

I Globalne spremembe v okolju

Dušan Plut, Darko Ogrin

I.1 Vzroki in posledice podnebnih in z njimi povezanih okoljskih sprememb v holocenu

Podnebje se nenehno spreminja, kar je posledica notranje spremenljivosti v podnebnem sistemu in zunanjih vplivov, ki so lahko naravni in antropogeni. Zlasti po letu 1980 so naravoslovni znanstveniki zbrali dovolj dokazov, da so tudi človekove dejavnosti povzročitelj sprememb v ozračju; človeštvo je torej stopilo v obdobje izrazitih antropogeno spodbujenih podnebnih sprememb (McLeman, 2014). V zadnjih desetletjih so v ospredju antropogeni vplivi oziroma naraščanje koncentracije t. i. toplogrednih plinov v atmosferi predvsem zaradi kurjenja fosilnih goriv. Antropogeno povzročene spremembe sestave ozračja spreminjajo lastnosti prenosnosti atmosfere in po mnenju velike večine strokovnjakov povzročajo postopno naraščanje globalne temperature po vsej Zemlji.

Od naravnih vzrokov, ki delujejo v daljših časovnih obdobjih, naj omenimo dolgoročna nihanja v sevanju Sonca, spremembe v sestavi atmosfere ter spremembe v razporeditvi morja in kopnega. Nihanja v sevanju Sonca in količina energije, ki jo prejmejo posamezni deli Zemlje, so posledica sprememb astronomskih parametrov Zemljine orbite (spreminjanje ekscentričnosti tira, nagiba Zemljine osi in precesije). Od teh sprememb je po Milankovičevi teoriji odvisen vzorec spreminjanja podnebja v zadnjih 600.000 letih, to je menjavanje ledenih in medledenih dob. Glavna perioda ledenih dob je 100.000 let, manjše, vmesne, pa se pojavljajo na 40.000 in 23.000 let (Kajfež Bogataj, 2012, str. 37). Zadnja ledena doba, ko so bile temperature za 8 do 12 stopinj nižje od današnjih, se je končala pred približno 10.000 do 12.000 leti. S koncem ledene dobe se je začel holocen, z vidika spreminjanja podnebja v daljših časovnih obdobjih toplo interglacialno obdobje, v katerem pa se podnebje v krajših obdobjih tudi spreminja (Ogrin, 2005). Danes torej živimo v toplem obdobju Zemljine zgodovine, v katerem pa je človeštvo pogosto močno občutilo podnebne in z njimi povezane okoljske spremembe, npr. velike suše v jugozahodni Aziji (odziv s kultivacijo divjih trav), progresivno sušnost Sahare (selitev pastirjev v dolino Nila) ter učinke toplega srednjeveškega obdobja na Evropo in Ameriko (Fagan, 2005).

Rezultati analiz lednih vrtn z Grenlandije kažejo, da je bil prehod iz mrzlega, suhega (količina padavin je bila v Sloveniji okoli 1000 mm nižja od današnje) in vetrovnega mlajšega dryasa (med 8000 in 9000 pr. n. št.), to je zadnjega hladnejšega obdobja ob koncu zadnje ledene dobe, v toplejši, bolj vlažni in manj vetrovni holocen zelo oster in hiter. Nekateri raziskovalci (Taylor in sod., 1997) celo ocenjujejo, da se je ozračje na Grenlandiji v okoli 1500 letih segrelo za več kot 15 °C. Nastanek hladnega sunka po prejšnji splošni otoplitvi podnebja nekateri razlagajo z velikimi količinami sladke

vode, ki je zaradi taljenja ledenega pokrova preplavila severni Atlantik. Manj slana in zaradi segrevanja toplejša voda je povzročila, da se je Atlantski transportni trak (del Velikega oceanskega transportnega traku), ki prinaša energijo toplega Zalivskega toka v severni Atlantik, ustavil oziroma je bolj slana in gostejša voda Zalivskega toka prej potonila, kar je povzročilo izrazito ohladitev. Po ustavitvi sistema je izhlapevanje iz Atlantika spet povečevalo specifično težo vode, ki je začela spet toniti in je ponovno vzpostavila prejšnji sistem transporta energije (več o tem v: Bavec, 2002).

Toplejšemu obdobju okoli 7000 pr. n. št. je sledila ohladitev, ki je dosegla višek okoli leta 6200 pr. n. št. Dokazi za to ohladitev (v literaturi je poznana tudi kot dogodek 8,2 ka) govorijo v prid globalni ohladitvi: ohladi se površina Atlantika, sedimenti kažejo na spuščanje zgornje gozdne meje na severu Norveške in hladnejše podnebje, spremeni se padavinski režim v zmernih geografskih širinah, oslabijo monsoni. Zaradi podobnosti s podnebnimi razmerami v mlajšem dryasu sklepajo (Keeling, Whorf, 2000), da je bila tudi ta ohladitev posledica zmanjšane dotoka energije v višje geografske širine zaradi oslabitve Atlantskega transportnega traku.

Po tej ohladitvi ozračja, ki označuje prehod iz zgornjega v srednji holocen, je prišlo do dokončnega umika kontinentalnih ledenih pokrovov in gorskih ledenikov na višja območja, stabilizirala se je tudi gladina svetovnih morij. To je bil čas globalne podnebne reorganizacije in vzpostavitve postglacialnih razmer. Gladina Jadranskega morja, ki je bila v času poledenitve za 80 do 100 m nižja od današnje (morje je segalo približno do črte Ancona – Zadar), se je dvignila približno na današnji nivo. Med letoma 6000 in 3000 pr. n. št. so temperature dosegle najvišje vrednosti v holocenu, zato to obdobje imenujemo tudi altitermal oziroma atlantski podnebni optimum. Toplo podnebje je verjetno povzročilo intenziven razvoj poljedelstva na vseh celinah (Kajfež Bogataj, 2012, str. 39). Vzroka za to toplo obdobje sta bila astronomska. Nagib Zemljine osi je tedaj znašal okoli 24°, perihelij (prisončje) je bil v času poletja severne poloble, zato so poletja severne poloble dobila 8 % več energije Sončevega sevanja. Ocenjujejo, da so bile temperature v času altitermala, z regionalnimi odstopanji, v posameznih obdobjih za 2 do 4 °C višje od današnjih. Altitermalu je sledilo počasno zniževanje temperature, z najnižjimi vrednostmi v prvem tisočletju pr. n. št. Po nekaterih virih (Dahl-Jensen in sod., 1998) naj bi bile ob začetku našega štetja za okoli 0,5 °C nižje od današnjih, najslabše razmere pa naj bi bile med letoma 900 in 450 pr. n. št., kar naj bi bil eden od pomembnih vzrokov za vsesplošno selitev ljudstev.

Med letoma 500 in 1300 n. št. je bilo podnebje na splošno ugodno, z okoli 1 °C višjimi temperaturami kot v prvi polovici 20. stoletja. Zato to obdobje imenujemo tudi mali klimatski optimum oziroma srednjeveško toplo obdobje. Razen lednih vrtin o ugodnem podnebnju v tem času, zlasti med letoma 800 in 1300, govorijo historični zapisi (Lamb, 1995; McLeman, 2014). Srednjeveško toplo obdobje je povečalo evropsko kmetijsko produktivnost in širitev gojenja žit v višje geografske širine (McLeman, 2014, str. 5). Ugodno podnebje je omogočilo, da so Vikingi leta 870 poselili Islandijo in 100 let kasneje še Grenlandijo, kjer so gojili žitarice. Na Grenlandiji je bila povprečna letna temperatura ob višku otoplitve okoli leta 1100 za 3 do 4 stopinje višja od sedanje. Anglija je bila med letoma 800 in 1000 vinorodna dežela, v zahodni in srednji Evropi je bila meja vinogradov za 4 do 5 stopinj geografske širine severno od sedanje, zgornja meja njihovega uspevanja pa je segala od 100

do 200 m višje. V Alpah je bila zgornja gozdna meja do 200 m višja v primerjavi z današnjo. Na Norveškem so pridelovali pšenico celo do geografske širine 64°, ječmen pa do 69°. Zaradi ugodnih podnebnih razmer se je evropsko prebivalstvo v tem času podvojilo. Na ugodno srednjeveško podnebje kažejo tudi historični podatki iz naših krajev. Iz kronologije izrednih vremenskih dogodkov za obsredozemsko Slovenijo (Ogrin, 1995) je razvidno, da med letom 850 in začetkom 12. stoletja ni zapisov o ostrih zimah. Gams (1998) pa navaja, da so med 12. in 14. stoletjem v našem gorskem svetu nastale najvišje kmetije, mnoge so pozneje opustili. Po prevladujočem mnenju je bilo srednjeveško toplo obdobje posledica intenzivnejšega Sončevega obsevanja in manjše vulkanske aktivnosti, po nekaterih razlagah pa tudi močnejšega Zalivskega toka, s katerim je v severni Atlantik prišlo več tople vode (Bradley in sod., 2003).

