

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

Luka RUPNIK

**STRUKTURNE SPREMEMBE IN DINAMIKA
VRZELI V GOSPODARSKIH GOZDOVIH GGE
TRNOVO**

Magistrsko delo
Magistrski študij – 2. stopnja

Ljubljana, 2014

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

Luka RUPNIK

**STRUKTURNE SPREMEMBE IN DINAMIKA VRZELI V
GOSPODARSKIH GOZDOVIH GGE TRNOVO**

Magistrsko delo
Magistrski študij – 2. stopnja

**STRUCTURAL CHANGES AND GAP DYNAMICS IN
MANAGEMENT FORESTS OF GGE TRNOVO**

M. Sc. Thesis
Master Study Programmes

Ljubljana, 2014

Magistrsko delo je zaključek magistrskega študijskega programa druge stopnje Gozdarstva in upravljanja gozdnih ekosistemov. Opravljeno je bilo na Oddelku za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani ter na Gozdarskem inštitutu Slovenije v laboratoriju oddelka za načrtovanje in monitoring gozdov in krajine.

Študijska komisija Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete je na seji dne 18. 2. 2014 za mentorja magistrskega dela imenovala doc. dr. Davida Hladnika, za recenzenta pa prof. dr. Jurija Diacija.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Podpisani izjavljam, da je magistrsko delo rezultat lastnega raziskovalnega dela. Izjavljam, da je elektronski izvod identičen tiskanemu. Na univerzo neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravici shranitve avtorskega dela v elektronski obliki in reproduciranja ter pravico omogočanja javnega dostopa do avtorskega dela na svetovnem spletu preko Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete.

Luka Rupnik

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Du2
DK	GDK 228(497.4Trnovo)(043.2)=163.6
KG	dinamika vrzeli/prostorska razmestitev dreves/digitalni stereoploter/lidar/gospodarski gozdovi
AV	RUPNIK, Luka
SA	HLADNIK, David (mentor)
KZ	SI-1001 Ljubljana, Večna pot 83
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire
LI	2014
IN	STRUKTURNE SPREMEMBE IN DINAMIKA VRZELI V GOSPODARSKIH GOZDOVIH GGE TRNOVO
TD	Magistrsko delo (Magistrski študij – 2. stopnja)
OP	IX, 82 str., 14 pregl., 32 sl., 92 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	V GGE Trnovo je bilo leta 2010 v delu oddelka 13 s strojno sečnjo izvedeno redčenje čistih enomernih bukovih drogovnjakov, v preostalem delu oddelka v podobnih sestojih redčenja še ni bilo. Med redčenim in neredčenim delom oddelka smo ugotovili statistično značilne razlike v temeljnici, srednje temeljničnem premeru ter lesni zalogi, statistično značilnih razlik pa nismo ugotovili pri številu dreves ter Reinekejevem indeksu gostote sestoja (SDI). Analiza prostorske razmestitve je pokazala, da z redčenji ustvarjamo bolj homogeno prostorsko razmestitev dreves v sestoju. V oddelku smo razmejili vrzeli pred (l. 2006) in po (l. 2010) redčenju. Intenzivnost gospodarjenja vpliva na velikost in število vrzeli, saj se je površinski delež vrzeli v neredčenem delu oddelka iz 1,3 % zmanjšal na 1,1 %, medtem ko se je delež vrzeli v redčenih sestojih povečal iz 0,41 % na 10,7 %. V obeh obdobjih so v številu (90 % oz. 86 %) prevladovale majhne vrzeli (<200 m²). V oddelku 30, z raznodobnimi sestoji, smo vrzeli razmejevali z lidarskimi podatki. Z razmejevanjem vrzeli leta 2011, na različno ocenjenih višinah vegetacije smo ugotovili, da v raznodobnih sestojih prevladujejo sestavljene vrzeli. Delež vrzeli v površini oddelka se je iz 5,6 % leta 2011 povečal na 18,5 % v letu 2013.

KEY WORD DOCUMENTATION

DN Du2
DC FDC 228(497.4Trnovo)(043.2)=163.6
CX gap dynamics/spatial tree distribution/digital stereoplotter/lidar/management forest
AU RUPNIK, Luka
AA HLADNIK, David (supervisor)
PP SI-1001 Ljubljana, Večna pot 83
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Forestry and Renewable Forest Resources
PY 2014
TI STRUCTURAL CHANGES AND GAP DYNAMICS IN MANAGEMENT FORESTS OF GGE TRNOVO
DT M. SC. THESIS (Master Study Programmes)
NO IX, 82 p., 14 tab., 32 fig., 92 ref.
LA sl
AL sl/en
AB In 2010, in the part of section 13 of the forest management unit Trnovo a thinning was performed with mechanized harvest technology in pure beech polewood stands, while in the other part of this section with similar forest stands, the thinning has not been made. We found significant differences between thinning and no thinning part of section in stand basal area, quadratic mean diameter and volume. No significant difference was found for number of trees and Reineke's stand density index. Analysis of spatial tree distribution has shown that thinnings create more homogenous spatial patterns of trees in stands. We delineated the gaps before (year 2006) and after (year 2010) thinning. Gap dynamics has shown that intensity of forest management influence the area and number of gaps. The spatial proportion of gaps decreased from 1,3 % to 1,1 % in the part of section without thinning and increased from 0,41 % to 10,7 % after thinnings. In the both periods small gaps (<200 m²) prevailed with 90 % and 86 %, respectively. In the section 30 with unevenaged stands we delineated the gaps with lidar data. Gap delineation on different heights of trees and other vegetation in year 2011 has shown, that in unevenaged stands prevailed gaps of different tree heights. The proportion of gap area in this section has increased from 5,6 % in 2011 to 18,5 % in 2013.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORD DOCUMENTATION.....	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VIII
1 UVOD	1
1.1 CILJI NALOGE IN HIPOTEZE	3
2 PREGLED OBJAV	5
2.1 OPREDELITEV VRZELI	5
2.2 METODE ZAZNAVANJA VRZELI	5
2.2.1 Lasersko skeniranje.....	7
2.3 DINAMIKA VRZELI V GOZDNIH REZERVATIH	9
2.4 PROSTORSKA RAZMESTITEV DREVES	10
2.5 SESTOJNE VRZELI IN STROJNA SEČNJA.....	12
3 OBJEKT RAZISKAVE	14
3.1 TESTNO OBMOČJE	16
3.1.1 1. Testno območje (oddelek 13)	16
3.1.2 Dosedanje gospodarjenje	19
3.1.3 2. Testno območje (oddelek 30)	22
3.1.4 Projekt ManFor C.BD.....	24
4 MATERIALI IN METODA DELA	25
4.1 DOLOČITEV VZORČNE MREŽE	25
4.2 POSTAVITEV VZORČNIH PLOSKEV IN POPIS PLOSKEV NA TERENU .	26
4.3 ANALIZA PODATKOV	28
4.3.1 Primerjava redčenega in neredčenega dela oddelka	28
4.3.2 Rastiščni indeks (SI)	30
4.3.3 Indeks gostote sestoja (SDI).....	31
4.3.4 Prostorska razmestitev dreves.....	32
4.4 OCENA SESTOJNIH PARAMETROV V ODDELKU 13	33
4.4.1 Sestojne gostote	33
4.4.2 Višinske krivulje za ugotavljanje tarif in lesne zaloge	36
4.5 RAZMEJEVANJE VRZELI NA LETALSKIH POSNETKIH.....	37
4.5.1 Izdelava kart vrzeli iz leta 2006 in 2010	37
4.6 LIDARSKO RAZMEJEVANJE VRZELI	43
4.6.1 Razmejevanje vrzeli z lidarskimi podatki	45
5 REZULTATI.....	47
5.1 RAZLIKE MED REDČENIM IN NEREDČENIM DELOM ODDELKA.....	47
5.2 PARNE PRIMERJAVE NA STALNIH VZORČNIH PLOSKVAH.....	47

5.3	SDI	48
5.4	PROSTORSKA RAZMESTITEV DREVES	49
5.5	VRZELI	51
5.5.1	Dinamika vrzeli v oddelku 13 (2006-2011).....	51
5.5.2	Primerjava metod razmejevanja vrzeli	55
5.6	RAZMEJEVANJE VRZELI Z LIDARSKIMI PODATKI	59
5.6.1	Dinamika vrzeli v oddelku 30 (2011-2013).....	62
6	RAZPRAVA.....	66
6.1	SESTOJNE GOSTOTE	66
6.2	PROSTORSKA RAZMESTITEV	68
6.3	VRZELI	69
7	POVZETEK.....	72
8	VIRI	74

ZAHVALA

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Delež površine subasociacij <i>Omphalodo-Fagetum typicum</i> in <i>Omphalodo-Fagetum asperuletosum</i> v odsekih oddelka 13	18
Preglednica 2: Posek v odsekih 30a in 30b v letih 2010, 2011 in 2012.....	24
Preglednica 3: Število dreves na vzorčnih ploskvah v oddelku 13 po vrstah in debelinskih stopnjah (april 2014).....	33
Preglednica 4: Število dreves na vzorčnih ploskvah (N/ploskev) in hektarske vrednosti števila dreves (N/ha), temeljnica (G), srednje temeljnični premer (d_g) in lesna zaloga (V), za posamezne vzorčne ploskve v oddelku 13 (april 2014).....	34
Preglednica 5: Statistični parametri za analizo povprečnih vrednosti temeljnice (G), števila dreves, (N/ha) srednje temeljničnega premera (d_g) in lesne zaloge (V) v oddelku 13 (april 2014) (n=38)	35
Preglednica 6: Ocene temeljnice (G), števila dreves na hektar (N/ha), srednjemeljničnega premera (d_g) ter lesne zaloge (V) v oddelku 13 na stalnih vzorčnih ploskvah leta 2002 in aprila 2014.....	35
Preglednica 7: Povprečne vrednosti temeljnice (G), števila dreves na hektar (N/ha), srednje temeljničnega premera (d_g) ter lesne zaloge (V) na stalnih vzorčnih ploskvah za koncentrične in 5 arske ploskve v oddelku 13(n=9) (april 2014).....	36
Preglednica 8: Lastnosti letalskega lidarskega snemanja iz leta 2011 in 2013.....	44
Preglednica 9: Rezultati <i>t</i> -testa primerjave redčenih in neredčenih delov za sestojne parametre temeljnice (G), števila dreves na hektar (N/ha), srednje temeljničnega premera (d_g) in lesne zaloge (V) v oddelku 13 (april 2014).....	47
Preglednica 10: Preizkus razlik za ocene temeljnice (G), srednje temeljničnega premera (d_g), števila dreves na hektar (N) ter lesne zaloge (V) na stalnih vzorčnih ploskvah v oddelku 13 za parne primerjave po metodah: 1= koncentrične ploskve 2002, 2 = koncentrične ploskve 2014, 3 = 5 arske ploskve 2014.....	48
Preglednica 11: Primerjava srednje temeljničnega premera (d_g), števila dreves na hektar (N/ha), indeksa gostote dreves (SDI) ter statistični parametri <i>t</i> -testa za test aritmetičnih sredin SDI med redčenim in neredčenim delom oddelka 13 (SD – standardni odklon, SE – standardna napaka)	48
Preglednica 12: Lastnosti razmejenih vrzeli pri različno ocenjeni višini dreves in vegetacije v odsekih 30a in 30b leta 2011	59
Preglednica 13: Površine posameznih vrst vrzeli v raznodobnih gozdovih v odseku 30a in 30b leta 2011. V oklepaju so prikazani deleži vrst vrzeli glede na celotno površino obravnavanega območja.	60
Preglednica 14: Površine posameznih vrst novih vrzeli v raznodobnih gozdovih odseka 30a in 30b leta 2013. V oklepaju so prikazani deleži vrst vrzeli glede na celotno površino obravnavanega območja	62

KAZALO SLIK

Slika 1: Shema laserskega skeniranja površja in odbojev laserskega žarka vzdolž vegetacije, kjer amplituda predstavlja intenziteto odbitega valovanja, ki prepotuje razdaljo mesto odboja-senzor in pade na sprejemni element senzorja.....	7
Slika 2: GGE Trnovo na izseku iz satelitskega posnetka Landsat TM iz leta 2005. Na zahodnem robu posnetka leži Nova Gorica.....	14
Slika 3: Oddelek 13 (rdeč poligon) v GGE Trnovo.....	17
Slika 4: Čisti bukov drogovnjak v neredčenem delu oddelka 13 v aprilu 2014	20
Slika 5: Bukovi sestoji po redčenju v letu 2010 (februar 2012)	21
Slika 6: Oddelek 30 z izbranimi odsekoma 30a in 30b.....	23
Slika 7: Vzorčne mreže v oddelku 13 s postavljenimi stalnimi in enkratnimi vzorčnimi ploskvami (rumene - stalne vzorčne ploskve; rdeče – enkratne ploskve za namen raziskave)	25
Slika 8: Pripomočki in orodja za delo na terenu	27
Slika 9: Odseka 13b in 13c s točkami postavljenih vzorčnih ploskev (rumene - stalne vzorčne ploskve; rdeče – enkratne ploskve za namen raziskave)	29
Slika 10: Odsek 13a s točkami postavljenih vzorčnih ploskev (rumene - stalne vzorčne ploskve; rdeče – enkratne ploskve za namen raziskave)	29
Slika 11: Deleži števila dreves po starostnih razredih v oddelku 13 (maj 2014).....	30
Slika 12: Primerjava povprečne in dominantne višinske krivulje bukve v oddelku 13 (april 2014).....	37
Slika 13: Oddelek 13 na ortofoto posnetku leta 2006.....	38
Slika 14: Oddelek 13 na ortofoto posnetku leta 2010.....	38
Slika 15: Vzorec operatorja <i>Manhattan</i> s širino 3 pikslov	40
Slika 16: Karta vrzeli v oddelku 13 po segmentaciji letalskih posnetkov iz leta 2010	41
Slika 17: Digitalni model reliefa (levo) in digitalni model krošenj (desno).....	45
Slika 18: Teoretični in dejanski koeficient variacije za oceno začetnih razmikov med drevesi za ugotavljanje prostorske razmestitve dreves v oddelku 13 (N=38) (april 2014). ..	49
Slika 19: Teoretični in dejanski koeficient variacije za oceno začetnih razmikov med drevesi za ugotavljanje prostorske razmestitvedreves med redčenim in neredčenim delom oddelka 13 (april 2014) (Neredčen, n=15; Redčen, n= 17).....	50
Slika 20: Teoretični in dejanski koeficient variacije za oceno začetnih razmikov med drevesi za ugotavljanje prostorske razmestitvedreves na stalnih vzorčnih ploskvah v oddelku 13 (april 2014) (N=6)	50
Slika 21: Karta vrzeli v oddelku 13 leta 2006	52
Slika 22: Karta vrzeli v oddelku 13 leta 2010)	53
Slika 23: Površine pasov v razmejenih vrzelih oddelka 13 v letu 2010	54
Slika 24: Porazdelitev vrzeli v oddelku 13 po velikostnih razredih ter deleži razredov glede na površino celotnih vrzeli na ortofoto posnetkih leta 2010	55

Slika 25: Delež vrzeli v oddelku 13 po velikostnih razredih po segmentaciji in po dopolnitvi z stereomodelom na ortofoto posnetkih leta 2010	56
Slika 26: Prikaz razlik med končno karto vrzeli (sive lise) in vrzeli po segmentaciji (rdeče linije poligonov)	57
Slika 27: Prikaz izboljšane prostorske natančnosti z izdelavo karte vrzeli s pomočjo stereomodela.....	58
Slika 28: Deleži števila vrzeli v oddelku 30 pri različni oceni višine dreves in druge vegetacije leta 2011	59
Slika 29: Karta vrzeli v odsekih 30a in 30b leta 2011 pri različno ocenjenih višinah dreves in druge vegetacije (Vir: Poročilo o projektni ..., 2013; Prostorski podatki, ZGS, 2013)...	61
Slika 30: Porazdelitev deležev števila in površine vrzeli po velikostnih razredih v odsekih 30a in 30b leta 2011 in 2013 (N= število; P=površina).....	62
Slika 31: Karta vrzeli leta 2013 v odsekih 30a in 30b	63
Slika 32: Karta novonastalih vrzeli v obdobju med letoma 2011 in 2013 v odsekih 30a in 30b z prikazanimi središči raziskovalnih ploskev projekta ManFor C.BD. . Oznake: T = Trnovo, BU = bukev, JE = jelka, SM = smreka, STO = 100% posek lesne zaloge, POL = 50 % posek lesne zaloge, KON = brez ukrepa	64

1 UVOD

Gozd je naš največji suhozemni naravni ekosistem, s katerim je človek tesno povezan že iz daljne preteklosti, saj je iz njega pridobival hrano, les pa je uporabljal za gretje, izdelavo orodij, orožij, preprostih bivališč, vozil. Les je tako, poleg kamna in kosti, človekov najstarejši in najbolj vsestranski spremljevalec (Cimperšek, 2012; Kotar, 2011).

Ker se je v preteklosti zdelo, da gozd predstavlja neizčrpen vir hrane in surovin, pa človek gozda ni uporabljal le za preživetje, ampak je začel gozd izkoriščati. Vendar pa so izsekavanje gozda v kmetijske namene, netrajnostno gospodarje z gozdom, razvoj infrastrukture (uporaba lesa v gradbene namene), izkoriščanje drugih fosilnih goriv, onesnaževanje, gozdni požari in podnebne spremembe privedle do hitrega izginjanja gozdov v svetovnem merilu (Tome, 2010; Cimperšek, 2012).

Tudi v slovenskem prostoru je človek tisočletja krčil gozdove zaradi njiv, pašnikov, lesa za gradnjo, potreb glažutarstva, železarstva, rudnikov in naselij (Tome, 2010). Prav bližina Benetk, Gorice ter odprtje rudnika živega srebra v Idriji so bili glavni vzrok za krčenje in kronično pomanjkanje lesa ter vzbuditev zavesti o trajni rabi v tamkajšnjih gozdovih. Zato so bili za tolminske gozdove (Flameckov načrt iz leta 1771), Trnovski gozd in gozdove Idrijskega rudnika živega srebra izdelani prvi gozdnogospodarski načrti na območju Slovenije, s katerimi so zagotavljali trajnost donosov iz gozda (Gozdnogospodarski načrt..., 2011; Diaci, 2006). Proti koncu 19. stol pa se gozdnogospodarsko načrtovanje pojavi tudi na Kočevskem in Notranjskem, kjer Leopold Hufnagl v Auerspergovih gozdovih razvije nov sistem prebiralnega gospodarjenja, Heinrich Schollmayer pa v gozdovih Snežnika posnema Hufnaglov sistem in razvije še kontrolno metodo gospodarjenja. Pomemben mejnik trajnostne rabe gozdov v Sloveniji je tudi prepoved golosečnega gospodarjenja leta 1949 in uveljavitev sonaravnega gospodarjenja (Bončina, 2009).

Sonaravno gospodarjenje zagotavlja mnogonamensko rabo gozdov, ki vključuje trajno, rastišču primerno in okolju prijazno rabo gozdov. Namen sonaravnega gospodarjenja ni vračanje gozdov v pragozdne oblike, ampak način, kako naravne procese, ki se dogajajo v pragozdovih, prenesti v gospodarske gozdove in jih z ukrepi zavirati ali pospeševati, izrabljati samodejnost in pri tem ohranjati gozd na visoki produkcijski ravni (Kotar, 2011; Bončina, 2009). Ker z ukrepi spreminjamo zgradbo v gospodarskih gozdovih, je potrebno poznati procese in zgradbo pragozdov, kakor tudi zgradbo gospodarskih gozdov ter imeti znanja iz področij fiziologije drevesnih vrst ter ekologije gozdov (Kotar, 2011).

V Sloveniji so se v sklopu sonaravnega gospodarjenja z gozdovi uveljavile tri tehnike gojenja gozdov, ki temeljijo na načelu nege gozdov: (1) skupinsko postopno gojenje

gozdov, (2) prebiralno gojenje gozdov, (3) sproščena tehnika gojenja gozdov (Diaci, 2006). Eden izmed temeljnih ukrepov nege v enomernih gozdovih je redčenje (Bončina in Kadunc, 2012; Daume in Robertson, 2000). Redčenje ima tako najbolj pomemben vpliv na razvoj gospodarskega gozda, saj je glavno orodje za kontrolo sestojne gostote s ciljem povečanja rasti drevesa ter kakovosti lesa (Juodvalkis in sod., 2005).

Gozd je dinamičen ekosistem, kjer so procesi in strukture vzajemno povezani, kar pomeni, da procesi vplivajo na gozdno strukturo, struktura pa vpliva na procese v gozdnem ekosistemu (Szmyt, 2012). Tudi na Slovenskem je bilo narejenih veliko raziskav na temo, kako različni načini nege v gospodarskih gozdovih vplivajo na povečanje prirastka, stabilnosti, kakovosti in poškodovanosti gozdnih sestojev (npr: Bončina, 1994; Cimperšek, 2002; Saje, 2011; Laznik 2011). Z odstranjevanjem dreves pri redčenjih imamo možnost vplivati tudi na delež, število in obliko vrzeli, ki se pojavijo na mestih, kjer so bila odstranjena drevesa. Če želimo s sonaravnim gospodarjenjem v gospodarskih gozdovih posnemati naravne procese v gozdovih, je pomembno tudi poznavanje deleža vrzeli, porazdelitev velikosti vrzeli ter njihove oblike v gozdovih (Dröfser in von Lüpke, 2005). Poleg tega pa z odstranjevanjem dreves vplivamo še na prostorsko razmestitev dreves v gozdu. Na podlagi prostorskih vzorcev lahko statistično ocenjujemo ekološke in zgodovinske procese v gozdnih sestojih, saj drevesa živijo predolgo, da bi na posameznih drevesih opravljali eksperimentalne raziskave (Gavrikov in Stoyan, 1995).

Po podatkih Zavoda za gozdove Slovenije (ZGS) (Gozdnogospodarski in lovsko ..., 2012) je bilo v Slovenskih gozdovih v obdobju med letoma 2001 in 2010 posekanih 31,5 milijona m³ lesa (27,4 m³/ha). Prevladujoče oblike sečnje predstavljajo pomladitvene sečnje (37,5 %), redčenja, ki predstavljajo četrtno realiziranega poseka, ter sanitarni posek in posek oslabeledih dreves z 29 % deležem (Gozdnogospodarski in lovsko ..., 2012). V obdobju med letoma 1995 in 2012 so bili poglavitni razlogi sanitarnega poseka insekti (34 % celotnega sanitarnega poseka), veter (14 %), sneg (10 %) in žled (8 %), 33 % sanitarnega poseka pa se je izvedlo zaradi odmirajočega in fiziološko oslabelega drevja, bolezni in gliv, poškodb zaradi del v gozdu, emisij, divjadi ter plazov in usadaov (Poljanec in sod., 2014). Večjepovršinskih posekov v Sloveniji z namenom načrtnega gospodarjenja z gozdovi ni, so pa kot sanitarni poseki prisotni ob večjepovršinskih motnjah, kot na primer vetrolom na Jelovici leta 2006 (160 ha) (PaplerLampe, 2008) in Črnicu leta 2008 (poškodovanih 800 ha gozdov) (Vetrolom Črnic ..., 2014), požar Sela na Krasu leta 2003 (958 ha gozdov) (Poročilo o ..., 2012). Sečnja, tako načrtovana, kot tudi sanitarni posek, se v prostoru lahko nahajata naključno, z odstranitvijo enega ali večjega števila dreves v skupini. S tem v krošnjah dreves ustvarjamo vrzeli, različnih oblik in velikosti, ki jih lahko z razvojem gozda načrtno povečamo ali pustimo, da jih krošnje okoliških dreves zaprejo.

V slovenskih gozdovih sta v zadnjem času poleg klasične sečnje vedno pogostejša strojna sečnja in spravilo lesa, ki veljata za eno najsodobnejših tehnologij pridobivanja lesa. Le-ta

je bolj primerna za večje sanacije gozdov ter golosečno gospodarjenje v nasadih iglavcev (Južnič, 2012). Ker pa je v Sloveniji takih sestojev zelo malo, golosečno gospodarjenje pa je zakonsko prepovedano, se strojna sečnja in spravilo uporabljata tudi za redčenje gozdnih sestojev v mlajših razvojnih fazah. Strojna sečnja zahteva dostop do vsakega posameznega drevesa, kar lahko zagotovimo le z dovolj visoko koncentracijo sečnih poti. Tako so ena največjih negativnih lastnosti strojne sečnje poškodbe tal, ki nastanejo zaradi nastanka globokih kolesnic. Sečne poti so stalne in se z razvojem sestojja ne spreminjajo, zato na sečnih poteh trajno izgubimo rastni prostor, poleg tega pa nad njimi, v krošnjah dreves (predvsem pri redčenjih mlajših razvojnih faz) nastajajo dolge, progaste vrzeli. Te vrzeli so v mlajših razvojnih fazah, ob manjših krošnjah dreves, razmeroma velike in se tako nad sečnimi potmi krošnje dreves počasi in težje sklenejo. V mlajših razvojnih fazah, kjer je gostota dreves velika, lahko sečne poti ob izgubi ravnega prostora vplivajo tudi na prostorsko razmestitev dreves.

Do danes je večina raziskav izbire tehnologije redčenja v gospodarskih gozdovih temeljila na analizi poškodb tal in dreves po sečnji (npr. Košir in Mihelič, 2011; Košir in Robek, 2000; Žun, 2002). Manj je bilo opravljenih raziskav o prostorski razmestitvi dreves v gospodarskih gozdovih (npr. Bončina in sod., 2007; Hladnik, 2004), raziskave o dinamiki vrzeli pa se nanašajo predvsem na dinamiko vrzeli v pragozdovih in pragozdnih ostankih (npr. Rugani in sod., 2013). V raziskavi želimo analizirati, kako strojna sečnja vpliva na prostorsko razmestitev dreves, ter kakšna je časovna dinamika vrzeli v dveh skupinah gospodarskih sestojev GGE Trnovo.

1.1 CILJI NALOGE IN HIPOTEZE

Na enem izmed dveh objektov raziskave, v gozdnogospodarski enoti (GGE) Trnovo (Območna enota ZGS Tolmin) je bilo leta 2010 izvedeno redčenje čistih, enomernih bukovih drogovnjakov s strojno sečnjo, po kateri so v sestoju vidne dolge progaste vrzeli nad sečnimi potmi. V delu raziskovalnega objekta z zelo podobnimi sestoji pa redčenje ni bilo izvedeno. V prvem delu raziskave želimo na podlagi pridobljenih podatkov iz stalnih in enkratnih vzorčnih ploskev analizirati razlike v sestojnih gostotah (temeljnica, število dreves in lesna zaloga) in razmestitvi dreves med redčenim in neredčenim delom oddelka v zadnjih desetih letih.

Poleg tega želimo v raziskavi na obeh objektih raziskave prikazati in primerjati različne metode zaznavanja vrzeli v gozdnih sestojih, njihov delež glede na površino, obliko, velikostno porazdelitev ter prikazati dinamiko vrzeli v krajšem časovnem obdobju.

Zastavili smo si naslednje delovne hipoteze:

1. Med redčenim in neredčenim delom oddelka obstajajo statistično značilne razlike v sestojnih gostotah.
2. Z uporabo strojne sečnje v redčenjih enomernih bukovih drogovnjakov spreminjamo prostorsko razmestitev dreves.
3. Intenzivnost gospodarjenja vpliva na število in velikost razmejenih vrzeli.
4. V velikostni porazdelitvi razmejenih vrzeli največji delež v površini predstavljajo majhne vrzeli.

2 PREGLED OBJAV

Vrzeli nastajajo z odmrtnjem ali odstranitvijo enega ali več dreves. Z razvojem metod zaznavanja vrzeli so avtorji razmejevali vrzeli na podlagi različnih značilnosti. Z večanjem števila raziskav na to temo se je razvilo več definicij, katere je pomembno poznati predvsem pri primerjanju rezultatov med različnimi raziskavami.

2.1 OPREDELITEV VRZELI

Brokaw (1982) definira vrzel kot luknjo v krošnjah dreves, ki sega do dveh metrov nad tlemi. Runkle (1992; cit. po Dröſer in von Lüpke, 2005) predlaga, da se vrzel izriše na mestih, kjer se odprtost s krošnjami pojavi v zgornjem sloju dreves, nad 2/3 dominantne višine dreves. Ker vrzeli niso omejene le na odprt prostor pod krošnjami dreves, ampak predstavljajo tudi površino med debli dreves, ki tvorijo mejo vrzeli, Runkle (1992; cit. po Dröſer in von Lüpke, 2005) opredeli tudi pojem razširjene vrzeli, ki predstavlja velikost vrzeli, omejeno z okoliškimi debli dreves.

Zhang (2008) je vrzeli razmejeval z metodo lidarskih podatkov. V svojem delu definira mejo vrzeli kot presečišče med površino roba vrzelne odprtine in horizontalno ravnino na določeni globini pod interpolirano dominantno površino nad vrzeljo. Meja izrisane vrzeli lahko temelji na določeni globini ali na razmerju med določeno globino in celotno višino vrzeli, odvisno od meril pri določevanju vrzeli. Dominantna površina krošenj nad vrzeljo je določena z višino dreves okoli vrzeli.

Rugani in sod. (2013) so v gozdnih rezervatih razmejevali vrzeli na mestih, kjer je bila višina pomladka manjša od polovice dominantne sestojne višine. Hkrati so zaradi metodološke omejitve določili minimalno velikost vrzeli 20 m², saj manjših vrzeli zaradi senc na letalskih posnetkih z digitalnim stereoploterjem ni bilo mogoče natančno razmejiti.

2.2 METODE ZAZNAVANJA VRZELI

Brokaw (1982) navaja metodo merjenja z izmero 8 razdalj iz vizualnega središča vrzeli do njenega roba. Podobno metodo merjenja velikosti vrzeli predlaga Green (1996; cit. po Ferreira de Lima, 2005), pri kateri iz vizualnega središča vrzeli do njenega roba v različnih smereh izmerimo 16 razdalj. Runkle (1981) predpostavlja elipsasto obliko vrzeli. Za izračun velikosti vrzeli je na terenu potrebno izmeriti maksimalno dolžino (od roba do roba vrzeli) in širino vrzeli. Velikost vrzeli se nato izračuna po enačbi za računanje površine elipse. Na isti način se lahko meri tudi velikost razširjene vrzeli, le dolžine se namesto do roba krošenj meri do najbolj oddaljenih debel dreves.

Ferreira de Lima (2005) predlaga alternativno trikotno metodo. Na terenu se izmeri razdalje med zaporednimi (stranice poligona) in nezaporednimi (stranice trikotnikov) robovi vrzeli. Z izmerjenimi razdaljami se vrzel razdeli na trikotnike z znano velikostjo, iz katerih se lahko nato izračuna skupno površino vrzeli.

Shulze in Zweede (2006) sta delež vrzeli zaznavala znotraj 50 m intervalov. Velikost vrzeli so merili s sferičnim denziometrom, in sicer so v vsaki točki merili v štirih glavnih smereh, iz katerih so na koncu izračunali povprečje. Ker naj bi bila metoda za nekatere avtorje premalo objektivna in natančna za razliko od metod, pri katerih je potrebno več informacij in časa, so sočasno vrzeli izločali še s hemisferičnimi fotografijami. V raziskavi so med izločenimi vrzelmi po eni in drugi metodi dobili zelo visoko korelacijo ($r \geq 0,9$).

Današnje prednosti v raziskavah dinamike motenj oz. zanzavanja vrzeli so visokoresolucijski letalski in satelitski posnetki, narejeni v različnih letih in letnih časih ter zmogljiva računalniška oprema, na podlagi katerih so se razvile naslednje metode določanja vrzeli.

Na podlagi digitalnega modela reliefa in drevesnih krošenj lahko vrzeli izločamo z uporabo stereoskopskih posnetkov visokoresolucijskih satelitov. Možnosti razmejevanja vrzeli, predvsem malopovršinskih, je ugotavljala Hobi s sod. (2013). Metoda se je izkazala za primerno pri razmejevanju vrzeli, saj različni koti opazovanja vrzeli na stereoposnetkih povečajo natančnost razmejevanja. Metoda je primerna tudi za izračun digitalnega modela krošenj, vendar je za to potreben kakovosten digitalni model terena.

Rugani in sod. (2013) so v dveh gozdnih rezervatih Slovenije ugotavljali dinamiko vrzeli. Za natančno razmejevanje vrzeli so uporabili par absolutno orientiranih letalskih posnetkov, na katerih so s pomočjo tridimenzionalnega pogleda na podlagi vidnih razlik sestojnih višin izrisali posamezne vrzeli. Natančnost izrisanih vrzeli so preverjali tudi z natančnim GPS-om (Trimble GeoXT). Težave pri preverjanju položaja vrzeli so predstavljale krošnje dreves, saj so GPS-u onemogočale dostop do signalov satelita, zaradi katerih ni bilo mogoče natančno določiti pozicije posameznih dreves.

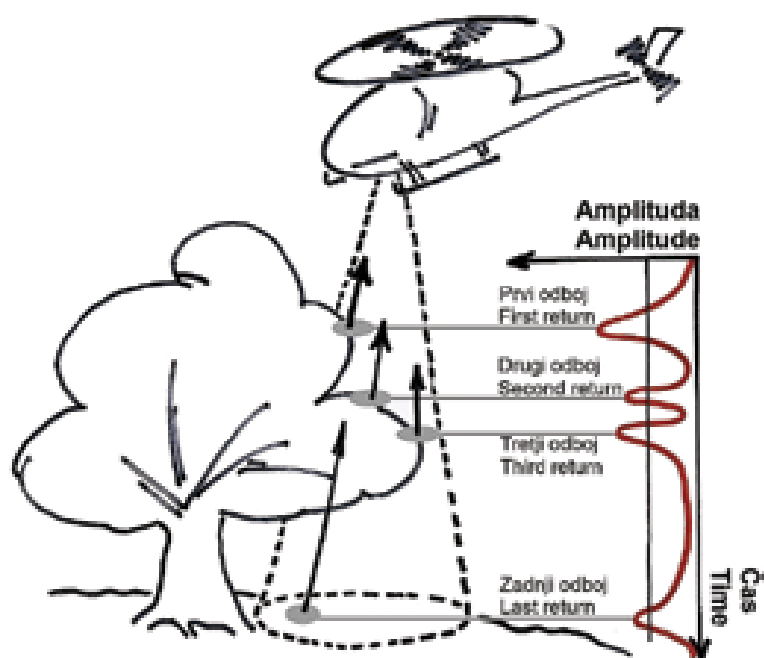
Zhang (2008) je razmejeval vrzeli z lidarskimi podatki. Ti obsegajo podatke o horizontalnih koordinatah in vertikalnih višinah točk. Iz surovih lidarskih podatkov je pri zaznavanju vrzeli iz podatkov digitalnega modela površja izločil podatke digitalnega modela reliefa. S tem je pridobil digitalni model krošenj, ki vsebuje podatke o višini dreves. Na podlagi višinskih razlik je, glede na definicijo vrzeli, razmejil vrzeli. Več o možnostih uporabe lidarskih podatkov sledi v poglavju 2.2.1.

