

Simulacija naravnega širjenja borove ogorčice v Sloveniji 2000–2100


Nikica OGRIS^{1*}, Matej KNAPIČ², Maja JURČ³, Gregor UREK², Saša ŠIRCA²

¹Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, 1000 Ljubljana; ²Kmetijski inštitut Slovenije, Hacquetova ulica 17, 1000 Ljubljana;

³Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Večna pot 83, 1000 Ljubljana

*nikica.ogris@gozdis.si

 Datum izdaje: 21.10.2013

 Veljavnost: 2000–2100





Ključne besede: borova ogorčica, *Bursaphelenchus xylophilus*, simulacija, model, hitrost širjenja, bor

Uvod

V okviru projekta Ogroženost naših gozdov zaradi borove ogorčice *Bursaphelenchus xylophilus*, ki ga je vodil Širca (2013) in je potekal od 1. 10. 2010 do 30. 9. 2013, smo simulirali naravno širjenje borove ogorčice v Sloveniji ter preverili vpliv nekaterih scenarijev podnebnih sprememb. V tem prispevku predstavljamo povzetek rezultatov delovnega sklopa o modeliranju širjenja borove ogorčice v Sloveniji, ki je obširneje opisan v omenjenem poročilu projekta. Eden od ciljev delovnega sklopa o modeliranju borove ogorčice je bil pripraviti simulator naravnega širjenja borove ogorčice iz poljubne točke v Sloveniji, s čimer bomo boljše pripravljeni na morebitni vnos tega škodljivca v našo državo. Iz dosedanjih primerov iz Portugalske, Kitajske in Japonske vemo, da na širjenje borove ogorčice v večji meri vpliva človeški dejavnik, ki s trgovino oziroma predelavo napadenega lesa, širi škodljivca veliko hitreje in na večje razdalje, kot je to v primeru naravnega širjenja, kjer borovo ogorčico širijo kozlički iz rodu *Monochamus* (žagovinarji). To potrjujejo tudi rezultati našega modela, ki ga predstavljamo v nadaljevanju.

Metode dela

Za vrsto modela smo izbrali stohastične celične avtomate (CA) (Lichtenegger, 2005):

-  prostor in čas sta diskretna, mrežo celic opazujemo v določenih časovnih korakih;
-  pri vsakem časovnem koraku vsaka celica zavzame določeno stanje izmed končnega števila stanj;
-  stanje celic se spreminja v skladu s predpisanimi determinističnimi pravili, ki veljajo za vse celice in vse časovne korake;
-  v pravila je vključena naključnost.

Vsak CA je definiran s štirimi med seboj odvisnimi elementi: geometrijo mreže celic, sosedstvom celice, številom stanj, ki jih posamezna celica lahko zavzame, in pravilom za določitev novega stanja celice (Hayes, 1984). V našem primeru smo za geometrijo mreže celic izbrali dvodimenzionalno mrežo kvadratne oblike, prostorska ločljivost 1 km × 1 km. Sosedstvo celice določuje, katere celice bodo vplivale na določitev naslednjega stanja posamezne celice. Za naš model smo izbrali razširjeno Moorovo sosedstvo (Packard in Wolfram, 1985). Vsaka celica lahko zavzame eno od dveh stanj, tj. borova ogorčica je v celici prisotna, borova ogorčica v celici ni prisotna. Časovna ločljivost modela je 1 leto.

Pravila določitve stanja celic

-  Razdalja širjenja. Hitrost širjenja borove ogorčice je v modelu odvisna od gostote gostiteljev.

Pravilo: večja je gostota gostiteljev, manjša je razdalja leta žagovinarja.

