

## SIMULACIJA POTENCIALNEGA ŠIRJENJA BOROVEGA SMOLASTEGA RAKA (*Fusarium circinatum*) V SLOVENIJI

Nikica OGRIS<sup>1</sup>

Gozdarski inštitut Slovenije, Ljubljana

### IZVLEČEK

Gliva *Fusarium circinatum* povzroča bolezen borov, ki jo po značilnih rakastih razjedah na deblu in vejah ter obilnem izcejanju smole imenujemo borov smolasti rak. Podnebne razmere za ustalitev bolezni v Sloveniji so ustrezne in njeni gostitelji so zelo razširjeni, zato obstaja veliko tveganje njenega vnosa in širjenja. Njeno širjenje in verjetnost naselitve v Sloveniji smo simulirali z modelom, ki so ga razvili Mõykkynen *et al.* (2015) v obliki računalniške aplikacije. Model je stohastičen celičen avtomat, pri katerem lahko uporabnik nastavi vrsto vhodnih parametrov (gostitelji, ekoklimatski indeks, začetne lokacije širjenja in datoteko z osnovnimi parametri). Rezultat modela je karta tveganja, ki nam poda verjetnost, da se je bolezen razširila na določeno lokacijo do določenega časa. Prostorska ločljivost modela je 1 km × 1 km. Širjenje bolezni smo simulirali iz štirih lokacij (Muta, Prestranek, Koper in Tolmin) v obdobju 20 let. Simulacijo smo ponovili 10-krat. Izračunali smo ekoklimatski indeks za *F. circinatum* na območju Slovenije, ki je bil optimalen samo na 0,6 %, ustrezen na 28 % in neustrezen na 45,7 % površine Slovenije. V simulacijah se je borov smolasti rak v 20 letih razširil na 47,1 % modelskih celic, kjer se pojavljajo gostitelji. Iz Mute bi se bolezen razširila do Brnika na zahodu in do Ljutomera na vzhodu, tj. 65–85 km od izhodišča, kar v povprečju pomeni 3,3–4,3 km/leto. Najhitrejšo širjenje borovega smolastega raka je bilo v prvih 5–7 letih, ko se je okužilo 20,7 % modelskih celic. Uporabnost modela se bo pokazala predvsem v primeru, ko bo škodljivi organizem vnesen v Slovenijo. Takrat bomo lahko model ponovno zagnali in simulirali verjetnost širjenja iz dejanske točke vnosa, kar nam bo lahko v pomoč pri postavitvi prioriteten območjih, kjer naj se intenzivirajo fitosanitarni pregledi in ostali ukrepi proti zaustavljanju ter izkoreninjanju tega škodljivega organizma.

**Ključne besede:** model, simulacija, ekoklimatski indeks, *Gibberella circinata*, Slovenija

### ABSTRACT

#### THE SIMULATION OF POTENTIAL SPREAD OF PINE PITCH CANKER (*Fusarium circinatum*) IN SLOVENIA

---

<sup>1</sup> dr., Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, e-pošta: nikica.ogris@gozdis.si

The fungus *Fusarium circinatum* causes pine pitch canker disease. Climatic conditions for the disease establishment in Slovenia are favourable and its' hosts are widespread, therefore, there is high risk of its' introduction and spread. We simulated potential spread and probability of the disease establishment in Slovenia with a model, that was developed by Möykkynen *et al.* in the form of computer application. The model is stochastic cellular automata, where a user can control number of input parameters (hosts, ecoclimatic index, introduction locations and a file with basic model settings). A result of the model is a risk map that shows probability that the pathogen has reached a certain location by certain year. The spatial resolution of the model is 1 km × 1 km. We simulated the disease spread from four locations (Muta, Prestranek, Koper and Tolmin) in the period of 20 years. The simulation was repeated 10 times. We calculated ecoclimatic index for *F. circinatum* in Slovenia, that was optimal on 0.6 %, suitable on 28 %, and unsuitable on 45.7 % of the whole area of Slovenia. The pine pitch canker has spread in 47.1 % of model cells in 20 years of the simulations. The disease would spread from Muta to Brnik on the west and to Ljutomer on the east, i.e. 65–85 km from the introduction point, i.e. the average spread rate was 3.3–4.3 km/year. The fastest spread of the pine pitch canker was in the first 5–7 years of the simulations, when 20.7 % of suitable model cells were infected. An applicability of the model will be best demonstrated in a case, when the fungus will be actually introduced into Slovenia. Then we will be able to run the model again to simulate the probability of the spread from actual introduction location. This will enable to plan priority locations for phytosanitary surveys and other measures for limiting further spread and eradication of the disease accordingly.

