

Visokonapetostni daljnovodi - neizkoriščen potencial v gozdnem prostoru?

Transmission lines - unused potential in forest space?



Klementina ŠINK¹, Anamarija JERE², Ignac SKALA³, Gašper LEVER⁴

Izvleček:

V Sloveniji z visokonapetostnim omrežjem upravlja in ga vzdržuje družba ELES, d. o. o., ob čemer skrbi tudi za načrtovanje in vzdrževanje vegetacije pod njim. Ena glavnih nalog nemotene uporabe omrežja je, da vegetacija ne preseže vertikalnega varnostnega odmika od voda, ki znaša 5 m. Ker Slovenijo prekriva 58 % gozdov, smo raziskali, kolikšen del visokonapetostnih daljnovodov poteka skozi gozdni prostor. Ugotovili smo, da se upravljanje z vegetacijo pod visokonapetostnimi daljnovodi specifično ne razlikuje od upravljanja z vegetacijo v tujini. Ob upoštevanju zakonsko določenega varovalnega pasu v gozdnem prostoru leži 3.903,0 ha površin, namenjenih visokonapetostnemu omrežju. Te površine v večini sestavljajo zaplate (sklenjene površine), manjše od hektarja, vendar določene zaplate presegajo površine 20 ha. Nakloni zaplat so v povprečju 35,4 %, zaplate pa so relativno blizu slovenskega prometnega omrežja, saj jih je 94,7 % od prometnice oddaljenih manj kot 200 m. Gozdne površine pod visokonapetostnim omrežjem nakazujejo potencial, saj smo ugotovili, da je produktivnost rastišč, ki se pojavljajo v njih, relativno velika in blizu slovenskega povprečja.

Ključne besede: lesna biomasa, upravljanje daljnovodnih presek, analiza GIS, gozdni prostor, raba daljnovodnih presek, rastiščni potencial daljnovodnih presek

Abstract:

The high-voltage network in Slovenia is managed and maintained by ELES, d.o.o., which also manages the planning and maintenance of the vegetation underneath it. One of the main tasks for the smooth use of the network is to ensure that the vegetation does not exceed the vertical safety clearance of 5 m from the lines. As Slovenia is 58% forested, we investigated how much of the high-voltage transmission lines pass through forested areas. We found that vegetation management under high voltage power lines is not specifically different from vegetation management abroad. Taking into account the legal buffer zone, there are 3,903.0 ha of land dedicated to the high voltage network in the forest area. Most of these areas consist of patches (closed areas) of less than 1 ha, but certain patches exceed 20 ha. Patches have an average gradient of 35.4% and are relatively close to the national transport network, with 94.7% of them being less than 200 m from a thoroughfare. The forest areas under the high voltage network indicate potential, as we found that the productivity of the stands occurring in them is relatively high and close to the national average.

Key words: wood biomass, transmission line corridor management, GIS analysis, forest space, transmission line corridor use, transmission line corridor vegetation potential

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Elektroenergetsko prenosno omrežje, s katerim v Sloveniji upravlja in ga vzdržuje ELES, d. o. o., se v Sloveniji razteza na skupni dolžini 2.863 km (ELES, 2016). Podjetje ELES, d. o. o. upravlja tudi z vegetacijo pod visokonapetostnimi daljnovodi, pri čemer uporablja kombinacijo tradicionalnih in sodobnih metod. Njihov glavni cilj je zagotovitev varnosti elektroenergetskega omrežja in zmanj-

šati vplive vegetacije na delovanje daljnovodov (Zupančič, 2024).

Elektroenergetsko prenosno omrežje je sistematično kategorizirano po napetostnih nivojih, pri čemer so glavni: nivo 400 kV, 220 kV in 110 kV. Večino celotne dolžine omrežja, 1.866 km, predstavlja napetostni nivo 110 kV. Napetostni nivo 440 kV predstavlja 669 km, medtem ko napetostni nivo 220 kV predstavlja 328 km dolžine prenosnega omrežja (ELES, 2016).

¹ dipl. inž. gozd. (UN) K. Š., Na Vidmu 14, SI-4201 Zgornja Besnica, Slovenija. klementina.sink@gmail.com

² dipl. inž. gozd. A. J., Novo naselje 5b, SI-1261 Ljubljana Dobrunje, Slovenija. anamarija.jere@gmail.com

³ dipl. inž. gozd. (UN) I. S., Krvavčji Vrh 3, SI-8333 Semič, Slovenija. naceskala@gmail.com

⁴ dipl. inž. gozd. (UN) G. L., Regentova 10, SI-6280 Ankaran, Slovenija. gasper.lever@gmail.com

Poleg nazivne moči daljnovoda je ena izmed pomembnejših lastnosti napetostne kategorizacije širina varovalnega pasu elektroenergetskega omrežja, ki poteka na vsako stran od osi. Energetski zakon (Energetski zakon, 2024) določa, da mora biti širina varovalnega pasu stran od osi za nadzemni vod nazivne napetosti 400 kV in 220 kV 40 m, za nadzemni vod nazivne napetosti 110 kV pa 15 m. Tako se pri nazivni napetosti 400 kV in 220 kV za prenosno omrežje porabi 80 m² na tekoči meter, pri nazivni napetosti 110 kV pa 30 m² na tekoči meter površin. Poleg omenjenega varovalnega pasu, ki ga merimo na tleh, je pomemben tudi varovalni pas okoli kablov. Tega zakon ne navaja, zato iz njega ni mogoče razbrati, kako visoko vegetacijo lahko pričakujemo pod daljnovodom. Slednje je sicer odvisno od same višine stebrov in morebitnega povesa vodnika. Slednji je lahko raznovrsten in nanj poleg lastnosti pri projektiranju linije vplivajo tudi podnebne spremembe, ki jih je treba pri samem projektiranju tudi upoštevati (Jovičič, 2023). Strokovnjak za tehnične sisteme družbe ELES Aleš Zupančič navaja, da vegetacija pod visokonapetostnimi daljnovodi za zagotavljanje dovoljšnjega odmika od vodnika načeloma ne sme presegati višine pet metrov (Zupančič, 2024).

Glede na izpostavljene lastnosti visokonapetostnega omrežja lahko sklepamo, da je gospodarjenje pod daljnovodi specifične narave. S hitro primerjavo sistemov gospodarjenja, ki jih poznamo v gozdarstvu, lahko sklepamo, da je najbolj primerljivo s panjevskimi nasadi predvsem grmovnih vrst, ki ob kulminaciji produkcije biomase ne dosežajo višjih višin. V Evropi tradicionalni panjevski sestoji prekrivajo milijone hektarjev površin, s čimer omogočajo pridobivanje večjih količin lesne biomase, ki pogosto presega 200 m³/ha (Spinelli in sod., 2014). Gospodarjenje znotraj sistemov je raznovrstno in temelji na spektru različnih tehnologij, med katerimi še vedno prevladuje ročno-strojna sečnja. Prostora za razvoj je tehnološko gledano še veliko, saj poleg ročno-strojne sečnje prevladujejo relativno poceni in vsestranski stroji, kot so ekskavatorji, kmetijski traktorji in lahki zgibni polprikoličarji (Spinelli in sod., 2016). V sistemih hitrorastočih grmovnih panjevskih nasadov na manjših naklonih (do

15 %) večinoma poteka intenzivno gospodarjenje s popolno mehanizacijo od sajenja do žetve s prilagojenimi kombajni (Caslin in sod., 2023).

