

Analiza vidljivosti protupožarnih osmatračnica za područje šumarije Šibenik

Krtalić, Branimir

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:454326>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-22**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE
ŠUMARSKI ODSJEK
DIPLOMSKI STUDIJ
TEHNIKA, TEHNOLOGIJA I MANAGEMENT U ŠUMARSTVU

BRANIMIR KRTALIĆ

ANALIZA VIDLJIVOSTI PROTUPOŽARNIH
OSMATRAČNICA ZA PODRUČJE ŠUMARIJE ŠIBENIK

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, rujan 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE
ŠUMARSKI ODSJEK

ANALIZA VIDLJIVOSTI PROTUPOŽARNIH
OSMATRAČNICA ZA PODRUČJE ŠUMARIJE ŠIBENIK

DIPLOMSKI RAD

Diplomski studij: Šumarstvo, smjer Tehnika, tehnologija i management u šumarstvu

Predmet: Digitalna kartografija u šumarstvu

Ispitno povjerenstvo: 1. (mentor) prof. dr.sc. Ante Seletković

2. (član) doc.dr.sc. Mario Ančić

3. (član) doc.dr.sc. Jelena Kolić

4. (zamjenski član) doc.dr.sc. Ernest Goršić

Student: Branimir Krtalić

JMBAG: 0034056828

Datum odobrenja teme:

Datum predaje rada: 05.09.2023.

Datum obrane rada: 15.09.2023.

Zagreb, rujan, 2023.

	IZJAVA	OB FŠDT 05 07
	O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI	Revizija: 2
		Datum: 29.04.2021.

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

vlastoručni potpis

Branimir Krtalić

Zagreb, 05. rujna 2023.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Naslov:	Analiza vidljivosti protupožarnih osmatračnica za područje šumarije Šibenik
Autor:	Branimir Krtalić
Adresa autora:	Bana Ivana Mažuranića 28, 22000 Šibenik
Mjesto izrade:	Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije
Vrsta objave:	Diplomski rad
Mentor:	prof. dr.sc. Ante Seletković
Izradu rada pomogao:	-
Godina objave:	2023.
Opseg:	Broj stranica: 45 Broj slika: 24 Broj grafova: 2 Broj tablica: 6 Broj navoda literature: 38
Ključne riječi:	požari, analiza vidljivosti, digitalni model reljefa, GIS
Sažetak:	Šumski požari spadaju u najteže prirodne katastrofe. Odabir motrilačkih lokacija protupožarnog sustava najčešće uključuje izvođenje analiza vidljivosti. Analize vidljivosti se izvode u svrhu utvrđivanja površine ili postotka vidljivog područja s promatračke lokacije. Podatci potrebni za izvođenje analiza vidljivosti unutar GIS-a su DMR i lokacija nadzornog tornja. U ovom diplomskom radu će se napraviti analiza vidljivosti postojećih protupožarnih osmatračnica, te prijedlog i izrada novog modela vidljivosti za istraživano područje.

SADRŽAJ

1 UVOD	1
2 DEFORESTACIJA	3
2.1 ŠUMSKI POŽARI.....	4
2.2 VREDNOVANJE POŽARA ŠUMA I ŠUMSKOG ZEMLJIŠTA NA PODRUČJU REPUBLIKE HRVATSKE – HRVATSKE ŠUME	6
2.3 VREDNOVANJE ŠUMSKIH POŽARA NA PODRUČJU UŠP SPLIT NA PRIMJERU GRADA ŠIBENIKA	10
2.4 ANALIZA VIDLJIVOSTI	12
3 DIGITALNI MODEL RELJEFA	16
3.1 DIJELOVI DIGITALNOG MODELA RELJEFA.....	17
3.2 METODA PRIKUPLJANJA PODATAKA.....	17
3.3 ANALIZA PODATAKA	22
3.4 TIN I GRID	22
3.5 IZLAZNI PODATCI.....	25
4 CILJ ISTRAŽIVANJA	28
5 MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA.....	29
6 REZULTATI ISTRAŽIVANJA	34
7 ZAKLJUČAK	44
8 LITERATURA.....	45

KAZALO SLIKA

Slika 1 Područja u Europi obrasla šumom (Izvor: <i>Tree Cover, 2000.</i>)	3
Slika 2. Požarni trokut (izvor: <i>Hrvatska vatrogasna zajednica, Zagreb</i>)	5
Slika 3 Jedan od prvih primjera korištenja analiza vidljivosti (izvor: <i>Cluver academic publishers, str. 348.</i>)	14
Slika 4 Lasersko skenirana osnovu satelitskih scena (izvor: <i>interna skripta iz kolegija "Digitalna kartografija"</i>)	19
Slika 5 Digitalizirane slojnice (izvor: <i>internetska stranica kartografija.hr</i>)	20
Slika 6 Primjer TIN modela (izradio: <i>Tucker et al., 2001</i>)	23
Slika 7 Primjer GRID modela (izvor: <i>internetska stranica https://www.innovativegis.com</i>).....	25
Slika 8 Dijagram koji prikazuje razliku između 2D i 3D modela podataka (izvor: <i>Gary Noble</i>)	27
Slika 9. Područje istraživanja (izvor:vlastita izrada)	29
Slika 10. Prikaz izrade DMR-a područja istraživanja (izvor: vlastita izrada)	30
Slika 11. Prikaz izrade sloja Nagib terena (izvor: vlastita izrada).....	30
Slika 12. Prikaz izrade sloja Izloženost (izvor: vlastita izrada).....	31
Slika 13 Osmatračnice i osmatračka mjesta (izvor: vlastita izrada)	32
Slika 14. Primjer analize vidljivosti (Viewshed i Observer points) (izvor: vlastita izrada)	33
Slika 15. DMR područja istraživanja (izvor: vlastita izrada)	34
Slika 16. Nagib terena (izvor: vlastita izrada)	35
Slika 17. Izloženost (izvor: vlastita izrada)	36
Slika 18. Vidljivost s osmatračnice Debeljak (izvor:vlastita izrada).....	37
Slika 19. Vidljivost s osmatračnice Orlice (izvor:vlastita izrada)	38
Slika 20. Vidljivost s osmatračnice Parizovac (izvor:vlastita izrada)	39
Slika 21. Ukupna vidljivost preklapljena sa gospodarskom kratom šumarije Šibenik (izvor:vlastita izrada)	40
Slika 22. Broj odjela/odsjeka prema stupnju ugroženosti od požara (izvor: vlastita izrada).....	41
Slika 23. Karta odjela/odsjeka prema stupnju ugroženosti od požara (izvor: vlastita izrada).....	42
Slika 24. Digitalni model reljefa prema vidljivosti s osmatračnica (izvor: vlastita izrada).....	43

KAZALO TABLICA

Tablica 1 Broj požara i opožarena površina u Hrvatskoj u razdoblju 1992 – 2007. (izvor: vlastita izrada prema godišnjim izvješćima HŠ).....	7
Tablica 2 Ukupna opožarena površina u RH u razdoblju od 2015.-2018. godine (izvor: vlastita izrada prema godišnjim izvješćima HŠ)	8
Tablica 3. Ulaganja u zaštitu šuma od požara u razdoblju 1992 – 2007. (izvor: vlastita izrada prema godišnjim izvješćima HŠ).....	9
Tablica 4. Veličina opožarene površine (ha) (izrađeno prema ŠP obrascu)	10
Tablica 5. Nastala šteta od šumskih požara (izrađeno prema ŠP obrascu)	11
Tablica 6 Prikaz metoda prikupljanja podataka za DMR (izvor: vlastita izrada prema internoj skripti "Digitalna kartografija")	21

KAZALO GRAFOVA

Graf 1 Osnovna podjela šuma i šumskog zemljišta prema iskazu površina u obrascu ŠGO-1 (izvor: Hrvatske šume)	2
Graf 2 Požari u RH kroz brojeve u razdoblju od 1990. do 2014. godine (izvor: vlastita izrada prema godišnjim izvješćima HŠ)	6

PREDGOVOR

Ovaj rad izrađen je na Zavodu za tehnike i tehnologije, Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

*Trebala je ovo biti trka na 5 km, ali s vremenom sam zavolio ultramaratone...
i zato ovim putem želim zahvaliti svom mentoru prof. dr.sc. Anti Seletkoviću na ukazanom povjerenju i na nesebičnoj i stručnoj pomoći prilikom izrade ovog diplomskog rada te svim prijateljima koji su bili dio mojih studentskih dana.*

Posebnu zahvalnost dugujem svojim roditeljima, bratu i sestrama koji su uvijek bili tu za mene, podržavali svaku moju odluku i strpljivo čekali.

Hvala Vam za svu ljubav, podršku i brigu koju ste mi pružili u trenucima kada je to bilo najpotrebnije.

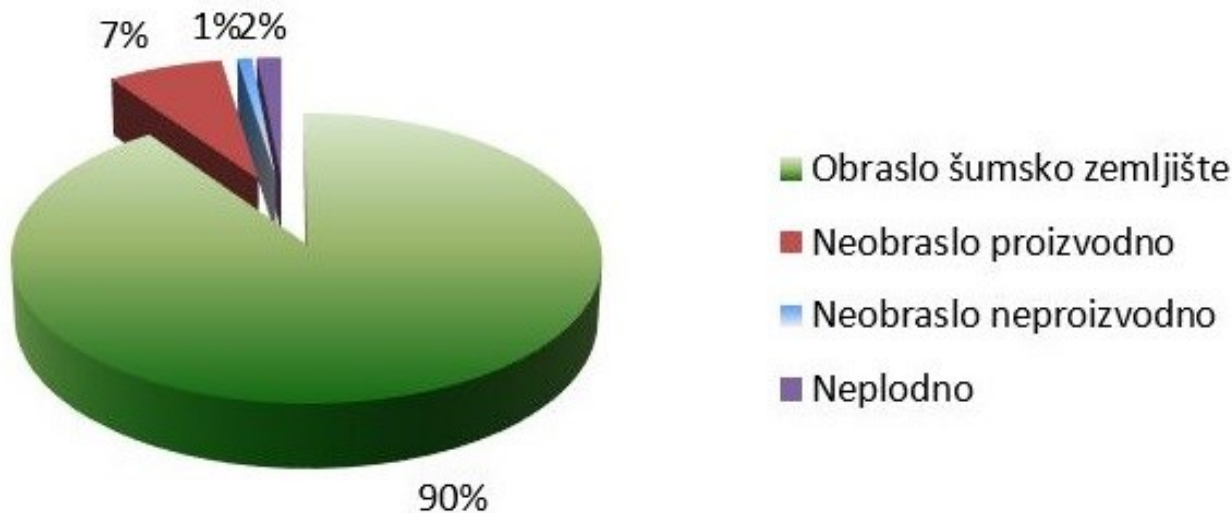
Branimir Krtalić

1 UVOD

Prema Zakonu o šumama definicija šume glasi: šuma predstavlja zemljište obraslo šumskim drvećem u obliku sastojine na površini većoj od 10 ari, a šumom se smatraju i šumski rasadnici i sjemenske plantaže koje predstavljaju sastavni dio šume, šumska infrastruktura, protupožarni prosjeci i pripadajuća manja otvorena područja unutar šume, šume u zaštićenim područjima prema posebnom propisu, šume od posebnog ekološkog, znanstvenog, povijesnog ili duhovnog interesa, vjetrobrani i zaštitne zone – zaštitni pojasevi drveća površine veće od 10 ari i širine veće od 20 metara. (čl.4, NN, br. 140/05., 82/06., 129/08., 80/10., 124/10., 25/12., 68/12., 148/13. i 94/14). Teritorij Republike Hrvatske u pogledu kopnenog dijela najvećim je dijelom prekriven šumama (49,3% ukupne površine kopnenog dijela). Od cjelokupne površine koja iznosi 2.759.039 ha šuma u državnom vlasništvu je 76,04%, odnosno 2.097.918 ha, dok je ostatak od 23,96%, odnosno 661.721 ha u vlasništvu privatnih osoba. Podjela šuma i šumskog zemljišta može se podijeliti u nekoliko kategorija, međutim osnovna podjela podrazumijeva četiri kategorije: (Graf 1)

1. Obraslo šumsko zemljište naziva se još i šumovitost Hrvatske. Šumovitost Hrvatske iznosi 90% ukupne površine šuma i šumskog zemljišta što bi bilo 2.492.676 ha, a u ukupnoj površini kopnenog dijela RH zauzima 44,5% površine.
2. Neobraslo proizvodno šumsko zemljište zauzima površinu od 7% ukupne površine šuma i šumskog zemljišta što bi bilo 199.147 ha. Gledajući u okvirima ukupne površine kopnenog dijela RH na neobraslo proizvodno šumsko zemljište otpada 3,6%.
3. Neobraslo neproizvodno šumsko zemljište zauzima površinu od 24.956 ha. Ta površina čini 1% ukupne površine šuma i šumskog zemljišta, odnosno 0,4% kopnene površine Republike Hrvatske.
4. Neplodno šumsko zemljište zauzima površinu od 42.260 ha, odnosno 2% ukupne površine šuma i šumskog zemljišta te 0,8% kopnene površine Republike Hrvatske.

Graf 1 Osnovna podjela šuma i šumskog zemljišta prema iskazu površina u obrascu ŠGO-1 (izvor: Hrvatske šume)

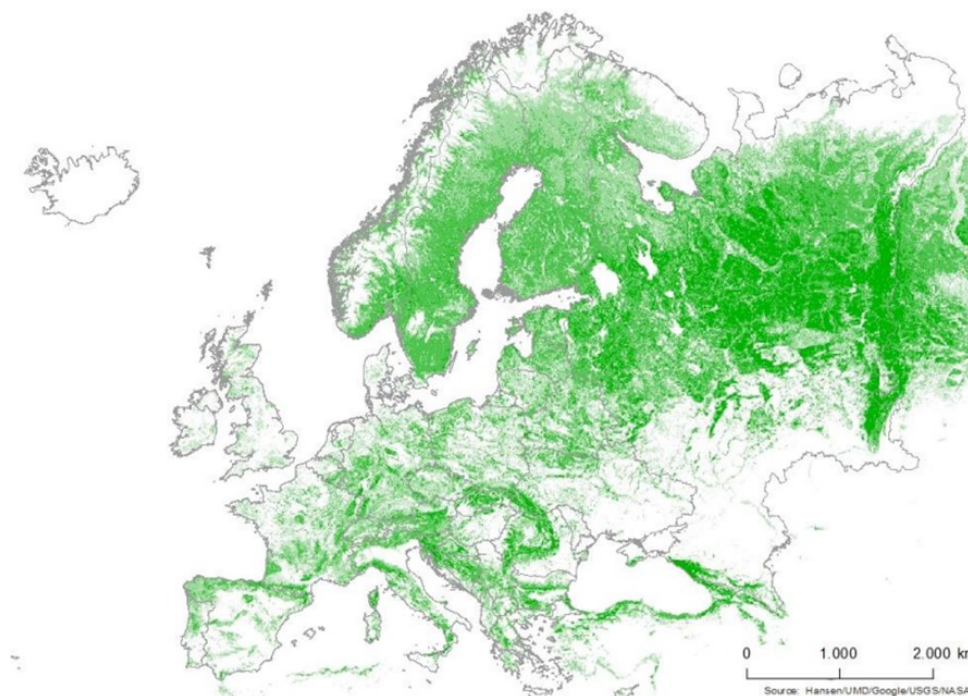


Osim prethodno navedene podjele šume i šumsko zemljište mogu se podijeliti prema namjeni pa se obzirom na navedeno razlikuju:

1. Gospodarske šume – uz očuvanje i unaprijeđene općekorisnih funkcija šuma, njihova je glavna funkcija proizvodnja šumskih proizvoda
2. Zaštitne šume – glavna im je funkcija zaštita zemljišta, voda, naselja, objekata, ali i druge imovine
3. Šume s posebnom namjenom – obuhvaćaju šumske sjemenske objekte sukladno propisanom zakonu, šume unutar zaštićenih područja ili prirodnih vrijednosti zaštićene na temelju propisa o zaštiti prirode te šume namijenjene znanstvenim istraživanjima, nastavi, potrebama obrane Republike Hrvatske te potrebama utvrđenim posebnim propisima.

2 DEFORESTACIJA

Važnost šuma očituje se u činjenici da one prekrivaju otprilike 30% kopnenih površina Zemlje. Njihovo postojanje, zaštita i očuvanje predstavljaju neizmjernu važnost za održavanje ravnoteže u prirodnim procesima. Svojim fizičkim i kemijskim značajkama kroz stabilizaciju tla i klime, regulaciju vodnih tokova te kruženje vode u prirodi omogućavaju i pružaju sigurno stanište raznim biljkama i životinjama, a osim navedenog neposredan utjecaj imaju i na čovjeka. Ukupna kopnena površina Europe iznosi 9.908.599 km² (Palička, 2005). Prema službenim podacima iz 2020. godine, šume i šumska zemljišta zauzimaju 227.353 ha što bi u omjeru s prethodno navedenom površinom Europe iznosilo 34,8 %. Važno je naglasiti da se površina, odnosno intenzitet pokrivenosti razlikuje od države do države. (Forest Europe, 2020)



Slika 1 Područja u Europi obrasla šumom (Izvor: Tree Cover, 2000.)

