

Oznaka poročila: ARRS-CRP-ZP-2021/10



ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH CILJNEGA RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra	V4-1821
Naslov	Pregled in presoja modelov razvoja gozdov za gozdnogospodarsko načrtovanje na različnih prostorskih ravneh
Vodja	28501 Matija Klopčič
Naziv težišča v okviru CRP	3.5.4. Določitev modelov razvoja gozdov za podporo gozdnogospodarskemu načrtovanju na različnih načrtovalskih ravneh
Obseg učinkovitih ur raziskovalnega dela	630
Cenovna kategorija	B
Obdobje trajanja	11.2018 - 10.2020
Nosilna raziskovalna organizacija	510 Univerza v Ljubljani 481 Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	404 Gozdarski inštitut Slovenije
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	4 BIOTEHNIKA 4.01 Gozdarstvo, lesarstvo in papirništvo 4.01.01 Gozd - gozdarstvo
Družbeno-ekonomski cilj	02. Okolje
Raziskovalno področje po šifrantu FORD	4 Kmetijske vede in veterina 4.01 Kmetijstvo, gozdarstvo in ribištvo

2. Sofinancerji

	Sofinancerji		
1.	Naziv	Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano	
	Naslov	Dunajska cesta 22, 1000 Ljubljana	
2.	Naziv	Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije	

	Sofinancerji
Naslov	Bleiweisova cesta 30, 1000 Ljubljana

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

3. Povzetek raziskovalnega projekta¹

SLO

Model razvoja gozdov predstavlja poenostavljen prikaz stanja in sprememb gozdnih sestojev zaradi procesov v gozdnem ekosistemu. V Sloveniji področje modeliranja razvoja gozdov ni razvito v tolikšni meri kot v tujini. Cilji projekta so bili: 1) izdelati pregled in presojo modelov razvoja gozdov na nacionalni ravni za potrebe mednarodnega poročanja in primerjave razvoja gozdov, 2) izdelati pregled modelov razvoja gozdov za upravljanje gozdov na različnih načrtovalskih ravneh; 3) ovrednotiti modele razvoja gozdov z vidika uporabnosti za upravljanje z gozdovi in gozdnogospodarsko načrtovanje; 4) presoditi uporabnost obstoječih podlag in podatkovnih virov; 5) aplicirati izbrane modele razvoja gozdov na testnih območjih; in 6) opredeliti zasnovo modeliranja razvoja gozdov v Sloveniji in vključitve modelov razvoja gozdov v upravljanje z gozdovi na različnih ravneh.

Presoja modelov, ki se v Evropi uporabljajo za simuliranje gozdov na nacionalni ravni in mednarodno poročanje, je kot najustreznejšega izpostavila model CBM-CFS3, sledili pa so mu modeli SILVA, CALDIS in FORMIT-M. Ocenjujemo, da je za simuliranje razvoja gozdov na nacionalni ravni in mednarodno poročanje smiselno privzeti model CBM-CFS3, smiselno in možen je razvoj lastnega modela.

Presoja identificiranih tipov modelov razvoja gozdov z AHP metodo je pokazala, da so najvišjo oceno z vidika uporabnosti za upravljanje gozdov dobili empirični modeli povprečij, sledijo jim populacijski modeli. Potencialno uporabnost 10 modelov za simuliranje razvoja posameznega sestoja in gozdnega območja smo ocenili s kombinacijo metod AHP in TOPSIS. Med najustreznejše modele za upravljanje z gozdovi na sestojni ravni lahko prištejemo empirične modele MOSES, MASSIMO in SLOMATRIX ter hibridni model SILVA, za upravljanje gozdnih območij pa še model WIS.2. Menimo, da bi bila uporaba kateregakoli izmed teh modelov dobrodošla, a ocenjujemo, da je smiselno začeti razvijati lastne modele za simulacijo razvoja gozdov na vseh načrtovalskih ravneh.

Analiza dostopnosti vhodnih podatkov za zagon modelov in izvedbo simulacij razvoja gozdov je pokazala, da gozdarski informacijski sistem in druge dostopne podatkovne zbirke vključujejo večino podatkov o gozdnih sestojih, ki so praviloma zadostni za zagon empiričnih modelov razvoja gozdov, za zagon procesnih in hibridnih modelov pa nekaterih podatkov v dostopnih podatkovnih zbirkah zaenkrat ni na voljo. V okviru projekta smo testirali možnost zagona in izvedbo simulacij ob uporabi trenutnih podatkovnih virov dveh modelov (SiWaWa, WIS.2).

Sintezna zasnova vključevanja modelov razvoja gozdov v gozdnogospodarsko načrtovanje predvideva, da je ključno razviti model razvoja gozdov ali sistem za podporo odločanju z vključenim enim ali več modeli razvoja gozdov. Za simuliranje razvoja gozdov na državni ravni za oblikovanje gozdne politike in mednarodno poročanje predlagamo, da se privzame ustrezno parametriziran model, dolgoročno pa je smiselno razviti lastni tovrstni model.

ANG

A forest development model represents a simplified presentation of the current state and changes of forest stands due to processes going on in forest ecosystem. In Slovenia, forest development modeling is not as evolved as in many other countries. The objectives of the project were: 1) to review and assess forest development models (hereafter models) at the national level used by European countries for the international reporting and comparison purposes, 2) to review models used for forest management purposes at different planning and spatial levels; 3) to evaluate models in regard to their applicability for forest management and planning; 4) to assess the applicability of existing databases and other data sources; 5) to apply selected models in test areas, and 6) to define the concept of forest development modeling in Slovenia and the introduction of models into forest management at different spatial levels.

The assessment of the models used in Europe for forest simulations at the national level and for international reporting highlighted the CBM-CFS3 model as the most appropriate, followed by models SILVA, CALDIS, and FORMIT-M. It was estimated that CBM-CFS3 model can be used for simulating forest development at the national level and for international reporting in its original version. However, we propose to develop our own model for simulating forest development at the national level for forest policy decision-making and for international reporting.

The assessment of the identified types of the models by the AHP method showed that the highest score in terms of its applicability to forest management reached the empirical average tree models, followed by the distribution models. The potential applicability of 10 models to simulate the

development of an individual stand or forest area was assessed using a combination of the AHP and TOPSIS methods. The empirical models MOSES, MASSIMO and SLOMATRIX and a hybrid model SILVA were evaluated as the most suitable models to be used in stand level forest management, the same models together with WIS.2 were found as most suitable for forest areas.

Forest information system and other accessible databases make available all input data for the initialization of models and the implementation of forest development simulations, which are generally sufficient to run empirical models. There are, however, some inconsistencies in database to run the process and hybrid models, missing or incomplete are mainly data on forest soil characteristics and site productivity (site indices). We also tested the initialization and performing simulations with two models (SiWaWa, WIS.2) using the current data sources.

The developed concept of forest development models' integration into forest management planning assumes that it is crucial to develop our own forest development model or decision support system incorporating one or more forest development models. For simulating forest development on a national level, an adoption of a suitable model is suggested, but the long-term goal should be a development of an own model.

4. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela oz. ciljev raziskovalnega projekta²

Projekt je realiziral vse zastavljene cilje in postregel z veliko novega znanja in izkušenj na področju modeliranja razvoja gozdov. Ker je bilo to področje v Sloveniji v preteklosti zapostavljeno, je takšno znanje nujno za nadaljevanje razvoja področja. Pridobljeno znanje bo usmerjeno v dolgoročni cilj projektne skupine, da se razvije enega ali več lastnih modelov razvoja gozdov, ki jih bo možno aktivno uporabljati v postopkih na različnih ravneh gozdnogospodarskega načrtovanja in drugih aktivnostih gozdarskih strokovnjakov. Člani projektne skupine smo objavili tudi več znanstvenih člankov, dva med njimi v revijah s SCI indeksom.

Cilji projekta so bili naslednji:

1. izdelati pregled in presojo modelov razvoja gozdov na nacionalni ravni, ki jih uporabljajo evropske države za potrebe mednarodnega poročanja in primerjave razvoja gozdov,
2. izdelati pregled modelov razvoja gozdov za upravljanje gozdov različnih načrtovalskih in prostorskih ravneh;
3. ovrednotiti modele razvoja gozdov z vidika uporabnosti za upravljanje z gozdovi in gozdnogospodarsko načrtovanje;
4. presoditi uporabnost obstoječih podlag in podatkovnih virov za modeliranje razvoja gozdov;
5. aplicirati izbrane modele razvoja gozdov na testnih območjih; in
6. opredeliti zasnovo modeliranja razvoja gozdov v Sloveniji in vključitve modelov razvoja gozdov v upravljanje z gozdovi na različnih ravneh.

Zastavljene cilje smo realizirali z različnimi metodologijami, zato je pri opisih realizacije ciljev (rezultatov) kratko označena tudi uporabljena metodologija.

Za realizacijo **cilja 1** smo izdelali pregled modelov, ki se v Evropi uporabljajo za simuliranje razvoja gozdov na nacionalni ravni in mednarodno poročanje. Vrednotenje modelov (presoja) s klasičnim rangiranjem po modelu tehtane vsote (Song in Kang, 2016) je kot najustreznejšega izpostavila model razvoja gozdov CBM-CFS3, ki se v številnih državah uporablja za tovrstno simuliranje razvoja gozdov, sledili pa so mu modeli SILVA, CALDIS in FORMIT-M. Izvedena analiza občutljivosti modela CBM-CFS3 je nakazala, da je ta model uporaben tudi za simuliranje razvoja gozdov v Sloveniji. Preizkusiti bi veljalo še modela SILVA in CALDIS, saj sta klimatsko občutljiva in bi lahko simulirala vpliv podnebnih sprememb na razvoj gozdov. Ocenjujemo, da je za simuliranje razvoja gozdov na nacionalni ravni in mednarodno poročanje smiselno privzeti model CBM-CFS3, prednost modela je ta, da daje rezultate za vsa skladišča ogljika, in sicer v ustreznih enotah, saj vsebuje algoritem za pretvorbo volumna v biomaso. Bi pa lahko pristopili tudi k razvoju lastnega modela, a je potrebno upoštevati omejitve človeških in finančnih virov. Rezultat raziskovalnega dela v sklopu realizacije tega cilja je bil objavljen znanstveni članek v reviji, indeksirani s SCI indeksom (Jevšenak in sod., 2020), rezultati so bili uporabljeni pri več publikacijah (npr. Mali in sod., 2020; Poljanec in sod., 2020), ki jih nekatere izpostavljamo kot pomembne družbene dosežke projekta, saj so pomembni za oblikovanje gozdne in drugih politik.

V sklopu realizacije **cilja 2** smo na podlagi zbranih informacij o načinu izgradnje modelov eno izmed osnovnih klasifikacij modelov razvoja gozdov, ki se uporablja za upravljanje gozdov (Porté in Bartelink, 2002), dopolnili in identificirali 10 različnih tipov modelov razvoja gozdov. Končna presoja identificiranih tipov modelov razvoja gozdov z AHP metodo je pokazala, da so najvišjo oceno z vidika uporabnosti za upravljanje gozdov dobili empirični modeli povprečij, sledijo jim populacijski modeli, nekoliko nižjo oceno pa so prejeli prostorsko odvisni sestojni modeli, donosne tablice in empirični prostorsko neodvisni drevesni modeli, najnižje ocene so dobili procesni in hibridni modeli različnih tipov. Nadaljnji razvoj modeliranja razvoja gozdov v Sloveniji je smiselno usmerjati predvsem v tiste tipe modelov, ki so se v presoji izkazali kot najprimernejši. Nikakor pa to ne pomeni, da lahko zanemarimo ostale tipe

modelov, zlasti je pomemben razvoj na področju modelov, ki omogočajo upoštevanje vpliva podnebnih sprememb (raziskave). Metodologija in podrobni rezultati so opisani v zaključnem vsebinskem poročilu in izsledku D2 (Klopčič in sod., 2019).

Cilj 3 smo realizirali z objavo izsledka D3.1 (Klopčič in sod., 2020), pri čemer smo sodelovali z več tujimi partnerji (npr. Tehniška univerza v Münchnu, Nemčija; Visoka šola za aplikativne študije v Bernu, Švica; WSL Zürich, Švica). Deset izbranih modelov razvoja gozdov različnih tipov smo presojali glede njihove uporabnosti za upravljanje z gozdovi v Sloveniji. Potencialno uporabnost modelov smo ocenili po 20 kriterijih, s kombinacijo AHP in TOPSIS metod smo ocenjevali potencialno uporabnost modela za simuliranje razvoja posameznega sestoja in gozdnega območja (metodologija je podrobneje opisana v Klopčič in sod., 2020). Med najustreznejše modele razvoja gozdov, ki bi jih lahko uporabili pri upravljanju z gozdovi na sestojni ravni, lahko prištejemo empirične modele MOSES, MASSIMO in SLOMATRIX ter hibridni model SILVA, za upravljanje gozdnih območij pa tem modelom lahko dodamo še model WIS.2. Vsi ti modeli z izjemo modela SILVA (hibridni model) so empirični, procesni modeli so se v presoji generalno slabše odrezali. Vsi najbolj ocenjeni modeli lahko kot vhodne podatke uporabijo podatke, ki se v Sloveniji zbirajo v gozdni inventuri, vsi omogočajo simulacijo različnih ukrepov in njihovega vpliva na rast in razvoj sestojev, izpisi omogočajo integrabilnost v sisteme za podporo odločanju. Prav tako je bila primernost teh modelov za rabo v Sloveniji (t.j. upoštevanje rastiščne heterogenosti, simuliranje razvoja mešanih in listnatih ter raznomernih gozdov) ocenjena visoko. Zgradba, koncept in delovanje teh modelov je takšno, da je njihova uporaba za simuliranje razvoja gozdov vsaj nekaterih gozdnih tipov možna z osnovno različico modela (t.j. parametrizirano za gozdove v državi, iz katere model prihaja) ali pa je možna dokaj hitra in enostavna parametrizacija modela za slovenske rastiščne razmere in gozdove. Na podlagi rezultatov tega sklopa projekta menimo, da bi bila uporaba kateregakoli izmed teh modelov pri upravljanju z gozdovi v Sloveniji ob ustreznih validaciji in parametrizaciji modela dobrodošlo, a vseeno ocenjujemo, da bi bilo smiselno začeti razvijati lastne modele za simulacijo razvoja gozdov tako na sestojni ravni kot na ravni gozdnih območij. V primeru izgradnje lastnega modela menimo, da si lahko enega ali več najbolj ocenjenih modelov vzamemo za zgled, lahko pa v nov model poskušamo vgraditi dele (module), ki jih v posameznem modelu ocenjujemo kot dobre ali najboljše.

Cilj 4 o presoji uporabnosti obstoječih podlag in podatkovnih virov za modeliranje razvoja gozdov smo realizirali z objavo izsledka D3.2 (Klopčič in sod., 2020) in objavami več znanstvenih člankov in prispevkov na znanstvenih konferencah. Analiza dostopnosti vhodnih podatkov za zagon modelov in izvedbo simulacij razvoja gozdov je pokazala, da gozdarski informacijski sistem vključuje večino podatkov o gozdnih sestojih, ki so v precejšnji meri zadostni za zagon mnogih modelov razvoja gozdov, nekateri podatki so na voljo v drugih prosto dostopnih podatkovnih zbirkah, nekaterih, predvsem podatkov o različnih rastiščnih lastnostih pa v dostopnih podatkovnih zbirkah zaenkrat ni na voljo.

Najpomembnejši podatkovni vir o stanju gozdov za uporabo modelov razvoja gozdov je podatkovna zbirka stalnih vzorčnih ploskev (SVP). Ti podatki omogočajo uporabo večine modelov razvoja gozdov (tako prostorsko neodvisnih kot odvisnih). Izpostavimo pa lahko dve večji pomanjkljivosti te podatkovne zbirke oziroma metodologije inventure na SVP: i) majhnost ploskve in ii) manjkajoči podatki o pomladku in tankem drevju do merskega praga 10 cm. Menimo, da je nujno ohraniti metodologijo zbiranja podatkov na SVP, predlagana pa je dopolnitev aktualne metodologije s snemanjem pomladka in tankega drevja. Za simuliranje razvoja gozdov na državni ravni je zadostni vir podatkovna zbirka NFI, ki se aktivno posodablja in nadgrajuje.

Manjkajoči ali nepopolni so predvsem podatki o značilnostih gozdnih tal in rastiščnih indeksih. Tov precejšnji meri onemogoča ali vsaj otežuje uporabo predvsem procesnih in hibridnih modelov.

Gozdarski podatkovni sloji so med seboj slabo povezani in povezljivi, na primer podatke o asociaciji in rastiščnem indeksu je nemogoče nedvoumno privedi na raven stalne vzorčne ploskve. Rastiščni indeks je možno pridobiti tudi iz podatkov daljinskega zaznavanja (LiDAR) ali celo podatkov s SVP, kar je smiselno preveriti.

Pri aktualizaciji in nadgradnji podatkovnih virov se je nujno poslužiti vseh novih tehnologij pridobivanja podatkov (npr. LiDAR). V okviru realizacije tega cilja smo razvijali tudi nove pristope k razvoju statističnih modelov različnih sestojnih parametrov in simulacije procesov kot so rast dreves in sestojev, mortaliteta, vrast.

Rezultat raziskovalnega dela na tem področju je objavljen znanstveni članek v reviji, indeksirani s SCI indeksom (Jevšenak in Skudnik, 2019), in več prispevkov na mednarodnih znanstvenih konferencah (npr. Trifković in sod., 2018; Klopčič in sod., 2019; Trifković in sod., 2019).

Z aplikacijo različnih modelov na testnih območjih smo realizirali tudi **cilj 5**, testirali smo predvsem možnost uporabe podatkovnih virov v gozdarskem informacijskem sistemu za njihov zagon in izvedbo simulacij razvoja gozdov na testnih območjih gozdov, v dveh primerih smo izvedli tudi validacijo modela. Validirali in testirali smo dva modela (SiWaWa, WIS.2), pred pričetkom projekta smo v Sloveniji že testirali štiri modele (ForClim, MOSES, EFISCEN in LPJ-GUESS), enega pa razvili (SLOMATRix). Na podlagi literature smo pregledali in ocenili še tri modele (SILVA, MASSIMO, LANDIS II). Vsakemu modelu smo izpostavili prednosti in slabosti.

Testiranja in pregled razpoložljive literature so izpostavila nekaj modelov razvoja gozdov, ki bi bili potencialno uporabni pri upravljanju z gozdovi v Sloveniji. Nakazani potenciali modelov so vredni nadaljnega preizkušanja, vsekakor pa je potrebno razmišljati o izdelavi lastnega modela razvoja gozdnih sestojev in hkrati tudi orodja za hkratno simulacijo razvoja gozdov in okvirno načrtovanje upravljanja z gozdovi. Pri razvoju pa je vsekakor smiselno uporabljati rešitve, ki jih ponujajo nekateri testirani modeli razvoja gozdov.

Rezultat raziskovalnega dela na tem področju je objavljen znanstveni članek v reviji, indeksirani s SCI indeksom (Jevšenak in sod., 2020), in znanstveni članek v domači strokovni reviji gozdarski vestnik (Klopčič, 2021). Vsa testiranja so detajlno opisana v izsledku D3.3 (Klopčič in sod., 2020).

Cilj 6 smo realizirali z izsledkom D4 (Klopčič in sod., 2020). Razvita zasnova vključevanja modelov razvoja gozdov v gozdnogospodarsko načrtovanje predvideva, da je ključno razviti model razvoja gozdov ali sistem za podporo odločanju z vključenim enim ali več modeli razvoja gozdov, ki bo povezal okvirno načrtovanje na ravni rastiščnogojitvenih razredov v GGE in podrobno načrtovanje na ravni posameznih gozdnih sestojev. Isti model/sistem bi bil potencialno uporaben tudi za oblikovanje strategij gospodarjenja z gozdovi na ravni gozdnogospodarskih območij. Opijsko, še bolj pa vzporedno, se lahko razvijajo modeli za simuliranje razvoja gozdov na posamezni prostorski ravni (sestoj, gozdno območje), prioriteta je razvoj modela/sistema za okvirno načrtovanje, možen je tudi prevzem in parametrizacija ustreznega v tujini razvitega modela. Za simuliranje razvoja gozdov na državnih ravni za oblikovanje gozdarskih politik in mednarodno poročanje predlagamo, da se privzame ustrezno parametriziran model, dolgoročno pa je smiselno razviti lastni tovrstni model.

V zaključnem vsebinskem poročilu (priloga tega poročila) so podana tudi priporočila naročnikom projekta glede vključevanja modelov razvoja gozdov v gozdnogospodarsko načrtovanje in širše upravljanje z gozdovi v Sloveniji in nadgradnje podatkovnih virov, ki jih modeli potrebujejo za zagon in izvedbo simulacij razvoja gozdov.

5. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem projektu in zastavljenih raziskovalnih ciljev³

Zastavljeni cilji projekta so bili v celoti realizirani.

Kljub doseženemu cilju je bilo manjše odstopanje od zelene realizacije zastavljenega cilja v delovnem sklopu DS 3.3 »Testni primeri uporabe modelov«. V tem sklopu smo predvidevali testiranja različnih modelov razvoja gozdov, kar pa ni bilo v celoti realizirano. Vzrok temu je bila razglašena epidemija Covid-19 v marcu 2020. V marcu naj bi namreč študentka MSc študija opravila študijsko prakso preko instrumenta Erasmus na Univerzi v Bariju, Italija, kjer bi v okviru magistrske naloge opravila validacijo, parametrizacijo in preizkus prostorsko odvisnega sestojnega modela LANDIS II za uporabo v Sloveniji. Študijska izmenjava in s tem raziskava je žal zaradi razmer odpadla. Drugo raziskavo bi moral opraviti študent iz Francije (INSA, Lyon), ki bi pri vodji projekta na Biotehniški fakulteti opravljal študijsko prakso v okviru bilateralnega sporazuma med institucijama. Predvideno je bilo, da bo študent opravil širše zastavljeno validacijo in raziskavo uporabnosti modela SiWaWa v Sloveniji. Tudi ta praksa je zaradi epidemiološke situacije v obeh državah žal odpadla. Vseeno je bila predvidena raziskava izvedena, le v manjšem obsegu kot je bilo predvideno prvotno (objavljen znanstveni članek Klopčič, 2021).

6. Spremembe programa dela raziskovalnega projekta oziroma spremembe sestave projektne skupine⁴

Delo na projektu je sledilo zastavljenemu programu v prijavi projekta, odstopanje od časovno zastavljenega programa se je zgodilo le pri zaključku delovnega sklopa DS2 in izdaji izsledka D2 (predvideni zaključek 30.6.2019, dejanski zaključek 19.11.2019), kar pa ni bistveno vplivalo na izvedbo ostalih delovnih sklopov projekta.

Spremembe sestave projektne skupine:

Na vodilni instituciji Biotehniška fakulteta UL sta bili v projektno skupino v 2020 dodani dr. Tina Simončič (april 2020) in Živa Bončina (maj 2020). Dr. Simončičeva je bila vključena kot strokovnjakinja za funkcije gozdov in ekosistemske storitve in je v projektu delovala predvsem na delovnem sklopu DS3.2 na oceni in izboljšanju podatkovnih virov za modeliranje, ki so na voljo v gozdarskem informacijskem sistemu. Živa Bončina pa se v okviru podiplomskega doktorskega študija ukvarja z raziskovanjem demografskih značilnosti bukovih gozdov in debelinskega priraščanja dreves v enomernih bukovih gozdovih, kar je v delovnem sklopu DS2 obravnaval tudi projekt V4-1821.

Raziskovalka je razvijala predvsem prirastoslovne podlage za modeliranje, kar je bil pomemben cilj projekta.

V projektno skupino partnerske institucije Gozdarski inštitut Slovenije (GIS) pa sta bila vključena raziskovalca dr. Jernej Jevšenak (april 2020) in dr. Gal Kušar (september 2020). Vloga za vključitev dr. Jevšenaka v projektno skupino je bila poslana v aprilu 2020 (skupaj z vlogo za vključitev dr. Simončičeve), a je pri vnosu raziskovalca v projektno skupino prišlo do pomote in je bil po urgiranju v projektno skupino vključen šele jeseni 2020. Dr. Jevšenak je bil vključen kot strokovnjak za modeliranje dinamike zalog ogljika v gozdnih ekosistemih in poznavalec več modelov razvoja gozdov, ki se uporabljajo za modeliranje dinamike zalog ogljika, s čimer je precej pripomogel k uspešnosti zaključnega dela CRP projekta. Dr. Kušar pa je bil vključen v izvajanje aktivnosti, povezanih z modeliranjem razvoja gozdov na nacionalni ravni in EU poročanje, v zaključni fazi projekta.

7. Najpomembnejši dosežki projektne skupine na raziskovalnem področju⁵

Dosežek			
1.	COBISS ID	32930819	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Vpliv poseka na nacionalne ponore ogljika do leta 2050, simulirane z modelom CBM-CFS3
		ANG	The effect of harvesting on national forest carbon sinks up to 2050 simulated by the CBM-CFS3 model
	Opis	SLO	Zaradi pričakovanih podnebnih sprememb se bo pomen gozdov kot ponora ogljika povečal. Poznavanje dinamike ogljika v gozdu je ključno za prilagajanje upravljanja z gozdovi in zagotavljanja določil Pariške konvencije glede mednarodnega poročanja. Eden najpogostejše uporabljenih modelov razvoja gozdov za simulacije dinamike ogljika v gozdnih je CBM-CFS3 (Carbon Budget Model of the Canadian Forest Sector). Model smo uporabili za simulacije vpliva poseka na dinamiko ogljika v slovenskih gozdnih. Simulirali smo razvoj gozdov po petih scenarijih: 1) "business-as-usual" (BAU), 2) načrtovan posek (PLAN), 3) pogostejše naravne motnje (HAZ), 4) povišan posek (HH) in 5) znižan posek (LH). Simulacije dinamike ogljika so razkrile značilne razlike med scenariji poseka. Glede na primerjalno leto 2014 naj bi se do leta 2050 zaloga ogljika v nadzemni biomasi po vseh scenarijih povečala, in sicer za: LH 28,4 %, BAU 19 %, PLAN 10 %, HAZ 6,5 % in HH 1,2 %. Slovenski gozdovi bodo tako v prihodnje predstavljali ponor ogljika vse dokler skupen letni posek ne bo presegel 9 mio m ³ , kar je približno enako ocenjenemu letnemu volumenskem prirastku vseh gozdov. Naši rezultati so pomembni tudi z vidika določanja referenčne ravni poseka (FRL), ki bo veljala v državah EU v obdobju 2021-2025. Za Slovenijo je bila FRL določena na -3270,2 Gg CO ₂ eq/leto, kar pomeni, da celoten letni posek ne sme preseči 6 mio m ³ .
		ANG	With the advent of global warming, forests are becoming an increasingly important carbon sink that can mitigate the negative effects of climate change. An understanding of the carbon dynamics of forests is, therefore, crucial to implement appropriate forest management strategies and to meet the expectations of the Paris Agreement with respect to international reporting schemes. One of the most frequently used models for simulating the dynamics of carbon stocks in forests is the Carbon Budget Model of the Canadian Forest Sector (CBM-CFS3). We applied this model in our study to evaluate the effects of harvesting on the carbon sink dynamics in Slovenian forests. Five harvesting scenarios were defined: (1) business as usual (BAU), (2) harvesting in line with current forest management plans (PLAN), (3) more frequent natural hazards (HAZ), (4) high harvest (HH) and (5) low harvest (LH). The simulated forest carbon dynamics revealed important differences between the harvesting scenarios. Relative to the base year of 2014, by 2050 the carbon stock in above-ground biomass is projected to increase by 28.4%

	Dosežek		
			(LH), 19% (BAU), 10% (PLAN), 6.5% (HAZ) and 1.2% (HH). Slovenian forests can be expected to be a carbon sink until harvesting exceeds approximately 9 million m ³ annually, which is close to the calculated total annual volume increase. Our results are also important in terms of Forest Reference Levels (FRL), which will take place in European Union (EU) member states in the period 2021–2025. For Slovenia, the FRL was set to –3270.2 Gg CO ₂ eq/year, meaning that the total timber harvested should not exceed 6 million m ³ annually.
	Objavljeno v	MDPI; Forests; 2020; Vol. 11, article 1090; 16 str.; Impact Factor: 2.221; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.669; A': 1; Avtorji / Authors: Jevšenak Jernej, Klopčič Matija, Mali Boštjan	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
2.	COBISS ID	54039299	Vir: vpis v obrazec
	Naslov	SLO	Preverjanje uporabnosti modela SiWaWa za simuliranje razvoja čistih bukovih in smrekovih enomernih sestojev v Sloveniji
		ANG	The applicability of the SiWaWa stand model for simulating stand development of pure beech and spruce even-aged forest stands in Slovenia
	Opis	SLO	Modeli razvoja gozdov napovedujejo razvoj dreves in gozdnih sestojev glede na drevesne, sestojne, rastiščne in gozdnogospodarske dejavnike. Zaradi kompleksne narave gozdnih ekosistemov in dolgih proizvodnih ciklov je modeliranje razvoja gozdov pomemben sestavni del upravljanja gozdov. Sestojni modeli so bili prepoznani kot primerni za podporo odločanju pri upravljanju z gozdovi, primer takega modela je švicarski model SiWaWa, ki smo ga v pričujoči raziskavi preizkusili. Na štirih vzorcih po 50 stalnih vzorčnih ploskev v negospodarjenih in gospodarjenih čistih bukovih in čistih smrekovih enomernih sestojih smo izvedli simulacije razvoja gozdov za obdobje 10 let, nato pa smo primerjali dejanske vrednosti in modelske napovedi za sestojno temeljnico G, število dreves N in srednje temeljnični premer Dg. Napovedovanje razvoja čistih bukovih gozdov je bilo točno, celotna napaka RMSE za sestojno temeljnico je v negospodarjenih sestojih znašala 2,35 m ² /ha, v gospodarjenih sestojih pa 3,42 m ² /ha ob upoštevanju le posekanih dreves in 4,35 m ² /ha ob upoštevanju celotne mortalitete. Enako pa ne moremo trditi za napovedovanje razvoja čistih smrekovih sestojev. Mere točnosti so bile pri slednjih znatno slabše, saj so RMSE za napovedano sestojno temeljnico znašali 8,94 m ² /ha za negospodarjene in 6,13 m ² /ha ter 6,11 m ² /ha za gospodarjene sestojne ob upoštevanju poseka oziroma celotne mortalitete. Model SiWaWa, ki je parameteriziran za švicarske gozdove, se zdi uporaben za simuliranje razvoja čistih bukovih gozdov brez ali s simuliranim ukrepanjem (posekom), zanesljive simulacije razvoja čistih smrekovih sestojev pa model zaenkrat še ne omogoča.
		ANG	Forest development models predict development of trees and forest stands according to tree, stand, site, and forest management factors. Due to complex nature of forest ecosystems and long production cycles, forest development modeling is an important feature of forest management. Stand models have been identified as suitable for decision support in forest management, an example of such a model is the Swiss model SiWaWa (Rosset et al., 2013), which was tested in Slovenian forests in the present study. Forest development simulations for 10-y periods were performed on four samples of 50 permanent sample plots in unmanaged and managed pure beech and pure spruce stands. Afterwards, we compared the actual and modelled values of stand basal area G, number of trees N, and mean squared diameter Dg. Predicting the development of pure beech forests was fairly accurate, the root mean square error RMSE for G was 2,35 m ² /ha for unmanaged, and 3,42 m ² /ha and 4,35 m ² /ha for managed stands considering only harvesting or entire mortality,

Dosežek		
		respectively. We cannot claim the same for the development of pure spruce stands. Measures of accuracy were significantly worse, the RMSE was 8,94 m ² /ha for unmanaged stands, and 6,13 m ² /ha and 6,11 m ² /ha for managed stands considering only harvesting or entire mortality, respectively. The SiWaWa model, parameterized for Swiss forests, seems to be applicable for simulating the development of pure beech forests without or with simulated fellings, but the model does not yet provide reliable simulations for pure spruce stands.
Objavljeno v		Gozdarski vestnik = Slowenische Forstzeitung = Slovenian journal of forestry: slovenska strokovna revija za gozdarstvo. ISSN 0017-2723. - Letn. 79, št. 1 (2021), str. 3-20
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID	29906947 Vir: COBISS.SI
Opis	Naslov	SLO Model naključnih gozdov za napovedovanja temeljničnega prirastka iz podatkov nacionalne gozdne inventure
		ANG A random forest model for basal area increment predictions from national forest inventory data
		SLO V prispevku predstavljamo enega prvih poskusov uporabe modela strojnega učenja za napovedovanje in interpretacijo temeljničnega prirastka na podlagi podatkov iz nacionalne gozdne inventure (NGI). Predstavljen model temelji na algoritmu naključnega gozda (an. Random Forest), naučenem z uporabo 18 neodvisnih spremenljivk in 15.580 podatkovnih točk (drevesa iz slovenske NGI). RF model smo razvili za štiri posamezne drevesne vrste in dve skupini drevesnih vrst ter ocenili napako z 10-kratno bločno navzkrižno validacijo. Ocena pojasnjene variance, ki smo jo izračunali na neodvisnih podatkih, se je gibala od 0,289 za rdeči bor (<i>Pinus Sylvestris</i>) do 0,342 za vrste javorja in jesena (<i>Acer sp.</i> in <i>Fraxinus sp.</i>), 0,429 za hraste (<i>Quercus sp.</i>), 0,475 za navadno smreko (<i>Picea abies</i>), 0,486 za navadno bukev (<i>Fagus sylvatica</i>) in 0,565 za navadno jelko (<i>Abies alba</i>). Najpomembnejši napovedni spremenljivki sta bili temeljnica posameznih dreves in njihov kompeticijski status, izražen kot vsota površin temeljnic večjih dreves (an. Basal Area in Large trees) ter socialni položaj dreves. Simulacije izbranih ključnih spremenljivk so pokazale različne ekološke lastnosti preučevanih drevesnih vrst: navadna jelka in smreka sta imeli najboljše prirastne lastnosti, medtem ko je imela navadna bukev najboljše kompeticijske lastnosti. Pri plemenitih listavcih in navadni jelki smo opazili izrazite rastiščno-specifične zahteve, medtem so hrasti in rdeči bor kazali manj rastiščno-specifičnih zahtev in širše ekološke amplitude. Raziti model smo primerjali s primerljivimi modeli za napovedovanje temeljnice in ugotovili podobne napovedne sposobnosti in bi ga zato lahko uporabili kot orodje pri upravljanju s slovenskimi gozdovi in za strokovno utemeljene odločitve.
		ANG Here, we present one of the first attempts to use a machine learning model for the prediction and interpretation of tree basal area increment (BAI) based on data from the National Forest Inventory (NFI). The developed model is based on the random forest (RF) algorithm, trained with 18 independent variables and 15,580 data points (trees from the Slovenian NFI). The RF model was trained for four individual species and two groups of species and evaluated using 10-fold blocked cross-validation. Squared correlation coefficients calculated for independent data ranged from 0.289 for Scots pine (<i>Pinus Sylvestris</i>) to 0.342 for maple and ash species (<i>Acer sp.</i> and <i>Fraxinus sp.</i>), 0.429 for oak species (<i>Quercus sp.</i>), 0.475 for Norway spruce (<i>Picea abies</i>), 0.486 for common beech (<i>Fagus sylvatica</i>), and 0.565 for silver fir (<i>Abies alba</i>). The most important predictor variables were the basal areas of individual trees and their competition status, expressed as the basal area in larger trees and tree social position. Simulations of selected key variables revealed

Dosežek			
			different ecological traits of the studied species: silver fir and Norway spruce have the highest growth characteristics, while common beech has the strongest competition potential. For valuable broadleaves and silver fir, site specific conditions play an important role in tree growth, while oaks and Scots pine have less site-specific demands and wider ecological amplitudes. Finally, in comparison to BAI models from similar studies, the presented RF model showed similar accuracy and could potentially be used as a tool in forest management practices and for making professionally informed decisions.
	Objavljeno v		Elsevier; Forest Ecology and Management; 2021; Vol. 479, article 118601; 12 str.; Impact Factor: 3.170; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.669; A': 1; Avtorji / Authors: Jevšenak Jernej, Skudnik Mitja
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
4.	COBISS ID	5265318	Vir: vpis v obrazec
	Naslov	SLO	Parametrizacija rastnih modelov za raznomerne gozdove v Sloveniji
		ANG	Parameterization of growth models for uneven-aged forests in Slovenia
	Opis	SLO	Modeli rasti dreves so pomembni za razumevanje dinamike gozdnega ekosistema in simulacije razvoja gozdov ob različnih strategijah gospodarjenja z gozdovi. Prikazana je bila parametrizacija matričnega modela razvoja gozdov z optimizacijo poseka glede na različne cilje gospodarjenja. Raziskali smo predvsem debelinsko in višinsko rast dreves, stopnjo preživetja dreves (mortaliteto) in vrast v raznomernih gozdovih. Za izgradnjo modelov smo uporabili podatke o posameznih drevesih s 3183 stalnih vzorčnih ploskev. Kot potencialne prediktorje v modelih smo preizkusili prsni premer, sestojno temeljnico, temeljnico debeliejših dreves, drevesno vrsto, gozdni tip in izbrane topografske spremenljivke. Predstavili smo dvoparametrsko log-logistično porazdelitev vrasti, ki predvideva, da se število vraslih dreves zmanjšuje z višanjem sestojne gostote, a hkrati upošteva, da je vrast možna le ob neki minimalni gostoti, ki predstavlja približek prisotnosti semenskih dreves. Za sencoždržne vrste je takšen model bolj realen kot bolj splošno uporabljeni modeli, ki predvidevajo monotono zniževanje števila vraslih dreves z višanjem sestojne temeljnice. Model smo primerjali z drugimi modeli in razpravljali o njegovi uporabnosti v raznomernih gozdovih.
		ANG	Forest growth models are important for forest managers to understand the dynamics of forest stands and simulate stand development under different silvicultural strategies. We present the parameterization and development of matrix population models coupled with cutting optimization to schedule optimal management regimes for certain management objectives. To parameterize the models, we studied diameter and height growth of trees, survival rate and ingrowth of trees in uneven- aged forests in Slovenia. Data from permanent sample plots (n=3183) with measurements of trees were used to estimate the matrix model equation parameters. Diameter of trees, stand basal area, basal area of larger trees, tree species, forest type and selected topographic variables were tested as possible predictors for the models of diameter and height growth, mortality and ingrowth. We present two parametric log-logistic distribution of ingrowth which accounts for the general rule that the number of recruits decreases with increasing stand density, but it also considers that recruitment is possible only at a minimum stand density representing continuous cover of mature stands with seed trees. Such a function may be more realistic for shade tolerant species than commonly used functions for recruitment which assume a monotonous decrease of recruitment with increasing basal area, while, in an extreme case, it can also be parameterized to show monotonously decreasing ingrowth with increasing basal area by setting scale parameter 1. We

	Dosežek		
			compare our regression models to other models of plant life stages dynamics. Finally, the application for uneven-aged management is discussed.
	Objavljeno v		Book of abstracts [Elektronski vir], IUFRO Uneven-aged Silviculture Workshop (11 ; Valdivia ; 2018)
	Tipologija		1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
5.	COBISS ID	5417638	Vir: vpis v obrazec
	Naslov	SLO	Temeljnična rast dominantnih jelk glede na različne okoljske in sestojne razmere
		ANG	Basal area growth of dominant silver fir (<i>Abies alba</i>) trees under different environmental and stand conditions
	Opis	SLO	Debelinska, temeljnična ali volumenska rast posameznih dreves je zelo raznolika. Še posebej to velja za jelko. V 70. in 80. letih prejšnjega stoletja je bila rast jelke zavrtja zaradi t.i. odmiranja jelke. A v zadnjih 20-30 letih je bil opazno izboljšanje njene vitalnosti in rasti. V jugovzhodni Evropi študij temeljnične rasti jelke v dobi njenega okrevanja ni, zato smo jo analizirali v povezavi z nadmorsko višino, ekspozicijo (hladne / tople lege), matično podlago in tlemi (silikat / karbonat), sestojno zgradbo (enomerni / raznomerni sestoji) in sesotjno gostoto, merjeno s sestojno temeljnico. Prav tako smo analizirali vpliv prsnega premera drevesa. Z osnovno statistiko smo preverili razlike v rasti med kategorijami posameznih spremenljivk, vzajemni učinek vseh vplivnih dejavnikov pa smo preverili z mešanimi modeli. V raziskavo smo vključili >62.000 dominantnih jelk, izmerjenih na stalnih vzorčnih ploskvah (vsaka 500 m²) v celi Sloveniji. Povprečni temeljnični prirastek jelk je bil 28,2 cm²/leto. Debelinski prirastki so bili precej podobni vse do prsnega premera dreves 65 cm (0,43-0,44 cm/leto), nato pa so narasli (do 0,56 cm/leto). Temeljnični prirastek jelk je konstantno naraščal do premera 65 cm, nato pa hitreje. Z nadmorsko višino se je temeljnični prirastek spreminjal, ekspozicija pa ni imela značilnega vpliva. Jelka je bolje priraščala na silikatu (kisla tla) in hladnejših legah. Debelinska in temeljnična rast jelke je visoka tudi v njeni višji starosti in pri večjih debelinah. V analizah jelk, debelih do 100 cm (starih preko 200 let), nismo uspeli določiti prsnega premera jelk, pri katerih se zgodi kulminacija temeljničnega prirastka. Na podlagi rezultatov sklepamo, da je jelko smiselno gojiti do velikih dimenzij, še posebno v primerjavi z nekaterimi njej primešanimi vrstami (smreka, bukev, gorski javor), a nujno je upoštevati rastiščne razmere.
		ANG	Growth of individual trees – in diameter, basal area or volume – is often highly diverse. Silver fir was recognized as a tree species with highly variable basal area growth. Its growth in the 1970s and 1980s was relatively low due to fir dieback. However, in the past 20-30 years a recovery of silver fir has been observed and its growth has increased noticeably. In the SE Europe studies of basal area growth of dominant silver fir trees after their recovery on different sites across larger area are missing. Thus we aimed to analyze it in relation to elevation and exposition (warmer / colder sites), parent material and soil acidity (silicate / carbonate), stand structure (evenaged / unevenaged), and stand density (stand basal area), but also in relation to individual tree dbh. We applied some basic statistics to test the differences in silver fir growth between categories of each factors, while the mutual influence of these factors was analyzed by the mixed effects modelling. We conducted our study in Slovenia, including > 62.000 dominant silver fir trees registered and measured on permanent forest inventory sampling plots (500 m² each). Mean basal area increment of dominant silver fir trees was 28.2 cm²/y. Diameter increments were very similar up to tree dbh of 65 cm (0.43-0.44 cm/y), but increased with thicker trees (up to 0.56 cm/y). Basal area increments increased constantly with dbh, but more sharply with trees of 65 cm in dbh and more. Basal area increments differed

	Dosežek	
		significantly along the elevation gradient, while exposition did not affect it significantly. Silver fir was found to grow better on silicate bedrock (acidic soils) and colder sites. Silver fir (diameter and) basal area growth is high even at its late age and large thickness. We could not determine the culmination of increment in relation to their dbh with trees up to 100 cm in dbh (over 200 y old). Findings, thus, suggest that silver fir is reasonable to be managed up to large dimensions, especially if compared to some species admixed with silver fir (e.g. Norway spruce, European beech, sycamore maple), but differences between sites must be highly considered.
	Objavljeno v	Abies 2019: Prospects for fir management in a changeable environment, Kraków, 28.05 - 30.05.2019, book of abstracts
	Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci

8. Najpomembnejši dosežek projektne skupine na področju gospodarstva, družbenih in kulturnih dejavnosti⁶

	Dosežek		
1.	COBISS ID	5396646	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Obračunavanje emisij v gozdovih po letu 2020
		ANG	Accounting of emissions from forests after 2020
	Opis	SLO	V prispevku je opisan način obračunavanja emisij v gozdovih v obdobju 2021-2030 po določilih nedavno sprejete uredbe EU za področje rabe zemljišč, spremembe rabe in gozdarstva (LULUCF), s katero EU uresničuje del svojih zavez iz Pariškega sporazuma. Podrobneje je razložena referenčna raven za gospodarjenje z gozdovi, ki je vključena v nacionalni načrt za obračunavanje na področju gozdarstva, in specifik Slovenije pri določitvi njene vrednosti. Podnebne spremembe, naravne motnje, referenčna vrednost za gospodarjenje z gozdovi in neuravnotežena debelinska struktura gozdov ogrožajo dolgoročno zagotavljanje ponora v gozdovih. Slovensko gozdarstvo v prihodnjem desetletju čakajo izzivi pri doseganju podnebnih ciljev, zato mora v svoje strateške dokumente integrirati ustrezne ukrepe ter zagotoviti sredstva za njihovo izvajanje, kot tudi vlaganja v raziskave in razvoj.
		ANG	The article describes how to account for emissions in forests in the period 2021-2030 under the provisions of the recently adopted EU Land Use, Land Use Change and Forestry (LULUCF) Regulation, which implements part of the EU's commitments under Paris Agreement. The forest reference level, included in the national forestry accounting plan and the specifics of Slovenia in determining its value are explained in more detail. Climate change, natural disturbances, the forest reference level and the unbalanced diameter structure of forests threaten the long-term supply of a sink in the forest. In the next decade, Slovenian forestry will face challenges in achieving climate goals, so it must integrate relevant measures into its strategic documents and allocate funds for their implementation, as well as investments in research and development.
	Šifra	F.18 Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Objavljeno v	Založba Silva Slovenica, Gozdarski inštitut Slovenije; Klimatske spremembe in gozd; 2019; Str. 31-35; Avtorji / Authors: Mali Boštjan, Jevšenak Jernej	
	Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	
2.	COBISS ID	57672195	Vir: vpis v obrazec

Dosežek		
Naslov	SLO	Nacionalni načrt Republike Slovenije za obračunavanje emisij in odvzemov toplogrednih plinov na področju gozdarstva (NFAP) z referenčnimi vrednostmi za gospodarjenje z gozdovi (FRL)
	ANG	National Forestry Accounting Plan for Slovenia
Opis	SLO	Člani projektne skupine so sodelovali pri pripravi strateškega dokumenta za R Slovenijo, pri čemer so uporabili znanja s področja modeliranja oziroma projekta. Nacionalni načrt Slovenije za obračunavanje emisij in odvzemov na področju gozdarstva določa referenčno vrednost za gospodarjenje z gozdovi, ki je podlaga za obračunavanje emisij iz gospodarjenih gozdnih zemljiščih. V načrtu so opisana merila in smernice, ki so bile upoštevane pri določitvi referenčne vrednosti, vključno z opisom elementov, skladno z določili veljavne uredbe EU. Podrobneje so navedena skladišča ogljika in toplogredni plini, ki so vključeni v referenčno vrednost ter natančno razloženo modeliranje z uporabo nacionalnega metodološkega pristopa in najboljših razpoložljivih podatkov. Ta vključuje splošni opis metodologije, dokumentacijo virov, kot so stratifikacija gospodarjenih gozdnih zemljišč, prakse trajnostnega gospodarjenja z gozdovi, ter podroben opis okvira modeliranja, ki je bil uporabljen za oceno referenčni ravni. V referenčno vrednost za obdobje 2021-2025 so vključene izračunane vrednosti za nadzemno biomaso, podzemno biomaso, odmrli les, pridobljene lesne proizvode ter gozdne požare. Načrt poleg tega vsebuje tudi opis ravni poseka do leta 2050 glede na različne scenarije gospodarjenja z gozdovi.
	ANG	The National Forestry Accounting Plan for Slovenia establishes the forest reference level, which is the basis for accounting of emissions from managed forest land. The plan describes the criteria and guidelines considered in setting the reference value, including a description of the elements in accordance with the provisions of the current EU Regulation. More detail is given on carbon pools and greenhouse gases that are included in the reference level and the modeling using a national methodological approach and best available data is explained in detail. This includes a general description of the methodology, documentation of data sources such as stratification of managed forest land and sustainable forest management practices, and a detailed description of the modeling framework used to determine the reference level. The reference level for the period 2021-2025 includes calculated values for above-ground biomass, below-ground biomass, dead wood, harvested wood products, and wildfire. In addition, the plan includes a description of the harvesting rates until 2050 according to different policy scenarios.
Šifra	F.23 Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
Objavljeno v	POLJANEC, Aleš, MALI, Boštjan, ZAFRAN, Janez, PIŠKUR, Mitja, POLJANŠEK, Simon, REŽONJA, Robert, PISEK, Rok, SIMONČIČ, Primož. Nacionalni načrt Republike Slovenije za obračunavanje emisij in odvzemov toplogrednih plinov na področju gozdarstva (NFAP) z referenčnimi vrednostmi za gospodarjenje z gozdovi (FRL). Ljubljana: Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, 2019. 1 spletni vir (1 datoteka PDF (42 str.)). https://www.gov.si/assets/ministrstva/MKGP/DOKUMENTI/GOZDARSTVO/NFAP_Slovenia_20191224_svn.pdf	
Tipologija	2.13 Elaborat, predštudija, študija	
3.	COBISS ID	62281475 Vir: vpis v obrazec
Naslov	SLO	Pregled in presoja modelov razvoja gozdov za gozdnogospodarsko načrtovanje na različnih prostorskih ravneh: zaključno vsebinsko poročilo CRP projekta V4-1821 : zaključno poročilo o rezultatih opravljenega raziskovalnega dela na projektu v okviru ciljnega raziskovalnega projekta (CRP) "Zagotovimo.si hrano za jutri 2011-2021"
		A review and evaluation of forest development models for management

Dosežek		
	ANG	planning at different spatial scales: final report of the CRP project V4-1821 in the frame of project call "Zagotovimo.si hrano za jutri 2011-2021"
Opis	SLO	Pripravljeno je bilo izčrpno poročilo o rezultatih ciljnega raziskovalnega projekta.
	ANG	A comprehensive final report on the results of the project was prepared.
Šifra	F.23 Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
Objavljeno v	KLOPČIČ, Matija (avtor, urednik), BONČINA, Andrej (sodelavec pri raziskavi), FICKO, Andrej (sodelavec pri raziskavi), GROŠELJ, Petra (sodelavec pri raziskavi), GUČEK, Matjaž (sodelavec pri raziskavi), JEVŠENAK, Jernej (sodelavec pri raziskavi), MALI, Boštjan (sodelavec pri raziskavi), POLJANEC, Aleš (sodelavec pri raziskavi), SKUDNIK, Mitja (sodelavec pri raziskavi), BONČINA, Živa (sodelavec pri raziskavi), ŠMIDOVNIK, Tjaša (sodelavec pri raziskavi), TRIFKOVIČ, Vasilije (sodelavec pri raziskavi). Pregled in presoja modelov razvoja gozdov za gozdnogospodarsko načrtovanje na različnih prostorskih ravneh : zaključno vsebinsko poročilo CRP projekta V4-1821: zaključno poročilo o rezultatih opravljenega raziskovalnega dela na projektu v okviru ciljnega raziskovalnega projekta (CRP) "Zagotovimo.si hrano za jutri 2011-2021". [Ljubljana: Biotehniška fakulteta, 2021]. 1 spletni vir (1 datoteka PDF (83 str.)).	
Tipologija	2.12 Končno poročilo o rezultatih raziskav	

9. Drugi pomembni rezultati projektne skupine⁷

10. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁸

10.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

Rezultati zaključenega raziskovalnega projekta so temelj za razvoj modeliranja razvoja gozdov v Sloveniji. To področje je bilo v preteklosti pomanjkljivo razvito, glede na zaznane pomanjkljivosti pri gozdnogospodarskem načrtovanju in vse večje stopnje nepredvidljivosti in tveganj pri gospodarjenju z gozdovi pa ga je treba nujno razviti. Pomemben dolgoročni cilj je zato razvoj lastnega modela razvoja gozdov, ki bo povsem primeren za uporabo pri upravljanju z gozdovi v Sloveniji. Osnova za razvoj modela razvoja gozdov je »state-of-the-art« pregled in presoja že razvitega na tem področju, kar je predstavljeno v več izsledkih projekta (D1, D2, D3.1, D3.3). Ti so podlaga za uresničitev omenjenega dolgoročnega cilja. Izsledki projekta, kot so npr. razviti statistični modeli v delovnem sklopu DS3.2, so izhodišče za razvoj lastnega modela razvoja gozdov v Sloveniji. Podoben pomen imata tudi pregled in presoja dostopnih gozdarskih in drugih podatkovnih virov. Preizkusi metodologij, ki smo jih izvedli v delovnem sklopu DS 3.2, so osnova za razvoj metodologij, ki bi jih uporabili v raziskavah in pri upravljanju z gozdovi (npr. avtomatizirana izdelava sestojne karte). Začeto raziskovalno delo v okviru našega projekta se že nadaljuje v okviru CRP projekt V4-2014. Izsledki projekta so pomembni tudi za razvoj modelov gozdov za nacionalno poročanje v okviru konvencije UNFCCC ali FRA in EU poročanja, ki zahtevajo kakovostno napovedovanje razvoja gozdov v posameznih državah. Izsledki našega projekta (D1) so ključni za izboljšane modelov razvoja gozdov na ravni Slovenije. V okviru projektu smo kritično ocenili modele, ki se uporabljajo na nacionalni ravni, kar je podlaga za razvoj modela za simuliranje razvoja gozdov na nacionalni prostorski ravni. Model CBM-CFS3 je bil validiran in preizkušen ter se je izkazal za uporabnega, kar je izhodišče za njegovo nadgradnjo v prihodnosti.

ANG

The results of the completed project are the basis for the development of forest modeling in Slovenia. This field has been poorly developed, and further progress is highly demanded given the deficiencies of the current forest management planning concept and the

uncertainty and anticipated risks in forest management. An important long-term goal is therefore the development of our own forest development model, which will be fully applicable to forest management in Slovenia. The results of the completed project are of utmost importance for achieving this goal. The basis for the development of forest modeling is a "state-of-the-art" review and assessment of what has already been developed in this field. The results of this project task are presented in several project deliverables (D1, D2, D3.1, D3.3). These are the basis for achieving the long-term goal of the project team. The project deliverables, for example developed statistical models in the work package DS3.2, are the starting point for the development of our own forest development model. The review and assessment of available data sources in forest information system and elsewhere are of similar importance. The tests of different methodologies, carried out in the work package DS 3.2, present the foundation for the development of methodologies that would be used in future research and in forest management (an example is an automated generation of forest stand maps). The results of this project has already been employed in the new CRP project V4-2014. The results of the project are also important for the development of forest models for national reporting under the UNFCCC, FRA or EU, which require quality forecasting of forest development in individual countries. The project results shown in the deliverable D1 are important for the improvement of forest development modelling on the large-scale national level. The project has critically evaluated the models used for simulating forest development at the national level, which is the basis for the development of our own model. The model CBM-CFS3 has been validated, tested and proved to be useful in simulating forest development on the national level of Slovenia; this is a good starting point for its upgrade in the future.

10.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Rezultati projekta bodo prispevali k razvoju in vključitvi modeliranja razvoja gozdov na vse ravni upravljanja z gozdovi, hkrati pa bodo prispevali h krepitvi trajnostnega gospodarjenja z gozdovi. Odločitve o prihodnji rabi gozdov, sprejete na podlagi simulacij z modeli razvoja gozdov, so praviloma zanesljivejše, možna je večja stopnja prilagajanja spreminjajočim se socio-ekonomskim razmeram in podnebnim spremembam. Zaradi spreminjajočih se razmer v družbi lahko pričakujemo večje pritiske na gozdove, zato bodo modeli razvoja gozdov dobro orodje za kontrolo trajnostnega gospodarjenja z gozdovi na vseh prostorskih ravneh. Modeli razvoja gozdov in gospodarjenja z njimi omogočajo variantno napovedovanje razvoja gozdnih sestojev. Za Slovenija je ocena prihodnjih produkcijskih in energetskih potencialov lesne biomase iz slovenskih gozdov bistvenega pomena. Poznavanje razvoja gozdov je pomembno za odzivno gozdno politiko ter odločitve na področju gozdno-lesnega sektorja, pa tudi za področje energetike. Z modeli razvoja gozdov in kakovostnimi vhodnimi podatki lahko relativno zanesljivo ocenimo dinamiko zalog ogljika v gozdovih, kar je ključno za poročanje v skladu z zakonodajo EU (npr. sektor LULUCF), kar bo po letu 2020 še pomembnejše glede na mednarodne zahteve. Projektni rezultati tako prispevajo k boljšim ocenam dinamike ogljika ter h harmonizaciji ocen z (nekaterimi) drugimi državami. Posredno in dolgoročno lahko torej uporaba modelov razvoja gozdov pripomore tudi k nizkoogljični družbi. Gozdnogospodarsko načrtovanje se bo z rezultati projekta izboljšalo. Načrtovalci potrebujejo učinkovita orodja, ki jim bodo pomagala pri odločanju za zagotavljanje trajnosti in večnamenske vloge gozdov oziroma o prihodnjem razvoju gozdov in ukrepih, kar modeli razvoja gozdov neposredno omogočajo. Odločitve na podlagi modelov razvoja gozdov so podprte s kvantificiranimi argumenti in prispevajo k racionalnejši (iz)rabi virov, kar bo pomembno vplivalo na gozdno-lesni sektor na nacionalni in regionalni ravni. Upravljalvske odločitve ob uporabi modelov so praviloma boljše tudi z vidika zmanjševanja tveganj pri gospodarjenju z gozdovi in s tem zmanjševanju ekonomske in ekološke škode, kar je pomembno tako za lastnike gozdov kot celoten gozdno-lesni gospodarski sektor ter oblikovalce gozdne politike. Modeli so tudi pomemben pripomoček upravljavcev gozdov (načrtovalcev) pri komunikaciji z drugimi uporabniki prostora. Modeli razvoja gozdov so uporabni tudi na področjih upravljanja z zasebno gozdno posestjo, upravljanja varovalnih gozdov in hudourniških območij. Rezultati modelnih simulacij razvoja gozdov po različnih scenarijih lastniku gozda omogočajo boljše odločanje o izvedbi ukrepov in investicijah v gozdovih. Z uporabo modelov razvoja gozdov (in kombinacijo z drugimi modeli) lahko bistveno pripomoremo k opozarjanju na nevarnosti in zmanjšanju tveganj pri upravljanju z gozdnim prostorom, ki se z okoljskimi spremembami povečuje. Rezultati projekta so že sistemsko vključeni v pedagoško delo na področju visokošolskega izobraževanja

gozdarstva. Rezultati projekta se kot učno gradivo uporabljajo v več učnih predmetov BSc in MSc študijskega programa gozdarstva ter na podiplomskem doktorskem študiju upravljanje gozdnih ekosistemov na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani.

ANG

The project results will contribute to the development and integration of forest development modeling at all levels of forest management; at the same time they will contribute to strengthening the sustainability of our forest management. Forest management decisions are generally more reliable if supported by forest development simulations, a greater degree of adaptation to socio-economic and environmental changes can be attained as well. Due to changing conditions in society, larger pressures on forests can be expected in the future; therefore, the models will be an indispensable tool for controlling sustainable forest management at all spatial levels. Forest development models enable simulations of forest development under different (forest management, climate change, etc.) scenarios. For Slovenia, an assessment of production and energy potentials of woody biomass is essential. Knowing forest development and these potentials is important for reactive forest policy and for decision-making in forestry and wood-processing sectors as well as for the energy sector. Forest development models together with input data of adequate quality enable a rather trustworthy assessment of carbon stock (and its dynamics) and other forest parameters relevant for reporting in the frame of the EU legislation (e.g. LULUCF), which will become even more important after 2020 with regard to international and European requirements. The project results contribute significantly to better assessments of carbon dynamics and to the harmonization of assessments with other countries. As so, the use of forest development models indirectly and in the long-term contribute to a low carbon society, being the goal of Republic of Slovenia. Project results will improve forest management planning in Slovenia. Forest management planners need effective tools to help them to make effective decisions to ensure sustainability and multifunctionality of our forests; forest development models directly enable this. Decisions based on simulations made by the models are supported by the quantified arguments and contribute to a more rational use of forest resources, which will have a significant impact on the forestry and wood-processing sectors at the national and regional levels. Decisions, made in such a way, are also more effective in terms of reducing risks in forest management and thus reducing economic and ecological damage in forests, which is important for forest owners as well as for the economy related to forests and forest policy makers. Models are also an important tool for forest managers (planners) in communication with other users of forests. Forest development models are also useful in other fields such as planning and management of private forest properties, or management of protective forests and torrential areas in forests. The results of forest development simulations under different forest management scenarios enable forest owner to make better decisions on the forestry measures implementation and investments in forests or forestry infrastructure. By using forest development models (also in a combination with other models), we can make a significant contribution to raising awareness of hazards and reducing risks in forest management, which is increasing with the environmental changes. The project results will be systematically included into the undergraduate and postgraduate study programmes in the field of forestry. Knowledge and experience gained in the project will be transferred to the doctoral study programme Managing Forest Ecosystems at the Biotechnical faculty of University of Ljubljana.

11. Vpetost raziskovalnih rezultatov projektne skupine

11.1. Vpetost raziskave v domače okolje

Kje obstaja verjetnost, da bodo vaša znanstvena spoznanja deležna zaznavnega odziva?

- ☒ v domačih znanstvenih krogih
☐ pri domačih uporabnikih

Kdo (poleg sofinancerjev) že izraža interes po vaših spoznanjih oziroma rezultatih?¹¹

Zavod za gozdove Slovenije, Gozdarski inštitut Slovenije, (večji) lastniki gozdov

11.2. Vpetost raziskave v tuje okolje

Kje obstaja verjetnost, da bodo vaša znanstvena spoznanja deležna zaznavnega odziva?

- ☒ v mednarodnih znanstvenih krogih
☐ pri mednarodnih uporabnikih

Navedite število in obliko formalnega raziskovalnega sodelovanja s tujini raziskovalnimi institucijami:¹²

Sodelovali smo s 4 institucijami v tujini: - Bernska univerza za aplikativne študije, Visoka šola za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (HAFL), Bern, Švica, prof. dr. Christian Rosset; - WSL - Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Zürich, Švica, dr. Cristian Temperli, dr. Golo Stadelmann; - Tehniška univerza v Münchnu (TUM), München, Nemčija, dr. Torben Hilmers; - Univerza v Bariju, Bari, Italija, prof. dr. Paola Mairota.

Kateri so rezultati tovrstnega sodelovanja:¹³

- HAFL, Bern: pridobili smo pri njih razvita modela razvoja gozdov SiWaWa in WIS.2, jih z njihovo pomočjo testirali v naših raziskovalnih objektih, prof. Rosset je imel na temo modeliranja razvoja gozdov z omenjenima modeloma delavnico za gozdarske načrtovalce (Kočevje); - WSL, Zürich: pomoč pri predstavitvi modela MASSIMO in razlagah delovanja, zahtev in omejitev tega modela razvoja gozdov, nadaljnje sodelovanje na področju modeliranja; - TUM, München: predstavitev modela SILVA, pomoč pri razlagah delovanja, zahtev in omejitev modela razvoja gozdov, nadaljnje sodelovanje na več področjih; - Univerza v Bariju, Italija: pomoč pri razlagi delovanja, zahtev in omejitev modela LANDIS II; načrtovano je bilo Erasmus bivanje študentke MSc študija gozdarstva in somentorstvo pri magistrski nalogi, a je bivanje in raziskava odpadla zaradi razglasitve epidemije Covid-19; v času projekta sta univerzi podpisali pogodbo o sodelovanju v Erasmus mehanizmu za izmenjavo študentov.

12. Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri projektu, katere konkretne rezultate ste dosegli in v kakšni meri so doseženi rezultati uporabljeni

Cilj		
F.01	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.04	Dvig tehnološke ravni	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	

	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	

	Uporaba rezultatov	
F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.23	Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.24	Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	

	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.26	Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.27	Prispevek k ohranjanju/varovanju naravne in kulturne dediščine	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.28	Priprava/organizacija razstave	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.29	Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.30	Strokovna ocena stanja	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.32	Mednarodni patent	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	

F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	

Komentar

--

13. Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visokošolskega izobraževanja					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	☐	☐	☐	☒	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	☐	☐	☐	☒	
G.01.03.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.02	Gospodarski razvoj					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	☒	☐	☐	☐	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	☒	☐	☐	☐	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	☒	☐	☐	☐	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	☒	☐	☐	☐	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	☒	☐	☐	☐	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	☒	☐	☐	☐	
G.02.07.	Večji delež izvoza	☒	☐	☐	☐	
G.02.08.	Povečanje dobička	☒	☐	☐	☐	
G.02.09.	Nova delovna mesta	☒	☐	☐	☐	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	☒	☐	☐	☐	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	☒	☐	☐	☐	
G.02.12.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.03	Tehnološki razvoj					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	☒	☐	☐	☐	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	☒	☐	☐	☐	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	☐	☐	☒	☐	
G.03.04.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.04	Družbeni razvoj					
G.04.01	Dvig kvalitete življenja	☒	☐	☐	☐	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	☐	☐	☐	☒	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	☐	☐	☒	☐	

G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti					
G.04.05.	Razvoj civilne družbe					
G.04.06.	Drugo:					
G.05.	Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete					
G.06.	Varovanje okolja in trajnostni razvoj					
G.07	Razvoj družbene infrastrukture					
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura					
G.07.02.	Prometna infrastruktura					
G.07.03.	Energetska infrastruktura					
G.07.04.	Drugo:					
G.08.	Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva					
G.09.	Drugo:					

Komentar

14. Naslov spletne strani za projekte, odobrene na podlagi Javnih razpisov za sofinanciranje ciljnih raziskovalnih projektov za leta 2017, 2018 in 2019¹⁴

<https://www.bf.uni-lj.si/sl/raziskave/raziskovalni-projekti/69/pregled-in-presoja-modelov-razvoja-gozdov-za-gozdnogospodarsko-nacrtovanje-na-razlicnih-prostorskih-ravneh>

C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

- so vsi podatki, ki jih navajamo v poročilu, resnični in točni;
- se strinjamo z obdelavo podatkov v skladu z zakonodajo o varstvu osebnih podatkov za potrebe ocenjevanja in obdelavo teh podatkov za evidence ARRS;
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v pisni obliki (v primeru, da poročilo ne bo oddano z digitalnima podpisoma);
- so z vsebino zaključnega poročila seznanjeni in se strinjajo vsi soizvajalci projekta;
- bomo sofinancerjem istočasno z zaključnim poročilom predložili tudi elaborat na zgoščenki (CD), ki ga bomo posredovali po pošti, skladno z zahtevami sofinancerjev.

Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba
raziskovalne organizacije prijaviteljice:*

in

vodja raziskovalnega projekta:

Univerza v Ljubljani, Biotehniška
fakulteta

Matija Klopčič

ŽIG

Datum:

14.5.2021

Oznaka poročila: ARRS-CRP-ZP-2021/10

¹ Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku). [Nazaj](#)

² Navedite cilje iz prijave projekta in napišite, ali so bili cilji projekta doseženi. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega projekta in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

³ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

⁴ Navedite morebitna bistvena odstopanja in spremembe od predvidenega programa dela raziskovalnega projekta, zapisanega v prijavi raziskovalnega projekta. Navedite in utemeljite tudi spremembe sestave projektne skupine v zadnjem letu izvajanja projekta. Če sprememb ni bilo, navedite »Ni bilo sprememb«. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

⁵ Navedite dosežke na raziskovalnem področju, ki so nastali v okviru tega projekta. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FORD področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'. [Nazaj](#)

⁶ Navedite dosežke na področju gospodarstva, družbenih in kulturnih dejavnosti, ki so nastali v okviru tega projekta. Dosežke iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FORD področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'.

Dosežek na področju gospodarstva, družbenih in kulturnih dejavnosti je po svoji strukturi drugačen kot dosežek na raziskovalnem področju. Povzetek dosežka na raziskovalnem področju je praviloma povzetek bibliografske enote (članka, knjige), v kateri je dosežek objavljen.

Povzetek dosežka na področju gospodarstva, družbenih in kulturnih dejavnosti praviloma ni povzetek bibliografske enote, ki ta dosežek dokumentira, ker je dosežek sklop več rezultatov raziskovanja, ki je lahko dokumentiran v različnih bibliografskih enotah. COBISS ID zato ni enoznačen, izjemoma pa ga lahko tudi ni (npr. prehod mlajših sodelavcev v gospodarstvo na pomembnih raziskovalnih nalogah, ali ustanovitev podjetja kot rezultat projekta ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)

⁷ Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 7 in 8 (npr. v sistemu COBISS rezultat ni evidentiran). Največ 2.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

⁸ Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://sicris.izum.si/> za posamezen projekt, ki je predmet poročanja. [Nazaj](#)

⁹ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

¹⁰ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

¹¹ Največ 500 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

¹² Največ 500 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

¹³ Največ 1.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

¹⁴ Izvajalec mora za projekte, odobrene na podlagi Javnega razpisa za izbiro raziskovalnih projektov Ciljnega raziskovalnega programa »CRP 2017« v letu 2017 in Ciljnega raziskovalnega programa »CRP 2019« v letu 2019 ter Javnega razpisa za izbiro raziskovalnih projektov Ciljnega raziskovalnega programa »Zagotovimo.si hrano za jutri« v letu 2018, na spletnem mestu svoje RO odpreti posebno spletno stran, ki je namenjena projektu. Obvezne vsebine spletne strani so: vsebinski opis projekta z osnovnimi podatki glede financiranja, sestava projektne skupine s povezavami na SICRIS, faze projekta in njihova realizacija, bibliografske reference, ki izhajajo neposredno iz izvajanja projekta ter logotip ARRS in drugih sofinancerjev. Spletna stran mora ostati aktivna še 5 let po zaključku projekta. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-CRP-ZP/2021 v1.00

1C-92-7C-40-13-C4-78-2E-40-6F-52-3F-AC-4F-44-FA-06-40-79-48

Pregled in presoja modelov razvoja gozdov za gozdnogospodarsko načrtovanje na različnih prostorskih ravneh

Zaključno vsebinsko poročilo CRP projekta V4-1821

Matija Klopčič (ur.)

Naročnika projekta:	Republika Slovenija Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano Dunajska cesta 22 1000 Ljubljana Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije Bleiweisova cesta 30 1000 Ljubljana
Oznaka pogodbe:	2330-18-000243
Izvajalske institucije:	Univerza v Ljubljani Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Jamnikarjeva 101 1000 Ljubljana Gozdarski inštitut Slovenije Večna pot 2 1000 Ljubljana
Vodja projekta:	doc. dr. Matija Klopčič Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire
Sodelujoči raziskovalci:	prof. dr. Andrej Bončina doc. dr. Andrej Ficko doc. dr. Petra Grošelj Matjaž Guček dr. Jernej Jevšenak dr. Boštjan Mali dr. Aleš Poljanec dr. Mitja Skudnik Živa Bončina – doktorska študentka Tjaša Šmidovnik – doktorska študentka Vasilije Trifković – doktorski študent

	Povzetek	3
	Summary	5
	1 Uvod s pregledom področne literature	7
	2 Cilji projekta	10
	3 Struktura projekta z opisom parcialnih ciljev in uporabljenih metodologij	10
	4 Ključni rezultati projekta z zaključki	14
Matija Klopčič, Andrej Ficko, Petra Grošelj, Tjaša Šmidovnik, Andrej Bončina	4.1 Pregled in presoja glavnih tipov modelov razvoja gozdov za upravljanje z gozdovi na različnih prostorskih ravneh	14
	4.2 Presoja in ovrednotenje modelov razvoja gozdov za uporabo v gozdnogospodarskem načrtovanju	18
Matija Klopčič, Andrej Ficko, Andrej Bončina	4.2.1 Prikaz rezultatov testnih simulacij razvoja gozdov z izbranimi modeli za izbrana študijska območja z oceno njihove uporabnosti za razmere v Sloveniji	18
Matija Klopčič, Andrej Ficko, Petra Grošelj, Tjaša Šmidovnik, Andrej Bončina	4.2.2 Presoja modelov razvoja gozdov za gozdnogospodarsko načrtovanje	24
	4.2.3 Razprava z zaključki	26
Jernej Jevšenak, Boštjan Mali, Mitja Skudnik	4.3 Pregled in presoja modelov razvoja gozdov za uporabo na državni ravni in mednarodno poročanje	29
	4.3.1 Pregled modelov razvoja gozdov, ki se uporabljajo za mednarodno poročanje	29
	4.3.2 Vrednotenje modelov razvoja gozdov za oblikovanje nacionalne gozdne politike ter potrebe poročanja v okviru EU	33
	4.3.3 Analiza občutljivosti modela CBM-CFS3	34
	4.3.4 Razprava z zaključki	37
	4.4 Razpoložljivost in dostopnost vhodnih podatkov za modeliranje razvoja gozdov na različnih ravneh upravljanja z gozdovi	38
Matija Klopčič, Živa Bončina, Andrej Ficko, Matjaž Guček, Aleš Poljanec, Andrej Rozman, Vasilije Trifković, Andrej Bončina	4.4.1 Ocena dostopnih podatkovnih virov kot virov vhodnih podatkov za modeliranje razvoja gozdov za potrebe gozdnogospodarskega načrtovanja	38
Jernej Jevšenak, Boštjan Mali, Mitja Skudnik	4.4.2 Razpoložljivost vhodnih podatkov za modeliranje razvoja gozdov na nacionalni ravni s poudarkom na velikoprostorskem monitoringu gozdov v Sloveniji	51
Matija Klopčič, Andrej Ficko, Andrej Bončina	4.5 Zasnova modeliranja razvoja gozdov v Sloveniji na različnih ravneh upravljanja z gozdovi	52
	5 Zaključki in priporočila naročniku	61
	6 Viri	64
	Priloge 1-6 so priložene v digitalni obliki	

POVZETEK

Model razvoja gozdov predstavlja poenostavljen prikaz stanja in sprememb gozdnih sestojev zaradi procesov v gozdnem ekosistemu, kot so rast, mortaliteta, pomladitev in vrast drevoja in procesov izven ekosistema, ki nanj vplivajo. To so funkcijski modeli, ki napovedujejo prihodnja stanja in donose obravnavanih gozdnih sestojev ali dreves v časovnem horizontu od nekaj let do več desetletij, celo stoletij. V Sloveniji področje modeliranja razvoja gozdov v preteklosti ni bilo sistemsko razvijano, zato ni razvito v tolikšni meri kot v tujini. Cilji projekta so zato bili: 1) izdelati pregled in presojo modelov razvoja gozdov na nacionalni ravni, ki jih uporabljajo evropske države za potrebe mednarodnega poročanja in primerjave razvoja gozdov, 2) izdelati pregled modelov razvoja gozdov za upravljanje gozdov različnih načrtovalskih in prostorskih ravneh; 3) ovrednotiti modele razvoja gozdov z vidika uporabnosti za upravljanje z gozdovi in gozdnogospodarsko načrtovanje; 4) presoditi uporabnost obstoječih podlag in podatkovnih virov za modeliranje razvoja gozdov; 5) aplicirati izbrane modele razvoja gozdov na testnih območjih; in 6) opredeliti zasnovo modeliranja razvoja gozdov v Sloveniji in vključitve modelov razvoja gozdov v upravljanje z gozdovi na različnih ravneh. Vsak cilj smo poskušali realizirati z drugačno metodologijo, kratko je uporabljena metodologija omenjena pri opisih rezultatov.

V prvi fazi projekta smo na podlagi zbranih informacij o načinu izgradnje modelov eno izmed osnovnih klasifikacij modelov razvoja gozdov, ki se uporablja za upravljanje gozdov (Porté in Bartelink, 2002), dopolnili in identificirali 10 različnih tipov modelov razvoja gozdov. Končna presoja identificiranih tipov modelov razvoja gozdov z AHP metodo je pokazala, da so najvišjo oceno z vidika uporabnosti za upravljanje gozdov dobili empirični modeli povprečij, sledijo jim populacijski modeli, nekoliko nižjo oceno pa so prejeli prostorsko odvisni sestojni modeli, donosne tablice in empirični prostorsko neodvisni drevesni modeli, najnižje ocene so dobili procesni in hibridni modeli različnih tipov. Nadaljnji razvoj modeliranja razvoja gozdov v Sloveniji je smiselno usmerjati predvsem v tiste tipe modelov, ki so se v presoji izkazali kot najprimernejši.

Za izbrane modele razvoja gozdov smo testirali možnost uporabe podatkovnih virov v gozdarskem informacijskem sistemu za njihov zagon in izvedbo simulacij razvoja gozdov na testnih območjih gozdov. V okviru projekta smo testirali dva modela (SiWaWa, WIS.2), pred pričetkom projekta smo v Sloveniji že testirali štiri modele (ForClim, MOSES, EFISCEN in LPJ-GUESS), enega pa razvili (SLOMATRIX). Na podlagi literature smo pregledali in ocenili še tri modele (SILVA, MASSIMO, LANDIS II). Vsakemu modelu smo izpostavili prednosti in slabosti.

Deset izbranih modelov razvoja gozdov smo nato presojali glede njihove uporabnosti za upravljanje z gozdovi v Sloveniji. Potencialno uporabnost modelov smo ocenili po 20 kriterijih, s kombinacijo AHP in TOPSIS metod smo ocenjevali potencialno uporabnost modela za simuliranje razvoja posameznega sestoja in gozdnega območja. Med najustreznejše modele razvoja gozdov, ki bi jih lahko uporabili pri upravljanju z gozdovi na sestojni ravni, lahko prištejemo empirične modele MOSES, MASSIMO in SLOMATRIX ter hibridni model SILVA, za upravljanje gozdnih območij pa tem modelom lahko dodamo še model WIS.2. Zgradba, koncept in delovanje teh modelov je takšno, da je njihova uporaba za simuliranje razvoja gozdov vsaj nekaterih gozdnih tipov možna z osnovno različico modela (t.j. parametrizirano za gozdove v državi, iz katere model prihaja) ali pa je možna dokaj hitra in enostavna parametrizacija modela za slovenske rastiščne razmere in gozdove. Menimo, da bi bila uporaba kateregakoli izmed teh modelov pri upravljanju z gozdovi v Sloveniji ob ustreznih validaciji in parametrizaciji modela dobrodošlo, a vseeno ocenjujemo, da bi bilo smiselno začeti razvijati lastne modele za simulacijo razvoja gozdov tako na sestojni ravni kot na ravni gozdnih območij.

Izdelali smo pregled modelov, ki se v Evropi uporabljajo za simuliranje gozdov na nacionalni ravni in mednarodno poročanje. Vrednotenje modelov (presoja) je kot najustreznejšega izpostavila model CBM-CFS3, ki se v številnih državah uporablja za tovrstno simuliranje razvoja gozdov, sledili pa so mu modeli SILVA, CALDIS in FORMIT-M. Izvedena analiza občutljivosti modela CBM-CFS3 je nakazala, da je ta model uporaben tudi za simuliranje razvoja gozdov v Sloveniji. Preizkusiti bi veljalo še modela SILVA in CALDIS, saj sta klimatsko občutljiva in bi lahko simulirala vpliv podnebnih sprememb na razvoj gozdov. Ocenjujemo, da je za simuliranje razvoja gozdov na nacionalni ravni in mednarodno poročanje smiselno privzeti model CBM-CFS3, bi pa lahko pristopili tudi k razvoju lastnega modela, a je potrebno upoštevati omejitve človeških in finančnih virov.

Analiza dostopnosti vhodnih podatkov za zagon modelov in izvedbo simulacij razvoja gozdov je pokazala, da gozdarski informacijski sistem vključuje večino podatkov o gozdnih sestojih, ki so v precejšnji meri zadostni za zagon mnogih modelov razvoja gozdov, nekateri podatki so na voljo v drugih prosto dostopnih podatkovnih zbirkah, nekaterih, predvsem podatkov o različnih rastiščnih lastnostih pa v dostopnih podatkovnih zbirkah zaenkrat ni na voljo. Manjkajoči ali nepopolni so predvsem podatki o značilnostih gozdnih tal in rastiščnih indeksi. To v precejšnji meri onemogoča ali vsaj otežuje uporabo predvsem procesnih in hibridnih modelov. Gozdarski podatkovni sloji so med seboj slabo povezani in povezljivi, na primer podatke o asociaciji in rastiščnem indeksu je nemogoče nedvoumno privedi na raven stalne vzorčne ploskve. Za simuliranje razvoja gozdov na državni ravni je zadostni vir podatkovna zbirka NFI, ki se aktivno posodablja in nadgrajuje. Pri aktualizaciji in nadgradnji podatkovnih virov se je nujno poslužiti novih tehnologij pridobivanja podatkov (npr. LiDAR).

Razvita zasnova vključevanja modelov razvoja gozdov v gozdnogospodarsko načrtovanje predvideva, da je ključno razviti model razvoja gozdov ali sistem za podporo odločanju z vključenim enim ali več modeli razvoja gozdov, ki bo povezal okvirno načrtovanje na ravni rastiščnogojitvenih razredov v GGE in podrobno načrtovanje na ravni posameznih gozdnih sestojev. Isti model/sistem bi bil potencialno uporaben tudi za oblikovanje strategij gospodarjenja z gozdovi na ravni gozdnogospodarskih območij. Opijsko, še bolje pa vzporedno, se lahko razvijajo modeli za simuliranje razvoja gozdov na posamezni prostorski ravni (sestoj, gozdno območje), prioriteta je razvoj modela/sistema za okvirno načrtovanje, možen je tudi prevzem in parametrizacija ustreznega v tujini razvitega modela. Za simuliranje razvoja gozdov na državni ravni za oblikovanje gozdarskih politik in mednarodno poročanje predlagamo, da se privzame ustrezno parametriziran model, dolgoročno pa je smiselno razviti lastni tovrstni model.

V zaključku so podana priporočila naročniku glede vključevanja modelov razvoja gozdov v gozdnogospodarsko načrtovanje in širše upravljanje z gozdovi v Sloveniji in nadgradnje podatkovnih virov, ki jih modeli potrebujejo za zagon in izvedbo simulacij razvoja gozdov.

SUMMARY

A forest development model represents a simplified presentation of the current state and changes of forest stands due to processes going on in forest ecosystem, such as growth, mortality, regeneration and ingrowth of trees, and processes outside the ecosystem that affect it. Forest development models are actually mathematical models (functions) that predict future states and yield of observed forest stands or trees over a time horizon from a few years to decades, even centuries. In Slovenia, forest development modeling has not been systematically developed in the past, making it much less developed as abroad. The objectives of the project were therefore: 1) to review and assess forest development models at the national level used by European countries for the international reporting and comparison purposes, 2) to review forest development models, used for forest management purposes at different planning and spatial levels; 3) to evaluate forest development models in regard to their applicability for forest management and forest management planning; 4) to assess the applicability of existing databases and other data sources for forest development modeling; 5) to apply selected forest development models in test areas, and 6) to define the concept of forest development modeling in Slovenia and the introduction of models into forest management at different spatial levels. Each objective claimed different methodology to be realized, thus the methodology used is only briefly mentioned with the results.

In the first phase of the project, we supplemented one of the basic classifications of forest development models used for forest management (Porté and Bartelink, 2002) and based on the information on the models' concept we identified 10 different types of forest development models. The final evaluation of the identified types with the AHP method exposed the empirical average tree models by reaching the highest score in terms of applicability for forest management. It was followed by the distribution models, while slightly lower scores were reached by the distance dependent stand models, yield tables, and empirical distance independent tree models. The lowest scores were given to process-based and hybrid models of different types. Further evolution of forest development modeling in Slovenia should primarily focus on those types of models that was ranked highly in our evaluation.

Further on we tested the possibility of using data sources in the forestry information system for the initialization of selected forest development models and their implementation to simulate forest development in case study areas. We tested two models within the project (SiWaWa, WIS.2), four models were tested (ForClim, MOSES, EFISCEN and LPJ-GUESS) and one model was developed (SLOMATRIX) before the project started, while three more models (SILVA, MASSIMO, LANDIS II) were evaluated based on the literature review. We highlighted the pros and cons of each model.

Ten selected forest development models were then assessed in terms of their applicability for forest management planning in Slovenia. The potential applicability of the models to simulate the development of an individual stand and forest area was assessed according to 20 criteria, using the combination of the AHP and TOPSIS methods. The empirical models MOSES, MASSIMO and SLOMATRIX and a hybrid model SILVA were evaluated as the most suitable models to be used in forest management on a single stand level, and the same group of models the model WIS.2 was added when the management of forest areas was considered. The structure, concept and functioning of these models enable simulating forest development of at least some forest types using the basic version of the model (i.e. parameterized for forests in the country where the model comes from) or permit relatively fast and easy parameterization of the model for the Slovenian site conditions and forest characteristics. We believe that any of the highest ranked models would work properly in Slovenia if appropriate validation and parameterization of the model would be performed. However, we believe that it would make sense to start developing our own models to simulate forest development of a single forest stand and of forest areas.

A review of the forest development models used in Europe for making simulations at the national level and for international reporting was also made. The evaluation of the models using the classical ranking according to the weighted sum model revealed the CBM-CFS3 model as the most appropriate, followed by models SILVA, CALDIS, and FORMIT-M. The CBM-CFS3 model has been used in many countries for this kind of simulations, thus we performed the sensitivity analysis which indicated that this model has the potential for simulating forest development in Slovenia. We suggest to test also the SILVA and CALDIS models as they are climate sensitive and

could simulate the impact of climate change on forest development. We believe that Slovenia could use the CBM-CFS3 model for simulating forest development at the national level for creating national forestry policy and for international reporting. However, we also suggest to start developing our own model, but the available human and financial resources should be necessary considered.

The analysis of the input data availability for initialization of the models and simulation of forest development indicated the sufficiency of data on forest stands in the forest information system, some data are available in other open accessible databases, while some, especially data on various site properties, are currently not available in the accessible databases. Missing or incomplete are mainly data on forest soil characteristics and site indices. This makes it largely impossible or at least difficult to initialize process-based and hybrid models. Forestry data bases are not sufficiently interconnected; for example, data on forest societies and related site indices cannot be unambiguously assigned to permanent sample plots because of the data format of the first. To simulate forest development at the national level, a sufficient data source is the NFI database, which is being actively updated and upgraded. When updating and upgrading data sources, it is necessary to consider new data acquisition technologies (e.g. LiDAR data).

The developed concept of forest development models' integration into forest management planning assumes that it is crucial to develop our own forest development model or decision support system incorporating one or more forest development models, which will link the framework planning at the level of forest types in forest management unit and detailed planning at the level of individual forest stands. The same model/system could potentially be applied also for formulating forest management strategies at the level of forest types in forest management regions. Optional, or even better in parallel, we should be developing models to simulate forest development at different spatial levels (forest stand, forest area), the priority being development of a model/system for a framework planning. Here, it is also possible to adopt and parameterize a suitable model developed abroad. To simulate forest development at the national level for forest policy-making and international reporting, we propose to adopt an appropriately parameterized model; however, in the long run it makes sense to develop our own model also for this modelling.

In conclusions, recommendations are given regarding the application of forest development models in forest management planning and forest management in Slovenia and regarding the upgrading of data sources that enables the models to initialize and perform forest development simulations.

1 Uvod s pregledom področne literature

Modeliranje je poenostavljen prikaz delovanja nekega sistema, za modele je pomembno, da opišejo sistem z bistvenimi elementi in relacijami med njimi. Vanclay (1994) je model razvoja gozdov označil kot abstrakten prikaz naravne dinamike gozdnega ekosistema, ki obsega rast, razvoj, mortaliteto in spremembe ostalih komponent gozdnega ekosistema. Modeliranje razvoja gozdov je torej poenostavljen prikaz sprememb gozdnih sestojev zaradi različnih procesov v gozdnem ekosistemu (npr. Porté in Bartelink, 2002). Modeli razvoja gozdov napovedujejo razvoj dreves oziroma gozdnih sestojev glede na drevesne, sestojne, rastiščne in gozdnogospodarske dejavnike (Pretzsch, 2010). Modeliranje je sestavni del prognoziranja (ang.: *forecasting*), ki pomeni znanstveno napovedovanje prihodnjega razvoja gozdnih sestojev glede na prepoznane zakonitosti v dosedanem razvoju. Če pri prognoziranju upoštevamo različne smeri razvoja opazovanega pojava, govorimo o oblikovanju scenarijev. Pri tem so lahko upoštevani različni vplivni dejavniki, kot so gospodarjenje z gozdovi in okoljski dejavniki.