Produkcija lesne biomase je zelo raznolika in odvisna od sistema, uporabljenih vrst, podnebnih razmer. Na Madžarskem v grmovnih nasadih robinije (*Robinia pseudoaccacia*) navajajo različne vrednosti letnega volumenskega prirastka, pri čemer prirastek pri višinah, nižjih od pet metrov in starosti od 3 do 4 leta znaša od 2,4 do 7,8 suhih t/ha, leto (Rédei in sod., 2011). V vrbovih hitrorastočih panjevskih nasadih znaša produkcija v dveh do treh letnih ciklih od 10 do 12 suhih ton/ha. Pri tem je treba poudariti, da takšni nasadi že pri starosti dveh let presegajo višine 8 m (Caslin in sod., 2015). Številne Švedske raziskave navajajo zelo različne podatke o gostotah lesne biomase na različnih lokacijah pod daljnovodi, pri čemer produkcija biomase pri povprečnih premerih od 2,3 do 5,8 cm in višino od 3,2 do 6,4 m znaša od 2,6 do 42,5 suhih t/ha. Ob tem glede ekonomskega izplena izpostavljajo predvsem pomembnost velikosti delovišč in koncentracije biomase (Fernandez-Lacruz in sod., 2013). Slovenski viri (Čebul, 2011 in Mihelčič, 2010) navajajo, da je v zunajgozdnih nasadih hitrorastočih vrst zelo raznolika proizvodnja. V manj ugodnih razmerah vrbe in topoli proizvedejo 7 do 9 suhih t/ha/leto, v ugodnih 10 do 15, v optimalnih pa 16 do 25. Pri robinji vrednosti v povprečju dosežajo okoli 6,5 suhih t/ha/leto. Za ekonomičnost gospodarjenja s tako vrsto nasadov Čebul (2011) navaja stroške sečnje in transporta do največ 20 do 25 €/ha.

Ker Slovenijo prekriva 11.767 km² gozdov, kar je 58 % celotne površine (Gozd in gozdarstvo, b.l.), lahko predpostavljamo, da večji del prenosnega omrežja poteka v gozdnem prostoru. Kolikšna površina prenosnega omrežja poteka skozi gozdni prostor, doslej še ni bilo raziskano. Posledično je bil namen našega dela ugotoviti, kolikšen del visokonapetostnih daljnovodov poteka skozi gozdni prostor, kakšno površino zavzemajo ter kako poteka upravljanje z gozdnim prostorom pod visokonapetostnim prenosnim omrežjem. Ocenili smo rastiščni potencial gozdnih površin pod visokonapetostnim omrežjem in možnosti gospodarjenja.

2 METODE DELA

2 WORKING METHODS

V Sloveniji smo 28. 11. 2024 za analizo trenutnega upravljanja z gozdnim prostorom pod visokonapetostnimi daljnovodi izvedli 30-minutni telefonski intervju z zaposlenim na tem področju v družbi ELES. V intervjuju smo pozornost namenili sistemu upravljanja, ki vključuje redno sečnjo, določanje varnostnih odmikov, uporabo naprednih tehnologij in komunikacijo z lastniki zemljišč.

Analizo površin prenosnega omrežja v gozdnem prostoru smo izvedli v programu ArcGIS Pro. Kot osnovo smo uporabili bazo podatkov Elektronskih komunikacij za območje Slovenije, pridobljeno na Zbirnem katastru gospodarske in javne infrastrukture (GJI) 5. 12. 2024. Iz baze smo uporabili sloj 'Elektricna_energija_linije'. Iz tega smo izločili visokonapetostne vode 400 kV, 220 kV in 110 kV. V evidenci je bilo zabeleženih 585,2 km daljnovodov nazivne napetosti 400 kV, 302,9 km 220 kV in 1.946,5 km nazivne napetosti 110 kV, pri čemer razlike v primerjavi s podatki ELES najverjetneje izhajajo iz posodobljenosti evidenc. Nato smo linije daljnovodov izrezali na masko gozda, za katero smo uporabili podatke o rabi tal. Najnovejše podatke o rabi tal smo 5. 12. 2024 pridobili s spletne strani Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (MKGP). Za analizo daljnovodov v gozdnem prostoru smo iz rabe tal izločili gozdove (šifra 2000). Okoli linij daljnovodov smo izdelali varovalni pas (buffer cono) standardne tlorske širine, kot predvideva Energetski zakon. Z zbranimi podatki smo analizirali delež visokonapetostnih daljnovodov v gozdnem prostoru in opravili analizo sklenjenih zaplat gozda pod daljnovodi, pri čemer smo površine zaplat kategorizirali v razrede. Vse nadaljnje analize, od analiz dolžin in površin linij v gozdnem prostoru naprej, smo izdelali za vse tri kategorije vodov skupaj, saj je dopustna višina vegetacije pod vsemi do pet metrov (Zupančič, 2024).

Sledila je analiza naklonov, pri čemer smo za izhodišče uporabili DMR z rastrsko celico 1 x 1 m. V ArcGIS Pro smo z ukazom Slope izračunali naklone za vse linije skupaj ter nato izvedli analizo kvartilov naklonov ter analizirali površino zaplat po kategoriziranih povprečnih naklonih.

Analizo oddaljenosti zaplat od cest smo izvedli s pomočjo sloja prometnega omrežja, pridobljenega na Zbirki topografskih podatkov 19. 6. 2024. Iz sloja smo izločili avtoceste, hitre ceste, daljinske kolesarske poti, glavne kolesarske poti, javne poti za kolesarje in planinske poti. Nato smo okoli preostalih cest z orodjem Buffer izrisali šest buffer con različnih oddaljenosti, in sicer: do vključno < 100 m od cest, 100 < 200 m, 200 < 300 m, 300 < 400 m, 400 < 500 m in > 500 m. Za vsako cono smo nato izračunali, koliko gozdnih površin vsebuje pod visokonapetostnimi daljnovodi.

Podatke za analizo rastiščnega potenciala površin in podatke o evidentiranih združbah znotraj sestojev smo pridobili s spletne strani Zavoda za gozdove Slovenije. Ker je varovalni pas daljnovodov po večini že izločen in ni kartiran v posamezne gozdne odseke, smo podatke o gozdnem tipu povezali z vektorskim slojem odsekov vseh površin. Le-te smo nato izrezali na linije daljnovodov z varovalnim pasom in tako pridobili podatke o gozdnih tipih, ki se pojavljajo na takih območjih. Nato smo izračunali deleže posameznih gozdnih tipov in rastiščne koeficiente, s čimer smo lahko prikazali relativno produktivnost gozdnega rastiščnega tipa. Hkrati smo za vsak tip s pomočjo knjige *Gozdni rastiščni tipi Slovenije: vegetacijske, sestojne in upravljalvske značilnosti* (Bončina in sod., 2021), v kateri smo dobili podatke za povprečni prirastek posameznega gozdnega tipa, analizirali povprečni letni volumenski prirastek gozdnih tipov, ki se pojavijo pod visokonapetostnim omrežjem.

S pregledom literature smo analizirali gospodarjenje s površinami pod daljnovodi v tujini.