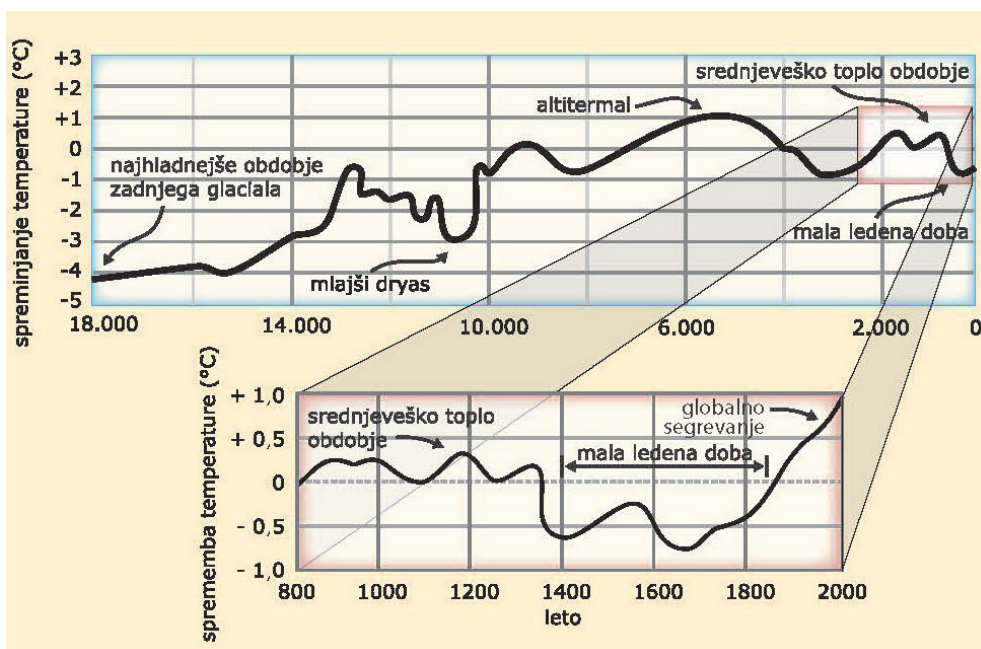
Srednjeveškemu toplemu obdobju, v katerem so bili tudi negativni temperaturni odkloni, je v Evropi sledilo obdobje izrazite podnebne labilnosti, ki je trajalo do okoli leta 1400. Izmenjevale so se poplave, katastrofalne suše ter ostre in mile zime. Morske poplave na severozahodu Evrope so v 13. in na začetku 14. stoletja zahtevale od 100 do 400 tisoč žrtev, kar jih uvršča med največje vremenske katastrofe v zgodovini. Vzroki za poplave naj bi bili dvig morske gladine po vsem svetu zaradi srednjeveškega toplega obdobja, povečana pogostost neviht zaradi ohlajanja Arktike ter povečane temperaturne razlike med srednjimi in visokimi geografskimi širinami. Podnebne razmere so se na splošno poslabševale, zato so izginile vikinške kolonije na Grenlandiji, v večjem delu Anglije so okoli leta 1400 opustili gojenje vinske trte, v severni Evropi in na Danskem pa žita. Vegetacijska doba se je v Angliji do leta 1400 skrajšala za okoli tri tedne. Ob slabših letinah je večkrat primanjkovalo hrane (ena najhujših lakot v zgodovini človeštva je bila triletna lakota po letu 1315), saj se je število prebivalcev do tedaj zelo povečalo. V Angliji in Nemčiji so med letoma 1315 in 1340 izumrle ali bile zapuščene celotne vasi, pojavljal se je tudi kanibalizem. Zaradi slabih življenjskih razmer je prihajalo do izbruhov bolezni pri ljudeh (kuga), živalih in rastlinah ter do družbenih nemirov (Flohn, Fantechi, 1984).

Obdobja med letoma 1450 (1500) in 1850 (1900) se je prijelo ime mala ledena doba. Severna polobla je bila za okoli 1 °C hladnejša, januarske temperature pa naj bi bile v Evropi za 3 do 4 °C nižje kot v drugi polovici 20. stoletja. Višek je mala ledena doba dosegla v obdobju med letoma 1550 in 1700. Alpski ledeniki so se spustili najnižje po zadnji poledenitvi in so tako ostali do konca 19. stoletja, ko so temperature ponovno začele naraščati. Šifrer (1963) domneva, da je iz tega časa tudi Triglavski ledenik. Tudi nastanek in razvoj ZDA lahko delno pripišemo množičnemu izseljevanju Evropejcev v času zelo hladnega podnebja v Evropi (Kajfež Bogataj, 2012, str. 9). Vzroka za pojav tega hladnega obdobja sta zmanjšana Sončeva aktivnost (najizraziteje v času Maunderjevega minimuma 1645–1715) in povečano vulkansko delovanje. Veliki izbruhi vulkanov so bili leta 1580, 1600, 1641, 1660 in 1815 (Tambora), ko je prišlo v ozračje ogromno vulkanskega pepela in prahu, kar je oslabilo Sončevo sevanje.

Hladne razmere so dokumentirane tudi s prvimi meritvami in opazovanji. Meritve temperature zraka v Zürichu med letoma 1563 in 1576 kažejo, da je bila povprečna zimska temperatura kar za 1,7 °C nižja kot v predhodnem obdobju 1546–1562. Zapadlo je tudi dvakrat več snega. V Angliji so bile zimske temperature v obdobju 1550–1700 za 1 do 1,1 stopinje nižje od povprečnih v prvi polovici 20. stoletja. Leta 1684 so tla v

Kentu zamrznila do globine 90 cm, zamrznilo je tudi morje v petkilometrskem pasu kentske obale Rokavskega preliva, prav tako na francoski strani. Led je prekrival 25 km širok pas morja ob nizozemski obali. V ostrejših zimah, npr. 1564/1565, je zmrzal na Češkem trajala od sredine decembra do sredine marca. To je bila ena najdaljših zim, primerljiva z zimami 1431/1432, 1434/1435, 1607/1608, 1613/1614 in 1657/58. Zaradi dolgih zim je prihajalo do velikih težav v kmetijstvu. Primanjkovalo je krme za živino, ki je poginjala. Zadrževanje snega do pozne pomladi je povzročalo gnitje ozimnih žit, pridelke so uničevale zgodnje slane in jesenski sneg. V Alpah so bili ljudje v strahu zaradi napredujočih ledenikov, ki so prekrili kar nekaj vasi, kmetij in pašnikov (Flohn, Fantechi, 1984).

Slika 1.1: Glavna podnebna obdobja v holocenu.



(Prirejeno po: Ahrens, 2000, str. 509)

1.2 Antropogeno spodbujeno globalno segrevanje ozračja v zadnjih 150 letih

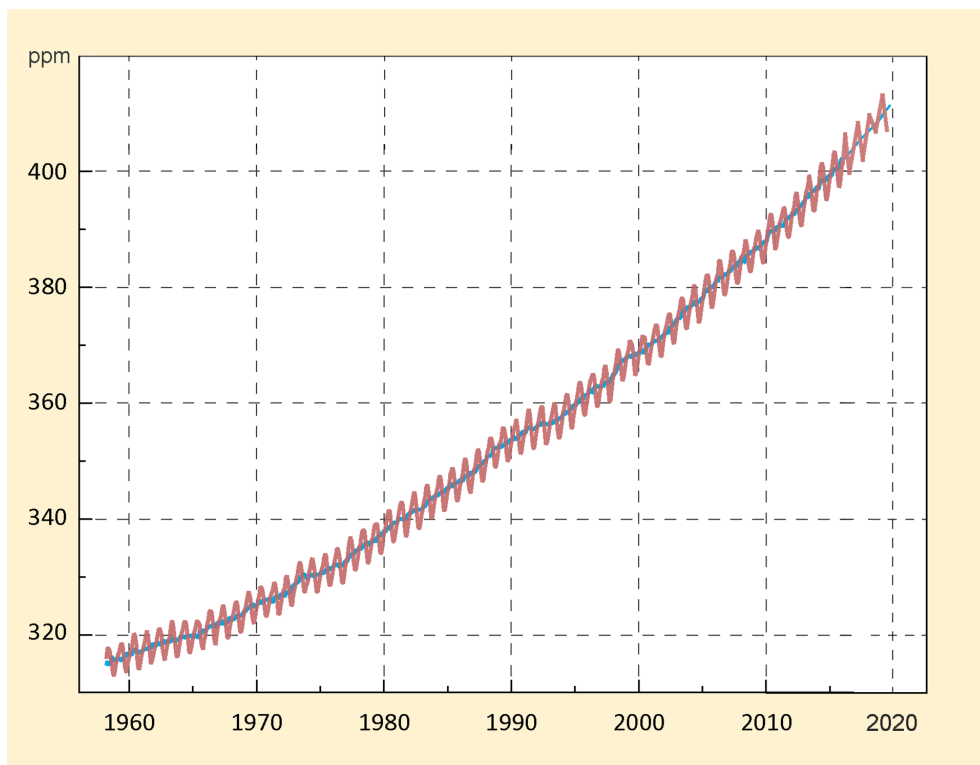
V drugi polovici oziroma konec 19. stoletja se je začelo obdobje postopnega naraščanja temperature zraka (globalno segrevanje ozračja), ki še traja in je po večinskem mnenju posledica človekove krepitve sicer naravnega učinka tople grede, zlasti zaradi pretirane uporabe fosilnih goriv. Večina klimatologov in meteorologov po svetu je prepričana, da je antropogeno spreminjanje globalnega podnebja realnost (Kajfež Bogataj, 2001, 2012, 2014; Fagan, 2005; McLeman, 2014). Podnebne

spremembe se po mnenju Kajfež Bogatajeve (2012, str. 10) najneposredneje kažejo v naraščanju povprečne globalne temperature, ki je večinoma posledica človekovih izpustov toplogrednih plinov, nekoliko pa tudi spreminjanja gozdnih površin v kmetijske. Človeštvo je z naraščanjem svetovnega prebivalstva, stalno poselitvijo, urbanizacijo (velika mesta) in industrijsko revolucijo vse bolj postajalo odvisno od dolgoročnih in kratkoročnih podnebnih sprememb, predvsem pa bolj ranljivo na sicer bolj redke, a večje naravne nesreče. V dobrih sto letih je naš planet postal toplejši za dobro 1 °C, kopno in severne zemljepisne širine so se ogreli bolj kot oceani. Narašča gladina svetovnega morja, svetovno morje postaja bolj kislo, ledeniki se talijo, vse več je poplav in suš (Kajfež Bogataj, 2014). V Alpah se je v zadnjih 150 letih povprečna temperatura povečala za okoli 2 °C, kar je bistveno več kot povprečna globalna temperatura (Methods and Tools ..., 2014). Zato antropolog Fagan (2005) argumentirano ugotavlja, da je sedanja problematika globalnega segrevanja refleksija ravni naše povečane ranljivosti, in to v razsežnosti, ki zahteva razmislek, proučitev ter predvsem ustrezno delovanje in prilagajanje. Na mestu je opozorilo McLemana (2014, str. 11), da so v preteklosti razmeroma skromne spremembe podnebja (npr. v srednjeveškem toplem obdobju in v kasnejši mali ledeni dobi) pomembno vplivale na spremembe rabe zemljišč in okrepile migracijske tokove.

Vsaj v zadnjih tisoč letih je bila povprečna koncentracija CO₂ v Zemljinem ozračju tako rekoč stalna in je znašala okoli 280 ppm (delcev na milijon). V 19. stoletju se je koncentracija toplogrednega CO₂ začela povečevati, v drugi polovici 20. stoletja pa se je stopnja rasti dramatično povečala (Komiyama, Kraines, 2008, str. 2). Če bi koncentracija CO₂ v ozračju naraščala po sodobni stopnji, bi se do konca 21. stoletja v primerjavi s predindustrijskim obdobjem najmanj podvojila. »*Nobenega dvoma ni, da so v zadnjih sto letih številne človekove dejavnosti pomembno povečale količino toplogrednih plinov v Zemljinem ozračju*« (Middleton, 2003). Na začetku 21. stoletja je bila koncentracija toplogrednih plinov 430 ppm (delcev na milijon) ekvivalentov CO₂, pred industrijsko revolucijo pa je znašala 280 ppm (Stern, 2006). Zgolj koncentracija CO₂, ki je bila pred industrijsko revolucijo 270 ppm, je leta 2015 dosegla 400 ppm in se do konca leta 2023 povzpela do 420 ppm (CO₂-earth, 2023), kar je največ v zadnjih 740.000 letih in zelo blizu koncentraciji, ki je bila nazadnje prisotna pred 55 milijoni let, ko je bil planet tropski, brez polarnega ledu, morska gladina pa je bila za 80 m višja od današnje (Brown, 2006; Kajfež Bogataj, 2012). Klimatolog Hansen opozarja, da bi moralo človeštvo koncentracijo CO₂ zmanjšati na najmanj 350 ppm.

Po skupni količini emisij CO₂ je leta 2007 Kitajska postala vodilni onesnaževalec (70 % električne energije proizvede v termoelektrarnah na premog) in je prehitela ZDA, vendar so bile takratne letne emisije CO₂ na prebivalca Kitajske (4 tone) nekajkrat manjše od emisij CO₂ na prebivalca ZDA (20 ton). Po podatkih za leto 2016 na Kitajsko odpade 29 % svetovnih emisij CO₂ (7,4 t/preb.), na ZDA 14 % (15,5 t/preb.) in na Indijo 7 % (1,9 t/preb.) (Worldometer, 2022). Hkrati je Kitajska postala vodilna pri rabi vetrne in sončne energije (fotovoltaika), kar se kaže tudi v zmanjševanju emisij v zadnjih letih (podobno tudi v ZDA). Razen emisij CO₂ k podnebnim spremembam veliko prispevajo povečane koncentracije metana, ki so posledica govedoreje (največji delež), pridelovanja riža in neurejenih smetišč (Kajfež Bogataj, 2012, str. 55), v zadnjih letih tudi sproščanja metana iz talečega se permafrosta v polarnih predelih.

Slika 1.2: Naraščanje koncentracije CO₂ (ppm) v ozračju po letu 1960 po podatkih observatorija Mauna Loa na Havajih.



(Prirejeno po: NOAA Earth System Research Laboratory, 2022)

Za zmanjševanje emisij plinov tople grede so najodgovornejše gospodarsko razvite države in nekdanje evropske socialistične države, kjer je konec 20. stoletja okoli 20 % svetovnega prebivalstva proizvajalo okoli 63 % emisij ogljika, 80 % prebivalcev držav v razvoju pa 37 % (Dunn, Flavin, 2002). Po podatkih za leto 2020 (Statista, 2020) je EU odgovorna za 18 % globalnih emisij CO₂. V primerjavi z 90. leti 20. stoletja je emisije zmanjšala za 25 %, predvsem na račun porabe čistejših virov energije in preselitve »umazane« industrije v manj razvite dele sveta. Slovenija je po podatkih za leto 2016 proizvedla 14,7 t emisij CO₂ (7,10 t/preb.), kar jo z deležem 0,04 % uvršča na 93. mesto v svetu (Worldometer, 2022).

Zmogljivost ozračja je pod 2 tona emisij CO₂ na prebivalca, kar pomeni, da je nosilnost svetovnega ozračja skoraj trikrat presežena. Če se človeštvo ne bo čim prej odločilo za globalno akcijo zmanjševanja izpustov toplogrednih plinov in hkratno prilagajanje na podnebne spremembe, naj bi naraščajoči stroški podnebnih sprememb znašali celo od 5 do 20 % svetovnega BDP na leto (Stern, 2006). Svetovna potrošniška ekonomija in ekosocialno nečuteč model svetovne trgovine pa tudi v Evropi izrinjata v kot politiko, ki bi do leta 2050 dosegla globalno sprejemljive emisije toplogrednih

plinov. Okoljske organizacije menijo, da bi EU morala do leta 2050, po t. i. šibkem trajnostnem energetskega scenariju, emisije CO₂ iz 7,9 tone na prebivalca iz leta 2007 znižati na 2 tone na prebivalca (za okoli 80 %), po močnem trajnostnem energetskega scenariju pa na 0,4 tone na prebivalca (za 95 %) (Energy (r)evolution, 2010).

Več kot 20 let se je politika podnebnih sprememb osredotočala na razpravo o blaženju podnebnih sprememb, torej na različne strategije in ukrepe zmanjševanja emisij toplogrednih plinov in drugih načinov zmanjševanja vzrokov podnebnih sprememb. Od začetka 21. stoletja pa veliko pozornosti namenjamo politikam prilagajanja podnebnim spremembam, od globalne do lokalne ravni. Vse večji poudarek na prilagajanju podnebnim spremembam je med drugim posledica pičlih rezultatov blaženja, ki je zgolj zmanjšalo stopnjo naraščanja toplogrednih plinov. Tudi v primeru večjega uspeha, npr. pri zmanjševanju emisij toplogrednih plinov, bo v 21. stoletju zaradi dolge življenjske dobe toplogrednih plinov (življenjska doba CO₂ v ozračju je od 50 do 200 let) v ozračju prišlo do številnih vplivov in podnebnih sprememb.

I.3 Posledice sodobnega spreminjanja podnebja po svetu in v Sloveniji

I.3.1 Globalne posledice sodobnega spreminjanja podnebja

Po podatkih Nasinega Goddardovega inštituta za vesoljske raziskave (NASA GISS, 2022) se je globalna temperatura od leta 1880 povečala za vsaj 1,1 °C. Večina tega povečanja se je zgodila po letu 1975, ko se je ozračje segrevalo s stopnjo od 0,15 do 0,20 °C na desetletje. V Evropi je bila v desetletju 2012–2021 za 1,11 do 1,14 °C višja kot v predindustrijskem času (EEA, 2022). Zaradi vse toplejšega ozračja in morja se dviga gladina svetovnih oceanov, zmanjšuje se obseg ledenikov, zakisujejo se oceani, podaljšuje se vegetacijska doba, stopnjuje se sušnost v subtropskih predelih, prihaja do spreminjanja vetrovnih razmer in spreminjanja padavinskih režimov. Pregled najpomembnejših temperaturnih in padavinskih sprememb v 20. stoletju je zbran v preglednici 1.1 (Kajfež Bogataj, 2001).

Tudi nekatere druge meritve sprememb podnebja potrjujejo navedena dejstva. Po letu 1880 se je gladina svetovnega morja v povprečju dvignila za okoli 23 cm (polovica dviga odpade na toplotno raztezanje vode), ¾ dviga so se zgodile v zadnjih 25 letih. V zadnjih desetletjih se gladina vsako leto zviša za 3,2 mm. Po predvidevanjih IPCC lahko do leta 2100 pričakujemo dvig gladine svetovnega morja za nadaljnjih 26 do 77 cm, če se bo temperatura zraka povečala za 1,5 °C (Nunez, 2022). Nekateri znanstveniki na osnovi pospešenega taljenja ledu Arktike, Grenlandije in zahodne Antarktike napovedujejo, da se bo gladina svetovnega morja morda dvignila celo za dva metra (Brown, 2008, str. 4). Če pa bi prišlo do taljenja celotnega ledu na Grenlandiji, bi dvig morske gladine znašal 7 m, ob stalitvi ledu zahodne Antarktike pa še nadaljnjih 5 m.

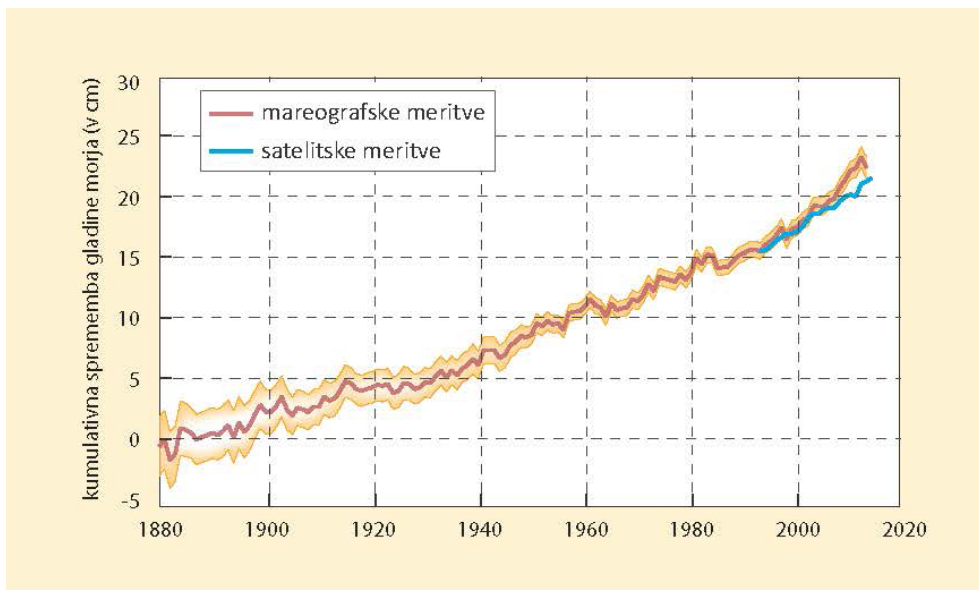
Preglednica 1.1: Spremembe podnebja v 20. stoletju.

| Podnebni element | Oris ključnih podnebnih sprememb |
|------------------|--|
| Temperatura | <ul style="list-style-type: none"> – Ohlajanje stratosfere, rahlo segrevanje zgornjih plasti troposfere – Močno segrevanje prizemne plasti zraka* – Ogrevanje zgornje plasti oceanov, rahlo ogrevanje tal |
| Sneg, led | <ul style="list-style-type: none"> – Zmanjševanje števila dni s snežno odejo spomladi* – Krčenje ledenikov* – Zmanjševanje površin morskega ledu |
| Vlažnost | <ul style="list-style-type: none"> – Rahlo povečanje absolutne vlažnosti zraka – Povečanje izhlapevanja iz oceanov – Naraščanje količine visoke in srednje oblačnosti |
| Padavine | <ul style="list-style-type: none"> – Zmanjšanje količine padavin na subtropskih območjih – Rahlo povečanje količine padavin v zmernih in visokih geografskih širinah |

* Z meritvami potrjeno tudi v Sloveniji.

(Vir: Kajfež Bogataj, 2001, str. 204)

Slika 1.3: Povprečen dvig gladine svetovnega morja v obdobju 1880–2020.



(Prirejeno po: U.S. Global Change. Sea level Rise, 2022)

Od 70. let 20. stoletja so se zelo sušna območja sveta povečala s 15 % na okoli 30 %, ključna razloga pa sta dvig temperature in hkratno zmanjšanje padavin na nekaterih območjih (Brown, 2006). Delež sušnih območij bo še večji, če se bodo sedanji temperaturni trendi nadaljevali.

Človeški vpliv na spreminjanje podnebja je po mnenju Kajfež Bogatajeve (2012, str. 11) znanstveno dokazano dejstvo. Zaključimo lahko z ugotovitvijo, da so posledice sodobnih podnebnih sprememb večplastne, geografsko neenakomerne in še vedno ne dovolj napovedljive. Vendar empirični podatki kažejo, da se zaradi naraščanja globalne temperature spreminjajo padavinski režimi, pogostost in jakost neurij, suš in vročinskih valov, vse bolj se krči grenlandski ledeni pokrov, zmanjšuje se obseg arktičnega ledu in zasneženih površin na severni polobli, raven morske gladine pa se vztrajno dviga (Kajfež Bogataj, 2012, str. 10). Strokovnjaki opozarjajo, da bodo lahko podnebne spremembe povzročile množične migracije, po nekaterih ocenah naj bi ustvarile več sto milijonov okoljskih, podnebnih beguncev (McLeman, 2014, str. 1).

I.3.2 Nekatere posledice sodobnega spreminjanja podnebja v Sloveniji

Slovenija leži na prepletu gorskega (alpskega), sredozemskega in celinskega (panonskega) podnebnega vpliva, zato je naše ozemlje podnebno pestro. Temperatura zraka in količina padavin se prostorsko in časovno spreminjata na zelo kratke razdalje, zlasti glede na nadmorsko višino (Kajfež Bogataj, 2012, str. 74). Zaradi prepletanja številnih dejavnikov, ki določajo podnebje Slovenije, se podnebna pestrost kaže v razlikah med podnebnimi elementi v posameznih slovenskih pokrajinah, njihovi časovni spremenljivosti ter v stiku gorskega in podgorskega podnebja z zmerno sredozemskim in zmerno celinskim (Ogrin in sod., 2023). Simulacije kažejo, da bodo morebitne spremenjene podnebne razmere povzročile pomembne spremembe v naravnem in družbenem okolju Slovenije. Velika pokrajinska in podnebna pestrost Slovenije otežuje zlasti regionalna in lokalna predvidevanja posledic spreminjanja podnebja.

Spreminjanje svetovnega podnebja se kaže tudi na Slovenskem. Od sredine 19. stoletja lahko potek temperature zraka in padavin spremljamo s pomočjo podatkov za Ljubljano, Trst, Zagreb, Dobrač (Ogrin D., 2003; 2015) in Maribor (Žiberna, 2011). Temperaturni trendi so pozitivni in statistično pomembni, padavinski pa manj značilni s tendenco rahlega zniževanja letne količine padavin. Podrobnejši pregled stoletnih temperaturnih in padavinskih trendov ter tendenc spreminjanja podnebja v Sloveniji po podnebnih tipih v zadnjih desetletjih je zbran v poglavju 4. Za podnebje v zadnjih desetletjih sta značilna izrazito naraščanje temperature zraka v vseh letnih časih in zmanjševanje količine padavin, razen jesenskih, ki se v večini države povečujejo. Na splošno se podnebje Slovenije spreminja v toplejše in nekoliko bolj suho, le jeseni postajajo toplejše in bolj vlažne. Naraščanje temperatur ob hkratnem zniževanju padavin povečuje potencialno evapotranspiracijo, kar vodi v slabšanje vodne bilance. To je najbolj skrb vzbujajoče v vzhodni in severovzhodni Sloveniji, kjer je padavin manj in kjer so naša najintenzivnejša kmetijska območja. Po podatkih za Maribor v obdobju 1876–2010 se je vodna bilanca (razlika med padavinami in potencialno evapotranspiracijo) znižala za stopnjo 240 mm/100 let (Žiberna, 2011). To pomeni, da postaja deficit vlage v topli polovici leta običajno stanje in da je sušna ogroženost vedno večja.



(Vir: Po razglednici, zbirka D. Ogrin)



(Foto: Arhiv GIAM ZRC SAZU)

Slika 1.4:

Izginjanje Triglavskega ledenika je dober pokazatelj segrevanja ozračja. Prva slika je Triglavski ledenik okoli leta 1946, druga je bila posneta poleti 2017. Ledenik se je od druge polovice 19. stoletja, ko je meril okoli 45 ha, do današnjih dni skrčil na manj kot 1 ha.

Zaradi toplejših razmer se podaljšuje rastna sezona, kar vpliva na spreminjanje razvojnih faz pri rastlinstvu. Študije kažejo, da se spomladanske razvojne faze pri rastlinah (cvetenje, olistanje drevja) v zadnjih desetletjih začnejo od šest do deset dni prej kakor v petdesetih letih 20. stoletja (Črepinšek, Zrnec, 2005). Zaradi naraščanja temperatur se po vsej Sloveniji, še najmanj v Obsredozemskih pokrajinah, povečuje število toplih in vročih dni, zmanjšuje pa se število hladnih in ledenih dni. Število toplih dni, ko najvišje dnevne temperature presežejo 25 °C, se je v obdobju 1950–2009 povečevalo s stopnjo od 2,2 (Novo mesto) do 4,8 dneva (Postojna) na desetletje. Ledenih dni, ko tudi najvišje dnevne temperature ne presežejo 0 °C, pa je bilo od 2,7 (Rateče) do 5,2 dneva (Novo mesto) na desetletje manj. Tropske noči (najnižje nočne temperature nad 20 °C), ki so bile z izjemo obalnega pasu Slovenske Istre v notranjosti Slovenije redke, so v nekaterih mestih v notranjosti Slovenije postale že vsakoleten pojav (Bertalanič in sod., 2010, str. 4). Naraščanje zimskih temperatur in manj padavin pozimi vpliva tudi na sneg in snežno odejo. Za Slovenijo je značilno, da se po drugi svetovni vojni višina novozapadlega snega znižuje s stopnjo od 2 (Murska Sobota) do 22 cm (Rateče) na desetletje, število dni s snežno odejo v sezoni pa od

dva do štiri dni na desetletje (Bertalanič in sod., 2010, str. 4). To pomeni velike težave z zagotavljanjem dovolj dolgega obdobja z zadostno višino snežne odeje v naših smučarskih središčih, posebej v nižje ležečih (Ogrin M. in sod., 2011).

V Sloveniji ne narašča samo temperatura zraka, ampak tudi temperatura morja. Najhitreje se zvišujejo poletne temperature v površinskem sloju Tržaškega zaliva, posebej po letu 1990 (Bistvene lastnosti in značilnosti morskih voda, 2013). Zaradi višjih temperatur je prišlo do padca ekološke pregrade, zato so se začele v našem morju pojavljati nekatere vrste, ki so značilne za južne predele Sredozemskega morja. Največ takih primerov je znanih za ribe (balestra, pavji knez), nekaj pa tudi za planktonske nevretenčarje (Lipej, Kerma, 2012).

1.4 Podnebne projekcije za 21. stoletje

Številne vidike prihodnjih podnebnih sprememb je zelo težko odkriti in natančno predvideti. O tem pričajo tudi različni scenariji in modelne projekcije podnebnih sprememb za 21. stoletje. Vendar je dovolj podatkov in rezultatov podnebnih modelov, ki nakazujejo, da bodo posledice podnebnih sprememb v prihodnosti povzročile številne, navadno negativne vplive na naravne in družbene sestavine geografskega okolja ter s tem neposredno in posredno močno vplivale na dejavnosti človeštva ter blagostanje in kakovost življenja. Rezultati modelov kažejo, da se bo globalno podnebje do obdobja 2030–2050 segrelo za 1,5 °C, do konca stoletja pa bo dvig globalne temperature odvisen od našega ravnanja oziroma ustalitve vsebnosti toplogrednih plinov v ozračju (Kajfež Bogataj, 2012, str. 87). Do konca 21. stoletja lahko zaradi dosedanjih in prihodnjih izpustov toplogrednih plinov pričakujemo globalno segrevanje do 6,4 °C glede na povprečne razmere v obdobju 1980–1999.

Opozorila o zelo verjetnem vplivu antropogenih posegov na svetovno podnebje so vse bolj skrb vzbujajoča. Večina strokovnjakov sodi, da bodo spremembe podnebja v 21. stoletju bistveno in večinoma negativno vplivale na planetarne ekosisteme, ogrožale opravljanje življenjsko pomembnih ekosistemskih funkcij, zmanjšale biotsko raznovrstnost, oteževale materialno dejavnost človeštva in proizvodnjo hrane ter poslabšale bivalne razmere. Podnebne spremembe naj bi bile po oceni strokovnjakov na številnih območjih sveta pomemben razlog za povečane težave pri oskrbi z vodo. Tako prinašajo taljenje ledenikov v Himalaji in drugje po svetu, kar bo za vsaj dve milijardi prebivalcev v Indiji, Pakistanu in na Kitajskem resen problem (Kajfež Bogataj, 2014, str. 13). Ena od ključnih posledic podnebnih sprememb bodo verjetno tudi zelo okrepljeni migracijski tokovi, t. i. podnebni oziroma okoljski begunci (McLeman, 2014). Ob nadaljevanju dosedanjih trendov se bodo emisije toplogrednih plinov do konca 21. stoletja podvojile (Yamin, Depledge, 2004). Kljub številnim opozorilom so se tudi v zadnjem desetletju povečale globalne emisije toplogrednih plinov, prav tako se je nadaljevalo krčenje zlasti tropskih gozdov in s tem povezano dodatno sproščanje CO₂. Večina napovedi sodi, da bi bilo treba dosedanje emisije toplogrednih plinov glede na količino leta 1990 do sredine 21. stoletja na globalni ravni zmanjšati vsaj za okoli 60 %, v gospodarsko razvitih državah pa za 70–80 % oziroma za faktor 4.

Dejstvo je, da podnebne spremembe že vplivajo (in bodo tudi v prihodnje) na zdravje prebivalstva. Ekstremni vremenski dogodki, ki so posledica spreminjanja podnebja, povzročajo številne žrtve in materialno škodo (npr. dolgotrajne suše povzročajo težave, povezane z dehidracijo, visoke temperature vplivajo na povečanje števila smrti med bolniki s kardiovaskularnimi boleznimi in podobno). Tudi povečana količina padavin vpliva na povečanje pojavljanja različnih bolezni, povečana koncentracija CO₂ in povišana temperatura zraka pa povzročata večjo proizvodnjo alergenov (npr. pelod), prav tako toplejše vreme vpliva na povečano tvorjenje prizemnega ozona. Posredni potencialni učinki tovrstnega dogajanja na zdravje ljudi za zdaj še niso dobro raziskani, vsekakor pa se bodo odražali tudi v psihičnem zdravju ljudi, spreminjanju poselitvenih vzorcev in konfliktih med različnimi skupinami prebivalstva. Nasploh bodo ekosistemske spremembe vplivale tudi na kmetijstvo – poljedelstvo, živinorejo in gozdarstvo – pa tudi na turizem, zlasti zimski itd.

Spreminjajoči se vremenski vzorci ogrožajo predvsem proizvodnjo hrane, zlasti zaradi nepredvidljivosti padavin, dvig morske gladine ogroža pitno vodo na obalnih območjih in povzroča katastrofalne poplave. Segrevanje ozračja vpliva na širjenje različnih bolezni, ki so bile nekdanje omejene zgolj na tropska območja, ter povzroča taljenje ledenikov, kar se posebej jasno kaže na polarnih območjih. To skupaj s toplotnim raztezanjem vode prispeva k dvigu morske gladine po vsem svetu.

Podnebne spremembe imajo vrsto ekonomskih učinkov, pri čemer merimo večinoma tiste, ki so vezani na zmanjšanje emisij toplogrednih plinov. Med povsem konkretnimi ekonomskimi učinki so ti javno prepoznani v ribištvu, rabi vodnih virov, nosilni zmogljivosti zemljišč, zdravju živali, kmetijstvu nasploh in turizmu. Ob tem se je izkazalo, da brez sodelovanja pri zmanjševanju izpustov tistih držav, ki so med največjimi onesnaževalkami (ZDA, Rusija, Kitajska), zgolj zmanjšanje izpustov na osnovi razvoja naprednih tehnologij in rabe alternativnih virov energije ter njenega varčevanja v EU in na Japonskem ne bo imelo želenih pozitivnih učinkov. Zmanjševanje izpustov bi moralo temeljiti na skupnem pristopu vseh držav. Svetovna podnebna konferenca konec leta 2015 v Parizu je končno le nakazala globalno željo po zmanjšanju emisij toplogrednih plinov in prehodu v nizkoogljično družbo, a potrdila velike razlike med državami glede konkretnih obveznosti in ukrepov. Potencialni so učinki na človekovo zdravje – neposredni (vročinski valovi, poplave) in posredni (podhranjenost, širjenje bolezni) (preglednica 1.2).

Preglednica 1.2: Mogoči učinki podnebnih sprememb.

| Področje | Učinki, povezani s spremembami temperature na svetovni ravni | Učinki ekstremnih dogodkov |
|----------|---|---|
| Zdravje | Povečevanje podhranjenosti, prebavnih motenj in kardiorespiratornih ter infekcijskih bolezni, ki bodo posebej prisotne pri populaciji z nizko zmogljivostjo prilaganja. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Zmanjšana smrtnost zaradi mraza, povečano tveganje smrtnosti zaradi vročine (toplotni udari). 2. Tveganja, povezana s povečanjem obsega padavin (smrti, poškodbe, bolezni). 3. Pomanjkanje hrane in pitne vode; več bolezni, ki bodo posledica suše. 4. Povečana nevarnost poplav. 5. Selitve zaradi pretečih suš, poplav in dviga morske gladine. |
| Hrana | Negativni učinki na ranljive skupine. Spremembe na regionalni ravni (pozitivne in negativne) v proizvodnji žitaric. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Spremembe v hektarskih donosih zaradi ekstremnih temperatur, suš in izjemnih padavin. 2. Erozijski prsti ter njena degradacija zaradi suš in izjemnih padavin. 3. Povečana smrtnost živine zaradi suše. |
| Voda | Na nekaterih območjih bo vode na razpolago več, drugje manj in nastopila bo suša. Oboje bo posledica spremenjenih padavinskih razmer in s tem evapotranspiracije ter taljenja snega in ledu, kar bo najbolj prizadelo poljedelstvo. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Učinki na vodne vire, ki so odvisni od taljenja snega in ledu. 2. Učinki na oskrbo z vodo – zaradi spremenjenih ekstremnih temperatur. 3. Povečano povpraševanje po vodi zaradi toplotnih udarov in suš. 4. Spremenjeni energetske potenciali zaradi padavinskih sprememb. |
| Stroški | Večje škode zaradi poplav in neurij, ki bodo posledica dvigovanja morske gladine. To bo prizadelo predvsem nižje ležeča obalna območja. | Povečano tveganje in stroški varovanja obalnih območij pred ekstremnimi vremenskimi dogodki. |

| Področje | Učinki, povezani s spremembami temperature na svetovni ravni | Učinki ekstremnih dogodkov |
|-----------------------------|--|--|
| Industrija, naselja, družba | Zgoraj omenjeni pritiski se bodo odražali tudi v hitri urbanizaciji, industrializaciji in staranju nekaterih družb. Najranljivejše bodo tiste na poplavnih območjih, tiste, ki so odvisne predvsem od virov, neposredno vezanih na podnebne razmere, in tiste, ki so že sedaj revne. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Spremembe v povpraševanju po energiji. 2. Zmanjšana kakovost življenja zaradi toplotnih udarov, zlasti pri populaciji z manj ustreznimi stanovanjskimi razmerami. 3. Soočanje s poplavami, ki bodo posledica ekstremnih padavin. 4. Pomanjkanje vode zaradi suše. 5. Težave, povezane s tropskimi cikloni. 6. Povečani stroški zaradi varovanja obalnih območij, ogroženih zaradi dvigovanja morske gladine. |
| Učinki v najširšem smislu | Zmanjševanje obsega polarnega ledu in s tem dvig morske gladine. Splošne značilnosti morij in oceanov se bodo spremenile. | |

(Vir: Van Vuuren in sod., 2011, str. 5–31; prirejeno po IPCC, 2016)

Posledice podnebnih sprememb niso enakomerno razporejene po svetovnih regijah. Najbolj bodo prizadele revne države in prebivalce, ki najmanj prispevajo k emisijam toplogrednih plinov. Zgolj v nekaterih regijah višjih geografskih širin (Kanada, Rusija in Skandinavija) naj bi bili pozitivni učinki podnebnih sprememb prevladujoči, a le v primeru zmernega naraščanja temperatur (Stern, 2006). Podnebni scenariji za Evropo predvidevajo izrazito segrevanje do konca 21. stoletja, in sicer od 2,5 °C do 5,5 °C (Kajfež Bogataj, 2012, str. 90). Zime se bodo najbolj oglele na severu Evrope, poletja pa v južni in srednji Evropi. Letna količina padavin se bo povečala na severu in zmanjšala na jugu. Poletne padavine se bodo v Sredozemlju, pa tudi v zahodni in srednji Evropi, zmanjšale za 30–45 %. Podnebno pogojene nevarnosti in tveganja se bodo povečala (poplave, suše).

Regije v razvoju so navadno na območjih višjih temperatur in se že danes srečujejo s pomanjkanjem vode (in hrane) ter z večjo padavinsko variabilnostjo. Države v razvoju so močno odvisne od kmetijstva, ki je najbolj podnebno občutljiva gospodarska dejavnost. Zaradi pomanjkanja finančnih sredstev je njihova zmogljivost prilagajanja na podnebne spremembe zelo skromna, kar bo veljalo tudi za bližnjo prihodnost.

V globalnem podnebnem trikotniku ranljivost – odgovornost – zmogljivost (finančna, tehnološka) torej obstaja negativna korelacija med ranljivostjo in odgovornostjo, hkrati pa ima bogatejši sever bistveno večje zmogljivosti, da zmanjša emisije toplogrednih plinov (Fermann, 1997, str. 34). Navedena prostorska asimetrija bistveno vpliva na dejstvo, da industrijski in bogatejši sever (še) ni mobiliziral vseh zmogljivosti za zmanjšanje podnebnih sprememb. Hkrati imajo razvite države veliko primernejših virov za prilagajanje na podnebne spremembe, kar dodatno zmanjšuje njihovo zanimanje za radikalnejše zmanjševanje emisij toplogrednih plinov.