Modeliranje razvoja gozdov je pogosto sestavni del upravljanja gozdov. Pomembno je predvsem za napovedovanje razvoja gozdnih sestojev glede na različne variante ukrepanja, kar je podlaga za odločitve o prihodnjih ukrepih (načrt). Modeliranje je v upravljanju gozdov pomembno zaradi kompleksne narave gozdnih ekosistemov, dolgih proizvodnih ciklov in velike odvisnosti razvoja gozdov od gospodarjenja in drugih vplivnih (okoljskih) dejavnikov. Različni scenariji razvoja gozdov glede na različno ukrepanje so zato temeljna podlaga za boljše odločanje in zmanjševanje tveganj pri gospodarjenju z gozdovi. Z modeliranjem lahko kvantificiramo scenarije, kar je izhodišče za argumentirano odločanje pri izbiri ukrepov. Že od začetkov načrtnega gospodarjenja z gozdovi v 18. in 19. stoletju so opazna prizadevanja za izdelavo modelov, ki so služili kot orodje za boljše odločanje in gospodarjenje. Tehnološki razvoj, v zadnjem času predvsem razvoj digitalizacije, odpira na področju modeliranja in upravljanja gozdov nove možnosti.

Modeli razvoja gozdov so praviloma sestavljeni iz sistema enačb in algoritmov, ki temeljijo na empiričnih (alometrijskih) relacijah med znaki posameznega drevesa ali sestoja in/ali matematični kvantifikaciji različnih ekofizioloških procesov v in med rastlinami (drevesi) (Fontes in sod., 2010). Prvi znani modeli razvoja gozdov so donosne (sestojne) tablice, ki so jih razvili prirastoslovci za spremljanje rasti in donosov gozdov. Najpreprostejše najdemo že v 18. stoletju, npr. Réaumurjeve iz leta 1721, najstarejše nemške segajo v leto 1795 (Paulsen), med starejšimi so poznane še Hartigove (1795) in Cottine (1821) tablice ter kasnejše Schwapachove tablice (1903). Kljub dolgi zgodovini sestojne tablice še vedno pogosto predstavljajo temelj upravljanja s tovrstnimi sestoji določenih drevesnih vrst (t.i. plantaže) (Porté in Bartelink, 2002). Razvite so bile tudi sestojne tablice za mešane sestoe, ki pa se niso splošno uveljavile v gozdarski praksi, saj je drevesna sestava gozdnih sestojev preveč raznolika, da bi tablice lahko zajele vse možnosti.

Sredi 20. stoletja so raziskovalci začeli razvijati prve empirične modele, ki so večinoma temeljili na modeliranju razvoja števila dreves v sestojih (t.i. sestojni modeli) (Pretzsch, 2010); primer takšnih modelov so matrični modeli (npr. Buongiorno in Michie, 1980; Ficko in sod., 2016). Empirični modeli temeljijo na empirično dognanih alometrijskih ali funkcijskih zvezah med drevesnimi oziroma sestojnimi parametri.

Z razvojem računalniške tehnologije v zadnjih desetletjih 20. stoletja so modeli razvoja gozdov postajali vse kompleksnejši in so upoštevali vedno več procesov in komponent gozdnega ekosistema. Razvijati so se začeli predvsem kompleksni mehanistični (procesni) modeli, v katerih algoritmi temeljijo na matematični kvantifikaciji ekofizioloških procesov, ne upoštevajo pa (vseh) rastnih

pogojev posameznih dreves (npr. intra- in interspecifične kompeticije), in hibridne modele, ki smiselno združujejo elemente empiričnih in procesnih modelov (Pretzsch, 2010). Na podlagi zgrajenih modelov so se začela razvijati tudi kompleksna programska orodja za simulacije razvoja gozdnih ekosistemov (t.i. simulatorji).

Poleg omenjene delitve modelov glede na zgradbo oziroma koncept modela poznamo še delitve modelov glede na njihov namen, podrobnost simulacije, prostorsko enoto modeliranja ipd. (npr. Vanclay, 1994; Franc in sod., 2001; Peng, 2000; Porté in Bartelink, 2002). Glede na osnovno celico modeliranja (posamezno drevo, sestoj, rastiščna enota, ipd.) sta Porté in Bartelink (2002) modele razvoja gozdov razdelila na sestojne (angl. *stand models*) in drevesne modele (angl. *individual-tree models*). Sestojne tablice in matrični modeli so primeri sestojnih modelov, in sicer s prostorsko neopredeljenimi podatki in rezultati. V 1970ih in 1980ih so začeli razvijati t.i. drevesne modele, ki simulirajo rast enega drevesa glede na njegove rastne pogoje ter nato rasti posameznih dreves agregirajo na sestojno raven (npr. Pukkala, 1987; Pretzsch, 1992; Courbaud, 1993; Hasenauer, 1994). Rastni pogoji so v model vključeni preko rastnih funkcij, ki upoštevajo izbrane drevesne, sestojne in/ali rastiščne parametre. Za simulacijo razvoja posameznih dreves potrebujejo ti modeli prostorsko locirane podatke (angl. *distance-dependent models*). Istočasno, predvsem pa nekoliko kasneje so različni raziskovalci kot posebno obliko drevesnih modelov, ki pa za simulacijo razvoja gozdov ne potrebujejo prostorsko opredeljenih podatkov (angl. *distance-independent models*), razvili t.i. modele zaplat (angl. *gap models*) (npr. Bugmann, 2001) in modele za simulacijo dinamike rastlinske biomase (angl. *matter balance models*), poznane tudi kot ekofiziološki modeli (npr. Bossel, 1996; Lexer in Hönninger, 2001; Grote in Pretzsch, 2002; Bergh in sod., 2003; Kurz in sod., 2009). Vzporedno so bili razviti tudi modeli za simulacijo razvoja gozdov na krajinski ravni (angl. *landscape models*) (npr. Schumacher in sod., 2004). Različne sestojne modele, drevesne modele in modele zaplat raziskovalci uporabljajo predvsem za analizo in razlago upravljaljskih in ekoloških problemov v gozdnih ekosistemih (npr. Mina in sod., 2015; Härtl in sod., 2016; Irauschek in sod., 2017), medtem ko modele za simulacijo dinamike rastlinske biomase, ki so praviloma tipični procesni modeli, uporabljajo predvsem za simulacijo dinamike ogljika (tudi dušika) v biogeokemičnih procesih ter kvantifikacijo zalog ogljika v gozdnem ekosistemu (npr. Smith in sod., 2014).

V tujini najdemo veliko število modelov razvoja gozdov. Nekateri so bili razviti le za znanstvene namene, precej pa bilo izdelanih za podporo nacionalni ali mednarodni (npr. EU) gozdni politiki (npr. EFISCEN, Nabuurs in sod., 2001; CBM-CFS, Kurz in sod., 2009) in upravljanju gozdov (npr. SYLVA, Pretzsch, 2010; MOSES, Hasenauer, 1994; PICUS, Lexer and Hönninger, 2001; SiWaWa, Rosset in sod., 2013). Modeli razvoja gozdov na državni ravni so v mednarodnih študijah na področju gozdarstva že dalj časa pomembno orodje za napovedovanje razvoja gozdov, odločanje in oblikovanje gozdne politike. Čeprav je uporaba modelov v gozdarstvu prisotna že dolgo, ima modeliranje razvoja gozdov na ravni države v Evropi relativno kratko tradicijo. Vzrok temu gre pripisati predvsem pestrim ekološkim razmeram in heterogenim gozdovom, kar je oteževalo razvoj tovrstnih modelov (Barreiro in Tomé, 2017). Z naraščajočimi obvezami mednarodnih sporazumov (npr. UNFCCC in kjotski protokol), ki od držav zahtevajo spremljanje in poročanje zalog in sprememb zalog ogljika v gozdovih, so modeli razvoja gozdov na državni ravni postali ključno orodje v primerjavah in zavzemanju stališč do novih podnebnih ciljev, še posebej v okviru podnebne in energetske politike EU. Države EU za modeliranje dinamike zalog ogljika uporabljajo številne modele (Tomppo in sod., 2010), uveljavljen je npr. kanadski model CBM-CFS (Kurz in sod., 2009). Za napovedovanja razvoja gozdov in gospodarjenja na veliki (nacionalni, internacionalni) prostorski ravni se je v Evropi najbolj uveljavil model napovedovanja gozdnih virov EFISCEN (ang. *European Forest Information SCENario model*). Model je bil uporabljen za simulacijo razvoja gozdov na nacionalni

ravni v številnih evropskih državah (npr. Nabuurs in sod., 2000, 2001; Schelhaas in sod., 2002; Thürig in Schelhaas, 2006; Seidl in sod., 2009).

Na področju upravljanja gozdov na manjših prostorskih ravneh so bili v Evropi in drugje po svetu razviti številni modeli razvoja gozdov (Peng, 2000; Fontes in sod., 2010; Porté in Bartelink, 2002). S simulacijami razvoja gozdov glede na različne scenarije okoljskih (klimatskim) spremembe in gospodarjenja z gozdovi so raziskovalci reševali številne upravljavske probleme, kot npr. ovrednotenje različnih načinov ukrepanja v gozdnih sestojih na razvoj gozdov (npr. Schmidt in sod., 2006; Lafond in sod., 2014; Klopčič in sod., 2017; Temperli in sod., 2017), transformacija enomernih sestojev v raznomerne (npr. Hanewinkel in Pretzsch, 2000; Courbaud in sod., 2001; Thürner in sod., 2011; Hilmers in sod., 2020), ovrednotenje vpliva različnega razvoja gozdov na zagotavljanje ekosistemskih storitev (npr. Yousefpour in sod., 2010; Rasche in sod., 2013; Temperli in sod., 2013; Mina in sod., 2017), ovrednotenje vpliva velikih rastlinojedov na razvoj gozdov (npr. Didion in sod., 2009; Cailleret in sod., 2014), občutljivost gozdov na klimatske spremembe s predlogi prilagoditve nanje (npr. Lexer in sod., 2002), ovrednotenje sprememb v zgradbi, sestavi in rasti gozdov zaradi okoljskih sprememb (npr. Lasch in sod., 2002; Eastaugh in sod., 2011), vpliv motenj na razvoj gozdov (npr. Schumacher in Bugmann, 2006; Seidl in sod., 2009; Temperli in sod., 2013), vpliv okoljskih sprememb na ekonomsko uspešnost gospodarjenja (npr. Härtl in sod., 2015), optimiranje gospodarjenja z gozdovi (npr. Hyytiäinen in Haight, 2010) in drugo.

V Sloveniji za razliko od večine evropskih držav področje modeliranja razvoja gozdov ni bilo sistemsko razvijano. Pred desetletji je Kotar (2003) priredil slovaške donosne tablice, uporabljajo se tudi švicarske donosne tablice (Čokl, 1980). Uporabnost teh modelov za razmere v Sloveniji je omejena, saj so opazna odstopanja in pomanjkljivosti. Zavod za gozdove Slovenije je razvil modele razvoja gozdov, ki so bili predvsem podlaga za določanje proizvodnih dob in optimalnega razmerja razvojnih faz gozda (Veselič, 2002). Sodobnih modelov razvoja gozdov nismo razvili in se zato v gozdnogospodarskem načrtovanju ne uporabljajo. So pa bili v zadnjih letih izdelani nekateri parcialni modeli razvoja posameznih sestojnih parametrov, kot npr. lesne zaloge (Debeljak in sod., 2014) in drevesne sestave (Kutnar in Kobler, 2011), pojavili pa so se tudi prvi poskusi razvoja lastnega modela (Ficko in sod., 2016; Ficko in sod., 2018) in aplikacije (v tujini razvitih) modelov razvoja gozdov v slovenske gozdove (Skudnik in Mali, 2015; Hudernik, 2016; Mina in sod., 2016; Klopčič in sod., 2017; Ficko in sod., 2018). Nekatere izmed teh aplikacij so ovrednotene in presoјane tudi v tem projektu.

Ocenjujemo, da je področje modeliranja razvoja gozdov v Sloveniji pomanjkljivo razvito, kar se odraža tudi v načinu priprave gozdnogospodarskih načrtov, ki so v tem segmentu pomanjkljivi. Področje je zato treba začeti sistematično razvijati, in sicer tako, da bodo modeli razvoja gozdov dostopni in uporabni na različnih ravneh upravljanja z gozdovi. Ker je to področje bolje razvito v nekaterih drugih državah (npr. Švica, Avstrija, Nemčija), se je smiselno zgledovati po njihovih izkušnjah in do določene mere prevzeti njihova obstoječa znanja. A neposredna uporaba takšnih modelov, razvitih v drugačnih okoljih od našega, je omejena zaradi specifičnih rastiščnih (npr. karbonatna podlaga) in sestojnih razmer (mešani sestoji, raznomena zgradba) v Sloveniji. Na podlagi pregleda obstoječih modelov razvoja gozdov je veliko lažje zasnovati razvoj področja in izdelavo modelov pri nas. Zasnove modelov gozdov je treba namreč prilagoditi razmeram v Sloveniji, upoštevajoč tudi razpoložljive in potencialno dostopne podatke v Sloveniji. Primerjalno z drugimi državami imamo v Sloveniji bogate in tudi relativno podrobne podatkovne zbirke o gozdnih sestojih, deloma tudi rastiščih, a ti podatki niso optimalno uporabni za modeliranje razvoja gozdov, so pa vseeno dobro izhodišče za razvoj modelov. Nove IT tehnologije pridobivanja in obdelav podatkov o gozdovih omogočajo dostopnost novih podatkov o gozdnih sestojih, ki jih v obstoječem sistemu gozdnih inventur ni, a se jih v modelih pogosto potrebuje kot vhodni podatek. Prav tako v Sloveniji še nismo razvili vseh prirastoslovnih

podlag, ki so pogoj za razvoj in uporabo modelov. To področje je potrebno nujno razvijati, če želimo ustrezno aplicirati modele razvoja gozdov na katerikoli prostorski ravni (nacionalni, regionalni (GGO), krajinski (npr. GGE, rastiščnogojitveni razred, gozdni tip, gozdno posest) ali sestojni ravni). Za gozdno politiko je nujen razvoj svojega ali prilagoditev tujih modelov, ki bodo na nacionalni in regionalni (gozdnogospodarsko območje) prostorski ravni simulirali razvoj gozdov ob upoštevanju različnih sprememb okolja (klime) in gospodarjenja z gozdovi. Za načrtovanje in upravljanje gozdov je treba razviti modele, ki bodo omogočili simulacije razvoja gozdov glede na različne variante ukrepanja. Takšni modeli bi bili uporabni zlasti za načrtovalce, revirne gozdarje in tudi lastnike gozdov.

2 Cilji projekta

Cilji projekta CRP V4-1821 so bili:

1. izdelati pregled in presojo modelov razvoja gozdov na nacionalni ravni, ki jih uporabljajo evropske države za potrebe poročanja in primerjave razvoja gozdov;
2. izdelati pregled modelov razvoja gozdov za upravljanje gozdov različnih načrtovalskih in prostorskih ravneh;
3. presoditi modele razvoja gozdov za upravljanje gozdov v Sloveniji:
 - a) ovrednotiti modele razvoja gozdov z vidika uporabnosti za upravljanje z gozdovi (gozdnogospodarsko načrtovanje);
 - b) presoditi uporabnost obstoječih podlag in podatkovnih virov za modeliranje razvoja gozdov;
 - c) aplicirati izbrane modele razvoja gozdov na testnih območjih;
4. opredeliti zasnovo modeliranja razvoja gozdov v Sloveniji.

Opredeljeni cilji so določali vsebinske delovne sklope raziskovalnega projekta, metode in delno rezultate zato opisujemo po omenjenih sklopih.

3 Struktura raziskovalnega projekta z opisom parcialnih ciljev in uporabljenih metodologij

Projekt je bil razdeljen na 4 delovne sklope (DS), ki so vsebinsko pokrivali dve področji modeliranja razvoja gozdov in podatkovne vire. DS1 je preučeval uporabnost modelov razvoja gozdov na državni in meddržavni ravni za potrebe mednarodnega poročanja, medtem ko sta sklopa bila DS2 in DS3 namenjena pregledu in presoji uporabnosti modelov razvoja gozdov za potrebe gozdnogospodarskega načrtovanja in širšega upravljanja z gozdovi. V DS4 pa smo izvedli sintezno analizo in kot rezultat predstavili zasnovo vključitve modeliranja razvoja gozdov v upravljanje z gozdovi v Sloveniji.

V tem zaključnem poročilu metodologijo dela večinoma le povzemamo, predstavljamo tudi skrajšane rezultate in ugotovitve analiz v delovnih sklopih, tako metode kot rezultati in ugotovitve so podrobneje opisani v prilogah 1-6, ki predstavljajo izsledke oziroma podrobna poročila posameznih sklopov. Izjema je sklop DS4, kjer predstavljamo vse rezultate oziroma celotno zasnovo modeliranja razvoja gozdov v Sloveniji.

DS1: Pregled in presoja modelov razvoja gozdov na državni in meddržavni ravni za mednarodno poročanje

Pregled modelov razvoja gozdov, ki se uporabljajo za simulacije razvoja gozdov na nacionalni ravni in mednarodno poročanje, smo izvedli z raziskovanjem strokovne in znanstvene literature v podatkovnih zbirkah, kot so ScienceDirect, Springer Link, Taylor & Francis, Wiley idr. Poleg tega smo literaturo iskali tudi z iskalnikom Google in Google "Učenjak", pri čemer smo uporabili naslednje ključne besede in besedne zveze: "forest model", "growth model", "model of forest growth", "forest growth model", "simulator", "forest simulator", "forest growth modelling", "growth and yield modeling", "forest resource projection", "forest carbon budget", "projection of carbon stock" ter "forest inventory-based projection". Na podlagi zbrane literature smo modele razvrstili po državah v katerih so bili le-ti razviti, pri čemer smo dali poudarek na tistih, ki se uporabljajo v Evropi.

Vrednotenje izbranih modelov smo opravili s klasičnim rangiranjem po modelu tehtane vsote (Song in Kang, 2016), kjer so relativne uteži (t.j. 0 do 1) razvrščene glede na pomembnost kriterija, dejanske vrednosti modelov pa dodeljene glede na značilnost izbranih modelov v smislu določenega kriterija (tj. + = 10, ++ = 20, +++ = 30). Najboljša alternativa je tista, ki doseže največje število točk t.i. tehtane vsote. To je najbolj enostavna metoda večkriterialne primerjave in v določeni meri tudi subjektivna, saj na končni rezultat vpliva tako dodelitev uteži kriterijem, kot tudi dejanskih točk s strani ocenjevalca.

Izvedli smo tudi analizo občutljivosti modela CBM-CFS3, ki je znana metoda ugotavljanja negotovosti modela, s katero določimo, kako komponente modela in vhodni podatki vplivajo na napovedi in kako se napake širijo po modelu (npr. Song in sod., 2012). Podrobneje je metodologija opisana v rezultatih, saj je za lažje razumevanje vsebine analize občutljivosti bolje, da je metodologija podana skupaj z rezultati.

Rezultati tega delovnega sklopa so prikazani v poglavjih 4.3 in 4.4.2.

DS2: Pregled modelov razvoja gozdov za upravljanje gozdov na različnih prostorskih ravneh

Namen delovnega sklopa DS2 je bil, izdelati pregled in presojo modelov razvoja gozdov za upravljanje gozdov na različnih načrtovalskih in prostorskih ravneh. Pri izdelavi pregleda glavnih tipov modelov razvoja gozdov smo se naslanjali na pregledni članek Porté in Bartelink (2002) in nekatere druge pregledne članke (npr. Peng, 2000; Pretzsch in sod., 2006; Fontes in sod., 2010; Shifley in sod., 2017) in monografije s področja modeliranja razvoja gozdov (Pretzsch, 2010; Burkhardt in Tome, 2012). Osnovna delitev je identificirala 6 osnovnih tipov modelov razvoja gozdov. Osnovnim tipom modelov razvoja gozdov smo opisali glavne lastnosti. Za potrebe presoje primernosti tipov modelov razvoja gozdov za upravljanje gozdov v Evropi in Sloveniji smo osnovno klasifikacijo tipov modelov na podlagi rezultatov prvega dela analize dopolnili in identificirali 10 glavnih tipov modelov razvoja gozdov. Presajo smo izdelali z metodo analitičnega hierarhičnega procesa (AHP) (Saaty, 1980). Skladno z metodologijo smo parno primerjali 8 kriterijev 1. ravni, štirikrat 3 kriterije in dvakrat 2 kriterija 2. ravni (podkriterije) in 10 alternativ (identificiranih tipov modelov) glede na kriterije 1. ali 2. ravni. Podrobneje je metodologija opisana v prilogi 2 (t.j. izsledek D2).

Rezultati tega delovnega sklopa so prikazani v poglavju 4.1.

DS3: Presoja in ovrednotenje modelov razvoja gozdov za uporabo pri upravljanju gozdov v Sloveniji

Delovni sklop DS 3 je bil razdeljen na tri podsklope.

DS3.1: Presoja modelov za upravljanje gozdov

V delovnem podsklopu DS 3.1 smo presojali 10 izbranih modelov razvoja gozdov, ki predstavljajo večino v izsledku D2 predstavljenih tipov modelov razvoja gozdov. V presoji smo se omejili na modele razvoja gozdov, za katere smo na podlagi preteklega znanja in ugotovitev sklopa DS 2 in podsklopa DS 3.3 ocenili, da so potencialno uporabni za podporo odločanju pri gozdnogospodarskem načrtovanju oziroma bi jih bilo mogoče prirediti v tolikšni meri, da bi bili uporabni za gozdnogospodarsko načrtovanje.

Presoja modelov razvoja gozdov je potekala kot ekspertna ocena ustreznosti izbranih modelov razvoja gozdov za upravljanje gozdov na dveh različnih prostorskih ravneh: i) na ravni posameznih sestojev – sestojni modeli ali modeli A in ii) na večji prostorski ravni (npr. rastiščnogojitveni razred, gozdna posest, gozdnogospodarska enota, območje, regija) – modeli za gozdna območja ali modeli B. Skladno s tem smo modele ocenjevali večkriterialno s kombinacijo metod i) analitičnega hierarhičnega procesa (AHP; Saaty, 1980) in ii) TOPSIS (Hwang in Yoon, 1981). Pri tem smo upoštevali 20 kriterijev, predvsem pa ustreznost modela za upravljanje z gozdovi (možnost simuliranja ukrepov, integrabilnost v sisteme za podporo odločanju - DSS), primernost modela za uporabo v Sloveniji (upoštevanje rastiščne heterogenosti, možnost simuliranja razvoja mešanih in listnatih gozdov ter raznomernih gozdov) ter dostopnost in ustreznost vhodnih podatkov za zagon modela (dostopnost vhodnih podatkov, ali je starost ključni vhodni podatek, prostorska ločljivost podatkov). Modele smo nato na podlagi izračunanih končnih uteži oziroma pomena rangirali glede njihove potencialne uporabnosti za podporo odločanju v gozdnogospodarskem načrtovanju. Podrobneje je metodologija opisana v prilogi 3 zaključnega poročila, t.j. izsledku D3.1.

Rezultati tega delovnega sklopa so prikazani v poglavju 4.2.2.

DS3.2: Ocena in izboljšanje podatkovnih virov za modeliranje

V podsklopu DS 3.2 smo sledili naslednjim ciljem:

- oceniti dostopne podatkovne vire kot vire vhodnih podatkov za modeliranje razvoja gozdov;
- preveriti možnosti, da manjkajoče podatke nadomestimo z ocenami na podlagi statističnih (npr. regresijskih) analiz razpoložljivih podatkov;
- preveriti možnosti, da podatke, pomembne za modeliranje, pridobimo s tehnikami daljinskega zaznavanja (npr. lidarski posnetki).

Uporabljena metodologija dela se je razlikovala glede na cilje podsklopa. Prvi parcialni cilj smo realizirali s podatki in informacijami o podatkovnih zbirkah v gozdarskem informacijskem sistemu ter informacijami o zahtevah posameznih modelov razvoja gozdov po vhodnih podatkih, ki smo jih zbrali v podsklopih DS 3.1 in 3.3. Drugi parcialni cilj smo realizirali z različnimi analizami in razvojem različnih statističnih modelov, ki bi jih lahko vgradili v tuje modele ali uporabili za razvoj lastnega modela razvoja gozdov. Metodološki pristopi v tem sklopu so bili različni, podrobneje so opisani v poglavju 4 in predvsem prilogi 4. Za analize smo uporabili podatke gozdnih inventur Zavoda za gozdove Slovenije, ključni so bili podatki s stalnih vzorčnih ploskev (ZGS, 2019). Pri zadnjem parcialnem cilju smo se poslužili prosto dostopnih podatkov LIDAR skeniranja, s katerimi smo preizkusili novo metodologijo izdelave sestojne karte. Privzeli smo metodologijo TBk, ki so jo razvili

na Visoki šoli za agronomijo, gozdarstvo in prehrano (*Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL*) pri Bernski univerzi za aplikativne študije, Švica, pod vodstvom prof. dr. Christiana Rosseta. Več podrobnosti metodoloških pristopov je navedenih v poglavju 4 in predvsem prilogi 4 (t.j. izsledek D3.2).

Rezultati tega delovnega sklopa so prikazani v poglavju 4.4.1.

DS3.3: Testni primeri uporabe modelov

V delovnem podsklopu DS 3.3 smo sledili naslednjim ciljem:

- izvesti testne simulacije in analizirati točnost simulacij z izbranimi modeli razvoja gozdov (validacija modelov),
- prikazati rezultate že izvedenih testnih simulacij izbranih modelov razvoja gozdov in
- izpostaviti slabosti in prednosti izbranih modelov ter analizirati njihovo potencialno uporabnost pri upravljanju z gozdovi v Sloveniji.

Delovni podsklop DS 3.3 smo vsebinsko razdelili na dva dela. V prvem delu smo testirali modele razvoja gozdov na podatkih, ki so zbrani v gozdarskem informacijskem sistemu. Predstavili smo testiranja dveh modelov (WIS.2, SiWaWa), ki smo ju izvedli v okviru projekta, in testiranja še petih modelov, ki so bili testirani ali razviti pred pričetkom projekta (SLOMATRIX, ForClim, MOSES, LPJ-GUESS in EFISCEN). V drugem delu raziskave pa smo preučili tujo strokovno literaturo in opisali testiranja še treh potencialno uporabnih modelov razvoja gozdov (MASSIMO, SILVA in LANDIS II), ki pa so bila izvedena na podatkih iz tujine. Metodologije raziskovalnega dela na tem mestu ne opisujemo, saj se je med testiranjem razlikovala, vsak model pač zahteva nekoliko drugačno obravnavo glede na njegove zahteve. So pa metodologija testiranja in uporabljeni podatki podrobno opisani v prilogi 5 tega poročila (t.j. izsledek D3.3). Pri vsakem obravnavanem modelu smo izpostavili prednosti in morebitne slabosti ter ocenili potencialno uporabnost modela v gozdnogospodarskem načrtovanju. Rezultati in pridobljene izkušnje so bili pomemben vhod v presojo modelov v DS 3.1, zato jih v poglavju 4 navajamo pred presojo modelov.

Rezultati tega delovnega sklopa so prikazani v poglavju 4.2.1.

DS4: Opredelitev zasnove modeliranja razvoja gozdov v Sloveniji

Namen delovnega sklopa DS 4 je bil sintezno združiti vse rezultate in ugotovitve projekta s ciljem oblikovati zasnovo modeliranja razvoja gozdov v Sloveniji z opisano metodologijo vključevanja modelov razvoja gozdov na vse ravni upravljanja z gozdovi, od EU in nacionalne gozdne politike do gozdnogospodarskega načrtovanja. Za realizacijo cilja smo sintezno analizirali ugotovitve in zaključke delovnih sklopov DS1, DS2 in DS3 ter oblikovali ciljni dokument. Osnutek zasnove modeliranja razvoja gozdov je bil na delavnici, ki smo jo izpeljali v oktobru 2020, predstavljen skupini načrtovalcev na Zavodu za gozdove Slovenije. Njihove pripombe in predlogi so bili smiselno upoštevani in vključeni v izsledek D4 (priloga 6) in to poročilo.

Rezultati tega delovnega sklopa so prikazani v poglavju 4.4.

4 Ključni rezultati projekta z zaključki

V tem poglavju podajamo ključne rezultate projektnih delovnih sklopov. Rezultate podajamo vsebinsko, zato opis metodologije in rezultati ne sledijo povsem vrstnem redu delovnih sklopov. Na koncu vsakega delovnega sklopa ali podsklopa podajamo razpravo z zaključki, ki se nanašajo na vsebino (pod)sklopa. Skupni zaključki so s priporočili za naročnika podani v poglavju 5.

4.1 Pregled in presoja glavnih tipov modelov razvoja gozdov za upravljanje z gozdovi na različnih prostorskih ravneh

Porté in Bartelink (2002) sta pri opredelitvi tipov modelov razvoja gozdov za upravljanje z gozdovi sledila trem osnovnim kriterijem: 1) velikost osnovne enote modeliranja (OEM; npr. veja z listi, drevo, sestoj, krajina) – opredelila sta dva osnovna tipa modelov: modele na drevesni prostorski ravni in modele na sestojni prostorski ravni; 2) prostorska odvisnost vhodnih podatkov – modele sta razdelila glede na zahteve po prostorsko odvisnih vhodnih podatkih (in praviloma tudi prostorsko določenih izhodnih rezultatih) na dva osnovna tipa: i) modele, ki zahtevajo prostorsko odvisnost podatkov (angl. *distance-dependent models*) in ii) modele, ki tega ne zahtevajo (angl. *distance-independent models*); in 3) upoštevanje heterogenosti gozdov v modelu. Na podlagi te klasifikacije smo opredelili 6 osnovnih tipov modelov (preglednica 1).

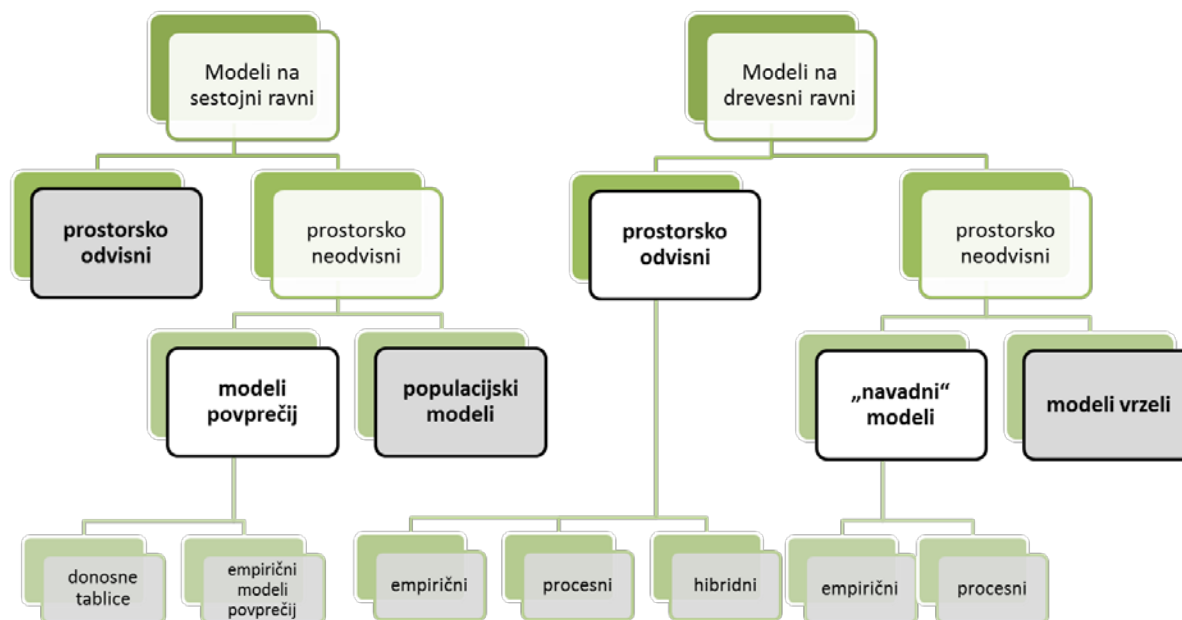
Preglednica 1: Določitev osnovnih tipov modelov razvoja gozdov (OEM – osnovna enota modeliranja).

Osnova enota modeliranja (OEM)	Prostorska določnost modela	Upoštevanje heterogenosti	Tip modela
sestoj / del sestoja	da	da	Prostorsko odvisni sestojni modeli
	ne	ne da	Modeli povprečij Populacijski modeli
drevo	da	da	Prostorsko odvisni drevesni modeli
	ne	ne da	»Navadni« ('non-gap') prostorsko neodvisni modeli na drevesni ravni Modeli vrzeli

Druge znanstvene publikacije (npr. Peng, 2000; Pretzsch et al., 2006; Fontes et al., 2010; Pretzsch, 2010; Burkhardt in Tome, 2012; Shifley et al., 2017) pogosto kot opredelitveni kriterij upoštevajo še način izgradnje modela oziroma način simulacije ciljnih parametrov ali procesov. Glede načina izgradnje modela razvoja gozdov ločimo tri osnovne tipe modelov razvoja gozdov: empirični, procesni in hibridni način. Opisi teh in osnovnih tipov modelov razvoja gozdov, prikazanih v preglednici 1, so podani v prilogi 2 zaključnega poročila (t.j. izsledek D2).

V presoji smo ocenili pet osnovnih lastnosti konceptualne zasnove tipa modela: 1) koncept izgradnje modela, 2) namen modela, 3) obravnavanje negotovosti, 4) izračun izhodnih parametrov in 5) možnost upoštevanja vrstne in strukturne heterogenosti. Lastnosti posameznih tipov modelov razvoja gozdov so podane v prilogi 2. Na podlagi zbranih informacij o načinu izgradnje modelov

osnovnih šestih tipov (Porté in Bartelink, 2002) smo za potrebe presoje tipov modelov razvoja gozdov glede primernosti za upravljanje gozdov v Evropi klasifikacijo po Porté in Bartelink (2002) dopolnili. Identificirali smo 10 različnih tipov modelov razvoja gozdov, ki so prikazani na sliki 1, presojani tipi so označeni s sivo zapolnitvijo okvirčkov.



Slika 1: Dopolnjena shema klasifikacije modelov razvoja gozdov (dopolnjeno po Porté in Bartelink, 2002); s črnimi okvirji so označeni osnovni tipi modelov razvoja gozdov, v sivo zapolnjenih okvirjih pa so tipi modelov, ki smo jih presojali glede njihove uporabnosti za upravljanje gozdov.

Ekspertna presoja tipov modelov z AHP metodo je podala naslednje rezultate. Izračun lokalnih uteži kriterijev 1. ravni je po pomenu za upravljanje gozdov v Sloveniji na prvo mesto postavil kriterij K1 'dostopnost vhodnih podatkov', na drugo K7 'podpora odločanju' in na tretje K5 'uporabnost za različne skupine uporabnikov' (preglednica 2). Njihove uteži so bile občutno višje od uteži drugih kriterijev.

Lokalne in globalne uteži kriterijev 2. ravni so prav tako prikazane v preglednici 2. Te uteži med seboj niso neposredno primerljive zaradi različnega števila kriterijev 2. ravni znotraj posameznega kriterija 1. ravni.

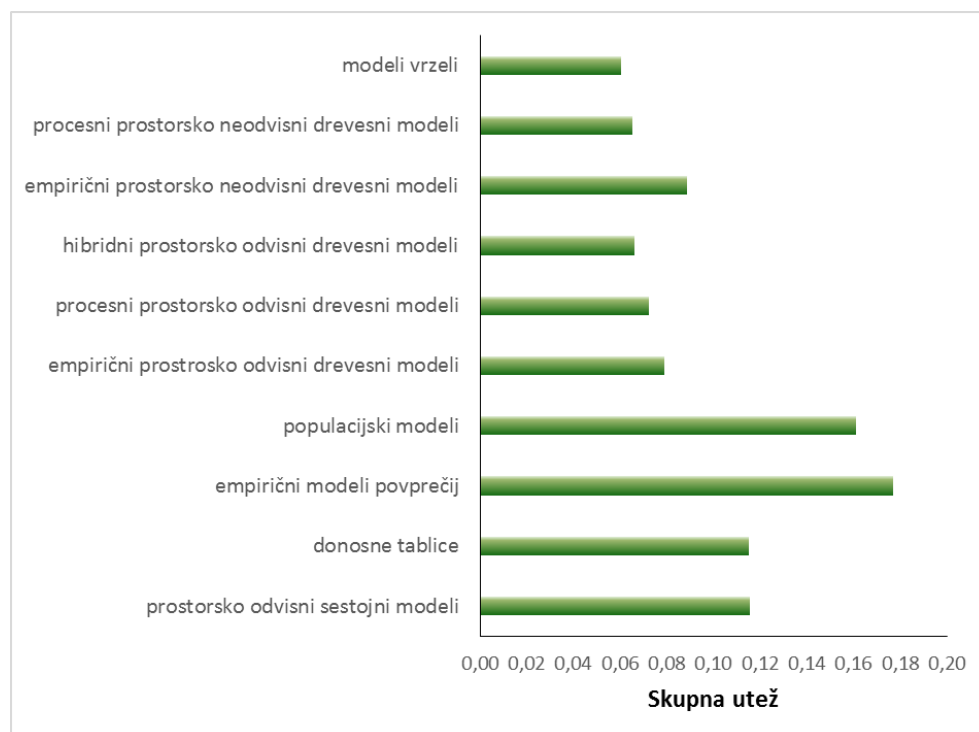
Preglednica 2: Lokalne in globalne uteži posameznih ocenjevanih kriterijev in rangiranje pomena kriterijev 1. ravni

Kriteriji – raven 1	Lokalne uteži	Rang	Kriteriji – raven 2	Lokalne uteži	Globalne uteži
K1 Dostopnost vhodnih podatkov	0,2176	1	-	-	-
K2 Ustreznost izhodnih podatkov	0,0951	6	Sestojna raven	0,7101	0,0675
			Krajinska raven	0,2899	0,0276
K3 Možnost izdelave scenarijev gospodarjenja z gozdovi	0,1083	4	Število scenarijev	0,4142	0,0449
			Simultanost	0,5858	0,0634
K4 Možnost upoštevanja okoljskih in drugih sprememb	0,0534	7	Naprednost upoštevanja sprememb	0,3679	0,0196
			Podnebne spremembe	0,4635	0,0247
			Ročnost simulacij	0,1686	0,0090
K5 Uporabnost	0,1655	3	Gozdarji na terenu	0,1998	0,0331
			Načrtovalci	0,6388	0,1057
			Raziskovalci	0,1614	0,0267
K6 Naprednost	0,0423	8	Sodobno znanje	0,1740	0,0074
			Obravnavna prostora	0,4817	0,0204
			Negotovost	0,3443	0,0146
K7 Podpora odločanju	0,1955	2	Okoljska trajnost	0,4854	0,0949
			Ekonomska trajnost	0,3307	0,0647
			Socialna trajnost	0,1839	0,0360
K8 Možnost uporabe v GGN	0,1224	4	-	-	-

Rezultati ekspertne ocene glavnih tipov modelov razvoja gozdov z AHP metodo so modele rangirali glede na posamezne ocenjevanje kriterije (preglednica 3), podrobneje so ti rezultati komentirani v prilogi 2. Končna skupna ocena tipov modelov razvoja gozdov (slika 2) pa je pokazala, da so najvišjo oceno z vidika uporabnosti za upravljanje gozdov v Sloveniji dobili empirični modeli povprečij (17,7 %), sledijo pa jim populacijski modeli (16,1 %). Nekoliko nižjo oceno so prejeli prostorsko odvisni sestojni modeli (11,5 %) in donosne tablice (11,5 %) ter empirični prostorsko neodvisni drevesni modeli (8,8 %). Najnižje ocene so dobili procesni in hibridni modeli različnih tipov.

Preglednica 3: Rangiranje tipov modelov razvoja gozdov glede na ocenjevanja po posameznih kriterijih 1. ravni

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
Prostorsko odvisni sestojni modeli	6	1	5	5	2	3	3	6
Donosne tablice	1	10	10	10	4	10	8	3
Empirični modeli povprečij	2	2	2	9	1	9	2	2
Populacijski modeli	3	3	1	7	3	8	1	1
Empirični prostorsko odvisni drevesni modeli	5	7	9	8	5	6	6	5
Procesni prostorsko odvisni drevesni modeli	10	6	6	1	7	1	4	9
Hibridni prostorsko odvisni drevesni modeli	7	8	8	4	10	2	5	7
Empirični »navadni« modeli na drevesni ravni	4	5	7	6	6	7	7	4
Procesni »navadni« modeli na drevesni ravni	8	4	4	2	8	5	10	10
Modeli vrzeli	9	9	3	3	9	4	9	8



Slika 2: Končna presoja tipov modelov razvoja gozdov glede njihove uporabe za potrebe upravljanja gozdov v Sloveniji

Na podlagi rezultatov DS2 lahko zaključimo, da je nadaljnji razvoj modeliranja razvoja gozdov v Sloveniji smiselno usmerjati predvsem v tiste tipe modelov, ki so se v presoji izkazali kot najprimernejši. Nikakor pa to ne pomeni, da lahko zanemarimo ostale tipe modelov, zlasti je pomemben razvoj na področju modelov, ki omogočajo upoštevanje vpliva podnebnih sprememb (raziskave).

4.2 Presoja in ovrednotenje modelov razvoja gozdov za uporabo v gozdnogospodarskem načrtovanju

4.2.1 Prikaz rezultatov testnih simulacij razvoja gozdov z izbranimi modeli za izbrana študijska območja z oceno njihove uporabnosti za razmere v Sloveniji

Za izbrane modele razvoja gozdov smo testirali možnost uporabe podatkovnih virov v gozdarskem informacijskem sistemu za njihov zagon in izvedbo simulacij razvoja gozdov na testnih območjih gozdov. V okviru projekta smo izvedli testiranje modelov SiWaWa in WIS.2, ki ju prikazujemo prva, prej smo člani projektne skupine sodelovali pri razvoju ali testiranju še petih modelov razvoja gozdov (SLOMATRIX, ForClim, MOSES, LPJ-GUESS in EFISCEN). Na koncu smo tri potencialno uporabne modele razvoja gozdov za gozdnogospodarsko načrtovanje ocenili še na podlagi dostopne strokovne in znanstvene literature (MASSIMO, SILVA in LANDIS II). Podrobni rezultati in opisi vseh modelov so prikazani v prilogi 3 tega poročila (t.j. izsledek D3.1, priloga 2), podrobni opisi testiranj pa so podani v prilogi 5.

Sestojni model SiWaWa

V okviru projekta smo s podatki iz gozdarskega informacijskega sistema testirali dva modela razvoja gozdov, in sicer oba švicarska modela WIS.2 in SiWaWa, že pred pričetkom projekta pa smo člani projektne skupine sodelovali pri razvoju modela SLOMATRIX in testiranju še štirih modelov ForClim, MOSES, LPJ-GUESS in EFISCEN. V tem poročilu prikazujemo le kratek opis testiranja, predvsem pa izpostavljamo zaznane prednosti in slabosti modelov ter oceno njihove potencialne uporabnosti v gozdnogospodarskem načrtovanju. Podrobni opisi testiranj so prikazani v prilogi 5 tega poročila (t.j. izsledek D3.3).

Testiranje modela SiWaWa (Rosset in sod., 2013), ki predstavlja empirični sestojni model razvoja gozdov, smo izvedli na štirih vzorcih po 50 stalnih vzorčnih ploskev v negospodarjenih in gospodarjenih čistih bukovih in čistih smrekovih sestojih. Zanje smo izvedli simulacije razvoja gozdov za obdobje 10 let, nato pa smo primerjali dejanske vrednosti in modelske napovedi za sestojno temeljnico G , število dreves N in srednje temeljnični premer D_g . Prednost modela SiWaWa je ta, da za zagon modela potrebuje malo vhodnih podatkov in še ti so enostavno merljivi ali dosegljivi v podatkovnih zbirkah gozdarskega informacijskega sistema (drevesna vrsta, sestojna temeljnica, število dreves, rastiščni indeks (ali alternativno zgornja sestojna višina in starost sestoja)). Model je vključen v simulator z grafičnim vmesnikom, ki je prosto dostopen na spletu, novejša različica je razvita kot aplikacija za uporabo na pametnih telefonih, a še ni prosto dostopna. Tako model kot testiranje je podrobno opisano v znanstvenem članku, ki bo objavljen v strokovni reviji Gozdarski vestnik (Klopčič, 2020, v tisku).

Model SiWaWa se je v raziskavi že v svoji osnovni različici, parameterizirani za švicarske gozdove, izkazal kot uporaben pripomoček. Napovedovanje razvoja vzorčnih čistih bukovih gozdov je bilo dokaj točno, lahko celo zaključimo, da sprejemljivo z vidika neposredne uporabe modela pri upravljanju z gozdovi v Sloveniji. Ne moremo pa isto zaključiti glede uporabe modela v vzorčnih čistih smrekovih sestojih. Tu rezultati niso bili enosmerni in zadovoljivo točni. Odstopanja so bila bistveno večja kot pri simulacijah razvoja bukovih sestojev, predvsem je neugodno večinsko precenjevanje sestojne temeljnice, v veliko primerih tudi precenjevanje števila dreves v negospodarjenih sestojih.