Z razliko med digitalnim modelom krošenj in digitalnim modelom terena je vrzeli razmejeval tudi Henbo s sod. (2004). Pri rekonstrukciji modelov niso uporabili lidarskih

podatkov ampak so za digitalni model krošenj uporabili letalske posnetke dreves v olistanju, za rekonstrukcijo digitalnega modela površja pa so uporabili letalske posnetke dreves ko niso bila olistana in so bila tla dobro vidna.

2.2.1 Lasersko skeniranje

Lidar (Light Detection And Ranging) je ena izmed številnih laserskih tehnik pridobivanja podatkov, hkrati pa je tudi skupni izraz za tehnologijo zračnega laserskega skeniranja površja ALS (Airborne Laser Scanning) in terestičnega skeniranja površja. Spada med tehnike aktivnega daljinskega zaznavanja podatkov, pri katerih pridobivamo prostorske podatke s pomočjo zaznavanja odbojev predhodno oddanih laserskih pulzov (Measures, 1992; cit. po Kobal in sod., 2014).



Slika 1: Shema laserskega skeniranja površja in odbojev laserskega žarka vzdolž vegetacije, kjer amplituda predstavlja intenziteto odbitega valovanja, ki prepotuje razdaljo mesto odboja-senzor in pade na sprejemni element senzorja (Vir: Skica: Robert Krajnc; cit. po Kobal in sod., 2014)

Razdaljo (d) od senzorja do odbojne površine določimo z obrazcem $d = (c \cdot \Delta t) / 2$, kjer je Δt določena s časom povratnega potovanja oddanega laserskega pulza od senzorja do odbojne površine in nazaj do senzorja, c pa je hitrost svetlobe skozi zrak (Kobler, 2011). Za določitev 3D koordinate odboja je poleg časovne razlike potrebno v vsakem trenutku poznati še natančno lokacijo in smer instrumenta ter odklon oddanega laserskega impulza od srednje osi instrumenta. Rezultat laserskega skeniranja površja je 3D oblak točk, določen z x , y in z koordinatami v poljubnem koordinatnem sistemu (Kobal in Hladnik, 2013).

Pomemben parameter lidarskih podatkov je tudi gostota snemanja odbojev laserskih pulzov oz. gostota laserskih točk na enoto površine (število točk na m^2), ki je opredeljena kot povprečna vrednost gostote točk za določeno območje obravnave. Gostota točk nam pove, katere objekte bomo lahko prepoznali znotraj oblaka laserskih točk, kako natančno bomo lahko določili obliko objektov ter kdaj bomo lahko dva objekta ločili med sabo. Težava je, da na celotnem območju obravnave, zaradi različnega števila redov odbojev laserskega žarka, različnih stopenj prekrivanja laserskih snemalnih pasov ter različne odbojnosti in absorpcije laserskega žarka od objektov, ne moremo zagotoviti enotne gostote točk. Gostoto točk pri zračnem laserskem skeniranju površja lahko povečujemo z večanjem števila oddanih pulzov, hitrostjo skeniranja, prekrivanji leta, večkratnimi preleti ter nižanjem višine in hitrosti letenja (Triglav Čekada, 2011; Jakubowski in sod. 2013).

Rezultate laserskega skeniranja lahko, glede na gostoto laserskih točk, delimo na majhno gostoto laserskih točk (do 5 točk/ m^2), srednjo gostoto laserskih točk (5-10 točk/ m^2) ter visoko gostoto laserskih točk (nad 10 točk/ m^2). Razvoj instrumentov lidarskega zaznavanja stremi k povečevanju gostote točk na enoto površine pri enakih parametrih leta (hitrost leta, končna natančnost meritev) (Triglav Čekada, 2011).

Prednost laserskega skeniranja v gozdarstvu pred drugimi tehnikami daljinskega zaznavanja podatkov je, da laserski pulz lahko prodre skozi drevesne krošnje in tako omogoča zaznavanja terena pod krošnjami. Poleg tega se laserski pulz odbija tudi od drugih delov drevesa (listi, veje, debla), kar se lahko v gozdarstvu izkoristi pri vrednotenju zgradbe gozda (Triglav Čekada, 2011; Kobal in sod., 2014). Tako uporaba lidarskih podatkov v gozdarstvu ni omejena le na razmejevanje vrzeli (Zhang, 2008), ki smo jo prikazali kot eno izmed metod razmejevanja vrzeli, ampak lahko njihovo uporabo v grobem, glede na prostorsko raven, delimo v tri skupine (Kobal in sod., 2014):

(1) Uporaba lidarskih podatkov na ravni krajine, kjer je eno najpomembnejših področij uporabe podatkov, ne samo v gozdarstvu ampak tudi širše, izdelava digitalnih modelov reliefa (npr. Podobnikar, 2008).

(2) Na ravni sestoja temeljni podatkovni sloj predstavlja digitalni model krošenj (DMK). Izpeljani rezultati iz DMK se lahko uporabljajo tudi kot vhodni parametri za modeliranje sestojnih parametrov, kot so srednje temeljnični premer dreves na ploskvi (npr. Anderson in sod., 2006; cit. po Kobal in sod., 2014), temeljnica (npr. Drake in sod., 2002) in lesna zaloga (npr. Kobal, 2014). Na ravni sestoja lahko proučujemo tudi svetlobne razmere, kamor uvrščamo tudi razmejevanje vrzeli (npr. Zhang, 2008).

(3) Najnovejša je uporaba lidarskih podatkov na ravni posameznega drevesa. Temeljni podatki, ki jih lahko pridobimo iz lidarskih podatkov so njegova višina, širina in globina

krošnje (Falkowski in sod., 2006), prsni premer, temeljnica, volumen (Dalponte in sod., 2011; cit. po Kobal in sod., 2014) in drevesna vrsta (Yao in sod., 2012).

Poleg prostorske dimenzije, ki jo vključujejo lidarski podatki, je pomembna tudi uporaba časovnih podatkov lidarskih snemanj. Vepakomma in sod. (2012) z uporabo lidarskih podatkov analizira dinamiko vrzeli v 9-letnem obdobju (1998-2007), Kobal in sod. (2014) z uporabo 3D-oblaka točk lidarskih podatkov iz dveh obdobj (2009, 2014), na ravni drevesa prikažejo posledice žledoloma (februarja 2014) v GGE Leskova dolina.

2.3 DINAMIKA VRZELI V GOZDNIH REZERVATIH

Dröbner in von Lüpke (2005) sta v raziskavi dveh pragozdov Slovaške ugotovila, da je delež vrzeli glede na gozdno površino 15 %, če upoštevamo le vrzeli v krošnjah. S primerjavo deleža razširjenih vrzeli pa sta ugotovila kar 50 do 55 % delež vrzeli, torej je le polovica gozdov strnjenih. Nastanek vrzeli je velikokrat pogojen z odmrtnjem majhnega števila dreves, saj več kot 80 % vrzeli nastane s padcem 1–4 dreves, zelo redke, a vendar se pojavijo, so velike vrzeli, ki nastanejo s padcem 50 in več dreves. V raziskovanih pragozdovih prevladujejo majhne vrzeli, saj je 85 % vrzeli manjših od 250 m², približno 10 % vrzeli je velikosti od 250 m² do 1000 m², le 1-3 % vrzeli pa je večjih od 1000 m².

Hobi s sod. (2013) je proučevala dinamiko vrzeli v pragozdu Uholka-Shyrokyi Luh v ukrajinskih Karpatih. Ugotovila je zelo nizek delež vrzeli (glede na ostale raziskave), le 0,75 %. Ker velikost vrzeli ni bila navzdol omejena, je velikost vrzeli variirala med 2,07 m² in 18375 m², s povprečno velikostjo 28,12 m². Porazdelitev vrzeli po velikostnih razredih teži k negativni eksponentni obliki, tudi z velikimi vrzelmi, ki pa so redke. Majhen delež vrzeli glede na površino gozda kaže na to, da imajo na dinamiko vrzeli večji vpliv malopovršinski procesi od velikopovršinskih.

Časovna dinamika vrzeli gozdnih rezervatov Madžarske (Kenderes in sod., 2008) kaže, da sta se delež (iz 2,5 % na 7,7 %) in povprečna velikost vrzeli (iz 40 m² na 93 m²) v 30 letih povečala. Delež vrzeli narašča zaradi nastanka večjega števila vrzeli od tistih, ki so se zaprle, saj je letna stopnja zaraščanja vrzeli med letoma 1975-1980 znašala 0,07 %, med letoma 2000-2005 pa 0,1 %, stopnja novonastalih vrzeli pa je bila 0,15 % oz. 0,34 %. Večja razlika med nastankom vrzeli v obdobju med letoma 2000-2005 je posledica vetrolomov v letih 2004 in 2005. Prostorska razporeditev vrzeli se je v 30 letih le rahlo spremenila.

Tudi v dveh pragozdnih rezervatih (Kope in Gorjanci) Slovenije prevladujejo majhne vrzeli (<200 m²). V časovni študiji dinamike vrzeli (Rugani in sod., 2013) je razmejevanje vrzeli krošenj pokazalo povečanje deleža vrzeli v obeh rezervatih. V Kopah se je delež vrzeli v 11-letnem obdobju povečal iz 3,2 % na 4,5 %, narasla pa je tudi povprečna

velikost vrzeli (iz 118 m² na 141 m²). Delež vrzeli v Gorjancih je večji, in sicer je leta 1986 znašal 9,1 %, v 20-letnem obdobju pa se je delež povečal na 10,6 %. Za razliko od rezervata Kope se je v Gorjancih povprečna velikost vrzeli zmanjšala iz 317 m² na 294 m². Kljub temu, da po številu v obeh meritvah pragozdnega rezervata Gorjanci prevladujejo majhne vrzeli (47 % v letu 1986 in 48 % v letu 2006), največji delež površine v obeh meritvah predstavljajo srednje vrzeli (77 % in 74 %) (Rugani in sod., 2013).

Henbo in sod. (2004) so raziskovali dinamiko vrzeli zmernih starorastlih gozdov bukve (*Fagus crenata*) Japonske med letoma 1958 in 2001. Rezultati raziskave so pokazali, da se je število vrzeli zmanjšalo, skupna površina vrzeli pa se je povečala, največ med letoma 1992 in 2001. V tem času je bila zaznana tudi največja vrzel, ki je merila skoraj 4000 m². V 43 letnem obdobju se je značilno spremenila tudi stopnja širjenja (iz 0,47 % leto⁻¹ na 1,30 % leto⁻¹) in zapiranja vrzeli (iz 0,28 % leto⁻¹ na 0,54 % leto⁻¹). Nastajanje vrzeli je bilo značilno večje od zaraščanja med leti 1958-1978 in 1992-2001, medtem ko je bilo skoraj uravnoteženo med letoma 1978-1992.

Rugani in sod. (2013) so ugotovili, da sta glavni dejavnik sestojne dinamike nastajanje novih in širjenje že obstoječih vrzeli, zapiranje vrzeli pa te procese zavira. Proces nastajanja novih vrzeli je povezan s prisotnostjo starejših vrzeli, saj se nove vrzeli bolj pogosto pojavljajo v bližini obstoječih vrzeli, kot pa formirajo v nemotenih krošnjah. V Kopah so zasledili spremembe kar na 61 % izrisanih vrzelih. Letni delež novonastalih vrzeli znaša 0,15 %, medtem ko je letni delež zaprtih vrzeli znašal 0,08 % celotne gozdne površine. V rezervatu Gorjanci so bile spremembe večje, saj je bilo večino sprememb zaznanih v srednje velikih vrzelih. Tako letni delež novonastalih vrzeli in zaprtih vrzeli znaša 0,25 in 0,16 %.

2.4 PROSTORSKA RAZMESTITEV DREVES

Rugani in sod. (2013) so v pragozdnem rezervatu Kope ugotovili močno tendenco po skupinski razmestitvi dreves s premerom nad 5 cm, medtem ko je za drevesa s premerom nad 10 cm tendenca k skupinski razmestitvi manj očitna. Za drevesa v strehi sestoja je bila zaznana enakomerna razmestitev dreves.

Wolf (2005) je v danskih mešanih listnatih gozdovih ugotavljala spremembe prostorske razmestitve dreves v 50 letnem obdobju. Z raziskavo je jasno pokazala, da imata vraščanje in gostota dreves večji vpliv na spremembe prostorskih vzorcev kot odmiranje dreves, vendar pa odmiranje dreves posredno vpliva na prostorske vzorce z oblikovanjem vrzeli, v katerih se pojavlja pomladek, ki v prihodnosti vrašča. Pomembno na prostorsko razmestitev dreves vplivajo tudi zgodovinski dejavniki. V pričetku raziskave, ko so bili gozdovi še gospodarjeni, je bila razmestitev dreves v prostoru enakomerna. Z opustitvijo

gospodarjenja in vraščanjem pomladka pa se prostorski vzorec iz enakomernega spreminja k neenakomernemu.

Szmyt (2012) je v gospodarskih, z bukvijo prevladujočih gozdovih Poljske preverjal ustreznost indeksov najbližjega sosedu za prostorski opis gozdne strukture. Rezultati kažejo, da se v gospodarskih bukovih sestojih pojavlja bolj enakomerna prostorska razmestitev dreves kot v negospodarskih. V gozdovih, kjer je vpliv človeka omejen (rezervati), na prostorsko razmestitev dreves vplivata predvsem medsebojna kompeticija in umrljivost. Naključna umrljivost, ki naj bi vodila v naključno razmestitev dreves, je v gospodarskih gozdovih posnemana z odstranjevanjem dreves. Prav zato imajo redčenja velik vpliv na pojavljanje prostorskih vzorcev, na katere pomembno vpliva tudi intenzivnost redčenja ter izbira metode redčenja. Izbiralno redčenje ustvarja bolj raznoliko prostorske razmestitev dreves kot nizko redčenje (Pretzsch, 1999; cit. po Szmyt, 2012).

Prostorsko razmestitev dreves v gozdovih z različnim človekovim vplivom so ugotavljali tudi Rozas in sod. (2009). Pričakovana je bila ugotovitev, da se drevesa v plantažah porazdeljujejo enakomerno, z dvema glavnima viškoma oddaljenosti pri 3 in 6,5 m, ki se približno ujemata z začetnim razmikom dreves v nasadu. V panjevcih je bila ugotovljena skupinska razmestitev za vse velikostne razrede. Za prvi velikostni razred (5-15 cm v prsnem premeru) so bile skupine zaznane v krogu premera 22-25 m, medtem ko so bile v tretjem velikostnem razredu (nad 20 cm v prsnem premeru) skupine zaznane v meddrevesni razdalji 1,5-2,5 m. V tem velikostnem razredu se kaže tudi sekundarna skupinska razmestitev dreves v premeru kroga med 12,5 in 19,5 m. Za drugi velikostni razred (15-20 cm v prsnem premeru) je bilo ugotovljeno izmenjevanje skupinske in naključne razmestitve dreves. Najmočnejša težnja k skupinski razmestitvi je bila ugotovljena v premeru kroga 0,5-1,5 m.

Razlike v prostorski avtokorelaciji različnih drevesnih znakov sta raziskovala Szmyt in Stoyan (2014) v južnih gozdovih Poljske. Rezultati analize so pokazali negativno prostorsko korelacijo vseh drevesnih znakov v sestojih, kar pomeni, da imajo drevesa tesno skupaj manjše vrednosti znakov kot je povprečje v sestoju. V analiziranih bukovih sestojih ni bilo ugotovljene prostorske povezave v drevesni višini, saj z nizkim redčenjem odstranjujemo slabše vitalna in nižja drevesa ter s tem posredno homogeniziramo vertikalno zgradbo sestojev. Premer, temeljnica ter lesna zaloga dreves kažejo šibko negativno korelacijo, saj imajo sosednja drevesa podobne vrednosti opisanih znakov.

2.5 SESTOJNE VRZELI IN STROJNA SEČNJA

S tehnološkim razvojem se v gozdarstvu pojavljajo nove tehnologije pridobivanja lesa, ki pa se ne morejo razvijati ločeno od načel gojenja gozdov, zato se večina ukrepov v gozdu izvaja tako ob upoštevanju gojitvenih kot tudi tehnoloških vidikov (Judnič, 2006).

Strojna sečnja velja za eno najbolj učinkovitih, varnih in ergonomsko primernih tehnologij pridobivanja lesa, zato je njena uporaba vse pogostejša. Vendar pa moramo biti pri vpeljevanju strojne sečnje pazljivi, saj lahko povečana jakost ukrepanja zaradi sečnih poti vpliva na (1) povečevanje deleža napak pri vrstah z bolj plastično krošnjo (dvovrhatost, vejnatost, asimetričnost), (2) zmanjšanje stojnosti po posegu, (3) sukcesijski razvoj zelišč v pritalni plasti, odziv polnilne plasti, predčasno pomlajevanje sestoja, (4) stresne razmere, zmanjšanje asimilacijskega aparata, zmanjšanje skupne proizvodnje (Diaci, 2006).

Strojna sečnja zahteva zaradi tehnologije kratkega lesa zelo veliko odprtost gozdov s sekundarnimi prometnicami (sečnimi potmi). Le-ta je najbolj odvisna od reliefa in dosega dvigala, saj mora imeti stroj za sečnjo dostop do vsakega drevesa. Košir in Robek (2000) iz raziskave v delovišču Žekanc navajata, da je bila odprtost s sekundarnimi prometnicami pri strojni sečnji 486 m/ha, kar je običajno pri stroju za sečnjo z dolžino dvigala 10 m. Podobne vrednosti odprtosti gozdov pri strojni sečnji navajata tudi Diaci in Magajna (2002). Dolžina dvigala, poleg sestojnih razmer in reliefa, najbolj vpliva na gostoto sekundarnih prometnic, saj gostota prometnic pri dvigalu z dosegom 10 m znaša 500 m/ha, pri dvigalu z dosegom 5 m pa kar 1000 m/ha.

Odprtost s sekundarnimi prometnicami pri strojni sečnji je v primerjavi s traktorskim pravilom znatno višja. Judnič (2006) je v primerjavi gojitvenega modela strojne sečnje s klasično sečnjo ugotovila, da je odprtost s sekundarnimi prometnicami pri klasični sečnji 209 m/ha, pri strojni pa 450 m/ha. Kljub občutno večji odprtosti gozdov pri strojni sečnji je bilo odkazilo za izgradnjo vlak (324 m³/ha; 21 % odkazila) skoraj enako odkazilu lesa na sečnih poteh (330 m³/ha; 22 % odkazila). Kot glavna vzroka visokega odkazila na vlakah navaja večji delež iglavcev ter odkopno in nasipno brežino pri gradnji vlak.

Na delež obremenjenosti površine gozdnih tal ima pomemben vpliv, poleg gostote, tudi širina sečnih poti. Južnič (2012) navaja, da je povprečna širina sečne poti pri sečnji 376 cm, povprečna širina svetlega profila pa 685 cm. Širina sečne poti se je pri pravilu v povprečju povečala še za 14 cm, kar je posledica večkratnih prehodov zgibnega polprikoličarja. Širina sečne poti je odvisna tudi od velikosti stroja, katerega uporabljamo pri sečnji in pravilu. Intihar (2014) je poškodbe tal raziskovala po strojni sečnji in pravilu kombiniranega stroja HSM 805F, ki je ožji v primerjavi s stroji za sečnjo in pravilo v raziskavi Južniča (2012). Pri sečnji je povprečna širina sečne poti 299 cm, svetlega profila pa 472 cm. Tako kot pri večini drugih raziskav se je širina sečne poti pri pravilu tudi v tej

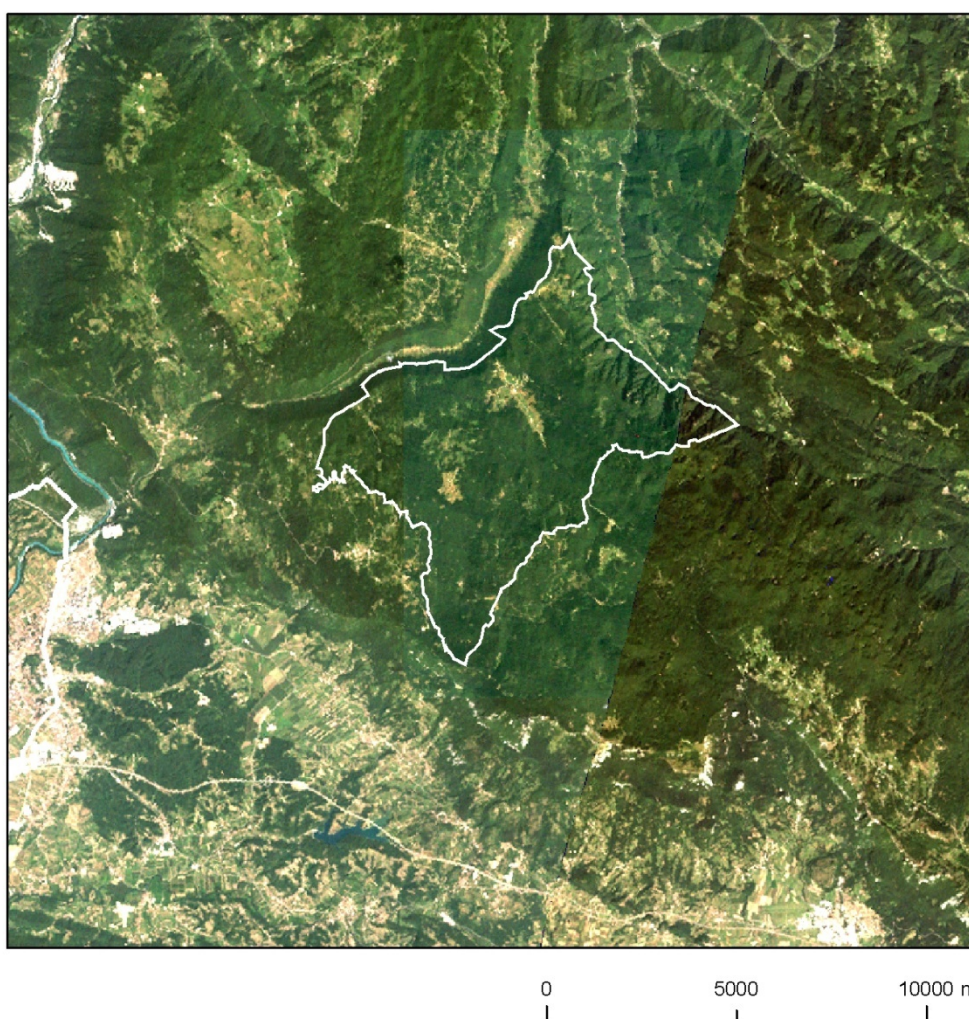
raziskavi povečala. Po spravi je povprečna širina sečne poti znašala 320 cm, povprečna širina svetlega profila pa 490 cm.

Sečne poti so stalne, zato na teh poteh za stalno izgubimo rastni prostor. Cerjak (2011) je ugotavljal delež obremenjene površine gozdnih tal na Pohorju in Goričkem. Na Pohorju leta pri sečnji znaša 19 %, na Goričkem pa 21 %. Obremenjenost površine se pri spravi še rahlo poveča zaradi povečanja širine sečne poti. Pri manjših, ožjih strojih za sečnjo, obremenjenost površine gozdnih tal, zaradi gostejšega omrežja sečnih poti znaša 25 %. V poznejših sečnjah se lahko, zaradi večjih strojev, del teh sečnih poti zmanjša.

Z odstranjevanjem dreves se v sestojih poveča dotok svetlobe. Judnič (2006) je ugotovila, da je vrednost mediane direktnega sevanja v sestojih pri strojni sečnji višja (10,13 %) kot pri klasični sečnji (9,30 %). Enako so tudi vrednosti mediane indirektnega sevanja višje pri strojni sečnji (12,9 %) od vrednosti pri klasični sečnji (11,7 %). Višje vrednosti svetlobnih parametrov v sestojih s strojno sečnjo so posledica 2 % večje jakosti odkazila.

3 OBJEKT RAZISKAVE

Raziskovalna objekta se nahajata na območju gozdnogospodarske (GGE) Trnovo, v bližini naselja Nemci. GGE Trnovo leži v osrednjem delu gozdnogospodarskega območja Tolmin in zajema zahodni del Trnovske planote. Skoraj celotno enoto uvrščamo v gozdno krajino, saj gozd prerašča kar 4364 ha ali 94,6 % njene celotne površine (4614 ha). V enoti najdemo le manjša naselja kot so Lokve, Nemci, Voglarji in Lazna in obsegajo 211 ha ali 4,6 % celotne površine enote. Za enoto je značilna dolga tradicija načrtovanja, saj je bil leta 2013 izdelan že 17 gozdnogospodarski načrt (Gozdnogospodarski načrt ..., 2013).



Slika 2: GGE Trnovo na izseku iz satelitskega posnetka Landsat TM iz leta 2005. Na zahodnem robu posnetka leži Nova Gorica.

Trnovska planota je tipična visokokraška planota, ki se dviga od juga proti severu. Najnižji del enote s 550 m.n.v. predstavljajo Govci, ki prepadno padajo proti Trebuši. Najvišja točka enote je Veliki Bukovec s 1445 m.n.v. na grebenu Črni vrh – Mrzovec – Zeleni rob. Znotraj enote najdemo tudi za kraške razmere ugoden, relativno raven teren z nadmorsko

višino od 800 do 900 m.n.v. brez izrazitih vrhov in grebenov (Gozdnogospodarski načrt ..., 2003).

Za planoto so značilne obilne (2000-3000 mm na leto), ugodno razporejene padavine preko celega leta. Najhladnejši mesec je januar s srednjo temperaturo pod -3 °C, najtoplejši pa mesec julij s srednjo temperaturo okoli 14 °C. Humidni značaj klime mnogokrat ublažita burja in jugo, ki sta značilna vetrova tega območja. Poleg vetrolomov težave pri gozdarjenju predstavljata še moker sneg in žled (Gozdnogospodarski načrt ..., 2003).

Prevladujoča gozdna združba v GGE je predalpsko-dinarsko jelovo bukov gozd (*Omphalodo-Fagetum* v.g *Anemone trifolia* oz. *Abieti-Fagetum praealpino-dinaricum*) z devetimi subasociacijami, ki jo zasledimo kar na 77 % površine GGE Trnovo (Gozdnogospodarski načrt ..., 2003).

Združba predalpskega-dinarsko jelovo bukovega gozda porašča velike strnjene površine, na razgibani visokokraški planoti Trnovskega gozda v nadmorskih višinah od 700 do 1400 m.n.v.. Vezana je na karbonatno podlago triadnega, jurskega in krednega apnenca, v manjši meri tudi dolomita, na katerih so se pod vplivom reliefa, lege skladov in načina preperevanja razvila različna tla rendzin do rjavih pokarbonatnih tal. Produktivna sposobnost rastišča v območju jelovo bukovih gozdov ni povsod ista in je v vzročni povezavi predvsem z globino talnega profila ter njegove fizikalne in kemične sestave in načina preperevanja matične podlage. V naravni zgradbi združbe lahko razlikujemo višjo in nižjo drevesno plast, v kateri prevladujeta predvsem bukev in jelka, grmovno plast, višjo in nižjo zeliščno plast ter prizemno plast mahov in lišajev. Kot pomožne drevesne vrste se v združbi pojavljajo tudi smreka (*Picea Abies*), gorski javor (*Acer pseudoplatanus*), gorski brest (*Ulmus glabra*), lipa (*Tillia platyphyllos*), lipovec (*Tillia cordata*) ter še katera prav redka vrsta. Poleg zelo razvite grmovne plasti (10-20 %), v kateri največji delež predstavlja drevesni pomladek, predvsem bukov (do 50 % in več), najdemo tudi bogato zeliščno plast. Povprečna naravna pokrovnost znaša med 30 in 60 %, medtem ko lahko v preredčenih sestojih pokrovnost zelišč znaša tudi med 50 in 90 %. Plast mahov in lišajev je različno razvita in dosega pokrovnosti med 10 in 70 %. Zaradi zelo spremenljivih rastiščnih razmer združbe sta jelka in bukev že po naravi redkokdaj enakovredno zastopani, nekje prevlada bukev, drugod jelka. Neprimerno gozdarjenje v preteklosti je povzročilo slabljenje življenjske moči in konkurenčnosti jelke. Tako se na območju GGE Trnovo srečujemo z velikimi površinami pretežno čistih bukovih gozdov različnih starosti na rastiščih *Omphalodo Fagetum*. Takšni sestoji so lahko povsem brez jelke, ali pa se ta pojavlja le v manjših skupinicah. (Vegetacijska ..., 1977).

V večjih deležih se na območju GGE Trnovo pojavljajo še združbe primorskega bukovega gozda (*Seslerio autumnalis-Fagetum*) (6 %), združbe preddinarsko-dinarsko toploljubnega bukovja (*Ostryo-Fagetum*) (5 %), v višjih legah na severu enote se pojavljajo združbe

predinarnskega gorskega bukovja (*Enneaphyllo-Fagetum* oz. *Lamio orvalae-Fagetum*) (4%). Posebnost enote je združba črnega bora (*Orno-Pinetum nigrae*), ki se razteza na 5 % enote. V manjših deležih se pojavljajo še združba črnega gabra in ojstrice (*Seslerio-Ostryetum*), združba gorskega javorja in bukve (*Aceri-Fagetum dinaricum*), v mraziščih pa se pojavljajo združbe jelovo smrekovega gozda (*Abieti-Picetum praealpino dinaricum*), smrekovega gozda (*Picetum subalpinum dinaricum*) ter rušja (*Pinetum-mughi*) (Gozdnogospodarski načrt ..., 2003).

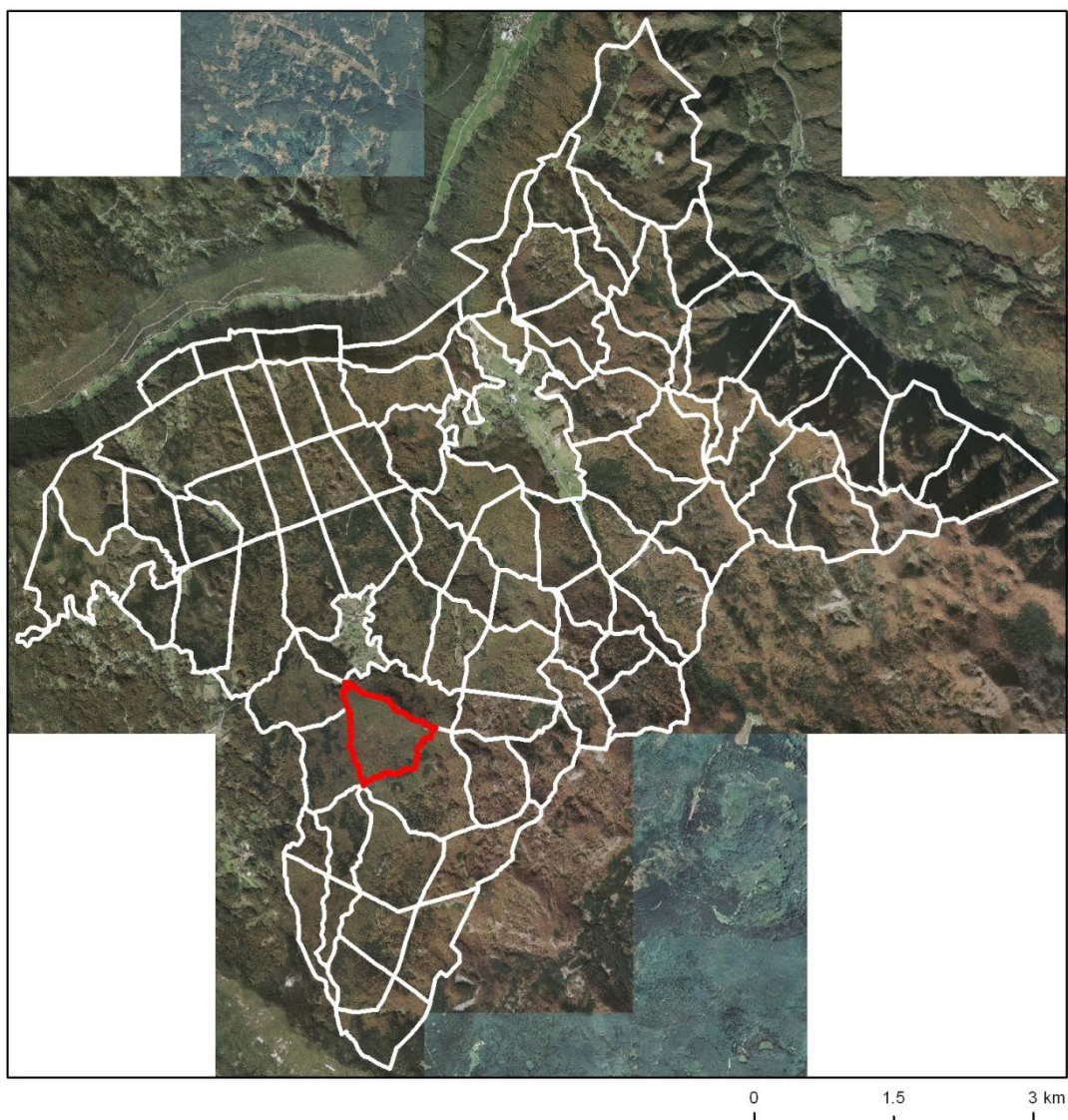
V GGE prevladujejo debeljaki in drogovnjaki, ki skupno poraščajo kar 62 % površine enote. Povprečna lesna zaloga znaša 312 m³/ha, v kateri večji delež predstavljajo listavci (65,2 %). Glavna drevesna vrsta je bukev s 60 % deležem v lesni zalogi, delež lesne zaloge jelke pada, delež smreke pa se v lesni zalogi povečuje. Skupno sta ti vrsti zastopani z 31 % deležem. Kar 94,9 % gozdov GGE Trnovo je v državni lasti (Gozdnogospodarski načrt ..., 2013).

