

ARHEOLOGIJA OKOLJA (1) - Študijsko gradivo za študente 3. letnika arheologije
Oddelek za arheologijo, Filozofska fakulteta, Univerza v Ljubljani

dr. Maja Andrič, ZRC SAZU, Inštitut za arheologijo, Novi trg 2, 1000 Ljubljana
maja.andric@zrc-sazu.si, tel. (01) 4706 434

Ljubljana, 25.4.2019

OSNOVE EKOLOGIJE RASTLIN IN FITOGEOGRAFIJE. PALEOKLIMATOLOGIJA.

Osnove ekologije rastlin in fitogeografije

- ekologija rastišča in ekološki dejavniki
- konkurenčni odnosi med rastlinami
- ekološki vs. fiziološki optimum

Ekologija rastlin je veda, ki se ukvarja z vplivom abiotičnih dejavnikov (kot so temperatura, svetloba in vlažnost) na rastline. Življenjske procese proučuje v naravnem okolju; tam pa je poleg abiotičnih dejavnikov pomembna tudi konkurenca med rastlinami – njihova medsebojna borba za prostor, svetlobo, vodo, mineralne snovi. V rastlinskih združbah je pri konkurenčno močnih vrstah ekološki optimum rastline enak fiziološkemu, le amplituda se zoži. Rastline torej uspevajo tam, kjer jim to, glede na njihove fiziološke potrebe, omogočajo abiotični dejavniki. V optimalnih življenjskih razmerah le, če ne naletijo na konkurenčno močnejšo rastlinsko vrsto, ki bi jih iz tega optimalnega življenjskega prostora izrivala. Konkurenčno šibke vrste so izrinjene v manj optimalno okolje (presuho, prevlažno, prekislo, prehladno,...).

Primarni ekološki dejavniki: sončno sevanje, temperatura, vlažnost, kemijski in mehanski dejavniki. Sekundarni ekološki dejavniki: klimatski, orografski, edafski, biotski. Abiotični dejavniki vplivajo na značilnosti vegetacije kot je n. pr. gozdna meja, t.j. meja do določene nadmorske višine ali geografske širine do katere še uspeva gozd. Glede na način prilagoditve na neugodne življenjske razmere ločimo pet skupin rastlin: fanerofite, hamefite, hemikriptofite, geofite in terofite. Klima je eden najpomembnejših abiotičnih dejavnikov – vpliva na ekofiziološke procese v rastlinah in določa njihovo razširjenost, ki je omejena s temperaturo, količino padavin in dolžino rastne sezone. Na globalnem nivoju rastlinski biomi sovpadajo s klimatskimi pasovi. V zmerno toplem pasu so razmere za rast gozda ugodne – gozd ne uspeva samo tam, kjer je klima presuha ali edafske razmere prevlažne, rastna sezona prekratka ali človekov vpliv na okolje premočan.

Fitogeografija je veda, ki proučuje današnjo in nekdanjo razširjenost posameznih rastlinskih taksonov. Njihova razširjenost je omejena s temperaturo, količino padavin in dolžino rastne sezone. Površina, ki jo pokriva posamezni takson se imenuje areal. Poznamo dve osnovni fitogeografski delitvi Evrope. Braun-Blanquetova delitev temelji na vegetaciji (=različnih rastlinskih združbah), Meuselova pa na posameznih taksonih. Wraber (1969) je Slovenijo razdelil na šest fitogeografskih regij: alpska, predalpska, dinarska, preddinarska, submediteranska in subpanonska fitogeografska regija.

Paleoklimatologija

Globalna klima na Zemlji je odvisna od sprememb v geometriji Zemeljske orbite in osi, tektonike zemeljskih plošč, vulkanizma in sprememb v razporeditvi morja in kopnega. Količina sončnega sevanja, ki je dosegla Zemljo v preteklosti, je bila odvisna od orbitalnih parametrov Zemlje (nagnjenost zemeljske osi, oddaljenost od Sonca). Orbitalni parametri se spreminjajo ciklično in vplivajo na izmenjavanje ledenih in medledenih dob na Zemlji, te cikle (96.000, 41.000 in 22.000 let) lahko opazujemo v paleoekološkem zapisu v globokomorskih sedimentih in grenlandskem ledu. Temperatura namreč vpliva na kemično sestavo ozračja in oceanov (razmerje kisikovih izotopov $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) v nekdanjih morjih, sedimentu in morskih organizmih, ki te atome vgrajujejo v svoje ogrodje.

