

Zadnje spremembe: 3. 10. 2023

Podnebne spremembe in izginjanje narave – prepleteni krizi, ki terjata skupne rešitve

Uredila: Urška Koce¹

Avtorji: Renata Karba² (poglavje 1), Urška Koce¹ (poglavje 2, 3), Senka Šifkovič² (poglavje 3), Nejc Jogan³ (vsebine o rastlinah), Barbara Zakšek⁴ (vsebine o metuljih), Damjan Vinko⁵, Ana Tratnik⁵, Peter Kogovšek⁵ (vsebine o kačjih pastirjih), Anja Pekolj⁶, Anamarija Žagar⁶ (vsebine o plazilcih in dvoživkah), Sava Osole⁷ (vsebine o netopirjih), Tjaša Gorenc⁸, Petra Muhič Šmuc⁸ in Rudi Kraševc⁸ (vsebine o zvereh), Nik Lupše (vsebine o morskih sesalcih)⁹

¹ Društvo za opazovanje in proučevanje ptic Slovenije (DOPPS)

² Umanotera, Slovenska fundacija za trajnostni razvoj

³ Botanično društvo Slovenije (BDS)

⁴ Društvo za proučevanje in ohranjanje metuljev Slovenije (DPOMS)

⁵ Slovensko odonatološko društvo (SOD)

⁶ Societas herpetologica slovenica – Herpetološko društvo (SHS)

⁷ Slovensko društvo za proučevanje in varstvo netopirjev (SDPVN)

⁸ Društvo za ohranjanje, raziskovanje in trajnostni razvoj Dinaridov – Dinaricum

⁹ Morigenos – slovensko društvo za morske sesalce

Priporočeno citiranje:

Koce, U., Karba, R., Šifkovič, S., Gorenc, T., Jogan, N., Kogovšek, P., Kraševc, R., Lupše, N., Muhič Šmuc, P., Osole, S., Pekolj, A., Tratnik, A., Vinko, D., Zakšek, B. & A. Žagar (2023): Podnebne spremembe in izginjanje narave – prepleteni krizi, ki terjata skupne rešitve. Plan B za Slovenijo, Ljubljana.

© Plan B za Slovenijo, mreža nevladnih organizacij za trajnostni razvoj, Ljubljana. 2023.

Podnebni program financirata Eko sklad in Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo iz sredstev Sklada za podnebne spremembe. Za mnenja, predstavljena v tem dokumentu, so izključno odgovorni avtorji dokumenta in ne odražajo nujno stališč Ministrstva za okolje, podnebje in energijo, Eko sklada j.s..

Kazalo vsebine

Ključna sporočila	4
1. Podnebne spremembe v Sloveniji in projekcije do konca 21. stoletja	5
1.1. Podnebje in podnebne spremembe.....	5
1.2. Človek povzroča podnebne spremembe	5
1.3. Posledice podnebnih sprememb v Sloveniji	8
1.4. Projekcije podnebnih sprememb v Sloveniji.....	10
1.4.1. Temperaturni trend	11
1.4.2. Izjemne temperature	12
1.4.3. Spremembe padavin	13
1.4.4. Spremembe vodne bilance	14
1.4.5. Spremembe hidroloških spremenljivk	16
1.4.6. Spremembe v gladini morja in obsegu ledenikov	17
2. Vplivi podnebnih sprememb na biodiverziteto.....	18
2.1. Vplivi na ravni osebkov	18
2.2. Fenologija	20
2.3. Populacijska dinamika.....	21
2.3.1. Rodnost in umrljivost	22
2.3.2. Priseljevanje in odseljevanje.....	23
2.3.3. Spolna in starostna struktura populacije	23
2.3.4. Abundanca in populacijski trend.....	23
2.3.5. Porazdelitev populacije	24
2.4. Geografska razširjenost vrst.....	25
2.4.1. Neposredni vplivi podnebnih sprememb na geografsko razširjenost vrst	25
2.4.2. Projekcije geografske razširjenosti vrst.....	27
2.5. Razširjenost in kakovost življenjskih okolij.....	28
2.5.1. Visokogorje.....	29
2.5.2. Celinske vode in mokrišča	29
2.5.3. Morje in obalna mokrišča	30
2.5.4. Gozdovi	30
2.6. Medvrstni odnosi	31
2.6.1. Časovna neusklajenost med vrstami.....	31
2.6.2. Spremenjena populacijska razmerja med vrstami.....	32
2.7. Ekosistemi	34

2.7.1. Kroženje hranil in pretok energije.....	34
2.7.2. Dinamika združb.....	35
2.8. Ogroženost biodiverzitete zaradi podnebnih sprememb	36
2.8.1. Ranljivost vrst in ekosistemov.....	36
2.8.2. Izguba biodiverzitete zaradi podnebnih sprememb	38
2.8.3. Skupni učinki podnebnih sprememb in drugih dejavnikov na biodiverzitetu.....	40
3. Podnebne spremembe in kriza biodiverzitete	43
3.1. Kaj je kriza biodiverzitete?	43
3.2. Glavni dejavniki krize biodiverzitete	43
3.3. Medsebojna odvisnost reševanja krize biodiverzitete in podnebne krize.....	44
3.4. Sodelovanje medvladnih odborov za podnebne spremembe (IPCC) in biotsko raznovrstnost in ekosistemske storitve (IPBES)	46

Ključna sporočila

- 1) Podnebna kriza in kriza biodiverzitete sta neločljivo povezani in ogrožata zadovoljevanje osnovnih potreb ljudi za preživetje: potrebe po hrani, vodi in ustreznem bivalnem okolju. Obe imata skupni vzrok, to je stalna rast proizvodnje in potrošnje s strani človeštva.
- 2) Podnebne spremembe v Sloveniji se izražajo kot: naraščanje povprečne temperature ozračja, pogostejši in intenzivnejši vročinski valovi, dolgotrajnejša sušna obdobja ter izdatnejše padavine. Njihovi učinki, ki jih zaznavamo v okolju, so: daljša rastna doba, večji vodni primanjkljaj, intenzivnejše poplave, večje nihanje rečnih pretokov in vodostajev, pogostejši in obsežnejši požari v naravnem okolju, dvig morske gladine, tanjša in kratkotrajnejša snežna odeja, višje temperature celinskih voda in morja, krčenje ledenikov ter več sončnega obsevanja.
- 3) Podnebne spremembe so eden od dejavnikov ogrožanja biodiverzitete, ki danes sam po sebi še ni poglaviten, vendar pospešuje upad biodiverzitete na račun drugih kritičnih dejavnikov: izgube in drobljenja življenjskih okolij, invazivnih tujerodnih vrst, prekomernega izkoriščanja naravnih virov ter onesnaževanja. Splošen upad biodiverzitete zaradi prepletanja različnih antropogenih dejavnikov na globalni ravni označujemo kot krizo biodiverzitete.
- 4) Upad biodiverzitete in okrnjeni ekosistemski procesi, ki so posledica človekovih dejavnosti, vključno z dejavniki podnebnih sprememb, še pospešujejo podnebne spremembe in povečujejo njihove negativne učinke.
- 5) Vplivi podnebnih sprememb na živi svet se izražajo na različnih ravneh: genski, vrstni in ekosistemski. Izraženi učinki so lahko pozitivni ali negativni, kar je odvisno tudi od prostorskega in časovnega obsega. Pozitivni učinki so redkejši in izraženi kvečjemu na lokalni ravni in v krajšem časovnem obdobju.
- 6) Vplivi podnebnih sprememb na živi svet se izražajo kot spremembe v telesnih, fizioloških in vedenjskih lastnostih organizmov, njihovi fenologiji, geografski razširjenosti vrst, velikosti, strukturi in trendih njihovih populacij, vrstni sestavi združb, medvrstnih odnosih in ekosistemskih procesih.
- 7) Prilagoditvena sposobnost organizmov, vrst in ekosistemov na spremembe v okolju je omejena. Zdajšnje podnebne spremembe so tako hitre in obsežne, da se nanje najverjetneje ne bodo mogli ustrezno odzvati, zato se bo upadanje biodiverzitete še pospešilo.
- 8) Dolgoročnih vplivov podnebnih sprememb na biodiverzitetu zaradi prepletenosti in medsebojne odvisnosti dejavnikov ter pomanjkljivih vhodnih podatkov ne moremo natančno predvideti. Različni modeli v splošnem napovedujejo, da bodo v prihodnosti prevladovali negativni vplivi, predviden obseg učinkov pa je v razponu od blagih do katastrofalnih.
- 9) Večja biodiverzitetata zagotavlja večjo odpornost ekosistemov na podnebne spremembe in druge stresorje. To preprosto pomeni, da je bolj pestra in ohranjena narava odpornejša.
- 10) Ohranjena narava je tudi ključni človekov zaveznik pri blaženju podnebnih sprememb in prilagajanju nanje. Zato se je treba pri reševanju podnebne krize odpovedati tistim podnebnim ukrepom, ki slabšajo stanje biodiverzitete, in prednostno uvajati rešitve, ki temeljijo na naravi in prispevajo k obnovi in ohranjanju biodiverzitete.
- 11) Z ohranjanjem in obnovo biodiverzitete in ekosistemskih procesov zagotavljamo vitalne ekosisteme in s tem krepimo odpornost narave in naših skupnosti na podnebne spremembe.

1. Podnebne spremembe v Sloveniji in projekcije do konca 21. stoletja¹

1.1. Podnebje in podnebne spremembe

Podnebni sistem je izredno kompleksen sistem, ki ga sestavlja pet komponent: atmosfera, litosfera, hidrosfera, kriosfera in biosfera, ter interakcije med njimi (IPCC 2018). Podnebje je v najožjem pomenu definirano kot povprečno vreme, oziroma kot statistični opis povprečnih vrednosti in variabilnosti merodajnih meteoroloških spremenljivk v določenem časovnem obdobju, lahko v razponu od nekaj mesecev do tisočih ali milijonov let (Ibid.). Standardno obdobje za povprečenje meteoroloških spremenljivk po priporočilih Svetovne meteorološke organizacije je 30 let. Podnebje najpogosteje opisujemo s tremi meteorološkimi spremenljivkami (podnebnimi elementi): temperatura, padavine in veter, poleg teh pa so merodajni elementi tudi zračni tlak, vlaga in sončno sevanje.

Podnebne spremembe so spremembe stanja podnebja, ki trajajo dlje časa, praviloma desetletja ali dlje, in jih zaznamo kot spremembe v povprečnih vrednostih in/ali variabilnosti podnebnih elementov (IPCC 2018). Podnebne spremembe so lahko posledica notranje dinamike podnebnega sistema in/ali zunanjih, bodisi naravnih (Sončevi cikli in izbruhi vulkanov), bodisi antropogenih dejavnikov (spremembe v sestavi atmosfere in rabi zemljišč) (IPCC 2018). V kontekstu Okvirne konvencije Združenih narodov o spremembi podnebja (Ur. l. RS 59/1995) z izrazom »podnebne spremembe« opisujemo zdajšnje podnebne spremembe, ki so nastale neposredno ali posredno zaradi človekovih dejavnosti, ki spreminjajo sestavo atmosfere, in jih poleg naravnih sprememb podnebja zaznavamo v primerljivih časovnih obdobjih. V tem kontekstu pojem »podnebne spremembe« uporabljamo tudi v nadaljnjih poglavjih tega dokumenta.

Podnebne spremembe se izražajo kot spremembe povprečnih in ekstremnih vrednosti, jakosti, pogostosti, trajanja in/ali sezonskosti:

- temperature,
- količine padavin,
- ekstremnih vremenskih dogodkov,
- referenčne evapotranspiracije,
- višine snežne odeje,
- sončnega obsevanja,
- vetra,
- zračnega tlaka,
- rečnih pretočnih režimov in pretokov rek,
- temperature površinskih in podzemnih voda,
- višine gladine morja in morskih tokov,
- kislosti in slanosti morske vode.

1.2. Človek povzročča podnebne spremembe

Najpomembnejši toplogredni plin, ki se sprošča pri človekovih dejavnostih, je CO₂. Zaradi visoke in hitro naraščajoče vsebnosti v ozračju ima večji skupni učinek ogrevanja kot vsi ostali toplogredni plini skupaj. Presežek CO₂ v ozračju (glede na kopno in oceane) ima dolgo življenjsko dobo (40 % začetnega presežka ostane še po 100 letih, okrog 25 % po 1.000 letih), zato je za njegovo naravno odstranitev iz ozračja potrebnega veliko časa (Ciais *et al.* 2013).

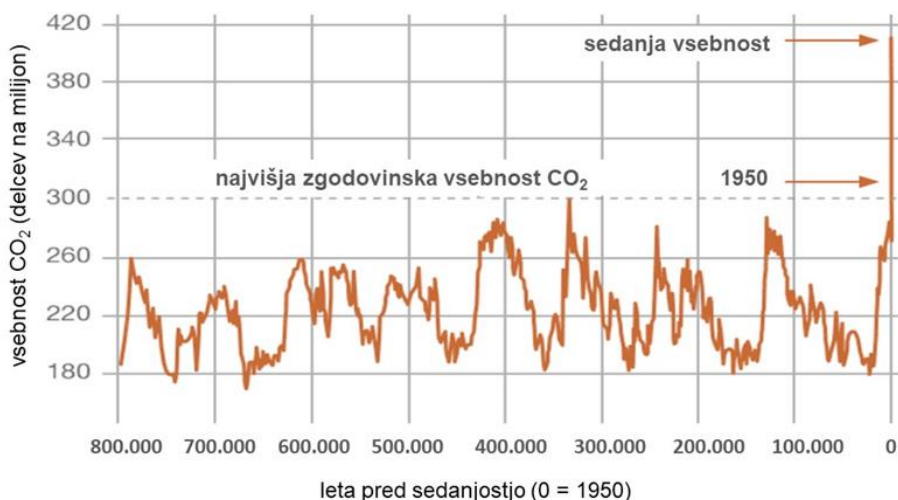
¹ Poglavlje je povzeto po dokumentu Fizikalno ozadje podnebnih sprememb in njihove posledice za Slovenijo (Karba *et al.* 2020), ki ga je Umanotera pripravila v okviru LIFE projekta CARE4CLIMATE, ki je integralni projekt, sofinanciran s sredstvi evropskega programa LIFE, sredstvi Sklada za podnebne spremembe in sredstvi partnerjev projekta.

Vsebnost CO₂ v ozračju se je v času ledenih dob gibala okrog 200 molekul na milijon molekul v ozračju (angl. parts per million – ppm), v toplejših vmesnih obdobjih pa okrog 280 ppm (Ibid.). V zadnjih 800.000 letih ni nikoli za dlje časa preseгла 300 ppm (Slika 1). Od začetka industrijske revolucije in še posebej od sredine 20. stoletja dalje pa vsebnost CO₂ zaradi izpustov, ki so posledica človekove dejavnosti (predvsem kurjenja fosilnih goriv), hitro narašča in je leta 2013 prvič v zabeleženi zgodovini preseгла 400 ppm, v oktobru 2021 pa je znašala 417 ppm (Slika 1).

Od začetka industrijske revolucije se je raven CO₂ v ozračju povečala za približno 50 %. Ker so v tem obdobju človekove dejavnosti postale glavni razlog globalnih okoljskih sprememb, je ta nova era dobila ime »antropocen« (Crutzen & Stoermer 2013).

S hitrim in močnim povečanjem vsebnosti CO₂ je človek pomembno posegel v sestavo Zemljinega ozračja in porušil ravnotežje med viri in ponori CO₂. Vsebnost toplogrednih plinov v ozračju je dodatno povečal z izpusti toplogrednih plinov, ki nastajajo v kmetijstvu in pri ravnanju z odpadki (metan in didušikov oksid) ter v industrijskih procesih (F-plini). S tem je ogrozil stabilnost podnebne sistema.

Vsaka sprememba v Zemljinem podnebne sistemu, ki vpliva na to, koliko energije vstopa v sistem oziroma ga zapusti, lahko poruši Zemljino sevalno ravnotežje (ravnotežje med dotokom energije, ki na naš planet prihaja od Sonca, in energijo, ki jo Zemlja seva nazaj v vesolje) in lahko povzroči spremembo temperature ozračja in Zemljine površine.

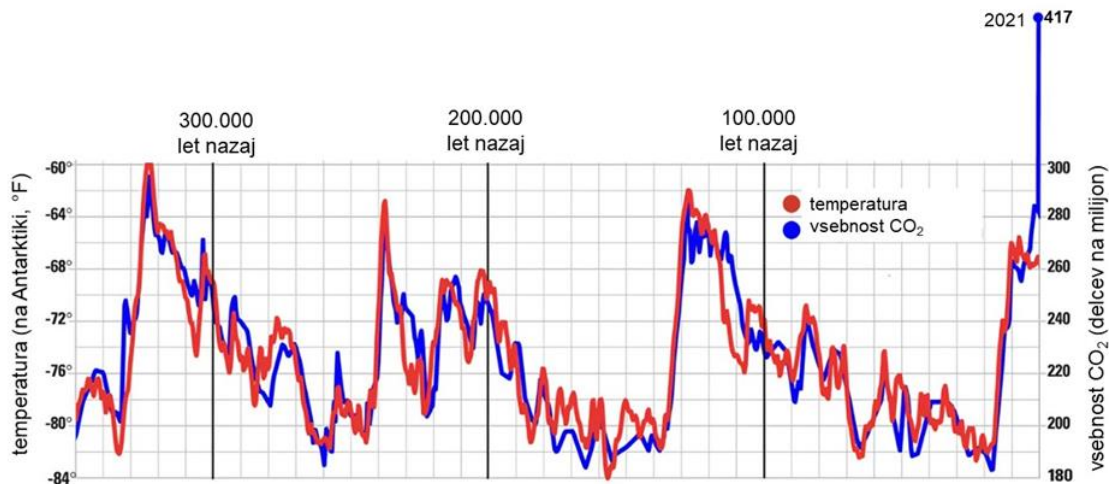


Slika 1. Vsebnost CO₂ v ozračju v 800.000 letih Zemljine zgodovine in strmi porast od sredine 20. stoletja (prirejeno po: Shaftel *et al.* 2022a)

Človek vpliva na podnebje najmočneje z višanjem vsebnosti toplogrednih plinov v ozračju, poleg tega pa še z onesnaževanjem ozračja z aerosoli (mikroskopski delci, ki absorbirajo ali odbijajo sončne žarke ter posredno vplivajo tudi na oblake) ter spreminjanjem lastnosti Zemljinega površja (npr. krčenjem gozdov) (Ibid.).

Podnebje se je v Zemljini zgodovini vedno spreminjalo, ledene dobe so se izmenjavale s toplimi obdobji. Pri tem so bile dolgoročne spremembe temperature ozračja vedno tesno korelirane s spremembami vsebnosti CO₂ (Slika 2). Na pretekle podnebne spremembe so vplivali naravni dejavniki, vključno s spremembami Sončevega izseva, spremembami sploščenosti Zemljine orbite in nagiba osi vrtenja (te se dogajajo v obdobjih, ki trajajo več deset tisoč do sto tisoč let), velikimi ognjeniški izbruhi ter spremembami sestave ozračja. (Ibid.) Obdobja globalnega ogrevanja so se po naravni poti začela s spremembami Zemljine orbite okoli Sonca, kar vpliva na količino sezonske sončne svetlobe, ki doseže Zemljino površje. Ko se temperatura oceanov dvigne, oceani sproščajo CO₂ v ozračje. Povečana vsebnost CO₂ okrepi učinek tople grede in poveča trend ogrevanja, kar povzroči še več sproščanja CO₂. Ta pozitivna povratna zanka, pri kateri je povečanje vsebnosti CO₂ tako

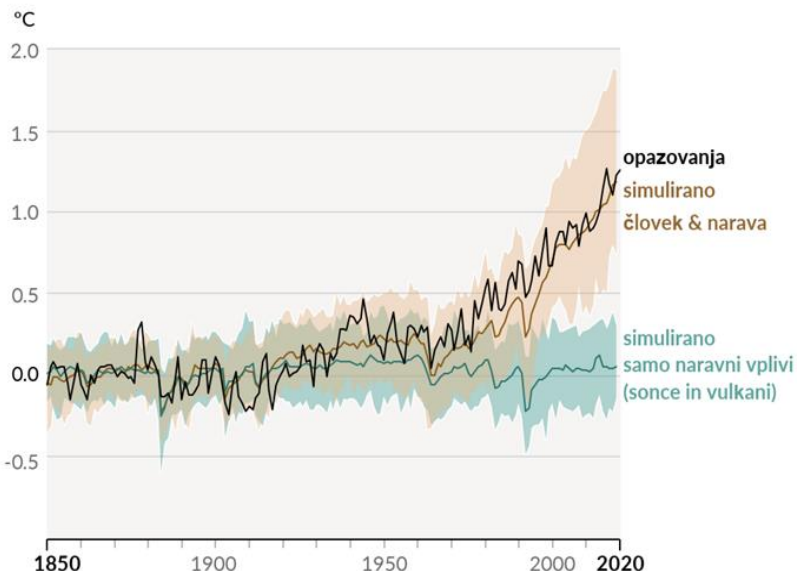
vzrok kot posledica nadaljnjega ogrevanja, je potrebna za sprožitev premikov med ledenodobnimi in toplejšimi obdobji, saj je učinek orbitalnih sprememb prešibek, da bi povzročil takšno spremembo. Dodatne pozitivne povratne zanke, ki igrajo pomembno vlogo v tem procesu, vključujejo izpuste drugih toplogrednih plinov ter spremembe v ledeniškem pokrovu in vegetacijskih vzorcih (Cook 2021).



Slika 2. Vsebnost CO₂ in temperatura Zemljinega ozračja (prirejeno po: NOAA Climate.gov)

Povečano vsebnost toplogrednih plinov v ozračju v zadnjem stoletju spremlja dvig povprečne temperature na svetovni ravni. Globalna temperatura Zemljinega površja se je od začetka industrijske revolucije povišala za več kot 1 °C (Shaftel *et al.* 2022b).

Prispevek k spremembi globalne temperature zaradi naravnih vzrokov, ki sta Sončeva in ognjeniška dejavnost, je v primerjavi s prispevkom vzrokov, ki so posledica človekovih aktivnosti, zanemarljiv (IPCC 2021b, Slika 3).



Slika 3. Sprememba globalne temperature od začetka industrijske revolucije (ARSO 2021)

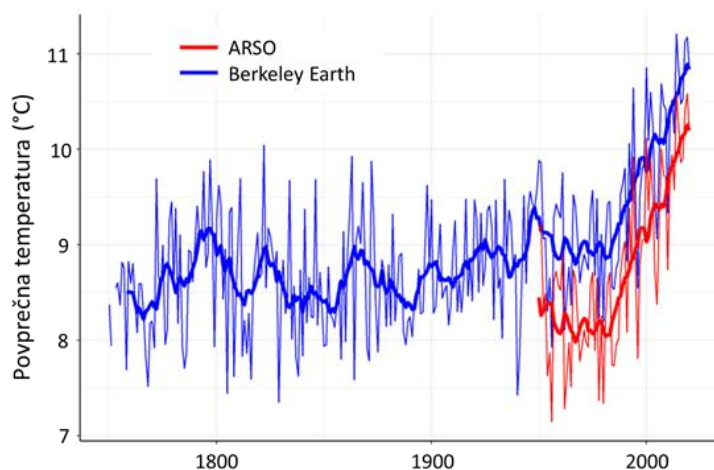
Sprememba temperature Zemljinega površja predvsem zaradi velike mase oceanov, ki imajo zmožnost skladiščiti velike količine toplote, časovno zaostaja za spremembami vsebnosti CO₂ v ozračju. Tudi če bi se vsebnost toplogrednih plinov v ozračju ustalila na sedajni vrednosti, bi se površje Zemlje zaradi toplogrednih plinov, ki so že v ozračju, še naprej ogrevalo (za približno 0,5 °C do konca 21. stoletja). Nadaljnje povišanje temperature je odvisno od tega, koliko toplogrednih plinov bomo spustili v ozračje v prihodnosti.

Dokler bo vsebnost toplogrednih plinov zaradi človekovih dejavnosti naraščala in krepila učinek tople grede, bo količina zadržane sončne energije v Zemljinem podnebnem sistemu še naprej presegala količino energije, ki pobegne v vesolje, in temperatura Zemljinega površja in prizemnega sloja ozračja se bo še naprej zviševala. Dodatna energija, ki zaradi okrepljenega toplogrednega učinka ostaja v podnebnem sistemu, povzroča spremembe Zemljinega podnebja (Ibid.).

1.3. Posledice podnebnih sprememb v Sloveniji

Podnebne spremembe v Sloveniji so zaznane zlasti v temperaturi zraka. Slovenija se je v zadnjih desetletjih ogrela, povečalo se je število vročih in toplih dni, nekoliko manj izrazito pa je upadlo število hladnih, mrzlih in ledenih dni. Najbolj so se ogrela poletja in pomladi, nekoliko manj zime. Jeseni se niso statistično značilno ogrele (Vertačnik & Bertalanič 2017).

Slovenija se zaradi svojih geografskih značilnosti ogreva hitreje od svetovnega povprečja. Medtem ko se je globalna temperatura v zadnjih šestdesetih letih dvignila za približno 0,8 °C, se je povprečna temperatura zraka v Sloveniji dvignila za več kot 2 °C (Slika 4).

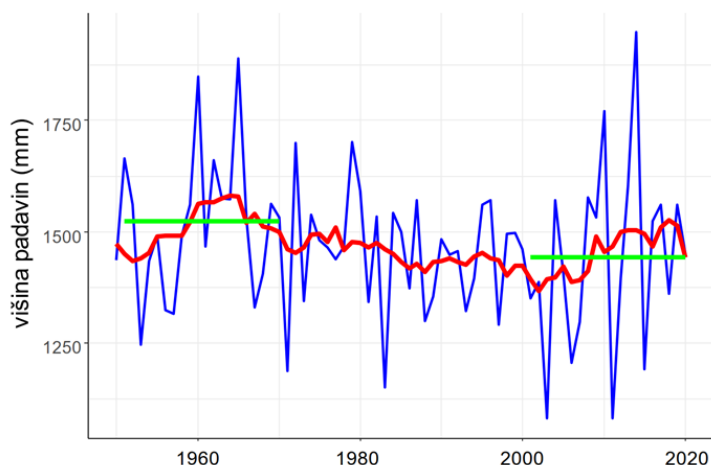


Slika 4. Povprečna temperatura zraka v Sloveniji za zadnjih sedem desetletij (ARSO 2021)

Povečalo se je trajanje sončnega obsevanja. Število sončnih ur je raslo za okoli 40 na desetletje. Povečano trajanje sončnega obsevanja je najopaznejše v spomladanskih in poletnih mesecih, malo manj v zimskih, jeseni pa opaznejših sprememb ni. Zaradi močne odvisnosti od temperature zraka in sončnega obsevanja se je povečalo tudi izhlapevanje (Vertačnik & Bertalanič 2017).

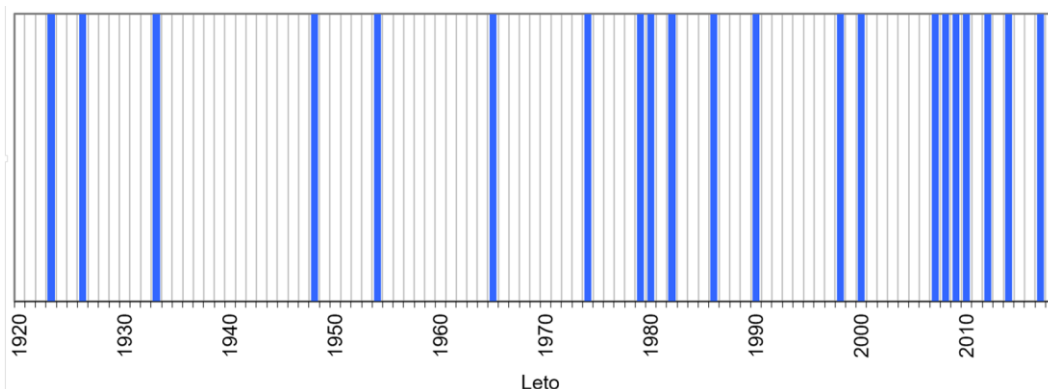
Rastna sezona se je od sredine prejšnjega stoletja na severni polobli na izven tropskih območjih podaljševala v povprečju za dva dneva na desetletje (ARSO 2021).

V Sloveniji se je od začetka šestdesetih let prejšnjega stoletja količina padavin na letni ravni zmanjševala, po letu 2000 pa ponovno višala (Ibid.).



Slika 5. Povprečna višina padavin v Sloveniji v obdobju 1950–2020. Z modro so označene letne vrednosti, z rdečo 11-letno drsečo povprečje, z zeleno pa dvajsetletni povprečji 1951–1970 in 2001–2020 (ARSO 2021).