3 REZULTATI

3 RESULTS

3.1 Upravljanje z visokonapetostnimi daljnovodi v gozdnem prostoru v Sloveniji

3.1 Management of high-voltage transmission lines in forest space in Slovenia

Obhodnja površin pod daljnovodi po navadi poteka dvakrat na leto, pri čemer prioritete

posege določajo glede na stanje vegetacije in varnostne zahteve. Tradicionalno so obhodniki terensko pregledovali celoten daljnovodni koridor, beležili ugotovitve in na podlagi dobljenih podatkov pripravljali načrte posekov. V zadnjih letih fizične ogleda počasi zamenjujejo z uporabo brezpilotnih letal s tehnologijo LiDAR, ki omogoča natančno kartiranje vegetacije in tako zmanjševanje subjektivnosti v samem delu (Zupančič, 2024).

Posek vegetacije pod daljnovodom razvrščajo v tri kategorije: nujno (posek v roku enega tedna), potrebno (posek v roku treh mesecev) in načrtovano (posek v roku enega leta). Varnostni odmiki pod daljnovodi so odvisni od nazivne napetosti daljnovoda. Pod 400 kV napetostnim daljnovodom varnostni odmik od voda znaša pet metrov, pod 110 in 220 kV napetostnim daljnovodom pa tri metre. Pri določanju odnikov upoštevajo razgibanost terena in vrsto vodnikov, saj le-ti lahko vplivajo na prilagoditev varnostnih con. Varnostni odmik, razgibanost terena, vrsta vodnika in povesi voda vplivajo na višino vegetacije pod daljnovodom. Ocenjuje se, da višina vegetacije direktno pod vodom ne sme presegati višine pet metrov. Z oddaljevanjem od vodov proti gozdnemu robu je vegetacija lahko postopno višja, kar oblikuje koridorje V-oblik (Zupančič, 2024).

Pri upravljanju s površinami je ključna komunikacija z lastniki, saj podjetje nima lastniških pravic nad zemljišči pod daljnovodi, temveč le služnostno pravico za dostop in sečnjo. Pred posekom je treba pridobiti soglasje lastnika, izvesti cenitev, ki jo izvede sodni cenilec, in pripraviti pogodbo o poravnavi. Lastnik lahko posekan les uporabi po lastnih željah, lahko pa zahteva tudi njegovo odstranitev, kar ni vključeno v standardne stroške poseka in ceniitve. Eden pomembnejših deležnikov pri omenjenem procesu je tudi Zavod za gozdove Slovenije, saj mora pred procesom ceniitve obravnavani koridor daljnovoda pregledati tudi revirni gozdar. Le-ta mora označiti vse drevje, ki presega premer 10 cm, in pred začetkom del izdati D odločbo. Šele nato lahko sodni cenilec pregleda obravnavane površine (Zupančič, 2024). Na tem mestu je smiselno omeniti, da je glede na Zakon o gozdovih površina pod daljnovodom v gozdnem prostoru definirana kot drugo gozdno zemljišče,

za katerega veljajo enaka zakonska določila kot za gozdove (Zakon o gozdovih, 1993).

Dandanes za sečnjo večinoma najemajo zunanje izvajalce. Trenutno pri izvedbi poseka še vedno prevladuje uporaba klasične sečnje z motorno žago. Vedno bolj pa za izvedbo uporabljajo stroje in na delih, kjer je to mogoče, tudi mulčijo (Zupančič, 2024).

V sodelovanju z lastniki zemljišč proučujejo možnost urejanja koridorjev in spremembo namembnosti zemljišč v travnate površine ali sadovnjake. Dodatno uvajajo pristope za spodbujanje biotske raznovrstnosti, vključno z zasaditvijo avtohtonih vrst grmovnic in ustvarjanjem koridorjev V-oblik, kjer so bližje vodnikom zasajene vrste, ki počasneje priraščajo v višino in dosega nižje višine, proti robu pa vedno višja drevesa. Tako usmerjajo vegetacijo v oblike, ki v gozdarstvu ponazarjajo stopničast gozdni rob (Zupančič, 2024).

3.2 Gospodarjenje ter upravljanje z vegetacijo pod visokonapetostnimi daljnovodi v tujini

3.2 Economy and management of vegetation under transmission lines abroad

Gospodarjenje z vegetacijo pod daljnovodi je ključno za varnost in zanesljivost elektroenergetskih omrežij, pri čemer države uporabljajo različne pristope, prilagojene njihovim specifičnim potrebam in razmeram. V ZDA je sistem integriranega gospodarjenja z vegetacijo (IVM) uveljavljen kot standard, saj vključuje selektivno odstranjevanje hitro rastočih dreves, uporabo herbicidov in spodbujanje rasti nizkorastoče vegetacije (Askins, 2019). IVM zmanjšuje stroške vzdrževanja za do 3,9-krat, poleg tega tudi izboljšuje biotsko raznovrstnost, saj ustvarja grmičasta območja, ki so odporna proti invaziji dreves, in ponujajo habitate za opraševalce in druge vrste (Innis, 2023). Kanada pri gospodarjenju z vegetacijo sledi standardu FAC-003-4, ki določa minimalne varnostne razdalje med vodniki in vegetacijo ter določa letne preglede celotnega omrežja. Pregledi potekajo najmanj na 12 mesecev, pri čemer koridorje čistijo vsakih 4 do 8 let, odvisno od stopnje

tveganja in hitrosti rasti vegetacije. Upravljalci za optimizacijo vzdrževalnih del in spremljanje težko dostopnih območij uporabljajo kombinacijo mehanskih metod ter naprednih tehnologij, kot so droni in satelitske slike (NERC, 2016).

Na Švedskem gospodarjenje osredotočajo na redno čiščenje koridorjev z uporabo lahke mehanizacije, s čimer zmanjšajo vpliv na občutljiva okolja. Koridorje pod daljnovodi čistijo v ciklih vsakih osem let, vmes pa vsaka štiri leta pregledajo območja in odstranijo vegetacijo, ki se preveč približa daljnovodom. Vegetacijo upravljajo z odstranjevanjem visokih drevesnih vrst, medtem ko nizkorastoče rastline, kot so brini, pustijo, saj ne ogrožajo infrastrukture in prispevajo k biotski raznovrstnosti. Poudarjajo tudi sodelovanje z lastniki zemljišč, s katerimi usklajujejo dostop in način izvajanja del (Svenska kraftnät, 2021).

Na Portugalskem gospodarjenje temelji na sajenju avtohtonih vrst, kot sta plutovec (*Quercus suber*) in jagodičnica (*Arbutus unedo*), ki sta odporni proti suši in požarom, hkrati pa imata gospodarsko vrednost za lokalne skupnosti. Poleg tega se za zmanjšanje tveganja požarov in nadzor vegetacije v koridorjih pod daljnovodi odločajo za ekstenzivno pašo živali, na primer avtohtone pasme konj *garrano*, ki na izbranih območjih na dan zaužijejo do 7.000 kg vegetacije (Renewables Grid Initiative, 2010).

Španija uvaja podobne inovativne metode, pri čemer uvaja pašo ovc v okviru programa Pastoreo enRED. Ovce naravno ohranjajo vegetacijo na varni višini, medtem ko droni in orodja GIS pomagajo spremljati stanje vegetacije in optimizirati vzdrževalna dela. Poleg tega Španija uporablja analitične pristope za določanje prioriteten območij na podlagi tveganj, kar omogoča osredotočenje na območja z največjo verjetnostjo izpadov (Red Eléctrica de España, 2021).

