetum, Frangulo-Alnetum, Leucojo aestivi-Fraxinetum angustifoliae, Genisto elatae-Quercetum roboris, Carpino betuli-Quercetum roboris*)
- H. Submediteranske šume bukve i crnog bora (*Seslerio autumnalis-Fagetum, Ostryo-Fagetum, Ostryo-Pinetum nigrae, Junipero sibiricae-Pinetum dalmatica*)
- J. Submediteranske šume medunca i crnog graba (*Quercu pubescenti-Ostryetum carpinifoliae, Molinio arundinaceae-Quercetum pubescentis, Ostryo-Abietetum, Erico manipuliiflorae-Pinetum dalmatica*)
- K. Submediteranske šume medunca i bijelog graba (*Quercu-Carpinetum orientalis*)
- L. Mediteranske šume i makije alepskog bora i hrasta crnike (*Fraxino orni-Quercetum ilicis, Myrto-Quercetum ilicis, Ostryo-Quercetum ilicis, Quercu ilici-Pinetum dalmatica, Quercu ilici-Pinetum halepensis, Junipero phoeniceae-Pinetum halepensis, Pistacio lentisci-Juniperetum phoeniceae, Oleo-Pistacietum lentisci*)

2.2.7 Drvna zaliha

Prema nacionalnoj inventuri šuma (Čavlović 2010) drvna zaliha po hektaru na razini RH iznosi 232,22 m³, na razini državnih šuma 255,57 m³, a na razini privatnih šuma 155,84 m³. Preciznost procijenjene drvne zalihe na razini RH iznosi 2,00 % odnosno uz 95-postotnu vjerojatnost drvna zaliha od 552,1 mil. m³ nalazi se u rasponu od 541,1 – 563,2 mil. m³. Prosječna drvna zaliha po hektaru privatnih šuma iznosi oko 60 % zalihe državnih šuma, pa privatne šume s površinskim udjelom od 23 % čine samo 15 % ukupne drvne zalihe. Kako je udio drvne zalihe neposredno vezan s površinom i sastavom šuma izraženim prosječnom zalihom po hektaru, čak se polovica ukupne drvne zalihe odnosi na površinski najzastupljeniju brdsko-gorsku zonu, dok se najveći dio ostale polovice odnosi na površinski podjednaku zastupljene visokogorsku i nizinsku zonu. S višestruko manjom drvnom zalihom (6 – 8 puta), drvna zaliha submediteranske i eumediteranske zone čini manje od 6 % ukupne drvne zalihe. Drvna zaliha po hektaru najveća je unutar visokogorske zone, na ukupnoj razini i razini državnih šuma. To može obrazložiti preborni način gospodarenja najzastupljeniji u toj cijeloj zoni, za koji je normalna i karakteristična veća prosječna zaliha nego u regularnim šumama. Relativno visoka zaliha (iznad 300 m³/ha) u nizinskoj zoni svjedoči o većoj zastupljenosti starijih sastojina. Unutar privatnih šuma drvna je zaliha po jedinici površine, osim u submediteranskoj i eumediteranskoj zoni, uglavnom na razini oko 60 % i nizinskoj i visokogorskoj zoni. Brdskogorska zona u kojoj su privatne šume i najzastupljenije (75 %) ističe se relativno visokom drvnom zalihom privatnih šuma od 226 m³/ha (85 % u odnosu na državne šume).

Raspodjela drvene zalihe prema nekima od glavnih vrsta drveća i vlasništvu prikazana je u tablici 2.10.

Tablica 2.10 Drvna zaliha pojedinih vrsta drveća prema vlasništvu (Čavlović 2010)

Vrsta drveća	Drvna zaliha po vrstama drveća i vlasništvu					
	Državne šume		Privatne šume		Ukupno	
	m ³ /ha	%	m ³ /ha	%	m ³ /ha	%
Obična bukva	95,45	37,35	32,60	20,91	80,87	34,82
Obični grab	20,75	8,12	23,10	14,82	21,25	9,15
Poljski jasen	9,52	3,73	0,41	0,26	7,41	3,19
Hrast kitnjak	21,51	8,42	20,67	13,26	21,28	9,16
Hrast lužnjak	37,33	14,61	6,65	4,27	30,21	13,01
Obična jela	18,54	7,25	0,57	0,37	14,38	6,19
Obična smreka	6,79	2,66	1,54	0,99	557	2,40
Crni bor	3,61	1,41	1,12	0,72	3,03	1,30
Alepski bor	1,98	0,77	3,44	2,21	2,31	0,99
Hrast crnika	0,66	0,26	1,74	1,12	0,9	0,39

2.2.8 Srednja udaljenost privlačenja drva

Kao podlogu za teoriju transporta drva, Matthews (1942) je prvi formulirao teorijski okvir koji povezuje geometriju (raspored) mreže prometnica i njenu funkcionalnu povezanost s udaljenošću privlačenja drva, koja podrazumjeva: 1) dvo-dimenzijski model (ravan teren), 2) pravocrtno pružanje jednoliko raspoređenih paralelnih cesta na jednakom međusobnom razmaku, 3) jednolik raspored posječenoga drva u prostoru koje se privlači najkraćim putem na najbližu cestu pri čemu je srednja udaljenost privlačenja drva jednaka četvrtini razmaka među cestama.

Ispunjenjem pretpostavki teorijskoga okvira, primjenjive su sljedeće ovisnosti:

$$g_c = \frac{10000 \cdot L}{e \cdot L} = \frac{10000}{e} \quad (2)$$

$$s_t = \frac{e}{4} = \frac{2500}{g_c} \quad (3)$$

gdje su:

g_c gustoća cesta, m/ha

s_t teorijska udaljenost privlačenja drva, m

e razmak između cesta (širina pojasa otvaranja), m

L duljina ceste (duljina pojasa otvaranja) ceste, m

Na Matthewsov teorijskom modelu zasniva se i optimalna otvorenost šuma, koja predstavlja krajnji cilj otvaranja šumskih područja, a polazi od metode najmanjih zbirnih troškova privlačenja drva te troškova vezanih uz postojanje (građenje i održavanje) šumskih cesta (Dietz i dr. 1988, Sundberg i Silversides 1988, Pičman i dr. 1997, Sessions 2007). Najmanji zbirni trošak izgradnje šumske ceste i privlačenja drva izračunava se na način, da se njegova prva derivacija po udaljenosti između šumskih cesta izjednači s nulom (izraz 4). Model najmanjih zbirnih troškova privlačenja drva i gradnje šumskih prometnica zasniva se na postavci da što je mreža šumskih prometnica gušća, to su veći troškovi gradnje prometnica, a transport drva jeftiniji i obratno.

$$e_{opt} = 200 \cdot \sqrt{\frac{c_{ces}}{2 \cdot C_{sr} \cdot V_{ha}}} \quad (4)$$

gdje su:

e_{opt}	optimalan razmak među cestama, km
C_{ces}	jedinični trošak gradnje i održavanja šumske ceste, HRK/km
C_{sr}	trošak strojnoga rada (kalkulacija) sredstva privlačenja drva, HRK/h
v	brzina kretanja (ne)opterećenoga vozila, km/h
V_t	obujam tovara sredstva privlačenja drva, m ³ /tura
V_{ha}	sječna gustoća šumskoga područja, m ³ /ha

Sabadi (1992) te Pentek i dr. (2004), za metodu najmanjih ukupnih troškova pridobivanja drva kao postupka iznalaženja optimalne otvorenosti određenog šumskog područja, navode da je podložna velikoj rastezljivosti, zbog utjecaja jediničnoga troška gradnje šumske prometnice, vrste i tipa traktora kojim se privlači drvo, kao i intenziteta sječa određene šumske površine.

Segebaden (1964) navodi da zbog različitosti orografije terena te nepravilnosti šumskih površina i mreže prometnica, opće primjenjiva i matematički točna, ovisnost udaljenosti privlačenja drva i gustoće mreže šumskih cesta ne postoji. Isti autor, nadopunjuje geometrijski model Matthews (1942), uzimajući u obzir: 1) nepravilnost mreže cesta koja se pojavljuje u stvarnosti i 2) odstupanje privlačenja drva od pravocrtnoga i okomitog kretanja prema cesti, uslijed djelovanja terenskih čimbenika šumskoga bespuća (nagib terena, površinske prepreke, nosivost podloge). S ciljem valoriziranja udaljenosti privlačenja drva u stvarnome životu, pomoću metode mreže točaka, definira pet tada novih parametara: 1) srednju geometrijsku udaljenost privlačenja, 2) srednju stvarnu udaljenost privlačenja, 3) faktor mreže prometnica (cesta), 4) faktor privlačenja drva te 5) ukupni faktor korekcije.

Geometrijska udaljenost privlačenja drva je najkraća udaljenost od zadane točke u prostoru do najbliže ceste. Srednja geometrijska udaljenost privlačenja drva neke površine šuma je aritmetička sredina geometrijskih udaljenosti privlačenja drva beskonačnoga broja točaka jednoliko raspoređenih predmetnom površinom, pri čemu svaka točka predstavlja beskonačno malu površinu (izraz 5).

$$\bar{s}_g = \frac{\sum_{i=1}^n s_{g_i}}{n} \quad (5)$$

Srednja stvarna udaljenost privlačenja drva je aritmetička sredina ostvarenih udaljenosti privlačenja drva od beskonačnoga broja točaka jednoliko raspoređenih po površini, do mjesta na šumskoj cesti gdje se sabire drvo (izraz 6).

$$\bar{s}_d = \frac{\sum_{i=1}^n s_{d_i}}{n} \quad (6)$$

Faktor mreže prometnica, određen je kao odnos srednje geometrijske i srednje teorijske udaljenosti privlačenja (izraz 7), a uvažava postojeće nepravilnosti mreže primarne prometne šumske infrastrukture (cesta), ali i površine šuma, u odnosu na teorijski model, uslijed morfoloških parametara reljefa (nagib terena, razvedenost reljefa, gustoća i razvedenost hidrografske mreže), odnosno primijenjenog sustava primarnog otvaranja šuma. Faktor mreže prometnica, koristi se za pretvorbu srednje teorijske udaljenosti privlačenja (izračunate iz gustoće cesta određenoga šumskog područja) u srednju geometrijsku udaljenost privlačenja (izraz 8), a najčešće se iskazuje na razini gospodarske jedinice.

$$f_m = \frac{\bar{s}_g}{s_t} = \frac{\bar{s}_g}{2500} = \frac{\bar{s}_g \cdot g_c}{2500} \quad (7)$$

$$\bar{s}_g = s_t \cdot f_m \quad (8)$$

Dietz i dr. (1984) navode da se vrijednosti faktora mreže prometnica kreću u rasponu od 1,2 (nizina) do 2,0 (brdsko-planinsko područje).

Faktor korekcije privlačenja drva predstavlja odnos srednje stvarne i srednje geometrijske udaljenosti privlačenja drva (izraz 9), a uvažava odstupanje (povećanje) udaljenosti privlačenja drva u odnosu na najkraću udaljenost do šumske ceste (pomoćnoga stovarišta) uslijed djelovanja: 1) terenskih čimbenika te oblika i rasporeda sekundarne mreže šumskih prometnica, 2) mogućnosti prihvata drva korištenim sredstvom privlačenja drva (skider – duljina vučnoga uža vitla, forvarder – doseg prihvata drva dizalicom i dr.), 3) načina kretanja drva do pomoćnoga stovarišta (centralno i paralelno privlačenje drva).

$$f_p = \frac{\bar{s}_d}{\bar{s}_g} = \frac{\bar{s}_d}{\frac{2500}{g_c} \cdot f_m} = \frac{\bar{s}_d \cdot g_c \cdot f_m}{2500} \quad (9)$$

Faktor korekcije privlačenja drva, koristi se za pretvorbu srednje geometrijske udaljenosti privlačenja u srednju stvarnu udaljenost privlačenja (izraz 10), a najčešće se iskazuje za radilišta – sječine (odjel, odsjek). Ovaj faktor korekcije sastoji se od faktora horizontalnog zaobilaženja prepreka i faktora vertikalne korekcije nagiba terena ($1/\cos \alpha$).

$$\bar{s}_d = \bar{s}_g \cdot f_p \quad (10)$$

Faktor privlačenja drva se kreće u rasponu od 1,2 do 2,5 ovisno o reljefnome području (Dietz i dr. 1984, Segebaden 1964, Enache 2013), obliku mreže prometnica (Sessions 2007), nadzoru i organizaciji radova privlačenja drva (Stankić 2010), metodi i sredstvu rada (Folegatti 2011).

Sveukupni faktor korekcije teorijske srednje udaljenosti privlačenja drva, predstavlja interakciju faktora mreže prometnica i faktora privlačenja drva – korekcije geometrijske srednje udaljenosti privlačenja (izraz 11), a služi za neposredno pretvaranje teorijske srednje udaljenosti privlačenja u stvarnu srednju udaljenost privlačenja drva (izraz 12). Ovaj faktor, iskazuje se za veće šumsko područje.

$$f_p = f_m \cdot f_p \quad (11)$$

$$\bar{s}_d = s_g \cdot f_p \quad (12)$$

Dietz i dr. (1984) navode da se vrijednosti sveukupnog faktora korekcije kreću u rasponu od 1,6 (nizina) do 3,6 (brdsko-planinsko područje).

Iz sažetoga prikaza, srednje udaljenosti privlačenja drva, kao parametra koji na nekoj šumskoj površini opisuje prosječnu udaljenost na kojoj se privlači drvo od mjesta sječe stabla (panja) do mjesta gdje se drvo sabire (pomoćno stovarište), te samim time snažno utječe na djelotvornost privlačenja drva, uočljive su njezine različite inačice, prvenstveno vezane za:

- ⇒ teorijski model, odnosno stvarno stanje na terenu,
- ⇒ veličinu odnosne šumske površine (gospodarska jedinica, odjel ili odsjek),
- ⇒ položaj šumske površine u odnosu na prostorni raspored šumskih cesta (geometrijska) u odnosu na prevaljenu udaljenost micanja drva (stvarna) određenim sredstvom privlačenja drva.

Pentek (2002) pri izračunu prosječne srednje udaljenosti privlačenja drva koristi izraz za izračun vagane aritmetičke sredine, pojedinih, za svaki odjel izračunatih vrijednosti, gdje se kao težine (ponderi) mogu uzimati parametri odjela: površina, drvena zaliha, sječna gustoća, odnosno očekivana kakvoća etata. Bumber (2011) kao pondere pri analizi otvorenosti šuma kroz strukturu prihoda drva u prostoru i vremenu koristi faktor položaja sječina i faktor položaja etata, koji su idejno zasnovani na faktoru mreže prometnica.

Euklidska udaljenost (izračunata putem računalnog programa ArcGIS, alat *Euclidean distance* unutar alata *Spatial Analyst*) izuzetno je dobar alat za određivanje prosječne geometrijske udaljenosti privlačenja drva na razini gospodarske jedinice, odnosno srednjih geometrijskih udaljenosti privlačenja drva pojedinih odjela/odsjeka (Bumber 2011). Isti autor, navodi da euklidska udaljenost odgovara Segebadenovim (1964) temeljima određivanja srednje geometrijske udaljenosti privlačenja drva.

2.3 Geostatička obrada prostornih podataka

Za obradu podataka korišteni su slijedeći programski paketi: ArcGIS 10.1 i QGIS 2.14.3 za prostornu analizu podataka. Mapsource i Garmi Base Camp za prebacivanje i pretvorbu podataka snimljenih GPS-om.

Analizirani su prostorni podaci vezani za državne gospodarske šume te privatne šume čija ukupna površina u ovoj razredbi terena iznosi 1 989 647 ha, od čega su površine bez iskazane drvne zalihe (degradirani oblici) u iznosu od 633 774 ha. U analizi prostornih podataka rabljeni su samo poligoni (odsjeci) kojima je pridružena oznaka šumske fitocenoze u atributnoj tablici. Prilikom daljnjih analiza po pojedinim značajkama korišteni su prostorni podaci državnih i privatnih šuma sa iskazanom drvnom zalihom bez degradiranih i inih površina kao što su pašnjak ilirske i stepske vlasulje, šikare, drače i primorske krkavine, kamenjara ljekovite kadulje i kovilja, pretplaninska rudina golog šaša i alpske sunčanice, zajednice rogoza itd.

2.3.1 Nagib terena

Nagib terena je određen na temelju analize digitalnih modela visina terena u programskome paketu ArcGIS 10.1 putem alata *Spatial Analyst Tools* → *Surface* → *Slope*. Navedena aplikacija koristi algoritam izračuna nagiba prema Burrough i McDonell (1998):

$$Nagib = \sqrt{\left(\frac{dz}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dy}\right)^2} \quad (13)$$

$$\frac{dz}{dx} = \frac{[(c + 2f + i) - (a + 2d + g)]}{8 \cdot x(\text{širina}_{\text{ćelije}})} \quad (14)$$

$$\frac{dz}{dy} = \frac{[(g + 2h + i) - (a + 2b + c)]}{8 \cdot y(\text{visina}_{\text{ćelije}})} \quad (15)$$

gdje su:

dz – razlika u nadmorskoj visini,

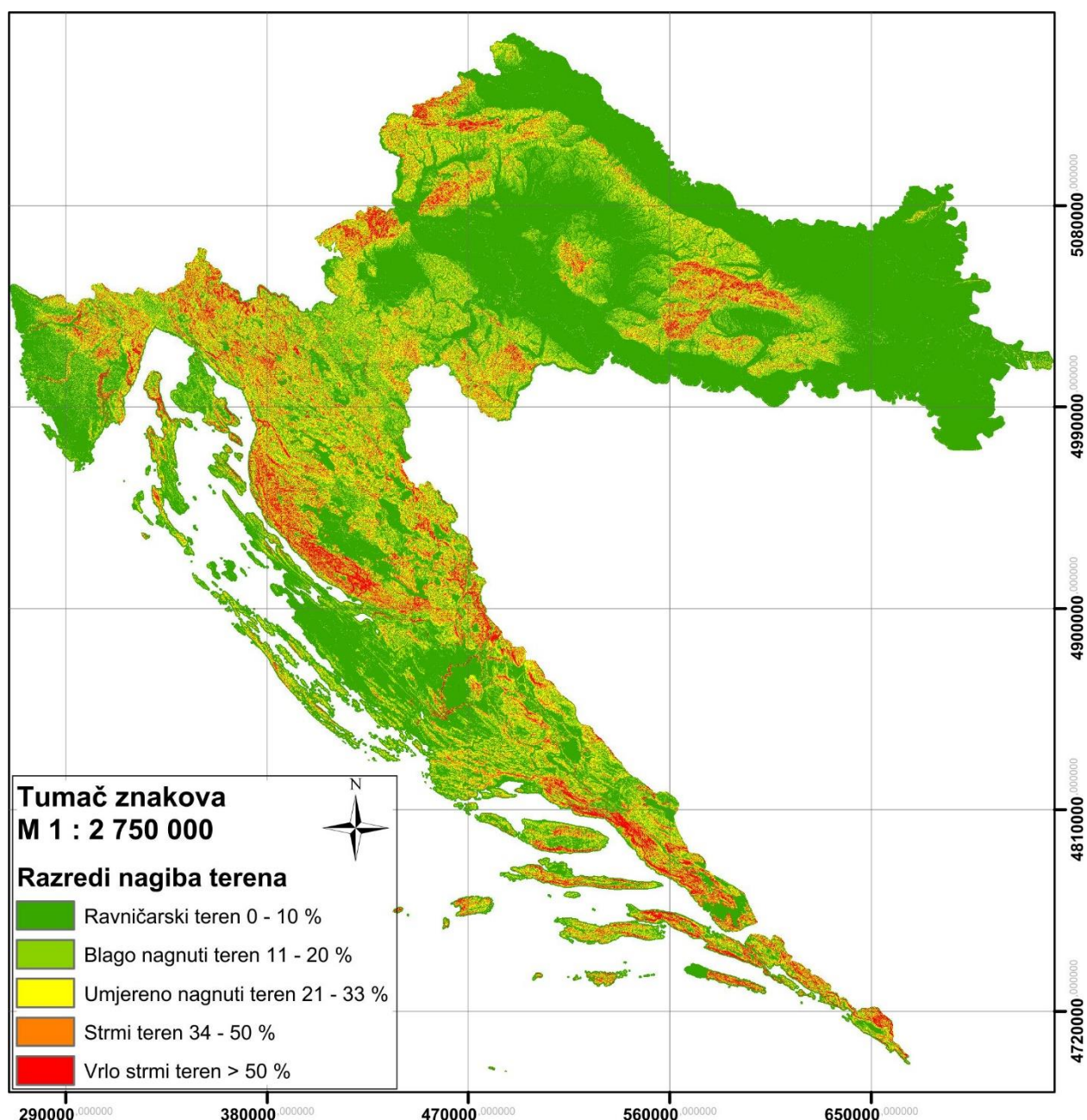
dx – udaljenost u x smjeru,

dy – udaljenost u y smjeru,

e – ćelija za koju se računa nagib,

$a \dots i$ – susjednih 8 ćelija oko ćelije e .

Na osnovi preporuka za kategorizaciju nagiba terena pri izvođenju šumskih radova (Mellgren 1980, Löffler 1984, Berg 1992 i Rowan 1995), nagib terena na razini RH je podijeljen u 5 kategorija: 1) Ravničarski teren 0 – 10 %, 2) Blago nagnuti teren 10 – 20%, 3) Umjereno nagnuti teren 20 – 33 %, 4) Strmi teren 33 – 50 % i 5) Vrlo strmi teren > 50 %. Analiza u navedene kategorije nagiba provedena je pomoću alata *Spatial Analyst Tools* → *Reclass*.



Slika 2.1 Nagib terena u Republici Hrvatskoj

Udjeli nagiba po ukupnoj površini iznose: 1) ravničarski teren 54,73 %, 2) blago nagnuti teren 17,38 %, 3) umjereno nagnuti teren 14,20 %, 4) strmi teren 9,13 % i 5) vrlo strmi teren 4,56 %. Dok se nagibi šumskih površina sa iskazanom drvnom zalihom kreću u slijedećim udjelima: 1) ravničarski teren 30,88 %, 2) blago nagnuti teren 20,74 %, 3) umjereno nagnuti teren 23,02 %, 4) strmi teren 17,11 % i 5) vrlo strmi teren 8,25 %. Iz navedenog se može zaključiti da je 48,38 % šumskim površina sa iskazanom drvnom zalihom na nagibu terena iznad 20 %, dok je pojedinačno najzastupljeniji ravničarski terenu iznosu od 30,88 %.

2.3.2 Indeks neravnosti terena

Indeks neravnosti terena putem alata izračunat je pomoću alata *Spatial Analyst Tools* → *Map Algebra* → *Raster Calculator* na temelju podataka visina te smjera pružanja nagiba terena (slika 2.2) prema smjernicama (Riley i dr. 1999). Računanje indeksa neravnosti temelji se na ukupnoj promjeni (sumi) visine terena i smjera pružanja nagiba između središnje (0,0) ćelije i njenih 8 susjednih ćelija.

-1,-1	0,-1	1,-1
-1,0	0,0	1,0
-1,1	0,1	1,1

$$TRI = \sqrt{[(ell1(0,0)-ell1(-1,-1))^2 + (ell1(0,0)-ell1(0,-1))^2 + (ell1(0,0)-ell1(1,-1))^2 + (ell1(0,0)-ell1(1,0))^2 + (ell1(0,0)-ell1(1,1))^2 + (ell1(0,0)-ell1(0,1))^2 + (ell1(0,0)-ell1(-1,1))^2 + (ell1(0,0)-ell1(-1,0))^2]}$$

Digitalni model visina reljefa

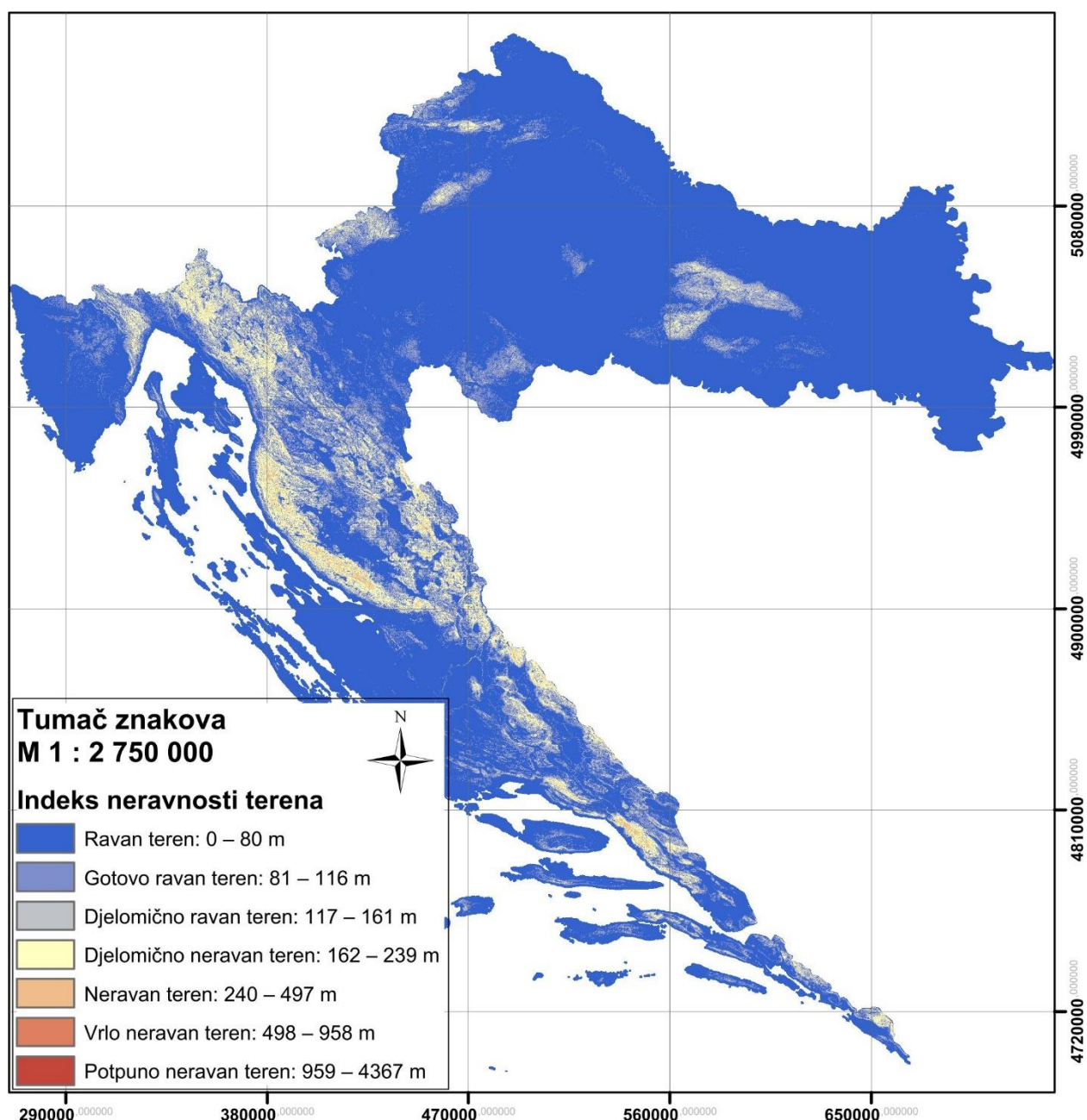
Slika 2.2 Shema načina izračuna indeksa neravnosti terena

Prema Riley i dr. (1998, 1999) određeno je sedam razreda neravnosti terena te su dobiveni udjeli u ukupnoj površini (slika 2.3):

1. Ravan teren: 0 – 80 m na 77,04 % površine
2. Gotovo ravan teren: 81 – 116 m na 10,95 % površine
3. Djelomično ravan teren: 117 – 161 m na 7,71 % površine
4. Djelomično neravan teren: 162 – 239 m na 3,82 % površine
5. Neravan teren: 240 – 497 m na 0,47 % površine
6. Vrlo neravan teren: 498 – 958 m na 0,0062 % površine
7. Potpuno neravan teren: 959 – 4367 m na 0,0038 % površine.

Udjeli indeksa neravnosti terena na državnim i privatnim šumskim površinama sa iskazanom drvnom zalihom su: 1) ravan teren na 55,56 % površine, 2) gotovo ravan teren na 18,24 % površine, 3) djelomično ravan teren na 16,51 % površine, 4) djelomično neravan teren na 8,85 % površine, 5) neravan teren na 0,83 % površine i 6) vrlo neravan teren na 0,01 % površine.

Indeks neravnosti terena zajedno sa podacima o nagibu i stjenovitosti sa gledišta pridobivanja drva i otvaranja šuma daje informaciju o potrebi gradnje sekundarne mreže šumskih prometnica (izgradnja traktorskih puteva u odnosu na traktorske vlake) te sam oblik mreže (perasti raspored, riblja kost i slično). Sa stajališta izvođenja šumskih radova, Riley-eva kategorizacija je pregruba te će primjenjivost indeksa neravnosti terena, kao terenskog pokazatelja izvođenja šumskih radova biti predmet budućih istraživanja.



Slika 2.3 Indeks neravnosti terena u Republici Hrvatskoj

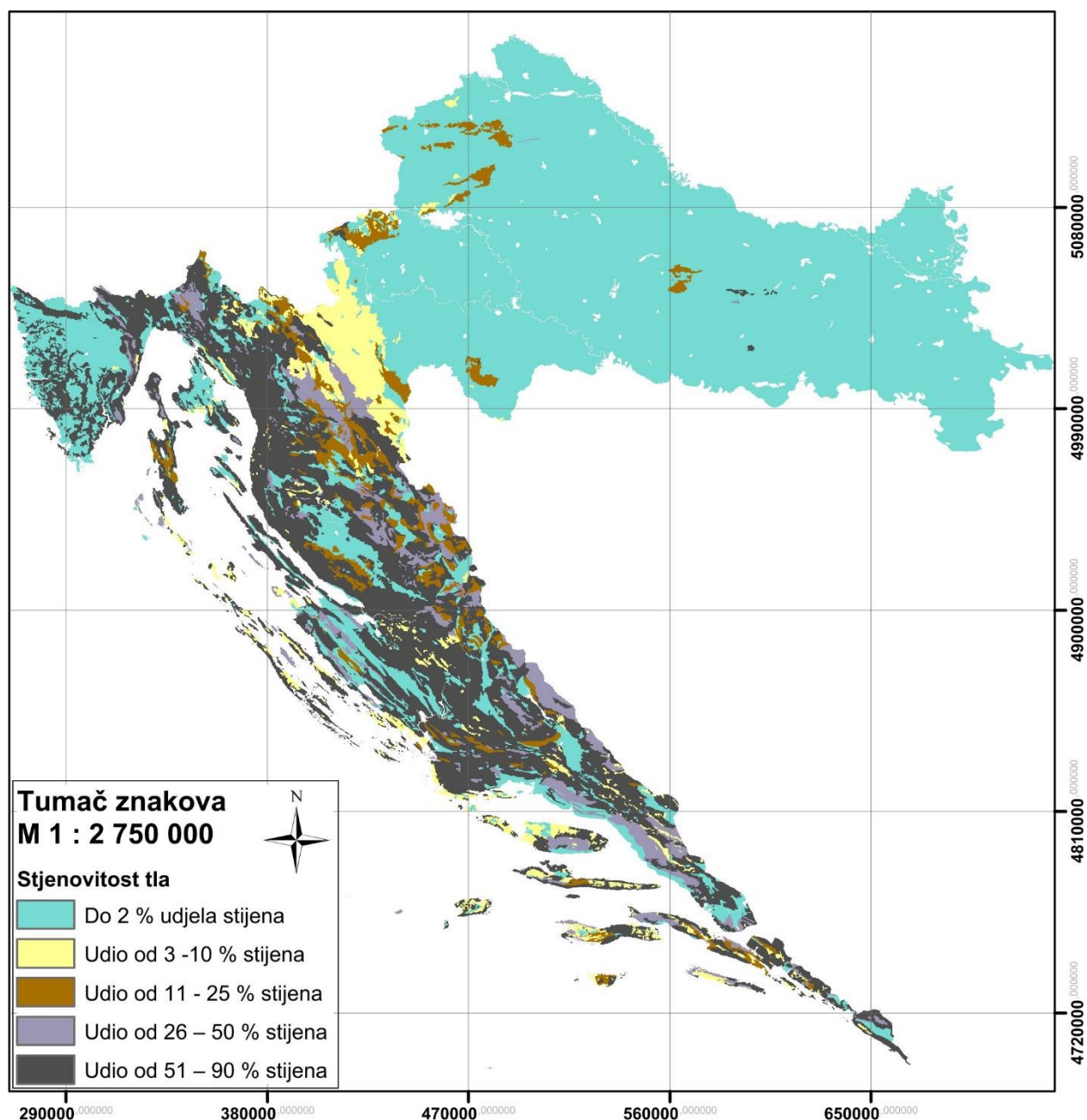
2.3.3 Stjenovitost tla

Na više od polovice šuma nema stjenovitosti što uključuje nizinske šume (77 %), dio visokogorskih šuma (26 %) i dio submediteranske zone (14 %) dok unutar eumediteranske zone postoji gotovo potpuna stjenovitost (Čavlović 2010).

Iako bi sa gledišta izvođenja radova pridobivanja drva te otvaranja šuma svakako bilo korisno imati podatke o visini površinskih prepreka posebno jer je poznato da taj podatak još nije sastavni dio opisa sastojina (obraci O2 ili O3) osnova i programa gospodarenja šumama. S obzirom da su terenska istraživanja stjenovitosti i kamenitosti šumskog tla dugotrajna i vrlo skupa (Đuka 2014) u budućnosti se preporuča korištenje LiDAR snimaka visoke rezolucije na temelju kojih će digitalni modeli terena biti puno točniji. Geostatička obrada prostornih podataka uključivala je pretvorbu vektorskih podataka u rasterske korištenjem *Conversion Tools* → *To Raster* → *Polygon to Raster*, a zatim i *Spatial Analyst Tools* → *Reclass* naredbi.

Površinske su prepreke odnosno stjenovitost i kamenitost tla podijeljeni u 5 razreda sa pripadajućim udjelima u ukupnoj površini RH (slika 2.4):

1. Do 2 % udjela stijena na 59,81 % površine,
2. Udio od 3 – 10 % stijena na 5,23 % površine,
3. Udio od 11 – 25 % stijena na 4,61 % površine,
4. Udio od 26 – 50 % stijena na 5,07 % površine,
5. Udio od 51 – 90 % stijena na 25,28 % površine.



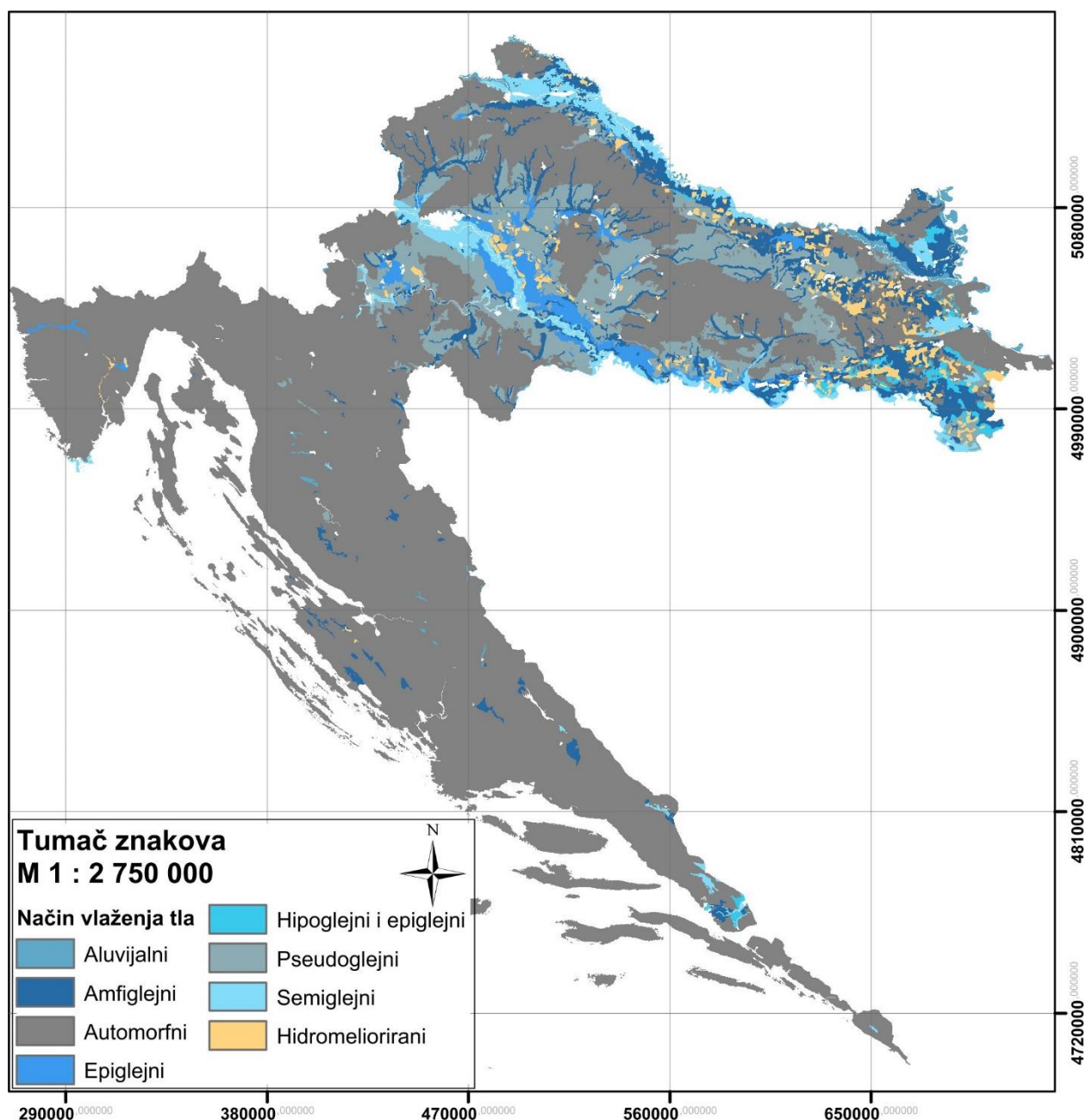
Slika 2.4 Stjenovitost tla u Republici Hrvatskoj

Udjeli pojedinih razreda stjenovitosti u državnim i privatnim gospodarskim šumama sa iskazanom drvnom zalihom kreću se u slijedećim omjerima: 1) do 2 % stijena na 58,31 % površine šuma, 2) do 10 % stijena na 5,14 % površine šuma, 3) do 25 % stijena na 6,60 % površine šuma, 4) do 50 % stijena na 5,44 % površine šuma i 5) do 90 % stijena na 24,51 % površine šuma. Može se zaključiti da većina šumske površine (preko polovice) ne sadrži površinske prepreke, ali treba naglasiti i činjenicu da je na 24,51 % šuma udio površinskih prepreka od 51 do 90 % površine što će svakako iskazati svoj utjecaj ne samo na oblike mreže primarne i sekundarne šumske infrastrukture već i na radne uvjete te proizvodnost vozila korištenih za pridobivanje drva.

2.3.4 Način vlaženje tla

Načini vlaženja tla (slika 2.5) podijeljeni su u 8 razreda prema Bogunoviću i dr. (1997): 1) aluvijalni – tla uz rijeke uključujući nanose i pijeske na 0,91 % ukupne površine RH, 2) amfiglejni zajedno sa podrazredima amfiglejno-epiglejni te amfiglejno-hipoglejni na 7,84 % ukupne površine RH, 3) automorfni te podrazred automofrno-amfiglejni na 70,60 % ukupne površine RH, 4) epiglejni na 2,54 % ukupne površine RH, 5) hipoglejni te podrazred hipoglejno-epiglejni na 0,92 % ukupne površine RH, 6) poseudoglejni te podrazred pseudoglejno-glejni na 11,29 % ukupne površine RH, 7) semiglejni na 3,78 % ukupne površine RH i 8) hidromeliorirani na 2,12 % ukupne površine RH.

Geostatička obrada prostornih podataka je i u ovome slučaju uključivala pretvorbu vektorskih podataka u rasterske korištenjem *Conversion Tools* → *To Raster* → *Polygon to Raster*, a zatim i korištenje *Spatial Analyst Tools* → *Reclass* naredbi.