Z vidika upravljanja gozdov je model SiWaWa ali vsaj njegov koncept izgradnje in delovanja vsekakor zelo uporaben za simulacije razvoja gozdov na sestojni ravni, bistveno manj ali skoraj neuporaben je za upravljanje gozdov na večji prostorski ravni (npr. rastiščnogojitveni razred, gozdnogospodarska enota). Uporaben bi bil tudi za upravljanje gozdov na manjših do srednjih gozdnih posestih, kjer je število sestojev manjše in so ti dokaj čisti (enovrstni) in enomerni. V tem primeru bi se dalo "ročno" analizirati razvoj gozdov na gozdni posesti preko simulacij razvoja posameznih sestojev. V gozdarski praksi je model SiWaWa vsekakor potencialno uporaben za načrtovalce, ki izvajajo preliminarno podrobno načrtovanje na sestojni ravni, in revirne gozdarje, ki se odločajo o jakosti (in načinu) ukrepanja (sečnje) v konkretnem čistem enomernem sestoju. Nezanemarljivo oziroma zelo pozitivno je tudi to, da je, zaenkrat sicer le testno, model na voljo tudi kot aplikacija za pametne telefone, vgrajen pa je tudi v aplikacijo MOTI (Rosset in sod., 2015) za merjenje sestojnih parametrov (sestojna temeljnica, število dreves, sestojna višina). Poudariti velja, da je glede na uporabnost in enostavnost modela smiselno investirati v dodatne preizkuse, pa tudi v nadgradnjo (parametrizacijo) modela s funkcijskimi povezavami, izračunanimi na podlagi podatkov iz naših gozdnih inventur, ali investirati v izgradnjo podobnega lastnega modela razvoja gozdov.

Sestojni model WIS.2

Naslednjega smo testirali sistem za podporo odločanju z vgrajenim modelom razvoja gozdov WIS.2 (Rosset in sod., 2014). WIS.2 je simulator, ki simulira razvoj gozdov in optimizira gospodarjenje z gozdnim območjem glede na parametre, ki jih uporabnik v sistem vnese preko grafičnega vmesnika. Pristop WIS.2 k simuliranju razvoja gozdov in izračunu izhodnih parametrov je *top-down*, začeni z opredelitvijo okvirne strategije gospodarjenja z gozdovi, konča pa se s srednje- in kratkoročnimi ukrepi na ravni posameznega sestoja.

Na Oddelku za gozdarstvo smo simulator WIS.2 preverjali na primeru treh gozdnogospodarskih enot (GGE), in sicer GGE Željne-Laze (slika 3), GGE Mozelj in GGE Pokljuka. Pri testiranju WIS.2 v gozdnogospodarski enoti Željne laze, GGO Kočevje, smo kot vhod v model uporabili podatke s stalnih vzorčnih ploskev Zavoda za gozdove Slovenije. Ker nas je zanimal razvoj okvirnega razmerja razvojnih faz, v modelu pa je obravnavana starostna struktura, smo analizirali priraščanje dominantnega premera gozdnih sestojev, kar je osnova za razvrščanje sestojev v starostne razrede in preko izračunanih prehodnih dob (izračunane s podatki o debelinskem priraščanju dominantnih dreves na SVP) v razvojne faze. Zaradi velikega vzorca SVP je bila zanesljivost napovedovanja z modelom WIS.2 dokaj visoka, kar je z vidika uporabnosti modela za slovenske razmere pozitivno. V analizi smo preverjali tudi različne scenarije gospodarjenja z gozdovi, npr. variirali smo dolžino proizvodne dobe, koncept pomlajevanja, koncept redčenja, ter nato za vsak scenarij izračunali in presojali količino poseka. Simulacije so pokazale, da simulirana količina poseka po različnih scenarijih ne odstopa bistveno od načrtovane količine poseka.

Pri WIS.2 lahko izpostavimo naslednje prednosti: i) aplikacija je uporabna za različne prostorske ravni upravljanj z gozdovi; ii) za zagon lahko uporabimo podatke bodisi iz sestojne karte ali podatke iz stalnih

vzorčnih ploskev; iii) program omogoča izbiro temeljnih strategij za upravljanje gozdnih sestojev; iv) grafični vmesnik omogoča prikaz razvoja ključnih sestojnih parametrov glede na opredeljeno strategijo; v) omogočeno je upoštevanje več gozdnorastiških tipov znotraj območja (različna sestava, rast); vi) kot izhodni podatek je izračunan desetletni posek, ločeno za redčenja in obnavljanje sestojev. Kot glavne slabosti pa lahko izpostavimo: i) nekateri podatki za zagon modela je treba dodatno pripraviti; ii) upravljske strategije (npr. proizvodne dobe) ni mogoče diferencirati za posamezna rastišča; iii) demografska struktura gozdnih sestojev je prikazana s starostno strukturo sestojev (starostni razredi).

Simulator WIS.2 se je izkazal kot zelo uporabna aplikacija za okvirno načrtovanje razvoja gozdov, zasnovan je na podobnih konceptih in izhodiščih, kot jih uporabljamo v Sloveniji. Uporabnost modela bi se še izboljšala, če bi bile na voljo ustrezne dopolnitve oziroma bi izvedli kalibracijo (parametrizacijo) modela z alometrijskimi in regresijskimi enačbami za simulacijo različnih komponent sestojne dinamike (npr. rast, vrst), ki bi jih razvili na podlagi podatkov iz Slovenije. Vseeno ocenjujemo, da je smiselno izdelati in potem dopolnjevati lastni model za okvirno načrtovanje razvoja gozdov, pri tem pa vsekakor uporabiti rešitve, ki jih ponuja WIS.2.

Model vrzeli ForClim

ForClim (Mina in sod., 2017) je klimatsko-občutljiv model vrzeli in ga uvrščamo med (posebne) drevesne prostorsko-neodvisne procesne modele. Model smo v več povezanih raziskavah testirali na podatkih gozdnih inventur v različnih časovnih obdobjih. Za slovenske razmere parameteriziran model ForClim se je izkazal kot zelo ustrezen za raziskovalne namene, kar dokazujejo objavljeni znanstveni članki v revijah z SCI vplivnim faktorjem (Mina in sod., 2015; Klopčič in sod., 2017; Mina in sod., 2017; Irauschek in sod., v recenziji). Za potrebe upravljanja gozdov pa se je model izkazal za nekoliko manj ustreznega. Kot prvo model za zagon potrebuje precej podrobne podatke o rastišču. Upravljalci gozdov praviloma ne razpolagajo ali zelo težko pridobijo korektne podatke o količini rastlinam dostopnega dušika, vodna kapaciteta tal ali količini svetlobe, ki je dostopna rastlinam. Te zahteve modela precej omejuje njegovo uporabo pri upravljanju gozdov. Kot drugo pa je rezultate pogosto težko prenesti na sestojno raven oziroma na konkreten sestoj, čeprav izpisi simulacij omogočajo tudi to. Model sicer omogoča izračun in izpis številnih sestojnih parametrov (npr. sestojna temeljnica skupaj in po drevesnih vrstah, lesna zaloga skupaj in po drevesnih vrstah, debelinska struktura, posekana lesna masa, zaloge ogljika), ki pripomorejo k boljšim upravljskim odločitvam, a jih je v neposrednih izpisih težje pridobiti oziroma jih je potrebno dodatno izračunati. Prav tako model ForClim zaenkrat nima izdelanega grafičnega vmesnika, ki bi uporabniku (upravljavcu) omogočil enostaven vnos vhodnih podatkov in pregleden neposreden izpis/izris izhodnih podatkov. Pozitivno pa je, da model dokaj korektno simulira vpliv objedanja gozdnega mladja po velikih rastlinojedih na rast in razvoj drevesnih vrst in gozdnih sestojev (Klopčič in sod., 2017) in je klimatsko občutljiv, kar empirični modeli niso.

Empirični prostorsko-odvisni drevesni model MOSES

Hudernik (2016) je testiranje modela MOSES izvedel v okviru magistrske naloge v gozdnogospodarskih enotah Ribnica na Pohorju in Leskova dolina, v obeh prevladujejo mešani gorski jelovo-bukovo-smrekovi gozdovi. Za simulacije razvoja gozdov je uporabil podatke stalnih vzorčnih ploskev Zavoda za gozdove Slovenije, ki jih je ustrezno preuredil, uporabil je le podatke, zbrane na notranji manjši ploskvi. Na ravni drevesa je uporabil podatke o drevesni vrsti, prsnem premeru in lokaciji (pretvorjene koordinate), podatke o višini posameznega drevesa in višini do žive krošnje je

izračunal z ustrezno regresijsko krivuljo, na ravni ploskve pa je zbral podatke o rastiščnih indeksih SI_{100} . V prvem delu raziskave je bil simuliran razvoj gozdov na stalnih vzorčnih ploskvah za 10 let in izvedena validacija debelinskega prirastka dreves glavnih drevesnih vrst. Validacija je nakazala, da model zadovoljivo simulira debelinsko priraščanje dreves. V nadaljevanju raziskave pa je bil simuliran razvoja gozdov po treh scenarijev gospodarjenja z gozdovi: brez ukrepanja, z aplikacijo slučajnostnega redčenja enkrat v 10-letnem obdobju in z aplikacijo visokega redčenja enkrat v 10-letnem obdobju.

Model MOSES se je izkazal kot uporaben pripomoček tudi brez dodatne parametrizacije, je pa potrebno upoštevati manjše precenjevanje priraščanja bukve. Model je uporaben tako za raziskovalne kot upravljaljske namene. Za prve sicer nekoliko manj, saj ni sposoben upoštevati vpliva (spremenljive) klimatske komponente na rast in razvoj dreves in sestojev. V primeru ustrezne parametrizacije oziroma vključitve rastišnih funkcij debelinskega in višinskega priraščanja, izračunanih na podlagi podatkov iz slovenskih gozdov (lahko za različne gozdne rastiščne tipe), bi model še bolje in ustrezneje napovedoval razvoj gozdov. Ker je bil primarno razvit za simulacije razvoja raznomernih mešanih gozdov in njihovo upravljanje (Hasenauer, 1994; Klopff, 2014), je zelo uporaben v naših razmerah. Z razvojem novih načinov ukrepanja (Klopff, 2014), ki v času testiranja še niso bili na voljo, se je sposobnost modela simulirati "slovenski" način gospodarjenja z gozdovi še izboljšala. Model ima tudi razvit dokaj enostaven in pregleden grafični vmesnik, ki omogoča enostaven vnos vhodnih podatkov, pregled raziskovalnih objektov, aplikacijo ukrepov na posameznem objektu (ploskvi) ali za vse objekte hkrati in pregled simulirane dinamike večine izhodnih parametrov, kar še povečuje njegovo uporabnost pri upravljanju gozdov.

Matrični model SLOMATRIX

SLOMATRIX je matrični populacijski model, ki je bil v svoji prvi različici izdelan za prognoziranje razvoja dinarskih jelovo-bukovih gozdov (Roessiger in sod., 2016), kasneje pa še za predalpska jelova-bukovja in jelovja s praprotni na silikatu (Ficko in sod., 2016). Za svoje delovanje SLOMATRIX potrebuje le izhodiščno debelinsko strukturo glavnih drevesnih vrst, to so jelka, bukev in smreka. Vsi procesi v modelu (preraščanje v višje debelinske stopnje, mortaliteta in vrast) so bili empirično ugotovljeni. Model ne upošteva vpliva podnebnih sprememb ali motenj, niti ne omogoča emigracij ali imigracij osebkov. Prednost modela je, da lahko poišče dolgoročno ravnotežno stanje ob določenih stopnjah rasti, mortalitete in vrasti, kar pomeni, da omogoča vpogled v stanje gozda, ki trajnostno funkcionira oziroma kamor limitira trenutna drevesna sestava. Modelu je dodan tudi optimizator za lažje sprejemanje odločitev pri upravljanju z gozdovi, ki pomeni prednost simulatorja pred nekaterimi drugimi podobnimi modeli, saj združuje simulacijo in optimizacijo. Tako prva kot slednja sta odprti, kar pomeni, da uporabnik lahko spreminja vse parametre v modelu. Kot posebno uporabno ocenjujemo ciljno funkcijo v nelinearnem programu, s katerim uporabnik določi, kateri cilj želi doseči (v čim večji meri).

Model SLOMATRIX se je izkazal kot ustrezen pripomoček pri odločanju glede upravljanja gozdov na večji prostorski ravni. Glede na zgradbo in delovanje modela predvidevamo, da bi se enako dobro obnesel tudi pri upravljanju na sestojni ravni, če bi imeli na voljo dovolj kakovostne vhodne podatke za zagon modela. Model je uporaben tudi za raziskovalne namene, a je njegova uporabnost v te namene nekoliko okrnjena, ker ni klimatsko občutljiv. Simulacija ukrepanja v modelu temelji na dejanskih podatkih o poseku, kar omogoča detajlno simulacijo ukrepanja. Moramo pa s temi (dovolj kakovostnimi) podatki razpolagati, kar je v nekaterih primerih težavno. Model je integrabilen s sistemi odločanja in orodji za optimiziranje gospodarjenja z gozdovi, kar so opisane raziskave nazorno

prikazale. Ta lastnost pomembno pozitivno vpliva na potencialno uporabnost modela pri upravljanju z gozdovi.

Dinamični globalni vegetacijski procesni model LPJ-GUESS

Model LPJ-GUESS je dinamični kopenski vegetacijsko-procesni model, zasnovan za regionalne ali globalne študije (Smith in sod., 2001). Uporablja podatke o regionalnih podnebnih razmerah z resolucijo osnovne enote simulacije $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ in atmosferskih koncentracijah ogljikovega dioksida ter na teh podatkih napoveduje strukturne, vrstne in funkcionalne lastnosti naravnih ekosistemov za glavne podnebne pasove. Napovedi so pripravljene po glavnih drevesnih vrstah ali rastlinskih funkcionalnih tipih (PFT), glavni izhodni parameter je količina ogljika, ločeno na poole vegetacije, tal in emisij.

V Sloveniji smo model LPJ GUESS testirali za 16 drevesnih vrst ali skupin drevesnih vrst in 8 rastiščnih tipov (Lindeskog, 2020, neobjavljeno), za tri podnebne scenarije in tri režime gospodarjenja. Simulirali smo razvoj do leta 2100 ob podnebnih scenarijih RCP 2.6, RCP 4.5 in RCP 8.5 ter treh režimih gospodarjenja: »Business-as-Usual«, »Visoka jakost« (100% povečanje sedanjega povprečnega posek v rastiščnem tipu) in »Povečane motnje« (50% povečanje moči vetra). Gozdni tipi so se različno odzivali na podnebne spremembe, vendar je v scenarijih z visokimi emisijami na splošno prihajalo do dolgoročnega zmanjšanja kapacitet za ponore ogljika. Ob trenutnih jakostih sečenj bi slovenski gozdovi okoli leta 2060 postali vir ogljika, predvsem zaradi povečanega dihanja tal, ki izničuje blagodejni učinek naraščajočih koncentracij ogljikovega dioksida v atmosferi na donose. Ocenjujemo, da je potencial tovrstnih modelov za uporabo v gozdnogospodarskem načrtovanju nizek.

Velikoprostorski matrični model EFISCEN

Matrični model EFISCEN se je v Evropi uveljavil za napovedovanje prihodnjega razvoja obnovljivih gozdnih virov na regionalni, državni ali vseevropski ravni (Nabuurs in sod., 2000). Primeren je predvsem za oblikovanje srednjeročnih napovedi do največ 50-60 let v prihodnost. Model temelji na porazdelitvi površine gozdov v matriko starostnih in volumenskih razredov, matrika je izdelana za vsak obravnavan stratum gozdov. Glavni vhodni podatki za zagon modela so: površina, lesna zaloga in volumenski prirastek po starostnih razredih za posamezen stratum. Vse troje je praviloma pridobljeno iz empiričnih podatkov gozdne inventure.

Model EFISCEN je prvenstveno namenjen simulaciji razvoja enomernih gozdov (Schelhaas in sod., 2007), njegova uporaba v raznomernih gozdovih naj bi bila manj primerna. Raziskava je to potrdila in nakazala določene pomanjkljivosti, vsaj ob uporabi v naši raziskavi aplicirane metode pretvorbe sestojev v starostne razrede (preko izračunanih prehodnih dob med debelinskimi stopnjami dominantnih dreves na ploskvah). Ocenjujemo, da je model EFISCEN manj primeren za uporabo v gozdnogospodarskem načrtovanju.

Hibridni prostorsko-odvisni drevesni model SILVA

Model SILVA smo presojali na podlagi objavljenega znanstvenega članka Hilmers in sod. (2020) in predhodne predstavitve nekaterih rezultatov raziskave na svetovnem IUFRO kongresu v Freiburgu leta 2017 (Hilmers in sod., 2017). Potrebni vhodni podatki za zagon modela in izvedbo simulacij so i) prostorsko locirani podatki o posameznih drevesih (t.j. koordinate, drevesna vrsta, prsni premer,

višina, višina do žive krošnje, širina krošnje), ii) podatki o rastišču (t.j. temperaturna razlika med najhladnejšim in najtoplejšim mesecem v letu, število dni v letu s povprečno dnevno temperaturo ≥ 10 °C, povprečna temperatura v rastni sezoni, (relativna) vodna kapaciteta tal, povprečna količina padavin v rastni sezoni, razpoložljivost hranil, koncentracija NO_x in koncentracija atmosferskega CO₂) in iii) podatki o gospodarjenju z gozdovi. Vseh, predvsem rastiščnih, ne najdemo v gozdarskem informacijskem sistemu.

Rezultati študije primernosti različnih konceptov obnove gozda z modelom SILVA (Hilmers in sod., 2020) nakazujejo njegovo potencialno uporabno vrednost pri upravljanju z gozdovi. Analiza kriterijev, kot je prikazana v študiji in so pomembni v procesu odločanja v gozdarstvu, je vključena v sam model kot modul (Pretzsch in sod., 2002) in omogoča hitro in dokaj enostavno pridobitev pomembnih podatkov in informacij za lažje in boljše odločanje pri upravljanju gozdov. Uporabno vrednost modela pri upravljanju gozdov pa precej znižujejo zahteve po precej podrobnih vhodnih podatkih o rastišču. Upravljalci gozdov pogosto s tako podrobnimi podatki ne razpolagajo, prav tako jih je težko pridobiti iz obstoječih podatkovnih zbirk različnih institucij.

Empirični prostorsko-neodvisni drevesni model MASSIMO

Uporabno vrednost modela MASSIMO smo presojali na podlagi objavljenih prispevkov o simulaciji razvoja gozdov za švicarske gozdove kot celoto (Stadelmann in sod., 2019) in za gozdove kantona Grisons (Temperli in sod., 2017). Potrebni vhodni podatki za zagon modela in izvedbo simulacij se inventarizirajo na stalnih vzorčnih ploskvah (SVP) ali jih je relativno enostavno izračunati na podlagi teh podatkov. Za zagon so potrebni le osnovni rastiščni parametri (nadmorska višina, naklon, lega), ostale značilnosti rastišča povzema rastiščni indeks SI₅₀.

Opravljenе analize nakazujejo precejšnjo uporabno vrednost tega modela pri upravljanju z gozdovi tako na sestojni, kot na večji prostorski ravni, saj omogoča simulacije poljubno stratificiranih vhodnih podatkov. Model omogoča simulacijo različnih konceptov gospodarjenja z gozdovi, iz opisov v Temperli in sod. (2017) lahko sklepamo, da so ti načini zelo blizu konceptom, ki jih pri gospodarjenju z gozdovi prakticiramo v Sloveniji. Za neposredno uporabo modela v Sloveniji bi bila nujna njegova parameterizacija, a ker gre za empirični model in imamo na voljo dovolj podatkov s stalnih vzorčnih ploskev, ta ne bi bila problematična (Stadelmann, ustni vir). Zaključimo lahko, da je model MASSIMO zelo uporaben pri upravljanju z gozdovi na različnih prostorskih ravneh. Določeni moduli neposredno podpirajo upravljalvske odločitve (npr. izračun stroškov pridobivanja lesa), kar dodatno podpira njegovo uporabnost.

Sestojni prostorsko-odvisni model LANDIS II

Model LANDIS II je krajinski procesni model (Sheller in sod., 2007), presojo uporabnosti modela za upravljanje gozdov smo podali na podlagi objave Petter in sod. (2020), v katerem na primeru doline Dischma v Švici primerjajo učinkovitost štirih modelov za napovedovanje razvoja gozdov na krajinski ravni. Raziskovalci so največja odstopanja med dejanskimi in simuliranimi vrednostmi sestojnih parametrov v letih 2010 in 2050 izmed štirih preizkušanih modelov ugotovili ravno pri modelu LANDIS II.

Model LANDIS II je krajinski procesni model, ki se ga nikakor ne more uporabljati na sestojni ravni, njegova uporabnost za upravljanje gozdov na večji prostorski ravni pa je ravno tako vprašljiva zaradi koncepta delovanja modela. Procesni modeli so že sami po sebi manj uporabni za upravljanje gozdov,

modeli, kot je LANDIS II, ki simulira razvoj vegetacije na podlagi ekoloških zahtev (drevesnih) vrst in ne rast in razvoj posameznega sestoja ali dreves v sestoji ob upoštevanju kompeticije, rastiščnih pogojev, ipd., pa še toliko manj. Zaključimo lahko, da model LANDIS II nikakor ni uporaben pri upravljanju z gozdovi v Sloveniji.

4.2.2 Presoja modelov razvoja gozdov za gozdnogospodarsko načrtovanje

Presojali smo 10 različnih modelov razvoja gozdov, ki so predstavljali večino opredeljenih glavnih tipov modelov razvoja gozdov (priloga 2 oziroma izsledek D2).. Podrobne rezultate presoje najdete v prilogi 3 tega poročila, tu podajamo nekoliko skrajšano verzijo.

4.2.2.1 Opredelitev pomena kriterijev za presajo uporabnosti modelov razvoja gozdov v gozdnogospodarskem načrtovanju

Pomen 20 kriterijev za presajo uporabnosti modelov razvoja gozdov pri upravljanju z gozdovi prikazuje preglednica 4. Med skupinami kriterijev po pomenu izstopata skupini Ustreznost za upravljanje z gozdovi in Primernost za uporabo modela v Sloveniji, s precej nižjima utežema pa sledita skupini Podatkovni viri in Ustreznost programskega orodja. Med kriteriji z najvišjima utežema izstopata kriterija K11 Vključitev ukrepov in K13 Integrabilnost v DSS, sledijo pa jima s približno enakimi utežmi kriteriji K7, K16, K1, K15 in K8.

Preglednica 4: Pomen kriterijev presoje uporabnosti modelov razvoja gozdov pri upravljanju z gozdovi v Sloveniji

Skupine	Lokalne uteži	Kriteriji	Lokalne uteži	Globalne uteži
Podatkovni viri	0,1215	K1 Dostopnost vhodnih podatkov	0,6722	0,0817
		K2 Starost kot vhodni podatek	0,2040	0,0248
		K3 Prostorska ločljivost	0,1238	0,0151
Zgradba modela, utemeljenost in kakovost algoritmov	0,0349	K4 Znanstvena utemeljenost modela in algoritmov	0,4175	0,0146
		K5 Vključenost glavnih procesov funkcioniranja gozdnega ekosistema	0,3228	0,0113
		K6 Upoštevanje okoljskih spremenljivk	0,2596	0,0091
Veljavnost modela	0,0985	K7 Možnost parametrizacije modela	0,0985	0,0985
Izhodni parametri	0,0715	K8 Primernost izhodnih parametrov	0,0715	0,0715
Časovno obdobje	0,0395	K9 Dolžina časovnega obdobja simulacij	0,4095	0,0162
		K10 Časovni korak simulacij	0,5905	0,0233

Ustreznost za upravljanje z gozdovi v Sloveniji	0,3088	K11 Vključitev ukrepov	0,4369	0,1349
		K12 Ponovitev ukrepov	0,1261	0,0390
		K13 Integrabilnost v DSS	0,4369	0,1349
Primernost za uporabo modela v Sloveniji	0,2158	K14 Upoštevanje rastiščne heterogenosti	0,2008	0,0433
		K15 Simuliranje razvoja mešanih in listnatih gozdov	0,3576	0,0772
		K16 Simuliranje razvoja raznomernih gozdov	0,4415	0,0953
Ustreznost programskega orodja	0,1095	K17 Prijaznost uporabniku	0,4122	0,0451
		K18 Preglednost izpisov	0,1413	0,0158
		K19 Odprtost	0,0954	0,0104
		K20 Dokumentacija	0,3482	0,0381

4.2.2.2 Rangiranje obravnavanih modelov razvoja gozdov glede ustreznosti za upravljanje z gozdovi v Sloveniji

Ustreznost modelov na prostorski ravni sestojev (modeli A)

Kot najbolj ustrezna za upravljanje z gozdovi na sestojni ravni sta se izkazala modela MASSIMO in MOSES (preglednica 5), nekoliko nižji končni uteži pa sta prejela modela SILVA in SLOMATRIX. Glede na končne uteži lahko presoje modele združimo v štiri skupine. Prvo skupina najbolje ocenjenih modelov sestavljajo modeli MASSIMO, MOSES, SILVA in SLOMATRIX (relativne uteži okrog 0,90 ali več, absolutne pa > 0,80), drugo skupino modeli WIS.2, SiWaWa in ForClim, v tretjo skupino smo uvrstili sestojne tablice, v zadnjo četrto pa procesna modela LPJ-GUESS in LANDIS II.

Preglednica 5: Pomen kriterijev presoje uporabnosti modelov razvoja gozdov pri upravljanju z gozdovi na sestojni ravni

Model	TOPSIS		R - TOPSIS	
	Končna utež C_i^*	Rangiranje	Končna utež C_i^*	Rangiranje
LANDIS II	0,028	10	0,048	10
sestojne tablice	0,290	8	0,194	8
SiWaWa	0,763	6	0,630	6
WIS.2	0,817	5	0,769	5
SLOMATRIX	0,895	4	0,832	4
MOSES	0,960	2	0,917	2
SILVA	0,927	3	0,907	3
MASSIMO	0,957	1	0,924	1
ForClim	0,698	7	0,548	7
LPJ-GUESS	0,144	9	0,082	9

Ustreznost modelov na večji prostorski ravni (modeli B)

Za upravljanje z gozdovi na večji prostorski ravni (npr. rastiščnogojitveni razred, kategorija gozdov, gozdnogospodarska enota, srednja do velika gozdna posest) so se kot najbolj ustrezni izkazali modeli MASSIMO, MOSES, WIS.2, SILVA in SLOMATRIX (preglednica 6; vsi imajo relativne uteži > 0,85,

absolutne uteži pa $> 0,80$), ki jih lahko uvrstimo v prvo skupino. Sledi druga skupina, v kateri je le model vrzeli ForClim, v tretjo skupino lahko s podobnimi končnimi utežmi uvrstimo modele SiWaWa, LPJ-GUESS in sestojne tablice, najnižje rangiran pa je model LANDIS II.

Preglednica 6: Pomen kriterijev presoje uporabnosti modelov razvoja gozdov pri upravljanju z gozdovi na večji prostorski ravni (npr. rastiščnogojitveni razred, kategorija gozdov, godnogospodarska enota, večja gozdna posest)

Model	TOPSIS		R - TOPSIS	
	Končna utež C_i^*	Rangiranje	Končna utež C_i^*	Rangiranje
LANDIS II	0,057	10	0,058	10
sestojne tablice	0,176	9	0,141	9
SiWaWa	0,266	7	0,182	7
WIS.2	0,929	3	0,885	4
SLOMATRIX	0,866	5	0,814	5
MOSES	0,946	2	0,917	2
SILVA	0,930	4	0,906	3
MASSIMO	0,943	1	0,927	1
ForClim	0,661	6	0,537	6
LPJ-GUESS	0,257	8	0,155	8

4.2.3 Razprava z zaključki

Presoja je kot potencialno uporabne pri upravljanju z gozdovi v Sloveniji izpostavila 4 modele razvoja gozdov za upravljanje na sestojni ravni in 5 modelov za upravljanje na večji prostorski ravni izbranega območja gozdov. V obe skupini so bili dodeljeni modeli MOSES, SILVA, MASSIMO in SLOMATRIX, na večji prostorski ravni se jim je pridružil še WIS.2. Vsi ti modeli so empirični, vsi lahko kot vhodne podatke uporabijo podatke, ki se v Sloveniji zbirajo v gozdni inventuri, določeni modeli omogočajo neposredno uporabo, pri drugih je možno vhodne podatke pridobiti z dokaj enostavnimi izračuni. Z vidika ustreznosti za upravljanje gozdov so vsi ti modeli ocenjeni dobro do zelo dobro. Vsi omogočajo simulacijo različnih ukrepov (ocene 3-5) in njihovega vpliva na rast in razvoj sestojev, izpisi omogočajo integrabilnost v sisteme za podporo odločanju. Prav tako je bila primernost teh modelov za rabo v Sloveniji (t.j. upoštevanje rastiščne heterogenosti, simuliranje razvoja mešanih in listnatih ter raznomernih gozdov) visoko ocenjena.

Model MASSIMO (Stadelmann in sod., 2019) je bil na obeh presojanih prostorskih ravneh najvišje rangiran model. Model je bil zgrajen za simulacijo razvoja enomernih in raznomernih čistih in mešanih gozdov na podlagi podatkov, ki jih zbirajo v švicarski nacionalni gozdni inventuri (Fischer in Traub, 2019). Ker je prostorsko neodvisen model, ki pri simulaciji rasti dreves kompeticijo upošteva preko prostorsko neodvisnih mer kompeticije (npr. BAL ali G_{cum}) in sestojnih parametrov (npr. SDI indeks, dominantni premer), za zagon modela ne potrebuje prostorsko lociranih dreves (čeprav s temi podatki na stalnih vzorčnih ploskvah razpolagamo). Še več, model je bil zgrajen za uporabo ravno takšnih vhodnih podatkov, kot jih zbiramo v Sloveniji na stalnih vzorčnih ploskvah, le merska pragova za inventarizacijo dreves na obeh krožnih ploskvah sta različna (v Švici 12 in 36 cm, v Sloveniji 10 in 30 cm). To omogoča neposredno uporabo modela s podatki v podatkovnih zbirkah Zavoda za gozdove Slovenije, potrebni bi bili le dodatni izračuni nekaterih vhodnih parametrov (npr. SDI indeks, višina vseh dreves), ki pa so relativno enostavno izračunljivi in jih je možno dokaj hitro

dodati v podatkovno zbirko. Model glede na opis v Stadelmann in sod. (2019a, 2019b) in Temperli in sod. (2017) omogoča tudi relativno veliko različnih načinov ukrepanja v gozdovih, med drugim tudi klasično izbiralno redčenje, prebiranje in zastorno gospodarjenje, ki se v Sloveniji verjetno najpogosteje uporabljajo na majhni prostorski ravni, kot je stalna vzorčna ploskev. Nekoliko zmoti le to, da model nima izdelanega grafičnega vmesnika (ang. *Graphical User Interface* ali GUI), ki bi uporabniku olajšal delo z modelom in simuliranje razvoja gozdov.

Model MOSES (Hasenauer, 1994; Klopff, 2013) je bil na obeh presojanih prostorskih ravneh rangiran takoj za modelom MASSIMO. Gre za model, ki je bil razvit za simulacijo razvoja mešanih raznomernih gozdov, kar se odraža tudi v visokih ocenah. Model je z uporabo osnovne različice ob le najnujnejših vhodnih podatkih precej zadovoljivo simuliral razvoj raznomernih mešanih jelovo-bukovo-smrekovih gozdov na Pohorju in Snežniku (Hudernik, 2016; Klopčič in sod., 2020). Opazno je odstopala le rast bukve, ki pa bi jo z ustrezno parametrizacijo modela s podatki iz gozdnih inventur lahko dokaj enostavno korigirali (Hasenauer, 2017, ustni vir). Pozitivno pri tem modelu je tudi to, da kot vhodne podatke neposredno vnesemo podatke s stalnih vzorčnih ploskev. Zaradi zgradbe modela se vnesejo le podatki z manjše krožne ploskve (2 ar), saj model potrebuje podatke o vseh drevesih na izmerjeni površini, da lahko izračuna mere kompeticije, ki vplivajo na rast posameznih dreves. S tem se zmanjša reprezentativnost rezultatov, saj je obravnavana dokaj majhna površina gozda (le 40 % celotne dejansko izmerjene površine), a vseeno so rezultati potencialno uporabni za odločanje pri upravljanju z gozdovi. Pozitivna lastnost simulatorja je grafični vmesnik, ki omogoča enostaven vnos podatkov (ki se jih prej pripravi v le eni skupni excelovi datoteki), simulacijo razvoja le enega sestoja ali skupno vseh sestojev, za katere smo vnesli podatke (t.i. *batch mode*), enostaven grafični in tablični ogled simulirane dinamike posameznih sestojnih parametrov (tudi ekonomskih) in enostaven izpis izhodnih podatkov. Tudi parametrizacija modela je možna in je dokaj nezahtevna (Klopff, 2015, ustni vir; Hudernik, 2019, ustni vir).

Za upravljanje z gozdovi na ravni gozdnih območij se je izkazal tudi model oziroma boljše rečeno sistem za podporo odločanju z vgrajenim modelom razvoja gozdov WIS.2. WIS.2 je sistem, ki je bil zgrajen izključno in prednostno z namenom podpore pri upravljanju z gozdovi (Rosset in sod., 2014). Testiranja v treh GGE so potrdila uporabnost tega ali tovrstnega simulatorja oziroma orodja za uporabo v Sloveniji, pokazale pa so se tudi nekatere pomanjkljivosti. Prednost modela je, da vhodne podatke lahko pridobimo iz obstoječih podatkovnih zbirk v gozdarskem informacijskem sistemu (sestojna karta, stalne vzorčne ploskve), a jih je potrebno nekoliko »predelati« ali dodatno izračunati (npr. dominantni premer sestojev in njegov razvoj). Slednje pri določenih vhodnih parametrih zahteva kar precejšen vložek. Simulator vključuje vse ključne elemente, ki jih v Sloveniji upoštevamo pri upravljanju z gozdovi na večji prostorski ravni oziroma pri okvirnem načrtovanju za npr. rastiščnogojitveni razred v gozdnogospodarski enoti. Simulator upošteva proizvodno dobo (tudi parcialne za posamezno drevesno vrsto), ciljno drevesno sestavo, koncepta redčenja in obnove gozdov, ipd. Pozitivno je tudi to, da je izdelan grafični vmesnik, preko katerega uporabnik vnese vhodne podatke in tudi vidi spremembe oziroma dinamiko izhodnih spremenljivk. Pomanjkljivost simulatorja z vidika upravljanja z gozdovi v Sloveniji pa je, da demografsko strukturo gozdov prikazuje s starostnimi razredi in ne z razvojnimi fazami. Je pa ta problem mogoče rešiti tako, da se na podlagi razvoja dominantnega premera sestojev določi razmerje med starostnimi razredi in razvojnimi fazami. Podobno je bilo že izdelano v Švici in tudi v testiranjih simulatorja pri nas. Analiza je pokazala, da se je simulator WIS.2 izkazal kot zelo uporabno orodje predvsem za okvirno načrtovanje razvoja gozdov na večji prostorski ravni. Glede na koncept zasnove bi veljalo podoben simulator razviti tudi v Sloveniji.

SLOMATRIX je model, ki je bil edini izmed presojanih razvit v Sloveniji (Ficko in sod., 2016). Gre za populacijski empirični model, ki so ga avtorji razvili za tri tipe mešanih jelovo-bukovo-smrekovih gozdov na podlagi podatkov s stalnih vzorčnih ploskev (Roessiger in sod., 2016). Model je uporaben tako za simuliranje razvoja večjih gozdnih kompleksov (kjer je zgradba lahko malopovršinsko ali velikopovršinsko raznomerna) kot individualnih sestojev. A pri slednjem je pogosto težava poznavanje vhodne debelinske strukture, ki je ključni vhodni podatek. Na ravni sestoja podatek pridobimo le, če izvedemo polno premerbo sestoja, izvedemo meritve na večji površini (ena večja ploskev) ali pa imamo zadostno število manjših ploskev znotraj individualnega sestoja. Simulacija razvoja gozdov na individualni stalni vzorčni ploskvi zaradi njene majhnosti praviloma ni smiselna zaradi nereprezentativnosti na podlagi meritev na eni ploskvi izračunane debelinske strukture sestoja. Model je veljaven za mešane raznomerne jelovo-bukovo-smrekove sestoje na Pohorju, v Dinaridih in Alpah (Ficko in sod., 2016), za ostale gozdne tipe ga je potrebno parametrizirati. Model se je izkazal za uporabnega pri upravljanju z gozdovi predvsem na večji prostorski ravni, zato ga velja razvijati naprej. Zaradi povezave z optimizatorjem, kar omogoča hkratno simuliranje razvoja in optimiziranje gospodarjenja glede na cilj, je model izrazito upravljavski.

Pri presoji so se generalno slabše odrezali procesni modeli. Problem procesnih modelov, tako sestojnih kot drevesnih, je, da za simulacije razvoja gozdov na manjši prostorski ravni (sestoj, rastišče) zahtevajo praviloma preverjanje zelo velikega števila podrobnih vhodnih parametrov, predvsem o rastišču, nekateri modeli tudi o drevesnih vrstah (npr. LANDIS II). Za splošno rabo pri upravljanju z gozdovi je to občutno preveč, saj upravljavci nimajo zbranih teh podatkov, večinoma niti znanja, kje in kako jih pridobiti, uporaba privzetih nastavitev, ki se nanašajo na povprečne razmere na večji prostorski ravni, pa praviloma ne daje dovolj točnih napovedi, ki bi bile primerne za upravljanje. Dobra stran procesnih modelov pa je, da lahko v napovedi vključijo vplivne spremenljivke, ki kažejo na pretekle vplive (npr. velike ciklične motnje, interakcije med vrstami v naravni drevesni sestavi, posredni vplivi na tla in mnoge interakcije, ki so na zapleten način vključene v modeliranje procesov v ekosistemu in jih neposredno ne moremo izmeriti). Presojani procesni modeli LANDIS II, ForClim in LPJ-GUESS se v presoji niso izkazali kot zelo ustrezni za upravljanje na sestojni in večji prostorski ravni gozdnih območij predvsem zaradi zahtevnosti za uporabnika, pregrobe resolucije in izhodnih podatkov, ki niso neposredno uporabni v gozdnogospodarskem načrtovanju.

Izjema je bil hibridni model SILVA, ki je bil kljub dokaj podrobnim zahtevanim vhodnim rastiščnim podatkom (npr. število dni v letu s povprečno $T > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, relativna zadrževalna kapaciteta tal za vodo, vsebnost hranil v tleh, koncentracija NO_x , koncentracija atmosferskega CO_2 ; Pretzsch in sod., 2002a) rangiran zelo visoko (na 3. oziroma 4. mesto) in se je izkazal kot potencialno ustrezen model za upravljanje z gozdovi v Sloveniji. Če bi se izdelalo podatkovno zbirko z zahtevanimi rastiščnimi vhodnimi podatki za celo Slovenijo, bi bila uporaba modela bistveno olajšana. Visoka ocena je kljub pomanjkljivosti glede vhodnih podatkov posledica velike uporabnosti modela, saj je sposoben simulirati razvoj tako mešanih kot raznomernih sestojev. Pozitivno je tudi to, da simulator vključuje izračun številnih ekonomskih parametrov, ki lahko uporabniku služijo pri sprejemanju odločitev pri upravljanju z gozdovi. Potencial tega modela je velik, a je verjetno njegova uporaba pri upravljanju z gozdovi vezana na zahtevnejše uporabnike, ne pa za splošno rabo. Ker je model hibridni in klimatsko občutljiv, je zanimiv tudi za uporabo v raziskovalne namene.

Čeprav je model SiWaWa empirični model, ki so se v presoji praviloma izkazali za visokorangirane, in je bil izdelan ravno z namenom simuliranja razvoja individualnega sestoja za pomoč pri odločanju (Rosset in sod., 2013), je bil ta model rangiran dokaj nizko. Model SiWaWa simulira le razvoj čistih enomernih sestojev bukve, smreke in velikega jesena, ni pa primeren za simulacije razvoja raznomernih in mešanih sestojev (Klopčič, 2020, v recenziji), ki pa v Sloveniji prevladujejo. Model je

za upravljanje z gozdovi na večji prostorski ravni praktično neuporaben, saj nima na voljo t.i. *batch* variante modela, ki hkratno obravnava različne sestoje, ploskve, ipd. kot enovito gozdno območje. Model SiWaWa se zdi zanimiv za uporabo v gozdarski praksi predvsem zaradi svoje enostavnosti glede vhodnih podatkov (le drevesna vrsta, sestojna temeljnica, število dreves in rastiščni indeks), je pa njegova uporabnost ob prevladi mešanih sestojev precej zmanjšana. Če bi se model parametriziral s pomočjo podatkov iz Slovenije in morebiti še nadgradil za simulacijo mešanih enomernih gozdov, bi bila njegova uporabnost bistveno večja.

Zaključimo lahko, da med najustreznejše modele razvoja gozdov, ki bi jih lahko uporabili pri upravljanju z gozdovi na sestojni ravni, lahko prištejemo empirične modele MOSES, MASSIMO in SLOMATRIX ter hibridni model SILVA, za upravljanje gozdnih območij pa tem modelom lahko dodamo še model WIS.2. Zgradba, koncept in delovanje teh modelov je takšno, da je njihova uporaba za simuliranje razvoja gozdov vsaj nekaterih gozdnih tipov možna z osnovno različico modela (t.j. parametrizirano za gozdove v državi, iz katere model prihaja) ali pa je možna dokaj hitra in enostavna parametrizacija modela za slovenske rastiščne razmere in gozdove. Menimo, da bi bil prenos in uporaba kateregakoli izmed teh modelov pri upravljanju z gozdovi v Sloveniji dobrodošla, a bi bilo pred njihovo aplikacijo v gozdarsko prakso nujno izvesti ustrezne postopke, ki vključujejo vsaj ustrezno validacijo modela, na podlagi te pa zelo verjetno in zaželeno ustrezno parametrizacijo modela.

Ker tudi najboljše ocenjeni modeli razvoja gozdov niso idealni za uporabo pri upravljanju z gozdovi v Sloveniji, menimo, da bi bilo smiselno začeti razvijati lastne modele za simulacijo razvoja gozdov tako na sestojni ravni kot na ravni gozdnih območij. V primeru izgradnje lastnega modela razvoja gozdov menimo, da si lahko enega izmed modelov v tej skupini vzamemo za zgled, lahko pa v nov model poskušamo vgraditi dele (module), ki jih v posameznem modelu ocenjujemo kot dobre ali najboljše.

4.3 Pregled in presoja modelov razvoja gozdov za uporabo na državni ravni in mednarodno poročanje

4.3.1 Pregled modelov razvoja gozdov, ki se uporabljajo za mednarodno poročanje

Iz množice modelov, ki se v Evropi uporabljajo za simuliranje razvoja gozdov na nacionalni ravni in mednarodno poročanje (preglednica 7), smo za podrobni pregled izbrali osem modelov razvoja gozdov, ki bi jih bilo možno uporabljati na državni ravni za oblikovanje gozdarske politike in mednarodno poročanje. Ti modeli so CBM-CFS3, EFISCEN, EFDm, MASSIMO, PROGNAUS/CALDIS, WEHAM, SILVA in FORMIT-M. Večina izbranih modelov je empiričnih, izjema sta modela SILVA in FORMIT-M, ki sta hibridna. Glavni kriteriji za izbor so bili naslednji: model se uporablja pogosto in je dobro opisan, model je bil validiran, zanj pa obstaja recenziran vir, model je prostodostopen, vhodni podatki lahko temeljijo na podatkih nacionalne gozdne inventure. Kratki opisi izbranih modelov, vključno z njihovimi prednostmi in slabostmi, so podani v prilogi 1 tega poročila. Za izbrane modele smo v drugem koraku naredili primerjalno analizo s pregledom osnovnih značilnosti, možnostmi napovedovanja, projekcij glavnih modulov ter zunanjih vplivnih dejavnikov. Za modele CBM-CFS3, EFISCEN in EFDm smo opravili podrobno primerjalno analizo (priloga I v prilogi 1 tega poročila), za model CBM-CFS3 pa tudi analizo občutljivosti, vključno s projekcijami ponora ogljika.

