

Monitoring genetske pestrosti gozdov

Monitoring of Forest Genetic Diversity

Marjana WESTERGREN¹, Hojka KRAIGHER²

Izvleček:

Westergren, M., Kraigher, H.: Monitoring genetske pestrosti gozdov. *Gozdarski vestnik*, 69/2011, št. 5–6. V slovenščini z izvlečkom in povzetkom v angleščini, cit. lit. 14. Jezikovni pregled angleškega besedila Breda Misja, jezikovni pregled slovenskega besedila Marjetka Šivic.

Spremembe v okolju in gozdnogojitveni ukrepi zelo vplivajo na evlucijske sile, kar vodi v spremembo vzorcev genetske pestrosti. Da bi pomagali ohranjanju in upravljanju z genetsko pestrostjo populacij gozdnih dreves in s tem pripomogli k neprekinjeni sposobnosti prilagajanja populacij dreves na okolje v prihodnosti, postaja vse pomembnejši monitoring posledic sprememb v okolju in namernih ali nenamernih človekovih vplivov na genetsko pestrost. Monitoring genetske pestrosti, omenjen tudi v strateških evropskih in nacionalnih dokumentih, je sistem, ki omogoča določitev časovnih sprememb v genetskih podatkih populacij ali drugih podatkov o populacijah. Njegov glavni cilj je odgovoriti na vprašanje, ali lahko populacije zagotovijo trajnostni razvoj obstoječega gozda. Razvoj sistema genetskega monitoringa terja izdelavo robustnega pa tudi tehnično in finančno izvedljivega načina vzorčenja.

Ključne besede: genetska pestrost, monitoring, dinamično ohranjanje populacij, sistem vzorčenja

Abstract:

Westergren M., Kraigher H.: Monitoring of Forest Genetic Diversity. *Gozdarski vestnik (Professional Journal of Forestry)*, 69/2011, vol. 5–6. In Slovenian, abstract and summary in English, lit. quot. 14. Proofreading of the English text Breda Misja, proofreading of the Slovenian text Marjetka Šivic.

Changes of environmental conditions and silvicultural practices strongly affect evolutionary forces, leading to changes in the patterns of genetic diversity. To assist conservation and management of genetic diversity of forest tree populations, thus enabling continuous adaptability of forest tree populations to future environments, it is becoming increasingly important to monitor consequences of environmental changes and intended or unintended anthropogenic influences on populations. Genetic monitoring, also mentioned in strategic European and national documents, is a system that enables quantification of temporal changes in population genetic matrices or other population data. Its main objective is to answer the question whether populations can ensure sustainable development of the existing forest. Development of genetic monitoring system must include a definition of a robust as well as labour and financially feasible sampling and experimental design.

Key words: genetic diversity, monitoring, dynamic conservation units, sampling system and design

1 UVOD

1 INTRODUCTION

V okviru obstoječih monitoringov v Sloveniji in Evropi genetske in populacijske komponente ni ali pa sta slabo zastopani, čeprav lahko DNK in populacijsko genetski podatki prispevajo pomembne informacije o vrstah, ki so zanimive z ekonomskega in ekološkega vidika, ter o vrstah, ki jih je zaradi ogroženosti treba aktivno varovati. To je še posebno pomembno v okviru trajnostnega gospodarjenja z gozdovi.

Na pogoje spreminjajočega se okolja, biotske in abiotske nevarnosti za gozdne ekosisteme in gozdno drevje se gozdno drevje lahko prilagaja le

z osnovanjem čim bolj genetsko pestrih naslednjih generacij. Velika genetska pestrost namreč omogoča ohranjanje prilagoditvenega potenciala populacij gozdnega drevja na prihodnje spremembe v okolju. Neustrezna vrstna sestava, neustrezna nega semenskih objektov, pridobivanje gozdnega reprodukcijskega materiala v času slabega obroda in z majhnega števila dreves ob vse bolj problematični naravni obnovi so grožnje genetski pestrosti in s tem obstoju prihodnjih gozdov.