Povečala se je pogostost ekstremnih padavin, ki povzročajo poplave. Pogostost ekstremnih padavinskih dogodkov se z vsako stopinjo globalnega segrevanja podvoji. Jakost teh že tako ekstremnih dogodkov se z vsako stopinjo ogrevanja poveča za 13 %.



Slika 6. Leta z obsežnejšimi poplavami v Sloveniji (vir: ARSO)

Posledica podnebne spremenljivosti Slovenije so tudi spremembe pretokov rek. Srednji pretoki rek v Sloveniji so se v obdobju 1961–2013 zmanjšali, najbolj spomladi in poleti. Padajoči trend srednjih pretokov kaže, da se je letna količina razpoložljive vode v strugah vodotokov zmanjšala, kar je posledica manjše letne količine padavin v tem obdobju in porasta povprečne letne temperature zraka. Po drugi strani se je pogostost velikih pretokov ponekod v osrednjem in vzhodnem delu države povečala (Oblak 2017). Zvišala se je temperatura površinskih in podzemnih vod (Vertačnik & Bertalanič 2017).

Zmanjšala se je višina snežne odeje in višina novozapadlega snega. Višina snežne odeje se je v obdobju 1961–2011 več kot preplovala. Najbolj opazne so spremembe v nižje ležečih delih alpskega sveta (Ibid.).



Slika 7. Triglavski ledenik Zeleni sneg leta 1946 (levo) in po zelo vročem poletju leta 2003 (desno) (Pavšek 2010)

Strokovnjaki z Geografskega inštituta Antona Melika že od leta 1946 redno opazujejo, merijo in preučujejo Triglavski ledenik pod Kredarico in od leta 1948 ledenik pod Skuto. Triglavski ledenik je ob koncu 19. stoletja meril več kot 40 ha, ob začetku natančnejših meritev leta 1946 je meril 15 ha, v naslednjih desetletjih se je njegova površina zmanjševala in s pol hektarja leta 2007 dosegla svoj minimum (Slika 7). Zdaj nima več vseh značilnosti ledenika, saj na njem, na primer, ni ledeniških razpok. Zaradi ujetosti ledenika v konkavni del pobočja tudi ne zaznavamo več premikanja ledu. Označimo ga lahko kot »zelo majhen ledenik«. Morda smo celo ena zadnjih generacij, ki ga še lahko občuduje. Ledenik pod Skuto je leta 1948 meril 3 ha, leta 2010 pa le še 1 ha. V tem času se je tudi močno stanjšal, vendar pa zaradi senčne lege in ker njegovo površino občasno prekrije obilnejše kamninsko gradivo, podnebnim spremembam podlega počasneje od Triglavskega ledenika (Pavšek & Trobec 2010).

1.4. Projekcije podnebnih sprememb v Sloveniji

Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO) je pripravila oceno oziroma projekcije podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja (Bertalanič *et al.* 2018b). Prihodnje podnebne razmere bodo močno odvisne od razvoja družbe in gospodarstva v 21. stoletju (stopnje naraščanja prebivalstva, bruto domačega proizvoda in tehnološkega razvoja) ter uspešnosti podnebnih politik. Zato so strokovnjaki ARSO pri pripravi ocene sprememb podnebja v Sloveniji do konca 21. stoletja upoštevali tri scenarije svetovnih izpustov toplogrednih plinov (ARSO 2021):

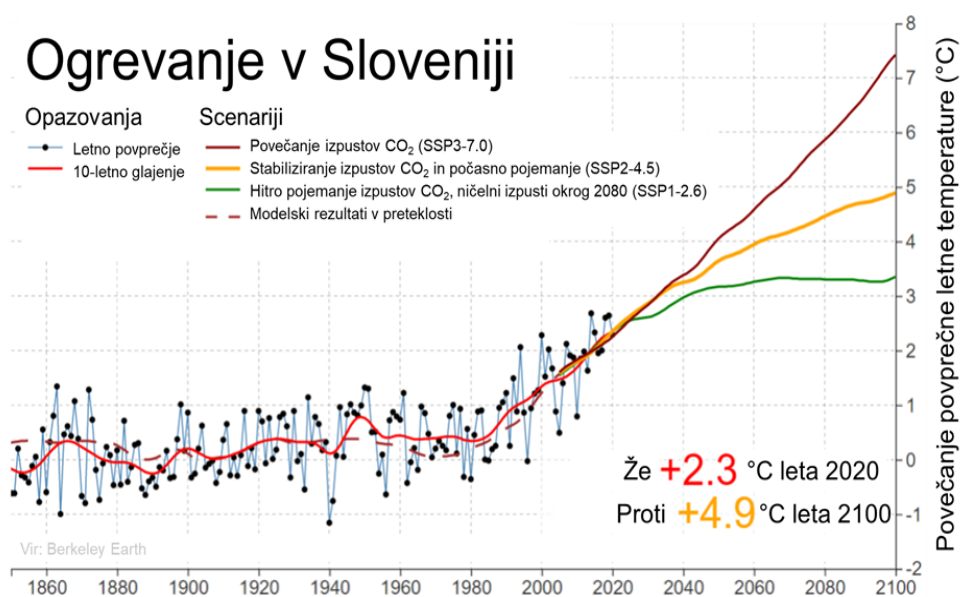
- Optimistični scenarij izpustov toplogrednih plinov (RCP2.6) se najbolj približa ciljem Pariškega sporazuma in predvideva, da bo politika omejevanja izpustov zelo hitra in uspešna: izpusti bodo dosegli višek na začetku 21. stoletja in se nato hitro zmanjševali ter dosegli ničelno vrednost do osemdesetih let 21. stoletja, v nadaljevanju pa bodo celo rahlo negativni (ponori bodo večji od izpustov)². Ta scenarij je podoben scenariju SSP1-2.6 šestega poročila IPCC (AR6).
- Zmerno optimistični scenarij (RCP4.5) predvideva, da se bodo izpusti toplogrednih plinov sprva še povečevali, nato pa sredi in proti koncu 21. stoletja zmanjševali, vendar bodo ostali sorazmerno veliki. Ta scenarij je podoben scenariju SSP2-4.5 šestega poročila IPCC (AR6).
- Pri pesimističnem scenariju (RCP8.5) pa se večji uspehi pri omejevanju izpustov ne predvidevajo, zato se bodo ti skozi celotno 21. stoletje hitro povečevali. Ta scenarij je podoben scenariju SSP5-8.5 šestega poročila IPCC (AR6).

Podnebne projekcije ne veljajo za natančne napovedi stanja v prihodnosti, temveč opisujejo več možnih ter verjetnih stanj podnebnega sistema v Sloveniji na podlagi globalnega družbeno-gospodarskega razvoja in služijo kot ocena prihodnjih temperaturnih, padavinskih in hidroloških razmer.

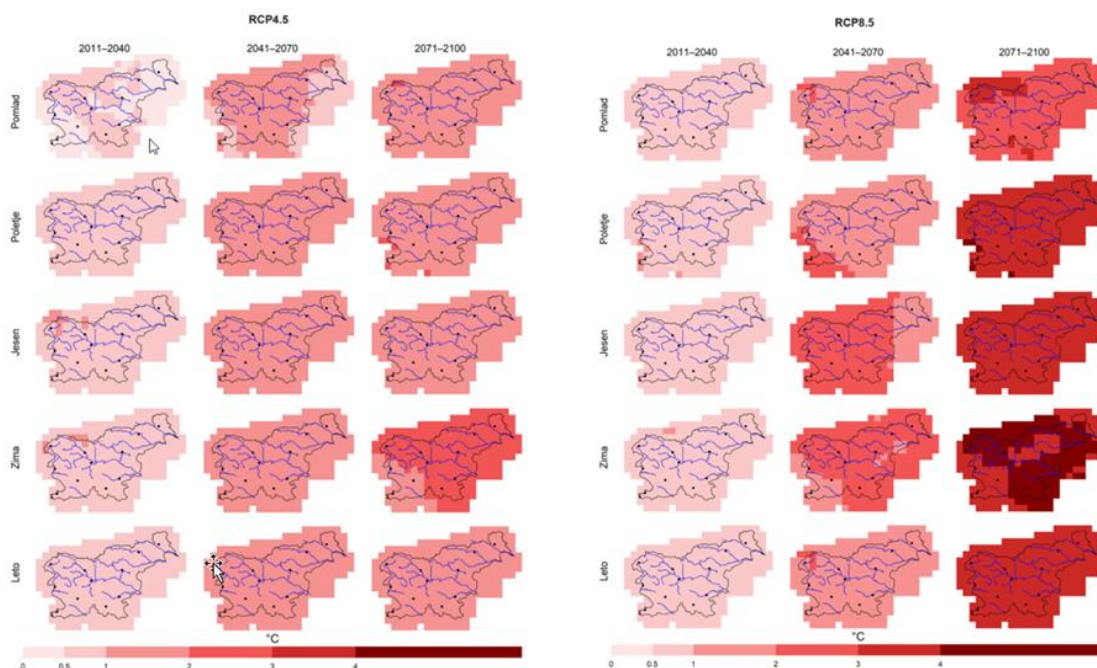
² (Neto) ničelni izpusti toplogrednih plinov so doseženi, ko izpusti (npr. zaradi kurjenja fosilnih goriv) ne presegajo zmognosti ponorov, da jih odstranijo iz ozračja. Najpomembnejši naravni ponor predstavljajo gozdovi.

1.4.1. Temperaturni trend

Slovenija se je do leta 2020 glede na obdobje pred industrijsko revolucijo že ogrela za 2,3 °C in naraščanje temperature zraka se bo v 21. stoletju nadaljevalo, velikost dviga pa je zelo odvisna od scenarija izpustov toplogrednih plinov (Slika 8). V primeru optimističnega scenarija izpustov bo temperatura do konca stoletja v primerjavi s pred industrijskim obdobjem zrastle za približno 3,4 °C. Scenarij, ki glede zmanjševanja izpustov velja za zmerno optimističnega ter najbolj verjetnega, do leta 2100 predvideva dvig temperature zraka za približno 4,9 °C glede na predindustrijsko obdobje, pesimistični scenarij izpustov pa za več kot 7 °C. Temperatura se bo verjetno najbolj povečala pozimi, le nekoliko manj poleti in jeseni, najmanj pa spomladi (Slika 9). V gorskem svetu na višjih nadmorskih višinah je predviden nadpovprečen dvig temperature.



Slika 8. Ogrevanje ozračja v Sloveniji v preteklosti in projekcije do konca 21. stoletja za tri scenarije izpustov toplogrednih plinov (ARSO 2021)



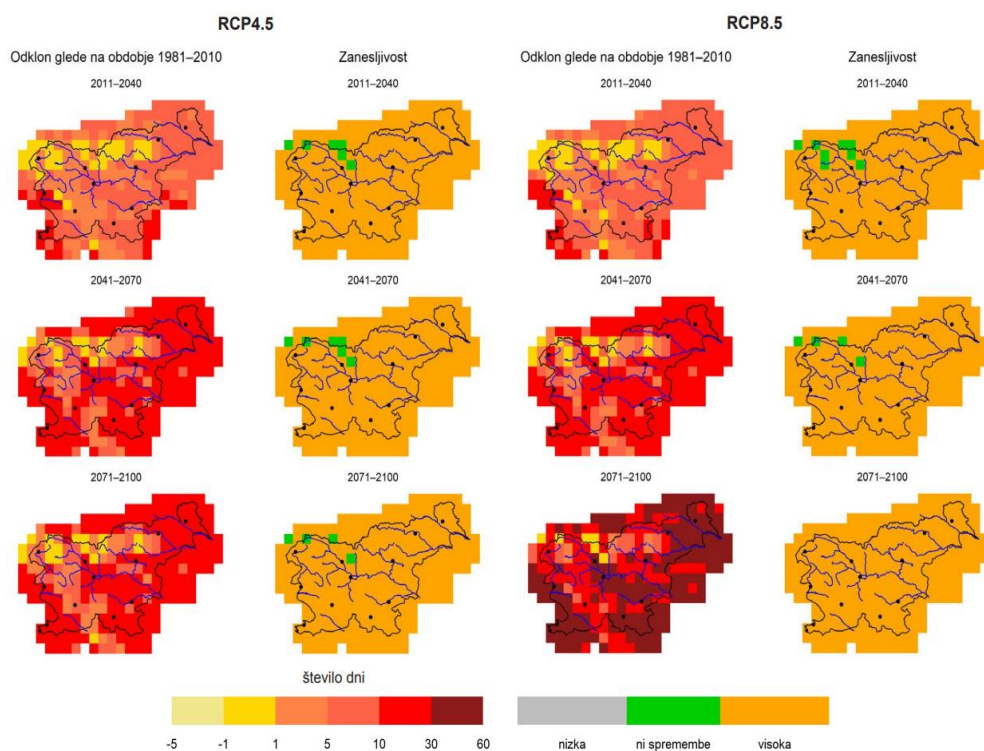
Slika 9. Sprememba povprečne temperature zraka po meteoroloških letnih časih in za celo leto v treh projekcijskih obdobjih glede na obdobje 1981–2010 za zmerno optimistični (levo) in pesimistični scenarij izpustov (desno) (odklon temperature od povprečja v primerjalnem obdobju 1981–2010) (Bertalanich *et al.* 2018b)

1.4.2. Izjemne temperature

Dvig temperature bo močno povečal toplotno obremenitev. V primeru optimističnega scenarija izpustov se bo letno število vročih dni s temperaturo nad 30 °C v Sloveniji do konca stoletja v primerjavi z referenčnim obdobjem 1981–2010 povečalo za približno šest, v primeru zmerno optimističnega scenarija izpustov za približno 11, v primeru pesimističnega scenarija izpustov pa za približno 27. V nižinskem delu Slovenije bo konec stoletja po pesimističnem scenariju lahko tudi do 60 vročih dni več kot v referenčnem obdobju (Bertalanich *et al.* 2018b). Povečevalo se bo tudi število tropskih noči, ko se temperatura tudi ponoči ne spusti pod 20 °C. Po pesimističnem scenariju bomo imeli konec stoletja v nekaterih območjih tudi do 60 tropskih noči več kot v današnjem podnebj (Ibid.).

V vseh scenarijih izpustov se bo povečalo število in trajanje vročinskih valov. V primeru zmerno optimističnega scenarija izpustov bomo imeli konec stoletja povprečno vsaj en vročinski val letno, ki bo po jakosti primerljiv ali hujši od vročinskega vala poleti 2003, ko je Evropo prizadel najhujši vročinski val po letu 1540 (Ibid.).

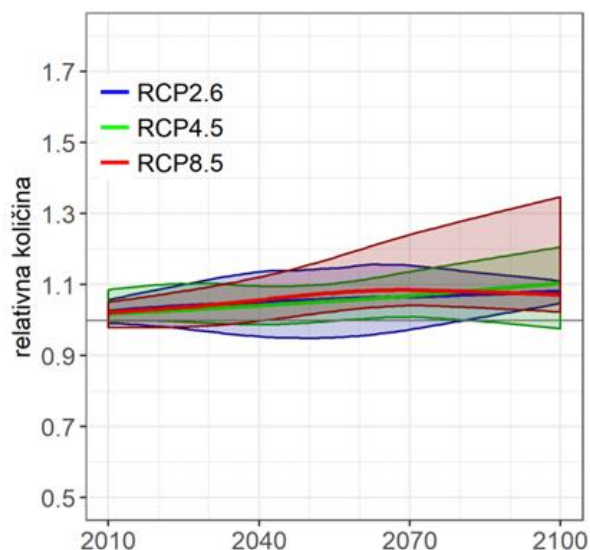
Največji upad števila ledenih dni, ko najvišja temperatura ne preseže 0 °C, oziroma števila hladnih dni, ko dnevna najnižja temperatura pade pod 0 °C, se v prihodnosti pričakuje v visokogorju in v delu prehodne regije (Ibid.).



Slika 10. Sprememba povprečnega števila vročih dni na leto glede na obdobje 1981–2010 in pripadajoča zanesljivost spremembe za scenarija zmerno optimistični (levo) in pesimistični scenarij (desno) (Bertalanič *et al.* 2018b).

1.4.3. Spremembe padavin

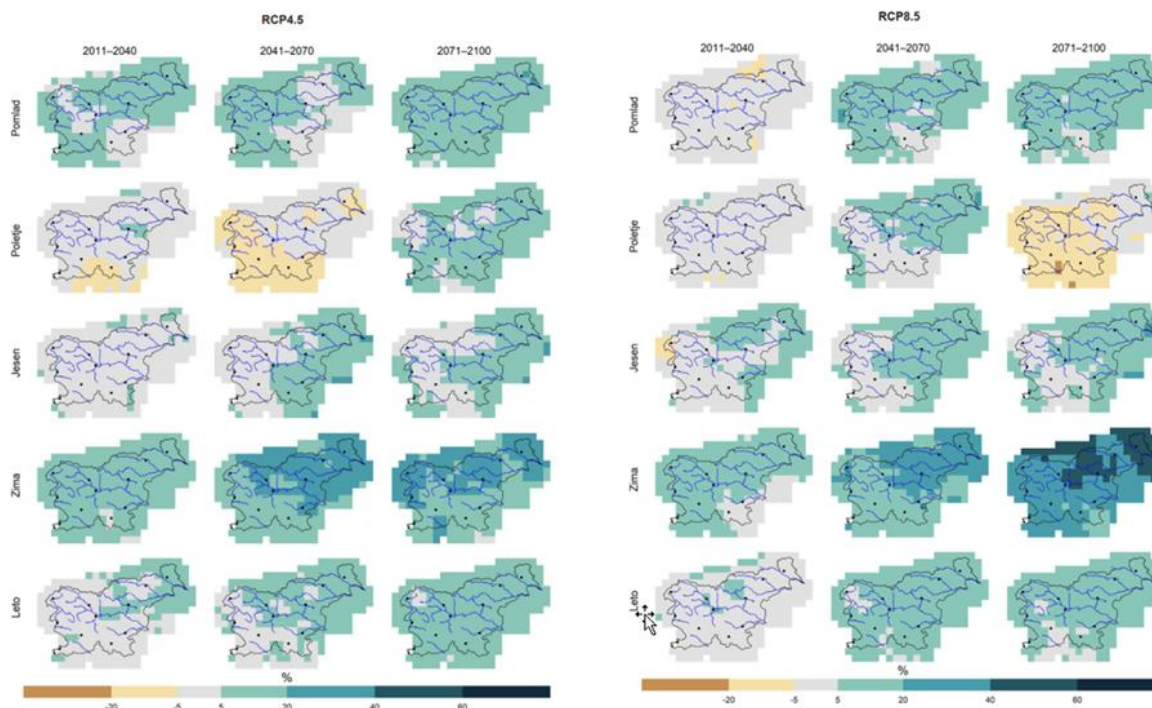
V nasprotju s temperaturo so ocene sprememb padavin v Sloveniji do konca 21. stoletja manj zanesljive (Slika 11).



Slika 11. Časovni potek spremembe letne višine padavin do konca 21. stoletja v Sloveniji za tri scenarije, vključno z razponi odstopanj zaradi uporabe različnih podnebnih modelov; relativna količina: faktor spremembe glede na izhodiščno vrednost, ki predstavlja povprečje v obdobju 1981–2010 (Bertalanič *et al.* 2018b)

Količina padavin na letni ravni in pozimi se bo po zmerno optimističnem in pesimističnem scenariju izpustov sredi ali konec 21. stoletja znatno povečala (Bertalanič *et al.* 2018b). V primeru obeh scenarijev izpustov bo

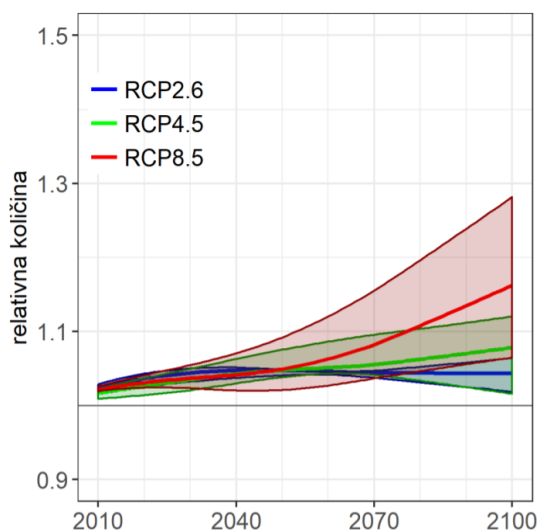
povprečno povečanje letnih padavin konec stoletja v primerjavi z obdobjem 1981–2010 do 20 %. Še bolj se bodo padavine povečale pozimi, nekoliko bolj na vzhodu države. Že v sredini stoletja se bodo v vzhodni Sloveniji zimske padavine povečale do 40 %, do konca stoletja pa bo v primeru pesimističnega scenarija izpustov lahko tudi več kot 60 % več zimskih padavin. V ostalih letnih časih je smer in velikost spremembe padavin zelo odvisna od scenarija izpustov in deloma modela, spremembe pa so večinoma manjše od naravne spremenljivosti padavin (Slika 12). Povečala se bosta tako jakost kot pogostost izjemnih padavin, povečanje pa bo najbolj izrazito v primeru pesimističnega scenarija izpustov (Bertalanič *et al.* 2018b).



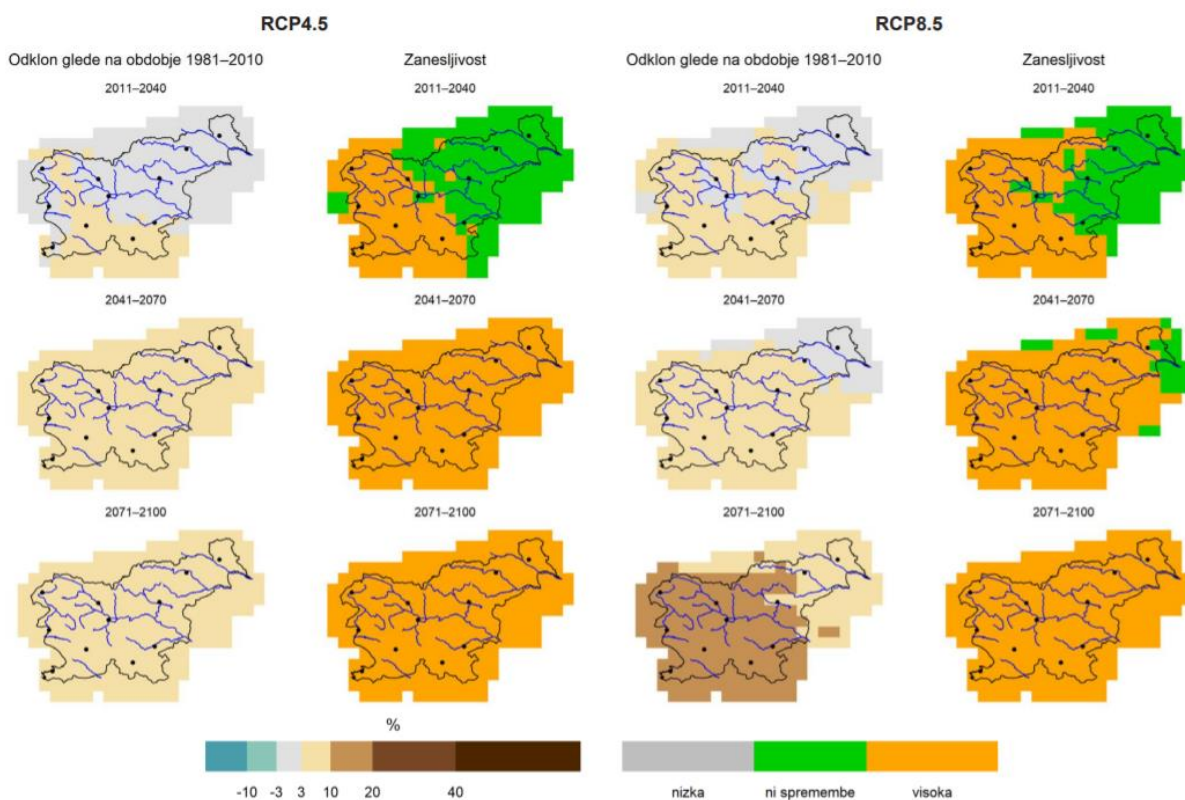
Slika 12. Sprememba povprečne višine padavin po meteoroloških letnih časih in za celo leto v treh projekcijskih obdobjih glede na obdobje 1981–2010 za zmerno optimistični (levo) in pesimistični scenarij izpustov (desno) (relativni odklon višine padavin od povprečja v primerjalnem obdobju 1981–2010) (Bertalanič *et al.* 2018b)

1.4.4. Spremembe vodne bilance

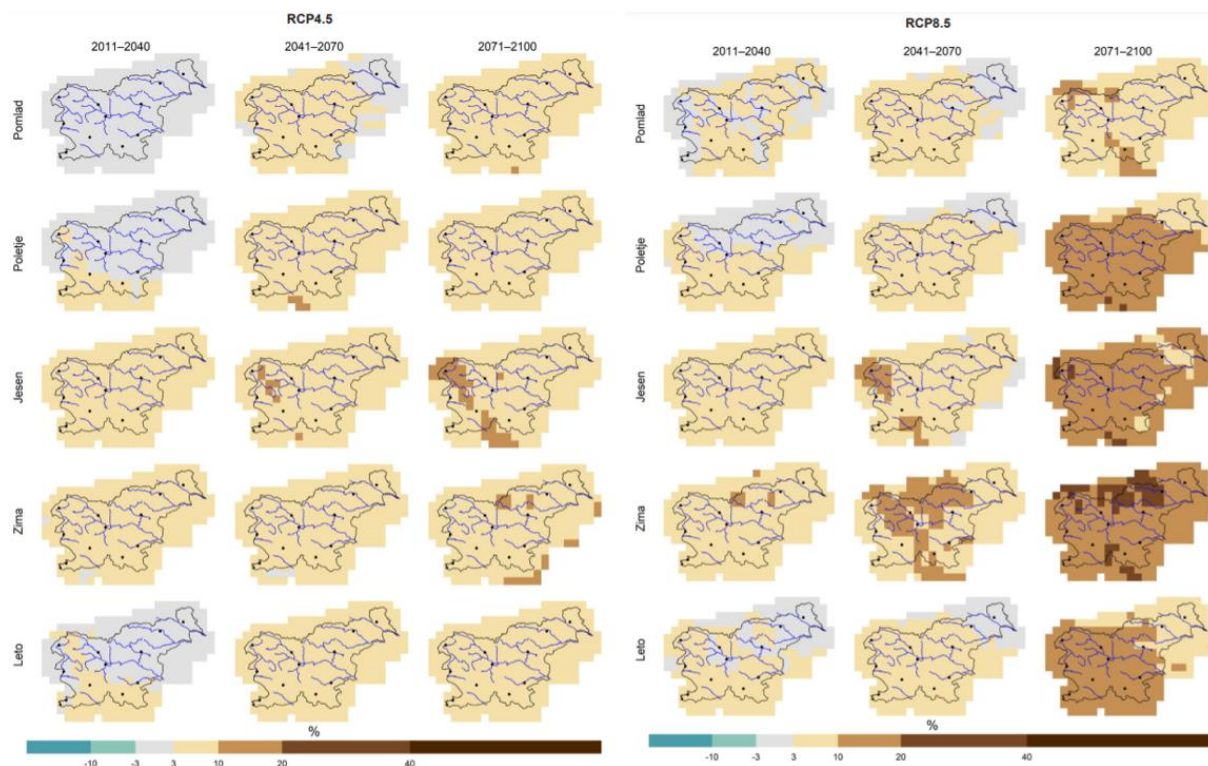
Skladno z rastjo temperature zraka se bo v Sloveniji do konca stoletja nadaljevala tudi rast referenčne evapotranspiracije (Slika 13). V primeru optimističnega scenarija izpustov bo porast referenčne evapotranspiracije v mejah njene naravne spremenljivosti. V zmerno optimističnem scenariju izpustov bo v primerjavi z obdobjem 1981–2010 referenčna evapotranspiracija v slovenskem povprečju zrasla za približno 8 %, v pesimističnem scenariju izpustov pa za približno 16 % (Slika 14). Porast referenčne evapotranspiracije po Sloveniji ne bo enakomeren, različen bo tudi med letnimi časi (Slika 15).