Preglednica 7: Pregled modelov razvoja gozdov v Evropi

Država	Modeli razvoja gozdov	Modeli za določitev referenčne vrednosti za gospodarjenje z gozdovi
Avstrija	MOSES (Hasenauer, 1994), CALDIS (Kindermann, 2010), PROGNAUS (Sterba et al., 1995; Ledermann, 2006)	CALDIS-VB v0.1 (Ledermann et al., 2017)
Belgija	/	SIMREG (Perin et al., 2017)
Bolgarija	FRAM (Kostov, 1993)	/
Hrvaška	/	HS-MODEL (NFAP, 2019a)
Češka	Timber Harvest Prediction tool (Kučera, 2017)	CBM-CFS3 (Kurz et al., 2009)
Danska	DK Simulator (Nord-Larsen in Suadicani, 2010)	/
Finska	MELASIM (Siitonen et al., 1996; Redsvén et al., 2013)	MELA (Hirvelä et al., 2017)
Francija	MARGOT (Wernsdörfer et al., 2012) Matrix - Age (Alvarez-Marty, 1989)	MARGOT (Wernsdörfer et al., 2012; Colin et al., 2017)
Irska	FORECAST (Phillips, 2011)	CBM-CFS3 (Kurz et al., 2009)
Italija	r.green.biomassfor (Garegnani et al., 2015)	for-est model (Federici et al., 2008)
Latvija	/	AGM/EPIM (NFAP, 2019b)
Litva	KUPOLIS (Petrauskas in Kuliešis, 2004)	EFDM (Packalen et al., 2014)
Madžarska	/	COSMOFOR (Somogyi, 2017)
Nemčija	BWIN (Nagel, 1999; Nagel, 2009), WEHAM (Rock et al., 2013), SILVA (Kahn in Pretzsch, 1998; Pretzsch et al., 2002) EFISCEN (Schelhaas et al., 2007)	/
Nizozemska	ForGEM (Kramer et al., 2010; Kramer in Van der Werf, 2010)	EFISCEN (Verkerk et al., 2016)
Norveška	AVVIRK2000 (Eid in Hobbelstad, 2000)	SiTree (Anton-Fernandez, 2019)
Poljska	/	CBM-CFS3 (Kurz et al., 2009)
Slovaška	SIBYLA (Fabrika in Ľurský, 2006)	/
Španija	/	Vael model (Rincón-Cristóbal, 2018)
Švedska	Matrix growth model (Salnäs, 1990) HUGIN (Lundström in Söderberg, 1996)	Heureka RegVis (NFAP, 2019c)
Švica	Massimo 3 (Kaufmann (2001, 2011) MASSIMO (Stadelmann et al., 2019)	/
Združeno kraljestvo	CARBINE (Thompson in Matthews, 1989)	CARBINE (Matthews et al., 2019)
EU	EFISCEN (Schelhaas et al., 2007), CBM-CSF3 (Kurz et al., 2009), G4M (Gusti, 2010), EFDM (Packalen et al., 2014), GLOBIOM (Havlik et al., 2014), FORMIT-M (Härkönen et al., 2019)	/

Izbranih osem modelov razvoja gozdov smo primerjali v njihovih osnovnih značilnostih, možnostih napovedovanja, projekcijah glavnih modulov in zunanjih vplivnih dejavnikov. Večina modelov omogoča dolgoročne simulacije razvoja gozdov (tj. 100 let ali več), razen modelov EFISCEN in WEHAM, ki imata omejitve simulacij na nekaj desetletij (preglednica 8). Časovni korak modelov je različen, in sicer

največkrat od 1 do 5 let. Švicarski model MASSIMO ima korak 10 let, pri modelu EFDM pa je časovni korak kar širina starostnega razreda, ki ga določi uporabnik. Pri več modelih je mogoče časovni korak simulacije poljubno določiti. Vsi izbrani modeli so primerni za simuliranje razvoja gozdov na državni ravni, vendar so med njimi nekatere pomembne razlike, ki jih bomo razložili v nadaljevanju.

Preglednica 8: Osnovne značilnosti

Model	Dolžina projekcije	Časovni korak	Prostorska raven	Vrsta modela
CBM-CFS3	100	1	državna	empirični
EFISCEN	50-60	5	državna	empirični
EFDM	100	š.s.r.*	državna	empirični
MASSIMO	100	10	državna	empirični
CALDIS	10-200	1	regionalna/državna	empirični
PROGNAUS	10-200	5	regionalna/državna	empirični
WEHAM	40	5	državna	empirični
SILVA	145	5	državna	hibridni
FORMIT-M	100	1	državna	hibridni

* š.s.r.: širina starostnega razreda

Velja opozoriti, da so bili modeli CBM-CFS3, EFISCEN, WEHAM in EFDM prvotno razviti za simulacije enodobnih gozdov. Model CBM-CFS3 je z določenimi predpostavkami možno uporabiti tudi za raznodobne gozdove, kar je bilo predstavljeno na primeru Italije (Pilli et al., 2013), model EFDM pa je bil nedavno nadgrajen v različico za simuliranje razvoja raznodobnih gozdov (Sallnäs et al., 2015). Med modeli so precejšnje razlike pri zahtevanih formatih in obliki vhodnih podatkov, čeprav se praktično vsi modeli lahko napajajo s podatki nacionalnih gozdnih inventur. Za večino izbranih modelov se vhodni podatki nanašajo na ploskev, medtem ko se za modela CBM-CFS3 in FORMIT-M ter EFISCEN in EFDM podatki pripravijo na ravni sestoja oz. v obliki matrik (preglednica 9). Med modeli, ki zahtevajo vhodne podatke na ravni ploskve, je model SILVA edini, ki upošteva odvisnost med drevesi. To pomeni, da je kompeticija med drevesi odvisna od razdalje med sosednjimi drevesi (tj. njihovih koordinat), njihovih višin ter višin dna in premerov njihovih krošenj (Schmid et al., 2006). Med izbranimi modeli so na podnebne podatke občutljivi le trije modeli, in sicer CALDIS, SILVA in FORMIT-M. Glavni parametri v teh modelih so letna temperatura zraka in padavine, temperatura zraka in padavine v rastni sezoni, dolžina rastne sezone, fotosintetsko aktivna radiacija, vlažnost tal. Čeprav je model FORMIT-M občutljiv za podnebne podatke je treba opozoriti, da se podatki o letni bruto primarni produkciji izračunajo z uporabo modela PRELES (Härkönen et al., 2019). Glavni moduli in s tem tudi izhodni parametri so prikazani v preglednici 10.

Preglednica 9: Možnosti napovedovanja

Model	Tip gozdov	Podatki	Odvisnost med drevesi	Podnebno občutljiv
CBM-CFS3	Enodobni	sestoj	/	ne
EFISCEN	Enodobni	matrika	/	ne
EFDM	Enodobni, raznodobni	matrika	/	ne
MASSIMO	Enodobni, raznodobni	ploskev	ne	ne
CALDIS	Enodobni, raznodobni	ploskev	ne	da
PROGNAUS	Enodobni, raznodobni	ploskev	ne	ne
WEHAM	Enodobni	ploskev	ne	ne
SILVA	Enodobni, raznodobni	ploskev	da	da
FORMIT-M	Enodobni, raznodobni	sestoj	/	da

Preglednica 10: Projekcije glavnih modulov

Model	Starostna struktura	Lesna zaloga	Prirastek	Posek	Mortaliteta	Obnova
CBM-CFS3	✓	✓	✓	✓	✓	✓
EFISCEN	✓	✓	✓	✓	✓	✓
EFDM	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MASSIMO	✓	✓	✓	✓	✓	✓
CALDIS	✓	✓	✓	✓	✓	✓
PROGNAUS	✓	✓	✓	✓	✓	✗
WEHAM	✓	✓	✓	✓	✓	✗
SILVA	✓	✓	✓	✓	✓	✓
FORMIT-M	✓	✓	✓	✓	✗	✓

Od vseh izbranih modelov imata posebni modul za upoštevanje motenj pri simulacijah razvoja gozdov le modela CBM-CFS3 in MASSIMO (preglednica 11). V modelu CBM-CFS3 je več tipov motenj, ki so v modulu prednastavljene, npr. gozdni požari ali napad podlubnikov. Uporabnik ima možnost, da določi svoj tip motnje, vendar mora v tem primeru določiti stopnjo vpliva te motnje. Švicarski model MASSIMO lahko upošteva le motnje zaradi neviht, kot so vetrolomi (Stadelmann et al., 2019). Medtem ko je možno določiti spremembe rabe tal v modelih CBM-CFS3 in EFISCEN, je modul za ekonomiko, ki lahko daje različne izhodne rezultate, vključen le v avstrijskih modelih PROGNAUS in CALDIS. Ekonomske parametre je sicer mogoče oceniti tudi pri nekaterih drugih modelih, ki so povezani z drugimi orodji ali modeli (npr. SILVA, FORMIT-M).

Preglednica 11: Primerjava vključenosti modulov za upoštevanje nekaterih zunanjih vplivnih dejavnikov in modula za izračun ekonomskih kazalnikov gospodarjenja z gozdovi

Model	Podnebje	Motnje	Spremembe rabe tal	Ekonomika
CBM-CFS3	×	✓	✓	×
EFISCEN	×	×	✓	×
EFDM	×	×	×	×
MASSIMO	×	✓*	×	×
CALDIS	✓	×	×	✓
PROGNAUS	×	×	×	✓
WEHAM	×	×	×	×
SILVA	✓	×	×	×
FORMIT-M	✓	×	×	×

* samo nevihte

4.3.2 Vrednotenje modelov razvoja gozdov za oblikovanje nacionalne gozdne politike ter potrebe poročanja v okviru EU

Z naraščajočimi obvezami mednarodnih sporazumov (npr. Pariški sporazum), ki od držav zahtevajo spremljanje in poročanje zalog in sprememb zalog ogljika v gozdovih, so modeli razvoja gozdov na državni ravni postali ključno orodje v primerjavah in zavzemanju stališč do novih podnebnih ciljev, še posebej v okviru podnebne in energetske politike EU. V obdobju 2021-2030 bodo emisije in ponori zaradi rabe zemljišč, spremembe rabe zemljišč in gozdarstva vključene v podnebne cilje EU, kar določa nedavno sprejeta uredba (Uredba LULUCF, 2018). Obračunavanje emisij in ponorov v sektorju LULUCF bo pravno zavezujoče, na gozdnih zemljiščih, s katerimi se gospodari, pa se bodo le-ti obračunavali glede na referenčno vrednost za gospodarjenje z gozdovi (Mali in Simončič, 2019).

Večina držav članic EU je svoje projekcije referenčnih vrednosti za gospodarjenje z gozdovi za obdobje 2021-2025 določila z uporabo modelov razvoja gozdov. Slednji so vedno bolj pomembni ne le za projekcije ponorov in emisij toplogrednih plinov, temveč tudi za oblikovanje gozdarske politike na nacionalni ravni. Do nedavnega Slovenija ni namenila veliko pozornosti modeliranju razvoja gozdov, zaradi česar tudi ni bilo potreb po večjem naboru podatkov, ki se rabijo za zagon modelov in pripravo simulacij. V Evropi in drugod po svetu pa se modeli razvoja gozdov že dalj časa uporabljajo tudi za oblikovanje gozdarskih politik.

Vrednotenje izbranih modelov (preglednica 12) je kot najboljšo alternativo, to je tisti model, ki je dosegel največje število točk t.i. tehtane vsote, izpostavilo model CBM-CFS3, ki mu sledijo modeli SILVA, CALDIS, FORMIT-M itd. (preglednica 13).

Preglednica 12: Vrednotenje izbranih modelov z vidika oblikovanja gozdarske politike in poročanja EU

Model \ Kriterij	Zahtevani vhodni podatki [0,3]	Vključenost okoljskih spremenljivk [0,1]	Vključenost algoritmov za model. g.g.* [0,2]	Utemeljenost in kakovost algoritmov [0,2]	Ustreznost izhodnih spremenljivk [0,1]	Časovno obdobje napovedovanja [0,1]
CBM-CFS3	++	+	+++	+++	+++	++
EFISCEN	++	+	++	+++	++	+
EFDM	+++	+	+	++	+	++
MASSIMO	++	+	+	++	++	++
CALDIS	++	++	++	++	++	+++
PROGNAUS	++	+	++	++	++	+++
WEHAM	+	+	++	++	+++	+
SILVA	++	+++	++	+++	++	++
FORMIT-M	++	++	++	++	+++	++

* model. g.g.: modeliranje gospodarjenja z gozdovi

Preglednica 13: Rangiranje modelov glede na doseženo število točk

Model	Število točk
CBM-CFS3	24
SILVA	23
CALDIS	21
FORMIT-M	21
EFISCEN	20
PROGNAUS	20
EFDM	19
MASSIMO	17
WEHAM	16

Pri vrednotenju smo se poleg lastnih ocen pri kriterijih zanašali tudi na vrednotenje modelov s strani tujih avtorjev (npr. Schmid in sod., 2006; Vospernik in Eckmüllner, 2012; Vospernik in sod., 2015; Blattert in sod., 2016; Pilli in sod., 2016; Schelhaas in sod., 2017; Vospernik, 2017). Kot poudarjata Vanclay in Skovsgaard (1997) je učinkovito vrednotenje modelov razvoja gozdov zapleten in stalen proces, ki lahko vključuje dodatne neodvisne validacije, izvedene na različnih ravneh, statistične teste, analizo občutljivosti glavnih vhodnih podatkov ter druge grafične postopke, ki lahko pomagajo pri kalibraciji in vrednotenju modelov.

4.3.3 Analiza občutljivosti modela CBM-CFS3

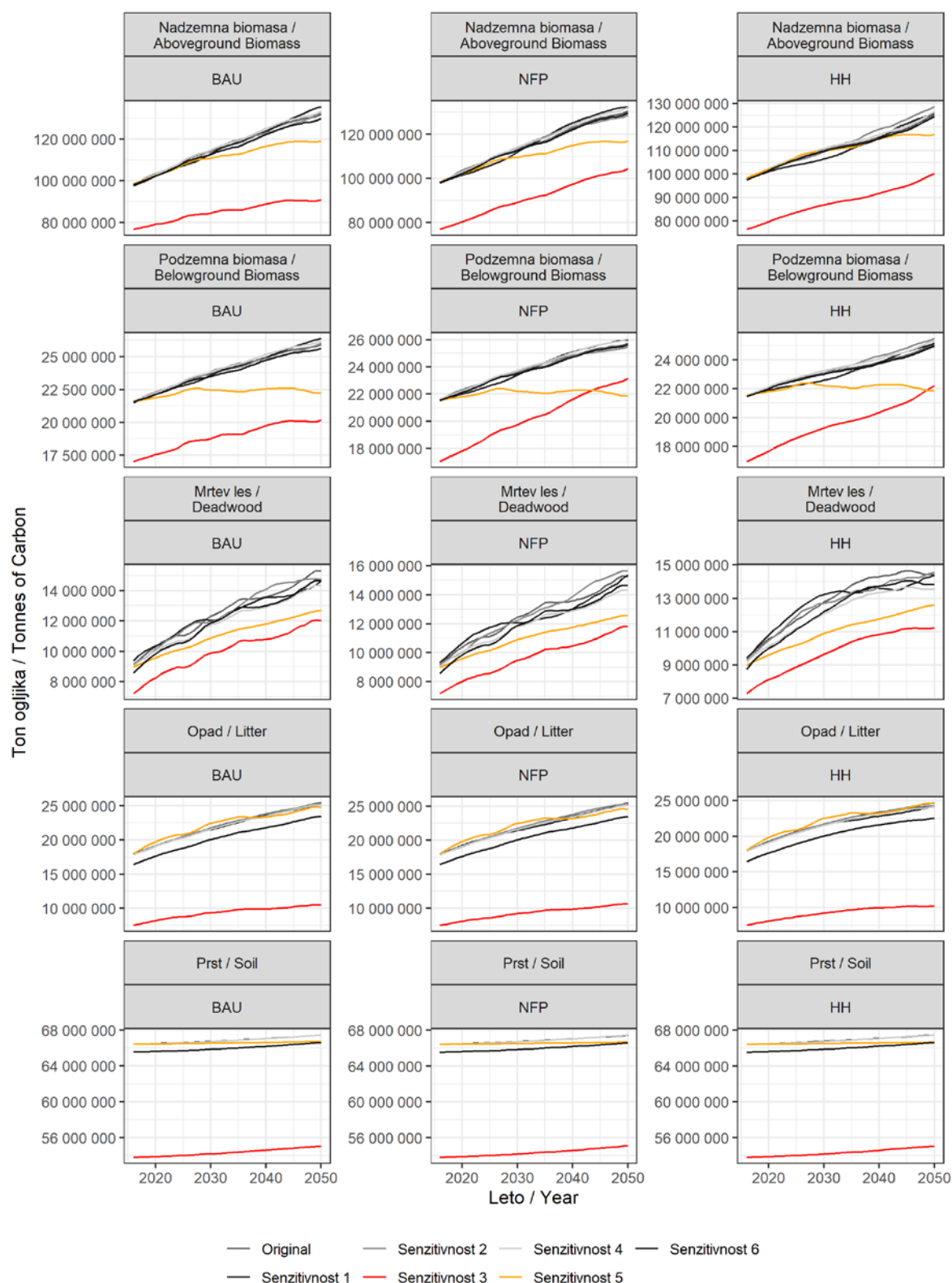
Analiza občutljivosti (npr. Song in sod., 2012) je znana metoda ugotavljanja negotovosti modela, s katero določimo, kako komponente modela in vhodni podatki vplivajo na napovedi in kako se napake širijo po modelu. Ker se model CBM-CFS3 v evropskih državah in institucijah EU pogosto uporablja za simuliranje razvoja gozdov za potrebe mednarodnega poročanja, smo se že v okviru projekta

LifeClimatePath 2050 odločili za analizo občutljivosti tega modela v slovenskih razmerah, ki smo jo v projektu, ki je predmet tega poročila, nadgradili. Prvotno so bili za simulacije določeni trije scenariji gospodarjenja z gozdovi do leta 2050, in sicer običajno gospodarjenje (BAU), gospodarjenje v smislu realizacije nacionalnega gozdnega programa (NFP) in scenarij povečanega poseka (HH).

Z analizo občutljivosti (senzitivnosti) smo ovrednotili vpliv izbranih parametrov na rezultate simulacij po scenarijih BAU, NFP in HH. V ta namen smo oblikovali šest alternativnih simulacij, pri katerih smo spreminjali izbrane nastavitve, ki utegnejo vplivati na končne simulacije. Uporabili smo podatke gozdnih inventur Zavoda za gozdove Slovenije. Opis šestih alternativnih simulacij (analiz senzitivnosti) je sledeč:

- Analiza senzitivnosti 1 in 2: V postopku določitve poseka smo v prvi fazi določili količino poseka na letni ravni, nato pa smo v drugi fazi izračunali skupen posek po gozdnih tipih in njihovih podkategorijah za celotno obdobje simulacije. V tretji fazi smo nato vsak gozdni tip uvrstili v manjše število let. Pri tej analizi torej želimo ugotoviti, do kakšne mere smo vplivali na rezultate z našim naključnim razvrščanjem gozdnih tipov po letih. Pri analizi senzitivnosti 1 in 2 smo torej upoštevali isto količino poseka kot je bila prvotno določena, vendar smo posek po gozdnih tipih razvrstili drugače, in sicer po naključnem vrstnem redu.
- Analiza senzitivnosti 3: Pri določitvi parametrov za simulaciji BAU in z dodatnimi ukrepi, smo stopnjo mešanosti, tj. BRD (listnati gozdovi), CON (iglasti gozdovi) ter MIX (mešani gozdovi) povezali z drevesno vrsto iz indeksne arhivske podatkovne baze (AIDB; Pilli in sod., 2018). Za Slovenijo sta na voljo dve kategoriji: 1) OB_SI – *Other Broadleaves Slovenia*; 2) OC_SI – *Other Conifers Slovenia*. Listnate gozdove smo povezali z OB_SI, iglaste z OC_SI, medtem ko smo se pri mešanih gozdovi morali odločiti med obema kategorijama. Menimo, da listnati gozdovi bolje predstavljajo naše mešane gozdove, zato smo mešane gozdove uvrstili med listnate. Z analizo senzitivnosti smo preverjali našo odločitev in odgovarili na vprašanje, kakšna bi bila razlika, če bi mešane gozdove uvrstili med iglaste.
- Analiza senzitivnosti 4 in 5: V postopku določitve poseka smo na nacionalni ravni izbrali motnjo, ki v največji meri predstavlja vrsto poseka v Sloveniji. Menimo, da je najbolj reprezentativna motnja za Slovenijo redčenje s 50 % jakostjo. Pri tej točki želimo preveriti, do kakšne mere izbrana motnja vpliva na končne vrednosti simulacij, zato smo izbrali drugo vrsto motnje, in sicer redčenje s 33 % jakostjo in ekstremni ukrep - golosek. V obeh primerih je skupna količina poseka enaka, kot je bila prvotno določena, razlika je bila le v površini, na kateri je ukrep izveden.
- Analiza senzitivnosti 6: Vsak gozdni tip smo uvrstili v eno izmed prostorskih kategorij, ki so na voljo v indeksni arhivski podatkovni bazi. Večina gozdnih tipov se pojavlja tudi v drugih prostorskih enotah, zato smo pri tej točki preverjali, kakšen je bil vpliv izbirane prostorske kategorije na končne simulacije. Vse gozdne tipe smo uvrstili v prostorsko enoto 55, ki obsega največji delež površine Slovenije.

Analiza senzitivnosti je pokazala, da na naše rezultate v največji meri vpliva izbor parametra mešanosti (slika 3, senzitivnost 3). Slednje je razumljivo, saj če mešanost opredelimo kot iglavci ali listavci, to v veliki meri vpliva na predvideno gostoto lesa in posledično na količino vezanega ogljika v skladiščih. Ti



Slika 3: Analiza občutljivosti (senzitivnosti) modela CBM-CFS3 na podatkih iz slovenskih gozdov

rezultati potrjujejo, da smo se pravilno odločili in mešane gozdove uvrstili med listnate, saj slednja kategorija bolje predstavlja ekološke značilnosti mešanih gozdov Slovenije. V veliki meri se je kot ključen pokazal tudi vpliv izbire ukrepa (slika 3, senzitivnost 5). V primeru, da kot ukrep izberemo golosek, ima le-ta negativne vplive na vezavo ogljika. Slednje je prav tako razumljivo, saj ima golosek

negativne vplive na pomlajevanje, pomladitveno dobo in tla, zaradi česar se posledično veže manj ogljika v vseh skladiščih. Po vsakem goloseku se gozdni tipi povrnejo v začetno fazo, ki ima precej manjši prirastek, kar precej vpliva na ponore oz. emisije. Iz slednjega lahko razberemo, da smo se pravilno odločili in kot prevladujoči ukrep izbrali komercialno redčenje z jakostjo 50 %. Ostale analize senzitivnosti so imele relativno majhen vpliv na končne simulacije, zato naše rezultate smatramo za robustne in predstavljajo realno sliko dinamike ogljika do 2050 ob uresničenju naših predpostavk.

Predpostavke scenarijev so bile v tem projektu nadgrajene, dodana sta bila še dva scenarija gospodarjenja z gozdovi, od katerih eden upošteva pogostejši pojav naravnih motenj (HAZ), drugi pa manjši posek (LH). Vsi scenariji so bili definirani izključno s posekom, saj le-ta v modelu v največji meri določa dinamiko ponorov oziroma emisij ogljika v slovenskih gozdovih. Vpliv sečnje na ponore ogljika v gozdovih na nacionalni ravni do leta 2050 je bil nedavno simuliran in podrobno opisan v znanstvenem članku Jevšenak in sod. (2020). Glavna ugotovitev je bila, da bo zaloga ogljika po vseh scenarijih gospodarjenja z gozdovi do 2050 narasla (po BAU scenariju za 19 %), gozdovi pa bodo predstavljali ponor ogljika do skupnega poseka v višini okoli 9 milijonov m³ lesne mase.

4.3.4 Razprava z zaključki

Na podlagi pregleda različnih modelov razvoja gozdov smo ugotovili, da je model CBM-CFS3 najbolj primerno orodje za pridobitev podatkov o zalogah ogljika z vidika poročevalskih zahtev EU. Prednost modela je ta, da daje rezultate za vsa skladišča ogljika, in sicer v ustreznih enotah, saj vsebuje algoritem za pretvorbo volumna v biomaso. Glede na rezultate vrednotenja izbranih modelov bi veljalo testirati še modela SILVA in CALDIS, predvsem za dolgoročne projekcije, saj sta oba modela podnebno občutljiva.

Z vidika kakovosti vhodnih podatkov kaže izboljšati podatke o starosti dreves oziroma sestojev in prirastne krivulje. Natančnejše podatke o starosti je možno pridobiti le z vrtanjem, vendar bi morali k temu pristopiti sistematično, s premislekom o izbiri ključnih drevesnih vrst in ob podpori zadostnih finančnih sredstev. Zahtevnejše se zdi izboljšanje prirastnih krivulj, saj se zanje zahteva ustrezen nabor podatkov po posameznih drevesnih vrstah, rastiščih ali gozdnih tipih. Več modelov zahteva tudi podatke o dolžini krošnje, ki se v okviru nacionalne gozdne inventure (NFI) pri nas zbirajo šele od leta 2018. Problem podatkov NFI so tudi kratki časovni nizi, v preteklosti pa tudi gostota mreže vzorčnih ploskev, na katerih so bili ti podatki pridobljeni. Podatke NFI, ki se sedaj zbirajo na mreži 2 km x 2 km, kažejo potencial za modeliranje na državni ravni, inventura kot taka pa predstavlja ogrožje, v okviru katerega bi se morali podatki zbirati ciljno za potrebe modeliranja razvoja gozdov. Zaradi večjega obsega teh podatkov bo v prihodnje mogoče uporabiti tudi različne metode statističnih obdelav, kar bi lahko služilo tudi v razvoju parcialnih modelov, npr. za vrast, mortaliteto itd.

Slovenija bi lahko pristopila k razvoju lastnega modela za simuliranje razvoja gozdov na državni ravni. Čeprav znanje obstaja, je treba poudariti, da so kapacitete omejene, tako z vidika človeških virov, kot tudi finančnih. Za potrebe poročanja se zdi uporaba obstoječih modelov bolj smiselna, saj jih bo mogoče kratkoročno s kakovostnejšimi podatki NFI ustrezno kalibrirati oziroma parametrizirati.

4.4 Razpoložljivost in dostopnost vhodnih podatkov za modeliranje razvoja gozdov na različnih ravneh upravljanja z gozdovi

4.4.1 Ocena dostopnih podatkovnih virov kot virov vhodnih podatkov za modeliranje razvoja gozdov za potrebe gozdnogospodarskega načrtovanja

V tem poročilu skrajšano podajamo rezultate analiz tega delovnega sklopa, podrobneje so rezultati razdelani v prilogi 4 tega poročila.

4.4.1.1 Ocena dostopnih podatkovnih virov kot virov vhodnih podatkov za modeliranje razvoja gozdov

Gozdarski informacijski sistem Zavoda za gozdove Slovenije

Gozdarski informacijski sistem vsebuje številne podatke, ki se zbirajo na različnih prostorskih nivojih v gozdni inventuri. Gozdna inventura je tu mišljena v njenem najširšem pomenu in obsega zbiranje podatkov o stanju gozdov, podatkov o pomenu gozdov (funkcije), podatkov o gospodarjenju z gozdovi, podatkov o gozdni infrastrukturi, podatkov o populacijah prostoživečih živali, podatkov o rastiščih (fitocenološki podatki), ipd. Podatki o stanju gozdov so zbrani v petih podatkovnih zbirkah: i) podatkovna zbirka o gozdnih sestojih, ii) podatkovna zbirka stalnih vzorčnih ploskev, iii) podatkovna zbirka o odsekih, iv) podatkovna zbirka o valoriziranih funkcijah gozdov in v) podatkovna zbirka o pomladku in njegovi objedenosti. Za modeliranje razvoja gozdov pa so pomembne še podatkovni zbirk: vi) podatkovna zbirka o poseku in vii) podatkovna zbirka o izvedenih gojitvenih in varstvenih ukrepih. Vsako izmed njih v nadaljevanju presojamo z vidika uporabnosti podatkov za modeliranje razvoja gozdov, zaključki glede posamezne podatkovne zbirke so podani v zaključnih odstavkih.

V preglednici 14 je sintezno prikazana uporabnost posameznih podatkovnih zbirk gozdarskega informacijskega sistema, predlagane so tudi izboljšave za potrebe modeliranja razvoja gozdov. Pri podatkih o objedenosti gozdnega mladja smo podali dve oceni – prva je namenjena uporabnosti teh podatkov za vključitev stopnje objedenosti gozdnega mladja v simulacije razvoja gozdov, druga pa je namenjena uporabnosti podatkov o pomladku (t.j. gostota mladja, drevesna sestava, višinska struktura) za simuliranje razvoja gozdov. Slednja ocena je slabša, ker je ploskev za popis objedenosti pogosto oddaljena od SVP in zato popisan pomladek ne nujno odraža sestojne (in rastiščne) razmere na SVP.

Podatkovna zbirka o gozdnih sestojih

Sestojna karta je v nekaterih modelih razvoja gozdov nujen vhodni podatek (npr. WIS.2, LANDIS II, LandClim), obvezna je npr. pri prostorsko-odvisnih sestojnih modelih (Porté in Bartelink, 2002), medtem ko večina glavnih tipov modelov razvoja gozdov sestojne karte ne potrebuje kot vhodni podatek. V Sloveniji se podatke na ravni sestoja zbira že precej dolgo, sestojna karta je del gozdnogospodarskih načrtov že desetletja, od leta 2008 pa je sestojna karta za celotno Slovenijo dostopna v vektorski obliki. Posledično imamo na voljo periodične sestojne karte za posamezne gozdnogospodarske enote. Letno se aktualizira približno desetino podatkov sestojne karte za celotno Slovenijo.

Preglednica 14: Ocena uporabnosti podatkovnih zbirk gozdarskega informacijskega sistema Zavoda za gozdove Slovenije in podatkov v njih za modeliranje razvoja gozdov (prikazane so le podatkovne zbirke, pomembne za modeliranje razvoja gozdov); ++ - podatki neposredno uporabni v trenutni obliki, + - podatki uporabni ob minimalnem dodatnem snemanju podatkov ali dopolnitvah s podatki daljinskega zaznavanja ali drugih (prostodostopnih) virov, o – podatki uporabni ob znatni dopolnitvi podatkovne zbirke in/ali metodologije zbiranja podatkov, -- - podatki so omejeno uporabni, zahtevane bistvene spremembe metodologije zbiranja podatkov, --- - podatke ob predpisani metodologiji ni možno uporabiti za modeliranje razvoja gozdov niti metodologije ni možno ustrezno prilagoditi, / - podatki niso pomembni za modeliranje razvoja gozdov

Podatkovna zbirka v gozdarskem informacijskem sistemu	Uporabnost podatkov za modeliranje razvoja gozdov	Predlagana izboljšava za večjo uporabnost pri modeliranju
Sestojna karta	+	
Stalne vzorčne ploskve	++	merjenje višin večjemu številu dreves;
Podatki o objedenosti gozdnega mladja	++ / -	dodatna inventura pomladka in tankega drevja
Podatki o rastišču	o	/; popis pomladka na SVP
Podatki o gozdnih združbah	o	dopolnitev različnih podatkovnih zbirk
Rastiščni indeks (SI) (povezava s podatkovno zbirko o gozdnih združbah)	-	podrobnejši podatki (digitalna fitocenološka karta)
Podatki o poseku	+	dopolnitve podatkovne zbirke SI za glavne drevesne vrste po gozdnih tipih;
Podatki o gojitvenih in varstvenih delih	+	digitalizirana podrobna fitocenološka karta;
Funkcije gozdov	+	razvoj metodologije izračuna SI iz lidarskih podatkov
		natančnejše lociranje poseka
		Natančnejše lociranje izvedenih gojitvenih del

Sestojna karta je kot vhod v modele razvoja gozdov večinoma potrebna v rastrski obliki. Z ustreznimi programskimi orodji (npr. ArcMap, Idrisi, R) lahko vektorsko sestojno karto, kot jo poznamo v gozdarskem informacijskem sistemu, relativno lahko in hitro pretvorimo v rastrsko karto z različno resolucijo. Resolucija je odvisna od modela. Pomembno je tudi, kateri sestojni parameter rastrska karta vsebuje oziroma ponazarja. Model LANDIS II npr. za zagon potrebuje rastrsko karto, na kateri vsaka celica vsebuje podatek o (dominantni) drevesni vrsti in (prevladujočem) starostnem razredu sestoja v rastrski celici. Sestojna karta v rastrskem formatu je zelo pomemben vhodni podatek tudi v model WIS.2, kjer pa je karta izdelana s pomočjo posebnega programskega orodja TBk iz več kartnih podlag, digitalnega modela krošenj in satelitskih posnetkov (glej poglavje 3.3).

Ker imamo v Sloveniji izdelano sestojno karto za celotno državo in na ravni sestoja zbiramo relativno veliko podatkov, lahko ustrezne rastrske sestojne karte izdelamo z relativno malo časovnega in finančnega vložka, kar ocenjujemo kot ugodno.

Podatkovna zbirka stalnih vzorčnih ploskev

Podatkovna zbirka stalnih vzorčnih ploskev (SVP) vsebuje podatke dejanskih meritev posameznih dreves, ki so bili v nekaterih primerih merjeni že 4- ali 5-krat. Koncept inventure na SVP je opisan v prilogi 4 in publikaciji Poljanec in sod. (2014).

Podatki s SVP so z vidika modeliranja razvoja gozdov izredno pomemben podatkovni vir, saj ti podatki predstavljajo ali neposreden vhod v modele ali pa osnovo za izračun vhodnih podatkov in/ali funkcijskih povezav, ki uporabnika privedejo do vhodnih podatkov. Vsako drevo na SVP je prostorsko locirano, kar omogoča neposredno ali posredno uporabo te podatkovne zbirke v vseh do sedaj razvitih tipih modelov razvoja gozdov (Klopčič in sod., 2020). Prva pomanjkljivost te metode je majhnost ploskev. Večina modelov temelji na simulacijah razvoja gozdov na večjih ploskvah. Predvsem pri uporabi prostorsko odvisnih drevesnih modelov, ki računajo kompeticijo med drevesi na podlagi razdalj med drevesi, njihovo višino, lahko tudi velikostjo krošenj (npr. SILVA, SYBILA), je bolje, da so ploskve večje in da vsebujejo več dreves. Koncentrične vzorčne ploskve, kjer na celotni ploskvi ne izmerimo celotne populacije, pač pa le njihove posamezne dele glede na velikost koncentričnega kroga, so zato iz tega vidika manj primerne, saj ne zaznajo konkurenčnih odnosov med vsemi drevesi na ploskvi.

Zbrani podatki na SVP ob uporabi določenih drugih orodij in podatkov v večini primerov omogočajo zagon modelov, čeprav pogosto manjkajo nekateri ključni vhodni podatki, kot so npr. podatki o višinah dreves. Precej drevesnih modelov razvoja gozdov temelji na višinski rasti dreves, zato so podatki o višinah ključni. Določeni modeli (npr. MOSES, SILVA) pri izračunu kompeticije potrebujejo celo podatke o globini krošnje oziroma višino drevesa do žive krošnje. Tega podatka v naši gozdni inventuri ne spremljamo, zato je zagon modelov otežen, nemogoč je tudi izračun ustreznih funkcijskih povezav, ki bi omogočal izračun tega znaka preko drugih drevesnih parametrov (npr. prsni premer, višina drevesa, drevesna vrsta).

Zaradi dolge časovne serije meritev na istih drevesih je kljub nekaterim pomanjkljivostim metodo stalnih vzorčnih ploskev z vidika modeliranja razvoja gozdov nujno ohranjati, prav tako podatkovno zbirko, ki je zbrana na podlagi teh meritev, saj je v evropskem merilu izrednega pomena. Določeni modeli razvoja gozdov (npr. MASSIMO) namreč uporabljajo natančno takšne podatke za zagon modela in simuliranje razvoja gozdov na ravni sestoja (ploskve) ali večji prostorski ravni (gozdni tip, regija). V primeru uporabe modela razvoja gozdov pri upravljanju gozdov (npr. načrtovanju), ki bi za zagon in simulacije zahteval podatke, ki jih na SVP ne zbiramo ali so pomanjkljive, se lahko metodologija zbiranja podatkov hitro prilagodi in začne z inventarizacijo dodatnih drevesnih, sestojnih in/ali rastiščnih drugih parametrov.

Podatki o pomlajevanju

Informacije o pomladku se v Sloveniji zbirajo v dveh ločenih metodah gozdne inventure, in sicer i) pri izdelavi sestojne karte v procesu opisov sestojev in ii) pri popisu objedenosti gozdnega mladja v okviru izdelave lovskoupjavljavskih načrtov. V okviru prve metode se zbirajo bolj kvalitativne in okvirne informacije o pomladku, v okviru druge navedene metode (Hafner in sod., 2016) pa se zbirajo kvantitativni podatki o pomladku (gostota, vrstna sestava, višinska struktura, objedenost), ki so za modeliranje razvoja gozdov precej bolj uporabni. Največja pomanjkljivost slednje metode z vidika modeliranja razvoja gozdov je, da so popisne ploskve praviloma oddaljene od središča SVP 12-50 m, zato lahko popisani pomladek odraža povsem drugačne razmere (npr. kompeticija, zastrtost), kot vladajo na SVP. Popiše se tudi relativno majhne delež vseh ploskev (praviloma < 15 %).

Z vidika modeliranja razvoja gozdov so podatki o pomladku najmanj kakovostni podatki, ki jih zbiramo v okviru gozdne inventure v Sloveniji. Za potrebe modeliranja razvoja gozdov bi bilo idealno, da bi pomladek popisali na SVP oziroma vsaj v nekem ožjem vplivnem območju okoli SVP (do 20- 25 m od centra SVP). Le v tem primeru bi lahko parametre pomladka (npr. gostoto, vrstno sestavo, višinsko strukturo) pripisali razmeram na SVP, kar večina modelov zahteva. Kljub tej pomanjkljivosti so ti podatki dovolj podrobni in kakovostni za nekatere tipe modelov razvoja gozdov (npr. matrični populacijski modeli, model vrzeli ForClim, empirični drevesni model MOSES).

Podatki o rastišču

Podatke o rastišču večinoma pridobivamo iz podatkovnih zbirk Zavoda za gozdove Slovenije in Agencije RS za okolje (ARSO). V podatkovnih zbirkah Zavoda za gozdove Slovenije najdemo podatke o rastišču v bazah na prostorskih ravneh odsekov in SVP. V obeh podatkovnih zbirkah so zbrani podatki o osnovnih rastiščnih parametrih. Za vsak odsek imamo na voljo podatke o nadmorski višini (od-do), položaju v pokrajini, (prevladujočem) reliefu, legi, naklonu, kamnini, kamnitosti in skalovitosti, na ravni SVP pa o nadmorski višini, legi, naklonu in položaju v pokrajini.

V podatkovnih zbirkah ARSO pa najdemo različno podrobne podatke o podnebju, reliefu (DMR), tleh, matični podlagi (kamnini), vodnih telesih in drugem. Večina teh podatkov je v GIS formatu (*.shp) in jih lahko z uporabo GIS programskih orodij prenesemo na ustrezno prostorsko raven oziroma na osnovno enoto modeliranja razvoja gozdov (npr. SVP).

Glede na pregled lastnosti modelov lahko zaključimo, da predvsem mehanistični (procesni) modeli potrebujejo precej več podatkov o rastišču, kot jih imamo trenutno zbranih v gozdarskem informacijskem sistemu ali prosto dostopnih bazah. Takšni podatki se najpogosteje nanašajo na lastnosti tal in matične podlage (npr. vodna kapaciteta tal, založenost s hranili, C/N razmerje, razpoložljivost N v tleh, pH tal) ter podnebja (npr. dnevne temperature in količina padavin v daljši časovni dobi, temperaturne vsote, čas osvetljenosti). Predvsem se izkazuje pomanjkanje ustrezne detajlne pedološke karte v velikem merilu. Zaradi tega pomanjkanja osnovnih vhodnih podatkov o rastišču so mehanistični modeli praviloma manj uporabni za namene upravljanja gozdov.

Pogosto modeli razvoja gozdov, predvsem empirični modeli, pa tudi nekateri hibridni in mehanistični, vpliv lastnosti rastišča na rast in razvoj dreves in sestojev ponazorijo z uporabo rastiščnega indeksa kot neposrednega vhodnega podatka. Takšni modeli so npr. SiWaWa, MOSES, WIS.2. V gozdarskem informacijskem sistemu tega podatka za osnovne prostorske enote odseke ali SVP nimamo na voljo. Predvsem za slednje bi bilo smiselno ta podatek pridobiti, a trenutne digitalne (digitalizirane) fitocenološke karte in drugi GIS podatkovni viri tega ne omogočajo v zadostni kvaliteti. Menimo, da bi morala biti ta naloga ena prednostnih na področju uporabne fitocenologije, več o temi pa je navedeno v posebnem poglavju.

Podatkovna zbirka o poseku

Podatke o poseku oziroma odkazilu najdemo v gozdarskem informacijskem sistemu v podatkovni zbirki Timber. Prostorska raven podatkov je parcela ali odsek. Podatki v tej podatkovni zbirki so dokaj podrobni in za potrebe modeliranja razvoja gozdov oziroma predvsem oblikovanje scenarijev gospodarjenja z gozdovi in simulacij razvoja gozdov ob različnih načinih ukrepanja (scenarijih) dovolj detajlni in kakovostni. Podatki o poseku so pomembni tudi za modeliranje pojavnosti in obsega naravnih motenj ter izdelavo modelov tveganj za posamezne nevarnosti, kot so veter, žled, požari ali

podlubniki (npr. Klopčič in sod., 2009). Niso pa primerni za neposredno aplikacijo v vseh modelih razvoja gozdov. V drevesnih modelih so ti podatki pogosto premalo detajlni za ustrezno aplikacijo ukrepov.

Podatke o poseku zbiramo tudi na SVP. Tu so podatki bolj detajlni kot v podatkovni zbirki Timber, podatki so tudi prostorsko natančno locirani (poznana je lokacija posameznega drevesa), poznani so parametri in lastnosti posameznega drevesa pred posekom. Podatki omogočajo neposredno aplikacijo ukrepov/poseka na ravni posameznega sestoja (SVP), pa tudi oblikovanje širše uporabnih scenarijev gospodarjenja z gozdovi, a pri slednjem naletimo na določene probleme. Glavni pomanjkljivosti teh podatkov sta, i) da ne poznamo natančne časovne izvedbe poseka in ii) da ne poznamo vzroka poseka posameznega drevesa. Pri oblikovanju scenarijev gospodarjenja z gozdovi (poseka) je najboljša kombinacija obeh podatkovnih zbirk, vendar s tem pridobimo le približke dejanskih scenarijev gospodarjenja z gozdovi. Na ravni gozdnega sestoja aktualne podatkovne zbirke prav tako ne ponujajo korektnega podatka o poseku.

Glede na razvoj tehnologije na področju lociranja (GPS tehnologija) je možno podatke o poseku znatno izboljšati. Pomembna rešitev bi bila GPS snemanje lokacije vsakega poseka oziroma odkazila. Snema se lahko lokacija posameznega odkazanega/posekanega drevesa ali poligona območja, kjer se je odkazilo/posek izvedel. S tem podatkom bi lahko odkazilo v podatkovni zbirki Timber neposredno povezali s posekom na SVP, kar bi omogočilo detajlno aplikacijo ukrepov (poseka) na SVP in bolj natančno oblikovanje scenarijev gospodarjenja z gozdovi (poseka) na večji prostorski ravni.

Podatkovna zbirka o gojitvenih in varstvenih ukrepih

Podatke o gozdnogojitvenih in varstvenih ukrepih najdemo prav tako v posebni podatkovni zbirki, ki jo vzdržuje in aktualizira Zavod za gozdove Slovenije. Prostorsko lociranje je tudi tu na ravni parcele oziroma odseka, ukrepi so tudi časovno opredeljeni. Podobno kot posek lahko te ukrepe le približno prenesemo na nižjo prostorsko raven, npr. SVP ali sestoj, rešitev tega problema je v GPS lociranju posameznih ukrepov. A pogosto modeli teh ukrepov pri simulacijah razvoja gozdov niti ne upoštevajo (izjema npr. model ForClim).