Napredne tehnologije imajo ključno vlogo pri spremljanju vegetacije. LiDAR omogoča natančno kartiranje višine dreves in analizo tveganj z natančnostjo več kot 90 %, medtem ko droni omogočajo hitro spremljanje tudi na težko dostopnih območjih. Satelitske slike in toplotno zaznavanje dopolnjujejo informacije o gostoti in zdravju vegetacije. Raziskave kažejo, da je integracija raz-

ličnih tehnologij ključnega pomena za izboljšanje učinkovitosti vzdrževanja in zmanjšanje stroškov (Matikainen in sod., 2016). Projekti, kot je LIFE Elia-RTE, so z uporabo dronov in podatkov GIS ustvarili natančne digitalne modele, ki omogočajo proaktivno načrtovanje obrezovanja in sajenja nizkorastočih vrst. Takšni pristopi prispevajo k varnemu, ekološkemu, trajnostnemu in stroškovno optimiziranemu upravljanju elektroenergetskih koridorjev (LIFE Elia-RTE Project, 2019).

Z uporabo tehnologije LiDAR so v preteklosti začeli tudi v družbi ELES, d. o. o. Na podlagi analiz so v podjetju razvili aplikacijo, ki vsebuje več spremenljivk: od osončenosti, padavin, geološke sestave tal do samih značilnosti sestoja. Na njihovi podlagi lahko z določenimi algoritmi izračunavajo napovedi razvoja vegetacije za eno, pet ali deset let. S pomočjo aplikacije spremljajo tudi dosedanje sečnje in tako ugotavljajo lokacije pogostejših sečenj ter analizirajo, zakaj do njih prihaja (Zupančič, 2024).

V sklopu uvajanja tehnologije LiDAR so na 18 km dolgem koridorju med Novo Gorico in Avčami izvedli analizo, kjer so analizirali meritve LiDAR iz let 2014 in 2018 ter različne spremenljivke (drevesna vrsta, padavine, temperatura, pH tal). Sistem je sledil metodologiji JDL/DFIG za združevanje podatkov, ki vključuje obdelavo podatkov LiDAR in regresijske modele za napoved rasti vegetacije glede na ekološke dejavnike. Celoten pristop je vključeval tri glavne nivoje. Na prvem je bila izvedena identifikacija posameznih dreves z določitvijo njihove višine, krošenj in okoljskih parametrov. Drugi nivo je uporabil 3D lijakasto oblikovan volumetrični filter, ki omogoča zaznavo vegetacije v varnostnih območjih pod daljnovodi. Filter je bil prilagojen za širino (15 m za 110 kV, 40 m za 400 kV) in višino (5 m varnostnega odmika pod najnižjim vodnikom). Tretji nivo je uporabljal regresijske modele za napovedovanje rasti glede na ekološke značilnosti, kar izboljša natančnost napovedi. Rezultati so pokazali, da je sistem pri simulaciji rasti dreves dosegel napako RMSE približno en meter, pri zaznavi vdora vegetacije pa največjo napako 0,37 m. Sistem je zaznal 449 območij tveganja, kjer je vegetacija presegla varnostne omejitve. Obdelava podatkov za območje

24 km² je trajala deset minut, kar kaže na veliko časovno učinkovitost (Mongus in sod., 2021).

Analiza tras visokonapetostnih daljnovodov v gozdnem prostoru / Analysis of the transmission line routes in forest space

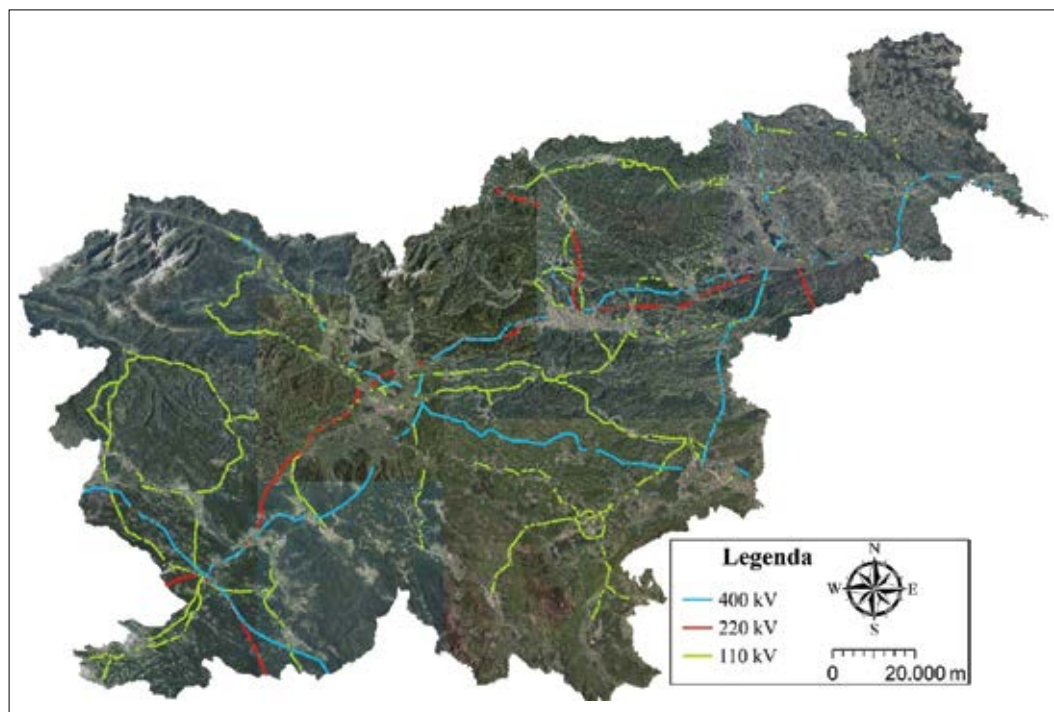
V slovenskem gozdnem prostoru skupno poteka 793,7 km linij visokonapetostnih daljnovodov. Od tega je 208,5 km daljnovodov nazivne moči 400 kV, 102,2 km daljnovodi nazivne moči 220 kV in 483,0 km daljnovodi nazivne moči 110 kV (Slika 1). Od celotne dolžine prenosnega omrežja tako 28,0 % daljnovodov poteka po gozdnem prostoru. Od tega je največji delež linije daljnovodov nazivne moči 400 kV ter 220 kV, kjer v gozdu poteka 35,6 % oz. 33,8 % daljnovodov, linije daljnovodov nazivne moči 110 kV pa zavzemajo 24,8 %.

Skupna površina gozdnega prostora pod visokonapetostnimi daljnovodi ob upoštevanju varovalnega pasu znaša 3.903,0 ha. Največ gozdnih površin je pod vodi nazivne moči 400 kV, ki zavzemajo 1.750,7 ha gozdnega prostora, skupaj

z vodi nazivne moči 220 kV pa 2.555,4 ha. Vodi nazivne moči 110 kV zavzemajo 1.382,3 ha gozdnega prostora. Na 106,4 ha površin se posamezni vodi med seboj prekrivajo ter in prekrivajo iste površine. Skupno je 32,8 % površin, ki jih na območju Slovenije zavzemajo visokonapetostni daljnovodi z varovalnim pasom, v gozdnem prostoru.