Slika 13. Časovni potek spremembe letne referenčne evapotranspiracije do konca 21. stoletja v Sloveniji za tri scenarije, vključno z razponi odstopanj. Prikazana je relativna vrednost glede na povprečje v obdobju 1981–2010 (Bertalaníč *et al.* 2018b)



Slika 14. Sprememba povprečne letne referenčne evapotranspiracije v treh projekcijskih obdobjih glede na obdobje 1981-2010 in pripadajoča zanesljivost spremembe za scenarija RCP4.5 (levo) in RCP8.5 (desno) (Bertalaníč *et al.* 2018b)



Slika 15. Sprememba povprečne referenčne evapotranspiracije po meteoroloških letnih časih in za celo leto v treh projekcijskih obdobjih glede na obdobje 1981–2010 za scenarija izpustov RCP4.5 (zgoraj) in RCP8.5 (naslednja stran). Prikazan je relativni odklon referenčne evapotranspiracije od povprečja v primerjalnem obdobju 1981–2010 (Bertalaníč *et al.* 2018b)

Šestdesetdnevni vodni primanjkljaj se bo v zmerno optimističnem scenariju izpustov v primerjavi z obdobjem 1981–2010 povečal le v sredini stoletja, v poletnem in jesenskem času, do 70 mm. Proti koncu stoletja se bo nato zopet zmanjšal na nivo primerjalnega obdobja. V pesimističnem scenariju izpustov se bo primanjkljaj povečal šele ob koncu stoletja, prav tako poleti in jeseni, ko bodo spremembe ponekod tudi večje od 70 mm (Bertalaníč *et al.* 2018b). Ne glede na scenarij izpustov toplogrednih plinov se bo povprečno letno napajanje podzemne vode v primerjavi z obdobjem 1981–2010 do konca stoletja povečalo v povprečju do 20 %. Izstopa severovzhodna Slovenija, kjer lahko povečanje preseže 30 % (Ibid.).

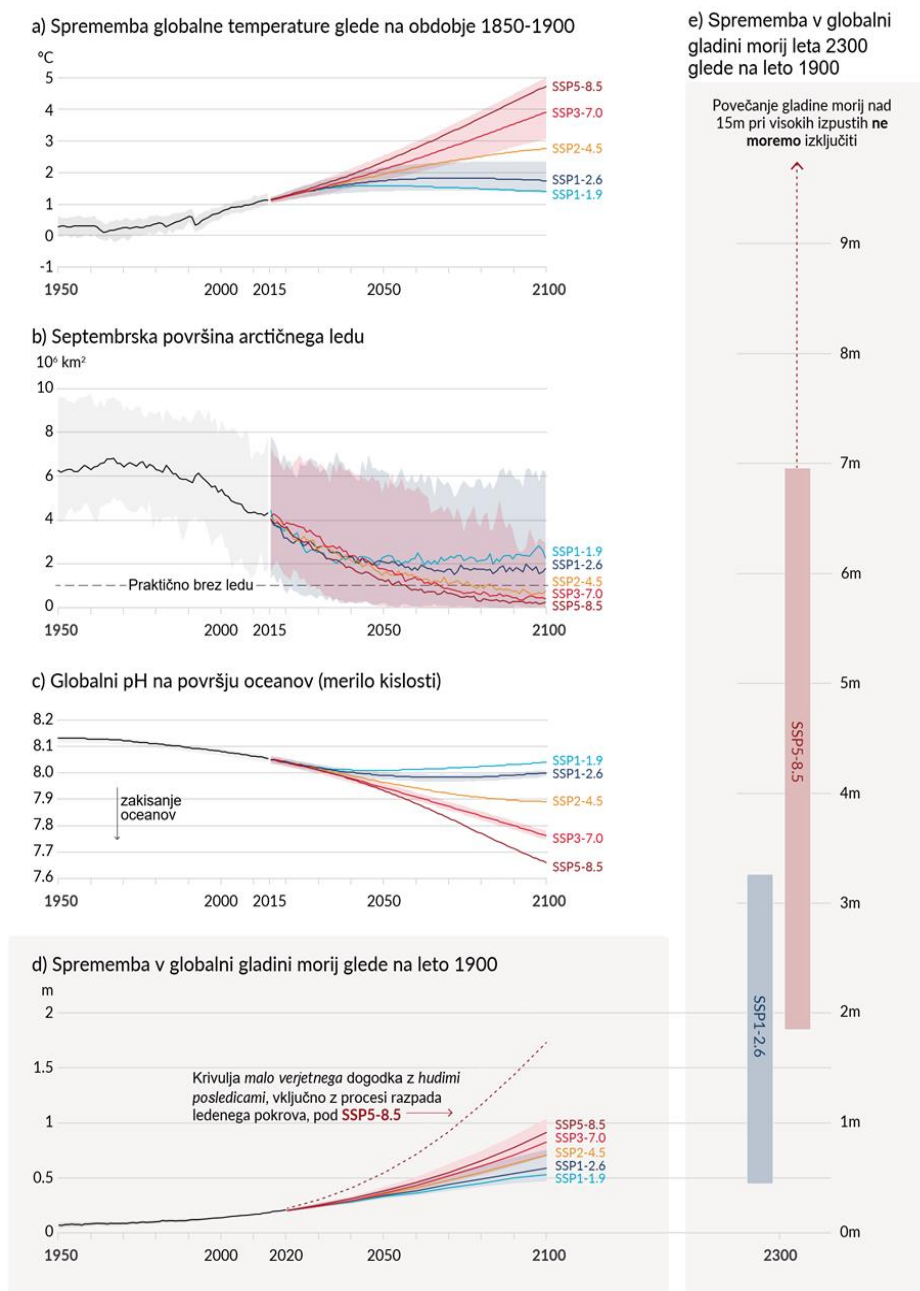
1.4.5. Spremembe hidroloških spremenljivk

Večjih sprememb srednjih letnih pretokov v Sloveniji v primerjavi z obdobjem 1981–2010 po vseh scenarijih izpustov ni pričakovati, z izjemo severovzhoda, kjer bi se pretoki v zmerno optimističnem scenariju izpustov do konca stoletja lahko povečali do 30 %. V primeru pesimističnega scenarija izpustov bo lahko v sredini stoletja na severovzhodu povečanje do 40 % (Bertalaníč *et al.* 2018b). Srednje letne konice se bodo po vseh scenarijih izpustov v primerjavi z obdobjem 1981–2010 povečale povsod po državi, v povprečju od 20 do 30 %. Povečanje se od bližnje prihodnosti proti koncu stoletja stopnjuje. Največje povečanje konic bo na severovzhodu države, kjer bo v primeru zmerno optimističnega scenarija izpustov znašalo do približno 30 %. V primeru pesimističnega scenarija izpustov bo povečanje proti koncu stoletja med 20 in 40 % na skoraj vseh vodomernih postajah (Ibid.). Po zmerno optimističnem in pesimističnem scenariju so spremembe srednjih malih pretokov prostorsko neenotne in le ponekod v severni polovici Sloveniji kažejo na značilno povečanje za približno 20 % (Ibid.).

1.4.6. Spremembe v gladini morja in obsegu ledenikov

V severnem Jadranu se bo v primeru scenarija z velikimi izpusti toplogrednih plinov v 21. stoletju pogostost poplav obalnih območij povečala za faktor 100–200. Po drugi strani bo v primeru scenarija uspešnega omejevanja izpustov pogostost poplav narasla zgolj za faktor 10–50 (EEA 2019).

Projekcije spreminjanja mase evropskih ledenikov do konca 21. stoletja kažejo, da bodo povprečne izgube mase ledenikov leta 2100 glede na leto 2015 velike. V evropskih Alpah in Pirenejih, kjer prevladujejo manjši ledeniki, bi lahko izguba mase ledenikov preseгла 80 %, kar pomeni, da bo večina ledenikov popolnoma izginila (Hock *et al.* 2019).



Slika 16. Izbrani kazalniki globalnih podnebnih sprememb za pet scenarijev izpustov toplogrednih plinov: sprememba temperature zraka (a), septembrska površina arktičnega morskega ledu (b), pH na površju oceanov (c) ter sprememba gladine svetovnih morij glede na leto 1900 do konca 21. stoletja (č) in do leta 2300 (d) (Bertalanč *et al.* 2018b)

2. Vplivi podnebnih sprememb na biodiverzitetu

Biodiverzitetu je pestrost živega sveta v najširšem pomenu besede in jo opisujemo na različnih ravneh biološke organizacije, od genoma do biomov. Največkrat jo izražamo kot vrstno pestrost, ki pa predstavlja le eno raven biodiverzitetu. Na ravni genoma prepoznavamo pestrost genetske zasnove osebkov; na ravni osebkov pestrost njihovih izraženih lastnosti in življenjskih strategij; na ravni populacij raznolikost ekotipov in podvrst; na ravni vrst vrstno pestrost; na ravni združb pestrost medvrstnih odnosov; na ravni ekosistemov pestrost odzivov celotne združbe na okolje (Tome 2006). Običajno jo (poenostavljeno) opisujemo na ravni genske, vrstne in ekosistemske pestrosti (Verma 2021).

Vplive podnebnih sprememb lahko zaznavamo na vseh ravneh biodiverzitetu (Bellard *et al.* 2012). Lahko se izražajo kot spremembe v območjih razširjenosti vrst, fenologiji, populacijski demografiji in medvrstnih odnosih, kot izumrtje vrst z omejeno razširjenostjo, izguba habitata in pospešeno širjenje invazivnih tujerodnih vrst (Caro *et al.* 2022). Vplivi podnebnih sprememb na biodiverzitetu so do neke mere zaznavni že danes, obsežnejše globalne spremembe v biosferi pa so pričakovane predvsem v prihodnjih desetletjih, čeprav je njihov dejanski obseg skoraj nemogoče napovedati in je v veliki meri odvisen tudi od uresničitve podnebnega scenarija.

2.1. Vplivi na ravni osebkov

Podnebni elementi so neživi dejavniki okolja (abiotski dejavniki), ki primarno vplivajo na življenjske funkcije (fiziologijo), telesno obliko (morfologijo) in vedenje (etologijo) organizmov na ravni osebkov. Vsi odzivi na abiotske dejavnike, ki jih opazujemo v naravi na višjih ravneh biološke organizacije, kot so populacije, združbe, ekosistemi in biomi, so pravzaprav posledica odzivov organizmov na individualni ravni. Fiziološke, morfološke in etološke lastnosti organizmov določajo njihova genetika in vplivi iz okolja, in so spremenljive. V primeru, ko se lastnosti organizma spremenijo zaradi sprememb v njegovem genomu, govorimo o genetskem odzivu (Bellard *et al.* 2012). Kadar pa so spremembe v lastnostih organizma posledica spremenjenega izražanja genov zaradi vplivov iz okolja, govorimo o fenotipskem oz. plastičnem odzivu organizma na spremembe v okolju (Ibid.). Fenotipski odzivi v ekstremnih razmerah dosežejo fiziološko mejo, npr. telesna velikost in hitrost presnove organizma se ne moreta zmanjševati ali povečevati v neskončnost (Ibid.), zato v takšnih razmerah organizmi odmrejo.

Pod vplivom podnebnih sprememb se organizmi tako lahko odzovejo s spremembami številnih lastnosti: telesnih značilnosti (obarvanost, velikost ...), rasti in razvoja (hitrost telesne rasti, izmenjava razvojnih faz ...), aktivnosti in ritmov (obdobje zmanjšane ali prekinjene aktivnosti, časovni razpored aktivnosti ...), rodnosti (število potomcev), telesne kondicije in sposobnosti preživetja ter celo spola (pri vrstah s temperaturno odvisnim spolom) (Bellard *et al.* 2012, Weiskopf *et al.* 2020).

Temperatura vpliva na telesno obarvanost kačjih pastirjev.

Kačji pastirji so zaradi svojega evolucijskega izvora v tropih in kasnejših prilagoditev na zmerno podnebje zlasti močno odvisni od temperature okolja. Fiziološko spreminjanje telesne obarvanosti, pomembno za vzdrževanje telesne temperature, je zato pri tej skupini ektotermnih organizmov še posebej pogost pojav. Osebki severnejših populacij so v splošnem obarvani temneje, da bolje absorbirajo toploto, a ne zgolj to: obarvanost posameznih osebkov se glede na temperaturo lahko spreminja celo tekom dneva. Primer takšnega žuželčjega »kameleona« je denimo šotna deva (*Aeshna caerulea*).

vir: Hassall & Thompson (2008)

Rast bukve se je zaradi podnebnih sprememb upočasnila.

Podnebne spremembe v Evropi močno vplivajo na rast bukve (*Fagus sylvatica*), kar je bilo ugotovljeno v obsežni raziskavi, opravljeni na 5800 bukovih drevesih, rastočih v celotnem geografskem in podnebnem spektru evropske celine. Po letu 1955 je stopnja rasti v večjem delu Evrope upadla za do 20 %, le na skrajnem severu območja razširjenosti (J Skandinavija) je nekoliko porasla. V naslednjih 50 letih bi se po napovedih modelov, upoštevajoč raznolikost podnebnih scenarijev in regionalnih specifik, rast bukve v Evropi lahko upočasnila za 20 do več kot 50 %, najbolj dramatično na južnem delu območja razširjenosti, skladno s pričakovanim porastom dolgotrajnih suš. Ti značilni negativni trendi rasti bukve nakazujejo povečano stopnjo propadanja gozdov, saj je bil upad rasti dreves prepoznan kot predhodnik njihovega odmiranja. S tem upada tudi kapaciteta evropskih bukovih gozdov kot ponorov ogljika.

vir: Martinez del Castillo *et al.* (2022)

Rast mladičev sladkovodnih želv je v toplejših obdobjih hitrejša.

Primer plastičnega fenotipskega odziva organizmov na spremembe v temperaturi okolja že več desetletij poznamo tudi med sladkovodnimi želvami. Raziskovalci, ki so na isti lokaciji več desetletij proučevali populacijo vrste *Chrysemys picta*, severnoameriške sorodnice naše domorodne močvirske sklednice (*Emys orbicularis*), so izmerili razlike v telesni velikosti med generacijami, izleženimi v desetletju z višjimi povprečnimi temperaturami in generacijami predhodnih, hladnejših desetletij. Osebk iz toplejšega obdobja so bili večji, poleg tega pa so mladi samci iz toplejšega obdobja rasli hitreje in odrasli pri nižji starosti kakor samci iz hladnejšega obdobja.

vir: Frazer *et al.* (1993)

Zaradi dviga temperatur so vidre postale večje.

Vpliv podnebnih sprememb na telesne značilnosti organizmov je lahko tudi posreden. Raziskovalci so v Skandinaviji odkrili povezavo med telesno velikostjo vider (*Lutra lutra*) in dvigom povprečnih letnih temperatur v zadnjih desetletjih, za katero se je izkazalo, da je posledica spleta več med seboj odvisnih dejavnikov. Vidre so na velikosti pridobile zato, ker so v milejših zimah izgubljale manj energije ter so imele na razpolago več plena zaradi krajšega obdobja poledenosti vodnih teles.

vir: Yom-Tov *et al.* (2006), Yom-Tov *et al.* (2010)

Višanje temperatur bo skrajšalo čas brejosti pri samicah netopirjev.

Pojav začasne znižane presnovne aktivnosti pri netopirjih imenujemo torpor. Višanje zunanjih temperatur v hladnem delu leta lahko povzroča prekinitve oziroma skrajšanje torporja. Samice netopirjev so med sesalci izjemne v tem, da je trajanje njihove brejosti odvisno od časa, ki ga med brejostjo preživijo v stanju torporja, saj le-to upočasnjuje rast zarodka. Odvisnost dolžine brejosti od temperature okolja je bila denimo dokumentirana pri malem netopirju (*Pipistrellus pipistrellus*). Pod vplivom višjih temperatur zaradi podnebnih sprememb se bo dolžina torporja skrajšala, kar bo pri samicah netopirjev povzročilo krajšo brejost in zato zgodnejšo kotitev.

vir: Racey 1981, Jones & Rebelo (2013)

Toploljubne rastline ne morejo kljubovati zmrzali.

Rastline, ki niso prilagojene na vremenske pogoje, ki spremljajo podnebne spremembe, se neugodnim razmeram ne morejo fizično umakniti, kar lahko vodi v njihov propad. Več zaporednih dni trajajoča globoka zmrzal je denimo v naših krajih 1709, 1763, 1849, 1850 in 1929 povzročila propad številnih dreves oljk (*Olea europaea*), popolnoma enako pa se je dogajalo tudi z divje rastočimi toplotoljubnimi rastlinami, le da o tem žal ni tako natančnih podatkov.

vir: Gomiršek (2020)

2.2. Fenologija

Fenologija je časovni razpored sezonsko ponavljajočih se bioloških dogodkov, kot so brstenje in cvetenje, selitve, začetek in konec rastle sezone, izleganje, poletavanje, disperzija, hibernacija in diapavza ... Fenologija je primarni pokazatelj odzivov vrst na podnebne spremembe in tudi kritični dejavnik medvrstnih odnosov (McCarthy 2001, Weiskopf *et al.* 2020). Nekateri abiotični dejavniki, kot je denimo temperatura, imajo ciklična nihanja v času. Temperatura zraka in površinskega sloja tal kot omejujoč dejavnik za razvoj in aktivnost organizmov kritično vpliva na njihove življenjske cikle, višanje temperature ozračja pa ima na organizme lahko tudi posreden vpliv zaradi spremenjenih vremenskih vzorcev (Weiskopf *et al.* 2020). Spremembe v fenologiji so zato eden najbolj vseprisotnih odzivov na podnebne spremembe v 20. stoletju, ki je že bil dokumentiran pri številnih vrstah (McCarthy 2001, Parmesan 2006, Menendez 2007, Charmantier *et al.* 2008).

Gozdno drevje spomladi olista vse prej.

Fenološki razvoj rastlin je danes zgodnejši kot je bil pred pol stoletja, kar je posledica spreminjajočega se podnebja, zlasti dviga temperature zraka. V Mednarodnem fenološkem parku v ljubljanskem Tivoliju raziskovalci že več kot šest desetletij spremljajo fenološki razvoj izbranih vrst dreves. Starosta parka in edino preživelo drevo od njegove ustanovitve je sivi topol (*Populus canescens*), ki danes v povprečju olista do devet dni prej kot v začetku 60. let prejšnjega stoletja. Prej olistajo tudi bukev (*Fagus sylvatica*), lipa (*Tilia platyphyllos*) in divji kostanj (*Aesculus hypocastanea*). Glede na projekcije podnebnih sprememb bo gozdno drevje v Sloveniji v primeru srednje optimističnega scenarija izpustov toplogrednih plinov konec stoletja olistalo približno dva tedna, v primeru pesimističnega scenarija pa celo do 40 dni prej kot v primerjalnem obdobju 1981–2010. Prav tako se bo podaljševala dolžina rastle sezone, ki bo poleg zgodnejšega začetka imela tudi poznejši jesenski konec, pri čemer se bo na Primorskem razpotegnila celo v zimsko obdobje.

vir: Bertalanič *et al.* (2018b), KP TRŠh (2018)

Višje temperature ob nastopu jeseni povzročajo izpade diapavze pri žuželkah.

Diapavza je obdobje upočasnjenega metabolizma organizmov in posledično mirovanje v hladnem delu leta, značilno zlasti za žuželke zmerne podnebja. Je prilagoditev na redne in ponavljajoče se neugodne razmere v okolju, ki se izrazi kot začasna prekinitve razvoja. Poleg razmerja med dolžino dneva in noči na trajanje diapavze in s tem časovni potek razvojnega cikla žuželk vpliva tudi temperatura. Presežen temperaturni prag zaradi podnebnih sprememb ob nastopu hladne sezone lahko povzroči izpad diapavze in s tem izpostavljenost aktivnih osebkov prehransko neugodnim sezonskim razmeram. Kačji pastirji so skupina žuželk z izredno visoko pojavnostjo diapavze, kar raziskovalci pripisujejo tropskemu izvoru te skupine.

vir: Hassal & Thompson (2008)

Zgodnejše izletavanje metuljev ima za vrste z različnimi življenjskimi strategijami različne posledice.

Povišane zgodnje spomladanske temperature in z njimi povezane spremembe v fenologiji vplivajo na populacije in geografsko razširjenost metuljev. V obsežni raziskavi, v katero je bilo vključenih 130 vrst metuljev Velike Britanije, je bilo ugotovljeno, da ima zgodnejše izletavanje različne posledice za vrste z eno oziroma več generacijami na leto. Vrste z več generacijami so na račun sprememb v fenologiji povečale populacije in razširile svoje areale, medtem ko je bil pri vrstah z eno generacijo trend ravno obraten.

vir: Macgregor *et al.* (2019)

Prebujanje medvedov v zimah z manj snega lahko vodi v več konfliktov s človekom.

Na trajanje zimskega spanja (hibernacijo) rjavega medveda (*Ursus arctos*) vpliva snežna odeja in sicer se hibernacija s tanjšanjem snežne odeje in krajšanjem obdobja pokrivnosti s snežno odejo krajša. Hibernacija je prilagoditev medvedov na prehransko manj ugodne zimske razmere, zaradi katere je verjetnost njihovega preživetja med zimo večja. Aktivni osebkii hitreje porabijo energetske zaloge za zimsko spanje. Medved je vsejed in večino prehrane predstavljajo rastlinski material, nevretenčarji in mrhovina. Ker pozimi ni na voljo plodov in nevretenčarjev, se morajo medvedi, ki so aktivni v zimskem obdobju, zanašati na mrhovino oziroma druge prehranske vire, kot so npr. komposti, smeti, krma za divje živali, domače živali. Takšen vedenjski odziv pa predstavlja tudi povečano verjetnost za konflikte z ljudmi.

vir: Evans *et al.* (2016), Krofel *et al.* (2017)

Spomladanska selitev ptic je napredovala pod vplivom podnebnih sprememb.

V obsežni raziskavi ptic evropskih in severnoameriških ptic selivk, v katero je bilo vključenih 195 vrst, so raziskovalci preučevali spremembe v časovnem poteku njihove spomladanske selitve po letu 1959. Odkrili so korelacijo med zgodnje spomladanskimi temperaturami in datumom začetka selitve, ki je bil pri višjih temperaturah zgodnejši. Čas selitve je v splošnem napredoval in sicer v povprečju za teden dni v pet desetletjih. Začetek selitve je pri selivkah na kratke razdalje napredoval bolj kakor pri selivkah na dolge razdalje. V celoti pa se je obdobje selitve podaljšalo, saj se čas njenega zaključka ni spremenil. Raziskovalci so razvili tudi večvrstni kazalnik časovnega poteka spomladanske selitve ptic za spremljanje srednjega datuma selitve na severni polobli. Njegova uporaba na novih podatkovnih nizih je preprosta in omogoča dolgoročno spremljanje selitvenih trendov.

vir: Lehikoinen *et al.* (2019)

2.3. Populacijska dinamika

Populacijo običajno opišemo s petimi populacijskimi parametri: velikost (abundanca), gostota, porazdelitev ter spolna in starostna struktura (Tome 2006). Spremembe v teh populacijskih parametrih, t.j. populacijsko dinamiko, pa določajo štiri populacijski procesi: rodnost in umrljivost ter priseljevanje in odseljevanje osebkov (Ibid.). Na populacijske procese vplivajo različni abiotski in biotski dejavniki okolja. Med pomembnimi abiotskimi dejavniki so tudi podnebni elementi, kot so temperatura in padavine, in ekstremni dogodki, ki imajo na populacijske procese lahko neposreden ali posreden vpliv (McCarty 2001). Vpliv podnebnih sprememb se zaradi vpliva na populacijske procese lahko odraža tako v spremembah velikosti populacije kot njene starostne in spolne strukture (McCarty 2001, Parmesan 2006, Bellard *et al.* 2012). S populacijsko dinamiko je povezan tudi pojem »fitnes«, ki ga lahko razumemo kot sposobnost organizmov, da preživijo in se uspešno razmnožujejo v okolju, v katerem se nahajajo (Tome 2006).

2.3.1. Rodnost in umrljivost

Rodnost, ki jo imajo organizmi v idealnih razmerah, ko se razmnožujejo brez omejitev, imenujemo potencialna ali fiziološka rodnost. Pod vplivom dejavnikov okolja pa se izrazi realizirana ali ekološka rodnost, ki je običajno manjša od potencialne rodnosti. (Tome 2006). Na realizirano rodnost poleg ostalih dejavnikov okolja vplivajo tudi podnebni elementi, podnebne spremembe pa imajo na rodnost lahko tako pozitivne kot negativne učinke. Podobno kot velja za rodnost, tudi umrljivost v populaciji ločimo na potencialno in realizirano. O potencialni umrljivosti govorimo v primeru, ko organizmi umirajo pri največji možni starosti, ki jo določa njihov genom. Vendar v naravi smrt večine organizmov zaradi vplivov okolja nastopi preden le-ti dosežejo najvišjo možno starost, kar opišemo kot realizirano umrljivost. (Ibid.).

Temperatura vpliva na realizirano rodnost metuljev.

Nekatere vrste metuljev imajo lahko več generacij v enem koledarskem letu, pomemben omejitveni dejavnik pri tem pa je temperatura okolja. Višje temperature lahko prispevajo k večji realizirani rodnosti metuljev zaradi povečanja števila generacij, kar prispeva tudi k rasti populacije. V državah severne Evrope je bilo že opaženo, da so vrste nočnih metuljev z višanjem temperature prešle z ene na več generacij. Zelo dramatične negativne učinke na realizirano rodnost nekaterih vrst metuljev pa imajo lahko ekstremni vremenski pojavi, denimo dolga obdobja dežja ali močne nevihte. V letu 2021 smo v Sloveniji posledice aprilske pozebe opazovali pri hromem volnoritcu (*Eriogaster catax*), ko so gosenice pomrzile na gnezidih.

vir: Altermatt (2010), Pöyry *et al.* (2011), B. Zakšek, *lastna opažanja*

Temperatura vpliva na rodnost in telesne značilnosti potomcev laškega gada.

Breje samice živorodnega laškega gada (*Vipera aspis*) v populacijah na severnem robu areala v pogojih z nizkimi temperaturami okolja ne zmorejo ohraniti optimalne telesne temperature za razvoj zarodkov, kar vpliva na njihovo rodnost. V letih s hladnim vremenom proti koncu obdobja brejosti (konec poletja) je delež mrtvo skotenih mladičev večji kot v toplih poletjih. Temperatura okolja pa vpliva tudi na sam razvoj zarodkov. Pri višjih poletnih temperaturah je razvoj hitrejši in kotenje zgodnejše. Zlasti zanimivo je, da temperatura v času razvoja zarodka vpliva tudi na telesne značilnosti potomstva in sicer se pri višjih temperaturah osebkom razvije večje število vretenc, kar med drugim vpliva na njihove lokomotorne sposobnosti.

vir: Lourdais *et al.* (2004)

Populacije živorodnih kuščaric so pod vplivom zdajšnjih podnebnih sprememb povečale fitnes.

Raziskovalci so v štirih izoliranih populacijah živorodnih kuščaric (*Lacerta vivipara*), živečih v francoskem Centralnem masivu, v obdobju dveh desetletij izmerili znatno povečanje telesne velikosti v vseh starostnih razredih, kar je bilo povezano s povišanimi temperaturami okolja v prvem mesecu njihovega življenja (avgust). Ker je telesna velikost samic pomemben dejavnik njihove rodnosti, se je povečala tudi velikost zarodov in realizirana rodnost v populaciji. Podnebne spremembe na prelomu tisočletja so torej pozitivno vplivale na živorodne kuščarice v proučevanih populacijah, vendar bodo ne glede na trenutno ugoden vpliv bitko s podnebnimi spremembami na dolgi rok najverjetneje izgubile zaradi izginotja habitata.

vir: Chamaille-Jammes *et al.* (2006)

Rodnost v populaciji delfinov se je zmanjšala zaradi dviga temperature morja.

Raziskovalci so ugotovili, da je vročinski val, ki se je zgodil leta 2011 na območju zahodne Avstralije, vplival tako na rodnost kot tudi smrtnost tam živečih osebkov delfinje vrste *Tursiops aduncus*. Temperatura morja se je

zaradi vročine dvignila za 2–4°C nad povprečje, kar je poškodovalo več kot tretjino morske trave ter tako vodilo v masovne pogine rib. Dolgoročna demografska študija pa ni pokazala zgolj manjše rodnosti samic, temveč je dokumentirala tudi do 12% manjšo zmožnost preživetja osebkov te populacije, kar priča o bolj daljnosežnih posledicah tovrstnih dogodkov.

vir: Wild *et al.* (2019)

2.3.2. Priseljevanje in odseljevanje

Priseljevanje in odseljevanje sta populacijska procesa, ki prispevata k povečevanju oziroma zmanjševanju velikosti populacije, pri čemer se skupno število osebkov, ki pripadajo vrsti, ne spreminja. Osebki, ki se odselijo iz ene populacije, se torej priselijo v drugo ali osnujejo novo (razen če umrejo oz. propadejo med samim preseljevanjem). Med preseljevanjem se organizmi premikajo bodisi na aktiven ali pasiven način, ali pasivno z aktivnim transportom (Tome 2006). Pri aktivnem načinu preseljevanja gre za premikanje z lastno lokomotivno (letenjem, hojo, plavanjem ...), pri pasivnem načinu za razširjanje s pomočjo abiotičnih dejavnikov (npr. veter, vodni tok), pri pasivnih premikih z aktivnim transportom pa za prenos organizmov na drugem organizmu (npr. prenos semen na živalih, prenos parazitov v gostitelju) (Ibid.). Ločimo med selitvami (migracijami), ki so množični, usmerjeni in usklajeni premiki organizmov, ki običajno potekajo po ustaljenih poteh, ter razširjanji (disperzijami), pri katerih gre za neusmerjene in neusklajene premike posameznih osebkov (Ibid.).