Paleoklimatološke raziskave torej vključujejo analizo astronomskih (orbitalnih) parametrov ter multidisciplinarne raziskave paleoekoloških arhivov, ki jih lahko razdelimo v tri skupine: 1. Ledeniki (Grenlandija, Antarktika), 2. Globokomorski sedimenti (Atlantik), 3. Kopenski arhivi (jezera, šotišča, jame, drevesa, arheološka najdišča). Najbolj znane so kemične analize in meritve stabilnih izotopov grenlandskega ledu in severno atlantskega globokomorskega sedimenta, ki so pokazale, da je bilo podnebje zadnje ledene dobe (zadnjih pribl. 100.000 let) zelo nestabilno, z obdobji postopne (2-3 tisočletja) ohladitve, ki so se končale z najhladnejšimi fazami (t.i. Dansgaard-Oeschgerjevi dogodki). Tem je vsakič sledilo hitro (v desetletjih) segrevanje ozračja. Po zadnji otoplitvi na prehodu poznega glaciala v holocen (pred pribl. 11.700 leti) večjih nihanj holocenskega podnebja ni bilo.

Temperatura na območju Grenlandija in severnega Atlantika je bila med holocenskim klimatskim optimumom (8000–5000 BP) za 2–3°C toplejša kot danes, zadnjih 5000 let pa se je postopno ohlajala. Ta splošen trend so občasno pretrgala krajša hladna obdobja, ko so se ledene gore z območja severno od Islandije razširile na jug, vse do Velike Britanije, in s seboj nosile koščke kamenja in vulkanskega stekla z Islandije ('ice-rafted debris events' = IRD oz. 'Bondovi dogodki'), alpski ledeniki so napredovali, podnebje pa je postalo hladnejše in vlažnejše. Ta hladna obdobja se pojavljajo v neenakomernih, t.i. tisočletnih ciklih (vsakih ca. 1470 ± 500 let), datirana so ca. 9300, 8200, 6300, 4700, 2700, 1550 in 550 cal. BP. Razlike med posameznimi arhivi in regijami so lahko posledica razhajanj v kronologiji ali pa (še zlasti v drugi polovici holocena) vse večjih medregionalnih razlik.

Palinološke paleoklimatske rekonstrukcije temeljijo na analogijah med današnjim in nekdanjim rastlinstvom. Rastlinstvo se odziva na podnebna nihanja, vendar na razvoj rastlin vpliva še veliko drugih dejavnikov, zato je treba upoštevati, da: vegetacija ni nujno vedno v ravnovesju z regionalnim podnebjem, konkurenčni odnosi med vrstami so bili v nekdanjih združbah (za katere pogosto nimamo modernih analogij) lahko drugačni kot danes, pomembni so še tipi tal, motnje v pokrajini, vpliv škodljivcev, rastlinojedih živali in človeka. Človekov vpliv na vegetacijo je (bil) v nekaterih obdobjih in geografskih območjih lahko pomembnejši kot podnebje. Veliko rekonstrukcij paleoklime narejenih le za hladnejša obdobja in S Evropo, kjer (ko) so bile nizke T zelo omejujoč dejavnik za rast rastlin, človekov vpliv na okolje pa manj intenziven kot drugje v Evropi. Nekaj primerov: Andrič et al. 2016, 227–230.

Časovne skale

Preberi poglavje II/Uvod (129–132) v učbeniku Andrič et al. 2016 in odgovori na sledeča vprašanja: Katere so najpogostejše metode za določanje starosti v paleoekologiji in arheologiji? Katere časovne skale uporabljamo? Kaj pomenijo oznake cal. BC, cal. BP, kakšna je razlika v časovnih skalah, ki

uporabljajo za štetje časa leta pr. n. št./n. št. oz. pred sedanostjo? Kako natančno je določanje starosti paleoekološkega zapisa s pomočjo radiokarbonskega (C14) datiranja in katere podatke moramo navajati ob objavi rezultatov? Kakšni vzorci so primerni za C14 datiranje, kaj so prednosti in pomanjkljivosti te metode in katere metode določanja starosti še poznamo?

Osnovna literatura

OSNOVE EKOLOGIJE RASTLIN IN FITOGEOGRAFIJE

Bannister, P. 1976. *Introduction to Physiological Plant Ecology*. Oxford, Blackwell.

Davis, M. B. in Botkin, D. B. 1985. Sensitivity of Cool-Temperate Forests and Their Fossil Pollen Record to Rapid Temperature Change. *Quaternary Research* 23, 327-340.