Podatkovna zbirka o funkcijah gozdov

Podatkovna zbirka o funkcijah gozdov z vidika modeliranja gozdov ni ključna, saj ne vsebuje podatkov o stanju ali preteklem razvoju gozdov, pomembna pa je lahko pri optimizaciji gospodarjenja z gozdovi na podlagi simulacij razvoja gozdov po različnih scenarijih.

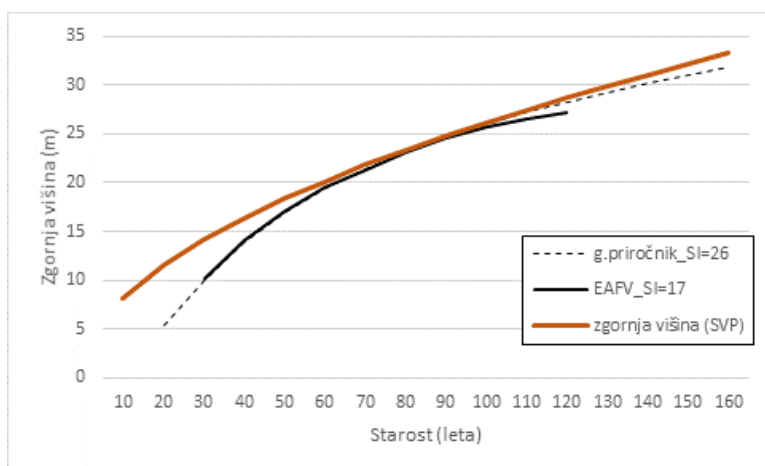
Rastiščni indeks

Rastiščni indeks SI (angl. *Site Index*) je zgornja sestojna višina čistega sestoja določene drevesne vrste pri referenčni starosti sestoja 100 let (lahko tudi 50 ali 70 let) in je pogosto pomemben vhodni podatek v modele razvoja gozdov (npr. Moses, Picus, MASSIMO, SiWaWa, WIS.2). Najpogostejše je rastiščni indeks edini rastiščni parameter, vključen v modeliranje, in kot tak identificira rastišče ali gozdni rastiščni tip.

Pregledali smo razpoložljive rastiščne indekse za posamezne drevesne vrste, ki so bili zbrani v zaključenem CRP projektu V4-1123 Ugotavljanje proizvodne sposobnosti gozdnih rastišč v Sloveniji in

so zbrani v zaključnem poročilu (Kadunc in sod., 2013) in delovnih datotekah. Za glavne drevesne vrste (bukev, smreko, jelko) so rastiščni indeksi praviloma izmerjeni in izračunani za večino gozdnih rastiščnih tipov (Kutnar in sod., 2012), a vseeno ne za vse pomembnejše gozdne rastiščne tipe (gledano po površini). Za drevesne vrste, ki praviloma ne dominirajo v gozdnih sestojnih (npr. gorski javor, graden, lipovec in lipa, beli gaber) pa lahko rečemo, da manjkajo rastiščni indeksi za kar precejšnje število rastiščnih tipov.

Rastiščne indekse za bukev in smreko smo kot vhodni podatek preverili na sestojnem modelu SiWaWa (Rosset in sod., 2013). V tem modelu je vhodni podatek SI_{50} , ker v Švici uporabljajo rastiščni indeks, določen pri starosti 50 let in ne 100 let, kot pri nas. Izkazalo se je, da višinsko priraščanje zgornje sestojne višine, ki je vgrajeno v model SiWaWa, ne ustreza višinskemu priraščanju naših sestojev. V primeru čistih bukovih sestojev je bilo praviloma višinsko priraščanje podcenjeno (slika 4), kar pomeni, da čisti bukovski sestoji v Sloveniji rastejo hitreje, kot predvidevajo krivulje razvoja zgornje sestojne višine v švicarskih sestojnih tablicah, ki so osnova v model vgrajenega višinskega priraščanja bukovih sestojev. Pri čistih smrekovih sestojih so analize pokazale precej boljše sovpadanje višinskega priraščanja, a še vedno je bilo opazno rahlo podcenjevanje višinskega priraščanja.



Slika 4: Primerjava razvoja zgornje sestojne višine bukovih sestojev na rastišču Hacquetio-Fagetum (podgorsko bukovje; rastiščni indeks $SI_{100}=26,2$) (oranžna črta) z razvojem zgornje sestojne višine v modelu SiWaWa (švicarske sestojne tablice EAFV; Čokl, 1980) za rastiščni indeks $SI_{50}=17$ ($H_{zg,100}=25,7$ m) (polna črna črta) in prirejenimi slovaškimi sestojnimi tablicami za primerljiv $SI_{100}=26$ (Kotar, 2003)

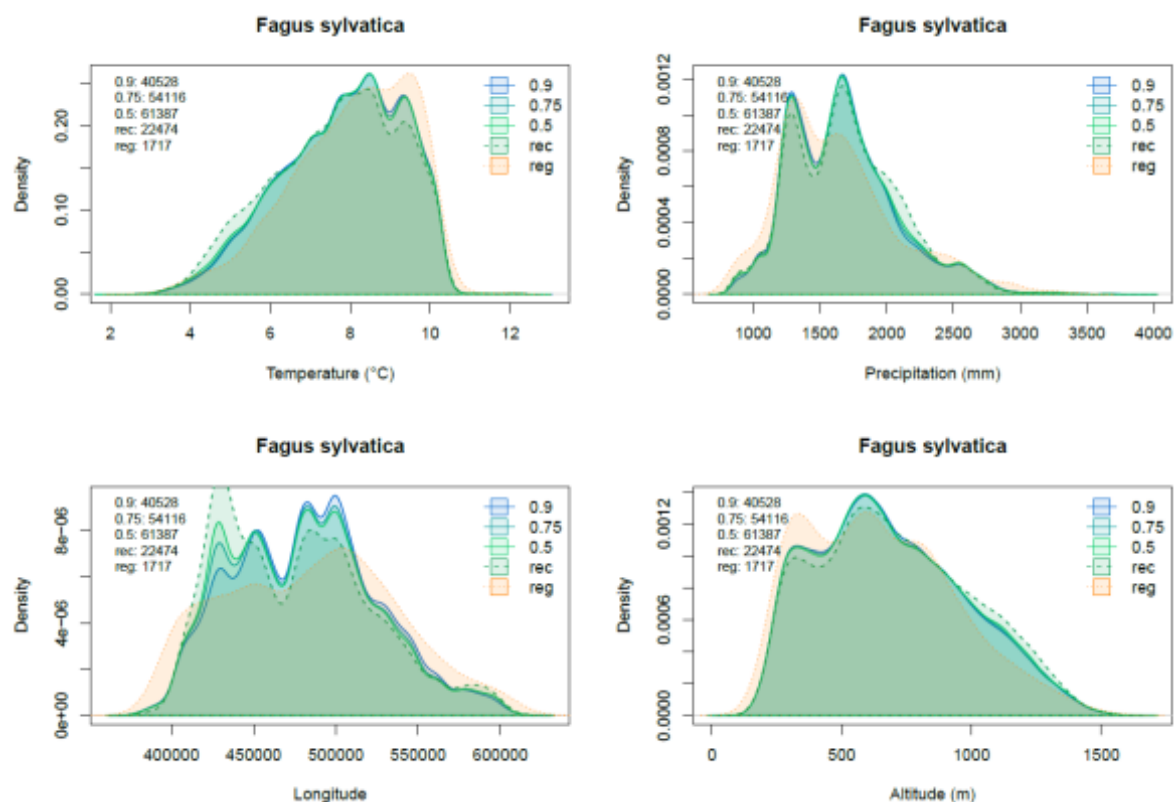
Poznavanje rastiščnih indeksov za različne drevesne vrste, vsaj pa za glavne drevesne vrste, na določenem rastišču je nujno. Ker za precej drevesnih vrst na številnih rastiščih še vedno ne poznamo rastiščnih indeksov (Kadunc in sod., 2013), je ključno, da se tovrstne temeljne raziskave nadaljujejo. Pri tem je pomembno njihovo (sistemsko) financiranje.

Z razvojem tehnologij daljinskega zajemanja podatkov, predvsem lidarskega skeniranja, so se odprle nove možnosti pridobivanja podatkov o zgornji sestojni višini in tudi rastiščnih indeksih. Izdelati je možno zvezno karto rastiščnih indeksov, ki bi omogočila enostaven prenos podatka o rastiščnem indeksu na SVP. Več o tem je napisano v poglavju 3.3.

Ekogrami drevesnih vrst in gozdnih rastiščnih tipov

Pomembna podlaga za modeliranje razvoja gozdov z nekaterimi modeli so tudi ekogrami drevesnih vrst. Ti so v določenih modelih (npr. WIS.2, LANDIS II) pomembna podlaga za določanje prisotnosti in obilja vrste v gozdnih sestojnih. Na podlagi podatkov s SVP smo takšne ekograme izbranih drevesnih vrst izdelali za tri razvojne stopnje dreves (pomladek, vrasla drevesa, odrasla drevesa), ki prikazujejo ekološke razmere trenutne razširjenosti vrst, nakazujejo pa tudi možne spremembe razširjenosti vrste v prihodnosti. Na sliki 5 so prikazani ekogrami za bukev za glavne vplivne dejavnike razširjenosti vrste po razvojnih stopnjah drevja. Naredili smo tudi ekograme posameznih gozdnih rastiščnih tipov, kar pri določenih modelih razvoja gozdov potrebujemo za oblikovanje možnega razpona (ekološke niše) pojavljanja določenega tipa gozdne vegetacije.

Zaključimo lahko, da podatki, ki jih zajemamo v gozdni inventuri ali so kako drugače zajeti v gozdarskem informacijskem sistemu in drugih podatkovnih zbirkah, omogočajo izdelavo ekogramov, ki so pomemben vhodni podatek v nekatere, predvsem mehanistične (procesne) modele razvoja gozdov, kar ocenjujemo kot pozitivno.



Slika 5: Ekogrami bukve, izračunani na podlagi trenutne razširjenosti vrste (reg – pomladek, rec – vraslo drevje, 0.5, 0.75, 0.9 – odraslo drevje, pri čemer je bil minimalni premer za opredelitev odraslega drevja določen kot 50., 75. ali 90. percentil vseh dreves vrste nad merskim pragom, kar je pomenilo prsne premere 19, 28 oziroma 38 cm)

Raziskovalni objekti

V Sloveniji imamo v primerjavi s tujino zelo malo ali skoraj nič ohranjenih trajnih raziskovalnih objektov, za katere bi imeli zbrane daljše časovne serije izmerjenih sestojnih in/ali drevesnih

podatkov. Model SILVA npr. temelji na podatkovni zbirki meritev z okoli 400 stalnih raziskovalnih ploskev v Nemčiji, najdaljša časovna serija obstaja za obdobje od leta 1870 (Pretzsch, 2010). Smiselno je osnovati nove raziskovalne objekte in začeti zbirati podatke. Tako smo v okviru tega projekta osnovali nov raziskovalni objekt Bremzberg - Mirna gora (GGE Mirna gora, GGO Novo mesto) z 8 ploskvami, velikosti 20×20 m ali 30×30 m, na katerih bomo preučevali dolgoročne učinke 3 različic izbiralnega redčenja (Vrlinič, 2019). V okviru projekta smo ponovno izmerili tudi raziskovalna objekta Somova gora v Kočevskem Rogu, GGO Kočevje (prof. Andrej Bončina) in Brezova reber v GGO Novo mesto (Saje, 2011; Skala, neobjavljeno). Tuje izkušnje kažejo, da so stalni raziskovalni objekti in njihova kontinuirana periodična inventura ključna pri oblikovanju modelov razvoja gozdov (Pretzsch, 2010), pa tudi npr. optimalnih modelov upravljanja z gozdovi (npr. Veselič, 2010). Vsled temu lahko zaključimo, da so osnovanje, vzdrževanje in periodična inventarizacija teh objektov zelo pomembni za gozdarstvo in upravljanje gozdov ter tudi razvoj modelov razvoja gozdov.

4.4.1.2 Možnosti nadomeščanja manjkajočih podatkov s statističnimi modeli ali generiranjem podatkov

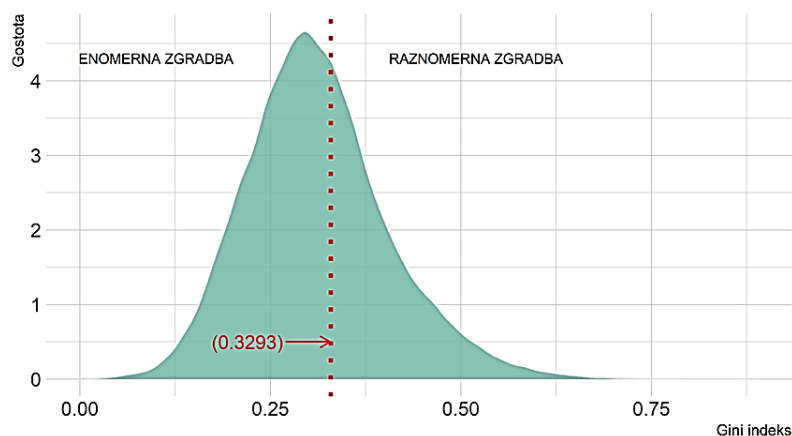
Pri zagonu modelov razvoja gozdov se pogosto srečamo z nepopolnimi podatki, ki (lahko) onemogočajo zagon simulacij, spopolnimo jih lahko s pomočjo različnih funkcijskih zvez med drevesnimi, sestojnimi in/ali rastiščnimi parametri. Pogosto so takšne funkcijske povezave med parametri tudi neposredno vgrajene v modele, zato je njihov razvoj ključen na poti razvoja lastnega modela razvoja gozdov. V projektu smo se manjkajočih podatkov v gozdarskem informacijskem sistemu lotili s treh vidikov: i) razviti metodologijo kvantificiranega razmejevanja enomernih in raznomernih sestojev, ii) poskusno razviti preliminarne prirastni regresijski model za bukev na izbranem rastišču in iii) začeti razvijati metodologijo modeliranja verjetnostnih porazdelitev debelinske strukture enomernih gozdov. Vse tri vidike sta obravnavali dve doktorski disertaciji doktorskih študentov Vasilija Trifkovića in Žive Bončina, ki smo ju smiselno vključili v izvedbo projekta.

Razmejitev enomernih in raznomernih sestojev

Ker se sestojni parametri med enomernimi in raznomernimi gozdnimi sestoji bistveno razlikujejo tako v njihovi dinamiki kot doseženih vrednostih, značilne razlike pa so tudi v osnovnih procesih rasti, pomlajevanja in mortalitete, je nujno najti način za ustrezno razmejevanje sestojev glede na njihovo vertikalno (in horizontalno) zgradbo. Razvit je bil algoritem za razmejevanje enomernih in raznomernih sestojev (Trifković in sod., neobjavljeno), kar je zelo pomembno zaradi razlik v modeliranju razvoja enomernih in raznomernih sestojev. Algoritem je omogočil klasifikacijo v oba glavna sestojna tipa. Algoritem temelji na izračunu različnih kazalnikov zgradbe sestoja in metod razvrščanja v skupine. Klasifikacijo gozdov smo izvedli s podatki s SVP (n=98.358; ZGS, 2019), klasifikacija pa je bila preverjena z izračunom indeksa podobnosti, pri čemer smo primerjali ocenjene vrednosti sestojne zgradbe (enomerni/raznomerni) na SVP in sestojni karti z izračunanimi vrednostmi posameznih indeksov.

Kot ključni kazalnik sestojne zgradbe se je izkazal Gini indeks, ki nakazuje vertikalno in/ali debelinsko strukturo sestojev. Mejna vrednost indeksa za razmejitev na enomerne in raznomerne sestojne smo določili na 0,3293. Z algoritmom smo opredelili 32.694 SVP kot raznomerne in 51.107 SVP kot enomerne sestojne (slika 6), ostale SVP pa smo morali izločiti zaradi premalo podatkov (dreves na ploskvi) za izračun indeksov strukturne raznovrstnosti ali različnih napak v podatkih. Indeks podobnosti je znašal 62 %, kar nakazuje dobro identifikacijo lastnosti in klasifikacijo sestojnega tipa

na SVP. Izdelana klasifikacija je bila uporabljena pri razvoju drugih statističnih podlag, ki so potencialno uporabne pri razvoju lastnega ali parameterizaciji tujega modela razvoja gozdov.



Slika 6: Gostota vrednosti Gini indeksa z označeno mejo med enomernimi in raznomernimi sestoji, ki je bila določena z metodo razvrščanja v skupine (ang. cluster analysis method)

Modeliranje debelinskega priraščanja dreves

Druga pomembna prirastoslovna podlaga pri razvoju modelov razvoja gozdov so modeli debelinske rasti drevesnih vrst. Pomembno je, da so modeli rastiščno- in vrstno-specifični, upoštevati je potrebno še sestojni tip in rastiščne razmere, ki pomembno vplivajo na rast dreves (npr. Klopčič in sod., 2019). Za raznomerne mešane sestojne bukve, jelke in smreke na rastišču dinarskih jelovo-bukovih gozdov so bili razviti preliminarni regresijski modeli debelinskega priraščanja treh glavnih drevesnih vrst v odvisnosti od drevesnih, sestojnih in rastiščnih parametrov (Trifković, 2020):

$$i_d = \beta_0 + \beta_1 * G + \beta_2 * \log(dbh+0,5) + \beta_3 * dbh^2 + \beta_4 * BAL + \beta_5 * N + \beta_6 * \sin(vGINI) + \beta_7 * ELV + \beta_8 * \log(SHN+0,5),$$

kjer i_d pomeni debelinski prirastek drevesa, G sestojno temeljnico, dbh prsni premer drevesa, BAL temeljnico dreves, debelejših od opazovanega drevesa, N število dreves v sestoji, $GINI$ Ginijev indeks strukturne diverzitete, ELV nadmorska višina, SHN Shannonov indeks vrstne diverzitete in β_0 - β_8 regresijske koeficiente. Pri različnih vrstah so bili v končni regresijski model vključeni različni prediktorji, kar je prikazano v preglednici 15.

V tem poročilu so prikazani preliminarni modeli debelinske rasti dreves glavnih drevesnih vrst v mešanih jelovo-bukovo-smrekovih raznomernih gozdih v Dinaridih. V okviru doktorskih disertacij Vasilija Trifkovića in Žive Bončina bodo s podatki SVP takšni modeli izdelani za več drevesnih vrst v raznomernih in enomernih sestojih na različnih rastiščnih tipih.

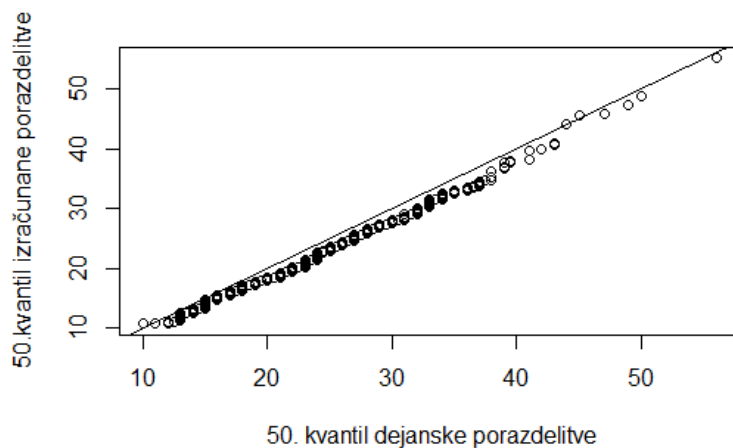
Preglednica 15: Regresijski modeli debelinskega priraščanja bukve, jelke in smreke v raznomernih dinarskih jelovo-bukovih gozdovih; prikazani so regresijski koeficienti, spodaj pa dve meri validacije modela

Spremenljivka	Opis/pomen	Bukev (n=9407)	Jelka (n=6443)	Smreka (n=4553)
konstanta		-0,033	-0,052	-0,046
log(dbh+0,5)	prsni premer	0,027	0,029	0,020
dbh ²	prsni premer	-0,092	-0,051	-0,055
G	sestojna temeljnica	-3,60	-5,16	-3,47
BAL	temeljnica debelejših dreves	-1,32		-4,52
N	število dreves	-0,073		
asin(VGINI)	strukturna diverziteta	0,026	0,026	0,062
log(SHN+0,5)	vrstna diverziteta	0,34		-0,60
ELV	nadmorska višina	-0,15	-0,059	0,036
Validacija modela (validacijski vzorec = 70 % vseh enot, testni vzorec = 30 %)				
R ²		0,31	0,22	0,20
RMSE		0,1724	0,2388	0,2293

Rast dreves kot osnovo za simuliranje razvoja dreves in gozdov smo raziskovali tudi z drugimi metodami, ne glede na sestojno zgradbo in s podatki monitoringa gozdov in gozdnih ekosistemov (MGGE) (Jevšenak in Skudnik, 2020). Razvit je bil model, ki je temeljil na algoritmu 'naključni gozdovi regresijskih dreves' (metoda strojnega učenja), usposobljenega s 23 neodvisnimi spremenljivkami in 15.580 podatkovnimi točkami (drevesa MGGE). Kot najpomembnejša pojasnjevalna spremenljivka se je izkazala višina drevesa, za drugo pa parameter kompeticije BAL.

Modeliranje in generiranje debelinske strukture enomernih gozdnih sestojev

V okviru doktorske disertacije Žive Bončina smo analizirali drugi del klasificiranih sestojev, torej enomerne sestoje. Debelinska struktura oziroma frekvenčna porazdelitev števila dreves po debelinskih stopnjah je ključen vhodni podatke v nekatere empirične modele razvoja gozdov (npr. SiWaWa) in populacijske matrične modele (npr. SLOMATRIX). V projektnih analizah smo se osredotočili na debelinsko strukturo čistih enomernih bukovih sestojev. To najbolje prikažemo z Weibullovo porazdelitveno funkcijo, čeprav smo preverili tudi druge (npr. gamma porazdelitev, Richardova funkcija). Za vsako izbrano SVP smo v programskem okolju R z različnimi metodami izračunali parametre triparametrške Weibullove porazdelitvene funkcije (α , β , γ). Z izračuni po metodi MLE smo dosegli precej dobro prileganje dejanske in simulirane debelinske strukture (slika 7). Ugotovili smo, da vseh ploskev zaradi specifičnih frekvenčnih porazdelitev ne moremo opisati s troparametersko Weibullovo funkcijo, oziroma je rezultat parameterizacije neuporaben.



Slika 7: Primerjava 50. kvantila v dejanskih in izračunanih modeliranih porazdelitvah (z metodo MLE) na stalnih vzorčnih ploskvah; krogec prikazuje posamezno ploskev, idealno bi bilo, da bi vsi krogi ležali na diagonali

Nadalje smo preverili povezanost izračunanih parametrov triparametrne Weibullove funkcije (α , β , γ) z izbranimi sestojnimi parametri ploskve. Preliminarne analize kažejo na močno linearno povezanost vsote $\alpha + \beta$ s srednje temeljničnim premerom (D_G), z linearnim modelom smo pojasnili 61 % variabilnosti. Funkcijsko povezanost med parametri funkcije (α , β , γ) in sestojnimi parametri najmanjši premer D_{min} , največji premer D_{max} , število dreves N in D_G smo izračunali z dvema različnima metodama in opisali z naslednjimi enačbami (rezultati so preliminarni, izračunani na vzorcu 500 SVP):

1. kombinacija metod »parameter recovery« in »parameter prediction« (uporabljene neodvisne spremenljivke D_{min} , D_{max} , N in D_G):

$$D_{min} - \alpha' = 0,038 * ((D_{max} - D_{min})/N) * D_{min}^{-0.276}$$

$$\beta' = 0,067 + 0,990 * D_G - \alpha$$

$$\gamma' = (\ln(\ln(1/2 * N))) / \ln((D_{max} - \alpha) / \beta)$$

2. metoda »parameter prediction« (uporabljene neodvisne spremenljivke D_{min} , D_{max} , N):

$$D_{min} - \alpha' = 0,038 * ((D_{max} - D_{min})/N) D_{min}^{-0.276}$$

$$\beta' = (D_{max} - \alpha) / ((\ln(2 * N))^{(1/\gamma')})$$

$$\gamma' = (\ln(\ln(2 * N)) - \ln(-\ln(1 - (1/N)))) / (\ln(D_{max}) - \ln(D_{min}))$$

4.4.1.3 Možnosti pridobivanja vhodnih podatkov za modeliranje s tehnikami daljinskega zaznavanja

Avtomatizacija pridobivanja podatkovnih podlag za upravljanje z gozdovi bi lahko pripomogla k časovni in finančni racionalizaciji gozdne inventure, hkrati pa bi takšne podlage predstavljale vhodne podatke za modeliranje razvoja gozdov. Zato je delo v tem podsklopu potekalo predvsem na avtomatizaciji izdelave sestojne karte s podatki lidarskega snemanja. Pridobili smo programsko orodje TBk (Rosset in Salla, 2017), s katerim lahko avtomatizirano izdelujemo sestojne karte iz lidarskih podatkov in lahko služijo kot vhodni podatek v različne modele (npr. WIS.2, LANDIS II, LandClim). Programsko orodje TBk je bilo parameterizirano za slovenske razmere. Ključna podlaga za izdelavo sestojne karte s programskim orodjem TBk je digitalni model krošenj, programsko orodje TBk nato s še drugimi kartnimi podlagami (karta maske gozda, karta drevesne sestave) avtomatizirano izdelava sestojno karto. Primer izdelane sestojne karte za gospodarski jelovo-bukov

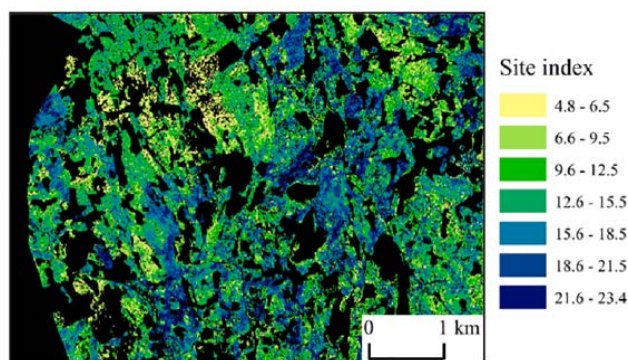
gozd v GGE Željne laze (GGO Kočevje) je prikazan na sliki 8, izdelali smo še sestojno karto za GGE Pokljuka (GGO Bled) in pragozd Krokar (z okoliškim gospodarskim gozdom).

Programsko orodje TBk se je izkazalo za zelo uporabno pri avtomatizaciji izdelave sestojne karte ne glede na tip gozdov (enomerni, raznomerne; iglasti, mešani, listnati), problem pa so dovolj aktualni podatki lidarskega snemanja, saj je takšno snemanje drago in ne bo izvedeno vsako leto (zadnje (in edino) snemanje je bilo leta 2014). Zaključimo lahko, da je smiselno pridobiti ali razviti svoje programsko orodje za avtomatizirano izdelavo sestojne karte. Avtomatizirano izdelana sestojna karta bi se nato le vzorčno preverila na terenu in po potrebi ustrezno korigirala, kar bi pomenilo znatno časovno in finančno racionalizacijo gozdne inventure.



Slika 8: Izsek s programskim orodjem TBk izdelane sestojne karte za GGE Željne laze (GGO Kočevje): za vsak sestoj je prikazana identifikacijska številka, maksimalna višina dreves (v oklepaju) in zgornja sestojna višina; rastrska celica je bila 5×5 m, ki jih programsko orodje avtomatsko združuje v sestojne glede na lastnosti celic (višina sestoja, (dominantna) drevesna vrsta)

Podatki lidarskega snemanja so lahko pomembna podlaga tudi za izračun zgornje sestojne višine in rastiščnega indeksa. V tujini so tako že razvili metodologijo in uspešno napovedali rastiščni indeks za večja gozdna območja (npr. Gatzolis, 2007; Socha in sdo., 2017; Noordermeer in sod., 2020), a pretežno za enomerne in čiste ali mešane sestojne z malo drevesnimi vrstami. Rezultati analiz so bile zvezne karte rastiščnih indeksov (slika 9). Smiselno je vlagati v razvoj tovrstnega modeliranja, saj bi predstavljal pomembno podlago za upravljanje gozdov in morebitno modeliranje razvoja gozdov na podlagi rastiščnih indeksov kot kazalnika rastišča. Je pa nujno preveriti metodologijo v naših razmerah pretežno raznomerne in izrazito mešanih sestojev.



Slika 9: Grafikon gostote napovedanih vrednosti rastiščnega indeksa (site index) za smreko (spruce) in rdeči bor (pine) z označenim povprečnim rastiščnim indeksom (zgoraj) in karta rastiščnih indeksov v borealnih gozdovih Švedske (spodaj) (Noordermeer in sod., 2020)

4.4.1.4 Razprava in zaključki

Gozdarski informacijski sistem v Sloveniji vključuje podatke, ki so v precejšnji meri zadostni za zagon mnogih modelov razvoja gozdov, nekateri podatki so na voljo v drugih prosto dostopnih podatkovnih zbirkah, nekaterih (predvsem različne rastiščne lastnosti) pa v dostopnih podatkovnih zbirkah zaenkrat ne hranimo. To v Sloveniji v precejšnji meri onemogoča ali vsaj otežuje uporabo predvsem procesnih in hibridnih modelov.

Najpomembnejši podatkovni vir za uporabo modelov razvoja gozdov je podatkovna zbirka stalnih vzorčnih ploskev (SVP). Ti podatki omogočajo uporabo večine modelov razvoja gozdov (tako prostorsko neodvisnih kot odvisnih), ki se uporabljajo za simulacijo razvoja gozdov na ravni gozdnega sestoja ali gozdnega območja. Izpostavimo pa lahko dve večji pomanjkljivosti te podatkovne zbirke oziroma metodologije inventure na SVP: i) ploskev je majhna, vsa drevesa so merjena le na manjši ploskvi površine 200 m², in večina modelov lahko uporabi le te podatke, ii) ni podatkov o pomladku in tankem drevju do merskega praga 10 cm v obravnavanem gozdnem sestoju na SVP.

Modeli razvoja gozdov pogosto kot indikator rastišča uporabljajo rastiščni indeks, zato bi bilo smiselno podatke o rastiščnem indeksu pridobiti na raven posamezne SVP. Z vidika modeliranja razvoja gozdov bi bilo smiselno posodobiti in detajlirati, tudi digitalizirati podatke o gozdnih združbah (fitocenologija), nato pa pridobiti podatek o gozdni združbi na SVP (in ga tudi preveriti). Na podlagi tega podatka bi lahko pridobili podatke o rastiščnih indeksih za prisotne drevesne vrste.

Podobno kot SVP je tudi sestojna karta pomemben vir vhodnih podatkov v nekatere modele razvoja gozdov (npr. WIS.2, LANDIS II, LandClim), zato je nujno, da se njena izdelava v okviru gozdne inventure ohrani. Je pa glede na razpoložljivo sodobno tehnologijo verjetno smiselno to uporabiti in izdelavo sestojne karte aktualizirati. Načina posodobitve izdelave sestojne karte nismo preučevali, smo pa preizkusili eno izmed orodij, ki se je izkazalo kot uporabno. Vseeno menimo, da brez terenske validacije digitalno izdelane karte in terenskega zbiranja nekaterih podatkov ne bo šlo, predvsem pa je potrebno na terenu izvesti preliminarno podrobno načrtovanje v posameznem sestoju.

Podatkovni viri, ki jih imamo na voljo v gozdarskem informacijskem sistemu, predvsem SVP, omogočajo tudi izgradnjo parcialnih statističnih modelov za generiranje vhodnih podatkov v modele razvoja gozdov ali za vgradnjo v različne module modelov razvoja gozdov. Preverjeno se lahko razvijejo statistični modeli debelinskega priraščanja drevesnih vrst, modeli za generiranje debelinske strukture enomernih gozdov, možna je izdelava ekogramov drevesnih vrst in gozdnih rastiščnih tipov.

Zaključimo lahko, da imamo v Sloveniji bogate in podrobne podatke o gozdnih sestojih, primerjalno s tujino pa razpolagamo s slabšimi podatki o rastiščih. Pri slednjem so slabši predvsem podatki o značilnostih gozdnih tal in rastiščnih indeksih. Ugotavljamo tudi, da so gozdarski podatkovni viri med seboj slabo povezani in povezljivi. Za prvo so značilen zgled podatki s stalnih vzorčnih ploskev in podatki na ravni gozdnih sestojev, za drugo pa povezava med stalnimi vzorčnimi ploskvami in rastišči. Značilnosti rastišča so v gozdarskem informacijskem sistemu določene na ravni odseka, kar je za detajlne analize in modeliranje razvoja gozdov pogosto premalo natančno. Podobno je z rastiščnimi indeksi, ki jih je trenutno nemogoče korektno prenesti na stalno vzorčno ploskev

Seveda pa se je potrebno pri pridobivanju podatkov o gozdnih sestojih in rastiščih poslužiti tudi novih tehnologij pridobivanja podatkov o gozdovih. Nove tehnologije povečujejo dostopnost podatkov, ki jih v obstoječem sistemu gozdnih inventur ni, a se jih v modelih razvoja gozdov pogosto potrebuje kot vhodni podatek. Izkazalo se je, da je na področju upravljanja z gozdovi smiselna predvsem uporaba podatkov LiDARskih snemanj in satelitskih posnetkov. Predvsem prve bi bilo smiselno uporabiti za pridobivanje informacij o razvoju zgornje sestojne višine, tudi podatkov o rastiščnem indeksu. Zaradi raznomernosti naših gozdov bi morali v svetu dokazane metode vseeno še preveriti v

naših sestojnih in rastiščnih razmerah. Končna ugotovitev je, da je podatke o gozdnih sestojih mogoče in nujno ažurirati, nadgraditi in predvsem bolje povezati različne podatkovne zbirke.

4.4.2 Razpoložljivost vhodnih podatkov za modeliranje razvoja gozdov na nacionalni ravni s poudarkom na velikoprostorskem monitoringu gozdov v Sloveniji

Modeli razvoja gozdov za simuliranje razvoja gozdov na nacionalni ravni in mednarodno poročanje so najpogostejše razviti oziroma parametrizirani na podlagi podatkov nacionalnih gozdnih inventur, npr. CALDIS (Avstrija), WEHAM (Nemčija), MASSIMO (Švica), HEUREKA (Švedska), MELA (Finska). Ključna značilnost velikoprostorskih nacionalnih gozdnih inventur je, da podajajo informacijo o stanju gozdov na nivoju celotne države za tekoče leto oziroma znotraj krajšega časovnega intervala (Vidal in sod., 2016). Sistem nacionalnih gozdnih inventur temelji na sistematičnem vzorčenju in s tem lahko poleg ocen o stanju in razvoju gozdov poda tudi informacijo o napaki le te (vzorčna napaka ali intervali zaupanja) (Köhl in Magnussen, 2016).

Leta 2000 je bil v Sloveniji vzpostavljen sistem Monitoring gozdov in gozdnih ekosistemov (v nadaljevanju MGGE), ki ima vse značilnosti nacionalne gozdne inventure, vendar kot tak ni bil nikoli opredeljen v domači zakonodaji (Kovač in sod., 2014). Podlaga MGGE so preko celotne države sistematično razporejene stalne vzorčne ploskve na mreži 4 km x 4 km (Kušar in sod., 2009). Na terenu so bile ploskve vzpostavljene leta 2000, inventura pa je doživela ponovitve v letih 2007, 2012 in 2018. S ponovitvami izmer dreves na ploskvah smo pridobili podatke o razvoju gozdov za obdobje 2000 do 2018.

Kljub upoštevanju osnovnih konceptov vzorčenja podatki MGGE zgolj v omejenem obsegu izpolnjujejo pogoje za uporabo v modelih razvoja gozdov. Težavi sta dve, in sicer A) število razpoložljivih ploskev (tj. gostota vzorčenja) in pa B) nabor izbranih kazalcev, ki se snemajo na ploskvah.

Ad A) Slovenija je površinsko majhna država in posledično s sistematično mrežo 4 km x 4 km razpolagamo s podatki iz približno 760 ploskev. Majhen nabor ploskev pomeni večje napake pri izračunih dendrometrijskih kazalcev, hkrati pa majhno število vzorčnih ploskev onemogoča stratificiranje podatkov po statističnih regijah, gozdnih tipih, lastništvu, gozdnogospodarskih območjih ipd. Možnost stratifikacije podatkov po določenih atributih, npr. rastiščnih tipov, nadmorske višine ipd. pa je ključna pri modeliranju razvoja gozdov z modeli za simulacije razvoja gozdov na nacionalni ravni.

Ad B) Kazalci, ki so bili izmerjeni oziroma ocenjeni v posameznih letih inventure, so bili izbrani na podlagi strokovne presoje o nujnosti podatka za domača in mednarodna poročanja. Glavni razlogi omejenega nabora kazalcev so bili povezani predvsem z razpoložljivostjo finančnih sredstev. Le-ta so bila prenizka tudi za kasnejšo bolj poglobljeno obdelavo in analizo podatkov. Do leta 2018 so bile glede uporabe podatkov MGGE v obstoječih modelih razvoja gozdov glavne podatkovne vrzeli: starostna struktura gozdov, razlog poseka dreves, višina dreves, velikost krošnje (tj. dolžina in premer) in tip tal.

Leta 2018 je bilo del pomanjkljivosti odpravljenih, saj se je na ploskvah začelo na podvzorcju dreves meriti višine, poleg tega pa ocenjevati razlog poseka in starost dreves za prevladujoče razvojne faze. Na podlagi izmerjenih višin se je izdelalo višinske krivulje in na podlagi teh določilo višine ostalih dreves, ki so bila vključena v inventuro. Hkrati je bil na podlagi podatkov MGGE razvit natančnejši in bolj kompleksen model za izračun temeljnega prirastka (Jevšenak in Skudnik, 2020). Model ima velik potencial in bi lahko nadomestil prirastne krivulje, ki so ključne pri modeliranju razvoja gozdov.

Ena izmed pomembnejših informacijskih vrzeli še vedno ostaja starost dreves. Trenutne izkušnje namreč kažejo, da je groba ocena za prevladujočo razvojno fazo premalo natančna, zaradi česar ostaja

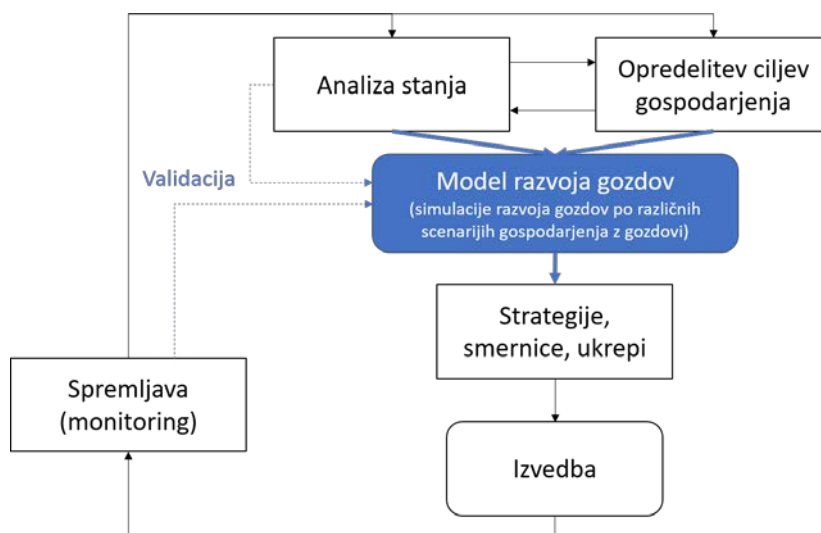
šum v povezavi med prsnim premerom in starostjo drevesa. Ocenjujemo, da bi do zanesljivih ocen starosti lahko prišli zgolj z vrtnjem dreves in podrobno analizo izvrtkov.

Za modele razvoja gozdov so glede informacij ključni pravilno izbrani kazalci merjeni oziroma ocenjeni na ploskvah, zadostno število vzorčnih ploskev in dreves, vključenih v vzorec, ter dovolj dolgi časovni nizi podatkov. Vse to bo mogoče zgraditi zgolj ob podpori kvalitetnega informacijskega sistema za gozdove.

4.5 Zasnova modeliranja razvoja gozdov v Sloveniji na različnih ravneh upravljanja z gozdovi

4.5.1 Modeliranje razvoja gozdov za uporabo na različnih ravneh gozdnogospodarskega načrtovanja

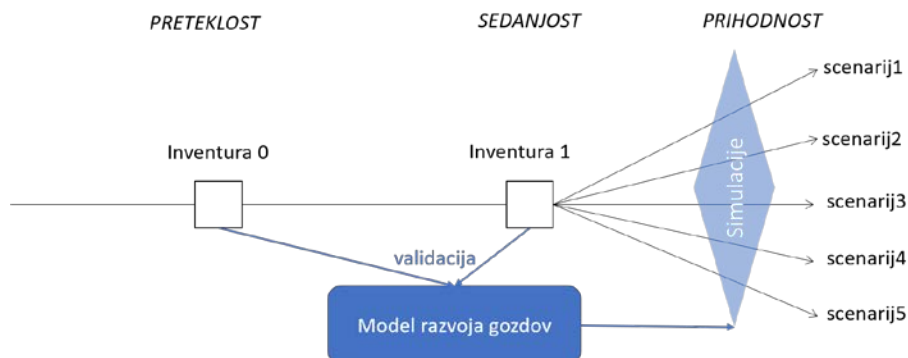
V Sloveniji je bilo področje modeliranja razvoja gozdov zapostavljeno, medtem ko je v tujini to področje veliko bolje razvito (npr. Fontes in sod., 2010; Wikstöm in sod., 2011; Rosset in sod., 2014). Umestitev modeliranja razvoja gozdov v shemo načrtovalnega postopka je prikazana na sliki 10. S podatki gozdne inventure lahko spremljamo razvoj gozdov in gospodarjenja ter analiziramo trenutno stanje gozdov, modelarji in raziskovalci (uporabniki modelov) jih lahko uporabijo za parametrizacijo, validacijo in testiranje modelov (Ficko in sod., 2016; Mina in sod., 2015; Hudernik, 2018; Jevšenak in sod., 2020; Klopčič, 2020). Modele razvoja gozdov lahko uporabimo predvsem pri odločanju o prihodnjem gospodarjenju z gozdovi.



Slika 10: Prirejena in dopolnjena shema načrtovalnega postopka ob uporabi modela razvoja gozdov kot orodja za pomoč pri odločanju v procesu načrtovanja; pred uporabo modela za simuliranje razvoja gozdov po različnih scenarijih gospodarjenja z gozdovi je nujna validacija modela, ki jo naredimo s podatki zaporednih gozdnih inventur in analize stanja (prirejeno in dopolnjeno po Bončina, 2009)

V načrtovalnem postopku se simuliranje razvoja gozdov z izbranim modelom (ali več modeli) lahko izvede v okviru faze napovedovanja ali razvojnega analiziranja (Bončina, 2009). V tej fazi bi s pomočjo simulacij kvantificirali alternativne scenarije razvoja gozdov (slika 11), zato je pomembno, da uporabljeni model razvoja gozdov omogoča simuliranje ukrepov, kot jih izvajamo v Sloveniji oziroma

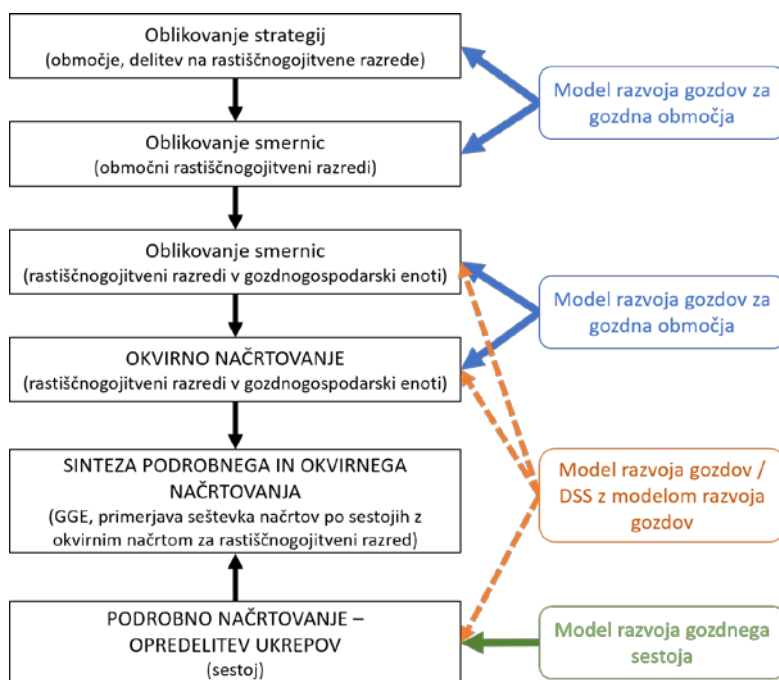
je nabor prednastavljenih režimov čim bližje našemu konceptu gospodarjenja. Na podlagi kvantificiranih scenarijev razvoja obravnavanih gozdov (t.j. gozdni sestoj, gozdno območje) se upravljavec nato odloči za optimalnega glede na zastavljene cilje ali druge kriterije (npr. scenarij najmanjšega tveganja).