Uklanjanjem šumskog pokrova može doći do značajnih promjena koje najčešće rezultiraju negativnim posljedicama, čak do te mjere da sve češće dolazi do klimatskih promjena na globalnoj razini. (FAO i JRC, 2012). 4 Krčenje šuma, odnosno svaki oblik degradacije šuma i dalje se odvijaju alarmantnim stopama. Prema procjenama UN-ove Organizacije za prehranu i poljoprivredu (FAO) od 1990. godine uništeno je i izgubljeno 420 milijuna hektara šume. Najveći gubitci nastaju kao posljedica prenamjene zemljišta u druge svrhe. Stopa krčenja u razdoblju između 2015. i 2020. godine, procijenjena je na 10 milijuna hektara godišnje. Iako iz brojeva vidimo pozitivan trend i pad brojki od 16 milijuna hektara godišnje u odnosu na

1990-u još uvijek to nije stanje s kojim se može i treba biti zadovoljni uzmemo li u obzir da se površina primarnih šuma u svijetu smanjila za više od 80 milijuna hektara od 1990. godine. (FAO & UNEP, 2020). Šumske površine na području Republike Hrvatske zauzimaju udio od 47% kopnenog dijela što je ukupno 2.688.687 ha. Važno je naglasiti da je gotovo 80% od navedene površine šuma u državnom vlasništvu, a tek manji dio je u vlasništvu privatnih šumoposjednika. Prema podacima Hrvatskih šuma, tvrtke koja je ovlaštena za gospodarenje državnim šumama, one su u odličnom stanju, krčenje šuma ne postoji te ne postoji strah od njihova nestanka. Šumama i šumskim zemljištem gospodari se planski na temelju dokumenta koji se zove „Šumskogospodarska osnova područja“. To je službeni dokument koji se donosi za razdoblje od 10 godina. Prema njemu osnovno je da se drveni resursi koriste u mjeri koja neće ugroziti njihov opstanak, a sukladno navedenom u Hrvatskoj se godišnje siječe daleko manje drva nego što prirasta (croenergo.eu, 2016). Međutim, iako je čista sječa na teritoriju Republike Hrvatske zakonom zabranjena, deforestacija itekako postoji i sve je više prisutna kako u državnim tako i u privatnim šumama. Čest uzrok deforestacije u privatnim šumama je sječa stabala radi potreba za drvom za ogrjev te potreba za drvom kao građevinskim materijalom. Procjenjuje se da se čak 99% hrvatskih privatnih šuma koristi isključivo kao gorivo za grijanje ili kao građevinski materijal (Cvitanović i dr., 2016). Osim navedenog najvažniji uzrok deforestacije su šumske štete koje nastaju kao posljedica šumskih požara, šteta od štetočina te šteta od vremenskih nepogoda. Najvažnije je istaknuti šumske požare. Najveći broj požara nastaje na području krša, odnosno na Mediteranu.

2.1 ŠUMSKI POŽARI

Šumski požar može se definirati kao stihijsko i prekomjerno širenje vatre na površini šume ili šumskog zemljišta bez obzira koliki je njezin intenzitet. Obzirom da nanose velike štete i mogu imati enormne posljedice za prirodne resurse, dobra, ali i čovjeka te se sukladno tome mogu smatrati najjačim prirodnim silama. Požari općenito, pa tako i oni šumski, nastaju samo u slučaju kada su ispunjena tri osnovna uvjeta: prisutnost goriva, poticaj kisika te dovoljna temperatura. Navedena tri uvjeta nazivaju se požarnim trokutom.



Slika 2. Požarni trokut (izvor: Hrvatska vatrogasna zajednica, Zagreb)

Koliko će intenzivan biti i kolike će štete nastati nakon šumskog požara ovisi o starosti šume, vrsti drveća koja prevladava na površini šume, odnosno vegetacije te o vrsti požara i njegovoj jačini. Šumski požari najčešće nastaju kao posljedica ljudskih djelatnosti, nešto rjeđe prirodnim uzrocima. Ukoliko nastaju prirodnim putem, najčešći uzrok su udar groma, dok u pojedinim zemljama uzrok mogu biti i vulkanske erupcije. Svi ostali požari rezultat su čovjekova djelovanja. Postoji nekoliko klasifikacija, odnosno podjela šumskih požara, a u RH najčešće se koristi klasifikacija koja se odnosi na način postanka požara (Dimitrov,1987; Španjol, 1996):

1. **PRIRODNI POŽARI:** predstavljaju divlje, stihijske te nekontrolirane požare koji nisu pod kontrolom stručnjaka ili neke druge ovlaštene osobe
2. **UMJETNI POŽARI:** predstavljaju kontrolirane ili planirane požare koji su pod stalnom kontrolom stručnjaka ili ovlaštenika. Takvi požari izazivaju se s ciljem provođenja određenih poslova u gospodarenju šumama, primjerice čišćenje mjesta prijašnjih sječa, paljenje grana, izvaljenih stabla, također se koriste za borbu protiv patogenih mikroorganizama i štetnih kukaca.

Osim navedene podjele, prema tipu gorivog materijala požari se dijele na (Španjol, 1996.):

1. **PODZEMNI POŽAR ILI POŽAR TLA** – zahvaća humus te rastresite slojeve tla koji se nalaze ispod šumske stelje ili dijela površinskog sloja šumskog tla koji se nije razgradio.
2. **PRIZENI POŽAR** – nastaje u trenutku paljenja gornjeg sloja šumske organske prostirke, grmlje u podstojnoj etaži, pomladak, ali i prizemno rašće koje se nalazi ispod krošanja stabala
3. **POŽAR U KROŠNJAMA ILI VISOKI POŽAR** – naziva se još i ovršni požar. Predstavlja vrstu požara koji najčešće uništava cijeli šumski ekosustav. Ograničen je pretežno na

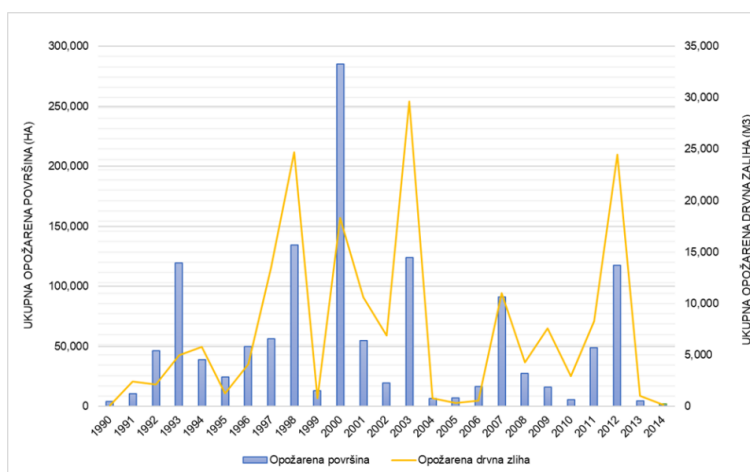
crnogorične šume. Ukoliko tokom trajanja požara dolazi i do pojave vjetra ovaj tip požara može dovest do uništavanja čitavih šumskih kompleksa.

4. POŽAR OSAMLJENOG DRVEĆA I GRMLJA – najrjeđi oblik požara čiji je najčešći uzrok udar groma pri čemu dolazi do izgaranja čitavog stabla. Posljednjih godina nastaje, odnosno izbija veliki broj šumskih požara. Prema javno dostupnim podacima samo na području Europe javlja se između 30.000 i 40.000 požara godišnje, a opožarene površine zauzimaju preko 500.000 ha. Zemlje smještene uzduž južnog dijela Europe, kao što su Portugal, Španjolska, Francuska, Italija, Hrvatska, Crna Gora, Makedonija, Albanija i Grčka izložene su velikim i čestim požarima što se sve negativnije odražava na klimu te posljedično s klimatskim i globalnim promjenama i na društveno-ekonomske uvjete. Na području Sjeverne Amerike štete su daleko veće, a važno je naglasiti da je preko 97% požara posljedica ljudskog djelovanja.

2.2 VREDNOVANJE POŽARA ŠUMA I ŠUMSKOG ZEMLJIŠTA NA PODRUČJU REPUBLIKE HRVATSKE – HRVATSKE ŠUME

Prema posljednjim podacima (Graf 2) ukupan broj požara u razdoblju od 1990. do 2014. godine iznosio je 4.333, a najveći broj požara, njih 290 zabilježeno je 1998. godine. Ukupna opožarena površina iznosi 154.231,43 ha. Najveća opožarena površina zabilježena je 2000. godine, a ukupno je izgorjelo 33.240,99 ha. Što se tiče ukupne izgorjele drvene zalihe iz grafa je jasno vidljivo da je najveća drvena zaliha izgorjela 2003. godine kada je stradalo 254.144,17 m³, a u razdoblju od 1990. do 2014. godine ukupno je uništeno 1.600.779,97 m³.

Graf 2 Požari u RH kroz brojeve u razdoblju od 1990. do 2014. godine (izvor: vlastita izrada prema godišnjim izvješćima HŠ)



Tablica 1 Broj požara i opečarena površina u Hrvatskoj u razdoblju 1992 – 2007. (izvor: vlastita izrada prema godišnjim izvješćima HŠ)

Godina	Broj požara			Opečarena površina (ha)		
	Krš	Kontinent	Ukupno	Krš	Kontinent	Ukupno
1992	191	134	325	9.820	1.311	2.622
1993	202	170	372	17.523	2.634	5.268
1994	149	32	181	7.743	193	386
1995	68	41	109	4.400	251	502
1996	233	72	305	10.714	500	1.000
1997	263	42	305	10.225	897	1.794
1998	303	138	441	27.060	4.996	9.992
1999	196	27	223	5.927	126	252
2000	590	116	706	66.758	1.413	2.826
2001	263	36	299	16.049	120	240
2002	87	89	176	3.187	1.666	3.332
2003	435	97	532	25.708	1.383	2.766
2004	192	12	204	3.319	59	118
2005	108	39	147	2.714	421	842
2006	157	24	181	4.476	99	198
2007	241	104	345	18.825	1.384	2.768
2008	-	-	569	-	-	2.791
2009	104	36	140	1.802	411	2.213
2010	-	-	71	506	171	677
2011	-	-	280	-	-	15.555
2012	387	182	569	20.816	4.006,49	24.822,49
2013	124	13	137	1.907	92	1.999
2014	30	12	43	138	50	188
2015	179	13	192	5.989	75	6.064
2016	122	13	135	6.681,6	51,4	6.733

Godina	Broj požara			Opožarena površina (ha)		
	Krš	Kontinent	Ukupno	Krš	Kontinent	Ukupno
2017	378	4	382	42.717,8	5.825,2	48.543
2018	-	-	57	-	-	1.581
2019	-	-	123	-	-	2.180
2020	-	-	142	-	-	23.994
UKUPNO	5.002	1.446	7.691	273.806,3	28.083,7	301.890

Prema javno dostupnim podacima u Tablici 1. dan je prikaz broja požara i opožarenih površina po regijama na teritoriju Republike Hrvatske u periodu od 1992. do 2020. godine. Iz prikazanih podataka jasno je vidljivo kako je broj požara, ali i opožarenih površina na kršu gotovo svake godine veći nego na kontinentu te da su te razlike iz godine u godinu sve veće i izraženije. Godina koja se može izdvojiti kao ona s rekordnim brojem požara, je 2012. kada je u 569 požara opožareno 24.822,49 ha, a godina u kojoj je opožarena površina bila najveća je 2017. kada je u 382 požara opožareno 48.543 ha površine.

Tablica 2 Ukupna opožarena površina u RH u razdoblju od 2015.-2018. godine (izvor: vlastita izrada prema godišnjim izvješćima HŠ)

REGIJA	TIP ŠUME	POVRŠINA (ha)	UKUPNA POVRŠINA (ha)
Kontinentalna Hrvatska	četinjače	238,03	1.689,16
	listače	1.355,64	
	makija i grmlje	95,44	
Mediterranska Hrvatska	četinjače	1.222,59	1.351,69
	listače	3,0	
	makija i grmlje	126,1	
Submediteranska Hrvatska	četinjače	99,45	2.130,56
	listače	76,41	
	makija i grmlje	1.954,7	

Obzirom da konkretni podatci o broju požara u RH za razdoblje iza 2014. godine nisu javno dostupni, tablicom 2. prikazana je zasebno opožarena površina za četinjače, listače te makiju i grmlje te ukupna opožarena površina po određenim regijama Republike Hrvatske za razdoblje od 2015. do 2018. godine.

Tablica 3. Ulaganja u zaštitu šuma od požara u razdoblju 1992 – 2007. (izvor: vlastita izrada prema godišnjim izvješćima HŠ)

Naziv rada	Mjerna jedinica	Prosjek godišnje izvršenih radova	Prosjek godišnje uloženi sredstava u radove (kn)
Izrada i nadzor projekta	km	111,75	2.217.479
Osmatračka p.p. služba	rd	54.703,59	22.086.646
Izrada promatračnica	kom	6,31	350.000
Održavanje promatračnica	kom	10,65	185.596
Izrada p.p. prosjeka s el. cesta	ha	102,46	527.654
Održavanje p.p. prosjeka	ha	1.391,59	3.118.722
Izrada p.p. prosjeka s el. cesta	km	273	37.833.826
Održavanje p.p. prosjeka s el. cesta	km	784,03	28.872.351
Postava znakova upozorenja	kom	735,46	195.360
Radovi na suzbijanju požara	ha	220,34	443.943
Čuvanje šuma	rd	33.548,79	18.914.402
UKUPNO	-	-	114.745.979

Prema Godišnjem izvješću Hrvatskih šuma za 2018. godinu Hrvatske šume d.o.o. provele su i pokrenule 24.800.000 kuna vrijedan sustav integrirane usluge videonadzora s detekcijom dima i vatre i simulatorom širenja požara te uslugu privatne radijske komunikacije u svrhu protupožarne zaštite šuma. Na 43 lokacije raspoređene na četiri dalmatinske županije (Zadarske, Šibensko-kninske, Splitsko-dalmatinske i Dubrovačko-neretvanske) postavljeno je

86 novih kamera, a nadzorni operativni centri za praćenje signala postavljeni su u županijskim vatrogasnim centrima s tim da je videosignal omogućen i u DUZS-ovom centru u Divuljama.

Prema Godišnjem izvješću Hrvatskih šuma za 2021. godinu Planom radova gospodarenja šumama i šumskim zemljištem za 2020. godinu obuhvaćeni su i radovi Zaštita šuma od štetnih organizama i požara. Vrijednost situiranih i izvršenih radova gospodarenja šumom i šumskim zemljištem te radova održavanja genofonda u 2020. godini iznosi 444.600.000 kn od kojih se 42.185.986 kn ulaze u zaštitu šuma od štetnih organizama i požara.

Iz naknade za općekorisne funkcije šuma (OKFŠ) financirano je 47,8 milijuna kuna (11 %) od čega je 15.298.776 kn uloženo u zaštitu šuma od štetnih organizama i požara.

2.3 VREDNOVANJE ŠUMSKIH POŽARA NA PODRUČJU UŠP SPLIT NA PRIMJERU GRADA ŠIBENIKA

Izvor podataka koji će biti navedeni su ŠP obrasci dobiveni od strane Hrvatskih šuma d.o.o. - UŠP SPLIT - Šumarija Šibenik. Podatci se odnose na 2021. godinu.

Tablica 4. Veličina opečarene površine (ha) (izrađeno prema ŠP obrascu)

Nastala šteta	VELIČINA OPOŽARENE POVRŠINE (ha)								
	Visoka šuma	Srednja šuma	Niska šuma	Šikare	Šibljaci	Makije	Garizi	Neobraslo šumsko zemljište	UKUPNO
2325					7,09			8,94	16,03
2435				0,15			3,6		3,75
2436								0,26	0,26
2437					2,92				2,92
UKUPNO				0,15	10,01		3,6	9,2	22,96

U tablici 4 vidljivo je da su na području grada Šibenika u 2021. godini evidentirana četiri požara. Najveća površina zahvatila je šibljake pri čemu je izgorjelo 10,01 ha, a najmanje površine stradalo je u kategoriji šikara. Ukupna opečarena šumska površina iznosi 22,96 ha. Obzirom da podatke o veličini odjela u kojima su se požari dogodili nemamo nije moguće izračunati koliko je postotak opečarene u odnosu na ukupnu površinu. Obračun naknade šumske štete izrađeni su od strane Hrvatskih šuma prema odredbama Pravilnika o načinu prikupljanja podataka, sadržaju i vođenju upisnika te uvjetima korištenja podataka o šumskim

požarima (NN 82/2019) koji propisuje način kojim se provodi izračun šumskih šteta nastalih uslijed šumskih požara, a on sadrži slijedeće stavke:

1. Šteta na drvnim proizvodima

Podrazumijeva se šteta koja je nastala požarom na šumskim sastojinama degradiranih oblika kao što su makije, garizi, šikare i šibljaci, a izračunava se prema formuli:

$$D = [c(1 + p/100)^m - (V1+V2+V3)] \times 0,35$$

D – visina naknade za degradiranu sastojinu

c – troškovi podizanja slične nedegradirane sastojine umanjeni za 50%p – postotak prirasta vrijednosti slične nedegradirane sastojine

m – starost predmetne sastojine za melioraciju

V1, V2, V3 – troškovi potrebnih melioracijskih radova (npr. pošumljavanje, njega pomladka, njega mladika i sl.) u pojedinim godinama umanjeni za 50%.

Cijena po hektaru definirana je kategorijom ovisno radi li se o makijama/garizima ili šikarama/šibljacima pa primjerice V1 – pošumljavanje za makije i garige iznosi 8.176,00 kn/ha dok za šikare i šibljake iznosi 12.168,00 kn/ha.

2. Šteta nastala zbog izgubljenih općekorisnih funkcija šuma (OKFŠ)

Ocjene opće korisnih funkcija šume prikazane su i opisane u dokumentima Osnove gospodarenja i Programi gospodarenja. Svaka dodijeljena ocjena OKFŠ-a odgovara vrijednostima bodova koji su doneseni posebnim propisom. Tim propisom određuju se vrijednosti uništenih ili smanjenih općekorisnih funkcija šuma kroz bodove.

Tablica 5. Nastala šteta od šumskih požara (izrađeno prema ŠP obrascu)

Nastala šteta	Ukupna šteta na drvnim proizvodima (kn)		Vrijednost izgubljenih općekorisnih funkcija šuma (OKFŠ) (kn)	
	Šume u vlasništvu RH	Šume u vlasništvu šumoposjednika	Šume u vlasništvu RH	Šume u vlasništvu šumoposjednika
2325			1.345.590,00	
2435	35.917,17		661.500,00	
2436			20.670,00	

2437	32.433,29		289.080,00	
UKUPNO	68.350,46		971.250,00	

Tablicom 5 prikazane su nastale štete nakon četiri požara koja su u 2021. godini evidentirana na području grada Šibenika. Štete su podijeljene u dvije kategorije: ukupna šteta na drvnim proizvodima koja je iznosila 68.350,46 te vrijednost izgubljenih općekorisnih funkcija šuma (OKFŠ) koja je iznosila 971.250,00 kn.

2.4 ANALIZA VIDLJIVOSTI

Analize u GIS-u obuhvaćaju skup metoda i tehnika pomoću kojih je omogućeno pretvaranje prostornih podataka u korisnu informaciju. Predstavlja proces kojim se ispituju odnosi između prostornih obilježja, a njihovi izlazni rezultati mogu se koristiti za objašnjenje fenomena iz stvarnog svijeta koji je prikazan na karti. Prostorne analize u GIS-u temelje se na topološkim i metrijskim obilježjima prostornih objekata pohranjenih u bazi podataka. Prethodno navedena obilježja osiguravaju provedbu velikog broja analiza podataka koje nije moguće provesti na temelju osnovnih operacija unutar baza podataka s klasičnim podacima (Pahernik, 2006.).

Prema definiciji iz Hrvatske enciklopedije, Leksikografskog zavoda Miroslav Krleža, vidljivost se definira kao najveća udaljenost na kojoj se danju na obzoru na svijetloj pozadini neba može golim okom dobro razabrati predmet tamne boje, a noću svijetlost čija je jačina poznata. Važno je napomenuti da se ona utvrđuje u dnevnim uvjetima s pomoću repera, a noću pomoću svijetla. Reperi mogu biti svi oni predmeti čija je udaljenost poznata, kao što su primjerice tornjevi, drveće i sl.

Analiza vidljivosti (engl. *Viewshed*) uobičajena je funkcija gotovo svih GIS sustava i predstavlja jedno od najčešće korištenih analitičkih alata (O'Sullivan, D; Turner, A., 2001.). Ne tako davno takve su se analize isključivo u vojne svrhe, međutim širenjem upotrebe GIS-a za različite potrebe kako javnog tako i privatnog sektora, dolazi do širenja raspona upotrebe u svim sferama ljudskih djelatnosti.

GIS okruženje sastoji se od tri glavne metode proračunskih analiza vidljivosti:

1. Linija vidljivosti (engl. Line of sight)

Ova metoda analize omogućuje uvid u to jesu li dvije točke u prostoru međusobno vidljive. U praksi se determiniraju samo početna i završna točka, no može se determinirati i evaluacija promatrača po potrebi. Softver radi na principu da radi podjelu linije na segmente koji su

vidljivi iz početnih točaka te segmente koji su skriveni iza određenih prepreka . Neke aplikacije omogućavaju kombiniranje navedene metode s profilom terena čime se dobiva razlika u boji i segmenata linije i krivulje koja predstavlja profil (DODD, Howard Mannin, 2001.).

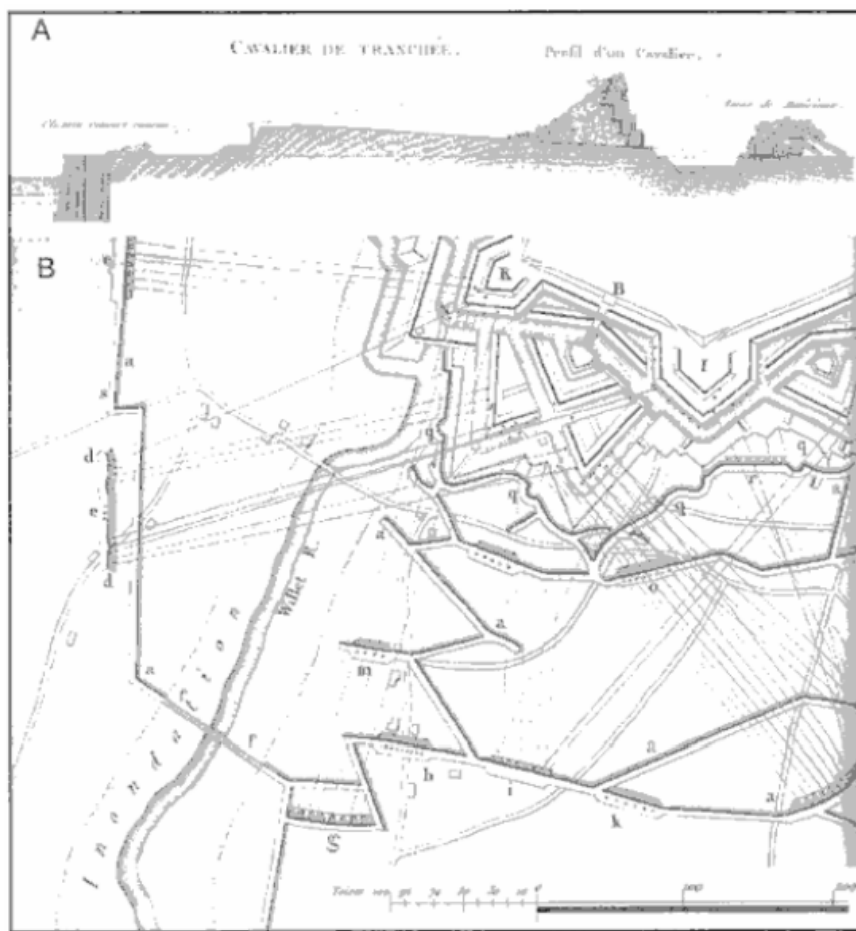
2. Viewshed

Kod ove metode, vidljivost se stvara preko DMR-a uz pomoć algoritama koji procjenjuju razliku u visini ćelija promatrača te ciljane ćelije. Kako bi se odredila vidljivost ciljane, svaka ćelija koja se nalazi na liniji koja povezuje promatrača i metu mora biti ispitana pomoću vidnog polja. Ukoliko između promatrača i ciljane ćelije postoji neka ćelija koja ima višu vrijednost ona se blokira i u tom slučaju ciljna stanica označena je kao „Nije vidljivo“.

3. Visibility

Ova metoda također je dio alata koji nudi ArcGIS , a funkcija Visibility daje odgovore na dva osnovna pitanja: "Koja su mjesta vidljiva sa zadanog mjesta promatranja?" i "Sa koliko je mjesta promatranja zadani objekt/mjesto vidljiv?" Kao primjer ove funkcije može se navesti: analiziraju se stabla na području Nacionalnog parka i ispituje se s kojih mjesta u području interesa je vidljiv najveći broj stabala.

Velika većina izvora pretpostavlja da je prva zabilježena upotreba analize vidljivosti vezana uz početak 18. stoljeća kada je inženjer francuske vojske, Prestre de Vauban, izradio kartu opsade grada Ath u Belgiji, na kojoj se gornjem dijelu karte može vidjeti Linija vidljivosti, dok donji dio prikazuje radni radijus topničkih barijera (Slika 3.).



Slika 3 Jedan od prvih primjera korištenja analiza vidljivosti (izvor: Cluver academic publishers, str. 348.)

Iz prethodno navedenog jasno je da su analize vidljivosti bile od iznimne važnosti i za rekonstrukciju povijesnih vojnih operacija te da se koriste i u vojnim i projektnim poljima, posebice u računarstvu i to u području radiokomunikacija, arheologiji, prostornom planiranju, modeliranju promjena u okolišu, planiranju i upravljanju požarima (Pompa-Garcia et al 2010, Maloy i Dean, 2001, Ronald i dr. 2015). i sl.

Osnovni cilj analiza vidljivosti je definirati prostor koji je vidljiv s određenog stajališta. Ukoliko se radi analiza vidljivosti u GIS-u kao osnova potreban je DMR te potencijalna lokacija tornja koji se promatra (ESRI, 2012, Ronald i dr. 2015) dok ostali faktori koji mogu utjecati na vidljivost mogu biti: klimatski uvjeti, doba dana, visina i gustoća vegetacije.

Primjerice, ukoliko se analiza provodi za potrebe planiranja i upravljanja požarima kako bi bila relevantna potrebno je u obzir uzeti vegetacijski pokrov obzirom da svojim postojanjem može imati direktan utjecaj na vidljivost.

Cilj analiza ovoga tipa je utvrditi trenutno, ali i potencijalno područje za provedbu analize vidljivosti sa specifične lokacije. Na takav način omogućeno je davanje prijedloga za

alternativne prostorne distribucije nadzornih tornjeva u svrhu povećanja učinkovitosti odnosno da se na što manjoj lokaciji omogući maksimalno vidljiva površina. Izražavanje rezultata ovisi o tome koja je svrha samog postupka pa tako ono može biti u postotcima trenutne i potencijalne površine vidljivosti (Pompa-Garcia i dr. 2010, Ronald i dr. 2015). Također treba napomenuti da je, ukoliko postoji više promatračkih lokacija, omogućeno određivanje broja točaka koje su vidljive sa specifične promatračke točke (ArcGIS Desktop 10.1 Help, Ronald i dr. 2015). Važnost analize vidljivosti u procesu modeliranja indeksa rizika od požar je velika. U slučaju kada se požar dogodi u zaklonjenom području, najčešće biva kasnije opažen te ga je samim time teško kontrolirati.

Ekstenzije Spatial Analyst – Surface, ili 3D Analysta – Visibility omogućavaju provođenje analiza vidljivosti, a podatci koji su potrebni za provedbu su točke i vektori (linije) te DMR. Toče i linije predstavljaju osmatračnice. Krajnji rezultat analize je raster. On sadrži ukupan broj piksela koji su vidljivi ili nevidljivi sa zadane lokacije.

3 DIGITALNI MODEL RELJEFA

Kako su reljefni oblici na Zemlji vrlo kompleksni njihovu izradu i analizu veliki broj znanstvenika proučava kroz digitalni model reljefa – DMR (engl. DTM *Digital terrain model*) (Dikau i dr., 1995; Bishop i Shroder, 2000; Millaresis i Argialas, 2000; Wilson i Gallant, 2000; Tucker i dr., 2001; Wilson, 2011).

Digitalni model reljefa (DMR) definira se kao digitalni prikaz površine terena koji kao osnovnu informaciju daje podatak o visini i to preko pravokutne rešetke točaka (Hunter i Goodchild 1997; Wechsler 2003). Jednostavnije rečeno, digitalni model reljefa statistički je prikaz kontinuiranih površina reljefa u rasterskom ili vektorskom obliku koji ima poznate koordinate (x,y,z) unutar koordinatnog sustava koji je proizvoljno odabran (Šiljeg, 2013.). Reljef je prikazan u rasterskom obliku, a izrađen je obradom prikupljenih podataka te naknadno odabranom i metodom interpolacije koja je znanstveno utemeljena (Šiljeg, 2013). Model predstavlja koncept ili objekt koji je zapravo prikaz pojednostavljene stvarnosti pretvorene u oblik koji se može razumjeti (Meyer, 1985; Wu i Marceau, 2002). Na temelju modela koji je izrađen moguće je ostvariti vizualizaciju operativnog područja, a takva vizualizacija važna je kako bi se mogla stvoriti precizna slika o tome koliko je neki reljef kompleksan (Grogan 2009). Razvoj računalnih tehnologija i grafike te matematike od sredine 20. stoljeća doživljava svoj značajan rast stoga ne čudi da ga kontinuirano prati razvoj različitih tehnika izrade i analize digitalnog modela reljefa. Obzirom da je razvoj računalnih tehnologija otišao toliko daleko sve je vidljiva njegova primjena u gotovo svim znanstvenim grana i disciplinama. Kao tipične primjene DMR-a navode se određivanje visina (z koordinata) na osnovu zadanih položaja (x i y koordinate), izrade različitih profila, iscertavanje slojnica, zemljišnih proračuna, nagiba i sl. Njegova primjena može biti i kompleksnija pa se tako može koristiti za potrebe ispravljanja distorzija na aerosnimkama ili primjerice za provjeru prijema televizijskog i radio signala, interpolaciju slojnica, projektiranje mreža odašiljača i sl.

Njegovu primjenu možda je najbolje prikazati kroz primjenu u tehničkim granama i biološkim granama.

- TEHNIČKE GRANE: kartiranje uz pomoću aerosnimaka, izrada ortofotosnimaka, karata, planova, projektiranje cesta, planiranje otvorenosti šuma i sl.
- BIOLOŠKE GRANE: izračun pojedinih stanišnih značajki (nagib terena, izloženost...) koje se kao promjenljive ekološke veličine mogu koristiti za: proučavanje vegetacije, klime, životnoga prostora životinja i sl.

Važno je naglasiti da je model potrebno izraditi na način da zadovolji svrhe za čije je potrebe napravljen jer svaka znanstvena disciplina zahtjeva drugačije razine točnosti. Osim prethodno navedenog valja napomenuti da bez obzira na značajan i brz razvoj tehnologije, u današnje vrijeme i dalje je velika većina izmjerenih podataka točkasti uzorak. To znači da ima točnu vrijednost odabrane varijable samo na izmjerenim x, y koordinatama.

3.1 DIJELOVI DIGITALNOG MODELA RELJEFA

Izradu i upotrebu digitalnog modela reljefa osiguravaju specijalizirani računalni programi. Oni u sebi imaju integrirane sustave koji omogućavaju unos, uređivanje, obradu te analizu podataka te naposljetku i njihov prikaz. Svaki takav program sastoji se od tri osnovna dijela:

1. Unos podataka - podrazumijeva stereografiju, stereo satelitske snimke te digitalizirane zemljovide
2. Obrada i analiza podataka - podrazumijeva izradu i povezivanje DMR-a i bazi podataka te analizu modela
3. Prikaz podataka - podrazumijeva prikaz tematskog sadržaja u 3D obliku, ptičjoj perspektivi, animacije izrađenih 3D prikaza i sl.

3.2 METODA PRIKUPLJANJA PODATAKA

Kao što je navedeno u prethodnom poglavlju osnovni podatci za izradu DMR-a su točke koje se nalaze na površini Zemlje i one se označavaju sa X, Y i Z koordinatama. Najveću pažnju potrebno je posvetiti rasporedu i gustoći točaka te opremi pomoću koje će točke biti mjerene jer o tome ovisi kvaliteta, ali i točnost izrade digitalnog modela reljefa. Pri izboru načina rada i navedenih značajki potrebno je znati koja je namjena DMR-a koji se izrađuje, kakav je tip, ali i razvedenost reljefa te operativne značajke kao npr. oprema za prikupljanje podataka, dostupni programi, vrijeme potrebno za izradu i sl.

Metode prikupljanja podataka za potrebe izrade digitalnog modela reljefa mogu se podijeliti u nekoliko kategorija:

1. Terenska izmjera

Podatci koji se prikupljaju direktnom izmjerom na terenu imaju najveću točnost. Oni se prikupljaju pomoću geodetskih instrumenata kao što su: GPS sustav, totalna stanica, teodolit, tahimetar, nivelir. Obzirom da o mjernim instrumentima ovisi točnost podataka krajem

devedesetih godina dolazi do razvoja tehnologije te se na tržištu pojavljuje i TLS - terestričko lasersko snimanje. Navedena metoda koristi se za dobivanje koordinata određenih točaka u 3D prostoru. Važno je naglasiti da je proces skeniranja pomoću lasera u potpunosti automatiziran te da je naknadna obrada podataka znatno zahtjevnija od obrade klasičnih terenskih mjerenja. Postoje razlike između laserskih skenera, a one se očituju kroz preciznost mjerenja ovisno o udaljenosti, vremenu potrebnom za prikupljanje detaljnijih točaka, intenzitetu povratnog signala odbijenog od različitog materijala objekta snimanja te sposobnosti modeliranja jednostavnog ili složenog geometrijskog oblika objekta. Obzirom na zahtjevnost i cijenu prikupljanja podataka, ovom se metodom najčešće prikupljaju podatci za potrebe lokalnih projekata koji se provode na terenima manjih površina.

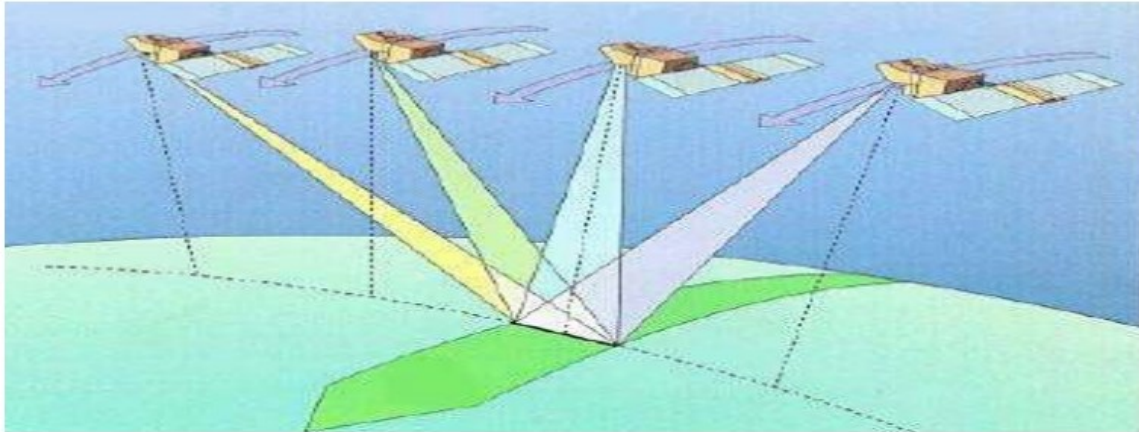
2. Fotogrametrijsko prikupljanje podataka

Fotogrametrija se definira kao znanstvena disciplina i tehnologija dobivanja pouzdanih kvantitativnih informacija o objektima na Zemlji, procesom snimanja, označavanja, izmjere analiziranja i interpretacije fotografskih snimaka te prikaza elektromagnetskog zračenja dobivenih senzorskim sustavima (Govorčin i dr., 2012; Mitrović i dr., 2012). Uz pomoć stereorestitucije, odnosno ručnog ili analitičkog stereoplotera dobivaju se X, Y i Z koordinate. Ovisno o položaju kamere, fotogrametrija može biti orbitalna, terestrička, aerofotogrametrija. Aerofotogrametrija ima najširu primjenu. Karakterizira ju postavljanje kamere na posebna stabilizirana postolja iznad otvora na podu zrakoplova. Glavne karakteristike ove metode su velika gustoća prikupljanja podataka, pokrivanje velikih površina, a ne zahtjeva veliku količinu terenskog rada. Obzirom na navedeno pogodna je za mjerenja u opasnim i nepristupačnim područjima. Problem koji se javlja kod primjene ove metode je postojanje vegetacije te optička vidljivost terena sa područja snimanja.