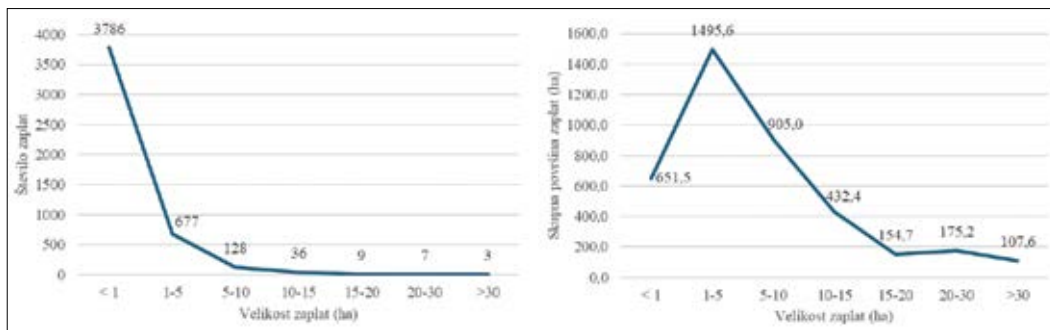
Pri tem je glede na metodo dela treba poudariti, da so izračunane teoretične površine, ki naj bi predstavljale prostor pod daljnovodi (dolžina daljnovoda, pomnožena z zahtevano tlorisno širino varovalnega pasu brez upoštevanja naklonov terena). Ker v vseh primerih v naravi temu ni zadoščeno ali je celo preseženo, so dejanske površine lahko drugačne.

Povprečna površina zaplate je 0,84 ha. Največja zaplata (neprekinjena/sklenjena površina) gozdnega prostora je velikosti 42,5 ha. Najmanjše zaplate v gozdnem prostoru pod daljnovodi vseh nazivnih moči ne dosega niti 1,0 m². Največ



Slika 1: Visokonapetostni daljnovodi v gozdnem prostoru

Figure 1: High-voltage transmission lines in the forest space



Slika 2: Število zaplat (levo) in skupna površina zaplat po kategorijah v gozdnem prostoru pod visokonapetostnim omrežjem

Figure 2: Number of patches (left) and total patch area by category in the forest space under the high-voltage network

zaplat je velikosti do enega hektara, kar je 81,5 % celotnega števila zaplat. Število zaplat se z večanjem njihove površine zelo zmanjšuje. Poudariti je treba, da vsota zaplat s površino, manjšo od enega hektara, zavzema le 16,6 % skupne površine zaplat v gozdnem prostoru. Največji delež skupne površine zavzemajo zaplate velikosti od 1 do 5 ha (38,1 %) in zaplate velikosti od 5 do 10 ha (23,1 %; Slika 2).

Povprečni nakloni na trasah daljnovodov v gozdnem prostoru znašajo 35,3 %. Do 25 % površin je na naklonih, manjših od 17,7 %, polovica površin na manjših od 32,9 %, medtem ko je 75 % na manjših od 51,1 %. Največji naklon v zaplatah pod visokonapetostnim omrežjem znaša 415,1 %, medtem ko najmanjši 0,0 %.

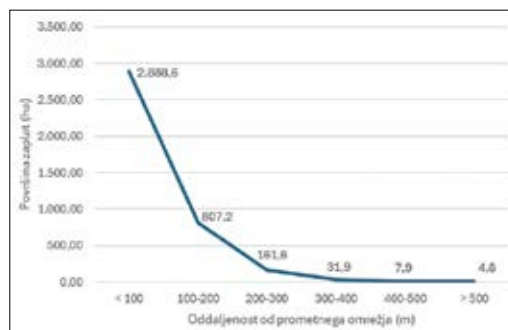
Največ zaplat, 24,8 %, je na povprečnih naklonih v kategoriji od 30 do 40 %, v 90-ih % pa je povprečni naklon znotraj posamezne zaplate manjši od 60 % (Slika 3).

Površina in delež zaplat se z oddaljevanjem od prometnega omrežja zmanjšujeta. Kar 74,0 % zaplat je od prometnega omrežja oddaljenih manj kot 100 m. Če k temu dodamo še zaplate, ki so oddaljene od 100 do 200 m, lahko ugotovimo, da je skupno kar 94,7 % zaplat, ki so od prometnega omrežja oddaljene manj kot 200 m (Slika 4).



Slika 3: Površina zaplat po kategoriziranih povprečnih naklonih

Figure 3: Number of patches (left) and total patch area by category in the under the high-voltage network



Slika 4: Površina zaplat glede na oddaljenost od prometnega omrežja

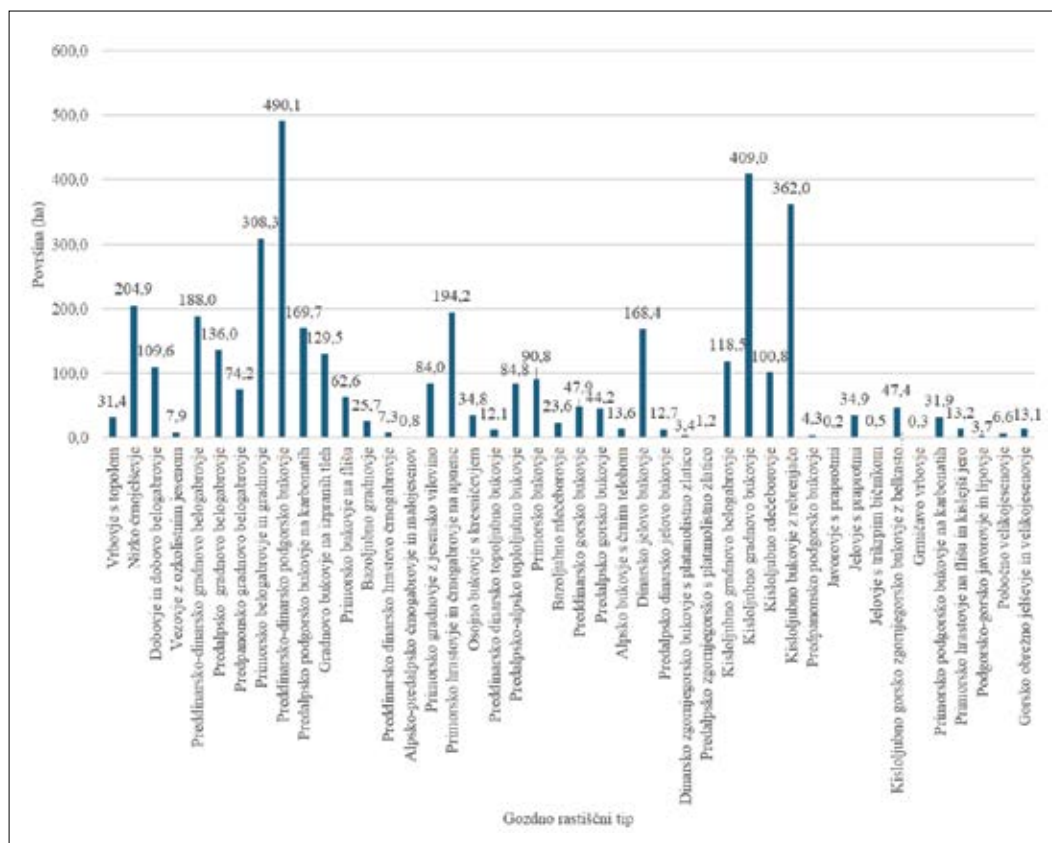
Figure 4: Patch area in relation to distance from the transport network