Ellenberg, H. 1988. *Vegetation Ecology of Central Europe*. Fourth Edition. Cambridge: Cambridge University Press.

Glenn-Lewin D. C., Peet R. K. in Veblen T. T. (uredniki). 1992. *Plant Succession (Theory and Prediction)*. London, Chapman & Hall.

Larcher, W. 1995. *Physiological Plant Ecology*. Berlin.

Leuschner C., H. Ellenberg. 2017. *Ecology of Central European Forests. Vegetation Ecology of Central Europe, Volume I*, Springer, Stuttgart.

Leuschner C., H. Ellenberg. 2017. *Ecology of Central European Non-Forest Vegetation: Coastal to Alpine, Natural to Man-Made Habitats. Vegetation Ecology of Central Europe, Volume II*, Springer, Stuttgart.

West D. C., Shugart H. H. in Botkin D. B. (uredniki). 1981. *Forest Succession (Concepts and Application)*. New York: Springer-Verlag.

Woodward, F. I. 1987. *Climate and Plant Distribution*. Cambridge, Cambridge University Press.

Wraber, M. 1969. Pflanzengeographische Stellung und Gliederung Sloweniens. *Vegetatio* 17, 167-199.

Zupančič M., Marinček L., Seliškar A. in Puncer I. 1987. Considerations on the Phytogeographic Division of Slovenia. *Biogeographia* 13, 89-98.

Zupančič M. in Žagar V. 1995. New Views about the Phytogeographic Division of Slovenia I. Novosti o fitogeografski delitvi Slovenije. *Razprave 4. razreda SAZU* 36(1), 3-30. Ljubljana.

KLIMA

Alley R. B. et al. 1997. Holocene Climatic Instability: A Prominent, Widespread Event 8200 Yr Ago. *Geology* 25(6), 483-486.

Battarbee R. W. in H. A. Binney (eds). 2008. *Natural Climate Variability and Global Warming. A Holocene Perspective*. Wiley-Blackwell, Oxford.

Blunier T. et al. 1995. Variations in Atmospheric Methane Concentration During the Holocene Epoch. *Nature* 374, 46-49.

Bond G., Showers W., Chesbey M., Lotti R., Almasi P., de Menocal P., Priore P., Cullen H., Hajdas I, Bonani G. 1997. A pervasive millennial-scale cycle in north Atlantic Holocene and Glacial climates, *Science* 278, 1257-1266.

COHMAP Members. 1988. Climatic Changes of the Last 18 000 Years: Observations and Model Simulations. *Science* 241, 1043-1052.

Dahl-Jensen D. et al. 1998. Past Temperatures Directly from the Greenland Ice Sheet. *Science* 282, 268-271

Dansgaard W. et al. 1993. Evidence for General Instability of Past Climate from a 250-kyr Ice-Core Record. *Nature* 364, 218-220.

GRIP Members. 1993. Climate Instability During the Last Interglacial Period Recorded in the GRIP Ice Core. *Nature* 364, 203-207.

Kutzbach, J., R. Gallimore, S. Harrison, P. Behling, R. Selin in F. Laarif. Climate and Biome Simulations for the Past 21000 Years. *Quaternary Science Reviews* 17, 473-506.

Lamb, H. 1977. *Climate (Past, Present and Future). Volume 2. Climatic History and the Future.* London, Methuen & Co. Ltd.

Mayewski P. A., Rohling E., Stager J., Kasrten W., Maasch K., Meeker L., Meyerson E., Gasse F., van Kreveld S., Holmgren K., Lee-Thorp J., Rosqvist G., Rack F., Staubwasser M., Schneider R., Steig E. 2004. Holocene climate variability, *Quaternary Research* 62, 243-255.

Meese D. A. et al. 1994. The Accumulation Record from the GISP2 Core as an Indicator of Climate Change throughout the Holocene. *Science* 266, 1680-1682.

O'Brien S. R. et al. 1995. Complexity of Holocene Climate as Reconstructed from a Greenland Ice Core. *Science* 270, 1962-1964.

Shackelton N. J., Opdyke N. D. 1973. Oxygen-isotope and palaeomagnetic stratigraphy of equatorial Pacific core V 28-238: oxygen isotope temperatures and ice volumes on a 10^5 to 10^6 year scale, *Quaternary Research* 3, 39-55.

Wanner H., Solomina O., Grosjean M., Ritz S., Jetel M. 2011. Structure and origin of Holocene cold events, *Quaternary Science Reviews* 30, 3109-3123.