2.3.3. Spolna in starostna struktura populacije

Spolna struktura populacije opisuje številčno razmerje med spoloma. Primarna spolna struktura je razmerje med spoloma ob oploditvi, sekundarna struktura je razmerje med spoloma ob rojstvu, terciarna pa razmerje med spoloma, ki se v populaciji razvije v postnatalnem življenju (Tome 2006).

Starostna struktura opisuje razmerje med številom osebkov v različnih starostnih skupinah, ki jih funkcionalno ločimo na tri skupine: pred-razmnoževalna, razmnoževalna in po-razmnoževalna. Na starostno strukturo najbolj vplivata rodnost in umrljivost. (Ibid.)

Pri številnih vrstah plazilcev o razmerju med spoloma je odloča temperatura okolja.

Primer porušene spolne strukture v prid samicam zaradi podnebnih sprememb je že poznan pri južno živečih populacijah glavate karete (*Carretta carretta*) v Severni Ameriki. Pri želvah spol zarodkov namreč določa temperatura gnezda v času inkubacije. Temperaturni razpon, v katerem se razvijeta oba spola, je običajno v velikostnem razredu 1 °C. Pri temperaturah, ki so nižje ali višje od tega razpona, se razvije samo en spol. Pri nekaterih vrstah se pri nižjih temperaturah izvalijo samo samice, pri višjih pa samo samci, spet pri drugih vrstah velja obratno, pri nekaterih pa se samci razvijejo le v ozkem temperaturnem razponu, pri ostalih temperaturah pa samo samice. Pričakovano je torej, da bo pri vrstah plazilcev, pri katerih je razmerje med spoloma odvisno od temperature v gnezdu, znaten porast temperature vodil v porušitev spolne strukture v njihovih populacijah, zlasti če tega procesa ne bodo mogle kompenzirati z vedenjskimi prilagoditvami.

vir: Tome (2006), Stanford *et al.* (2020)

2.3.4. Abundanca in populacijski trend

Abundanca ali velikost populacije preprosto pomeni število osebkov v populaciji. Rodnost in priseljevanje osebkov prispevata k rasti populacije, umrljivost in odseljevanje pa k njenemu upadu. Na kratki rok se velikost populacije lahko periodično spreminja (fluktuirata), dolgoročneje spremembe pa opisujemo kot populacijske trende (Kryštufek 1999, Tome 2006, White 2019). Kadar so vsi štirje populacijski procesi med seboj uravnoteženi, populacija dolgoročno ostaja stabilna. Če rodnost in/ali priseljevanje v daljšem časovnem obdobju presežeta umrljivost in/ali odseljevanje, je populacijski trend pozitiven, v obratni situaciji pa negativen. (Tome 2006). Dolgoročni negativni trend prej ali slej vodi do izumrtja populacije (Kryštufek 1999).

Podnebne spremembe prek vpliva na populacijske procese vplivajo tudi na velikosti populacije in populacijske trende. S podnebnimi spremembami sta povezana tako porast kot upad populacij (McCarty 2001).

Spremembe v snežni odeji so neugodne za alpske populacije belk.

Na alpske populacije belke (*Lagopus mutus*) ima velik vpliv spremenjen snežni režim. Zgodnejše kopnenje snega v spomladanskem času nanje vpliva pozitivno, najverjetneje zaradi večjega razmnoževalnega uspeha. Obraten učinek pa ima zakasnen pojav snežne odeje v jesensko-zimskem času, domnevno zaradi povečane stopnje plenjenja, ki mu botruje večja izpostavljenost belk zaradi časovne neusklajenosti golitve v zimsko perje s pojavom snežne odeje. Napovedi regionalnih podnebnih sprememb za belko v Alpah niso obetavne: kopnenje snega v spomladanskem času ne bo zgodnejše, vse kasnejši pa bo pojav snežne odeje v jesensko-zimski sezoni.

vir: Imperio *et al.* (2013)

Ekstremne vremenske razmere prispevajo k upadu populacij metuljev.

Na velikost populacij metuljev lahko močno vplivajo ekstremni vremenski dogodki. Mrzel in deževen maj 2021 (za 2 °C nižje temperature od povprečja 1981–2010 in 214 % več padavin) je najverjetneje negativno vplival na številčnost travniškega postavneža (*Euphydryas aurinia*) v Sloveniji. Povečana pogostost ekstremnih dogodkov, ki spremljajo podnebne spremembe, zaradi močnega vpliva na realizirano rodnost lahko znatno prispeva k upadu populacij metuljev. V Združenem kraljestvu je zgolj ena izjemna suša, ki je nastopila leta 1976, povzročila upad populacij metuljev, od katerega si nekatere vrste niso nikoli opomogle.

viri: Zakšek *et al.* (2021), Warren *et al.* (2021)

Podnebne spremembe oblikujejo populacijsko dinamiko rastlin.

Populaciji rastlin, ki je bila prizadeta zaradi ekstremnih dogodkov, lahko v nadaljnjih, vremensko ugodnih letih, sledi ponovna namnožitev, a nekatere najbolj robne populacije ob hudih ekstremih tudi popolnoma propadejo. Če se ekstremni vremenski dogodki pojavljajo pogosteje, je verjetnost, da bo propadlo več rastlin in več populacij neke vrste, večja. To velja tako za visoke ekstreme (dolgotrajna poletna suša, ekstremno visoke temperature) kot za nizke ekstreme (predolga namočenost, dolgo obdobje zmrzali, preveč snega).

K upadu populacij nekaterih vrst kačjih pastirjev v veliki meri prispevajo podnebne spremembe.

V Nemčiji populacije nekaterih vrst kačjih pastirjev hitro upadajo že od 1980-ih let dalje. Njihov upad so raziskovalci povezali s podnebnimi spremembami. Tem vrstam je skupno to, da so manj mobilne in pogosto vezane na barja. Med njimi v Sloveniji zadnji dve desetletji nismo več zabeležili barjanskega škratca (*Coenagrion hastulatum*) in alpskega lesketnika (*Somatochlora alpestris*), zadnje desetletje pa črnega kamenjaka (*Sympetrum danae*). Čedalje redkeje je pri nas zabeležena tudi obrežna zverca (*Lestes dryas*), ki je prilagojena na občasno poletno izsušene habitate z gosto emerzno vegetacijo. Vrsto že vsaj desetletje pogrešamo v Beli krajini, ob Muri in na Radenskem polju. Pri nas pa je od vrst, ki so v Nemčiji po letu 1980 doživele upad, še vedno pogost in splošno razširjen travniški škratec (*Coenagrion puella*).

viri: Vinko *et al.* (2020), Bowler *et al.* (2021), Vinko (2021b)

2.3.5. Porazdelitev populacije

S porazdelitvijo opisujemo vzorce prostorske razporeditve osebkov v populaciji. Porazdelitev je lahko enakomerna, naključna ali gruščasta in se lahko spreminja po času (Tome 2006). Razporeditev osebkov v

prostoru v veliki meri določa heterogenost okolja, ki je odraz razlik v razporeditvi hrane, vode, substrata, habitatnih struktur, mikroklimatskih razmer itd. Organizmi lahko preživijo le tam, kjer so zadovoljene njihove ekološke zahteve, zato vzorec njihove prostorske porazdelitve sledi razmeram v okolju. Poleg ekoloških dejavnikov pa na porazdelitev populacije vplivajo tudi znotrajvrstni in medvrstni odnosi (kompeticija, plenilstvo, simbioza ...) (Ibid.). Podnebne spremembe na porazdelitev organizmov v prostoru tako vplivajo neposredno zaradi spremenjenih vremenskih razmer ali posredno zaradi vpliva na razporeditev virov in/ali medvrstnih odnosov. Organizmi se prerazporedijo tako, da zasedejo druge (primernejše) habitate ali mikrohabitatske (Parmesan 2006).

2.4. Geografska razširjenost vrst

Pojem geografska razširjenost vrste se nanaša na geografsko območje, na katerem se vrsta pojavlja, in ga imenujemo tudi areal vrste. Areal vrste zajema vse populacije te vrste in pokriva vsa območja, kjer se vrsta pojavlja tekom življenjskega cikla. Ker je znotraj areala okolje heterogeno, so v njem poleg primerne okolja tudi območja, ki za vrsto niso primerna in jih zato ne poseljuje.

Vrste lahko bivajo samo znotraj meja svoje ekološke niše. Ekološka niša vrste zajema ekološke zahteve vrste (zahteve glede virov in pogojev) in njene odnose z drugimi vrstami (kompeticija, plenilstvo, simbioza, zajedavstvo ...) (Tome 2006). Ker so pogoji in viri na Zemlji razporejeni neenakomerno, imajo tudi vrste z različnimi ekološkimi nišami na planetu različno razširjenost. Geografsko razširjenost vrst torej določa več dejavnikov, med njimi najizraziteje podnebje, razširjenost in kakovost njenega habitata ter prisotnost drugih vrst (medvrstni odnosi). Vsi trije dejavniki so danes pod velikim vplivom človeka, hkrati pa tudi medsebojno vplivajo eden na drugega. Geografska razširjenost vrst je odvisna tudi od njihovih zmožnosti razširjanja (disperzijskega potenciala) in premagovanja fizičnih in ekoloških ovir. Areali vrst so lahko do neke mere tudi zgodovinsko pogojeni, kar pomeni, da je vrsta na nekem območju lahko še vedno prisotna, čeprav območje zanj ne zagotavlja več možnosti za njeno dolgoročno preživetje.

2.4.1. Neposredni vplivi podnebnih sprememb na geografsko razširjenost vrst

Podnebna niša odraža sveženj temperaturnih in padavinskih pogojev, v katerih pripadniki vrste lahko preživijo in se uspešno razmnožujejo. Območja ustreznih podnebnih pogojev (ang. »climate envelopes«) tako neposredno oblikujejo geografsko razširjenost vrst. Vrsta, ki je danes razširjena na nekem območju, zaradi podnebnih sprememb morda ne bo več prilagojena na niz tamkajšnjih ekoloških pogojev. Da osebk/populacije/vrste na planetu lahko vztrajajo kljub spremenjenim podnebnim pogojem, se morajo nanje odzvati z ustreznimi prilagoditvami. (Bellard *et al.* 2012). Ob spreminjajočem se podnebnju organizmi do neke mere lahko sledijo ustreznim podnebnim pogojem v prostoru, kar se običajno odvija po poti disperzije, in tako prihaja do sprememb v njihovih območjih razširjenosti. Ker pa je zmožnost razširjanja organizmov bolj ali manj omejena, vrste praviloma ne morejo poseliti vseh zanje podnebno primernih območij (Gaston 2009). Premiki arealov, ki jih pripisujemo vplivu podnebnih sprememb, so bili doslej opazovani že pri več kot 1000 vrstah (Parmesan 2006, Bellard *et al.* 2012).

Temperaturna niša pogojuje geografsko razširjenost vrst plazilcev.

Razširjenost posamezne vrste plazilcev in gostoto njenih populacij pogojuje njena temperaturna niša – preferirana temperatura okolja in temperaturne meje, do katerih so osebk te vrste še aktivni. Ob segrevanju njihovega življenjskega okolja se dogaja, da se nekatere populacije zaradi preživetja preseljujejo na hladnejša območja, torej iz nižin v višje ležeče predele in proti obema poloma. Zaradi sledenja ugodnim podnebnim razmeram se bodo po eni strani nekatere populacije lahko ohranile, hkrati pa bo to vodilo do novih kompeticijskih razmerij. Prišlo bo do tekmovanja za hrano, mest za sončenje in ostale vire. Preseljevanje v druge podnebne niše bo še posebej problematično pri tujerodnih invazivnih vrstah, saj v novo poseljenih

območjih lahko začnejo izpodrivati domorodne vrste in so prenašalci potencialnih bolezni in parazitov, na katere domorodne vrste niso odporne.

Podnebne spremembe botrujejo »selitvam« rastlinskih vrst.

Kot posledica podnebnih trendov se odvija dolgoročen proces, ki mu nekoliko poenostavljeno rečemo »selitev vegetacije«. V resnici ne gre za selitev, ampak se z uspešnim širjenjem semen v predele, kjer so zaradi podnebnih sprememb na novo vzpostavljeni pogoji za rast, tam oblikujejo nove populacije ter skupaj oblikujejo prejšnji podobno vegetacijo. Takšna »selitvena sposobnost« vegetacije ima tudi omejitve: bolj obsežne kot so podnebne spremembe in manj prepustni kot so koridorji, manj verjetna je uspešnost kolonizacije novih območij. Na propad lokalnih populacij ali neuspešno kolonizacijo pa poleg omenjenih abiotičnih dejavnikov lahko vplivajo tudi biotični dejavniki. Take so na primer spremenjene kompeticijske razmere, ker novonastalo vegetacijo oblikujejo nove kombinacije vrst, nadalje drugačen vpliv parazitov, katerih patogenost lahko pride bolj do izraza v stresnih razmerah, pojav kompeticijsko močnejših invazivnih vrst, ipd.

Nekateri kačji pastirji širijo svoje areale proti severu.

Med evropskimi žuželkami najdemo nekatere vrste kačjih pastirjev, za katere z veliko verjetnostjo lahko trdimo, da svoja območja razširjenosti širijo pod vplivom podnebnih sprememb. Njihove skupne lastnosti so preferenca do višje povprečne temperature vode, večji razpon kril in s tem povezana višja stopnja mobilnosti, zgodnje izletavanje (spomladanske vrste) ter vezanost na tekoče vode. Večinoma so to sredozemske vrste in vrste sosednjih celin, ki svoje areale širijo v Evropo. Prva vrsta kačjih pastirjev, pri kateri je bil jasno viden tudi vpliv podnebnih sprememb na širjenje njenega areala iz Sredozemlja proti severu Evrope, je opoldanski škrlatec (*Crocothemis erythraea*). V 50. in 60. letih prejšnjega stoletja smo imeli zanj v Sloveniji le peščico podatkov, danes pa to vrsto najdemo v nižinskih predelih po vsej državi; v severovzhodni Sloveniji je na stoječih vodah lahko celo ena prevladujočih vrst raznokrilih kačjih pastirjev. V Sloveniji smo v zadnjem desetletju potrdili tudi pojavljanje dveh novih vrst, ki sta se v Evropo razširili s sosednjih celin: temnega slaniščarja (*Selysiotthemis nigra*) in ciklamnega telovnikarja (*Trithemis annulata*). Slednji danes poseljuje velik del južne in zahodne Evrope, kamor se je priselil iz afriških tropskih območij.

viri: Ott (2010a), Boudot & Kalkman (2015), Dijkstra *et al.* (2020), Bowler *et al.* (2021), Vinko & Šalamun (2021)

Belorobi netopir pod vplivom naraščajočih temperatur hitro širi svoj areal proti severu.

Belorobi netopir (*Pipistrellus khulii*) je vrsta netopirja, razširjena v severni Afriki, zahodni Aziji in južni Evropi, živeča tudi v Sloveniji, ki je blizu severnega roba areala. Velja za eno prvih vrst netopirjev, pri kateri je bilo na območju Evrope v zadnjih štirih desetletjih zabeleženo intenzivno širjenje areala proti severu, ki ga raziskovalci pripisujejo vplivu naraščajočih temperatur zaradi podnebnih sprememb. Gre za izrazito sinantropno vrsto, ki se rada zadržuje v naseljih in vstopa celo v človeška bivališča, zato so v obsežni raziskavi preverili tudi vlogo urbanizacije pri širjenju vrste, ki pa se je izkazala za nepomembno. Pod vplivom podnebnih sprememb je vrsta v zadnjih štirih desetletjih razširila svoj areal za skoraj 400 %.

vir: Ancilloto *et al.* (2016)

Savijev netopir je v zadnjih desetletjih poselil vso Slovenijo

Savijev netopir (*Hypsugo savii*), prvotno sredozemska vrsta, se je v zadnjih desetletjih pod vplivom podnebnih sprememb razširil tudi v srednjo Evropo. Nekoč značilen za južno Slovenijo, je danes razširjen po celotnem ozemlju. V Ljubljani so bile na novo zabeležene tudi porodniške kolonije.

vir: Uhrin *et al.* (2016), M. Zagmajster, *lastni podatki*

Z višanjem temperatur metulji osvajajo severnejša območja.

Proces premikov arealov pod vplivom podnebnih sprememb, zlasti višanja temperature, je bil že koncem prejšnjega stoletja zaznan tudi pri nekaterih evropskih vrstah metuljev. Raziskovalci so pod drobnogled vzeli 35 vrst metuljev, ki so v Evropi stalnice, in ugotovili, da se je pri 63 % območje razširjenosti tekom preteklega stoletja pomaknilo za 35–240 km proti severu in zgolj pri 3 % vrst proti jugu. Tudi v Sloveniji smo v letu 2021 zabeležili novo vrsto dnevnega metulja – dvorepega pašo (*Charaxes jasius*), ki za zdaj pri nas še nima stalne populacije. Verjetno je njegovo pojavljanje pri nas posledica širjenja areala vrste iz izrazito sredozemskih dežel.

viri: Parmesan *et al.* (1999), Verovnik *et al.* (2021)

Areali kačjih pastirjev barjanskih okolij se pod vplivom podnebnih sprememb krčijo.

V Evropi se areali nekaterih vrst kačjih pastirjev v zadnjih desetletjih pod vplivom podnebnih sprememb krčijo. Skupno tem vrstam je, da jim ustrezajo nižje povprečne temperature vode in so vezane na barjanska okolja, imajo pa tudi manjši razpon kril in so zato manj mobilne. Ena takšnih vrst je barjanska deva (*Aeshna juncea*), ki postopno izginja tudi z ozemlja Slovenije, kjer poteka južna meja njenega sklenjenega areala. Denimo na Bloški planoti je bila koncem prejšnjega stoletja med pogostejšimi vrstami kačjih pastirjev, v raziskavi leta 2021 pa tam ni bila več zaznana. Videti je, da izginjajo tudi njene manjše izolirane populacije v Trnovskem gozdu in na Cerkljanskem. Poleg podnebnih sprememb zelo verjetno k lokalnim izumrtjem v Sloveniji prispeva tudi zaraščanje in izsuševanje njenega habitata. O izginjanju barjanske deve na račun podnebnih sprememb poročajo iz mnogih severnih in zahodnih evropskih držav; denimo na Nizozemskem se pojavlja le še na 15 % nahajališč, znanih v letu 1991.

viri: Ott (2010b), van Grunsven *et al.* (2020), Bowler *et al.* (2021), Vinko (2021a), Kozina (2022), Vinko *et al.* (2022a)

2.4.2. Projekcije geografske razširjenosti vrst

Bodoče spremembe v geografski razširjenosti vrst pod vplivom podnebnih sprememb so danes predmet številnih raziskav, ki so se razmahnile z razvojem statističnih orodij, kot so modeli za napovedovanje geografske razširjenosti vrst v predpostavljenih podnebnih pogojih. V osnovi ti modeli temeljijo na podatkih o razširjenosti vrst v sedanjih podnebnih pogojih, ki jih opisujemo z različnimi podnebnimi spremenljivkami, kot so temperatura, padavine, pogostost ekstremnih vremenskih pojavov ... Takšni modeli omogočajo tudi napovedovanje bodočih razširjenosti vrst v podnebnih pogojih, ki jih predvidevajo različni podnebni oziroma emisijski scenariji. Vendar kljub temu, da so ta statistična orodja v zadnjih desetletjih doživela izjemen razvoj, množica različnih pristopov, pomanjkljivi vhodni podatki (vključno z dejavniki, ki niso podnebni) ter raznolikost emisijskih in podnebnih scenarijev otežujejo realistično napovedovanje prihodnjega stanja biodiverzitete, tako na lokalni in regionalni kot globalni ravni. Najpomembnejši omejitvi modelov za napovedovanje bodoče razširjenosti vrst sta, da ne upoštevajo njihovega realnega disperzijskega potenciala ter da ne morejo v celoti predvideti razmer, s katerimi se bodo organizmi srečali v novih okoljih (medvrstni odnosi, stanje habitatov ...). Poleg tega pa napovedovanje bodoče razširjenosti vrst lahko močno zapletejo tudi posredni vplivi podnebnih

sprememb, medsebojni vplivi ekoloških in evlucijskih procesov, mikroklimatski pogoji, topografija ter drugi dejavniki, kot je denimo raba zemljišč (Weiskopf *et al.* 2020).

Čebelar je kazalec napredujočih podnebnih sprememb v Evropi.

Čebelar (*Merops apiaster*) je žužkojeda ptica selivka, osredotočena na gnezdenje v Sredozemlju, ki je v zadnjih desetletjih razširila svoj gnezditveni areal proti severu in na območjih izven Sredozemlja tudi okrepila svoje populacije. Raziskovalci, ki so s pomočjo modelov simulirali njegovo razširjenost v Evropi, so ugotovili veliko ujemanje simulirane in dejanske razširjenosti, kar kaže na visoko zanesljivost modelov. Velikosti njegovih gnezdečih populacij pa so v močnem sorazmerju s podnebno ugodnimi območji. Projekcije modelov do leta 2050 kažejo, da se bo z napredujočimi podnebnimi spremembami območje njegove razširjenosti še naprej pomikalo proti severu, medtem ko bodo tudi območja na južnem delu njegovega areala zanj še vedno ostala podnebno ugodna.

vir: Stiels *et al.* (2021)

Modeli napovedujejo obsežne prerazporeditve v evropski ornitofavni.

Projekcije bodoče razširjenosti evropskih gnezdil napovedujejo, da bi se v primeru uresničitve zmerno optimističnega emisijskega scenarija SRES B2 areali večine vrst pomaknili proti severu in vzhodu, premiki pa bi bili znatnejši pri vrstah z današnjo južno razširjenostjo. Pri večini vrst bi se središčne točke arealov premaknile do 1.000 km, med njimi pri velikem deležu za več kot 500 km, izjemoma pa bi bili premiki celo daljši od 2.000 km. Premiki bi bili tako obsežni, da bi prekrivanje sedanjih in bodočih arealov v povprečju znašalo le slabih 40 %, kar 27 vrst pa bi svoja sedanja območja razširjenosti zapustilo v celoti. Areali velike večine vrst v bodočih podnebnih pogojih skrčili, le pri nekaj vrstah pa bi se razširili. Najbolj bi se skrčili areali vrst, ki nimajo možnosti za premik dalje proti severu. Ob tem je bila predpostavljena neomejena možnost razširjanja vrst, kar je nerealistično, zato bi bile dejanske spremembe še obsežnejše.

vir: Huntley *et al.* (2007)

Podnebne spremembe bodo znatno vplivale na razširjenost evropskih vrst netopirjev.

Po napovedih modelov se bodo pod vplivom podnebnih sprememb, ne glede na emisijski scenarij, areali evropskih vrst netopirjev povečini skrčili. Spremembe, ki so jih raziskovalci opisali s štirimi podnebnimi spremenljivkami (najvišjo in najnižjo temperaturo, povprečno temperaturo in količino padavin), bodo najbolj prizadele vrste netopirjev, vezane na hladnejše podnebje, med katerimi bi nekatere proti koncu stoletja lahko celo izumrle. Srednjeevropskim in sredozemskim vrstam modeli napovedujejo boljšo prihodnost zlasti v razmerah, ki bi se izrazile v primeru uresničitve milejših emisijskih scenarijev (SRES B1, B2). Nekatere od teh bi pod vplivi podnebnih sprememb v takšnih razmerah areale lahko celo razširile. Pri vsem je treba upoštevati, da so uporabljeni modeli upoštevali zgolj podnebne pogoje, ne pa tudi drugih pomembnih dejavnikov, kot so razpoložljivost ustreznega habitata in medvrstni odnosi.

vir: Rebelo *et al.* (2010)

2.5. Razširjenost in kakovost življenjskih okolij

Podnebje je pomemben dejavnik, ki neposredno vpliva na lastnosti tal in strukturo talnih združb. Zato bodo podnebne spremembe na razširjenost vrst in njihove populacije nedvomno vplivale tudi posredno zaradi sprememb v razširjenosti in kakovosti njihovih habitatov. Zaradi številnih drugih človekovih vplivov na okolje,

zlasti rabe zemljišč in onesnaževanja, pa je prispevek podnebnih sprememb k izginjanju in slabšanju kakovosti življenjskih okolij v resnici težko oceniti.

2.5.1. Visokogorje

Visokogorje je svet nad drevesno mejo, ki zaznamuje nadmorsko višino, do katere v gorskem svetu še lahko uspevajo drevesa. V Alpah se ta meja nahaja med 1900 in 2300 m n.v. (Settele *et al.* 2010). Za alpski pas, ki ga navzdol omejuje drevesna, navzgor pa snežna meja, je značilna pokritost z vegetacijo, kot so alpski travniki, grmičevje in posamezna zakrnela drevesa. Po napovedih nekaterih modelov se bo z nadaljnjim segrevanjem ozračja drevesna meja pomikala na vse višje nadmorske višine in sicer za 100 m ob dvigu temperature za 0,6 °C, kar bo postopno izkrčilo značilna visokogorska življenjska okolja, ki jih ponekod ogrožajo tudi drugi antropogeni pritiski, denimo turizem in turistična infrastruktura.

Belka izgublja svoj habitat v alpskem visokogorju.

Belka (*Lagopus mutus*) v Alpah velja za eno najbolj ogroženih gnezdil zaradi bodočih podnebnih sprememb. Poleg vplivov na rodnost in umrljivost zaradi spremenjenega snežnega režima podnebne spremembe predstavljajo tudi dejavnik, ki prispeva h krčenju njenega habitata zaradi pomikanja gozdne meje na višje nadmorske višine. Vendar pa podnebne spremembe niso edini dejavnik teh sprememb v habitatu. Na območju vzhodnih in južnih švicarskih Alp, kjer so zaznali najmočnejši trend pomikanja populacij na višje nadmorske višine, izgubi visokogorskega habitata zaradi zaraščanja botruje tudi opuščanje tradicionalne rabe gorskih pašnikov, medtem ko v italijanskih Alpah izgubo habitata pripisujejo tudi visokogorskemu turizmu in urbanizaciji. Zaradi sinergije negativnih učinkov podnebnih sprememb in drugih antropogenih dejavnikov je ohranjanje preostalega habitata belk visoka varstvena prioriteta.

vir: Huntley *et al.* (2007), Imperio *et al.* (2013), Pernellet *et al.* (2015)

Zaraščanje visokogorja pod vplivom podnebnih sprememb je relativno počasen proces.

Za uspešno oblikovanje novih populacij rastlinskih vrst je ključno, da je na voljo dovolj časa. Celo vrste, tako dobro prilagojene na rastiščne razmere in uspešne pri razširjanju z vetrom, kakršno je ruševje (*Pinus mugo*), v dveh desetletjih brez antropogenih motenj komaj opazno spremenijo gostoto populacije tudi na območjih z optimalnimi razmerami, kakršne denimo vladajo na južnih pobočjih pod Vrhom Planje med 1700 in 1900 m nadmorske višine. Ob pregledu zračnih posnetkov različnih starosti je edino, kar na tem območju lahko zaznamo v razmaku dveh desetletij, pojav posameznih novih grmov in zapiranje vrzeli. Ruševje ima v alpskem svetu mnogo večji potencial za širjenje na območjih, kjer je bilo v stoletjih planinskega pašništva izkrčeno, da so s tem pridobili večje površine visokogorskih travnišč za pašnike. Proces hitrega zaraščanja na teh območjih pa lahko pripisemo zlasti opuščanju rabe zemljišč za pašništvo.

vir: N. Jogan, *lastni podatki*

2.5.2. Celinske vode in mokrišča

Zaradi segrevanja ozračja, spremenjenih padavinskih vzorcev, povečane transpiracije in posledično spremenjene vodne bilance, bodo podnebne spremembe skupaj z ostalimi negativnimi antropogenimi dejavniki močno vplivale na celinska vodna življenjska okolja in mokrišča (Dawson *et al.* 2003, Vitoz *et al.* 2013). Projekcije podnebnih sprememb do konca stoletja v Sloveniji kažejo na to, da se bo povečal vodni primanjkljaj v poletnem in jesenskem času, kar bo privedlo do izsuševanja mokrišč in prekomernega znižanja pretokov vodotokov v obdobju, ki je kritično za razmnoževanje številnih vodnih in amfibijskih organizmov. Dolgotrajne poletne suše z dramatičnim vplivom na celinske vodne habitate, kakršni smo priča v letu 2022, ne bodo več izjemni, ampak vse pogostejši dogodki. Poleg spremenjenega vodnega režima bo na vodne organizme vplivala tudi povišana temperatura vode, zaradi česar bodo še posebej prizadete hladnoljubne

vrste, kakršne so denimo postrvi (Salmonidae) (Vitoz *et al.* 2013). V stoječih vodnih telesih bodo zaradi stratifikacije na račun visokih temperatur moteni procesi vertikalnega mešanja vode, kar bo spremenilo značilnosti habitatov v vodnem stolpcu.