¹ dr. M. W. Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, 1000 Ljubljana. marjana.westergren@gmail.com

² prof. dr. M. W. Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, 1000 Ljubljana. hojka.kraigher@gozdis.si

2 ZAKONODAJA IN MEDNARODNE KONVENCIJE

2. LEGISLATION AND INTERNATIONAL CONVENTIONS

Monitoring genetske pestrosti je vključen v strateške dokumente, in sicer od Konvencije o biotski pestrosti (UNCBD 1992; <http://www.cbd.int/>), resolucije ministrskih konferenc o varovanju gozdov v Evropi (Forest Europe, <http://www.foresteuropa.org/>), v evropske in nacionalne strategije, npr. Strategija ohranjanja biotske raznovrstnosti v Sloveniji (SOBD 2002) in Resolucija o nacionalnem gozdnem programu (NGP 2008).

Iz obeh dokumentov izhaja, da je glavni cilj ohranjanja genske biotske raznovrstnosti v Sloveniji varovanje genskih virov *in-situ* z ohranjanjem ustrezno velikih populacij. V gozdarstvu je poudarek na ohranjanju čim večje genetske pestrosti gozdnega drevja. Varovanje *ex-situ* v botaničnih in živalskih vrtovih in genskih bankah je dodaten ukrep pri ogroženih in redkih vrstah, kjer varovanje *in-situ* ne zadošča. V Semenski banki gozdnih drevesnih vrst, ki je sestavni del Slovenske gozdne genske banke, prevladuje seme smreke, macesna, borov in posameznih vrst listavcev, medtem ko v banki ni semena listavcev z neosušljivim semenom (npr. hrasti) zaradi težavnosti skladiščenja. Osnovni sestavni del Slovenske gozdne genske banke so *in situ* Gozdni genski rezervati (trenutno jih je 36), vanjo pa so vključeni tudi provenienčni poskusi in živi arhivi (oboje *ex situ*) (WESTERGREN et al., 2007).

Ohranjanje gozdnih genskih virov v Evropi koordinira Evropski program EUFORGEN, zasnovan na osnovi resolucij ministrskih konferenc o varstvu gozdov v Strassbourgu (1991) in Helsinkih (1993). V letu 2010 je bila sprejeta že četrta faza, v okviru katere je poudarek na razvoju monitoringov genetske pestrosti in strategijah ohranjanja genetske pestrosti v okviru gospodarjenja z gozdovi in varovanja sestavin gozdnih genskih bank s poudarkom na *in situ* genskih rezervatih. Slovensko sodelovanje v programu je sestavni del javne gozdarske službe, ki jo po Zakonu o gozdovih izvaja Gozdarski inštitut Slovenije.

Leta 2011 se končuje evropski projekt EUEG (AGRI GEN RES), v okviru katerega je bila vzpostavljena Evropska baza podatkov o dinamičnih enotah varovanja – gozdnih genskih rezervatih v triintridesetih evropskih državah. Slovenija je bila ena od vodilnih partnerjev v projektu, v katerega

je vključenih 36 enot za 20 vrst gozdnega drevja (KRAIGHER, 2010a, b, 2011a, b).

Za 4. nacionalno Poročilo o izvajanju Konvencije o biotski raznovrstnosti v Sloveniji (BELTRAM, 2011) smo predlagali, da se vključi naslednje poglobitve aktivnosti iz NGP (2008) glede prihodnjih usmeritev za izvajalce:

- gozdove je treba pomlajevati naravno in malopovršinsko, obnova s sajenjem je le izjemni ukrep v razmerah, ko gozda ni mogoče naravno obnoviti ali kjer je treba dopolniti genetsko zasnovo naravnega mladja;
- pri obnavljanju sestojev s sajenjem je treba uporabljati sadike rastišču primernih vrst in ustreznih provenienc ter z ustrezno genetsko pestrostjo gozdnega reprodukcijskega materiala;
- v okviru slovenske gozdne genske banke je potrebna vzpostavitev mreže gozdnih genskih rezervatov na temelju strokovnih meril ter ustreznih značilnosti in dokumentacije domorodnih populacij gozdnih genskih virov.