3. Lasersko snimanje (skeniranje)

Metoda prikupljanja podataka koja se vrlo često naziva i LiDAR (engl. *Light Detection and Ranging*) vrlo se često koristi i ima širok spektar primjene u svim znanstvenim disciplinama primjerice geodezija, geologija, biologija, šumarstvo i sl. Lasersko snimanje može se podijeliti na terestričko snimanje i aerosnimanje koje je češće u upotrebi. Udaljenost između senzora i mjerne točke određuje se na osnovu mjerenja vremena (RTK-GPS) koje je potrebno laserskom impulsu da stigne do objekta i da se reflektira nazad. Glavne karakteristike ove metode su velika gustoća te brzina prikupljenih podataka. Kako bi se efikasnije mogli klasificirati i filtrirati podatci potrebno je grupirati ih prema geometrijskim karakteristikama na koje se odnose. Kada se izdvoje korisne od neželjenih informacija, korisne se informacije filtriraju i

klasificiraju u različite razrede. Problem koji se javlja kod ove metode je količina podataka koja nadilazi kapacitete uobičajene hardverske i softverske opreme pa ih je potrebno prorjeđivati. Točnost podataka uvelike ovisi o frekvenciji i visini leta te o samoj GPS opremi, a osim čvrstog dijela zemljine površine, ovom je metodom omogućeno snimanje i svega što se nalazi na površini, primjerice vegetacija, živi svijet, infrastruktura i sl.



Slika 4 Lasersko skeniranje osnovu satelitskih scena (izvor: interna skripta iz kolegija "Digitalna kartografija")

4. Radarsko prikupljanje podataka

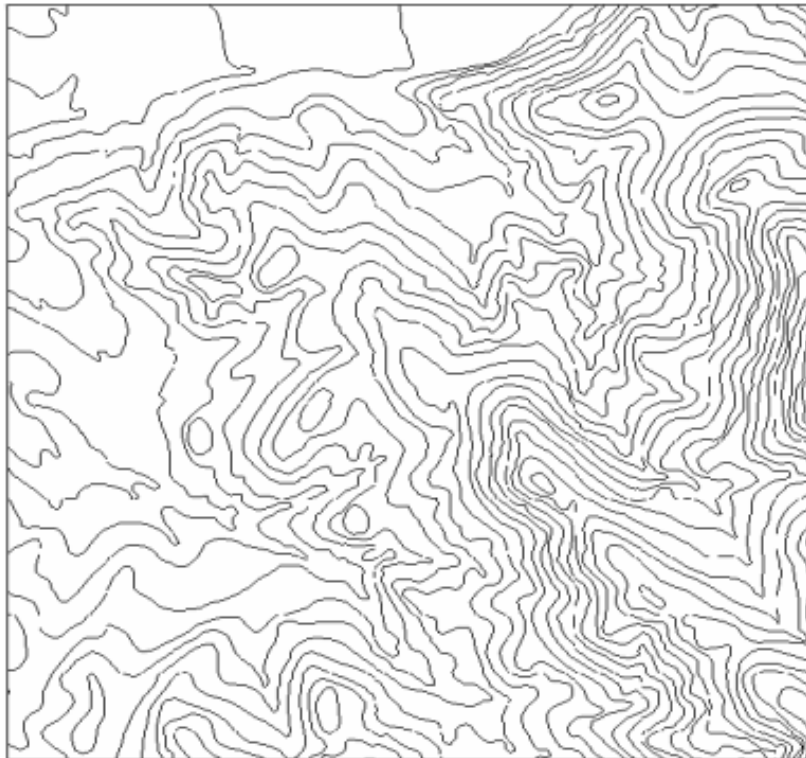
Ova metoda služi za generiranje visina uz pomoć dvije ili više sintetičkih antena. Vrijednosti visina rezultat su razlika koje se pojavljuju između emitirane te povratne elektromagnetske energije satelita ili zrakoplova do određenog objekta na zemljinoj površini. Najveća prednost ove metode je njezina milimetarska preciznost.

5. Vektorizacija s postojećih topografskih karata

Metoda vektorizacije zahtjeva skeniranje analognih karata, georeferenciranje, vektorizaciju izohipsi te pridruživanje atributa odnosno visina. Ova metoda od svih prethodno navedenih ima najmanju točnost. Najčešći oblik dobivanja geografskih podataka u koordinatnom obliku je digitalizacija zemljovida koja se provodi pomoću digitalizatora ili skeniranjem karata sa slojnicama i njihovom vektorizacijom. Pojednostavljeno, to je postupak kojim se slikovni podatak pretvara u onaj digitalni. Na podlozi digitalizatora nalaze se senzori na koje se postavlja predložak, primjerice zemljovid koji se planira digitalizirati i uređaji za digitalizaciju koji imaju vizurne markice kojima se prate slojnice ili neke druge linije. Digitalizator je spojen na računalo u kojem se bilježe i zapisuju svi pokreti u digitalni oblik. Skenirane karte potom se unose u program za obradu slika i služe kao podloga za digitalizaciju. Digitalizacija se provodi pomoću digitalizatora koji ima vizurnu markicu. Njome koje se dobivaju lokalne

koordinate koje se naknadno transformiraju u zemaljski koordinatni sustav za što su zaslužne referentne točke, čije su zemaljske koordinate poznate.

Rasterska digitalizacija provodi se skeniranjem zemljovida. Pri takvom načinu cijela se površina dobiva u rasterskom obliku koji je pohranjen u nekom mediju. Skeneri imaju određenu maksimalnu gustoću i rezoluciju kako bi pri skeniranju karata, pored željenih geografskih detalja bili obuhvaćeni i svi suvišni detalji kao što su karte, nazivi, topografski znakovi i dr.



Slika 5 Digitalizirane slojnice (izvor: internetska stranica kartografija.hr)

Tablica 6 Prikaz metoda prikupljanja podataka za DMR (izvor: vlastita izrada prema internoj skripti "Digitalna kartografija")

METODA PRIKUPLJANJA	GLAVNE KARAKTERISTIKE	PRIMJERI KORIŠTENIH SUSTAVA	TIPIČNA DMR TOČNOST
Terenska izmjera	<ul style="list-style-type: none"> - najveća točnost - mala gustoća prikupljanja - visoki troškovi 	tahimetrija (totalna stanica) niveľman	$\leq 1\text{ m}$ 1 mm - 1 m $\approx 1\text{ m}$
Stereoizmjera	<ul style="list-style-type: none"> - visoka gustoća prikupljanja koja može biti polu ili potpuno automatska - problemi s vegetacijom 	aerosnimak satelitski snimak (SPOT, ASTER)	0.1 - 1 m 10 m (20 m)
Lasersko snimanje	<ul style="list-style-type: none"> - laserski skener smješten je u avion s GPS navigacijom - podaci zahtijevaju filtriranje prije upotrebe - može prodrijeti kroz vegetaciju do čistog terena, ali također - može snimiti i površinu vegetacijskog pokrova 	avionsko lasersko skeniranje (LIDAR)	$\approx 20\text{ cm} - 1\text{ m}$
Radarsko snimanje (interferometrija)	<ul style="list-style-type: none"> - najniža cijena po km^2 - kompleksna obrada 	avionski SAR satelitski EROS	$\approx 50\text{ cm} - 2\text{ m}$

3.3 ANALIZA PODATAKA

Analiza, odnosno obrada podataka može se definirati kao priprema podataka za neku specifičnu namjenu te kasnije rukovanje tim podacima. Rukovanje podrazumijeva pripremu podataka za postupke uređivanja i održavanja baze podataka. Prilikom provođenja navedenih postupaka važno je voditi računa da se veze koje su novo uspostavljene ili prekinute urede da budu iste kao svi podatci DMR-a. Uz standardne postupke, često se koriste i neki ne standardni postupci koji su specifični za DMR kao što su primjerice interpolacija slojnica, prevođenjem podataka iz jednog koordinatnog sustava u drugi, vezanje linija i točaka određenih X i Y koordinatama na DMR-u trodimenzionalno prikazivanje reljefa. Kada se podatci pripremaju za specifične namjene potrebno je njihovo prevođenje u oblik pogodan za vizualizaciju te izmjenu s drugim programima kako bi se mogli primjenjivati u neke druge operativne svrhe ili za potrebe znanstvenih istraživanja. Osnovni postupci koji se koriste su izračun nagiba te izloženost i osunčanost terena.

3.4 TIN I GRID

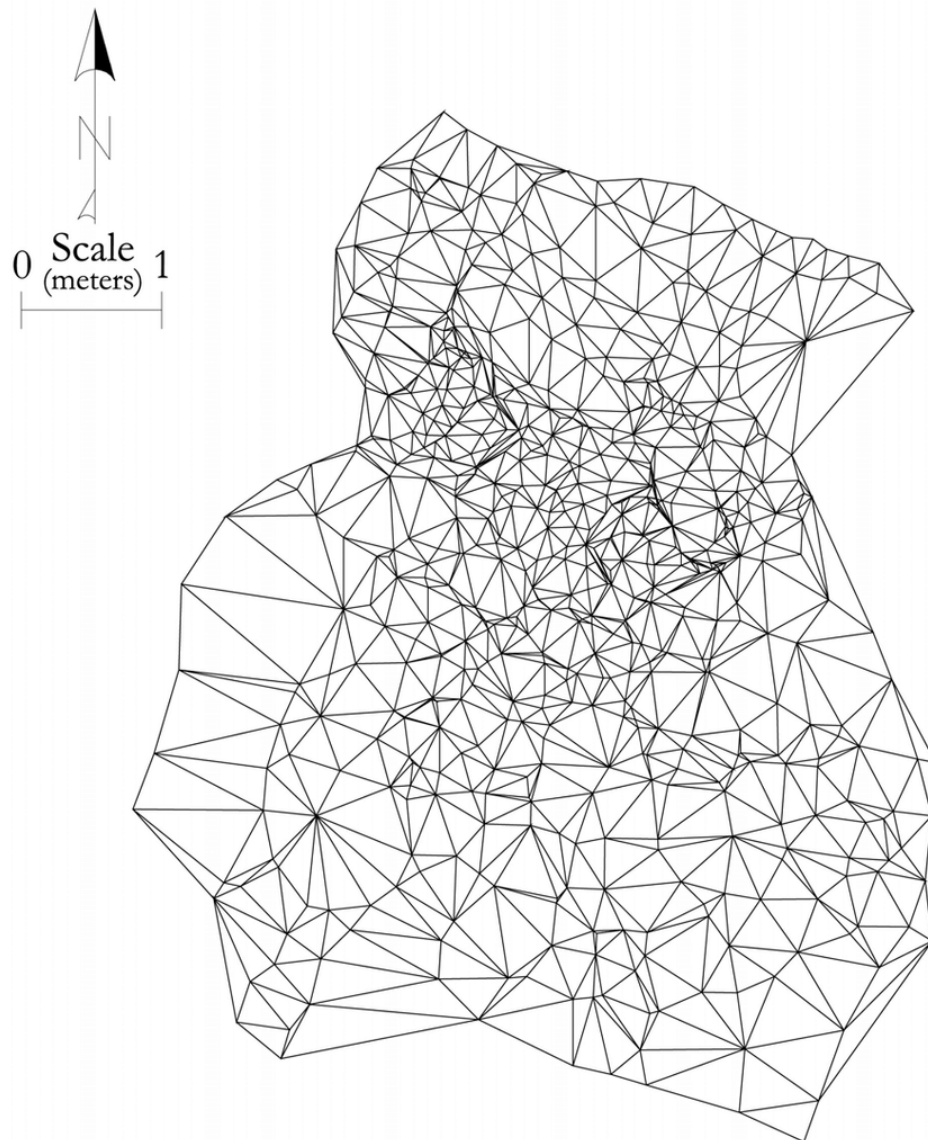
Tri su načina uređenja podataka:

1. Nepravilna mreža trokuta TIN (engl. *Triangular Irregular Network*)
2. Pravilna mreža trokuta GRID
3. Hibridna mreža koja omogućuje istovremeno korištenje pravilne i nepravilne mreže

Nepravilna mreža trokuta TIN (engl. *Triangular Irregular Network*)

Nepravilna mreža trokuta - TIN podrazumijeva uređenje podataka koji izradu DMR-a ne koristi transformirane osnovne podatke. Takav način uređenja osigurava da se DMR kvalitetno preklopi s površinom koju se želi predstaviti obzirom da je mreža trokuta koja je ujedno i nositelj podataka, vrlo prilagodljiva. Podaci o vršnim točkama trokuta u bazi podataka spremljeni su u vektorskom obliku pa omogućavaju lagano povezivanje s GIS modelima i postaju njegov sastavni dio. Model TIN predstavlja mrežu povezanih trokuta s nepravilnim razmakom između čvorova te se zbog toga može dobro prilagođavati reljefima koji su kompleksniji te koji imaju više točaka na području s mnogo visinskih promjena i manje točaka na mjestu ravnijeg terena. Mana TIN-a je ta što je za svaki čvor potrebno imati informacije o položajnim koordinatama i visinama. Na takav način značajno se povećava količina podataka koja je potrebna za pohranu. Točke su u ovom modelu međusobno povezane linijama koje tvore

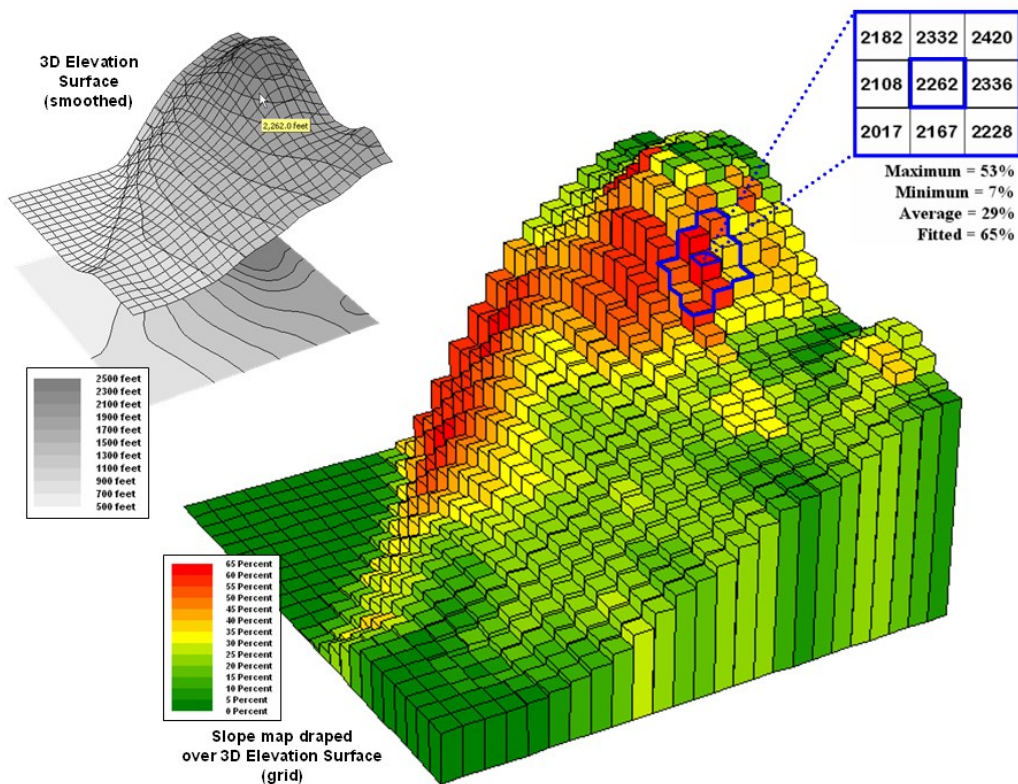
trokute, a površina unutar trokuta prikazuje se ravninom. Upotrebom trokuta omogućava se da svaki dio mozaika površina odgovara svom susjednom dijelu. Nedostatak ovog tipa modela je što su jednačbe za analizu i primjenu Tina- a složene, zahtijevaju obradu na računalima koja su snažnija, a samim time i skuplja, međutim najveći nedostatak je činjenica da bilo kakve izmjene i dopune podataka zahtijevaju promjenu složene topologije.



Slika 6 Primjer TIN modela (izradio: Tucker et al., 2001)

GRID

GRID model predstavlja pravilnu, odnosno pravokutnu mrežu visina za čiju je izradu potrebno znati položajne koordinate početne točke (X i Y), a za sve ostale smo visine (Z ili H). Upravo zbog navedene činjenice u ovom je slučaju pristupno vrijeme do određenih elemenata značajno manje nego u trokutastoj mreži, a samim time manja je i količina podataka koja je potrebna za pohranu. Površinska interpretacija GRID-a naziva se mreža (engl. *Lattice*), a predstavljena je pomoću jednako udaljenih točaka koje se odnose na ishodište i na konstantnu udaljenost prikupljanja u X i Y smjeru. Sredina četverokuta mreže sadrži podatak o nadmorskoj visini lokacije i ne implicira područje konstantne vrijednosti Z. Takva konstantna vrijednost površine između točaka može biti aproksimirana interpolacijom između susjednih točaka mreže. Rasterski ili približni model podrazumijeva da postoji kategorički GRID koji se ponaša kao matrica piksela pri čemu površina svakog četverokuta ima konstantnu Z vrijednost koja u svim položajima unutar četverokuta ima istu vrijednost Z. Takvo dobiveni podatci uređeni su u obliku pravilne mreže četverokuta koji su jednake ili promjenjive dimenzije, a to ovisi o razvedenosti površine koja se želi prikazati. Kod izrade DMR-a X i Y koordinate daju informacije o redovima i stupcima, a Z veličina predstavlja se brojčanim podacima matrice. Z veličina ne mora nužno biti nadmorska visina. Ona može označavati neku ekološku, pedološku, vegetacijsku ili ostale značajke koje se nalaze u toj točki. Prednost je što podatci uređeni na takav način imaju jednostavnu topologiju, računске operacije i prikazivanje je jednostavno što omogućava obradu velikih DMR-ova. Povezivanje s GIS programom vrlo je jednostavno posebice ukoliko je riječ o GIS modelima. Također, veliku prednost GRID-a čini mogućnost spajanja DMR-a sa slikovnim podacima pa je omogućeno njihovo prikazivanje u 3D obliku. Kod takvog prikaza najvažnije je na temelju ulaznih podataka napraviti interpolaciju visina, a većina njih zasniva se na tome da se uz pomoć matematičkih postupaka plohe uklapaju u cijelosti ili po dijelovima. Važno je da se pri tome koriste različite jednadžbe prikazivanja ploha kao što su jednodimenzionalne ili dvodimenzionalne linearne ili bilinearne jednadžbe, polinomi drugog i trećeg reda i sl. Kakav će biti rezultat uvelike ovisi o načinu organizacije te izbora osnovnih podataka za interpolaciju, a ne tip jednadžbe kojom se interpolacija provodi. Dodatne datoteke koje sadrže X, Y i Z koordinate lomnih crta terena te geomorfoloških značajki mogu poboljšati kakvoću DMR-a.