Vidre se bodo spopadale s primanjkljajem plena.

Med ogroženimi vrstami sesalcev je na vodna življenjska okolja vezana vidra (*Lutra lutra*). Živi v potokih, rekah, jezerih in raznovrstnih mokriščih, prehranjuje se zlasti z ribami, pa tudi dvoživkami in raki. Njeno življenjsko okolje je marsikje že močno ogroženo zaradi številnih človekovih posegov, dodatno pa bodo njegovo kakovost poslabšale še podnebne spremembe, saj bo zmanjšanje vodnih količin in intenzivno segrevanje vode prizadelo populacije njenega plena.

vir: Galanaki *et al.* (2019)

2.5.3. Morje in obalna mokrišča

Sredozemsko morje se med vsemi svetovnimi morji pod vplivom podnebnih sprememb ogreva najhitreje – za kar 20% hitreje od svetovnega povprečja. Hkrati je na tem morskem območju med najvišjimi tudi stopnja izkoriščanja in antropogene obremenjenosti. Zaradi vpliva podnebnih sprememb so bili v Sredozemlju zaznani naslednji trendi, ki imajo zaskrbljujoč vpliv na kakovost značilnih morskih habitatov: tropikalizacija morja, razširjanje tujerodnih vrst, razcvet populacij meduz, propadanje podvodnih travnikov pozejdonce (*Posidonia* sp.), propadanje koralnih združb z gorgonijami in populacijski zlomi leščurjev (*Pina nobilis*). Pričakovan dvig morske gladine Sredozemskega morja do konca stoletja je 1 m, kar bo dramatično vplivalo na obalna življenjska okolja. V nasprotju s celinskimi mokrišči, ki bodo podvržena predvsem sezonskemu izsuševanju, bodo zaradi poplavljanja na račun naraščajoče morske gladine obalna mokrišča podvržena izginjanju. (Jeffries & Campogianni 2021).

Zaradi dvigovanja morske gladine je pri nas ogrožena flora obalnih slanišč.

Zaradi vpliva podnebnih sprememb bodo med rastlinami najbolj prizadete vrste z razdrobljenimi, lokalno izoliranimi in majhnimi populacijami. Zaradi dviga morske gladine so pri nas ogrožena obmorska slanišča, ki se v danih podnebnih razmerah razvijejo le na stiku obale s slano morskovo vodo. Kako daleč v notranjost sega ta vpliv, je odvisno predvsem od strmine obale: bolj kot je položna, dlje sega vpliv slane vode preko mešanja s podtalnico in občasnih visokih plim. Na takih mestih se je razvila naravna slaniščna vegetacija, ki pa je bila na naši obali skozi tisočletja intenzivne rabe v veliki meri uničena, razdrobljena, ali pa ruderalizirana do te mere, da so se razvile združbe, ki bi jih v popolnoma naravnih razmerah sploh ne bilo. Tako imamo danes najlepše mozaike različnih tipov slaniščne vegetacije na območjih dveh predelov opuščanih solinskih bazenov Sečoveljskih in Strunjanskih solin ter v plitvinah Škocjanskega zatoka, ki jih je s postopnim zasipavanjem Kopskega zaliva ustvaril človek. Preostala slaniščna vegetacija je razvita le v močno prekinjeni obalni črti in sega v najboljšem primeru nekaj 10 m od obale, na primer pri Ankaranu, ali pa nekoliko dlje na obrežjih izlivov nekaj naših rečic, ki se izlivajo v morje. Zaledje je intenzivno obdelano in urbanizirano s turistično infrastrukturo, tako da se v primeru dviga morske gladine za nekaj metrov slaniščna vegetacija ne bo mogla umakniti in jo bo preprosto potopilo.

viri: Kaligarič & Ivajnsič (2014)

2.5.4. Gozdovi

Glede na projekcije modela gozdnih združb (Kutnar *et al.* 2009) lahko pričakujemo dramatične učinke podnebnih sprememb na slovenske gozdove, zlasti na dinarske jelovo-bukove gozdove, ki imajo poleg gozdnogospodarske tudi pomembno vlogo kot življenjsko okolje ogroženih vrst. Izguba dinarskih jelovo-bukovih gozdov bi lahko posledično pomenila tudi izginjanje določenih ključnih vrst, pretežno vezanih na te

gozdove. Povečan obseg sanitarne sečnje iglavcev zaradi gradacij podlubnikov bo povečalo fragmentacijo gozdov.

V gozdovih z nižjo produkcijo so risi prisiljeni v iskanje plena na večjih površinah.

Pri mačkah s široko geografsko razširjenostjo, kot je tudi evrazijski ris (*Lynx lynx*), so raziskovalci odkrili povezavo med velikostjo domačih okolišev, podnebjem in vegetacijsko produkcijo. Na območjih z večjo prostorsko heterogenostjo letnih temperatur, višjimi povprečnimi temperaturami in nižjo vegetacijsko produkcijo so bili domači okoliši teh živali večji, kar pomeni, da so morale pri iskanju plena premagovati večje razdalje in bile s tem izpostavljene večjemu tveganju za preživetje. To je problematično zlasti za maloštevilne populacije risa, kakršna je tudi slovenska. Velike spremembe v gozdnih ekosistemih na območju Slovenije, ki jih napovedujejo nekateri modeli, bi lahko zmanjšale uspešnost ponovnega naseljevanja risov na to območje.

viri: Herfindal *et al.* (2005); Snider *et al.* (2021), Rodríguez-Recio *et al.* (2021)

Kakovost risovega habitata določa tudi snežna odeja.

Podnebne spremembe se odražajo tudi v spremembi snežnega režima, kar vpliva na medvrstne odnose. Število dni s snežno odejo se v Sloveniji krajša, kot se tudi krajša količina zapadlega snega. Ta trend bo v prihodnje verjetno še bolj izrazil in bo negativno vplival na risa (*Lynx lynx*). Območja z daljšim trajanjem snežne odeje predstavljajo zanj bolj ugodno življenjsko okolje, zato bi podnebne spremembe lahko botrovale razmahu manj ugodnega okolja in s tem fragmentaciji risovega habitata. V zasneženi krajini so risi bolj učinkoviti plenilci, saj se srnjad, ki je njihov glavni plen, giblje oteženo, boljši pa so tudi pogoji za približanje in iskanje plena. Ker se mladi osebk priučijo lovne strategije v zimskih razmerah od matere, sprememba razmer terja učenje novih strategij, kar lahko vsaj kratkoročno zmanjša možnost njihovega preživetja. To utegne negativno vplivati na dolgoročno ohranjanje populacije, ki je pri nas že tako majhna.

viri: Nilsen *et al.* (2009), Schmidt *et al.* (2011), Bertalanič *et al.* (2018a), Lokošek *et al.* (2021)

2.6. Medvrstni odnosi

Podnebne spremembe prek različnih mehanizmov prinašajo tudi učinke na ravni medvrstnih odnosov, t.j. kompeticije (-/-), plenilstva (+/-), simbioze, (+/+), komezalizma (+/0) in parazitizma (+/-). Odziv določenih vrst na neposredne vplive podnebnih sprememb lahko predstavlja posreden vpliv na druge vrste, ki so od njih odvisne (Bellard *et al.* 2012). V študiji, v katero je bilo vključenih 9.650 medvrstnih sistemov, je bilo denimo ocenjeno, da bi zaradi neskladij, ki bodo nastopila pod vplivom podnebnih sprememb, lahko izumrlo kar 6.300 vrst na račun izumrtja vrst, od katerih so odvisne (Ibid.).

2.6.1. Časovna neuskkljenost med vrstami

Z vidika fenologije je bolj kot absolutne spremembe v časovnem poteku življenjskega cikla posameznih vrst problematična časovna neuskkljenost v medvrstnih odnosih, ki nastopi zaradi različnih odzivov posameznih vrst na podnebne spremembe (Parmesan 2006). Tako prihaja do vse večjih neskladij med življenjskimi cikli rastlinojedih žuželk in njihovih gostiteljskih rastlin, opraševalcev in cvetočih rastlin, plenilcev in njihovega plena, parazitoidov in njihovih žuželčnih gostiteljev ... Fenološka neskladja pa lahko vodijo do zmanjšane fitnesa pri odvisnih vrstah (Ibid.)

Razvoj gosenic metuljev je vse manj usklajen z razvojem njihovih gostiteljskih rastlin.

V Evropi se je v zadnjih treh desetletjih rastna sezona podaljšala za več kot deset dni. Nekatere rastlinske vrste zacvetijo in razvijajo semena vse bolj zgodaj v sezoni. To vpliva na številne vrste metuljev, saj je njihovo

pojavljanje, prehranjevanje in razmnoževanje vezano na rast gostiteljskih rastlinskih vrst, s katerimi se prehranjujejo njihove gosenice. Zaradi časovnih neskladij med razvojem gostiteljskih rastlin in izleganjem gosenic slednje ne bodo imele na voljo hrane, ki jo potrebujejo za svoj razvoj. Pri tem bodo zlasti prizadeti specialisti – vrste, ki imajo posebne zahteve glede vrste gostiteljske rastline saj izgube prehranskih virov ne bodo mogli nadomestiti z drugimi vrstami rastlin.

vir: EEA (2021)

Gnezdeče velike sinice se ponekod niso zmožne prilagajati pospešenemu razvoju gosenic.

Časovno usklajevanje gnezditve ptic z viškom ponudbe hrane v okolju je ključnega pomena za fitnes mladičev. Pri veliki sinici (*Parus major*) so v leglih, ki so ob starosti mladičev 11–12 dni usklajena z viškom biomase gosenic, mladiči številčnejši in težji. Znak za začetek gnezditve velikih sinic je dosežena ugodna temperatura v časovnem oknu med sredino marca in sredino aprila. Spomladanskim temperaturam se prilagaja tudi razvoj gosenic, vendar poleg zgodnje spomladanskih nanj vplivajo tudi temperature od sredine aprila naprej, vse do sredine maja. V nizozemskem narodnem parku Hoge Velluwe, kjer so opravili raziskavo, se je razvoj gosenic z višanjem spomladanskih temperatur zaradi podnebnih sprememb pospešil bolj, kot je napredovala gnezditve sinic. Od leta 1985–2004 je obdobje z viškom biomase gosenic v okolju tako za kar 10 dni prehitelo obdobje, ko imajo gnezdeče sinice največjo potrebo po hrani za mladiče. Kaže, da fenotipska plastičnost v tej populaciji velikih sinic kot mehanizem prilagajanja ne zadošča in ji preostane zgolj prilagajanje po poti mikroevolucije.

vir: Visser *et al.* (2006)

2.6.2. Spremenjena populacijska razmerja med vrstami

Podnebne spremembe vplivajo na populacijske procese številnih vrst (rodnost in umrljivost ter preseljevanje) in tako na velikost in trende njihovih populacij. V medvrstnih odnosih se spremembe v populaciji ene vrste vselej odražajo tudi v populacijski dinamiki druge vrste. Zmanjšana abundanca plena ali gostitelja, ki ga prizadenejo podnebne spremembe, prizadene tudi populacijo plenilca oz. gosta, ki je z njim v odvisnem odnosu. V največji meri to velja za specialiste, vezane na točno določeno vrsto, saj generalisti primanjkljaj ene vrste plena oz. gostitelja lahko nadomestijo s plenjenjem druge vrste plena oz. gostovanjem na drugem gostitelju. Podobno se lahko spremenjena dinamika plenilcev ali zajedavcev odraži na populacijah plena oz. gostitelja, ki jih uravnavajo. Podnebne spremembe lahko porušijo tudi kompeticijska razmerja med vrstami, če se vzpostavijo pogoji, ki favorizirajo določene vrste in/ali izključujejo druge. Pri tem je zlasti pereč problem širjenja invazivnih tujerodnih vrst, ki se v spremenjenih podnebnih razmerah lahko dramatično pospeši.

Vsaka najmanjša sprememba populacijske dinamike še ni ogrožajoča za vrsto, vendar porušena populacijska razmerja v medvrstnih odnosih lahko pospešijo izumiranje nekaterih ranljivih vrst.

Propad populacij rastlinskih vrst ustvari prostor za razrast bolj prilagojenih vrst.

Uničujoči ekstremi abiotičnih dejavnikov se pogosto pojavljajo skladno z nekimi dolgoročnimi trendi (npr. višje temperature skupaj z daljšim sušnim obdobjem, pogostejšimi požari), kar pri rastlinah povzroči propadanje večjega števila populacij različnih vrst. Zaradi tega se zmanjša kompeticija in na teh mestih se lahko bolj razbohotijo druge vrste, ki jih ti ekstremi niso prizadeli ali so bolj prilagojene na spremenjene podnebne spremembe. Poenostavljeno bi tako lahko ob splošnem segrevanju ozračja pričakovali, da bodo hladnoljubne in vlagoljubne vrste prizadete, na njihov račun pa se bodo širile toploljubne in na sušna rastišča prilagojene vrste.

Namnožitev podlubnikov ogroža smrekove sestoje.

Ranljivi so zlasti sekundarni smrekovi gozdovi, ki so jih v nižinskih predelih na območju Evrope v obliki monokultur sadili v minulih stoletjih, saj so izredno občutljivi za številne motnje, med katerimi so najpomembnejši smrekovi podlubniki (predvsem vrsta *Ips typographus*). Njihovi vse večji uspešnosti botrujejo podnebne spremembe, saj višanje temperature olajšuje njihovo preživetje in razvoj več generacij na leto ter omogoča njihovo razširjanje na višje nadmorske višine in bolj proti severu. Obenem ekstremni vremenski dogodki povzročajo poškodbe dreves in slabijo njihovo zmožnost obrambe, kar podlubnikom še dodatno olajša napade.

vir: Jurc (2020)

Dvoživkam preti pospešeno širjenje zajedavcev in razmah bolezni.

Ogrevanje ozračja bi lahko olajšalo širjenje bolezni, ki že sedaj ogrožajo dvoživke, kot je denimo hitridiomikoza, ki jo povzročata glivi *Batrachochytrium dendrobatidis* in *B. salamandrivorans* in se razširja kot posledica globalne trgovine z živalmi. Vrsti izhajata iz tropskih območij in za preživetje potrebujeta tople vremenske razmere. S tropikalizacijo voda tako ustvarjamo ugoden življenjski prostor za njuno preživetje in uspešno okužbo gostiteljev. Učinek te bolezni ima negativne posledice ne le za populacije herpetofavne, ampak tudi za celoten prehranjevalni splet. Dvoživke namreč predstavljajo plensko bazo za številne vrste plenilcev.

Toploljubne žuželke bodo povzročile več ekonomske škode.

Zaradi pričakovanega dviga temperatur skrb vzbujajo tudi številnejše generacije toplotoljubnih žuželk, med katerimi so tudi številni rastlinski škodljivci. Toplejše podnebje bo denimo prispevalo k povečanju števila generacij določenih vrst metuljev, kar bo imelo negativen vpliv v kmetijstvu in gozdarstvu. Jabolčni zavijač (*Cydia pomonella*), ki lahko povzroča škodo pri pridelavi jabolk, je ob višjih temperaturah zmožen razviti več generacij letno, kar pomeni porast njegove populacije in posledično večji vpliv na pridelavo sadja.

vir: Dolinar *et al.* (2018), El Iraqui & Hmimina (2016)

Leščurji izumirajo zaradi uspešnega širjenja parazita.

V zgodnji jeseni 2016 je bila v več regijah Sredozemskega morja zabeležen množičen pogin leščurjev (*Pinna nobilis*), ki je povzročil pravi populacijski zlom. Izkazalo se je, da je nenadno povečano smrtnost povzročil zajedavec vrste *Haplosporidium pinnae*, ki se je s toplimi površinskimi tokovi izjemno hitro in uspešno razširil po Sredozemskem morju. Najverjetnejša ekološka dejavnika uspešnega širjenja tega zajedavca sta visoka temperatura morja in visoka slanost.

vir: Cabanellas-Reboredo *et al.* (2019)

Zmanjšana slanost morja zaradi vdora sladke vode vodi v pogostejša kožna obolenja delfinov.

S segrevanjem ozračja je povezano tudi vse pogostejše pojavljanje močnih neviht, ki z vnosom sladke vode vplivajo predvsem na slanost plitvega priobalnega morja. Zmanjšana slanost morske vode poveča tveganje za razvoj kožnih glivičnih in bakterijskih obolenj pri delfinih, kar v najhujših primerih vodi celo v smrt osebkov.

vir: Duignan *et al.* (2020)

2.7. Ekosistemi

Pojem »ekosistem« je relativno nov – prvič je bil uporabljen l. 1935 v publikaciji britanskega ekologa Arthurja Tansleya (Tome 2006). Danes je prešel tudi v splošno rabo in v naših najpreprostejših predstavah zaznamuje naravne sisteme, kot so denimo gozdovi, travišča, reke, morja in mokrišča. Ekosistemi so izjemno kompleksni in dinamični sistemi, vsak s svojo značilno zgradbo in procesi. Zgradbo ekosistema predstavljajo v njem živeči organizmi (združbe ali biocenoze), neživi dejavniki okolja ter energija. Organizme v biocenozi glede na njihovo funkcijo v prehranjevalnem spletu delimo na proizvajalce (producente), porabnike (konzumente) in razkrojevalce (dekompozitorje) (Tome 2006). Temeljni ekosistemski procesi so: kroženje hranil, pretok energije in dinamika združb. Na ravni ekosistemov opazovane spremembe pod vplivom podnebnih sprememb lahko pripišemo neposrednim vplivom podnebja in medsebojnim učinkom odzivov na ravni populacij in vrst (Weiskopf *et al.* 2020).

Glede na stopnjo človekovega vmešavanja v strukturo in procese ekosistemov ločimo naravne, spremenjene in umetne ekosisteme. V naravnih ekosistemih je vpliv človeka zanemarljiv, v spremenjenih je znaten in se odraža v spremenjeni strukturi in funkciji, v umetnih sistemih pa je bistven in ima uničujoč vpliv na naravno ravnovesje, zato so takšni ekosistemi izredno ranljivi in neodporni ter hkrati dragi za vzdrževanje. Strokovnjaki vse bolj odkrivajo pomen biodiverzitete za odpornost ekosistemov: sistemi, ki so že degradirani zaradi drugih stresorjev, imajo nižjo odpornost na podnebne spremembe (Weiskopf *et al.* 2020).

V povezavi z ekosistemi je bil razvit koncept ekosistemskih storitev z namenom, da nam pomaga ovrednotiti pomen ekosistemov za človeka. Opredeljuje štiri različne vrste ekosistemskih storitev, ki so bistvenega pomena za človekovo preživetje, zdravje in dobro počutje: oskrbovalne, uravnalne, kulturne in podporne (Žujo & Danev 2010). Raznolike biološke združbe in delujoči ekosistemi so kritični za vzdrževanje ekosistemskih storitev, ki podpirajo dobrobit ljudi. Zato učinki podnebnih sprememb na vrste oz. njihove populacije in ekosisteme vplivajo tudi na razpoložljivost in dostopnost ekosistemskih storitev. (Weiskopf *et al.* 2020).

2.7.1. Kroženje hranil in pretok energije

Kroženje hranil in pretok energije v ekosistemu temeljita na prehranjevalnih spletih. Kroženje hranil je ciklični proces v ekosistemu, ki obsega prenos hranil (vode, ogljika, kisika, dušika, fosforja) iz fizičnega okolja v organizme in nazaj v okolje. Temeljni biološki procesi, udeleženi v kroženju hranil, so primarna in sekundarna produkcija ter dekompozicija. Energija v združbo pride iz zunanjih virov. Sprejmejo jo primarni producenti in uskladiščijo v organski snovi, ki je nato na voljo tudi porabnikom in razkrojevalcem. Ko ti organsko snov porabijo, energija združbo zapusti. (Tome 2006).

Proces kroženja hranil uravnavajo prehranske poti v prehranjevalnem spletu. Osnova večine prehranjevalnih spletov so primarni producenti, ki vršijo fotosintezo. Ti organizmi pod vplivom svetlobe vežejo ogljikov dioksid in vodo v sladkor ter ob tem proizvajajo kisik in so tako odgovorni za nastanek nove organske snovi. Svetloba, CO₂ in voda so glavni omejujoči dejavniki primarne produkcije, poleg njih pa še hranila v obliki dušika in fosforja. Podnebne spremembe najbolj vplivajo na razpoložljivost vode, pomemben vpliv pa ima lahko tudi temperatura. V kopenskih ekosistemih se pod vplivom višjih temperatur in obilnejših padavin primarna produkcija poveča, medtem ko se pod vplivom manjše količine padavin in s tem manjše razpoložljivosti vode zmanjša. V vodnih ekosistemih je pomembnejši vpliv temperature, pri čemer višanje temperatur nima nujno pozitivnega učinka. V oceanih in morjih zmernega in tropskega pasu višje temperature ojačajo stratifikacijo in s tem zavrejo navpični tok hranil iz globin na površje, kar omeji primarno produkcijo planktona. Nasprotno pa se s tanjšanjem ledenega pokrova v polarnih morjih poveča razpoložljivost svetlobe v vodnem stolpcu in s tem poveča primarna produkcija. (Weiskopf *et al.* 2020). Spremembe v primarni produkciji zaradi podnebnih sprememb se na višjih trofičnih nivojih prehranskega spleta še ojačajo, kar se odraža v spremembah ekosistemskih funkcij in potencialno vodi v bistvene spremembe celotnih ekosistemov (Ibid.).

Dekompozicija je proces, v katerem organizmi organske snovi razkrajajo do anorganskih in tako poskrbijo za vračanje hranil v okolje, kjer so ponovno na razpolago primarnim producentom (Tome 2006). Razkrojevalce v ekosistemih predstavljajo ektotermni organizmi in mikroorganizmi, katerih metabolizem je odvisen od zunanje temperature. Hitrost dekompozicije je zato neposredno odvisna tudi od podnebja. V tleh kopenskih ekosistemov na dekompozicijo vpliva delikatno razmerje med vplivi povišane temperature in znižane vlažnosti tal (Smith 2012). Posledica pospešene dekompozicije odmrle biomase je tudi večja stopnja sproščanja CO₂ v ozračje, kar lahko predstavlja znatne vplive na bodoče koncentracije tega toplogrednega plina v ozračju (Ibid.).

Prav lastnosti talnih mikrobnih združb v veliki meri določajo stopnjo odpornosti, prožnosti in ranljivosti ekosistemov na ekstremne dogodke, povezane s podnebnimi spremembami. Glavne lastnosti talnih združb, ki ekosistemu dajejo prožnost, so stopnja rasti, učinkovitost rabe virov in vrstna sestava združbe. Vrstna sestava združbe razkrojevalcev namreč določa hitrost kroženja hranil. V bakterijskih združbah, ki si po motnjah hitro opomorejo, so procesi razgradnje hitri, s čimer zagotavljajo prožnost ekosistema. V združbah gliv so procesi počasni, ublažijo odzive na motnje in tako zagotavljajo odpornost ekosistema na spremembe. Dopolnjujoče funkcije teh dveh tipov združb omogočajo hitro, a stabilno okrevanje po motnjah, porušenje razmerij med njimi pa lahko destabilizira ekosistem. Medtem ko je odziv talnih združb na kronični stres dokaj dobro poznan, so njihovi odzivi na ekstremne dogodke, povezane s podnebnimi spremembami, še velika neznanka. (Malhi *et al.* 2020).

2.7.2. Dinamika združb

Vrste se na podnebne spremembe odzivajo individualistično, vendar ima zaradi medvrstnih odnosov to posledice tudi za združbe in s tem strukturo ekosistemov. Združbe in ekosistemi niso nekaj stalnega in posamezne vrste iste združbe oziroma ekosistema se na podnebne spremembe odzivajo vsaka na svoj edinstven način. Podnebne spremembe tako pomenijo tudi potencial za nastanek novih tipov združb (takšnih, ki v sedanjih razmerah ne obstajajo). To je razvidno tudi iz preteklih obdobj spreminljivega podnebja v zemeljski zgodovini. (Huntley *et al.* 2007). Kot posledica podnebnih sprememb in premikov arealov se predvideva, da bodo združbe vse bolj sestavljene iz toploljubnih vrst, vendar je bilo to doslej raziskano le za omejeno število taksonov, predvsem ptic, metuljev in rastlin (Termaat *et al.* 2019).

V zahodni Sloveniji je v porastu toploljubna flora.

V Sloveniji splošnega trenda povečevanja povprečne toploljubnosti flore sicer (še) ne moremo zaznati, kaže pa se vzorec povečanja toploljubnosti flore na liniji od zahodnih Dinaridov do Posočja, kar sovpada z območjem zaznanega trenda manjšanja količine padavin v zadnjih 50 letih. Pri interpretaciji zbranih podatkov je treba upoštevati, da so v goratih predelih zahodne Slovenije v preteklih desetletjih več pozornosti namenjali visokogorski flori, pri kateri so ti trendi najbolj izraziti.

Gozdne združbe v Sloveniji se bodo močno spremenile.

Drevesna sestava slovenskih gozdov se bo s spreminjanjem podnebja postopno spreminjala. Po napovedih modelov, ki so jih izdelali na Gozdarskem inštitutu Slovenije, bi do leta 2070 lahko prišlo do sprememb gozdnih združb celo na več kot 75 % gozdnih površin v Sloveniji. Glede na napovedi teh modelov bodo iz naših gozdov izginili smreka (*Picea abies*), jelka (*Abies alba*) in drugi iglavci, danes prevladujoči bukovi gozdovi pa bodo postali redkost. Namesto njih se bodo razrasli različni toploljubni gozdovi, podobni tistim, ki jih danes poznamo v Sredozemlju. Podnebne spremembe bodo pospešile tudi razrast nekaterih tujerodnih vrst, kot so robinija (*Robinia pseudoacacia*), pajesen (*Ailanthus altissima*) in duglazija (*Pseudotsuga menziesii*). Kot večina ekoloških modelov pa ima tudi ta svoje omejitve, saj v njem niso bili upoštevani nekateri drugi dejavniki, ki poleg podnebnih prav tako lahko odločilno vplivajo na oblikovanje gozdnih združb. Ti pa so: spremembe v ekološki

niši vrst, zmožnost njihovega razširjanja na nova rastišča, različne omejitve v sukcesiji (razvoju) združb, morebiten pojav novih boleznih in škodljivcev, pogostost gozdnih požarov in spremembe v rabi prostora.

vir: Kutnar *et al.* (2009)

2.8. Ogroženost biodiverzitete zaradi podnebnih sprememb

2.8.1. Ranljivost vrst in ekosistemov

Vplivi podnebnih sprememb na biodiverzitetu na Zemlji so sicer splošno razširjeni, vendar niso enolični. Odzivi posameznih vrst in ekosistemov na podnebne spremembe so namreč odraz njihove relativne ranljivosti, ki je odvisna od njihove izpostavljenosti, občutljivosti in prilagoditvene sposobnosti na podnebne spremembe in spremljajoče okoljske pojave (Foden & Young 2016, Weiskopf *et al.* 2020).

Ranljivost opisuje, v kolikšni meri sta vrsta ali ekosistem dovzetna za, ali nesposobna zoperstaviti se negativnim učinkom podnebnih sprememb. Ranljivost je funkcija značaja, velikosti in hitrosti podnebnih sprememb, ki sta jim vrsta ali ekosistem izpostavljena, ter njune občutljivosti in prilagoditvene sposobnosti. Ranljivost vrst ali ekosistemov je največja, ko so izpostavljeni velikim in/ali hitrim spremembam v svojem okolju, so na te spremembe občutljivi in imajo nizko prilagoditveno sposobnost. (Foden & Young 2016).

Izpostavljenost opisuje značaj, velikost in hitrost podnebnih sprememb (npr. temperatura, padavine) in njihovih spremljajočih okoljskih pojavov (npr. dvig morske gladine, pogostost suš, zakisovanje oceanov), s katerimi se vrsta ali ekosistem sooča ali se bosta soočila v bodoče. Obseg bodoče izpostavljenosti je običajno določen na podlagi projekcij različnih scenarijev, izpeljanih iz globalnih modelov splošne cirkulacije (GCMs) (Foden & Young 2016).