3 KAJ JE GENETSKA PESTROST?

3 WHAT IS GENETIC DIVERSITY?

Genetska pestrost je variacija znotraj populacije ali vrste, ki je posledica razlik v genih. Genetska pestrost je omogočila, da se je vrsta uspešno spopadala z izzivi v preteklosti in da uspeva in se razmnožuje v trenutnih razmerah. Je surovi material za evolucijo in kot taka vpliva na položaj populacij v prihodnosti (SCHWARTZ et al., 2007), saj omogoča preživetje in sposobnost prilagajanja dreves v spreminjajočem se okolju ter vzdržuje vitalnost gozdov (KOSKELA et al., 2007). Genetska pestrost je temeljni element biodiverzitete.

4 ZAKAJ POTREBUJEMO MONITORING GENETSKE PESTROSTI?

4. WHY IS MONITORING OF GENETIC DIVERSITY NECESSARY?

Spremembe v okolju (vključno s fragmentacijo habitatov) in struktura gozdnih sestojev, ki so posledica gozdnogojitvenih ukrepov (naravne in umetne obnove, uravnavanja zmesi, redčenja, načina sečnje), zelo vplivajo na evolucijske sile, kot so genetski zdrs, pretok genov, procese parjenja in selekcijo (NAMKOONG et al., 1996, FINKELDEY/ZIEHE, 2004), kar vodi v spremembo vzorcev genetske pestrosti. Opazovanje dolgoročnih učinkov

okoljskih sprememb in gozdnogojitvenih sistemov na genetsko pestrost populacij ovira dolg regeneracijski čas večine drevesnih vrst (KONNERT/HOSIUS, 2010).

Da bi pomagali ohranjanju in upravljanju z genetsko pestrostjo populacij gozdnih dreves in tako pripomogli k neprekinjeni sposobnosti prilagajanja populacij dreves na okolje v prihodnosti, postaja vse pomembnejši monitoring posledic sprememb v okolju in namernih ali nenamernih človekovih vplivov na genetsko pestrost oz. na populacije gozdnega drevja (KONNERT et al., 2011).

Na potrebo po monitoringu genetske pestrosti ter razvoju indikatorjev so že pred petnajstimi leti, še pred razvojem visokozmogljivih metod preučevanja DNK, izrazili Namkoong et al. (1996). Določili so štiri indikatorje, ki naj bi jih vseboval monitoring genetske pestrosti, namenjen ohranjanju procesov, ki vzdržujejo genetsko pestrost:

- stopnjo genetske variacije,
- usmerjene spremembe genskih ali genotipskih frekvenc,
- pretok genov med populacijami,
- procese parjenja.

5 KAJ JE MONITORING GENETSKE PESTROSTI?

5 WHAT IS MONITORING OF GENETIC DIVERSITY?

Monitoring genetske pestrosti je sistem, ki omogoča ovrednotenje časovnih sprememb v genetskih podatkih populacij ali drugih podatkov o populacijah (SCHWARTZ et al., 2007, KONNERT et al., 2011). Glavni cilj monitoringa je priti do zaključkov, če spremembe v okolju (vključno s fragmentacijo habitatov) in gozdnogojitveni ukrepi vplivajo na sposobnost prilagajanja populacij gozdnih dreves in kako oziroma ali lahko populacije zagotovijo trajnostni razvoj obstoječega gozda. Zanima nas torej, ali vzdržujemo stopnjo obstoječe genetske pestrosti.

Populacijske spremembe, ki jih lahko zasledimo z genetskim monitoringom s pomočjo nevtrálnih ali ne-nevtrálnih genetskih označevalcev vključujejo:

- rast ali nazadovanje populacije,
- razširjanje patogenov,
- hibridizacijo,
- introgresijo,
- fragmentacijo in
- prilagoditve na okoljske spremembe.

V kombinaciji z določenimi kazalniki, ki ne temeljijo na analizi DNK, predvsem fiziološkimi kazalniki in prilagojenostjo na ekološke razmere, bi sistem genetskega monitoringa lahko omogočil spremljanje in primerjave med:

- oceno cvetenja in obroda ali drugih načinov razmnoževanja v populacijah, ki jih spremljamo,
- preživetjem mladja in vraščanjem dreves v starejše razvojne faze (s štetjem),
- površinsko zasedenostjo (delež površine, ki ga pokriva vsaka drevesna vrsta, ki jo spremljamo),
- pojavom bolezní in invazivnih vrst (okularno, potrditev bolezní/vrst v laboratoriju – s pomočjo Kochovih postulatov in/ali molekularne identifikacije),
- prisotnostjo medvrstnih hibridov (okularno, analiza mešanja z metodami, ki ocenijo stopnjo mešanja prednikov za vsako posamezno drevo, analiza variacije v regijah DNK in izdelava filogenetskih dreves),
- genetsko variacijo (analiza mikrosatelitov ali SNP; spremembe v času v pričakovani heterozigotnosti, pestrosti alelov, frekvenci alelov in porazdelitvi frekvence alelov),
- strukturo populacij (analiza mikrosatelitov ali SNP; analiza mešanja populacij, metode dodeljevanja osebkov populacijam),
- efektivno velikostjo populacij (na podlagi analize mikrosatelitov ali SNP).
- v prostoru in času.

6 OBSEG IN INTENZIVNOST MONITORINGA

6. INTENSITY OF GENETIC MONITORING

Obseg in intenzivnost monitoringa – t. j. število spremljanih lokacij, frekvenca vzorčenja, trud, vloženi v vzorčenje na posamezni lokaciji, število spremljanih drevesnih vrst in tip laboratorijskih testov – sta odvisna predvsem od razpoložljivih sredstev. Glede na omejitve sredstev je treba vzpostaviti tudi prioritete glede območij, na katerih bomo spremljali genetsko pestrost (ogroženi ekosistemi, kot so, npr., poplavni gozdovi, naravni rezervati, gozdovi z različnim načinom gospodarjenja ...) in prioritete glede izbora drevesnih vrst (vrste s trenutno ali potencialno visoko ekonomsko vrednostjo v prihodnosti, ekološko pomembne vrste, ogrožene vrste, indikatorske vrste).

7 PODPORNE DEJAVNOSTI

7 COMPLEMENTARY ACTIVITIES

Genetski monitoring zaradi svoje specifične narave in zaradi hitrega tehnološkega razvoja na področju genetike zahteva verifikacijske vzorce v obliki tkiv ali pa DNK. Verifikacijski vzorci so potrebni kot referenca v času in prostoru, ko želimo opraviti posebne analize, ki v sam monitoring niso vključene, in za prilagoditev, umerjanje in oceno uporabnosti tehnologij v prihodnosti. Take vzorce lahko shranjujemo v genski banki.

8 ZAKLJUČEK

8 CONCLUSION

Zaradi slabega poznavanja genetike, ekoloških zahtev ter fiziologije večine gozdnih vrst stanje njihovih populacij ni dovolj znano. Glede na dobro stanje gozdnih habitatnih tipov v Sloveniji lahko sklepamo, da večina populacij gozdnih vrst trenutno ni neposredno ogrožena, projekcije razširjenosti drevesnih vrst glede na različne modele vplivov podnebnih sprememb pa kažejo zelo spremenjeno podobo. Temeljni pogoj za dolgoročno preživetje gozdov je ohranjanje prilagoditvenega potenciala posameznih vrst, ki temelji na ohranjanju genetske pestrosti populacij gozdnega drevja. V ta namen bi bilo treba vzpostaviti sistem monitoringa genetske pestrosti ter bolj podpreti vzpostavitev mreže gozdnih genskih rezervatov glede na strokovna merila in ustreznih značilnosti in dokumentacije domorodnih populacij gozdnih genskih virov.