Slika 7 Primjer GRID modela (izvor: internetska stranica <https://www.innovativegis.com>)

HIBRIDNO

Hibridan način podrazumijeva da se podatci mogu urediti na način da osnovu DMR-a čini pravilna mreža u koju se uklapa nepravilna na područjima gdje postoje kompliciranije geomorfološke značajke. Pri tome se koristi prednosti TIN-a kako bi se mreža što bolje uklopila u složene geomorfološke značajke, međutim zadržavaju se i prednosti GRID-a u dijelu koji se odnosi na obradu, analizu, izmjenu i dopunu velikog broja podataka.

Točnost DMR-a izražava se i računa uz pomoć klasičnih statičkih metoda za ocjenu točnosti izjednačenja, a točnost ovisi o količini i izboru točaka na temelju kojih je DMR izrađen te o načinu izbora točaka za interpolaciju i metodi izjednačenja.

3.5 IZLAZNI PODATCI

Digitalni model reljefa moguće je prikazati u različitim oblicima no najčešće se prikaz temelji na perspektivnom prikazu iz određenog položaja u obliku pravilne četverokutne mreže. To se ostvaruje pomoću profila koji se pružaju u X i Y smjeru ili u obliku slojnice. U slučaju kada je riječ o rasterskom obliku, DMR se prikazuje bojanjem ili toniranjem razina iste veličine.

Osim prethodno navedenih načina koji su statički, moguća je izrada i dinamičkog prikaza se najčešće koristi u vremenskoj analizi. Posebni oblici prikazivanja DMR-a su primjerice kada se snimka koja je dobivena fotografiranjem ili radarskim ili satelitskim skeniranjem prevuče preko DMR-a te se na takav način dobiva slika terena iz ptičje perspektive.

Podatci za digitalni model reljefa pohranjuju se u bazu podataka na način da zadovoljavaju neke od uvjeta:

- brzi pristup manjim dijelovima
- učinkovitost spremanja velikog broja podataka
- uređenje osnovnih podataka i DMR-a u jednu bazu
- mogućnost uređenja DMR-a iz različitih razdoblja u jednu bazu
- sigurnost podataka
- ujednačenost podataka
- mogućnost pretraživanja spremljenih podataka
- prikladnost formata za razmjenu s drugim bazama.

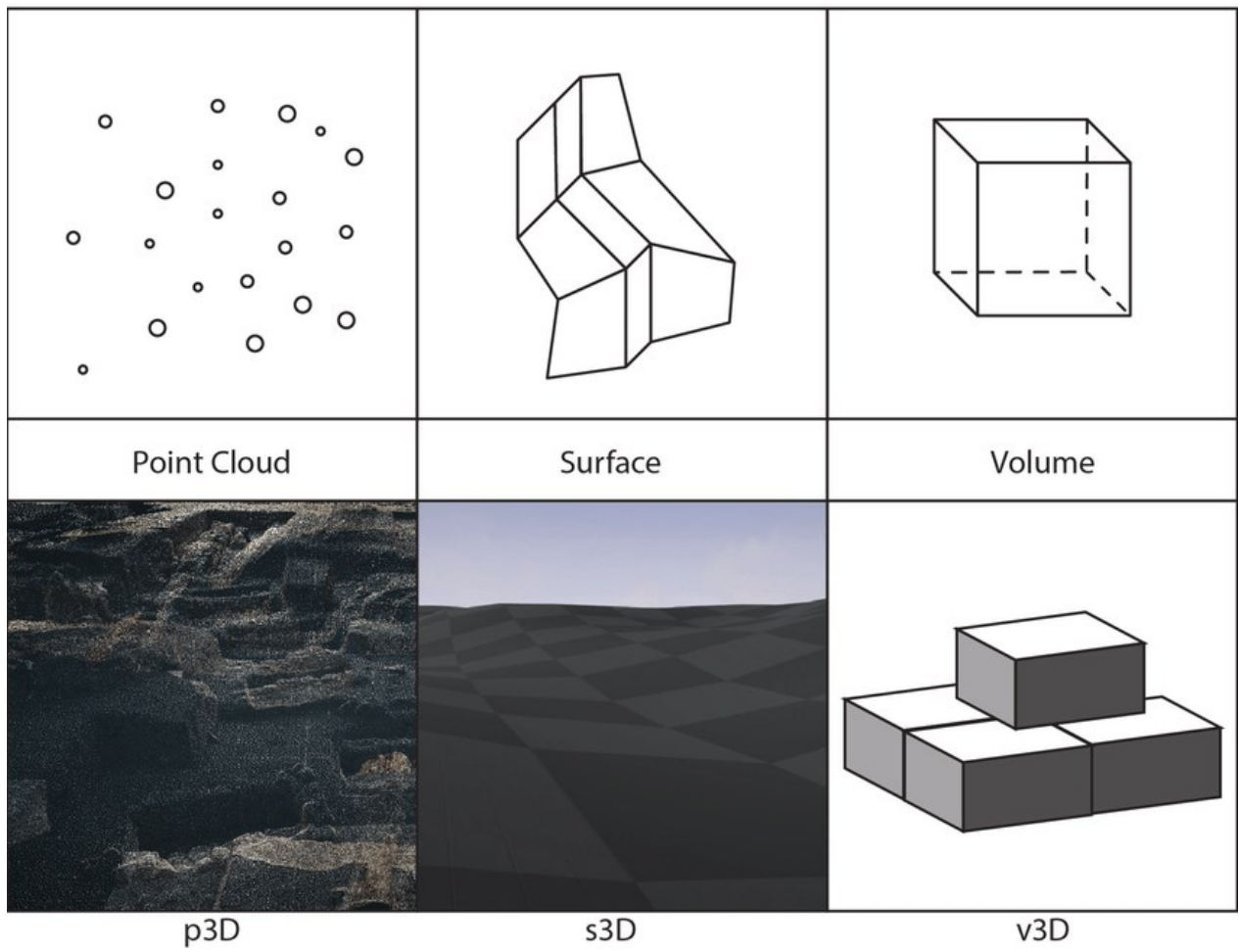
Kada se govori u prikazivanju oblika reljefa treba imati na umu da se radi o prikazu trodimenzionalnog objekta te da je u tom slučaju potrebno osigurati geometrijsku točnost. Ona je važna iz razloga što omogućuje izvođenje radova na mjerenju i zornost koja omogućava da se trodimenzionalni objekt prikazuje u dvodimenzionalnoj ravnini. Prema tome reljef je moguće prikazati kroz 2D ili kroz 3D prikaz.

Prikazivanje objekta dvodimenzionalno omogućeno je na dva načina:

- kvalitativno pri čemu se koriste šrafure (crtice ili točkice) ili uz pomoć sjenčanja
- kvantitativno pri čemu se koriste kote, slojnice ili bojanje površine između slojnica

Prikazivanje objekta trodimenzionalno omogućeno je na dva načina:

- grafički što se ostvaruje pomoću profila, perspektivnih i izometrijskih blok dijagrama, anaglifa i dr.
- plastično na način da je prikaz napravljen u obliku reljefa ili reljefni zemljovida



Slika 8 Dijagram koji prikazuje razliku između 2D i 3D modela podataka (izvor: Gary Noble)

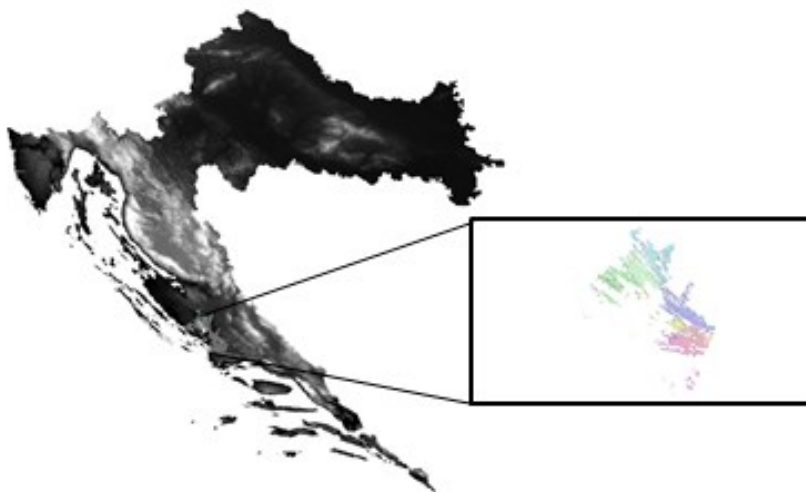
4 CILJ ISTRAŽIVANJA

Šumski požari spadaju u najteže prirodne katastrofe, a za njihovu je prevenciju od iznimne važnosti kvalitetno organizirati službu motrenja odnosno nadzora. Odabir motrilačkih lokacija protupožarnog sustava najčešće uključuje i izvođenje analiza u GIS-u, a najčešće korištena je analiza vidljivosti. Analize vidljivosti izvode se u svrhu utvrđivanja površine ili postotka vidljivog područja s promatračke lokacije. Osnovni podatci koji su potrebni za izvođenje analiza vidljivosti unutar GIS-a su DMR i potencijalna lokacija nadzornog tornja.

Kroz ovaj diplomski rad biti će napravljena analiza vidljivosti postojećih protupožarnih osmatračnica (nadzornih tornjeva) te će se dati prijedlog i izrada novog modela vidljivosti za istraživano područje.

5 MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA

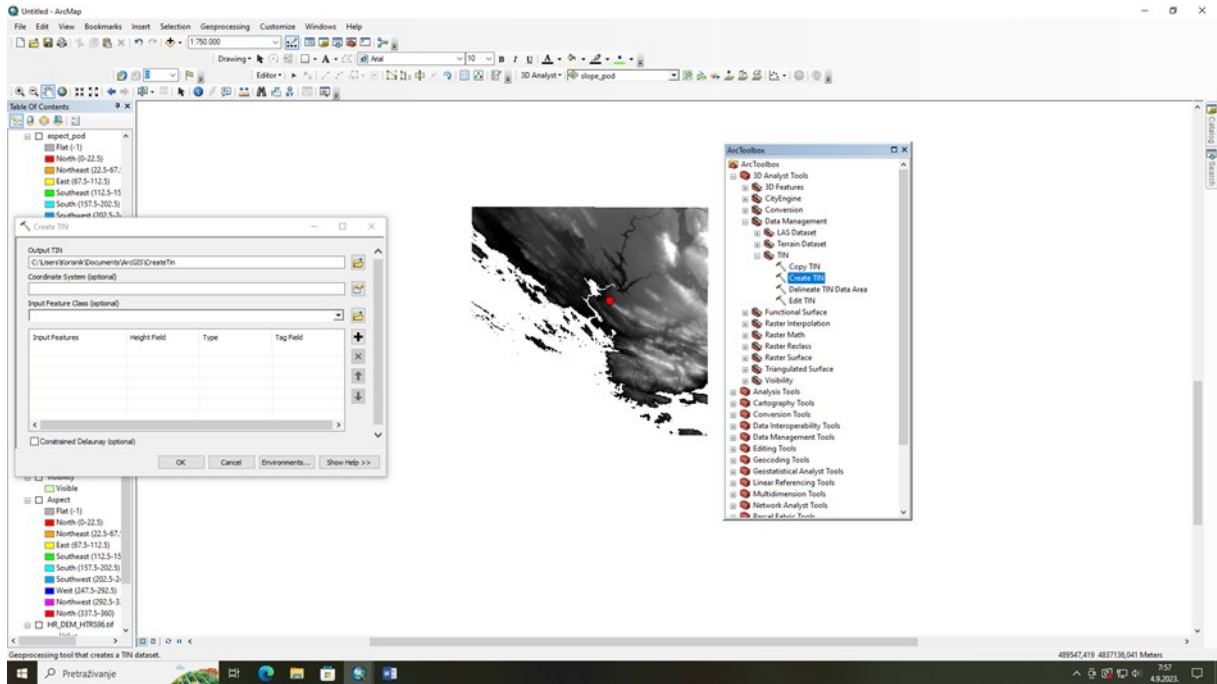
Za područje istraživanja odabrana je Uprava šuma Podružnica Split, Šumarija Šibenik, koja gospodari sa osam gospodarskih jedinica; Guduča, Hartić, Jamina, Jelinjak, Konjička Draga, Primorski Dolac, Rimljača i Trtar (Slika 9).



Slika 9. Područje istraživanja (izvor:vlastita izrada)

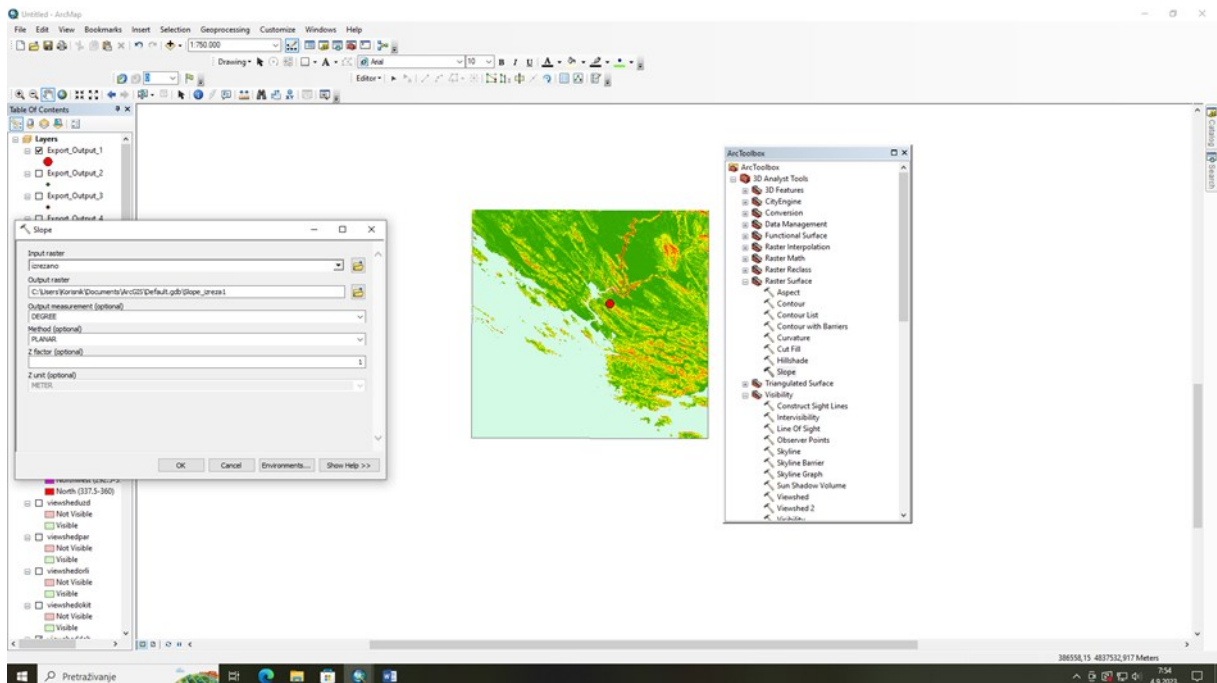
Za provedbu analize vidljivosti (viewshed analysis) područja od interesa potrebno je imati digitalni model reljefa (DMR). DMR korišten u radu dobiven je pomoću daljinskih istraživanja, a koristio se za definiranje morfometrijskih parametara reljefa kao što su nagib, ekspozicija i sl.

U radu je korišten EU DEM (slika 10), odnosno digitalni model reljefa za područje Europe, koji je izrađen u sklopu Copernicus programa. EU DEM je hibridni proizvod temeljen na SRTM i ASTER GDEM podacima, a preuzet je sa stranice Europske okolišne agencije (European Environment Agency). DMR je prostorne rezolucije 25 m.

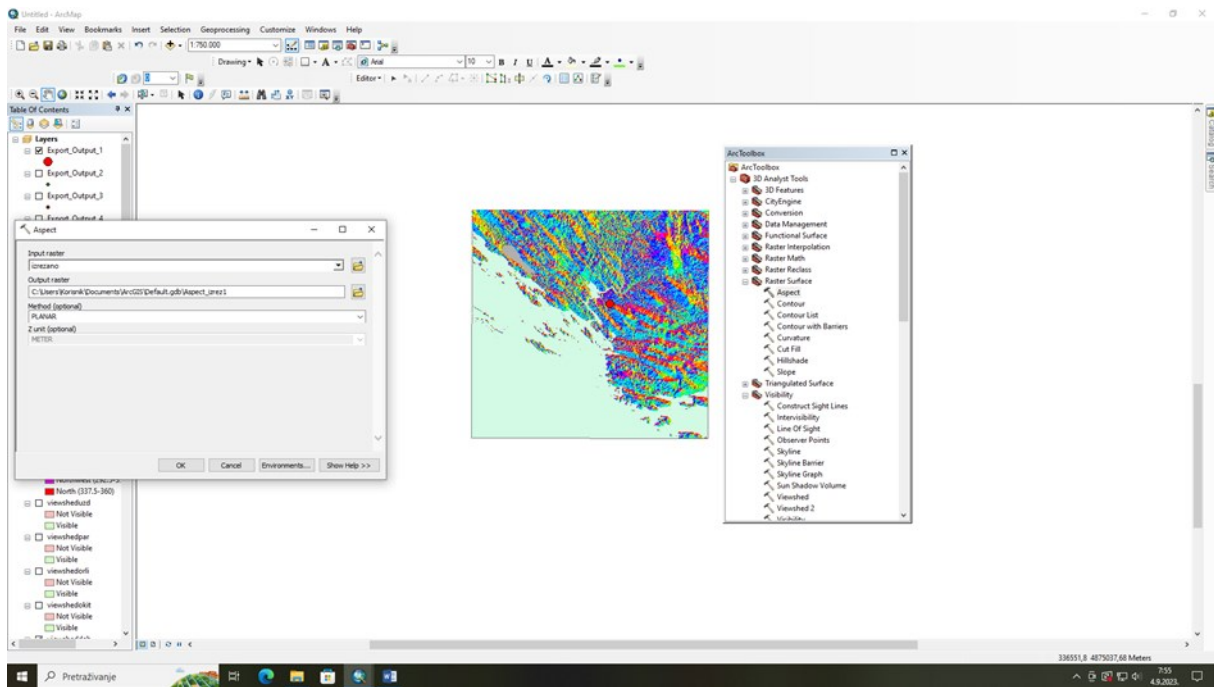


Slika 10. Prikaz izrade DMR-a područja istraživanja (izvor: vlastita izrada)

Kako je i spomenuto iz DMR –a su derivirani slojevi nagib terena (Slika 11) i izloženost (ekspozicija) prema stranama svijeta (Slika 12).