3.3 Analiza rastišč pod visokonapetostnimi daljnovodi

3.3 Analysis of the growing sites under transmission lines

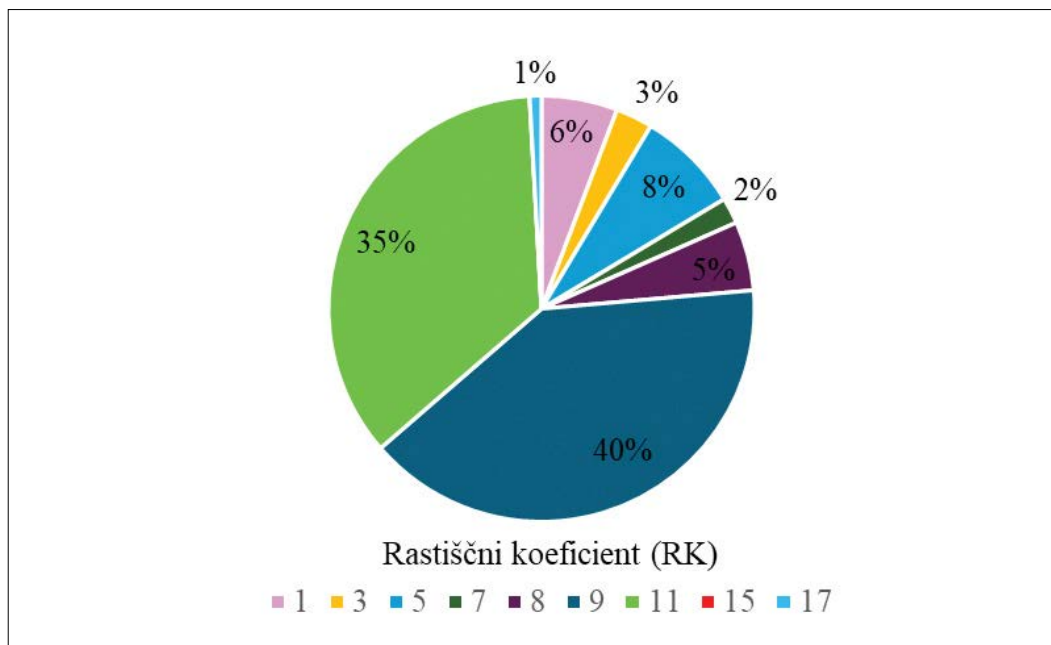
V gozdnem prostoru pod visokonapetostnimi daljnovodi prevladuje 44 različnih gozdno rastiščnih tipov. Med njimi največji delež zavzemata predinarsko - dinarsko podgorsko bukovje z 12,5 % oz. 490,1 ha ter kisloljubno gradnovo bukovje z 10,5 % oz. 409,0 ha. Preostali posamezni gozdni tipi predstavljajo nižji delež od 10 %, od vseh kar polovica manj od 1 % (Slika 5).

Povprečni rastiščni koeficient gozdnih tipov, zabeleženih v gozdnem prostoru, ki sekajo linije daljnovodov, znaša 8,7, pri čemer ima 75 % površin RK 9 oz. 11 (Slika 6). Povprečni letni volumenski prirastek lesne mase znaša 7,4 m³/ha, leto, pri čemer posamezne vrednosti prirastka dosegaajo od 3,2 do 10,7 m³/ha/leto.



Slika 5: Gozdno rastiščni tipi pod visokonapetostnim omrežjem v gozdnem prostoru

Figure 5: Forest growing site types under the high-voltage network in the forest space



Slika 6: Boniteta gozdnih rastišč pod visokonapetostnimi daljnovodi
 Figure 6: Soundness of forest stands under transmission lines

4 RAZPRAVA

4 DISCUSSION

4.1 Analiza gospodarjenja pod visokonapetostnimi daljnovodi

4.1 Analysis of management under transmission lines

Gospodarjenje z vegetacijo pod visokonapetostnim omrežjem je stalnica in nekaj vsakdanjega povsod po svetu. Metode spremljanja razvoja vegetacije in načrtovanje ukrepanja med državami sveta se močno ne razlikujejo. In čeprav je po vseh državah še vedno glavno terestrično opazovanje, je uporaba satelitov ter LiDAR tehnologiji tudi na tem področju v razmahu in se njena količina povečuje. Ukrepi in vzdrževanje primerne vegetacije nakazujejo že nekoliko več raznolikosti, vendar je na splošno še vedno najpogostejše klasično mehansko odstranjevanje. Pri tem se nakazujejo svetovni razvoji in povečana uporaba tehnologiji, kjer vse poteka strojno. To na določenih območjih ni primerno, zato se tam še vedno uporabljajo

ročno-strojne tehnike dela. Prav tako pa na primer v nekaterih državah, kot so ZDA, uporabljajo preventivne ukrepe, kot so uporaba herbicidov. V Sloveniji pri gospodarjenju pod daljnovodi ni opaziti posebnosti in posledično lahko sklepamo, da je njeno gospodarjenje zelo podobno načinom uporabljenih drugod po svetu.

4.2 Analiza tras visokonapetostnih daljnovodov v gozdnem prostoru

4.2 Analysis of the transmission line routes in forest space

V slovenskem gozdnem prostoru je skupno 32,8 % površin, namenjenih visokonapetostnemu omrežju, kar ovrže naša predvidevanja, da večina omrežja poteka skozi gozdni prostor. Površine gozdnih zaplat pod visokonapetostnimi daljnovodi so zelo različnih velikosti, pri čemer lahko pod daljnovodi najdemo tudi sklenjene zaplate, večje od 20 ha. Povprečni nakloni gozdnih zaplat so relativno majhni, medtem ko je oddaljenost od prometnega omrežja zelo majhna in omogoča

dober dostop. Analiza rastišč je v povprečju pokazala izjemno podobnost s povprečnim prirastkom slovenskih gozdov iz leta 2019, ko je le-ta znašal 7,4 m³/ha, leto (Gozd in gozdarstvo, b.l.). Ob tem je treba poudariti, da se prirastek določa na podlagi drevja s prsnim premerom, večjim od 10 cm, slednjega pa pod daljnovodi pričakujemo relativno malo. So pa površine z vidika gozdnih rastiščnih tipov zelo raznolike, saj jih na njih najdemo kar 44.

4.3 Potencial tras visokonapetostnih daljnovodov v gozdnem prostoru

4.3 Potential of the transmission line routes in forest space

Visokonapetostno omrežje Slovenije glede na površino gozda iz leta 2020 zavzema 0,3 % celotnega gozdnega prostora. Za primerjavo: na Švedskem leži znotraj koridorjev 140.000 ha gozdnih površin, kar je okoli 0,5 % vseh gozdnih površin. Na letni ravni očistijo 13.000 ha takih površin, večinoma s klasično ročno-strojno sečnjo, kar znaša 50 % stroškov letnega vzdrževanja sistema daljnovodov. Za zmanjševanje stroškov so z analizo možnosti uporabe strojev s posebno diskasto glavo Bracke C16.b proučevali mogoče alternative. Ugotovili so, da se uporaba strojev v primerjavi s klasično metodo uporabe motorne žage ekonomsko izplača, ko drevje preseže višino okoli šest metrov. V manjših deloviščih so ugotovili, da se tehnologija izplača pri velikosti vsaj 2 do 3 ha in povprečni višini dreves 7,1 m. Pri tem so poudarili, da je poleg višine dreves ekonomika zelo odvisna od koncentracije biomase, pravilne razdalje in cene biomase na trgu (Fernandez-Lacruz in sod., 2013).

Kot prvo se lahko osredotočimo na popolno mehanizirano tehnologijo gospodarjenja v sistemih hitrorastočih grmovnih panjevskih nasadov, kjer so vse faze pridobivanja biomase mehanizirane in nakloni ne smejo presegati 15 % (Caslin in sod., 2015). Iz naših podatkov lahko ugotovimo, da bi bilo v tem primeru pod visokonapetostnimi daljnovodi skupno na voljo 824,5 ha površin, kjer največji naklon ne bi presegal 15 %. Glavna težava teh površin je, da so razpršene po vseh zaplatah,

saj smo analizirali posamezne kvadrate velikost 1 x 1 m. Vseeno pa lahko govorimo o 298,5 ha površin z nakloni, manjšimi od 15 % v primeru, ko so take površine večje od 0,5 ha, oz. 221,0 ha, ko so površine večje od 1 ha. Ob tem je treba poudariti, da smernice snovanja hitrorastočih grmovnih nasadov zaradi hitrega višinskega priraščanja nakazujejo tveganje za gojenje pod daljnovodi (Caslin in sod., 2015). Hkrati je treba nakazati težavo razpršenosti zaplat po celotni Sloveniji in omeniti Čebuline (2011) ugotovitve, ki navaja, da je uvedba specialnih strojev za gospodarjenje z zunaj gozdnimi nasadi hitrorastočih vrst zaradi premajhne izkoriščenosti strojev, omejenih površin, kot tudi velike razpršenosti nasadov ter žetve samo pozimi, v Sloveniji nesmiselna.

Pri klasičnih tehnologijah pridobivanja lesne biomase, ki jih poznamo v Sloveniji, lahko ob konservativni postavitvi meje, da največji naklon za normalno gospodarjenje ne sme presegati 40 %, ugotovimo, da bi bilo za gospodarjenje pod visokonapetostnimi daljnovodi v gozdnem prostoru primernih 2.387,2 ha površin. Tudi ob tem je treba izpostaviti razpršenost površin ter opredeliti, da je le na 1.474,6 ha naklon manjši od 40 %, površina zaplate pa večja od 0,5 ha. V primeru zaplat, večjih od enega hektara, se skupna površina z nakloni, manjšimi od 40 %, zmanjša na 1.175,4 ha.

Posledično lahko trdimo, da je v Sloveniji glede na naš model z nakloni, manjšimi od 40 %, in površino zaplate, večjo od 0,5 ha, 37,8 % površin pod visokonapetostnim omrežjem hipotetično primernih za gospodarjenje in pridobivanje lesne biomase. Pri tem je treba poudariti, da gre za model samo iz naklona in površine ter da smo bili v omejitvah predvsem pri naklonu nekoliko konservativni. Glede na potencialno primerno površino in navedbe avtorjev, omenjene v uvodu našega dela, lahko do neke mere sklepamo o letnih potencialnih lesne biomase pod visokonapetostnim omrežjem. Rédei in sod. (2011) na Madžarskem navajajo volumenske prirastke robinije od 2,4 do 7,8 suhih t/ha, leto, kar bi bilo na naših površinah od 3.539,0 do 11.501,9 suhih t/ha, leto. Slovenske raziskave (Čebul, 2011, in Mihelčič, 2010) za vrbe in topole navajajo pro-

izvodnjo od 7 pa do 25 suhih t/ha, leto, s čimer bi bila proizvodnja pod daljnovodi posledično od 10.322,2 oz. 36.865,0 suhih t/leto. Energetika Ljubljana je na primer leta 2023 porabila 109.908 t lesnih sekancev, pri čemer ne navajajo, ali gre za suhe tone (Letno poročilo 2023, 2024).

Ob potencialih lesne biomase je treba poudariti, da je o akumulacijah lesne mase pod daljnovodi težko sklepati, saj gre za specifične površine. Zagotovo je kot prvo treba omeniti drevesne vrste, ki se tam pojavljajo. Za natančne podatke o teh in dejanski akumulaciji lesne biomase pod visokonapetostnim omrežjem bi bile potrebne določene raziskave, ki jih za Slovenijo nismo zasledili. Na splošno je o tem tudi v tujini malo zapisanega. Zato smo se v naši raziskavi osredotočili na oblike gospodarjenja z nasadi, ki imajo primerljive lastnosti. Posledično je v tako gospodarjenje veliko več vlaganja, predvsem pa je veliko odvisno od pravilne izbire drevesnih vrst. Med drevesnimi vrstami je v načinu gospodarjenja, primernem za trase pod visokonapetostnim omrežjem, največkrat omenjena tujerodna robinija. V tem delu zagotovo velja omeniti tudi špansko raziskavo, ki pri nizkorastočih grmovnih vrstah, kot so *Crataegus* spp., *Rosa* spp., *Prunus spinosa*, *Rhamnus alpinus*, *Amelanchier ovalis*, *Berberis vulgaris* in druge, ki jih pod trasami daljnovodov zagotovo lahko zasledimo, navaja akumulacijo lesne mase v višini 16,73 t/ha in letni prirastek 1,14 t/ha, leto (Pasalodos-Tato in sod., 2015).

Posledično je treba navedene potenciale jemati z rezervo in le kot eno izmed možnosti, ki nakazuje določen potencial, bi ga bilo treba še bolj podkrepiti, predvsem s kakšno terensko raziskavo.

5 ZAKLJUČEK

5 CONCLUSION

Z raziskavo smo ugotovili, da slovensko visokonapetostno omrežje nakazuje potencial z vidika pridobivanja lesne biomase, ki bi ga bilo treba še nekoliko bolj raziskati in v prihodnosti mogoče tudi bolj izkoristiti. Ob tem je treba upoštevati tudi našo metodo, ki je temeljila zgolj na visokonapetostnem omrežju v gozdnem prostoru. Pri tem je treba poudariti, da je v Sloveniji zagotovo še veliko drugih neizkoriščenih površin pod

daljnovodi, ki bi jih veljalo izkoristiti in ki niso uvrščene pod gozd. Hkrati smo o potencialih le teoretsko razglabljali, ob čemer bi bilo treba naše teorije v nadaljevanju podkrepiti s terenskimi raziskavami. Zagotovo pa lahko trdimo, da bi lahko trase visokonapetostnega omrežja v Sloveniji nekoliko bolj izkoristili, ne zgolj za pridobivanje lesne biomase ali katero drugo gospodarsko dejavnost, ampak tudi za ekološke koridorje s poudarkom na povečanju biotske raznovrstnosti, kjer gospodarjenje ne bi bilo smotno.

6 ZAHVALA

6 ACKNOWLEDGEMENT

Za mentorstvo in usmeritve za izdelavo tega članka bi se zahvalili doc. dr. Antonu Pojetu. Za pomoč pri analizah GIS pa se zahvaljujemo tudi dr. Vasji Lebanu.

7 VIRI

7 REFERENCES

- Askins R. 2019. Assessment of Changes in Vegetation Management on Powerline Corridors in Connecticut. Connecticut College (5. 1. 2025)
- Bončina A., Rozman A., Daksobler I., Klopčič M., Babij V. in Poljanec A. 2021. Gozdni rastiščni tipi Slovenije: vegetacijske, sestojne in upravljaljske značilnosti. Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani in Zavod za gozdove Slovenije. Ljubljana, 576 str.
- Caslin B., Finnan J., Johnston C., McCracken A., Walsh L. 2015. Short Rotation Coppice Willow Best Practice Guidelines. Teagasc, Crops Research Centre in Agri-Food and Bioscience Institute. Severna Irska https://teagasc.ie/wp-content/uploads/2025/05/Short_Rotation_Coppice_Best_Practice_Guidelines.pdf (11. 1. 2025)
- Čebul T. 2011. Lesna biomasa iz zunajgozdnih nasadov hitrorastočih vrst: diplomsko delo. Ljubljana. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?lang=slv&id=15985> (9. 2. 2025)
- ELES. 2016. Elektroenergetski sistem RS. https://www.eles.si/Portals/0/Documents/porocila/zgibanke/Zgibanka_2016.pdf (1. 12. 2024).
- Energetski zakon, uradno prečiščeno besedilo. Pravno informacijski sistem Republike Slovenije. 2024. Uradni list RS, 38/24 in 47/25 (9. 2. 2025)
- Fernandez-Lacruz R., Di Fulvio F., Bergström D. 2013. Productivity and profitability of harvesting power

- line corridors for bioenergy. Silva Fennica: 47. <https://doi.org/10.14214/sf.904>
- Gozd in gozdarstvo. b.l. <https://www.gozd-les.com/slovenski-gozdovi/statistika-gozdov> (1. 12. 2024).
- Innis L. 2023. Implementing Integrated Vegetation Management across Europe. Workshop Summary Report (5. 1. 2025)
- Jovičič A. 2023. Izračun povsne verižnice daljnoveoda pri različnih klimatskih spremembah: diplomsko delo. Univerza v Mariboru, Fakulteta za energetiko. <https://dk.um.si/IzpisGradiva.php?lang=slv&id=84777> (9. 2. 2025)
- Krajnc N., Piškur M., Dolenšek M., Božič G., Klun J. 2009. Zunajgozdni nasadi hitrorastočih drevesnih ali grmovnih vrst. Ljubljana. Silva Slovenica. https://www.gozdis.si/f/docs/Publikacije/13_nasadi_hitrorastoce_vrste.pdf (5.1.2025)
- Letno poročilo 2023. 2024. Energetika Ljubljana: skupina Javni holding Ljubljana. https://www.energetika.si/sites/www.jhl.si/files/dokumenti/energetika_ljubljana_lp_2023.pdf (29. 4. 2025)
- LIFE Elia-RTE Project. 2019. Transmission Network Vegetation Management Practices. <http://www.life-elia.eu/en/> (5. 1. 2025)
- Matikainen L., Karila K., Litkey P., Hyyppä J., Hyyppä H. 2016. Remote sensing methods for power line corridor surveys. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing: 119, 10–31. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.05.013> (5. 1. 2025)
- Mihelčič T. 2010. Produktijski potencial drevesnih vrst, primernih za kratke obhodnje, na Slovenskem : diplomsko delo. Ljubljana. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?lang=slv&id=17747> (9. 2. 2025)
- Mongus D., Brumen M., Žlaus D., Kohek Š., Tomažič R., Kerin U., Kolmanič S. 2021. A Complete Environmental Intelligence System for LiDAR-Based Vegetation Management in Power-Line Corridors. Remote Sensing, 13, 24: 5159. <https://doi.org/10.3390/rs13245159>. (5. 1. 2025)
- NERC (North American Electric Reliability Corporation). 2016. Standard FAC-003-4: Transmission Vegetation Management. <https://www.nerc.com/pa/Stand/Reliability%20Standards/FAC-003-4.pdf> (5. 1. 2025)
- Pasalodos-Tato M., Ruiz-Peinado R., del Río M., Montero G., 2015. Shrub biomass accumulation and growth rate models to quantify carbon stocks and fluxes for the Mediterranean region. European Journal of Forest Research, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. DOI 10.1007/s10342-015-0870-6
- PIRS. <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=ZAKO8855> (1. 12. 2024).
- GozdVestn 83 (2025) 5-6
- Red Eléctrica de España. 2021. Pioneering Project Grazing. <https://www.ree.es/en/press-office/news/press-release/2021/03/red-electrica-pioneering-project-grazing> (5. 1. 2025)
- Rédei K., Csiha I. in Keszű Z. 2011. Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) short-rotation crops under marginal site conditions. Acta Silvatica et Lignaria Hungarica, 7, 125–132. <http://dx.doi.org/10.37045/aslh-2011-0010>
- Renewables Grid Initiative. (n.d.). Best Practices Database – REN's Biodiversity Projects. 2010. <https://renewables-grid.eu/activities/best-practices/database.html?detail=296&cHash=ccb27f5d318dd4509b00627e905d8eb2> (5. 1. 2025)
- Smole I. 1981. Problematika načrtovanja in urejanja koridorjev energetskega vodov v gozdnem prostoru SR Slovenije. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 19, 1.
- Spinelli R., Cacot E., Mihelcic M., Nestorovski L., Mederski P., Tolosana E. 2016. Techniques and productivity of coppice harvesting operations in Europe: a meta-analysis of available data. Annals of Forest Science, 73, 4:1125–1139. DOI:10.1007/s13595-016-0578-x
- Spinelli R., Eboneb A. in Gianella M. 2014. Biomass production from traditional coppice management in northern Italy. Biomass and Bioenergy: 62, 68–73. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.01.014>
- Svenska kraftnät. 2021. Maintenance of the National Grid. <https://www.svk.se/en/national-grid/reliable-electricity-supply/maintenance-of-the-national-grid/> (5. 1. 2025)
- Tubby I., Armstrong A. 2002. Establishment and Management of Short Rotation Coppice. Forest Research. <https://cdn.forestresearch.gov.uk/2022/02/fcpn7.pdf> (5.1.2025)
- Zakon o gozdovih, neuradno prečiščeno besedilo št. 12. Pravno informacijski sistem Republike Slovenije. 1993. Uradni list RS, 30/93, 56/99 – ZON, 67/02, 110/02 – ZGO-1, 115/06 – ORZG40, 110/07, 106/10, 63/13, 101/13 – ZDavNepr, 17/14, 22/14 – odl. US, 24/15, 9/16 – ZGGLRS, 77/16 in 78/23 – ZUNPEOVE. <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=ZAKO270> (22. 8. 2025)
- Zupančič A. 2024. Intervju z zaposlenim v podjetju ELES, d.o.o. na področju upravljanja z vegetacijo pod visokonapetostnimi daljnovodi. Ljubljana, ELES, d.o.o. (osebni vir, 25. 11. 2024)
- Žitko U., Krajnc N., Triplat M. 2021. Primer dobre prakse: Strojno redčenje mlajših sestojev. Gozdarski inštitut Slovenije. https://www.gozdis.si/f/docs/projekti/SmallwoodGPE_web.pdf (5.1.2025)