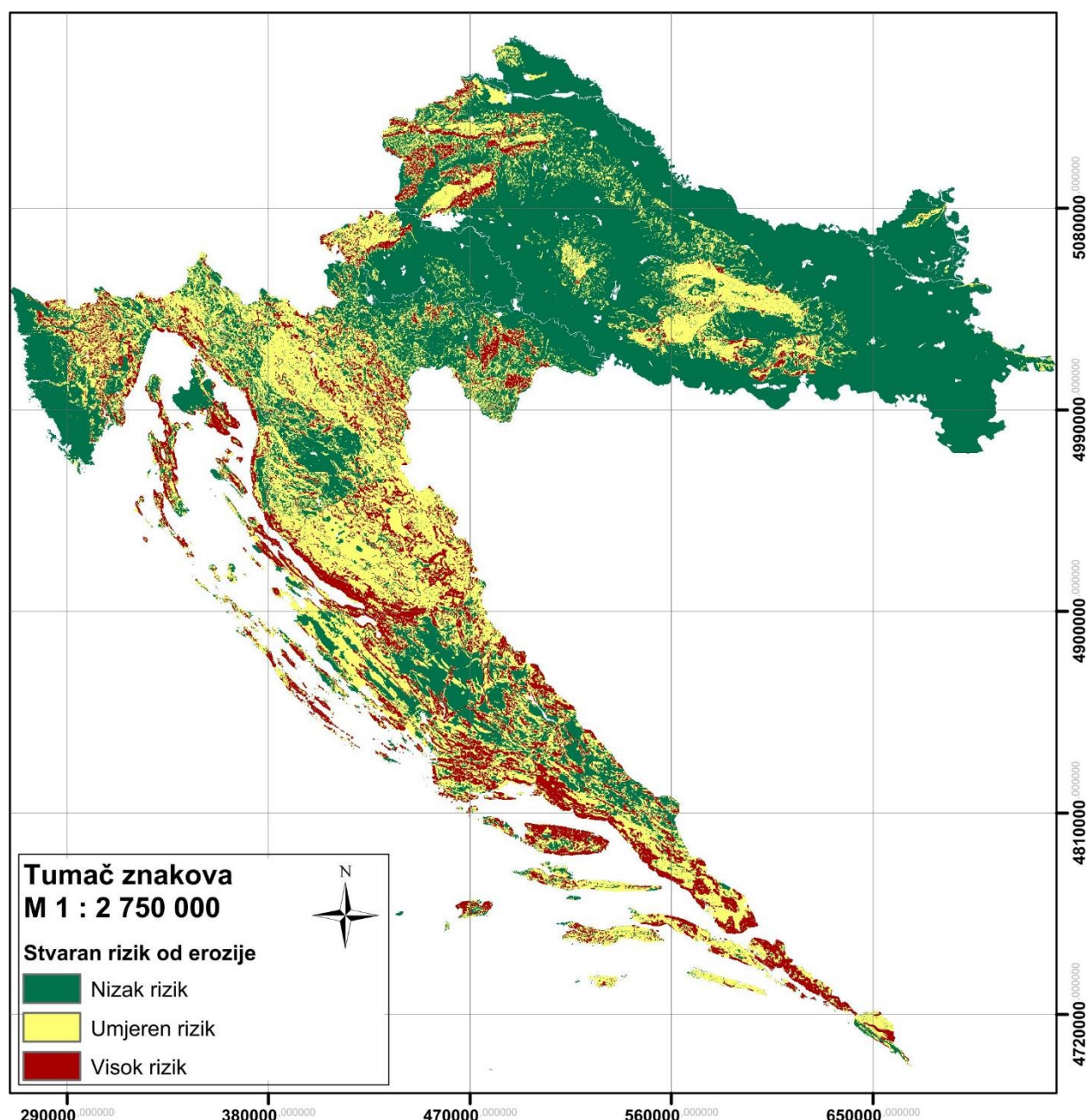
Slika 2.5 Načini vlaženja tla u Republici Hrvatskoj

Udjeli pojedinih razreda načina vlaženja tla u državnim i privatnim gospodarskim šumama sa iskazanom drvnom zalihom kreću se u slijedećim omjerima: 1) aluvijalni na 1,04 % šuma, 2)

amfiglejni na 5,60 % šuma, 3) automorfni na 76,17 % šuma, 4) epiglejni na 3,29 % šuma, 5) hipoglejni na 0,67 % šuma, 7) semiglejni na 1,22 % šuma i 8) hidromeliorirani na 0,28 % šuma. Znakovito je da se na preko 70 % površine šuma vlaženje tla odvija isključivo oborinskim vodama koje se ne zadržavaju dugo u tlu. Na ostalih 23,83 % šumskih površina svoj utjecaj iskazuju podzemne, poplavne te stagnirajuće oborinske vode koje utječu na razinu nosivosti tla, vrijeme izvođenja radova pridobivanja drva, ali i korištenje dodatne opreme na vozilima npr. polugusjenice na forvarderima, lanci na skiderima itd.

2.3.5 Rizik od erozije

Stvaran rizik od erozije vodom (slika 2.6) predstavlja postojeći rizik od erozije s obzirom na sadašnji vegetacijski pokrov i način korištenja tla. Prema Čavloviću (2010) na oko 60 000 ha (2,6 %) šuma očit je utjecaj erozije šumskog tla. Najveći se dio odnosi na eroziju uzrokovanu vodom (34 400 ha), a nešto manje na eroziju vjetrom (1060 ha). U usporedbi sa državnim šumama, u privatnim postoji manji udio šuma pod utjecajem erozije. Utjecaj erozije jači je u submediteranskome i eumediterranskome području. Dok se u apsolutnome smislu utjecaj erozije vidi na najvećim površinama unutar brdske zone (vodna erozija) i submediteranske zone (eolska erozija).



Slika 2.6 Stvaran rizik od erozije u Republici Hrvatskoj

U RH na 54,29 % ukupne površine ne nizak rizik od erozije vodom, dok je na 32,29 % površine tak rizik umjeren. Na preostalim 13,42 % ukupne površine je visok rizik od erozije vodom. Kako je i već navedeno stvaran rizik od erozije vodom nastao je na temelju podloge potencijalnog rizika od erozije tla vodom i karte vegetacijskog pokrova. Dok udjeli stvarnog rizika od erozije vodom u državnim i privatnim gospodarskim šumama sa iskazanom drvnom zalihom iznose: 1) nizak rizik od erozije je u 52,13 % šuma, 2) umjeren rizik od erozije je u 42,45 % šuma i 3) visok rizik od erozije je u 5,42 % šuma.

Analiza je provedena temeljem pretvorbe vektorskih podataka u rasterske korištenjem *Conversion Tools* → *To Raster* → *Polygon to Raster* te *Spatial Analyst Tools* → *Reclass* naredbi.

Na šumskim terenima umjerenog, a pogotovo visokog rizika od erozije, uzdužni nagib sekundarne šumske infrastrukture ne smije prelaziti 20 %.

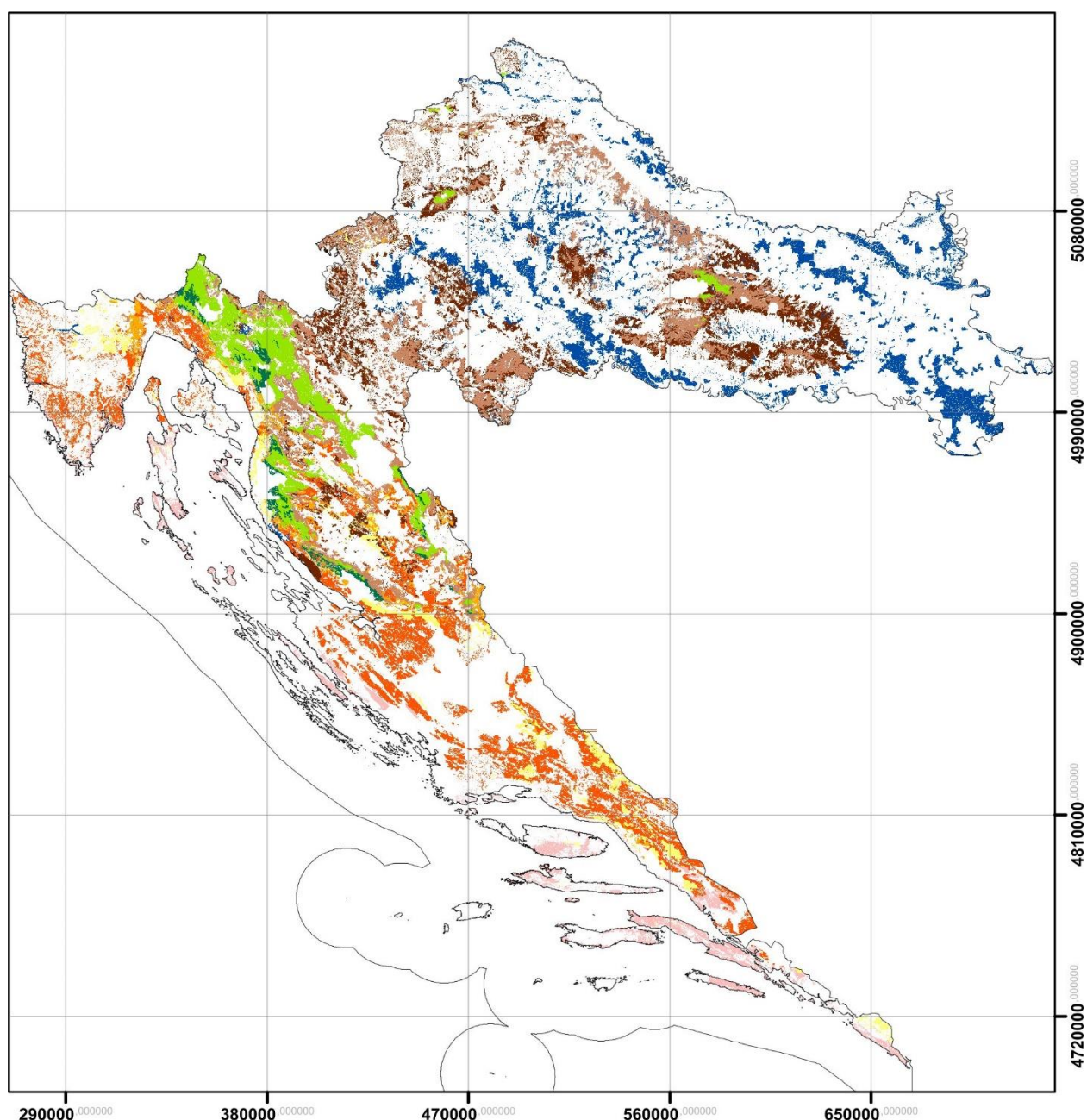
2.3.6 Biljne zajednice

Analiza je provedena na način da su se 122 fitocenoze koje se mogu pronaći u gospodarskim i privatnim šumama RH podijelile u deset prethodno navedenih bioklimata (slika 2.7), bez prisutnosti bioklimata F – šume sladuna i cera. Analiza je uključivala pretvorbu vektorskih podataka u rasterske korištenjem *Conversion Tools* → *To Raster* → *Polygon to Raster*, zatim stvaranje novog rastera koji će uključivati i državne i privatne gospodarske šume i to alatom *Data management Tools* → *Raster* → *Raster Dataset* → *Mosaic to New Raster*.

Tablica 2.11 Površine i udjeli bioklimata u gospodarskim šumama

Oznaka bioklimata	Ime bioklimata	Ukupna površina bioklimata*	Udio bioklimata	Površina bioklimata sa drvnom zalihom većom od 0 m ³	Udio bioklimata sa drvnom zalihom većom od 0 m ³ , %
		ha	%	ha	%
A	Pretplaninske šume klekovine	178,65	0,01	167,4	0,01
B	Pretplaninske bukove i smrekove šume	34 938,69	1,76	34 232,33	2,52
C	Jelove, bukovo-jelove te smrekove šume	188 863,40	9,49	185 762,25	13,70
D	Brdске bukove šume	365 337,41	18,36	331 099,27	24,42
E	Brežuljkaste šume hrasta kitnjaka	355 240,17	17,85	311 679,18	22,99
G	Nizinske šume hrasta lužnjaka i poplavne šume	356 222,12	17,90	288 310,88	21,26
H	Submediteranske šume bukve i crnog bora	73 237,72	3,69	66 251,29	4,89
J	Submediteranske šume medunca i crnog graba	86 365,53	4,34	25 145,39	1,85
K	Submediteranske šume medunca i bijelog graba	400 665,53	20,14	80 151,63	5,91
L	Mediteranske šume i makije alepskog bora i hrasta crnike	128 597,81	6,46	33 072,48	2,44
Ukupno		1 989 647,03	100,00	1 355 872,12	100,00
*Odnosi se na površine obuhvaćene istraživanjem					

Iz tablice 2.11 vidljivo je da u kontinentalnom dijelu teritorija RH brdske bukove šume (D) brežuljkaste šume hrasta kitnjaka (E) te nizinske šume hrasta lužnjaka i poplavne šume (G) zajedno zauzimaju 54,11 % površine, dok su najbrojnije u submediteranskoj zoni šume medunca i bijelog graba sa udjelom od 20,14 % po površini. Također se može zaključiti da šume u submediteranskoj i mediteranskoj zoni su većinom u degradiranim stadijima bez iskazane drvene zalihe. Tako su submediteranske šume medunca i crnog graba (J) sa 86 365,53 ha površine smanjene na 25 145,39 ha sa iskazanom drvnom zalihom iznad 0 m³/ha, u submediteranskim šumama medunca i bijelog graba (K) taj pad je izraženiji. Tako je u bioklimatu K sa početnih 400 665,53 ha površine došlo do smanjenja na čak 80 151,63 ha sa iskazanom drvnom zalihom većom od 0 m³/ha. Primjetno je smanjenje površine i u mediteranskim šumama i makijama alepskog bora i hrasta crnike (L) sa početnih 128 597,81 ha na tek 33 072,48 ha.



Tumač znakova M 1 : 2 750 000

Bioklimati

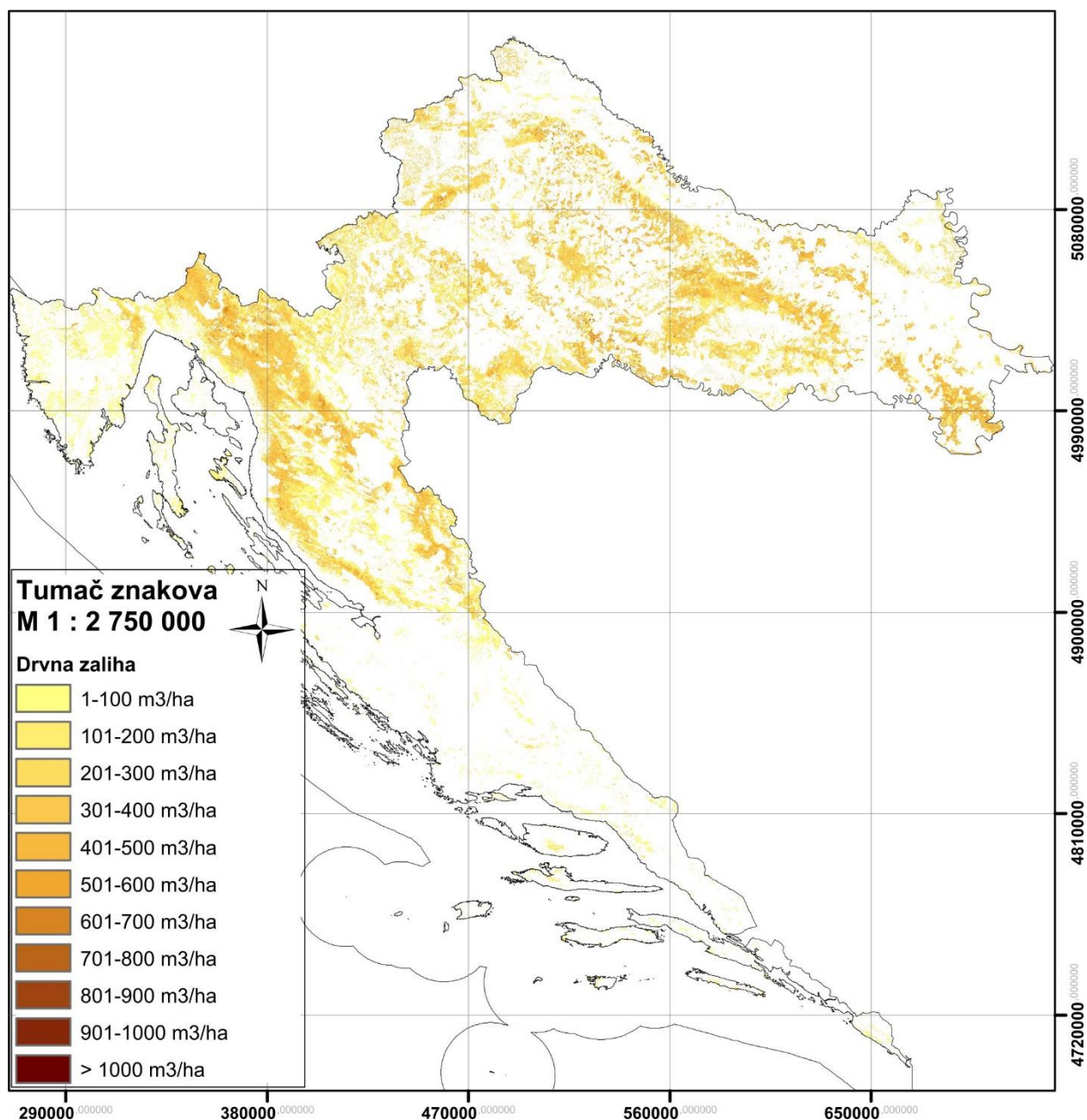
- A - Pretplaninske šume klekovine
- B - Pretplaninske bukove i smrekove šume
- C - Jelove, bukovo-jelove te smrekove šume
- D - Brdske bukove šume
- E - Brežuljkaste šume hrasta kitnjaka
- G - Nizinske šume hrasta lužnjaka i poplavne šume
- H - Submediteranske šume bukve i crnog bora
- J - Submediteranske šume medunca i crnog graba
- K - Submediteranske šume medunca i bijelog graba
- L - Mediteranske šume i makije alepskog bora i hrasta crnike

Slika 2.7 Bioklimati istraživanog područja

2.3.7 Drvna zaliha

Drvna zaliha je podijeljena u 11 razreda (slika 2.8), dok su površine sa neiskazanom drvnom zalihom (odnosno drvnom zalihom jednakoj 0 m³/ha) isključene iz ovog prikaza:

1. 1 – 100 m³/ha na 14,86 % površine,
2. 101 – 200 m³/ha na 23,86 % površine,
3. 201 – 300 m³/ha na 25,89 % površine,
4. 301 – 400 m³/ha na 21,34 % površine,
5. 401 – 500 m³/ha na 11,08 % površine,
6. 501 – 600 m³/ha na 2,67 % površine,
7. 601 – 700 m³/ha na 0,31 % površine,
8. 701 – 800 m³/ha na 0,02 % površine,
9. 801 – 900 m³/ha na 0,00152 % površine,
10. 901 – 1000 m³/ha na 0,000604 % površine,
11. > 1000 m³/ha na 0,000594 % površine.



Slika 2.8 Drvna zaliha istraživanog područja

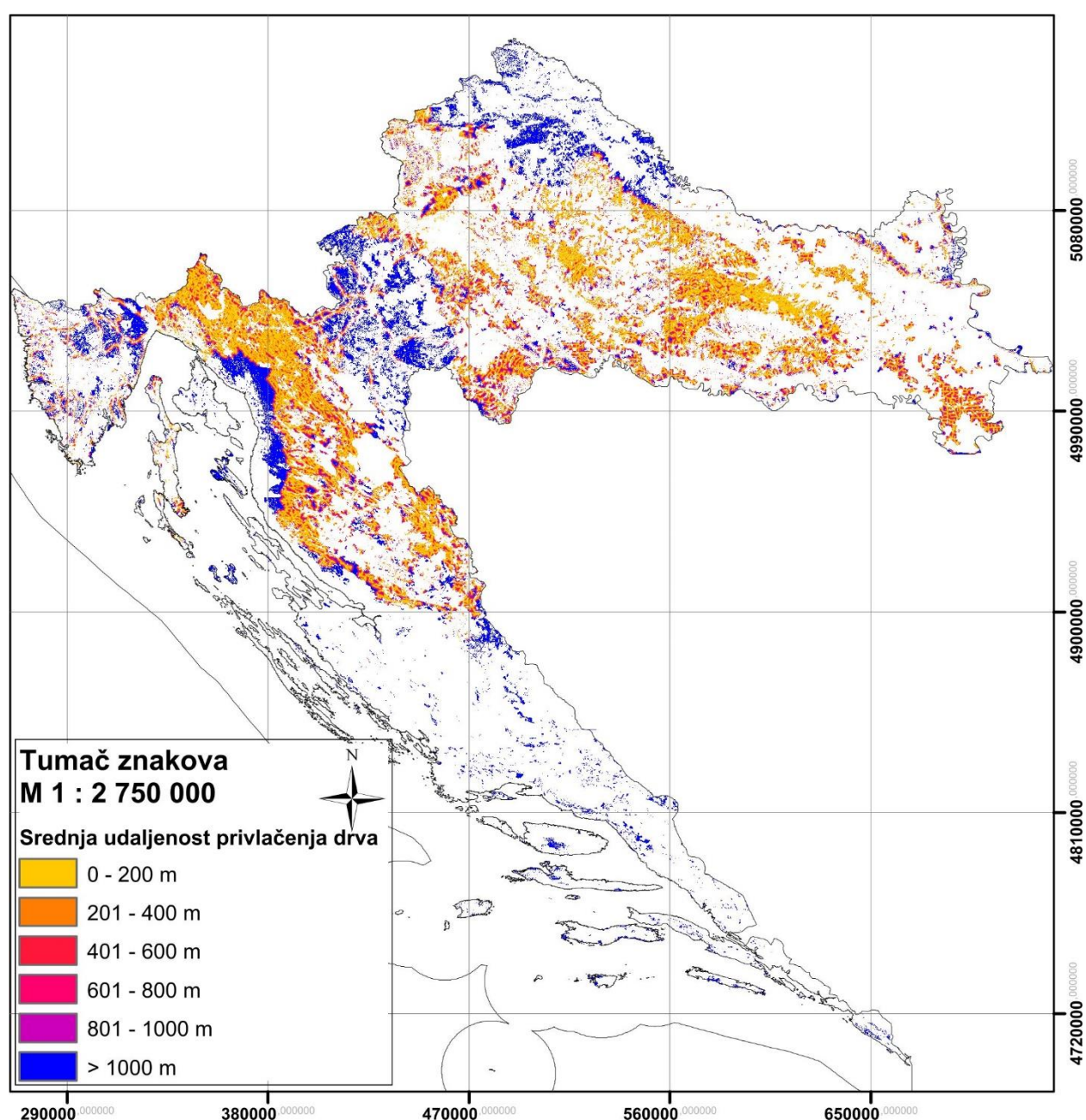
Treba napomenuti da drvena zaliha iznad 700 m³/ha najčešće pripada površinama kao što su šumski sjemenski objekti, posebni rezervati unutar gospodarskih šuma te zaštitna zemljišta. Površine tih područja sa visokom drvnom zalihom se u prosjeku kreću oko 2,49 ha dok je najveća površina tek 17,50 ha.

Najveći dio šuma (97 %) sadrži drvenu zalihu od 1 do 500 m³/ha koja je relativno ravnomjerno raspoređena u prvih 5 razreda.

Analiza je provedena temeljem pretvorbe vektorskih podataka u rasterske korištenjem *Conversion Tools* → *To Raster* → *Polygon to Raster* te *Spatial Analyst Tools* → *Reclass* naredbi.

2.3.8 Srednja udaljenost privlačenja drva

Srednja udaljenost privlačenja drva (s_d) iskazana (slika 2.9) je na temelju geometrijske (euklidske) udaljenosti šumskih površina do prve najbliže primarne prometne infrastrukture. Analiza je provedena alatima *Spatial Analyst Tools* → *Distance* → *Euclidean Distance* te alatima *Spatial Analyst Tools* → *Reclass* kako bi se dobilo šest razreda srednje udaljenosti privlačenja drva sa intervalom od 200 m.



Slika 2.9 Srednja udaljenost privlačenja drva na istraživanome području

Udjeli površina pojedinog razreda srednje udaljenosti privlačenja drva iznose:

1. $s_d = 0 - 200$ m pripada 30,38 % površine šuma,
2. $s_d = 201 - 400$ m pripada 20,64 % površine šuma
3. $s_d = 401 - 600$ m pripada 12,06 % površine šuma
4. $s_d = 601 - 800$ m pripada 6,86 % površine šuma
5. $s_d = 801 - 1000$ m pripada 4,12 % površine šuma
6. $s_d > 1000$ m pripada 25,94 % površine šuma.

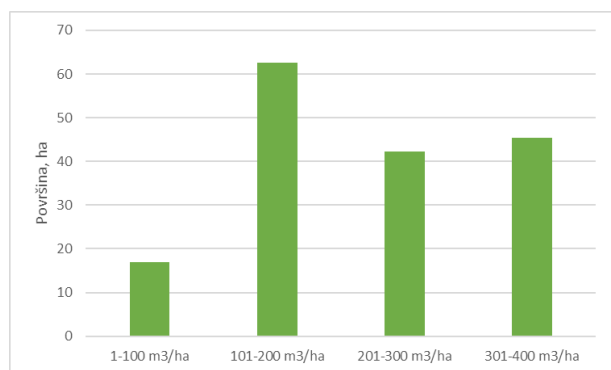
Posebno valja napomenuti da polučene rezultate analiza srednje geomerijske udaljenosti privlačenja drva treba uzimati sa rezervom jer u korištenoj bazi prostornih podataka primarne prometne šumske infrastrukture nedostaju podatci vezani za područja Uprava šuma podružnica Buzet, Senj, Split, Karlovac i Koprivnica.

2.4 Definiranje reljefnih područja temeljem provedene analize

Reljefna područja su određena na temelju prostornog rasporeda 10 navedenih bioklimata te su za svaki pojedini bioklimat analizirani podaci o nagibu terena, indeksu neravnosti terena, stjenovitosti tla, načinima vlaženja tla, stvarnoj opasnosti od erozije tla vodom, drvnoj zalihi te srednjoj udaljenosti privlačenja drva.

2.4.1 Bioklimat A Pretplaninske šume klekovine

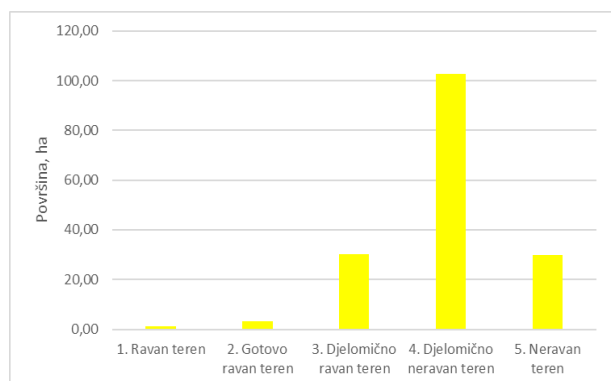
Bioklimat Pretplaninske šume klekovine pridolazi na 167,4 ha površine (slika 2.10). Javlja se četiri razreda drvene zalihe od čega je najzastupljeniji razred od 101 – 200 m³/ha na 37,42 % površine, idući po zastupljenosti jest razred od 301 – 400 m³/ha na 27,12 % površine.



Slika 2.10 Razredi drvene zalihe bioklimata A po površini

Način vlaženja tla je u potpunosti (100 % površine) automorfni što znači da nema pojave poplavnih i slivnih voda na tome području.

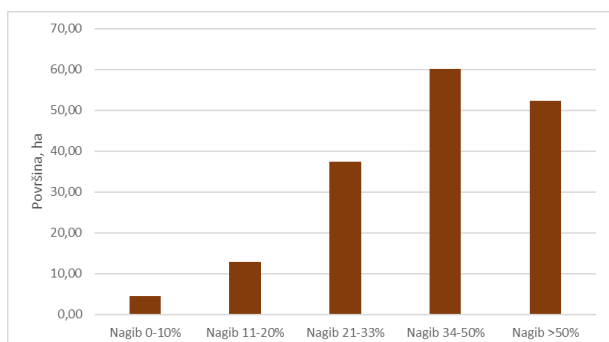
Indeks neravnosti terena (slika 2.11) pokazuje da je na 61,42 % površine teren djelomično neravan, dok treći i peti razred TRI-a zajedno zauzimaju 35,98 % šumske površine. Površine sa najvišim udjelom drvene zalihe (301 – 400 m³/ha) u iznosu od 89,82 % pridolaze na djelomično ravnome i djelomično neravnome terenu.



Slika 2.11 Indeks neravnosti terena po površini bioklimata A

Stjenovitost tla je iskazana u tri razreda: 1) 11 – 25 % udjela stjenovitosti tla pridolazi na 24,04 % površine, 2) 26 – 50 % udjela stjenovitosti tla je na 65,78 % površine, dok je 3) 51 – 90 % udjela stjenovitosti na 10,17 % površine bioklimata.

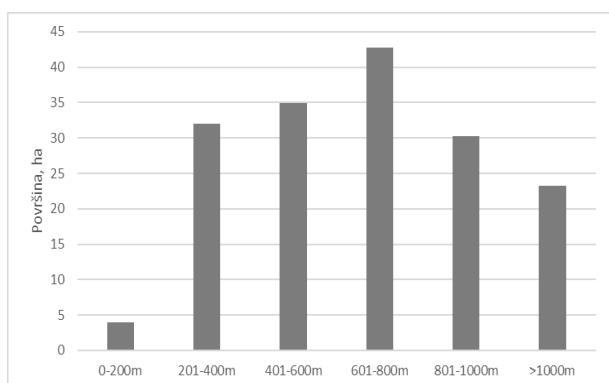
Analiza nagiba terena (slika 2.12) pokazuje da je 67,23 % ovoga bioklimata na terenima sa nagibom iznad 34 % na kojemu se ujedno može i naći najveći dio drvene zalihe.



Slika 2.12 Nagibi terena po površini bioklimata A

Šume ovog bioklimata su većinskim dijelom (na 72,63 % površine) na terenima sa umjerenim stvarnim rizikom od erozije tla vodom, dok je 24,92 % terena sa visokim rizikom od erozije tla vodom.

Srednja udaljenost privlačenja drva na području ovog bioklimata je u prosjeku od 677 m sa standardnom devijacijom od 311 m. Analiza srednje udaljenosti privlačenja drva (slika 2.13) pokazala je da na najvećem dijelu površine (57,57 %) šuma bioklimata A, vozila privlače drvo na udaljenostima većim od 600 m. Najveći udio drvene zalihe bioklimata, odnosno na 53,86 % površine sa drvnom zalihom 301 – 400 t m³/ha te 401 – 500 m³/ha također zahtijeva udaljenosti privlačenja drva iznad 600 m.

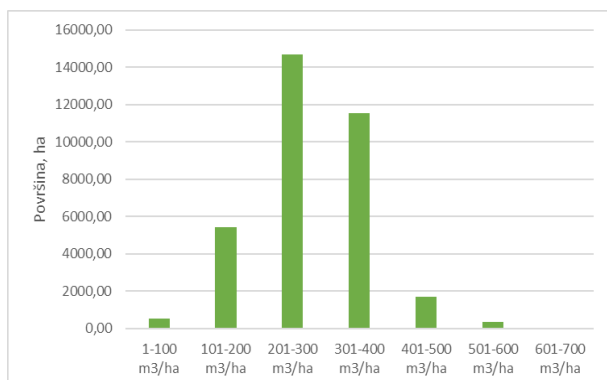


Slika 2.13 Srednja udaljenost privlačenja drva po površini bioklimata A

2.4.2 Bioklimat B pretplaninske bukove i smrekove šume

Bioklimat se razvija na nadmorskim visinama iznad 1200(1500) m umjereno hladne klime s prosječnom godišnjom temperaturom oko 3,5 °C (Vukelić i dr. 2008). Autori nadalje navode da su ove šume u prvome redu značajne zbog zaštitne uloge odnosno sprječavanja erozije, tla te ublažavanja klimatskih ekstrema kao i očuvanja staništa divljih biljnih i životinjskih vrsta.

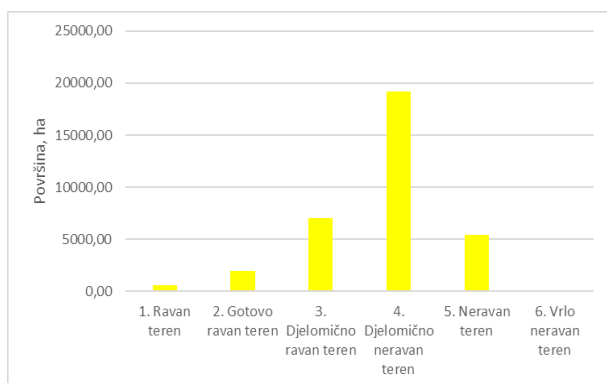
Bioklimat Pretplaninske bukove i smrekove šume pridolazi na 34.232,33 ha površine (slika 2.14). Najveći udio po površini vidljiv je u razredu drvene zalihe od 201 do 300 m³/ha sa 42,88 % dok ga slijedi razred 301 do 400 m³/ha na 33,69% površine. Viši razredi drvene zalihe od prethodno navedenih pridolaze na tek 6,06 % površine.



Slika 2.14 Razredi drvene zalihe bioklimata B po površini

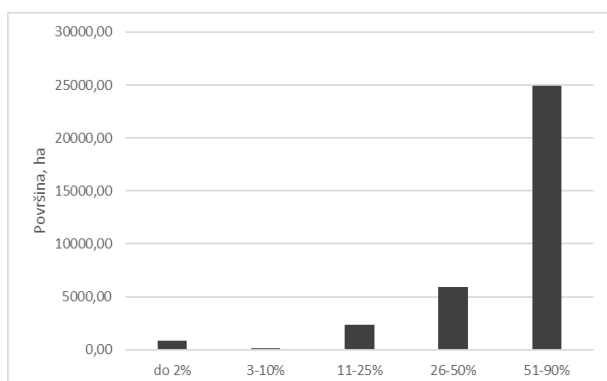
Način vlaženja tla je kao i kod prethodnog bioklimata A u potpunosti automorfni što znači da nema pojave poplavnih i slivnih voda na tome području.

Analiza indeksa neravnosti terena je pokazala da se 56,06 % površine nalazi na djelomično neravnome terenu, a da ravan i gotovo ravan teren zauzimaju tek 7,46 % površine ovih šuma. Dok površinski najbrojniji razredi drvene zalihe (od 201 do 400 m³/ha) u iznosu od 69,73 % površine pridolaze na djelomično neravnome, neravnome i vrlo neravnome terenu.



Slika 2.15 Indeks neravnosti terena po površini bioklimata B

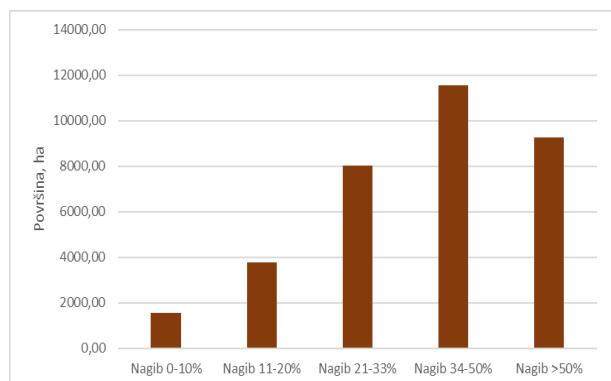
Analiza stjenovitosti tla (slika 2.16) pokazala je prisustvo čak pet razreda ovog pokazatelja. Najveći udio površine šuma (72,88 %) sadrži više od 51 % stjenovitosti tla dok je stjenovitost od 0 do 25 % na tek 9,76 % šumskih površina. Najveće površine ovog bioklimata, one sa drvnom zalihom od 201 do 400 m³/ha na 72,60 % površine također sadrže najnepovoljniji razred stjenovitosti tla, onaj sa udjelima od 51 – 90 % stijena i kamenja.



Slika 2.16. Razredi stjenovitosti tla po površini bioklimata B

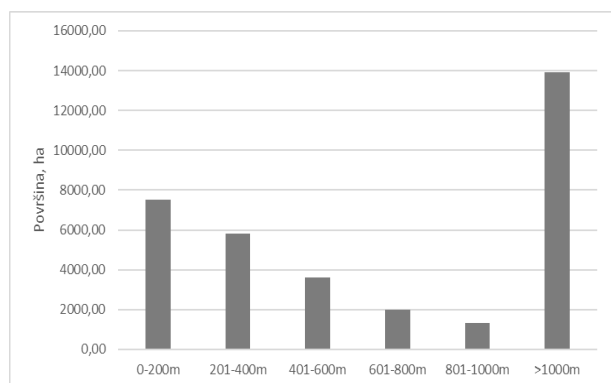
Analiza nagiba terena (slika 2.17), kao i analiza stjenovitosti terena, pokazuje da se radi o zahtjevnijim terenima sa gledišta pridobivanja drva i otvaranja šuma jer se 60,91 % površine nalazi na nagibima većim od 34 %, odnosno 27,13 % površine je na nagibu terena iznad 50 %. Najveće

površine ovog bioklimata, one sa zalihom od 200 do 400 m³/ha u najvećoj mjeri (58,43 % površine) pridolaze na nagibima terena iznad 34 %.



Slika 2.17 Nagibi terena po površini bioklimata B

Prevladava umjereni stvarni rizik od erozije tla vodom na 78,21 % površine ovih šuma, dok je nizak rizik na 19,47 % površine. Najveće površine bioklimata B sa zalihom od 200 do 400 m³/ha su na 77,95 % svoje površine pod umjerenim stvarnim rizikom od erozije tla, dok je visoki rizik od erozije na tek 1,40 % površine.



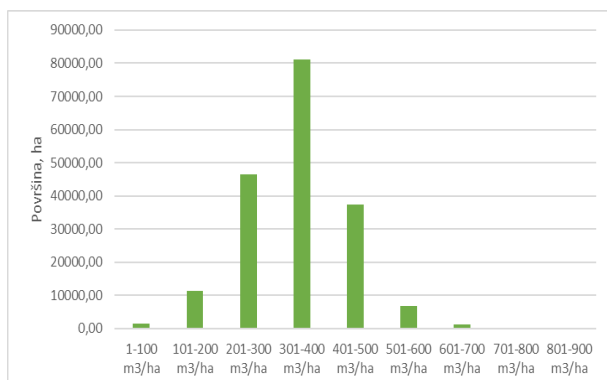
Slika 2.18 Srednja udaljenost privlačenja drva po površini bioklimata B

Srednja udaljenost privlačenja drva na području ovog bioklimata je u prosjeku od 522 m sa standardnom devijacijom od 3495 m. Na 40,72 % površine srednja udaljenost privlačenja drva je preko 1 km, dok se na 38,95 % površine vozila kreću do najvećih 400 m udaljenosti. Najviše drvne zalihe po površini će se primarno transportirati na udaljenostima do 600 m i to u iznosu od 53,16 % udjela.

2.4.3 Bioklimat C jelove, bukovo-jelove te smrekove šume

Bioklimat pridolazi na visinama od 600 do 1100 m nadmorske visine dok se panonske bukovo-jelove šume na sjevernim ekspozicijama spuštaju i do 300 m, na primjer na Medvednici (Vukelić i dr. 2008). Autori navode da je prosječna srednja godišnja temperatura od 6 – 9 °C, te da su to šume prirodnog sastava u kojima se gospodari preborno.

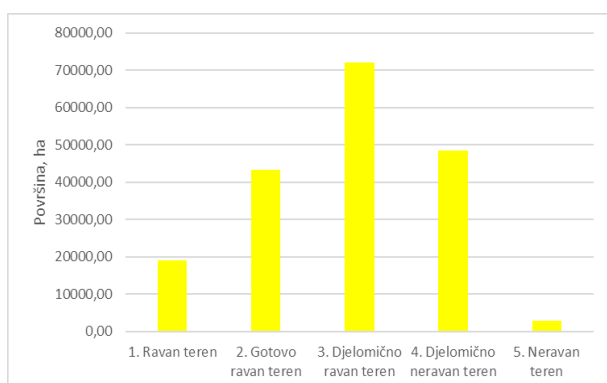
Bioklimat jelove, bukovo-jelove te smrekove šume pridolazi na 185.762,25 ha površine (slika 2.19). Najveći udio drvne zalihe, 43,65 % pripada razredu od 301 – 400 m³/ha, dok razredi iznad 601 m³/ha pridolaze na tek 0,74 % površine ovih šuma.



Slika 2.19 Razredi drvene zalihe bioklimata C po površini

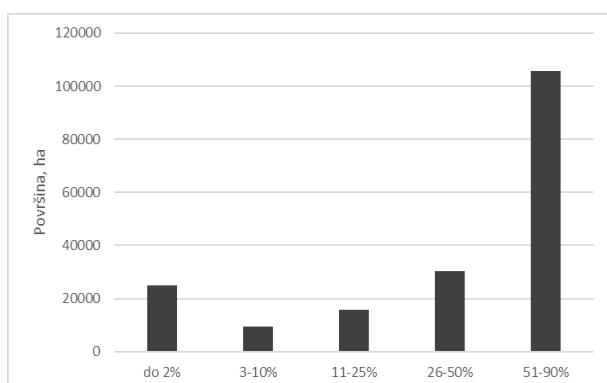
Način vlaženja tla je na 99,88 % površine automorfni dok je preostalih 0,12 % površine tla raspoređeno između aluvijalnog, amfiglejnog, epigejnog i pseudoglejnog načina vlaženja tla.

Analiza indeksa neravnosti terena (slika 2.20) pokazuje da je 38,78 % površine na djelomično ravnome terenu. Najzastupljeniji razred drvene zalihe (301 – 400 m³/ha) u iznosu od 66,92 % pridolazi na djelomično ravnome te djelomično neravnome terenu.