Slika 11: Shematski prikaz napovedovanja razvoja gozdov z uporabo modela razvoja gozdov (dopolnjeno po Bončina, 2009)

4.5.1.1 Gozdnogospodarsko območje

Simulacije razvoja gozdov z izbranim modelom lahko upravljavec uporabi v različnih fazah načrtovanja v ožjem pomenu besede (slika 12), ki sledi fazi napovedovanja. Z uporabo izbranega modela razvoja gozdov, ki je primeren za napovedovanje razvoja gozdnih območij (večja prostorska raven), in simulacijami razvoja gozdov po različnih scenarijih lahko pripomoremo k boljšemu odločanju pri izbiri strategij na ravni gozdnogospodarskega območja in smernic za gospodarjenje z gozdovi na ravni območnih rastiščnogojitvenih razredov. Tovrstni model mora biti sposoben simultano simulirati razvoj gozdov na večjih površinah. Večina modelov sicer ni sposobna neposredno upoštevati vseh omejitev in zahtev (npr. družbene in socioekonomske razmere), ki jih načrtovalci upoštevajo pri oblikovanju strategij gospodarjenja z gozdovi na tej prostorski ravni. A vseeno lahko upravljavci oblikujejo scenarije gospodarjenja z gozdovi, predvsem obseg obnavljanja gozdov in koncept redčenja, ki v vsaj določeni meri upoštevajo tudi te omejitve in zahteve. Glede na ugotovitve sklopa 3 (Klopčič in sod., 2020a, 2020c) bi bili za pomoč pri oblikovanju strategij in smernic za gospodarjenje z gozdovi na območni ravni primerni modeli razvoj gozdov MASSIMO (Stadelmann in sod., 2019), MOSES (Klopf, 2014) in WIS.2 (Rosset in sod., 2014), pa tudi SLOMATRIX (Ficko in sod., 2016), ocenjujemo pa, da je smiselno razviti lasten model, ki bi upošteval kriterije, omejitve in zahteve, ki so relevantne v slovenskem okolju, pri razvoju pa je vsekakor nujno uporabiti rešitve, ki jih ponujajo ti modeli.



Slika 12: Dopolnjena zasnova aktualnega načrtovanja razvoja gozdov; modele razvoja gozdov se lahko vpelje na vsako posamezno raven gozdnogospodarskega načrtovanja, za načrtovanje na ravni gozdnogospodarske enote pa se lahko razvije model/sistem, ki bo povezal okvirno in podrobno načrtovanje (dopolnjeno po Bončina, 2009)

Ključne zahteve, ki jih od modela ali sistema za strateško načrtovanje pričakujemo, so številne (preglednica 16). Predvsem mora biti model sposoben izvajanja simulacij s podatki, ki so na voljo v gozdarskem informacijskem sistemu, mora biti sposoben simulirati razvoj enomernih in raznomernih mešanih in čistih sestojev glede na različno simulirano ukrepanje. Dodano vrednost predstavlja možnost upoštevanja vpliva klimatskih dejavnikov, saj bi to omogočilo simuliranje vpliva podnebnih sprememb na gozdove, kar je pri oblikovanju dolgoročnih strategij upravljanja z gozdovi pomembno poznati in upoštevati.

4.5.1.2 Gozdnogospodarska enota

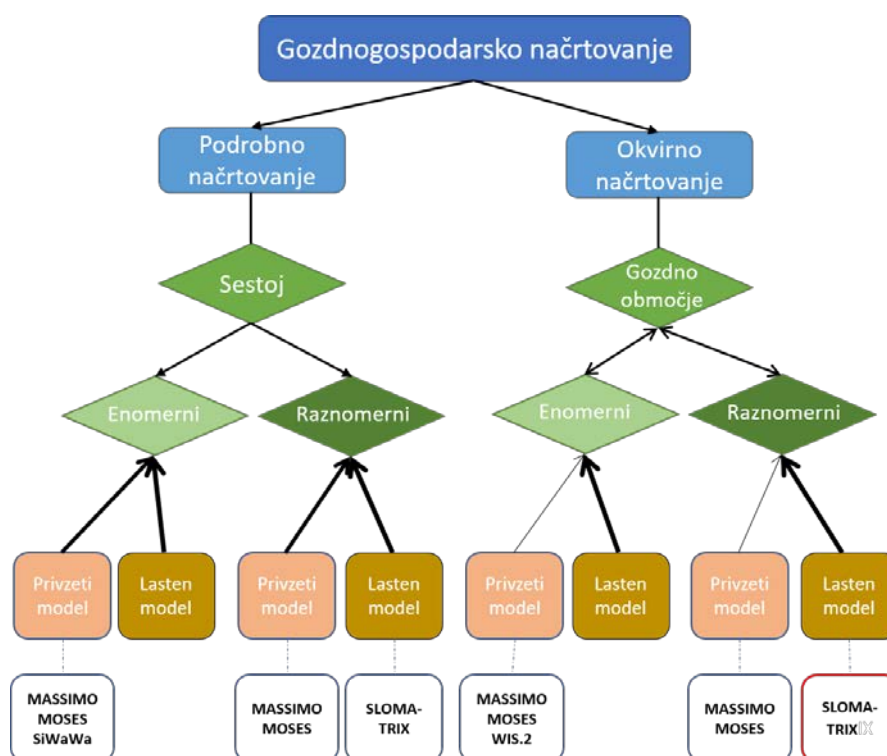
Okvirno načrtovanje na ravni rastiščnogojitvenih razredov

Nadalje se podobni ali celo isti modeli razvoja gozdov kot na ravni območja in območnih rastiščnogojitvenih razredov lahko uporabljajo za okvirno načrtovanje na ravni rastiščnogojitvenih razredov v gozdnogospodarski enoti. Tu so kriteriji, zahteve in omejitve, ki jih je potrebno vključiti v simulacije razvoja gozdov, precej bolj konkretni in jasni ter jih je lažje kvantificirati, kar modeli razvoja gozdov zahtevajo. Pri okvirnem načrtovanju je pomembno predvsem (preglednica 16), da lahko model simulira scenarije glede na spreminjanje ciljnih premerov in dolžine proizvodne dobe, še bolje, če model lahko upošteva specifične proizvodne dobe za drevesne vrste, in/ali glede na ciljno drevesno sestavo, da lahko spreminjamo koncept pomlajevanja in koncept redčenja, ipd. Za vsak tak scenarij mora model prikazati prihodnja stanja gozdov gozdnega območja, npr. prikazati starostno strukturo ali bolj razmerje razvojnih faz, lesno zalogo, drevesno sestavo, izračunati količino poseka. Izhodne parametre nato upravljavec gozdov (načrtovalec) presodi in se odloči za ustrezen koncept gospodarjenja z obravnavanimi gozdovi (scenarij).

Preglednica 16: Nekatere ključne zahteve, ki se jih pričakuje od modela razvoja gozdov na različnih prostorskih ravneh gozdnogospodarskega načrtovanja v Sloveniji; +++ - zelo pomembna zahteva; + - pomembna zahteva, o – manj pomembna zahteva

Zahteva	GGO – strateško načrtovanje	GGE/RGR – okvirno načrtovanje	Sestoj – podrobno načrtovanje
Zagon z vhodnimi podatki, ki so na voljo v gozdarskem informacijskem sistemu	+++	+++	+++
Vključitev vseh pomembnih procesov rasti in razvoja gozdnega sestoja (rast, vrast, mortaliteta...)	+++	+++	+++
Simuliranje razvoja mešanih gozdov	+++	+++	+++
Simuliranje razvoja enomernih in raznomernih gozdov	+++	+++	+++
Upoštevanje generalnega režima redčenj (zvrst, okvirna, povprečna jakost)	+++	+++	o
Podrobno simuliranje zvrsti in jakosti redčenj	o	+	+++
Upoštevanje politike, strategije obnove gozdov	+++	+++	o
Podrobno simuliranje načina in jakosti obnove	o	+	+++
Upoštevanje proizvodne dobe ali ciljnih premerov po drevesnih vrstah	+++	+++	+
Vključenost in upoštevanje klimatskih dejavnikov (podnebne spremembe)	+	o	o
Izpis in/ali grafični prikaz glavnih sestojnih parametrov	+++	+++	+++
Uporabniku prijazno orodje	+++	+++	+++

Skladno z aktualnim izvajanjem gozdnogospodarskega načrtovanja in na podlagi ugotovitve predhodnih sklopov projekta lahko glede uporabnosti v tej fazi načrtovanja izpostavimo modele razvoja gozdov WIS.2, MASSIMO, MOSES in SLOMATRIX (slika 13). Kljub primernosti teh modelov, ki pa bi pred splošno uporabo v gozdarski praksi vsi zahtevali preizkus (validacijo), parametrizacijo in/ali morebitne prilagoditve in nadgradnje, ocenjujemo, da je smiselno investirati znanje, čas in finančna sredstva v razvoj lastnega modela razvoja gozdov. Prednosti lastnega modela so predvsem prilagojenost razmeram v gozdovih, možnost stalnega razvoja in dopolnjevanja ter velik pomen za upravljanje, strokovno-razvojno delo in pedagoško ter znanstveno delo na področju upravljanja gozdov in tudi širše. Menimo celo, da bi bilo najbolje, da razvijemo celoten sistem za podporo odločanju, ki bi kot osrednji del vključeval model razvoja gozdov. Podoben sistem je WIS.2 in pri razvoju takšnega sistema bi se bilo smiselno zgledovati ravno po tem orodju, ki je bil v zadnjem času dopolnjen tudi z modulom za obravnavo malopovršinsko raznomernih in prebiralnih gozdov. Možnosti za to so velike zaradi dolgoletnega dobrega sodelovanja z avtorji sistema WIS.2. Pri razvoju sistema bi si lahko pomagali z modelom SLOMATRIX, ki je bil razvit za simuliranje razvoja mešanih raznomernih gozdov. Ker lahko precejšen del slovenskih gozdov označimo za raznomerne in mešane, je smiselno vlagati tudi v nadaljnji razvoj tega edinega v Sloveniji razvitega modela razvoja gozdov. Razvoj bi moral iti v smeri parametrizacije modela za različne gozdne tipe in glavne drevesne vrste v njih. Razvoj takšnega sistema so prioritarno podprli tudi načrtovalci Zavoda za gozdove Slovenije.



Slika 13: Idejna zasnova modeliranja razvoja gozdov za gozdnogospodarsko načrtovanje ob upoštevanju razvoja več modelov za različne ravni načrtovanja; v belih okvirčkih so navedeni potencialno uporabni modeli razvoja gozdov, z rdečo je okvirjen model, ki je že veljaven v Sloveniji; odebeljene puščice nakazujejo predlog projektne skupine za razvoj modeliranja razvoja gozdov v Sloveniji

Podrobno načrtovanje na ravni gozdnega sestoja

Na sestojni ravni obstajajo različni modeli, predvsem lahko razlikujemo med modeli za simuliranje razvoja enomernih gozdov in modeli za raznomerne sestoje ter med modeli za simuliranje razvoja čistih in mešanih sestojev. Za uporabo modela razvoja gozdov pri terenskem delu (npr. podrobno načrtovanje na terenu ob izdelavi sestojne karte, odkazilo drevja) je ključno, da model deluje z majhnim številom lahko merljivih vhodnih parametrov. Zgled za to je model SiWaWa, ki za simuliranje razvoja čistih enomernih gozdov potrebuje le podatke o drevesni vrsti, sestojni temeljnici, številu dreves in rastiščnem indeksu (namesto slednjega lahko tudi zgornja sestojna višina in starost sestoja). Za terensko delo v gozdu je smiselno razviti podoben model, ki pa bi ga morali razviti na podlagi podatkov, ki jih zbiramo v gozdni inventuri v Sloveniji in bi bil veljaven tudi za mešane enomerne sestoje (razvojne faze). Hkrati bi morali razvijati tudi podoben model za raznomerne sestoje. Tak model sicer že obstaja, to je model SLOMATRIX, a za ustrezne simulacije razvoja gozdov zahteva podatke o začetni debelinski strukturi gozdov, kar pa za posamezen sestoj praviloma nimamo na voljo. Da bi to zagotovili, je smiselno razviti funkcijo ali algoritem, ki bi generiral debelinsko strukturo raznomerne sestoja na podlagi enostavno merljivih sestojnih podatkov (npr. kot pri modelu SiWaWa, preliminarni rezultati takšnih funkcij za čiste enomerne bukove sestoje v Sloveniji so prikazani v Klopčič in sod., 2020b). V tem primeru bi bil model SLOMATRIX primeren in uporaben.

Za podrobno načrtovanje na sestojni ravni so primerni tudi drugi modeli, kot so npr. MASSIMO, MOSES, WIS.2, ki pa niso uporabni za gozdarsko terensko službo. Prva dva lahko simulirata razvoj gozdov na stalni vzorčni ploskvi, saj za simulacije potrebujeta podatke o posameznih drevesih. Posledično nista sposobna simulirati razvoja gozdov po različnih scenarijih v vseh gozdnih sestojih rastiščnogojitvenega razreda ali GGE, saj stalne vzorčne ploskve niso locirane v vseh sestojih. Celotno

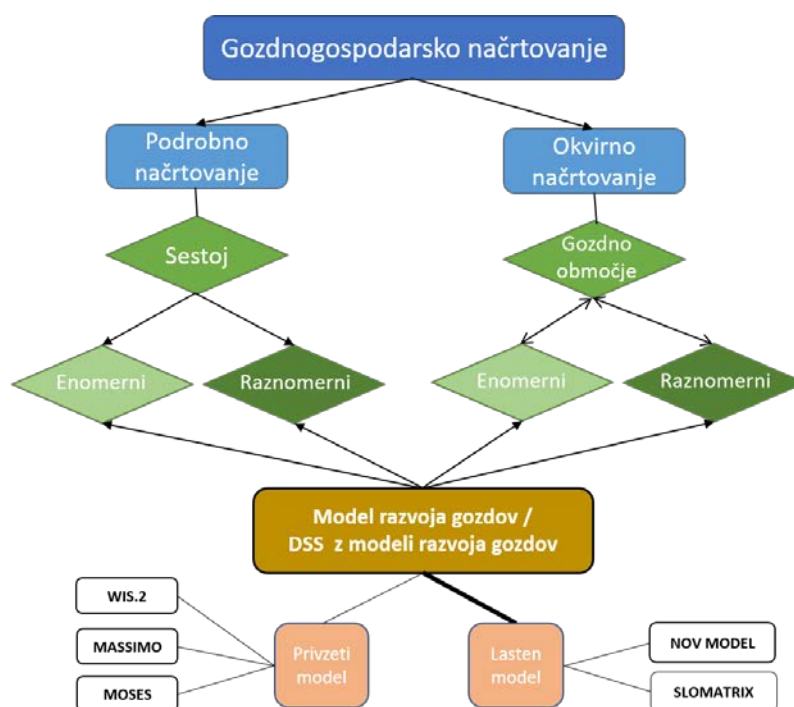
nasprotno, v večini sestojev ni niti ene stalne vzorčne ploskve, kar omejuje njuno uporabnost pri podrobnem načrtovanju na ravni sestoja. Nasprotno pa je uporaba simulatorja WIS.2 za podrobno načrtovanje na ravni posameznih sestojev omejena, saj je sestojna karta lahko eden glavnih vhodnih podatkovnih slojev pri zagonu modela in simulator v obdelavah upošteva vse sestoje. WIS.2 lahko kot vhodne podatke uporablja tudi stalne vzorčne ploskve, ki jih tretira kot posamezne sestoje, a v tem primeru se pojavi enak problem kot pri modelih MASSIMO in MOSES. WIS.2 na podlagi lastnosti posameznega sestoja (npr. srednja in zgornja višina, sklep, drevesna sestava, sestojna temeljnica) načrtuje ukrepe na sestojni ravni, ki jih nato uskladi z okvirno načrtovano ravno istih ukrepov. To je blizu koncepta združevanja okvirnega in podrobnega načrtovanja, ki se ga pri obnovah gozdnogospodarskih načrtov za gozdnogospodarske enote poslužujemo tudi v Sloveniji, le da to načrtovalci delajo »ročno« z enostavnimi orodji.

Smiselno je razvijati obe veji modelov na sestojni ravni, kar so podprli tudi načrtovalci Zavoda za gozdove Sloveniji na organizirani delavnici. Za enomerne in raznomerne sestoje je smiselno razviti model/a razvoja gozdov, ki bosta služila terenskim delavcem (npr. revirnim gozdarjem, načrtovalcem) pri delu v sestojih, hkrati pa naj se razvije sistem z vgrajenim modelom razvoja gozdov za okvirno načrtovanje na ravni rastiščnogojitvenih razredov v GGE in podrobno načrtovanje na sestojni ravni, ki bo sposoben povezovanja in uskladitve obeh ravni načrtovanja (glej naslednje poglavje).

Model razvoja gozdov (sistem), ki bi funkcionalno povezal okvirno in podrobno načrtovanje

Na podlagi ugotovitev projekta, izkušenj tujih razvijalcev modelov razvoja gozdov, s katerimi smo sodelovali v okviru projekta ali že prej, in lastnih izkušenj na področju gozdnogospodarskega načrtovanja ocenjujemo, da je ključno razviti model razvoja gozdov ali sistem za podporo odločanju z vgrajenim enim ali več modelov razvoja gozdov, ki bo povezal okvirno načrtovanje na ravni rastiščnogojitvenih razredov v GGE in podrobno načrtovanje na ravni posameznih gozdnih sestojev ne glede na njihovo zgradbo in sestavo (slika 14). Razvoj takšnega sistema (simulatorja) je zahteven, tudi v tujini ga praktično ni. Najbližje tej ideji je sistem WIS.2, a podrobno načrtovanje na ravni sestojev ni dovolj razvito in upoštevano. WIS.2 namreč na ravni posameznega sestoja določi le prioritete ukrepanja, ne pa tudi podrobnega načrta, kot ga razumemo v Sloveniji. Pri razvoju takšnega sistema je smiselno uporabiti izkušnje in rešitve, ki so vgrajene v sistem WIS.2, a hkrati upoštevati zahteve našega načina gozdnogospodarskega načrtovanja.

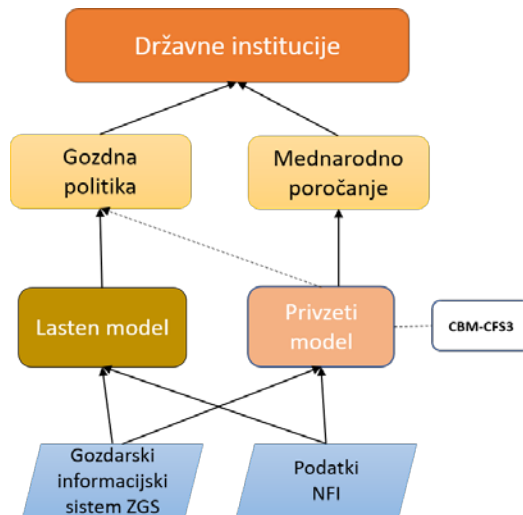
Takšnemu sistemu se lahko dokaj enostavno doda optimizator, ki uporabniku glede na zahteve in omejitve (npr. cilje gospodarjenja z gozdovi) pomaga pri odločanju. S takšno nadgradnjo modela razvoja gozdov bi razvili učinkovit sistem za podporo odločanju (ang. *Decision Support System* ali DSS), ki bi nudil polno podporo upravljavcem gozdov (načrtovalcem) pri odločanju o ciljih, strategijah, smernicah in ukrepih v obravnavanih gozdnih območjih. Razvoj takšnega sistema so podprli tudi načrtovalci Zavoda za gozdove Slovenije, prisotni na delavnici. Sicer so izpostavili, da se njihove trenutne prioritete nagibajo bolj k razvoju modela/sistema za okvirno načrtovanje po rastiščnogojitvenih razredih v GGE, a dolgoročno zanesljivo podpirajo razvoj celovitega sistema za podporo odločanju. Optimizacija bi jim nudila dodaten argument pri zagovarjanju odločitev glede usmeritev in ukrepov gospodarjenja z gozdovi pred drugimi deležniki upravljanja z gozdovi. A razvoj takšnega sistema zahteva velik vložek človeških in finančnih virov. Ocenjujemo pa, da bi njegov razvoj slovenskemu gozdarstvu prinesel veliko dodano vrednost, predvsem pa izboljšal kompetence načrtovalcev in močno precej dvignil raven gozdnogospodarskega načrtovanja kot pomembnega področja gozdarstva. Ocenjujemo tudi, da je projektna skupina ob ustrezni podpori sposobna izdelati takšen sistem.



Slika 14: Idejna zasnova vključitve modeliranja razvoja gozdov v gozdnogospodarsko načrtovanje v primeru razvoja modela ali sistema za podporo odločanju (DSS) z vključenim modelom razvoja gozdov, ki bi združil okvirno načrtovanje na ravni rastiščnogojitvenih razredov v GGE in podrobno načrtovanje na ravni posameznih gozdnih sestojev ne glede na njihovo zgradbo in sestavo; spodaj so prikazani modeli razvoja gozdov, ki bi lahko služili kot del tega sistema ali pa bi lahko njihove rešitve problemov upoštevali pri razvoju takšnega modela/sistema

4.5.2 Modeliranje razvoja gozdov za oblikovanje gozdne politike na nacionalni ravni in mednarodno poročanje

Na podlagi pregleda in presoje modelov za simuliranje razvoja gozdov na veliki nacionalni prostorski ravni (Jevšenak in sod., 2020) smo ugotovili, da je z vidika poročevalskih zahtev EU najbolj primerno orodje za pridobitev podatkov o zalogah ogljika model CBM-CFS3 (slika 15). Za potrebe poročanja se zdi uporaba obstoječih modelov razvoja gozdov bolj smiselna, saj jih je mogoče v relativno kratkem času s podatki ustrezne kakovosti (npr. NFI) ustrezno kalibrirati oziroma parametrizirati. Prednost modela CBM-CFS3 je predvsem ta, da poda rezultate za vsa skladišča ogljika v gozdnem ekosistemu v ustreznih enotah, saj vsebuje algoritem za pretvorbo volumna v drevesno biomaso in naprej v zaloge ogljika. Glede na rezultate vrednotenja izbranih modelov bi veljalo testirati še modela SILVA in CALDIS, ki sta potencialno primerna predvsem za dolgoročne projekcije razvoja gozdov, saj sta oba podnebno občutljiva modela.



Slika 15: Zasnova modeliranja razvoja gozdov pri oblikovanju gozdarske politike in mednarodnem poročanju o stanju in razvoju gozdov v Sloveniji; črtkana puščica pomeni opsijsko izbiro; model CBM-CFS3 je predlagan kot ustrezen privzeti model za simuliranje razvoja gozdov na državni ravni in mednarodno poročanje

Za podporo pri oblikovanju gozdarske politike pa ocenjujemo, da bi lahko pristopili k razvoju lastnega modela za simuliranje razvoja gozdov na državni ravni, lahko pa privzamemo tudi ustrezen v tujini razvit model, ki bi ga parametrizirali za razmere v slovenskih gozdovih. Čeprav znanje za razvoj lastnega modela obstaja, je treba poudariti, da so kapacitete omejene, tako z vidika človeških, kot tudi finančnih virov.

4.5.3 Viri vhodnih podatkov za modeliranje razvoja gozdov

Za modeliranje razvoj gozdov so vhodni podatki ključni. Če ustrezni podatki niso na voljo, modela ne moremo zagnati, v primeru, da je model možno zagnati z vgrajenimi podatki, pa simulirane vrednosti sestojnih parametrov praviloma precej odstopajo od dejanskih. Analize so pokazale, da gozdarski informacijski sistem Zavoda za gozdove Slovenije, podatkovne zbirke Biotehniške fakultete in Gozdarskega inštituta Slovenije ter prosto dostopne podatkovne zbirke različnih državnih institucij (npr. ARSO) zagotavljajo podatke za zagon večine empiričnih modelov razvoja gozdov pa tudi nekaterih procesnih in hibridnih modelov. Predvsem je bila pozitivna ugotovitev, da nekateri izmed preučenih modelov temeljijo na podatkih, kot jih zbiramo v gozdni inventuri v Sloveniji.

Vseeno pa smo ugotovili tudi nekatere pomanjkljivosti podatkovnih zbirk gozdarskega informacijskega sistema Zavoda za gozdove Slovenije z vidika zahtev modelov razvoja gozdov, primernih za uporabo v gozdnogospodarskem načrtovanju (Klopčič in sod., 2020b). Če bomo razvijali lastne modele razvoja gozdov, so te pomanjkljivosti manj izražene, saj jih lahko z ustreznimi prijemi zaobidemo. Predvsem zmoti dejstvo, da obstaja »podatkovna vrzel« v podatkih pomladka (mladja) in tankega drevja do prsnega premera 10 cm, ki bi bili vezani na osnovne enote modeliranja (SVP ali sestoj). Določeni modeli te podatke nadomestijo s podatki ali funkcijskimi izrazi za simuliranje vrsti dreves preko meritvenega praga (npr. SLOMATRIX), pri drugih pa pomanjkanje teh podatkov zniža stopnjo zanesljivosti simuliranih napovedi razvoja gozdov (npr. ForClim, tudi MOSES). Podatki o pomladku se sicer zbirajo v okviru inventure za namen analize objedenosti gozdnega mladja (Hafner in sod., 2016), a kljub temu še vedno obstaja vrzel v podatkih za tanko drevje višine nad 150 cm in prsnega premera < 10 cm. Poleg tega je popisna ploskev od središča stalne vzorčne ploskve (SVP), s katere podatki predstavljajo ključni podatkovni vir za modeliranje razvoja gozdov, lahko oddaljena do

50 m, sestojne in rastiščne razmere tam pa so lahko že precej drugačne kot na SVP. Na podlagi ugotovitev projektnih analiz lahko predlagamo, da se gozdno inventuro na SVP dopolni s snemanjem pomladka in tankega drevja. Predlagamo snemanje na relativno majhni ploskvi (npr. 3×3 m ali 4×4 m), nekaj metrov oddaljeni od središča SVP, ali na dveh različno velikih ploskvah (npr. snemanje pomladka do določene višine (npr. 50 cm) na $1,5 \times 1,5$ m, snemanje pomladka nad to višino in tankega drevja pa na 4×4 m). Metodologija bi se lahko privzela ali dopolnila tudi z inventure NFI (MGGE), kjer se popis pomladka in tankega drevja že izvaja (Kovač in sod., 2014). Snemanje pomladka in tankega drevja naj bo selektivno, izvaja naj se le v mladju, debeljaki, sestojih v obnovi in raznomernih sestojih, saj so le v teh sestojih gostota pomladka, vrstna sestava in višinska struktura relevantni za nadaljni razvoj obravnavanih gozdov. Vsekakor pa to pomeni večjo časovno porabo pri gozdni inventuri, kar rezultira tudi v višjih stroških. Ocenjujemo, da bi za takšno snemanje porabili dodatnih 10 minut/SVP, kar ob dnevni realizaciji snemanja 6 SVP pomeni 1 dodatno uro. Pri 500 SVP v gozdnogospodarski enoti to pomeni 83 dodatnih ur (približno 11 dodatnih snemalnih dni), ob neto urni postavki študentskega dela 6 € (celoten strošek izplačevalca 10,02 €) in dveh študentih v skupini to znese približno 1700 € dodatnih stroškov dela, dodati pa je nujno še stroške dodatnih prevozov in druge stroške zaradi dodatnih snemalnih dni.

Pomanjkljivost gozdarskega informacijskega sistema je tudi povezanost podatkovnih zbirk SVP in poseka (Timber), s čimer je otežen izračun določenih empiričnih funkcijskih povezav za določanje mortalitete dreves glede na njen vzrok. S predlogi za dopolnitev podatkovne zbirke poseka z natančno lokacijo sečišča (Klopčič in sod., 2020b), bi bile te razvojne naloge lažje.

Naslednja pomanjkljivost so podatki o lastnostih rastišča. Predvsem motijo nepopolni podatki o rastiščnih indeksih, ki se v modelih razvoja gozdov pogosto uporabljajo kot kazalniki rastiščnih razmer. Rastiščne indekse trenutno ne moremo korektno prenesti na SVP, ki naj bi najpogosteje predstavljala osnovno enoto parametrizacije ali modeliranja razvoja gozdov v številnih modelih. Za to bi ob trenutni metodologiji pridobivanja podatkov o rastiščnih indeksih potrebovali i) podrobno digitalno fitocenološko karto in ii) rastiščne indekse za glavne drevesne vrste na posameznih rastiščih. Z ustrezno fitocenološko karto v velikem merilu trenutno ne razpolagamo, zato bi bilo smiselno usmeriti prizadevanja fitocenologov v to smer. Domnevamo, da je veliko podrobnih fitocenoloških kart digitaliziranih, a niso zbrane v eno skupno. To bi bilo smiselno izvesti in izdelati digitalno fitocenološko karto v velikem merilu (npr. $1 : 10.000$), ki bi omogočila, da bi vsaki osnovni enoti modeliranja (SVP, sestoj) lahko nedvoumno pripisali gozdni rastiščni tip ali celo (sub)asociacijo. S tem bi bilo tudi znano, kje so vrzeli oziroma kje je potrebno dodatno fitocenološko kartiranje. Je pa za upravljanje gozdov in tudi modeliranje razvoja gozdov dovolj, da so kartirani glavni gozdni tipi (npr. Kutnar in sod., 2012), zelo detajlne določitve asociacij in subasociacij, variant in podobno za ta namen niso potrebne.

Drugi problem pa predstavljajo nepopolni podatki o rastiščnih indeksih po gozdnih tipih in drevesnih vrstah. Za določene tudi nekatere glavne gozdne tipe (asociacije) ne razpolagamo z rastiščnimi indeksi za dominantne drevesne vrste (Kadunc in sod., 2013), kaj šele za manjšinske. Temu področju bi prav tako veljalo nameniti nekaj dodatnega razvoja. Bi pa lahko razvoj tega področja šel tudi v določanje rastiščnega indeksa z uporabo novih tehnologij, predvsem daljinskega zaznavanja podatkov. V literaturi so objavljeni številni poskusi izračuna rastiščnega indeksa s pomočjo lidarskih podatkov (npr. Gatzliolis, 2007; Socha in sod., 2017; Noordermeer in sod., 2020). Ker razpolagamo s tem podatkovnim virom, bi lahko na ta način pridobili zvezne podatke o zgornjih sestojnih višinah in rastiščnih indeksih. Lidarski podatki so potencialno uporabni tudi za izdelavo sestojne karte, kar je z vidika racionalizacije gozdne inventure nujno podrobneje preučiti, a menimo, da se brez vsaj vzorčnega preverjanja karte na terenu sestojne karte ne sme potrditi.

Modeliranje razvoja gozdov na nacionalni ravni z modeli, ki se uporabljajo v ta namen in smo jih ali preizkusili ali preverili njihovo delovanje s študijem literature, je možno s podatki, s katerimi že razpolagamo v gozdarskem informacijskem sistemu Zavoda za gozdove Slovenije in drugih podatkovnih zbirkah. Dodatno se pogosto pri teh simulacijah uporabi podatke nacionalne gozdne inventure (Monitoring gozdov in gozdnih ekosistemov MGGE), s katerimi v Sloveniji razpolaga Gozdarski inštitut Slovenije (Kovač in sod., 2014). Pomanjkljivosti te podatkovne zbirke sta predvsem dve, i) majhno število razpoložljivih ploskev, ki otežuje stratificiran izračun in hkrati povečuje vzorčno napako izračunanih kazalnikov stanja gozdov, in ii) majhen nabor izbranih kazalcev, ki so se začeli snemati v prvih izvajanjih meritev na ploskvah, glavne podatkovne vrzeli so starostna struktura gozdov, vzrok poseka dreves, višina dreves, velikost krošnje (t.j. dolžina in premer) in tip tal. Del manjkajočih podatkov se je začel snemati leta 2018 (višine dreves, vzrok poseka dreves), starost dreves in s tem sestojev pa še vedno manjka, saj je ta podatek brez destruktivnih ali delno destruktivnih metod (npr. vrtanje dreves s prirastoslovnim svedrom) težko pridobiti. Ocenjujemo, da tako podatki gozdarskega informacijskega sistema kot podatki MGGE kljub pomanjkljivostim zadoščajo za simuliranje razvoja gozdov na nacionalni ravni z modeli, ki smo jih predvideli za uporabo v ta namen.

5 Zaključki in priporočila naročniku

5.1 Zasnova modeliranja razvoja gozdov v Sloveniji

Testiranja in pregled razpoložljive literature so izpostavila številne modele razvoja gozdov, ki bi bili potencialno uporabni tudi pri upravljanju z gozdovi v Sloveniji. Vsekakor so nakazani potenciali vredni nadaljnega preizkušanja, razmišljati pa je potrebno o izdelavi lastnega modela razvoja gozdov ali mogoče raje orodja za hkratno simulacijo razvoja gozdov in okvirno načrtovanje upravljanja z gozdovi, pri čemer pa je vsekakor smiselno uporabljati rešitve, ki jih ponujajo testirani modeli razvoja gozdov.

Pri vključevanju modelov razvoja gozdov v gozdnogospodarsko načrtovanje projektna skupina ocenjuje, da je ključno razviti model razvoja gozdov ali sistem za podporo odločanju z vgrajenim enim ali več modeli razvoja gozdov, ki bo povezal okvirno načrtovanje na ravni rastiščnogojitvenih razredov v GGE in podrobno načrtovanje na ravni posameznih gozdnih sestojev ne glede na njihovo zgradbo in sestavo. Takšen model/sistem bi bil uporaben tudi pri oblikovanju strategij gospodarjenja z gozdovi na ravni gozdnogospodarskih območij. Razvoj takšnega model/sistema (simulatorja) je glede na način gospodarjenja z gozdovi in gozdnogospodarskega načrtovanja v Sloveniji zahteven, tudi v tujini takšnega sistema zaenkrat še ni. Je pa pri razvoju takšnega sistema smiselno uporabiti izkušnje in rešitve, ki so vgrajene v podobne sisteme v tujini (npr. WIS.2 v Švici), a hkrati upoštevati zahteve našega načina gozdnogospodarskega načrtovanja.

Alternativa razvoju takšnega modela je razvoj (ali privzem) modelov razvoja gozdov, ki bi modelirali razvoj gozdov na različnih prostorskih ravneh gozdnogospodarskega načrtovanja. Prioriteta na področju gozdnogospodarskega načrtovanja je razvoj modela/sistema za okvirno načrtovanje. V primeru razvoja posameznih modelov bi povezavo med okvirnim in podrobnim načrtovanjem težje vzpostavili. Kljub temu velja usmeriti razvoj tudi v te modele, saj je njihov razvoj lažji in hitrejši, njihov razvoj pa lahko ponudi tudi določene rešitve za prej opisan celostni sistem, vsekakor pa so tudi

samostojno uporabni pri upravljanju z gozdovi in raziskavah. Zagovarjamo pa razvoj lastnih modelov, v določenih primerih, a redko, pa je smiselna tudi parametrizacija v tujini razvitih modelov razvoja gozdov, ki po večini kriterijev ustrezajo našim razmeram.

Na področju gozdarske politike projektna skupina ocenjuje, da je zaenkrat smiselno privzeti in pri simulacijah razvoja gozdov na nacionalni ravni uporabljati v tujini razviti model CBM-CFS3, ki je v analizi občutljivosti izkazal zadovoljive rezultate, uporabljen je bil tudi pri simulacijah dinamike zaloga ogljika v slovenskih gozdovih. Vseeno pa velja na dolgi rok razmišljati o razvoju lastnega modela tudi na tem področju, saj bi slovenskim razmeram popolnoma prilagojen model najkorektnije simuliral razvoj naših gozdov.

Skladno s predlogi lahko naročniku predlagamo nadaljevanje razvoja področja modeliranja razvoja gozdov. Predvsem naj se finančna sredstva usmerijo v razvoj lastnih modelov razvoja gozdov, ki bodo aplikativni v gozdnogospodarsko načrtovanje in upravljanje z gozdovi na različnih prostorskih ravneh.

5.2 Podatki za modeliranje razvoja gozdov

Gozdarski informacijski sistem v Sloveniji vključuje podatke o sestojih, ki so v precejšnji meri zadostni za zagon modelov razvoja gozdov, praviloma so najpomembnejši podatki o rastiščih. Končna ugotovitev in priporočilo je, da je podatke o gozdnih sestojih mogoče in nujno ažurirati, nadgraditi in predvsem bolje povezati različne podatkovne zbirke, ki ga sestavljajo.

Najpomembnejši podatkovni vir za uporabo modelov razvoja gozdov za gozdnogospodarsko načrtovanje je podatkovna zbirka stalnih vzorčnih ploskev (SVP). Menimo, da je nujno ohraniti metodologijo zbiranja podatkov na SVP, saj je časovna serija večinoma 3, pa tudi 5 in več meritev na SVP izrednega pomena za spremljanje razvoja gozdov, validacijo modelov in uporabo modelov razvoja gozdov za simuliranje prihodnjega razvoja gozdov. Predlagamo pa dopolnitev aktualne metodologije s snemanjem pomladka in tankega drevja, zaželeno pa tudi višini dreves in višine do žive krošnje vsaj za določeno število dreves na SVP ob vsakokratni inventuri.

Podobno kot podatkovna zbirka SVP je podatkovna zbirka NFI, ki jo vzdržuje Gozdarski inštitut Slovenije, pomemben vir podatkov za simulacije razvoja gozdov na nacionalni ravni. Inventuro in s tem podatkovno zbirko bi z vidika zahtev modelov razvoja gozdov veljalo dopolnjevati, pomanjkljivosti so že bile opisane.

Izdelava sestojne karte v okviru gozdne inventure se mora nujno ohraniti, je pa glede na razpoložljivo sodobno tehnologijo (LiDAR) verjetno smiselno to uporabiti in izdelavo sestojne karte aktualizirati in racionalizirati.

Rastiščni indeks je pogosto pomemben vhodni podatke v modele razvoja gozdov, ki nakazuje lastnosti rastišča. Ker je podatkovna zbirka o rastiščnih indeksih še vedno pomanjkljiva, bi jo bilo potrebno stalno dopolnjevati. Povezano s tem so pomanjkljivost tudi neustrezne fitocenološke podlage. Predlagamo, da se izdela digitalna fitocenološka karta v velikem merilu (npr. 1 : 10.000), ki bo omogočala prenos podatkov o asociacijah ali vsaj gozdnih tipih na osnove enote modeliranja (SVP, sestoj). Za obe predlagani nalogi bi bilo smiselno zagotoviti sistemsko financiranje, dokler ne bi bili obe podatkovni zbirki ustrezno dopolnjeni in aktualizirani. Razmišljati je potrebno tudi o izdelavi zvezne digitalne karte rastiščnih indeksov s podatki lidarskega snemanja.

Ugotavljamo tudi, da so gozdarski podatkovni viri med seboj slabo povezani in povezljivi. Za prvo so značilen zgled podatki s SVP in podatki na ravni gozdnih sestojev, za drugo pa povezava med SVP in

rastišči. Te podatkovne relacije je nujno izboljšati, kar nove IT tehnologije pridobivanja in obdelav podatkov zanesljivo omogočajo. Je pa tudi res, da je potrebno določene podatkovne sloje ažurirati ali nadgraditi, da bo v primeru vključitve modeliranja razvoja gozdov na različne ravni upravljanja z gozdovi omogočeno in nemoteno.

Predlog projektne skupine na področju podatkovnih virov je, da se ohrani sedanjo zasnovo gozdne inventure in NFI ter se ju poskuša skladno z razpoložljivimi finančnimi možnostmi in človeškimi viri v čim večji meri dopolnjevati z manjkajočimi podatki z vidika modeliranja razvoja gozdov. Je pa seveda morebitne dopolnitve gozdne inventure nujno uskladiti z vpletenimi deležniki, predvsem izvajalcema inventure Zavodom za gozdove Slovenije in Gozdarskim inštitutom Slovenije. Predlagamo pa tudi dodatno raziskavo možnosti uporabe podatkov daljinskega zaznavanja (LiDAR) za pridobivanje podatkov o rastiških indeksih, mogoče tudi za izdelavo sestojne karte.

5.3 Doseganje zastavljenih ciljev iz razpisa

Projekt je dosegel vse zastavljene cilje in postregel z veliko novega znanja in izkušenj na področju modeliranja razvoja gozdov. Ker je bilo to področje v Sloveniji v preteklosti zapostavljeno, je takšno znanje dobrodošlo in nujno za nadaljevanje razvoja področja. Pridobljeno znanje bo usmerjeno v dolgoročni cilj projektne skupine, da se razvije enega ali več lastnih modelov razvoja gozdov, ki jih bo možno aktivno uporabljati v postopkih na različnih ravneh gozdnogospodarskega načrtovanja in drugih aktivnostih gozdarskih strokovnjakov.

Med zastavljenimi cilji je izostala le diseminacija rezultatov projekta na simpoziju Gozdarski študijski dnevi, saj so bile izbrane tematike izven konteksta projekta. Izvedli pa smo delavnico za načrtovalce Zavoda za gozdove Slovenije, na kateri smo predstavili rezultate projekta, prisotni pa so podali svoje komentarje, mnenja in dopolnitve k predstavljeni zasnovi vključevanja modelov razvoja gozdov v gozdnogospodarsko načrtovanje. Predlogi so bili smiselno vključeni v izsledek D4. Člani projektne skupine smo objavili več znanstvenih člankov, dva med njimi v revijah s SCI indeksom.

Cilji razpisane teme projekta so bili v celoti izpolnjeni, kar je prikazano v preglednici 17.

