

Ekološko modeliranje i predviđanje

Sveučilišni udžbenik

Branimir Hackenberger

2025

Sadržaj

I	Osnove	7
1	Uvod u ekološko modeliranje	9
1.1	Što je model?	9
1.2	Povijesni razvoj modeliranja	9
1.3	Vrste modela u ekologiji	9
1.4	Prednosti i ograničenja modela	9
2	Matematičke i računalne osnove	11
2.1	Osnovne funkcije i jednačbe	11
2.2	Diferencijalne i diskretne jednačbe	11
2.3	Matrični modeli (Leslie, Lefkovitch)	11
2.4	Stohastički procesi	11
2.5	Računalni alati (R, Python, Matlab, NetLogo)	11
II	Populacije i zajednice	13
3	Populacijski modeli	15
3.1	Eksponencijalni i logistički rast	15
3.2	Lotka-Volterra modeli	15
3.3	Dobno-strukturni modeli	15
3.4	Metapopulacijski modeli	15
4	Modeli zajednica	17
4.1	Ekološke mreže	17
4.2	Stabilnost zajednica	17
4.3	Sukcesija i bioraznolikost	17
III	Ekosustavi i prostor	19
5	Modeli ekosustava	21
5.1	Kruženje tvari i energije	21

5.2	Bioenergetski modeli	21
5.3	DEB teorija	21
5.4	Biogeokemijski ciklusi	21
5.5	Ecosystem services modeli	21
6	Prostorno-ekološki modeli	23
6.1	GIS i prostorna analiza	23
6.2	Modeli rasprostiranja vrsta (SDM, ENM)	23
6.3	Fragmentacija staništa	23
6.4	Individualno temeljeni modeli (IBM)	23
IV	Predviđanje i primjena	25
7	Prediktivni modeli i scenariji	27
7.1	Scenariji klimatskih promjena	27
7.2	Predviđanje invazija	27
7.3	Rani sustavi upozorenja	27
7.4	Kombinacija mehanističkih i statističkih modela	27
8	Statistički i AI pristupi	29
8.1	Frekventistički i Bayesovski modeli	29
8.2	Strojno učenje (RF, XGBoost, SVM)	29
8.3	Duboko učenje i neuronske mreže	29
8.4	Digitalni blizanci ekosustava	29
9	Validacija i nesigurnost	31
9.1	Kalibracija i verifikacija	31
9.2	Osjetljivost i robusnost modela	31
9.3	Nesigurnost i etika predviđanja	31
10	Primjene u upravljanju okolišem	33
10.1	Zaštita prirode i bioraznolikosti	33
10.2	Poljoprivreda i šumarstvo	33
10.3	Ekotoksikologija i procjena rizika	33
10.4	Klimatska politika i održivi razvoj	33
V	Studije slučaja i praksa	35
11	Studije slučaja	37
11.1	Modeliranje populacije gujavica u agroekosustavu	37

11.2	Predviđanje širenja komaraca	37
11.3	Eutrofikacija riječnog ekosustava	37
11.4	Fragmentacija šuma i ptice metapopulacija	37
11.5	Bayesove mreže u ekotoksikologiji	37
12	Praktične vježbe u R-u i Pythonu	39
12.1	Uvod u R i Python	39
12.2	Leslie matrica u R-u	39
12.3	Lotka-Volterra simulacija u Pythonu	39
12.4	SDM u R-u (paket <code>dismo</code>)	39
12.5	Random Forest za invazije	39
12.6	DEB simulacije	39
A	Dodatci	41
A.1	Matematički prilozi	41
A.2	Upute za instalaciju softvera	41
A.3	Primjeri koda	41
A.4	Literatura i mrežni izvori	41

Predgovor

Razlozi za pisanje udžbenika, ciljana publika, način korištenja.

Dio I

Osnove

Poglavlje 1

Uvod u ekološko modeliranje

1.1 Što je model?

1.2 Povijesni razvoj modeliranja

1.3 Vrste modela u ekologiji

1.4 Prednosti i ograničenja modela

Poglavlje 2

Matematičke i računalne osnove

- 2.1 Osnovne funkcije i jednačbe
- 2.2 Diferencijalne i diskretne jednačbe
- 2.3 Matrični modeli (Leslie, Lefkovitch)
- 2.4 Stohastički procesi
- 2.5 Računalni alati (R, Python, Matlab, NetLogo)

Dio II

Populacije i zajednice

Poglavlje 3

Populacijski modeli

3.1 Eksponencijalni i logistički rast

3.2 Lotka-Volterra modeli

3.3 Dobno-strukturni modeli

3.4 Metapopulacijski modeli

Poglavlje 4

Modeli zajednica

4.1 Ekološke mreže

4.2 Stabilnost zajednica

4.3 Sukcesija i bioraznolikost

Dio III

Ekosustavi i prostor

Poglavlje 5

Modeli ekosustava

- 5.1 Kruženje stvari i energije
- 5.2 Bioenergetski modeli
- 5.3 DEB teorija
- 5.4 Biogeokemijski ciklusi
- 5.5 Ecosystem services modeli

Poglavlje 6

Prostorno-ekološki modeli

6.1 GIS i prostorna analiza

6.2 Modeli rasprostiranja vrsta (SDM, ENM)

6.3 Fragmentacija staništa

6.4 Individualno temeljeni modeli (IBM)

Dio IV

Predviđanje i primjena

Poglavlje 7

Prediktivni modeli i scenariji

7.1 Scenariji klimatskih promjena

7.2 Predviđanje invazija

7.3 Rani sustavi upozorenja

7.4 Kombinacija mehanističkih i statističkih modela

Poglavlje 8

Statistički i AI pristupi

- 8.1 Frekventistički i Bayesovski modeli
- 8.2 Strojno učenje (RF, XGBoost, SVM)
- 8.3 Duboko učenje i neuronske mreže
- 8.4 Digitalni blizanci ekosustava

Poglavlje 9

Validacija i nesigurnost

9.1 Kalibracija i verifikacija

9.2 Osjetljivost i robusnost modela

9.3 Nesigurnost i etika predviđanja

Poglavlje 10

Primjene u upravljanju okolišem

10.1 Zaštita prirode i bioraznolikosti

10.2 Poljoprivreda i šumarstvo

10.3 Ekotoksikologija i procjena rizika

10.4 Klimatska politika i održivi razvoj

Dio V

Studije slučaja i praksa

Poglavlje 11

Studije slučaja

- 11.1 Modeliranje populacije gujavica u agroekosustavu
- 11.2 Predviđanje širenja komaraca
- 11.3 Eutrofikacija riječnog ekosustava
- 11.4 Fragmentacija šuma i ptice metapopulacija
- 11.5 Bayesove mreže u ekotoksikologiji

Poglavlje 12

Praktične vježbe u R-u i Pythonu

12.1 Uvod u R i Python

12.2 Leslie matrica u R-u

12.3 Lotka-Volterra simulacija u Pythonu

12.4 SDM u R-u (paket `dismo`)

12.5 Random Forest za invazije

12.6 DEB simulacije

Dodatak A

Dodatci

A.1 Matematički prilozi

A.2 Upute za instalaciju softvera

A.3 Primjeri koda

A.4 Literatura i mrežni izvori