3.1 TESTNO OBMOČJE

Naloga je bila opravljena na dveh ločenih območjih, na katerih nismo opravljali enakih analiz. Večina dela se nanaša na prvo testno območje (oddelek 13), v katerem smo postavili tudi vzorčno mrežo za analizo sestojnih gostot ter prostorske razmestitve dreves, na ortofoto posnetkih pa smo nato razmejili še vrzeli. V nalogi smo želeli prikazati tudi metodo razmejevanja vrzeli z lidarskimi podatki. Ker podatkov za celotno območje Slovenije ni, smo v okviru projekta ManFor C. BD (Poročilo o projektni ..., 2013) pridobili lidarske podatke. Območje snemanja se nanaša na oddelek 30, ki predstavlja naše drugo testno območje.

3.1.1 1. Testno območje (oddelek 13)

Oddelek 13, z velikostjo 58,72 ha, se nahaja v južnem delu GGE Trnovo. Sestoji oddelka se razprostirajo med 850 in 1030 m.n.v.. Oddelek je uvrščen v rastiščno gojitveni razred (RGR) zabukovljenih jelovo bukovih gozdov na dobrih rastiščih (Gozdnogospodarski načrt ..., 2013). RGR je eden od dveh najpogostejših, saj s površino 993 ha gozdov predstavlja 23 % celotne gozdne površine v GGE. Na 90 % površine prevladuje združba *Omphalodo-Fagetum* v.g. *Anemone trifolia* s subasociacijami *festucetosum*, *asperuletosum* in *filicetosum* (Gozdnogospodarski načrt ..., 2013). Za razliko od najnovejšega gozdnogospodarskega načrta so bile v prejšnjem načrtu, kot najpogostejše subasociacije združbe *Omphalodo-Fagetum* navedene *typicum*, *asperuletosum* in *festucetosum* (Gozdnogospodarski načrt ..., 2003).



Slika 3: Oddelek 13 (rdeč poligon) v GGE Trnovo (Vir: Digitalni ortofoto, Geodetska uprava RS, 2006, 2010; Prostorski podatki, ZGS, 2013)

Največje površine RGR preraščajo drogovnjaki (48,0 %) in debeljaki (34,2 %), na manjših površinah se pojavljajo sestoji v obnovi (9,4 %) in mladovja (8,4 %). Glede na modelno stanje razvojnih faz v RGR največja odstopanja opazimo v razvojni fazi drogovnjaka (model 36,1 %, stanje (2013) 48,0 %), katerih delež želijo zmanjšati z intenzivnimi redčenji. S tem želijo omogočiti hitrejši prehod iz razvojne faze drogovnjakov v debeljake ter tako povečati njihov delež (Gozdnogospodarski načrt ..., 2013). Smernice so se, glede na GGN iz leta 2003 izkazale za primerne, saj se je delež drogovnjakov (iz 52,0 na 48,0 %) zmanjšal, delež debeljakov pa povečal (iz 31,2 na 34,2 %).

Lesna zaloga se zaradi nižjih intenzitet sečnje v preteklosti in velikega deleža drogovnjakov povečuje. Leta 2003 je povprečna lesna zaloga znašala 320 m³/ha, leta 2013 pa 328 m³/ha (Gozdnogospodarski načrt ..., 2013). Drevesna sestava se v zadnjem načrtovalnem obdobju

(2003-2012) ni bistveno spremenila. Medtem ko je delež bukve (78,0 %) ostal nespremenjen, se je delež jelke zmanjšal za 1,7 % in leta 2013 znaša 9,3 %, delež smreke pa se je povečal iz 6,0 % leta 2003 na 7,4 % leta 2013. V manjšem deležu se v RGR pojavljajo še plemeniti listavci (4,2 %), bor (0,1 %), macesen (0,8 %) ter drugi trdi (0,1 %) in mehki (0,1 %) listavci (Gozdnogospodarski načrt ..., 2013).

Izbran oddelek je razdeljen na približno tri enako velike odseke, v katerih se v različnih deležih pojavljata subasociaciji *Omphalodo-Fagetum typicum* (starejše poimenovanje *Abieti-Fagetum praealpino-dinaricum typicum*) in *Omphalodo-Fagetum asperuletosum* (*Abieti-Fagetum praealpino-asperuletosum*) (Preglednica 1), ki ju uvrščamo v skupni gozdni rastiščni tip predalpskega-dinarsko jelovo bukovega gozda, *Omphalodo Fagetum* var. geogr. *Anemone trifolia*.

Preglednica 1: Delež površine subasociacij *Omphalodo-Fagetum typicum* in *Omphalodo-Fagetum asperuletosum* v odsekih oddelka 13 (Vir: Gozdnogospodarski načrt ..., 2003)

Odsek	<i>O.-F. typicum</i>	<i>O.-F. asperuletosum</i>
13a	75 %	25 %
13b	90 %	10 %
13c	60 %	40 %

Opis osnovnih značilnosti rastišč smo povzeli po Vegetacijski in rastiščni analizi za GGE Trnovo, ki jo je leta 1977 izdelal Biološki inštitut Jovana Hadžija SAZU.

Predalpsko dinarski jelovo bukov gozd – sredinska varianta (*Omphalodo-Fagetum typicum*) se razrašča na 697 ha oz. 16,4 % površine celotne GGE Trnovo. Porašča blago nagnjena do srednje strma pobočja (do 20°), zaravnice ter obrobja vrtač z zmerno skalovitim površjem (pod 50 %). Matično geološko podlago gradijo svetlosivi kompaktni mezozojski apnenci pretežno jurske starosti. Tla, ki se razvijajo na matični podlagi, so največkrat rendzine v kombinaciji z rjavimi pokarbonatnimi tlemi različnih globin, pogosto z veliko kamenja, mestoma pa so tudi sprana. Prednost daje pretežno hladnim legam, vendar jo najdemo tudi drugje.

Vegetacijska enota nima razlikovalnic (diferencialnih vrst), ker v njej izrazito ne prevladuje nobena vrsta ali ožje diagnostično pomembna skupina rastlinskih vrst. Zeliščna plast, v kateri prevladujejo fagetalne vrste, običajno prekriva manj kot 60 % tal. Produktivna sposobnost rastišča v okviru osnovne združbe *Omphalodo Fagetum* var. geogr. *Anemone trifolia* je srednje dobra, pomlajevanje bukve je dobro, jelke pa slabše.

Predalpsko dinarski jelovo bukov gozd s prehlajenko (*Omphalodo-Fagetum asperuletosum*) porašča 466 ha oz. 11 % gozdnogospodarske enote. Porašča zaravnice med vrtačami, manjše in širše plitke doline, rahle terenske uleknine in plitve ponvaste vrtače ter blago nagnjena pobočja (do 10°). Skalovitost površja običajno znaša 5-20 %, varianta pa

dobimo v vseh ekspozicijah. Geološko podlago pretežno sestavljajo svetli, masivni do plastoviti apnenci jurske starosti (manj je triadnega in krednega apnenca). Na blago razgibanem terenu so ugodni pogoji za razvoj dobrih gozdnih tal. Najpogostejša so srednje globoko do globoka rjava pokarbonatna tla, ki pa se pogosto prepletajo z vložki bolj plitvih rjavih pokarbonatnih tal, ponekod tudi v kombinaciji z rendzinami.

V subasociji *Omphalodo-Fagetum asperuletosum* prevladujejo življenjsko zahtevnejše rastlinske vrste, neutrofilno-bazičnega značaja. Razlikovalnice subasociacije so prehlajenka (*Galium odoratum*), ženikelj (*Sanicula europaea*), gozdni šaš (*Carex sylvatica*), dvolistna senčica (*Majanthemum bifolium*) in zajčja deteljica (*Oxalis acetosella*). Značilno za subasociacijo je velika pokrovnost s prej naštetimi rastlinskimi vrstami in dobra pokrovnost zeliščne plasti s 70-90 % deležem na pretežno gladkem talnem površju. Produktivne lastnosti variante so odlične in najboljše v okviru združbe *Omphalodo Fagetum* var. geogr. *Anemone trifolia*. Na teh rastiščih jelka in bukev dosegata najvišje višine in premere ter temu ustrezne prirastke. Bukev se pomlajuje dobro, pogosto prevladujejo tudi čisti bukovi sestoji, predvsem kot posledica nepravilnega gospodarjenja ali naravnih katastrof.

3.1.2 Dosedanje gospodarjenje

Za Trnovski gozd velja, da je že od nekdaj imel urejeno gospodarjenje, saj je prvi ureditveni elaborat, za takratno Gozdno upravo (GU) Trnovo in GU Predmeja leta 1771 sestavil Flamek, v katerem je bila celotna površina gozdov razdeljena na 120 oddelkov s 120 letno obhodnjo. Že leta 1842 je gozdar Joseph Koller, s tretjim ureditvenim elaboratom, uvedel sistem enodobnega gozda s postopno sečnjo (Ureditveni elaborat ..., 1952). Ta oblika gospodarjenja, s poudarkom na naravnem pomlajevanju, se je v različnih oblikah ohranila do šestdesetih let 20. stoletja, kljub temu, da je že v načrtu leta 1952 zaslediti potrebo po uvajanju skupinsko postopnega gospodarjenja. Posledice poznega prehoda na skupinsko postopno gospodarjenje so kot posledica zastornih sečenj vidne v nastanku velikih strnjenih površin bukovih drogovnjakov (Gozdnogospodarski načrt ..., 1993).



Slika 4: Čisti bukovi drogovnjaki v neredčenem delu oddelka 13 v aprilu 2014

Primer tako nastalih strnjenih bukovih drogovnjakov predstavlja sestoji v analiziranem oddelku 13. Nastanek sestojev pretežno izvira iz semenskega leta 1928 (Ureditveni elaborat ..., 1963). Iz zapisov značilnosti sestojev ureditvenega elaborata gospodarske enote Trnovo (1952) je razvidno, da je takrat na celotni površini prevladovalo bukovo mladje, z nekaj zastrtimi iglavci. Mestoma so se pojavljala starejša drevesa (bukev 140-170 let, jelka 120-140 let) starejšega sestoja, vendar je bil glavni posek že izveden. Ukrepi, ki naj bi jih izvajali, so kleščenje in delni posek bukovih in vrbovih košev na celotni površini ter sproščanje iglavcev. Tudi v letu 1963 je na celotni površini prevladovalo bukovo mladje, s posameznimi mlajšimi jedri in starejšimi šopi starejših bukev. Redke jelke v podmladku so zastrte, negovalna dela pa so bila zamujena (razvili so se koši). Glavni cilj je bil ustvariti čim bolj enomerne bukove sestoje in osvobajati jelke (Ureditveni elaborat ..., 1963).

Panji posekanih dreves kažejo, da so v starejšem sestoku prevladovali iglavci, iz katerih se je razvil enomeren bukovi letvenjak (Ureditveni elaborat ..., 1973). V obdobju med letoma 1963 in 1973 so bili na mestih (odsek 13a in 13c), kjer so bila odstranjena drevesa, ki niso bila posekana pred 30-40 leti, osnovani nasadi macesna in smreke. Posamezne nadstojne starejše jelke so bile še prisotne (Ureditveni elaborat ..., 1973). Iz letvenjaka so se razvili

čisti bukovi drogovnjaki z jedri macesnovih in smrekovih nasadov (Ureditveni elaborat ..., 1983). V naslednjih gozdnogospodarskih načrtih je gospodarjenje temeljilo na šibkih redčenjih z delnim posekom nadraslih jelk (Gozdnogospodarski načrt ..., 1993). Danes v oddelku 13 prevladuje starejši bukov drogovnjak, mestoma debeljak, z nekaj nadstojnimi jelkami ter nasadi macesna in smreke. Gospodarjenje temelji na redčenjih in ohranjanju enomerne zgradbe sestoja.

Leta 2010 je bilo v odsekih 13b in 13c izvedeno redčenje. Izvajalec del, SGG Tolmin (lastnik gozdov SKZG RS) se je odločil za izvedbo redčenja s strojno sečnjo. Skupno je bilo v obeh odsekih posekanih 1257 m³ lesa. Za razliko od odseka 13b, v katerem so celoten posek (570 m³) predstavljala drevesa listavcev, so v odseku 13c poleg 592 m³ lesa listavcev posekali tudi 95 m³ lesa iglavcev. Zaradi neugodnih terenskih razmer za strojno sečnjo v odsekih ni bilo mogoče izvesti poseka na približno 2 ha površine (približno 100 m³ lesa). Sečne poti so bile trasirane v približnem razmaku 15 m (Zorn, 2014).



Slika 5: Bukovi sestoji po redčenju v letu 2010 (februar 2012)

Sečnjo so izvajali s strojem za sečnjo (harvester) proizvajalca John Deere, tip 1470D ECO III. Stroj ima 6-cilindrski dizelski motor z močjo 180 kW in navorom 1250 Nm. Masa stroja je 19,7 t, dolžina 7,7 m, širina 3 m, višina 4 m, najnižja točka stroja je od tal oddaljena 71 cm. Stroj ima dve osi z medosno razdaljo 4,1 m. Dvigalo stroja, z dvižno močjo 210 kNm, lahko doseže dolžino 11 metrov, znotraj vrtljivega kota 220°. Stroj dosega hitrost 22 km/h, njegovi učinki so od 60 do 160 m³/dan, povprečno 80 m³/dan (John Deere Harvesters ..., 2014; Vadnjal, 2010).

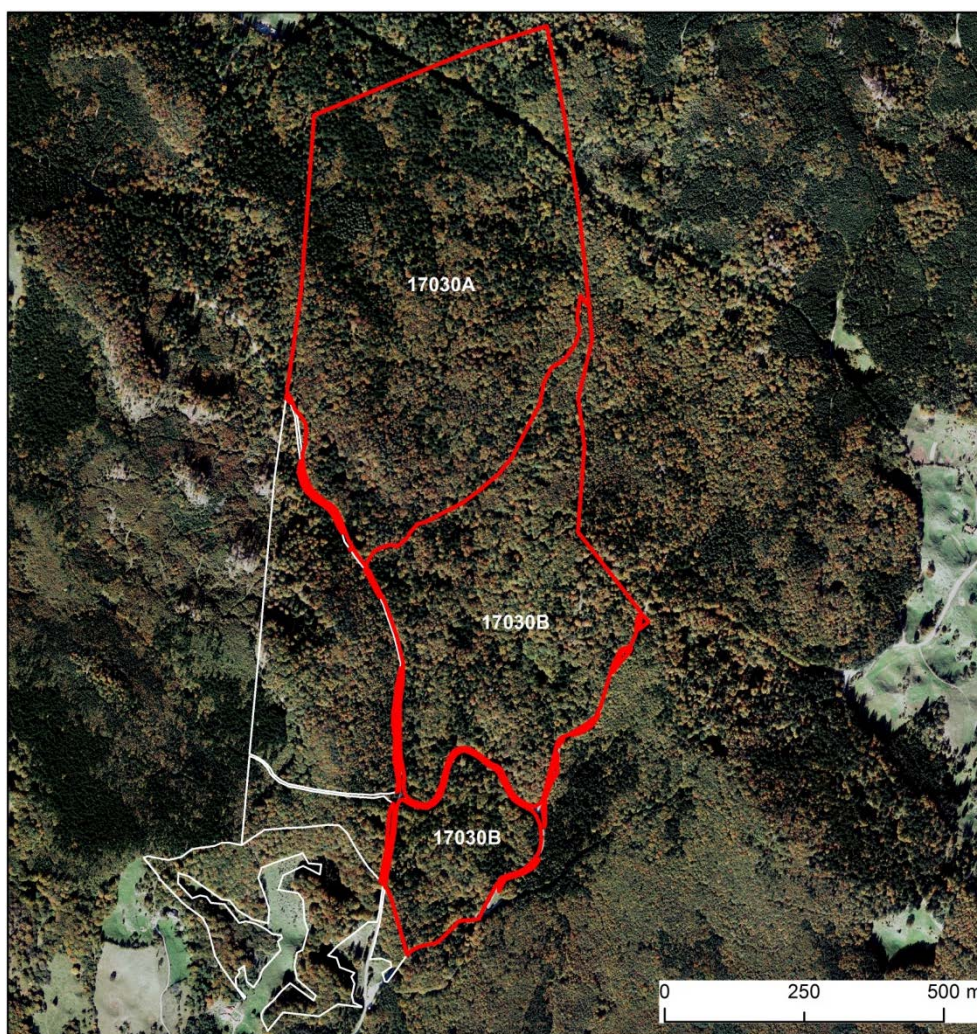
Spravilo so izvajali z zgibnim polprikoličarjem (forwarder) proizvajalca John Deere, tip 1410D ECO III. Stroj je opremljen s 6-cilindrskim dizelskim motorjem moči 136 kW in navorom 780 Nm. Dolžina stroja je 10,4 m, širina 2,89 m, višina 3,7 m, najnižja točka pa je od tal oddaljena 60 cm. Dvigalo, z dvižno močjo 125 kNm, lahko doseže dolžino 10 m. Dnevni učinki stroja so odvisni od pravilne razdalje in debeline sortimentov ter se gibljejo med 70 in 100 m³/ha (John Deere Forwarders ..., 2014; Vadnjal, 2010).

3.1.3 2. Testno območje (oddelek 30)

Velikost oddelka 30 je 89,25 ha in je razdeljen na štiri odseke. Območje lidarskega snemanja se nahaja le v odsekih 30a in 30b, zato smo velikost testnega območja omejili le na območje lidarskega snemanja v teh dveh izbranih odsekih (52,97 ha). Sestoji teh dveh odsekov se razprostirajo na nadmorski višini med 810 in 850 m.n.v., uvrščeni pa so v RGR jelovo bukovih gozdov na dobrih rastiščih, mešanih z iglavci. V rastiščno gojitvenem razredu, ki je z 34,4 % najbolj zastopan v GGE Trnovo prevladujejo združba *Omphalodo-Fagetum* v.g *Anemone trifolia* s subasociacijami *asperuletosum*, *festucetosum*, *filicetosum*, *typicum* in *calamagrostidetosum* (Gozdnogospodarski načrt ..., 2013).

Dejansko razmerje razvojnih faz je zelo podobno modelnemu stanju, saj ni večjih odstopanj v nobeni izmed razvojnih faz. V RGR prevladujejo debeljaki (37,8 %), sledijo drogovnjaki s 33,5 %, sestoji v obnovi 15,1 % ter mladovje s 13,6 %. Glavne drevesne vrste so bukev z 51 %, jelka s 25 % ter smreka z 21 %. V zadnjih 30 letih se je delež jelke močno zmanjšal (l. 1983 je znašal 59 %), medtem ko se je delež smreke na račun smrekovih nasadov povečal iz 8 % leta 1983 na današnjih 21 %. Povprečna lesna zaloga rastiščno gojitvenega razreda je 362 m³/ha in je enakomerno porazdeljena med listavce (51,4 %) in iglavce (48,6 %) (Gozdnogospodarski načrt ..., 2013).

Najbolj pogosti subasociaciji, ki se pojavljata v odsekih 30a in 30b, sta *Omphalodo-Fagetum typicum* in *Omphalodo-Fagetum asperuletosum*, ki sta najbolj pogosti tudi v oddelku 13, zato so njihove značilnosti že opisane v zgornjem poglavju (Gozdnogospodarski načrt ..., 2003).



Slika 6: Oddelek 30 z izbranimi odsekoma 30a in 30b (Vir: Digitalni ortofoto, Geodetska uprava RS, 2010; Prostorski podatki, ZGS, 2013)

Na podlagi zapisov iz Ureditvenega elaborata gospodarske enote Trnovo (1952) lahko ocenimo današnjo starost sestojev na 150-160 let za jelko ter 120-140 let za bukev. Pri nastanku današnjih sestojev je zanimiva generacijska sprememba v drevesni sestavi med iglavci in listavci. Leta 1770 so bili na tem območju evidentirani pretežno bukovi sestoji, sledila je porast jelke, ki so jo pospeševali tudi gozdarji. Tudi leta 1952 (Ureditveni elaborat ..., 1952) je v teh sestojih še prevladovala jelka (60 %) nad bukvijo (40 %). V naslednjih letih je sledil trend večanja deleža bukve, predvsem na račun sušenja jelke ter njenega neuspešnega pomlajevanja in vraščanja v višje višinske razrede.

Po podatkih ZGS (Zorn, 2014) so v odsekih 30a in 30b v letih 2010 in 2011 izvajali le sanitarne poseke, v katerih so po količini posekanega lesa prevladovali iglavci. Izvajala se je klasična sečnja s traktorskim spravilom. V letu 2012 so v obeh odsekih posekali večje količine lesa, kjer so v posekani količini odseka 30a prevladovali iglavci, v odseku 30b pa listavci (Preglednica 2). Posek je bil izveden s strojno sečnjo, kjer so bili uporabljeni isti

stroji kot pri strojni sečnji v oddelku 13. Del poseka je bil načrtovan v skladu s projektom ManFor C.BD. (Poročilo o projektni ..., 2013)

Preglednica 2: Posek v odsekih 30a in 30b v letih 2010, 2011 in 2012 (Vir: Zorn, 2014)

Odsek/Leto		2010 [m ³]	2011 [m ³]	2012 [m ³]
30a	Iglavci	89	188	1208
	Listavci	3	24	993
30b	Iglavci	45	70	739
	Listavci	3	30	927

3.1.4 Projekt ManFor C.BD.

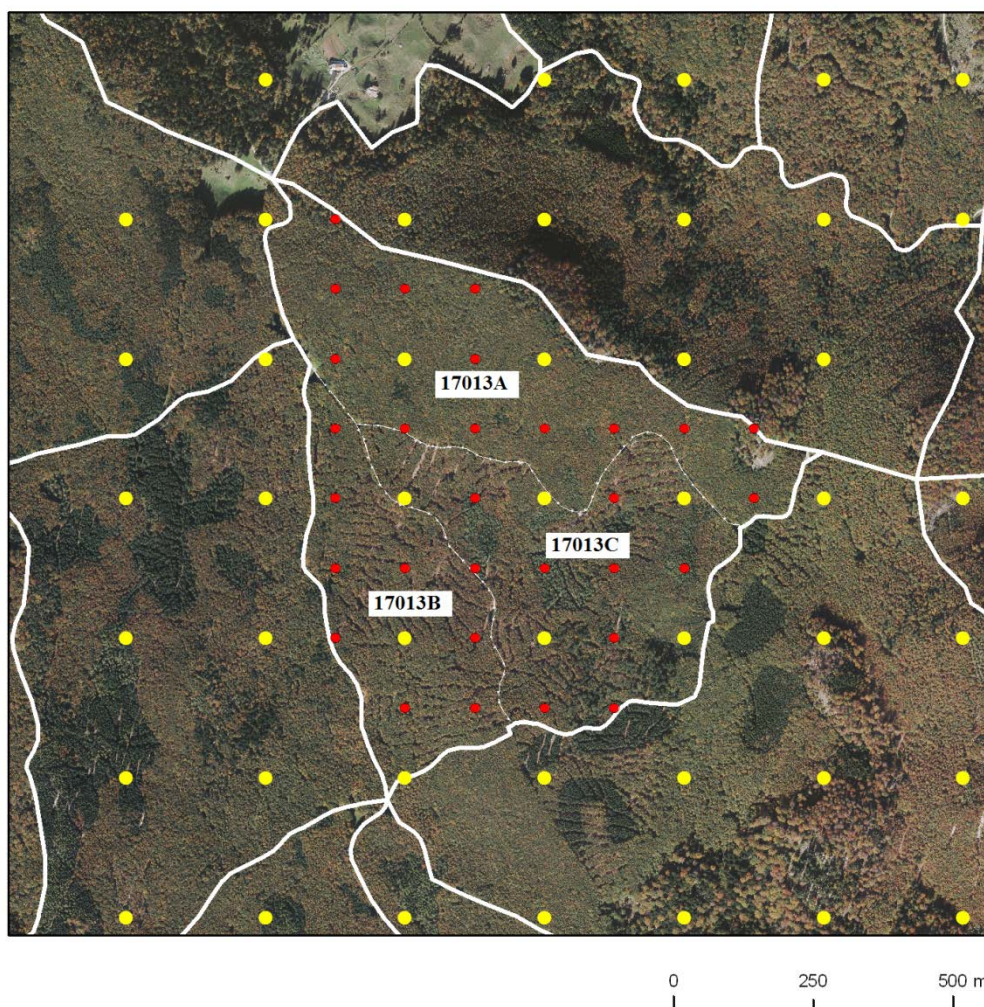
Projekt večnamensko gospodarjenje z gozdom: ogljik, biotska raznovrstnost in socioekonomska blaginja oz. *Managing forests for multiple purposes: carbon, biodiversity and socio-economic wellbeing* (skrajšano ManFor C.BD.) je evropski Life + projekt, ki se je začel izvajati konec leta 2010. Tematika projekta je poleg področja okolja in naravovarstva (biodiverziteta in ogljikov ciklus) zanimiva tudi za gozdarstvo, saj v sklopu projekta preizkušajo in preverjajo tudi učinkovitost različnih načinov gospodarjenja z gozdovi za doseganje različnih ciljev gospodarjenja oz. funkcij gozdov (proizvodna, zaščitna). Poleg tega v okviru projekta zbirajo tudi podatke v povezavi s kazalniki kroženja ogljika in biotske raznovrstnosti, ki so tudi kazalniki trajnostnega gospodarjenja z gozdovi (Poročilo o projektni ..., 2013).

Eden izmed sklopov projekta je izvajanje različnih načinov gospodarjenja z gozdovi na testnih območjih, znotraj katerega je bila izvedena tudi analiza vrzeli z lidarskimi podatki. V tem sklopu projekta bodo za obravnavana območja naredili analizo ocene gospodarjenja z gozdovi v preteklosti ter določili parametre, ki jih je potrebno spremljati in ocenjevati, da se oceni vplive na kroženje ogljika in na biotsko raznovrstnost. Predlagani oz. oblikovani bodo tudi (novi) načini gospodarjenja z gozdovi (Poročilo o projektni ..., 2013).

4 MATERIALI IN METODA DELA

4.1 DOLOČITEV VZORČNE MREŽE

Z vzorčenjem smo želeli pridobiti podatke o sestojnih gostotah (število dreves, temeljnica in lesna zaloga), razmestitvi dreves ter primerjavi sestojnih gostot in razmestitve dreves med redčenim in neredčenim delom oddelka v zadnjih desetih letih. Odločili smo se za sistematično vzorčenje na krožnih vzorčnih ploskvah, ker je krožne vzorčne ploskve enostavno zakoličiti, omogočajo prostorsko lociranje posameznih dreves, s polarnimi koordinatami, pridobljenimi prek azimuta in polmera ter zaradi najmanjšega števila mejnih dreves (Hočevnar, 2001). Hočevnar (2001) je za enkratno metodo vzorčnih krogov predlagal velikosti vzorčnih ploskev od 3 do 6 arov. V raziskavi smo se odločili za velikost ploskve 5 arov.



Slika 7: Vzorčne mreže v oddelku 13 s postavljenimi stalnimi in enkratnimi vzorčnimi ploskvami (rumene - stalne vzorčne ploskve; rdeče – enkratne ploskve za namen raziskave) (Vir: Digitalni ortofoto, Geodetska uprava RS, 2010; Prostorski podatki, ZGS, 2013; Podatki ..., ZGS, 2014)

V analizi smo z vzorčenjem želeli pridobiti podatke z največ 10 % dopustno vzorčno napako pri 30 % koeficientu variacije, kar dosežemo s postavitvijo okoli 40 vzorčnih ploskev (Gozdarski priročnik, 2007). ZGS ima znotraj izbranega oddelka za spremljanje stanja gozdov postavljenih 9 stalnih vzorčnih ploskev (na mreži 250x250 m), zato je bilo mrežo potrebno dopolniti z enkratnimi vzorčnimi ploskvami na gostejši mreži. V oddelku smo postavili vzorčno mrežo 125x125 m, na kateri se skupno nahaja 39 vzorčnih ploskev. Na terenu smo ugotovili, da ena ploskev leži izven meja izbranega oddelka, zato smo v analizi uporabili podatke iz 38 vzorčnih ploskev. Stopnja vzorčenja je 3,2 %, kar je znotraj predlaganih meja 2 – 15 %, ki ga je za inventure na manjših prostorskih enotah (gozdni obrat, oddelek) predlagal Hočevnar (2001). Koordinate posameznih vzorčnih ploskev sovpadajo z Gauss-Krügerjevim pravokotnim koordinatnim sistemom. Za kartno podlago smo uporabili digitalne ortofoto posnetke iz leta 2010, na katere smo v okolju geografskega informacijskega sistema ArcGIS dodali še podatke oddelkov in odsekov (Prostorski podatki, 2013).

4.2 POSTAVITEV VZORČNIH PLOSKEV IN POPIS PLOSKEV NA TERENU

Na terenu smo z GPS-om Leica poiskali središča vzorčnih ploskev. Ker drevesa v sredini aprila 2014 še niso bila olistana, je bilo mogoče z GPS-om doseči večjo natančnost in hitrejše delo pri določanju stojišč vzorčnih ploskev. Za postavitev ene vzorčne ploskve smo potrebovali približno 15 minut. V središču ploskve smo zabili količek, najbližja okoliška drevesa pa označili s kredo.

Vsakemu drevesu s premerom nad 10 cm v prsni višini smo na ploskvi določili drevesno vrsto, izmerili azimut, razdaljo od središča ploskve, premer, drevesni sloj, vitalnost, dolžino krošnje ter kakovost debla. Podobne kriterije ocenjevanja živih dreves so v svojih metodah uporabljali že Konečnik in Zaplotnik (2001) ter Čanželj (2004) za popis pragozdnih rezervatov, Šantl (2012) pri gozdni inventuri kmetije ter Roženbergar (1999) in Rugani s sod. (2013) pri opisu razvoja dinamike vrzeli v gozdnih rezervatih Slovenije.

Azimut med središčem ploskve in posameznim drevesom smo merili s kompasom Suunto. Rezultat meritve je bil levi rob debla, gledano iz središča navzven. Za lažje merjenje smo kompas postavili na stojalo, ki je bilo postavljeno na središču vzorčne ploskve. Razdaljo smo merili z digitalnim merilcem VERTEX. Naprava je sestavljena iz IR oddajnika in sprejemnika, rezultate meritev pa smo občasno preverjali tudi z navadnim gozdarskim metrom. Izkazalo se je, da je merjenje razdalj z VERTEX-om enostavnejše in hitrejše od merjenja razdalj z navadnim gozdarskim trakom. Kjer je bilo potrebno, smo na vzorčni ploskvi z naklonomerom Suunto izmerili povprečni naklon terena (povprečje meritev po pobočju navzgor in navzdol), glede na katerega smo po tabeliranih vrednostih (Gozdarski priročnik, 2007) korigirali radij ploskve. Premer smo merili s premerko v višini 1,30 m od

tal. Merili smo na centimeter natančno, pozorni pa smo bili, da je vodilo premerke vedno bilo usmerjeno proti središču ploskve.

Na ploskvah smo za pridobitev višinske krivulje sestoja izmerili višino središču najbližjega drevesa, za oceno dominantne višine pa smo višino izmerili tretjemu najdebelejšemu drevesu na ploskvi. Višine dreves smo merili z digitalnim merilcem VERTEX, ki smo ga uporabljali tudi za merjenje razdalj. Višine smo merili na 0,5 m natančno.



Slika 8: Pripomočki in orodja za delo na terenu

Glede na višino smo drevesa na ploskvi razvrstili v 3 razrede (Kotar, 2011):

- (1) zgornji sloj (višina drevesa $> \frac{2}{3}$ največje sestojne višine)
- (2) srednji sloj (višina drevesa med $\frac{1}{3}$ in $\frac{2}{3}$ največje sestojne višine)
- (3) spodnji sloj (višina drevesa $< \frac{1}{3}$ največje sestojne višine)

Vitalnost smo ocenjevali v štirih stopnjah, glede na življenjsko moč in izgled drevesa. Pri določevanju stopnje vitalnosti smo se zanašali predvsem na velikost in simetričnost krošnje, prisotnost adventivnih poganjkov in gliv, vitalnost debla. Ker drevesa še niso bila olistana, se na gostoto olistanosti, osutost krošnje in barvo listja nismo mogli zanašati (Roženberger, 1999; Konečnik in Zaplotnik, 2001).

Stopnje vitalnosti:

- (1) izredna – izredna življenjska moč in zmožnost reagiranja (silaki)
- (2) močna – velika življenjska moč in zmožnost reagiranja
- (3) srednja – zmerna življenjska moč in zmožnost reagiranja
- (4) slaba – nesposobnost pozitivnega reagiranja, presvetljenost krošnje, prisotnost adventivnih poganjkov

Glede na ocenjeno razmerje med višino drevesa in višino krošnje smo drevesa uvrščali v tri razrede. Za začetek krošnje smo upoštevali prvo živo vejo od tal navzgor.

Razredi dolžine krošnje (Kotar, 2011):

- (1) drevesa z dolgo krošnjo – dolžina krošnje $> \frac{1}{2}$ višine drevesa
- (2) drevesa s srednje dolgo krošnjo – dolžina krošnje med $\frac{1}{2}$ in $\frac{1}{4}$ krošnje
- (3) drevesa s kratko krošnjo – dolžina krošnje $< \frac{1}{4}$ višine drevesa

V povezavi z dolžino krošnje smo ocenjevali tudi prisotnost odebelitev in ukrivljenosti debla, prisotnost suhih vej in odlomljenih vrhov, po naslednjih štiri razredih:

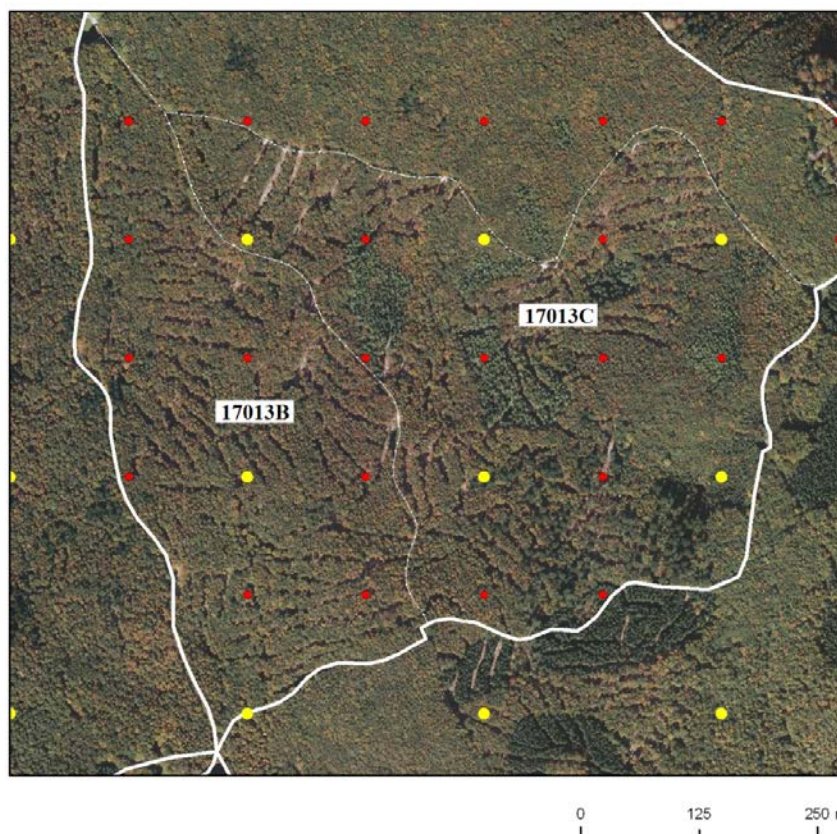
- (1) deblo brez krivin in odebelitev, drevo s kratko krošnjo
- (2) deblo ukrivljeno, s posameznimi odebelitvami in odmrliimi vejami, krošnja je kratka
- (3) deblo brez krivin in odebelitev, krošnja daljša od polovice dolžine drevesa
- (4) deblo s krivinami in odebelitvami, krošnja daljša od polovice dolžine drevesa

V oddelku smo naknadno za določitev rastiščnega indeksa ocenili tudi starost dreves na panjih posekanih dreves. Štetje branik je bilo dokaj težavno, saj so bili panji v sestojih poškodovani ali pa že rahlo prepereli. Tako smo šteli branike na panjih, na katerih so bile le-te razmeroma lahko določljive, tudi če so ležali izven vzorčnih ploskev.