Preglednica 17: Realizacija zastavljenih ciljev iz razpisa

Cilji razpisane teme	Vsebinski sklopi predlaganega projekta, ki uresničujejo cilj	Realizacija
1. pripraviti pregled značilnosti in zahtev najpogostejših modelov razvoja gozdov, ki se uporabljajo v Evropi in so pogosto tudi osnova pri primerjavi razvoja gozdov med posameznimi državami (npr. v okviru priprave zakonodaje EU s področja vpliva klimatskih sprememb na gozdove – sektor LULUCF)	DS1: Pregled značilnosti in zahtev modelov razvoja gozdov na državni in meddržavni ravni za poročanje in oblikovanje nacionalne gozdne politike	✓
2. izdelati metodologijo vključevanja modelov razvoja gozda v gozdnogospodarsko načrtovanje, ki so lahko podlaga za odločanje na različnih načrtovalskih ravneh –	DS4: Opredelitev zasnove modeliranja razvoja gozdov v Sloveniji Delno tudi:	✓

od strateškega na državni ravni do ravni posameznega sestoja oziroma rastiščno gojitvenega razreda (npr. rastni modeli za glavne drevesne vrste in poglavitne gozdne tipe, ekogrami, modeli ukrepanja, proizvodni modeli)	DS2: Pregled značilnosti in zahtev modelov razvoja gozdov za upravljanje gozdov na različnih prostorskih ravneh	
	DS3: Presoja in ovrednotenje modelov razvoja gozdov za njihovo aplikacijo v Sloveniji	
3. izboljšati podlage za upravljanje in njihovo učinkovito povezovanje (sestojna karta, podatki o gozdnih rastiščih, prirastoslovni modeli itn.) ter ...	DS3.2: Ocena in izboljšanje podatkovnih virov za potrebe modeliranja razvoja gozdov	✓
4. ... opredeliti modele razvoja gozdov, ki temeljijo na parametrih, ki se že analizirajo v obstoječem gozdarskem informacijskem sistemu, ki nastaja ob pripravi gozdnogospodarskih načrtov	DS3.1: Presoja modelov razvoja gozdov	✓
5. razviti praktična orodja, temelječa na modelih, ki so najbolj primerni za slovenske razmere ter se lahko uporabljajo pri izdelavi gozdnogospodarskih načrtov	DS3.2: Ocena in izboljšanje podatkovnih virov za potrebe modeliranja razvoja gozdov – delno DS3.3: Aplikacije modelov razvoja gozdov - delno	✓

6 Citirani in drugi uporabljeni viri

- Aczél, J., Alsina, C., 1986. On synthesis of judgements. *Socio-Economic Planning Sciences* 20 (6): 333-339.
- Adams, H.D., Park Williams, A., Chonggang, X., Rauscher, S.A., Jiang, X., McDowell, N.G., 2013. Empirical and process-based approaches to climate-induced forest mortality models. *Frontiers in Plant Science*, 4: 1-5.
- Aires, R.F. de F., Ferreira, L., 2019. A new approach to avoid rank reversal cases in the TOPSIS method. *Computers & Industrial Engineering* 132: 84–97.
- Alder, D., Silva, J.N.M., 2000. An empirical cohort model for management of Terra Firme forests in the Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, 130 (1–3): 141–157.
- Alvarez-Marty, S., 1989. La méthode des générations dans l'étude de la ressource d'une forêt équienne. *Afocel-Armef, Informations Forêt*, 3: 135-146.
- Ananda, J., Herath, G., 2009. A critical review of multi-criteria decision making methods with special reference to forest management and planning. *Ecological economics* 68 (10): 2535–2548.
- Antón-Fernández, C., 2019. SiTree: Single Tree Simulator. Dostopno na: <https://cran.r-project.org/package=sitree> (15.5.2020)
- Bartelink, H.H., 2000. A growth model for mixed forest stands. *Forest Ecology and Management*, 134 (1–3): 29–43.
- Bartelink, H.H., Mohren, G.M.J., 2004. Modelling at the interface between scientific knowledge and management issues. Towards the sustainable use of Europe's forests. *Forest Ecosystem and Landscape Research: Scientific Challenges and Opportunities* 49: 21-30.
- Berreiro, S., Tomé, M., 2017. Projection systems in Europe and North America: Concepts and Approaches. V: *Forest Inventory-based Projection Systems for Wood and Biomass Availability*.

- Barreiro S., Schelhaas M.-J., McRoberts R.E., Kändler G. (ur.). Springer International Publishing: 25-48.
- Blattert, C., Lemm, R., Thees, O., 2016. Evaluation of growth simulators for forest management in terms of functionality and software structure using AHP. V: Applications and Theory of Analytic Hierarchy Process: Decision Making for Strategic Decisions. De Felice F., Petrillo A., Saaty T. (ur.). IntechOpen: 219-245.
- Bončina, A., 2009. Urejanje gozdov – upravljanje gozdnih ekosistemov. Učbenik za študente univerzitetnega študija gozdarstva. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Ljubljana, 359 s.
- Bončina, A., Kadunc, A., Robič, D., 2007. Effects of selective thinning on growth and development of beech (*Fagus sylvatica* L.) forest stands in south-eastern Slovenia. *Annals of Forest Science* 64: 47-57.
- Bončina, A., Klopčič, M., 2019. Presoja gozdnogospodarskega načrta GGE Pokljuka. Ekspertiza. BF, Oddelek za gozdarstvo, 14 str.
- Bončina, A., Rosset, R., 2020. Načrtovanje razvoja gozdov z WIS.2 (v pripravi)
- Botkin, D.B., Janak, J.E., Wallis, J.R., 1972. Some ecological consequences of a computer model of forest growth. *Journal of Ecology*, 60: 849-872.
- Bugmann, H., 1996. A simplified forest model to study species composition along climate gradients. *Ecology*, 77 (7): 2055–2074.
- Bugmann, H., 2001. A Review of Forest Gap Models. *Climatic Change* 51: 259-305.
- Bugmann, H., Bigler, C., 2010. Will the CO₂ fertilization effect in forests be offset by reduced tree longevity? *Oecologia*, 165 (2):533-544.
- Burkhardt, H.E., Tomé, M., 2012. Modeling Forest Trees and Stands. Dordrecht, Springer.
- Carpentier, J.P., 1996. Modelling growth and yield of mixed species (yellow birch and conifers) stands. Doctorat, Université de Laval, Quebec, Canada, 244 s.
- Chandio, I.A., Matori, A.N.B., WanYusof, K.B., Talpur, M.A.H., Balogun, A.-L., Lawal, D.U., 2013. GIS-based analytic hierarchy process as a multicriteria decision analysis instrument: a review. *Arabian Journal of Geosciences* 6 (8): 3059-3066.
- Colin, A., Wernsdörfer, H., Thivolle-Cazat, A., Bontemps, J.-D., 2017. France. V: Forest Inventory-Based Projection Systems for Wood and Biomass Availability. Barreiro S., Schelhaas M.-J., McRoberts R.E., Kändler G. (ur.). Springer International Publishing: 159-174.
- Čokl, M., 1980. Gozdarski in lesnoindustrijski priročnik. Tablice (peta izdaja). Biotehniška fakulteta v Ljubljani, VTOZD za gozdarstvo, 374 s.
- Debeljak, M., Poljanec, A., Ženko, B., 2014. Modelling forest growing stock from inventory data: A data mining approach. *Ecological Indicators*, 41: 30–39.
- Dubayah, R.O., Drake, J. B., 2000. Lidar remote sensing for forestry. *Journal of Forestry* 98: 44-46.
- EAFV, 1968. Ertragstafeln für die Fichte, Tanne und Buche in der Schweiz. Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf, ZH.
- Eid, T., Hobbelstad, K., 2000. AVVIRK-2000: a large-scale forestry scenario model for long-term investment, income and harvest analyses. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 15:472.
- Fabrika, M., Ľurský, J., 2006. Implementing tree growth models in Slovakia. V: Hasenauer H (ur.) Sustainable Forest Management – Growth Models for Europe. Springer, Berlin/Heidelberg: 315-341.
- Federici, S., Vitullo, M., Tulipano, S., De Lauretis, R., Seufert, G., 2008. An approach to estimate carbon stocks change in forest carbon pools under the UNFCCC: the Italian case. *iForest*, 1: 86-95.
- Ficko, A., Roessiger, J., Bončina, A., 2016. Can the use of continuous cover forestry alone maintain silver fir (*Abies alba* Mill.) in central European mountain forests? *Forestry*, 89 (4): 412-421.
- Ficko, A., Roessiger, J., Bončina, A., 2018. Optimizing silviculture in mixed uneven-aged forests to increase the recruitment of browse-sensitive tree species without intervening in ungulate population. *I-Forests -Biogeosciences and Forestry* 11 (2): 227,236.

- Fischer, C., Traub, B., 2019. Swiss National Forest Inventory – Methods and Models of the Fourth Assessment. Managing Forest Ecosystems 35. Springer Nature Switzerland AG.
- Fontes, L., Bontemps, J.-D., Bugmann, H., Van Oijen, M., Gracia, C., Kramer, K., Lindner, M., Rötzer, T., Skovsgaard, J.P., 2010. Models for supporting forest management in a changing environment. Forest Systems, 19: 8-29.
- Franc, A., Laroussinie, O., Karjalainen, T., 2001. Criteria and Indicators for Sustainable Forest Management at the Forest Management Unit Level. EFI Proceedings No. 38. Joensuu, European Forest Institute.
- Fricelj, B., 2019. Napovedovanje razvoja gozdov z WIS.2. Seminarsko delo pri predmetu Gozdnogospodarsko načrtovanje. BF, Oddelek za gozdarstvo, 14. str.
- Garegnani, G. et al., 2015. A new open source DSS for assessment and planning of renewable energy: r.green. V: Proceedings of FOSS4G Europe, Geomatics Workbooks: 39-50.
- Gatzliolis, D., 2007. LIDAR-derived site index in the US pacific northwest—challenges and opportunities. ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007, Espoo, September 12-14, 2007, Finland.
- Goepel, K. D., 2013. Implementing the analytic hierarchy process as a standard method for multi-criteria decision making in corporate enterprises – a new AHP Excel template with multiple inputs. International Symposium on the Analytic Hierarchy Process, Kuala Lumpur.
- Grabska, E., Hostert, P., Pflugmacher, D., Ostapowicz, K., 2019. Forest stand species mapping using the Sentinel-2 time series. Remote Sensing 11: 1197. doi:10.3390/rs11101197
- Grošelj, P., Zadnik Stirn, L., 2012. Acceptable consistency of aggregated comparison matrices in analytic hierarchy process. European Journal of Operational Research 223 (2): 417-420.
- Grošelj, P., Zadnik Stirn, L., 2018. Evaluation of several approaches for deriving weights in fuzzy group analytic hierarchy process. Journal of decision systems 27 (1): 217-226.
- Gusti, M., 2010. An algorithm for simulation of forest management decisions in the global forest model. Artificial Intelligence N4: 45-49.
- Hafner, M., Černe, B., Stergar, M., Terglav, P., Jonožovič, M., Poljanec, A., 2016. Analiza poškodovanosti gozdnega mladja od rastlinojede parkljaste divjadi v letih 2010 in 2014. Zavod za gozdove Slovenije, Ljubljana, 162 s.
- Halaj, J., Grék, J., Pánek, F., Petráš, R., Řehák, J., 1987. Rastové tabulky hlavných dřevin ČSSR. Bratislava, Příroda, 361 s.
- Hasenauer, H., 1994. Ein Einzelbaumwachstumssimulator für ungleichaltrige Fichten-Kiefern-und Buchen-Fichtenmischbestände. Forstliche Schriftreihe. Österreichische Gesellschaft für Waldökosystemforschung und experimentelle Baumborschung. Univesität für Bodenkultur, Wien.
- Hasenauer, H., Kindermann, G., Steinmetz, P., 2006. The tree growth model MOSES 3.0. V: Hasenauer H (ed), Sustainable forest management growth models for Europe. Springer, Berlin/Heidelberg, str. 64–70.
- Havlík, P., Valin, H., Herrero, M. et al., 2014. Climate change mitigation through livestock system transitions. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 111: 3709-3714.
- Härkönen, et al., 2019. A climate-sensitive forest model for assessing impacts of forest management in Europe. Environmental Modelling and Software, 115: 128-143.
- Hilmers, T., Biber, P., Knoke, T., Pretzsch, H., 2017. Scenario analyses of the transition to close-to-nature mountain forest managment from the perspective of climate change. Prezentacija, prikazana na: IUFRO 125th Anniversary Congress 2017, 18-22 September 2017, Freiburg, Namčija.
- Hilmers, T., Biber, P., Knoke, T., Pretzsch, H., 2020. Assessing transformation scenarios from pure Norway spruce to mixed uneven-aged forests in mountain areas. European Journal of Forest Research 139: 567–584.
- Hirvelä, H., Harkonen, K., Lempinen, R., Salminen, O., 2017. MELA2016 Reference Manual. Natural Resources Institute Finland (Luke) .
- Hudernik, J., 2016. Validacija rastnega modela MOSES v jelovo-bukovih gozdovih v Sloveniji. Diplomsko delo, samozaložba.

- Hwang, C.-L., Yoon, K., 1981. Methods for Multiple Attribute Decision Making. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. A State-of-the-Art Survey. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Irauschek, F., Barka, I., Bugmann, H., Courbaud, B., Elkin, C., Hlásny, T., Klopčič, M., Mina, M., Rammer, W., Lexer, M.J., Evaluating five forest models using multi-decadal inventory data from mountain forests. Forest Ecology and Management, v recenziji.
- Jevšenak, J., Skudnik, M., 2020. A random forest model for basal area increment predictions from national forest inventory data. Forest Ecology and Management, 479: 118601.
- Jevšenak, J., Klopčič, M., Mali, B. 2020. The effect of harvesting on national forest carbon sinks up to 2050 simulated by the CBM-CFS3 model: a case study from Slovenia. Forests 11 (10): 1090. Doi: <https://doi.org/10.3390/f11101090>
- Jevšenak, J., Mali, B., Skudnik, M., 2020. Pregled in presoja modelov razvoja gozdov na državni in meddržavni ravni za mednarodno poročanje. Ciljni raziskovalni projekt V4-1821 Pregled in presoja modelov razvoja gozdov za gozdnogospodarsko načrtovanje na različnih prostorskih ravneh. Gozdarski inštitut Slovenije, Ljubljana, 21 s.
- Jogiste, K., 1998. Productivity of mixed stands of Norway spruce and birch affected by population dynamics: a model analysis. Ecological Modelling, 106: 77–91.
- Kadunc, A., Poljanec, A., Dakskobler, I., Rozman, A., Bončina, A., 2013. Ugotavljanje proizvodne sposobnosti gozdnih rastišč v Sloveniji. Zaključno poročilo ciljnega raziskovalnega projekta V4-1123. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire.
- Kahle, H.-P., Karjalainen, T., Schuck, A., Ågren, G.I., Kellomäki, S., Mellert, K., Prietzel, J., Rehfuess, K.-E., Spiecker, H., 2008. Causes and consequences of forest growth trends in Europe. European Forest Institute Research Report 21. Results of the RECOGNITION Project. Brill, Leiden.
- Kahn, M., 1994. Modellierung der Höhenentwicklung ausgewählter Baumarten in Abhängigkeit vom Standort. Forstliche Forschungsberichte München.
- Kahn, M., Pretzsch, H., 1998. Konzeption und Konstruktion von Wuchs- und Prognosemodellen für Mischbestände in Bayern. Konzeption und Konstruktion des Wachstumsmodells Silva 2.2. München, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde.
- Kaufmann, E., 2001. Prognosis and management scenarios. V: Swiss national forest inventory: methods and models of the second assessment. Brassel P., Lischke H. (ur.). Birmensdorf, Swiss Federal Research Institute (WSL): 197-206.
- Kaufmann, E., 2011. Nachhaltiges Holzproduktionspotenzial im Schweizer Wald. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 1629: 300-311.
- Keane, R.E., Ryan, K.C., Running, S.W., 1996. Simulating effects of fire on northern Rocky Mountain landscapes with the ecological process model FIRE-BGC. Tree Physiology, 16 (3): 319–331.
- Kindermann, G.E., 2010. Weiterentwicklung eines Kreisflächenzuwachsmo­dells – Refining a basal area increment model. V: Beiträge zur Jahrestagung 2010 in Körbecke/Möhnesee. Nagel J. (ur.). Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten – Sektion Ertragskunde, Göttingen: 82-95.
- Klopčič, M., 2017. Scenariji razvoja gozdov in gospodarjenja z gozdovi v Sloveniji V: Bončina, A. (ur.), 2017. Presoja parametrov stanja in razvoja gozdov za namen uresničevanja ciljev Nacionalnega gozdnega programa. Zaključno poročilo projekta V4-1421. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, 110-132.
- Klopčič, M., 2020. Preverjanje točnosti modela SiWaWa v čistih bukovih in smrekovih sestojih v Sloveniji. Gozdarski vestnik, v recenziji.
- Klopčič, M., Bončina, A., 2010. Patterns of tree growth in a single tree selection silver fir–European beech forest. Journal of Forest Research 15: 21-30.
- Klopčič, M., Bončina, A., 2012. Recruitment of tree species in mixed selection and irregular shelterwood forest stands. Annals of Forest Science 69: 915–925.
- Klopčič, M., Poljanec, A., Gartner, A., Bončina, A., 2009. Factors related to natural disturbances in mountain Norway spruce (Picea abies) forests in the Julian Alps. Ecoscience 16 (1): 48-57.
- Klopčič, M., Mina, M., Bugmann, H., Bončina, A., 2017. The prospects of silver fir (Abies alba Mill.) and Norway spruce (Picea abies (L.) Karst) in mixed mountain forests under various management

- strategies, climate change and high browsing pressure. *European Journal of Forest Research* 136: 1071-1090.
- Klopčič, M., Poljanec, A., Bončina, A., 2019. Basal area growth of dominant silver fir (*Abies alba*) trees under different environmental and stand conditions. V: *Abies 2019: prospects for fir management in a changeable environment*. Kraków, 28.05 - 30.05.2019: book of abstracts, IUFRO Abies 2019, Kraków, 28.05 - 30.05.2019, str. 20. [COBISS.SI-ID 5417638]
- Klopčič, M., Ficko, A., Šmidovnik, T., Grošelj, P., 2019. Pregled in ocena tipov modelov razvoja gozdov glede primernosti za upravljanje gozdov v Evropi (izsledek D2). Ciljni raziskovalni projekt V4-1821 Pregled in presoja modelov razvoja gozdov za gozdnogospodarsko načrtovanje na različnih prostorskih ravneh. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Ljubljana, 33 s.
- Klopčič, M., Ficko, A., Grošelj, P., Šmidovnik, T., Bončina, A., 2020a. Presoja izbranih modelov razvoja gozdov glede na njihovo primernost za upravljanje gozdov v Sloveniji na različnih prostorskih ravneh (izsledek D3.1). Ciljni raziskovalni projekt V4-1821 Pregled in presoja modelov razvoja gozdov za gozdnogospodarsko načrtovanje na različnih prostorskih ravneh. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Ljubljana, 28 s.
- Klopčič, M., Ficko, A., Bončina, Ž., Guček, M., Poljanec, A., Rozman, A., Trifković, V., Bončina, A., 2020b. Ocena sedanjih podatkovnih virov in predlog izboljšanja podatkovnih virov s povezovanjem razpoložljivih podatkov in uporabo podatkov daljinskega zaznavanja (izsledek D3.2). Ciljni raziskovalni projekt V4-1821 Pregled in presoja modelov razvoja gozdov za gozdnogospodarsko načrtovanje na različnih prostorskih ravneh. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Ljubljana.
- Klopčič, M., Ficko, A., Bončina, A., 2020c. Prikaz rezultatov testnih simulacij razvoja gozdov z izbranimi modeli za izbrana študijska območja in ocena njihove uporabnosti za razmere v Sloveniji (izsledek D3.3). Ciljni raziskovalni projekt V4-1821 Pregled in presoja modelov razvoja gozdov za gozdnogospodarsko načrtovanje na različnih prostorskih ravneh. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Ljubljana, 29 s.
- Klopf, M., 2014. MOSES: A single tree growth simulator for forest management planning: dissertation. Universität für Bodenkultur, Wien, 155 s.
- Korzukhin, M.D., Termikaelian, M.T., Wagner, R.G., 1996. Process versus empirical models: which approach for forest ecosystem management? *Canadian Journal of Forest Research*, 26 (5): 879-887.
- Kostov, G., 1993. The Bulgarian Forest Resources Assessment Model – some base data and results. SUAS. Department of Operational Efficiency, College of Forestry, Garpenberg.
- Köhl, M., Magnussen, S., 2016. Sampling in Forest Inventories. V: *Tropical Forestry Handbook*. Pancel L., Köhl M. (ur.), Berlin/Heidelberg, Springer: 777-837.
- Kotar, M., 2003. Gozdarski priročnik. Ljubljana, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Biotehniška fakulteta.
- Kovač M., Skudnik M., Japelj A., Planinšek Š., Vochl S., Batič F., Kastelec D., Jurc D., Jurc M., Simončič P., Kobal M., 2014. Monitoring gozdov in gozdnih ekosistemov: priročnik za terensko snemanje podatkov. Gozdarski inštitut Slovenije, Založba Silva Slovenica, Ljubljana, 228 s.
- Kramer, K., van der Werf, D.C., 2010. Equilibrium and non-equilibrium concepts in forest genetic modelling: population- and individually-based approaches. *Forest Systems*, 19: 100-112.
- Kramer, K., Degen, B., Buschbom, J., Hickler, J., Thuiller, W., Sykes, M.T., Winter, W.D., 2010. Modelling exploration of the future of European beech (*Fagus sylvatica* L.) under climate change - range, abundance, genetic diversity and adaptive response. *Forest Ecology and Management*, 259: 2213-2222.
- Kučera, M., 2017. Czech Republic. V: *Forest Inventory-based Projection Systems for Wood and Biomass Availability*. Barreiro S., Schelhaas M.-J., McRoberts R.E., Kändler G. (ur.). Springer International Publishing: 121-128.
- Kurz, W.A., Dymond, C.C., White, T.M., Stinson, G., Shaw, C.H., Rampley, G.J., Smyth, C., Simpson, B.N., Neilson, E.T., Tyofymow, J.A., Metsaranta, J., Apps, M.J., 2009. CBM-CFS3: A model of carbon-dynamics in forestry and land-use change implementing IPCC standards. *Ecol. Model.* 220: 480-504.

- Kušar, G., Kovač, M., Simončič, P., 2009. Metodološke osnove monitoringa gozdov in gozdnih ekosistemov. V: Kontrolna vzorčna metoda v Sloveniji - zgodovina, značilnosti in uporaba. Planinšek Š. (ur.). Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, Založba Silva Slovenica.
- Kutnar, L., Kobler, A., Bergant, K., 2009. Vpliv podnebnih sprememb na pričakovano prostorsko prerezporeditev tipov gozdne vegetacije. Zbornik gozdarstva in lesarstva 89: 33-42.
- Kutnar, L., Veselič, Ž., Dakskobler, I., Robič, D., 2012. Tipologija gozdnih rastišč Slovenije na podlagi ekoloških in vegetacijskih razmer za potrebe usmerjanja razvoja gozdov. Gozdarski vestnik 70 (4): 195-214.
- Landsberg, J., 2003. Modelling forest ecosystems: state of the art, challenges, and the future directions. Canadian Journal of Forest Research, 26: 1174-1186.
- Ledermann, T., 2006. Description of PrognAus for Windows 2.2. V: Hasenauer H (ur.) Sustainable Forest Management – Growth Models for Europe. Springer, Berlin/Heidelberg: 1-78.
- Ledermann, T., 2017. Ein Modell zur Abschätzung der Zufallsnutzungen in Österreich. V: Beiträge zur Jahrestagung 2017 in Untermarchtal/Baden-Württemberg. Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten. Sektion Ertragskunde. Klädtke J., Kohnle U. (ur.). Freiburg: 9-19.
- Lexer, M.J., Honninger, K., 2001. A modified 3D-patch model for spatially explicit simulation of vegetation composition in heterogeneous landscapes. Forest Ecology and Management 144: 43-65.
- Lombardi, F., Klopčič, M., Di Martino, P., Tognetti, R., Chirici, G., Boncina, A., Marchetti, M., 2011. Comparison of forest stand structure and management of silver fir–European beech forests in the Central Apennines, Italy and in the Dinaric Mountains, Slovenia. Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology 146 (1): 124-123. doi: 10.1080/11263504.2011.623190
- Lundström, A., Söderberg, U., 1996. Outline of the Hugin system for long-term forecasts of timber yields and possible cut. V: Proceedings no. 5: in large-scale forestry scenario models: experiences and requirements. Päivinen R., Roihuvuo L., Siitonen M. (ur.) Joensuu, European Forest Institute: 63-77.
- Lynch, T.B., Moser, J.W. Jr., 1986. A growth model for mixed species stands. Forest Science, 32 (3): 697–706.
- Mäkelä, A., Landsberg, J., Ek, A.R., Burk, T.E., Termikaelian, M., Agren, G.I., Oliver, C.D., Puttonen, P., 2000. Process-based models for forest ecosystem management: current state of the art and challenges for practical implementation. Tree Physiology, 20 (5-6): 289-298.
- Matthews, R.W., Razauskaite, R., Hogan, G.P., Mackie, E.D., Sayce, M., Randle, T.J., 2019. The CARBINE model: a technical description. Forest Research report. Forest Research: Farnham (v pripravi).
- Meyer, J., 2005. Fire effects on forest resource development in the French Mediterranean region – projections with a large-scale forest scenario model. EFI Technical Report 16. European Forest Institute, Joensuu, Finland.
- Mina, M., Bugmann, H., Klopčič, M., Cailleret, M., 2015. Accurate modeling of harvesting is key for projecting future forest dynamics: a case study in the Slovenian mountains. Regional Environmental Change, 1-16.
- Mina, M., Bugmann, H., Cordonnier, T., Irauschek, F., Klopčič, M., Pardos, M., Cailleret, M., 2017. Future ecosystem services from European mountain forests under climate change. Journal of Applied Ecology, 54:389-401.
- Monserud, R.A., Ledermann, T., Sterba, H., 2004. Are self-thinning constraints needed in a tree-specific mortality model? Forest Science, 50: 848–858.
- Nabuurs, G. J., Schelhaas, M. J., Pussinen, A., 2000. Validation of the European Forest Information Scenario Model (EFISCEN) and a projection of Finnish forests. Silva Fennica 34 (2): 167-179.
- Nabuurs, G.-J., Päivinen, R., Schanz, H., 2001. Sustainable management regimes for Europe's forests - a projection with EFISCEN until 2050. Forest Policy and Economics 3: 155-173.
- Nagel, J., 1999. Konzeptionelle Überlegungen zum schrittweisen Aufbau eines waldwachstumskundlichen Simulationssystems für Norddeutschland. Schriftenreihe der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen, Paul Parey Verlag.
- Nagel, J., 2009. Waldwachstumssimulation mit dem Java Software Paket TreeGross. Göttingen, Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt.

- NFAP, 2019a. National Forestry Accounting Plan for the Republic of Croatia. Zagreb, Ministry of Environment and Energy, Ministry of Agriculture. Dostopno na: https://mzoe.gov.hr/UserDocsImages/KLIMA/SZKAIZOS/NFAP_Croatia.pdf (30.4.2020)
- NFAP, 2019b. Latvia's National Forestry Accounting Plan and Proposed Forest Reference Level 2021-2025. Ministry of Agriculture of Republic of Latvia, Latvian Forest Research Institute "Silava" (LSFRI Silava). Dostopno na: https://www.zm.gov.lv/public/ck/files/2019_03_1_NFAP.PDF (30.4.2020)
- NFAP, 2019c. National Forestry Accounting Plan for Sweden. Government Offices of Sweden, Ministry for the Environment and Energy. Dostopno na: <https://www.government.se/reports/2019/03/national-forestry-accounting-plan-for-sweden/> (30.4.2020)
- Nishina, K., Ito, A., Falloon, P., Friend, A.D., Beerling, D.J., Ciais, P., Clark, D.B., Kahana, R., Kato, E., Lucht, W., Lomas, M., Pavlick, R., Schaphoff, S., Warszawski, L., Yokohata, T., 2015. Decomposing uncertainties in the future terrestrial carbon budget associated with emission scenarios, climate projections, and ecosystem simulations using the ISI-MIP results. *Earth Systems Dynamics* 6: 435–445.
- Noordermeer, L., Gobakken, T., Næsset, E., Bollandsås, O.M., 2020. Predicting and mapping site index in operational forest inventories using bitemporal airborne laser scanner data. *Forest Ecology and Management* 457: 117768.
- Nord-Larsen, T., Meilby, H., Skovsgaard, J.P., 2009. Site-specific height growth models for six common tree species in Denmark. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 24 (3): 194-204.
- Nord-Larsen, T., Suadcani, M.K., 2010. Træbrændselsressourcer fra danske skove over ½ ha: opgørelse og prognose 2010. Skov & Landskab, Københavns Universitet. Arbejdsrapport / Skov & Landskab, no. 113.
- Packalen, T. et al., 2014. The European Forestry Dynamics Model: Concept, design and results of first case studies. Publications Office of the European Union.
- Parkan, C., Wu, M.-L., 1998. Process selection with multiple objective and subjective attributes. *Production Planning & Control* 9: 189-200.
- Payandeh, B., Field, J.E., 1986. Yield Functions and Tables for Mixedwood Stands of Northwestern Ontario. Information Report O-X-375, Great Lakes Forestry Centre, Canadian Forestry Service, 15 s.
- Peltoniemi, M., Pulkkinen, M., Aurela, M., Pumpanen, J., Kolari, P., Mäkelä, A., 2015. A semi-empirical model of boreal forest gross primary production, evapotranspiration, and soil water – calibration and sensitivity analysis. *Boreal Environment Research*, 20: 151-171.
- Peng, C., 2000. Growth and yield models for uneven-aged stands: past, present and future. *Forest Ecology and Management* 132: 259-279.
- Perin, J., Lejeune, P., Hebert, J., 2017. Regional scale simulation of the forest resources evolution in Southern Belgium (Wallonia).
- Petrauskas, E., Kuliešis, A., 2004. Scenario-based analysis of possible management alternatives for Lithuanian forests in the 21st century. *Baltic Forestry*, 10: 72-82.
- Petter, G., Mairota, P., Albrich, K., Bebi, P., Brůna, J., Bugmann, H., Haffenden, A., Scheller, R.M., Schmatz, D.R., Seidl, R., Speich, M., Vacchiano, G., Lischke, H., 2020. How robust are future projections of forest landscape dynamics? Insights from a systematic comparison of four forest landscape models. *Environmental Modelling and Software* 134 (online first), doi: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104844>.
- Phillips, H., 2011. All Ireland roundwood production forecast 2011–2028. Dublin, COFORD.
- Pilli, R., Grassi, G., Kurz, W.A., Smyth, C.E., Blujdea, V., 2013. Application of the CBM-CFS3 model to estimate Italy's forest carbon budget, 1995–2020. *Ecological Modelling*, 266: 144-171.
- Pilli, R., Grassi, G., Kurz, W.A., Abad Viñas, R., Hue Guerrero, N., 2016. Modelling forest carbon stock changes as affected by harvest and natural disturbances. I. Comparison with countries' estimates for forest management. *Carbon Balance Management*: 20 (1-18).
- Poljanec, A. (ur.), 2010. Navodila za snemanje na stalnih vzorčnih ploskvah. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije, Centralna enota, Oddelek za gozdnogospodarsko načrtovanje, 27 s.
- Porté, A., Bartelink, H.H., 2002. Modelling mixed forest growth: a review of models for forest management. *Ecological Modelling* 150: 141-188.

- Pravilnik o načrtih za gospodarjenje z gozdovi in upravljanje z divjadjo, 2010. Ur. L. 91 (10).
- Pretzsch, H., 1997. Analysis and modeling of spatial stand structures. Methodological considerations based on mixed beech-larch stands in Lower Saxony. *Forest Ecology and Management* 97: 237–253.
- Pretzsch, H., 2001. Modellierung des Waldwachstums. Paul Parey, Berlin.
- Pretzsch, H. 2010. Forest Dynamics, Growth and Yield: From Measurement to Model. Heidelberg, Springer.
- Pretzsch, H., Biber, P., Ďurský, J., 2002. The single tree-based stand simulator SILVA: construction, application and evaluation. *Forest Ecology and Management* 162: 3–21. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00047-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00047-6)
- Pretzsch, H., Biber, P., Grote, R., Meier, H., Moshhammer, R., Seifert, S., Sadtke, R., 2002b. SILVA 2.2. User manual. Released version from 08/15/2002. Chair for Forest Yield Science, TU München.
- Rasche, L., Fahse, L., Bugmann, H., 2013. Key factors affecting the future provision of tree-based forest ecosystem goods and services. *Climatic Change*, 118: 579-593.
- Redsven, V., Hirvelä, H., Härkönen, K., Salminen, O., Siitonen, M., 2013. MELA2012 reference manual, 2nd edn. The Finnish Forest Research Institute.
- Rincón-Cristóbal, J.J., 2018. Vael: Modelo para la estimación del nivel de referencia forestal (FRL) de España. Proyecto: Servicio a la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural (DGCEAYMN) para el establecimiento de un modelo de cálculo para la fijación del Nivel de Referencia Forestal (FRL) de España en el periodo 2021-2025" (18CASV004). Ministerio para la Transición Ecológica de España.
- Rock, J., Bösch, B., Kändler, G., 2013. WEHAM 2012 – Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung für die dritte Bundeswaldinventur. V: Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten. Sektion Ertragskunde. Jahrestagung. Klädtke J., Kohnle U. (ur.). Rychnov nad Kneznou: 127-133.
- Roessiger, J., Ficko, A., Classen C., Griess, V.C., Knoke, T., 2016. Variability in growth of trees in uneven-aged stands displays the need for optimizing diversified harvest diameters. *European journal of forest research*, 135 (2): 283-295.
- Rosset, C., Schütz, J—P., Lanz, A., Menk, J., Gollut, C., Weber, D., 2013. SiWaWa: Waldwachstumssimulationsmodell der neuen Generation - Das Waldwachstum für den Praktiker leicht gemacht. Schlussbericht. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abteilung Wald, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL, Bern.
- Rosset, C., Schütz, J—P., Günter, M., Gollut, C., 2014. WIS.2 – A sustainable forest management decision support system. *Mathematical and Computational Forestry & Natural Resource Sciences*, 6 (2): 89-100.
- Rosset C., Brand R., Weber D., Wüillemin E., Gollut C., Caillard I., Fiedler U. 2015. MOTI – ein Tool für die Waldinventur im Taschenformat. *Wald und Holz* 96, 8: 45-48.
- Rosset, C., Salla, V., 2017. Anwendung TBk (automatisierte Bestandskartierung nach Prototyp HAFL). (PPT predstavitev). Url: http://www.gwg-gsm.ch/tl_files/gebirgswald/de/04_GWG/GWG_Tagungen/2017/GWG_WiTa_2017_Sala.pdf (21.8.2020)
- Rötzer, T., Seifert, T., Pretzsch, H., 2009. Modelling above and below ground carbon dynamics in a mixed beech and spruce stand influenced by climate. *European Journal of Forest Research*, 128: 171-182.
- Saaty, T. L., 1980. The analytic hierarchy process. New York, McGraw-Hill.
- Saaty, T. L., 2006. Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process. Pittsburgh, RWS Publications.
- Saje, R., 2011. Zasnova poskusa redčenj bukovih sestojev v raziskovalnem objektu Brezova reber. Diplomsko delo. Ljubljana, samozaložba.
- Sallnäs, O., 1990. A matrix growth model of the Swedish forest. *Studia Forestalia Suecica* 183:1-23.
- Sallnäs, O., Berger, A., Rätty, M., Trubins, M., 2015. An area-based matrix model for uneven-aged forests. *Forests*, 6: 1500-1515.

- Scheller, R.M., Mladenoff, D.J., 2004. A forest growth and biomass module for a landscape simulation model, LANDIS: design, validation, and application. *Ecological Modelling*, 180: 211–229.
- Scheller, R.M., Domingo, J.B., Stutevant, B.R., Williams, J.S., Rudy, A., Gustafson, E.J., Mladenoff, D.J., 2007. Design, development, and application of LANDIS-II, a spatial landscape simulation model with flexible temporal and spatial resolution. *Ecological Modelling*, 201: 409–419.
- Schelhaas, M.J., Eggers, J., Lindner, M., Nabuurs, G.J., Pussinen, A., Päivinen, R., Schuck, A., Verkerk, P.J., van der Werf, D.C., Zudin, S., 2007. Model documentation for the European Forest Information Scenario model (EFISCEN 3.1.3). Alterra Rapport 1559. EFI Technical Report 26. Alterra, Wageningen.
- Schmid, S., Zingg, A., Biber, P., Bugmann, H., 2006. Evaluation of the forest growth model SILVA along an elevational gradient in Switzerland. *European Journal of Forest Research*, 125: 43–55.
- Schulte, B.J., Buongiorno, J., 1998. Effects of uneven-aged silviculture on the stand structure, species composition, and economic returns of loblolly pine stands. *Forest Ecology and Management*, 111 (1): 83–101.
- Schumacher, S., Bugmann, H., 2006. The relative importance of climatic effects, wildfires and management for future forest landscape dynamics in the Swiss Alps. *Global Change Biology*, 12: 1435–1450.
- Schütz, J-P., Zingg, A., 2007. Zuwachsprognose nach der sozialen Hierarchie im Entwicklungs- und Wachstumsmodell SiWaWa. Conference paper: Jahrestagung 2007 Deutscher Verband forstl. Forschungsanstalten; Sektion Ertragskunde, At Alsfeld, Volume 2007.
- Schütz, J-P., Rosset, C., 2020. Performances of different methods of estimating the diameter distribution based on simple stand structure variables in monospecific regular temperate European forests. *Annals of Forest Science*, doi: <https://doi.org/10.1007/s13595-020-00951-3>
- Seidl, R., Schelhaas, M.-J., Lindner, M., Lexer, M.J., 2009. Modelling bark beetle disturbances in a large-scale forest scenario model to assess climate change impacts and evaluate adaptive management strategies. *Regional Environmental Change* 9(2): 101–119.
- Seifert, S., 2006. Visualisierung von Waldlandschaften. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 61: 1170–1171.
- Seynave, I., Gegout, J.C., Hervé, J.C., Dhôte, J.F., Drapier, J., Bruno, E., Dume, G., 2005. *Picea abies* site index prediction by environmental factors and understorey vegetation, a two-scale approach based on survey databases. *Canadian Journal of Forest Research*, 35 (7): 1669–1678.
- Shifley, S.R., He, H.S., Lischke, H., Wang, W.J., Jin, W., Gustafson, E.J., Thompson, J.R., Thompson III, F.R., Dijak, W.D., Yang, J., 2017. The past and future of modeling forest dynamics: from growth and yield curves to forest landscape models. *Landscape Ecology*, 32: 1307–1325.
- Shih, H.-S., Shyur, H.-J., Lee, E.S., 2007. An extension of TOPSIS for group decision making. *Mathematical and Computer Modelling* 45: 801–813.
- Siitonen, M., Härkönen, K., Hirvelä, H., Jämsä, J., Kilpeläinen, H., Salminen, O., Teuri, M., 1996. MELA Handbook—1996 edn. The Finnish Forest Research Institute.
- Simončič, T., Kadunc, A., Bončina, A., 2009. Analiza horizontalne zgradbe bukovih sestojev s podatki s stalnih vzorčnih ploskev. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 90: 11–24.
- Sitch, S., Smith, B., Prentice, I.C., Arneth, A., Bondeau, A., Cramer, W., Kaplan, J., Levis, S., Lucht, W., Sykes, M., Thonicke, K., Venevsky, S., 2003. Evaluation of ecosystem dynamics, plant geography and terrestrial carbon cycling in the LPJ Dynamic Global Vegetation Model. *Global Change Biology* 9: 161–185.
- Skovsgaard, J.P., Vanclay, J.K., 2008. Forest site productivity: a review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands. *Forestry*, 81 (1): 12–31.
- Skudnik, M., Mali, B., 2015. SC15 EFDM Country Report Slovenia. Gozdarski inštitut Slovenije, Ljubljana.
- Smith, B., Prentice, I.C., Sykes, M.T., 2001. Representation of vegetation dynamics in the modelling of terrestrial ecosystems: comparing two contrasting approaches within European climate space. *Global Ecology & Biogeography* 10: 621–637.
- Socha, J., Pierzchalski, M., Bałazy, R., Ciesielski, M., 2017. Modelling top height growth and site index using repeated laser scanning data. *Forest Ecology and Management* 406: 307–317.

- Somogyi, Z., 2017. CASMOFOR version 6.0. NARIC Forest Research Institute, Budapest. Dostopno na: <http://www.scientia.hu/casmofoor> (21.12.2019)
- Song, X., Bryan, B.A., Paul, K.I., Zhao, G., 2012. Variance-based sensitivity analysis of a forest growth model. *Ecological Modelling*, 247: 135-143.
- Song, B., Kang, S., 2016. A method of assigning weights using a ranking and nonhierarchy comparison. *Advances in Decision Sciences*, 2016: 1-9.
- Stadelmann, G., Temperli, C., Rohner, B., Didion, M., Herold, A., Rösler, E., Thürig, E., 2019a. Presenting MASSIMO: A Management Scenario Simulation Model to Project Growth, Harvests and Carbon Dynamics of Swiss Forests. *Forests*, 10, 94; doi:10.3390/f10020094.
- Stadelmann, G., Didion, M., Thürig, E., 2019b. Scenario simulations. V: Fischer, C., Traub, B. (ur.), *Swiss National Forests Inventory – Methods and Models of the Fourth Assessment. Managing Forest Ecosystems* 35, str. 285-296.
- Sterba, H., 1987. Estimating potential density from thinning experiments and inventory data. *Forest Science*, 33: 1022-1034.
- Sterba, H., Moser, M., Monserud, R.A., 1995. PROGNAUS – Ein Waldwachstumssimulator für Reinund Mischbestände. *Österreichische Forstzeitung*, 106: 19-20.
- Turner, C., Klopff, M., Hasenauer, H., 2011. Forests in transition: a harvesting model for uneven-aged mixed species forests in Austria. *Forestry* 84 (5):517-526. doi: 10.1093/forestry/cpr021
- Thompson, D.A., Matthews, R.W., 1989. The Storage of Carbon in Trees and Timber. *Forestry Commission Research Information Note* 160. Edinburgh, Forestry Commission.
- Temperli, C., Stadelmann, G., Thürig, E., Brang, P., 2017. Silvicultural strategies for increased timber harvesting in a Central European mountain landscape. *European Journal of Forest Research* 136: 493–509.
- Tomé, M., Faias, S., 2011. Report describing the regional simulators and the European simulator. *EFI Technical Report* 69. European Forest Institute, Finland.
- Trifković, V., 2020. Factors influencing the diameter growth of beech, spruce and fir in uneven-aged forests in Dinaric Mountains, Slovenia under weak to moderate disturbances. V: *Managing forests in the 21st century: book of abstracts. Conference at the Potsdam Institute for Climate Impact Research, Potsdam, Germany 3rd - 5th March 2020.* str. 49.
- Vanclay, J.K., 1994. Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests. CAB International, Department of Economics and Natural Resource, Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen, Denmark, Wallingford, UK.
- Vanclay, J.K., Skovsgaard, J.P., 1997. Evaluating forest growth models. *Ecological Modelling*, 98: 1-12.
- Verkerk, P.J., Schelhaas, M.-J., Immonen, V., Hengeveld, G., Kiljunen, J., Lindner, M., Nabuurs, G.-J., Suominen, T., Zudin, S., 2016. Manual for the European Forest Information Scenario model (EFISCEN 4.1). European Forest Institute, Joensuu, Finska.
- Veselič, Ž., 2002. Optimalni modeli gozdov. Strokovna izhodišča in način oblikovanja modelov ob izdelavi gozdnogospodarskih načrtov območij za obdobje 2001-2010. *Gozdarski vestnik*, 60 (10): 445-460.
- Vidal, C., Alberdi, I., Redmond, J., Vestman, M., Lanz, A., Schadauer, K., 2016. The role of European National Forest Inventories for international forestry reporting. *Annals of Forest Science*, 73: 793-806.
- Vospernik, S., 2017. Possibilities and limitations of individual-tree growth models – A review on model evaluations. *Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment*, 68 (2): 103–112.
- Vospernik, S., Eckmüllner, O., 2012. Evaluation of the individual tree growth model Prognaus. *Austrian Journal of Forest Science*, 129: 22-55.
- Vospernik, S., Monserud, R.A., Sterba, H., 2015. Comparing individual-tree growth models using principles of stand growth for Norway spruce, Scots pine, and European beech. *Canadian Journal of Forest Research*, 45: 1006–1018.
- Vrlinič, D., 2019. Zasnova poskusa redčenj bukovih sestojev v raziskovalnem objektu Mirna gora. Diplomsko delo. Ljubljana, samozaložba.

- Wang, Y.-J., 2008. Applying FMCDM to evaluate financial performance of domestic airlines in Taiwan. *Expert Systems with Applications* 34: 1837-1845.
- Weiskittel, A.R., Hann, D.W., Kershaw, J.A., Vanclay, J.K., 2011. *Forest Growth and Yield Modeling*. Wiley-Blackwell, Oxford.
- Wernsdörfer, H., Colin, A., Bontemps, J.-D., Chevalier, H., Pignard, G., Cauria, S., Leban, J.-M., Herve, J.-C., Fournier, M., 2012. Large scale dynamics of a heterogeneous forest resource are driven jointly by geographically varying growth conditions, tree species composition and stand structure. *Annals of Forest Science*, 69: 829-844.
- Wiedemann, E., 1949. *Yield Tables for the Chief Tree Species of Germany Under Various Grades of Thinning and for Several Types of Mixed Stand, with Graphical Illustrations*. Report, M & H Schaper, Hannover, 100 s.
- Wikström, P., Edenius, L., Elfving, B., Eriksson, L.O., Lämäs, T., Sonesson, J., Öhman, K., Wallerman, J., Waller, C., Klintebäck, F., 2011. The Heureka forestry decision support system: an overview. *Mathematical and Computational Forestry & Natural-Resource Sciences* 3 (2): 87-94.
- ZGS, 2015. *Podatkovne zbirke Zavoda za gozdove Slovenije*. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije.
- ZGS, 2019. *Podatkovne zbirke Zavoda za gozdove Slovenije*. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije.