

## Vremenski vzorci: Pogled na dvajsetletni intenziven monitoring gozdnih ekosistemov

*Evolving weather patterns: A 20-year project monitoring perspective*

Saša ŠERCER<sup>1</sup>

### Izvleček:

Podnebne spremembe spadajo med največje izzive zdajšnjega časa s temperaturami zraka, ki se v zadnjih letih pospešeno višajo. Svetovni trend kaže višanje za 0,15 do 0,2 °C v desetletju, pri čemer se Evropa segreva dvakrat hitreje od svetovnega povprečja. Intenziven monitoring Gozdarskega inštituta Slovenije, ki poteka že dvajset let, je razkril, da se je povprečna temperatura zraka zvišala na vseh desetih merilnih postajah. Največje višanje smo zaznali na postajah Fondek (2,05 °C) in Borovec (1,88 °C), najmanjše pa pri Murski šumi (0,32 °C) in Gropajskih borih (0,55 °C).

Glede padavin smo opazili vse pogostejše dnevne ekstreme. Zabeležili smo tudi manjšo količino padavin v spomladanskih in začetnih poletnih mesecih ter povečano v jesenskem obdobju. Čeprav je obdobje dvajsetih let razmeroma kratko za dolgoročne trende, je nadaljnji monitoring izjemno pomemben. Tako bomo lahko bolje razumeli, kako se bodo spreminjale temperature, padavine in drugi vremenski vzorci.

**Ključne besede:** meteorologija, intenzivni monitoring, podnebne spremembe, temperatura zraka, padavine, gozdna mikroklima

### Abstract:

Climatic changes with fast-increasing air temperatures are one of the greatest challenges of the present time. The world trend shows an increase of 0.15 to 0.2 °C per decade, whereby Europe is warming up twice as fast as the world average. The intensive monitoring by the Slovenian Forestry Institute running for 20 years disclosed that the mean air temperature has increased at all 10 measuring stations. The highest increase was detected at the stations Fondek (2.05 °C) and Borovec (1.88 °C), and the lowest at Murska šuma (0.32 °C) and Gropajski bori (0.55 °C).

Regarding the precipitation, we noticed increasingly frequent daily extremes. We also recorded a lower amount of precipitation in the spring and early summer months and an increased amount of precipitation in the autumn. Despite 20 years being relatively short for long-term trends, further monitoring is of utmost importance. Thus, we will be able to have a better understanding of the way temperatures, precipitation, and other weather patterns will change.

**Key words:** meteorology, intensive monitoring, climatic changes, air temperature, precipitations, forest microclimate

## 1 UVOD

### 1 INTRODUCTION

V svetovnem merilu že več let opozarjajo, da povprečne temperature zraka kažejo trend pospešenega višanja, in sicer se sedaj dvigujejo za 0,15 do 0,2 °C v desetletju. Zlasti zaskrbljujoče je stanje v Evropi, ki se segreva dvakrat hitreje kot svetovno povprečje. Na določenih območjih Evrope, še posebno na severu, v višjih predelih in na vzhodu Evrope, se je temperatura dvignila tudi za 2 °C v primerjavi z predindustrijskim obdobjem (European Environment Agency, 2023; Samborska, 2024).

Podatki Agencije Republike Slovenije za okolje (v nadaljevanju ARSO) kažejo, da se Slovenija segreva povprečno za 0,3 °C v desetletju, pri čemer se najbolj segrevata pomladansko in poletno obdobje, in sicer za 0,5 °C v desetletju. Analize ARSO razkrivajo tudi hitrejše segrevanje vzhodnega dela Slovenije v primerjavi z zahodnim (Vertačnik, 2018). Gozdarski inštitut Slovenije ima postavljenih deset meteoroloških postaj na prostem (zunaj gozdnega prostora), s katerimi spremljamo meteorološke trende različnih mikroklim v Sloveniji.

<sup>1</sup> S. Š., Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za gozdno ekologijo. Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija

## 2 ZGODOVINA MERITEV NA GOZDARSKEM INŠTITUTU SLOVENIJE

### 2 HISTORY OF MEASUREMENTS AT THE FORESTRY INSTITUTE OF SLOVENIA

Gozdarski inštitut Slovenije opravlja meritve temperatur zraka na desetih ploskvah level II. Čeprav so bile ploskve izbrane in postavljene že pred letom 2004, sprva na njih nismo postavljali meteoroloških postaj. Po prvotnih načrtih naj bi namreč te podatke pridobivali od okoliških meteoroloških postaj, ki so pod nadzorom ARSO. Ker pa so postaje ARSO od nekaterih naših raziskovalnih ploskev postavljene precej stran (kar lahko povzroči nepravilnosti pri rezultatih), smo se leta 2007 odločili, da bomo na vseh desetih ploskvah postavili meteorološke postaje na prostem. Na vsaki ploskvi imamo merilne inštrumente za spremljanje različnih meteoroloških parametrov: temperature zraka (na višini 2 m nad tlemi), relativno zračno vlago (na višini 2 m nad tlemi), globalno sevanje (na višini 10 m nad tlemi), hitrost in smer vetra (na višini 10 m nad tlemi) ter količino padavin (na višini 2 m nad tlemi). Poleg tega na meteoroloških postajah merimo tudi temperaturo tal v 2, 10 in 30 cm globine. Vse parametre merimo v tridesetminutnih intervalih.

Meteorološke postaje so bile dejansko postavljene šele leta 2009, ko so bila zagotovljena sredstva za nakup in vzpostavitev postaj v okviru projekta FutMon. Sprva smo podatke zbirali ročno, pri čemer je moral tehnični sodelavec na terenu menjavati spominske kartice vsaka dva meseca. Projekt FutMon se je končal 30. junija 2011, z zmanjšanimi sredstvi za monitoring in popravilo postaj pa smo uspeli ohranjati delujoče postaje do sredine leta 2015. Zaradi pomanjkanja sredstev podatkov nismo zbirali od leta 2015 do leta 2018. Leta 2018 smo spremenili način zbiranja podatkov, tako da jih avtomatsko pošiljajo na strežnik. To sedaj omogoča spremljanje stanja naprav in meteoroloških podatkov v realnem času.

## 3 REZULTATI

### 3 RESULTS

Zaradi dejstva, da so bile naše meteorološke postaje postavljene proti koncu leta 2009, smo naleteli na izziv pomanjkanja ustrezne zbirke podatkov za obdobje med letoma 2004 in 2009. Zato smo podatke pridobili od obstoječih postaj ARSO, ki so nameščene v bližini naših ploskev. Kljub temu smo se v začetnih letih delovanja, zlasti v obdobju do leta 2007, srečevali s pomanjkanjem podatkov za določene postaje. Posledično smo bili za postaji Fondek in Lontovž omejeni na prikazovanje trendov temperature zraka in padavin le od leta 2007 naprej. Pomembno je tudi omeniti, da se je ime postaje Kladjje leta 2010 spremenilo v Tratice. Kljub spremembam pri lokacijah ploskev za druge meritve je meteorološka postaja ostala na istem mestu. Posledično so meteorološki podatki navedeni kontinuirano, kljub spremembi imen postaj.

Naša analiza podnebnih trendov v Sloveniji kaže na višanje povprečnih temperatur zraka v zadnjih dveh desetletjih, kar je v skladu s splošnimi globalnimi trendi. Največje višanje temperature zraka v dvajsetletnem monitoringu je bilo zabeleženo na postajah Krucmanove konte (1,72 °C), Fondek (2,05 °C), Brdo (1,28 °C), Borovec (1,88 °C) in Lontovž (1,24 °C) (slika 1 in slika 2). Pri tem je treba poudariti, da se podnebne razmere v Sloveniji zelo razlikujejo med posameznimi regijami, kar je predvsem posledica geografskih dejavnikov, kot so relief, bližina vode (podtalnica, reke, jezera, morje) in raznolika vegetacija. Tako lahko na eni postaji opazimo večje višanje temperature zraka, medtem ko na drugi višanje ni tako izrazito. Dober primer je postaja Murska šuma (slika 2), kjer se je v zadnjih dvajsetih letih povprečna temperatura dvignila le za 0,32 °C, kar pa je lahko posledica visoke količine podtalnice.

Glede na količino padavin opazamo različno stanje med postajami. Na nekaterih opazamo večanje količine padavin, kot so na primer Krucmanove konte, Lontovž in Brdo, medtem ko smo pri drugih postajah zaznali zmanjševanje. Pri tem je najbolj prizadeta postaja Fondek z zmanjševanjem padavin za 2,66 % na leto.

Glede vetra podatki kažejo, da se je le-ta zelo povečal v obdobju po letu 2014, predvsem

zaradi ekstremnih pojavov, kot so žled, prisotnost smrekovega lubadarja v smrekovih gozdovih in posledično redkejši sestoji. Na vseh postajah, z rahlimi izjemami (Gropajski bori, Murska šuma), se je hitrost vetra eksponentno povečevala od leta 2014 do 2018 in se nato postopno zmanjševala do leta 2021. Trenutno se hitrost vetra postopno povečuje na vseh lokacijah postaj, razen v Gropajskih borih, kjer se postopno zmanjšuje. Največji sunki vetra se na vseh postajah zmanjšujejo, posledično se manjša razlika med največjimi sunki in povprečno hitrostjo vetra.

#### 4 PRIMERJAVA LET 2022 IN 2023

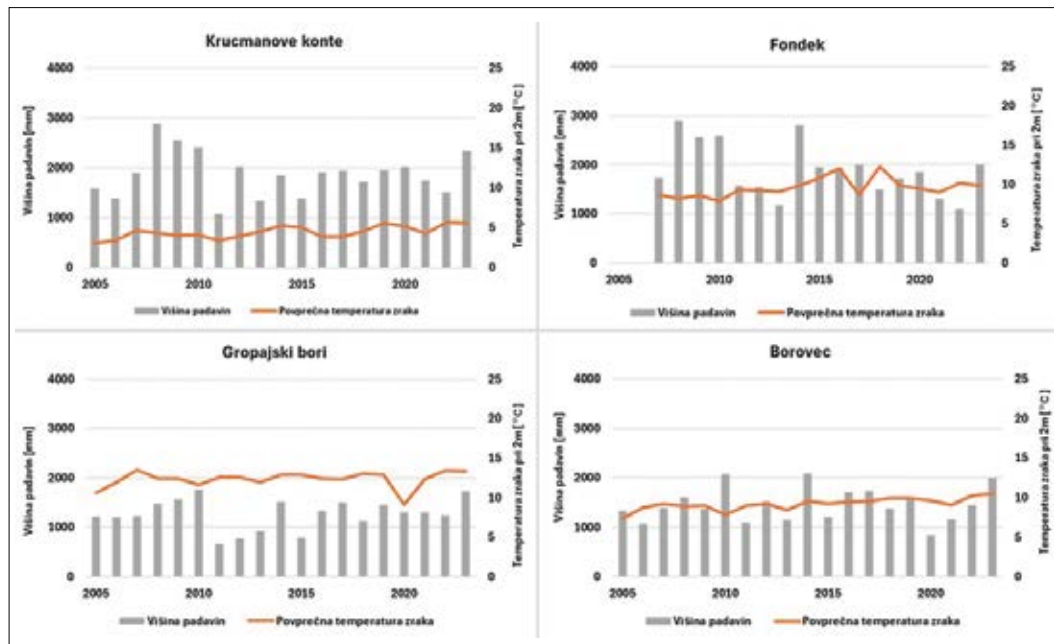
#### 4 COMPARING 2022 AND 2023

Za podrobnejšo analizo vremenskih razmer smo se odločili primerjati podatke znotraj leta, saj tak pristop omogoča boljše razumevanje ekstremnih dogodkov, ki se ne odražajo jasno na letni ravni. Za primerjavo med letoma 2022 in 2023 smo se odločili zaradi izrazitih razlik v vremenskih raz-

merah med obema letoma. Čeprav je leto 2022 splošno znano kot »sušno« leto, medtem ko leto 2023 velja za »mokro«, razlike niso tako očitne, če upoštevamo samo letne podatke.

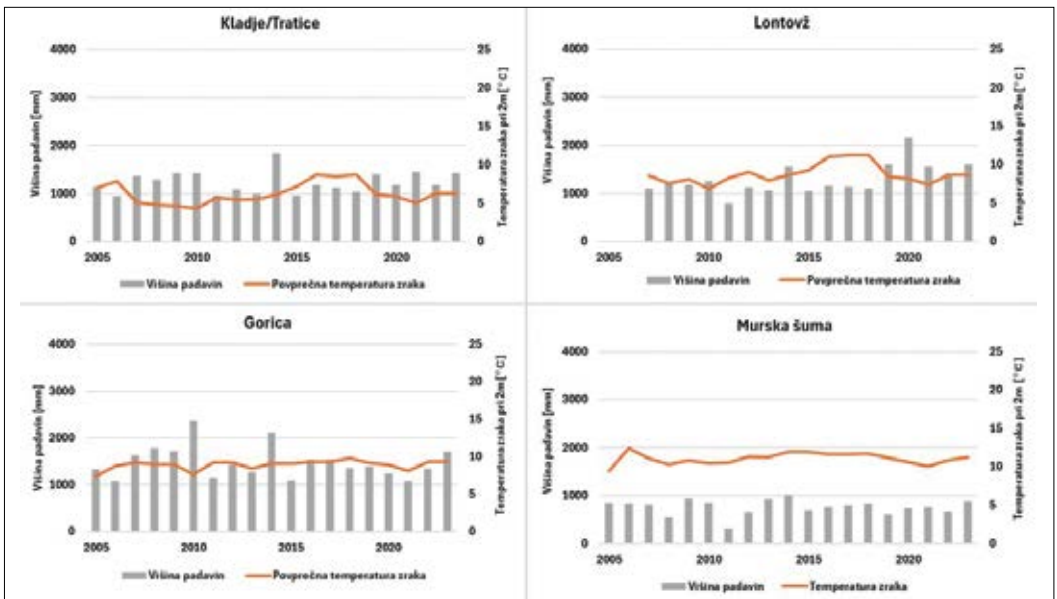
Glede na letno raven je bilo leto 2022 povprečno leto, v katerem ni zaznani pomanjkanja padavin. Vendar pa je do druge polovice avgusta na nekaterih postajah zapadlo tudi 50 mm več padavin na mesec. Zelo se je povečala tudi količina padavin od septembra do decembra 2022, predvsem v septembru, ko je v povprečju padlo 300 do 400 mm padavin. Leto 2022 je bilo bolj »suho« vse do konca avgusta (v času rastne sezone), od septembra naprej pa se je količina padavin povečala (slika 3).

Leto 2023 velja za leto s pogostimi padavinami, vendar letni podatki ne kažejo izrazitega odstopanja od povprečja. Znotraj leta so bile padavine vse do konca julija na večini postaj večje od 100 mm na mesec. Padavine so se zelo povečale avgusta, kar je privedlo do rekordnih poplav v severnem in osrednjem delu Slovenije (Slika 4).



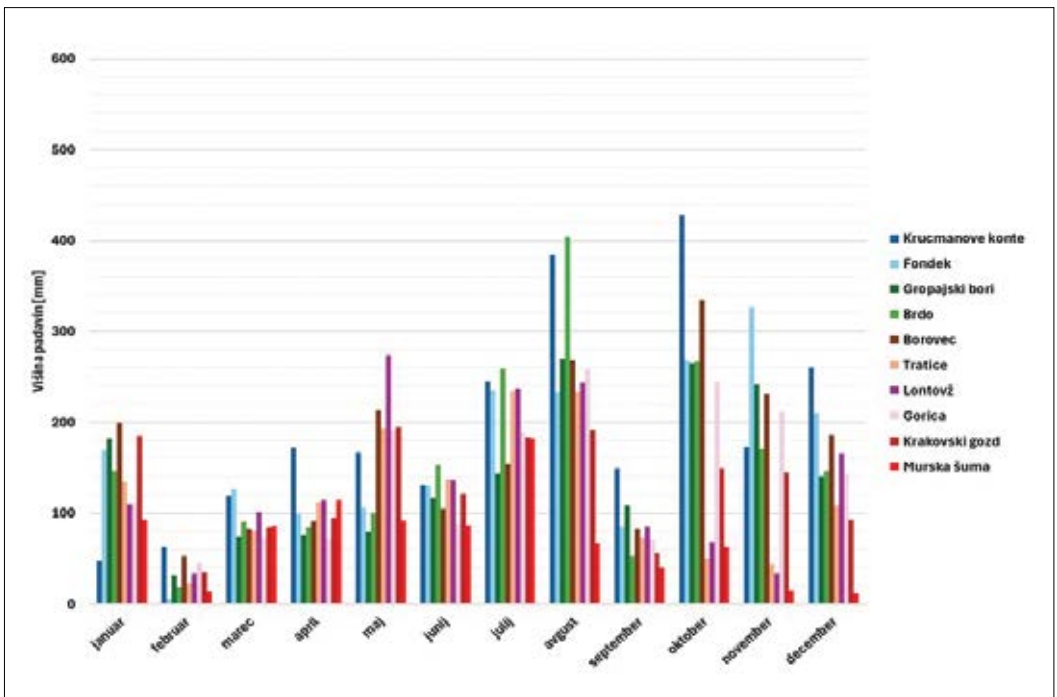
Slika 1: Prikaz gibanja povprečne temperature zraka (oranžna) in padavin (siva) za postaje Krucmanove konte, Fondek, Gropajski bori in Borovec.

Figure 1: Average air temperature (orange) and precipitation (gray) over the years for the stations Krucmanove konte, Fondek, Gropajski bori, and Borovec.



Slika 2: Prikaz gibanja povprečne temperature zraka (oranžna) in padavin (siva) za postaje Kladje/Tratice, Lontovž, Gorica in Murska šuma.

Figure 2: Average air temperature (orange) and precipitation (gray) over the years for the stations Kladje/Tratice, Lontovž, Gorica, and Murska šuma.



Slika 3: Prikaz mesečne količine padavin za leto 2022.

Figure 3: Monthly precipitation for the year 2022.

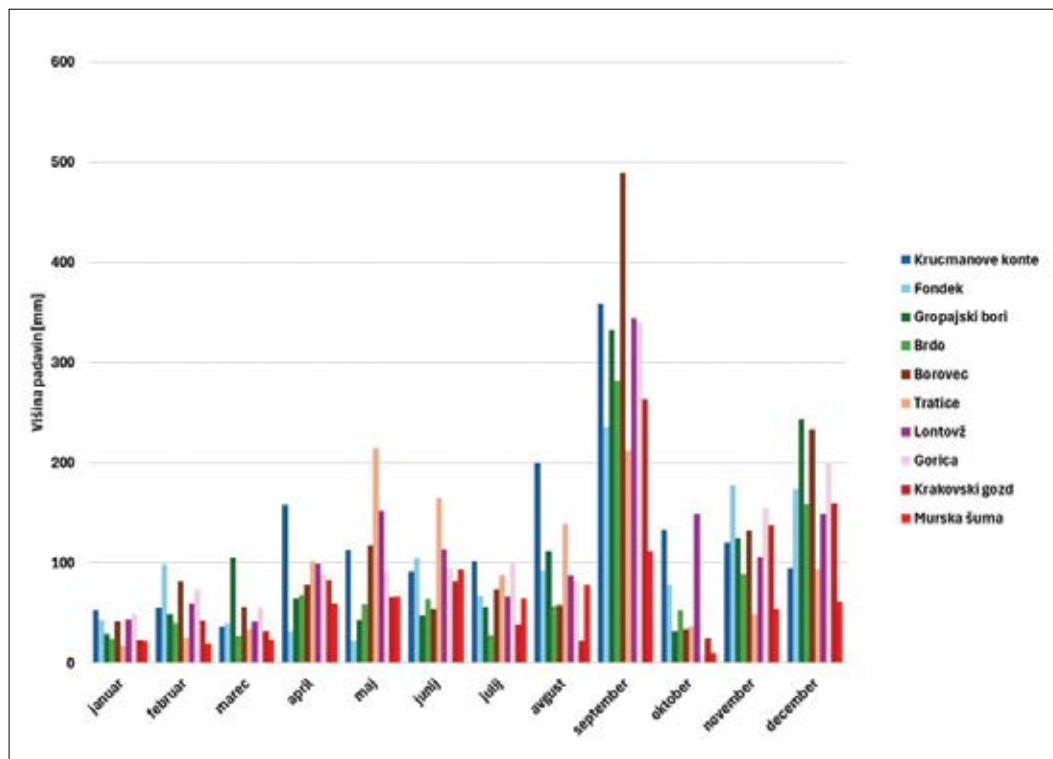
Iz analize je razvidno, da je bila leta 2022 zabeležena manjša količina padavin predvsem v ključnem obdobju rastle sezone, ki je z vidika rasti rastlin tudi najpomembnejša. Če bi se trend nadaljeval, bi bilo pomanjkanje padavin v letu 2022 opazno tudi na letni ravni. Podobno je bilo v letu 2023, ko je bila količina padavin konstantna, vendar z več deževnimi dnevi in manjšimi količinami padavin (z izjemo avgusta 2023).

Čeprav letni podatki ne kažejo izrazitih odstopanj ali ekstremov, je bilo leto 2023, glede padavin, vendarle nad povprečjem. S tem želimo poudariti, da odsotnost izrazitih odstopanj v letnih podatkih ne pomeni, da ekstremov ni bilo znotraj določenega leta. Zato je ključno, da pri analizi meteoroloških podatkov upoštevamo več vidikov in si tako ustvarimo celostno sliko meteoroloških dogajanj v določenem obdobju.

## 5 ZAKLJUČEK

## 5 CONCLUSION

Intenziven monitoring spremljanja meteoroloških parametrov na različnih območjih, nadmorskih višinah in rastiščih je pomemben zaradi presoje vplivov podnebnih sprememb na gozdne ekosisteme. Zelo pomembna je tudi časovna komponenta spremljanj, saj o spremembah ne moremo sklepati na podlagi le nekajletnih opazovanj. Glede na rezultate naših meritev ugotavljamo, da je višanje povprečne temperature zraka opazno na vseh naših meteoroloških postajah, pri čemer so se povprečne temperature zraka v zadnjih dvajsetih letih zvišale od 0,32 °C v Murski šumi do 2,05 °C na Fondku. Na stopnjo segrevanja za posamezno postajo vpliva mikroklima postaje, na katero vpliva lega, nadmorska višina, tip tal, prisotnost podtalnice itn. Na podlagi meritev iz naših desetih meteoroloških postaj ne moremo natančno ugotoviti, ali se določeni deli Slovenije



Slika 4: Prikaz mesečne količine padavin za leto 2023.  
Figure 4: Monthly precipitation for the year 2023.

segrevajo intenzivneje kot drugi, nedvomno pa nastaja splošno segrevanje, pri čemer so nekateri kraji bolj prizadeti kot drugi.

Višanje povprečne temperature zraka pa ni edini pokazatelj podnebnih sprememb, ampak na to vplivajo tudi padavine, zimske razmere in pogostost naravnih nesreč, kot so žled, poplave in požari. Zato je nujno, da redno spremljamo meteorološke podatke in beležimo ekstremne dogodke, kar je podlaga za boljše razumevanje sprememb in prilagajanje nanje.

## 6 ZAHVALA

## 6 ACKNOWLEDGEMENTS

Zahvaljujemo se vsem nekdanjim in trenutnim skrbnikom ploskev, zaposlenih na Zavodu za gozdove Slovenije, ki redno preverjajo delovanje naprav na terenu in nas obveščajo o morebitnih nepravilnostih. Zahvaljujemo se tudi vsem tehničnim sodelavcem Gozdarskega inštituta Slovenije za vzpostavitev in vzdrževanje meteoroloških postaj in seveda vsem, ki so kakor koli prispevali k vzpostavitvi in izvajanju intenzivnega monitoringa gozdnih ekosistemov. Program je deloma potekal v okviru pripravljalnega projekta eLTER faze (eLTER PPP), projekta eLTER Advanced Community Project (eLTER PLUS) in projekta Razvoj raziskovalne infrastrukture za mednarodno konkurenčnost slovenskega RRI prostora - RI-SI-LifeWatch, ki ga financirajo Republika Slovenija, Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport ter Evropska unija iz Evropskega regionalnega Evropskega sklada za regionalni razvoj.

## 7 VIRI

## 7 REFERENCES

- European Environment Agency. 2023. Global and European temperatures. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/global-and-european-temperatures> (8. 5. 2024)
- Samborska V. 2024. How much have temperatures risen in countries across the world?. <https://ourworldindata.org/temperature-anomaly> (7. 5. 2024)
- Vertačnik G., Bertalančič R., Draksier A., Dolinar M., Vlahovič Ž., Frantar P. 2018. Podnebna spremenljivost Slovenije v obdobju 1961–2011: Povzetek. [https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/PSSbrosura\\_spread\\_SLO.pdf](https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/PSSbrosura_spread_SLO.pdf) (8. 5. 2024)
- Raspe S., Fleck S., Beuker E., Preuhsler T., Bastrup-Birk A. 2020. Meteorological Measurements. Version 2020-1. V: UNECE ICP Forests, Programme Co-ordinating Centre (ur.): Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Thünen Institute of Forest Ecosystems, Eberswalde, Germany, 18 str. + Annex <http://www.icp-forests.org/manual.htm>