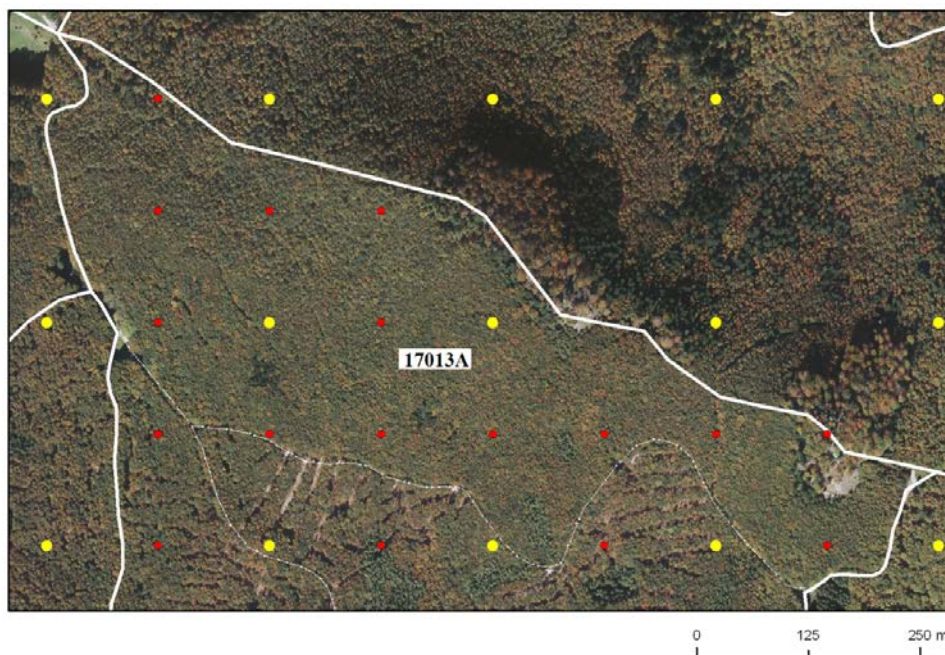
4.3 ANALIZA PODATKOV

4.3.1 Primerjava redčenega in neredčenega dela oddelka

V odsekih 13b in 13c je bilo leta 2010 izvedeno redčenje s strojno sečnjo, v odseku 13a pa redčenje še ni bilo izvedeno. Gozdni sestoji v teh odsekih so si zelo podobni, zato smo izvedli primerjavo med neredčenim (1 razred) in neredčenima (2 razred) odsekoma. Ker smo želeli obravnavati predvsem strukturne spremembe gospodarskih gozdov bukve, smo iz raziskave izločili ploskve, na katerih je delež bukve v lesni zalogi manjši od 50 %. Tako je bilo izločenih 6 ploskev – ploskev 10, 16, 17, 19, 74 in 88. Primerjali smo temeljnico, število dreves, srednje temeljnični premer ter lesno zalogo.



Slika 9: Odseka 13b in 13c s točkami postavljenih vzorčnih ploskev (rumene - stalne vzorčne ploskve; rdeče – enkratne ploskve za namen raziskave) (Vir: Digitalni ortofoto, Geodetska uprava RS, 2010; Prostorski podatki, ZGS, 2013; Podatki ..., ZGS, 2014)



Slika 10: Odsek 13a s točkami postavljenih vzorčnih ploskev (rumene - stalne vzorčne ploskve; rdeče – enkratne ploskve za namen raziskave) (Vir: Digitalni ortofoto, Geodetska uprava RS, 2010; Prostorski podatki, ZGS, 2013; Podatki ..., ZGS, 2014)

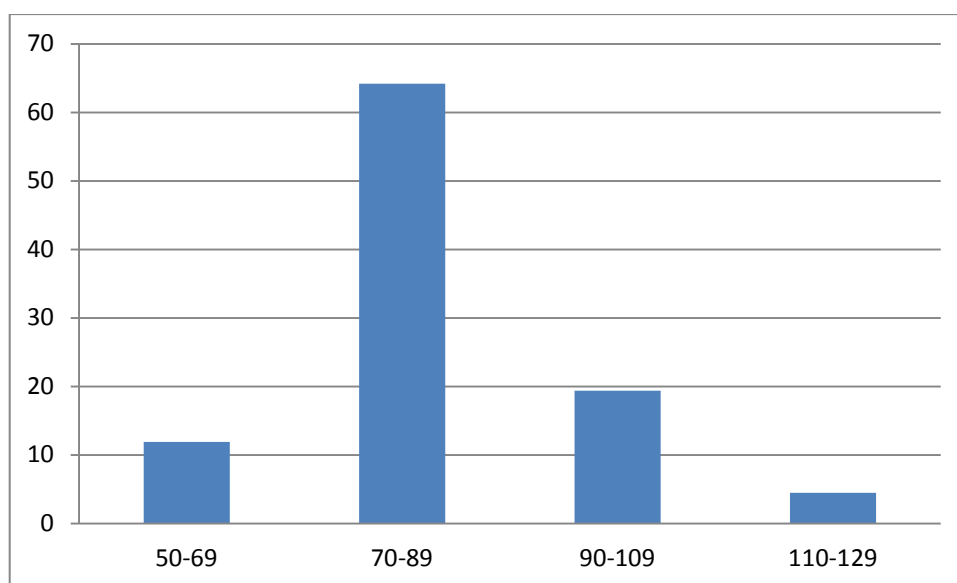
Statistično značilne razlike v aritmetičnih sredinah med obema razredoma smo preverjali v programu SPSS, z uporabo *t*-testa za neodvisne vzorce.

4.3.2 Rastiščni indeks (SI)

Na rastiščih *Omphalodo-Fagetum typicum* in *Omphalodo-Fagetum asperuletosum* smo v raziskavi določali tudi rastiščni indeks pri starosti 100 let (SI_{100}), ki nam pove, kakšno zgornjo višino doseže sestoje v starosti 100 let.

Rastiščni indeks ugotovimo iz znane starosti in zgornje višine sestojev. Starost sestojev v oddelku 13 smo določili s povprečno vrednostjo zbranih podatkov pri štetju branik na posekanih panjih. Na terenu smo prešteli starost na 67 bukovih panjih. Ker smo šteli na panjih dreves, ki so bila posekana pred 4 leti (strojna sečnja v letu 2010), smo povprečni starosti prišteli še 4 leta, da smo ocenili današnjo starost sestojev.

Kotar (1989) navaja, da morajo biti sestoji, v katerih se ugotavlja SI čim bolj enomerni, enodobni, drevesna vrsta za katero ugotavljamo SI pa mora biti zastopana z najmanj 80 %. V ta namen smo za določitev zgornje drevesne višine uporabili le dominantne višine dreves na ploskvah, v katerih je delež bukke znašal več kot 80 %.



Slika 11: Deleži števila dreves po starostnih razredih v oddelku 13 (maj 2014)

Povprečna starost sestojev, ugotovljena s štetjem branik na panjih, znaša 83 let. Najstarejše drevo, ki smo mu prešteli starost je staro 121 let, najmlajše pa 58 let. Visoka variabilnost starosti teh sestojev ni pogojena le s prsnim premerom, ampak je starost močno različna tudi pri podobnih prsnih premerih, kar je posledica zastornega gospodarjenja v preteklosti in postopnega pomlajevanja starejših sestojev. Dobljeno vrednost smo potrdili z zapisom iz ureditvenega elaborata gozdnogospodarske enote Trnovo (1963), kjer je ocenjeno, da je

bila večina sestojev pomlajena v semenskem letu 1928, torej pred 86 leti. Zgornja drevesna višina na ploskvah s prisotnostjo bukve v lesni zalogi večjo kot 80 %, znaša 24,6 m.

Rastiščni indeks smo določili s primerjavo ocenjene zgornje višine bukve (24,6 m) pri starosti 85 let s tabličnimi višinami pri razvojni starosti bukve, ki so prikazane na sliki razvoja zgornje višine bukve (Gozdarski priročnik, 2007). Z ugotovljenim SI_{100} smo dobljene sestojne parametre na vzorčnih ploskvah primerjali s slovaškimi tabličnimi vrednostmi (Halaj in sod., 1987). Za primerjavo sestojnih parametrov s švicarskimi tablicami (EAFV, 1968), pa smo določili tudi SI_{50} . Ocenili smo, da te sestoje lahko uvrstimo v rastiščna indeksa z oznakama SI_{100} 26 ter SI_{50} 18. V neredčenem delu sestoja je bila izračunana zgornja višina sestoja višja kot v redčenem sestoju, vendar se statistično značilno višini nista razlikovali (t -test za neodvisne vzorce $p = 0,32$), zato smo tako za redčen kot tudi neredčen del oddelka določili enak rastiščni indeks.

4.3.3 Indeks gostote sestoja (SDI)

Eden od osnovnih kazalcev gostote sestoja je število dreves na enoto površine, ki je odvisna od starosti sestoja, drevesne vrste, proizvodne sposobnosti rastišča in od zgradbe sestoja. S starostjo sestoja se število dreves v njem zmanjšuje. Reineke (1933; cit. po Kotar, 2011) je utemeljil, da se število dreves v sestoju zmanjšuje z naraščanjem srednje temeljničnega premera (Reinekejevo pravilo o gostoti sestoja), iz katerega je izpeljan indeks gostote sestoja (Stand density indeks – SDI). SDI ali Reinekejev indeks gostote sestoja nam omogoča, da izračunamo, kolikšno bi bilo število dreves, če bi imel ta sestoj srednji premer 25 cm.

$$SDI = N_{obs.} \left(\frac{25}{DBH_q} \right)^{-1,605} \quad \dots (1)$$

SDI = število dreves sestoja s srednje temeljničnim premerom 25 cm

$N_{obs.}$ = dejansko število dreves

DBH_q = dejanski srednje temeljnični premer

-1,605 = alometrijska konstanta zmanjševanja števila dreves

Reinekejevo pravilo velja za naravnemu razvoju prepuščene sestoje ter sestoje v katerih so bila izvedena šibka nizka redčenja, ki predstavljajo le manjšo motnjo v razvoju sestoja. Reinekejev indeks gostote pa je uporaben kot kazalec dejanske gostote sestoja v vseh enodobnih sestojih. Statistično značilne razlike v aritmetičnih sredinah med redčenim in neredčenim delom oddelka smo preverjali s programom SPSS, z uporabo t -testa za neodvisne vzorce.

4.3.4 Prostorska razmestitev dreves

Analizo prostorske razmestitve dreves na vzorčnih ploskvah smo izvedli z računanjem razdalj in njihove variabilnosti od središča ploskve do vseh dreves na ploskvi. Najprej smo na posameznih ploskvah razvrstili drevesa po oddaljenosti od središča ploskve. Za vsako ploskev posebej smo najbližjemu drevesu pripisali število 1, drugemu 2 ter tako naprej do k -tega drevesa. Na vzorčnih ploskvah smo izračunali povprečne oddaljenosti R_k do k -tega drevesa ter jih primerjali s teoretičnimi razmaki (Puhek, 1998; cit. po Hladnik, 2004)

$$R_{kt} = \frac{a_k}{\sqrt{\mu}} \quad \dots (2)$$

Konstanto a_k smo izračunali za posamezne vrednosti dreves.

$$a_k = \frac{k \times (2k)!}{(2^k \times k!)^2} \quad \dots (3)$$

Vrednost μ je gostota, izračunana na podlagi števila dreves ($N_{ha}/10000$). Sledi izračun teoretične variance razmikov dreves po Thompsonovem obrazcu, ki temelji na drugem momentu srednjih vrednosti do najbližjega drevesa (Puhek, 1998; cit. po Hladnik, 2004):

$$\sigma^2_{Rk} = \frac{k}{\mu \times \left\{ \frac{1}{\pi} - \frac{k \times ((2k)!)^2}{(2^k \times k!)^4} \right\}} \quad \dots (4)$$

Na podlagi zgornjega obrazca je Puhek (1998; cit. po Hladnik, 2004) izpeljal obrazec za računanje teoretičnega koeficienta variacije:

$$KV_{kt} = \frac{1}{a_k \times \sqrt{\frac{k}{\pi} - a_k^2}} \quad \dots (5)$$

Izračunane teoretične koeficiente variacije smo primerjali z dejanskim koeficientom variacije za ocenjevanje razmikov med drevesi. Ker je dejanski koeficient variacije odvisen od povprečnih vrednosti razmikov med drevesi in variance razmikov, teoretični koeficient variacije, izračunan za slučajnostno razmestitev dreves, pa le od vrednosti zaporedja razmikov k , je Puhek (1998; cit. po Hladnik, 2004) ocenil, da na podlagi koeficienta variacije za ocenjevanje razmikov med drevesi ocenjujemo prostorske razmestitve dreves.

Z analizo prostorskih vzorcev smo primerjali prostorske vzorce med redčenim in neredčenim delom oddelka. V analizo so bile izbrane le tiste vzorčne ploskve, na katerih je

delež bukve v lesni zalogi večji od 50 %. Ker je bilo v redčenem delu tudi 7 stalnih vzorčnih ploskev, za katere smo imeli podatke pred izvedbo redčenja (leto 2002), smo, na istih ploskvah, primerjali tudi prostorsko razmestitev dreves pred in po redčenju. Ena izmed ploskev se nahaja v smrekovem nasadu, kjer je v zadnjem desetletju čez merski prag 10 cm vraslo veliko dreves in je bila zato izvzeta iz analize razmestitve dreves na stalnih vzorčnih ploskvah. Na stalnih vzorčnih ploskvah uporabljamo koncentrične vzorčne ploskve, kjer vsa drevesa izmerimo le znotraj 2 arskega kroga, zato smo za ugotavljanje sprememb v prostorskih vzorcih po strojni sečnji ocenjevali le razmestitve dreves na 2-arskih ploskvah.

4.4 OCENA SESTOJNIH PARAMETROV V ODDELKU 13

4.4.1 Sestojne gostote

Preglednica 3: Število dreves na vzorčnih ploskvah v oddelku 13 po vrstah in debelinskih stopnjah (april 2014)

Debelinska stopnja	Drevesna vrsta							Skupaj
	smreka	jelka	evropski macesen	bukev	gorski javor	češnja	mokovec	
3 - (12,5 cm)	95		20	190	1			306
4 - (17,5 cm)	65	1	38	241			2	347
5 - (22,5 cm)	36	1	44	317			1	399
6 - (27,5 cm)	10		21	252				283
7 - (32,5 cm)	7	1	4	138				150
8 - (37,5 cm)		2	1	43				46
9 - (42,5 cm)	1	2		17				20
10 - (47,5 cm)		1		1		1		3
11 - (52,5 cm)		1		1				2
12 - (57,5 cm)		2		1				3
13 - (62,5 cm)				2				2
15 - (72,5 cm)		1						1
Skupaj	214	12	128	1203	1	1	3	1562

Na postavljenih vzorčnih ploskvah smo izmerili 1562 dreves, izmed katerih je kar 77 % dreves bukve. Bukev se pojavlja na celotni površini oddelka in ustvarja homogene sestojne na večjih površinah. V manjšem deležu se v ustvarjenih nasadih na strmejših pobočjih pojavljata smreka (14 %) in evropski macesen (8 %), posamično pa se v sestojih pojavljajo še jelka, gorski javor, češnja in mokovec (Preglednica 3).

Med 38 postavljenimi vzorčnimi ploskvami po številu dreves najbolj iztopata ploskvi 88 in 19, kjer je bilo izmerjenih največ dreves (102 in 100 dreves). Visoka odstopanja od ostalih ploskev smo ocenili, ker sta ti dve ploskvi ležali znotraj gostega nasada smreke in evropskega macesna. Ostale ploskve so si po številu dreves podobne in obsegajo vrednosti med 28 in 40 drevesi na ploskev. Najmanj dreves je bilo izmerjenih na ploskvi 11, ki je ležala v debeljaku na vrhu grebena (Preglednica 4).

Preglednica 4: Število dreves na vzorčnih ploskvah (N/ploskev) in hektarske vrednosti števila dreves (N/ha), temeljnica (G), srednje temeljnični premer (d_g) in lesna zaloga (V), za posamezne vzorčne ploskve v oddelku 13 (april 2014)

Ploskev	N/ploskev	N/ha	G [m^2/ha]	d_g [cm]	V [m^3/ha]
1	32	640	31,8	25,2	359,2
2	28	560	28,5	25,5	324,2
3	28	560	37,6	29,2	438,2
4	35	700	35,1	25,3	395,6
5	40	800	39,2	24,9	441,3
6	38	760	46,5	27,9	538,9
7	41	820	38,2	24,4	430,2
8	29	580	27,2	24,4	305,3
9	29	580	34,0	27,3	393,3
10	51	1020	32,6	20,2	347,4
11	18	360	26,5	30,6	315,5
12	57	1140	37,0	20,3	396,7
13	42	840	31,4	21,8	342,2
14	34	680	29,5	23,5	328,1
15	34	680	27,0	22,5	297,7
16	54	1080	31,6	19,3	333,3
17	74	1480	46,7	20,1	498,1
18	54	1080	36,2	20,7	389,0
19	100	2000	52,8	18,3	544,5
20	32	640	20,7	20,3	220,5
21	31	620	17,5	18,9	184,2
22	41	820	42,1	25,6	481,2
23	30	600	33,6	26,7	384,8
24	43	860	39,1	24,1	437,4
25	24	480	30,1	28,3	352,8
26	31	620	39,3	28,4	454,6
27	43	860	36,3	23,2	402,9
28	35	700	29,9	23,3	331,1
29	22	440	26,8	27,8	311,5
63	37	740	23,8	20,2	253,7
64	44	880	34,2	22,2	374,5
65	36	720	38,3	26,0	437,6
66	48	960	30,5	20,1	325,5
67	28	560	38,4	29,6	449,7
74	47	940	44,5	24,6	515,8
88	102	2040	29,0	13,5	258,1
100	30	600	30,3	25,4	344,6
200	40	800	41,1	25,6	465,5
Povprečje	41	822	34,1	23,8	379,1

Najvišji lesni zalogi smo izračunali na ploskvi 6 (538,9 m^3/ha) in 19 (544,5 m^3/ha). Za razliko od ploskve 6, ki leži v čistem bukovem sestoj, se ploskev 19 nahaja v gostem smrekovem in macesnovem nasadu. Na ploskvi 19 je izračunana tudi najvišja temeljnica (52,8 m^2/ha). Najnižjo lesno zalogo (184,2 m^3/ha) in temeljnico (17,5 m^2/ha) smo

izračunali na ploskvi 21, predvsem zaradi bližine sečne poti, na kateri so posekana vsa drevesa. Ploskve, na katerih prevladujeta smreka in macesen, imajo manjši srednje temeljnični premer. Tako smo najmanjšo vrednost srednje temeljničnega premera izračunali na ploskvi 88 (13,5 cm), najvišjo pa v bukovem debeljaku na ploskvi 11, kjer znaša 30,6 cm (Preglednica 4).

Preglednica 5: Statistični parametri za analizo povprečnih vrednosti temeljnice (G), števila dreves, (N/ha) srednje temeljničnega premera (d_g) in lesne zaloge (V) v oddelku 13 (april 2014) (n=38)

	G [m ² /ha]	N/ha	d_g [cm]	V [m ³ /ha]
Povprečna vrednost	34,1	822,1	23,8	379,1
Standardni odklon	7,3	358,5	3,7	84,5
Koeficient variacije [%]	21,5	43,6	15,5	22,3
Standardna napaka	1,2	58,2	0,6	13,7
Vzorčna napaka	2,4	117,8	1,2	27,8
Vzorčna napaka (%)	7,1	14,3	5,1	7,3

Iz vzorca ugotovimo, da je koeficient variacije za temeljnico nizek (21,5 %), iz česar lahko sklepamo na homogenost gozdnih sestojev v oddelku. Na homogene sestoje nam kaže tudi nizka vzorčna napaka pri temeljnici (7,1 %) in srednje temeljničnem premeru (5,1 %). Točnost ocene lesne zaloge je, glede na nizko vzorčno napako (7,3 %), zadovoljiva (Preglednica 5).

V obravnavanem oddelku je postavljenih tudi 9 stalnih vzorčnih ploskev, na katerih smo po letu 2002 naredili ponoven popis.

Preglednica 6: Ocene temeljnice (G), števila dreves na hektar (N/ha), srednjemeljničnega premera (d_g) ter lesne zaloge (V) v oddelku 13 na stalnih vzorčnih ploskvah leta 2002 in aprila 2014 (Vir: Podatki ..., ZGS, 2002)

	2002				2014			
Ploskev	G [m²/ha]	N/ha	d_g [cm]	V [m³/ha]	G [m²/ha]	N/ha	d_g [cm]	V [m³/ha]
100	27,4	690	22,5	301,4	32,9	660	25,2	373,0
200	30,3	810	21,8	330,3	37,5	680	26,5	427,3
63	30,7	1100	18,9	320,4	24,8	690	21,4	269,1
64	36,9	1270	19,2	386,5	36,5	1060	20,9	393,1
65	41,4	860	24,8	467,8	37,4	700	26,1	428,9
66	28,7	1040	18,8	300,4	28,8	860	20,7	311,3
67	37,8	520	30,4	442,4	28,2	310	34,1	337,5
74	38,9	980	22,5	439,7	45,1	970	24,3	519,3
88	2,4	250	11,0	18,4	23,2	1750	13,0	201,5
Povprečje	30,5	835,0	21,1	334,1	32,7	853,0	23,6	362,3

Iz preglednice 6 lahko opazimo, da so se ocene sestojnih parametrov na stalnih vzorčnih ploskvah med letom 2002 in 2014 različno spreminjale. Največji vpliv na spreminjanje

sestojnih parametrov je imelo redčenje s strojno sečnjo v letu 2010, kar se najbolj opazi v zmanjšanju števila dreves na osmih od devetih ploskev. Na ploskvah, kjer je bilo odstranjeno večje število dreves, sta se zmanjšala tudi temeljnica in lesna zaloga (ploskev 63, 65, 67), kjer pa je bilo število odstranjenih dreves manjše, sta temeljnica in lesna zaloga ostali skoraj nespremenjeni (ploskev 64, 66) ali pa sta se povečali (ploskev 100, 200, 74). Največje spremembe zasledimo na ploskvi 88 (smrekov nasad), na kateri so se, ob neukrepanju v obdobju 2002-2014, vsi parametri iz leta 2002 močno povečali. Glavni razlog za to je vraščanje velikega števila dreves čez merski prag 10 cm.

Na stalnih vzorčnih ploskvah so postavljene koncentrične vzorčne ploskve, kjer se znotraj kroga velikosti 2 ara popisuje drevesa nad 10 cm v prsnem premeru, znotraj 5 arskega kroga pa le drevesa nad 30 cm v prsnem premeru. Za potrebe naše raziskave smo tudi na stalnih vzorčnih ploskvah znotraj 5 arskega kroga izmerili vsa drevesa nad merskim pragom, zato smo lahko primerjali tudi rezultate na teh ploskvah po eni in drugi metodi (Preglednica 7).

Preglednica 7: Povprečne vrednosti temeljnice (G), števila dreves na hektar (N/ha), srednje temeljničnega premera (d_g) ter lesne zaloge (V) na stalnih vzorčnih ploskvah za koncentrične in 5 arske ploskve v oddelku 13(n=9) (april 2014)

	G [m ² /ha]	N/ha	d_g [cm]	V [m ³ /ha]
2014 - Koncentrične ploskve	32,7	853,3	23,6	362,3
2014 - 5 arske ploskve	34,5	915,6	23,0	380,6

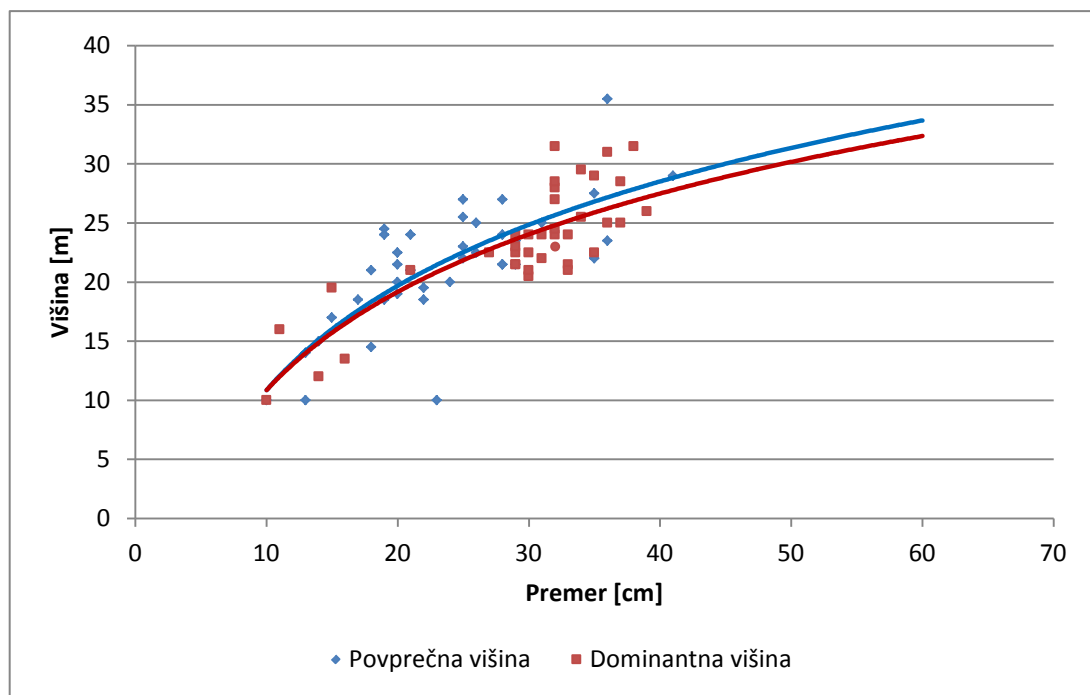
Statistično značilne razlike aritmetičnih sredin sestojnih parametrov med metodo koncentričnih in 5 arskih ploskev smo testirali s *t*-testom za odvisne vzorce. Za test odvisnih vzorcev smo se odločili zato, ker se na stalnih vzorčnih ploskvah izvajajo meritve vedno na isti ploskvi, torej je trenutno stanje odvisno od predhodnega stanja. Statistično analizo aritmetičnih sredin smo izvedli v programu SPSS.

4.4.2 Višinske krivulje za ugotavljanje tarif in lesne zaloge

Za pridobitev ocen o dominantni in povprečni sestojni višini smo skupno izmerili višino 76-im drevesom bukve, po 38 dreves za vsako višinsko krivuljo. Med višinsko krivuljo za dominantna drevesa in višinsko krivuljo povprečnih višin ni razlik (Slika 12). Točke za dominantno višinsko krivuljo opazimo tudi pri nižjih prsnih premerih (10 cm), to pa zato, ker smo bukvam merili višine tudi v smrekovih in macesnovih nasadih, kjer pa so bili premeri in višine bukve manjši.

Za ugotavljanje tarifnega razreda bukve smo uporabili logaritemsko višinsko krivuljo, pridobljeno s podatki iz vzorca za ocenjevanje povprečne višine. Z regresijsko enačbo za volumen dreves po dvovhodnih deblovnicah (Gozdarski priročnik, 2007) smo določili 6 tarifni razred za enodobne gozdove. Tarif za ostale drevesne vrste nismo ugotavljali, saj je

bilo v vzorcu izmerjenih premalo višin dreves, zato smo tudi za ostale drevesne vrste določili 6 tarifni razred. Tudi v gozdnogospodarskih načrtih GGE Trnovo (Gozdnogospodarski načrt ..., 2013) so za vse drevesne vrste določeni enaki tarifni razredi.



Slika 12: Primerjava povprečne in dominantne višinske krivulje bukve v oddelku 13 (april 2014)

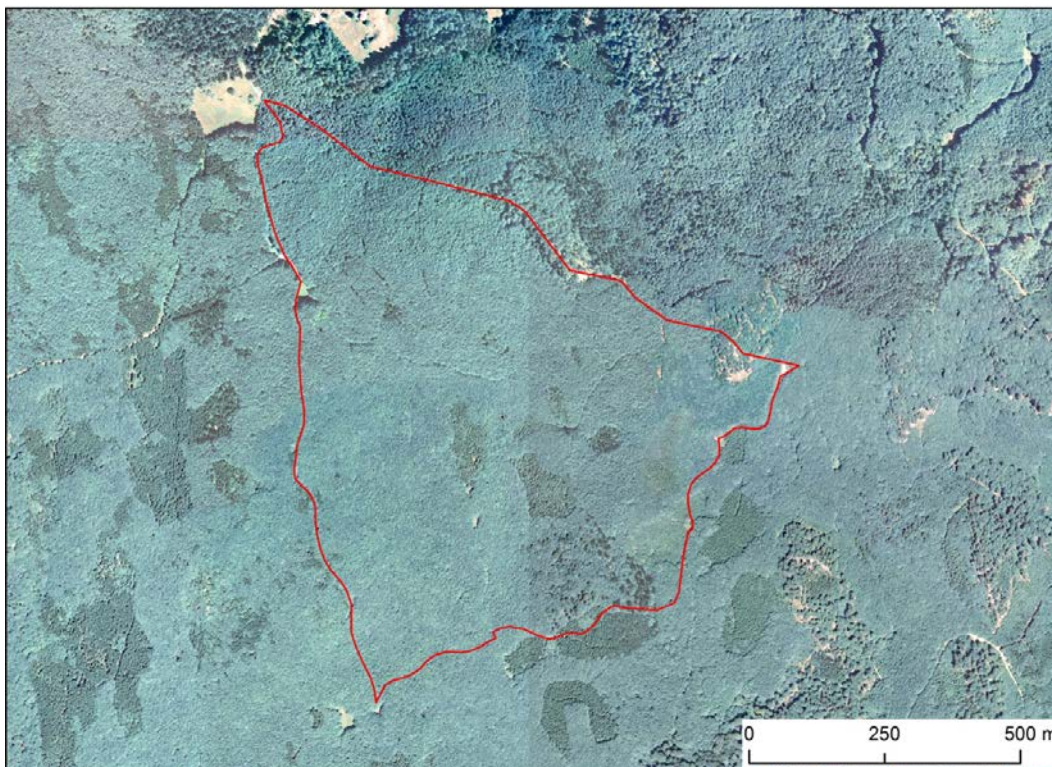
4.5 RAZMEJEVANJE VRZELI NA LETALSKIH POSNETKIH

Na posnetkih Cikličnega aerosnemanja Slovenije iz leta 2006 so lepo vidni strnjeni bukovi sestoji. Vrzeli so predvsem vidne ob gozdnih cestah, v strnjenem sestoji pa so le-te maloštevilčne. Vrzeli v sestojih se pojavijo šele po redčenju v letu 2010. Sprememba je dobro vidna na ortofoto posnetkih iz leta 2010, kjer lahko opazimo povečano število in površino vrzeli.

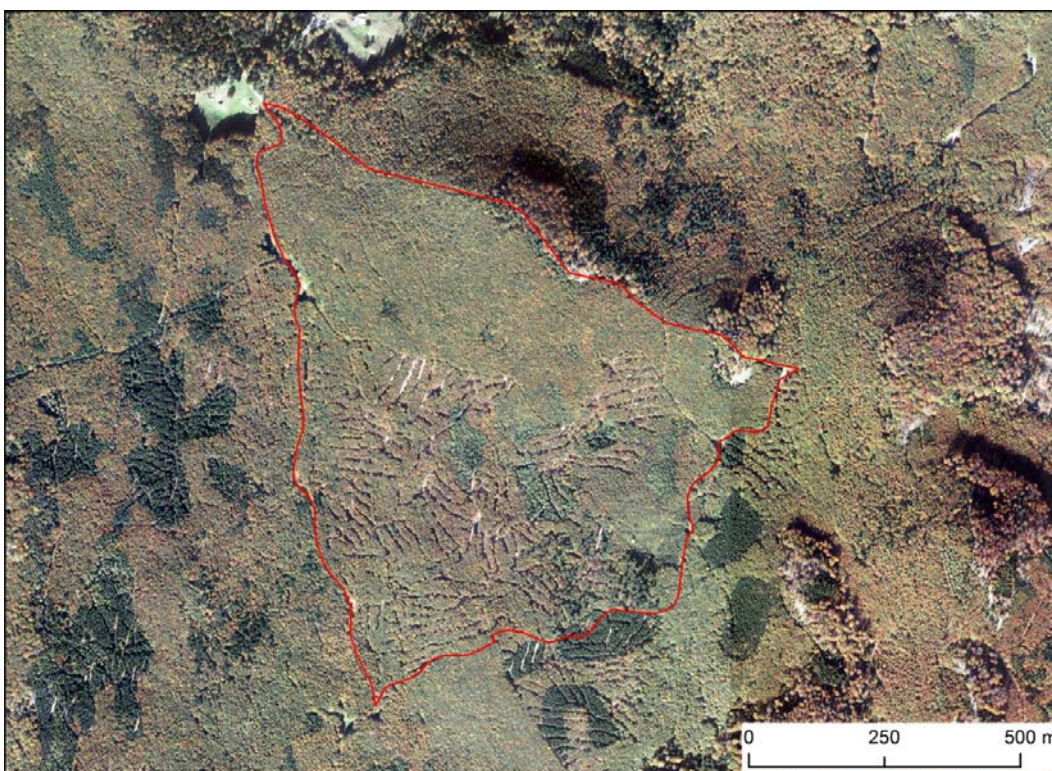
V raziskavi smo za analizo dinamike vrzeli želeli uporabiti tudi najnovejše letalske posnetke iz leta 2014, ki naj bi po prvih informacijah bili na voljo za uporabo konec maja 2014, vendar v času raziskave še niso bili na voljo.