Pričakovane podnebne spremembe so značilen vir ogrožanja nacionalne in vse bolj tudi globalne varnosti. S pričakovanim povečanim pomanjkanjem vode, pogostejšimi poplavami in neurji, večjim pomanjkanjem hrane in podnebnimi begunci se bodo povečala krizna žarišča. Podnebne spremembe ne bodo povečale zgolj ekološkega tveganja za države, temveč bodo ogrožale tudi varnost posameznika, družbe in mednarodno varnost. Povzročile bodo politične, gospodarske, energetske, migracijske, socialne in zdravstveno-epidemiološke krize, v skrajnem primeru pa se lahko celo zgodi, da bodo sprožile vojaške posege. Podnebne spremembe se bodo torej verjetno samo še stopnjevale, če se zlasti v gospodarsko razvitih državah ne bomo hoteli odpovedati današnjemu pretirano potrošniškemu načinu življenja in če ne bomo so-omogočili nizkoogljičnega gospodarskega napredka v državah v razvoju.

1.4.1 Pričakovane posledice podnebnih projekcij za 21. stoletje v Sloveniji

Podnebne spremembe so postale globalni problem, strokovnjaki se strinjajo, da jih ne moremo preprečiti, treba pa je močno zmanjšati emisije toplogrednih plinov in se na podnebne spremembe prilagoditi (Die österreichische Strategie zur ..., 2013). Ob pričakovanim povečanju povprečne temperature za okoli 2 °C se je mogoče s sistemskimi ukrepi s posledicami podnebnih sprememb dokaj učinkovito spopasti in kar najbolj zmanjšati pričakovane negativne posledice.

Čeprav so trendi spreminjanja podnebja v zadnjih desetletjih jasni in značilni, je predvidevanje razvoja podnebja za več desetletij ali stoletje naprej zelo negotovo. Podnebje je kaotičen sistem, modeli, s katerimi simuliramo podnebni potek v prihodnosti, pa so za zdaj še premalo zanesljivi, posebej za lokalno in regionalno raven. Kljub temu so scenariji za podnebje v prihodnje ter z njimi povezane projekcije sprememb v naravnem in družbenem okolju upoštevanja vredni, saj omogočajo pripravo strategij prilagajanja na nenehno spreminjajoče se podnebje, da zaradi njega ne bi utrpeli pretirane škode.

Projekcije prihodnjih podnebnih sprememb so v geografsko in podnebno (Ogrin D., 1996; Ogrin D., Plut, 2009, Ogrin D. in sod. 2023) pestri Sloveniji še bolj negotove. Opozoriti je treba, da lokalni vplivi (zlasti zaradi reliefne razgibanosti) pogosto prevladujejo nad širšo vremensko situacijo, zlasti pri padavinskih razmerah. Z upoštevanjem sprememb v splošnem kroženju zraka in dosedanjih trendov podnebnih elementov pri nas je bilo potencialno stanje podnebja v prihodnosti izdelano tudi za Slovenijo (Bergant, 2003, 2007), nazadnje tudi z modelskimi simulacijami z več modelskimi povprečji simulacij različnih regionalnih podnebnih modelov, šestih za scenarije izpustov toplogrednih plinov RCP4.5 (zmerno optimističen in najbolj verjeten v 21. stoletju) in RCP8.5 (pesimističen) ter dveh za RCP2.6 (zelo optimističen) (Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja, 2018).

Rezultati simulacij za prihodnost predvidevajo znaten dvig povprečne letne temperature zraka do konca 21. stoletja na celotnem območju Slovenije v vseh letnih časih, s srednjim razponom od 1 do približno 4 °C, v primerjavi s primerjalnim obdobjem 1981–2010, odvisno od scenarija izpustov toplogrednih plinov. Ob koncu stoletja bo dvig temperatur pozimi izrazitejši od letnega povprečja,

najizraziteje v visokogorju in nižinah osrednje in vzhodne Slovenije. Dvig temperature bo močno povečal toplotno obremenitev poleti. Dni, ko temperatura zraka preseže 25 °C (topli dnevi), bo v bližnji prihodnosti približno 10 več kot v obdobju 1981–2010, prav tako bo v nižinskem delu države 5 do 10 več vročih dni (temperatura preseže 30 °C). Skladno z višjimi temperaturami se bo podaljšala rastna doba. Po zmerno optimističnem scenariju bo do konca 21. stoletja daljša za 19 do 26 dni, enakomerno na račun zgodnejšega nastopa pomladi in kasnejšega nastopa jeseni. V nasprotju s temperaturo so projekcije za spremembe padavin manj zanesljive, saj so te časovno in prostorsko bolj raznolike, ob tem pa Slovenija leži v prehodnem delu Evrope, kjer severno od nje pričakujemo povečanje padavin, južneje pa zmanjšanje. Še najbolj zanesljivo je do konca 21. stoletja pričakovati povečanje padavin pozimi. To pa ne pomeni povečane možnosti sneženja, saj se bo hkrati zvišala temperatura zraka. Povečali pa se bosta jakost in pogostost izjemnih padavin, še posebej v hladni polovici leta (Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja, 2018).



(Foto: Matej Ogrin, 2010)

Slika 1.5:

V zadnjih desetletjih se je povečala pogostost vodnih ujm, prihodnost na področju naravnih nesreč ni optimistična.

Projekcije intenzivnosti podnebnih sprememb kažejo, da občutljivost Evrope narašča od severa proti jugu, torej bo južna Evropa (in s tem Slovenija) bolj prizadeta (Kobold, Ulaga, 2010). Že vroče in precej suho podnebje južne Evrope naj bi postalo še toplejše in bolj suho. Slovenija zaradi geografskih, predvsem pa podnebnih značilnosti spada med bolj ogrožene države zaradi podnebnih sprememb (Cegnar, 2006; Ravnik, 2006). Vplivale bodo na ekosisteme, narodno gospodarstvo, vodno oskrbo, zdravje prebivalcev in njihovo blaginjo, pa tudi na povečanje vodnoekološke občutljivosti. Pričakovati je njihov vpliv zlasti na kmetijstvo, biotsko pestrost, vodni krog in obalni pas (dvig morske gladine), energetiko, turizem in promet. Ogrin D. (2003) opozarja, da se z višjimi temperaturami in zmanjševanjem padavin v zadnjih desetletjih nakazujeta submediteranizacija podnebja v osrednji Sloveniji in večja sušnost. Tudi podnebje severovzhodne Slovenije postaja toplejše in bolj sušno, jeseni pa toplejše in bolj vlažno (Ogrin D., 2009).

Ranljivost regij (NUTS 2) EU, povezana s podnebnimi spremembami, kaže na velike medregionalne razlike, najranljivejše pa so po strokovni oceni obalne, gorske, gosto naseljene urbane regije in regije, ki so izpostavljene rečnim poplavam (Climate change, impacts ..., 2012, str. 216). Mestna regija Ljubljane je bila glede na pričakovane podnebne spremembe uvrščena med poplavno najbolj ogrožene evropske urbane regije s potencialno velikimi družbenimi in ekonomskimi vplivi. Večina slovenskih regij je bila glede na skupni potencialni vpliv podnebnih sprememb (26 kazalcev) uvrščena v četrti, drugi najbolj ogroženi tip, Osrednja Slovenija, Zasavje in Spodnje Posavje pa v potencialno podnebno najbolj ogroženi tip s pričakovanimi velikimi negativnimi vplivi. Splošne zmogljivosti slovenskih regij (16 kazalcev), povezane s prilagajanjem podnebnim spremembam, so bile ocenjene kot zmerne ali visoke (2. in 3. razred). Po skupni potencialni ranljivosti na podnebne spremembe (rezultanta skupnih negativnih vplivov in splošne zmogljivosti) so bile slovenske statistične regije (12) uvrščene v naslednje tipe (Climate change, impacts ..., 2012):

1. visoka ranljivost (najbolj ranljivi tip): Osrednjeslovenska;
2. zmerna ranljivost: Pomurje, Zasavska, Posavska, Savinjska, Jugovzhodna Slovenija, Notranjsko-kraška in Obalno-kraška;
3. nižja ranljivost: Gorenjska, Goriška, Podravska in Koroška.

Lahko povzamemo, da se nekatere slovenske pokrajine kljub zemljepisni legi v srednjih širinah in z bogatimi vodnimi viri uvrščajo med zmerno do visoko podnebno ranljive. Zato so toliko bolj nujne skupna nacionalna strategija in sektorske ter regionalne strategije prilagajanja podnebnim spremembam.

Po mnenju Kajfež Bogatajeve (2012, str. 113) lahko v prihodnjih dvajsetih letih pričakujemo, da se bo povprečna letna temperatura v Sloveniji zvišala za 1 °C. V primeru nekoliko večje letne količine padavin (za 10 %) bo tudi ob predvidenih višjih temperaturah v večjih slovenskih porečjih dovolj vodnih virov, veliko zmanjšanje količine padavin in s tem povezano zmanjšanje odtokov (tudi zaradi večjega izhlapevanja) pa bi v številnih porečjih zlasti vzhodne Slovenije povzročilo bistveno povečanje sušnih območij, ki naj bi se razširila tudi v osrednji del Slovenije (preglednica 1.3). Če se bo letna količina padavin zmanjšala zgolj za 10 %, povprečna temperatura pa dvignila za 1 °C, se bo odtok vode npr. v že sušnem Pomurju (letna količina padavin je okoli 800 mm) zmanjšal za skoraj 70 %, v bolj mokrem Posočju (letna količina padavin je okoli 2500 mm) pa »le« za 17 %.