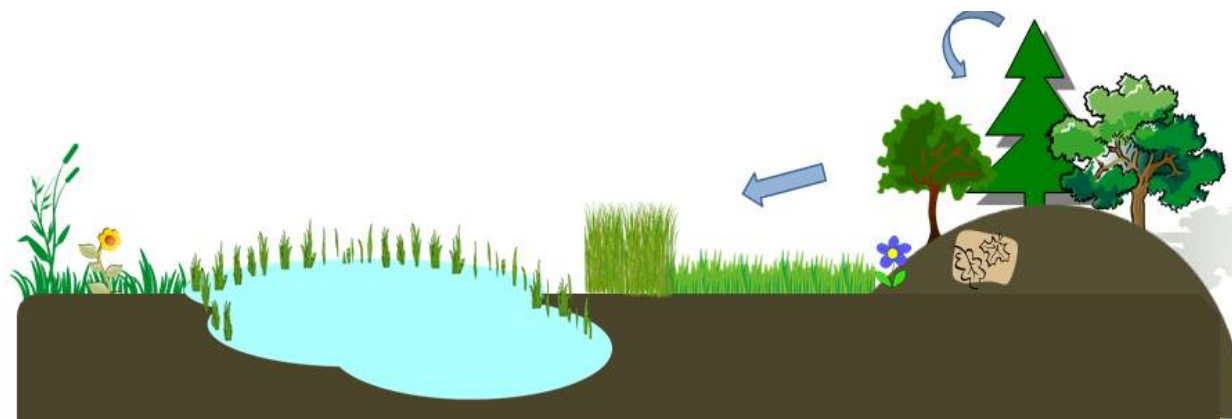
Wright H. E. Jr., Kutzbach J. F., Webb T. III, Ruddiman W. F., Street-Perrott F. A. in Bartlein P. J. (urednik). 1993. *Global Climates since the last Glacial Maximum.* Minneapolis: University of Minnesota Press.

P6 - Osnove ekologije rastlin in fitogeografije. Paleoklimatologija.



OSNOVE EKOLOGIJE RASTLIN

- ekologija rastišča in ekološki dejavniki
- konkurenčni odnosi med rastlinami
- ekološki vs. fiziološki optimum



Osnove ekologije rastlin in fitogeografije

- ekologija rastišča in ekološki dejavniki
- konkurenčni odnosi med rastlinami
- ekološki vs. fiziološki optimum



Katere spremembe vegetacije so posledica človekovega vpliva na okolje, katere pa klimatskih sprememb ali interne vegetacijske dinamike?

Danes se bomo dotaknili le osnov ekologije rastlin in fitogeografije.



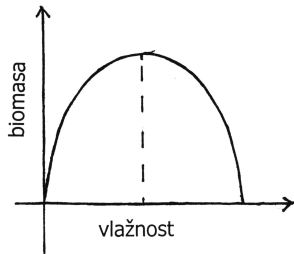
Vsem, ki vas tema bolj zanima, priporočam obisk predavanj pri predavateljih na Biotehniški fakulteti, ki o tej tematiki vedo mnogo več od mene!

Ekologija rastlin je veda, ki se ukvarja z vplivom abiotских dejavnikov (kot so temperatura, svetloba in vlažnost) na rastline.

Življenjske procese proučuje v naravnem okolju; tam pa je poleg abiotских dejavnikov pomembna tudi konkurenca med rastlinami – njihova medsebojna borba za prostor, svetlobo, vodo, mineralne snovi,...

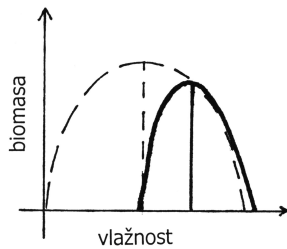
Ekološka valenca: fiziološki vs. ekološki optimum

Amplituda uspevanja za 4 vrste trav, gojene kot monokulture

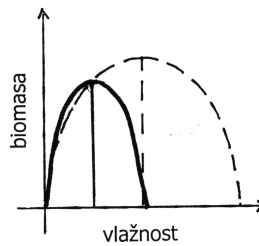


nobeni vrsti fiziološko ne ustreza presuho ali prevlažno okolje

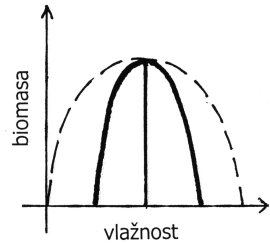
Amplituda uspevanja za 4 vrste trav, ki so bile gojene skupaj



travnški lisičji rep – izrinjen v vlažni del



pokončna stoklasa – izrinjena v suhi del



visoka pahovka – ostala v zmerno vlažnem, le amplituda se je zožala



navadna pasja trava je posamično rastla povsod

V rastlinskih združbah je pri konkurenčno močnih vrstah ekološki optimum rastline enak fiziološkemu, le amplituda se zoži.

Konkurenčno šibke vrste pa so izrinjene v manj optimalno okolje (presuho, prevlažno, prekislo, prehladno,...)

Na osnovi ekologije vrst v naravi torej ne moremo izvajati sklepov o njihovi fiziologiji.

Na primer...



Rdeči bor (*Pinus sylvestris*) običajno raste na peščenih ter izrazito kislih ali bazičnih tleh, ne zato, ker bi mu tam tako zelo ustrezalo, ampak ker ga druge konkurenčno močnejše vrste običajno izrinejo.

Podobno tudi borovnice rastejo na kislih tleh, kjer je konkurenca šibkejša (vse rastline iz fizioloških razlogov ne prenesejo prekislega okolja).

Smreka (*Picea abies*) raste v nižinah, kjer so jo nasadili ljudje (in bukev posekali) ter v dinarskih mraziščih, kjer je premrzlo za listavce.





Nasproten primer je, na primer, kopriva – obligatna nitrofilna rastlina. Iz fizioloških razlogov bo uspevala samo tam, kjer ima v tleh dovolj dušika, ne glede na konkurenco.

Rastline torej uspevajo tam, kjer jim to omogočajo abiotiski dejavniki.

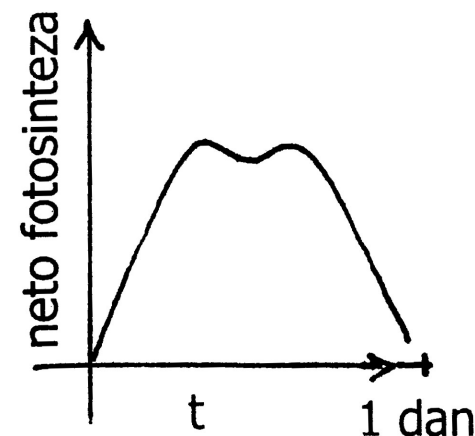
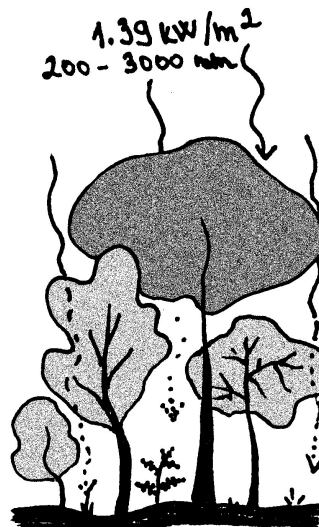
V optimalnih življenjskih razmerah le, če ne naletijo na konkurenčno močnejšo rastlinsko vrsto, ki bi jih iz tega optimalnega življenjskega prostora izrivala.

P.S. Vsi smo radi 'pri koritu', če le konkurenca ni premočna!

Ekologija rastišča

Primarni ekološki dejavniki

- sončno sevanje
- temperatura
- vlažnost
- drugi dejavniki (n. pr. kemijski, mehanski)