**Key words:** model, simulation, ecoclimatic index, *Gibberella circinata*, Slovenia

## 1 UVOD

Borov smolasti rak je bolezen borov, ki ga povzroča gliva *Fusarium circinatum* Nirenberg & O'Donnell. V Evropski skupnosti je bolezen regulirana z Odločbo Komisije o začasnih nujnih ukrepih za preprečevanje vnosa glive *Gibberella circinata* Nirenberg & O'Donnell v Skupnost in njenega širjenja v Skupnosti (2007/433/ES) (Ogris *et al.*, 2015).

Gliva verjetno izvira iz Severne Amerike. Bolezen so prvič ugotovili leta 1946 v Severni Karolini v ZDA, nato v Kaliforniji (1986), na Japonskem (1990), v Južni Afriki (1994), Mehiki (1999) in Čilu (2001). V Evropo je bila vnesena na začetku 21. stoletja. Leta 2005 so jo prvič zasledili v Španiji, pozneje pa še v Italiji, Franciji in na Portugalskem. V Italiji in Franciji so jo izkoreninili.

Okužuje bore (*Pinus* spp.) in navadno ameriško duglazijo (*Pseudotsuga menziesii*). Duglazija je pomembna za prenos bolezni, vendar se na njej poškodbe ne pojavljajo.

Gliva *F. circinatum* okužuje borovo skorjo in povzroča njeno odmiranje, smolenje in nastanek raka. Okužba se opravi z makrokonidiji in/ali mikrokonidiji, ki jih prenaša veter ali žuželke. Teleomorf (spolna oblika z askosporami) gliva oblikuje le v čisti kulturi, v naravi ga še niso našli. Gliva okuži gostiteljsko drevo samo skozi rano, ne pa tudi skozi nepoškodovano skorjo.

Žuželke imajo pri širjenju borovega smolastega raka dvojni pomen: (1) lahko prenašajo trose, (2) s svojim delovanjem povzročajo rane, skozi katere gliva lahko okuži drevo. Najpogostejši prenašalci konidijev glive *F. circinatum* so naslednje žuželke: *Pityophthorus* spp., *Ips* spp., *Conophthorus* spp., *Ernobius punctulatus*, *Rhyacionia* spp., *Pissodes nemorensis* in *Aphrophora canadensis*.

Za uspešno okužbo je neobhodna vlaga. Borov smolasti rak je pogostejši na lokacijah z večjo zračno vlažnostjo in višjimi temperaturami, kot je npr. priobalna Kalifornija. Okuženi so lahko tudi storži in semena, poleg tega pa so trosi glive tudi na površju semena. Uporaba okuženega semena povzroči poleganje klic in propad sejank.

V oceni tveganja, ki jo je za borov smolasti rak izdelala EFSA (2010), ugotavljajo, da so možnosti za širjenje glive na območju Evropske skupnosti razmeroma velike. Gostitelji glive so razširjeni na celotnem območju skupnosti, tudi podnebne razmere so zlasti na Portugalskem, severu in vzhodu Španije, v južnih in priobalnih predelih Francije in Italije ter v Grčiji ustrezne za razvoj in razmnoževanje glive. Borov smolasti rak v Sloveniji do sedaj še ni bil najden. Podnebne razmere za ustalitev bolezni v Sloveniji so ustrezne in njeni gostitelji so splošno razširjeni, zato predvidoma obstaja veliko tveganje za vnos in širjenje borovega smolastega raka tudi pri nas.

Möykkynen *et al.* (2015) so v okviru projekta ISEFOR (Pukkala in Möykkynen, 2014) razvili simulator širjenja in verjetnosti naselitve borovega smolastega raka v Evropi. Cilj naše raziskave je bil uporabiti njihov model in simulirati širjenje borovega smolastega raka iz štirih točk v Sloveniji.

214

## 2 MATERIALI IN METODE

Model za simulacijo širjenja in verjetnosti naselitve borovega smolastega raka je celični avtomat, pri katerem lahko uporabnik nastavi vrsto vhodnih parametrov. Model je stohastične narave, kar pomeni, da ena simulacija predstavlja samo eno od možnosti, zato moramo simulacije ponoviti, da dobimo končni rezultat. Rezultat modela je karta tveganja, ki nam poda verjetnost, da se je bolezen razširila na določeno lokacijo do določenega časa. V nadaljevanju podajamo kratek opis simulatorja, detajlni opis modela pa je na voljo v izvirnem prispevku Möykkynen *et al.* (2015).

### 2.1 Vhodni parametri

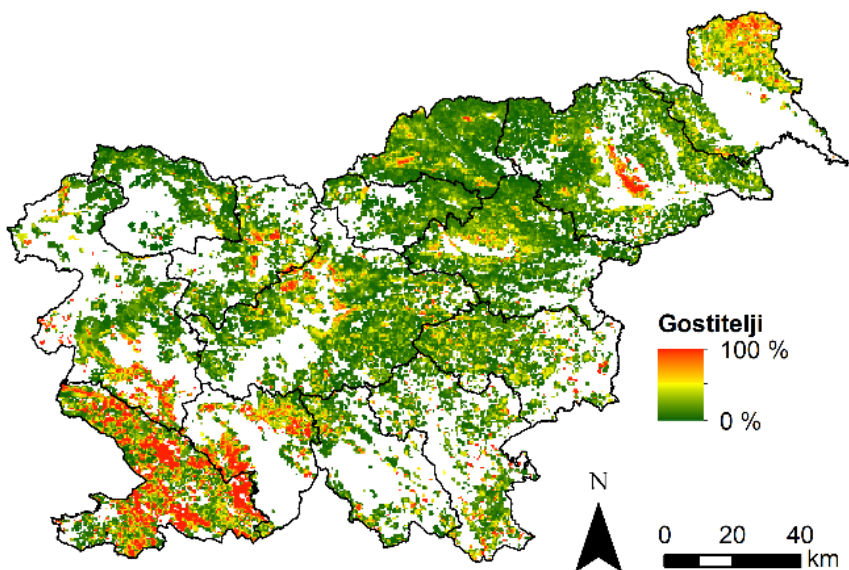
Vhodni parametri za simulator širjenja *F. circinatum* so naslednje spremenljivke: gostitelji, ekoklimatski indeks in vhodne lokacije. Vhodne parametre modela lahko nastavimo v grafičnem uporabniškem vmesniku, kjer nastavimo nazive vhodnih in izhodnih datotek. Poleg slednjih lahko nastavimo tudi število simulacij, število let v posamezni simulaciji in vrednost prvega leta simulacije.

Ločljivost rezultatov modela ISEFOR je privzeto dvakratna ločljivost rastra gostiteljev. Izhodno ločljivost lahko nastavimo v nastavitveni datoteki kot večkratnik izvirne ločljivosti rastra gostiteljev.

### 2.2 Gostitelji

Pripravili smo karto razširjenosti gostiteljev v ločljivosti 500 × 500 m. Karto razširjenosti gostiteljev smo pripravili na podlagi podatkovne zbirke Gozdni fondi (ZGS, 2015a) in karte gozdnih sestojev (ZGS, 2015b), ki ju ureja Zavod za gozdove Slovenije. Vrednost rastrske celice pomeni delež lesne zaloge gostiteljev v celici (slika 1). Za borov smolasti rak smo upoštevali naslednje gostiteljske rastline: *Pinus nigra*, *Pinus sylvestris*, *Pinus mugo*, *Pinus strobus*, ostali bori in *Pseudotsuga menziesii*. V eni celici lahko nastopa več gozdnih sestojev z različnimi gostitelji. Skupen delež gostiteljev v lesni zalogi modelske celice smo izračunali kot ponderirano vrednost deležev lesne zaloge gostiteljev v gozdnih sestojih, kjer je bila utež površina gozdnega sestoja. Rastrsko mrežo gostiteljev smo uskladili z mrežo podnebnih spremenljivk.

215



Slika 1: Gostitelji borovega smolastega raka (*Fusarium circinatum*) v Sloveniji (izraženo v deležu lesne zaloge v modelski celici) (pripravil N. Ogris, grafična podlaga GGO, ZGS).

### 2.3 Ekoklimatski indeks (EI)

Ekoklimatski indeks (EI) smo izračunali po metodologiji modela CLIMEX (Kriticos *et al.*, 2015). Nismo uporabili programske opreme CLIMEX, ker je bila prostorska ločljivost produktov preslaba, tj. 10 km × 10 km. Naš cilj je bil izdelati ekoklimatski indeks obravnavanih škodljivih organizmov v ločljivosti 1 km × 1 km. Zato smo uporabili metode in formule modela CLIMEX in razvili svoje algoritme za izračun EI v programskem okolju Microsoft Visual Studio 2015, programskega okvirja Microsoft .NET Framework 4.5 in knjižnice GDAL (2016).

Ekoklimatski indeks vključuje indeks letne rasti ( $GI_A$ ), ki opisuje potencial rasti populacije, letne strese, ki omejujejo preživetje skozi neugodne razmere in kateri koli omejujoči dejavnik, npr. dolžina sezone rasti, diapavza. Zelo majhno število podnebnij je

100 % ustreznih za razvoj škodljivega organizma skozi celo leto, zato vrednost  $GI_A$  redko doseže svoj absolutni potencial, kar posledično omejuje maksimalno vrednost EI. Zato je EI splošna mera za potencial določene lokacije, ki omogoča trajni razvoj populacije obravnavanega organizma.

EI ima vrednosti na intervalu med 0 in 100, kjer vrednosti blizu 0 označujejo lokacijo, ki ni ustrezna za dolgoročno preživetje vrste. EI vrednosti 100 so dosežene samo v konstantnih in idealnih razmerah, kot so npr. v inkubatorjih. EI večji kot 20 predstavlja zelo ustrezno podnebje za preživetje obravnavane vrste.

## 2.4 Parametri simulacije *Fusarium circinatum*

Poleg gostiteljev in ekoklimatskega indeksa so vhodni parametri še osnovni parametri (preglednica 1) in vhodne lokacije (preglednica 2). Za vhodne lokacije smo izbrali dve gozdni drevesnici v Muti in Prestranku, Luko Koper (mednarodna trgovina) in Tolmin, kjer je ekoklimatski indeks zelo ugoden za razvoj *F. circinatum*.

Preglednica 1: Parametri modela *Fusarium circinatum* (Möykkynen et al., 2015).

Parameter	Vrednost	Vir vrednosti parametra
maksimalna razdalja letenja trosov	1.300 m	literatura
povprečna razdalja letenja trosov	280 m	literatura
maksimalna razdalja transporta sadik iz drevesnic	260 km	spremenljivka
število prenosov trosov na okuženo pošiljko sadik	100	predpostavka, spremenljivka
največja gostota gostiteljev	500 dreves/ha	spremenljivka
število okuženih žuželk na drevo, ki lahko prenesejo bolezen	1	predpostavka
število poskusov napada žuželke, da najde primerno drevo gostitelja	10	predpostavka
maksimalna dolžina leta žuželke	4.500 m	literatura
povprečna dolžina leta žuželke	1.000 m	literatura
število let, ko okuženo drevo ostane okuženo s potencialom nadaljnega širjenja bolezni	5 let	predpostavka

\*Vse parametre lahko spreminjamo.

Preglednica 2: Vstopne lokacije *Fusarium circinatum* uporabljene v naši raziskavi.

Kraj	X (m)	Y (m)	Št. prenosov	Prvo leto prenosa	Zadnje leto prenosa
Muta	511930	161740	10	1	20
Prestranek	436900	066800	10	1	20
Koper	402000	046000	10	1	20
Tolmin	403500	116000	10	1	20

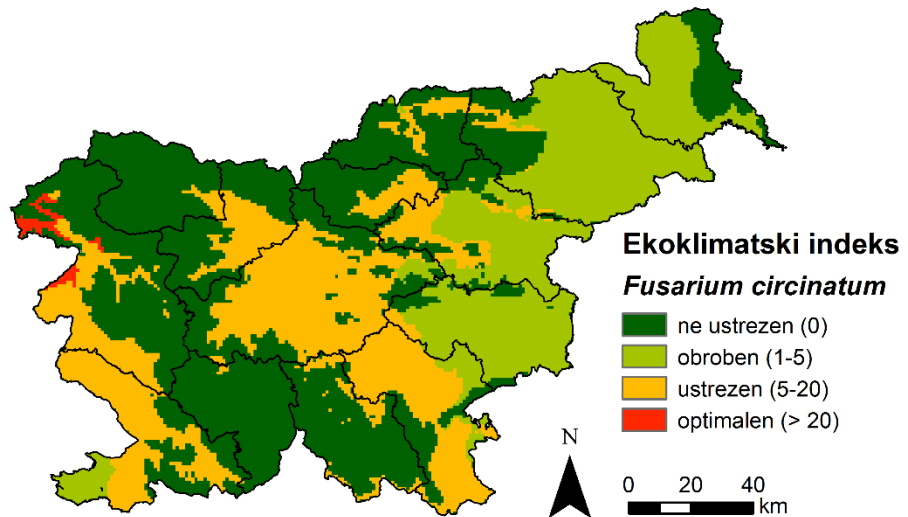
Trajanje simulacije smo nastavili na 20 let. Simulacijo smo ponovili 10-krat. Rezultat je bila karta verjetnosti okužbe s *F. circinatum*. Rezultat simulatorja je bila tudi rastrska karta s prvim letom okužbe, ki omogoča vizualizacijo časovnega poteka širjenja bolezni. Dodaten rezultat je karta, ki prikazuje število okuženih dreves v vsaki celici.

Rezultat simulatorja je tudi podatek o številu dreves, ki lahko širijo bolezen v določenem letu simulacije.

### 3 REZULTATI IN RAZPRAVA

Ekoklimatski indeks (EI) za *F. circinatum* je bil optimalen samo na 0,6 % Slovenije in se navezuje na območje Posočja od Bovca do Nove Gorice (slika 2, preglednica 3). Ustrezen EI je pokrival 28 % površine Slovenije in je obsegal predele v zahodni in osrednji Sloveniji razen v vzhodnem in severovzhodnem delu. Največji delež površin z ustreznim EI je bil v GGO Ljubljana, Novo mesto, Sežana in Tolmin. Obrobni EI je obsegal 25,7 % površine Slovenije in je obsegal predele ob morju in vzhodni Sloveniji. Neustrezen EI za *F. circinatum* je obsegal skoraj polovico Slovenije (45,7 %), tj. vse višje ležeče predele kot so Alpe, Karavanke in Dinarsko gorstvo ter predel s celinskim podnebjem, tj. skrajni severovzhodni del. Izračunan EI za *F. circinatum* v Sloveniji je razkril naravno oviro, ki bi lahko preprečila naravno širjenje borovega smolastega raka iz zahodne in jugozahodne Slovenije v notranjost države oz. obratno, tj. Dinarsko gorstvo in Alpe.

217



Slika 2: Ekoklimatski indeks za *Fusarium circinatum* v Sloveniji (pripravil N. Ogris).

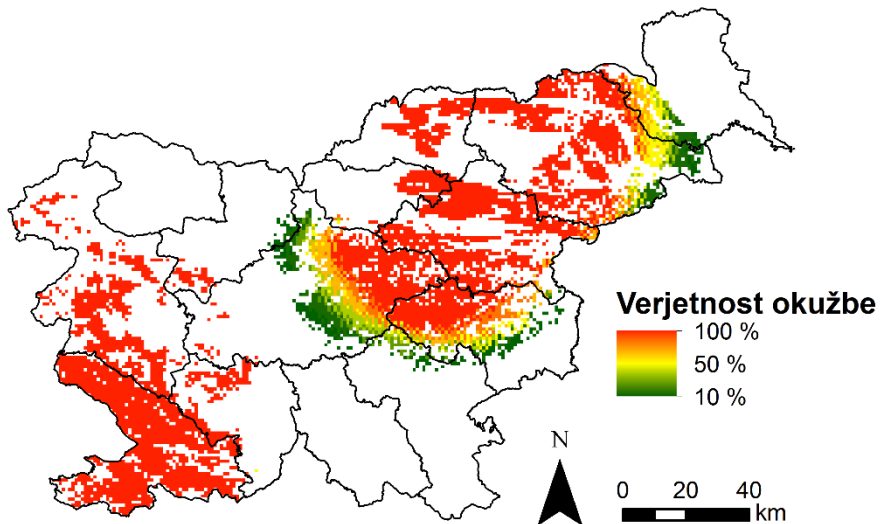
Simulirali smo širjenje *F. circinatum* iz štirih lokacij (Muta, Prestranek, Koper in Tolmin) v obdobju 20 let. Simulacijo smo ponovili 10-krat. V tem času bi se verjetno borov smolasti rak razširil na 47,1 % modelskih celic, kjer se pojavljajo primerni gostitelji (bor in duglazija) (slika 3). Iz Mute se bi bolezen razširila do Brnika na zahodu in do Ljutomera na vzhodu, tj. 65–85 km od izhodišča, kar v povprečju pomeni 3,3–4,3 km/leto. V večjem deležu (75 %) modelskih celic bi do okužbe prišlo zagotovo (100 % verjetnost). Na zahodnem predelu Slovenije, kjer smo predvideli tri

začetna izhodišča širjenja *F. circinatum* (Tolmin, Koper, Prestranek) so imele modelske celice 100 % verjetnost okužbe.

Preglednica 3: Ekoklimatski indeks za *Fusarium circinatum* v Sloveniji v deležu skupne površine.

GGO	Ne ustrezen (EI = 0)	Obroben (EI 1-5)	Ustrezen (EI 5-20)	Optimalen (EI > 20)	Skupaj
<b>BLED</b>	4,7	0,0	0,3	0,0	<b>5,0</b>
<b>BREŽICE</b>	0,8	5,7	0,2	0,0	<b>6,7</b>
<b>CELJE</b>	1,4	4,5	1,7	0,0	<b>7,6</b>
<b>KOČEVJE</b>	5,0	0,0	0,8	0,0	<b>5,8</b>
<b>KRANJ</b>	3,5	0,0	1,9	0,0	<b>5,3</b>
<b>LJUBLJANA</b>	3,9	0,3	8,1	0,0	<b>12,3</b>
<b>MARIBOR</b>	2,2	8,8	0,4	0,0	<b>11,5</b>
<b>MURSKA SOBOTA</b>	2,1	4,5	0,0	0,0	<b>6,6</b>
<b>NAZARJE</b>	2,4	0,0	1,0	0,0	<b>3,4</b>
<b>NOVO MESTO</b>	1,4	1,0	5,2	0,0	<b>7,5</b>
<b>POSTOJNA</b>	5,2	0,0	0,1	0,0	<b>5,3</b>
<b>SEŽANA</b>	2,2	0,9	4,5	0,0	<b>7,5</b>
<b>SLOVENJ GRADEC</b>	3,6	0,0	0,7	0,0	<b>4,4</b>
<b>TOLMIN</b>	7,2	0,0	3,2	0,6	<b>11,0</b>
<b>Skupaj</b>	<b>45,7</b>	<b>25,7</b>	<b>28,0</b>	<b>0,6</b>	<b>100,0</b>

218

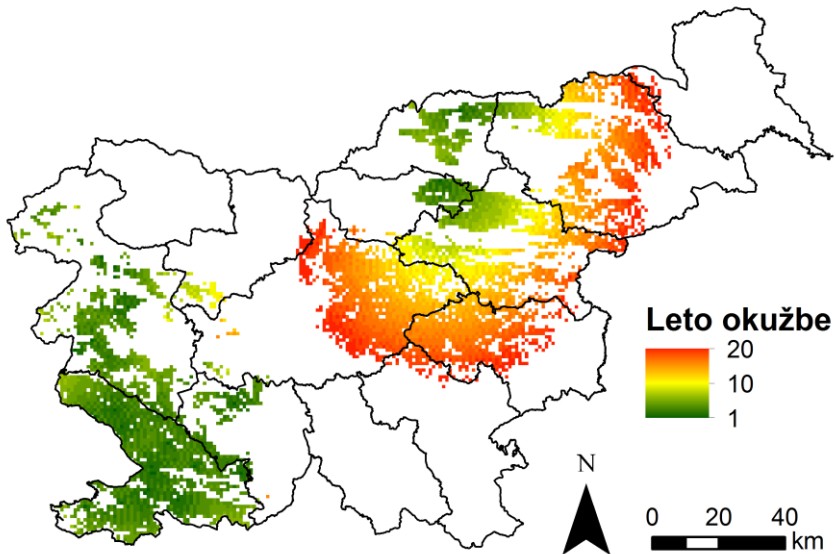


Slika 3: Verjetnost širjenja *Fusarium circinatum* v 20 letih glede na 10 simulacij iz štirih točk (Muta, Prestranek, Koper, Tolmin) (pripravil N. Ogris).

Širjenje iz Mute pa bi modelske celice v 20 letih bile zagotovo okužene v razdalji 55–72 km od izhodišča in le najbolj oddaljeni predeli od izhodišča so imeli manjšo verjetnost okužbe. Na karti verjetnosti okužbe s *F. circinatum* (slika 3) so dobro razvidna območja, kjer bi glede na oddaljenost od izhodišč širjenja moralo priti do okužbe gostiteljev, vendar se to ni zgodilo zaradi neustreznih ekoklimatskih razmer (slika 2), npr. Pohorje, Karavanke, Dinaridi in Alpe.

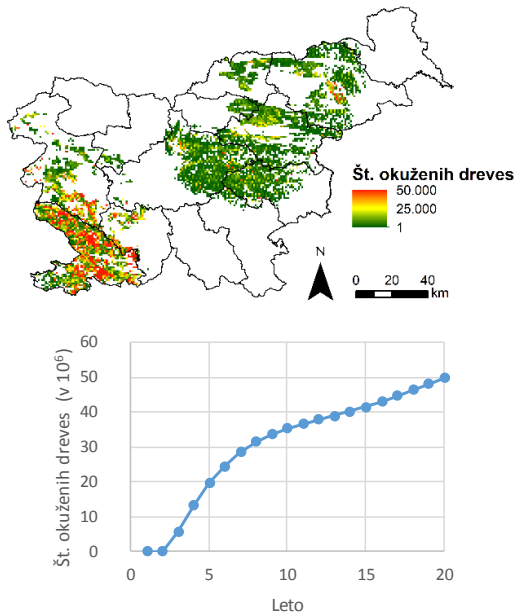
Najhitreje širjenje borovega smolastega raka je bilo v prvih 5–7 letih (slika 4, slika 6), ko se je okužilo 20,7 % modelskih celic z ustreznimi gostitelji. Delež celic, iz katerih se je *F. circinatum* aktivno širil, je naraščal do 8. leta, ko je dosegel 20,7 % modelskih celic z gostitelji, potem je do 12. leta to število upadlo na 16,6 %, nakar se je počasi ponovno začelo dvigovati in je v 20. letu doseglo 29 % modelskih celic z gostitelji. Število okuženih dreves je strmo naraščalo do sedmega leta simulacije ( $28 \times 10^6$  dreves), potem pa se je položilo in v 20. letu simulacije je bilo okuženih skoraj  $50 \times 10^6$  dreves (slika 5). V posamezni modelski celici je bilo okuženih do 50.000 dreves, kar je neposreden izraz karte gostiteljev (slika 1) in parametra modela, ki določuje največjo gostoto gostiteljev (v našem primeru 500 dreves/ha, preglednica 1). Število novih prenosov bolezni je doseglo vrhunec že v drugem letu simulacije, ko se je zgodilo skoraj 1600 prenosov, potem pa je število novih prenosov na nova območja pričelo naglo padati in v sedmem letu simulacije jih je bilo še samo 74 (slika 6).

219



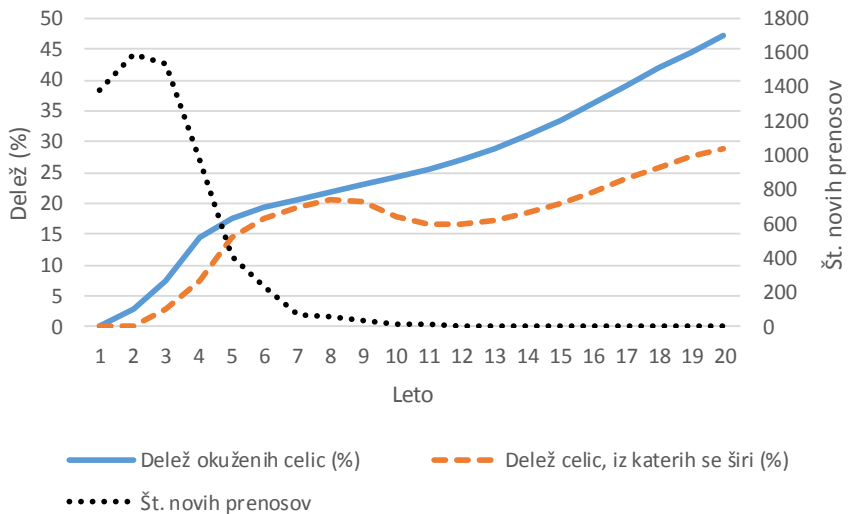
Slika 4: Leto okužbe s *Fusarium circinatum* v 20 letih glede na 10 simulacij iz štirih točk (Muta, Prestranek, Koper, Tolmin) (pripravil N. Ogris).





220

Slika 5: Število okuženih dreves s *Fusarium circinatum* v 20 letih glede na 10 simulacij iz štirih točk (Muta, Prestranek, Koper, Tolmin): karta števila okuženih dreves v 20. letu simulacije (levo), grafikon poteka števila okuženih dreves (desno) (pripravil N. Ogris).



Slika 6: Časovni potek širjenja *Fusarium circinatum* v 20 letih glede na 10 simulacij iz štirih točk (Muta, Prestranek, Koper, Tolmin). Delež se nanaša na delež modelskih celic, kjer se pojavljajo gostitelji.

## 4 SKLEPI

Ekoklimatski indeks za *F. circinatum* je bil optimalen samo na 0,6 % Slovenije in se navezuje na območje Posočja od Bovca do Nove Gorice. Ustrezen EI je pokrival 28 % površine Slovenije in je obsegal predele v zahodni in osrednji Sloveniji, razen v vzhodnem in severovzhodnem delu. Izračunan EI v Sloveniji je razkril naravno oviro, ki bi lahko preprečila naravno širjenje borovega smolastega raka iz zahodne in jugozahodne Slovenije v notranjost države oz. obratno, tj. Dinarsko gorstvo in Alpe. Simulirali smo širjenje *F. circinatum* iz štirih lokacij (Muta, Prestranek, Koper in Tolmin) v obdobju 20 let. Simulacijo smo ponovili 10-krat. V tem času se bi verjetno borov smolasti rak razširil na 47,1 % modelskih celic, kjer se pojavljajo ustrezni gostitelji (bor in duglazija). Povprečna hitrost širjenja je bila 3,3–4,3 km/leto. Najhitrejše širjenje borovega smolastega raka je bilo v prvih 5-7 letih, ko se je okužilo 20,7 % modelskih celic z ustreznimi gostitelji.

Prednost simulatorja se bo pokazala predvsem v primeru, ko bo škodljivi organizem vnesen v Slovenijo. Takrat bomo lahko model ponovno zagnali in simulirali verjetnost širjenja iz dejanske točke vnosa, kar nam bo lahko v pomoč pri postavitvi prioriteten območij, kjer naj se intenzivirajo fitosanitarni pregledi in ostali ukrepi proti zaustavljanju ter izkoreninjanju borovega smolastega raka.

221

## 5 ZAHVALA

Raziskava je nastala v okviru projekta Razvoj novih metod detekcije, diagnostike in prognoz za tujerodne gozdu škodljive organizme (V4-1439), delovni sklop 3 Prognozične metode. Projekt sta financirala Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano ter Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije. Projekt je potekal v okviru Raziskovalne/programske skupine za gozdno biologijo, ekologijo in tehnologijo (0404-003).

## 6 LITERATURA

- EFSA 2010. Risk assessment of *Gibberella circinata* for the EU territory and identification and evaluation of risk management options. EFSA Journal, 8, 6: 1620 (93).
- GDAL 2016. GDAL - Geospatial Data Abstraction Library: Version 1.1.1, Open Source Geospatial Foundation.
- Kriticos, D. J., Maywald, G. F., Yonow, T., Zurcher, E. J., Herrmann, N. I., Sutherst, R. W. 2015. CLIMEX Version 4: Exploring the Effects of Climate on Plants, Animals and Diseases. Canberra, CSIRO: 184 str.
- Möykkynen, T., Capretti, P., Pukkala, T. 2015. Modelling the potential spread of *Fusarium circinatum*, the causal agent of pitch canker in Europe. Annals of Forest Science, 72, 2: 169-181.
- Ogris, N., Piškur, B., Jurc, D. 2015. Borov smolasti rak (teleomorf *Gibberella circinata* Nirenberg & O'Donnell, anamorf *Fusarium circinatum* Nirenberg & O'Donnell; veljavno ime *Fusarium circinatum*). Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije in Uprava za varno hrano, veterinarstvo in varstvo rastlin: 2.
- Pukkala, T., Möykkynen, T. 2014. Cellular automaton models for selected invasive pests and pathogens. [http://www.uef.fi/documents/287336/902833/ModelDescriptionsAllSeven\\_2014.pdf](http://www.uef.fi/documents/287336/902833/ModelDescriptionsAllSeven_2014.pdf). Joensuu, University of Eastern Finland.
- ZGS 2015a. Gozdni fondi. Podatkovna zbirka, Zavod za gozdove Slovenije.
- ZGS 2015b. Sestojna karta. Grafični sloj, Zavod za gozdove Slovenije.