Občutljivost je stopnja, do katere sta vrsta ali ekosistem prizadeta ali odzivna na podnebne spremembe (Foden & Young 2016). Občutljivost vrste je odvisna od njene vezanosti na zgodovinske podnebne pogoje, predvsem na tiste podnebne elemente, za katere so pričakovane bodoče spremembe. Občutljivost je pogojena z vrsto značilnosti, ki vplivajo na fitnes osebkov in s tem obnovo populacij vrste. Gre za fiziološke in vedenjske lastnosti ter znake življenjskih strategij, ki vplivajo na: zaščitenost vrst pred izpostavljenostjo suboptimalnim pogojem; njihovo sposobnost toleriranja sprememb v okoljskih dejavnikih in sprememb v medvrstnih odnosih; njihovo sposobnost regeneracije in obnove po učinkovanju spremenjenih dejavnikov. Lastnosti zajemajo tudi znotraj- in medgeneracijske plastične odzive in genetsko variabilnost. (Ibid.)

Prilagoditvena sposobnost je potencial, zmogljivost ali sposobnost vrste ali ekosistema, da se prilagodi na podnebne spremembe, ublaži morebitno škodo, izkoristi dane priložnosti ali se uspešno odzove na posledice (Foden & Young 2016). Organizmi se na podnebne spremembe lahko prilagajajo s spremembo fiziologije, morfologije, vedenja, fenologije in/ali geografskih območij poselitve. Vrste tako ohranjajo zadosten fitnes za dolgoročno preživetje (Weiskopf *et al.* 2020). Ne glede na način prilagajanja pa so mehanizmi, ki delujejo v ozadju prilagajanja, posledica bodisi spremenjenega izražanja genov (fenotipske plastičnosti), bodisi genetskih sprememb (mikroevolucije) (Bellard *et al.* 2012). Od vrste mehanizma je odvisna hitrost prilagajanja, ki določa, ali osebki, populacije in vrste lahko uspešno sledijo hitro spreminjajočim se pogojem. Plastični odzivi se pojavijo v času življenja osebka in so skoraj takojšnji, medtem ko prilagajanje po poti (mikro)evolucije zahteva več generacij. Novejše raziskave se posvečajo tudi vlogi epigenetskih odzivov, pri katerih okoljski dejavniki spremenijo izražanje genov, te spremembe pa se prenesejo na naslednje generacije. Tudi epigenetski odzivi veljajo za takojšnje. (Weiskopf *et al.* 2020).

Ranljivost biodiverzitete zaradi podnebnih sprememb opisujemo s petimi ključnimi parametri:

- **enota:** vrsta ali skupina vrst, življenjsko okolje, ekosistem;
- **prostorski obseg:** globalen, regionalen, nacionalen, lokalni;

- **učinek:** (na posamezne vrste): izumrtje, upad populacij, premiki ali krčenje območja razširjenosti, izguba podpopulacij, upad genske raznolikosti; (na ekosisteme): propad, spremembe v zgradbi, upad funkcij, upad evolucijske raznolikosti;
- **vzrok:** neposredni vplivi podnebnih sprememb, posredni vplivi podnebnih sprememb, človekovi odzivi na podnebne spremembe, odzivi biodiverzitete na podnebne spremembe;
- **časovni okvir:** 5, 10, 25, 50, 100 let.

Ne glede na to, da bodo prilagoditve nekaterih organizmov na spremenjene podnebne pogoje morda uspešne in bodo tako »ušli« neposrednim pogubnim učinkom podnebnih sprememb, se lahko zgodi, da se bodo v novih okoliščinah srečali z neugodnimi razmerami, ki so posledica drugih dejavnikov, kot so npr. nove medvrstne interakcije, drugačna fotoperioda, pomanjkanje ustreznega habitata ... (Bellard *et al.* 2012). Zato zgolj sposobnost prilagajanja na spremenjene podnebne pogoje še ni zagotovilo za dolgoročno preživetje vrst oz. njihovih populacij.

Metulji se na višje temperature prilagodijo s spremembo zunanje podobe in vedenja.

Pri nekaterih vrstah metuljev se prilagoditvena sposobnost na višanje temperature izraža v spremembi vedenja ali zunanjih telesnih znakov, kar je posledica fenotipske plastičnosti. Verjetno najpogostejši vedenjski odziv metuljev na podnebne spremembe je iskanje ugodnih mikrohabitata. Ličinke rdečega apolona (*Parnassius apollo*) se denimo premikajo med mikrohabitati glede na temperaturo okolja in se na višjih in hladnejših legah sončijo na lokacijah z borno vegetacijo, na nižjih in toplejših legah pa zatekajo v osenčene mikrohabitatske. Med visokogorskimi vrstami je poznano tudi sončenje z razprtimi krili, medtem ko je za vrste vročega podnebja značilna drža z zloženimi krili in obračanje stran od sonca. Prilagoditvena sposobnost metuljev je vidna tudi v njihovih telesnih znakih: več raziskav je pokazalo, da zmanjšan melanizem in variabilni barvni vzorci predstavljajo selektivno prednost v razmerah naraščajočih temperatur.

vir: Hill *et al.* (2021)

Prilagoditvena sposobnost rastlin je odvisna od njihove zmožnosti razširjanja.

Odpornost rastlinskih populacij na neugodne vremenske razmere, ki jih s seboj prinašajo podnebne spremembe, je v veliki meri odvisna od zaloge živih semen v prsti. Pri enoletnicah je to sploh edini način preživljanja neugodnih razmer, pri trajnicah pa pomemben in na ekstremne razmere bolj odporen način preživljanja. Nadalje je pomembna možnost in učinkovitost širjenja semen. Pri rastlinah to poteka bolj ali manj neusmerjeno, naključno, tista semena, ki uspejo zasesti nova ustrezna rastišča, pač lahko oblikujejo novo populacijo, druga propadejo. Glede na to, da ena sama rastlina vsako leto proizvede na desetine, stotine, celo na milijone semen, je visok delež propadlih semen popolnoma normalen pojav. Pri takem širjenju je izredno pomembno, da obstajajo koridorji, ki omogočajo vsaj delno uspešen stik med populacijami iste vrste in preko katerih lahko poteka postopno širjenje ter ponovno zasedanje rastišč, na katerih je populacija zaradi nekih ekstremnih dogodkov propadla. Če takih koridorjev ni in so populacije neke vrste medsebojno izolirane, je verjetnost obnove propadle populacije po naravni poti zelo majhna. Govorimo lahko o otokih ustreznih razmer za neko vrsto. Na primer območja apnenca na Pohorju predstavljajo medsebojno zelo razmaknjene otoke, ki edini omogočajo rast kalcifilnih vrst. Podobno predstavljajo majhna in močno oddaljena območja serpentinske geološke podlage edino možno rastišče populacij serpentinofitov in propad take populacije je po naravni poti nepopravljiv. Ali pa osamljen gorski greben, ki je desetine kilometrov oddaljen od drugih podobnih rastišč in naravnih koridorjev med njimi preprosto ne more biti.

Ranljivost kačjih pastirjev je odvisna od njihove ekološke niše.

Glede na dosedanje raziskave kačjih pastirjev imajo podnebne spremembe večji negativni vpliv na vrste stoječih voda in predvsem barij, kakor na vrste tekočih voda. V povezavi z drugimi dejavniki ogrožanja pa za

vrste tekočih voda velja, da so bolj ranljive od vrst stoječih voda zaradi ožjih ekoloških preferenc in manjše zmogljivosti razširjanja. Tudi v Sloveniji so vrste, prilagojene na barjanska okolja, ki obenem pri nas dosega tudi rob svoje sklenjene razširjenosti v Evropi – npr. barjanski spreletavec (*Leucorrhinia dubia*), barjanski lesketnik (*Somatochlora arctica*), barjanska in mahovna deva (*Aeshna juncea*, *A. subarctica*), bolj ogrožene zaradi vpliva podnebnih sprememb, saj je tako posredno kot neposredno ogrožen tudi njihov življenjski prostor, ki se zarašča, izsušuje in segreva.

vir: Clausnitzer *et al.* (2009), Cerini *et al.* (2020), Vinko *et al.* (2020), Bowler *et al.* (2021)

Fenotipski odziv organizmov na spremembe v okolju je omejen.

Rastline kot pritrjeni organizmi nimajo možnosti za umik pred neugodnimi vremenskimi razmerami. Če skozi evolucijo ne bi razvile vseh mogočih mehanizmov za preživljanje takšnih razmer, bi že zdavnaj propadle. Njihovi kratkoročni odzivi na vremenske spremembe so fiziološki, na dlje časa trajajoče spremembe se odzivajo tudi s spremenjeno obliko in načinom rasti. Najdlje trajajoče spremembe ali pa kratkotrajne, vendar zelo močne spremembe, pa povzročijo umiranje najslabše prilagojenih rastlin, torej gre za naravno selekcijo.

Podnebna ranljivost živorodnih kuščaric je večja kot ranljivost njihovih jajcerodnih sorodnic.

Živorodnost pri kuščaricah je evolucijska prilagoditev na hladno podnebje. Živorodne kuščarice so bolj ranljive od njihovih jajcerodnih sorodnic, saj so občutljivejše na visoke temperature in so v vročih razmerah prisiljene več časa preživeti v senčnih zatočiščih, zaradi česar se skrajša razpoložljivi čas za njihove dnevne aktivnosti, zlasti prehranjevanje. Obenem imajo samice živorodnih vrst večjo energetske potrebo za vzdrževanje razvoja zarodkov, ki narašča proti koncu brejosti, z napredujočo brejostjo pa zaradi vse večjega bremena tudi prehranjevanje postaja zanje vse bolj nevarno.

vir: Wang *et al.* (2017)

Ranljivost vrst lahko omilimo z ohranjanjem, obnovo in povezovanjem njihovih habitatov.

Za metulje je v povezavi s podnebnimi spremembami zlasti problematična pogosta in ponavljajoča se izpostavljenost vremenskim ekstremom. Zaradi negativnega vpliva na realizirano rodnost takšni dogodki lahko vodijo v izumiranje lokalnih populacij. Prav zaradi pričakovane vse večje pogostosti vremenskih ekstremov je za ohranjanje metuljev ključno vzdrževanje dovolj velikih površin primernega življenjskega okolja, saj je v razdrobljenem habitatu verjetnost lokalnih izumrtij pod vplivom podnebnih sprememb potencirana. Velika razdrobljenost habitata tudi zmanjšuje verjetnost naseljevanja novih območij, zlasti pri vrstah z majhno zmožnostjo razširjanja.

2.8.2. Izguba biodiverzitete zaradi podnebnih sprememb

Naše razumevanje vplivov podnebnih sprememb na biodiverzitetu je še vedno pomanjkljivo, kljub temu pa je o tej tematiki že zbranega dovolj znanja, da je zaskrbljenost glede prihodnosti biodiverzitete razumljiva. Ne glede na opazovanja, da imajo na lokalni ravni zdajšnje podnebne spremembe lahko tudi pozitivne učinke na biodiverzitetu, obstaja le malo dvomov, da bodo daljnosežni učinki na globalni ravni v veliki meri negativni (Burkmar & Bell 2015).

Veliko težje kot smer učinkov je napovedati njihov obseg. Največji izziv pri oblikovanju napovedi prihodnjega stanja biodiverzitete predstavlja pridobitev zanesljive kvantitativne ocene (Bellard *et al.* 2012). Najbolj splošno uporabljeno orodje za napovedovanje je ekološko modeliranje, ki je nenehno v razvoju že tri desetletja. Napovedi modelov so zelo variabilne, saj so odvisne od metode modeliranja, fokusnih taksonomskih skupin, izbranih meril izgube biodiverzitete, obravnavanega prostorskega obsega in časovnega okvira. Vendar pa je ne

glede na negotovosti, povezane z naštetimi dejavniki, veliki večini projekcij skupno to, da napovedujejo negativne učinke podnebnih sprememb na globalno biodiverzitetu, od blagih, do zmernih in celo dramatičnih (Bellard *et al.* 2012, Nunez *et al.* 2019). Med raziskavami o vplivu podnebnih sprememb na biodiverzitetu so tudi redke, ki poročajo o pozitivnih učinkih na vrstno pestrost (npr. Harrison 2020). Te le še dodajajo h kompleksnosti napovedovanja prihodnjega stanja globalne biodiverzitetu v spremenjenem podnebj (Bellard *et al.* 2012, Weiskopf *et al.* 2020).

Pogled v zgodovino pokaže, da je zaradi zmožnosti prilagajanja vrst v obdobjih kvartarnih podnebnih sprememb izumrlo relativno malo taksonov (Bellard *et al.* 2012). Vendar pa se v obdobju zdajšnjih podnebnih sprememb soočamo s tako hitrimi in obsežnimi spremembami, kot jih v zgodovini Zemlje ne poznamo. Prilagajanje mnogih vrst oz. njihovih populacij na takšen obseg sprememb bo zelo verjetno neuspešno. Nikakor pa ni zanemarljivo dejstvo, da se morajo vrste danes v nasprotju z drugimi zgodovinskimi obdobji soočiti tudi s številnimi drugimi pritiski s strani človeka, kar po eni strani otežuje ocenjevanje vplivov samih podnebnih sprememb in pod drugi izdatno pospešuje njihovo izumiranje (Bellard *et al.* 2012, Burkmar & Bell 2015).

Čeprav je do današnjega dne zbranih le malo dokazov za izumiranje vrst zaradi učinkov zdajšnjih podnebnih sprememb, različne študije kažejo, da bi podnebne spremembe v naslednjih desetletjih lahko presegle učinek uničevanja življenjskih okolij, ki na globalni ravni za zdaj velja za največjo grožnjo biodiverziteti. Vendar pa množica različnih pristopov v preučevanju vplivov podnebnih sprememb na biodiverzitetu in posledična variabilnost projekcij za zdaj ne daje jasne slike bodočega stanja biodiverzitetu v različnih scenarijih podnebnih sprememb (Ibid.).

Dokumentirana izumrtja vrst zaradi zdajšnjih podnebnih sprememb so zaenkrat redka.

Eden izmed redko poznanih primerov, pri katerem so kot glavni dejavnik izumrtja izpostavili zdajšnje podnebne spremembe je primer izumrtja krastače vrste *Incilius periglenes*. Ta endemična vrsta je živel v montanskem tropskem oblačnem gozdu na Kostariki na zgolj 4 km². V letu 1987 je zaradi nestalnega vremena, ki ga pripisujejo podnebnim spremembam, in posledične izsušitve majhnih vodnih teles, ključnih za razvoj paglavcev, populacija doživela zlom. Od vsega zaroda, ki je štel okoli 30.000 osebkov, jih je preživelo le 29. Populacija si po tem ni več opomogla in vrsta od l. 1991 velja za izumrlo.

vir: DeGroot (2000)

Vrste ekoloških specialistov z razdrobljeno poselitvijo in majhno sposobnostjo razširjanja so med najbolj ogroženimi.

Med rastlinami so kritično ogrožene zlasti majhne populacije ekološko ozko vezanih vrst, ki niso več medsebojno povezane s koridorji. Vse to je lahko tudi neposredni rezultat dolgotrajnega človekovega delovanja, kot v primerih slanišč in mokrišč, ali pa je to lahko posledica naravnih danosti, kot to velja za vrste ekstremnih visokogorskih rastišč. Podobno je s populacijami posameznih vrst na meji območja razširjenosti. V teh predelih so populacije zaradi naravnih razmer vse bolj razdrobljene in izpostavljene mejnim vrednostim abiotičnih dejavnikov in že ob nespremenjenem podnebj zaradi tega bolj ranljive. Če k temu prispeva še turbulentno podnebno dogajanje s pogostejšimi ekstremnimi vremenskimi dogodki, je verjetnost lokalnih izumiranja še večja.

Visokogorski metulji bodo izgubili življenjski prostor.

Metulji so kot druge žuželke z nestalno telesno temperaturo odvisni od temperature okolice. Nekatere vrste, ki živijo na višjih nadmorskih višinah (npr. rjavčki), so na tamkajšnje okolje prilagojene tako, da so obarvane temneje, da se lahko hitreje segrejejo, ko se nastavljajo sončnim žarkom. Imajo tudi daljše dlačice na oprsju, da v telesu lažje zadržujejo toploto. Vrste, ki jim zaradi takšnih prilagoditev bolj ustrezajo hladnejše razmere, bodo

z višanjem temperatur prisiljene poiskati hladnejše, senčne predele in skrajšati čas aktivnosti ali pa bodo njihove populacije izpostavljene izumrtjem. Pomikanje vrst metuljev proti višjim nadmorskim višinam je že dobro dokumentirano denimo v osrednji Španiji. V Sloveniji sta zaradi omejenosti na visoke nadmorske višine ogrožena triglavski rjavček (*Erebia pluto*), ki živi le v najvišjih predelih Julijskih Alp, in borovničeva bledica (*Agriades optilete*), ki jo najdemo zgolj na ovršnih predelih Pohorja. Upad populacij borovničeve bledice v Sloveniji beležimo že od začetkov spremljanja stanja vrste (od leta 2012). Eden od razlogov za to so tudi podnebne spremembe.

viri: Kingsolver & Moffat (1982), Wilson *et al.* (2005), Verovnik *et al.* (2012), Jež in Verovnik (2017), Hill *et al.* (2021)

Izolirane populacije visokogorskih rastlin bodo izrinile bolj toploljubne vrste.

Povezava med rastišči populacij neke vrste s koridorji je tudi v naravnih razmerah lahko slaba. Tako je tudi z visokogorskimi, medsebojno ločenimi grebeni. Ob dolgotrajnem trendu ogrevanja, ko tudi na vrhu grebena postajajo razmere ustrezne za vrste, ki so dotlej rasle le na pobočjih, se vrste z grebena nimajo kam umakniti. Preprosto jih bodo v nadaljnjih desetletjih in stoletjih nadomestile bolj toploljubne vrste. Hkrati pa bo tako dogajanje nekaterim bolj toploljubnim vrstam lahko omogočilo postopno širjenje preko prej neprehodnih gorskih ovir.

Vrstno bogastvo ptic gnezdilk v Evropi bo po napovedih statističnih modelov upadlo.

Vplive podnebnih sprememb na vrstno bogastvo ptic gnezdilk na območju Evrope so raziskovalci simulirali s pomočjo modelov, ki napovedujejo prisotnost posameznih vrst v mreži kvadratov 50 x 50 km ob realizaciji zmerno optimističnega emisijskega scenarija SRES B2. Ob predpostavki, da imajo vse vrste neomejeno sposobnost razširjanja, torej, da bo vsaka vrsta zasedla vse zanjo podnebno ustrezne kvadrate, modeli napovedujejo zmeren upad števila vrst v kvadratih, t.j. v povprečju za 8,6 %. Povsem drugačna je slika ob predpostavki drugega ekstrema in sicer popolne nesposobnosti razširjanja vrst – v tem primeru bi število vrst v kvadratih upadlo v povprečju za 40 %. Nobena od teh napovedi sicer ni realistična, saj so realni disperzijski potenciali večine vrst nekje med tema dvema ekstremoma. V splošnem velja, da imajo selivke boljši disperzijski potencial kot stalnice. Na območju Slovenije model predpostavlja relativno velik upad števila vrst, ki danes gnezdijo v Sloveniji, tudi ob predpostavki popolne sposobnosti razširjanja vrst, in sicer bi se ohranilo med 40–83 % vrst. Glede na napoved modela pa v nekaterih kvadratih lahko pričakujemo tudi do 30 novih vrst, kar bi vsaj ponekod (po številu) relativno dobro uravnovesilo izgubo sedanjih gnezdilk. Ob predpostavki nesposobnosti razširjanja pa bi se v posameznih kvadratih ohranilo do največ 80 % sedanjih gnezdilk, v nekaterih, zlasti priobalnih, pa le med 30 in 50 % sedanjih gnezdilk. Uporabljeni modeli imajo sicer to pomanjkljivost, da zaradi geografske omejenosti vhodnih podatkov na evropski prostor ne predvidevajo potencialne kolonizacije novih vrst, ki se bodo proti severu širile z afriške celine.

vir: Huntley *et al.* 2007

2.8.3. Skupni učinki podnebnih sprememb in drugih dejavnikov na biodiverzitetu

Biodiverzitetu je v antropocenu soočena s številnimi dejavniki ogrožanja, med katerimi je vse bolj prepoznan tudi učinek podnebnih sprememb. Podnebne spremembe same po sebi sicer ne predstavljajo glavne grožnje biodiverziteti, uničujoči so predvsem degradacija življenjskih okolij, prekomerno izkoriščanje naravnih virov in kemijsko onesnaževanje (Caro *et al.* 2022). Različni dejavniki na biodiverzitetu le redko vplivajo neodvisno eden od drugega, pač pa se njihovi učinki seštevajo ali množijo, ali pa so si nasprotujoči (Burkmar & Bell 2015). Čeprav se raziskave o vplivu podnebnih sprememb na biodiverzitetu v zadnjem času množijo, je še vedno le malo znanega o kumulativnih in sinergičnih vplivih podnebnih sprememb in drugih dejavnikov ogrožanja biodiverzitetu. S pomočjo obsežne meta analize o interakcijah med podnebnimi spremembami in izgubo

habitata so strokovnjaki ugotovili, da so zdajšnje podnebje in podnebne spremembe dejavnik, ki določa jakost učinkov izgube in drobljenja habitata na gostoto populacij in/ali vrstno bogastvo (Mantyka-Pringle *et al.* 2011). Kot najpomembnejši tovrstni podnebni dejavnik je bila denimo v kopenskih ekosistemih prepoznana sedanja maksimalna temperatura, sledile pa so spremembe v količini padavin v obdobju zadnjih 100 let. Učinki izgube življenjskega okolja in drobljenja habitatov so bili največji na območjih z visokimi maksimalnimi temperaturami, najmanjši pa tam, kjer se je v zadnjem stoletju povečala povprečna količina padavin (Ibid.) V obsežni raziskavi kumulativnih učinkov podnebnih sprememb in lokalnih antropogenih stresorjev v morskih ekosistemih pa so Gissi *et al.* (2021) ugotovili, da so na ravni prehranjevalnih spletov in ekosistemov posamezni dejavniki podnebnih sprememb bodisi ojačali, bodisi ublažili učinke drugih antropogenih dejavnikov. To pomeni, da so skupni učinki različnih dejavnikov odvisni od konteksta in se razlikujejo med ekosistemi.

Metulji izumirajo v primežu različnih antropogenih dejavnikov.

Glavne razloge za slabšanje stanja metuljev v Evropi lahko razvrstimo v tri kategorije: izguba življenjskega okolja, onesnaženje okolja in podnebne spremembe. V Sloveniji je izguba življenjskega okolja še vedno glavni razlog za slabšanje stanja metuljev, kombinacija različnih dejavnikov pa lahko stanje poslabšuje še hitreje. Podnebne spremembe so sicer edini dejavnik, ki ima na posamezne vrste metuljev lahko tudi pozitivne učinke, vendar ti ne izravnavajo njihovih negativnih učinkov na druge vrste. V zadnjih tridesetih letih je število travniških dnevnih metuljev v Evropi upadlo že za 39 %. Po posameznih državah zahodne Evrope pa je upad še večji, tako na Nizozemskem in v Združenem kraljestvu beležijo kar 50 % upad. Med 8 in 20 % vrst dnevnih metuljev pa je v teh dveh državah že izumrlo. Slovenija ni nobena izjema in populacije metuljev upadajo tudi pri nas. Od 14 vrst, za katere spremljamo stanje na nacionalni ravni, je za devet vrst stanje ocenjeno kot neugodno, za dve kot neznan in le za tri kot ugodno. Opažena sta tako upadanje velikosti izbranih populacij kot tudi izumiranje lokalnih populacij.

viri: van Swaay *et al.* (2019), Warren *et al.* (2021), Zakšek *et al.* (2021)

Podnebni dejavniki so le del seznama groženj, ki pretijo kačjim pastirjem.

V zmerno toplem pasu sta se številčnost in razširjenost številnih vrst kačjih pastirjev od druge polovice 20. stoletja dalje dramatično zmanjšali. Upad je ponekod v Evropi sicer ublažilo izboljšanje upravljanja z vodami v 90. letih prejšnjega stoletja. Dejavniki ogrožanja so številni in njihovi učinki medsebojno prepleteni. Glede na število vrst, ki jih ogrožajo, se razvrščajo v sledeče zaporedje (podčrtani dejavniki so povezani s podnebnimi spremembami): jezovi in druga upravljanja z vodami, gospodinjstvo in urbano onesnaženje, suše, onesnaženje zaradi kmetijstva, turizem in rekreacijski razvoj, kmetijstvo, urbanizacija, industrijsko onesnaženje, motnje človeka, požari, ostale ekosistemске spremembe, gospodarjenje z gozdom in lesom, živinoreja, sprememba življenjskega okolja zaradi podnebnih sprememb, industrijski in drug razvoj, neznani razlogi, temperaturni ekstremi, prisotnost alohtonih vrst, akvakultura, prisotnost problematičnih domorodnih vrst.

viri: Sahlén *et al.* (2004), Kalkman *et al.* (2008)

Podnebne spremembe krčijo habitat etiopskega volka, drugi antropogeni dejavniki pa dodatno znižujejo njegovo kakovost.

Etiopski volk (*Canis simensis*) je endemit etiopskih visokogorij in socialna vrsta. Danes je v naravi le še 340–500 osebkov, zaradi česar velja za najbolj ogroženo vrsto zveri iz družine psov (Canidae) na svetu. V času Pleistocena so bila afroalpska barja, ki so primarno življenjsko okolje etiopskega volka, zaradi nižjih temperatur na 1.000 m nižjih nadmorskih višinah. Zaradi podnebnih sprememb od konca pleistocena dalje so se močno skrčila in postopoma premaknila na višje nadmorske lege, s tem pa se je zmanjšala velikost primernega življenjskega okolja za volka. Sedaj je znanih le še šest lokacij nad nadmorsko višino 3.000 m, kjer je etiopski volk še prisoten. Zaradi drobljenja habitata, ki je posledica podnebnih sprememb, ter drugih pritiskov, kot so

veliko priseljevanje ljudi in porast gostote prebivalstva, prekomerna paša afroalpskih barj, ki negativno vpliva na gostoto plena (glodavcev), kompeticija z domačimi psi (agresija, prenos bolezni in hibridizacija), nezakoniti lov, izbruhi bolezni in povozi, tej vrsti grozi izumrtje.

vir: Gottelli & Sillero-Zubiri (1992)

Tržaški zaliv je pod vplivom podnebnih sprememb, industrije in turizma vse manj primeren za življenje velike pliskavke.

Veliko pliskavko (*Tursiops truncatus*), ki predstavlja vrh prehranjevalne verige morskega ekosistema Tržaškega zaliva, podobno kot drugod po svetu ogroža preplet več dejavnikov. Plitev in zaprt severni del Jadranskega morja je še posebej podvržen višanju temperature, kar lahko vodi v spremenjeno vrstno in številčno sestavo tega ranljivega ekosistema. Tako lahko veliko pliskavko med drugim prizadene primanjkljaj ribjega plena, dodatne stresorje (npr. onesnažila, podvodni hrup) pa v njihovo življenjsko okolje že desetletja vnašata industrija in turizem, kar vpliva na zdravje in prisotnost te vrste pri nas.

Vir: Thomson *et al.* 2015

3. Podnebne spremembe in kriza biodiverzitete

3.1. Kaj je kriza biodiverzitete?

Biodiverziteta je izjemna pestrost življenja na Zemlji. Kriza biodiverzitete, ki smo ji priča, pomeni siromašenje biodiverzitete, rušenje ekosistemov in njihovega ravnovesja zaradi delovanja človeka. Zaznavamo jo zlasti kot pospešeno izumiranje rastlinskih, živalskih in glivnih vrst z intenzivnostjo, ki je v človeški zgodovini ne poznamo (Singh 2002).