Razvoj sistema genetskega monitoringa terja izdelavo robustnega pa tudi tehnično in finančno izvedljivega načina vzorčenja, ki se bo s pomočjo verifikacijskih vzorcev, shranjenih v genski banki, sposoben prilagoditi tehnologijam v prihodnosti.

9 POVZETEK

V okviru obstoječih monitoringov v Sloveniji in Evropi spremljanje genetske in populacijske komponente ni ali pa je slabo zastopano, čeprav je monitoring genetske pestrosti vključen v strateške dokumente, in sicer od Konvencije o biotski pestrosti, resolucije ministrskih konferenc o varovanju gozdov v Evropi ter v nacionalne strategije, npr. Strategijo ohranjanja biotske raznovrstnosti v Sloveniji in Resolucijo o nacionalnem gozdnem programu.

Spremembe v okolju (vključno s fragmentacijo habitatov) in struktura gozdnih sestojev, ki so posledica gozdnogojitvenih ukrepov zelo vplivajo

na evlucijske sile, kot so genetski zdrs, pretok genov, procese parjenja in selekcijo (NAMKOONG et al., 1996, FINKELDEY/ZIEHE 2004), kar vodi v spremembo vzorcev genetske pestrosti – temeljnega elementa biotske raznovrstnosti.

Da bi pomagali ohranjanju in upravljanju z genetsko pestrostjo populacij gozdnih dreves in s tem pripomogli k neprekinjeni sposobnosti prilagajanja populacij dreves na okolje v prihodnosti, postaja vse pomembnejši monitoring posledic sprememb v okolju in namernih ali nenamernih človekovih vplivov na genetsko pestrost oz. na populacije gozdnega drevja (KONNERT et al., 2011).

Monitoring genetske pestrosti je sistem, ki omogoča ovrednotenje časovnih sprememb v genetskih podatkih populacij ali drugih podatkov o populacijah (SCHWARTZ et al., 2007, KONNERT et al., 2011). Glavni cilj monitoringa je odgovoriti na vprašanje, če spremembe v okolju (vključno s fragmentacijo habitatov) in gozdnogojitveni ukrepi vplivajo na sposobnost prilagajanja populacij gozdnih dreves, t. j., ali populacije lahko zagotovijo trajnostni razvoj obstoječega gozda in kako. Populacijske spremembe, ki jih lahko opazujemo z genetskim monitoringom, vključujejo rast ali nazadovanje populacije, razširjanje patogenov, hibridizacijo, introgresijo, fragmentacijo in prilagoditve na okoljske spremembe.

Obseg in intenzivnost monitoringa sta odvisna predvsem od razpoložljivih sredstev. Glede na njihovo omejitvev je treba vzpostaviti prioritete glede območij, na katerih bomo spremljali genetsko pestrost in glede izbora drevesnih vrst. Razvoj sistema genetskega monitoringa torej terja izdelavo robustnega in tudi tehnično in finančno izvedljivega načina vzorčenja.

10 SUMMARY

Within the current monitoring systems in Slovenia and Europe, monitoring of the genetic as well as population component does not exist or is poorly represented despite being mentioned in strategic documents such as Convention on Biological Diversity, Resolution of Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe, and in national strategies.

Changes of environmental conditions (including habitat fragmentation) and forest stand structures caused by silvicultural practices strongly affect evolutionary forces like drift, mating systems, gene flow and selection (NAMKOONG et al. 1996, FINKELDEY / ZIEHE 2004), leading to changes in

the patterns of genetic diversity – the core element of biodiversity.

To assist conservation and management of genetic diversity of forest tree populations, thus enabling continuous adaptability of forest tree populations to future environments, it is becoming increasingly important to monitor consequences of environmental changes and intended or unintended anthropogenic influences on populations (KONNERT et al. 2011).

Genetic monitoring is a system that enables quantification of temporal changes in population genetic matrices or other population data (SCHWARTZ et al. 2007, KONNERT et al. 2011). The main objective is to draw conclusions if and how changes in the environment (including habitat fragmentation) and silvicultural measures affect adaptability of forest tree populations, i.e. whether the populations can ensure sustainable development of the existing forest or not. Population changes that can be monitored include population growth or decline, spread of pathogens, hybridization, introgression, fragmentation and adaptability to environmental changes.

Intensity of genetic monitoring depends mostly on the resources allocated. According to their availability, priorities about areas / forests and tree species must be agreed upon. Development of genetic monitoring system must therefore include a definition of a robust as well as labor and financially feasible sampling and experimental design that should be able to adapt to new technology developments.

11 VIRI

11 REFERENCES

Beltram, G., (Ur.) 2011. Convention on Biological Diversity – 4th National Report of the Republic of Slovenia. MOP, Ljubljana, 109 str.

Finkeldey, R., Ziehe, M., 2004. Genetic implications of silvicultural regimes.- Forest ecology and management, 197, 1–3, s. 231–244

Konnert, M., Hosius, B., 2010: Contribution of forest genetics for a sustainable forest management.- Forstarchiv, 81, 4, s. 170–175.

Konnert, M., Maurer, W., Degen, B., Kätzel, R., 2011:

Genetic monitoring in forests – early warning and controlling system for ecosystemic changes. iForest (sprejeto za objavo)

Koskela, J., Buck, A., Teissier Du Cros, E., (Ur.). 2007. Climate change and forest genetic diversity: Implications for sustainable forest management in Europe. Rome, Bioversity International: 111 str.

Kraigher, H. 2010a. Ohranjanje genskih virov - kratek pregled aktivnosti v Sloveniji : tehnične smernice za ohranjanje in rabo genskih virov : Slovenija. *Gozd. vestn.*, 68, 2: [95–96].

Kraigher, H. 2010b. Ohranjanje in raba genskih virov v luči klimatskih sprememb : tehnične smernice za ohranjanje in rabo genskih virov : Slovenija. *Gozd. vestn.*, 68, 9: [423].

Kraigher, H. 2011a. Projekt EUFGIS - vzpostavitev evropskega informacijskega sistema o gozdnih genskih virih : tehnične smernice za ohranjanje in rabo genskih virov : Slovenija. *Gozd. vestn.*, 69, 2: [99].

Kraigher, H. 2011b. Stanje gozdov v Evropi - genski viri (stanje leta 2010) : tehnične smernice za ohranjanje in rabo genskih virov : Slovenija. *Gozd. vestn.*, 69, 3: [159].

Namkoong, G., Boyle, T., Gregorius, H.-R., Joly, H., Savolainen, O., Ratnam, W., Young, A., 1996. Testing Criteria and Indicators for Assessing the Sustainability of Forest Management: Genetic Criteria and Indicators. Working paper no. 10. CIFOR, Bogor, Indonezija, 12 str.

NGP, 2008. Resolucija o nacionalnem gozdarskem programu. Zveza gozdarskih društev Slovenije, Gozdarska založba, MKGP, Ljubljana. 108 str.

Schwartz, M.K., Luikart, G., Waples, R.S., 2007. Genetic monitoring as a promising tool for conservation and management. *Trends in Ecology & Evolution*, 22, 1, s. 25–33

SOBD, 2002. Strategija ohranjanja biotske raznovrstnosti v Sloveniji. MOP, Ljubljana.

Westergren, M., Božič, G., Kraigher, H. 2007. Razvoj smernic za dinamično varstvo gozdnih genskih virov v spreminjajočih se razmerah v okolju. V: Jurc, M. (ur.). *Podnebne spremembe: vpliv na gozd in gozdarstvo*, (Studia forestalia Slovenica, št. 130). Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. Str. 487–488.