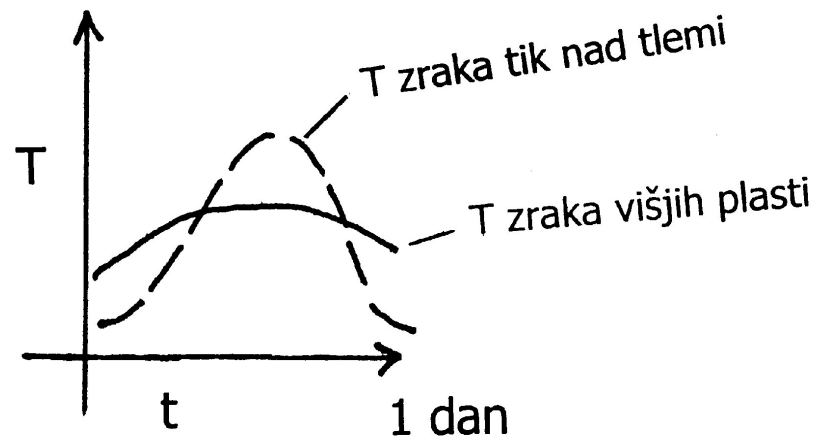


Svetlobni režim rastišča je odvisen od ekspozicije (severna ali južna lega). Na južnih legah v večjem delu Slovenije lahko uspevajo termofilne rastlinske združbe, kjer raste puhasti hrast (*Quercus pubescens*) in črni gaber (*Ostrya carpinifolia*), sicer drevesni vrsti značilni predvsem za toplejše kraje, submediteransko fitogeografsko regijo. Za svetlobni režim rastišča je pomembna tudi inklinacija (vpadni kot sevanja), oblačnost, geografska širina.

Svetloba in temperatura tudi vplivata na odprtost/zaprtoost listnih rež in s tem izgubo vode za rastlino. Ko količina vode v rastlini pade se listne reže rastline zaprejo. Odpiranje/zapiranje listnih rež pa vpliva na potek fotosinteze, ki zaradi deficita vode sredi toplega in sončnega dneva pogosto upade.

Primarni ekološki dejavniki

- sončno sevanje
- temperatura
- vlažnost
- drugi dejavniki (n. pr. kemijski, mehanski)



Na vsakem rastišču obstajajo **dnevni in letni temperaturni cikli**. Temperatura pri tleh je drugačna kot nekaj metrov nad tlemi. Površinski sloj tal je najtoplejši sredi dneva (svetloba se pretvarja v toploto) in najhladnejši ponoči, pol ure pred sončnim vzhodom (nočna temperaturna inverzija).

Ekstremne temperature imajo škodljiv vpliv na rastlino Pri nizkih temperaturah pride do upočasnitve življenjskih procesov, zamrznitve in mehanskih poškodb. Pri visokih temperaturah pa razpadajo beljakovine in membranske strukture in prihaja do zastrupljanja z razpadnimi produkti beljakovin.

Na temperaturni režim rastišča vplivata tudi kemizem tal in topografija. Silikatna geološka podlaga je hladnejša in vlažnejša, karbonatna pa toplejša od regionalne klime.

Primarni ekološki dejavniki

- sončno sevanje
- temperatura
- vlažnost
- drugi dejavniki (n. pr. kemijski, mehanski)



Vlažnost. Na količino vode v tleh vpliva geološka podlaga in vrsta tal, ekspozicija, inklinacija, klima, nivo talnice, vegetacija,... Rastline izgubo vode regulirajo z zapiranjem/odpiranjem listnih rež, kar regulira potek fotosinteze.

Drugi dejavniki: kemijski (n. pr. koncentracija CO_2 v zraku, tleh), mehanski (neurje, žled), ogenj, človekov vpliv (košnja, paša, hoja, vplivi drugih rastlin, pH tal = bolj ekološki kot fiziološki dejavnik

Sekundarni ekološki dejavniki =
kombinacija primarnih
ekoloških dejavnikov

- klimatski
- orografski
- edafski
- biotski



Abiotski dejavniki vplivajo na značilnosti vegetacije kot je n. pr. **gozdna meja = meja do določene nadmorske višine ali geografske širine do katere še uspeva gozd.**

Danes je pri nas v Alpah gozdna meja na nadmorski višini *ca.* 1700 1900 m, velja pa ocena, da je to *ca.* 200 – 300 m nižje kot pa bi bilo v naravnih razmerah, če ne bi bilo človekovega vpliva in paše.

Zakaj drevje ne uspeva na večji nadmorski višini?



Prilagoditev rastlin na neugodne življenjske razmere – pet osnovnih skupin rastlin (Raunkiaer 1910)

- **fanerofiti**: lesne rastline (drevesa, grmi)
- **hamefiti**: polgrmi (samo starejši deli so oleseneli)
- **hemikriptofiti**: zeljnate trajnice (nadzemni deli večinoma odmrejo, kar ostane na površini je pred mrazom zaščiteno s snežno odejo)
- **geofiti**: (v tleh imajo čebulice ali gomolje, nadzemni deli odmre)
- **terofiti**: enoletnice (zimo/sušo preživi le seme)

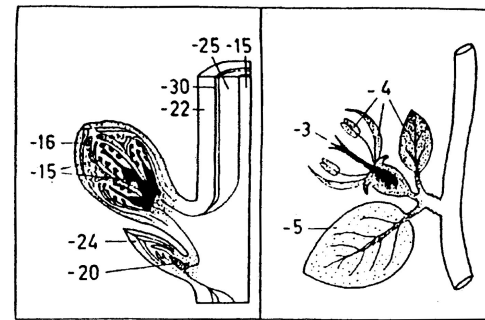


Fig. 6.43. Frost resistance of flower buds of the almond tree in winter (left) and of apple blossoms in spring (right). The temperatures (°C) are those causing 50% damage. Black Most sensitive regions. (After Pisek 1958; Larcher 1970)

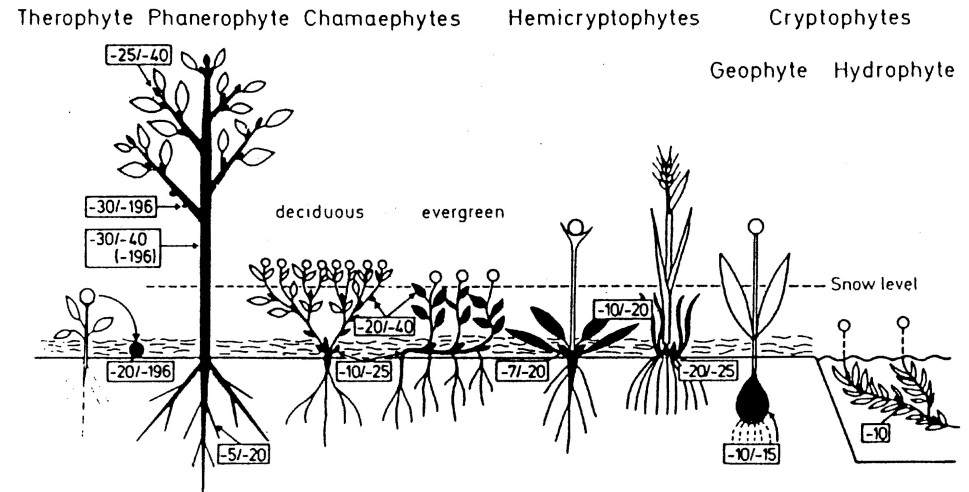


Fig. 6.44. Cold resistance of winter-surviving ecomorphs of cold-winter regions. The degree of cold resistance is indicated by the range of temperatures below which the plants are damaged; the smaller number applies to the more sensitive species and the larger to those more resistant. Depending on their specific physiological constitution some individual species may deviate widely from these limits. The terminology for winter-survival ecomorphs corresponds to the system of "life forms" of Raunkiaer (1910). The parts of the plants that overwinter are shown in black; those left unshaded die off at the end of the growing season. *Phanerophytes* Trees and shrubs with perennating buds above the snow; *Chamaephytes* small shrubs regularly protected by the winter snow cover; *Hemicyrptophytes* perennial herbs with perennating buds just above the soil surface, under litter or enclosed in the remnants of dead leaves and leaf sheaths still attached to the plant; *Cryptophytes* perennial herbs with persistent organs under ground (geophytes) or under water (hydrophytes); *Therophytes* annual plants that complete their life cycles during the growing season and overwinter as seeds. These ecomorphs represent an evolutive adaptation not only to winter cold but also to winter drought (cf. Chap. 6.2.2.4) and other kinds of winter stress. The resistance data are taken from the measurements of many authors (cf. Table 6.3). For frost resistance of fern rhizomes in relationship to habitat distribution see Sato (1982)



Klima je torej eden najpomembnejših abiotskih dejavnikov – vpliva na ekofiziološke procese v rastlinah in določa njihovo razširjenost, ki je omejena s temperaturo, količino padavin in dolžino rastne sezone.

**Na globalnem nivoju rastlinski biomi
sovpadajo s klimatskimi pasovi.**

V zmerno toplem pasu so razmere za rast gozda ugodne – gozd ne uspeva samo tam, kjer je klima presuha ali edafske razmere prevlažna, rastna sezona prekratka ali človekov vpliv na okolje premočan.



Foto M. Andrič



Fitogeografija je veda, ki proučuje današnjo in nekdanjo razširjenost posameznih rastlinskih taksonov. Njihova razširjenost je omejena s temperaturo, količino padavin in dolžino rastne sezone. Površina, ki jo pokriva posamezni takson se imenuje areal.