- Verjetnost naselitve. Stohastični celični avtomati vključujejo verjetnostno spremenljivko. V našem modelu smo verjetnost vključili z dvema spremenljivkama: povprečna mesečna temperatura julija in sušni stres. Sušni stres smo določili z vodnozadrževalno kapaciteto tal (priredili smo podatke digitalne pedološke karte Slovenije 1:25000) ter z mesečnimi padavinami. Sušni stres smo opredelili kot zaporedno obdobje najmanj dveh mesecev, kjer je v tleh vsebnost vode manjša od 50 % rastlinam dostopne količine.
- Gostota populacije vektorjev. Za Slovenijo nimamo na voljo dovolj podatkov o gostoti populacije vektorjev borove ogorčice, tj. kozličkov iz rodu *Monochamus* (žagovinarji). Zato smo se odločili, da bomo uporabili naslednjo predpostavko: žagovinarji so v Sloveniji splošno prisotni. Pojavijo se v povezavi z odmrliimi iglavci eno leto kasneje upoštevajoč njihov razvojni krog. Zato smo pri simulaciji širjenja borove ogorčice uporabili pravilo +1 leto: gostitelj se posuši zaradi borove ogorčice, v posušenem drevesu se razvijejo žagovinarji, naslednje leto izletijo in širijo borovo uvelost do razdalje 3 km.
- Žarišče, ukrepanje. Žarišče je definirano s krogom, katerega polmer je odvisen od gostote gostiteljev, središče pa s celico, kjer je borova ogorčica. To pravilo je identično pravilu za določitev razdalje širjenja borove ogorčice. Predpostavka: verjetnost, da smo borovo ogorčico z ukrepom (posekom) zaustavili je 99,5 %. Iz posekanih žarišč se lahko širi borova ogorčica še tri leta po poseku zaradi npr. trajanja poseka, možnosti namnožitve v panjih, ostankih ipd. Predpostavka: vsa nova žarišča odkrijemo in jih posekamo.
- Inkubacijska doba. Inkubacijska doba je tri leta. To je doba, katera mora preteči, da se iz začetne točke vnosa borova ogorčica začne širiti v okolico.

Različice izračunov modela

Izbrali smo tri lokacije, ki potencialno predstavljajo največ možnosti za vnos, in iz njih simulirali širjenje borove ogorčice: Luka Koper, Letališče Brnik, Spodnje Hoče. Z razvitim modelom lahko simuliramo širjenje borove ogorčice iz poljubne začetne lokacije in več lokacij na enkrat.

Različice izračunov modela se med seboj razlikujejo po tem, katere skupine gostiteljev upoštevajo, ali ukrepamo in po podnebnih razmerah:

- Upoštevanje gostiteljev: gostitelji so samo bori, upoštevamo vse gostitelje. Predpostavka: gostota in lesna zaloga gostiteljev je konstanta.
- Za vsak primer upoštevanja različnih gostiteljev smo izračunali model z ukrepi ali brez ukrepov. Simulacijo z ukrepi smo ponovili 300 krat, simulacijo brez ukrepov 30 krat. Pri simulaciji z ukrepi smo spremenili pravilo razdalje širjenja v žarišču (na površini ukrepa) tako, da smo domnevali, da bodo vektorji leteli do 3 km ne glede na gostoto gostiteljev.
- Model smo izračunali za tri različne podnebne razmere: sedanje razmere (obdobje 1971-2000), scenarij podnebnih sprememb 2021-2050, scenarij podnebnih sprememb 2061-2091. Pri tem smo predpostavljali, da so podnebne razmere med simulacijo konstantne.

Skupaj smo tako izračunali 36 različic, tj. 12 različic na izbrano izhodišče.

Rezultati

Iz rezultatov simulacij lahko sklepamo, da je za čas trajanja širjenja borove ogorčice bistvenega pomena vstopna točka ter da je naravno širjenje relativno počasen proces, še posebno če imamo v mislih hitro širjenje borove ogorčice na Portugalskem, kjer je človeški dejavnik pripomogel, da se je borova ogorčica razširila na večji del države v dobrih desetih letih. Pomembnost vstopne točke ilustrirajo simulacijski časi za dosego največje možne prostorske razsežnosti borove ogorčice na območju Slovenije. Tako je čas trajanja najkrajši iz Brnika, tj. iz središča Slovenije, in najdaljši iz Kopra: naravno širjenje borove ogorčice iz Brnika ob ne ukrepanju z upoštevanjem sedanjih podnebnih razmer in vseh gostiteljev bi trajalo povprečno 200 let, iz Kopra 294 let, iz Hoč 233 let (preglednica 1).