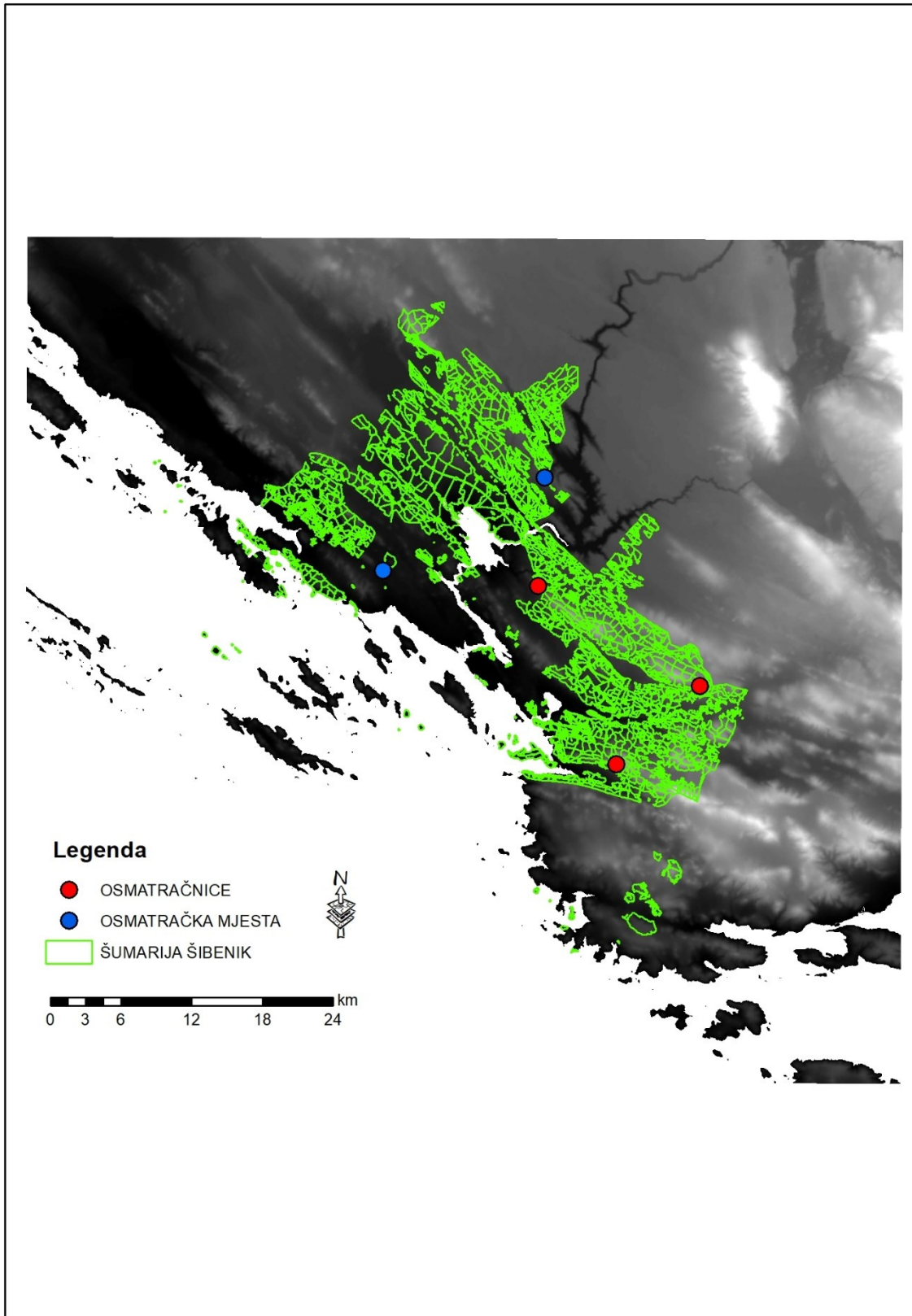


Slika 11. Prikaz izrade sloja Nagib terena (izvor: vlastita izrada)



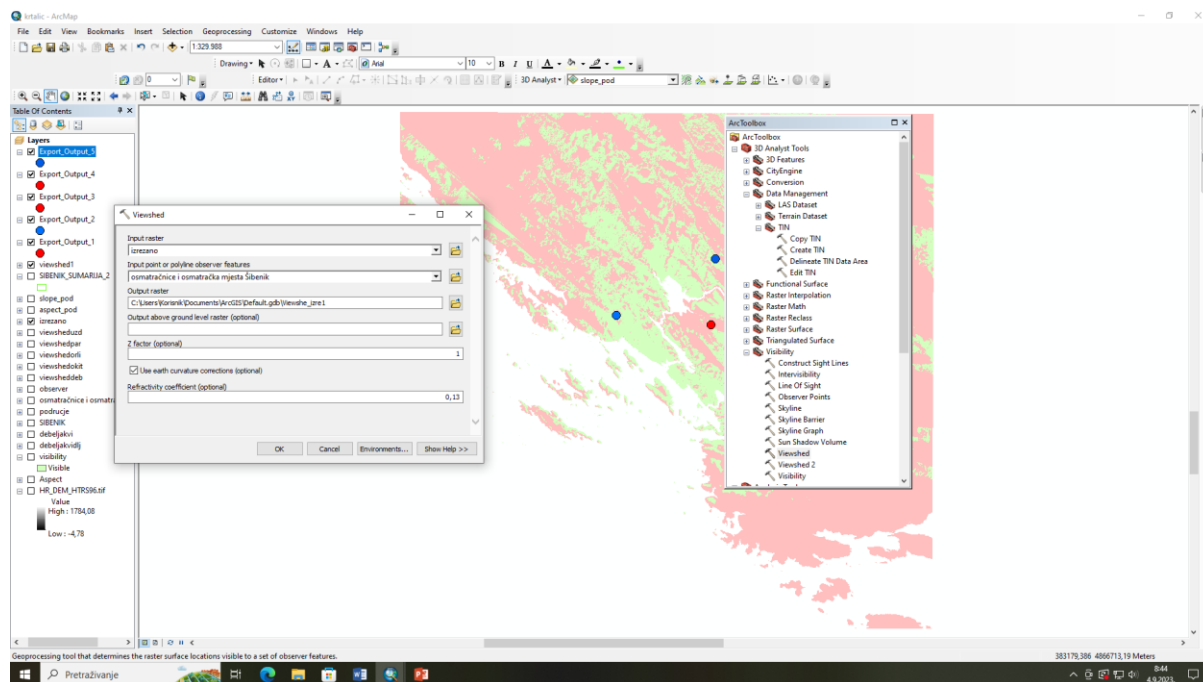
Slika 12. Prikaz izrade sloja Izloženost (izvor: vlastita izrada)

Za područje istraživanja, Šumarija Šibenik postoje tri osmatračnice (Debeljak, Orlice, Parizovac) i dva osmatračka mjesta (Okit i Uzđaj) koje su snimljene i unesene u GIS, te predstavljaju mjesto promatranja iz kojeg je moguće računati vidljivost (viewshed) (Slika 13).



Slika 13 Osmatračnice i osmatračka mjesta (izvor: vlastita izrada)

Na temelju svih prikupljenih podataka, pomoću programskog paketa ArcGIS napravljena je analiza vidljivosti za područje istraživanja (Slika 14).

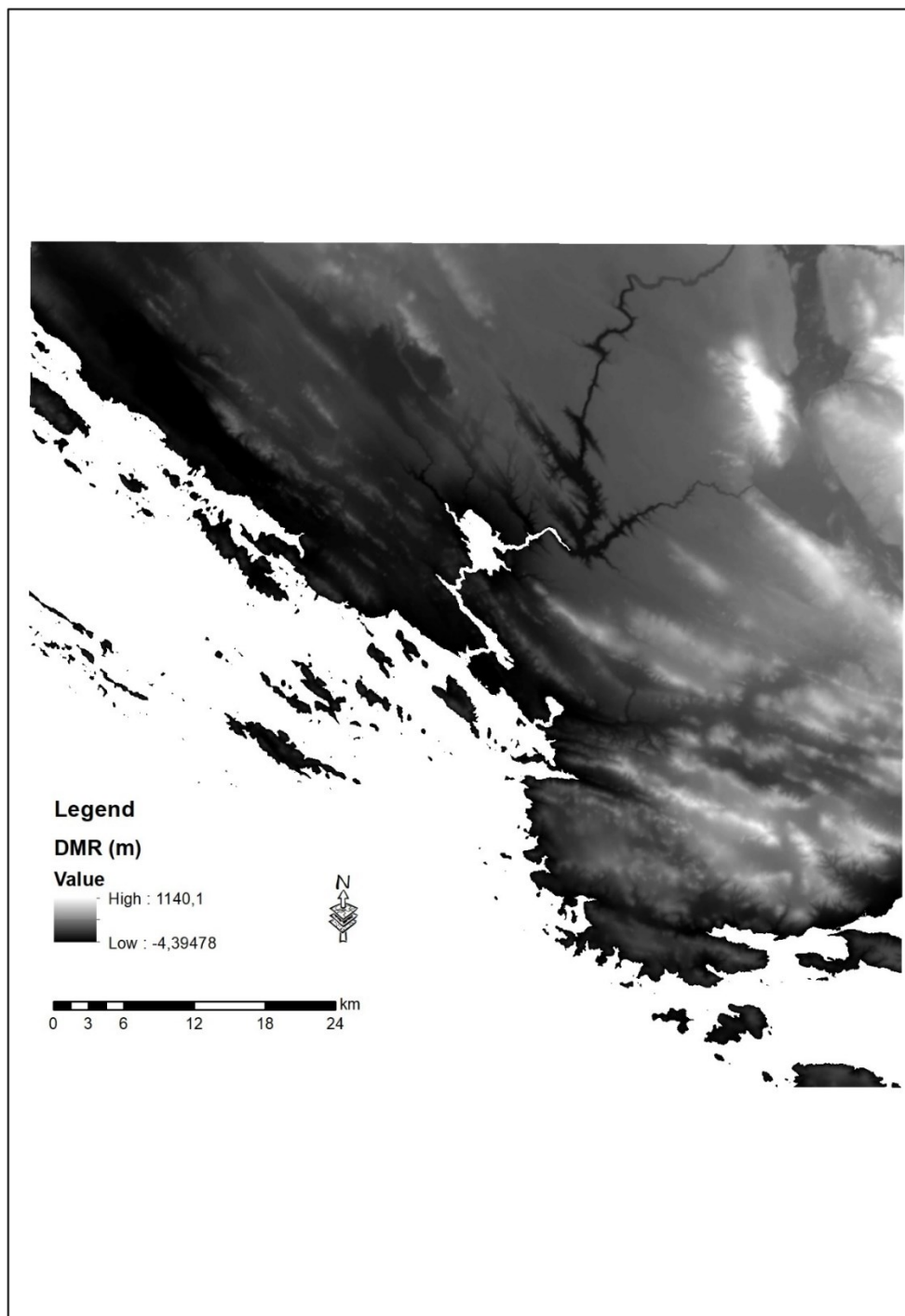


Slika 14. Primjer analize vidljivosti (Viewshed i Observer points) (izvor: vlastita izrada)

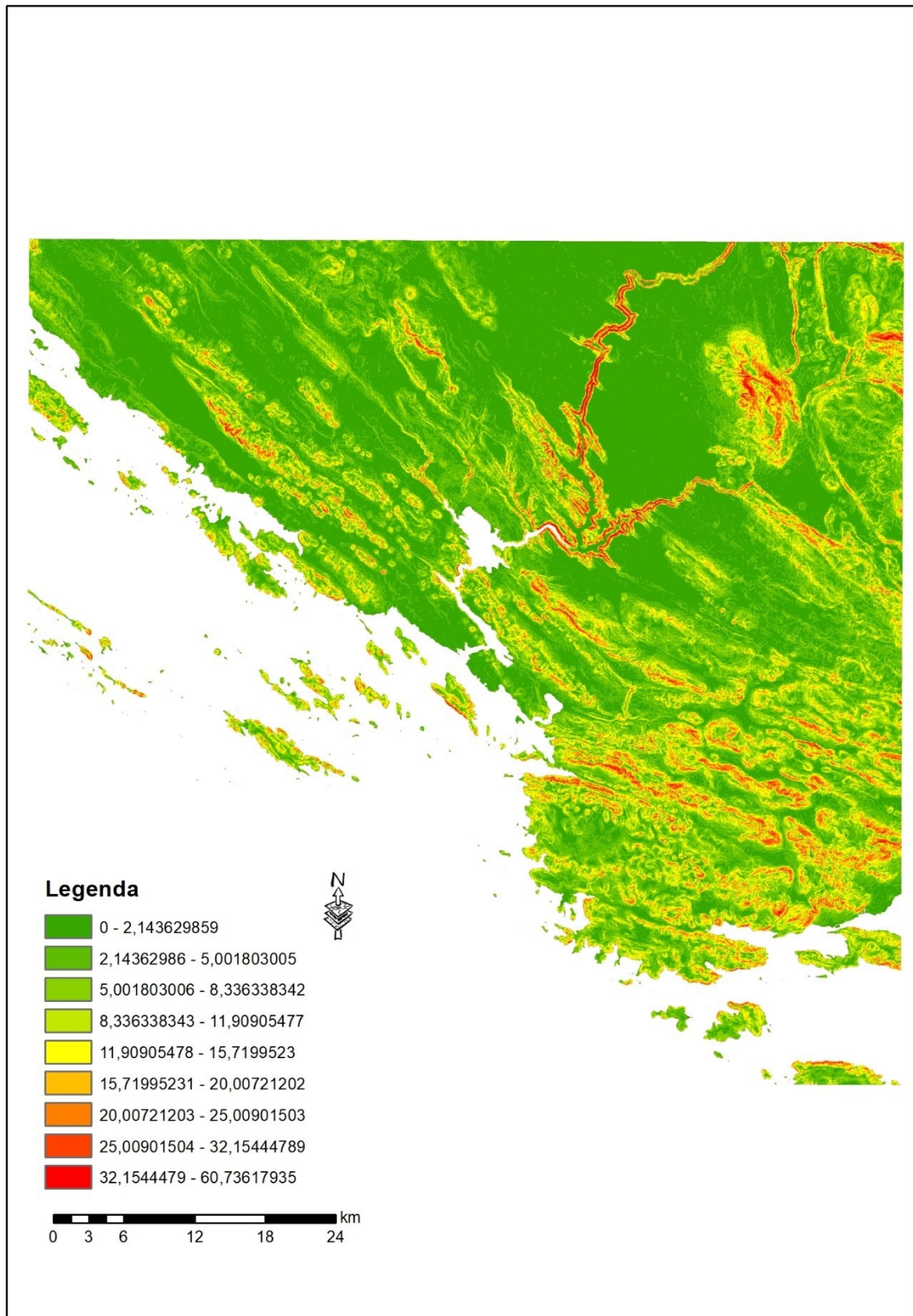
Cilj takvih analiza je utvrđivanje trenutnog i potencijalnog područja vidljivosti sa specifične lokacije (tornja) te predlaganje alternativne prostorne distribucije nadzornih tornjeva u svrhu povećanja učinkovitosti, odnosno postizanje maksimalno vidljive površine sa što manje lokacija. Rezultati se ovisno o svrsi istraživanja izražavaju u postotcima trenutne i potencijalne površine vidljivosti. Ako postoji nekoliko promatračkih lokacija moguće je odrediti koliko je njih vidljivo sa specifične promatračke točke (ArcGIS Desktop 10.1 Help). Analize vidljivosti su bitan čimbenik u procesu modeliranja indeksa rizika od požara jer ako se požar nalazi u zaklonjenom području, kasnije će biti zapažen te ga je teže staviti pod kontrolu. Analize vidljivosti provode se unutar ekstenzije Spatial Analyst – Surface, ili 3D Analysta - Visibility. Dva najčešća korištena alata su Viewshed i Observer points. Potrebni ulazni podatci su točke ili linije (vektori) koje predstavljaju osmatračnice te digitalni model reljefa. (ArcGIS Desktop 10.1 Help). Krajnji rezultat je raster koji sadrži ukupan broj piksela vidljivih i nevidljivih sa zadane lokacije. Razlika između ova dva alata je što Observer points ima još mogućnost identificiranja površine DMR-a s koje se vide osmatračnice (Milošević, 2018).

6 REZULTATI ISTRAŽIVANJA

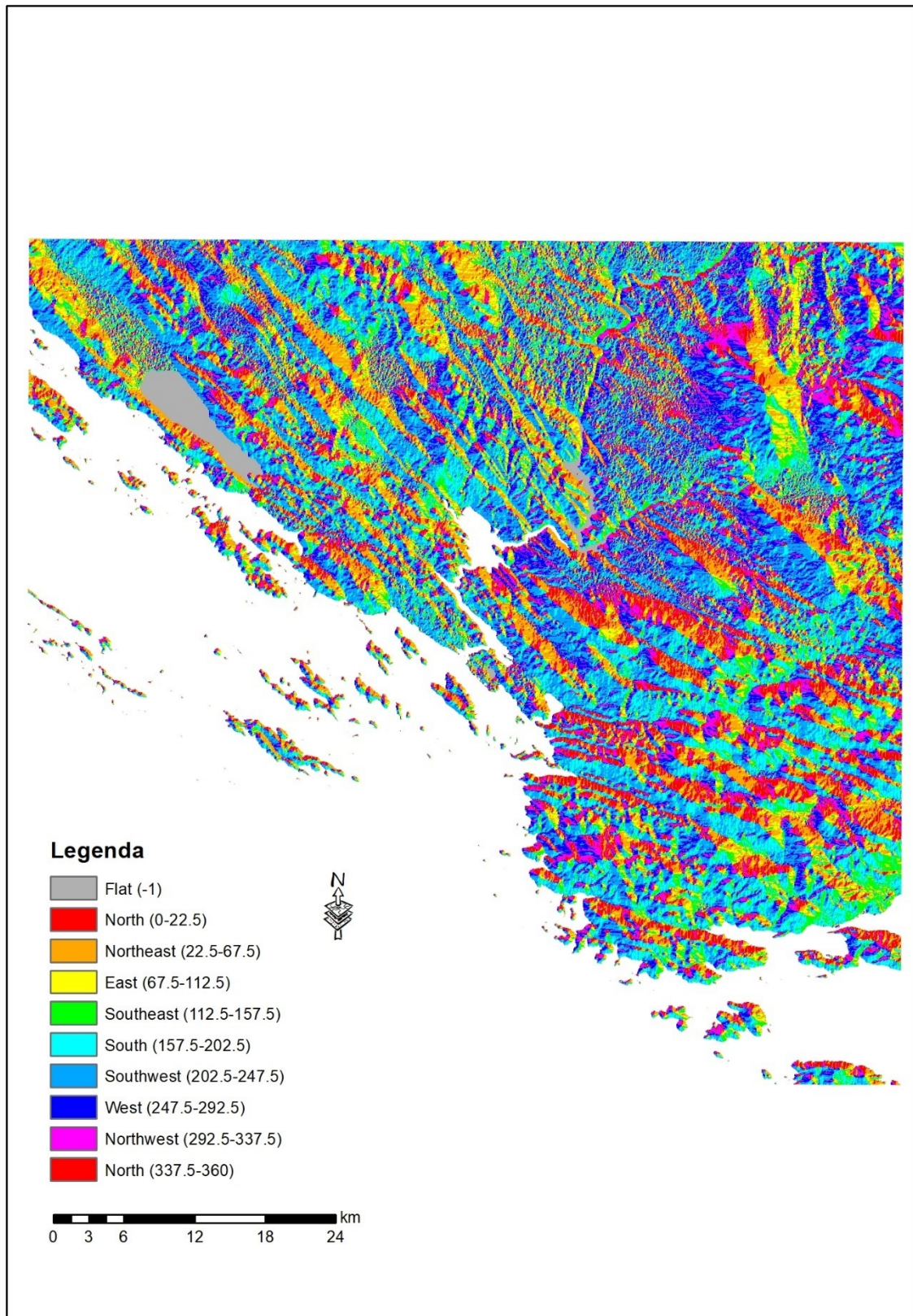
Za potrebe ovog diplomskog rada izrađen je digitalni model reljefa (DMR) područja istraživanja (Slika 15), kao i derivati nagib (Slika 16) i izloženost (Slika 17).



Slika 15. DMR područja istraživanja (izvor: vlastita izrada)

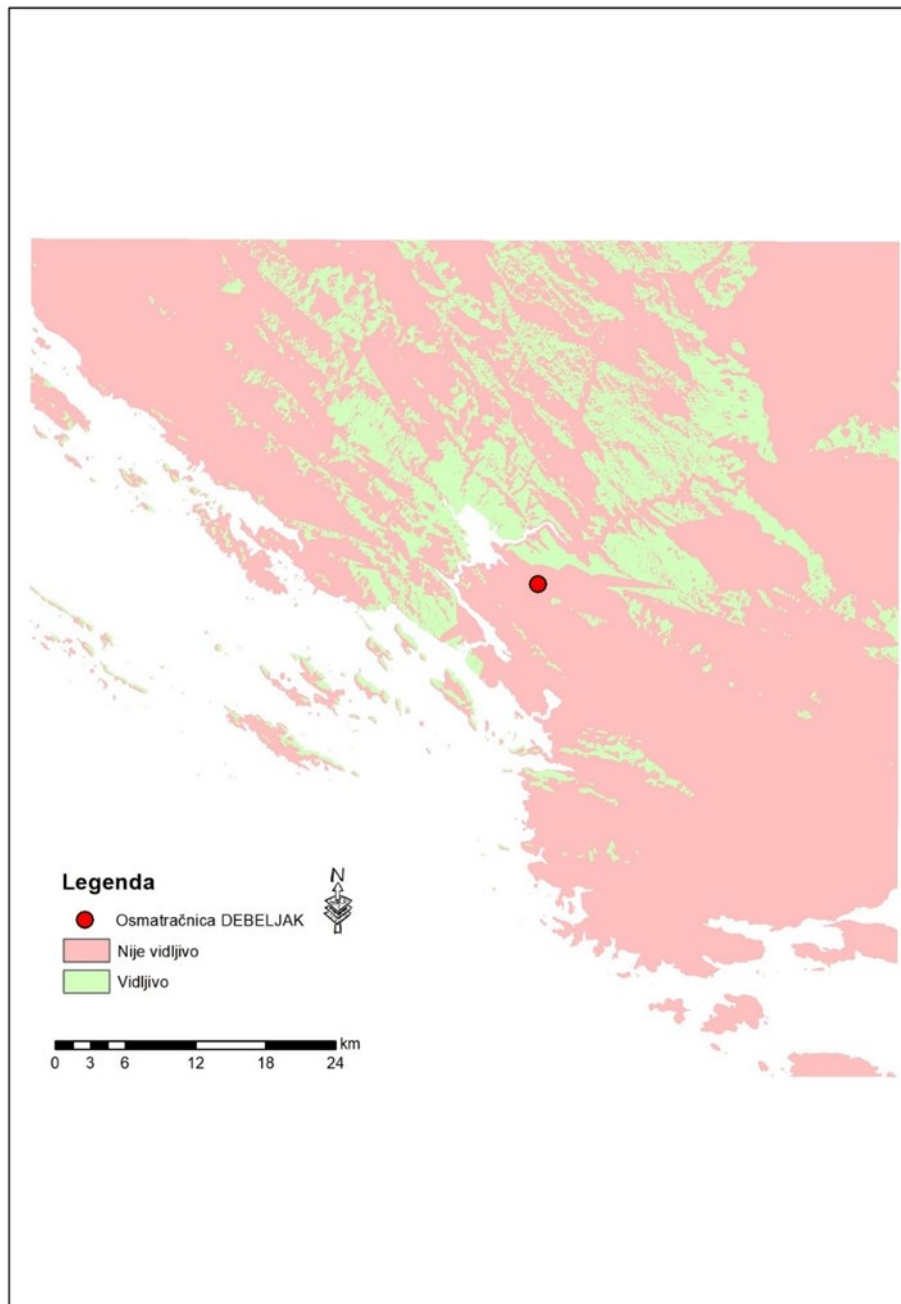


Slika 16. Nagib terena (izvor: vlastita izrada)

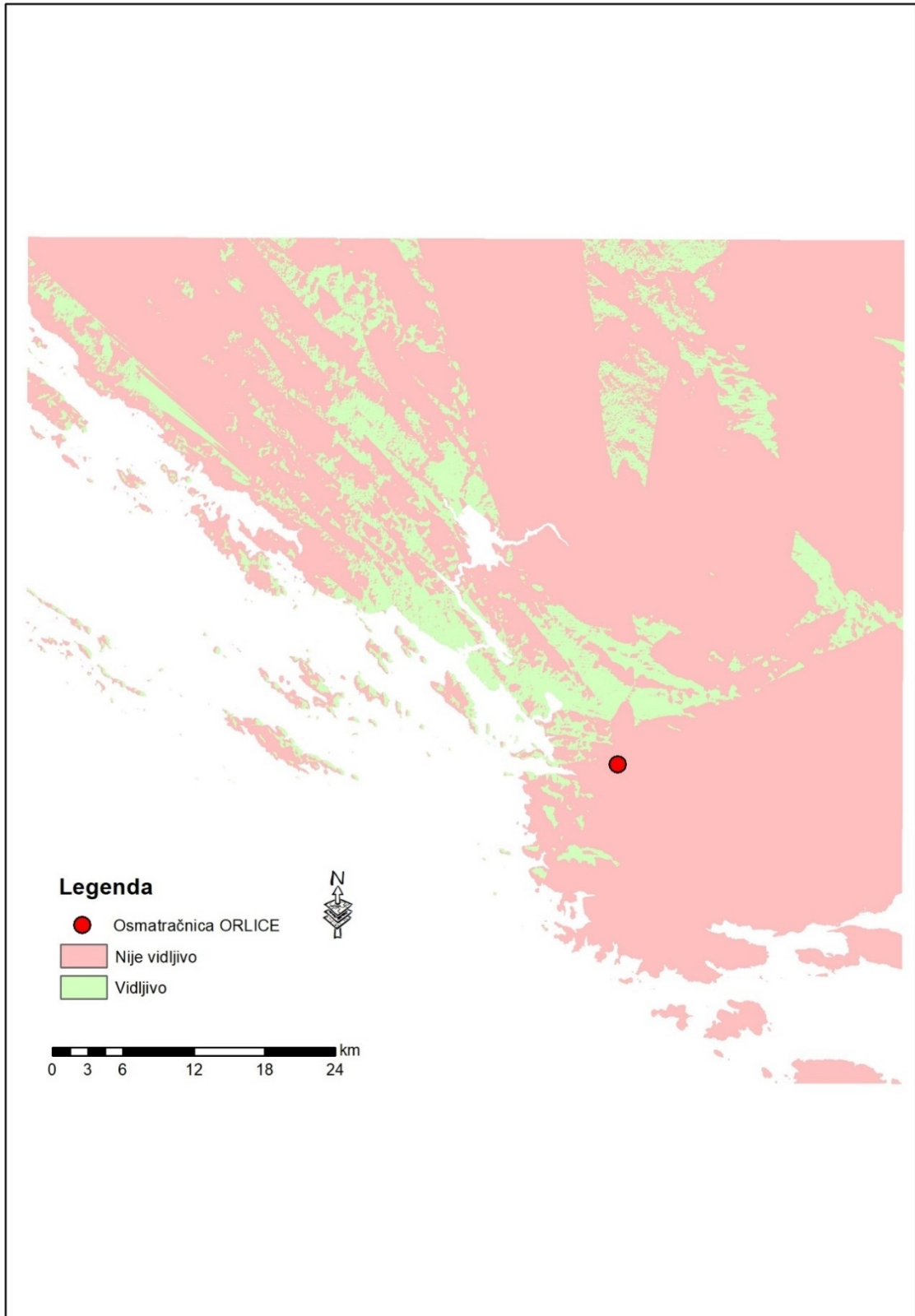


Slika 17. Izloženost (izvor: vlastita izrada)

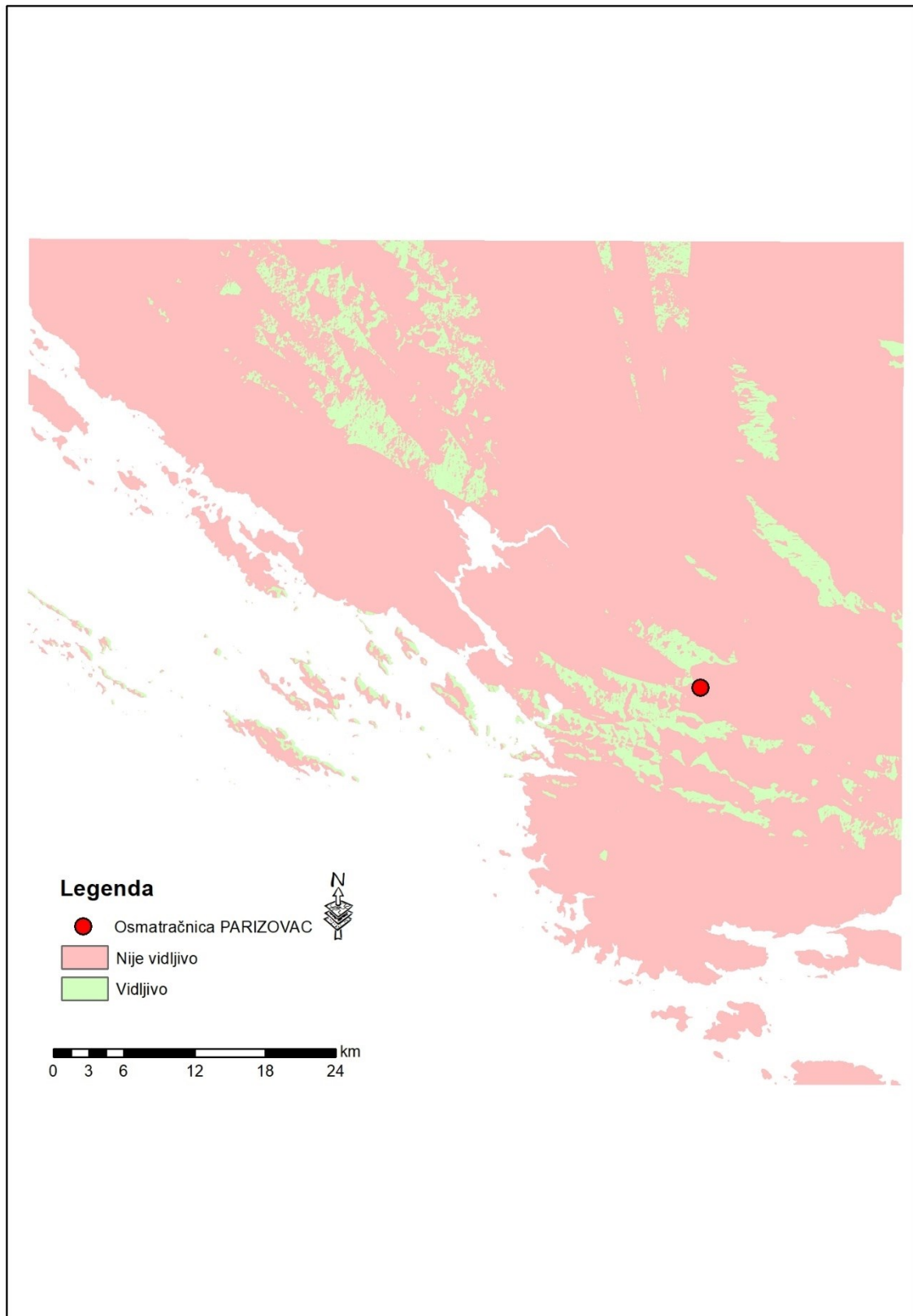
Učitane su točke osmatračnica i osmatračkih mjesta, te je za svaku pojedinu točku (osmatračnica ili osmatračko mjesto) napravljena analiza vidljivosti. (Slike 18, 19, 20, 21 i 22).



Slika 18. Vidljivost s osmatračnice Debeljak (izvor:vlastita izrada)

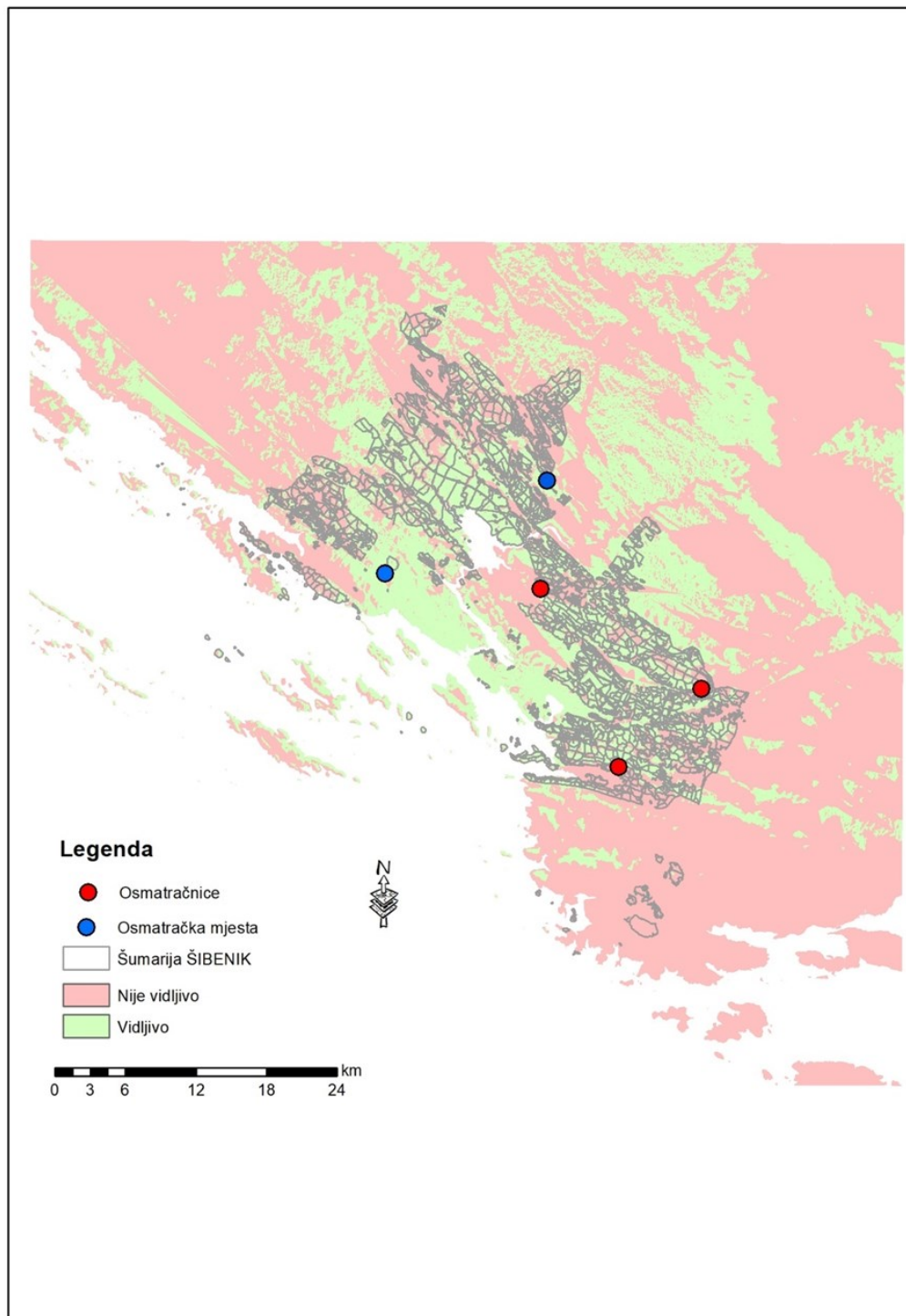


Slika 19. Vidljivost s osmatračnice Orlice (izvor:vlastita izrada)



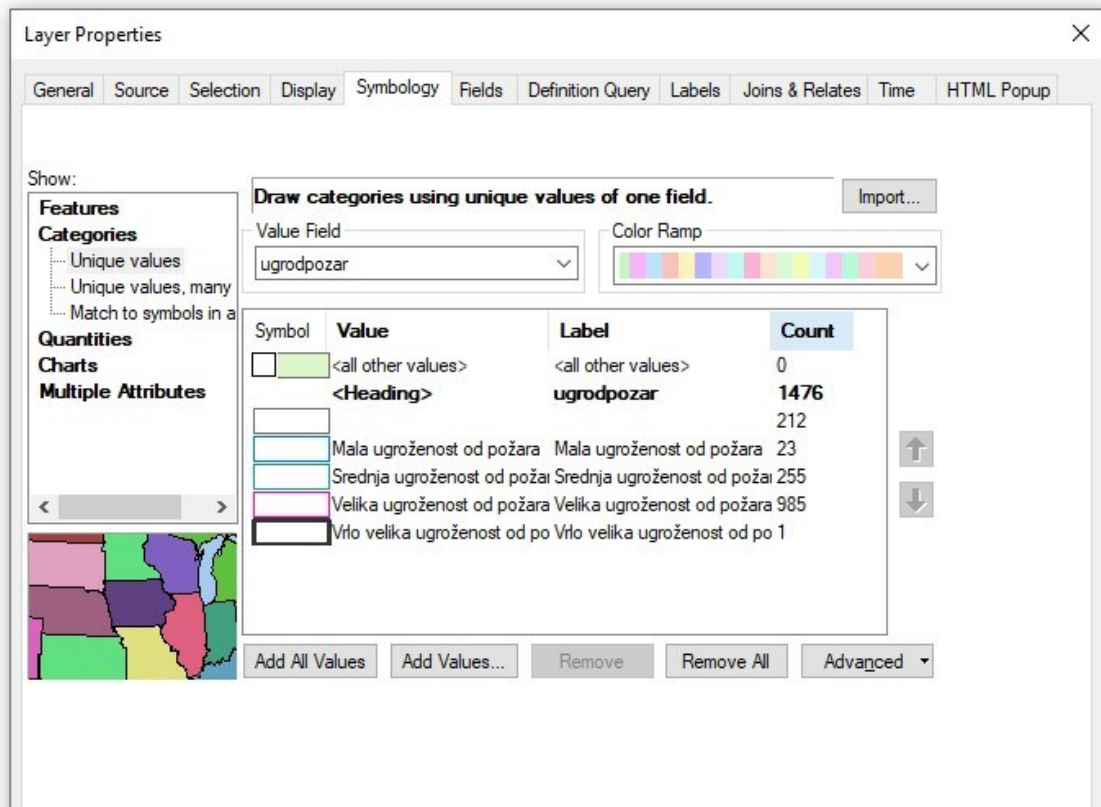
Slika 20. Vidljivost s osmatračnice Parizovac (izvor:vlastita izrada)

Sve analize su preklapljene sa gospodarskom kartom Šumarije Šibenik i kartom uređajnih razreda te je napravljena analiza vidljivosti za cijelo područje od interesa i na taj način se može odrediti kolika je ukupna vidljivost sa svake pojedinačne točke i kolika je njihova površinska vrijednost. (Slika 23).

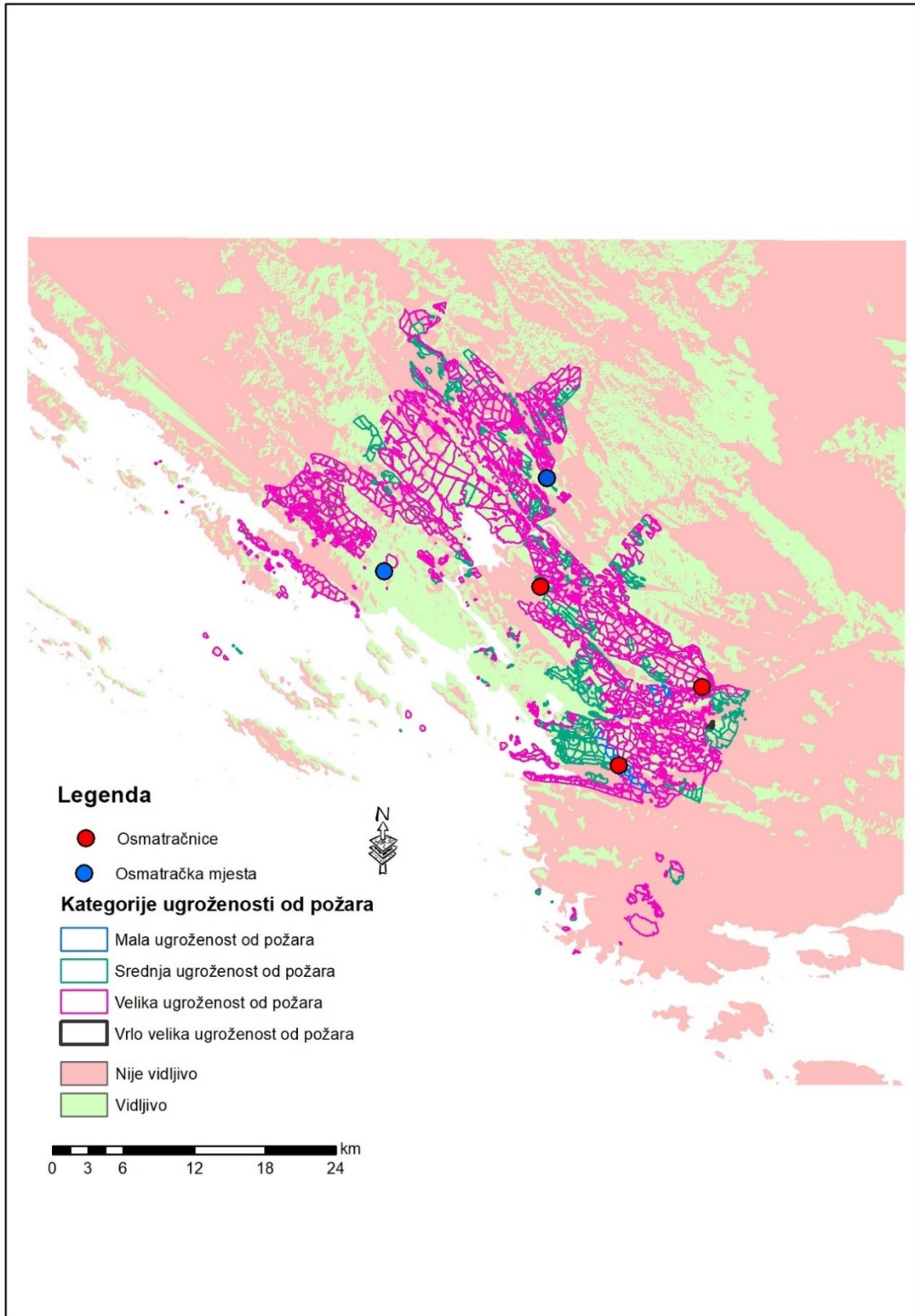


Slika 21. Ukupna vidljivost preklapljena sa gospodarskom kartom šumarije Šibenik (izvor:vlastita izrada)

Također je na temelju svih prikupljenih podataka moguće provesti prostornu analizu preklapanja slojeva vidljivosti za cijelo područje istraživanja sa podacima ugroženosti od požara za svaki odjel/odsjek unutar gospodarskih jedinica kojima gospodari Šumarija Šibenik (Slika 24).

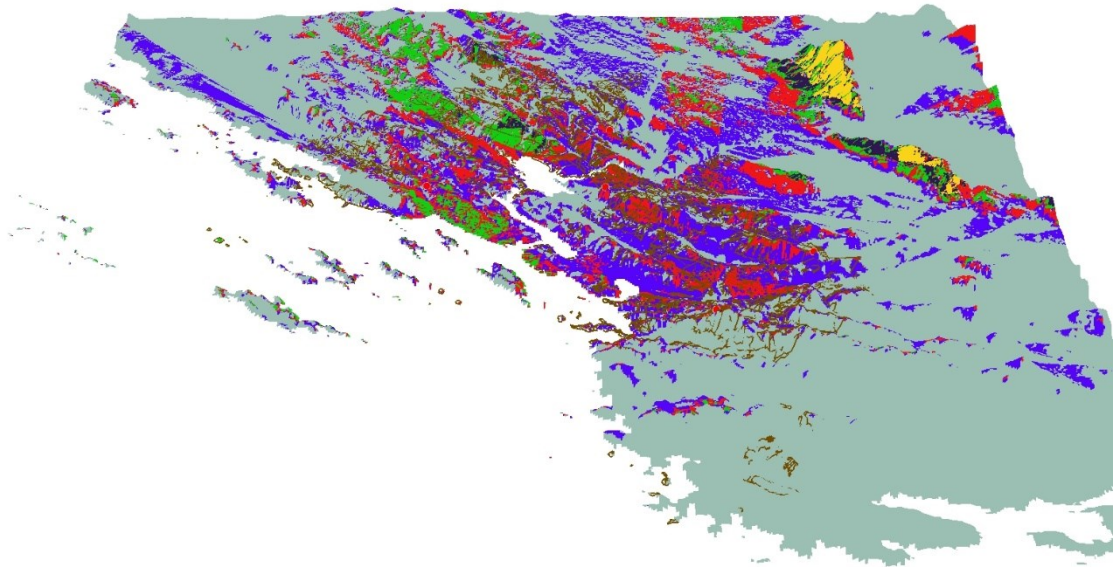


Slika 22. Broj odjela/odsjeka prema stupnju ugroženosti od požara (izvor: vlastita izrada)



Slika 23. Karta odjela/odsjeka prema stupnju ugroženosti od požara (izvor: vlastita izrada)

Na temelju provedenih analiza vidljivosti za postojeća osmatračka mjesta i osmatračnice, razvidno je da su dobro pozicionirana i pokrivaju gotovo cijelo područje kojim gospodari Šumarija Šibenik. Kao što je vidljivo iz Slike 22 od ukupno 1476 poligona (odjeli/odsjeci), Najviše otpada na kategoriju *Velika ugroženost od požara (975 poligona)*, zatim na Srednju ugroženost od požara (255 poligona), te na malu (23 poligona) i vrlo velika (1 poligon) – (Slika 23).



Slika 24. Digitalni model reljefa prema vidljivosti s osmatračnica (izvor: vlastita izrada)

7 ZAKLJUČAK

Odabir motrilačkih lokacija protupožarnog sustava najčešće uključuje i izvođenje analiza u GIS-u, a najčešće korištena je analiza vidljivosti.

Analize vidljivosti izvode se u svrhu utvrđivanja površine ili postotka vidljivog područja s promatračke lokacije.

Podatci potrebni za izvođenje analiza vidljivosti unutar GIS-a su DMR i lokacija nadzornog tornja ili osmatračkih mjesta.

Za područje istraživanja prikazane su metode i načini izvođenja analize vidljivosti.

Analiza vidljivosti sa postojećih osmatračnica i osmatračkih mjesta pokazuje dobar izbor lokaliteta, te omogućuje kvalitetnu vidljivost svih kategorija ugroženosti.

Preklapanjem različitih slojeva u GIS-u omogućeno nam je da na brz i jednostavan način donosimo kvalitetne odluke pri gospodarenju šumama i šumskim zemljištem.

8 LITERATURA

1. Bishop, M. P., Shroder, J. F., 2000: Remote sensing and geomorphometric assessment of topographic complexity and erosion dynamics in the Nanga Parbat massif, u: Tectonics of the Nanga Parbat Syntaxis and the Western Himalaya (ur. Khan, M. A. i dr.), Geological Society London, London, 181-199
2. Dikau, R., Brabb, E. E., Mark, R. K., Pike, R. J., 1995: Morphometric landform analysis of New Mexico, Zeitschrift für Geomorphologie, N.F. Suppl.-Bd. 101, 109-126.
3. Dimitrov, T. (1999). Šumski požari u Hrvatskoj-povod za razmišljanje. Šumarski list, br, 9(10).
4. DODD, Howard Mannin. (2001), The Validity of Using a GIS Viewshed Function [online]. Blacksburg : Blacksburg, 49 p. Diploma thesis. Faculty of the Virginia Polytechnic Institute.
5. Jurjević, P., Vuletić, D., Gračan, J., & Seletković, G. (2009). Šumski požari u Republici Hrvatskoj (1992-2007). Šumarski list, 133(1-2), 63-72.
6. European Forest Fire Information System, EFFIS: Current Statistics Portal
Pristupljeno: 13.04.2022. <https://effis.jrc.ec.europa.eu/>
7. ESRI, (2012): GIS for fire services, Redlands, California.
8. FAO & JRC, 2012: Global Forest land-use change 1990–2005
Pristupljeno 31.03. 2022. <http://www.fao.org/docrep/017/i3110e/i3110e.pdf>
9. FAO and UNEP. 2020. The State of the World's Forests 2020. Forests, biodiversity and people. Rome.
Pristupljeno 31.03. 2022. <https://doi.org/10.4060/ca8642en>
10. Forest Europe, 2020: State of Europe's Forests 2020.
11. Govorčin, M., Kovačić, F., Žižić, I., 2012: Беспилотне летјелце SenseFly Swinglet CAM, Ekscentar 15, 62-68.
12. Godišnje izvješće Hrvatskih šuma za razdoblje od 2008. do 2021. godine
Pristupljeno: 12.04.2022. <https://www.hrsume.hr/>
13. Hrvatska enciklopedija, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2018.
Pristupljeno: 16.09.2022. www.enciklopedija.hr

14. Hunter, G. J., Goodchild, M. F. (1997): Modeling the uncertainty of slope and aspect estimates derived from spatial databases. *Geographical Analysis*, 29(1), 35-49.
15. Kušan, V. (2000.). Nove tehnologije u prikupljanju, obradi i analizi podataka u šumarstvu. Zbornik radova sa znanstvenog skupa „Vrhunske tehnologije u uporabi šuma“, Hrvatska Akademija znanosti i umjetnosti, 11. travnja 2000. Zagreb.
16. Marić I., Milošević R., Ronald V. (2015.): Primjena GIS tehnologije u vatrogastvu, *Vatrogastvo i upravljanje požarima 1*, 57 – 71.str
17. Meyer, W. 1985. *Concepts of Mathematical Modeling*. McGraw-Hill Book Company, New York.
18. Millaresis, G. C., Argialas, D. P., 2000: Extraction and delineation of alluvial fans from digital elevation models and Landsat Thematic Mapper images, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 66 (9), 1093-1101.
19. Miler M., Đapo A., Kordić B., Medved I., 2007: Terestrički laserski skeneri, *Ekscentar* 10, 35-38.
20. Milošević, R., 2018.: Optimizacija i upravljanje vatrogasnim intervencijama– GIS pristup, *Diplomski rad*, Sveučilište u Zadru, Odjel za geografiju.
21. Miškulin, A. (2019). *Šumski požari* (Doctoral dissertation, University of Zagreb. Faculty of Forestry. Department of Forest Protection and Wildlife Management).
22. Müller, D (2010.). Digitalni model reljefa (DMR) i ortofoto snimka kao slojevi unutar GIS-a, *Diplomski rad*.
23. Nodilo, J. (2003). Požari otvorenog prostora otoka i priobalja–slučajnost ili logičan slijed događanja. *Šumarski list* br, 3(4), 171-176.
24. O'sullivan, D; Turner, A. (2001), *Visibility graphs and landscape visibility analysis*. *International journal of geographical information science*, 15 (3) 221-237
25. Palička, S., 2005: *Zemljopisni atlas za osnovnu školu*, Školska Knjiga, Zagreb.
26. Pernar, R. (2013.). *Interna skripta s predavanja iz kolegija „Daljinska istraživanja i GIS u šumarstvu“*
27. Pompa-García, M., Solís-Moreno, R., Rodríguez-Téllez, E., Pinedo-Álvarez, A., Avila-Flores, D., Hernández-Díaz, C., Velasco-Bautista, E. (2010): Viewshed analysis for improving the effectiveness of watchtowers, in the north of Mexico, *Open Forest Science Journal*, 3, 17-22.str

28. Pravilnik o načinu prikupljanja podataka, sadržaju i vođenju Upisnika te uvjetima korištenja podataka o šumskim požarima (NN 82/2019)
29. Tucker, G. E., Catani, F., Rinaldo, A., Bras, R. L. 2001: Statistical analysis of drainage density from digital terrain data, *Geomorphology* 36 (3-4), 187-202
30. Reutebuch, S., Andersen, H. E., McGaughey, R., 2005: LIDAR: An emerging tool for multiple resource inventory, *Journal of Forestry* 103 (6), 286-292.
31. Rosavec, R., Španjol, Ž., & Bakšić, N. (2012). Šumski požari kao ekološki i krajobrazni čimbenik u području Dalmatinske zagore. *Vatrogastvo i upravljanje požarima*, 2(1.), 51-64.
32. Šiljeg, Ante. 2013. Digitalni model reljefa u analizi geomorfometrijskih parametara – primjer PP Vransko jezero. Doktorski rad. Geografski odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu
33. Španjol, Ž., Biljaković, K., Rosavec, R., Dominko, D., Barčić, D., & Starešinić, D. (2008). Šumski požari i fizikalni modeli. *Šumarski list*, 132(5-6), 259-267.
34. Vallé, B. L., & Pasternack, G. B. (2002). *Assessment of the structure and function of natural hydraulic jumps*. Water Resources Center.
35. Wechsler, S. P. (2003): Perceptions of digital elevation model uncertainty by DEM users. *URISA-WASHINGTON DC-*, 15(2), 57-64
36. Wilson, J. P., Gallant, J. C. 2000a: Digital terrain analysis, u: *Terrain analysis: principles and applications* (ur. Wilson, J. P., Gallant, J. C.), John Wiley and Sons: New York, New York, 1-27.
37. Wilson, J., 2011: Digital terrain modeling, *Geomorphology* 137 (1), 269-297.
38. Wu, J., Marceau, D., 2002: Modeling complex ecological systems: an introduction, *Ecological Modelling* 153, 1-6.