Preglednica 1.3: Ocene pričakovanih sprememb odtokov (v %) v porečjih Slovenije.

| Dvig temperature | +1 °C | +1 °C | +2,5 °C | +2,5 °C |
|-------------------|-------|-------|---------|---------|
| Spremembe padavin | +10 % | -10 % | +10 % | -10 % |
| Jadranske reke | 10 | -26 | -2 | -37 |
| Pomurje | 10 | -69 | -34 | -114 |
| Podravje | 10 | -33 | -7 | -50 |
| Posavje | 10 | -24 | 0 | -34 |
| Posočje | 10 | -17 | 4 | -23 |
| Pokolpje | 10 | -24 | -1 | -35 |

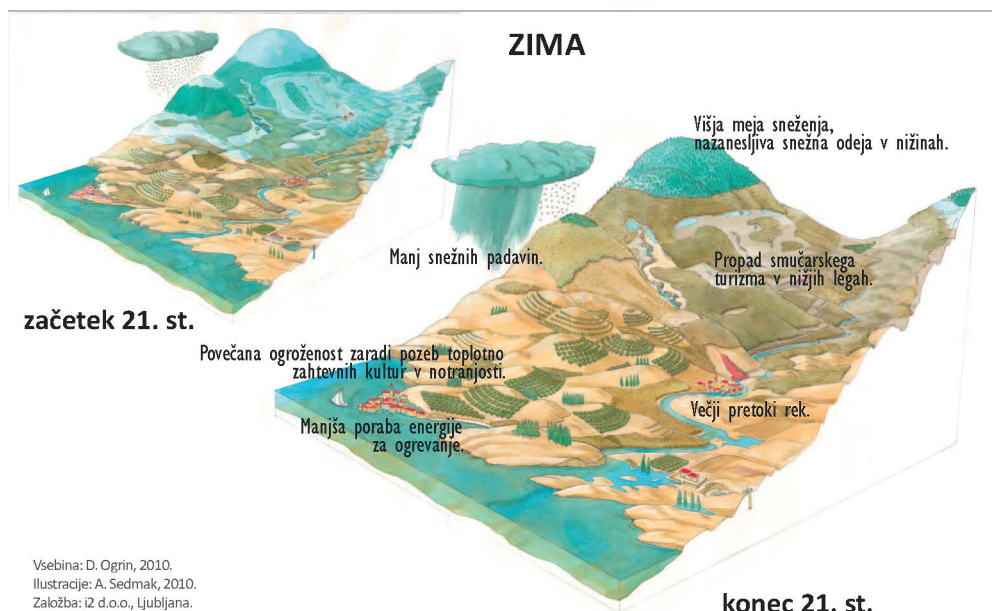
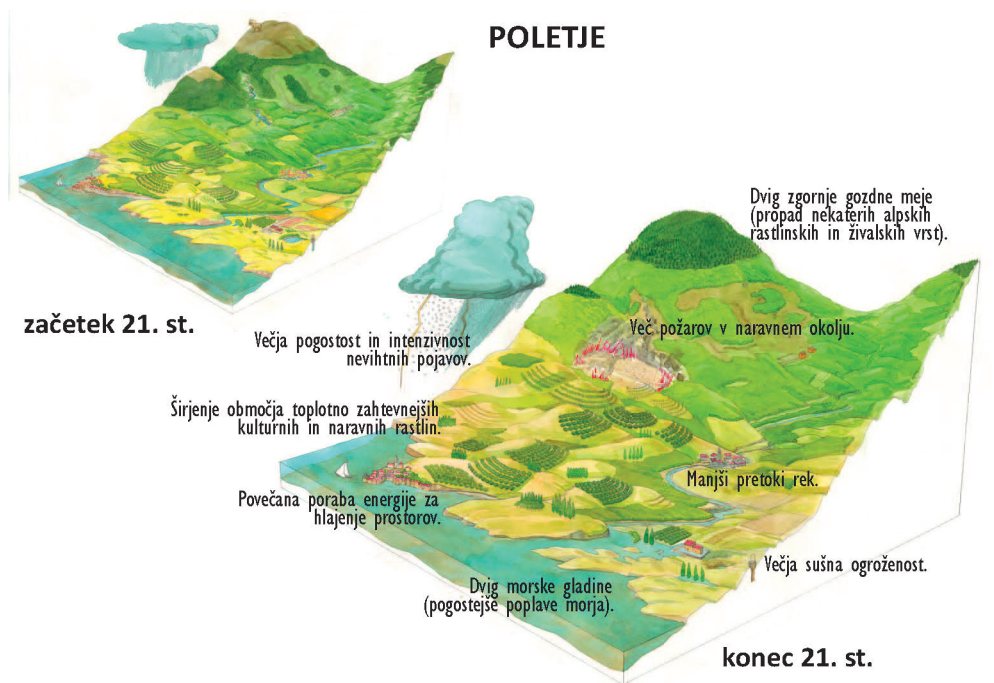
(Vir: Kajfež Bogataj, 2012, str. 113)

Simulacije kažejo, da bodo morebitne spremenjene podnebne razmere povzročile pomembne naravne in družbene spremembe, večinoma negativne (Kajfež Bogataj, 2001, 2012, 2014; Spremembe podnebja in kmetijstvo v Sloveniji, 2004; Cegnar in sod., 2006). V kmetijstvu bodo višje temperature predvidoma podaljšale vegetacijsko dobo (možnost večkratne setve) in izboljšale razmere za gojenje toplotno zahtevnih rastlin. V višjih predelih se bo povečal izbor kulturnih rastlin. Pozitivne učinke, kamor spada tudi morebitno povečanje pridelka zaradi gnojilnega učinka večje koncentracije CO₂, pa bodo najverjetneje izničili negativni učinki, predvsem večja ogroženost zaradi suše. Povečala se bo verjetnost vremenskih ujm vseh vrst, prišlo bo do sprememb pogostosti in intenzitete napadov škodljivcev in bolezni. Višje temperature in sušnejše razmere bodo prizadele tudi gozdove. Povečal se bo stres zaradi pomanjkanja vode, zaradi toplejših razmer se bo povečal pritisk že navzočih škodljivcev, večja bo požarna ogroženost gozdov, posebej v Obsredozemskih pokrajinah. Ocenjujejo, da bodo najbolj ogroženi umetno zasnovani iglasti gozdovi v nižjem svetu, ki sicer uspevajo v višjih in hladnejših predelih ter jih je človek po nižinah intenzivno širil zaradi ekonomskih koristi. Ogrožena bo tudi varovalna funkcija gozda na izpostavljenih rastiščih.

Zaradi toplejšega podnebja lahko pričakujemo pomik vegetacijskih pasov na višje nadmorske višine. To bo ogrozilo obstoj alpskih in subalpskih vrst, ogrožena bodo tudi rastišča hladoljubnih vrst, ki so se ponekod ohranila kot ostanek ledenih dob. Pričakujemo tudi siromašenje zastopanosti rastlinskih in živalskih vrst (nadpovprečne biotske pestrosti Slovenije), saj se marsikatera ne bodo mogle prilagoditi hitrim spremembam podnebja. Višje temperature in povečana evapotranspiracija bodo, tudi ob nespremenjenih padavinah, zmanjšale izdatnost izvirov in vodostaja v rečnem omrežju ter povzročile upadanje gladine podtalnice. To bo povečalo pritisk na vodotoke in zaradi manjše samočistilne sposobnosti voda poslabšalo pogoje za oskrbo z vodo. Modeli napovedujejo tudi večjo verjetnost intenzivnih padavin, kar bo o povečalo že tako visoko ogroženost zaradi poplav, posebej v Alpskih in Predalpskih pokrajinah. Katastrofalne poplave, do katerih je v preteklosti prihajalo v povprečju le enkrat na 50 let, se bodo kmalu pojavljale pogosteje, morda vsakih 20 let (Kajfež Bogataj, 2014). Če bomo hoteli v prihodnosti imeti nemoteno delovanje hidrološkega kroga, je treba vrniti prostor, ki ji pripada (zagotoviti moramo več prostora za vode) (Kajfež Bogataj, 2014), kar se je pokazalo tudi v avgustovskih poplavah 2023. Zaradi poplav bodo ogroženi nižje ležeči obalni predeli, saj se bo morska gladina, predvsem zaradi toplotnega raztezanja vode kot posledice višjih temperatur, dvignila. Zaradi dviga morske gladine (1 do 2 mm na leto) bodo poplavno ogrožene tudi soline in obalna turistična infrastruktura.

V gospodarstvu bodo imele napovedane podnebne spremembe pozitivne in negativne posledice. Zaradi višjih temperatur bo ogrevalna sezona krajša, toda sočasno se bo povečala poraba energije za hlajenje prostorov. Zaradi manjših pretokov se bo zmanjšala proizvodnja hidroenergije, povečani pretoki pozimi pa bodo omogočili večjo proizvodnjo v tem letnem času, ko je povpraševanje največje. Največji negativni učinki se napovedujejo zimskošportnemu turizmu, saj bo sezona krajša, zagotavljanje snežnih razmer pa negotovo (Vrtačnik Garbas, 2007, 2008; Ogrin M. in sod., 2011). Utegnejo pa pridobiti nekatere druge oblike turizma (turizem na kmetiji, zdraviliški kraji na višjih nadmorskih višinah), saj bo vse več ljudi bežalo pred večjo toplotno obremenitvijo v mestih in nižinah. Pridobiti utegne tudi kopalni turizem, saj bo topla sezona daljša. Bodo pa poletja bolj vroča, kar bo za določen del populacije neugodno.

Slika 1.6: Primer možnosti ozaveščanja in opozarjanja šolske mladine na različne posledice spreminjanja podnebja v pokrajini konec 21. stoletja v primerjavi s sedanjostjo s pomočjo stenskih slik.



Vsebina: D. Ogrin, 2010.
 Ilustracije: A. Sedmak, 2010.
 Založba: i2 d.o.o., Ljubljana.