Preglednica 1: Trajanje simulacij naravnega širjenja borove ogorčice v Sloveniji

Različica simulacije				Trajanje (let)		Št. pon.	St. odklon
Kraj	Podnebje	Ukrep	Gostitelji	Najmanj	Povprečno		

Brnik	1971-2000	Ne	bori	181	199,8	221	30	10,1
Brnik	1971-2000	Ne	vsi	189	200,6	223	30	8,2
Brnik	1971-2000	Da	bori	3	3,8	21	300	2,2
Brnik	1971-2000	Da	vsi	3	3,6	16	300	1,8
Brnik	2021-2050	Ne	bori	116	132,4	146	30	8,1
Brnik	2021-2050	Ne	vsi	138	147,5	164	30	6,2
Brnik	2021-2050	Da	bori	3	4	20	300	2,8
Brnik	2021-2050	Da	vsi	3	4	22	300	2,7
Brnik	2061-2090	Ne	bori	99	100,7	106	30	1,3
Brnik	2061-2090	Ne	vsi	108	108,5	113	30	1
Brnik	2061-2090	Da	bori	3	4,3	22	300	3,1
Brnik	2061-2090	Da	vsi	3	3,9	24	300	2,8
Hoče	1971-2000	Ne	bori	266	280,5	300	30	7,9
Hoče	1971-2000	Ne	vsi	213	233	247	30	8,4
Hoče	1971-2000	Da	bori	3	4	19	300	2,9
Hoče	1971-2000	Da	vsi	3	3,9	30	300	2,8
Hoče	2021-2050	Ne	bori	181	190,3	204	30	5,2
Hoče	2021-2050	Ne	vsi	168	199,4	234	30	12
Hoče	2021-2050	Da	bori	3	3,9	24	300	2,9
Hoče	2021-2050	Da	vsi	3	4,1	21	300	3
Hoče	2061-2090	Ne	bori	137	141,2	146	30	2,7
Hoče	2061-2090	Ne	vsi	143	150,1	163	30	4,7
Hoče	2061-2090	Da	bori	3	4,1	27	300	3
Hoče	2061-2090	Da	vsi	3	4,3	20	300	3,3
Koper	1971-2000	Ne	bori	276	291,5	307	30	8,3
Koper	1971-2000	Ne	vsi	268	294,2	337	30	12,5
Koper	1971-2000	Da	bori	3	4,7	17	300	3
Koper	1971-2000	Da	vsi	3	4,8	21	300	3,3
Koper	2021-2050	Ne	bori	177	199,5	222	30	10,4
Koper	2021-2050	Ne	vsi	182	199,8	217	30	7,8
Koper	2021-2050	Da	bori	3	4,8	22	300	3,3
Koper	2021-2050	Da	vsi	3	4,8	24	300	3,4
Koper	2061-2090	Ne	bori	148	150,1	157	30	2,1
Koper	2061-2090	Ne	vsi	149	150,2	155	30	1,7
Koper	2061-2090	Da	bori	3	5	18	300	3,2
Koper	2061-2090	Da	vsi	3	5	17	300	3,2

Podnebne razmere bi lahko zelo vplivale na trajanje in s tem na hitrost širjenja borove ogorčice. Trajanje se bi z upoštevanjem scenarija podnebnih sprememb 2061-2090 skrajšalo skoraj za polovico, na primeru vstopne točke Brnik iz 200 na 108 let, Koper iz 294 na 150 let, Hoče iz 233 na 150 let povprečno.

Simulacija je v primeru ukrepanja trajala največ 30 let. Simulacija je pri upoštevanju trenutnih podnebnih razmer in vseh gostiteljev iz vstopne točke Brnik povprečno trajala 3,6 let, Koper 4,8 let, Hoče 3,9 let. Toplejše podnebje je simulacijo v primeru ukrepanja podaljšalo zaradi ugodnejših pogojev za širjenje borove ogorčice: na primeru vstopne točke Brnik iz 3,6 na 3,9 let, Koper iz 4,8 na 5,0 let, Hoče iz 3,9 na 4,3 let.

Povprečna hitrost širjenja v primerih brez ukrepanja je bila 0,65-0,92 (0,78 povprečno) km leto⁻¹, v primeru toplejšega podnebja pa je bilo širjenje hitrejše, tj. 0,84-1,64 km leto⁻¹ (preglednica 2).

Ukrepanje je borovo ogorčico zaustavljalo, povprečna hitrost širjenja je bila v primeru ukrepanja 0,36 km leto⁻¹, v primeru toplejšega podnebja 0,42 km leto⁻¹.