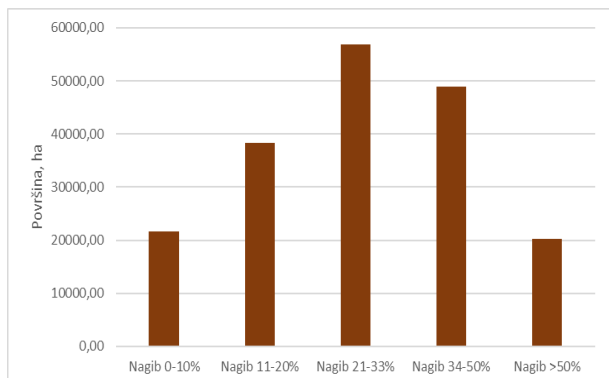
Slika 2.20 Indeks neravnosti terena po površini bioklimata C

Vidljiva je izražena stjenovitost tla (slika 2.21) na više od pola površine ovih šuma (56,82 %) u kojima je prekrivenost tla stijenama ili kamenjem od 51 do 90 % površine tla. Najrašireniji razredi drvene zalihe ovog bioklimata također sadrže izraženu stjenovitost tla. Tako je na 55,68 % površine razreda drvene zalihe od 201 – 300 m³/ha koji je na 25,00 % površine ovog bioklimata stjenovitost izražena zadnjim najnepovoljnijim razredom sa gledišta izvođenja radova pridobivanja drva te otvaranja šuma, od 50 do 90 % površine. Prostorno najrašireniji razred drvene zalihe (301 – 400 m³/ha) koji zauzima 43,65 % površine na više od pola svoje površine (62,29 %) također sadrži najnepovoljniji razred stjenovitosti. Treći površinski najzastupljeniji razred drvene zalihe (401 – 500 m³/ha) na više od polovice svoje površine (55,79 %) također sadrži najviši razred stjenovitosti tla. Takvi uvjeti staništa zajedno sa analiziranim indeksom neravnosti terena te nagibom terena svakako utječu na radove planiranja pridobivanja drva te otvaranja šuma.



Slika 2.21 Razredi stjenovitosti tla po površini bioklimata C

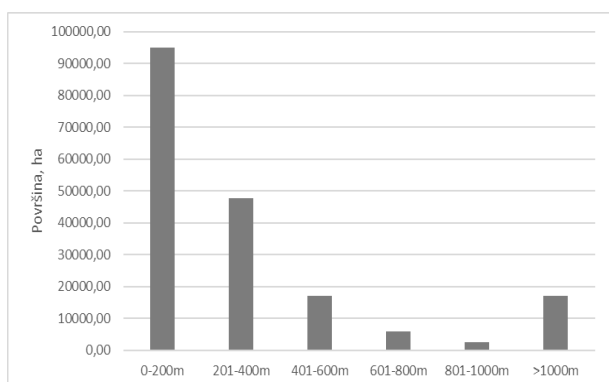
Analiza nagiba terena pokazala je pomaknutu krivulju više u lijevo, gdje je najveći udio površine ovog bioklimata (30,58 %) na nagibima od 21 – 33 % za razliku od bioklimata A i B, ipak idući površinom najzastupljeniji razred nagiba je onaj od 34 do 50 % sa udjelom površine od 26,30 %. Nagibi terena iznad 21 % zauzimaju 67,75 % šuma ovoga bioklimata.



Slika 2.22 Nagibi terena po površini bioklimata C

Stvaran rizik od erozije tla je na 69,78 % površine umjerenog karaktera, dok je nizak rizik od erozije tla na 28,20 % površine ovih šuma.

Srednja udaljenost privlačenja drva na području bioklimata C u prosjeku je od 257 m sa standardnom devijacijom od 287 m. Analiza srednje udaljenosti privlačenja drva (slika 2.23) pokazuje povoljniju situaciju otvorenosti šuma ovih područja gdje je na 51,20 % površine srednja udaljenost privlačenja drva do 200 m, a udaljenosti iznad 600 m zauzimaju 13,87 % površine ovoga bioklimata. Najrašireniji razredi drvene zalihe ovog bioklimata također pokazuju ovakav trend. Tako se u šumama sa drvnom zalihom od 201 – 300 m³/ha koje zauzimaju 25,00% ovoga bioklimata na 47,88 % površine drvo privlači na udaljenosti do 200 m. U površinski najzastupljenijem razredu drvene zalihe od 301 – 400 m³/ha, na 52,09 % površine drvo se privlači na udaljenostima do 200 m te u slijedećem površinskim najzastupljenijem razredu drvene zalihe (401 – 500 m³/ha) se na 54,34 % površine drvo privlači na udaljenostima do 200 m. Ipak, kod ovakvih zaključaka u obzir treba uzeti i činjenicu da se kod analize geometrijske srednje udaljenosti privlačenja ona zasniva na 1) dvo-dimenzijskom modelu ravnog terena sa niskim indeksom neravnosti, 2) pravocrtnome pružanju jednoliko raspoređenih paralelnih cesta na jednakom međusobnom razmaku bez izražene stjenovitosti tla koja dovodi do zaobilaženje prepreka tijekom kretanja vozila te 3) jednolikome rasporedu posječenoga drva u prostoru koje se privlači najkraćim putem na najbližu cestu.

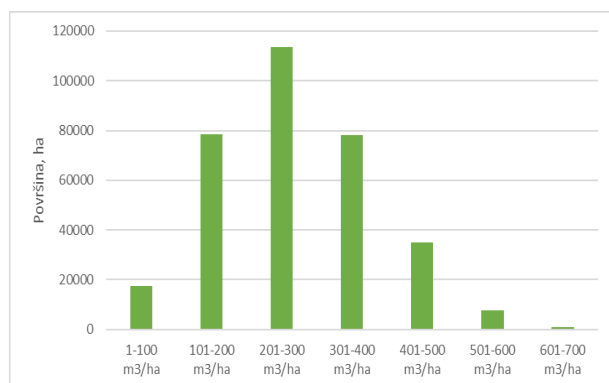


Slika 2.23 Srednja udaljenost privlačenja drva po površini bioklimata C

2.4.4 Bioklimat D brdske bukove šume

Brdске bukove šume javljaju se najčešće na nadmorskim visinama od 300 do 800 m dok je srednja godišnja temperatura najčešće oko 9 °C (Vukelić i dr. 2008). Autori navode da se radi i o visokim stabilnim šumama, ali i o panjačama na strmim terenima zaštitnog karaktera.

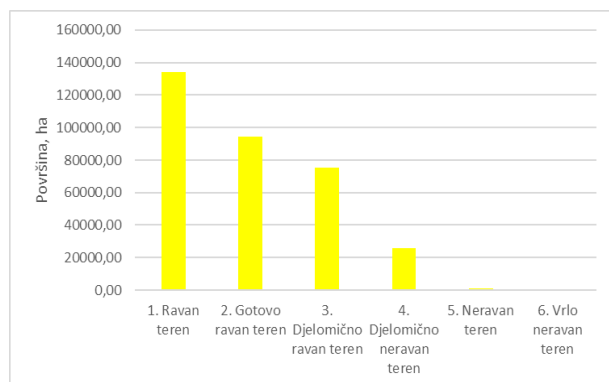
Bioklimat brdske bukove šume pridolazi na 331.099,27 ha istraživанog područja (slika 2.24). Površinski su najzastupljeniji razredi od 101 – 400 m³/ha drvene zalihe koji zajedno zauzimaju 81,57 % površine ovih šuma. Zabilježeni su i podaci o pojavnosti razreda drvene zalihe od 701 pa sve i preko 1000 m³/ha, ali samo u udjelu 0,02 % ukupne površine.



Slika 2.24 Razredi drvene zalihe bioklimata D po površini

Dominanti način vlaženja tla je na 94,54 % površine ovih šumskih zajednica automorfni, dok je idući najzastupljeniji (5,26 % površine) pseudoglejni način vlaženja tla odnosno pojavnost stagnirajućih oborinskih i podzemnih voda.

Analiza indeksa neravnosti terena pokazuje promjenu konfiguracije terena s obzirom na bioklimate A, B i C. U brdskim bukovim šumama dominantni indeks neravnosti terena je upravo ravan teren sa udjelom od 40,52 % u ukupnoj površini što znači da nema naglih promjena smjera nagiba kao kod prijašnjih šumskih zajednica. Ipak, na 22,73 % površine teren je djelomično ravan dok su razredi od 4 do 6 zastupljeni na 8,23 % brdskih bukovih šuma.



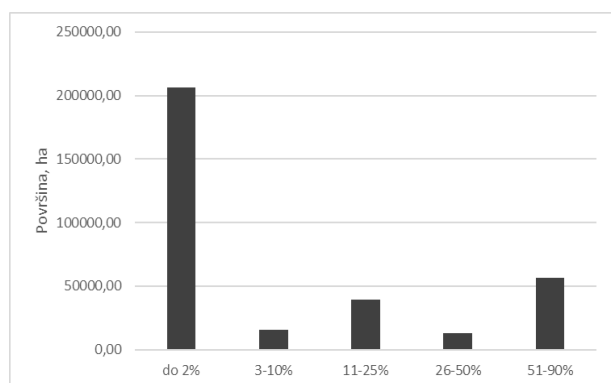
Slika 2.25 Indeks neravnosti terena po površini bioklimata D

Površinski najrašireniji razredi drvene zalihe, oni od 101 – 400 m³/ha na više od 90 % svoje površine u približnim omjerima sadrže ravan, gotovo ravan i djelomično ravan indeks neravnosti terena (tablica 2.12) što ipak ukazuje na prisutnu varijabilnost smjera pružanja nagiba na ovome području.

Tablica 2.12 Učešće indeksa neravnosti terena na dijelu brdskih bukovich šuma

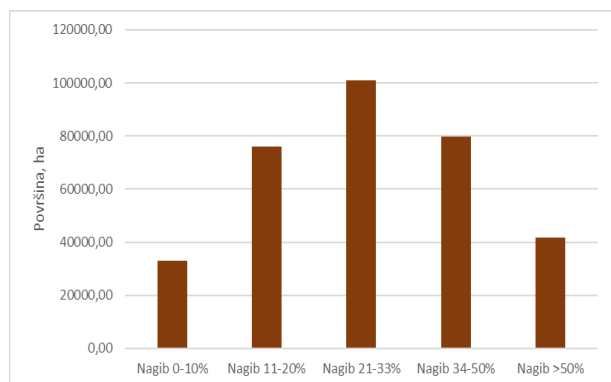
Razred drvene zalihe, m ³ /ha	Udio površine TRI, %		
	Ravan teren	Gotovo ravan teren	Djelomično ravan teren
101 – 200	38,17	30,66	23,50
201 – 300	36,80	30,36	23,95
301 – 400	39,58	27,27	23,84

Analiza stjenovitosti je pokazala da iako na 62,39 % površine brdskih bukovich šuma, udio stijena i kamenja je tek ispod 2 % površine, ipak na 16,99 % ovih šuma stjenovitost je vrlo izražena sa udjelima preko 51 % po površini. Takva raznolikost uvjeta će svakako utjecati i na organizaciju radova pridobivanja drva, ali i na uvjete gradnje primarne i sekundarne mreže šumskih prometnica, njihov prostorni raspored te izgled mreže prometnica.



Slika 2.26 Razredi stjenovitosti tla po površini bioklimata D

Analiza nagiba terena (slika 2.27) pokazuje da na području brdskih bukovich šuma dominiraju tri razreda nagiba od 11 do 50 %. Nagibi terena od 34 % pa sve do preko 50 % zauzimaju 36,68 % ovih šuma, što će svakako iskazati svoj utjecaj na odabir sustava pridobivanja drva, posebno kada se u obzir uzme i stjenovitost tla te indeks neravnosti terena.



Slika 2.27 Razredi nagiba terena po površini bioklimata D

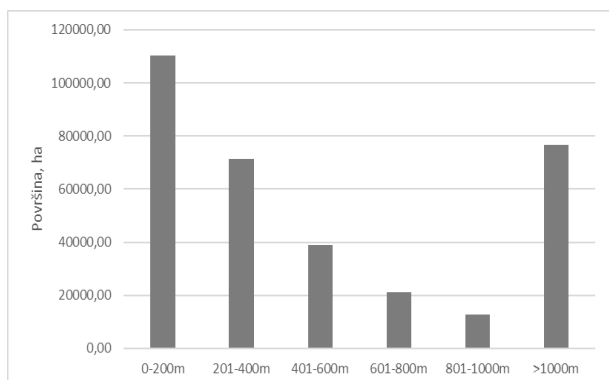
Površinski najrašireniji razredi drvene zalihe (tablica 2.13) brdskih bukovich šuma sadrže u sličnim omjerima gotovo četiri razreda nagiba terena što također ukazuje na varijabilnost nagiba terena ovih područja.

Tablica 2.13 Učešće razreda nagiba terena na dijelu brdskih bukovich šuma

Razred drvene zalihe, m ³ /ha	Udio površine nagiba, %			
	Blago nagnuti teren 11 – 20 %	Umjereno nagnuti teren 21 – 33 %	Strmi teren 34 – 50 %	Vrlo strmi teren > 50 %
101 – 200	22,42	30,02	23,59	12,99
201 – 300	20,82	30,89	26,06	13,14
301 – 400	22,61	30,40	25,04	13,34

Na 41,08 % površine brdskih bukovich šuma stvaran rizik od erozije je nizak, dok je na 54,29 % površine on umjeren, ipak na 15 325 ha brdskih bukovich šuma postoji visok stvaran rizik od erozije tla vodom što svakako treba uzeti u obzir prilikom planiranja radova pridobivanja drva.

Srednja udaljenost privlačenja drva na području ovog bioklimata u prosjeku iznosi od 413 m sa standardnom devijacijom od 410 m. Analiza srednje udaljenosti privlačenja drva pokazala je da se na 33,33 % površina brdskih bukovich šuma drvo privlači na udaljenostima do 200 m, ali i da se na 101 459 ha ono privlači na udaljenosti većoj od 600 m. Dok je na 23,15 % površine ovoga bioklimata udaljenost privlačenja drva preko 1 kilometra. Na 90 725 ha brdskih bukovich šuma sa drvnom zalihom od 101 – 400 m³/ha srednja udaljenost privlačenja drva je od 600 m pa sve do preko 1000 m.

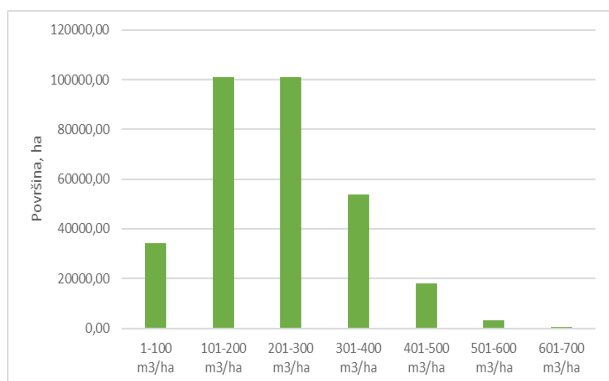


Slika 2.28 Srednja udaljenost privlačenja drva po površini bioklimata D

2.4.5 Bioklimat E brežuljkaste šume hrasta kitnjaka

Bioklimat E ovisno o zajednici pridolazi od 150 pa sve do 700 m nadmorske visine (Vukelić i dr. 2008). Autori navode da se radi i o panjačama (šuma hrasta kitnjaka i pitomog kestena), gospodarski i zaštitnim šumama na strmijim padinama (šuma hrasta kitnjaka s bekicom), šumama sa relativno sačuvanim prirodnim uvjetima te stablima izvrsne kakvoće koje su među najutjecajnijim u kontinentalnom dijelu Hrvatske (šuma hrasta kitnjaka i običnog graba), šumama koje pridolaze na toplijim lokalitetima, dok hladnije zauzima bukva (šuma hrasta kitnjaka i običnog graba s vlasuljom), ali i šikarama te panjačama mediteranske regije hladnije klime sa zaštitnom i općekorisnom funkcijom (šume medunca i crnog graba).

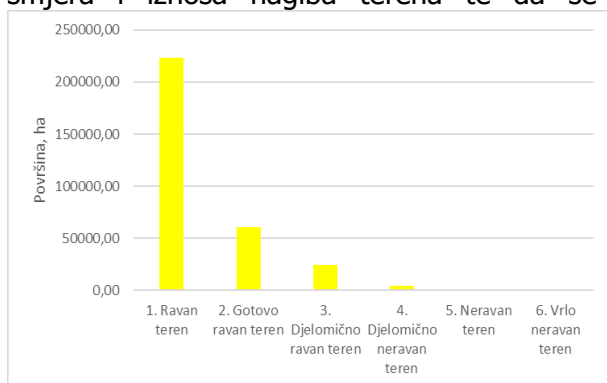
Bioklimat Brežuljkaste šume hrasta kitnjaka zauzima 311.679,18 ha površine. Na 64,81 % površine drvena zaliha je u iznosu od 101 – 300 m³/ha. Zabilježeni su i podaci o drvenoj zalihi iznad 700 m³/ha, ali na samo 50,11 ha površine ovoga bioklimata.



Slika 2.29 Razredi drvene zalihe bioklimata E po površini

Na 77,50 % površine vlaženje tla je automorfno, dok se na 22,07 % brežuljkastih kitnjakovih šuma vlaženje tla pseudoglejno što znači da postoji prisustvo stagnirajućih oborinski i podzemnih voda. Ostalih 0,42 % površine raspoređeno je po ostalim razredima vlaženja tla.

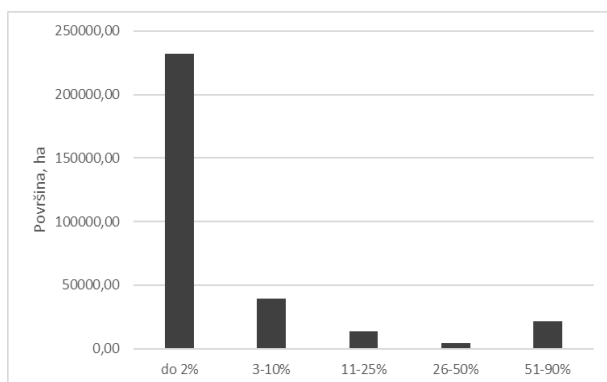
Analiza indeksa neravnosti terena pokazala je da na ovome području nema učestalih promjena smjera i iznosa nagiba terena te da se na 71,63 % površine radi o ravnome terenu.



Slika 2.30 Indeks neravnosti terena po površini bioklimata E

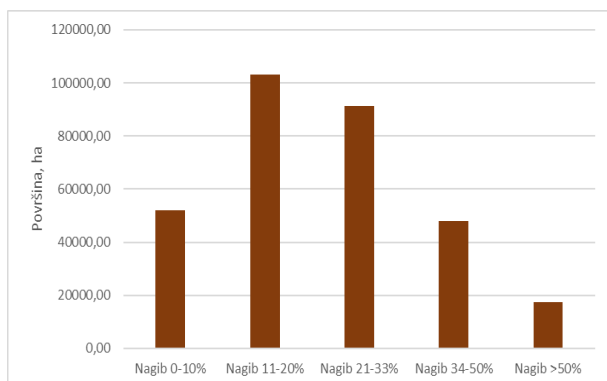
Ipak, 3730,32 ha brežuljkastih kitnjakovih šuma javlja na djelomično neravnome do vrlo neravnome terenu što će svakako iskazati svoj utjecaj na planiranje radova pridobivanja drva.

Analiza stjenovitosti terena pokazuje da je na 74,58 % površine stjenovitost tla tek do 2 % udjela, ali i da je na 21 259,96 ha tlo vrlo stjenovito sa udjelom kamenja i stijena iznad 51 % površine. Sličan trend je vidljiv i u prostorno najraširenijim razredima drvene zalihe (od 101 do 300 m³/ha) na čijih 2902,93 ha se stjenovitost javlja u udjelu od 26 – 50 % površine, a dok se na 11 543,32 ha njen udio povećava na iznad 51 % prekrivenosti tla.



Slika 2.31 Razredi stjenovitosti tla po površini bioklimata E

Analiza nagiba terena pokazuje trend pomicanja podataka u lijevo za razliku od prijašnjih središnjih odnosno lijevih maksimuma bioklimata A, B, C i D. Tako se 33,05 % površine brežuljkastih kitnjakovih šuma nalazi na nagibima terena od 11 do 20 %, a već 29,29 % površine je na nagibima od 21 do 33 %. Ipak ove šume se nalaze i na nagibima strmijim od 34 % i to u iznosu od 64 448,41 ha.

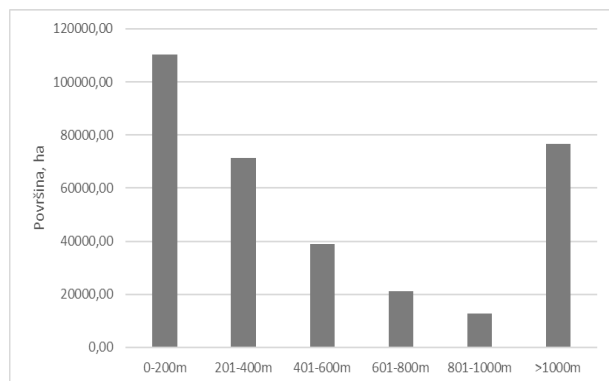


Slika 2.32 Razredi nagiba terena po površini bioklimata E

Na 53,73 % površine ovoga bioklimata stvaran rizik od erozije je nizak, ali na 39,82 % raste na umjerenu opasnost. Najmanji udio, ali u svakome slučaju ne zanemariv su 20 114,99 ha površine

kitnjakovih šuma brežuljkastog područja sa visokom opasnošću od erozije tla vodom, od čega na 15 983,40 ha površine je sadržana drvena zaliha od 101 – 500 m³/ha.

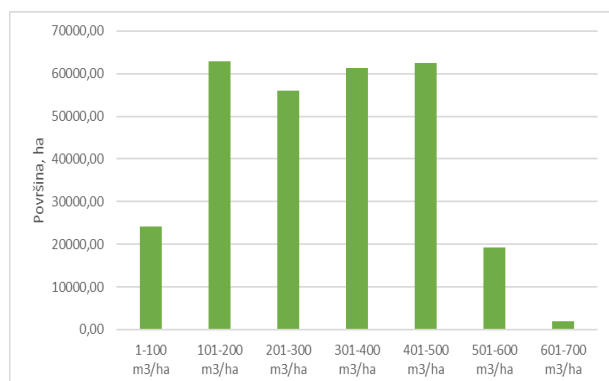
Srednja udaljenost privlačenja drva na području kitnjakovih šuma u prosjeku iznosi 494 m sa standardnom devijacijom od 449 m. Srednja udaljenost privlačenja drva (slika 2.33) se na najvećem dijelu površine (51,44 %) kreće do 400 m, dok na 22,42 % ona premašuje i udaljenosti od 1 kilometra. Sličan trend je prisutan i kod dva površinski najraširenija razreda drvene zalihe (101 – 300 m³/ha) gdje se na 47,14 % površine drvo privlači na udaljenosti do 400 m, na 14,01 % do udaljenosti do 600 m, a na 38,40 % površine preko 600 m udaljenosti.



Slika 2.33 Srednja udaljenost privlačenja drva po površini bioklimata E

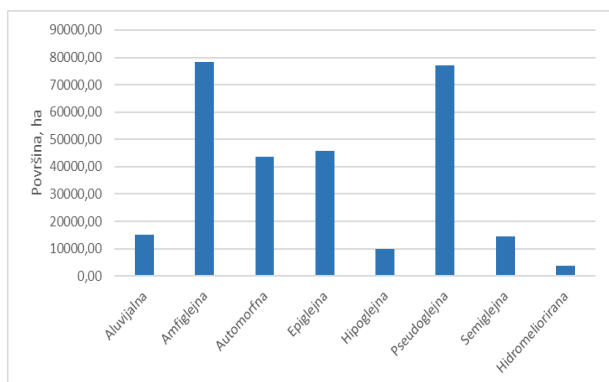
2.4.6 Bioklimat G nizinske šume hrasta lužnjaka i poplavne šume

Bioklimat G sadrži poplavne šume vrba i topola, poplavne šume hrasta lužnjaka, crne johe i poljskog jasena, ali i šume hrasta lužnjaka izvan dohvata poplava. Nizinske šume lužnjaka i poplavne šume pružaju se na 288.310,88 ha istraživanog područja. Drvena zaliha u razredima od 101 – 500 m³/ha zauzima 84,23 % površine, a na 2011,95 ha je ona i iznad 700 m³/ha.



Slika 2.34 Razredi drvene zalihe bioklimata G po površini

Za razliku od prije opisanih bioklimata, u nizinskim šumama lužnjaka i poplavnim šumama najčešći načini vlaženja tla su amfiglejni (27,15 %) te pseudoglejni (26,70 %), dok aluvijalna, epiglejna, hipoglejna i semiglejna tla zajedno čine 29,61 % površine ovih šuma. Na 42,94 % površine akumulirano je najviše drvene zalihe ovoga bioklimata (od 301 – 500 m³/ha) na tim površinama dominiraju amfiglejno (33,92 %) te pseudoglejno (26,16 %) vlaženje tla dok epiglejno, hipoglejno i semiglejno zajedno zauzimaju dodatnih 24,40 % površine šuma.



Slika 2.35 Razredi načina vlaženja tla kod bioklimata G

Pojavnost podzemnih, poplavnih, slivnih, oborinskih odnosno stagnirajućih voda na području nizinskih šuma hrasta lužnjaka te poplavnih šuma će značajno utjecati na vrijeme izvođenja radova i dodatno opremanje vozila (udvajanje osovine forvardera, postavljanje polugusjenica na bogi osovinu forvardera, korištenje širih guma na vozilima i slično).

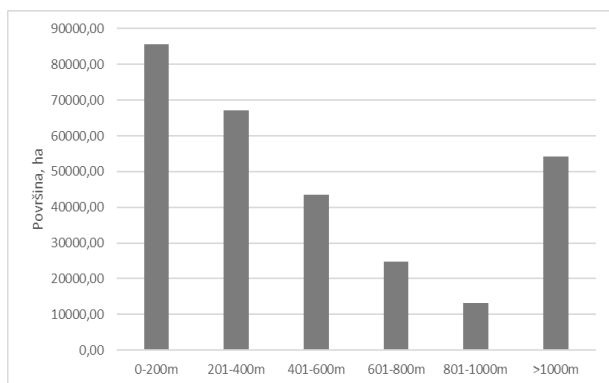
Analiza neravnosti terena pokazala je da na očekivanih 99,48 % površine nema naglih i učestalih promjena smjera nagiba terena, pa indeks neravnosti terena opisuje ove terene kao ravne.

Analiza stjenovitosti bioklimata G pokazala je da je na 99,54 % površine prekrivenost terena stijenama i kamenjem do tek najmanjih 2 % što je i očekivano s obzirom da se radi o nizinskim šumama Hrvatske.

Analiza nagiba terena slijedi već prije navedene pokazatelje indeksa neravnosti terena i stjenovitosti terena, pa je tako na 92,84 % površine bioklimata G nagib terena do 10 %.

Stvaran rizik od erozije tla vodom je na većini površine (97,83 %) šuma hrasta lužnjaka te poplavnih šuma nizak.

Analiza srednje udaljenosti privlačenja drva na području nizinskih šuma u prosjeku iznosi 516 m sa standardnom devijacijom od 429 m. Na 52,98 % površine drvo se privlači do 400 m udaljenosti, a sličan trend se pokazuje i na površinama sa najviše drvene zalihe (301 – 500 m³/ha) gdje je srednja udaljenost privlačenja drva do 400 m na 59,57 % površine.

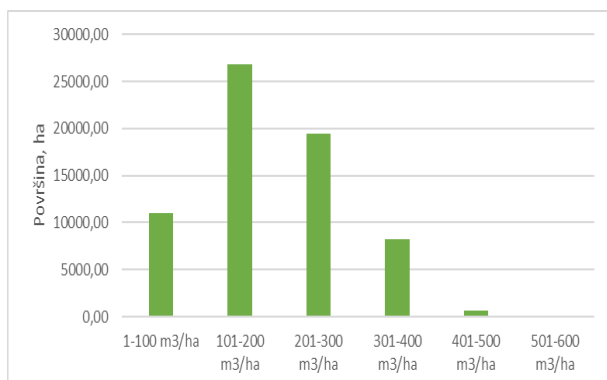


Slika 2.36 Srednja udaljenost privlačenja drva po površini bioklimata G

2.4.7 Bioklimat H submediteranske šume bukve i crnog bora

Šume bioklimata H obuhvaćaju termofilnu zajednicu bukve sa crnim grabom pretežno zaštitne funkcije zbog strmih nagiba te plitkoga tla, primorske bukove šume sa jesenskom šašikom na 650 – 900 m nadmorske visine koje predstavljaju granicu prema mediteranskoj fitogeografskoj regiji, reliktnu zajednicu crnog bora s pustenastom dunjaricom na 700 do 1200 m nadmorske visine te plitkim, skeletoidnim tlima te šume dalmatinskog crnog bora s klečicom (Vukelić i dr. 2008).

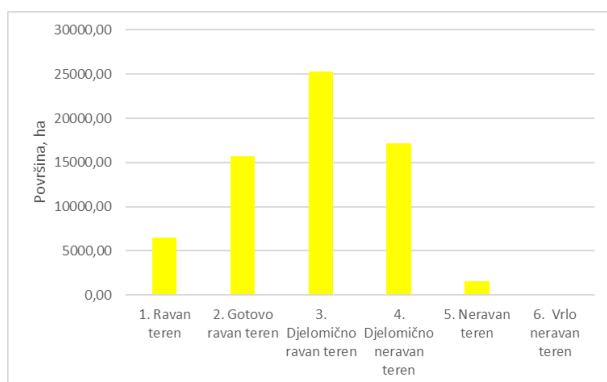
Submediteranske šume bukve i crnog bora pružaju se na 66.251,30 ha istraživanog područja, dok je 69,00 % ovih šuma sadrži drvenu zališu od 101 – 300 m³/ha (slika 2.37).



Slika 2.37 Razredi drvene zalihe bioklimata H po površini

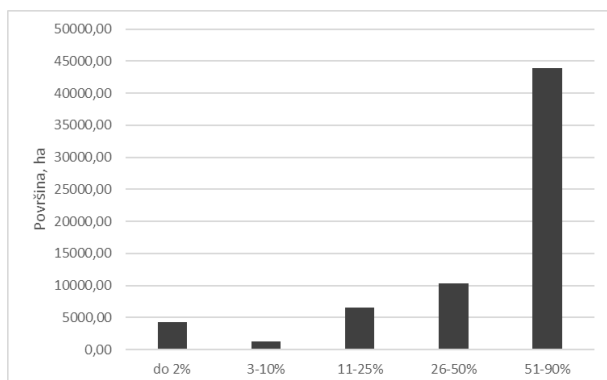
Način vlaženja tla je na 99,91 % površine automorfni bez zadržavanja oborinskih voda.

Analiza indeksa neravnosti terena (slika 2.38) pokazala je heterogenost ovih površina. Iako se djelomično ravan teren može naći na 38,14 % površine ovih šuma, djelomično neravan, neravan i vrlo neravan teren zajedno zauzimaju 28,31 % površine bioklimata.



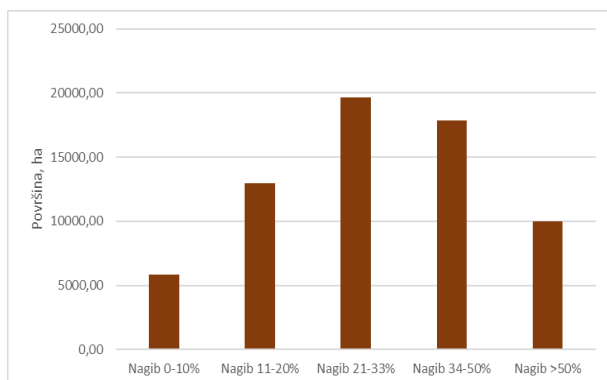
Slika 2.38 Indeks neravnosti terena po površini bioklimata H

Analiza stjenovitosti (slika 2.39) pokazala je da je većina (66,24 %) površina submediteranskih šuma bukve i crnog bora sadrži značaja udio stijena i kamenja po površini (od 51 do 90 %), dok su ostali razredi slabije zastupljeni. Ako se razmotri udio stjenovitosti po površinama sa ukupno najviše drvene zalihe (od 101 – 300 m³/ha) jasan je sličan trend gdje je 66,13 % površine sa najvećim udjelom stjenovitosti (od 51 do 90 %), razred od 26 – 50 % stijena i kamenja je na 14,05 % površine dok su ostali razredi zastupljeni sa ukupno 19,82 % udjela.



Slika 2.39 Razredi stjenovitosti tla po površini bioklimata H

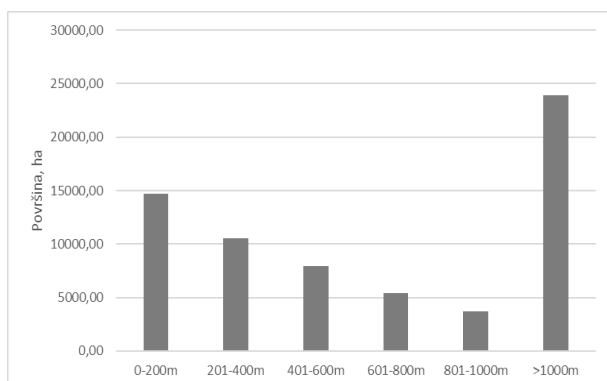
Analiza nagiba terena (slika 2.40) pokazuje raznolikost ovih površina koja se već uočila i kod analize indeksa neravnosti terena. Dok je najzastupljeniji treći razred nagiba sa udjelom od 29,71 %, nagibi od 34 % na više zauzimaju 41,97 % površine ovih šuma.



Slika 2.40 Razredi nagiba terena po površini bioklimata H

Analiza stvarnog rizika od erozije tla vodom na području bioklimata submediteranskih šuma bukve i crnog bora pokazala je da je na 24,02 % površine rizik nizak, na 65,82 % površine rizik je umjeren, a na 10,16 % rizik od erozije je visok. Ove podatke zajedno sa podacima o nagibu, indeksu neravnosti terena te udjelima drvene zalihe svakako treba uzeti u obzir prilikom radova pridobivanja drva u smislu zaštitnih zona te okolišne pogodnosti.

Analiza srednje udaljenosti privlačenja drva na području submediteranskih šuma bukve i crnog bora u prosjeku iznosi 560 m sa standardnom devijacijom od 490 m. Ove površine su slabije otvorene od većine prije opisanih bioklimata te 36,07 % površine zahtijeva privlačenje drva iznad 1 kilometra. Ako se usporedi srednja udaljenost privlačenja za prostornim rasporedom drvene zalihe bioklimata H, vidljivo je da se na 30,97 % površine drvo privlači na udaljenosti većoj od 1 kilometra, dok je na 54,80 % privlačenje drva do 600 m udaljenosti.

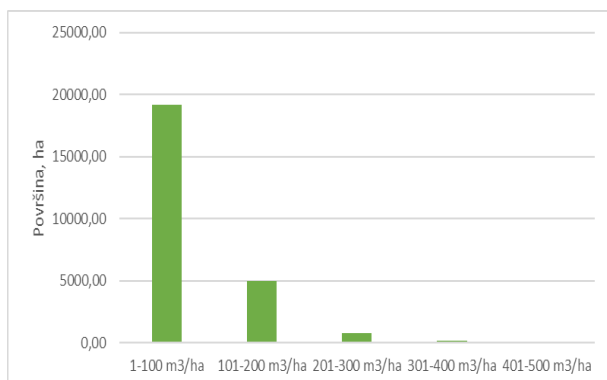


Slika 2.41 Srednja udaljenost privlačenja drva po površini bioklimata H

2.4.8 Bioklimat J submediteranske šume medunca i crnog graba

Šume bioklimata J obuhvaćaju mješovite šume medunca i crnoga graba – najčešće degradirane šume sa zaštitnom i općekorisnom funkcijom koje se ekstrazonalno javljaju i u SZ Hrvatskoj; šume duba i crnoga jasena na kraškim poljima i visini od 460 – 600 m u raznim degradacijskim stadijima; šume dalmatinskog crnog bora s resikom koje se rasprostiru na višim, svježijim i humidnijim položajima dalmatinskih otoka; termofilne šume jele i crnoga graba koje dolaze na vrtačastim platoima i visini od 700 do 1150 m te su najčešće zaštitnog karaktera i niskog uzgojnog oblika te šume hrasta medunca sa beskoljenkom (Vukelić i dr. 2008).

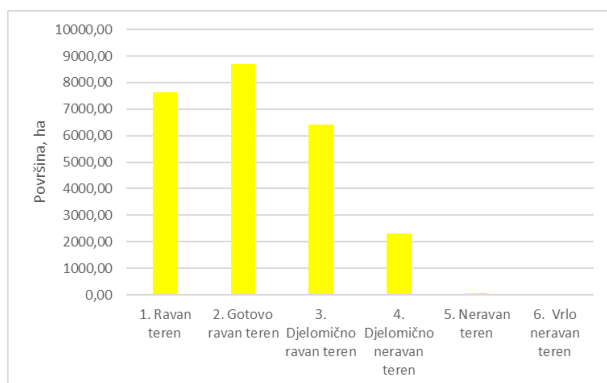
Bioklimat Submediteranske šume medunca i crnog graba zauzima 25.145,39 ha površine istraživanog područja. Za razliku od prijašnjih bioklimata, a temeljem analize drvene zalihe (slika 2.42) ovdje je vidljivo da se radi o većinom degradiranim šumskim površinama gdje je najveći udio drvene zalihe po površini (76,34 %) upravo u prvome razredu.



Slika 2.42 Razredi drvene zalihe po površini bioklimata J

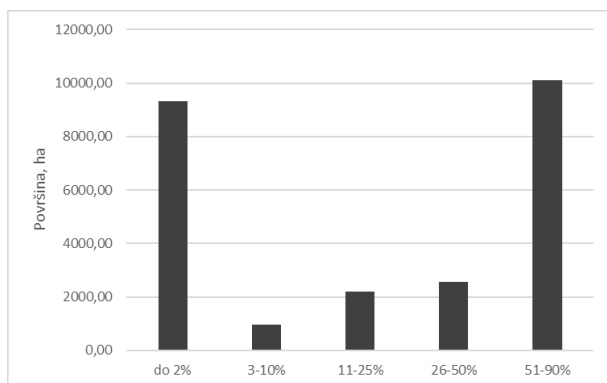
Način vlaženja tla je na području submediteranskih šuma medunca i crnog graba očekivano pretežno (u 98,82 % slučajeva) automorfni što znači da nema utjecaja ni zadržavanja podzemnih, poplavnih, slivnih i stagnirajućih voda.

Analiza indeksa neravnosti terena (slika 2.43) pokazuje da se radi o nešto blažim terena sa gledišta promjena smjera i pružanja nagiba u usporedbi sa submediteranskim šumama bukve i crnog bora. Na ovim područjima u 64,99 % slučajeva prevladavaju ravan i gotovo ravan teren, dok klase 4, 5 i 6 zauzimaju tek 2391,30 ha površine ovih šuma.



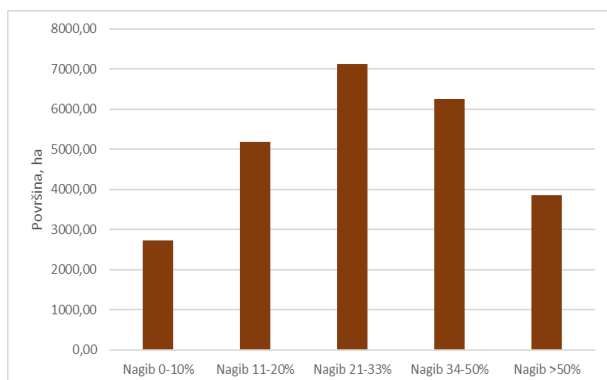
Slika 2.43 Indeks neravnosti terena po površini bioklimata J

Analiza stjenovitosti terena (slika 2.44) pokazala je da su površine najpovoljnijeg razreda 1 (do 2 % površine prekriveno stijenama i kamenjem) i najnepovoljnijeg razreda 5 (od 51 do 90 % površine prekriveno stijenama i kamenjem) vrlo slično zastupljeni odnosno sa 37,09 % te 40,18 % površine.



Slika 2.44 Razredi stjenovitosti tla po površini bioklimata J

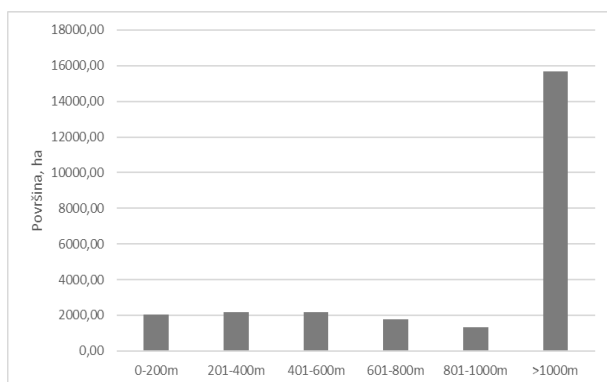
Analiza nagiba terena (slika 2.45) pokazuje da se radi o heterogenim terenima, gdje je 40,20 % površine na nagibima iznad 34 %, a 31,50 % površine je do nagiba terena od 20%.



Slika 2.45 Razredi nagiba terena po površini bioklimata J

Stvaran rizik od erozije tla vodom na području submediteranskih šuma medunca i crnog graba je pretežno (64,35 % površine) umjeren, dok je na 19,47 % površina rizik visok. Ove podatke treba sagleda u kontekstu smanjene količine drvene zalihe te raznolikosti nagiba terena ovih šuma te načine i uvjete gospodarenja ovim šumama prilagoditi dobivenim podacima provedenih analiza.

Analiza srednje udaljenosti privlačenja drva na području submediteranskih šuma medunca i crnog graba u prosjeku iznosi 862 m sa standardnom devijacijom od 554 m. Analiza srednjih udaljenosti privlačenja drva (slika 2.46) pokazala je da se radi o slabije otvorenim površinama (u usporedbi sa prije opisanim bioklimatima) gdje se na 62,41 % površine drvo privlači na udaljenostima iznad 1 kilometra.

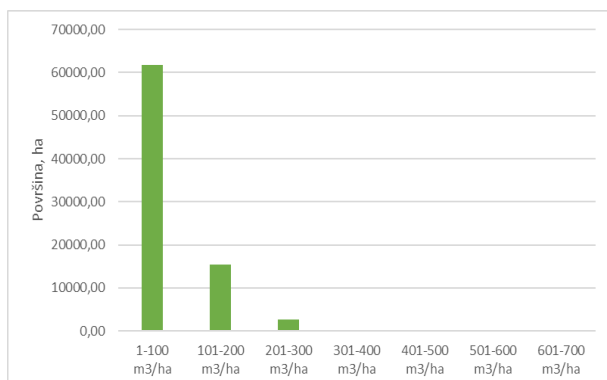


Slika 2.46 Srednja udaljenost privlačenja drva po površini bioklimata J

2.4.9 Bioklimat K submediteranske šume medunca i bijelog graba

Šume bioklimata K rijetko čine suvisle proizvodne šumske sastojine zbog višegodišnjeg antropogenog utjecaja no ipak veći dio tih sastojina nalazi se u progresiji (Vukelić i dr. 2008).

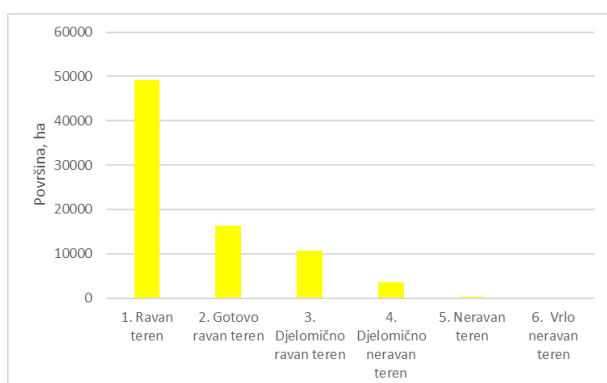
Bioklimat submediteranskih šuma medunca i bijelog graba pridolazi na 80 151,64 ha površine istraživanog područja. Kao i kod bioklimata H vidljiv je manji udio drvene zalihe koja je najvećim dijelom zastupljena u razredu od 1 do 100 m³/ha na 76,99 % površine (slika 2.47). Razredi od 301 – 700 m³/ha zajedno zauzimaju tek 381,24 ha površine ovoga bioklimata.



Slika 2.47 Razredi drvene zalihe po površini bioklimata K

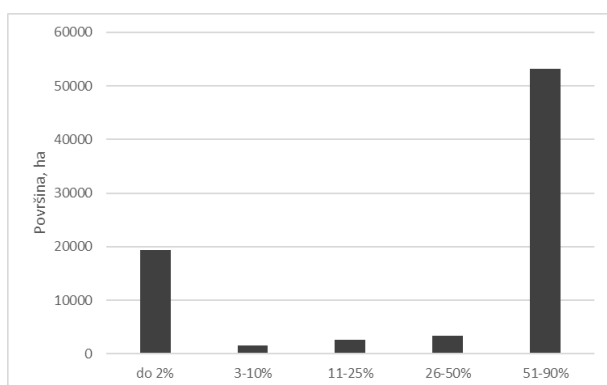
Način vlaženja tla je očekivano automorfni gdje na 99,78 % površine neće biti utjecaja podzemnih, poplavnih, slivnih ili stagnirajućih oborinskih voda.

Analiza indeksa neravnosti terena (slika 2.48) pokazuje da se na 61,42 % površine submediteranskih šuma medunca i bijelog graba radi o ravnome terenu dok zahtjevnije kategorije terena (od 4 do 6 razreda) 3840,41 ha površina ovih šuma.



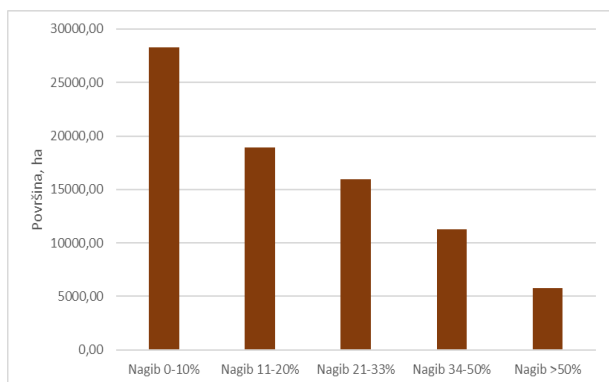
Slika 2.48 Indeks neravnosti terena po površini bioklimata K

Za razliku od šuma medunca i crnog graba, u šumama medunca i bijelog graba vidljiv je veći udio stjenovitosti po površini (slika 2.49) što je i očekivano s obzirom da se radi o zajednicama na kršu. Tako na čak 66,35 % površine udio kamenja i stijena po površini tla kreće u omjeru od 51 do 90%.



Slika 2.49 Razredi stjenovitosti tla po površini bioklimata K

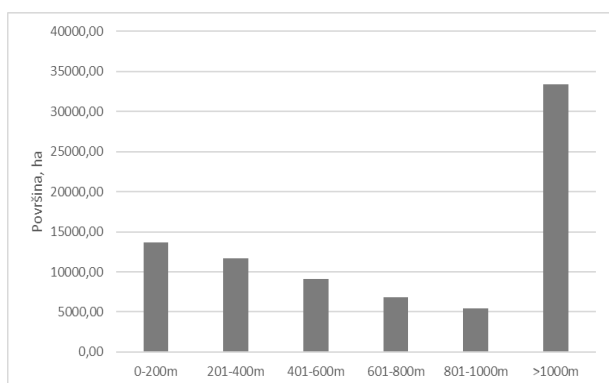
Analiza nagiba terena (slika 2.50) pokazala je da se na 35,29 % površine radi o blažim nagibima terena do 10 %, ali ne treba ni zanemariti činjenicu da je 21,29 % površine na nagibima iznad 34 %. Slična situacija je i u površinski najzastupljenijem razredu drvene zalihe (od 1 do 100 m³/ha) gdje se 23 948,47 ha površine nalazi na nagibima do 10 %, ali i 11624,74 ha na nagibima od 34 do preko 50 %.



Slika 2.50 Razredi nagiba terena po površini bioklimata K

Analiza procjene stvarnog rizika od erozije tla vodom pokazala je da je na 46,32 % površina ovih šuma rizik od erozije nizak, dok je na 40,60 % površine on umjeren. Ipak ne treba zanemariti činjenicu da na 10 477,14 ha šuma medunca i bijelog graba postoji visok rizik od erozije tla vodom.

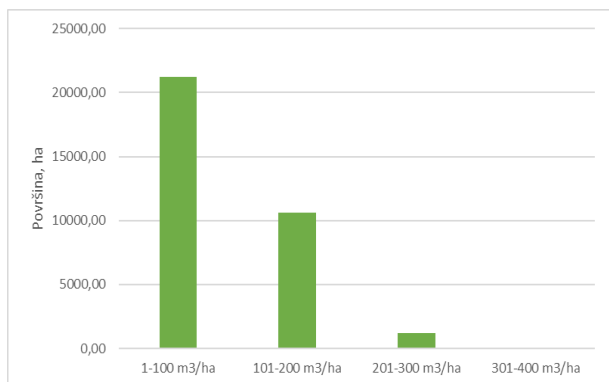
Analiza srednje udaljenosti privlačenja drva na području submediteranskih šuma medunca i bijelog graba u prosjeku iznosi 705 m sa standardnom devijacijom od 526 m. Analiza (slika 2.51) je pokazala da su ovo većinom nedovoljno otvorene šume gdje se na 41,61 % površine drvo privlači na udaljenosti iznad 1 kilometra. Ipak na 34 519,64 ha najveća srednja udaljenost privlačenja je do 600 m.



Slika 2.51 Srednja udaljenost privlačenja drva po površini bioklimata K

2.4.10 Bioklimat L mediteranske šume i makije alepskog bora i hrasta crnike

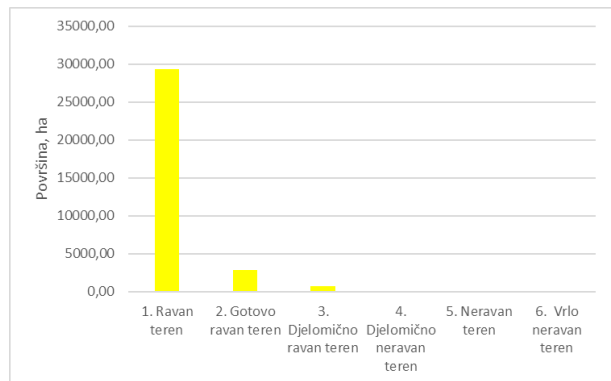
Šume bioklimata L su većinom degradirana staništa zbog antropogenog utjecaja te velike ugroženosti od požara (Vukelić i dr. 2008). Analiza bioklimata Mediteranskih šuma i makija alepskog bora i hrasta crnike pokazala je da se ovaj bioklimat rasprostire na 33072,48 ha površine. Površinski najzastupljeniji razred drvene zalihe, onaj najniži, može se naći na 64,20 % površine ovih šuma, dok drvene zalihe od 201 – 400 m³/ha ima na tek 1250,42 ha površine.



Slika 2.52 Razredi drvene zalihe po površini bioklimata L

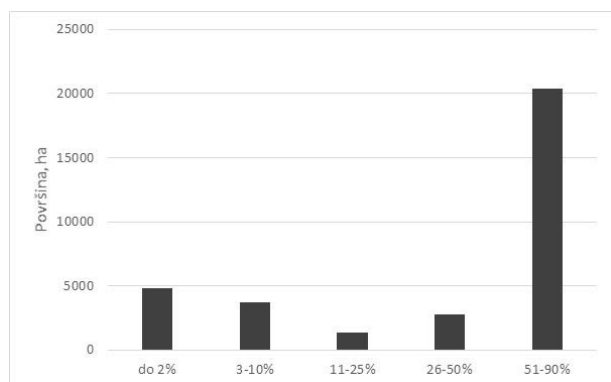
Način vlaženja tla je na 98,38 % površine automorfni što znači da nema utjecaja podzemnih, poplavnih te stagnirajućih oborinskih voda na području ovih šuma.

Analiza indeksa neravnosti terena (slika 2.53) pokazala je da se na 88,73 % površine ovih šuma radi o ravnome terenu bez izraženih i čestih promjena smjera nagiba terena. Tereni sa razredima 4, 5 i 6 indeksa neravnosti terena zauzimaju tek 134,42 ha površine mediteranskih šuma i makija alepskog bora i hrasta crnike.



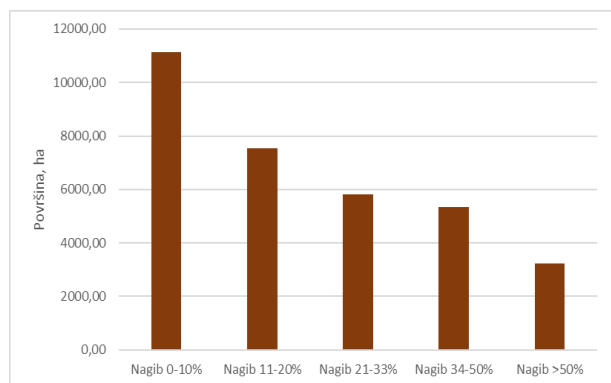
Slika 2.53 Indeks neravnosti terena po površini bioklimata L

Analiza stjenovitosti bioklimata L (slika 2.54) pokazuje da se očekivano radi o krškim terenima gdje je na 61,62 % površine udio stjenovitosti po površini tla od 51 do 90 %. Ipak povoljniji razredi (do 10 % stjenovitosti tla) zauzimaju 8526,19 ha površine.



Slika 2.54 Razredi stjenovitosti tla po površini bioklimata L

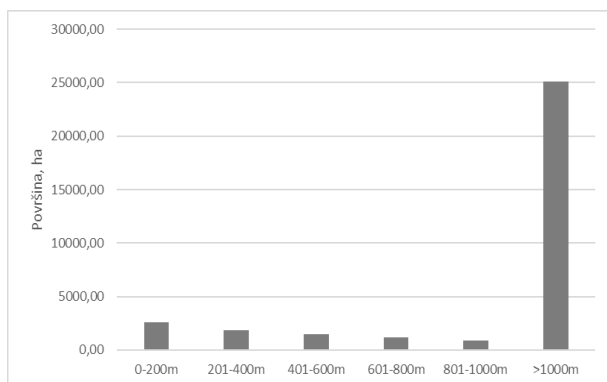
Analiza nagiba terena (slika 2.55) pokazala je heterogenost ovih terena, ipak sa naglaskom na blaže nagibe gdje 56,51 % terena sadrži nagibe do 20 %. Najnepovoljniji nagibi terena, oni iznad 50 % pridolaze na 9,77 % površine šuma bioklimata L.



Slika 2.55 Razredi nagiba terena po površini bioklimata L

Na 36,20 % površina mediteranskih šuma i makija alepskog bora i hrasta crnike, stvaran rizik od erozije tla je nizak, dok je na 42,86 % on umjeren. Ipak ne treba zanemariti činjenicu da je na 6923,72 ha površine ovih šuma stvaran rizik od erozije tla vodom visok.

Analiza srednje udaljenosti privlačenja drva (slika 2.56) na području mediteranskih šuma i makija alepskog bora i hrasta crnike u prosjeku iznosi 645 m sa standardnom devijacijom od 526 m. većina površina ovoga bioklimata (75,89 %) je slabo otvoreno područje gdje je privlačenje drva na udaljenostima iznad 1 kilometra. Na površinama koje sadrže drvenu zalihu od 101 do 400 m³/ha prevladava upravo šesti najnepovoljniji razred srednje udaljenosti privlačenja (> 1000 m) na 9887,09 ha.



Slika 2.56 Srednja udaljenost privlačenja drva po površini bioklimata L

Literatura

- Anon., 1975: The Forestry Commission System of Terrain Description and Classification. BRITISH FORESTRY COMMISSION, Harvesting and Marketing Division, Edinburgh.
- Berg, S., 1992: Terrain Classification System for Forestry Work. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Kolding Lyntryk, Denmark, 1–28.
- Bertović, S., 1999: Reljef i njegova prostorna raščlamba. Šumarski list 123(11–12): 543–563.
- Beven, K., M. J. Kirkby, 1979: A physically based variable contributing area model of basin hydrology. Hydrology Science Bulletin 24(1979): 43–69.
- Bogunović, M., Ž. Vidaček, Z. Racz, S. Husnjak, M. Sraka, 1997: Namjenska pedološka karta Republike Hrvatske i njena uporaba. Agronomski glasnik: Glasilo Hrvatskog agronomskog društva, 59(5-6): 363–399.
- Bojanin, S., 1980: Problemi klasifikacije šumskih terena. Mehanizacija šumarstva 5(5-6): 179–187.
- Bumber, Z., 2011: Primjena GIS-a pri analizi otvorenosti G.J. Šiljakovačka dubrava II kroz strukturu prihoda drva u prostoru i vremenu. Magistarski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–139.
- Burrough, P. A., R. A. McDonell, 1998: Principles of Geographical Information Systems (Oxford University Press, New York), 1–190.
- Canon, S. K., F. C. Bryant, 1997: Bedsite characteristics of pronghorn fawns. Journal of Wildlife Management, 61(1997): 1134–1141.
- Čavlović, J., 2010: Prva nacionalna inventura šuma Republike Hrvatske. Ministarstvo regionalnog razvoja, šumarstva i vodnoga gospodarstva Republike Hrvatske i Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1–300.
- Conway, S., 1976: Logging practices. Principles of timber harvesting systems. Miller Freeman Publications, 1–432.
- Davis, C. J., T. W. Reisinger, 1990: Evaluating Terrain for Harvesting Equipment Selection. Journal of Forest Engineering, 2(1): 9–16.
- Dietz, P., W. Knigge, H. Löffler, 1984: Walderschließung. Verlag Paul Parey, Hamburg, DNR, 1–426.
- Enache, A., M. Kühmaier, K. Stampfer, V. D. Ciobanu, 2013: An integrative decision support tool for assessing forest road options in a mountainous region in Romania. Croat. j. for. eng. 34 (1): 43–60.

- Eriksson, T., G. Nilsson, G. Skrämo, 1975: The Inter-Nordic Project of Forest Terrain and Machines in 1972–1975. *Acta Forestalia Fennica*, vol.164: 1–44.
- Fabricius, C., K. Coetzee, 1992: Geographic information systems and artificial intelligence for predicting the presence or absence of mountain reed buck. *South Afr.J.Wildl.Rs.*, 22(1992): 80–86.
- Fatherree, B. H., 2006: The History of Geotechnical Engineering at Waterways Experiment Station 1932–2000. <http://gsl.ercd.usace.army.mil/gl-history/>.
- Folegatti, B., M. Smidt, T. Macdonald, 2010: Wander factors for skid distance estimation in pine thinnings. *Proceedings of precision Forestry Symposium*, March 2, Stellenbosch, South Africa, 1–49.
- Hirt, C., M. Filmer, W. Featherstone, 2010: Comparison and validation of the recent freely available ASTER GDEM ver1, SRTM ver4.1 and GEODATA DEM9S ver3 digital elevation models over Australia. *Australian Journal of Earth Sciences*, 57(3): 337–347.
- Hjerdt, K. N., J. J. McDonnell, J. Seibert, A. Rodhe, 2004: A new topographic index to quantify downslope controls on local drainage; *Water Resources Research* 40(5).
- Huang, B., B. Jiang, 2002: AVTOP: a full integration of TOPMODEL into GIS. *Environmental Modelling & Software* 17(2002): 261–268.
- Husnjak, S., 2000: Procjena rizika erozije tla vodom metodom kartiranja u Hrvatskoj. Disertacija. Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Kieslinger, G., 1953: Bodenklassen im Tiefbau. *Österreichische Bauzeitschrift*. Heft 1. Jakobson, A., 1965: Terrängtransportarbete med traktor. *Skogsägaren* 2.
- Koeln, G. T., L. M. Cowardin, L. L. Strong, 1996: Geographical information systems. Research and management techniques for wildlife and habitats. Wildlife Society, Bethesda, USA, str. 540–566.
- Beasom, S.L., Wiggers, E.P., Giardino, J.R., 1983: A technique for assessing land surface ruggedness. *Journal of Wildlife Management*, 47(1983): 1163–1166.
- Löffler, H. J., 1984: Terrain classification for forestry. Report TIM/EFC/WP.1/R.51, 24 August 1984, EU Timber Committee and FAO-ILO, 1–55.
- MacDonald, A.J., 1999: Harvesting Systems and Equipment in British Columbia. FERIC, Handbook No., HB-12: 1–197.
- Matthews, D. M., 1942: Cost Control in the Logging Industry. McGraw–Hill Book Company Inc., New York, USA, 1–374.
- Maune, D. F., 2007: Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM Users Manual. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Bethesda, Maryland, USA.
- Mellgren, P. G., 1980: Terrain Classification for Canadian Forestry. FERIC, 1–13.
- Owende, P. M., O., J. Lyons, R. Haarlaa, A. Peltola, R. Spinelli, J. Molano, S. M. Ward, 2002: Operations protocol for Eco-efficient Wood Harvesting on Sensitive Sites. Project ECOWOOD, Funded under the EU 5th Framework Project (Quality of Life and Management of Living Resources). Contract No. QLK5-1999-00991 (1999 – 2002), 1–74.
- Pentek, T., 2002: Računalni modeli optimizacije mreže šumskih cesta s obzirom na dominantne utjecajne čimbenike. Doktorska disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. 1–271.
- Pentek, T., D. Pičman, H. Nevečerel, 2004: Srednja udaljenost privlačenja drva. *Šum. list* 128(9–10): 545–558.
- Pičman, D., T. Pentek, M. Družić, 1997: Utjecaj troškova izgradnje i održavanja šumskih cesta na njihovu optimalnu gustoću u nizinskim šumama Hrvatske. *Meh. šumar.* 22(2): 95–101.
- Sabadi, R., 1992: *Ekonomika šumarstva*. Školska knjiga, Zagreb, 1–280.
- Pilaš, I., I. Medved, J. Medak, D. Medak, 2014: Response strategies of the main forest types to climatic anomalies across Croatian biogeographic regions inferred from FAPAR remote sensing data. *Forest ecology and management*, 326: 58–78.
- Poršinsky, T., 2005: Djelotvornost i ekološka pogodnost forvardera Timberjack 1710 pri izvoženju oblovine iz nizinskih šuma Hrvatske. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–170.

- Putkisto, K., 1964: Metsämaastomme kuljetusteknillisten ominaisuuksien inventointi. Summary: The importance of a forestland survey in Finland from the view point of timber transportation. *Metsätaoloudellinen Aikakauslehti* 10.
- Riley, S. J., 1989: Integration of environmental, biological and human dimensions for management of mountain lions (*Puma concolor*) in Montana. Ph.D Dissertation, Cornell University, Ithaca, NY, USA, 1–247.
- Riley, S. J., S. D. DeGloria, R. Elliot, 1999: A Terrain ruggedness Index that Quantifies Topographic Heterogeneity. *Intermountain Journal of Sciences*, vol. 5 (1–4): 23–27.
- Riley, S. J., S. D. DeGloria, R. Elliot, 1999: A Terrain ruggedness Index that Quantifies Topographic Heterogeneity. *Intermountain Journal of Sciences*, vol. 5 (1–4): 23–27.
- Rowan, A. A., 1977: Terrain classification. Forestry Commission, Forestry Record 114. Her Majesty's Stationery Office (HMSO), Edinburgh, 1–24.
- Saarilahti, M., 2002A: Dynamic terrain classification – Modelling of the seasonal variation of the trafficability on forest sites. Soil interaction model. Development of a protocol for ecoefficient wood harvesting on sensitive sites (Ecowood), Appendix report no. 1, 1–22.
- Saarilahti, M., 2002B: Modelling of the wheel and soil. Soil interaction model. Development of a protocol for ecoefficient wood harvesting on sensitive sites (Ecowood), Appendix report no 8, 1–37.
- Samset, I., 1975: The accessibility of forest terrain and its influence on forestry conditions in Norway. Reports of the Norwegian Forest Research Institute 32.1, 1–92.
- Segebaden, G., 1964: Studies of Cross-Country Transport Distances and Road Net Extension. *Studia Forestalia Suecica* 18: 1–70.
- Silversides, C. R., U. Sundberg, 1988: Operational Efficiency in Forestry – Volume 1: Analysis. Kluwer Academic Publishers – Forest Sciences, Dordrecht/Boston/Lancaster, 1–219.
- Staff, K. A., N. A. Wiksten, 1984: Tree harvesting techniques: Planning of tree harvesting. Kluwer Academic Publisher. MTP Press Limited. 1–371.
- Stankić, I., 2010: Višekriterijsko planiranje izvođenja drva forvarderima i u nizinskih šuma Hrvatske. Doktorska disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–123.
- Van Niel, K. P., S. W. Laffan, B. G. Lees, 2004: Effect of error in the DEM on environmental variables for predictive vegetation modeling. *Journal of Vegetation Science* 15(6): 747–756.
- Varga, M., T. Bašić, 2013: Procjena kvalitete i usporedba globalnih digitalnih modela reljefa na ozemlju. *Kartografija i geoinformacije*, vol. 20(12): 4–17.
- Vukelić, J., S. Mikac, D. Baričević, D. Bakšić, R. Rosavec, 2008: Šumska staništa i šumske zajednice u Hrvatskoj–Nacionalna ekološka mreža. Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb, 263 str.

3. Katalog sustava pridobivanja drva

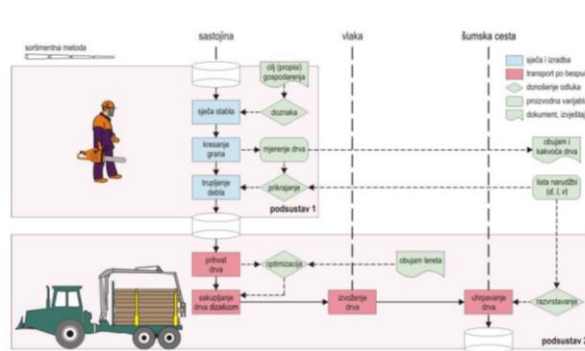
Pridobivanje drva (eng. *logging, harvesting*) je skup tehnoloških operacija nužnih za pretvorbu dubećih stabla u željeni šumski proizvod i njegovu dopremu iz šume do mjesta uporabe. U navedenim operacijama ljudi koriste alate, opremu i strojeve te oblikuju sustav pridobivanja drva u određenoj sječini, a pri tome rad mogu obavljati različitim metodama pridobivanja drva, ovisno o stupnju izrade kraj panja i obliku u kojemu se drvo transportira do stovarišta (Pulkki 1997).

U svijetu su poznate tri glavne metode pridobivanja drva: sortimentna (eng. *Cut-to-length, Shortwood*), deblovna (eng. *Tree-length*) i stablovna s različitim inačicama (eng. *Full tree, Whole tree, Complete tree*) ovisno o tome koristi li se samo nadzemna biomasa stabla ili i panj bez ili s dijelom korijenja. Sustavi se obično dijele s obzirom na stupanj mehaniziranosti na: nemehanizirane, djelomično mehanizirane i mehanizirane. Detaljnijom podjelom moguće je razlikovati i visokomehanizirane sustave, u kojima se samo sječa obavlja ručno-strojno, a svi ostali postupci strojno od potpuno mehaniziranih sustava, u kojima se svi postupci obavljaju strojno (Heinrich 1998).

Različite inačice pojedinih sustava pridobivanja drva s obzirom na glavne sastavnice (strojeve) i različite metode pridobivanja drva uobičajeno je prikazivati u grafičkom obliku (Warkotsch 1975, Löffler 1989, Heinemann 2001, Erler i Weiß 2003, Erler i Dög 2009).



Slika 3.1 Djelomično mehanizirani sustav pridobivanja oblog drva sortimentnom metodom – Prikaz korištenjem modela matrice (Löffler 1989)



Slika 3.2 Djelomično mehanizirani sustav pridobivanja oblog drva sortimentnom metodom – Prikaz korištenjem teorije simulacije proizvodnih sustava (Heinemann 2001)

Katalog sustava pridobivanja drva (Prilog 2) sastoji se od opisnog i grafičkog dijela. Opis pojedinih sustava pridobivanja drva temelji se na dostupnim izvorima literature, a odabir u Katalogu prikazanih sustava pridobivanja drva temelji se na posebnostima pridobivanja drva u Republici Hrvatskoj uvažavajući prvenstveno trenutno prevladavajuće sustave i metode pridobivanja drva nastale dugogodišnjim razvojem tehnoloških postupaka prilagođenih gospodarenju prirodnim šumama različitih terenskih i sastojinskih uvjeta. No, značajan dio Kataloga posvećen je i sustavima pridobivanja drva recentno uvedenim u naše šumarstvo, kao i sustavima pridobivanja drva čija tehnička i tehnološka rješenja naslućuju mogućnost uspješne primjene u hrvatskom šumarstvu.

Pri grafičkom prikazu sustava pridobivanja drva korištena je metoda funkciograma (njem. *Funktiogramme*) koju preporuča KWF (*Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e.V.*), a razvili su je i opisali Erler i Dög (2009). Navedeni grafički prikaz na jednostavan i jasan način predložuje dijelove sustava i glavne procese. U vertikalnoj ravnini opisuje tijek pretvorbe dubećeg stabla u drvni sortiment, a u horizontalnoj ravnini postupke transporta drva od panja do stovarišta.

S obzirom da su opisi i prikazi sustava i metoda pridobivanja drva najčešće nastajali u okruženju prevladavajućeg udjela četinjača pozornost autora je gotovo isključivo usmjerena izradi drvnih sortimenata oblog drva iz raspoložive deblvine stabla. U ovome Katalogu posebna je pažnja posvećena tehnološkim procesima izrade prostornoga drva (koje ne mora nužno biti izrađeno kao sortiment oblog drva). Isti su procesi sistematizirani i prikazani ili kao sastavni dio sustava pridobivanja (oblog) drva ili pak kao posebni sustavi pridobivanja drva koji izvorište sirovine nalaze u biomasi stabla koja preostaje nakon izrade i transporta oblog drva.

Literatura

Erler, J., M. Weiß, 2003: Netz-Darstellung von Arbeitsverfahren. Forsttechnische Informationen 54 (9): 103–107.

Erler, J., M. Dög, 2009: Funktiogramme für Holzernteverfahren. Forsttechnische Informationen 61 (9-10): 14–17.

Heinimann, H. R., 2001: Verfahrenstechnik III – Analyse, Gestaltung und Steuerung technischer Produktions-systeme. Swiss Federal Institute of Technology Zurich, 1–26.

Heinrich, H., 1998: Recent developments on environmentally friendly forest road construction and wood transport in mountainous forests. Proceedings of the Seminar on environmentally sound forest roads and wood transport, Sinnaia, FAO Rome, 366–376.

Löffler, H., 1989: Forstliche Verfahrenstechnik (Holzernte) für Studierende der Forstwirtschaft: Manuskript zu der Lehrveranstaltung. Lehrstuhl für Forstl. Arbeitswiss. u. Verfahrenstechnik d. Univ., 1–516.

Pulkki, R., 1997: Cut-to-length, tree-length or full tree harvesting? Central Woodlands 1 (3): 22–27, 37.

Warkotsch, W., 1975: Darstellung und Analyse von Systemen und Verfahren der Holzernte. Allgemeine Forstzeitschrift 41.

4. Katalog šumskih strojeva i morfološka raščlamba

4.1 Uvod

Katalog šumskih strojeva je izrađen da bi se korištenjem morfoloških značajki grupe strojeva, dobivenih analizom iz baze podataka, mogao/li izabrati tip/ovi stroja/eva koji odgovara/ju zadanom/im kriteriju/ima. Dakle, polazište izbora tipa stroja je baza tehničkih i ev. drugih podataka važnih za morfološku analizu koji se u većini slučajeva mogu kvantificirati, a zatim iz kataloga strojeva izabrati.

Na Šumarskome fakultetu u Zagrebu stvaranje baze tehničkih podataka šumskih strojeva ima dugu tradiciju i prvu je takvu bazu za morfološku raščlambu napravio Sever (1981) za skidere, potaknut prijedlogom Bekkera (1956, 1960, 1969) za analizom dobrote terenskih vozila morfološkom analizom. Kao kuriozitet za ovu bazu podataka može se navesti da je bila izrađena bez primjene računala.

Prvu računalnu bazu tehničkih podataka forvardera načinio je Horvat (1993), a za ostala šumska vozila opisali su ju Sever i Horvat (1992a i 1992b). U tim se prvim radovima o bazama podataka šumskih strojeva i njima pridruženi morfološkim raščlambama govori o njihovoj primjeni pri definiranju zajedničkih značajki pojedine grupe strojeva i ocjeni pojedinoga tipa stroja unutar familije.

Krajem 90-tih godina i početkom 2000-tih napravljene su prve baze tehničkih podataka svih značajnijih grupa strojeva: adaptiranih poljoprivrednih traktora, iverača, žičara, harvester, harvesterskih glava, kamionskih dizalica, šumskih poluprikolica i dr. Veliki dio ovih baza stvarali su studenti Šumarskoga fakulteta u Zagrebu za svoje diplomske radove. Posljednju takvu bazu je napravio Musić (2007) za motorne pile lančanice.

Za potrebu ovoga projekta većina je postojećih baza podataka izabranih grupa strojeva:

1. Motornih pila lančanica,
2. Harvesterskih glava,
3. Harvestera,
4. Skidera
5. Forvardera,
6. Šumskih žičara i
7. Iverača,

nadopunjavana podacima novih tipova strojeva koji su poslije uvršteni u Katalog šumskih strojeva. Podaci o novim tipovima strojeva su pronalazeni na portalima proizvođača. Zbog toga a uslijed raznovrsnoga načina prikazivanja podataka na pojedinome portalu, za poneke tipove strojeva se nisu mogli naći svi željeni podaci. Ovaj su dio posla uglavnom radili studenti.

Kao zaključak može se reći da obnovljene baze tehničkih podataka imaju trajnu vrijednost dok je Katalog šumskih strojeva ograničene upotrebljivosti tj. traje sve dok poneki proizvođač ne promjeni, odnosno, proizvede novi tip stroja. Ovo posebno vrijedi za proizvođače motornih pila lančanica koji praktički svake godine mijenjaju proizvodni program koji puta samo promjenom naziva stroja.

U nastavku će se prikazati neke osnovne značajke Kataloga šumskih strojeva, njihove baze tehničkih podataka te primjena morfološke raščlambe za neke značajke svake od 7 gore navedenih familija strojeva.

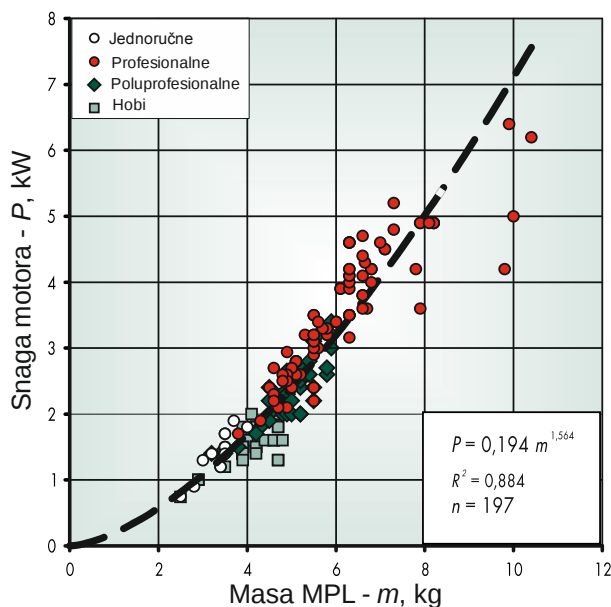
Sam Katalog šumskih strojeva je prilog ovome Izvješću (Prilog 3).

4.2 Motorne pile lančanice (mp)

Nadopunjenu bazu podataka (Musić 2007) Poršinsky i dr. (2008) su iskoristili za prvu veliku morfološku raščlambu motornih pila lančanica. Podijelili su motorne pile u 4 kategorije:

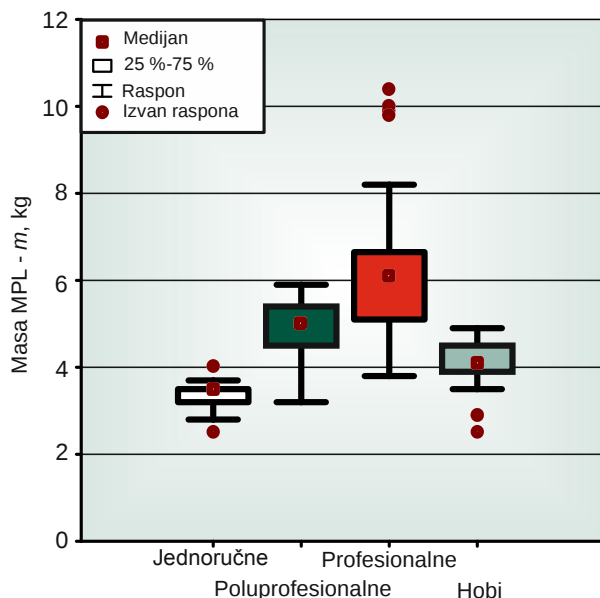
1. Profesionalne,
2. Poluprofesionalne,
3. Za vrt i hobi te
4. Jednoručne.

Ova podjela je prihvaćena i u ovome Izvješću jer se iz ovisnosti mase i snage motora (slika 4.1) mogu jasno razabrati područja ove 4 kategorije motornih pila (u daljnje tekstu MP).



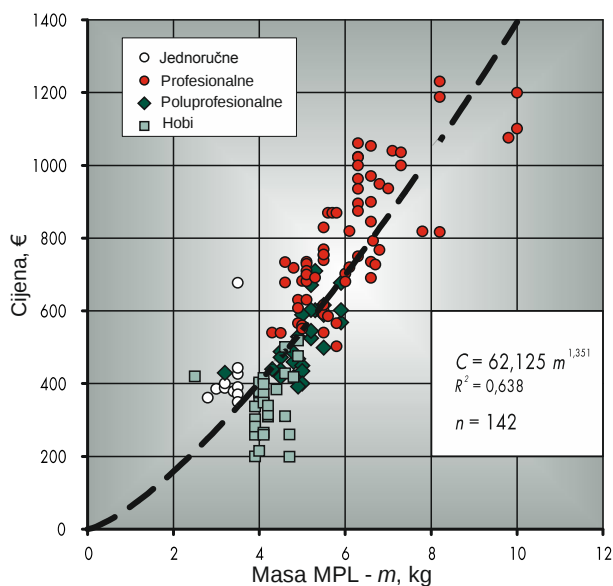
Slika 4.1 Ovisnost snage motora o masi MP

Još bolju potvrdu ovoga daje dijagram na slici 4.2 raspodjele mase MP prema ove 4 kategorije:



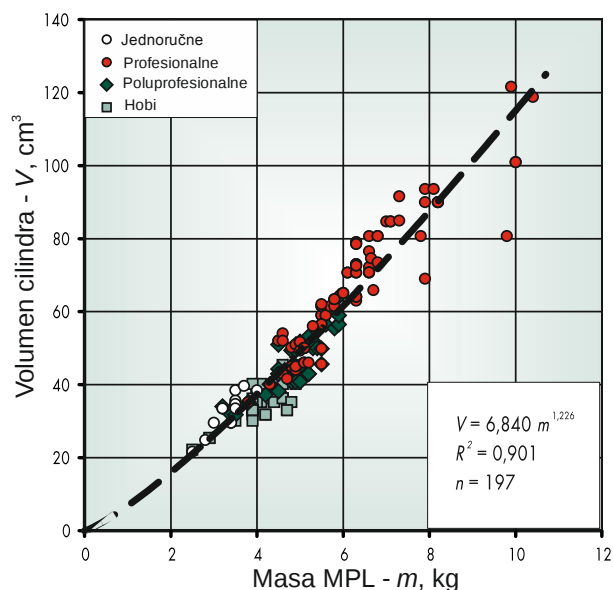
Slika 4.2 Raspored masa 4 kategorije MP

Ovakva kategorizacija ima najveći utjecaj na cijenu MP što je razvidno iz slike 4.3.



Slika 4.3 Ovisnost cijene MP o njenoj masi i kategoriji

Ovisnost zapremine motora o masi MP prikazane na slici 4.4 ima **jako čvrstu vezu** kao i ovisnost snage motora i mase što znači i da su ove dvije značajke snaga i zapremina cilindra motora također čvrsto povezane. Prema ovome svejedno je koji od tehničkih parametara izabrati kao ulazni jer su ostala dva definirana uniformnom značajkom cijele familije.

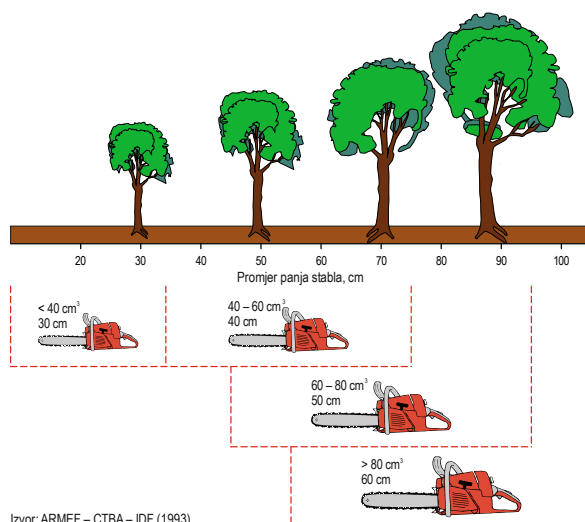


Slika 4.4 Ovisnost volumena motora MP o masi

Primjerice, ako bi se značajke MP birale prema manualu ARMEF-CTBA-IDF koji preporuča izbor MP ovisnosti o promjeru stabla i to zapreminu njenoga motora – slika 4.5.

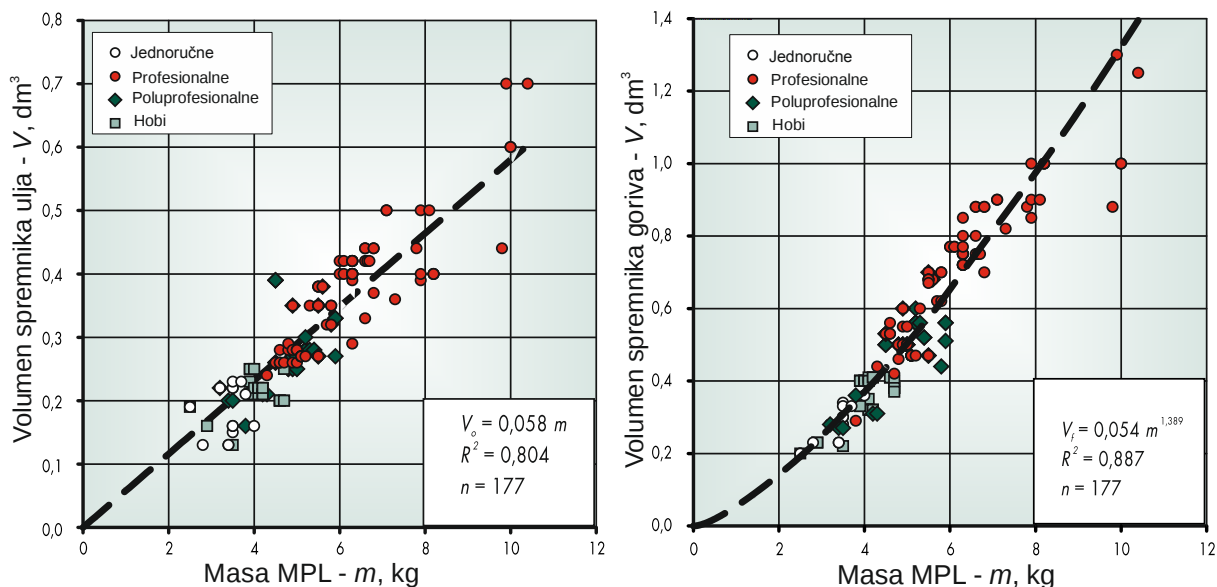
Nakon izbora volumena motora, definiranja željene kategorije, masa MP se može odrediti iz slike 4.1, a približna cijena iz slike 4.3.

U manualu ARMEF-CTBA-IDF se nalazi i prijedlog duljine vodilice pa je zbog toga i ovaj tehnički pokazatelj uvršten u bazu podataka.



Slika 4.5 Izbor MP (zapremina cilindra) prema promjeru stabla

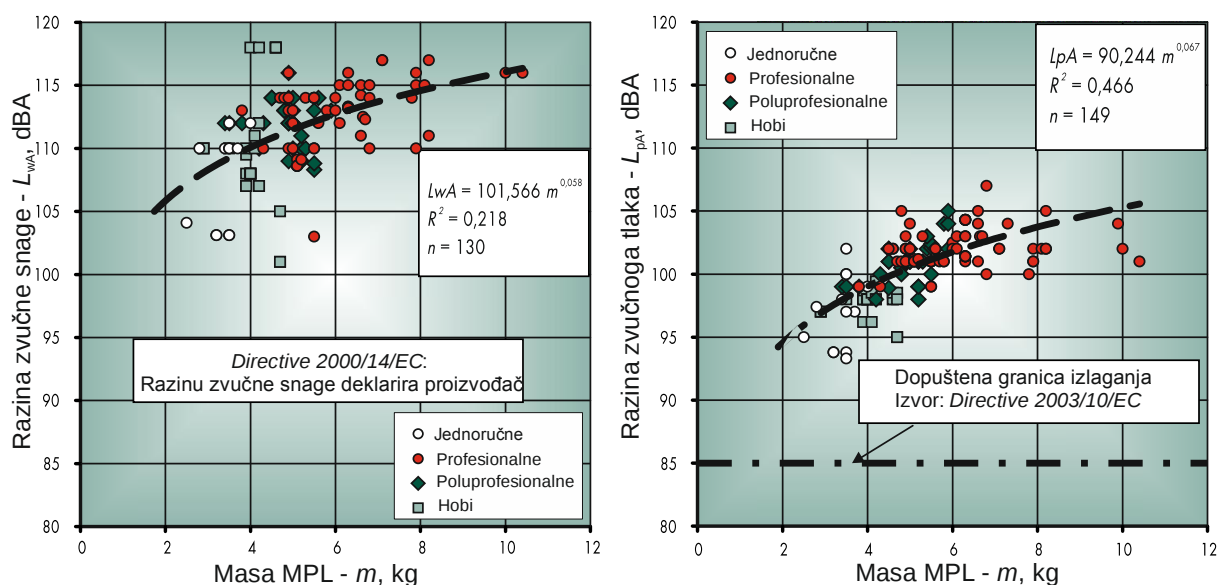
Morfološka raščlamba na slici 4.6 pokazuje da su zapremine rezervoara za gorivo i ulja za podmazivanje lanca MP također u čvrstoj vezi (jednoobrazna značajka familije) što znači da su nakon izbora volumena motora/snage motora/mase MP veličine rezervoara definirane.



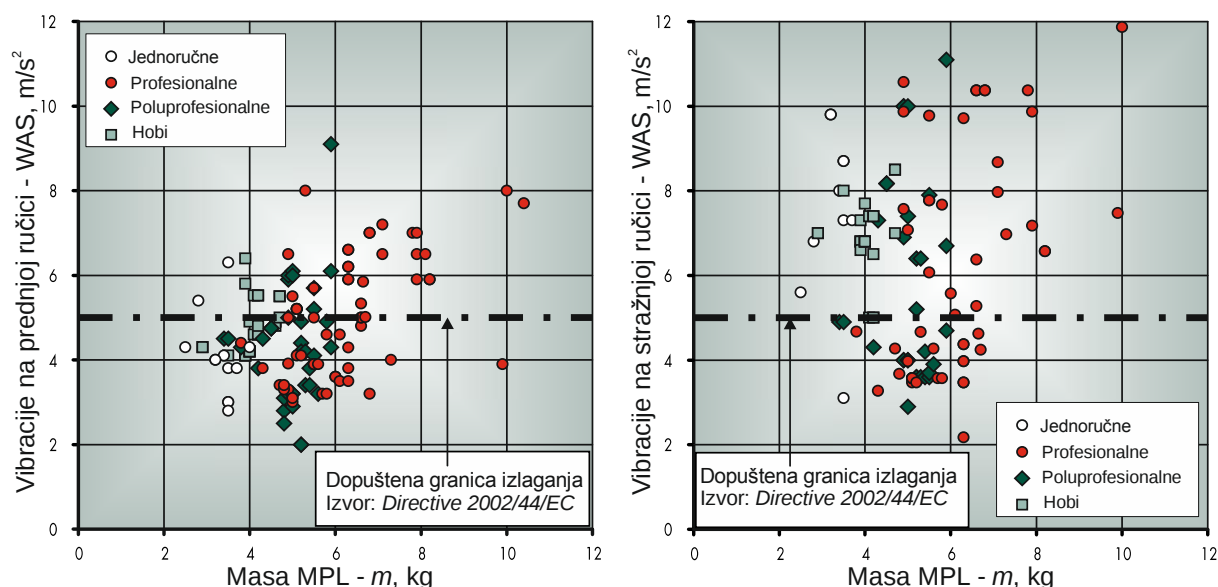
Slika 4.6 Ovisnosti volumena oba spremnika MP o njenoj masi

Najveći problem primjene MP su njihove nepovoljne ergonomske značajke – prevelike vrijednosti vibracija na ručicama i buke. Dok se utjecaj buke na sjekača može smanjiti nošenjem osobnih zaštitnih sredstava, utjecaj vibracija je moguće ublažiti samo ograničavanjem trajanja rada s MP.

Da su ove ergonomske značajke zaista nepovoljne prikazuju dijagrami na slici 4.7 (ovisnost buke o masi MP) i slici 4.8 (ovisnost vibracija na ručicama MP o njenoj masi).



Slika 4.7 Ovisnost razine buke o masi MP



Slika 4.8 Ovisnost vibracija na ručicama MP o masi

Slika 7 pokazuje da je razina zvučnog tlaka znatno iznad dopuštene granice izlaganja prema Direktivi Europske komisije 2003/10/EC. Tako je primjerice za MP mase 6 kg srednja (izjednačena) razina zvučnog tlaka 102 dBA što je za 17 dBA više od dopuštene granice. To znači da je razina zvučnog tlaka oko **50 puta** veća od dopuštene. To izgleda alarmantno i ukazuje da se osobno zaštitno sredstvo mora izabrati s posebnom pažnjom korištenjem dijagrama frekventne analize buke za pojedini model posebno.

Veličina vibracija na prednjoj i stražnjoj ručici (slika 4.8) s ucrtanom dopuštenom granicom od 5 ms⁻² prema Direktivi EK 2002/44/EC pokazuju da se za istu masu mogu naći motorne pile iznad i ispod dopuštene granice. Tako, primjerice, za MP mase oko 6 kg postoje MP koje zadovoljavaju kriterij EK. Zanimljivo je i to da poluprofesionalnih i profesionalnih MP ima čije su vibracijske značajke zadovoljavajuće dok ih takvih MP za vrt i hobi gotovo nema.

Na temelju ovih razmatranja napravljena je baza podataka MP koja sadržava navedene značajke i koja ima više od 200 modela. Izgled ove baze u MS Excel softveru pokazuje slika 4.9.

Baza MP - Excel														
Databaza Polazno Umetanje Izgled stranice Formule Podaci Pregled Prikaz Recite što želite učiniti...														
Dubravko Horvat Zajedničko korišćenje														
Lijepjenje Izrezi Kopiraj - Prenosnostelj oblikovanja Meduspremnik														
Calibri 11 A A Font U - P - Font Porevnanje Broj														
Prelamanje teksta Općenito Ujeto oblikovanje Oblikuj kao tablicu Stilovi ćelija Umetni Izbrisi Oblikuj Automatski zbroj Ispuni Očisti Sortiraj i Pronadi i filtriraj - odaberi -														
R19C16														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Proizvođač	Tip	Primjena	Zapremina cilindra	Snaga motora	Spremnik Goriva	Ulja	Masa	Duljina vodilice	Krača	Dulja	Ekv. razina vibracija	Buka	Cijena
3				cm ³	kW	L	L	kg	cm	cm		Pred. ruč.	Str. ruč.	
4	Stihl	MS 462 C-M	Profesionalna	72,2	4,4	0,72	0,34	6	40	75	4,8	3,6	108	119
5														1429

Slika 4.9. Izgled baze podataka MP

Za potrebe ovoga Izvješća a na temelju činjenice da proizvođači MP često mijenjaju svoje modele u bazu (Katalog) dodani su podaci 95 novih modela. Izgled jedne stranice kataloga za motornu pilu Stihl MS 462 C-M pokazuje slika 4.10.

Stihl MS 462 C-M

STIHL
Vertriebszentrale AG & Co. KG
Robert-Bosch-Str. 13
64807 Dieburg
Germany

Tel.: 06071 30 55 358
Fax: 06071 30 55 438
E-Mail: kundenservice@stihl.de
Internet: www.stihl.de
Internet: www.viking-garten.de



Značajke motora		
Zapremina cilindra	72,2	cm ³
Izlazna snaga	4,4	kW
Spremnik goriva i ulja		
Zapremina rezervoara goriva	0,72	L
Zapremina rezervoara ulja	0,34	L
Vibracije i buka		
Ekvivalentna razina vibracija (AHV, eq) prednja / stražnja ručka	4,8/3,6	m/s ²
Razina zvučnog tlaka, LpA	108	dB(A)
Razina zvučne snage, LwA	119	dB(A)
Ostale značajke		
Masa (bez rezne opreme)	6,0	kg
Duljina vodilice (kraća/dulja)	40 / 75	cm
Cijena	1429	€
Namjena	Profesionalna	

Slika 4.10 Izgled jedne stranice Kataloga motornih pila lančanica

Na temelju podataka o ovoj MP može se reći da duljinom vodilice od 75 cm može zadovoljiti obaranje i stabala najvećega promjera te da su vibracije na ručicama ispod dopuštenih granica. U slučaju da je njena masa prevelika (6 kg) može se tražiti model manje mase primjerice Stihl MS 362 C-M koji je mase 5,6 kg ali ima kraću vodilicu (50 cm). Značajno je i to da su ergonomske značajke manjega modela bitno bolje.

4.3 Harvesterske glave

Prvu bazu podataka harvesterskih glava na Šumarskome fakultetu napravio je u svome diplomskom radu Bručić (1997), dakle u doba kada još niti jedan harvester nije u Hrvatskoj radio. Jedan od ciljeva ovoga projekta je bio istraživanje mogućnosti primjene strojne sječe i izrade odnosno harvestera. Zbog postojanja navedene baze podataka harvesterskih glava upravo su one izabrane za prvu analizu njihovih tehničkih značajki.

Kako je navedeno u prethodnim polugodišnjim izvješćima baza tehničkih značajki harvesterskih glava prikazana je na slici 4.11 i trenutno obuhvaća više od 50 raznih modela.

ID	Naziv	Promjer kresanja (mm)	Promjer sječe (mm)	Snaga (kW)	Tlak (bar)	HidraKapacitet	Brzina	Sila	Masa	Cijena
1	SP 861 LF	550	800				6	46	2055	
2	AFM 60	500	700	80	320	250	6	25	1400	
3	AFM 85 Magnum	700	900	110	320	450	5	40	2900	
4	CTL 40 HW									
5	LAUBHOLZAGGREGAT	400	430	75	280	160	4,5	24	740	53.700,00 €
6	CTL 453	450	530	75	200	160	4,5	20	710	50.700,00 €
7	JOHN DEERE 754	400	550		280	200	4,5	28	820	
8	JOHN DEERE H 270	480	650		240	225	4,5	34	1310	
9	JOHN DEERE H 290	510	750		280	350	4,5	42	1870	
10	JOHN DEERE H 412	330	470		280	280	5,3	17	733	
11	JOHN DEERE H 414	430	620		280	340	5,3	27	1000	
12	JOHN DEERE H 480	480	650		280	240	4,5	30	1200	59.500,00 €
13	JOHN DEERE H 480C	460	710		280	340	4,2	30	1240	
14	KESLA 20 SH	330	450	44	175	120	1		520	31.000,00 €
15	KESLA 25 RH	550	670	90	210	200	3,8	23	750	50.400,00 €
16	KETO 105 Supreme	400	450	70	210	190	4	18	690	
17	KETO 155 Supreme	450	550	85	210	240	3,8	24	850	
18	KETO 455 Supreme	600	700	150	210	300	3,8	30	1080	
19	KETO 55 Supreme	320	370	60	210	160	3,8	15	510	
20	Komatsu 340	350	530		250	220	5	18		
21	Komatsu 350.1	400	600		250	300	5	25	960	
22	Komatsu 360.2	500	650		250	310	5	26	1245	
23	Komatsu 365	470	650		280	300	5	28	1200	
24	Komatsu 370.2	500	700		280	300	5	28	1470	

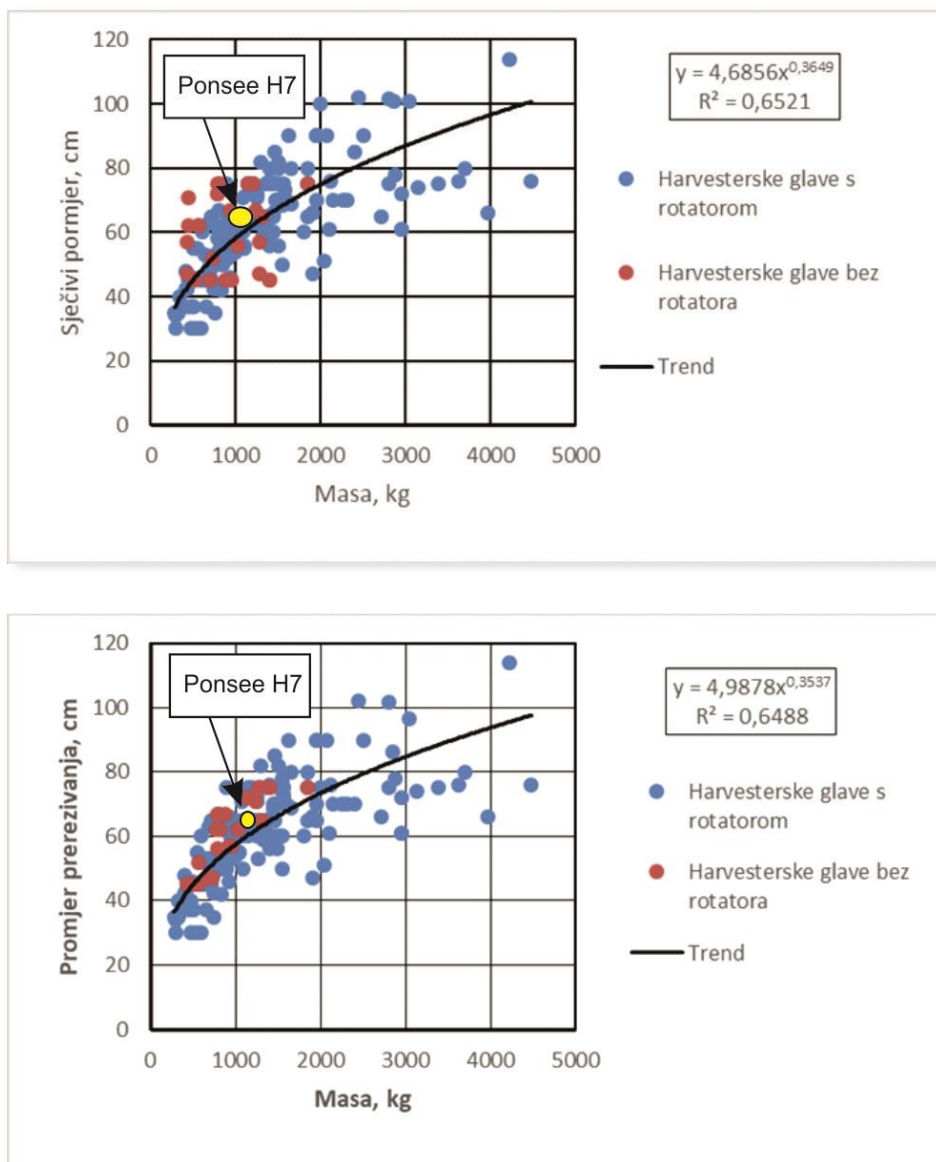
Slika 4.11 Dio baze podataka harvesterskih glava

Nakon prethodnog istraživanja rada harvestera na području šumarije Gerovo (pokus je detaljnije opisan u Izvješćima za prvo i drugo polugodište istraživanja) zaključeno je da su najvažniji tehničko/proizvodni parametri harvesterskih glava 3 promjera:

- 1 sječni promjer,
- 2 promjer prerezivanja,
- 3 promjer kresanja.

Zbog toga su u morfološkoj raščlambi promatrane upravo ovisnosti ova tri promjera o masi harvesterske glave.

Ovisnost sječnih (sječivih) promjera i promjera prerezivanja o masi harvesterske glave pokazuje slika 4.12. Očekivano, glave veće mase mogu obrađivati stabla većih promjera ali je važno zapaziti da je trend porasta promjera konkavna krivulja. Iskazanom harvesterskom glavom Ponsee H7 bio je opremljen harvester u istraživanju obavljenom u Gerovu.

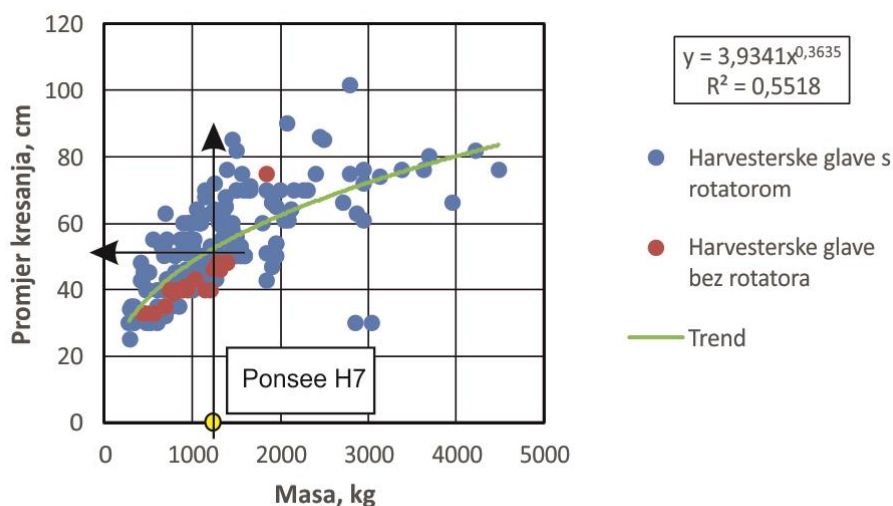


Slika 4.12 Ovisnost sječnih i promjera prerezivanja o masi harvesterske glave

Zapaža se kako su ova dva promjera vrlo slična (pokazuje to i gotovo identična krivulja izjednačenja) te je za ocjenu mogućnosti glava (promjeri stabala) dovoljno promatrati jedan od ova dva promjera.

Nadalje, zapaža se da se analiza može jednako dobro raditi za iskazanu masu harvesterske glave s ili bez rotatora. Očekivano harvesterske glave bez rotatora mogu prerezati stablo većega promjera u odnosu na harvesterske glave s rotatorom.

Ovisnost promjera kresanja grana o masi harvesterskih glava pokazuje slika 4.13 Prva su dva promjera potpuno jasna a treći promjer (prerezivanja) pokazuje do kojega promjera stabla se mogu sjeći grane što je vrlo nepouzdan podatak s obzirom da ne uzima u obzir vrstu drveća već samo geometriju noževa za kresanje. Vjerojatno je ipak riječ o crnogoričnom drveću.



Slika 4.13 Ovisnost promjera kresanja o masi harvesterske glave

Očekivano, teže harvesterske glave mogu procesuirati deblja stabla. Za glavu Ponsee H7 očekivani promjer kresanja je oko 50 cm. Zanimljivo je da u slučaju promatranja harvesterskih glava sa/bez rotatora postoju obrnuto ponašanje nego u slučaju promjera prerezivanja tj. Harvesterska glava bez rotatora može kresati grane na manjem promjeru.

Za razliku od slike 4.8, u slici 4.9 zapaža se da su harvesterske glave s masom iskazanom s rotatorom, grupirane u donjem dijelu distribucije podataka što znači da u analizama ipak treba razlikovati masu harvesterske glave s i bez rotatora. U nastavku istraživanja razdvojit će se analiza za ove dvije podgrupe.

U Katalogu su uključeni podaci 61 modela harvesterskih glava 15 proizvođača, a izgled jedne stranice pokazuje slika 4.14.

PONSSE H7



PONSSE OYJ
Ponsentie 22
FIN-74200 Vieremä
Finska
Internet: www.ponsse.com

TEHNIČKI DETALJI	
Tip	Harvester head equipped with delimbing tools, feed rollers, hydr. chain saw and electr. linear and diameter measurement
Promjer kresanja	600 mm
Sječni promjer	640 mm
Snaga	130 kW
Hidraulični sistem	Open single-circuit hydr. system
Radni tlak	280 bar
Protok	
Spremnik ulja	300 Litara
Sječni sistem	1 fixed and 4 hydr. moving delimbing knives
Uređaj za posmak	3 spiked rollers
Posmična brzina	5,0 m/s
Sila posmaka	30 kN
Mjerni uređaj	PONSSE Opti4G
Masa s rotatorom	1200 kg
Cijena	70000 €

Slika 14. Jedna stranica Kataloga šumskih strojeva

4.4 Harvesteri

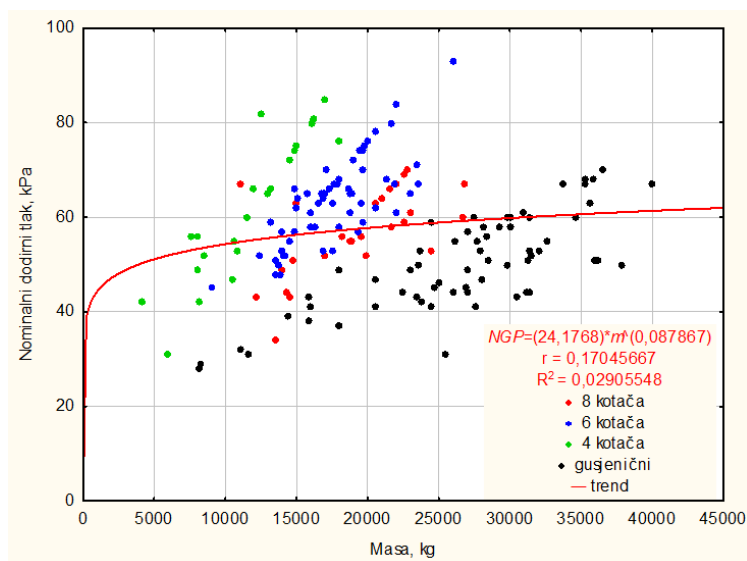
Posljednja morfološka raščlamba harvestera na napravio je za potrebe svoga diplomskog rada Granić (2013). Njegova je baza nadopunjena i prikazana je na slici 4.15.

Slika 4.15 Nadopunjena baza podataka harvestera

Harvesteri su prema vrsti pogona i broju kotača podijeljeni u 4 skupine:

1. 4-ero kotačni,
2. 6-ero kotačni,
3. 8-ero kotačni i
4. Gusjenični.

U prvoj morfološkoj analizi harvestera napravljenoj u Izvješću za prvo polugodište (slika 4.16) zapaženo je da se ovisnost važne značajke okolišne pogodnosti – nominalnoga tlaka na tlo (NGP) treba odvojeno promatrati za ove četiri kategorije kako pokazuje slika 4.17.

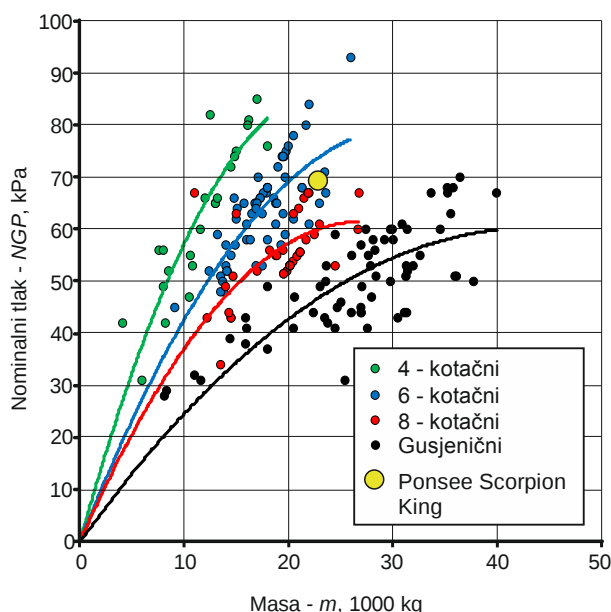


Slika 4.16 Ovisnost NGP-a o masi harvestera s jednom linijom izjednačenja

U slučaju ovakve analize ne samo da je veliko rasipanje podataka već je u rasponu promatranih masa linija izjednačenja gotovo vodoravna. To bi značilo da ovisnost NGP-a o masi harvestera ne

postoji tj. Da harvesteri bez obzira na masu imaju isti NGP (pa čak i unutar jedne kategorije) što je prilično nevjerovatno.

Zbog toga je za ovu ovisnost napravljena nova analiza tako da se kategorije razdvoje. Dobiveni rezultat prikazan na slici 4.17 je blizak očekivanjima.

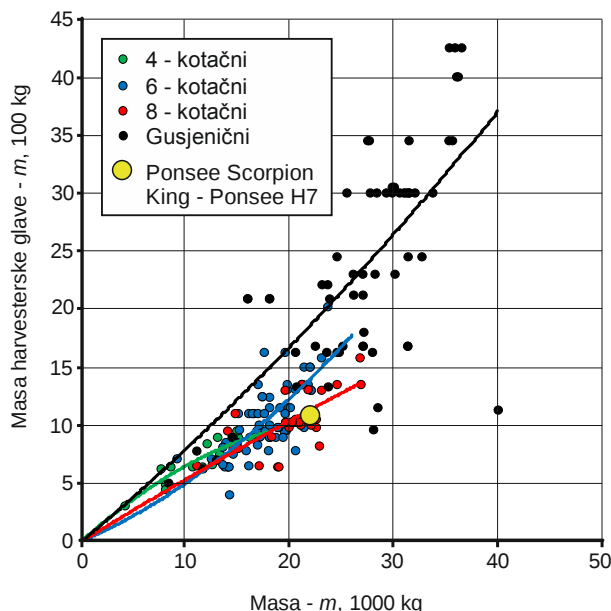


Slika 4.17 Ovisnost NGP-a o masi harvestera odvojeno po kategorijama

U dijagramu na slici 4.17 gdje su uneseni su podaci za ispitivani harvester Ponee Scorpion King, zapažaju se da su linije izjednačenja sada »logične« i to iz razloga što:

1. Harvesteri većih masa u pojedinoj kategoriji imaju veći NGP,
2. Četvero kotačni harvesteri imaju najveći a gusjenični najmanji NGP.

Jedna od važnih operativnih značajki harvestera je masa harvesterske glave koju mogu na svojoj dizalici nositi. Ta je značajka u odnosu na masu harvestera prikazana na slici 4.18.

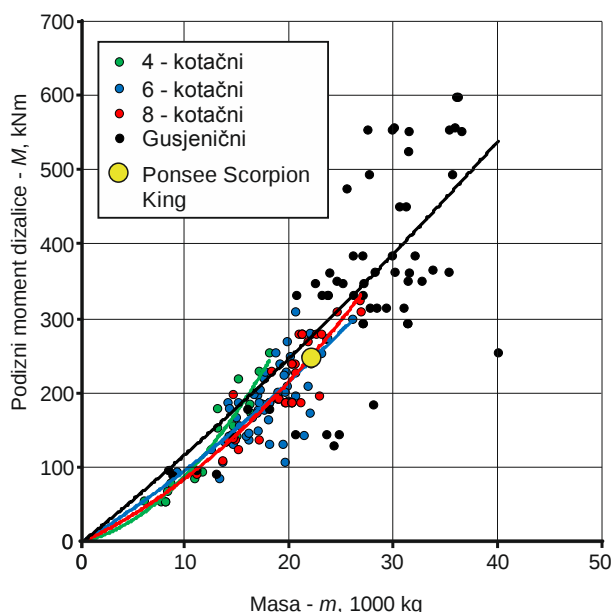


Slika 4.18 Ovisnost mase harvesterske glave o masi harvestera

Ova analiza pokazuje da je u ovom slučaju opravdano posebno promatrati samo skupinu gusjeničnih harvestera a da se kotačni mogu promatrati zajedno. Ipak, ova je analiza pokazala jednu zanimljivost a to je da 8-ero kotačni harvesteri mogu biti opremljeni lakšim glavama nego ostali kotačni? U dijagram su uneseni i podaci za harvester Ponee Scorpion King opremljenog s harvesterskom

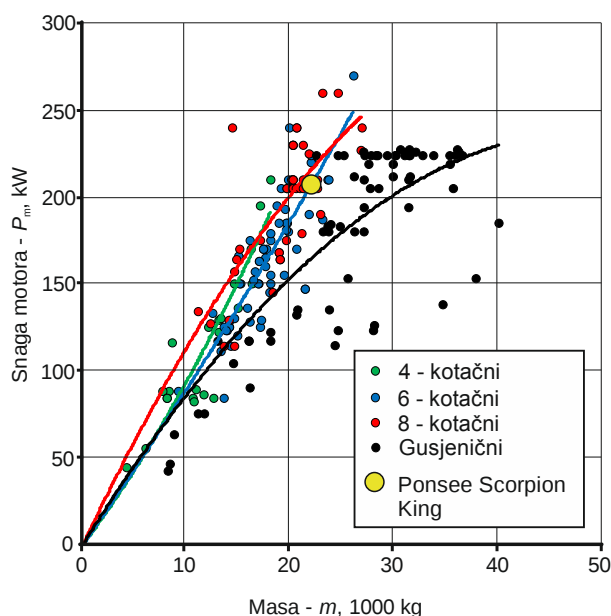
glavom Ponsee H7. Ovaj se 8-ero kotačni harvester s pripadajućom harvesterskom glavom potpuno uklapa u liniju izjednačenja.

Tražeci razlog ovoj anomaliji napravljena je analiza ovisnosti podiznog momenta dizalice o masi harvestera prikazana na slici 4.19.



Slika 4.19 Ovisnost podiznog momenta dizalice o masi harvestera

Iz prikazanoga dijagrama na slici 4.19 zapaža se da se za ovaj odnos parametara mogu sve 4 skupine promatrati zajedno. Isto tako može se reći da nosivost dizalice nije uzrok smanjenju mase harvesterskih glava kod 8-ero kotačnih. Da bi se izbjegla ova anomalija potrebno je ili više podataka ili promatrati kotačne harvestere kao jednu skupinu. Očekivano harvesteri veće mase imaju dizalice većeg podiznog momenta.

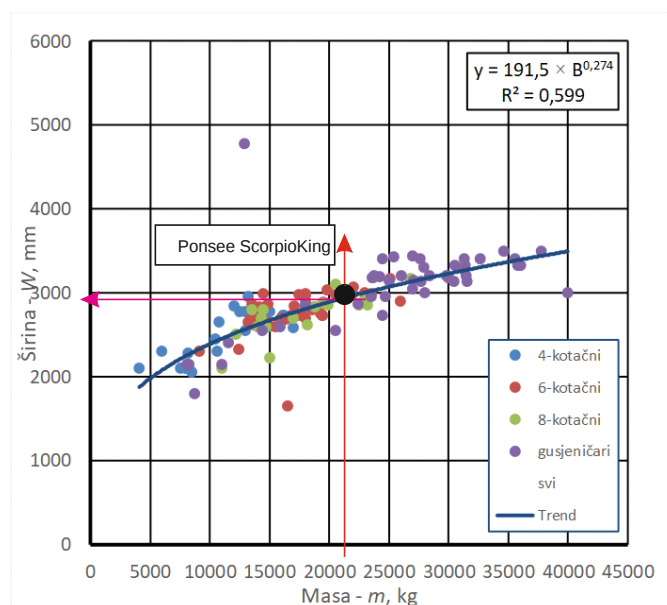


Slika 4.20 Ovisnost snage motora harvestera o njegovoj masi

Usporedba mase harvestera i snage njihovih motora prikazana na slici 4.20 ponovo pokazuje da se kotačni harvesteri mogu promatrati zajedno a gusjenični odvojeno. Zanimljivo, ali i očekivano, gusjenični harvesteri imaju, relativno, u odnosu na vlastitu masu najmanju snagu motora.

Širina harvestera važan je pokazatelj okolišne pogodnosti ali i mogućnosti transporta po javnim cestama. Širinom od oko 3 m (srednja širina) harvester Ponsee Scorpion King premašuje dopuštenu

širinu za kamione što znači da će se morati transportirati pod pratnjom. Visinom od malo ispod 4 m (3720 mm) zahtjeva prijevoz posebnim niskopodnim prikolicama. Ovo, naravno, vrijedi i za ostale harvestere osim za nekolicinu četverokotačnih. Ovu ovisnost pokazuje slika 4.21.



Slika 4.21. Ovisnost širine harvestera o masi

U Katalog je uvršteno 60 modela 16 proizvođača kako pokazuje slika 4.22.

PONSSE Scorpion

PONSSE OV1
Ponsentie 22
FIN-74200 Vieremä
Finska
Internet: <http://www.ponsse.com>

TEHNIČKI DETALJI

Tip	Articulated Joint 8 wheel Harvester		
Motor	MERCEDES-BENZ OM936 LA, watercooled 6-cylinder-Turbodiesel		
Snaga	210 kW		
Transmisija	Hydrst.-mech. 2-speed drive, Elec. powered hydrostat and shiftable differential lock		
Hidraulični sistem	Multi-Loop hydr. system for drive and tools		
Hidraulični spremnik	290 Litara		
Spremnik za gorivo	320 Litara		
Spojka	-		
Mjenjač	-		
Upravljanje	Hydrst. articulated frame steering		
Kočnice	Service brake: hydr. multi-disc brake, Fixing brake spring-loaded brake		
Gume (gusjenice)	Front and rear: 600/55 - 26,5;		
Dizalica	Tip	PONSSE CS0	
	Doseg	11 m	
	Moment	252 kNm	
Harvesterska glava	PONSSE H5/H6/H7		
Max. sječni promjer	640 mm		
Max. promjer kresanja	600 mm		
Noževi za kresanje	1 fixed and 4 moving delimbing knives		
Uređaj za posmak	3 hydrost. Feed rolls		
Posmična brzina	5,0 m/s		
Mjerni uređaj	PONSSE OptiControl		
Gusjenice	-		
Masa harvesterske glave	1300 kg		
Duljina	Širina	Visina	
8200 mm	2640 mm	3720 mm	
Radius okretanja			
Clearance	655 mm		
Net masa	20800 kg		
Cijena	€		

Slika 4.22 Izgled jedne stranice Kataloga harvestera

4.5 Skideri

Prva bazu podataka skidera (Sever, 1981) pretvorena je u računalnu (Sever i Horvat 1992a, Sever i Horvat 1992b) te je kasnije nadopunjavana i korištena za različite svrhe; korištena je u analizi dobrote rada skidera kao što su napravili Horvat i dr. (2007), a najvažnija je bila primjena u dva tehnologijska projekta MZOŠ RH – »Razvoj, izrada i ispitivanje prototipa skidera mase 7 t« iz programa TEST, te »Razvoj, izrada i ispitivanje specijalnog šumskog vozila – skidera mase 7 t« iz programa RAZUM. Rezultat ova dva projekta je bila izrada prototipa domaćeg skidera Ecotrac 120V koji je danas u redovitoj proizvodnji te je najbrojniji skider u Hrvatskoj. Veliku obnovu ove baze napravio je Šušnjar (2005). Od toga doba baza je stalno nadopunjavana, uglavnom u sklopu

diplomskih radova studenata Šumarskoga fakulteta, a posljednju nadopunu je napravio Batinić (2013). Izgled trenutne baze podataka skidera pokazuje slika 4.23.

ID	Naziv	Snaga	Brzina vrtnje	Spremnik	Duljina	Širina	Visina	Radius Okretanja	Odignutost od tla	Masa	Cijena
		kW	o/min	L	mm	mm	mm	m	mm	kg	€
1	WELTE W130 K	114	2300	160	7130	2500	3440	3,4	580		
2	CAMOX F 140	114	2200	150	5680	2420	2800		600	9500	170.285,00 €
3	CAMOX F 175	140	1500	180	5850	2500	2900		610	12000	186.090,00 €
4	ECOTRAC 120 V	84		70	7130	2220	2950	10,2	570	7200	90.880,00 €
5	ECOTRAC 55 V	40		45	4550	1600	2490	7,6	400	3600	49.850,00 €
6	ECOTRAC 40	30		20	2920	1200	1980			1251	
7	HSM 805 F Kurzchassis	129		125	7750	2550	3540		575	13800	268.500,00 €
8	HSM 805 HD	129	2200	125	6400	2360	3158		625	9800	219.400,00 €
9	HSM 805H	104		160	5650	2360	3115		581	9200	205.300,00 €
10	HSM 805S	104	2200	160						9300	
11	HSM 904	175		160	6870	2360	3170		595	10300	245.200,00 €
12	HSM 904 6 WD	175		145	8300	2600	3170		595	16300	267.900,00 €
13	HSM 904 Z	175		145	6260	2360	3170		595	12300	273.900,00 €
14	HSM 904 ZL	175		145	6460	2360	3300		636	13600	296.200,00 €
15	JOHN DEERE 640 H	128	2200	155	7230	3000	3023	5,7	514	13745	160.000,00 €
16	KOTSCHENREUTHER 145 mit Rückekran	114			7080	2450	2920	8,9	580	10580	
17	KOTSCHENREUTHER 160 mit Rückekran	121			7280	2450	3040	8,9	600	10780	
18	KOTSCHENREUTHER 175 mit Rückekran	132			7290	2500	3050	8,9	600	10940	
19	PFANZELT FELIX 140-2	103	2300	170	5800	550	3300		550	10500	
20	PFANZELT FELIX 211 6WD	129		170	7920	2780	3790		505	15100	320.000,00 €
21	PFANZELT PM TRAC 2380	133		145		2540	3960		500	12240	260.000,00 €
22	PFANZELT PM-TRAC 2360	118	2400	170	5750	2550	3130	11,2	490	11500	218.000,00 €
23	PFANZELT PM-TRAC 2395	144	2400	170	5750	2550	3130	11,2	490	11900	229.000,00 €
24	WELTE 130 M	113	2300	160	8000	2500	3440	4,1	565		
25	WELTE 130 T	113	2300	160	8366	2500	3440	4,4	580		
26	WELTE 140 K,M,T	129	2300	215	7925	2500	3650		640		
27	WELTE W110 W130	113	2300	160	5941	2500	2965	2,4	580		
28	WELTE W180W 230 Lastschaltgetriebe	173		180	6455	2500	3175	2,9	620		
29	WELTE W180 W230 Welmatik	173	2300	180	6455	2500	3175	2,9	630		
30	WELTE W210 Welmatik	173	2300	180	8810	2500	3630	4,5	580		

Slika 4.23. Dio baze podataka skidera

Morfološka je raščlamba skidera napravljena puno puta i ovdje će se dati samo najvažniji naglasci.

Sever (1981) je skidere temeljem tadašnje razine znanja podijelio u dvije skupine:

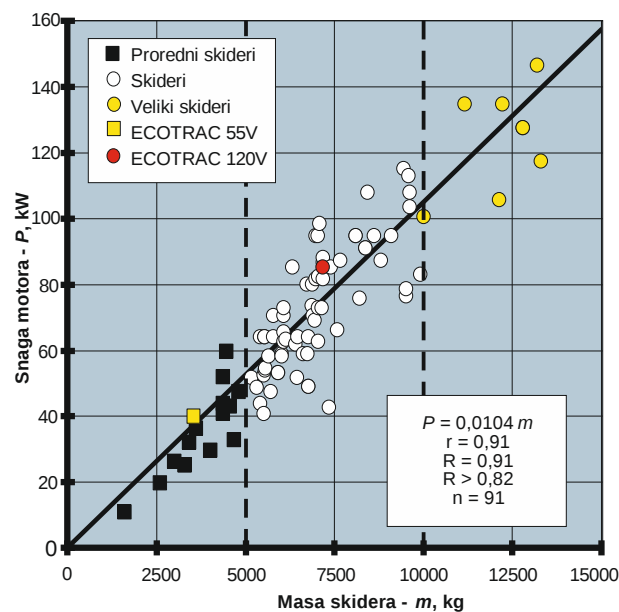
1. Srednji skideri mase do 5 t
2. Skideri mase veće od 5 t

Današnji pokazatelji primjene skidera, a što je i **prijedlog ovoga projekta**, upućuju da se skideri mogu podijeliti u tri skupine:

1. Proredni (mali) skideri mase ispod 5 t
2. Skideri (najčešći, univerzalni) mase između 5 t i 10 t
3. Veliki skider mase iznad 10 t namjenjeni najtežim sastojinskim i reljefnim uvjetima i stabilnoj metodi

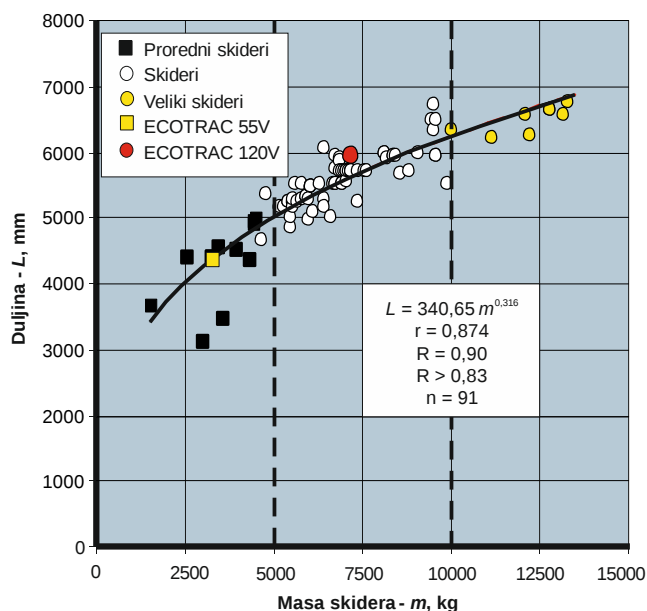
Ovakva je podjela prikazana u morfološkoj raščlambi koja slijedi. U dijagrame su uneseni podaci za dva domaća skidera: Ecotrac 55v (proredni) i Ecotrac 120V (skider). To podupire i trenutni broj skidera u poduzeću »Hrvatske šume« kako su prikazali Beuk i dr. (2007).

Dijagramom na slici 4.24 pokazana je ovisnost snage motora o masi skidera na kojoj se zapaža jako čvrsta veza promatranih parametara. Položaj prorednoga skidera Ecotrac 55V je točno na liniji izjednačenja što podupire ugradnju motora povećane snage u odnosu na njegove prve inačice. Upitno je samo dimenzioniranje mjenjača. Skider Ecotrac 120V opremljen je motorom snage nešto iznad linije izjednačenja, što nije jedini slučaj među tom familijom, ali je bio izričiti zahtjev šumarske struke tijekom njegovoga konstruiranja.



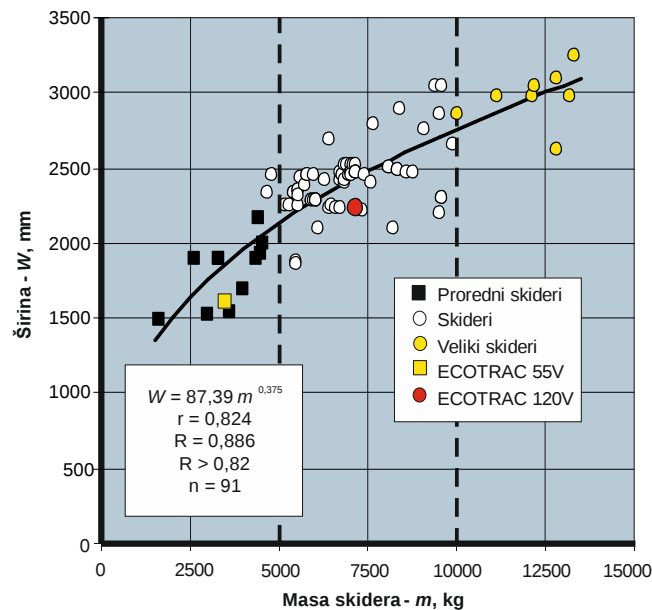
Slika 4.24 Ovisnost snage motora o masi skidera

Dimenzijske značajke skidera prikazane su u nizu od 3 dijagrama na slikama 4.25, 4.26 i 4.27.



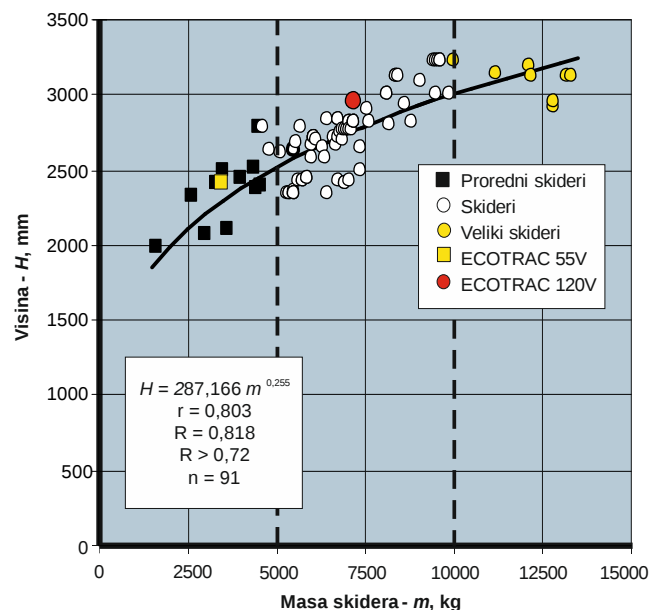
Slika 4.25. Ovisnost duljine o masi skidera

Osim izrazito čvrste veze (slika 4.25) zapaža se povoljni konkavni oblik krivulje izjednačenja te da je domaći proredni skider na krivulji. Domaći skider je nešto iznad krivulje izjednačenja, opet ne kao izuzetak.



Slika 4.26 Ovisnost širine i mase skidera

Ovisnost širine o masi skidera je također s čvrstom, konkavnom vezom. Obadva domaća skidera su ispod linije izjednačenja što se može smatrati povoljnom značajkom osim ako nije ugrožena bočna stabilnost. Posebno mala širina od 1600mm Ecotraca 55V bila je zahtijevana od šumarske prakse tijekom njegovoga projektiranja.



Slika 4.27 Ovisnost visine skidera o njegovoj masi

Čvrsta veza između visine i mase skidera je opet čvrsta i povoljno konkavna. Oba su domaća skidera iznad linije izjednačenja što se može tumačiti činjenicom da su opremljeni kabinama koje zadovoljavaju FOPS i ROPS standarde kao i sve konstrukcijske, sigurnosne i ergonomske zahtjeve ISO standarda za kabine šumskih vozila.

U Katalogu šumskih strojeva prikazane su značajke 27 novijih modela 6 proizvođača a jednu stranicu prikazuje slika 4.28.

U podacima su uvršteni i neki tehnički detalji koji se ne mogu kvantificirati ali mogu pomoći kod izbora kao što je opis mjenjača. U posebnu su kolonu izdvojeni podaci o vitlu koji su također značajni za izbor, primjerice, opremanje jednobubanjskim ili dvobubanjskim vitlom. Skideri u principu dolaze opremljeni vitlom ali se u slučaju da značajke vitla nisu odgovarajuće može nabaviti skider bez vitla te naknadno ugraditi vitlo kao što je bio čest slučaj u Hrvatskoj nakon nabave skidera Timberjack

240C. Ovakva se dodatna ugradnja ne preporučuje pogotovo što se tada moraju dodatno regulirati uvjeti garancije.

ECOTRAC 120 V

HITTNER d.o.o.
Pakracka ulica 10
HR-43000 Bjelovar
Hrvatska
Tel.:00385(0)43/244111
E-mail: info@hittner.hr
Internet: www.hittner.hr

TEHNIČKI DETALJI

Tip	Articulated steered forestry tractor, 4 same size wheels. All wheel drive and double-drum winch			Vitlo	Electro-hydraulic double winch Typ VH 80			
Motor	Aircooled DEUTZ Typ F6L-914 Diesel engine			Ulazna sila	80 Kn			
Snaga	84 KW			Izlazna sila	50 kN			
Broj okretaja				Unutarnji R bubnja	200 mm			
Spojka	Multi disc clutch			Vanjski R bubnja	490 mm			
Mjenjač	Synchronised shift gearbox with 10 forward gears and 2 reverse gears			Duljina užeta	70 m			
Osovin	Axle with differential lock			Promjer užeta	14 mm			
Upravljanje	Hydraulic articulated frame steering			Pomoćno uže	-			
Kočnice	Hydraulic disc brake oil-cooled Parking brake			Prosječna brzina užeta	0,63 m/s			
Spremnik	70 Litara			Pogon	Hydrostatic			
Prednja odzivna daska	Hydraulic tilt able via 2 hydraulic cylinders			Reduktor vitla	Worm wheel gear box			
Stražnja odzivna daska	hydraulic lift and low able			Spojka vitla	Hydr. disc clutch			
Gume	16.9 - 30 R, 14 pr			Kočnica vitla	Hydr. multi disc-brake			
Sigurnosni sistem	Steel protection cabin			Upravljač vitla	Electro-hydraulic with joystic			
Duljina	širina	visina						
	7130 mm	2220 mm						
Visina težišta								
Radius okretanja	10,2 m							
Clearance	570 mm							
Masa	Pred.Osovin							
	Straž.Osovin							
	Net masa							
		7200 kg						
Ostalo								
Cijena	90880 €							

Slika 4.28 Jedna stranica Kataloga skidera

4.6 Forvarderi

Tehničko-tehnološko istraživanje rada forvardera na Šumarskome fakultetu u Zagrebu ima dugogodišnju tradiciju s obzirom da je njihova primjena u hrvatskome šumarstvu započela krajem 70-tih godina prošloga stoljeća. Najopsežnija su istraživanja obuhvaćena doktoratima (Horva, 1994, Poršinsky 2005, Stankić 2010, Pandur 2013) većinom članova tima u ovome projektu. Sustav harvester-forvarder prvi istražuje Vusić (2013).

Prva digitalizirana baza podataka forvardera (Sever i Horvat 1992, Horvat 1993) se tijekom godina stalno obnavljala a posljednja nadopuna prije rada na ovome projektu je bila 2013 godine (Pandur 2013, Golubović 2013). Posljednja nadopuna u svrhu istraživanja na ovome projektu napravljena je 2016. godine kao diplomski rad (Barešić 2016) u kojem su analizirane smjernice razvoja forvardera.

Baza tehničkih podataka forvrdera prikazana je na slici 4.29.

ForvarderiQ - Excel

Dubravko Horvat

Zajedničko korištenje

DatotekaPolaznoUmetanjeIzgled straniceFormulePodaciPregledPrikaz

Recite što želite učiniti...

Automatski zbroj

Ispuni

Očisti

Sortiraj i Pronađi u filtriraj + odaberi +

Ljepljenje

Izreži

Kopiraj +

Prenositi oblikovnjaka

Meduspremnik

Font

Poravnaj

Prelamanje teksta

Općenito

Ujedinj oblikovanje

Oblikuj kao

Stilovi tablicu

Stilovi

Umetni izlazi

Oblikuj

Četke

Uređivanje

R1C1

ID

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ID	Naziv	Snaga(kW)	Protok u minuti(dilučili spremnik za gorivo)	Nosivost (kg)	Duljina (mm)	Širina (mm)	Visina (mm)	Idus okretanja	Imanost od tla (n)	Masa (kg)	Cijena					
1	ECO LOG 554 C	129		145	148	10000	9246	2630	3583	590	12200	230.000,00 €				
2	ECO LOG 564 C	150	2200	145	150	12000	9063	2650	3685	659	16800	250.000,00 €				
3	ECO Log 574 C	150	2200	145	150	14000	99202	2670	3860	650	17300	270.000,00 €				
4	ECO Log 594 C	220		180	220	19000	10250	3650	3900	710	21800					
5	5 FELIX 145 VS - Kombimaschine	132	2400	70	170	10000	6120	2550	3750	540	12500	278.000,00 €				
6	6 FELIX 180-6 WD V - Kombimaschine	132	2400	70	170	10000	6670	2500	3750	540	14000	287.000,00 €				
7	7 GREMO 1050 F	120	150	123	10500	8825	2780	3452	7,5	540	12130	247.500,00 €				
8	8 GREMO 1350 VT	141	1200	200	210	13000	9300	2665	3850	7,5	560	16730	281.000,00 €			
9	9 HSM 208 F 11 t	175	1600	130	190	10000	9800	2600	3590	675	16000	274.100,00 €				
10	10 HSM 208 F 11 t - Kurzchassis	175	1600	130	190	11000	9910	2600	3560	625	18000	312.000,00 €				
11	11 HSM 208 F 12 t	175	1600	130	190	12000	10500	2600	3590	650	16500	278.500,00 €				
12	12 HSM 208 F 14 t	175	1600	130	180	14000	10300	2860	3650	640	18500	247.650,00 €				
13	13 HSM 208 F 14 t - Steilhang	175	1600	140	200	12000	9960	2860	3580	675	19200	348.800,00 €				
14	14 HSM 208 F 6 WD	129	1600	130	150	10000	9380	2600	3570	640	15000	248.000,00 €				
15	15 HSM 208 F 9 t	104	1600	130	150	9000	8800	2500	3560	637	13800	227.800,00 €				
16	16 HSM 208 F 9 t - Kurzchassis	129	1600	130	150	9000	9740	2550	3690	590	15000	285.400,00 €				
17	17 HSM 208 F Bigfoot	175	1600	140	150	10000	9800	3000	3590	650	16000	280.500,00 €				
18	18 HSM 904 F Kurzchassis	175	1600	145	145	12000	8790	2600	3590	595	16200	298.800,00 €				
19	19 JOHN DEERE 3010E Rv	115	2000	100	165	11000	9390	2820	3800	605	12800	265.000,00 €				
20	20 JOHN DEERE 1110E Rv	136	1900	167	12000	9570	2700			605	17300					
21	21 JOHN DEERE 1110E IT4	136		161	12000	9720	2890	3800		605	15200	295.000,00 €				
22	22 JOHN DEERE 1210E IT4	145		161		9720	2956	3800		17780	315.000,00 €					
23	23 JOHN DEERE 1510E IT4	156	1900	161	167	15000	9570	2950	3800	605	17900					
24	24 JOHN DEERE 810E	100	1900	110	9000	8240	2680	3780		615	12950	235.000,00 €				
25	25 Komatsu 830.3	107	2000	80	100	9000	8122	2600	3526	622	10500	190.000,00 €				
26	26 Komatsu 835	127	2000	127	120	11000	9230	2640	3797	15850	285.000,00 €					
27	27 Komatsu 840TX 6-Rad	129	2000	100	160	12000	9017	2894	3909		13800					
28	28 Komatsu 840TX 8-Rad	129	2000	100	160	12000	9017	2886	3778		14800					
29	29 Komatsu 845	140	2000	127	124	12000	9231	2850	3795		16600	390.000,00 €				
30	30 Komatsu 855 6-8 - Rad	150	2000	122	165	13000	9829	2690	3844							
31	31 Komatsu 855 6-8 - Rad	158	2000	122	165	15000	9829		3844		15860					
32	32 Komatsu 895	193	2000	167	210	20000	10565	3160	3965		23800					
33	33 LOGSET 10F GT	205	1000	175	240	18000	11800	3070	4100	730	22000					
34	34 LOGSET 4F	108	1000	175	205	10000	9121	2460	3685	600	12000					
35	35 LOGSET 5F	125	1000	175	205	11000	9121	2620	3732	650	14500					
36	36 LOGSET 6F GT	150	1000	175	205	13000	9658	2780	3818	660	16000					
37	37 PONISSE BUFFALO+	210	1500	200	200	14000	9405	2670	3750	695	18500	255.000,00 €				
38	38 PONISSE Buffalo Dual	210	1500	170	200	14000	8920	3085	3860	680	20650	290.000,00 €				
39	39 PONISSE ELIX	130	1600	130	130	13000	9150	2610	3780	670	17500	240.000,00 €				
40	40 PONISSE GAZELLE	129	1600	130	130	10000	8830	2450	3710	7,5	600	13800				
41	41 PONISSE WISENT	130	1600	130	130	12000	8800	2610	3750	15	645	16000				
42	42 PREUSS 81-10	113	1500		140	11000	8700	2750	3650	600	11800					
43	43 PREUSS 81-12	152	1500		180	12000	10535	2700	3800	600	16400					

ForvarderiQ

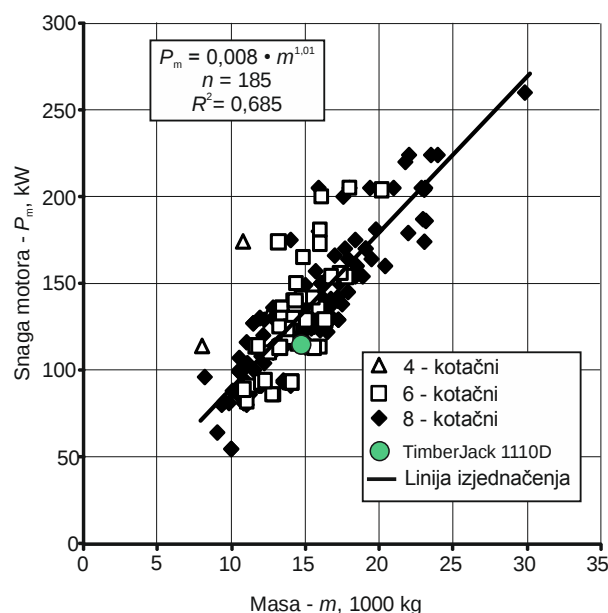
Odobrite odredite i pritisnite ENTER ili odaberite "Zaljepe"

Slika 4.29 Baza podataka forvardera

Prva analiza koja je napravljena odnosila se na ovisnost snage motora o masi forvardera prikazana na slici 4.30.

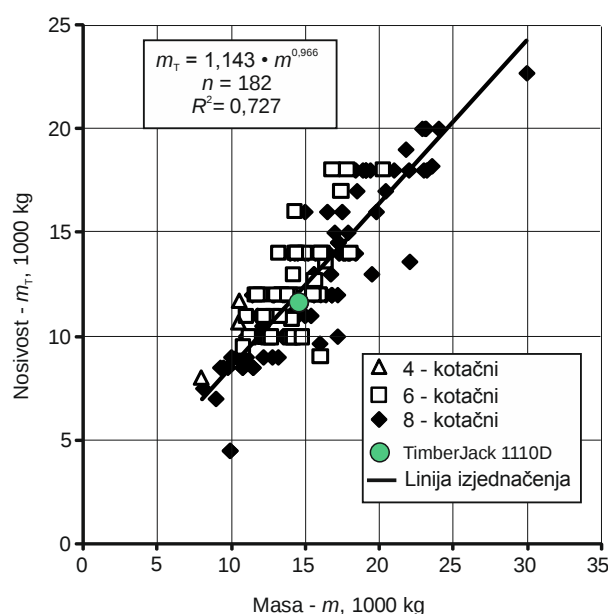
Razvrstavanje forvardera je napravljeno kao i kod harvestera na temelju vrste pogona (broj kotača) a gusjenični nisu promatrani. U dijagramu je istaknut položaj forvardera Timberjack 1110D koji je tijekom pokusa u šumariji Gerovalo radio u paru s harvesterom Ponssee Scorpio King.

Uočena veza za sve vrste forvardera između parametara (masa-snaga) je srednje do jake čvrstoće što znači da je izborom forvardera neke mase praktički izabrana i snaga njegovoga motora. Može se zapaziti da forvardera mase manje od 10 t gotovo da nema pa se stoga može reći da tzv. prorednih forvardera na tržištu i nema. Pri tome treba na umu imati činjenicu da bi proredni forvarderi, na temelju hrvatskoga iskustva s traktorskim prorednim ekipažama, trebali biti opremljeni i vitlom (dvobubanjskim).



Slika 4.30 Ovisnost snage motora o masi dizalice

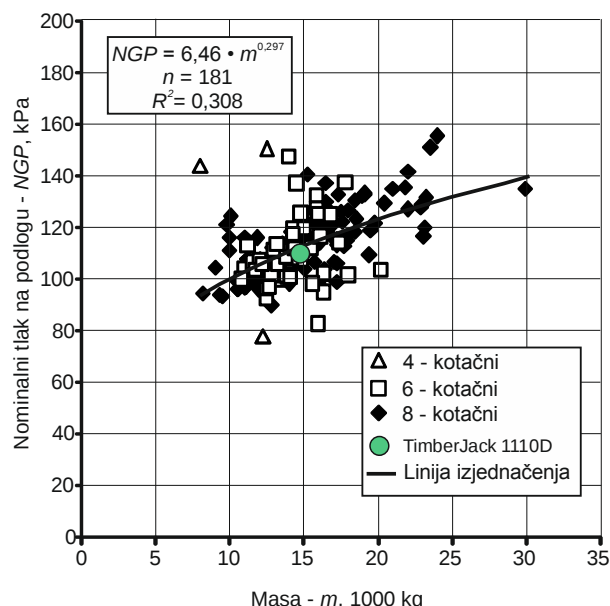
Forvarder Timberjack 1110D mase oko 15 t se nalazi u području masa forvardera kakvi bi zadovoljili potrebe privlačenja drva nakon oplodnih sječa za koje smatramo da trebaju biti između 12 i 17 t. Nakon određivanja raspona traženih masa za forvardere treba pogledati kakva se nosivost treba očekivati. Iz toga je razloga u dijagramu na slici 4.31 prikazana ovisnost nosivosti forvardera o njegovoj masi.



Slika 4.31 Ovisnost nosivosti forvardera o njegovoj masi

Veza je ovih parametara čvrsta što znači da nakon izbora mase forvardera treba očekivati i određenu nosivost. Primjerice za forvarder mase 15 t očekuje se nosivost od 12,5 t a na dijagramu se vidi da postoje forvarderi s masom od 15 t koji imaju nosivost 10 t ali i takvi čija je nosivost 17 t. Ako je nosivost kriterij za izbor forvardera tada treba izabrati onaj veće nosivosti jer će tada i okolišni i energijski kriteriji biti bolji. Promatrani forvarder TJ 1110D je praktički na granici izjednačenja.

Važan okolišni parametar forvardera, jednako kao i harvester, je nominalni tlak na tlo (NGP). Ovisnost ovoga parametra o masi forvardera prikazana je na slici 4.32.



Slika 4.32 Ovisnost NGP-a o masi forvardera

Iz dijagrama se zapaža da, logično, teži forvarderi imaju veći NGP. Krivulja izjednačenja je određena slabom vezom (rasipanje podataka) i tek je blago rastuća i malo konkavna što znači da se može zamijeniti i pravcem. Ono što je dobro je da nije proporcionalna tj. forvarder dvostruko veće mase neće imati i dvostruko veći NGP.

Promatrani forvarder TJ 1110D ima NGP oko 110 kPa što je znatno više od uparenoga mu harvestera Ponsee Scorpio. Temeljem preporuka EcoWood klasifikacije (tablica 4.1) ovaj se forvarder može rabiti samo na izuzetno čvrstim tlima s konusnim indeksom većim od 500 kPa.

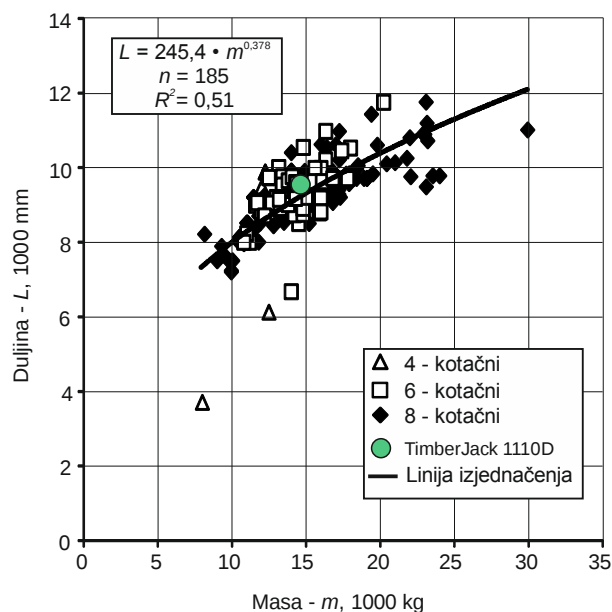
Tablica 4.1- EcoWood raščlamba razreda čvrstoće tla (Owende i dr. 2002)

Čvrstoća (nosivost) tla		Parametri čvrstoće tla*			Dopušteno opterećenje vozila na tlo
		Konusni indeks	Modul elastičnosti	Otpor tla na smicanje	
Razredi	Opis	CI, kPa	E, MPa	τ , kPa	NGP, kPa
1	Čvrsto tlo	> 500	> 60	> 60	> 80
2	Osrednje čvrsto tlo	300 – 500	20 – 60	20 – 60	60 – 80
3	Meko tlo	< 300	< 20	< 20	40 – 60
4	Vrlo meko tlo	<< 300	<< 20	<< 20	< 40

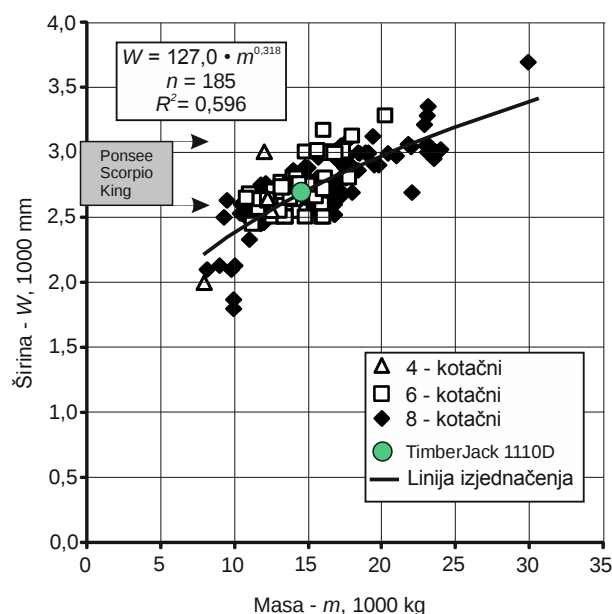
Na radilištu u šumariji Gerovo, gdje je obavljen pokus, izmjereni je konusni indeks tla bio veći od 1000 kPa što znači da se ovaj forvarder može upotrebljavati bez opasnosti za preveliko zbijanje tla.

Ako ga se pak želi rabiti na osrednje čvrstome tlu treba se opremiti polugusjenicama na oba nogi sustava kotača jer je tada površina naliježanja 1,75 puta veća za rijetke, sve do 3 puta veća za guste polugusjenice.

Forvarderi su zbog svog temeljnog principa prevoženja drvnih sortimenata izrazito velika vozila pa je zbog toga u dijagramima na slikama 4.33, 4.34 i 4.35 obavljena analiza ovisnosti gabaritnih dimenzija forvardera o njegovoj masi. Duljina je forvardera u srednje jakoj do jakoj vezi s njegovom masom, konkavna je i blago zakrivljena. Za skupinu forvardera između 12 i 15 t treba očekivati duljinu između 9 i 9,5 m.

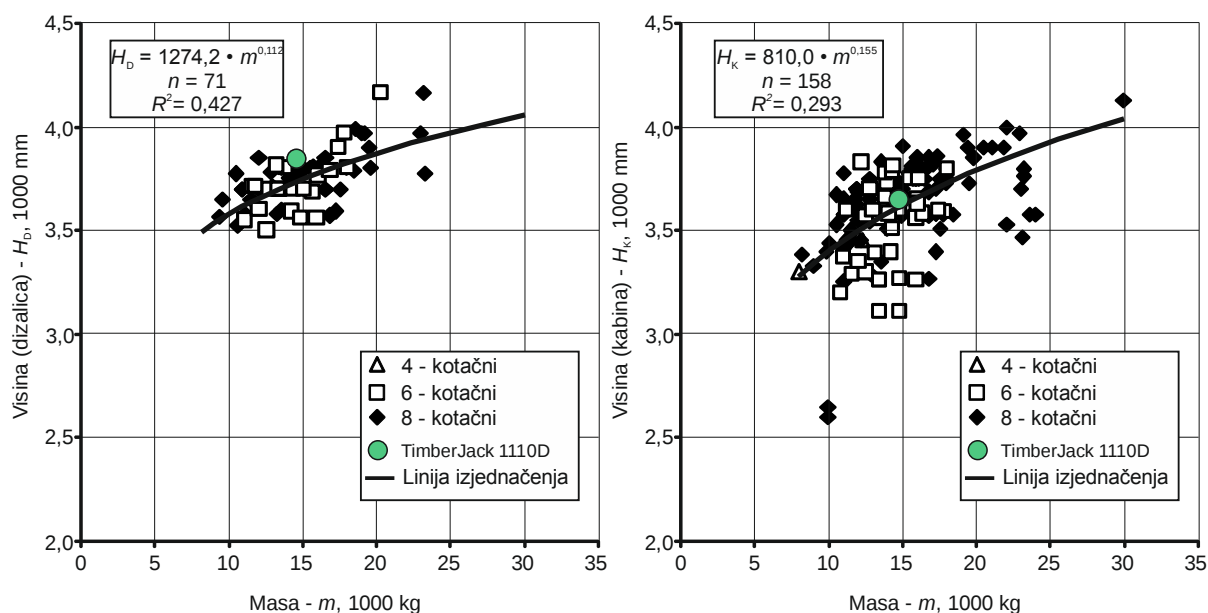


Slika 4.33 Ovisnost duljine forvardera o njegovoj masi



Slika 4.34 Ovisnost širine forvardera o njegovoj masi

Ovisnost je širine forvardera o njegovoj masi pokazuje nešto bolju povezanost od ovisnosti širine. Promatrani je forvarder na liniji izjednačenja koja je kao i u slučaju duljine blago konkavno zakrivljena. Širinom od više od 2,55 m spada u skupinu vozila koja se moraju transportirati u pratnji na posebnim prikolicama. U isti su dijagram unesene i širine harvesteri Ponsee Scorpio (najmanja i najveća). Kako su potrebne usaglašene širine ovih vozila, odnosno širina harvesteri bi trebala biti najmanje jednaka širini uparenog mu forvardera znači da treba izbjegavati harvester s uskim gumama što je povoljnije i sa stajališta zbijanja tla (NGP-a).



Slika 4.35 Ovisnost visine do kabine i dizalice o masi forvardera

Ovisnost dvije visine forvardera, do kabine i do dizalice, pokazuje slabiju vezu (pogotovo visina do kabine) od ovisnosti duljine i širine o masi. Visine gotovo svih forvardera su manje od 4 m što pokazuje da će se neki ipak morati transportirati na niskopodnim prikolicama.

U Katalog su uvrštena 52 modela 11 proizvođača, a stranicu forvardera koji je po svojim eksploatacijskim značajkama sličan analiziranom pokazuje slika 4.36.

JOHN DEERE 1110E IT4

JOHN DEERE Forestry OY
Box 474
Fin-33101 Tampere
Finska
Internet: www.deere.com



TEHNIČKI DETALJI		
Broj kotača	8	
Motor	John Deere 6068 PowerTech Plus with turbocharger and intercooler, 6 cylinders, displacement 6.8 l	
Snaga	136 kW	
Transmisija	Hydrostatic-mechanical two-speed gearbox, traction:160 kN	
Osovina	Bogie axles front and rear; hydromechanical; Differential lock front and rear; 6-wheel	
Upravljanje	Proportional steering with electric mini levers ± 44°	
Kočnice	When the service brake is hydraulically operated oil-immersed brakes; Parking and emergency brakes are actuated by springs; The framebrake is automatically actuated.	
Hidraulični sistem	Load sensing, variable power	
Kapacitet pumpe	140 l/min	
Radni tlak		
Hidraulični spremnik	161 Litara	
Spremnik za gorivo	-	
Gume	-	
Nosivost	12000 kg	
Duljina	9570 mm	
Širina	2890 mm	
Visina	3800 mm	
Radius okretanja	-	
Odignutost od tla	605 mm	
Dizalica	Tip	John Deere CF5 - Crane with telescope
	Doseg	7.2 ~ 10 m
	Podizni moment	102 kNm
	Okretni moment	-
Masa	Prednja osovina	
	Stražnja osovina	15200 kg
	Net masa	
Ostalo	-	
Cijena	295000 €	

Slika 4.36 Stranica iz Kataloga forvardera

4.7 Šumske žičare

Postoje različite metode i načini razredbe šumskih žičara a s obzirom na ponudu na tržištu one su u ovome Izvješću podijeljene u tri grupe

1. Traktorske žičare,
2. Vučene žičare,
3. Kamionske.

Prvu veliku analizu mogućnosti korištenja šumskih žičara na području napravili su Horvat i dr (2010). U Završnome izvješću dan je pregled stanja tržišta šumskih žičara ali bez morfološke analize. Prvu takvu analizu napravila je Murgić (2015) u svome diplomskom radu.

Nadopunjenu bazu podataka prikazuje slika 4.37.

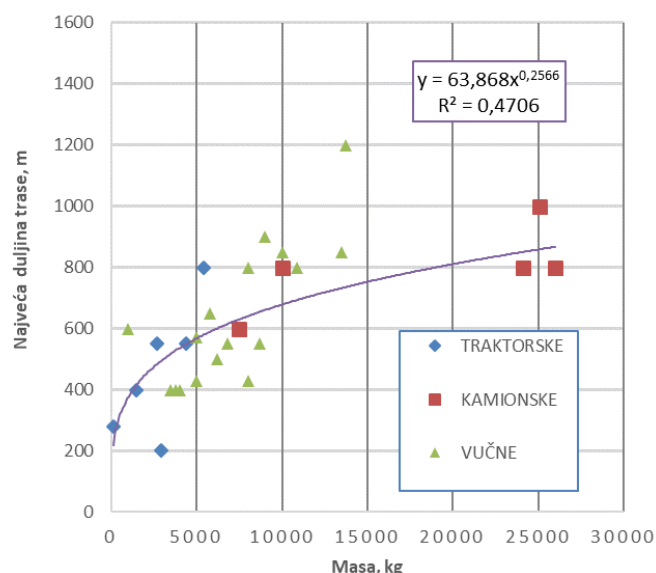
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Max. duljina trase l (m)	Visina stupa HS (m)	Duljina L (mm)	Širina B (mm)	Visina pri transportu HT (mm)	Masa bez užadi m (kg)	Snaga motora PM (kW)	Kolica	Nosivost N (kg)	Masa kolica m (kg)	Broj kotačića n	Cijena c (EUR)			
280	8	5000	2000	3400	120	55	SHERPA 1,5 t	1500	130	4	75882			
400	7,2	5500	1150	3200	1500	36	KOLLER SKA 1	1500	200	2	43440			
200	5,6	2500	2450	3400	2900	40	RITTER	1000						
550	11	5125	2150	3200	4380	44	TST 1500/1	1500	270	2	74355			
550	11	5125	2150	3200	2700	44	TST 2500	2500	140	2	47328			
800	12	5200	2300	3200	5400	65	TST 3500	3500	180	2	107437			
400	8,8	11000	2500	4000		338	USKA 1,5 Z	1500	340	2	34980			
750	10	11000	2500	4000		323	MSK 10		590	4	452000			
600	10	11000	2500	4000		353	MSK 10		590	4	387000			
600	10	11000	2500	4000		136	SKA 2,5	2300	290	4				
800	12	11000	2500	4000	10000	150	SKA 2,5	2500	290	4				
550	11	10910	2450	3950		265	SHERPA	2500	400	4	283425			
550	13	10000	2450	3950		265	SHERPA	4000	450	4	320000			
600	8	8000	2500	4000		7500	WOLF U 2	1500	300	2				
800	10,5	9300	2550	3990		278	SHERPA U 3 t	3000	380	4	375000			
1000	12,5	9800	2550	3950		270	TST 3500/1	3500	350	2	407642			
800	12,5	9700	2550	3900		24100	TST 3500/1	3500	350	2	342234			
800	12,5	11000	2500	3900	28000	300	Bergwald SMU 4000	4000	600	4				
570	9,1	5500	2300	3200	5000	59	SHERPA U II	3000	300	4	143792			
600	11	6000	2300	3600		78	SHERPA U III t	3000	300	4	159427			
650	9,1	6000	2250	3500	5800	78	SHERPA U III t	3000	300	4	165918			
400	7,2	5500	2100	3300	3500	65	KOLLER SKA 1	1500	200	2	61940			
400	7,2	6050	2100	3320	4000	65	USKA 1,5 Z	1500	340	2	100710			
600	10	8350	2360	3500		115	MSK 10		590	4	175990			
800	10	5010	2490	3011		8000	WOODLINER 3000	2500	1170	4	116500			
1200	11	6000	2200		13700	208								
800	10,4	6350	2300	3270	10900	147	SHERPA U 3 t	3000	380	4	170000			
400	10	800	1600	3200		3800	WYSSSEN	3000	650	2				
550	9	4900	2200	2950	6800	104	WYSSSEN	3000	650	2				
550	9	4900	2100	3200	8700	104	WYSSSEN	3000	650	2				
850	12	4600	2100	3600	10000	104	WYSSSEN	3000	650	2				
850	12	4600	2100	3600	13500	175	WYSSSEN	3000	650	2				
830	10,5													
1000	16													
1500	12													
900	12	6700	2350	3560	9000	147	SHERPA U 4 t	4000	490	4	225000			
500	9	4250	2100	3300	6200	79	SHERPA U 1,5 t	1500	250	4	94000			
430	9,3	3400	2250	3950	5000	243	SHERPA U 3 t	3000	380	4	170000			
430	9	5950	2100	3400	8000	90	SHERPA U 3 t	3000	380	4	114000			

Slika 4.37 Baza podataka žičara

Na temelju ove baze je napravljena morfološka analiza nekoliko najvažnijih parametara. Najvažniji parametar za izbor žičare je duljina trase pa je istražena njena ovisnost o masi žičare za cijelu familiju prikazanu na slici 4.38.

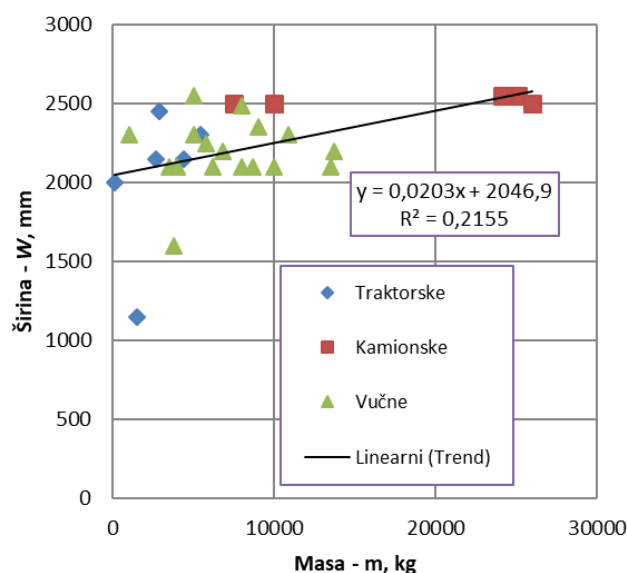
Uzrok relativno malome broju sparenih podataka je to što se masa žičare bez užadi rijetko iskazuje u tehničkim parametrima. Kako je u dosadašnjim analizama upravo masa bila nezavisna varijabla taj je obrazac primijenjen i ovdje. Zamjetno je da traktorske žičare imaju najmanju masu, zatim vučene i kamionske bez kamiona te kamionske zajedno s kamionom.

Uz srednje čvrstu vezu između parametara nepovoljna je konkavna linija izjednačenja koja pokazuje asimptotsko približavanje vrijednosti najdulje trase od nešto više od 1 km.



Slika 4.38 Ovisnost najveće duljine trase o vrsti i masi šumske žičare

Iako nije važan eksploatacijski parametar na slici 4.39 prikazana je ovisnost širine žičare o njenoj masi.

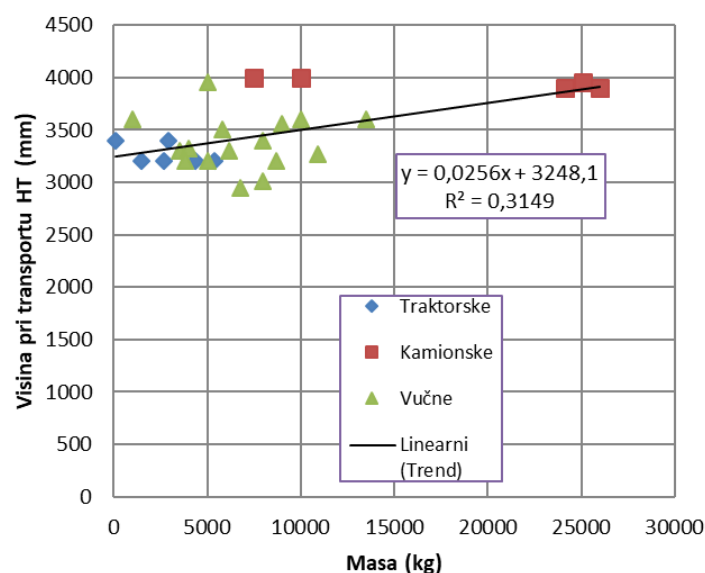


Slika 4.39 Ovisnost širine žičare o njenoj masi

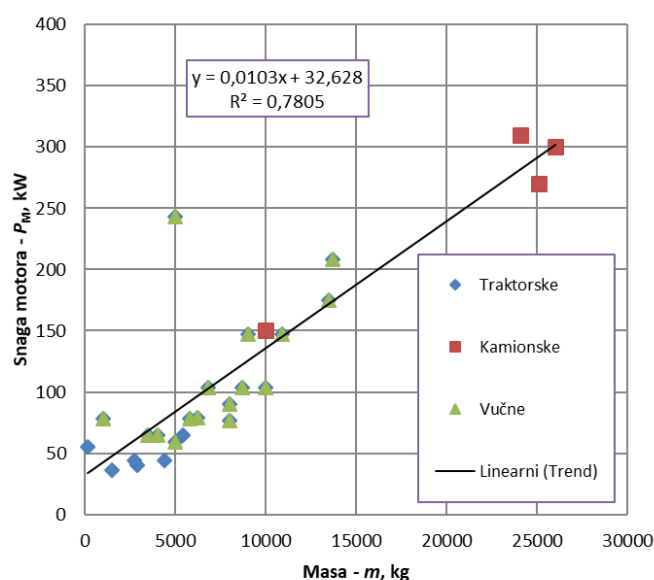
Dijagram na slici 4.39 uz uporabu linearnog regresijskog modela pokazuje slabu korelacijsku vezu parametara. Razlog je vjerojatno taj što su proizvođači ograničili širinu žičare ispod 2,55 m što je granica za transport po javnim putevima i time olakšali transport žičara s radilišta na radilište.

I duljina žičare nije važan eksploatacijski parametar pa ga se neće analizirati ovaj puta.

Ovisnost visine žičare u transportnom položaju prikazan na slici 4.40. također pokazuje nastojanja proizvođača za pojednostavljenjem transporta jer visine niti jednoga od modela ne prelazi ograničavajućih 4,0 m uz linearni, gotovo horizontalni trend.



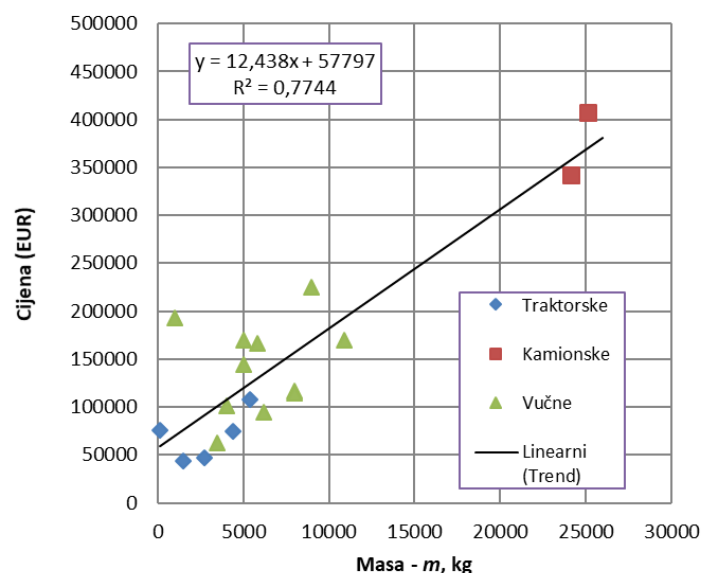
Slika 4.40 Ovisnost transportne visine o masi žičare



Slika 4.41 Ovisnost snage motora o masi žičare

Ovisnost snage motora žičare i njene mase također je izjednačena linearnom regresijskom krivuljom te uz visoki koeficijent korelacije pokazuje čvrstu vezu ova dva parametra. Ovo je povoljan slučaj jer se za one žičare kod kojih je u tehničkim podacima iskazana snaga motora može preko dijagrama na slici 4.41 doći do mase žičare, a onda i do, primjerice, duljine trase.

Na posljednjem regresijskom dijagramu na slici 4.42 prikazana je ovisnost cijene o masi žičare. Uz ostvarenu jaku vezu između promatranih parametara jasno je da će traktorske žičare biti najjeftinije, zatim vučene a najskuplje kamionske gdje su u dijagramu zajedno s cijenom kamiona.



Slika 4.42 Ovisnost cijene o masi i vrsti žičare.

U Katalogu šumskih žičara unesena su 32 modela 11 proizvođača a jednu stranicu Kataloga prikazuje slika 4.43.

SYNCRUFALKE 3 t - AM

MM Forsttechnik GmbH
Mayr-Melnhof-Straße 9
A-8130 Frohnleiten
Austrija
Tel.: +43(0)3126/5099-0
Telefax: +43(0)3126/5099-4068
E-mail: office@mm-forsttechnik.at
Internet: www.mm-forsttechnik.at

TEHNIČKI DETALJI	
Tip	Trailer – mounted 3-winch mobile tower yarder, revolv- and tiltable. Hydr. driven winches. Elec. cable remote control with automatic distance and speed control.
Max. duljina trase	800 m
Motor	IVECO 6-cylinder-Turbodiesel with charge air cooling
Snaga	129 kW
Okretaji u min	
Transmisija	Direct drive via hydr. wheel hub motor
Mjenjač	
Kočnice	Tow rope: spring-loaded multi-disc brake; Auxiliary cable: Disc brake Skyline cable: Disc brake
Uređaj za upravljanje	Elec. cable remote control with automatic distance and speed control. 1 or 2 radio remote controls
Visina stupa	10,9 m
Vitlo nosivog užeta	700 m/20 mm cable diameter
Vitlo vučnog užeta	1600 m/11 mm cable diameter
Vitlo povratnog užeta	
Vitlo pomoćnog užeta	1600 m/8,5 mm cable diameter.
Sidereno vitlo	4 x 70 m/18 mm cable diameter
Kolica	MM Sherpa U 3 t
Nosivost	3000 kg
Upravljanje kolicima	Radio remote control
Valjci	4
Duljina	6650 mm
Širina	2440 mm
Visina	3300 mm
Masa bez užadi	14500 kg
Masa kolica	410 kg
Svrha	Transport of wood, trees, materials, up-, downhill or horizontal. Speed: loaded 5,7m/sec; unloaded 9,5m/sec
Ostalo	mounted on lorry. 2. Radio remote control. Hydr. dive
Cijena	258580 €

Slika 4.43 Jedna stranica Kataloga

4.8 Iverači za šumsku biomasu

Prvu je bazu podataka iverača za šumsku biomasu napravio Šušnjar (1998) a posljednju nadopunu je u izradi diplomskog rada napravio Galović (2015). Bazu podatak iverača za šumsku biomasu pokazuje slika 4.44.

ID	Naziv	Snaga (kW)	Promjer Rotora	Optimalna Brzina	Max Promjer	Učinkovitost	Dužina	Expr1008	Širina	Visina	Masa	Cijena
1	Albach Diamant 2000	450	1040	420	980	380	10340	2550	2550	3950	32000	570.450,00 €
2	Beha RotoSawing Z		700		16							11.990,00 €
3	Berkli B10D oder B10B	10	620	1000	100	8	2200	1650	1650	2600	1100	14.700,00 €
4	Berkli B10Z	620	620	540	100	8	1800	1200	1200	1200	350	9.500,00 €
5	Berkli B12D	15	990		120	10	3200	1800	1800	2600	1100	18.900,00 €
6	Berkli B12Z		660	1000	120	10	2400	1300	1300	2600	450	10.400,00 €
7	Berkli B15D	25	720	1000	150	12	3200	1800	1800	2600	1350	22.600,00 €
8	Berkli B15Z	25	720	1000	150	12	2400	1300	1300	2600	700	11.990,00 €
9	Berkli B20D		800	1000	200	14	3500	2100	2100	2700	1920	28.750,00 €
10	Berkli B20Z	30	800	1000	200	14	2400	1350	1350	2600	950	14.000,00 €
11	Bruks-Klöckner 605 PT Trailer	220	600	1000	400	80	4800	2450	2450	3400	7000	159.000,00 €
12	Bruks-Klöckner 806 ST	368	800	1050	500	150	5980	2500	2500	2475	1100	260.000,00 €
13	CBI 484 Chipmax	571	1000	680	650	300	8000	2550	2550	4000	20000	
14	CBI 6800B1 Shredder	571	1000	980	650		15300	3000	3000	2687	35000	
15	CBI 840D Shredder Hacker	746	1200	680	750	600	18300	3000	3000	3995	58000	
16	CBI 8800T Shredder	895	1200	980	750		19250	3350	3350	3607	49800	
17	CBI Magnum Force 640D Shredder	570	1000	680	650	250	12448	2994	2994	4042	32000	
18	Doppelstadt DH 810	360	1000	610	600	150	7950	2500	2500	3710	19000	
19	Doppelstadt DH 910	450	1300	525	900	200	10215	2500	2500	3912	25000	360.000,00 €
20	Doppelstadt DH 910 K	450	1300	525	900	200	10340	3000	3000	3400	30000	
21	Doppelstadt DZ 750 Kombi	450	1100	1050	400	200	13500	2550	2550	3959		
22	Dutch Dragon EC 6060	410	1000	1000	600	200	5000	2520	2520	2460	10000	
23	Eschlböck Biber 2-12		750	540	120		2150	1320	1320	1580	510	
24	Eschlböck Biber 2-14		750	540	140		2150	1320	1320	1580	520	
25	Eschlböck Biber 2-14 Motor	25,7	750	540	140		3400	1790	1790	2060	1250	
26	Eschlböck Biber 3		880	1000	180		2280	1550	1550	2360	830	
27	Eschlböck Biber 5K		880	1000	240		3700	2150	2150	2550	1450	
28	Eschlböck Biber 5K Motor	51	880	1000	240		4600	2080	2080	2730	2450	
29	Eschlböck Biber 5KL		880	540	240		3700	2150	2150	2550	1550	
30	Eschlböck Biber 5L		880	540	120		3700	2150	2150	2550	1450	
31	Eschlböck Biber 7		640	1000	350		3750	2430	2430	2800	3150	
32	Eschlböck Biber 7 plus Z und Biber 7 plus ZK		640	1000	350		5000	2550	2550	3200	4800	
33	Eschlböck Biber 70 S	162	640	1000	400		8600	2500	2500	3100	10500	
34	Eschlböck Biber 70 Z und Biber 70 ZK		640	1000	400		4700	2500	2500	3200	6800	
35	Eschlböck Biber 787K				600		6000	2550	2550	3900	12500	
36	Eschlböck Biber 80 RBZ	353	760	1000	550		7600	2500	2500	4000	24000	
37	Eschlböck Biber 80 S	240	760	1000	550		9700	2500	2500	3400	13400	
38	Eschlböck Biber 80 Z und Biber 7K		760	1000	550		5400	2500	2500	3500	8600	

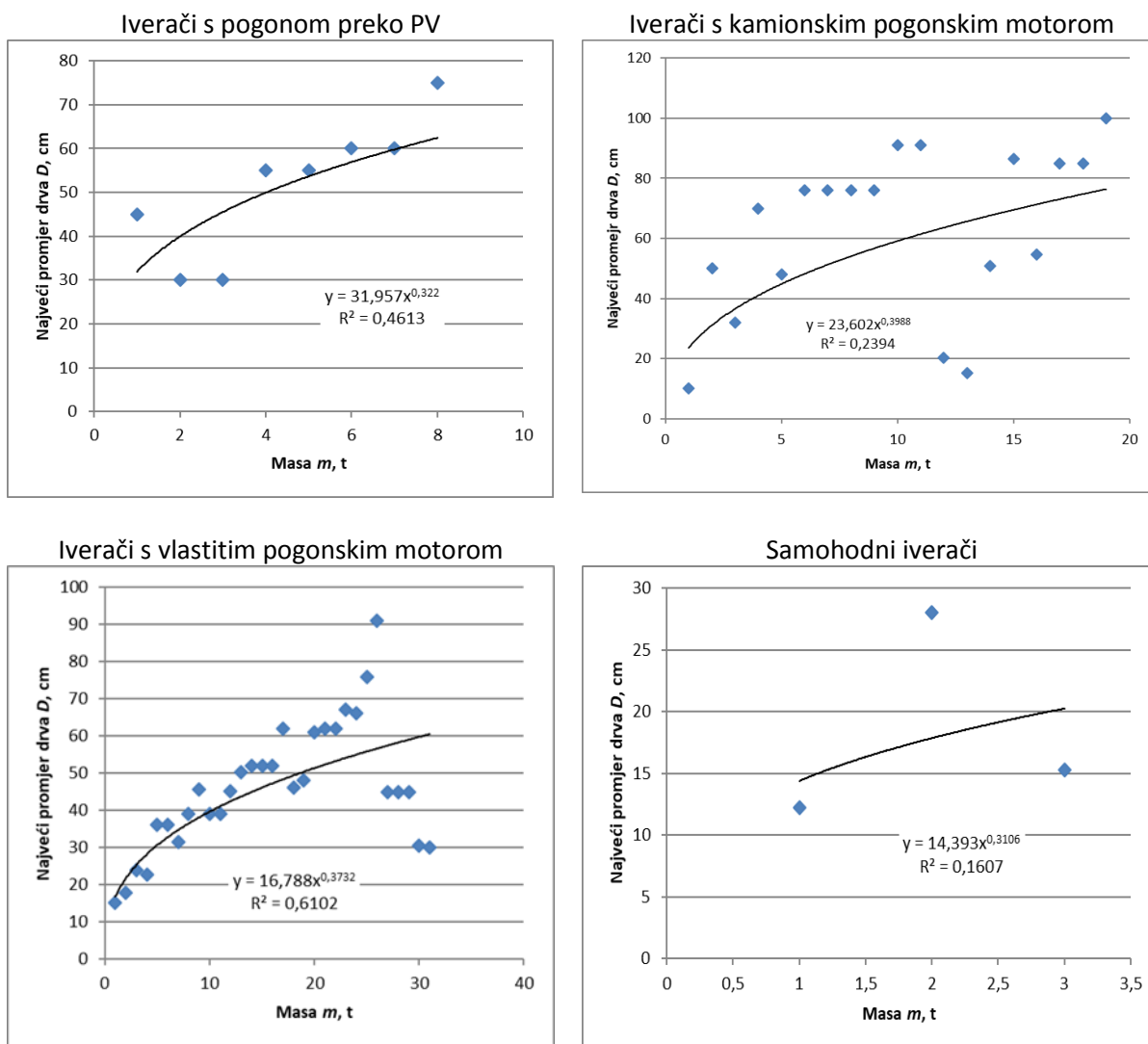
Slika 4.44 Baza podataka iverača za šumsku biomasu

Na temelju raspoložive ponude na tržištu iverača oni su razvrstani u 4 grupe:

- vučeni iverači s pogonom preko priključnog vratila (PV).
- iverači s vlastitim pogonom (na kamionu, prikolici ili vučeni),
- nošeni iverači s pogonom kamionskim motorom,
- samohodni iverači na vlastiti pogon,

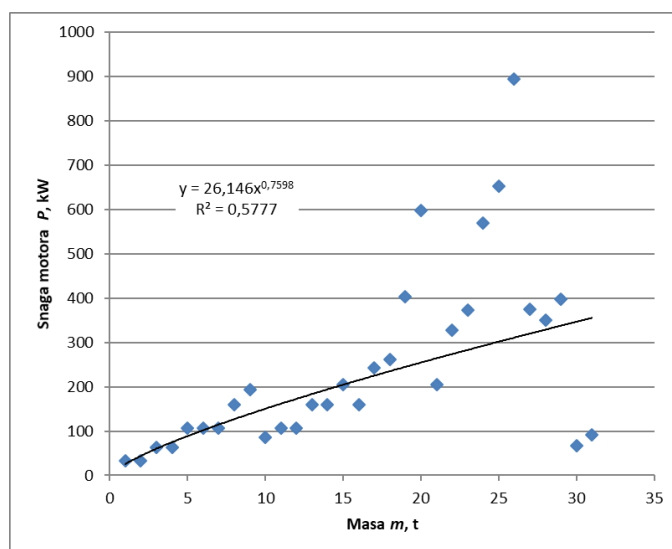
Najvažnija eksploatacijska značajka iverača za šumsku biomasu, važna za izbor iverača, je najveći promjer drva koji se može njime iverati. Naravno da prvo treba izabrati vrstu iverača. Ovisnost najvećega promjera drva o masi prikazana je pojedinačno za 4 navedene skupine iverača na slici 4.45.

Iz ovih se dijagrama zapaža da najbrojniji – kamionski iverači s vlastitim motorom ostvaruju i najbolju vezu s eksponencijalnim korelacijskim modelom, gdje su korelacijske krivulje u sva četiri slučaja konkavne. Najslabija je veza ostvarena za samohodne iverače jer su samo 3 modela analizirana.



Slika 4.45 Ovisnosti najvećeg promjera drva za iveranje o masi iverača

S obzirom na najbolju ostvarenu korelacijsku vezu ovisnost potrebne snage motora za pogon iverača i njegove mase promatrati će se samo za iverače s vlastitim motorom – slika 4.46.



Slika 4.46 Ovisnost potrebne snage o masi iverača s vlastitim motorom

U Katalogu iverača za šumsku biomasu su uneseni podaci 44 modela 6 proizvođača a slika jedne stranice pokazana je na slici 4.47.

JENZ HEM 561 DL

JENZ GmbH
Maschinen- und
Fahrzeugbau
Wegholmer Str. 14
D-32469 Petershagen
Germany

Tel.: +49 (0) 5704/9409-0
E-Mail: info@jenz.de
Internet:
<http://www.jenz.de/en/>



Osnovne značajke iverača		
Masa	13000	kg
Snaga motora	360	kW
Ulazne značajke drva		
Najveći promjer – meko drvo	56	cm
Najveći promjer – tvrdo drvo	42	cm
Značajke ulaznog ušća i reznog sustava		
Širina ulaza	100	cm
Visina ulaza	65	cm
Promjer rotora	820	cm
Dimenzije		
Duljina	6925	mm
Širina	2550	mm
Visina	2670	mm
Cijena	70000	€
Namjena	Nošeni s motorom	

Slika 4.47 Jedna stranica Kataloga iverača za šumsku biomasu

Literatura

- ARMEF-CTBA-IDF ,1993: Manuel d'exploitation forestière, Tome I. Fontainebleau;. París (França)
- Batinić, A., 2013: Morfološka raščlamba skidera, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, diplomski rad, 1–26. Mentor: izv. Prof. Marijan Šušnjar, Izradu pomogao: dr. sc. Zdravko Pandur, prof. dr. sc. Dubravko Horvat, dr. sc. Marko Zorić.
- Barešić, P., 2016: Smjernice razvoja forvardera, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, diplomski rad, 1–24 Mentor: prof. dr. sc. Dubravko Horvat, Izradu pomogao: dr. sc. Zdravko Pandur.
- Bekker, M. G., 1960: Off-the-road locomotion, The University of Michigan Press, str. 1–215.
- Bekker, M. G., 1956: Theory of land locomotion, The University of Michigan Press, str. 1–499.
- Bekker, M. G., 1969: Introduction to Terrain-Vehicle Systems, prijevod Mašinstroenije 1973., str. 1–520.
- Beuk, D., Ž. Tomašić, D. Horvat, 2007: Condition and development of forest harvesting mechanisation in the Croatian state forestry. Croatian journal of forest emgineering 28(1): 63–82.
- Bručić, G., 1997: Morfološka prosudba nekih značajki harvesterskih glava, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, diplomski rad, 1–31.
- Galović, K., 2015: Morfološka raščlamba iverača, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, diplomski rad, 1–31, Mentor: izv. Prof. Marijan Šušnjar, Izradu pomogao: dr. sc. Marko Zorić.
- Golubović, G., 2013: Morfološka raščlamba forvardera, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, diplomski rad, 1–20, Mentor: prof. dr. sc. Dubravko Horvat, Izradu pomogao: dr. sc. Zdravko Pandur.
- Granić, L., 2013: Morfološka raščlamba harvestera, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, diplomski rad, 1–27, Mentor: prof. dr. sc. Dubravko Horvat, Izradu pomogao: dr. sc. Zdravko Pandur.
- Horvat, D., 1993: Prilog proučavanju prohodnosti vozila na šumskom tlu. Disertacija, Fakultet Strojarsstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, 1–234.
- Horvat, D., 2001: Morfološke značajke adaptiranih poljoprivrednih traktora s ugradnjom različitih vitala (Morphological characteristics of adapted farming tractors equipped with different winches). Znanstvena knjiga »Znanost u potrajnom gospodarenju hrvatskim šumama«, 525–533.
- Horvat, D., T. Poršinsky, A. Krpan, T. Pentek, M. Šušnjar, 2004: Ocjena pogodnosti forvardera morfološkom raščlambom. Strojarsstvo : časopis za teoriju i praksu u strojarstvu 46(4-6); 149–160.
- Horvat, D., M. Šušnjar, 2005: Tehničke značajke skidera Ecotrac 120V, Istraživanje i studija u okviru projekta »Razvoj, izrada i ispitivanje specijalnog šumskog vozila - skidera mase 7t«, programa RAZUM Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa RH, Studija, str. 1–31.
- Horvat, D., Ž. Zečić, M. Šušnjar, 2007: Morfološke i proizvodne značajke traktora Ecotrac 120V. Nova mehanizacija šumarstva 28(Posebno izdanje 1): 81–92.
- Horvat, D., A. P. B. Krpan, T. Pentek, M. Oršanić, D. Pičman, T. Poršinsky, M. Šušnjar, I. Stankić, H. Nevečerel, D. Drvodelić, 2010: Šumska žičara – Okolišno povoljna tehnika i tehnologija pridobivanja drva iz privatnih šuma na području grada Zagreba. Završno izvješće, Šumarski fakultet Zagreb, str. 1-143.
- Murgić, I., 2015: Morfološka raščlamba šumskih žičara, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, diplomski rad, 1–33, Mentor: prof. dr. sc. Dubravko Horvat, Izradu pomogao: dr. sc. Marko Zorić.
- Musić, I., 2007: Morfološka raščlamba motornih pila, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, diplomski rad, 1–29. Mentor: prof. dr. sc. Tomislav Poršinsky, Izradu pomogao: dr. sc. Andreja Đuka.

- Owende, P. M. O. et al., 2002: Operations Protocol for Eco-efficient Wood Harvesting on Sensitive Sites, ECOWOOD Partnership, Dublin, 1–74.
- Pandur, Z., 2013: Primjena komercijalnog sustava za praćenje rada strojeva u istraživanju izvoženja drva forvarderom. Doktorska disertacija. Zagreb, Šumarski fakultet, 09.10. 2013, 312 str. Voditelj: Horvat, Dubravko.
- Poršinsky, T., 2005: Djelotvornost i ekološka pogodnost forvardera Timberjack 1710 pri izvoženju oblovin iz nizinskih šuma Hrvatske. Doktorska disertacija. Zagreb, Šumarski fakultet, 08. 04. 2005., 170 str. Voditelj: Krpan, Ante.
- Poršinsky, T., 2000: Čimbenici učinkovitosti forvardera Timberjack 1210 pri izvoženju oblog drva glavnog prihoda nizinskih šuma Hrvatske. Magistarski rad. Zagreb, Šumarski fakultet, 14.12. 2000., 140 str. Voditelj: Krpan, Ante.
- Poršinsky, T., I. Stankić, A. Bosner, T. Pentek, 2008: Morphological Analysis of Chainsaws. In: Proceedings of the 3rd International Scientific Conference FORTECHNEVI 2008, Skoupy, Alois; Machal, Pavel; Marecek, Lukas (ur.). Brno, Mendel University of Agriculture and Forestry, 2008. p. 380 (poster, međunarodna recenzija, sažetak, znanstveni).
- Sever, S., 1980: Istraživanje nekih eksploatacijskih parametara traktora kod privlačenja drva. Doktorska disertacija, Šumarski fakultet, Zagreb, str. 1–301.
- Sever, S., D. Horvat, 1992a: Skidders and forwarders database as source and help in determining morphological relationships. Proceedings of IUFRO workshop »Computer supported planning of roads and harvesting«, Feldafing, Germany: 196–200.
- Sever, S., D. Horvat, 1992b: Logging wheeled tractor databank for assistance in machine family evaluation. Proceedings of IUFRO workshop »Computer supported planning of roads and harvesting«, Feldafing, Germany: 281–288.
- Stankić, I., 2010: Višekriterijsko planiranje izvoženja drva forvarderima iz nizinskih šuma Hrvatske. Doktorska disertacija. Zagreb, Šumarski fakultet, 123 str., Voditelj: Poršinsky, Tomislav.
- Šušnjar, M., 1998: Istraživanje ovisnosti nekih tehničkih značajki iverača morfološkom raščlambom. Mehanizacija šumarstva 23(3-4): 139–150.
- Šušnjar, M., 2005: Istraživanje međusobne ovisnosti značajki tla traktorske vlake i vučne značajke skidera. Doktorska disertacija. Zagreb, Šumarski fakultet, 21.12. 2005., 146 str. Voditelj: Horvat, Dubravko.
- Vusić, D., 2013: Pogodnost sustava pridobivanja drvne biomase u smrekovoj šumskoj kulturi. Doktorska disertacija. Zagreb, Šumarski fakultet, 04.10. 2013., 174 str. Voditelj: Zečić, Željko.
- Zorić, M., D. Horvat, M. Šušnjar, Z. Pandur, J. Galović, 2014: Morphological analysis of chainsaws - useful decision making tool. Forest engineering: propelling the forest value chain. Gerardmer, France, 2014. p. 1 (poster, međunarodna recenzija, sažetak, znanstveni).

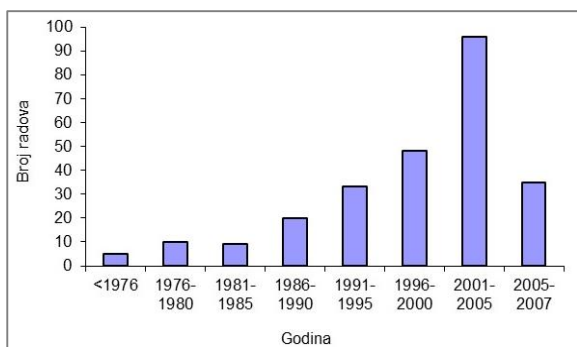
5. Višekriterijski model za analizu djelotvornosti sustava pridobivanja drva

5.1 Razvoj modela za višekriterijsku ocjenu pogodnosti i djelotvornosti pojedinih sustava pridobivanja drva

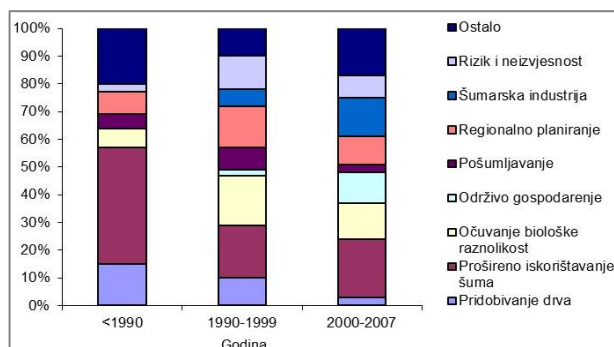
Vrednovanje sustava pridobivanja drva obuhvaća procjenu njihove djelotvornosti u različitim uvjetima pojedinih orografskih područja. Odluke o primjeni pojedinih sustava pritom se često zasnivaju na standardiziranim financijskim pokazateljima i troškovima po jedinici proizvoda kao glavnoj mjeri učinkovitosti proizvodnje u šumarstvu. Višekriterijska analiza sustava pridobivanja drva ima za cilj razvoj podloga koje će uz predložene kriterije omogućiti obuhvatniju ocjenu i rangiranje postojećih sustava pridobivanja drva s obzirom na glavne utjecajne čimbenike određenih reljefnih područja šuma. Odabir optimalnih sustava pridobivanja drva temeljit će se na utvrđivanju glavnih kriterija njihovoga vrednovanja te višekriterijskoj analizi i ocjeni njihove pogodnosti i djelotvornosti u konkretnim uvjetima pojedinih šumskogospodarskih područja. Doprinos provedenog istraživanja ogleda se kroz: 1) razvoj i primjenu novih metoda i tehnika u vrednovanju šumarskih tehnologija i postupaka, čime se pridonosi cjelovitijoj ocjeni uspješnosti radnih i proizvodnih procesa u šumarstvu, 2) pružanje podloga za donošenje odluka o pogodnim sustavima pridobivanja drva s obzirom na glavne utjecajne čimbenike njihova odabira i primjene, čime se iskazuje primjenjivost istraživanja u racionalizaciji proizvodnje drva te transfer znanja u gospodarstvo.

Donošenje odluka, kao proces odabira neke od alternativa kojima se rješava dani problem, u šumarstvu je naglašeno zahtjevno i složeno zbog mnogobrojnosti i širokog raspona kriterija uključenih u procese odlučivanja. Takvi utjecaji i kriteriji obuhvaćaju brojna ekonomska pitanja, ekološka i okolišna pitanja, socijalna i druga pitanja. Odabir optimalnog sustava pridobivanja drva u procesu šumarske proizvodnje upravo je primjer takvih odluka. Primjena različitih metoda višekriterijskog odlučivanja kao i različitih tehnika grupnog odlučivanja u takvim se situacijama pokazuje kao važan i potencijalno dobar način pristupanja brojnim šumarskim pitanjima i problemima. Njihova primjena je pritom posebno primjerena u slučajevima gdje je potrebno holistički razmotriti i ocijeniti različite alternative u odlukama, pri čemu je sveobuhvatna analiza naročito otežana mnogobrojnošću teško usporedivih kriterija i suprotstavljenih interesa koji utječu na proces odlučivanja, te je prijedlog odluke nužno utemeljiti na racionalnim argumentima.

Metode i tehnike višekriterijskog odlučivanja prisutne su u šumarstvu već više od 40 godina (Field 1973), no njihova značajnija primjena počinje od 1990-ih godina i brojnih u međuvremenu objavljenih višekriterijskih radova koji se u više područja bave različitim problemima šumarstva. Uvjetno određena područja šumarstva u kojima su dosada primijenjeni višekriterijski modeli obuhvaćaju: pridobivanje drva, prošireno iskorištavanje šuma, očuvanje biološke raznolikosti, održivo gospodarenje, pošumljavanje, regionalno planiranje, šumarsku industriju, rizik i neizvjesnost (Diaz-Balteiro i Romero 2008).



Slika 5.1 Brojnost objavljenih višekriterijskih radova u šumarstvu



Slika 5.2. Zastupljenost višekriterijskih radova u različitim šumarskim temama

Višekriterijsko odlučivanje spada u široki spektar metoda operacijskih istraživanja. Do danas su razvijene mnogobrojne metode, pri čemu svaka od njih ima svoje matematičke postavke te različite značajke i tehnike koje su primjenjive u odgovarajućim situacijama i slučajevima. Neke od najčešćih

metoda višekriterijskog odlučivanja, od kojih je većina primijenjena u šumarstvu, su npr.: analiza omeđivanja podataka (*Data Envelopment Analysis, DEA*), analitički hijerarhijski proces (*Analytic Hierarchy Process, AHP*), višeatributna teorija korisnosti (*Multi-Attribute Utility Theory, MAUT*), metode višeg ranga (*Outranking methods*), glasačke tehnike (*Voting methods*), analiza stohastičke višekriterijske prihvatljivosti (*Stochastic Multicriteria acceptability analysis, SMAA*) i dr.

Navedene metode i njihove primjene međusobno se znatno razlikuju. Pritom niti jedna od metoda nije univerzalna i najbolja, čak ni primjenjiva u svim slučajevima, već različitim situacijama i problemima najbolje odgovaraju različite metode. Izbor najbolje ili jednostavno odgovarajuće metode za potporu u odlučivanju zahtijeva poznavanje više modela, njihovih postavki, prednosti i ograničenja kao i karakteristika te zahtijeva specifičnih situacija i problema u planiranju i odlučivanju. U tablici 5.1 prikazane su karakteristike nekih metoda višekriterijskog odlučivanja i njihova usporedba.

Tablica 5.1 Karakteristike metoda višekriterijskog odlučivanja (prema Sarkis i Weinrach 2001)

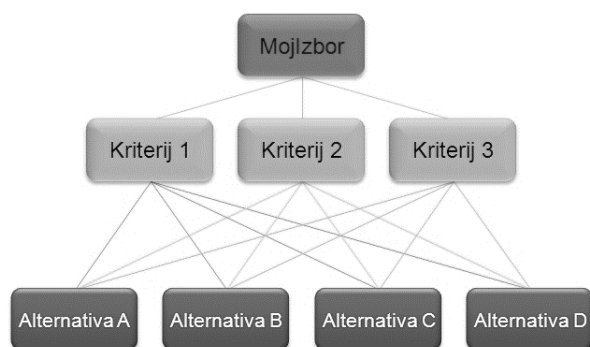
Metoda	Troškovi primjene	Zahtjev za podacima	Osjetljivost	Razumljivost	Matematička složenost	Fleksibilnost
DEA	S	S	N	N	V	S
AHP	S	S	N	S	N	V
Expert systems	V	V	N	S	V	V
Goal program	S	S	S	N	V	N
MAUT	V	V	S	S	S	V
Outranking	S	S	N	N	S	S
Simulation	V	V	V	V	V	S
Scoring models	N	N	N	V	N	V

* V – visoko; S – srednje; N – nisko

Nakon usporedbe i analize više različitih metoda, za potrebe istraživanja i izradu višekriterijskog modela za ocjenu pogodnosti i djelotvornosti sustava pridobivanja drva kao primjerena je odabrana AHP metoda ili Analitički hijerarhijski proces. Analitički hijerarhijski proces (AHP), prvotno razvijen od Saaty-a (1977, 1980) je često primjenjivana i vrlo popularna metoda u mnogim područjima, uključujući i gospodarenje prirodnim resursima. Mendoza i Sprouse (1989), Murray i Gadow (1991), Kangas (1992) neki su od autora koji su AHP primijenili u šumarstvu, a broj aplikacija se kontinuirano povećava (Ananda i Herath 2003, Wolfslehner i dr. 2005, Šegotić i dr. 2003, 2007).

U usporedbi s drugim metodama, AHP ima nekoliko prednosti sa stajališta višekriterijskog i grupnog odlučivanja. U rješavanju problema odlučivanja objektivne informacije, stručno znanje i subjektivne preferencije se pomoću AHP metode mogu uzeti u razmatranje skupno i istovremeno. Također se u obzir mogu uzeti i kvalitativni kriteriji, dok ostale metode obično traže kvantitativne kriterije za izbor neke od alternativa.

Rješavanje složenih problema odlučivanja pomoću ove metode temelji se na njihovom rastavljanju na komponente: cilj, kriterije (podkriterije) i alternative. Pod ciljem se podrazumijeva stanje sustava koje želimo postići odlukom, a kriteriji su atributi kojima se opisuju alternative i njihova svrha je da direktno ili indirektno daju informacije o tome u kojoj mjeri se pojedinom alternativom ostvaruje željeni cilj. Ti elementi se potom povežu u model s više razina (*hijerarhijsku strukturu*) pri čemu je na vrhu cilj, a na prvoj nižoj razini su glavni kriteriji (slika 5.3). Kriteriji se mogu rastaviti na podkriterije, a na najnižoj razini nalaze se alternative. Druga važna komponenta AHP metode je matematički model pomoću kojeg se računaju prioriteta (težine) elemenata koji su na istoj razini hijerarhijske strukture. Temeljni matematički alat koji se koristi u AHP metodi pritom su matrice.



Slika 5.3 Hijerarhijska struktura AHP metode

Metoda je zasnovana na usporedbi u parovima – usporedbi parova kriterija gdje se iskazuje njihova važnost ili težina, te usporedbi parova alternativa, svaka sa svakom, pri čemu se izražava intenzitet ili stupanj preferencije jedne alternative u odnosu na onu s kojom se uspoređuje. Cijeli se proces AHP metode može ukratko opisati u nekoliko koraka: (1) razvije se hijerarhijski model problema odlučivanja s ciljem odabira, kriterijima (podkriterijima) i alternativama, (2) na svakoj razini hijerarhijskog modela u parovima se međusobno uspoređuju elementi tog modela, pri čemu se preferencije donositelja odluke izražavaju uz pomoć Saaty-jeve skale relativne važnosti, (3) iz procjena relativnih važnosti kriterija i unutar njih alternativa, pomoću procedura unutar AHP modela, izračunavaju se lokalni prioriteti (težine, važnosti) kriterija i alternativa pomoću kojih se zatim posebnim postupkom izračunavaju ukupni prioriteti pojedinih alternativa, (4) nakon utvrđivanja rangova provodi se analiza rezultata.

Nedostatak metode je u tome što ne dozvoljava oklijevanje i iskazivanje nesigurnosti u usporedbama. Teškoća je i to što se broj usporedbi značajno povećava s brojem alternativa i kriterija, što može biti vrlo skupo i zahtjevno. Međutim, da bi se prevladala ova ograničenja razvijeni su različiti AHP modeli kakvi su npr. A'WOT metoda (kombinacija AHP metode i SWOT analize) ili analitički mrežni proces (Analytical network process, ANP) koji predstavljaju svojevrsnu nadogradnju osnovne AHP metode.

Popularnost AHP metoda ponajprije se temelji na tome što je vrlo bliska načinu na koji pojedinac intuitivno rješava složene probleme rastavljajući ih na jednostavnije. AHP modeli pritom polaze od ideje usporedbe parova kao praktičnoga, pedagoškog i intuitivnog pristupa. AHP je na taj način snažan i fleksibilan postupak za donošenje odluka koji, svođenjem kompleksnog odlučivanja na usporedbe između parova kriterija tj. alternativa, pomaže u određivanju prioriteta i dovodi do optimalne/racionalne odluke u slučajevima kada se i kvantitativni i kvalitativni aspekti uzimaju u obzir.

U istraživanju sustava pridobivanja drva i razvoju višekriterijskog modela za ocjenu njihove pogodnosti i djelotvornosti u različitim uvjetima pojedinih šumskogospodarskih područja, AHP metoda je primijenjena na način da su provedeni sljedeći koraci: 1) definirani su sustavi pridobivanja drva (alternative), 2) utvrđeni su kriteriji i podkriteriji za ocjenu alternativa, 3) izrađen je i oblikovan anketni upitnik prikladan za istraživanje primjenom AHP metode (Prilog 5.1), 4) provedeno je ispitivanje među šumarskim stručnjacima, 5) obrađeni su upitnici i analizirani odgovori ispitanika u programu Expert Choice, i 6) utvrđeni su rangovi alternativa.

Kao uspoređivane alternative (A) definirani su sljedeći sustavi pridobivanja drva:

- Sustav 1 (A1) – Sjekač i adaptirani poljoprivredni traktor (APT)
- Sustav 2 (A2) – Sjekač i skider s vitlom
- Sustav 3 (A3) – Sjekač i traktorska ekipaža
- Sustav 4 (A4) – Sjekač i forvarder
- Sustav 5 (A5) – Harvester i forvarder
- Sustav 6 (A6) – Sjekač i vučena žičara
- Sustav 7 (A7) – Sjekač i kamionska žičara

Detaljnije značajke i opis definiranih sustava pridobivanja drva prikazani su u Prilogu 5.1 ovoga izvješća (Anketni upitnik za odabir sustava pridobivanja drva AHP metodom).

Kao kriteriji i podkriteriji za ocjenu alternativa i odabir sustava pridobivanja drva definirani su sljedeći parametri i pokazatelji (Tablica 5.2).

Tablica 5.2. Pretpostavljeni kriteriji i parametri za ocjenu sustava pridobivanja drva

Kriteriji	Podkriteriji
Tehnološko-biološki	– Struktura doznačenog drva – Prometnost i prohodnost terena – Primarna i sekundarna otvorenost
Ekonomski	– Produktivnost – Ekonomičnost
Ekološki	– Oštećenje staništa (tlo, voda) – Oštećenje sastojine (dubeća stabla, pomladak) – Onečišćenje i zagađenje okoliša
Ergonomski	– Fizičko opterećenje radnika – Radni okoliš (buka, vibracije, ozljede...)
Energijski	– Potrošnja goriva, maziva, rezervnih dijelova
Estetski	– Krajobraz i socijalna funkcija šume

Čimbenici koji dodatno opisuju pojedine pod/kriterije prikazani su u Prilogu 5.1 ovoga izvješća (Anketni upitnik za odabir sustava pridobivanja drva AHP metodom).

Za rješavanje problema višekriterijskog odlučivanja i odabir tj. ocjenu sustava pridobivanja korišten je programski paket Expert Choice. Expert Choice je skupni programski paket za podršku odlučivanju, koji se zasniva na Analitičkom hijerarhijskom procesu. Expert Choice omogućuje korisnicima da pokažu znanja i kolektivnu inteligenciju timova koji sudjeluju u postupku donošenja odluka. Program omogućuje strukturiranje hijerarhijskog modela problema odlučivanja na više načina, te uspoređivanje alternativa i kriterija u parovima također na više načina. Posebnu vrijednost programu daju različite mogućnosti provođenja analize osjetljivosti koje se temelje na vizualizaciji posljedica promjena ulaznih podataka. Korištenje programa je jednostavno, a u programskoj dokumentaciji su dobro objašnjeni načini na koje se može razviti model i različite mogućnosti unosa podataka. Program također omogućava kreiranje različitih izvješća.

5.2 Rezultati višekriterijske analize pogodnosti i djelotvornosti sustava pridobivanja drva – primjer Šumarije Bjelovar, GJ »Bjelovarska Bilogora« (odsjeci 14b i 14c)

Za potrebe stručnoga projekta »Optimizacija sustava pridobivanja drva i šumske prometne infrastrukture na strateško-taktičkoj razini planiranja« izrađen je anketni upitnik »Odabir sustava pridobivanja drva AHP metodom« (Prilog 5.1). Anketni upitnik je sa zamolbom za ispunjavanje i potrebnim pojašnjenjima 27. 03. 2018. godine upućen odabranim šumarskim stručnjacima iz Ministarstva poljoprivrede RH i tvrtke Hrvatske šume d.o.o. Kao sudionici u istraživanju (ispitanici) odabrani su šumarski stručnjaci koji su sudjelovali na prezentaciji projekta održanoj 18. 07. 2017. godine u Upravi šuma Podružnici Bjelovar (šumarija Bjelovar). Na predstavljanju projekta oni su upoznati s njegovim zadaćama i ciljevima, istraživačkim poligonom projekta (GJ »Bjelovarska Bilogora«, odsjek 14b i 14c), kao i idejom višekriterijske analize pogodnosti i djelotvornosti sustava pridobivanja drva, odnosno provedbom potrebnoga anketnoga upitnika. Na temelju toga anketni upitnik je upućen na adrese 38 šumarskih stručnjaka. Do 23. 04. 2018. godine ispunjeno je i vraćeno ukupno 8 upitnika, od čega su četiri upitnika zbog previsoke nekonzistentnosti odbačena iz daljnjih obrada. Na slici 5.4 prikazan je dio ispunjenoga anketnoga upitnika.

II. Usporedba u parovima – Podkriteriji (s obzirom na kriterij kojem pripadaju):

TEHNOLOŠKO-BIOLOŠKI

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Struktura doznačenog drva	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	Prometnost i prohodnost terena
Struktura doznačenog drva	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Primarna i sekundarna otvorenost
Prometnost i prohodnost terena	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	Primarna i sekundarna otvorenost

EKONOMSKI

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Proizvodnost	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	Ekonomičnost

EKOLOŠKI

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Oštećenje staništa (tlo, voda)	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Oštećenje sastojine (dub. stabla...)
Oštećenje staništa (tlo, voda)	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	Onečišćenje i zagađenje okoliša
Oštećenje sastojine (dub. stabla...)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	Onečišćenje i zagađenje okoliša

ERGONOMSKI

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Fizičko opterećenje radnika	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	Radni okoliš (buka, vibracije...)

III. Usporedba u parovima – Alternative (s obzirom na pojedini podkriterij):

☐

STRUKTURA DOZNAČENOG DRVA

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	Sjekač i skider s vitlom
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	Sjekač i traktorska ekipaža
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	Sjekač i forvarder
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	Harvester i forvarder
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	Sjekač i traktorska ekipaža
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Harvester i forvarder	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Harvester i forvarder	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i vučena žičara	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara

Slika 5.4 Prikaz dijela ispunjenog anketnog upitnika

Ispunjeni upitnici sa usporedbom parova na svakoj razini definiranog hijerarhijskog modela poslužili su kao ulazni podaci za višekriterijsku analizu AHP metodom gdje se je obuhvaćanjem različitih stajališta nastojalo ujediniti rezultate te na taj način doprinijeti donošenju racionalne odluke i izboru optimalnog sustava pridobivanja drva za konkretnu šumsku sastojinu/radilište. Za analize je korišten Programski paket Expert Choice, a rezultati prikazani na slikama 5.5 – 5.8 ilustriraju mogućnosti metode i nalaze istraživanja na primjeru jednoga obrađenoga upitnika.

Temeljni problem u rješavanju višekriterijskog modela je određivanje težina ili važnosti uspoređivanih kriterija i alternativa. U AHP metodi težine kriterija se određuju jednostavnom usporedbom u parovima, što se kasnije koristi za utvrđivanje ukupnih prioriteta i rangiranje pojedinih alternativa. Na slikama 5.5 i 5.6 prikazane su relativne težine definiranih kriterija, odnosno hijerarhijski model problema odlučivanja s težinama pojedinih kriterija i podkriterija određenim na temelju ispunjenoga anketnog upitnika.

	Teh	Eko	Eko	Erg	Ene	Est
Tehnolo		5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Ekonomski			3,0	3,0	1,0	3,0
Ekolo				3,0	3,0	1,0
Ergonomski					3,0	3,0
Energijski						3,0
Estetski	Inc					

Slika 5.5 Relativne važnosti promatranih kriterija



Slika 5.6 Hijerarhijski model problema odlučivanja za odabir optimalnog sustava pridobivanja drva s težinama kriterija

Na prikazanom primjeru vidljivo je da najveća težina u odabiru optimalnog sustava pridobivanja drva pridana tehnološko-biološkim (L: 0,473), a zatim ekološkim (L: 0,169) i ergonomskim kriterijima (L: 0,143). Najmanja je važnost u ovom slučaju dodijeljena energijskim (L: 0,052), ekonomskim (L: 0,052) i estetskim kriterijima (L: 0,112). Unutar tehnološko-bioloških kriterija prometnost i prohodnost terena (L: 0,584) su ocijenjeni kao najvažniji kriterij za odabir i primjenu određenog sustava pridobivanja drva na nekom šumskogospodarskom području.

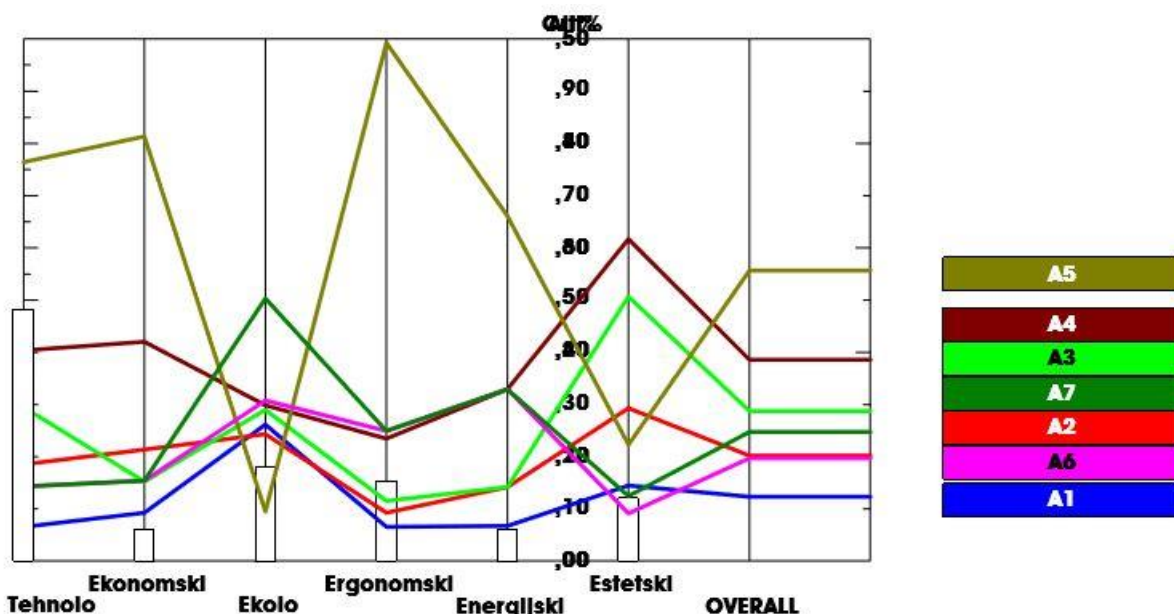
Na temelju utvrđenih težina kriterija i podkriterija određeni su ukupni prioriteti i rangovi definiranih i uspoređivanih alternativa (sustava pridobivanja drva). Kao ulazni podaci za program Expert Choice i AHP metodu pritom su poslužile usporedbe parova alternativa iz upitnika gdje su šumarski stručnjaci po svakome od postavljenih kriterija iskazivali relativnu preferenciju jedne alternative u odnosu na drugu. Utvrđeni rangovi pojedinih alternativa i sinteza podataka za odabir optimalnog sustava pridobivanja drva prikazani su na slici 5.7.

A1		0,062
A2		0,101
A3		0,144
A4		0,193
A5		0,278
A6		0,098
A7		0,124

Slika 5.7 Sinteza podataka za odabir optimalnog sustava pridobivanja drva – rang uspoređivanih alternativa

Kao najpogodniji sustav pridobivanja drva za promatranu sastojinu/radilište i definirane kriterije ocijenjen je sustav Harvester i forvarder, odnosno alternativa A5 s rezultatom 0,278. Za njim slijede sustav Sjekač i forvarder (A4) - 0,193, Sjekač i traktorska ekipaža (A3) - 0,144 te Sjekač i kamionska žičara (A7) - 0,124. Najlošije ocijenjenu alternativu predstavlja sustav Sjekač i adaptirani poljoprivredni traktor (A1) - 0,062.

Također je provedena analiza osjetljivosti koja pokazuje osjetljivost alternativa na promjene u težinama kriterija (slika 5.8). Na istom prikazu su vidljive i utvrđene težine pojedinih kriterija, kao i rangovi uspoređivanih alternativa po svakom od postavljenih kriterija i ukupno.



Slika 5.8 Analiza osjetljivosti za odabir optimalnog sustava pridobivanja drva

Provedeno ispitivanje imalo je za cilj testiranje i izradu višekriterijskog modela za usporedbu i ocjenu (rangiranje) postojećih sustava pridobivanja drva te donošenje odluke o najpogodnijim sustavima pridobivanja drva za konkretne uvjete pojedinih šumskih sastojina (radilišta). U tu su svrhu definirane pojedine alternative (sustavi), utvrđeni su kriteriji za njihovu ocjenu, izrađen je odgovarajući anketni upitnik, te analizirani odgovori ispitanika (primjenom AHP metode – programski paket Expert Choice), čime je ispunjen istraživački zadatak.

U razvoju višekriterijskog modela i njegovoj primjeni u oblikovanju šumskih radova, odabiru optimalnog sustava pridobivanja drva i sl., mnogostruki se kriteriji ne mogu promatrati odvojeno jedni od drugih. Naime, ekološkim, socijalnim, estetskim, rekreativnim i drugim kriterijima se pridaje sve veća važnost. Istovremeno raste potreba za što učinkovitijim obavljanjem šumskih radova te smanjenjem njihovog štetnog utjecaja na zdravlje i radnu sposobnost radnika. Neophodno je dakle, pronaći mehanizme (načine) koji će u najboljoj mjeri ispuniti navedene uvjete i osigurati održivi razvoj šuma i šumarstva. Primjena višekriterijskog odlučivanja (AHP metode) u odlučivanju u šumarstvu jedan je od mogućih načina dostizanja postavljenih ciljeva gospodarenja šumama.

Nedostatak je u tome što uključivanjem većeg broja kriterija, potrebni upitnici i analize postaju presloženi i prezahtjevni, te je neophodno utvrditi manji broj doista ključnih kriterija. Isto je dijelom pokazalo i ovo istraživanje.

Nalazi istraživanja i rezultati provedenih upitnika šumarskim stručnjacima mogu poslužiti kao potpora u donošenju odluka i tako posredno djelovati na primjenu određenih sustava pridobivanja drva. Time je zadaća istraživanja ostvarena, a oblikovani višekriterijski pristup model koji može ponuditi objektivne podloge za odlučivanje o najprikladnijim tehnologijama i sredstvima rada na brojnim različitim radilištima u hrvatskom šumarstvu.

Literatura

Ananda, J., G. Herath, 2003: The use of Analytic Hierarchy Process to incorporate stakeholder preferences into regional forest planning. *Forest Policy and Economics* 5(1): 13–26.

Diaz-Balteiro, L., C. Romero, 2008: Making forestry decisions with multiple criteria – a review and an assessment. *Forest ecology and management* 255(8-9): 3222–3241.

Field, D. B. 1973: Goal programming for forest management. *Forest Science* 19(2): 125–135.

Kangas, J., 1992: Multiple-use planning of forest resources by using analytic hierarchy process. *Scan. J. For. Res.* 7: 259–268.

Mendoza, G. A., W. Sprouse 1989: Forest planning and decision making under fuzzy environments: an overview and illustrations. *For. sci.* 35: 481–502.

Murray, D. M., K. Gadow 1991: Prioritizing mountain catchment areas. *J. environ. manage.* 32: 357–366.

Saty, T. L., 1977: A scaling method for priorities in hierarchical structures. *J.mathemat.psych.* 15: 234–281.

Saty, T. L., 1980: *The analytical hierarchy process*. McGraw-Hill, New York.

Šegotić, K., M. Šporčić, I., Martinić, 2003: The choice of a working method in forest stand thinning. *SOR '03 Proceedings – The 7th International Symposium on Operational Research in Slovenia*, Podčetrtek, Slovenia, September 24–26, 2003., p. 153–159.

Šegotić, K., M. Šporčić, I., Martinić, 2007: Ranking of the mechanisation working units in the forestry of Croatia. *SOR '07, Proceedings of the 9th International Symposium on Operational Research*, Nova Gorica, Slovenia, September 26–28, 2007., p. 247–251.

Wolfslehner, B., H. Vacik, M. J. Lexer, 2005: Application of the analytic network process in multi-criteria analysis of sustainable forest management. *Forest Ecology and Management* 207(1-2): 157–170.

Prilog 5.1

Ispitivanje za potrebe stručnoga projekta

„Optimizacija sustava pridobivanja drva i šumske prometne infrastrukture na strateško-taktičkoj razini planiranja“

Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Zavod za šumarske tehnike i tehnologije

Zagreb, 27. 03. 2018.

Zamolba i obavijest šumarskim stručnjacima (ispitanicima)

Poštovani,

Molimo Vas da za potrebe stručnoga projekta „Optimizacija sustava pridobivanja drva i šumske prometne infrastrukture na strateško-taktičkoj razini planiranja“ financiranog iz sredstava naknade za korištenje općekorisnih funkcija šuma (Ministarstvo poljoprivrede RH) ispunite priloženi anketni upitnik.

Za ispitivanje ste odabrani kao sudionici prezentacije projekta održane 18. 07. 2017. godine na istraživačkome poligonu u Upravi šuma Podružnici Bjelovar (šumarija Bjelovar, GJ Bjelovarska Bilogora, odsjek 14b i 14c).

Cilj anketnog upitnika „Odabir sustava pridobivanja drva AHP metodom“ je testiranje i izrada višekriterijskog modela za usporedbu i ocjenu (rangiranje) postojećih sustava pridobivanja drva te donošenje odluke o najpogodnijim sustavima pridobivanja drva za konkretne uvjete pojedinih šumskih sastojina (radilišta).

Ispitivanja i rezultati upitnika ne mogu neposredno djelovati na primjenu određenog sustava pridobivanja drva. No, zadaća istraživanja je razviti model koji može ponuditi objektivne podloge za odlučivanje o najprikladnijim tehnologijama i sredstvima rada na brojnim različitim radilištima u hrvatskom šumarstvu. Bez Vašega sudjelovanja navedenu zadaću nije moguće ostvariti.

Najtoplije zahvaljujemo na tome što ste prihvatili provedbu ispitivanja i odlučili popuniti upitnik te na taj način pomogli u provedbi projekta i izradi višekriterijskog modela za odabir sustava pridobivanja drva!

UPUTE I POJAŠNJENJA ZA ISPUNJAVANJE UPITNIKA

Za konkretnu sastojinu/radilište ispitanici ocjenjuju pogodnost primjene pojedinih sustava pridobivanja drva s obzirom na više različitih kriterija.

Definirani sustavi pridobivanja drva (alternative) koje se uspoređuju su:

Red. br.	Opis*
A1.	Sjekač i adaptirani poljoprivredni traktor (APT)
A2.	Sjekač i skider s vitlom
A3.	Sjekač i traktorska ekipaža
A4.	Sjekač i forvarder
A5.	Harvester i forvarder
A6.	Sjekač i vučena žičara
A7.	Sjekač i kamionska žičara

* Značajke i opis definiranih sustava pridobivanja drva detaljnije su prikazani u Prilogu 1 ovoga upitnika.

Pretpostavljeni kriteriji i parametri za ocjenu alternativa su:

<u>Kriteriji</u>	<u>Podkriteriji*</u>
• Tehnološko-biološki:	– Struktura doznačenog drva – Prometnost i prohodnost terena – Primarna i sekundarna otvorenost
• Ekonomski:	– Produktivnost – Ekonomičnost
• Ekološki:	– Oštećenje staništa (tlo, voda) – Oštećenje sastojine (dubeća stabla, pomladak) – Onečišćenje i zagađenje okoliša
• Ergonomski:	– Fizičko opterećenje radnika – Radni okoliš (buka, vibracije, ozljede...)
• Energijski:	– Potrošnja goriva, maziva, rezervnih dijelova
• Estetski:	– Krajobraz i socijalna funkcija šume

Metoda za ocjenu pogodnosti definiranih sustava pridobivanja drva je Analitički hijerarhijski proces (AHP) - za donošenje prijedloga odluke i odabir sustava pridobivanja drva provodi se usporedba u parovima. Usporedba pod/kriterija i alternativa se obavlja pomoću Saaty-eve skale, na način da se iskazuje relativna važnost jednog pod/kriterija naspram onoga s kojim se uspoređuje, odnosno relativna preferencija jedne alternative (sustava pridobivanja drva) u odnosu na onu s kojom se uspoređuje.

Saaty-eva skala za određivanje relativnih važnosti tj. preferencija:

Ocjena prioriteta	Opisna ocjena prioriteta	Objašnjenje
1	Jednaki prioritet	Dvije aktivnosti/opcije jednako doprinose cilju.
3	Umjereni prioritet	Na osnovi iskustva i procjene, daje se mala prednost jednoj aktivnosti/opciji.
5	Jaki prioritet	Na osnovi iskustva i procjene, daje se jaka prednost jednoj aktivnosti/opciji.
7	Vrlo jaki prioritet	Jedna aktivnost/opcija se strogo favorizira u odnosu na drugu i njezina dominacija dokazana je u praksi.
9	Apsolutni prioritet	Na najvećoj mogućoj razini dokazana je prednost jedne aktivnosti/opcije u odnosu na drugu.

** Međuuvrijednosti na Saaty-evoj skali (2, 4, 6, 8) predstavljaju kompromis između odgovarajućih susjednih vrijednosnih procjena.*

* Podkriterije dodatno opisuju sljedeći čimbenici tj. pokazatelji:

Struktura doznačenog drva – *dimenzije stabala, vrsta, sječna gustoća, srednje kubno stablo, veličina sječine, br. dozn. stabala po ha.*

Prometnost i prohodnost terena – *nagib terena, površinske prepreke, nosivost podloge, prohodnost terena*

Primarna i sekundarna otvorenost šuma – *srednja udaljenost privlačenja, mreža sekundarnih šumskih prometnica*

Produktivnost – *dnevni učinak*

Ekonomičnost – *troškovi proizvodnje*

Oštećenje staništa (tlo, voda) – *gaženje i sabijanje tla, ugrožavanje vodotokova*

Oštećenje sastojine (dubeća stabla, pomladak) – *oštećivanje preostalih stabala, uništavanje pomladka*

Onečišćenje i zagađenje okoliša – *emisije štetnih plinova, izljevanje goriva i maziva, ugrožavanje zaštićenih biljnih i životinjskih vrsta*

Fizičko opterećenje radnika – *frekvencija pulsa i potrošnja energije pri radu*

Radni okoliš – *utjecaj buke, vibracija, plinova, brojnost i težina ozljeda/profesionalnih oboljenja*

Potrošnja goriva, maziva, rezervnih dijelova – *utrošak goriva i maziva, rezervnih i potrošnih dijelova/materijala*

Krajobraz i socijalna funkcija šume – *utjecaj na krajolik te rekreativnu, turističku i zdravstvenu funkciju šume.*

Opis sastojine/radilišta:

UŠP Bjelovar, šumarija Bjelovar, GJ Bjelovarska Bilogora,

Odsjek 14b – mješovita sastojina običnog graba (84 %), obične bukve, hrasta lužnjaka, crne johe i hrasta kitnjaka; površina: 18,28 ha; starost: 79 godina; uređajni razred: sjemenjače običnog graba; drvena zaliha: 5.330 m³ (291,58 m³/ha); propisani intenzitet proreda u prvom polurazdoblju: 11,67 %; Doznačeno: 1.782 stabla (731,24 m³); sječna gustoća: 98 stabala/ha (40 m³/ha); srednji promjer doznačenih stabala: 21,7 cm; planirana srednja udaljenost primarnog transporta: 250 m.

Odsjek 14c – mješovita sastojinu obične bukve (50 %), običnog graba (44 %), hrasta kitnjaka i hrasta lužnjaka; površina: 9,07 ha; starost: 79 godina; uređajni razred: sjemenjače obične bukve; ophodnja: 100 godina; drvena zaliha: 3.681 m³ (405,84 m³/ha); propisani intenzitet proreda u prvom polurazdoblju: 11,08 %; doznačeno: 559 stabla (446,3 m³); sječna gustoća: 62 stabla/ha (49 m³/ha); srednji promjer doznačenih stabala: 26,4 cm; planirana srednja udaljenost primarnog transporta: 550 m.

ANKETNI UPITNIK

Odabir sustava pridobivanja drva AHP metodom

Upitnik se sastoji od tri dijela. U prvom dijelu se usporedbom u parovima iskazuje relativna važnost tj. prioritet postavljenih kriterija. U drugome se dijelu unutar svakoga kriterija iskazuje relativna važnost pojedinih podkriterija. U trećemu se dijelu usporedbom u parovima iskazuje relativna važnost (preferencija) definiranih sustava pridobivanja drva s obzirom na svaki od postavljenih podkriterija.

Molimo Vas da u usporedbi svakoga para označite samo jedan odgovor tj. polje (☒) !

I. Usporedba u parovima – Kriteriji:

KRITERIJI										
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Tehnološko-biološki	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Ekonomski
Tehnološko-biološki	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Ekološki
Tehnološko-biološki	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Ergonomski
Tehnološko-biološki	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Energijski
Tehnološko-biološki	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Estetski
Ekonomski	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Ekološki
Ekonomski	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Ergonomski
Ekonomski	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Energijski
Ekonomski	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Estetski
Ekološki	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Ergonomski
Ekološki	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Energijski
Ekološki	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Estetski
Ergonomski	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Energijski
Ergonomski	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Estetski
Energijski	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Estetski

II. Usporedba u parovima – Podkriteriji (s obzirom na kriterij kojem pripadaju):

TEHNOLOŠKO-BIOLOŠKI

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Struktura doznačenog drva	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Prometnost i prohodnost terena
Struktura doznačenog drva	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Primarna i sekundarna otvorenost
Prometnost i prohodnost terena	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Primarna i sekundarna otvorenost

EKONOMSKI

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Proizvodnost	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Ekonomičnost

EKOLOŠKI

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Oštećenje staništa (tlo, voda)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Oštećenje sastojine (dub. stabla...)
Oštećenje staništa (tlo, voda)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Onečišćenje i zagađenje okoliša
Oštećenje sastojine (dub. stabla...)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Onečišćenje i zagađenje okoliša

ERGONOMSKI

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Fizičko opterećenje radnika	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Radni okoliš (buka, vibracije...)

III. Usporedba u parovima – Alternative (s obzirom na pojedini podkriterij):

STRUKTURA DOZNAČENOG DRVA

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i skider s vitlom
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i traktorska ekipaža
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i traktorska ekipaža
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Harvester i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Harvester i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i vučena žičara	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara

PROMETNOST I PROHODNOST TERENA

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i skider s vitlom
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i traktorska ekipaža
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i traktorska ekipaža
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Harvester i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Harvester i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i vučena žičara	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara

PRIMARNA I SEKUNDARNA OTVORENOST

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i skider s vitlom
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i traktorska ekipaža
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i traktorska ekipaža
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Harvester i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara

Harvester i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i vučena žičara	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara

PROIZVODNOST

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i skider s vitlom
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i traktorska ekipaža
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i traktorska ekipaža
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Harvester i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Harvester i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i vučena žičara	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara

EKONOMIČNOST

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i skider s vitlom
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i traktorska ekipaža
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i traktorska ekipaža
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder

Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Harvester i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Harvester i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i vučena žičara	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara

OŠTEĆENJE STANIŠTA (TLO, VODA)

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i skider s vitlom
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i traktorska ekipaža
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i traktorska ekipaža
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Harvester i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Harvester i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i vučena žičara	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara

OŠTEĆENJE SASTOJINE (DUBEĆA STABLA, POMLADAK)

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i skider s vitlom
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i traktorska ekipaža
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i traktorska ekipaža
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder

Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Harvester i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Harvester i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i vučena žičara	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara

ONEČIŠĆENJE I ZAGAĐENJE OKOLIŠA

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i skider s vitlom
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i traktorska ekipaža
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i traktorska ekipaža
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Harvester i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Harvester i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i vučena žičara	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara

FIZIČKO OPTEREĆENJE RADNIKA

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i skider s vitlom
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i traktorska ekipaža
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i traktorska ekipaža
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara

Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Harvester i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Harvester i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i vučena žičara	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara

RADNI OKOLIŠ (BUKA, VIBRACIJE, OZLJEDE...)

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i skider s vitlom
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i traktorska ekipaža
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i traktorska ekipaža
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Harvester i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Harvester i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i vučena žičara	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara

POTROŠNJA GORIVA, MAZIVA, REZERVNIH DIJELOVA

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i skider s vitlom
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i traktorska ekipaža
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i traktorska ekipaža

Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Harvester i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Harvester i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i vučena žičara	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara

KRAJOBRAZ I SOCIJALNA FUNKCIJA ŠUME

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i skider s vitlom
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i traktorska ekipaža
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i APT	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i traktorska ekipaža
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i skider s vitlom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i forvarder
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i traktorska ekipaža	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Harvester i forvarder
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Sjekač i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Harvester i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i vučena žičara
Harvester i forvarder	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i vučena žičara	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sjekač i kamionska žičara

Sustavi pridobivanja drva	Sjekač – APT	Sjekač – Skider s vitlom	Sjekač – Traktor ekipaža	Sjekač – Forvarder	Harvester – Forvarder	Sjekač – Vučena žičara	Sjekač – Kamion, žičara
Osnovne značajke sustava pridobivanja drva							
Nacin kretanja drva	vuča drva jednim krajem oslonjenim o tlo	vučnim užem vitla	uže vitla + hidra. dizalica	izvoženje drva na kotaču vozila		iznošenje drva ovješeno o kolica (nosivo uže)	
Nacin prihvata drva	vučnim užem vitla (polu)deblovna			hidrauličnom dizalicom		podiznim / vučnim užem	
Pogodna metoda izradbe drva				sortimentna		prilagodba ovisno o značajkama stabala i žičare	
Mjesto izradbe (dorade) drva	pomoćno stovarište		mjesto sječe stabla (kod panja)			ovisno o metodi izradbe drva	
Potreba za prostranim stovarištima	velika		mala			velika	
Potreba za pomoćnim radnikom	za prerezišćem na pom. stovarištu i kopčanjem (osim u skupnome radu)			nema je		ovisno o metodi izradbe drva	
Prilagodljivost skupnome radu	velika			mala		velika	
Razina osposobljenosti radnika	mala do osrednja		velika		vrlo velika	osrednja do velika	vrlo velika
Optimalna udaljenost privlačenja, m	100 m	200 m		400 m		< 400 m**	< 800 m**
Najveća udaljenost privlačenja, m	200 m	300 m		800 m		** ovisno o najvećoj dužini nosivoga uža	
Uzdužni nagib terena, %	± 15 (20) %	± 35 %	± 15 %		± 30 %	bez ograničenja	
Osjetljivost na bočni nagib terena	vrlo velika	osrednja do velika	vrlo velika	velika		bez ograničenja	
Prikladnost pridob. tankih stabala	vrlo velika	vrlo velika	osrednja do velika	velika, pri sakupljenom drvu uz sek. prometnicu		bez ograničenja	
Prikladnost pridob. debljih stabala	osrednja	velika*	osrednja	vrlo velika	velika (BHD < 40 cm)	osrednja do velika	
Prikladnost za male sječine		vrlo velika	osrednja	osrednja do velika		osrednja do velika	
Prikladnost oštećenja šumskog tla		velika	vrlo velika pri ograničenoj nosivosti tla	osrednja		mala	mala
Mogućnost oštećenja dubelih stabala						ne postoji pri potpunoj odignutosti drva od tla	
Tipično područje pogodnosti primjene sustava pridobivanja drva	prorade šuma nizinskog i sve vrste priroda bez brežuljkastog područja	prorade šuma nizinskog i kas. prorade i oplođ. sječe brežuljkastog područja	prorade šuma nizinskog i kas. prorade i oplođ. sječe brežuljkastog područja	prorade šuma nizinskog i kas. prorade i oplođ. sječe brežuljkastog područja	kulture četinjača i brzorastućih listača	prorade šuma brežuljka-stog i brdskog područja	oplođne i preborne sječe brdskih te gorskih šuma
Tipični oblici mreže sekundarnih šumskih prometnica	Raspored »riblja kost«		Paralelan (usporedan) raspored				
Traktorske vlake – negrađene sekund. prometnice, prosječni i/ili obilježeni dijelovi za šumska vozila prometnoga terena (uzdužnoga nagiba <20(25) %)							
Traktorski putovi – građene sek. prometnice uzdužnoga nagiba <20(25) %, na terenima neprometnim za šumska vozila							

* odabir skidera (laki, srednje teški, teški) zasnovan je na vrsti priroda, odnosno dimenzijama doznačenih stabala; promjenom metode izradbe drva prilagođuje se količina drva u teretu mogućnostima skidera

Prema: Poršinsky, T., 2008: Sustavi pridobivanja drva. Predavanje iz kolegija »Pridobivanje drva I«, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–20.

6. Diseminacija rezultata Projekta

Tijekom izvještajnoga razdoblja članovi istraživačke skupine poduzeli su niz aktivnosti u cilju diseminacije rezultata Projekta:

1) Prijavljene su dvije teme predavanja u okviru Programa stručnoga usavršavanja članova Hrvatske komore inženjera šumarstva i drvne tehnologije za 2018. godinu.

Prof. dr. sc. Tomislav Poršinsky: Kriteriji određivanja gustoće primarne šumske prometne infrastrukture

Sažetak predavanja: Gustoća cesta je dobro poznat parametar koji je dugo vremena u šumarskim krugovima predstavljao osnovnu veličinu prema kojoj se određivala razina dosegnute postojeće, ali i željene primarne otvorenosti nekoga šumskog područja. Kao pokazatelj otvorenosti šuma, gustoća cesta je brojčani podatak (m/ha ili km/1000 ha) koji ne govori puno o kvaliteti prostornoga rasporeda primarne šumske prometne infrastrukture šumskoga područja, već samo o njihovoj kvantiteti. Razvojem GIS-a i uspostavom digitalnog registra primarne prometne šumske infrastrukture ovaj je osnovni nedostatak otklonjen.

Osnovni metodološki problem izračuna gustoće cesta, kao pokazatelja otvorenosti šuma, je nepostojanje kriterija za izračun duljine pojedine prometnice (ili njenih segmenata) koja sudjeluje u obračunu, već samo načelnih smjernica s obzirom na dvostrano (puna duljina prometnice), odnosno jednostrano (pola duljine prometnice) privlačenje drva.

U hrvatskome šumarstvu, trenutno važeće kriterije za određivanja gustoće primarne šumske prometne infrastrukture, definiraju »Tehnički uvjeti za gospodarske ceste« (Šikić i dr. 1989), koji su u sažetom obliku uključeni u Pravilnike o uređivanju šuma (NN 111/06, NN 141/08) te (NN 79/15). Spomenuti su kriteriji nedovoljno precizni i nejasni te šumarskim stručnjacima prepuštaju donošenje niza subjektivnih odluka.

Težište predloženog predavanja, obrađivat će prikaz ali i osvrt na četiri osnovna (eliminacijska) i pet dodatnih (prostornih) kriterija izračuna duljine sastavnice primarne šumske prometne infrastrukture koja se uzima u obzir pri obračunu gustoće cesta. Navedeni kriteriji, sastavni su dio Pravilnika o provedbi mjere M04 »Ulaganja u fizičku imovinu«, podmjere 4.3. »Potpora za ulaganja u infrastrukturu vezano uz razvoj, modernizaciju i prilagodbu poljoprivrede i šumarstva«, tipa operacije 4.3.3. »Ulaganje u šumsku infrastrukturu« iz Programa ruralnog razvoja Republike Hrvatske za razdoblje 2014. – 2020. (NN 106/15, 65/17, 77/17). Prezentacija će se zasnivati na ortosnimkama koje su združene sa fotografijom (slikovni dio registra primarne šumske prometne infrastrukture iz studije slučaja) za najčešće/karakteristične primjere primjene kriterija pri određivanju gustoće primarne šumske prometne infrastrukture.

Pored navedenoga objasniti će se značenje i kvalitativnih pokazatelja primarne otvorenosti šuma (srednje geometrijske udaljenosti privlačenja i relativne otvorenosti šuma), na primjeru jedne gospodarske jedinice.

doc. dr. sc. Dinko Vusić: Mehanizirani sustavi pridobivanja drva

U uvodnom će se dijelu predavanja raspraviti ključni razlozi uvođenja mehaniziranih sustava pridobivanja drva u različitim operativnim okruženjima (nedostatak radne snage, snižavanje troškova rada, utjecaj premija osiguranja, ...) i prikazati osnovne značajke pojedinih inačica mehaniziranih sustava (pridobivanje drva stablovnom metodom primjenom feller-bunchera, skidera i procesora karakteristično za Sjevernu Ameriku i pridobivanje drva sortimentnom metodom primjenom harvesteri i forvardera karakteristično za srednju i sjevernu Europu). Osim glavnih razvojnih smjernica mehaniziranih sustava pridobivanja drva obradit će se i primjena modificiranih silažnih kombajna u kulturama kratkih ophodnji, primjena energijskih višezahvatnih sječnih glava te mogućnost korištenja procesorske glave u sustavima iznošenja drva žičarom. Posebna će se pozornost posvetiti redizajniranju sustava pridobivanja drva uvođenjem iverača, odnosno mehaniziranju izrade energijskoga drva.

Strojna sječa i izrada harvesterima te izvoženje izrađenih drvnih sortimenata forvarderima (kao najizgledniji smjer razvoja, odnosno mehaniziranja radova pridobivanja drva u Republici Hrvatskoj) analizirat će se na razini sustava pridobivanja drva naglašavajući osnovne preduvjete učinkovite primjene (adekvatna prometna infrastruktura, doznaka stabala, sjekored, ...). Poseban će se naglasak staviti na interakciju harvestera i forvardera u cilju povećanja proizvodnosti (npr. utjecaj uhrpavanja prilikom izrade harvesterom na učinkovitost utovara drvnih sortimenata forvarderom) ali i ovisnost učinkovitosti cjelokupnoga sustava o propisanom načinu izvođenja radova (izrada drvnih sortimenata sukladno normama, stupanj dorade, visina panjeva, štete na dubecim stablima,...), odnosno evidenciji izrađenih proizvoda (mjesto preuzimanja, način mjerenja, obilježavanja i popraćivanja proizvoda, ...).

Detaljno će se obraditi rezultati proizvodnosti do sad provedenih istraživanja strojne sječe i izrade harvesterima u Republici Hrvatskoj (crnogorične šumske kulture, šumske plantaže, proredne bjelogorične sastojine, ...) te identificirati i objasniti osnovni utjecajni čimbenici odlučujući pri izboru navedenih sredstava rada u različitim očekivanim područjima primjene. Posebno će se obraditi očekivani troškovi strojnoga rada harvestera; analizirati struktura kalkulatirnoga troška harvestera i cjelokupnoga sustava pridobivanja drva te ista usporediti sa troškovima djelomično mehaniziranih sustava s posebnim naglaskom na utjecaj godišnjeg iskorištenja strojeva.

U zaključnom će se dijelu predavanja sintetizirati rezultati prikazanih primjera u svjetlu osnovnih zakonitosti pridobivanja drva (zakonitost obujma proizvodnje, zakonitost vrste proizvoda i zakonitosti obujma komada) s posebnim naglaskom na očekivane trendove odnosa troškova i proizvodnost, prepoznatih i opisanih konceptom diskontinuirane evolucije (Samsetov zakon), a sve s ciljem poticanja stručne rasprave o smjernicama budućeg razvoja mehaniziranog pridobivanja drva u hrvatskome šumarstvu.

Navedena je predavanja Odbor za stručno usavršavanje HKIŠDT uvrstio u program Stručnog usavršavanja članova HKIŠDT za 2018. godinu (prihvaćen 13. ožujka 2018. godine). Do sada su predavanja održana na području UŠP Karlovac (17. travnja 2018. godine), UŠP Buzet (25. travnja 2018. godine) i UŠP Bjelovar (7. svibnja 2018. godine).

Tiskani (i digitalni) materijali prezentacija nalaze se u prilogu ovoga Izvješća. Prezentirani rezultati, iako nisu posebno navedeni u ovom Izvješću, predstavljaju sastavni dio ovoga Izvješća.

2) Članovi istraživačke skupine pripremili su šest znanstvenih radova s rezultatima istraživanja koja su bila (su)financirana ovim Projektom. U izvještajnom razdoblju (su)financirano je i sudjelovanje članova istraživačke skupine na četiri međunarodna savjetovanja za koja su navedeni radovi pripremljeni.

- Bačić, M., M. Šušnjar, Z. Pandur, M. Šporčić, M. Landekić, 2018: Physical Workload while Working with Hedging Bill and Battery Cutter in Tending of Pedunculate Oak. 7th International Ergonomics Conference ERGONOMICS 2018 – Emphasis on Wellbeing, Zadar, Croatia, 59–64.
- Janeš, D., T. Poršinsky, T. Pentek, Ž. Tomašić, I. Papa. A. Đuka, 2018: Terrain classification for timber harvesting and forest accessibility. FORMEC 2018 – Improved Forest Mechanisation: mobilizing natural resources and preventing wildfires, Madrid, Spain, str. 2.
- Landekić, M., M. Šporčić, I. Martinić, M. Bakarić, 2018: Ocjena radnog položaja tijela šumskog radnika sjekača. VII. međunarodni stručno-znanstveni skup ZAŠTITA NA RADU I ZAŠTITA ZDRAVLJA, Zadar, Hrvatska, p. 6.

- Landekić, M., M. Šporčić, I. Martinić, M. Šušnjar, Z. Pandur, M. Bačić: 2018: Evaluation and Comparison of Forest Machinery Operators' Cardiovascular Workload. FORMEC 2018 – Improved Forest Mechanisation: mobilizing natural resources and preventing wildfires, Madrid, Spain, str. 9.
- Pandur, Z., A. Đuka, I. Papa, M. Bačić, D. Janeš, D. Vusić, 2018: Energy efficiency of mechanized thinning in broadleaf stand. »Natural resources, green technology and sustainable development/3-GREEN2018«, Zagreb, Croatia, 116–120.
- Vusić, D., M. Plantak, I. Papa, A. Đuka, T. Pentek, T. Poršinsky, 2018: Analysing the Efficiency of Mechanised Thinning in Broadleaf Stands. FORMEC 2018 – Improved Forest Mechanisation: mobilizing natural resources and preventing wildfires, Madrid, Spain, str. 9.

Pet primjeraka svakoga rada nalaze se u prilogu ovoga Izvješća. Rezultati prezentirani u navedenim radovima, iako nisu posebno navedeni u ovom Izvješću, predstavljaju sastavni dio ovoga Izvješća.

PLANIRANE AKTIVNOSTI

Tijekom mjeseca srpnja (u Ugovorom definiranom roku 60 dana od dana završetka Projekta) istraživačka će skupina izraditi Završno izvješće i dostaviti ga Ministarstvu poljoprivrede. Sukladno Članku 7. Ugovora Završno izvješće će sadržavati opisni i financijski dio. »Opisni dio će sadržavati prikaz tijeka i rezultata istraživanja, a na temelju analize i sintetize rezultata formulirat će se glavne spoznaje u obliku konkretnih preporuka, smjernica i zaključaka ciljeva istraživanja kojima se definiraju mogućnosti za cjelovito rješenje temeljnog problema zbog kojega je Projekt pokrenut, sukladno sadržaju i obliku prihvaćenog Projekta.«

U skladu s Člankom 12. Ugovora, a sukladno Smjernicama Europske unije o državnim potporama u sektoru poljoprivrede i šumarstva te u ruralnim područjima »Rezultati će Istraživanja ostati dostupni na mrežnim stranicama Fakulteta tijekom razdoblja od najmanje pet godina počevši od datuma završetka Projekta«, a članovi će istraživačke skupine, u okviru svojih mogućnosti, nastaviti rad na diseminaciji rezultata Projekta i promicanju primjera dobre prakse proizašlih iz provođenja ovoga Projekta svekolikoj stručnoj i znanstvenoj javnosti.

U Zagrebu, 28. lipnja 2018. godine

Voditelj projekta:

doc. dr. sc. Dinko Vusić

PRILOG: Ovjereno financijsko izvješće

Separati radova

Prilog 1 Interaktivna baza recentnih izvora literature strojne sječe i izrade

Prilog 2 Katalog sustava pridobivanja drva

Prilog 3 Katalog šumskih strojeva