(Prirejeno po: Ogrin D., 2010)

Viri in literatura

- Ahrens, C. D., 2000. *Meteorology today*. Minneapolis: West Publishing.
- Bavec, M., 2002. Podnebne spremembe v kvartarju. *Ujma*, 16, str. 246–249.
- Bergant, K., 2003. *Projekcije simulacij globalne klime na lokalni nivo in njihova uporaba v agrometeorologiji*. Doktorska disertacija. Ljubljana: Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani.
- Bergant, K., 2007. *Projekcije podnebnih sprememb za Slovenijo*. V: Jurc, M. (ur.). *Podnebne spremembe – vpliv na gozd in gozdarstvo*. *Studia Forestalia Slovenica*, 130, str. 67–86.
- Bertalanič, R., Demšar, M., Dolinar, M., Dvoršek, D., Nadbath, M., Pavčič, B., Roethel-Kovač, M., Vertačnik, G., Vičar, Z., 2010. *Spremenljivost podnebja v Sloveniji*. Ljubljana: Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje.
- Bistvene lastnosti in značilnosti morskih voda, 2013. Ljubljana: Ministrstvo za kmetijstvo in okolje Republike Slovenije. URL: http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/podrocja/voda/NUMO_Bistvene_lastnosti_morskega_okolja.pdf (citirano 15. 12. 2015).
- Bradley, R. S., Hughes, M. K., Diaz, F. H., 2003. *Climate in medieval time*. URL: <http://www.geo.umass.edu/faculty/bradley/bradley2003d.pdf> (citirano 10. 11. 2019).
- Brown, L., 2006. *Plan B 2.0 Rescuing a planet under stress and a civilisation in trouble*. New York: Earth Policy Institute.
- Cegnar, T., 2006. *Glavne značilnosti podnebnih razmer v Sloveniji z vidika podnebnih sprememb*. V: Cegnar, T., Mekinda Majaron, T., Nadbath, M., Dolinar, M., Vertačnik, G., Ovsenik-Jeglič, T., Bertalanič, R., Vičar, Z. (ur.). *Živeti s podnebnimi spremembami*. Ljubljana: Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje, str. 10–20.
- Cegnar, T., Mekinda Majaron, T., Nadbath, M., Dolinar, M., Vertačnik, G., Ovsenik-Jeglič, T., Bertalanič, R., Vičar, Z., 2006. *Živeti s podnebnimi spremembami*. Ljubljana: Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje.
- Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012. 2012. EEA Report 12/2012. Copenhagen: European Environment Agency. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/climate-impacts-and-vulnerability-2012> (citirano 1. 7. 2022).
- CO2-earth, 2022. *Numbers for living on Earth*. URL: <https://www.co2.earth> (citirano 1. 7. 2022).
- Črepinšek, Z., Zrnec, C., 2005. *Petinpetdeset let fenoloških opazovanj v Sloveniji, 1951–2005*. *Acta Agriculturae Slovenica*, 85, 2, str. 283–297.
- Dahl-Jensen, D., Mosegaard, K., Gundestrup, N., Clow, G. D., 1998. *Past temperatures directly from the Greenland ice sheet*. *Science*, 282, str. 271–295.

- Die österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel, 2013. Wien: Bundesministerium fuer Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. URL: Klimawandelanpassungsstrategie_Kontext_FINAL_25092013_online-Version(1).pdf (citirano 15. 12. 2015).
- Dunn, S., Flavin, C., 2002. Moving the climate change forward. V: State of the World 2002. New York: Worldwatch Institute, str. 32–54.
- EEA [European Environmental Agency], 2022. Global and European Temperatures. URL: <https://www.eea.europa.eu/ims/global-and-european-temperatures> (citirano 3. 7. 2022).
- Energy (r)evolution: A sustainable USA energy outlook. 2010. Greenpeace international, European Renewable Energy Council (EREC). URL: <http://www.greenpeace.org/usa/wp-content/uploads/legacy/Global/usa/planet3/PDFs/Energy-Revolution-2014.pdf> (citirano 2. 12. 2015).
- Fagan, B., 2005. The long summer. How climate changed civilisation. London: Granta Books.
- Fermann, G., 1997. Political context of climate change. V: Fermann, G. (ur.). International Politics of Climate Change. Oslo: Scandinavian University Press, str. 11–49.
- Flohn, H., Fantechi, R., 1984. The climate of Europe – Past, present and future. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company.
- Gams, I., 1998. Vreme, sončno obsevanje in temperature. V: Gams, I., Vrišer, I. (ur.). Geografija Slovenije. Ljubljana: Slovenska matica, str. 91–119.
- IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change], 2016. AR4 Climate change 2007. Synthesis report. URL: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm (citirano 7. 1. 2016).
- Kajfež Bogataj, L., 2001. Klimatske spremembe in njihove posledice – dejstva in predvidevanja. Gozdarski vestnik, 59, 4, str. 203–208.
- Kajfež Bogataj, L., 2012. Vroči novi svet. Ljubljana: Cankarjeva založba.
- Kajfež Bogataj, L., 2014. Planet Voda. Ljubljana: Cankarjeva založba.
- Keeling, C. D., Whorf, T. P., 2000. The 1800-year oceanic tidal cycle: a possible cause of rapid climate change. Proceedings of the National academy of science of the United states of America, 97, 4, str. 3814–3819.
- Kobold, M., Ulaga, F., 2010. Hidrološko stanje voda in podnebna spremenljivost. V: Cegnar, T. (ur.). Okolje se spreminja: Podnebna spremenljivost Slovenije in njen vpliv na vodno okolje. Ljubljana: Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje, str. 43–56.
- Komiyama, H., Kraines, H., 2008. Vision 2050 – Roadmap for the sustainable Earth. Tokio: Springer.

- Lamb, H. H., 1995. *Climate, history and the modern World*. London: Routledge.
- Lipej, L., Kerma, S., 2012. Stanje in ogroženost biodiverzitete slovenskega morja. V: Ogrin, D. (ur.). *Geografija stika Slovenske Istre in Tržaškega zaliva*. GeograFF 12. Ljubljana: Znanstvena založba Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani, str. 159–176.
- McLeman, R., 2014. *Climate and human migration. Past experiences, future challenges*. New York: Cambridge University Press.
- Methods and tools for adaptation to climate change, 2014. Vienna: Environment Agency Austria. URL: http://www.klimawandelanpassung.at/fileadmin/inhalte/kwa/pdfs/HANDBUCH_EN.pdf (citirano 12. 12. 2015).
- Middleton, N., 2003. *The global casino*. London: Arnold.
- NASA GIS, 2022. Spremembe globalne temperature zraka. URL: <https://earthobservatory.nasa.gov/world-change/global-temperatures> (citirano 4. 7. 2022).
- NOAA Earth System Research Laboratory, 2022. Koncentracija CO₂ v ozračju po letu 1960. URL: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/> (citirano 1. 7. 2022).
- Nunez, C., 2022. Sea level rise, explained. URL: <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/sea-level-rise-1> (citirano 28. 6. 2022).
- Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja. 2018. Ljubljana: Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje.
- Ogrin, D., 1995. Podnebje Slovenske Istre. *Annales* 11.
- Ogrin, D., 1996. Podnebni tipi v Sloveniji. *Geografski vestnik*, 68, str. 39–56.
- Ogrin, D., 2003. Spreminjanje temperature zraka in padavin po letnih časih v Ljubljani in Trstu v obdobju 1851–2002. *Dela*, 20, str. 115–131.
- Ogrin, D., 2005. Spreminjanje podnebja v holocenu. *Geografski vestnik*, 77, str. 57–66.
- Ogrin, D., 2009. Slabitev celinskih podnebnih značilnosti v zadnjih desetletjih. V: Kikec, T. (ur.). *Pomurje, geografski pogledi na pokrajino ob Muri*. Murska Sobota: Zveza geografov Slovenije in Društvo geografov Pomurja, str. 66–78.
- Ogrin, D., 2010. Podnebje se spreminja, stenske slike. Ljubljana: Založba i2.
- Ogrin, D., 2015. Long-term air temperature changes in Ljubljana (Slovenia) in comparison to Trieste (Italy) and Zagreb (Croatia). *Moravian geographical reports*, 23, 3, str. 17–26.
- Ogrin, D., Plut, D., 2009. *Aplikativna fizična geografija Slovenije*. Ljubljana: Znanstvena založba Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani.
- Ogrin, D., Repe, B., Svetlin, D., Štaut, L., Ogrin, M., 2023. Podnebna tipizacija Slovenije po podatkih za obdobje 1991–2020. *Dela*, 59 (v tisku).
- Ogrin, M., Ogrin, D., Rodman, N., Močnik, M., Vengar, R., Smolej, A., Bunčič, G., 2011. Climate change and the future of winter tourism in Slovenia. *Hrvatski geografski glasnik*, 73, 1, str. 215–228.

- Ravnik, M., 2006. Strateški ukrepi za zmanjšanje posledic klimatskih sprememb v Sloveniji. Pogovori o prihodnosti Slovenije 9. Ljubljana: Urad Predsednika Republike Slovenije, str. 91–97.
- Spremembe podnebja in kmetijstvo v Sloveniji. 2004. Ljubljana: Ministrstvo za okolje, prostor in energijo, Agencija Republike Slovenije za okolje.
- Statista, 2020. Annual carbon dioxide (CO₂) emissions worldwide from 1940 to 2023. URL: <https://www.statista.com/statistics/276629/global-co2-emissions/> (citirano 1. 8. 2020).
- Stern, N., 2006. The economics of climate change. London: British Government.
- Šifrer, M., 1963. Nova geomorfološka dognanja na Triglavu. Triglavski ledenik v letih 1954–1962. Geografski zbornik, 8, str. 157–210.
- Taylor, K. C., Mayevski, P. A., Alley, R. B., Brook, E. J., 1997. The holocene – younger dryas transition recorded at summit, Greenland. *Science*, 278, str. 825–827.
- U.S. Global Change. Sea level Rise 1880–2020. URL: <https://www.globalchange.gov/browse/indicators/global-sea-level-rise> (citirano 8. 11. 2022).
- Van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G. C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J. F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S. J., Rose, S. K., 2011. The representative concentration pathways: an overview. *Climate Change*, 109, 5, str. 5–31. DOI: 10.1007/s10584-011-0148-z.
- Vrtačnik Garbas, K., 2007. The potential influences of climate change on tourist demand in winter sport centres in Slovenia. V: Matzarakis, A. (ur.). *Developments in tourism climatology*. Commission on Climate, Tourism and Recreation. Freiburg: International Society of Biometeorology, str. 199–206.
- Vrtačnik Garbas, K., 2008. Klimatske spremembe: poguba ali priložnost za zimsko–športna središča v Sloveniji? *Geografski obzornik*, 55, 1–2, str. 25–31.
- Worldometers, 2022. CO2 Emissions by Country. URL: <https://www.worldometers.info/co2-emissions/co2-emissions-by-country/> (citirano 1. 7. 2022).
- Yamin, F., Depledge J., 2004. The international climate change regime. Cambridge: Cambridge University Press.
- Žiberna, I., 2011. Trendi temperatur, višine padavin in vodne bilance v Mariboru v obdobju 1876–2010. *Revija za geografijo*, 6, 1, str. 23–31.