Od uveljavitve Konvencije o biološki raznovrstnosti (United Nations 1992), ko je mednarodna skupnost svoje zavedanje o uničujočem vplivu človekovih ravnanj na naravo prelila v načrt ukrepanja, se vseeno soočamo s stanjem, ki z nepredvidljivo hitrostjo vodi proti drastičnim posledicam. Medvladno strokovno telo, ki spremlja stanje v podporo državam pogodbenicam konvencije (IPBES), je 2019 izdalo globalno poročilo o oceni stanja biodiverzitete (Brondizio *et al.* 2019, ki med drugim predstavlja naslednje zaskrbljujoče podatke (United Nations 2019):

- okoli 75 % kopnega in 66 % morskega okolja je človek pomembno spremenil,
- več kot 30 % kopnega in 75 % virov sladke vode je namenjenih pridelkom za živino (od leta 1970 se je pridelava hrane povečala za 300 %),
- okoli 55 % oceanov se izčrpava za industrijski ribolov,
- urbana območja so se glede na leto 1992 podvojila,
- plastični odpadki so se glede na leto 1990 podeseterili,
- med leti 1980 in 2000 se je 100 mio ha kmetijskih zemljišč razširilo v tropske gozdove Južne Amerike za živino in pridelavo hrane ali krme; podobno 42 mio ha v JV Aziji za pridelavo palmovega olja,
- od ocenjenih 8 mio vrst rastlinskih in živalskih vrst na Zemlji (od tega 75% vrst žuželk) jih 25% izumira z deset do stokrat večjo stopnjo in hitrostjo glede na povprečje zadnjih 10 mio let in trend kaže na intenziviranje teh procesov, 1 mio vrst grozi izumrtje v nekaj desetletjih (najbolj ogroženih je kar 40% dvoživk),
- med bolj ogroženimi je tudi 33 % koralnih grebenov, pri čemer je glede na leto 1870 že 50 % živih koralnih grebenov izgubljenih,
- od leta 1970 so za 70 % povečale populacije invazivnih vrst,
- zaradi izgube ali poslabšanja kopenskih habitatov je za 30 % zmanjšana njihova celovitost.

WWF vsako leto opozarja na alarmantno stanje prostoživečih vrst (Almond *et al.* 2020), saj so se glede na leto 1970 populacije ptic, dvoživk, sesalcev in plazilcev zmanjšale za 68 %. Številne karizmatične vrste živali so kritično ogrožene, tako npr. gorile in orangutani, sloni, nosorogi, leopardi, tigri, kiti (WWF 2022). Hkrati populacija ljudi in naše potrebe po naravnih virih izredno naraščajo - masa vseh ljudi na svetu med vsemi sesalci znaša 36 %, živina (predvsem govedo in prašiči) 60 % in sesalci, ki živijo v naravnem okolju predstavljajo le še 4 % mase vseh sesalcev (Bar-On *et al.* 2018). Na Zemlji še ni bilo toliko ljudi kot sedaj, populacija pa je v zadnjih desetletjih izredno hitro naraščala, v 50 letih se je več kot podvojila – tako je bilo leta 1970 na Zemlji 3,7 milijard ljudi, leta 2020 pa skoraj 7,8 milijard. Novembra 2022 je populacija presegla 8 milijard (Worldometer 2023). Kljub vztrajni rasti globalne človeške populacije pa število ljudi na planetu samo po sebi ni odločilni dejavnik izgube globalne biodiverzitete, pač je le-ta predvsem posledica prekomerne in neenakomerno porazdeljene potrošnje dobrin (Hughes *et al.* 2023).

3.2. Glavni dejavniki krize biodiverzitete

Glavni vzrok krize biodiverzitete je svetovna odvisnost od sedanjega modela gospodarske rasti, to je načina proizvodnje in potrošnje – načina zadovoljevanja človeških potreb. Ta model vključuje naravi škodljiva ravnanja človeštva, ki so glavni neposredni dejavniki krize biodiverzitete (Burkmar & Bell 2015) in povzročajo:

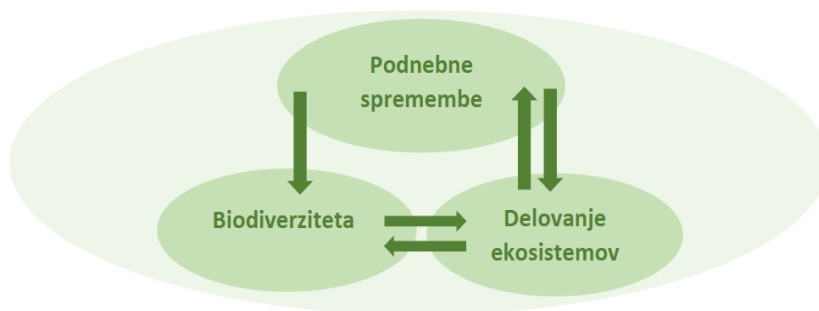
- **izgubo in slabšanje kakovosti življenjskih okolij:** ljudje spreminjamo rabo zemljišč za svoje potrebe (izsekavanje gozdov, pridobivanje novih kmetijskih površin, širjenje urbanih območij), kar vodi k izgubi in drobljenju življenjskih okolij ter slabšanju njihove kakovosti; dodaten pritisk na življenjska okolja izhaja tudi iz spremembe v načinu rabe kmetijskih zemljišč in načinu kmetijske proizvodnje (intenziviranje),
- **prekomerno izkoriščanje naravnih virov:** obstoječi model gospodarske rasti ves svet usmerja k nevdržnemu načinu rabe virov, njihovem prekomernemu izkoriščanju za masovno potrošnjo (npr. prekomeren ribolov, raba vode, lesa, rudnin),
- **onesnaževanje:** industrija in kmetijstvo povzročata raznovrstno (kemijsko) onesnaževanje voda, tal in zraka, vključno z evtrofikacijo, t.j. s povečanjem koncentracije anorganskih hranil, predvsem dušika, fosforja in žvepla iz kmetijstva v celinskih vodnih telesih in priobalnem morju; posledica načina proizvodnje in potrošnje pa so tudi velike količine odpadkov, predvsem plastike,
- **invazivne tujerodne vrste:** z intenziviranjem potovanj ljudi in tovara po svetu so se po svetu namerno ali nenamerno prenesle tudi vrste, ki sicer naravno ne bi dosegle določenih območij; nekatere od teh na novem območju ogrožajo domorodne vrste, ki jim ne morejo kljubovati; tako je lokalna biodiverzitetna ogrožena ali uničena,
- **povečane količine CO₂ v ozračju:** predvsem zaradi kurjenja fosilnih goriv v času od začetka industrijske dobe in intenziviranje v zadnjem stoletju, ob hkratnem zmanjševanju površine gozdov, ki so najpomembnejši ponor CO₂, bodo imele povečane koncentracije CO₂ pretežno negativen vpliv na biodiverzitetno, saj se vrste ne morejo prilagajati na zakisanje oceanov, dvig temperature celinskih voda in površja ter druge posledice podnebnih sprememb.

Navedeni neposredni dejavniki delujejo škodljivo že sami po sebi, v sinergiji pa ustvarjajo uničujoč vpliv na naravo, ki vodi do skorajšnjega kolapsa nekaterih globalnih ekosistemov, od katerih smo odvisni. Planetarne meje smo že presegli v treh sistemih: prednjači izguba biodiverzitetne, sledijo ji podnebne spremembe in človekov vpliv na dušikov krog (Rockström *et al.* 2009).

3.3. Medsebojna odvisnost reševanja krize biodiverzitetne in podnebne krize

V kontekstu reševanja podnebne krize ločimo dva svežnja t.i. podnebnih ukrepov: blaženje (ang. *mitigation*), ki zaobjema ukrepe za zmanjševanje vsebnosti toplogrednih plinov v ozračju. Ti ukrepi prispevajo k upočasnitvi rasti globalne temperature in tako k omejevanju podnebnih sprememb in njihovih posledic. Prilagajanje (ang. *adaptation*) pa so ukrepi za omilitev posledic že zaznavnih in pričakovanih prihodnjih učinkov podnebnih sprememb, denimo poplav in suš, dviga morske gladine itd. Ne glede na pester nabor tehnoloških in tehničnih rešitev, ki jih skušajo uveljaviti različne sektorske politike, je za blaženje podnebnih sprememb in prilagajanje nanje ključna, a hkrati v veliki meri še prezrta, prav biodiverzitetna.

Biodiverzitetna, delovanje ekosistemov in podnebne spremembe so med seboj povezane v povratnih zankah (Slika 17). Degradacija ekosistemov zaradi podnebnih sprememb vpliva na biodiverzitetno tega ekosistema, upad biodiverzitetne pa negativno vpliva na funkcionalnost ekosistema in negativni učinki se tako potencirajo. Zmanjševanje funkcionalnosti ekosistemov zaradi upada biodiverzitetne dalje slabi odpornost narave na negativne učinke podnebnih sprememb. Oslabljeni ekosistemi so še hitreje in bolj podvrženi učinkom podnebnih sprememb, dočim so močni ekosistemi bolj odporni na učinke podnebnih sprememb in jih lahko tudi ublažijo, kar imenujemo biodiverzitetno blaženje.



Slika 17. Medsebojna povezanost vplivov med biodiverziteto, podnebnimi spremembami in ekosistemi (prirejeno po: Hisano *et al.* 2017)

Ohranjanje biodiverzitete je torej pomembno, saj zagotavlja funkcionalnost ekosistemov, ohranjeni in zdravi ekosistemi pa regulirajo osnovne ekološke procese. Večja kot je biodiverziteta, večja je odpornost ekosistema, tako na podnebne spremembe, kot na druge motnje.

Večja biodiverziteta ima tako potencial, da:

- ublaži vplive podnebnih sprememb na biodiverziteto in delovanje ekosistemov,
- poveča produktivnost gozdnih in travniških ekosistemov, s tem pa kopičenje biomase in vsrkavanje ogljika,
- izboljša stabilnost ekosistemov in njihovo odpornost na druge stresorje,
- lahko nadomesti izumrle organizme z novimi vrstami, da se ohrani funkcionalnost združb.

Rešitve, ki hkrati prispevajo k blaženju podnebnih sprememb in ohranjanju/obnovi biodiverzitete, so:

- obnova ekosistemov,
- ekosistemski pristop k upravljanju in rabi naravnih virov,
- rešitve, ki temeljijo na naravi (ang. *nature-based solutions*),
- kombinacija »nature-based« in »technology-based« ukrepov za blaženje podnebnih sprememb in prilagajanje nanje ter ohranjanje/obnovo biodiverzitete (IUCN France 2016, Seddon *et al.* 2019, Pörtner *et al.* 2021a,b).

Zaradi navedenega ohranjanje in obnovo biodiverzitete ter ekosistemov v zvezi s podnebnimi spremembami poleg zmanjševanja izpustov toplogrednih plinov obravnavamo kot eno ključnih strategij (Zen 2020).

V to smer gredo tudi mednarodne, EU in nacionalne strategije. Dva izmed ciljev trajnostnega razvoja Združenih narodov do 2030 se nanašata na:

- življenje v vodi (cilj 14): ohranяти in vzdržno uporabljati oceane, morja in morske vire za trajnostni razvoj (*Goal 14 ...*);
- življenje na kopnem (cilj 15): varovati in obnoviti kopenske sisteme ter spodbujati njihovo trajnostno rabo, trajnostno gospodariti z gozdovi, boriti se proti širjenju puščav, preprečiti degradacijo zemljišč in obrniti ta pojav ter preprečiti izgubo biotske raznovrstnosti (*Goal 15 ...*).

Na ravni EU je bila za desetletje do 2030 sprejeta nova Strategija EU za biotsko raznovrstnost do leta 2030 – Vračanje narave v naša življenja (COM(2020) 380 final), ki prepoznava izgubo biotske raznovrstnosti in propad ekosistemov kot eno največjih groženj tega desetletja, hkrati pa vidi neločljivo povezanost krize biodiverzitete s podnebno krizo in rešitev zanju, saj narava uravnava tudi podnebje. Ne gre le za režime ohranjanja narave v zavarovanih območjih, ampak za naravo kot celoto, zato strategija predvideva tudi pripravo pravno zavezujočih ciljev za obnovo narave.

Na nacionalni ravni desetletne strategije za izvajanje Konvencije o varstvu biološke raznovrstnosti v Sloveniji do 2030 nimamo, varstvo biodiverzitete in narave je opredeljeno v Nacionalnem programu varstva narave kot delu Resolucije o Nacionalnem programu varstva okolja za obdobje 2020 do 2030 (Ur.l. RS št. 31/2020).

3.4. Sodelovanje medvladnih odborov za podnebne spremembe (IPCC) in biotsko raznovrstnost in ekosistemske storitve (IPBES)

V znanstvenih in političnih krogih sta podnebna in biodiverzitetna kriza prepoznani kot dve med seboj povezani problematiki, vendar pa se ju v praksi povečini naslavlja kot dve različni in nepovezani področji. Znanstvena skupnost, ki proučuje podnebne sisteme, je v veliki meri ločena od tiste, ki proučuje biodiverzitetno. Ta funkcionalna ločenost predstavlja tveganje za pomanjkljivo prepoznavo, razumevanje in naslavljanje povezav med obema problematikama. V najslabšem primeru to lahko vodi k sprejemanju ukrepov, ki nehoti preprečujejo rešitve za en ali drugi ali celo oba problema. (Pörtner *et al.* 2021a).

Problematiko podnebnih sprememb in biodiverzitete pokrivata dve različni mednarodni konvenciji:

- UNFCCC - UN Framework Convention on Climate Change oz. Okvirna konvencija Združenih narodov o spremembi podnebja,
- CBD - Convention on Biological Diversity oz. Konvencija o biološki raznovrstnosti

Vsako problematiko pokriva svoje znanstveno in medvladno telo, ki pripravlja periodična poročila na podlagi vsega trenutno razpoložljivega znanja:

- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change oz. Medvladni panel o podnebnih spremembah
- IPBES - Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services oz. Medvladna platforma o biotski raznovrstnosti in ekosistemskih storitvah.

Da bi premostili ločeno naslavljanje teh dveh več kot očitno med seboj soodvisnih problematik, je bila leta 2021 organizirana prva skupna delavnica IPCC & IPBES in izdelano poročilo, ki pomeni prvo sodelovanje obeh medvladnih odborov in s tem mejnik v zgodovini obeh teles (Pörtner *et al.* 2021a).

Cilj delavnice je bil pregled odnosov med biodiverzitetno in podnebnimi spremembami, zlasti:

- vplivov prihodnjih podnebnih sprememb na kopenske, sladkovodne in morske ekosisteme ter ekosistemske storitve,
- povratnih učinkov pričakovanih sprememb v biodiverziteti na značilnosti podnebja in podnebnih sprememb,
- priložnosti za uresničitev biodiverzitetnih in podnebnih ciljev ter tveganj ob ločenem zasledovanju enih in drugih ciljev,
- priložnosti, izzivov in tveganj za biodiverzitetno, ki jih prinašajo različne možnosti za blaženje podnebnih sprememb in prilagajanje nanje,
- učinkov ohranjanja biodiverzitete in praks trajnostne rabe naravnih virov na izpuste toplogrednih plinov (t.i. podnebne povratne zanke),
- ovrednotenja sinergij, kompromisov in učinkovitosti politik in struktur upravljanja, ki hkrati naslavlajo podnebne spremembe in izgubo biodiverzitete na vseh ravneh (vključno z urbaniimi okolji),
- glavnih znanstvenih negotovosti.

Pomembni zaključki delavnice so bili:

- Omejevanje globalnega segrevanja za zagotovitev ustreznega bivalnega podnebja in ohranitev biodiverzitete sta cilja, ki se med seboj dopolnjujeta in podpirata. Doseganje teh ciljev je bistvenega pomena za trajnostno in pravično zagotavljanje blaginje ljudi.
- Številne aktivnosti za ohranjanje, trajnostno upravljanje in obnovo ekosistemov so hkrati koristne tako za blaženje podnebnih sprememb in prilagajanje nanje kot za ohranjanje biodiverzitete.

- Ukrepi, ki so ozko usmerjeni na blaženje podnebnih sprememb in prilagajanje nanje, imajo lahko neposredne ali posredne negativne učinke na biodiverzitetu in njen prispevek človeštvu (= ekosistemske storitve).
- Ukrepi, ki so ozko usmerjeni na ohranjanje in obnovo biodiverzitete, imajo v splošnem pomembne učinke za blaženje podnebnih sprememb, vendar so njihove koristi neoptimalne v primerjavi z ukrepi, ki hkrati naslavljajo biodiverzitetu in podnebne spremembe.
- Obravnava podnebja, biodiverzitete in človeške družbe kot med seboj povezanih sistemov je ključ do uspeha pri ukrepanju sektorskih politik.
- Preobrazba upravljanja socio-ekoloških sistemov lahko pripomore k oblikovanju podnebno in biodiverzitetno odpornih razvojnih poti.

Literatura in viri

1. ALMOND, R. E. A., GROOTEN, M. & PETERSEN, T. (2020): Living Planet Report 2020 - Bending the curve of biodiversity loss. WWF, Gland, Switzerland.
2. ALTERMATT, F. (2010): Climatic warming increases voltinism in European butterflies and moths. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 277 (1685): 1281–1287.
3. ANCILLOTTO, L., SANTINI, L., RANC, N., MAIORANO, L. & RUSSO, D. (2016): Extraordinary range expansion in a common bat: the potential roles of climate change and urbanisation. *The Science of Nature* 103 (3): 15.
4. ARSO (2021): Podnebne spremembe 2021. Fizikalne osnove in stanje v Sloveniji. Poročilo IPCC 2021, Povzetek za odločevalce z dodanim opisom stanja v Sloveniji. Ljubljana.
5. BAR-ON, Y. M., PHILLIPS, R. & MILO, R. (2018): The biomass distribution on Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115 (25): 6506–6511.
6. BELLARD, C., BERTELSMEIER, C., LEADLEY, P., THUILLER, W. & COURCHAMP, F. (2012): Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters* 15 (4): 365–377.
7. BERTALANIČ, R., DEMŠAR, M., DOLINAR, M., DVORŠEK, D., NADBATH, M., PAVČIČ, B., ROETHEL-KOVAČ, M., VERTAČNIK, G. & VIČAR, Z. (2018a): Spremenljivost podnebja v Sloveniji. Agencija RS za okolje, Ljubljana.
8. BERTALANIČ, R., DOLINAR, M., DRAKSLER, A., HONZAK, L., KOBOLD, M., KOZJEK, K., LOKOŠEK, N., MEDVED, A., VERTAČNIK, G., VLAHOVIČ, Ž. & ŽUST, A. (2018b): Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja: Sintezno poročilo – prvi del. Ljubljana.
9. BOUDOT, J.-P. & KALKMAN, V. J. (2015): Atlas of the European dragonflies and damselflies. KNNV Publishing, The Netherlands.
10. BOWLER, D. E., EICHENBERG, D., CONZE, K.-J., SUHLING, F., BAUMANN, K., BENKEN, T., BÖNSEL, A., BITTNER, T., DREWS, A., GÜNTHER, A., ISAAC, N. J. B., PETZOLD, F., SEYRING, M., SPENGLER, T., TROCKUR, B., WILLIGALLA, C., BRUELHEIDE, H., JANSEN, F. & BONN, A. (2021): Winners and losers over 35 years of dragonfly and damselfly distributional change in Germany. *Diversity and Distributions* 27 (8): 1353–1366.
11. BRONDÍZIO, E. S., SETTELE, J., DÍAZ, S. & NGO, H. T. (2019): Global assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. IPBES secretariat, Bonn, Germany.
12. BURKMAR, R. & BELL, C. (2015): Drivers of Biodiversity Loss. A research synthesis for the Tomorrow's Biodiversity Project. Field Studies Council, Shrewsbury, UK.
13. CABANELLAS-REBOREDO, M., VÁZQUEZ-LUIS, M., MOURRE, B., ÁLVAREZ, E., DEUDERO, S., AMORES, Á., ADDIS, P., BALLESTEROS, E., BARRAJÓN, A., COPPA, S., GARCÍA-MARCH, J. R., GIACOBBE, S., CASALDUERO, F. G., HADJIOANNOU, L., JIMÉNEZ-GUTIÉRREZ, S. V., KATSANEVAKIS, S., KERSTING, D., MAČIĆ, V., MAVRIČ, B., PATTI, F. P., PLANES, S., PRADO, P., SÁNCHEZ, J., TENA-MEDIALDEA, J., DE VAUGELAS, J., VICENTE, N., BELKHAMSSA, F. Z., ZUPAN, I. & HENDRIKS, I. E. (2019): Tracking a mass mortality outbreak of pen shell *Pinna nobilis* populations: A collaborative effort of scientists and citizens. *Scientific Reports* 9 (1): 13355.
14. CARO, T., ROWE, Z., BERGER, J., WHOLEY, P. & DOBSON, A. (2022): An inconvenient misconception: Climate change is not the principal driver of biodiversity loss. *Conservation Letters* 15 (3): e12868.
15. CERINI, F., STELLATI, L., LUISELLI, L. & VIGNOLI, L. (2020): Long-term shifts in the communities of Odonata: effect of chance or climate change? *North-western journal of zoology* 16 (1): 1–6.
16. CHAMAILLÉ-JAMMES, S., MASSOT, M., ARAGON, P. & CLOBERT, J. (2006): Global warming and positive fitness response in mountain populations of common lizards *Lacerta vivipara*. *Global Change Biology* 12 (2): 392–402.
17. CHARMANTIER, A., MCCLEERY, R. H., COLE, L. R., PERRINS, C., KRUK, L. E. B. & SHELDON, B. C. (2008): Adaptive Phenotypic Plasticity in Response to Climate Change in a Wild Bird Population. *Science* 320 (5877): 800–803.

18. CIAIS, P., SABINE, C., BALA, G., BOPP, L., BROVKIN, V., CANADELL, J., CHHABRA, A., DEFRIES, R., GALLOWAY, J., HEIMANN, M., JONES, C., LE QUÉRÉ, C., MYNENI, R. B., S., P. & THORNTON, P. (2013): Carbon and Other Biogeochemical Cycles. V: STOCKER, T. F., QIN, D., PLATTNER, G.-K., TIGNOR, M., ALLEN, S. K., BOSCHUNG, J., NAUELS, A., XIA, Y., V., B. & MIDGLEY, P. M. (ur.): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. str. 465–570.
19. CLAUSNITZER, V., KALKMAN, V. J., RAM, M., COLLEN, B., BAILLIE, J. E. M., BEDJANIČ, M., DARWALL, W. R. T., DIJKSTRA, K.-D. B., DOW, R., HAWKING, J., KARUBE, H., MALIKOVA, E., PAULSON, D., SCHÜTTE, K., SUHLING, F., VILLANUEVA, R. J., VON ELLENRIEDER, N. & WILSON, K. (2009): Odonata enter the biodiversity crisis debate: The first global assessment of an insect group. *Biological Conservation* 142 (8): 1864–1869.
20. COOK, J. (2021): CO₂ lags temperature – what does it mean? *Skeptical Science* (18. 2. 2021). <https://skepticalscience.com/co2-lags-temperature-advanced.htm> (8. 11. 2022)
21. CRUTZEN, P. J. & STOERMER, E. F. (2013): “The ‘Anthropocene’” (2000). V: LIBBY, R., SVERKER, S. & PAUL, W. (ur.): *The Future of Nature*. Yale University Press, New Haven. str. 479–490.
22. DAWSON, T. P., BERRY, P. M. & KAMPA, E. (2003): Climate change impacts on freshwater wetland habitats. *Journal for Nature Conservation* 11 (1): 25–30.
23. DEGROOT, J. (2000): *Incilius periglenes*. Animal Diversity Web, University of Michigan, Museum of Zoology https://animaldiversity.org/accounts/Incilius_periglenes/ (17. 11. 2022)
24. DIJKSTRA, K.-D. B., SCHRÖTER, A. & LEWINGTON, R. (2020): *Field guide to the Dragonflies of Britain and Europe*. Bloomsbury Publishing, London.
25. DOLINAR, M., GREGORIČ, G., HONZAK, L., SUŠNIK, A., VLAHOVIČ, Ž. & ŽUST, A. (2018): Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja: Povzetek dejavnikov okolja z vplivom na kmetijstvo in gozdarstvo. Agencija RS za okolje, Ljubljana.
26. DUIGNAN, P. J., STEPHENS, N. S. & ROBB, K. (2020): Fresh water skin disease in dolphins: a case definition based on pathology and environmental factors in Australia. *Scientific Reports* 10 (1): 21979.
27. EEA (2019): Change in the frequency of flooding events in Europe given projected sea level rise under two climate scenarios. European Environment Agency (EEA) (23. 2. 2021). <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/change-in-the-frequency-of> (9. 11. 2022)
28. EEA (2021): Growing season for agricultural crops. EEA (18. 11. 2021). <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/growing-season-for-agricultural-crops-2/assessment> (17. 1. 2022)
29. EL IRAQUI, S. & HMIMINA, M. (2016): Impact of Temperatures on the Voltinism of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae). *Annals of the Entomological Society of America* 109 (5): 698–704.
30. EVANS, A. L., SINGH, N. J., FRIEBE, A., ARNEMO, J. M., LASKE, T. G., FRÖBERT, O., SWENSON, J. E. & BLANC, S. (2016): Drivers of hibernation in the brown bear. *Frontiers in Zoology* 13 (1): 7.
31. FODEN, W. B. & YOUNG, B. E. (2016): IUCN SSC Guidelines for Assessing Species’ Vulnerability to Climate Change. IUCN, Cambridge, UK and Gland, Switzerland.
32. FRAZER, N. B., GREENE, J. L. & GIBBONS, J. W. (1993): Temporal Variation in Growth Rate and Age at Maturity of Male Painted Turtles, *Chrysemys picta*. *The American Midland Naturalist* 130 (2): 314–324.
33. GALANAKI, A., KOMINOS, T., ZOGARIS, S., GASTERATOS, I. & LYMBERAKIS, P. (2019): Presence of the Eurasian otter *Lutra lutra* on the islands of Greece: a review. *Folia zoologica* 68 (4): 246–252, 247.
34. GASTON, K. J. (2009): Geographic range limits of species. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 276 (1661): 1391–1393.
35. GISSI, E., MANEA, E., MAZARIS, A. D., FRASCHETTI, S., ALMPANIDOU, V., BEVILACQUA, S., COLL, M., GUARNIERI, G., LLORET-LLORET, E., PASCUAL, M., PETZA, D., RILOV, G., SCHONWALD, M., STELZENMÜLLER, V. & KATSANEVAKIS, S. (2021): A review of the combined effects of climate change and other local human stressors on the marine environment. *Science of The Total Environment* 755: 142564.

36. GOMIRŠEK, T. (2020): Oljkarstvo v Goriških brdih od novega veka do pozebe leta 1929. *Kronika* 68 (2): 191–206.
37. GOTTELLI, D. & SILLERO-ZUBIRI, C. (1992): The Ethiopian wolf – an endangered endemic canid. *Oryx* 26 (4): 205–214.
38. HARRISON, S. (2020): Plant community diversity will decline more than increase under climatic warming. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 375 (1794): 20190106.
39. HASSALL, C. & THOMPSON, D. J. (2008): The effects of environmental warming on Odonata: a review. *International Journal of Odonatology* 11 (2): 131–153.
40. HERFINDAL, I., LINNELL, J. D. C., ODDEN, J., NILSEN, E. B. & ANDERSEN, R. (2005): Prey density, environmental productivity and home-range size in the Eurasian lynx (*Lynx lynx*). *Journal of Zoology* 265 (1): 63–71.
41. HILL, G. M., KAWAHARA, A. Y., DANIELS, J. C., BATEMAN, C. C. & SCHEFFERS, B. R. (2021): Climate change effects on animal ecology: butterflies and moths as a case study. *Biological Reviews* 96 (5): 2113–2126.
42. HISANO, M., SEARLE, E. B. & CHEN, H. Y. H. (2018): Biodiversity as a solution to mitigate climate change impacts on the functioning of forest ecosystems. *Biological Reviews* 93 (1): 439–456.
43. HOCK, R., RASUL, G., ADLER, C., CÁCERES, B., GRUBER, S., HIRABAYASHI, Y., JACKSON, M., KÄÄB, A., KANG, S., KUTUZOV, S., MILNER, A., MOLAU, U., MORIN, S., ORLOVE, B. & STELTZER, H. (2019): High Mountain Areas. V: PÖRTNER, H.-O., ROBERTS, D. C., MASSON-DELMOTTE, V., ZHAI, P., TIGNOR, M., POLOCZANSKA, E., MINTENBECK, K., ALEGRÍA, A., NICOLAI, M., OKEM, A., PETZOLD, J., RAMA, B. & WEYER, N. M. (ur.): IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. str. 131–202.
44. HUGHES, A. C., TOUGERON, K., MARTIN, D. A., MENGA, F., ROSADO, B. H. P., VILLASANTE, S., MADGULKAR, S., GONÇALVES, F., GENELETTI, D., DIELE-VIEGAS, L. M., BERGER, S., COLLA, S. R., DE ANDRADE KAMIMURA, V., CAGGIANO, H., MELO, F., DE OLIVEIRA DIAS, M. G., KELLNER, E. & DO COUTO, E. V. (2023): Smaller human populations are neither a necessary nor sufficient condition for biodiversity conservation. *Biological Conservation* 277: 109841.
45. HUNTLEY, B., GREEN, R. E., COLLINGHAM, Y. C. & WILLIS, S. G. (2007): A Climatic Atlas of European Breeding Birds. Durham University, The RSPB and Lynx Edicions, Barcelona.
46. IMPERIO, S., BIONDA, R., VITERBI, R. & PROVENZALE, A. (2013): Climate Change and Human Disturbance Can Lead to Local Extinction of Alpine Rock Ptarmigan: New Insight from the Western Italian Alps. *PLoS ONE* 8 (11): e81598.
47. IPCC (2018): Annex I: Glossary [Matthews, J.B.R. (ur.)]. V: MASSON-DELMOTTE, V., ZHAI, P., PÖRTNER, H.-O., ROBERTS, D., SKEA, J., SHUKLA, P. R., PIRANI, A., MOUFOUMA-OKIA, W., PÉAN, C., PIDCOCK, R., CONNORS, S., MATTHEWS, J. B. R., CHEN, Y., ZHOU, X., GOMIS, M. I., LONNOY, E., MAYCOCK, T., TIGNOR, M. & WATERFIELD, T. (ur.): Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Cambridge, UK and New York, NY, USA. str. 541–562.
48. IPCC (2021): Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. V: MASSON-DELMOTTE, V., ZHAI, P., PIRANI, A., CONNORS, S. L., PÉAN, C., BERGER, S., CAUD, N., CHEN, Y., GOLDFARB, L., GOMIS, M. I., HUANG, M., LEITZEL, K., LONNOY, E., MATTHEWS, J. B. R., MAYCOCK, T. K., WATERFIELD, T., YELEKÇI, O., YU, R. & ZHOU, B. (ur.): Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2391 str.
49. JEFFRIES, E. & CAMPOGIANNI, S. (2021): The climate change effect in the Mediterranean. Six stories from an overheating sea. WWF Mediterranean Marine Initiative, Rome, Italy.
50. JEŽ, M. & VEROVNIK, R. (2017): Monitoring borovničevega mnogooka *Plebejus optilete* (Knoch, 1781) (Lepidoptera: Lycaenidae) na Pohorju. *Natura Sloveniae* 19 (2): 15–28.