Preglednica 2: Potencialna hitrost naravnega širjenja borove ogorčice v Sloveniji

Kraj	Različica simulacije			Hitrost širjenja (km/leto)		
	Podnebje	Ukrep	Gostitelji	Najmanj	Povprečno	Največ
Brnik	1971-2000	Ne	bori	0,65	0,72	0,79
Brnik	1971-2000	Ne	vsi	0,71	0,79	0,84
Brnik	1971-2000	Da	bori	0	0,26	0,92
Brnik	1971-2000	Da	vsi	0	0,22	1,41
Brnik	2021-2050	Ne	bori	0,98	1,08	1,24
Brnik	2021-2050	Ne	vsi	0,97	1,08	1,15
Brnik	2021-2050	Da	bori	0	0,31	0,98
Brnik	2021-2050	Da	vsi	0	0,32	0,93
Brnik	2061-2090	Ne	bori	1,36	1,43	1,45
Brnik	2061-2090	Ne	vsi	1,41	1,47	1,47
Brnik	2061-2090	Da	bori	0	0,4	1
Brnik	2061-2090	Da	vsi	0	0,34	1,1
Hoče	1971-2000	Ne	bori	0,66	0,7	0,74
Hoče	1971-2000	Ne	vsi	0,8	0,85	0,92
Hoče	1971-2000	Da	bori	0	0,3	1,17
Hoče	1971-2000	Da	vsi	0	0,3	0,95
Hoče	2021-2050	Ne	bori	0,96	1,03	1,08
Hoče	2021-2050	Ne	vsi	0,84	0,98	1,17
Hoče	2021-2050	Da	bori	0	0,29	1,04
Hoče	2021-2050	Da	vsi	0	0,35	1,3
Hoče	2061-2090	Ne	bori	1,34	1,39	1,43
Hoče	2061-2090	Ne	vsi	1,2	1,31	1,37
Hoče	2061-2090	Da	bori	0	0,34	0,83
Hoče	2061-2090	Da	vsi	0	0,4	1,31
Koper	1971-2000	Ne	bori	0,73	0,77	0,81
Koper	1971-2000	Ne	vsi	0,73	0,83	0,92
Koper	1971-2000	Da	bori	0	0,53	1,03
Koper	1971-2000	Da	vsi	0	0,56	0,8
Koper	2021-2050	Ne	bori	1,01	1,12	1,26
Koper	2021-2050	Ne	vsi	1,13	1,22	1,34
Koper	2021-2050	Da	bori	0	0,54	0,89
Koper	2021-2050	Da	vsi	0	0,56	1,17
Koper	2061-2090	Ne	bori	1,42	1,49	1,51
Koper	2061-2090	Ne	vsi	1,58	1,63	1,64
Koper	2061-2090	Da	bori	0	0,61	0,89
Koper	2061-2090	Da	vsi	0	0,64	0,98

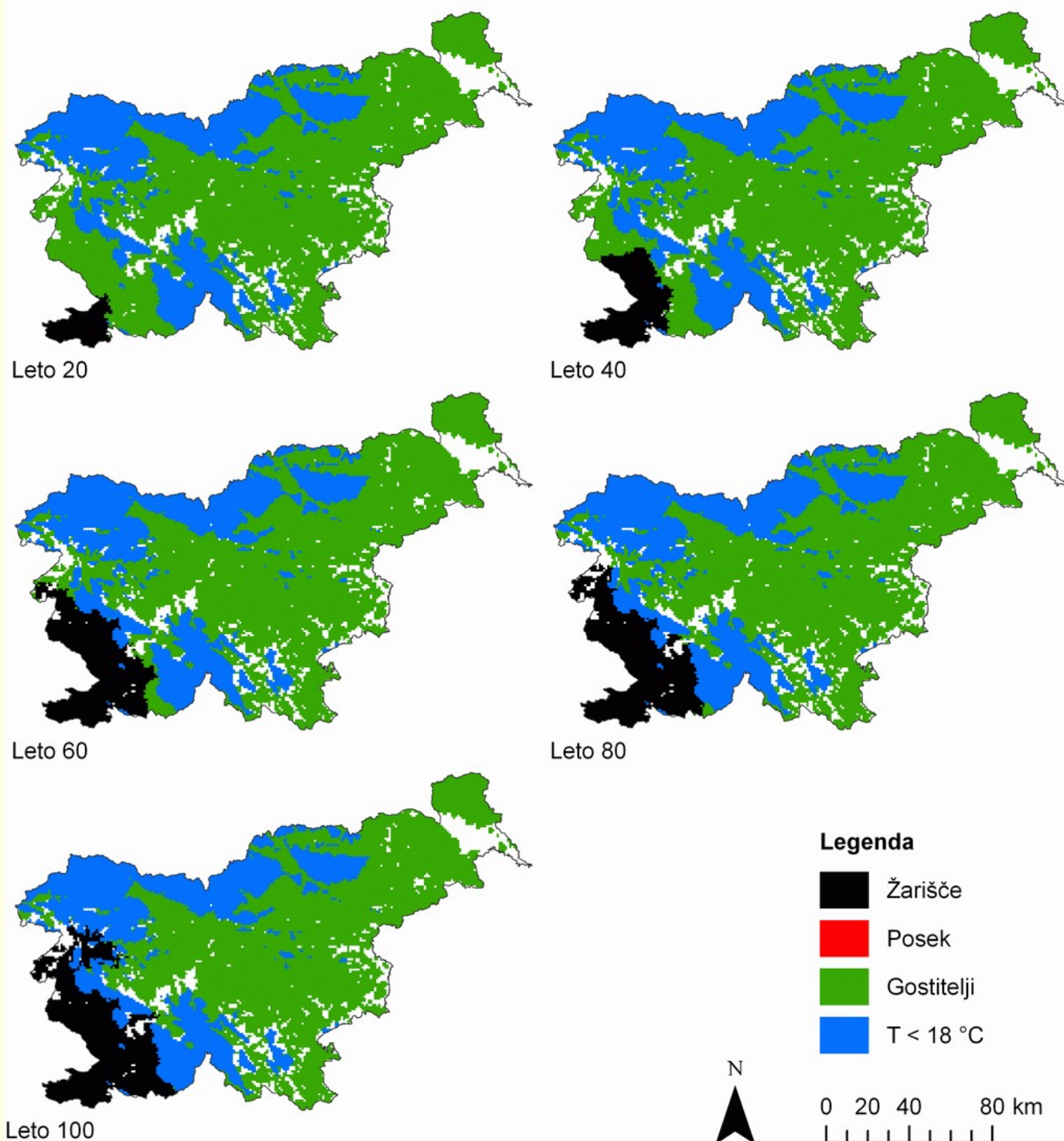
Iz rezultatov simulacij lahko sklepamo, da bodo ukrepi potencialno zelo učinkoviti, saj bi večino vnosov borove ogorčice zatrli že po treh letih, tj. za primer vnosa v Brnik 83-85,3 %, v Hoče 81,3-84,7 %, v Koper 60,3-66,7 %. V Kopru bi v prvih treh letih zatrli značilno manj primerov kot v primeru vnosa v Brnik ali Hoče. Razlog za to je predvsem v ugodnejših podnebnih razmerah za širjenje borove ogorčice v submediteranskem okolju (predvsem je prisoten sušni stres že v trenutnih podnebnih razmerah). V 10 letih od vnosa bi z ukrepi potencialno zatrli že skoraj vse primere, tj. v primeru

Brnika 95,7-98,3 %, Hoč 91,3-94,0 % in Kopra 91,0-92 %. Dokončno bi po najbolj pesimističnem scenariju z ukrepi zatrli borovo ogorčico v 30. letih.

Primer: vstopno mesto Luka Koper

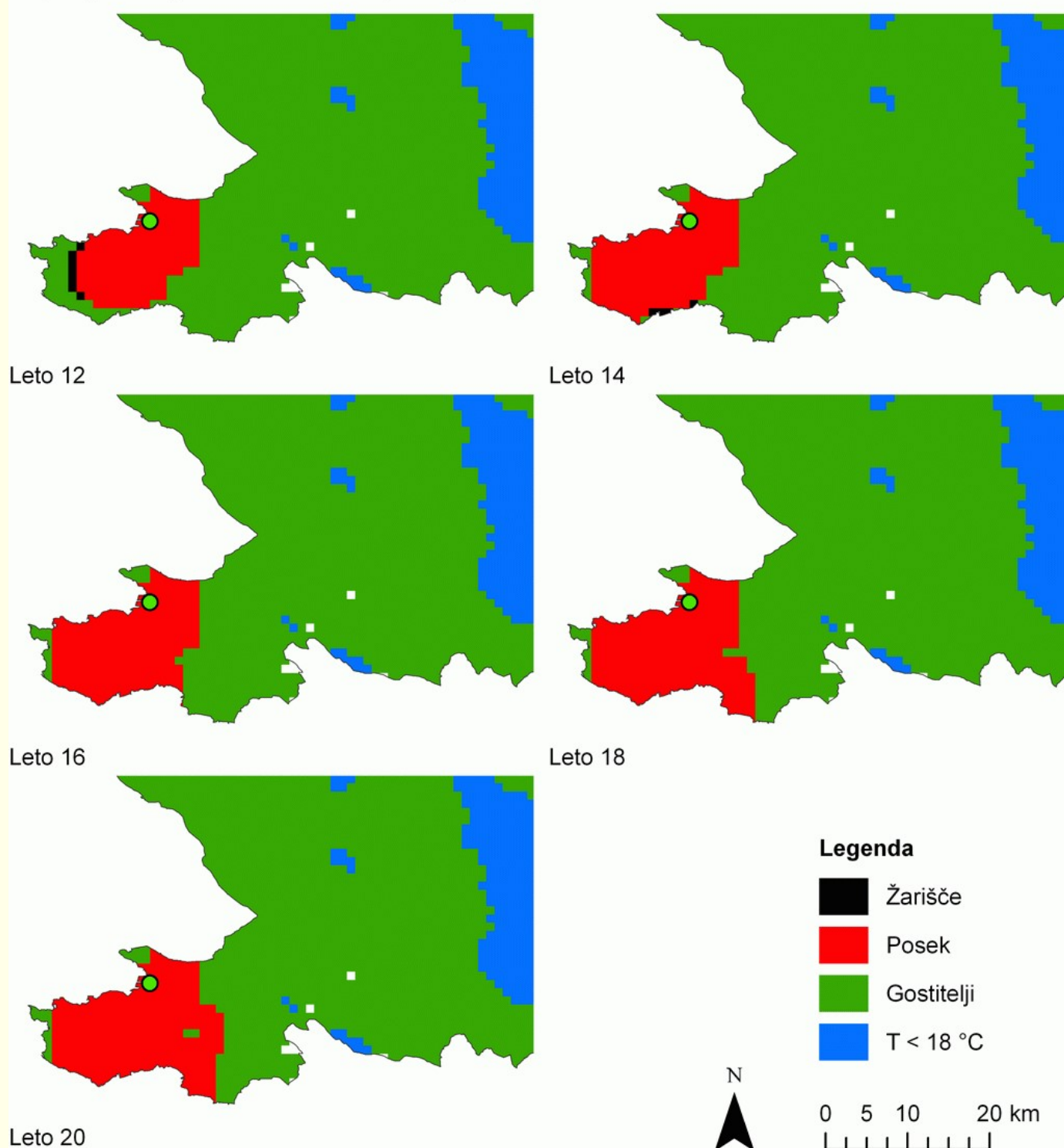
Iz kart simulacije lahko razberemo dve naravni oviri za borovo ogorčico (slika 1 in 2). Prvo predstavlja temperaturna omejitev, ko je povprečna mesečna temperatura julija manjša kot 18 °C in se geografsko razteza v črti Snežnik - Javorniki - Hrušica - Trnovski gozd. Druga geografska ovira je vidna predvsem pri primeru, ko vzamemo za gostitelje samo bore in jo predstavlja dolina reke Mure, tj. Ravensko in Dolinsko, kjer skoraj ni primernih gostiteljev za borovo ogorčico. To sta dve naravni oviri, ki bi jih lahko uporabili za upočasnitev širjenja borove ogorčice iz obeh strani, tj. iz notranjosti Slovenije proti obali ali obratno in notranjosti proti Goričkem ali obratno. Naravno podnebno oviro Dinarskega gorstva bi lahko borova ogorčica predrila pri Postojna - Rakek in Tolmin - Idrija. Pri toplejšem podnebju, kot ga predvidevata scenarija podnebnih sprememb, bo ta naravna ovira skoraj v celoti izginila. Temperaturna ovira je prav tako podprta z gostitelji, saj na podobnem območju ni borov, gostiteljski most se sklada s temperaturnim mostom pri Postojni in Idriji.

Koper, podnebje: 1971–2000, ukrep: ne, gostitelji: bori



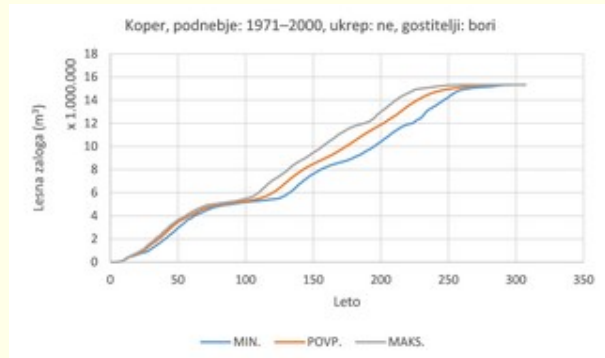
Slika 1: Karte potencialnega naravnega širjenja borove ogorčice v Sloveniji. Izbrana ponovitev simulacije za primer vstopne točke Koper z upoštevanjem podnebja 1971-2000, gostitelji so bori za 20., 40., 60., 80. in 100. leto po vnosu.

Koper, podnebje: 1971–2000, ukrep: da, gostitelji: vsi

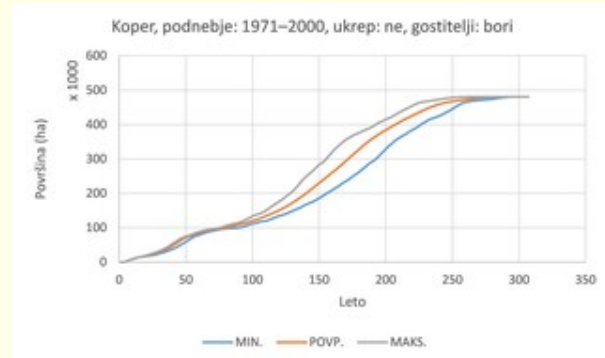


Slika 2: Karte potencialnega naravnega širjenja borove ogorčice v Sloveniji v primeru, ko bi izvajali ukrepe. Izbrana ponovitev simulacije za primer vstopne točke Koper z upoštevanjem podnebja 1971-2000, gostitelji so bori za 12., 14., 16., 18. in 20. leto po vnosu.

Pri grafikonih primera simulacij za sedanje podnebne razmere se v začetku grafikona nekoliko upočasni zaradi naravne temperaturne ovire in pomanjkanja gostiteljev na črti Snežnik - Javorniki - Hrušica - Trnovski gozd (slika 3 in 4). Nato se razpon možne poškodovane lesne zaloge in površine razširi, ko prehaja širjenje v osrednjo Slovenijo, in na koncu se ustali.

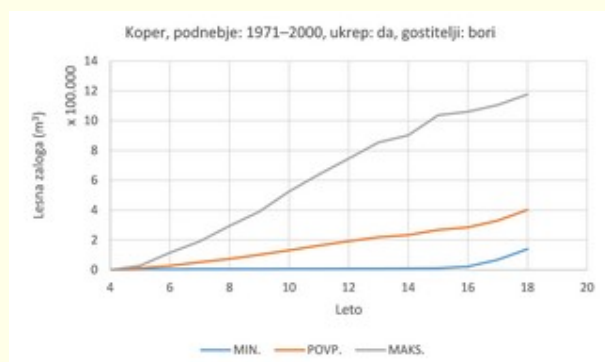


Slika 3: Potencialno poškodovana lesna zaloga zaradi naravnega širjenja borove ogorčice v Sloveniji. Primer simulacije širjenja iz vstopnega mesta Koper, upoštevanje podnebja 1971-2000, brez ukrepanja in gostitelji so samo bori.

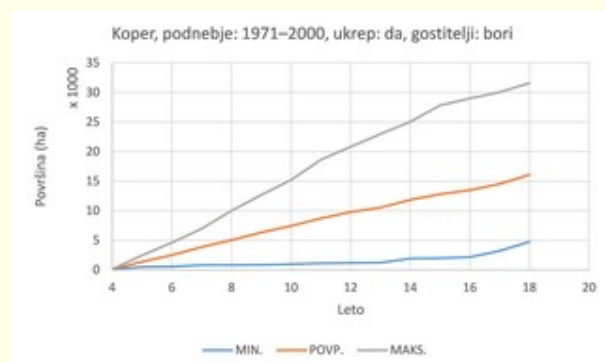


Slika 4: Potencialno poškodovana površina zaradi naravnega širjenja borove ogorčice v Sloveniji. Primer simulacije širjenja iz vstopnega mesta Koper, upoštevanje podnebja 1971-2000, brez ukrepanja in gostitelji so samo bori.

Pri grafikoni, kjer prikazujemo potencialno poškodovano lesno maso in površino v primeru ukrepanja, najprej opazimo, da je obdobje trajanje simulacije krajše, saj z ukrepanjem končno borovo ogorčico zaustavimo (slika 5 in 6). Razpon med minimalno in maksimalno črto je relativno večji kot pri različici simulacije brez ukrepanja.



Slika 5: Potencialno poškodovana lesna zaloga zaradi naravnega širjenja borove ogorčice v Sloveniji. Primer simulacije širjenja iz vstopnega mesta Koper, upoštevanje podnebja 1971-2000, ukrepi so se izvajali in gostitelji so samo bori.



Slika 6: Potencialno poškodovana površina zaradi naravnega širjenja borove ogorčice v Sloveniji. Primer simulacije širjenja iz vstopnega mesta Koper, upoštevanje podnebja 1971-2000, ukrepi so se izvajali in gostitelji so samo bori.

Ob upoštevanju vseh gostiteljev in trenutnih podnebnih razmer bi borova ogorčica potencialno poškodovala 447.980 m³ v 22 letih (na 18.322 ha), po pesimističnem scenariju pa tudi do 1,2 Mm³ lesne zaloge na površini 38.372 ha. Pri upoštevanju scenarija podnebnih sprememb za obdobje 2021-2050 se bi lahko potencialne poškodbe pojavile že na 793.644 m³ (21.603 ha) oz. po maksimalnem izidu simulacij tudi do 1,9 Mm³ (40.324 ha) v 25 letih.

Simulacije

Izbrane simulacije si lahko ogledamo v živo. Na voljo imamo izbrane simulacije naravnega širjenja borove ogorčice v Sloveniji za vseh 36 različic izračunov. V seznamu slojev lahko vklopimo ali izklopimo poljubne simulacije. Paziti moramo, da vklopimo smiselne kombinacije. Če si želimo ogledati primer simulacije, ko so upoštevani vsi gostitelji, scenarij podnebja 2061-2090 in ukrepanje, vključimo naslednje sloje: 1) Vsi gostitelji 2061-2090, ukrep, 2) Vsi gostitelji 2061-2090, ukrep-posek, 3a) Omejitev temp. 2061-2090 (°C), ali 3b) Temperatura 2061-2090 (°C), 4a) Vsi gostitelji, ali 4b) Gostota - vsi gostitelji (št. dreves/ha). Če si želimo ogledati primer simulacije, ko so za gostitelje upoštevani samo bori, podnebja 2021-2050 in brez ukrepanja, vključimo naslednje sloje: 1) Bori 2061-2090, 2a) Omejitev temp. 2021-2050 (°C), ali 2b) Temperatura 2021-2050 (°C), 3a) Bori, ali 3b) Gostota - bori (št. dreves/ha). Na podobne način lahko pridemo do ostalih smiselnih kombinacij simulacije.

Zahvala

Simulacijo naravnega širjenja borove ogorčice v Sloveniji smo izvedli v okviru CRP projekta Ogroženost naših gozdov zaradi borove ogorčice *Bursaphelenchus xylophilus* (V4-1075), ki sta ga sofinancirala Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije in Ministrstvo za kmetijstvo in okolje v obdobju 1. 10. 2010-30. 9. 2013.

Karte

Nekatere podatke s prognoze si lahko ogledamo na [karti](#).



Viri

- Hayes B. 1984. Computer recreations: the cellular automaton offers a model of the world and a world unto itself. *Scientific American*, 250, 3: 12-21
- Lichtenegger K. 2005. Stochastic cellular automata models in disease spreading and ecology. Diploma thesis. Graz, Karl-Franzens Universität Graz, Faculty of science: 96 str.
- Packard N.H., Wolfram S. 1985. Two-dimensional cellular automata. *Journal of Statistical Physics*, 38: 901-946
- Širca S. 2013. Ogroženost naših gozdov zaradi borove ogorčice *Bursaphelenchus xylophilus* (V4-1075). Ljubljana, Kmetijski inštitut Slovenije, Gozdarski inštitut Slovenije, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: 218 str.

Citiranje: Nikica OGRIS, Matej KNAPIČ, Maja JURČ, Gregor UREK, Saša ŠIRCA. 2013. Simulacija naravnega širjenja borove ogorčice v Sloveniji 2000-2100. Napovedi o zdravju gozdov, 2013. URL: https://www.zdravgozd.si/prognoze_zapis.aspx?idpor=10. DOI: [10.20315/NZG.10](https://doi.org/10.20315/NZG.10)