4.5.1 Izdelava kart vrzeli iz leta 2006 in 2010

Karto vrzeli v oddelku 13 iz leta 2006 smo naredili z ročno digitalizacijo delov ortofoto posnetkov, ki smo jih interpretirali kot vrzeli. Fotointerpretacija je temeljila na ortofoto posnetkih Cikličnega aerosnemanja Slovenije iz leta 2006. Minimalna velikost vrzeli je bila določena z velikostjo 2,5 m², digitaliziranje pa smo opravili v programu ArcGIS.



Slika 13: Oddelek 13 na ortofoto posnetku leta 2006 (Vir: Digitalni ortofoto, Geodetska uprava RS, 2006; Prostorski podatki, ZGS, 2013)



Slika 14: Oddelek 13 na ortofoto posnetku leta 2010 (Vir: Digitalni ortofoto, Geodetska uprava RS, 2010; Prostorski podatki, ZGS, 2013)

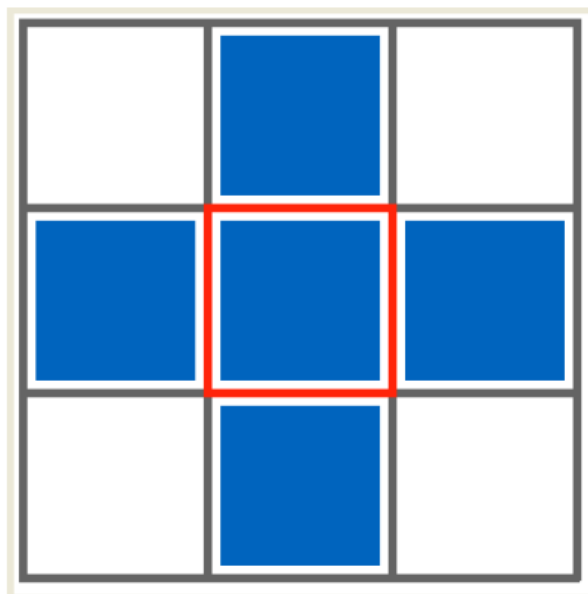
Karta vrzeli iz leta 2010 je bila narejena s fotointerpretacijo in razmejevanjem vrzeli na ortofoto posnetkih Cikličnega aerosnemanja Slovenije iz leta 2010. Za celotno območje obravnavanega oddelka 13 smo potrebovali 3 posnetke. Za njihovo obdelavo smo uporabili programsko opremo ArcGIS, ki s programskim orodjem Feature Analyst omogoča avtomatizirano razločevanje rabe tal na podlagi podobnih spektralnih odbojev digitalnih posnetkov. Z izbranim orodjem lahko izvedemo tako nenadzorovano klasifikacijo (segmentacijo), kot tudi nadzorovano z določanjem testnih vzorcev (vzorčnih ploskev) (Feature Analyst 4.2 ..., 2008). Ker oddelek 13 leži na manj razgibanem svetu Trnoveške planote, smo sprva izvedli segmentacijo na ortofoto posnetkih in nato ocenili pozicijske napake, ki nastanejo pri taki segmentaciji posnetkov. V nadaljevanju je prikazan postopek izločevanja vrzeli na podlagi segmentacije ortofoto posnetkov.

V prvem koraku smo želeli preveriti, če so so spektralni odboji med krošnjami dreves in vrzelmi dovolj različni, da jih programsko orodje zazna, zato smo se odločili za nenadzorovano segmentacijo. Rezultati le-te so bili vzpodbudni, saj so bile nekatere vrzeli natančno razmejene, vendar karta vrzeli v celoti ni bila kakovostno izdelana, zato smo se odločili za nadzorovano klasifikacijo na podlagi testnih vzorcev.

Za določitev spektralnega odboja vrzeli je bila oblikovana vektorska datoteka s testnimi vzorci vrzeli v obliki poligonov. Poligoni testnih vzorcev morajo, za čim boljše vhodno informacijo o spektralnem odboju vrzeli, pokrivati več različnih tipov vrzeli (v našem primeru predvsem senčne in presvetljene vrzeli).

V vektorski datoteki s testnimi vzorci vrzeli smo določili osnovne nastavitve segmentacije. Določili smo osnovni tip oblike skupin enakih spektralnih odbojev (ozki pasovi) ter prostorsko ločljivost 0,5 m. Sledilo je natančnejše določanje nastavitvev, ki obsega postopke (1) določitve vzorca operatorja, (2) določitve maske ter (3) določitve minimalne razmejene površine.

Na podlagi postavljenih testnih vzorcev orodje Feature Analyst zbere podatke o značilnem spektralnem odboju iskanega razreda (vrzeli), nato pa vsak piksel primerja s spektralnimi vrednostmi sosednjih pikslov po vzorcu izbranega operatorja in tako določi, v kateri razred bo piksel uvrščen. V naši raziskavi nismo našli večjih razlik pri različnih izbranih vzorcih operatorja. V končni karti vrzeli smo uporabili operator, poimenovan *Manhattan* z velikostjo 3 pikslov, ki ga je v svojem delu predlagal tudi Klinar (2010).



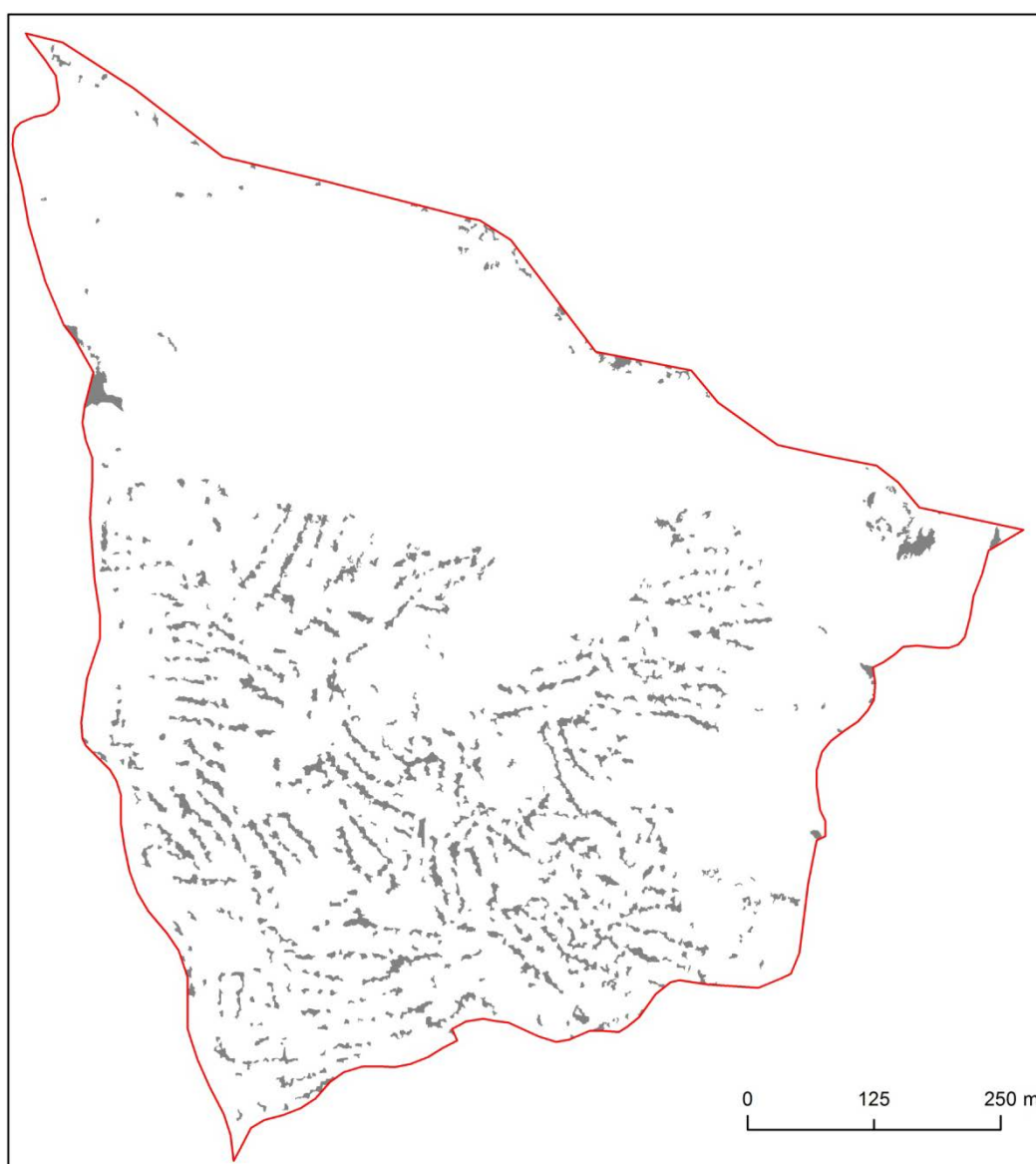
Slika 15: Vzorec operatorja *Manhattan* s širino 3 pikslov (Vir: Feature Analyst 4.2 ..., 2008)

Z določitvijo maske določimo območje, znotraj katerega bo program analiziral posnetke. V naši raziskavi je masko predstavljala meja oddelka 13. V zadnjem koraku nastavitve določimo še minimalno površino razmejenih vrzeli. Rugani in sod. (2013) so v pragozdskih rezervatih bukve predlagali minimalno površino vrzeli 20 m², kar na primer predstavlja drevo s polmerom krošnje 2,5 m. V utesnjenih enomernih bukovih sestojih so krošnje dreves majhne, zato smo želeli oceniti tudi nastanek manjših vrzeli. Najmanjšno izločeno površino smo določili z velikostjo 10 pikslov, kar pri velikosti piksla 0,5 m predstavlja površino 2,5 m² ali drevo s polmerom krošnje 0,9 m.

Z opisanimi nastavitvami smo izvedli nadzorovano segmentacijo in postopek nadaljevali z določanjem novih testnih vzorcev, ki so predstavljali nove značilnosti vrzeli. Te v predhodnem razmejevanju še niso bile določene. Hkrati smo določali tudi vzorce, ki so predstavljali neprimerno oziroma preveč določene vrzeli. S postopkom postprocesiranja ali popravljanja rezultatov smo določili nove testne vzorce v vrzelih, ki jih osnovna analiza ni obravnavala kot vrzel. Hkrati smo določali površine, ki jih je osnovna analiza uvrstila v kategorijo vrzeli, a to niso bile. Prednost tega postopka je, da program površine vrzeli, ki so bile izločene v prejšnjih postopkih, ne obravnava ponovno in s tem ne poslabša prej pridobljenih rezultatov.

Težave, ki so se pojavljale pri segmentaciji na podlagi podobnih spektralnih odbojev pikslov ortofoto posnetka, so nam povzročali različni tipi vrzeli. Precej natančno so bile izrisane močno presvetljene vrzeli, v katerih so vidni beli piksli kamenja, saj takih barvnih odtenkov ne zasledimo na krošnjah dreves. Senčni tip vrzeli je bil pogosto dobro izločen, vendar so sence nadstojnih jelk, ki so lepo vidne na nižjih bukovih krošnjah, predstavljale podobne spektralne odboje, zaradi česar so bile napačno izločene kot vrzeli. Najslabše so

bile izločene vrzeli, kjer so se izmenjavale sence debel ter presvetljeni deli vrzeli, v katerih ni mogoče opaziti zelo značilnih spektralnih odbojev. V teh vrzelih so bile pogosto izrisane le sence dreves, presvetljeni del pa je bil izpuščen. Tudi z vključevanjem testnih vzorcev v takih vrzelih nismo dosegli, da bi bile te vrzeli natančno izrisane. Odločili smo se, da karto vrzeli preverimo in dopolnimo s pomočjo digitalnega stereoploterja.



Slika 16: Karta vrzeli v oddelku 13 po segmentaciji letalskih posnetkov iz leta 2010

Za preverjanje in dopolnjevanje vrzeli smo uporabili digitalni stereoploter kanadske družbe ISM – *Digital Images, Analytical Plotter* (DiAP) ter programsko opremo DAT/EM Summit Evolution. Uporabili smo 3 letalske posnetke iz leta 2010, posnete z digitalno kamero UltraCamXP (Vexcel Imaging GmbH) z goriščnico 100.5 mm. Posnetek obsega širino 11310 vrstic oz. pikslov ter 17310 pikslov, z velikostjo piksla 0,5 m. Poleg dveh zaporednih letalskih posnetkov ter podatkov o kameri in objektivu, za oblikovanje

stereopara potrebujemo še podatke o oslonilnih točkah. Te točke morajo biti dobro vidne na obeh zaporednih letalskih posnetkih, saj s pomočjo le-teh orietiramo stereopar v državni koordinatni sistem.

S pripravljenimi podatki lahko preidemo na glavne postopke izdelave stereopara, ki so: (1) notranja, (2) relativna ter (3) absolutna orientacija. Z relativno orientacijo posnetka postavimo v prostorski položaj kot je bil ta v času snemanja. Stereopar, ki je relativno orientiran, je pripravljen za absolutno orientacijo (Keller, 2001). Relativna orientacija lahko poteka avtomatsko, če so posnetki dovolj kontrastni, saj programsko orodje samo na podlagi enakih spektralnih odbojev in njihovih vzorcev (podobno kot pri postopku segmentacije) opravi relativno orientacijo. Če posnetki niso dovolj kontrastni ali ne prikazujejo velikih vsebinskih razlik med posnetimi objekti, moramo za izvedbo relativne orientacije poiskati najmanj osem enakomerno razporejenih točk, ki so dobro vidne na levem in desnem posnetku ter orientacijo izvesti ročno. Letalski posnetki so bili v našem primeru dovolj kontrastni, da je relativna orientacija potekala avtomatsko.

Dokončno umestitev stereopara v državni koordinatni sistem (Gauss – Krügerjev) dosežemo z absolutno orientacijo, s katero vsaki točki stereomodela določimo koordinate X, Y in Z. V ta namen smo na območju stereoskopskega prekrivanja posnetkov poiskali več dobro vidnih oslonilnih točk (skale, poti, križišča). V gozdnih inventurah predlagajo uporabo najmanj šestih ali osmih oslonilnih točk (Keller, 2001). V naši raziskavi smo za prvi stereopar uporabili 11, za drugi stereopar pa 9 oslonilnih točk. Za vsako izbrano točko nam računalniški program izračuna napako modela RMSE (*Root Mean Square Error*). Keller (2001) navaja, da naj posamezna točka ne bi imela napake večje od ± 2.5 m za koordinati X in Y ter $\pm 1,0$ m za koordinato Z.

V naši raziskavi so bile napake prvega stereo modela: RMSE_x = 0,39 m, RMSE_y = 0,87 m ter RMSE_z = 1,05 m. Za drugi stereo model pa so: RMSE_x = 0,31 m, RMSE_y = 0,83 m ter RMSE_z = 1,24 m. Z izdelanim stereoparoma smo pripravljeni, da v stereoskopskem modelu preverimo in dopolnimo karto vrzeli, izdelano v programskem orodju Feature Analyst.

Karta vrzeli, izdelana s segmentacijo v programu ArcGIS je dvorazsežna, zato smo vsaki točki poligona vrzeli, iz digitalnega modela reliefa DMR 12,5 (Geodetska uprava RS, 2010) dodali še podatek o nadmorski višini. Tako smo dosegli, da lahko karto vrzeli opazujemo tudi v tridimenzionalnem modelu stereoparov, ker programsko orodje ArcGIS deluje povezano s programom DAT/EM Summit Evolution.

Digitalni model reliefa (DMR) je digitalni zapis nadmorskih višin, ki podrobno opisuje obliko zemeljskega površja in je predstavljen z neprekinjeno ploskvijo (Podobnikar, 2008). DMR Slovenije je bil izdelan med letoma 2003 in 2005, sistem pa obsega podatke

digitalnih modelov višin z ločljivostjo 12,5 m, 25 m in 100 m. Ocenjena natančnost modela, pri ločljivosti 12,5 m, je 3,2 m na območju celotne Slovenije, in sicer znaša 1,1 m za ravnine, 2,3 m za gričevja, 3,8 m za hribovja in 7,0 m za gorovja. Podatki digitalnega modela višin 12,5 so uporabni predvsem za lokalne analize, kjer je kakovost podatkov večja (Podobnikar in Mlinar, 2006).

Za izdelavo DMR 12,5 so bili uporabljeni trirazsežnostni podatki o površju in tudi dvorazsežnostni podatki, ki dodatno opisujejo obliko zemeljskega površja (rečna mreža, cestno omrežje). Skupno je bilo vključenih več kot 30 različnih virov, zajetih od leta 1947 (Podobnikar, 2008).

Z uporabo podatkov digitalnega modela reliefa DMR 12,5 so bile vrzeli v stereomodelu močno potisnjene proti tlom. Ker je naš namen izrisovati meje vrzeli v višini krošenj smo želeli vrzeli dvigniti v višino krošenj. Povprečna višina dreves znaša približno 25 m, zato smo se odločili, da podatkom osnovnega DMR 12,5 prištejemo 25 m. Pogled v stereo modelu je pokazal, da so bile vrzeli močno dvignjene nad višino krošenj. Postopek smo ponovili, tako da smo osnovnemu DMR 12,5 prišteli še 15 m in 10 m. Višini krošenj so se najboljše prilagale vrzeli, kjer smo osnovnemu DMR 12,5 prišteli 15 m. Karto vrzeli smo dopolnjevali s spreminjanjem oblike že izrisanih vrzeli, risanjem novih vrzeli, združevanjem vrzeli, odstranjevanjem preveč izrisanih vrzeli ter premikanjem vrzeli, ki so bile pozicijsko nenatančno določene.

Po redčenju sestojev s strojno sečnjo so nastale vrzeli z značilno podolgovato obliko, zato smo v programu Idrisi analizirali širine vrzeli iz leta 2010. Izračunali smo povprečno maksimalno širino vrzeli, kjer smo pri vsaki vrzeli upoštevali maksimalno razdaljo med robovi krošenj, vrzeli pa smo razvrstili tudi v štiri velikostne razrede, glede na njihovo širino v krošnjah dreves:

- 1) Vrzeli široke od 0-5 m; pas oddaljenosti od roba preostalih krošenj 0-2,5 m
- 2) Vrzeli široke od 5-10 m; pas oddaljenosti od roba krošenj 2,5-5 m
- 3) Vrzeli široke od 10 -15 m; pas oddaljenosti od roba krošenj 5,-7,5 m
- 4) Vrzeli široke od 15-20 m; pas oddaljenosti od roba krošenj 7,5-10 m

4.6 LIDARSKO RAZMEJEVANJE VRZELI

Prvo lidarsko snemanje je bilo za potebe projekta ManFor C.BD. (Poročilo o projektni ..., 2013) izvedeno leta 2011. V letu 2012 so bili na območju lidarskega snemanja izvedeni gozdnogojitveni ukrepi na devetih poskusnih ploskvah (po 3 ploskve za bukev, jelko in smreko) Na 1/3 ploskev v vrtačah ni bilo poseka (kontrola), na 1/3 ploskev je bilo na površini 0,4 ha posekanih 50 % lesne zaloge, na zadnji tretjini ploskev pa je bila na površini 0,4 ha posekanih 100 % lesne zaloge. Po izvedenih gozdnogojitvenih ukrepih, so

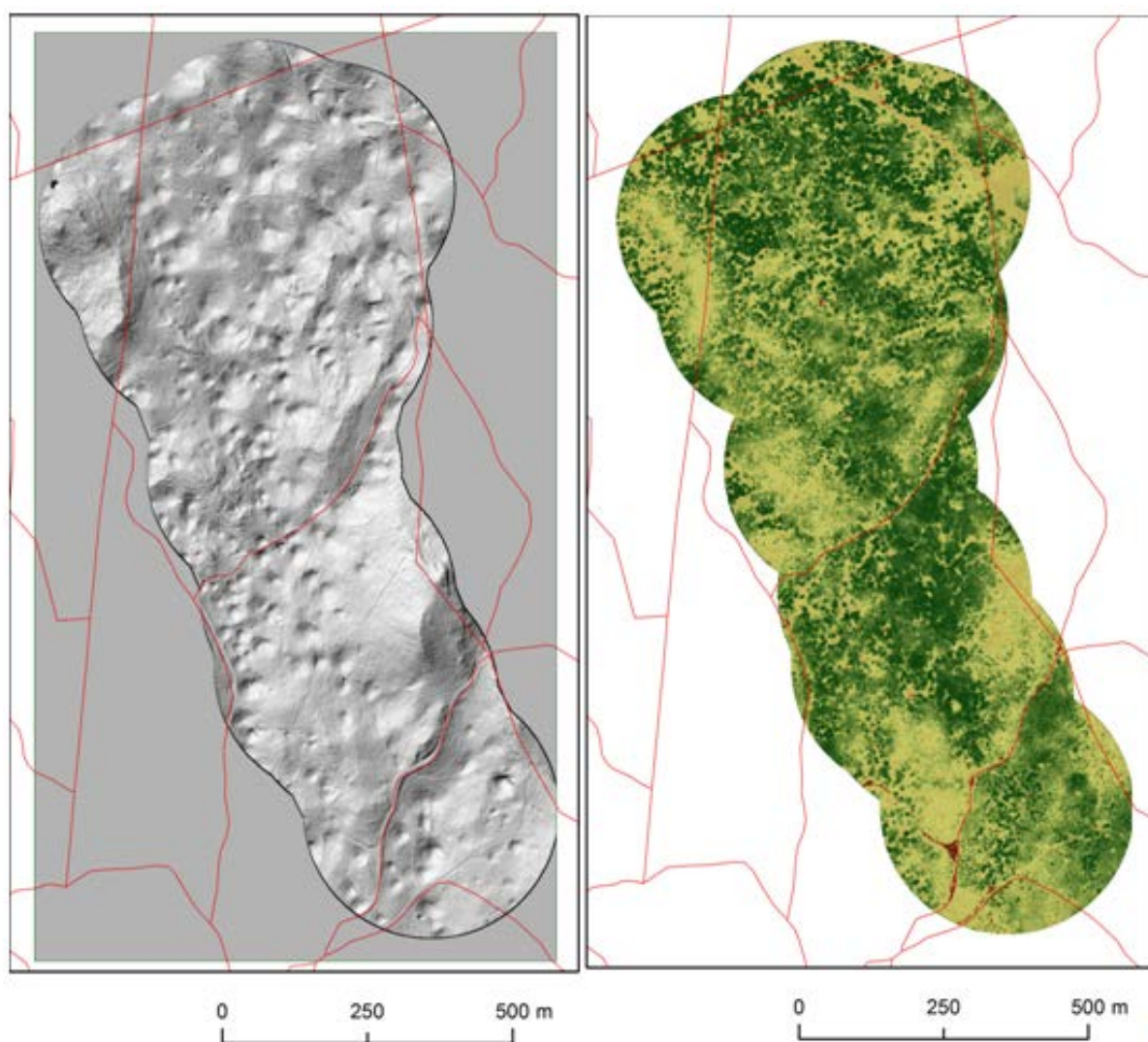
v letu 2013 ponovno izvedli letalsko lidarsko snemanje (Poročilo o projektni ..., 2013). Lastnosti letalskega lidarskega snemanja so prikazani v preglednici 8.

Preglednica 8: Lastnosti letalskega lidarskega snemanja iz leta 2011 in 2013 (Vir: Kobler, 2014)

	Snemanje 2011	Snemanje 2013
Čas snemanja	8.12.2011 (od 12:00 do 15:00)	28.11.2013 (ob 15:00)
Tip skenerja	Riegl LMS-Q560	Riegl LMS-Q780
Hitrost letenja	60 km/h	do 80 km/h
Širina skeniranja	$\pm 30^\circ$	$\pm 30^\circ$
Višina letenja	200 m nad terenom	400 m nad terenom
Razmak med linijami	50 m	100 m
Footprint (višina 200m)	10 cm	10 cm
Divergenca žarka	0,5 mrad	$\leq 0,25$ mrad
Usklajenost snemalnih linij	2 cm	2 cm

V nalogi smo za analizo vrzeli uporabili že pripravljene podatke z ločljivostjo 1 m, ki prikazujejo digitalni model reliefa ter digitalni model krošenj dreves (Kobler, 2011a; 2011b; 2013).

Digitalni model reliefa vsebuje podatke o nadmorski višini reliefa pod drevesnimi krošnjami. Zaradi visoke ločljivosti podatkov so na sliki 17 (levo), dobro vidne številne majhne vrtače in tudi gozdne prometnice. Na digitalnem modelu krošenj (Slika 18 desno), ki vsebuje podatke o nadmorski višini dreves so najvišje višine prikazane s temno zeleno barvo, rumena polja predstavljajo srednje višine, najnižje višine pa so prikazane z rjavo barvo (spodnji del območja).



Slika 17: Digitalni model reliefa (levo) in digitalni model krošenj (desno) (Vir: Kobler, 2011a; 2011b; 2013)

4.6.1 Razmejevanje vrzeli z lidarskimi podatki

Razmejevanje vrzeli z lidarskimi podatki temelji na podlagi višinskih razlik, saj digitalni model krošenj vsebuje podatke o višinah posameznih pikslov. Meja vrzeli lahko zato temelji na določeni višini krošenj dreves ali na razmerju med višino vrzeli in dominantno višino dreves.

Vrzeli smo razmejevali v programu ArcGIS, ki nam omogoča obdelavo rastrskih podatkov v katerem je zapisan digitalni model krošenj. V prvem delu analize vrzeli smo želeli ugotoviti, kako velikost ocenjene drevesne višine vpliva na velikost, število ter delež vrzeli na analiziranem območju. V raznodobnih sestojih smo pri določanju vrzeli upoštevali tiste površinske enote, pri katerih smo na digitalnem modelu krošenj določili višine do 5 m, do 10 in do 15 m.

Prvo višinsko mejo za vrzeli pri 5 m smo izbrali, ker je to višina, ki ločuje drevesa od grmov (Brus, 2011). To višino so za razmejevanje vrzeli z lidarskimi podatki uporabili tudi drugi avtorji (npr. Kobal in sod., 2014; Vepakomma in sod. 2012). Za ocenjeno višino dreves in druge vegetacije do 10 m smo se odločili na podlagi raziskave Kobala (2014), ki je na podobnih rastiščih *Omphalodo-Fagetum* ocenil, da je to povprečna višina dreves s prsnim premerom 10 cm (merski prag). Hobi s sod. (2013) in Rugani s sod. (2013) sta pri razmejevanju vrzeli upoštevala višinske razrede glede na zgornjo sestojno višino. Hobi s sod. (2013) je vrzeli razmejevala tam, kjer podmladek še ni prerasel tretjine zgornje drevesne višine, Rugani in sod. (2013) pa so vrzeli razmejili na mestih, kjer je bil podmladek nižji od polovice zgornje drevesne višine. Ker najvišja drevesa v odsekih 30a in 30b dosegajo višine nad 40 m, smo tretji višinski razred določili na višini 15 m, kar predstavlja mejo med $\frac{1}{3}$ in $\frac{1}{2}$ zgornje drevesne višine sestoja.

Minimalno velikost vrzeli smo določili na 3 m². Podobno minimalno velikost vrzeli (2,5 m²) smo uporabili že pri razmejevanju vrzeli s steroploterjem, prav tako pa sta podobno minimalno velikost vrzeli v raziskavi uporabila tudi Vepakomma s sod. (2012) (5 m²) in Kenderes s sod. (2008), ki je določila minimalno velikost vrzeli 4 m².

Dinamiko vrzeli smo analizirali v dveletnem časovnem obdobju, med letoma 2011 in 2013. V programskem okolju ArcGIS smo najprej vrednostim digitalnega modela krošenj (drevesnih višin) iz leta 2011 odšteli od vrednosti digitalnega modela krošenj iz leta 2013. Tako smo dobili razlike v drevesnih višinah med obema letoma.

Nastanek novih vrzeli predstavljajo negativne vrednosti pri odštevanju digitalnih modelov krošenj iz leta 2013 in 2011. Ker so lahko manjše negativne vrednosti tudi posledica neskladnosti obeh lidarskih snemanj in odboja laserskih žarkov od različnih delov krošenj ali drevesnih debel smo za prikaz novo nastalih vrzeli upoštevali le spremembe, ki so bile večje od 5 m.

5 REZULTATI

5.1 RAZLIKE MED REDČENIM IN NEREDČENIM DELOM ODDELKA

Razlike med redčenim in neredčenim delom oddeleka smo ocenili na podlagi 32 vzorčnih ploskev. V neredčenem delu oddelka je bilo postavljenih 15, v redčenem pa 17 vzorčnih ploskev. Ocena variance je pri vseh parametrih, razen pri številu dreves, ko je ta močno manjša od variance v redčenih sestojih, nižja v neredčenih sestojih. Visoko oceno variance lahko utemeljimo s tem, da je na pobočju proti vrhu slemena (v neredčenih sestojih), med vzorčnimi ploskvami mogoče najti velike razlike v številu, premerih in višinah dreves (Preglednica 9).

Preglednica 9: Rezultati *t*-testa primerjave redčenih in neredčenih delov za sestojne parametre temeljnice (G), števila dreves na hektar (N/ha), srednje temeljničnega premera (d_g) in lesne zaloge (V) v oddelku 13 (april 2014)

Parameter	ods	n	Povprečje	SD	SE	p (0,05)
G [m ² /ha]	neredčeno	15	35,7	5,53	1,43	0,028
	redčeno	17	30,7	6,46	1,57	
N/ha	neredčeno	15	705,3	189,05	48,81	0,918
	redčeno	17	711,8	162,03	39,29	
d_g [cm]	neredčeno	15	25,8	2,64	0,68	0,047
	redčeno	17	23,7	3,18	0,77	
V [m ³ /ha]	neredčeno	15	405,3	62,52	16,14	0,020
	redčeno	17	342,9	78,69	19,09	

Ugotovili smo, da so razlike v povprečnih vrednostih temeljnice, srednje temeljničnega premera in lesne zaloge statistično značilne ($p < 0,05$), razlik v ocenjenem številu dreves pa nismo potrdili.

5.2 PARNE PRIMERJAVE NA STALNIH VZORČNIH PLOSKVAH

Rezultati parnih primerjav pokažejo, da razlik v oceni temeljnice, lesne zaloge in števila dreves med metodami nismo potrdili. Statistično značilnih razlik pri teh parametrih nismo dobili zaradi majhnega števila vzorčnih enot. Tako pri statistični oceni nismo mogli razlikovati med ploskvami, kjer ni bilo sprememb ter med ploskvami, kjer je bilo izvajano redčenje. Statistično značilne razlike smo ocenili pri srednje temeljničnem premeru, če primerjamo podatke iz leta 2002 s katerokoli metodo pridobivanja podatkov iz leta 2014 (Preglednica 10). Ker je srednje temeljnični premer odvisen od števila dreves in temeljnice se le-ta z redčenji močno ne spreminja, če seveda z redčenji ne posegamo v najdebelejša drevesa. Preostala drevesa na ploskvah še vedno priraščajo v debelino, zato so razlike srednje temeljničnega premera med letoma 2002 in 2014 statistično značilne. Primerjava

med koncentrično in 5 arsko metodo ni pokazala statistično značilnih razlik za noben primerjan parameter.

Preglednica 10: Preizkus razlik za ocene temeljnice (G), srednje temeljničnega premera (d_g), števila dreves na hektar (N) ter lesne zaloge (V) na stalnih vzorčnih ploskvah v oddelku 13 za parne primerjave po metodah: 1= koncentrične ploskve 2002, 2 = koncentrične ploskve 2014, 3 = 5 arske ploskve 2014.

	p (0,05)
G1 - G2	0,485
G1 - G3	0,268
G2 - G3	0,245
$d_{g1} - d_{g2}$	0,000
$d_{g1} - d_{g3}$	0,003
$d_{g2} - d_{g3}$	0,343
N1 - N2	0,927
N1 - N3	0,725
N2 - N3	0,244
V1 - V2	0,366
V1 - V3	0,175
V2 - V3	0,256

5.3 SDI

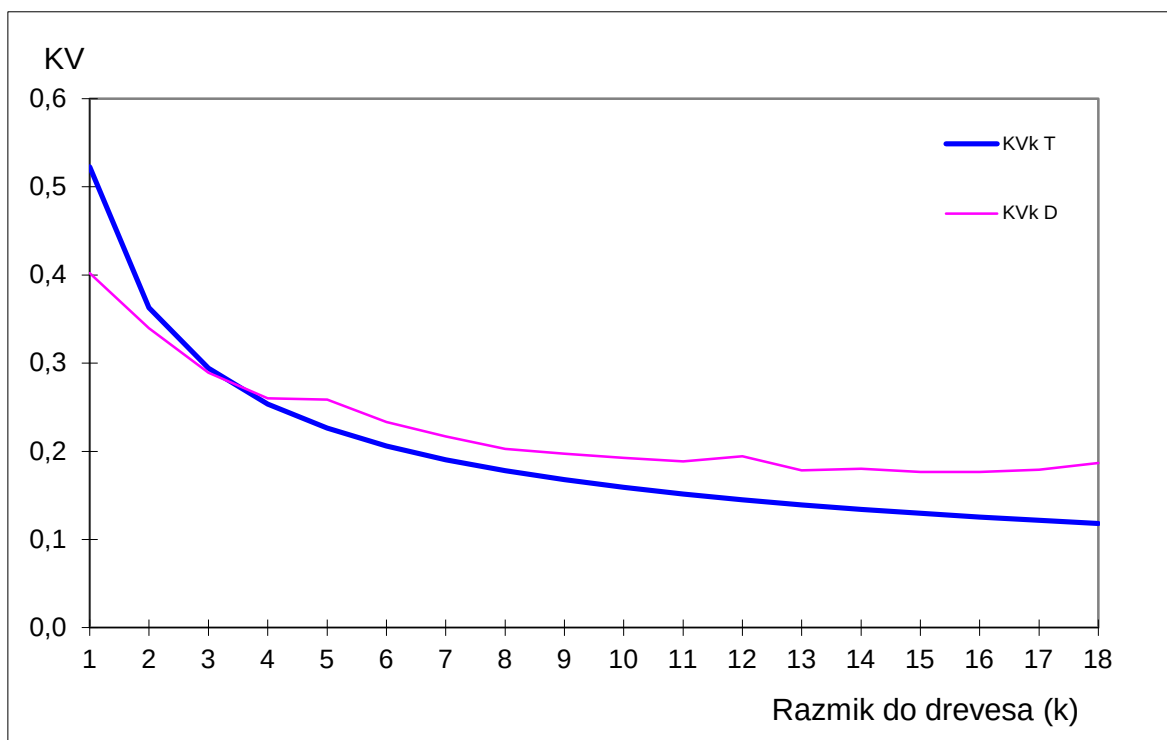
Izračune povprečne vrednosti indeksa gostote dreves (SDI) v neredčenem delu oddelka (720) so zelo podobne ocenjenemu številu dreves v neredčenih sestojih (705). Do tako majhnih razlik med tema dvema vrednostima v neredčenih sestojih pridemo zato, ker je srednje temeljnični premer v neredčenih sestojih 25,8 cm, SDI pa podaja število dreves v sestoji, ko ima le-ta srednje temeljnični premer 25 cm. V redčenih sestojih je danes povprečno 712 dreves/ha s srednje temeljničnim premerom 23,7 cm. Izračunani indeks gostote dreves predvideva, da bo v teh sestojih, ko bodo ti imeli srednje temeljnični premer 25 cm, 639 dreves/ha (Preglednica 11).

Preglednica 11: Primerjava srednje temeljničnega premera (d_g), števila dreves na hektar (N/ha), indeksa gostote dreves (SDI) ter statistični parametri *t*-testa za test aritmetičnih sredin SDI med redčenim in neredčenim delom oddelka 13 (SD – standardni odklon, SE – standardna napaka)

	n	d_g [cm]	n/ha	SDI	SD	SE	p
Neredčeno	15	25,8	705,3	720,3	116,15	29,99	0,062
Redčeno	17	23,7	711,8	638,8	120,63	29,25	

S statistično analizo nismo odkrili značilnih razlik med redčenim in neredčenim delom oddelka ($p = 0,062$), vrednost pa je bila blizu mejne vrednosti $p = 0,05$, pod katero bi potrdili statistično značilne razlike.

5.4 PROSTORSKA RAZMESTITEV DREVES

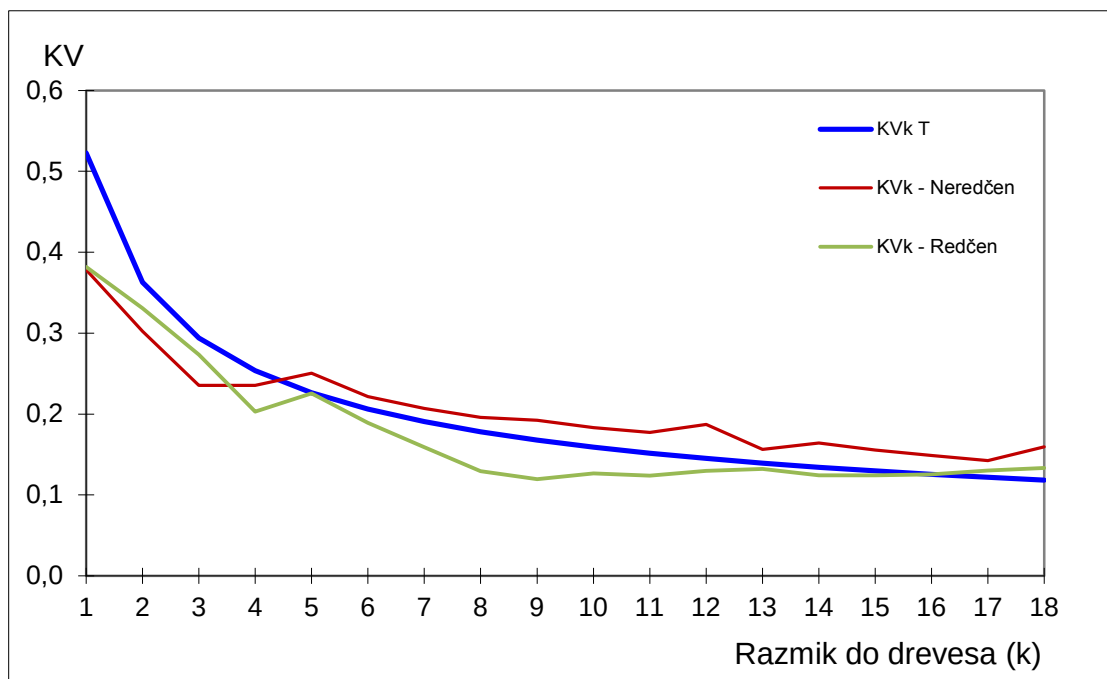


Slika 18: Teoretični in dejanski koeficient variacije za oceno začetnih razmikov med drevesi za ugotavljanje prostorske razmestitve dreves v oddelku 13 (N=38) (april 2014)

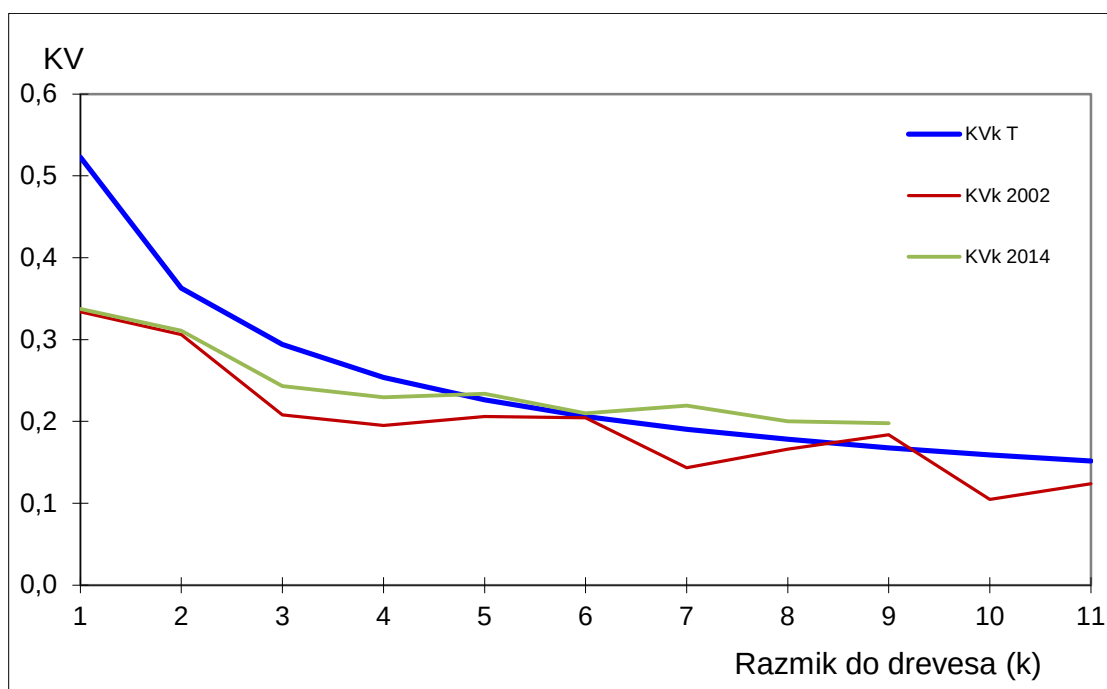
Iz slike 18 lahko sklepamo na enakomerno razmestitev dreves v oddelku do povprečne oddaljenosti 4 drevesa (2,2 m) saj so vrednosti teoretičnega koeficienta za oceno začetnih razmikov med drevesi višje od dejanskih v oddelku. Na podlagi višjih vrednosti dejanskega koeficienta variacije sklepamo o skupinski oz. neenakomerni razmestitvi dreves v povprečni oddaljenosti med 4 in 18 drevesom.

S primerjavo redčenega in neredčenega oddelka (Slika 19) smo ugotovili, da do povprečne oddaljenosti 5 drevesa razlik v prostorski razmestitvi dreves ni. V obeh delih oddelka so vrednosti dejanskega koeficienta manjše od teoretičnih, iz česar sklepamo na enakomerno razmestitev dreves v sestoju. Razlike v razmestitvi dreves med redčenim in neredčenim delom oddelka se pojavijo pri povprečnih oddaljenostih, večjih od razdalje 5 drevesa. V redčenih sestojih sklepamo o enakomerni razmestitvi dreves, saj so vrednosti dejanskega koeficienta nižje od teoretičnih vrednosti. Podobno kot v celotnem oddelku, pa lahko v neredčenem delu oddelka sklepamo o neenakomerni razmestitvi dreves, saj so vrednosti

dejanskega koeficienta višje od teoretičnega. Povprečna oddaljenost k -tega drevesa se med redčenim in neredčenim delom oddelka ne razlikuje.



Slika 19: Teoretični in dejanski koeficient variacije za oceno začetnih razmikov med drevesi za ugotavljanje prostorske razmestitvedreves med redčenim in neredčenim delom oddelka 13 (april 2014) (Neredčen, $n=15$; Redčen, $n=17$)



Slika 20: Teoretični in dejanski koeficient variacije za oceno začetnih razmikov med drevesi za ugotavljanje prostorske razmestitvedreves na stalnih vzorčnih ploskvah v oddelku 13 (april 2014) ($N=6$)

Vrednosti dejanskih koeficientov za oceno začetnih razmikov na stalnih vzorčnih ploskvah so vzdolž celotne krivulje nižji od teoretičnih, kar nakazuje na enakomerno razmestitev dreves v prostoru ob popisu gozdov leta 2002 (Slika 20). Krivulja dejanskih koeficientov leta 2014 (po opravljenem redčenju) ima manjša nihanja in je krajša (odstranjeni 2 drevesi) od krivulje dejanskih koeficientov pred redčenjem, in do razdalje 6 drevesa (4,2 m) nakazuje enakomerno razmestitev dreves. Od razdalje 6 drevesa je po opravljenem redčenju mogoče sklepati o neenakomerni razmestitvi dreves. Zanimivo je, da se na stalnih vzorčnih ploskvah pokažejo tudi večje razlike med povprečno oddaljenostjo dreves pred in po redčenju, saj v prejšnjih primerjavah takšnih sprememb nismo opazili. Povprečne razdalje do k -tega drevesa so vedno manjše v sestojih pred redčenjem, v povprečju za 0,4 m.

5.5 VRZELI

5.5.1 Dinamika vrzeli v oddelku 13 (2006-2011)

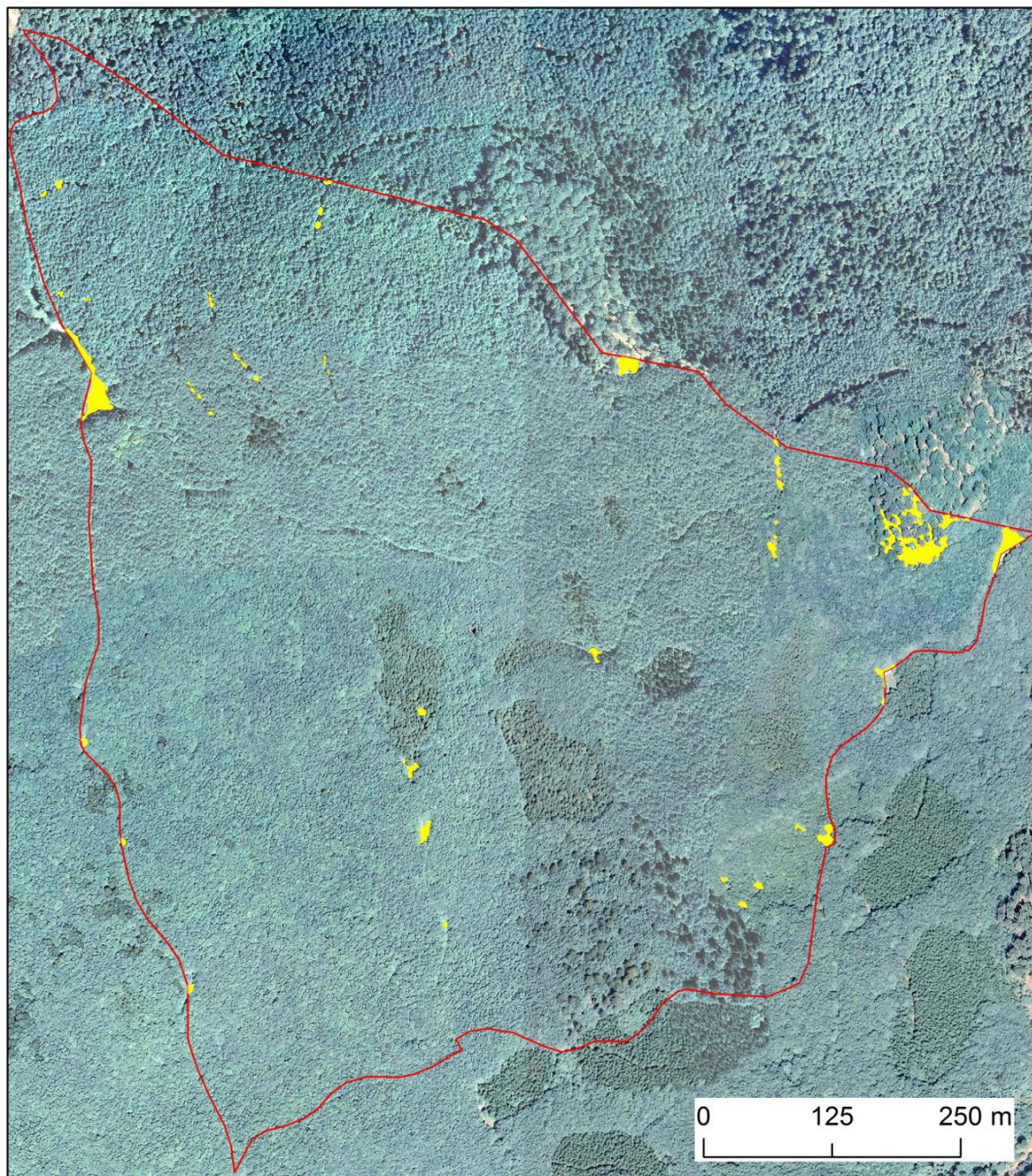
Dinamiko vrzeli lahko na podlagi kart, razmejenih z digitalizacijo ortofoto posnetkov ter karte vrzeli, razmejene z digitalnim stereoploterjem, opisujemo le na podlagi sprememb skupne velikosti ter števila vrzeli. Zaradi prevelikih pozicijskih napak vrzeli, razmejenih le na podlagi interpretacije ortofoto posnetkov, primerjava na ravni razvoja posameznih vrzeli ni mogoča.

V celotnem oddelku je bilo leta 2006 (pred redčenjem) z digitalizacijo razmejenih 44 vrzeli s povprečno velikostjo 104 m^2 (Slika 21). Delež vrzeli glede na celotno površino oddelka znaša 0,78 %. Z razmejitvijo vrzeli z digitalnim stereoploterjem v letu 2010 (po redčenju, Slika 22) smo v oddelku ugotovili 6,9 % delež vrzeli glede na celotno površino oddelka, kar je znatno višji delež od tistega iz leta 2006. Leta 2010 je bilo razmejenih 378 vrzeli s povprečno velikostjo 106 m^2 . V obeh časovnih obdobjih prevladujejo majhne vrzeli ($<200 \text{ m}^2$), ki so leta 2006 v številu predstavljale 90 %, leta 2011 pa 86 % delež. Ker je bilo leta 2006 razmejenih malo vrzeli, sta kar 43 % delež v površini vrzeli predstavljali dve veliki vrzeli. Največja razmejena vrzel leta 2010 meri $1438,6 \text{ m}^2$, leta 2006 pa 1146 m^2 .

Velike razlike v dinamiki vrzeli lahko opazimo med redčenim in neredčenim delom oddelka. V odseku 13a, kjer med letoma 2006 in 2011 niso izvedli redčenj, so spremembe v dinamiki vrzeli majhne. V letu 2006 smo razmejili 30 vrzeli, leta 2011 pa je bilo teh vrzeli 36. Delež vrzeli glede na površino odseka se je iz leta 2006, ko je znašal 1,3 %, zmanjšal na 1,1 % v letu 2011, zmanjšala pa se je tudi povprečna velikost vrzeli iz $104,5 \text{ m}^2$ na $74,6 \text{ m}^2$.

V odsekih 13b in 13c so zaradi redčenja v dinamiki vrzeli vidne zelo velike spremembe. Pred redčenjem, leta 2006 smo z digitalizacijo razmejili le 17 vrzeli s povprečno velikostjo

84,8 m², delež vrzeli glede na velikost dveh odsekov pa je znašal le 0,41 %. Po redčenju se je število razmejenih vrzeli povečalo na 353, povprečna velikost vrzeli je 106,4 m², delež vrzeli pa se je povečal na 10,7 %.

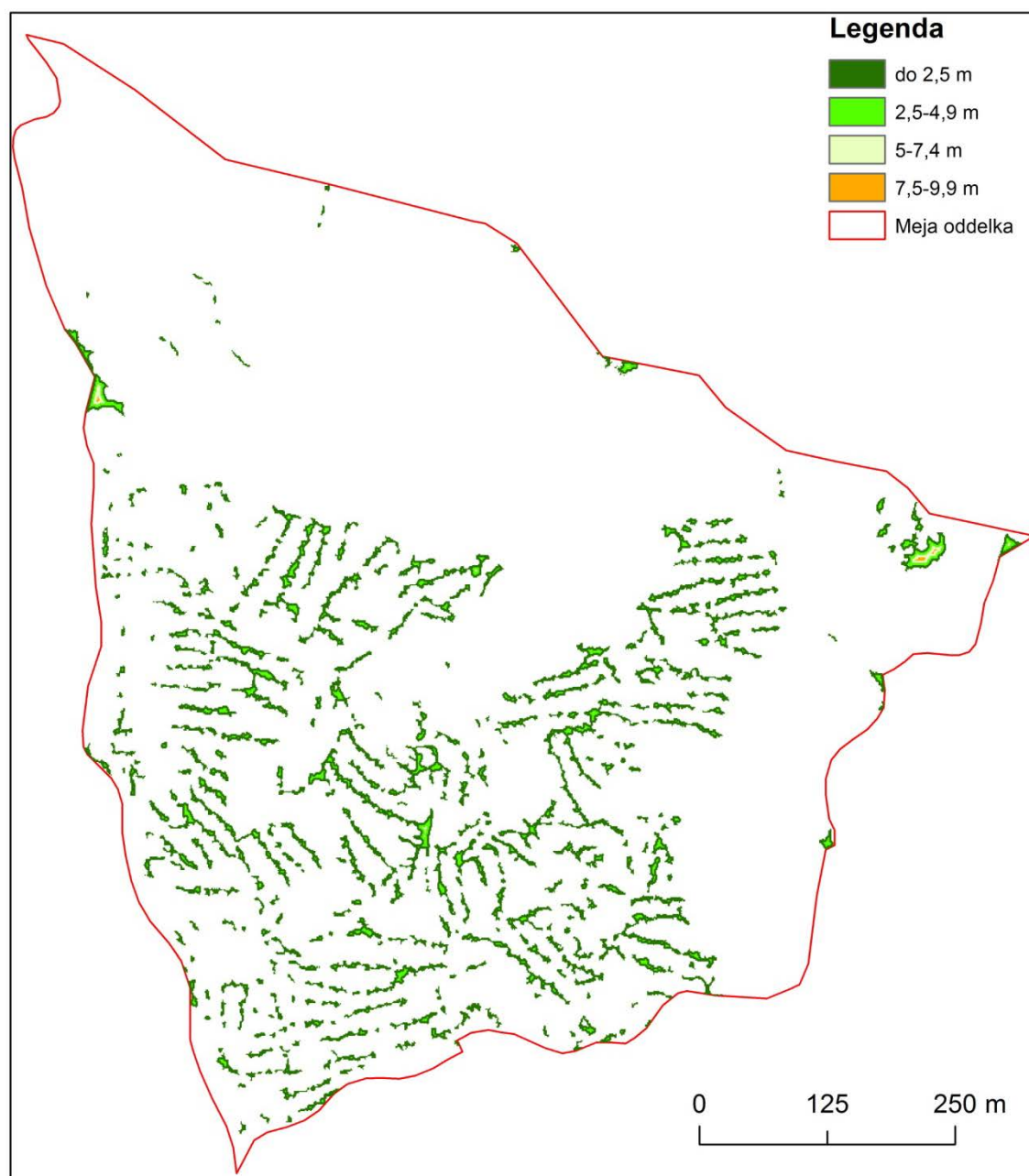


Slika 21: Karta vrzeli v oddelku 13 leta 2006 (Vir: Digitalni ortofoto, Geodetska uprava RS, 2006; Prostorski podatki, ZGS, 2013)



Slika 22: Karta vrzeli v oddelku 13 leta 2010 (Vir: Digitalni ortofoto, Geodetska uprava RS, 2010; Prostorski podatki, ZGS, 2013)

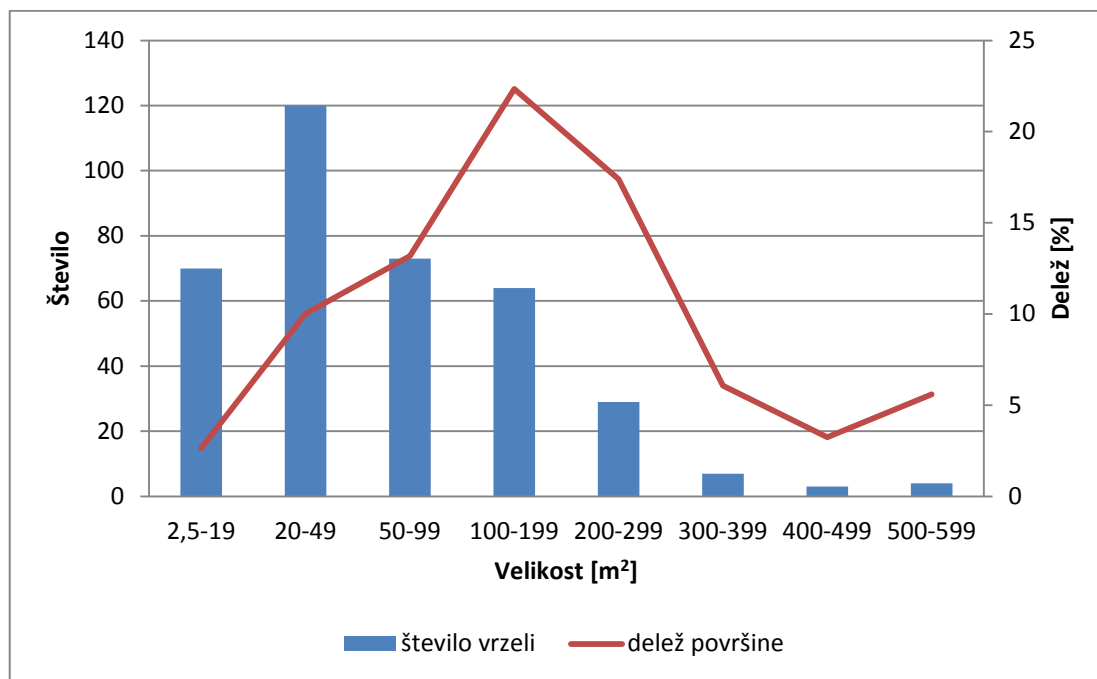
Z analizo širine vrzeli v letu 2010 (Slika 23) smo ugotovili, da po številu prevladujejo vrzeli do širine 5 m (61 %) ter vrzeli širine med 5 in 10 m (37 %). Primerjava površinskih deležev je pokazala obratno sliko, saj največji delež v površini vrzeli predstavljajo vrzeli širine med 5 in 10 m (67 %), sledijo pa vrzeli širine do 5 m z 22 % deležem. Širokih vrzeli nad 10 m je bilo malo, prisotne pa so bile že leta 2006 in tako niso bile ustvarjene s strojno sečnjo. Povprečna maksimalna širina vseh vrzeli je 5 m.



Slika 23: Površine pasov v razmejenih vrzelih oddelka 13 v letu 2010

Velikostna razporeditev vrzeli po razredih leta 2010 pokaže, da po številu prevladujejo manjše vrzeli ($< 200 \text{ m}^2$, Slika 24). Te predstavljajo tudi največji delež v skupni površini vrzeli (48,2 %). Ker so krošnje v sestojih utesnjene in majhne, smo želeli pokazati tudi številčnost tistih najmanjših vrzeli, ki nastanejo z odstranitvijo manjšega števila dreves. Te vrzeli ($2,5\text{--}19 \text{ m}^2$) predstavljajo kar 18,5 % delež števila vseh vrzeli v oddelku. Največ vrzeli je bilo razmejenih v drugem velikostnem razredu ($20\text{--}49 \text{ m}^2$), nato pa se število vrzeli, z njihovo velikostjo zmanjšuje. V največjem velikostnem razredu ($>1400 \text{ m}^2$) sta bili razmejeni dve vrzeli. Kljub temu, da velike (nad 600 m^2) in srednje vrzeli ($200\text{--}599$

m²) v številu vrzeli predstavljajo manjše deleže (2,1 % in 11,3 %), je njihov delež v površini znatno večji (19,5 % in 32,3 %).

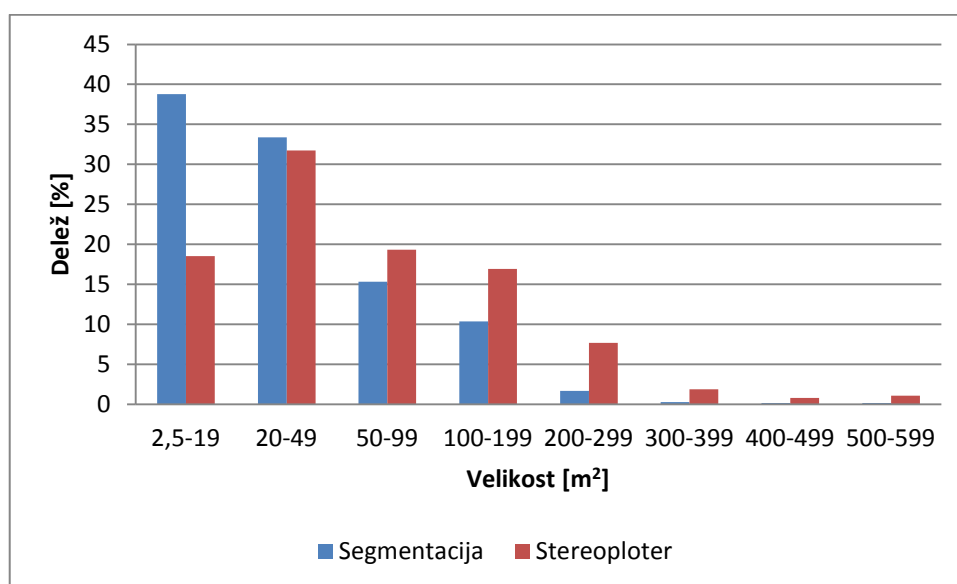


Slika 24: Porazdelitev vrzeli v oddelku 13 po velikostnih razredih ter deleži razredov glede na površino celotnih vrzeli na ortofoto posnetkih leta 2010

5.5.2 Primerjava metod razmejevanja vrzeli

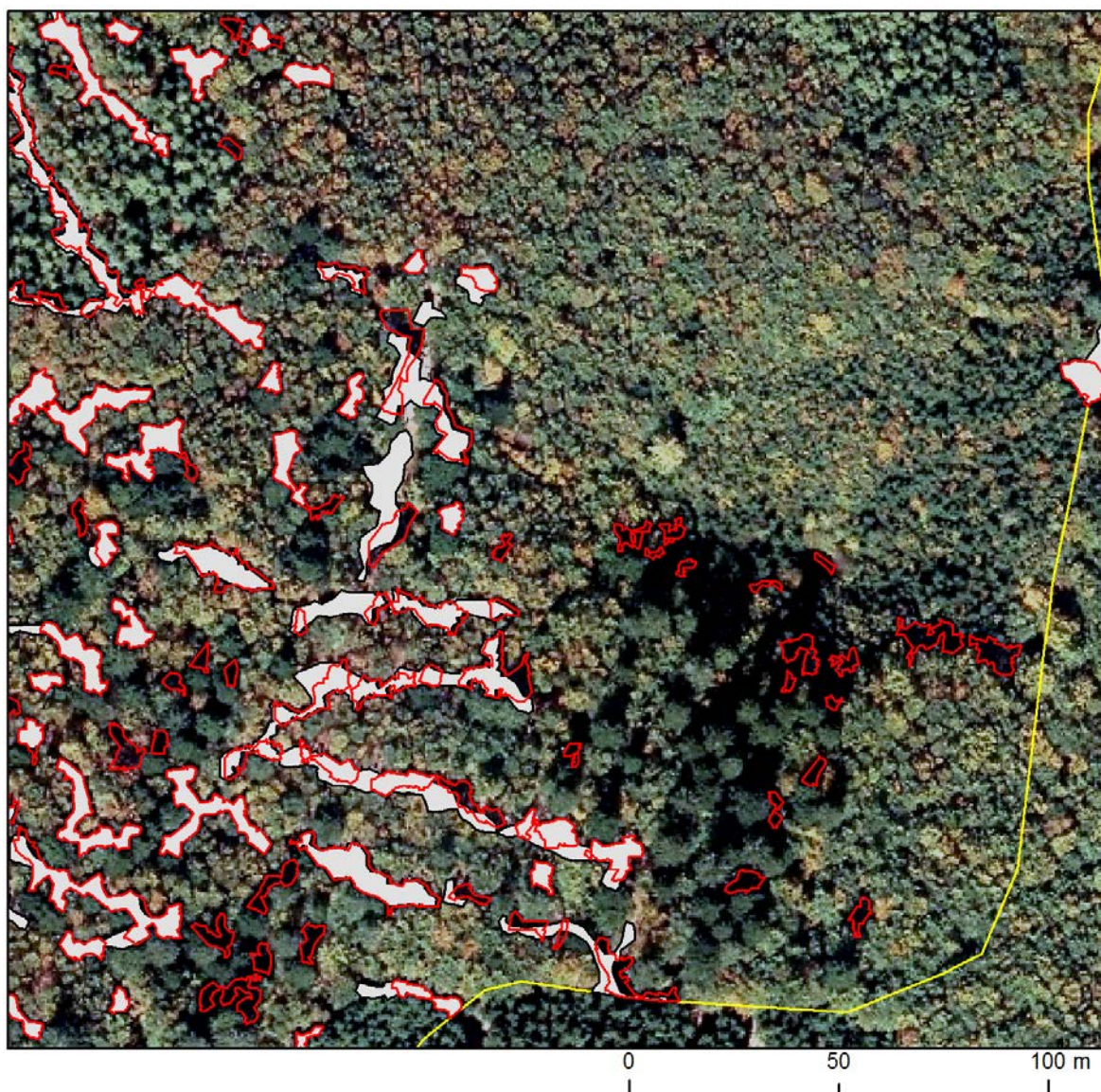
Če primerjamo rezultate med karto iz analize segmentacije ter dopolnjene karte ugotovimo, da je bilo pri segmentaciji izločenih kar 725 vrzeli, medtem ko smo jih pri končni karti izločili 378. Zaradi skoraj dvakrat več izločenih vrzeli je tudi povprečna velikost vrzeli manjša (46,3 m²), v skupni površini pa vrzeli izločene s postopkom segmentacije na ortofoto posnetkih predstavljajo 5,7 %.

Prve razlike med metodama so v razporeditvi vrzeli po velikostnih razredih (Slika 25). Pri segmentaciji izločimo več manjših vrzeli (<100 m²) kot v stereomodelu, z največjo razliko v prvem razredu. Z večanjem velikosti vrzeli (srednje vrzeli 200-599 m²) višje deleže predstavljajo vrzeli izločene s pomočjo stereo modela. Povprečna velikost vrzeli, razmejenih s segmentacijo, je manjša tako v redčenem (47,6 m²–106,4 m²) kot tudi neredčenem delu oddelka (35,2 m²–74,5 m²). V neredčenem oddelku se delež vrzeli med karto vrzeli iz segmentacije (1,1 %) in končno karto (1,2 %) ni veliko spremenil, večje razlike pa so v redčenem delu, ko je bil delež vrzeli pri segmentaciji 8,8 %, medtem ko končna karta v tem oddelku prikazuje 10,7 % delež vrzeli glede na površino odseka 13b in 13c.



Slika 25: Delež vrzeli v oddelku 13 po velikostnih razredih po segmentaciji in po dopolnitvi z stereomodelom na ortofoto posnetkih leta 2010

Glavne razlike v površini in razporeditvi vrzeli po velikostnih razredih med končno karto in karto po segmentaciji so povzročile dolge vrzeli po strojni sečnji. S segmentacijo so bili izločeni le posamezni deli teh linijskih vrzeli, ki so bili pogostokrat senčni. Nekajkrat je bil s segmentacijo pravilno zaključen poligon vrzeli zaradi prekinitve vrzeli s stikom krošenj dveh dreves. Velikokrat pa je menjavanje različnih spektralnih odbojev na ortofoto posnetku povzročilo, da se je izrisalo več manjših, namesto ene daljše vrzeli. Podobni spektralni odboji senc nadržanih jelk so velikokrat povzročili, da je program vrzel izrisal v obliki sence, čeprav tam vrzeli ni bilo. Zgoraj omenjene težave prikazuje slika 26.



Slika 26: Prikaz razlik med končno karto vrzeli (sive lise) in vrzeli po segmentaciji (rdeče linije poligonov) (Vir: Digitalni ortofoto, Geodetska uprava RS, 2010; ZGS, 2013)

Z dopolnjevanjem karte vrzeli v stereomodelu smo preverili njihovo pozicijsko natančnost, ki je pomembna pri proučevanju dinamike vrzeli skozi daljša časovna obdobja. Z delom v stereomodelu smo te vrzeli natančneje, s premikom ali preoblikovanjem robov, umestili v prostor. Omenjene spremembe prikazuje slika 27, kjer so vse rdeče linije (karta segmentacije) višje od sivih lis, ki prikazujejo vrzeli končne karte.



Slika 27: Prikaz izboljšane prostorske natančnosti z izdelavo karte vrzeli s pomočjo stereomodela (Vir: Digitalni ortofoto, Geodetska uprava RS, 2010; Prostorski podatki, ZGS, 2013)

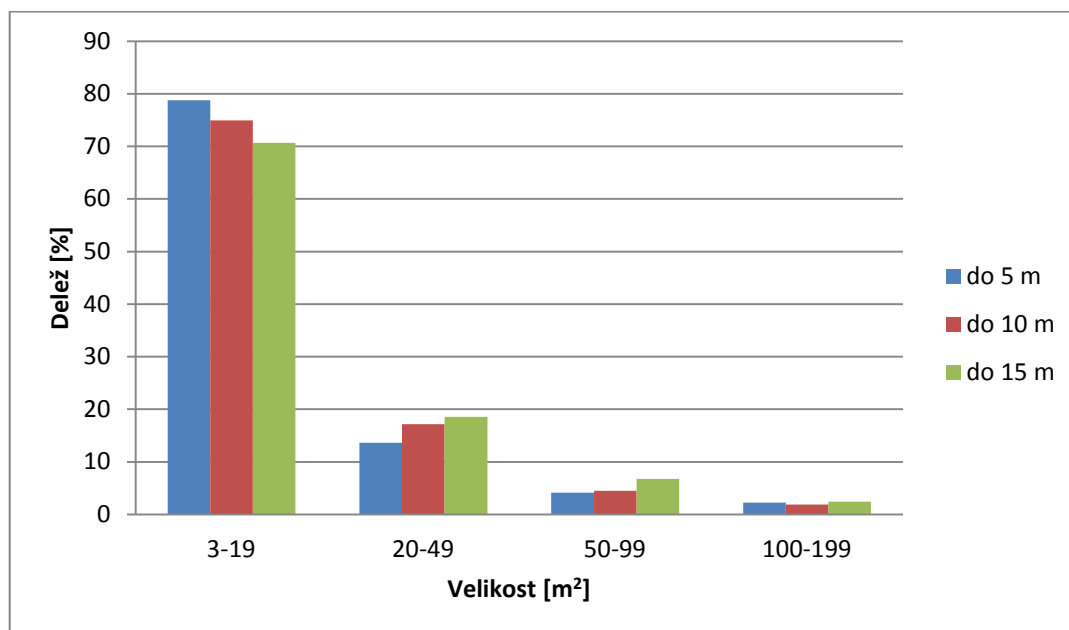
5.6 RAZMEJEVANJE VRZELI Z LIDARSKIMI PODATKI

Iz preglednice 12 lahko opazimo, da se z višanjem ocene višine dreves in druge vegetacije iz 5 na 15 m povečuje število, površina ter povprečna površina vrzeli. Minimalna velikost vrzeli je bila določena s 3 m², velikost največje razmejene vrzeli pa se je iz 679 m² povečala na 3786 m².

Preglednica 12: Lastnosti razmejenih vrzeli pri različno ocenjeni višini dreves in vegetacije v odsekih 30a in 30b leta 2011

Višina vrzeli/Parametri	Število vrzeli	Površina [m ²]	Delež površine [%]	Povprečna velikost [m ²]
5m	485	10082,6	1,90	20,8
10m	578	15125,1	2,85	26,2
15m	901	27447,3	5,18	30,5

Primerjava velikostne porazdelitve vrzeli glede na ocenjeno zgornjo višino dreves in druge vegetacije pokaže, da v teh sestojih močno prevladujejo majhne vrzeli (<200 m²). Ne glede na določeno mejno višino vrzeli, majhne vrzeli predstavljajo kar 98 % števila vseh razmejenih vrzeli. Z višanjem ocenjene višine dreves in druge vegetacije opazimo, da se znotraj majhnih vrzeli večja delež števila dreves v višjih velikostnih razredih (Slika 22). Tudi v tem primeru se izkaže, da velike vrzeli (>600 m²) v številu vrzeli predstavljajo komaj zaznavne deleže, saj je teh vrzeli na vseh obravnavanih višinah manj kot 1 %. Delež teh vrzeli se močno poveča v primerjavi površinskih deležev posameznih velikostnih razredov, ko lahko predstavljajo kar četrtino površine vseh vrzeli (pri ocenjeni višini vegetacije 10 oz. 15 m) (Slika 28).

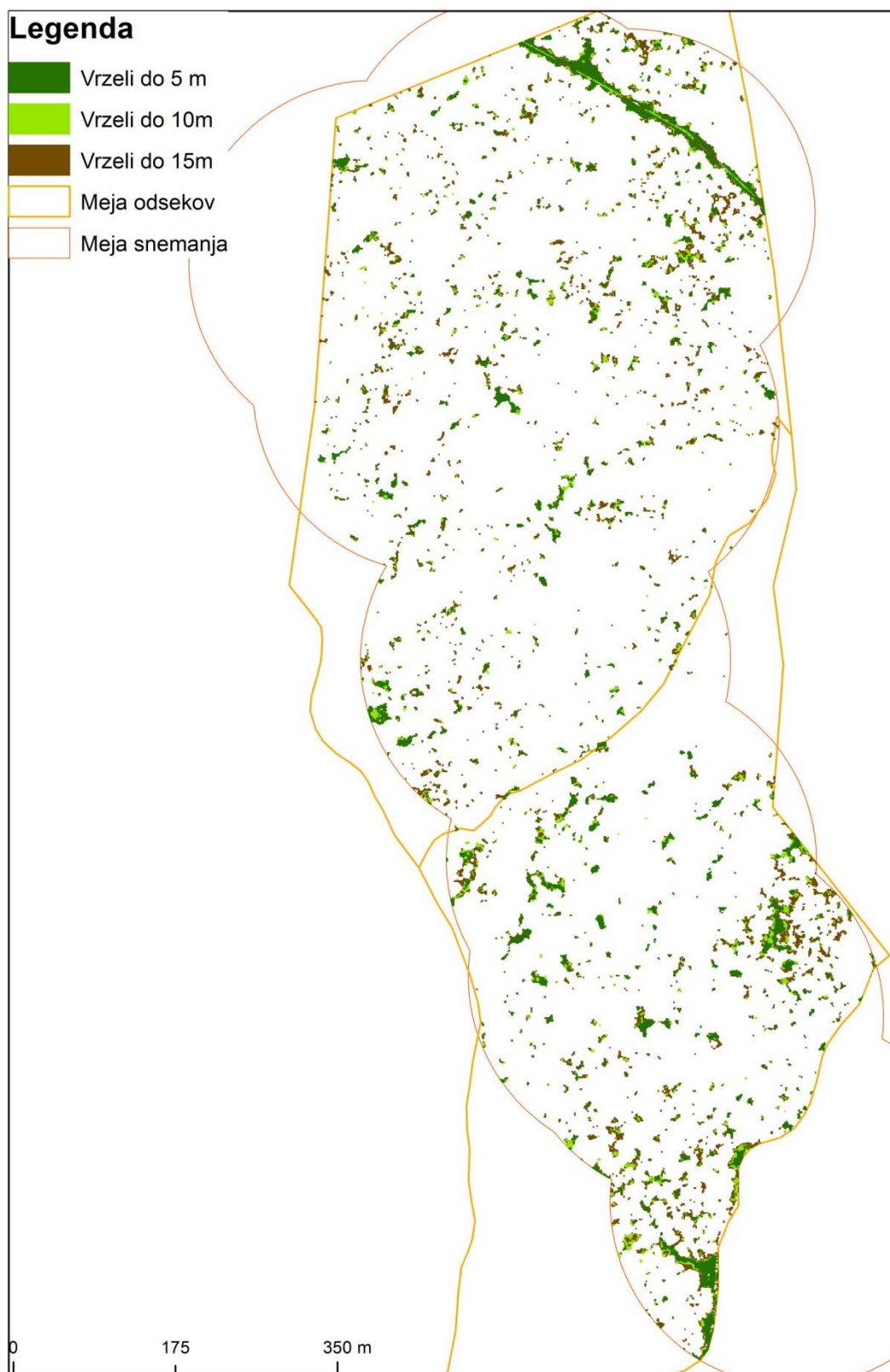


Slika 28: Deleži števila vrzeli v oddelku 30 pri različni oceni višine dreves in druge vegetacije leta 2011

Z razmejevanjem vrzeli pri različno ocenjenih višinah dreves ter ostale vegetacije lahko v raznodobnih gozdovih proučujemo različne vrste vrzeli. V letu 2011 smo na ocenjeni višini dreves do 5 m razmejili 485 vrzeli večjih od 3 m² (Slika 29). Z združitvijo karte vrzeli na ocenjeni višini vegetacije 5 in 10 m smo ugotovili, da 78 vrzeli vsebuje le višine dreves in ostale vegetacije do ocenjene višine 5 m. Razmejili smo tudi 157 novih vrzeli, ki vsebujejo le drevesa med ocenjenima višinama 5 in 10 m. Največ je bilo sestavljenih vrzeli, ki so vsebovale tako višine do 5 m in višine med 5 in 10 m. Ko smo omenjenima kartama vrzeli priključili še karto vrzeli na ocenjeni višini vegetacije 15 m smo ugotovili podobne vrste vrzeli. Največ je bilo novih vrzeli (402), ki vsebujejo le drevesa med ocenjenima višinama vegetacije 10 in 15 m, sledijo sestavljene vrzeli, v katerih zasledimo višine na vseh treh ocenjevanih višinah vegetacije (310). V manjšem številu (78) so bile prisotne tudi sestavljene vrzeli iz dreves v višini med 5 in 15 m. Poleg teh vrzeli so še vedno prisotne vrzeli, ki vsebujejo le višino vegetacije do 5 m (69) ter tiste z ocenjeno višino vegetacije med 5 in 10 m (42). Za razliko od števila vrzeli, kjer so prevladovalle tiste, ki so vsebovale le drevesa med 10 in 15 m, največjo površino vrzeli predstavljajo sestavljene vrzeli, ki vsebujejo drevesa v vseh treh obravnavanih višinah (Preglednica 13).

Preglednica 13: Površine posameznih vrst vrzeli v raznodobnih gozdovih v odseku 30a in 30b leta 2011. V oklepaju so prikazani deleži vrst vrzeli glede na celotno površino obravnavanega območja.

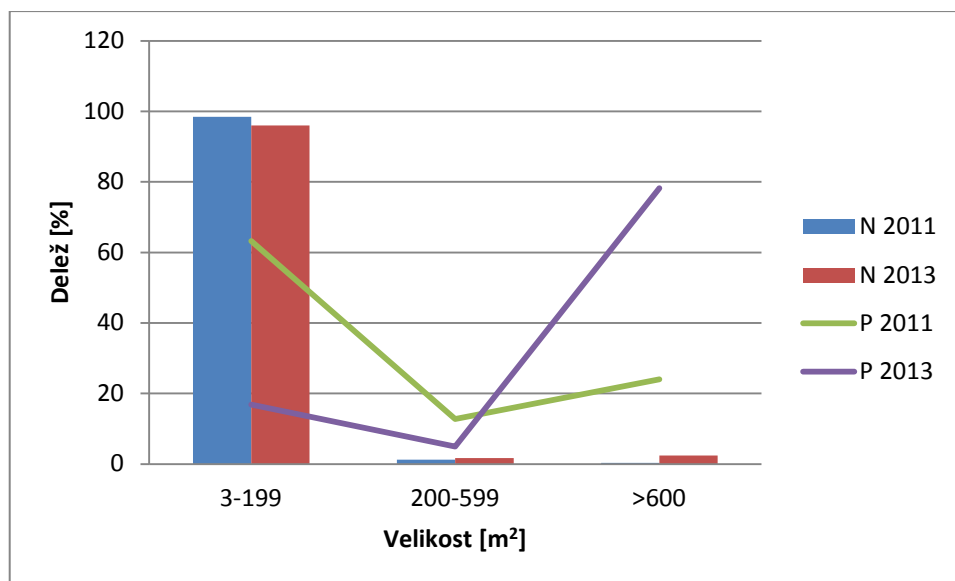
Površina vrzeli [m²]	do 5 m	do 10 m	do 15 m
do 5 m	599 (0,11)	0	21117 (3,98)
do 10 m		778 (0,14)	1736 (0,32)
do 15 m			3217 (0,6)



Slika 29: Karta vrzeli v odsekih 30a in 30b leta 2011 pri različno ocenjenih višinah dreves in druge vegetacije (Vir: Poročilo o projektni ..., 2013; Prostorski podatki, ZGS, 2013)

5.6.1 Dinamika vrzeli v oddelku 30 (2011-2013)

Z analizo dinamike vrzeli med letoma 2011 in 2013 smo ugotovili, da se je število razmejenih vrzeli zmanjšalo iz 901 na 859, obratno pa se je, iz 30 m² na 114 m² povečala njihova povprečna velikost. Prav tako se je povečal delež vrzeli glede na celotno površino obravnavanega območja, in sicer iz 5,2 % na 18,5 % (Slika 30).



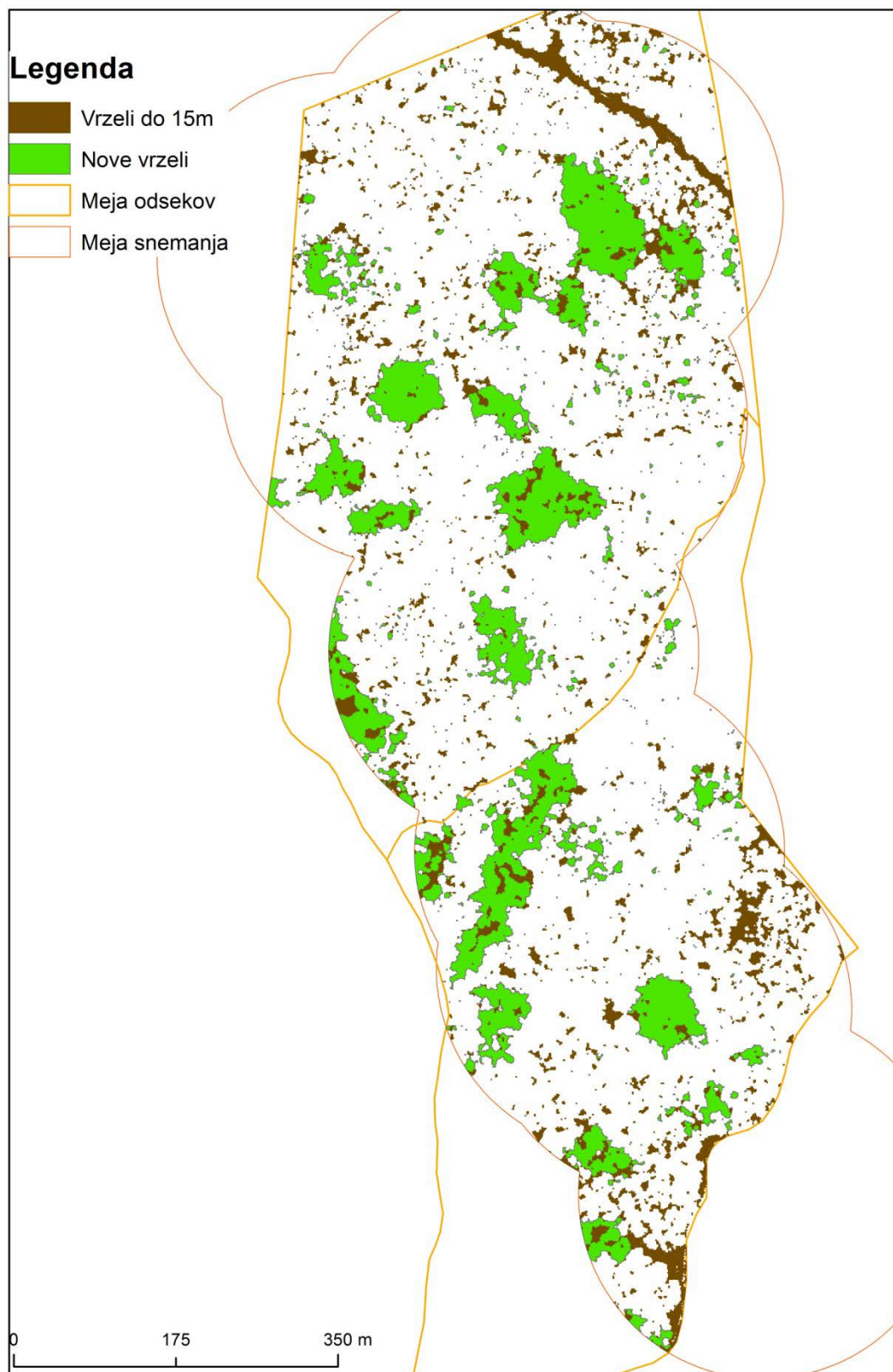
Slika 30: Porazdelitev deležev števila in površine vrzeli po velikostnih razredih v odsekih 30a in 30b leta 2011 in 2013 (N= število; P=površina)

Iz porazdelitev deležev števila in površine vrzeli opazimo, da leta 2011 tako v številu (98 %) kot tudi površini (63 %) prevladujejo majhne vrzeli (<200 m²). V obravnavanem obdobju se je s sečnjo ustvarilo večje vrzeli, saj velike vrzeli (>600 m²) v površinskem deležu predstavljajo kar 78 % površine vseh vrzeli.

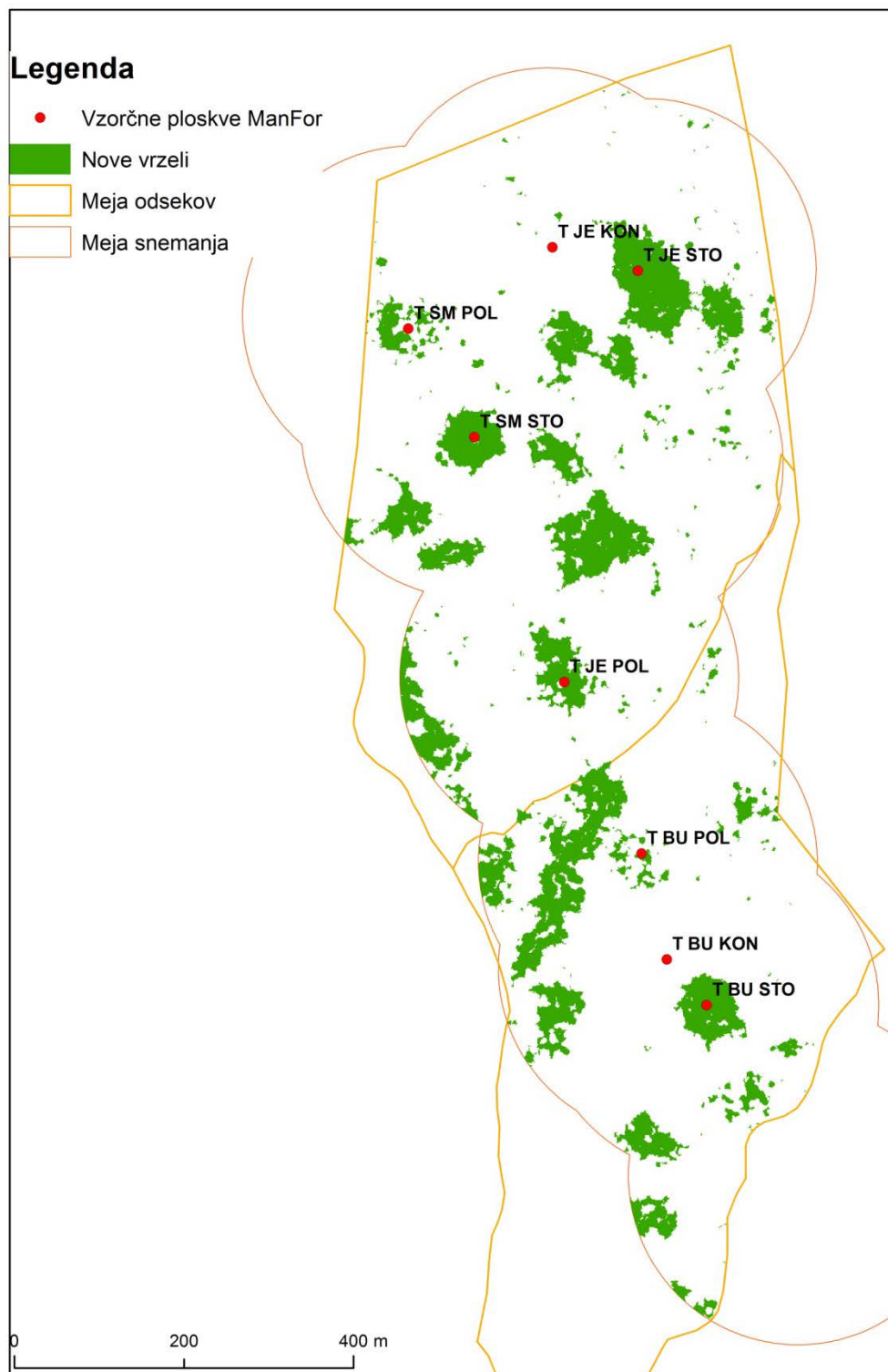
Iz karte vrzeli v letu 2013 lahko razberemo več vrst vrzeli. V številu so najpogostejše sestavljene vrzeli (401), ki vključujejo tako drevesa z ocenjeno višino dreves in druge vegetacije do 15 m in novonastalih površin vrzeli. Sestavljene vrzeli predstavljajo kar 17,1 % površine celotnega obravnavanega območja. Zelo pogoste (281) so vrzeli, v katerih sprememb ni bilo in vsebujejo le drevesa do višine 15 m. Prav tako opazimo vrzeli, ki vključujejo le novonastale površine vrzeli. Takih vrzeli je 177 (Preglednica 14).

Preglednica 14: Površine posameznih vrst novih vrzeli v raznodobnih gozdovih odseka 30a in 30b leta 2013. V oklepaju so prikazani deleži vrst vrzeli glede na celotno površino obravnavanega območja

Površina vrzeli [m ²]	do 15 m	nove vrzeli
do 15 m	3429(0,65)	90549 (17,1)
nove vrzeli		4238 (0,8)



Slika 31: Karta vrzeli leta 2013 v odsekih 30a in 30b (Vir: Poročilo o projektui ..., 2013; Prostorski podatki, ZGS, 2013)



Slika 32: Karta novonastalih vrzeli v obdobju med letoma 2011 in 2013 v odsekih 30a in 30b z prikazanimi središči raziskovalnih ploskev projekta ManFor C.BD. . Oznake: T = Trnovo, BU = bukev, JE = jelka, SM = smreka, STO = 100 % posek lesne zaloge, POL = 50 % posek lesne zaloge, KON = brez ukrepa (Vir: Poročilo o projektni ..., 2013; Prostorski podatki, ZGS, 2013)

Med letoma 2011 in 2013 je na območju obravnave nastalo 72858 m² novih površin vrzeli (Slika 32). Od tega kar tretjino površine predstavljajo vrzeli, ki so nastale zaradi potreb projekta ManFor C.BD.. Rezultati na raziskovalnih ploskvah projekta ManFor C.BD. kažejo, da se delež vrzeli z intenzivnostjo sečnje povečuje. Na ploskvah, kjer so izvedli 100 % posek dreves (STO) je povprečen delež novih vrzeli, glede na velikost ploskve (0,4 ha) znašal 89 %. Povprečni delež vrzeli na ploskvah je pri polovičnem poseku lesne zaloge (POL) na ploskvah manjši (44 %), na kontrolnih ploskvah (KON), kjer se gozdnogojitveni ukrepi v namen projekta niso izvajali pa delež novih vrzeli znaša le 0,23 %. Poleg vrzeli, ki so nastale zaradi projekta ManFor C.BD., je na obravnavanem območju nastalo še 287 novih vrzeli. Nastanek teh vrzeli lahko pripišemo rednemu gospodarjenju ter sanitarnemu poseku.

6 RAZPRAVA

6.1 SESTOJNE GOSTOTE

Hipotezo o statistično značilnih razlikah med neredčenim in redčenim delom oddelka v sestojnih gostotah lahko delno potrdimo, saj smo z raziskavo ocenili, da so pri 5 % tveganju značilne razlike v ocenjenih povprečnih vrednostih temeljnice, srednje temeljničnega premera in lesne zaloge, medtem ko statistično značilnih razlik v ocenjenih povprečnih vrednostih števila dreves ter Reinekejevem indeksu gostote nismo ugotovili.

Sestojne parametre kot so temeljnica, srednje temeljnični premer ter število dreves sta na zelo podobnih rastiščih Trnovskega gozda, *Omphalodo-Fagetum calamagrostidetosum* in *Omphalodo-Fagetum festucetosum* ugotavljala tudi Gasparič in Srnovršnik (1999). V svoji raziskavi podajata visoke povprečne vrednosti števila dreves (380 in 333 dreves/ha), temeljnice (51 m²/ha na obeh rastiščih), srednje temeljničnega premera (44,7 cm in 42,6 cm) ter lesne zaloge (850 m³/ha in 737 m³/ha), saj sta ploskve namenoma izbirala v čim bolj ohranjenih sestojih. Neposredna primerjava z rezultati naše raziskave zato ni primerna, saj so naši sestoji mlajši. Posledično so vsi sestojni parametri manjši, le število dreves je večje. Lahko pa te sestoje primerjamo na podlagi Reinekejevega indeksa gostote sestoja (SDI), saj le-ta podaja število dreves v sestoji, ko je ta imel srednje temeljnični premer 25 cm. Na podlagi objavljenih podatkov (Gasparič in Srnovršnik, 1999) smo izračunali vrednost SDI, in za rastišče *O.-F. festucetosum* znaša 875 dreves/ha ter *O.-F. calamagrostidetosum* 814 dreves/ha. Vrednosti so občutno višje od rezultatov naše raziskave, kjer je vrednost SDI v neredčenem delu oddelka 720 dreves/ha, v redčenem delu oddelka pa 639 dreves/ha.

V raziskavi smo rastiščni indeks ugotavljali po drugačnem postopku, kot ga je predlagal Kotar (1989), saj za ugotavljanje SI nismo postavljali samostojnih ploskev v čim bolj ohranjenih sestojih, vendar smo podatke o višinah ter starosti sestojev pridobivali na celotni površini oddelka. S štetjem branik na posekanih panjih dreves smo ugotovili, da je starost dreves, kljub enomerni zgradbi sestoja, zelo variabilna. Starost sestojev smo ocenili na 85 let ter na podlagi razvoja zgornje višine bukve določili SI₁₀₀ 26 in SI₅₀ 18.

Kljub različnemu postopku določevanja SI so naši rezultati primerljivi z rezultati drugih avtorjev. Kadunc (2012) pri pregledu ocen produkcijske sposobnosti bukovih rastišč Slovenije za rastišče *Omphalodo-Fagetum typ.* navaja SI₁₀₀ 24-30, s povprečno vrednostjo 26, kar je enako našim ocenam na raziskovalnem objektu. Kljub temu, da se sestojni parametri med našo raziskavo ter raziskavo Gaspariča in Srnovršnika (1999) razlikujejo, je ugotovljena vrednost rastiščnega indeksa (SI₁₀₀ 26) v zgornjem delu ranga, ki sta ga za Trnovski gozd na podobnih rastiščih *O.-F. festucetosum* (SI₁₀₀ 16-28) in *O.-F. calamagrostidetosum* (SI₁₀₀ 20-26) ugotovila Gasparič in Srnovršnik (1999).

Primerjava sestojnih parametrov neredčenega dela oddelka s tabeliranimi vrednostmi prirejenih slovaških (Halaj in sod. 1987) tablic donosov pokaže na razlike v številu dreves, kjer je trenutno v sestoju 705 dreves/ha, modelni sestoj pa predpostavlja, da so v starosti sestoja 85 let v sestoju 1002 dreves/ha. Iz razlike v številu dreves izvirajo tudi razlike med tabeliranimi vrednostmi srednje temeljničnega premera in temeljnice. Ker model predpostavlja manjše število dreves, je dejanski srednje temeljnični premer (25,8 cm) višji od tabeliranega (22,5 cm), obratno je pri temeljnici, kjer je zaradi večjega števila dreves večja v modelnem sestoju ($38,9 \text{ m}^2/\text{ha}$), kot je bila izmerjena na terenu ($35,7 \text{ m}^2/\text{ha}$). Lesna zaloga deblovine je v tablicah donosov nižja ($395 \text{ m}^3/\text{ha}$), od tiste, ki je bila ocenjena na terenu ($405 \text{ m}^3/\text{ha}$).

Tudi v neredčenem delu oddelka opazimo največje razlike pri primerjavi števila dreves (dejansko 712 dreves/ha, tabelirano 1002 dreves/ha). Za razliko od neredčenega sestoja večje razlike ugotovimo pri oceni lesne zaloge ($405 \text{ m}^3/\text{ha}$, $395 \text{ m}^3/\text{ha}$) ter temeljnice ($30,7 \text{ m}^2/\text{ha}$, $38,9$), manjšo razliko v redčenem delu oddelka pa opazimo pri srednje temeljničnem premeru (25,8 cm, 22,5 cm).

S štetjem branik na posekanih drevesih smo ugotovili, da je starost dreves v gozdnih sestojih kljub enomerni zgradbi sestojev zelo variabilna. V neredčenem delu oddelka sicer nismo ocenjevali starosti dreves v sestojih, na podlagi primerjave tabeliranih in dejanskih vrednosti sestojnih parametrov pa bi lahko sklepali o višjem rastiščnem indeksu SI_{100} 26-28.

Švicarske tablice (EAFV, 1968) donosov temeljijo na zgornji drevesni višini sestojev v starosti 50 let. Iz dobljenih podatkov smo ocenili rastiščni indeks SI_{50} 18. Največje razlike v primerjavi s slovaškimi tablicami opazimo v številu dreves/ha, saj švicarske tablice podajajo nižje vrednosti (673 dreves/ha) od števila dreves v redčenem (711 dreves/ha) in neredčenem (705 dreves/ha) delu oddelka, medtem ko so slovaške tablice predpostavljale višje vrednosti števila dreves/ha. V splošnem švicarske tablice podajajo nižje vrednosti srednje temeljničnega premera (22,65 cm), temeljnice ($26,8 \text{ m}^2/\text{ha}$) in lesne zaloge ($303 \text{ m}^3/\text{ha}$), kot smo jih izmerili na terenu, tako za redčen in neredčen del oddelka.

V splošnem lahko opazimo, da se prirejene slovaške in švicarske tablice donosov najbolj razlikujejo v oceni števila dreves/ha, saj slovaške tablice predvidevajo šibka nizka redčenja, medtem ko švicarske predvidevajo močnejša redčenja. Zato švicarske tablice podajajo nižje vrednosti za temeljnico ter lesno zalogo.

Iz višinske krivulje ter regresijske enačbe za volumen dreves smo v raziskavi določili 6 tarifni razred za enodobne gozdove. Za razliko od naših rezultatov ZGS v svojih novih gozdnogospodarskih načrtih uporablja 5 tarifni razred za enomerne gozdove

(Gozdnogospodarski načrt ..., 2013). Isti tarifni razred za bukev je bil uporabljen že v načrtih GGE med letoma 1993-2002 (Gozdnogospodarski načrt ..., 1993) ter prejšnjem načrtu GGE za leto 2003-2012. (Gozdnogospodarski načrt ..., 2003).

6.2 PROSTORSKA RAZMESTITEV

Druga hipoteza pravi, da z uporabo strojne sečnje v redčenjih enomernih bukovih drogovnjakov spreminjamo prostorsko razmestitev dreves. Hipotezo lahko potrdimo, saj je primerjava prostorske razmestitve dreves med redčenim in neredčenim delom oddelka je pokazala, da z redčenji ustvarjamo bolj enakomerne prostorske vzorce.

Rezultati raziskave se ne razlikujejo od ugotovitev preostalih avtorjev (Wolf, 2005; Szmyt, 2012), ki prav tako navajajo, da z redčenji, predvsem izbiralnim, ustvarjamo bolj enakomerne razmestitve dreves. V naši raziskavi je bilo redčenje opravljeno s strojno sečnjo. Zanimivo, da kljub popolnem odstranjevanju dreves na sečnih poteh, ki so potrebne za strojno sečnjo, lahko sklepamo o enakomerni razmestitvi dreves.

Tudi Bončina s sod. (2007) je ugotovil, da z redčenji ustvarjamo bolj enakomerne prostorske vzorce, še posebej, če so redčenja močnejših intenzivnosti. Pojavljanje bolj enakomernih prostorskih vzorcev v redčenih sestojih je posledica ustvarjanja mreže izbrancev, h kateri težimo pri izbiralnem redčenju. Na enakomerno porazdelitev lahko sklepamo tudi iz rezultatov Ruganija in sod. (2013), ki je ugotovil enakomerno razmestitev dominantnih dreves v pragozdnih ostankih. V gospodarskih gozdovih so dominantna drevesa največkrat vitalna ter kakovostna, zato tudi izbrana za nosilce proizvodne funkcije gozdov, saj lahko ta s povečanjem prirastka reagirajo na opravljeno redčenje. Z redčenji ta drevesa sproščamo, jim odstranjujemo konkurente ter tako ustvarjamo enakomerne vzorce razmestitve dreves. Hkrati pa Bončina s sod. (2007) priporoča, da z redčenji v sestojih z močno naravno tendenco k skupinski razmestitvi dreves ne vplivamo na porazdelitev dreves in tako ohranjamo skupinsko porazdelitev dreves.

V raziskavi smo preverjali tudi prostorsko razmestitev dreves na stalnih vzorčnih ploskvah pred in po izvedbi redčenja. Zaradi premajhnega vzorca ni bilo mogoče zanesljivo sklepati o razlikah v prostorski razmestitvi dreves.

Iz opravljene raziskave lahko sklepamo, da je metoda primerna za zaznavanje prostorskih vzorcev, ni pa primerna za zaznavanje sečnih poti, ki nastanejo po strojni sečnji. Glavni razlog za to lahko iščemo v tem, da metoda temelji le na povprečni oddaljenosti k -tega drevesa na posameznih ploskvah. Kljub temu, da lahko posamezna ploskev pade na desni rob sečne linije in na levi strani krožne ploskve v oddaljenosti 4 m ne popišemo nobenega drevesa, je na desni strani te ploskve dovolj dreves blizu središča ploskve, da na podlagi

povprečne oddaljenosti k -tega drevesa ne opazimo razlik v povprečni oddaljenosti. Prav tako je metoda zelo občutljiva na vrasla drevesa, saj se lahko oddaljenost k -tega drevesa z vraslimi drevesi zelo spreminja. Na koncentričnih ploskvah, ki jih uporabljamo na stalnih vzorčnih ploskvah lahko prostorsko razmestitev vseh dreves ugotavljamo le na 2 arskih ploskvah, kjer se popiše vsa drevesa, na 5 arskih ploskvah pa bi lahko proučevali le razmestitev dreves s premerom nad 30 cm.

6.3 VRZELI

Hipotezo o vplivu intenzivnosti gospodarjenja na število in velikost vrzeli potrdimo. V raziskavi smo pokazali, da z intenzivnostjo gospodarjenja vplivamo na povečanje deleža površine vrzeli. Rezultati iz raziskovalnih ploskev projekta ManFor C.BD. (odsek 30a in 30b) kažejo na večji delež vrzeli pri intenzivnejšem gospodarjenju. Na ploskvah, kjer je bila posekana celotna lesna zaloga smo ugotovili 89 % delež vrzeli, delež vrzeli se zmanjša na 44 % na ploskvah s 50 % posekom lesne zaloge, na kontrolnih ploskvah, kjer se posek ni izvajal pa smo ugotovili le 0,23 % delež vrzeli. Do istih rezultatov smo prišli v oddelku 13, kjer smo z razmejevanjem vrzeli v obdobju med letoma 2006 in 2013 ugotovili, da se delež vrzeli v redčenem delu oddelka poveča iz 0,41 % na 10,7 %, medtem ko se delež vrzeli v neredčenem delu oddelka zmanjša iz 1,3 % na 1,1 %. V redčenem delu oddelka se je povečalo tudi število vrzeli, in sicer iz 17 na 353 vrzeli, povečala pa se je tudi njihova povprečna velikost (iz 85 m² na 106 m²). Ker se je število vrzeli v neredčenem delu oddelka povečalo iz 30 na 36 vrzeli, povprečna velikost pa se je zmanjšala iz 104,5 m² na 74,6 m² lahko z zagotovostjo trdimo, da intenzivnost gospodarjenja vpliva tudi na povečanje števila in velikosti vrzeli.

V raziskavi smo pokazali, da majhne vrzeli po številu močno prevladujejo na vseh izdelanih kartah vrzeli (l. 2006 z 91 %, l. 2010 z 86 %, l. 2011 z 98 %, l. 2013 z 95%), vendar se njihov delež v skupni površini, glede na delež v številu, močno zmanjša. Ugotovili smo, da kljub temu še vedno v površini prevladujejo na kartah vrzeli leta 2010 (48 %) ter na karti vrzeli iz leta 2011 (63 %), na kartah vrzeli leta 2006 (32 %) in 2013 (17 %) pa večji delež v površini vrzeli predstavljajo velike vrzeli (>600 m²) z 36 % površine leta 2006 in 78 % leta 2013. Na podlagi teh rezultatov, lahko hipotezo, ki pravi, da v velikostni porazdelitvi vrzeli največji delež v površini predstavljajo majhne vrzeli (<200 m²) le delno potrdimo.

Pristop razmejevanja vrzeli v prvem delu raziskave je podoben tistemu, ki ga je uporabil Rugani s sod. (2013), le da smo v naši raziskavi predčasno opravili še postopek segmentacije, na podlagi katerega smo izdelali končno karto vrzeli. Delež vrzeli 6,9 %, ugotovljen glede na celotno površino oddelka, se nahaja znotraj območja vrednosti, ki jih iz raziskav pragozdov in gozdnih rezervatov navajajo drugi avtorji. Drößer in von Lüpke

(2005) navajata 15 % delež vrzeli, Hobi (2013) je ugotovila le 0,78 % delež vrzeli, Rugani s sod. (2013) pa v Gorjancih in Kopah prikaže 10,6 % oz. 4,5 % delež vrzeli. Povprečna velikost razmejenih vrzeli v oddelku 13 (l. 2010) je $106,5 \text{ m}^2$. Podobne povprečne velikosti vrzeli v gozdnih rezervatih in pragozdovih ugotovijo Kenderes in sod. (2008) (93 m^2). O večjih ugotovljenih povprečnih velikosti vrzeli poroča Rugani s sod. (2013), ki je v pragozdnem rezervatu Kope ugotovil povprečno velikost vrzeli 141 m^2 , v pragozdnem rezervatu Gorjanci pa 294 m^2 , Hobi s sod. (2013) pa navaja manjšo povprečno vrednost vrzeli ($28,12 \text{ m}^2$).

Zanimiva je primerjava obremenjenosti gozdnih tal s sečnimi potmi in deležem vrzeli na območjih, kjer je bila izvedena strojna sečnja. Cerjak (2011) iz raziskave na Pohorju navaja 19,3 %, na Goričkem pa 21,5 % obremenjenost gozdnih tal s sečnimi potmi. Podobno vrednost navaja tudi Južnič (2012), ki je po strojni sečnji in spravi, s stroji enakih tehničnih značilnosti, ugotovil 22 % obremenjenost površine. O manjši obremenjenosti (13,5 %) površine gozdnih tal poroča Judnič (2006). Po podatkih iz KE Nova Gorica (Zorn, 2014), so bile sečne poti trasirane v razmaku približno 15 m. Okvirno izračunana obremenjenost gozdnih tal bi, pri širini sečne poti 3 m (širina stroja za sečnjo) znašala 16,6 %. Ugotovimo, da je kljub popolnem odstranjevanju dreves na sečnih poteh delež vrzeli (10,7 %) manjši od deleža sečnih poti, če naše ugotovitve temeljijo le na primerjavi rezultatov naše raziskave (vrzeli) z raziskavami drugih avtorjev (sečne poti). Do manjšega deleža vrzeli pride zato, ker so sečne poti na terenu zelo prilagodljive ter lahko izkoristijo vsako večjo razdaljo med drevesoma za prehod stroja. Na tem odseku drevesa na sečni poti ni potrebno odstraniti, krošnje ostanejo strnjene in vrzel prekinjena.

Analiza širine vrzeli je pokazala, da je povprečna širina vrzeli pri strojni sečnji 5 m, po površini pa prevladujejo vrzeli z širino med 5 in 10 m, ki predstavljajo 67 % površine vrzeli. V raziskavah poškodb tal po strojni sečnji in spravi avtorju ugotavljajo tudi širino svetlega profila, ki je izračunan z razliko med horizontalnima razdaljama raščenih tal na levi in desni strani, zato moramo biti pri primerjavi rezultatov pozorni, saj smo v naši raziskavi merili širino vrzeli med robovi krošenj. Cerjak (2011) pri strojni sečnji z ožjimi stroji v smrekovih drogovjaki ugotovi širino svetlega profila 788 cm pri sečnji in 791 cm pri spravi, v bukovih drogovnjaki pa širino svetlega profila po sečnji znaša 689 cm, po spravi pa 720 cm. Za razliko od Cerjaka (2011), Intihar (2014) navaja manjše vrednosti svetlega profila, ki po sečnji znašajo 471 cm in spravi 490 cm. V primerjavi z raziskavami poškodb tal po strojni sečnji smo v naši raziskavi ugotovili manjšo širino svetlega profila (vrzeli), ker se krošnje dreves na robu sečnih poti raztezajo nad sečne poti ter tako zmanjšujejo širino svetlega profila. Zaradi tega je bilo v redčenih sestojih razmejeno tudi 13 % vrzeli oz. 2,3 % površine vrzeli, ki so bile ožje od 3 m, kolikor je bil širok stroj za sečnjo.

V raziskavi smo ugotovili, da se tako, kot se razlikuje zgradba sestojev (enomenen gozd, raznomenen gozd), razlikuje tudi zgradba vrzeli. Vrzeli v bukovem enomernem drogovnjaku so predstavljale praznine v krošnjah dreves pod katerimi na gozdnih tleh, poleg zelišč, ni bilo razvite vegetacije. Take vrzeli so v raznodobnih gozdovih redke, saj se pod krošnjami starejših dreves že razvijajo mlajša drevesa. Tako so vrzeli v raznodobnih gozdovih določene z ocenjeno višino dreves in druge vegetacije, glede na zgornjo sestojno višino. Z analizo vrzeli na različno ocenjenih višinah dreves smo ugotovili, da v raznodobnih sestojih prevladujejo sestavljene vrzeli, ki vključujejo drevesa z različnimi višinami.

V gospodarskih gozdovih težimo k temu, da bi bil delež vrzeli v sestoju čim manjši, zato so velike vrzeli ($>600 \text{ m}^2$) v gospodarskih gozdovih pred izvedenimi gozdnogojitvenimi ukrepi redke, saj so zaradi izgube rastnega prostora nezaželene. Pojavljajo se predvsem zaradi človekovih potreb po elektriki (daljnovod) in lažjem izkoriščanju gozdov (gozdne ceste). Iz opravljene raziskave lahko ugotovimo, da ima na pojav velikih vrzeli vpliv tudi razvojna faza sestoja, na podlagi katere načrtujemo gozdnogojitvene ukrepe. V debeljakih je nastanek velikih vrzeli zaradi pomladitvenih sečenj pogostejši kot v drogovnjakih, kjer bi z ustvarjanjem velikih vrzeli izgubili rastni prostor. Po izvedenih gozdnogojitvenih ukrepih je delež površine velikih vrzeli v odsekih 30a in 30b (jelov in bukov debeljak) znašal 78 %, v oddelku 13 (bukov drogovnjak) pa 19,5 %. Kljub temu, da so v odsekih 30a in 30b velike vrzeli nastale zaradi potreb projekta ManFor C.BD., so velike vrzeli nastajale tudi zaradi rednega gospodarjenja z gozdom.

Lidarsko razmejevanje vrzeli na različnih zgornjih drevesnih višinah omogoča, da na istem posnetku spremljamo razvoj posameznih vrzeli v preteklosti. Ker se v gospodarskih gozdovih vrzeli širijo zaradi gozdnogojitvenih ukrepov, bi lahko na podlagi terenskih meritev in prostorskega širjenja vrzeli raziskali vplive širjenja vrzeli na razvoj sestojev v njih.

V odsekih 30a in 30b smo vrzeli razmejevali z lidarskimi podatki, kjer razmejevanje temelji na določeni zgornji višini vrzeli, v oddelku 13 pa z digitalnim stereoploterjem, kjer na podlagi lastne interpretacije razmejujemo vrzeli v sestoju. Vrzeli, v katerih so gozdna tla dobro vidna lahko zelo natančno razmejimo, kjer pa so gozdna tla že zaraščena z rastlinjem pa vrzeli težje razmejimo, saj težko ocenimo višino rasti v vrzeli, poleg tega pa težko razmejimo zelo majhne vrzeli ($<20 \text{ m}^2$), ker zaradi senc dreves težko ločimo senco vrzeli na krošnjah ostalih dreves in senco znotraj vrzeli. Prednost razmejevanja vrzeli z lidarskimi podatki je, da vrzeli razmejimo na podlagi določene zgornje drevesne višine vrzeli v digitalnem modelu krošnje, s tem pa lahko razmejimo tudi zelo majhne vrzeli.

7 POVZETEK

V slovenskih gozdovih sta v zadnjem času poleg klasične sečnje vedno pogostejša strojna sečnja in spravilo lesa, ki veljata za eno najsodobnejših tehnologij pridobivanja lesa. Poleg tega, da je primerna predvsem za večje sanacije gozdov ter golosečno gospodarjenje gozdov, se pri nas uporablja tudi za redčenja gozdov v mlajših razvojnih fazah s prevladujočim delež listavcev. V GGE Trnovo so leta 2010 redčenje čistih enomernih bukovih drogovnjakov opravili s strojno sečnjo, po kateri so nad sečnimi potmi nastale dolge progaste vrzeli. V raziskavi smo ugotavljali razlike med neredčenim in redčenim delom izbranega oddelka 13, tako v različnih sestojnih parametrih, prostorski razmestitvi dreves kot tudi v dinamiki vrzeli med letom 2006 in 2011. V sklopu projekta ManFor C.BD. so bili pridobljeni tudi podatki o zračnem lidarskem skeniranju, ki smo jih uporabili za razmejevanje vrzeli v odsekih 30a in 30b.

Za ugotavljanje razlik med redčenim in neredčenim delom oddelka bukovih drogovnjakov smo na terenu postavili 38, 5-arskih krožnih ploskev. Med deloma oddelka smo ugotovili statistično značilne razlike v ocenah povprečnih temeljnic, srednje temeljničnega premera ter lesne zaloge. S štetjem branik na panjih posekanih dreves smo ocenili starost sestojev na 85 let ter določili rastiščni indeks SI_{100} 26 ter SI_{50} 18 za celoten oddelek. Primerjava sestojnih parametrov s slovaškimi in švicarskimi tablicami donosov je pokazala, da se vrednosti najbolj razlikujejo v oceni števila dreves/ha. Analiza prostorske razmestitve dreves na podlagi povprečne oddaljenosti k -tega drevesa do središča vzorčne ploskve je pokazala na enakomerno razmestitev dreves v bukovih drogovnjakih. S primerjavo prostorske razmestitve dreves med redčenim in neredčenim delom oddelka smo ugotovili, da z redčenji ustvarjamo enakomerno prostorsko razmestitev dreves.

Vrzeli v letu 2006 (pred redčenjem) smo razmejili na podlagi interpretacije digitalnih ortofoto posnetkov. V letu 2010 (po redčenju) smo vrzeli najprej razmejili s postopkom segmentacije digitalnih posnetkov, razmejevanje pa dokončali z digitalnim stereoploterjem. Velike spremembe opazimo v površini vrzeli, saj leta 2006 predstavljajo 0,78 % celotne površine oddelka, po redčenju (l. 2010) pa delež površine vrzeli znaša 6,9 %. Razporeditev vrzeli po velikostnih razredih je pokazala, da v obeh letih po številu prevladujejo majhne vrzeli ($<200\text{ m}^2$) z 90 % in 86 % deležem. Ločena analiza redčenega in neredčenega dela oddelka je pokazala velike razlike v skupni površini vrzeli, številu razmejenih vrzeli ter njihovi povprečni velikosti. V neredčenem delu oddelka se je število razmejenih vrzeli povečalo iz 30 na 36, povprečna velikost pa se je zmanjšala iz 104 m^2 na 75 m^2 . Delež površine vrzeli, glede na celoten odsek se je zmanjšal iz 1,3 % na 1,1 %. Večje spremembe smo ugotovili v redčenem delu oddelka, kjer se je število vrzeli povečalo iz 17 na 353, povečala se je tudi povprečna velikost vrzeli iz 85 m^2 na 106 m^2 , skupni delež vrzeli pa se je povečal iz 0,41 % na 10,7 %. Analiza širin vrzeli je pokazala, da s strojno sečnjo ustvarjamo ozke, podolgovate vrzeli, kjer v številu prevladujejo vrzeli

do širine 5 m z 61 % ter vrzeli širine med 5 in 10 m s 37 %. Obratno sliko pokažejo površinski deleži, saj večji delež predstavljajo vrzeli širine med 5 in 10 m (67 %), kot vrzeli širine do 5 m (22 %). Povprečna širina vrzeli leta 2010 je 5 m.

Z lidarskimi podatki lahko vrzeli razmejujemo na različno ocenjenih višinah dreves ter druge vegetacije. V raziskavi smo z razmejevanjem vrzeli na treh ocenjenih višinah vegetacije (5 m, 10 m in 15 m) ugotovili, da na površini analiziranega območja (52,97 ha) v letu 2011 prevladujejo sestavljene vrzeli. Tako v površini kot tudi številu prevladujejo sestavljene vrzeli, ki vsebujejo drevesa na vseh ocenjenih drevesnih višinah, manj pa je takih, ki vsebujejo drevesa med ocenjenimi višinami 5 in 15 m. V območju se pojavljajo tudi vrzeli, ki vsebujejo le drevesa do 5 m, med 5 in 10 m ter med 10 in 15 m, vendar je delež teh vrzeli, tako v številu kot tudi površini majhen.

Analizirali smo tudi dinamiko vrzeli v kratkem časovnem obdobju med letom 2011 in 2013. Ugotovili smo, da se je delež vrzeli iz 5,2 % povečal na 18,5 %. Izrazito povečanje deleža vrzeli je posledica nastanka večjih vrzeli ($>600 \text{ m}^2$), ki so sestavljene in vsebujejo tudi drevesa v ocenjenih drevesnih višinah do 15 m. Pet takih je nastalo v sklopu projekta ManFor C.BD., velike vrzeli pa so nastajale tudi zaradi rednega gospodarjenja z gozdovi. Rezultati iz raziskovalnih ploskev projekta ManFor C.BD. so pokazali, da na delež vrzeli lahko vplivamo z intenzivnostjo gospodarjenja. Na ploskvah, kjer je bila odstranjena celotna lesna zaloga delež novih vrzeli znaša 89 %. Le-ta se na ploskvah s polovico odstranjene lesne zaloge zmanjša na 44 %, na kontrolnih ploskvah, kjer se sečnja ni izvajala pa je delež novih vrzeli 0,23 %.

Z lidarskimi podatki lahko razmejimo zelo majhne vrzeli ($<20 \text{ m}^2$), zaradi pozicijske natančnosti lahko spremljamo dinamiko vrzeli na ravni posamezne vrzeli, vrzeli pa lahko razmejujemo na različno ocenjenih drevesnih višinah.

8 VIRI

1. Bončina A. 1994. Vpliv redčenj na razvoj bukovih sestojev na Somovi gori. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 44: 85–106.
2. Bončina A. 2009. Urejanje gozdov: upravljanje gozdnih ekosistemov: učbenik. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 359 str.
3. Bončina A., Kadunc A. 2012. Raziskovalne ploskve za analizo bukovih gozdov: pregled in poglobitveni izsledki. V: Bukovi gozdovi v Sloveniji: ekologija in gospodarjenje, Ljubljana 2012. Bončina A. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 355–364.
4. Bončina A., Kadunc A., Robič D. 2007. Effects of selective thinning on growth and development of beech (*Fagus sylvatica* L.) forest stands in south-eastern Slovenia. Annals of Forest Science, 64: 47–57.
5. Brokaw N. V. L. 1982. The definition of treefall gap and its effect on measures of forest dynamics. Biotropica, 14: 158–160.
6. Brus R. 2011. Dendrologija za gozdarje. 3. natis. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 408 str.
7. Cerjak B. 2011. Poškodbe tal po strojni sečnji in spravi lesa v redčenjih: diplomska naloga. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 86 str.
8. Cimperšek M. 2002. Z drugačnimi negovalnimi modeli, do boljšega lesa. Gozdarski vestnik, 60, 5-6: 246–258.
9. Cimperšek M. 2012. Zgodovinski prikaz rabe bukovih gozdov. V: Bukovi gozdovi v Sloveniji: ekologija in gospodarjenje, Ljubljana 2012. Bončina A. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 293–326.
10. Čanželj J. 2004. Spremembe sestojne zgradbe v pragozdnem rezervatu Gorjanci: diplomska naloga. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 42 str.
11. Daume S., Robertson D. 2000. A heuristic approach to modelling thinning. Silva Fenn, 34: 237–249.

12. Diaci J. 2006. Gojenje gozdov: pragozdovi, sestoji, zvrsti, načrtovanje, izbrana poglavja: učbenik. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 348 str.
13. Diaci J., Magajna B. 2002. Nekateri predhodni gozdnogojitveni usmeritve pri uvajanju strojne sečnje v Sloveniji. V: Strojna sečnja v Sloveniji - zbornik ob posvetovanju. Ljubljana, Gospodarska zbornica Slovenije, Združenje za gozdarstvo: 33-47.
14. Drake J. B., Dubayah R. O., Clark D. B., Knox R. G., Blair J. B., Hofton, M. A., Chazdon R. L., Weishampel J. F., Prince S. 2002. Estimation of tropical forest structural characteristics using large-footprint LiDAR. *Remote Sensing of Environment*, 79, 2-3: 305–319.
15. Dröžer L., von Lüpke B. 2005. Canopy gaps in two virgin beech forest reserves in Slovakia. *Journal of Forest Science*, 51: 446–457.
16. EAFV. 1968: Ertragstabellen für die Fichte, Tanne und Buche in der Schweiz. Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf, ZH.
17. Falkowski M. J., Smith A. M. S., Hudak A. T., Gessler P. E., Vierling L. A., Crookston N. L. 2006. Automated estimation of individual conifer tree height and crown diameter via two-dimensional spatial wavelet analysis of lidar data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 32, 2: 153–161.
18. Feature Analyst 4.2 for ArcGIS Reference Manual. 2008. Missoula (Montana, USA), Visual Learning Systems: 354 str.
19. Ferreira de Lima A. R. 2005. Gap size measurement: The proposal of a new field method. *Forest Ecology and Management*, 214: 413–419.
20. Gasparič M., Srnovršnik A. 1990. Prirastoslovni kazalci jelovo-bukovega gozda na Trnovski planoti. diplomska naloga. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 60 str.
21. Gavrikov V. L., Stoyan D. 1995. The use of marked point processes in ecological and environmental forest studies. *Environmental and Ecological Statistics*, 2: 331–344.
22. Digitalni model reliefa DMR 12,5. 2014. Geodetska uprava RS.

23. Gozdarski priročnik. 2007. Ponatis. Ljubljana, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Biotehniška fakulteta: 98 str.
24. Gozdnogospodarski in lovsko upravljavski načrti območij za obdobje 2011-2020; povzetek za vso Slovenijo. 2012. Ljubljana, Zavod za Gozdove Slovenije
25. Gozdnogospodarski načrt GGE Trnovo 1993-2002. 1993. Trnovo, Zavod za Gozdove Slovenije, OE Tolmin.
26. Gozdnogospodarski načrt GGE Trnovo 2003-2012. 2003. Trnovo, Zavod za Gozdove Slovenije, OE Tolmin.
27. Gozdnogospodarski načrt GGE Trnovo 2013-2022. 2013. Trnovo, Zavod za Gozdove Slovenije, OE Tolmin.
28. Gozdnogospodarski načrt gozdnogospodarskega območja Tolmin 2011-2020. 2011. Ljubljana, Zavod za Gozdove Slovenije, OE Tolmin.
29. Halaj J., Grek J., Pánek F., Petraš R., Rehák J. 1987. Rastove tabulky hlavných drevín ČSSR. Bratislava, Priroda: 361 str.
30. Henbo Y., Itaya A., Nishimura N. 2004. Long-term canopy dynamics in a large area of temperate old-growth beech (*Fagus crenata*) forest: analysis by aerial photographs and digital elevation models. *Journal of Ecology*, 92, 945–953.
31. Hladnik D. 2004. Ocenjevanje prostorske zgradbe jelovo-bukovih sestojev. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 74: 165–186.
32. Hobi M. L., Ginzler C., Commarmot B., Bugmann H. 2013. Gap pattern of the largest primeval beech forest of Europe revealed by remote sensing. *Ecological Applications*. V: Hobi M. L. 2013. Structure and disturbance patterns of the largest primeval beech forest revealed by terrestrial and remote sensing data. ETH ZURICH. Degree of Doctor of Sciences: 121–147.
33. Hočevar M. 2001. Dendrometrija–Gozdna inventura. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo: 272 str.
34. Intihar M. 2014. Poškodbe tal po sečnji in spravilu s kombiniranim strojem HSM 805F: magistrsko delo. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 139 str.

35. Jakubowski M. K., Guo Q., Kelly M. 2013. Tradeoffs between lidar pulse density and forest measurement accuracy. *Remote Sensing of Environment*, 130: 245–253.
36. John Deere wheeled forwarders: 1010D, 1110D, 1410D, 1710D. 2014.: 24 str.
https://www.deere.com/en_US/docs/non_current/forwarders/1010D_1110D_1410D_1710DForw.pdf (30 jul. 2014)
37. John Deere wheeled harvesters: 1270D, 1470D Eco III. 2014.: 12 str.
http://www.bagi.rs/c/document_library/get_file?p_l_id=10929&folderId=22131&name=DLFE-1439.pdf (30 jul. 2014)
38. Judnič M. 2006. Gojitveni vidiki uporabe strojne sečnje za redčenje sestojev s prevladujočimi listavci: diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 53 str.
39. Juodvalkis A., Kairiukstis L., Vasiliauskas R. 2005. Effects of thinning on growth of six tree species in north-temperate forests of Lithuania. *European Journal of Forest Research*, 124: 187–192.
40. Južnič D. 2012. Poškodbe tal pri strojni sečnji in spravilu lesa na objektu Mozelski Šahen: diplomska naloga. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 43 str.
41. Kadunc A. 2012. Ocena produkcijske sposobnosti bukovih rastišč v Sloveniji. V: *Bukovi gozdovi v Sloveniji: ekologija in gospodarjenje*, Ljubljana 2012. Bončina A. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 91–101.
42. Keller M. 2001. Aerial Photography. V: *Swiss National Forest Inventory: Methods and Models of the Second Assessment*. Bressel P., Lischke H. (ur.). Birmensdorf, WSL Swiss Federal Research Institute: 45–64.
43. Kenderes K., Mihók B., Standovár T. 2008. Thirty years of gap dynamics in a central european beech forest reserve. *Forestry*, 81, 1: 112–123.
44. Klinar K. 2010. Dinamika zaraščanja planinskih pašnikov na Belski planini in Rebru: diplomska naloga. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 75 str.

45. Kobal M. 2014. Ocena lesne zaloge sestojev iz podatkov zračnega laserskega skeniranja površja. *Gozdarski vestnik*, 72, 5-6: 249–262.
46. Kobal M., Hladnik D. 2013. Možnosti uporabe podatkov LiDAR za ocenjevanje produktivne sposobnosti gozdnih rastišč. V: *Produktivna sposobnost gozdnih rastišč v Sloveniji: zbornik prispevkov*. Bončina A. (ur.), Matijašič D. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Zavod za gozdove Slovenije: 37–39.
47. Kobal M., Triplat M., Krajnc N. 2014. Pregled uporabe zračnega laserskega skeniranja površja v gozdarstvu. *Gozdarski vestnik*, 72, 5-6: 235–249.
48. Kobler A. 2011. Nove metode za obdelavo podatkov letalskega laserskega skenerja za monitoring gozdnih ekosistemov: doktorska disertacija. (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo). Ljubljana, samozal.: 126 str.
49. Kobler A. 2011a. Lidarski digitalni model reliefa. Rezultat raziskovalnega projekta *Managing forests for multiple purposes: carbon, biodiversity and socio-economic wellbeing* (ManFor C.BD.), EU LIFE+ program. (neobjavljeno)
50. Kobler A. 2011b. Lidarski digitalni model krošenj. Rezultat raziskovalnega projekta *Managing forests for multiple purposes: carbon, biodiversity and socio-economic wellbeing* (ManFor C.BD.), EU LIFE+ program. (neobjavljeno)
51. Kobler A. 2013. Lidarski digitalni model krošenj. Rezultat raziskovalnega projekta *Managing forests for multiple purposes: carbon, biodiversity and socio-economic wellbeing* (ManFor C.BD.), EU LIFE+ program. (neobjavljeno)
52. Kobler A. 2014. Podatki lidarskega snemanja iz leta 2011 in 2013. Gozdarski inštitut Slovenije. (ustni vir, julij 2014)
53. Konečnik K., Zaplotnik V. 2001. Pragozdni rezervat Strmec – raziskave zgradbe naravnega gozda in primerjave izbranih metod: diplomska naloga. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 107 str.
54. Košir B., Mihelič M. 2011. Primerjava poškodb drevja v pretežno iglastih sestojih po strojni sortimentni metodi s poškodbami drevja po klasičnih oblikah sečnje in spravila lesa. *Gozdarski vestnik*, 69, 10: 447–458.

55. Košir B., Robek R. 2000. Značilnosti poškodb drevja in tal pri redčenju sestojev s tehnologijo strojne sečnje na primeru delovišča Žekanc. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 62: 87–115.
56. Kotar M. 1989. Določanje lesne proizvodne sposobnosti rastišč. Gozdarski vestnik, 47, 5: 208–217.
57. Kotar M. 2011. Zgradba, rast in donos gozda na ekoloških in fizioloških osnovah. Ponatis. Ljubljana, Zveza gozdarskih društev Slovenije, Zavod za gozdove Slovenije: 500 str.
58. Laznik L. 2011. Učinki različnih načinov redčenja v gorskem bukovem gozdu na Mežakli: diplomsko delo (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 67 str.
59. Ortofoto. 2006. Ljubljana, Geodetska uprava Republike Slovenije
60. Ortofoto. 2010. Ljubljana, Geodetska uprava Republike Slovenije.
61. Papler–Lampe V. 2008. Snegolom, ki je januarja 2007 prizadel Blejske gozdove. Gozdarski vestnik, 66, 5-6, 309–319.
62. Podatki iz stalnih vzorčnih ploskev. 2014. Zavod za gozdove Slovenije.
63. Podobnikar T. 2008. Nadgradnja modela reliefa Slovenije z visokokakovostnimi podatki. Geodetski vestnik, 52, 4: 834–853.
64. Podobnikar T., Mlinar J. 2006. Integriranje podatkov reliefa Slovenije. V: Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2005-2006. Perko D., Nared J., Čeh M., Hladnik D., Krevs M., Podobnikar T., Šumrada R. (ur.) Ljubljana, Geografski inštitut Antona Melika ter Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRCSAZU: 33–41.
65. Poljanec A., Ščap Š., Bončina A. 2014. Količina, struktura in razporeditev sanitarnega poseka v Sloveniji v obdobju 1995-2012. Gozdarski vestnik, 72, 3: 131–147.
66. Poročilo o posledicah suše v gozdovih-informacije za 13. nujno sejo odbora. 2012. Zavod za gozdove Slovenije.
<http://imss.dz-rs.si/imis/499d5c0aba7a70c2e5de.pdf> (25. jul. 2014)

67. Poročilo o projektni nalogi ManFor C.BD LIFE09ENV/IT/000078: naloge Javne gozdarske službe. 2013. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, Ministrstvo za kmetijstvo in okolje RS: 79 str.
68. Prostorski podatki. 2013. Zavod za gozdove Slovenije.
69. Rozas V., Zas R., Solla A. 2009. Spatial structure of deciduous forest stands with contrasting human influence in northwest Spain. *European Journal of Forest Research*, 128: 273–285.
70. Roženberger D. 1999. Razvojne značilnosti sestojev v pragozdovih Pečka in Rajhenavski Rog: diplomska naloga. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 77 str.
71. Rugani T., Diaci J., Hladnik D. 2013. Gap dynamics and structure of two old-growth porest remnants in Slovenia. *PLoS ONE*, 8,1.
<http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0052641>
(25. jan. 2014)
72. Runkle, J. R. 1981. Gap formation in some old-growth forests of the eastern United States. *Ecology*, 62: 1041–1051.
73. Saje R. 2011. Zasnova poskusa redčenj bukovih sestojev v raziskovalnem objektu Brezova reber: diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 45 str.
74. Schulze M., Zweede J. 2006. Canopy dynamics in unlogged and logged forest stands in the eastern Amazon. *Forest Ecology and Management*, 236: 56–64.
75. Szmyt J. 2012. Spatial structure of managed beech-dominated forest: applicability of nearest neighbors indices. *Dendrobiology*, 68: 69–76.
76. Szmyt J., Stoyan D. 2014. Spatial autocorrelation of tree attributes in naturally regenerated managed beech (*Fagus sylvatica*) forests in the Beskid Niski Mountains, southern Poland. *Dendrobiology*, 71: 129–136.
77. Šantl B. 2012. Gozdna inventura na kmetiji Hiter: diplomska naloga. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 37 str.
78. Tome S. 2010. Ogroženost gozdov. *Naravoslovna solnica*, 14, 2: 8–13.

79. Triglav Čekada M. 2011. Možnosti uporabe zračnega laserskega skeniranja (LIDAR) za geomorfološke študije. *Geografski vestnik*, 83, 2: 81–93.
80. Ureditveni elaborat gospodarske enote Trnovo 1952-1961. 1952. Trnovo, Zavod za Gozdove Slovenije, OE Tolmin.
81. Ureditveni elaborat gospodarske enote Trnovo 1963-1972. 1963. Trnovo, Zavod za Gozdove Slovenije, OE Tolmin.
82. Ureditveni elaborat gospodarske enote Trnovo 1973-1982. 1973. Trnovo, Zavod za Gozdove Slovenije, OE Tolmin.
83. Ureditveni elaborat gospodarske enote Trnovo 1983-1992. 1983. Trnovo, Zavod za Gozdove Slovenije, OE Tolmin.
84. Vadnjal J. 2010. Začetki strojne sečnje pri SGG Tolmin. V: SGG Utrip: Glasilo Soškega gozdnega gospodarstva. 2010. Logar M., Rovan B., Opeka M., Krapež M. (ur.). Tolmin, SGG Tolmin: 16 str.
85. Vegetacijska in rastiščna analiza za G.E. Trnovo. 1977. Biološki inštitu Jovana Hadžija SAZU. Ljubljana
86. Vepakomma U., Kneeshaw D., Fortin M. J. 2012. Spatial contiguity and continuity of canopy gaps in mixed wood boreal forests: persistence, expansion, shrinkage and displacement. *Journal of Ecology*, 100: 1257–1268.
87. Vetrolom Črnivec in njegova sanacija. Zavod za gozdove Slovenije; Območna enota Nazarje. Str. 10
http://www.arhiv.mkgp.gov.si/fileadmin/mkgp.gov.si/pageuploads/Novinarsko_sreisce/Novinarske_konference/2011/25.3/Vetrolom_Crnivec.pdf (25. jul. 2014)
88. Wolf A. 2005. Fifty year record of change in tree spatial patterns within a mixed deciduous forest. *Forest Ecology and Management*, 215: 212–223.
89. Yao W., Krzystek P., Heurich M. 2012. Tree species classification and estimation of stem volume and DBH based on single tree extraction by exploiting airborne full-waveform LiDAR data. *Remote Sensing of Environment*, 123: 368–380.
90. Zhang K. 2008. Identification of gaps in mangrove forests with airborne LIDAR. *Remote Sensing of Environment*, 112: 2309–2325.

91. Zorn H. 2014. Podatki o količini poseka. Zavod za gozdove Slovenije; KE Nova Gorica. (*ustni vir, julij 2014*)
92. Žun B. 2002. Poškodbe pri sečnji in spravilu lesa s traktorjem v zasebnih gozdovih GE Sovodenj: diplomska naloga. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 39 str.

ZAHVALA

Za vse nasvete, strokovno pomoč ter ves porabljen čas se najlepše zahvaljujem mentorju doc. dr. Davidu Hladniku. Prav tako gre zahvala recenzentu magistrske naloge prof. dr. Juriju Diaciju ter Špeli Velikonja za tehnični pregled naloge.

Velika zahvala gre dr. Andreju Koblerju iz Gozdarskega inštituta Slovenije, za posredovane podatke o lidarskem snemanju ter Heleni Zorn, vodji Krajevne enote Nova Gorica Zavoda za gozdove Slovenije, za posredovane podatke o sečnji v izbranih oddelkih. Zahvala gre tudi območni enoti ZGS Tolmin, za omogočen dostop do arhivskega gradiva.

Zahvalil bi se tehničnemu sodelavcu Alojzu Škvarči za pomoč pri postavljanju vzorčnih ploskev ter Romani Lampe za pomoč pri njihovem popisu.

Posebna zahvala gre staršem za omogočen študij, vso podporo pri pisanju naloge ter vso finančno pomoč v času študija. Hvala tudi bratom, sestrama ter dekletu, ki so mi omogočili mirno in neovirano pisanje diplomske naloge.