51. JONES, G. & REBELO, H. (2013): Responses of Bats to Climate Change: Learning from the Past and Predicting the Future. V: ADAMS, R. A. & PEDERSEN, S. C. (ur.): Bat Evolution, Ecology, and Conservation. Springer New York, New York, NY. str. 457–478.
52. JURC, M. (2020): Živeti s podlubniki: trajnostno upravljanje gozdov v Evropi. Gozdarski vestnik 78 (9): 325–335.
53. KALIGARIČ, M. & IVAJNŠIČ, D. (2014): Habitat Changes Caused by Sea Level Rise, Driven by Climate Change in the Northern Adriatic Coastal Wetlands, Slovenia. V: RANNOU, S. & NEUBERT, M. (ur.): Managing Protected Areas in Central and Eastern Europe Under Climate Change. Advances in Global Change Research. Springer, Dordrecht, Heidelberg, New York, London. str. 233–242.
54. KALKMAN, V. J., CLAUSNITZER, V., DIJKSTRA, K.-D. B., ORR, A. G., PAULSON, D. R. & VAN TOL, J. (2008): Global diversity of dragonflies (Odonata) in freshwater. Hydrobiologia (595): 351–363.
55. KARBA, R., SONNENSCHNEIN, J. & GNEZDA, A. (2020): Fizikalno ozadje podnebnih sprememb in njihove posledice za Slovenijo. Umanotera, Ljubljana.
56. KINGSOLVER, J. G. & MOFFAT, R. J. (1982): Thermoregulation and the determinants of heat transfer in *Colias* butterflies. Oecologia 53 (1): 27–33.
57. KOZINA, A. (2022): Razširjenost in potencialna ogroženost kačjih pastirjev (Odonata) na območju Bloške planote. Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Ljubljana.
58. KP TRŠH (2018): Fenološki park. KP Tivoli, Rožnik, Šišenski hrib. JAVNO PODJETJE VODOVOD KANALIZACIJA SNAGA d.o.o. <http://parktivolirozniksisenskihrib.si/podstran/fenoloski-park> (9. 11. 2022)
59. KROFEL, M., ŠPACAPAN, M. & JERINA, K. (2017): Winter sleep with room service: denning behaviour of brown bears with access to anthropogenic food. Journal of Zoology 302 (1): 8–14.
60. KRYŠTUFEK, B. (1999): Osnove varstvene biologije. Tehniška založba Slovenije, Ljubljana.
61. KUTNAR, L., KOBLER, A. & BERGANT, K. (2009): Vpliv podnebnih sprememb na pričakovano prostorsko prerazporeditev tipov gozdne vegetacija. Zbornik gozdarstva in lesarstva 89: 33–42.
62. LEHIKONEN, A., LINDÉN, A., KARLSSON, M., ANDERSSON, A., CREWE, T. L., DUNN, E. H., GREGORY, G., KARLSSON, L., KRISTIANSEN, V., MACKENZIE, S., NEWMAN, S., RØER, J. E., SHARPE, C., SOKOLOV, L. V., STEINHOLTZ, Å., STERVANDER, M., TIRRI, I.-S. & TJØRNØV, R. S. (2019): Phenology of the avian spring migratory passage in Europe and North America: Asymmetric advancement in time and increase in duration. Ecological Indicators 101: 985–991.
63. LOKOŠEK, N., DOLINAR, M., SEITNER, V. & GOBIET, A. (2021): The future of snow in the Slovenian-Austrian Interreg programme area. Synthesis report. Agencija RS za okolje, Ljubljana.
64. LOURDAIS, O., SHINE, R., BONNET, X., GUILLON, M. & NAULLEAU, G. (2004): Climate affects embryonic development in a viviparous snake, *Vipera aspis*. Oikos 104 (3): 551–560.
65. MACGREGOR, C. J., THOMAS, C. D., ROY, D. B., BEAUMONT, M. A., BELL, J. R., BRERETON, T., BRIDLE, J. R., DYTHAM, C., FOX, R., GOTTHARD, K., HOFFMANN, A. A., MARTIN, G., MIDDLEBROOK, I., NYLIN, S., PLATTS, P. J., RASTEIRO, R., SACCHERI, I. J., VILLOUTREIX, R., WHEAT, C. W. & HILL, J. K. (2019): Climate-induced phenology shifts linked to range expansions in species with multiple reproductive cycles per year. Nature Communications 10 (1): 4455.
66. MALHI, Y., FRANKLIN, J., SEDDON, N., SOLAN, M., TURNER, M. G., FIELD, C. B. & KNOWLTON, N. (2020): Climate change and ecosystems: threats, opportunities and solutions. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences 375 (1794): 20190104.
67. MANTYKA-PRINGLE, C. S., MARTIN, T. G. & RHODES, J. R. (2012): Interactions between climate and habitat loss effects on biodiversity: a systematic review and meta-analysis. Global Change Biology 18 (4): 1239–1252.
68. MARTINEZ DEL CASTILLO, E., ZANG, C. S., BURAS, A., HACKET-PAIN, A., ESPER, J., SERRANO-NOTIVOLI, R., HARTL, C., WEIGEL, R., KLESSE, S., RESCO DE DIOS, V., SCHARNWEBER, T., DORADO-LIÑÁN, I., VAN DER MAATEN-THEUNISSEN, M., VAN DER MAATEN, E., JUMP, A., MIKAC, S., BANZRAGCH, B.-E., BECK, W., CAVIN, L., CLAESSENS, H., ČADA, V., ČUFAR,

- K., DULAMSUREN, C., GRIČAR, J., GIL-PELEGRÍN, E., JANDA, P., KAZIMIROVIC, M., KREYLING, J., LATTE, N., LEUSCHNER, C., LONGARES, L. A., MENZEL, A., MERELA, M., MOTTA, R., MUFFLER, L., NOLA, P., PETRITAN, A. M., PETRITAN, I. C., PRISLAN, P., RUBIO-CUADRADO, Á., RYDVAL, M., STAJIĆ, B., SVOBODA, M., TOROMANI, E., TROTSIUK, V., WILMKING, M., ZLATANOV, T. & DE LUIS, M. (2022): Climate-change-driven growth decline of European beech forests. *Communications Biology* 5 (1): 163.
69. MCCARTY, J. P. (2001): Ecological Consequences of Recent Climate Change. *Conservation Biology* 15 (2): 320–331.
70. MENENDEZ, R. (2007): How rae insects responding to global warming? *Tijdschrift voor Entomologie* 150: 355–365.
71. NILSEN, E. B., LINNELL, J. D. C., ODDEN, J. & ANDERSEN, R. (2009): Climate, season, and social status modulate the functional response of an efficient stalking predator: the Eurasian lynx. *Journal of Animal Ecology* 78 (4): 741–751.
72. NUNEZ, S., ARETS, E., ALKEMADE, R., VERWER, C. & LEEMANS, R. (2019): Assessing the impacts of climate change on biodiversity: is below 2 °C enough? *Climatic Change* 154 (3): 351–365.
73. OBLAK, J. (2017): Analiza sezonske spremenljivosti rek v Sloveniji Univerza v Ljubljani, Ljubljana.
74. OTT, J. (2010a): The Big Trek Northwards: Recent Changes in the European Dragonfly Fauna. V: SETTELE, J., PENEV, L., GEORGIEV, T., GRABAUM, R., GROBELNIK, V., HAMMEN, V., KLOTZ, S., KOTARAC, M. & KÜHN, I. (ur.): Atlas of biodiversity risk. Pensoft, Sofia-Moscow, Russia. str. 82–83.
75. OTT, J. (2010b): Dragonflies and climatic change - recent trends in Germany and Europe. V: OTT, J. (ur.): Monitoring Climatic Change With Dragonflies. Pensoft, Sofia-Moscow, Russia. str. 253–286.
76. PARMESAN, C. (2006): Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 37: 637–669.
77. PARMESAN, C., RYRHOLM, N., STEFANESCU, C., HILL, J. K., THOMAS, C. D., DESCIMON, H., HUNTLEY, B., KAILA, L., KULLBERG, J., TAMMARU, T., TENNENT, W. J., THOMAS, J. A. & WARREN, M. (1999): Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature* 399 (6736): 579–583.
78. PAVŠEK, M. (2010): Triglavski ledenik. DEDI - digitalna enciklopedija naravne in kulturne dediščine na Slovenskem <http://www.dedi.si/dediscina/449-triglavski-ledenik> (9. 11. 2022)
79. PAVŠEK, M. & TROBEC, T. (2010): Ledenik pod Skuto. DEDI – digitalna enciklopedija naravne in kulturne dediščine na Slovenskem www.dedi.si/dediscina/60-ledenik-pod-skuto (9. 11. 2022)
80. PERNOLLET, C. A., KORNER-NIEVERGELT, F. & JENNI, L. (2015): Regional changes in the elevational distribution of the Alpine Rock Ptarmigan *Lagopus muta helvetica* in Switzerland. *Ibis* 157 (4): 823–836.
81. PÖRTNER, H. O., SCHOLES, R. J., AGARD, J., ARCHER, E., ARNETH, A., BAI, X., BARNES, D., BURROWS, M., CHAN, L., CHEUNG, W. L., DIAMOND, S., DONATTI, C., DUARTE, C., EISENHAEUER, N., FODEN, W., GASALLA, M. A., HANDA, C., HICKLER, T., HOEGH-GULDBERG, O., ICHII, K., JACOB, U., INSAROV, G., KIESSLING, W., LEADLEY, P., LEEMANS, R., LEVIN, L., LIM, M., MAHARAJ, S., MANAGI, S., MARQUET, P. A., MCELWEE, P., MIDGLEY, G., OBERDORFF, T., OBURO, D., OSMAN, E., PANDIT, R., PASCUAL, U., PIRES, A. P. F., POPP, A., REYES-GARCÍA, V., SANKARAN, M., SETTELE, J., SHIN, Y. J., SINTAYEHU, D. W., SMITH, P., STEINER, N., STRASSBURG, B., SUKUMAR, R., TRISOS, C., VAL, A. L., WU, J., ALDRIAN, E., PARMESAN, C., PICHES-MADRUGA, R., ROBERTS, D. C., ROGERS, A. D., DÍAZ, S., FISCHER, M., HASHIMOTO, S., LAVOREL, S., WU, N. & NGO, H. T. (2021a): IPBES-IPCC co-sponsored workshop report on biodiversity and climate change.
82. PÖRTNER, H. O., SCHOLES, R. J., AGARD, J., ARCHER, E., ARNETH, A., BAI, X., BARNES, D., BURROWS, M., CHAN, L., CHEUNG, W. L., DIAMOND, S., DONATTI, C., DUARTE, C., EISENHAEUER, N., FODEN, W., GASALLA, M. A., HANDA, C., HICKLER, T., HOEGH-GULDBERG, O., ICHII, K., JACOB, U., INSAROV, G., KIESSLING, W., LEADLEY, P., LEEMANS, R., LEVIN, L., LIM, M., MAHARAJ, S., MANAGI, S., MARQUET, P. A., MCELWEE, P., MIDGLEY, G., OBERDORFF, T., OBURO, D., OSMAN, E., PANDIT, R., PASCUAL, U., PIRES, A. P. F., POPP, A., REYES-GARCÍA, V., SANKARAN, M., SETTELE, J., SHIN, Y. J., SINTAYEHU, D. W., SMITH, P., STEINER, N., STRASSBURG, B., SUKUMAR, R., TRISOS, C., VAL, A. L., WU, J., ALDRIAN, E., PARMESAN, C., PICHES-MADRUGA, R., ROBERTS, D. C., ROGERS, A. D., DÍAZ, S., FISCHER, M.,

- HASHIMOTO, S., LAVOREL, S., WU, N. & NGO, H. T. (2021b): Scientific outcome of the IPBES-IPCC co-sponsored workshop on biodiversity and climate change. IPBES secretariat, Bonn, Germany.
83. PÖYRY, J., LEINONEN, R., SÖDERMAN, G., NIEMINEN, M., HEIKKINEN, R. K. & CARTER, T. R. (2011): Climate-induced increase of moth multivoltinism in boreal regions. *Global Ecology and Biogeography* 20 (2): 289–298.
84. RACEY, P. A. & SWIFT, S. M. (1981): Variations in gestation length in a colony of pipistrelle bats (*Pipistrellus pipistrellus*) from year to year. *Reproduction* 61 (1): 123–129.
85. REBELO, H., TARROSO, P. & JONES, G. (2010): Predicted impact of climate change on European bats in relation to their biogeographic patterns. *Global Change Biology* 16 (2): 561–576.
86. ROCKSTRÖM, J., STEFFEN, W., NOONE, K., PERSSON, Å., CHAPIN, F. S., LAMBIN, E. F., LENTON, T. M., SCHEFFER, M., FOLKE, C., SCHELLNHUBER, H. J., NYKVIST, B., DE WIT, C. A., HUGHES, T., VAN DER LEEUW, S., RODHE, H., SÖRLIN, S., SNYDER, P. K., COSTANZA, R., SVEDIN, U., FALKENMARK, M., KARLBERG, L., CORELL, R. W., FABRY, V. J., HANSEN, J., WALKER, B., LIVERMAN, D., RICHARDSON, K., CRUTZEN, P. & FOLEY, J. A. (2009): A safe operating space for humanity. *Nature* 461 (7263): 472–475.
87. RODRÍGUEZ-RECIO, M., BURGOS, T., KROFEL, M., LOZANO, J., MOLEÓN, M. & VIRGÓS, E. (2022): Estimating global determinants of leopard home range size in a changing world. *Animal Conservation* 25 (6): 748–758.
88. SAHLÉN, G., BERNARD, R., RIVERA, A. C., KETELAAR, R. & SUHLING, F. (2004): Critical species of Odonata in Europe. *International Journal of Odonatology* 7 (2): 385–398.
89. SCHMIDT, K., RATKIEWICZ, M. & KONOPIŃSKI, M. K. (2011): The importance of genetic variability and population differentiation in the Eurasian lynx *Lynx lynx* for conservation, in the context of habitat and climate change. *Mammal Review* 41 (2): 112–124.
90. SEDDON, N., TURNER, B., BERRY, P., CHAUSSON, A. & GIRARDIN, C. A. J. (2019): Grounding nature-based climate solutions in sound biodiversity science. *Nature Climate Change* 9 (2): 84–87.
91. SETTELE, J., PENEV, L., GEORGIEV, T., GRABAUM, R., GROBELNIK, V., HAMMEN, V., KLOTZ, S., KOTARAC, M. & KÜHN, I. (2010): Atlas of biodiversity risk. Pensoft, Sofia-Moscow, Russia.
92. SHAFTEL, H., CALLERY, S., JACKSON, R. & BAILEY, D. (2022): Evidence: How do we know climate change is real? NASA (2. 11. 2022). <https://climate.nasa.gov/evidence> (8. 11. 2022)
93. SINGH, J. S. (2002): The biodiversity crisis: A multifaceted review. *Current Science* 82 (6): 638–647.
94. SMITH, P. (2012): Soils and climate change. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 4 (5): 539–544.
95. SNIDER, M. H., ATHREYA, V. R., BALME, G. A., BIDNER, L. R., FARHADINIA, M. S., FATTEBERT, J., GOMPPER, M. E., GUBBI, S., HUNTER, L. T. B., ISBELL, L. A., MACDONALD, D. W., ODDEN, M., OWEN, C. R., SLOTOW, R., SPALTON, J. A., STEIN, A. B., STEYN, V., VANAK, A. T., WEISE, F. J., WILMERS, C. C. & KAYS, R. (2021): Home range variation in leopards living across the human density gradient. *Journal of Mammalogy* 102 (4): 1138–1148.
96. STANFORD, C. B., IVERSON, J. B., RHODIN, A. G. J., PAUL VAN DIJK, P., MITTERMEIER, R. A., KUCHLING, G., BERRY, K. H., BERTOLERO, A., BJORNDAL, K. A., BLANCK, T. E. G., BUHLMANN, K. A., BURKE, R. L., CONGDON, J. D., DIAGNE, T., EDWARDS, T., EISEMBERG, C. C., ENNEN, J. R., FORERO-MEDINA, G., FRANKEL, M., FRITZ, U., GALLEGO-GARCÍA, N., GEORGES, A., GIBBONS, J. W., GONG, S., GOODE, E. V., SHI, H. T., HOANG, H., HOFMEYER, M. D., HORNE, B. D., HUDSON, R., JUVIK, J. O., KIESTER, R. A., KOVAL, P., LE, M., LINDEMAN, P. V., LOVICH, J. E., LUISELLI, L., MCCORMACK, T. E. M., MEYER, G. A., PÁEZ, V. P., PLATT, K., PLATT, S. G., PRITCHARD, P. C. H., QUINN, H. R., ROOSENBERG, W. M., SEMINOFF, J. A., SHAFFER, H. B., SPENCER, R., VAN DYKE, J. U., VOGT, R. C. & WALDE, A. D. (2020): Turtles and Tortoises Are in Trouble. *Current Biology* 30 (12): R721–R735.
97. STIELS, D., BASTIAN, H.-V., BASTIAN, A., SCHIDELKO, K. & ENGLER, J. O. (2021): An iconic messenger of climate change? Predicting the range dynamics of the European Bee-eater (*Merops apiaster*). *Journal of Ornithology* 162 (3): 631–644.
98. TEILLAC-DESCHAMPS, P., CLAP, F. & LEFEBVRE, T. (2016): Nature-based solutions to address climate change. IUCN France, Paris, France.

99. TERMAAT, T., VAN STRIEN, A. J., VAN GRUNSVEN, R. H. A., DE KNIJF, G., BJELKE, U., BURBACH, K., CONZE, K.-J., GOFFART, P., HEPPER, D., KALKMAN, V. J., MOTTE, G., PRINS, M. D., PRUNIER, F., SPARROW, D., VAN DEN TOP, G. G., VANAPPELGHEM, C., WINTERHOLLER, M. & WALLISDEVRIES, M. F. (2019): Distribution trends of European dragonflies under climate change. *Diversity and Distributions* 25 (6): 936–950.
100. THOMSON, J. A., BURKHOLDER, D. A., HEITHAUS, M. R., FOURQUREAN, J. W., FRASER, M. W., STATTON, J. & KENDRICK, G. A. (2015): Extreme temperatures, foundation species, and abrupt ecosystem change: an example from an iconic seagrass ecosystem. *Global Change Biology* 21 (4): 1463–1474.
101. TOME, D. (2006): *Ekologija: organizmi v prostoru in času*. Tehniška založba Slovenije, Ljubljana.
102. UHRIN, M., HÜTTMEIR, U., KIPSON, M., ESTÓK, P., SACHANOWICZ, K., BÜCS, S., KARAPANDŽA, B., PAUNOVIĆ, M., PRESETNIK, P., BASHTA, A.-T., MAXINOVÁ, E., LEHOTSKÁ, B., LEHOTSKÝ, R., BARTI, L., CSÖSZ, I., SZODORAY-PARADI, F., DOMBI, I., GÖRFÖL, T., BOLDOGH, S. A., JÉRE, C., POCORA, I. & BENDA, P. (2016): Status of Savi's pipistrelle *Hypsugo savii* (Chiroptera) and range expansion in Central and south-eastern Europe: a review. *Mammal Review* 46 (1): 1–16.
103. UNITED NATIONS (1992): *Convention on Biological Diversity*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity (SCBD), Rio de Janeiro.
104. UNITED NATIONS (2019): UN Report: Nature's Dangerous Decline 'Unprecedented'; Species Extinction Rates 'Accelerating'. United Nations
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/blog/2019/05/nature-decline-unprecedented-report/> (17. 11. 2022)
105. UR. L. RS 31/20 (2020): Resolucija o nacionalnem programu varstva okolja za obdobje 2020–2030 (ReNPVO20–30).
106. VAN GRUNSVEN, R., BOS, G. & POOT, M. (2020): Strong changes in Dutch dragonfly fauna. *Agrion* 24 (2): 134–138.
107. VAN SWAAY, C. A. M., DENNIS, E. B., SCHMUCKI, R., SEVILLEJA, C., BALALAIKINS, M., BOTHAM, M., BOURN, N., BRERETON, T., CANCELA, J. P., CARLISLE, B., CHAMBERS, P., COLLINS, S., DOPAGNE, C., ESCOBES, R., FELDMAN, R., FERNANDEZ-GARCIA, J. M., FONTAINE, B., GRACIANTEPARALUCETA, A., HARROWER, C., HARPKE, A., HELIOLA, J., KOMAC, B., KUHN, E., LANG, A., MAES, D., MESTDAGH, X., MIDDLEBROOK, I., MONASTERIO, Y., MUNGUIRA, M. L., MURRAY, T. E., MUSCHE, M., OUNAP, E., PARAMO, F., PETTERSON, L. B., PIQUERAY, J., SETTELE, J., STEFANESCU, C., SVITRA, G., TIITSAAR, A., VEROVNIK, R., WARREN, M. S., WYNHOFF, I. & ROY, D. B. (2019): *The EU Butterfly Indicator for Grassland species: 1990–2017*. Technical report. Wageningen, The Netherlands.
108. VEROVNIK, R., RABUZA, N., REPAR, M., ZADRGAL, M. & TOUT, P. (2021): On the Presence of Two-Tailed Pasha (*Charaxes jasius* (Linnaeus, 1767), Papilionoidea: Nymphalidae) in the Northeastern Adriatic Region. *Annales. Annales, Ser. hist. nat.* 31 (2): 285–290.
109. VEROVNIK, R., REBEUŠEK, F. & JEŽ, M. (2012): *Atlas dnevnih metuljev (Lepidoptera: Rhopalocera) Slovenije*. Center za kartografijo favne in flore, Miklavž na Dravskem polju.
110. VERTAČNIK, G. & BERTALANIČ, R. (2017): *Podnebna spremenljivost Slovenije v obdobju 1961–2011*. Značilnosti podnebja v Sloveniji. Agencija RS za okolje, Ljubljana.
111. VINKO, D. (2021a): Poročilo o delu skupine za kačje pastirje na RTŠB 2021 - Otlica. *Erjavecia* 36: 33–52.
112. VINKO, D. (2021b): Spregledana obrežna zverca *Lestes dryas* tudi že izginula? Dodatek k favni kačjih pastirjev Radenskega polja. *Erjavecia* 36: 93–96.
113. VINKO, D., BEDJANIČ, M., KOGOVŠEK, P., TRATNIK, A. & ŠALAMUN, A. (2022): Osrednja tema: Kačji pastirji in njihova ogroženost, tudi v luči podnebnih sprememb.
114. VINKO, D. & ŠALAMUN, A. (2021): First record of Violet Dropwing *Trithemis annulata* (Palisot de Beauvois, 1807) (Odonata: Libellulidae) in Slovenia. *Natura Sloveniae* 23 (2): 25–37.
115. VINKO, D., ŠALAMUN, A. & TRATNIK, A. (2020): Šest desetletij odonatoloških raziskav na Jelovici. *Erjavecia* 35: 51–66.

116. VISSER, M., HOLLEMAN, L. & GIENAPP, P. (2006): Shifts in caterpillar biomass phenology due to climate change and its impact on the breeding biology of an insectivorous bird. *Oecologia* 147 (1): 164–172.
117. VITTOZ, P., CHERIX, D., GONSETH, Y., LUBINI, V., MAGGINI, R., ZBINDEN, N. & ZUMBACH, S. (2013): Climate change impacts on biodiversity in Switzerland: A review. *Journal for Nature Conservation* 21 (3): 154–162.
118. WANG, Z., MA, L., SHAO, M. & JI, X. (2017): Are viviparous lizards more vulnerable to climate warming because they have evolved reduced body temperature and heat tolerance? *Oecologia* 185 (4): 573–582.
119. WARREN, M. S., MAES, D., VAN SWAAY, C. A. M., GOFFART, P., VAN DYCK, H., BOURN, N. A. D., WYNHOFF, I., HOARE, D. & ELLIS, S. (2021): The decline of butterflies in Europe: Problems, significance, and possible solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 118 (2): e2002551117.
120. WEISKOPF, S. R., RUBENSTEIN, M. A., CROZIER, L. G., GAICHAS, S., GRIFFIS, R., HALOFSKY, J. E., HYDE, K. J. W., MORELLI, T. L., MORISSETTE, J. T., MUÑOZ, R. C., PERSHING, A. J., PETERSON, D. L., POUDEL, R., STAUDINGER, M. D., SUTTON-GRIER, A. E., THOMPSON, L., VOSE, J., WELTZIN, J. F. & WHYTE, K. P. (2020): Climate change effects on biodiversity, ecosystems, ecosystem services, and natural resource management in the United States. *Science of The Total Environment* 733: 137782.
121. WHITE, E. R. (2018): Minimum time required to detect population trends: the need for long-term monitoring programs. *BioScience* 69 (1): 40–46.
122. WILD, S., KRÜTZEN, M., RANKIN, R. W., HOPPITT, W. J. E., GERBER, L. & ALLEN, S. J. (2019): Long-term decline in survival and reproduction of dolphins following a marine heatwave. *Current Biology* 29 (7): R239–R240.
123. WILSON, R. J., GUTIÉRREZ, D., GUTIÉRREZ, J., MARTÍNEZ, D., AGUDO, R. & MONSERRAT, V. J. (2005): Changes to the elevational limits and extent of species ranges associated with climate change. *Ecology Letters* 8 (11): 1138–1146.
124. WORLDOMETER (2023): Current world population. (16.7.2023). <https://www.worldometers.info/world-population/> (28.7.2023)
125. WWF (2022): Species directory. WWF. https://www.worldwildlife.org/species/directory?direction=desc&sort=extinction_status (17. 11. 2022)
126. YOM-TOV, Y., HEGGBERGET, T. M., WIIG, Ø. & YOM-TOV, S. (2006): Body size changes among otters, *Lutra lutra*, in Norway: the possible effects of food availability and global warming. *Oecologia* 150 (1): 155–160.
127. YOM-TOV, Y., ROOS, A., MORTENSEN, P., WIIG, Ø., YOM-TOV, S. & HEGGBERGET, T. M. (2010): Recent changes in body size of the Eurasian Otter *Lutra lutra* in Sweden. *AMBIO* 39 (7): 496–503.
128. ZAKŠEK, B., VEROVNIK, R., ZAKŠEK, V., KOGOVŠEK, N. & GOVEDIČ, M. (2021): Monitoring izbranih ciljnih vrst metuljev v letu 2021. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, Miklavž na Dravskem polju.
129. ZEN, N. (2020): Biodiverziteteta & podnebne spremembe. Kako biodiverziteteta vpliva na podnebne spremembe. PIC – Pravni center za varstvo človekovih pravic in okolja, Ljubljana.
130. ŽUJO, J. & DANEV, G. (2010): Uporaba metod za vrednotenje ekosistemskih storitev na varovanih območjih narave. *Varstvo narave* 24: 65–84.