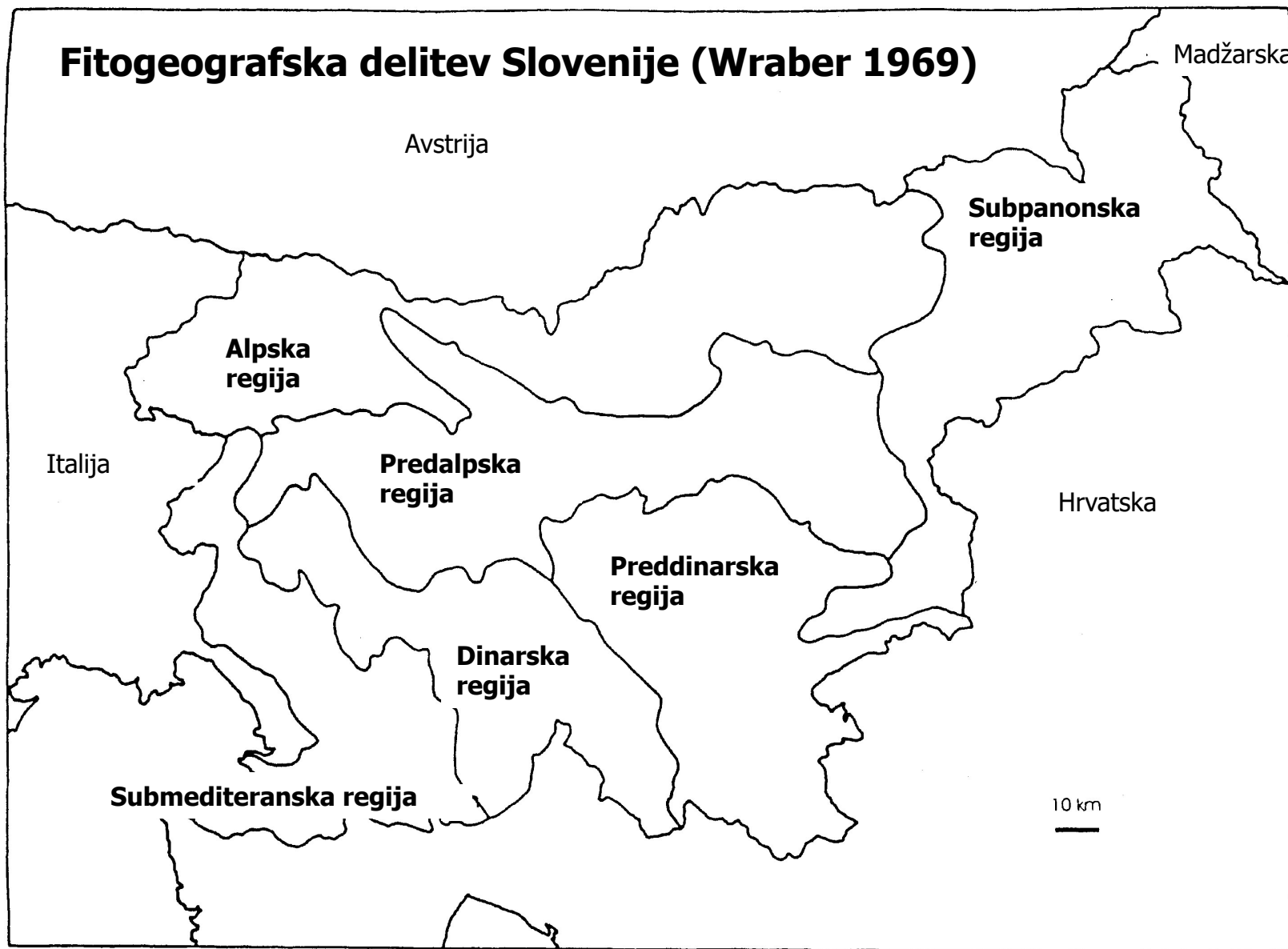
Poznamo dve osnovni fitogeografski delitvi Evrope.

Braun-Blanquetova delitev temelji na vegetaciji = različnih rastlinskih združbah – 3 florne regije: sredozemska, evrosibirsko-sameriska in irano-turanska

Meuselova delitev temelji na posameznih taksonih in je zapletenejša: cirkumarktična, borealna, srednjeevropska, makronezijsko-mediteranska, pontsko-J sibiriska in irano-turanska.



Fitogeografska delitev Slovenije (Wraber 1969)





Alpska fitogeografska regija



Predalpska fitogeografska regija



Subpanonska fitogeografska regija



Submediteranska fitogeografska regija



Dinarska fitogeografska regija

Podrobnejša fitogeografska delitev Slovenije po Zupančič et al. 1987

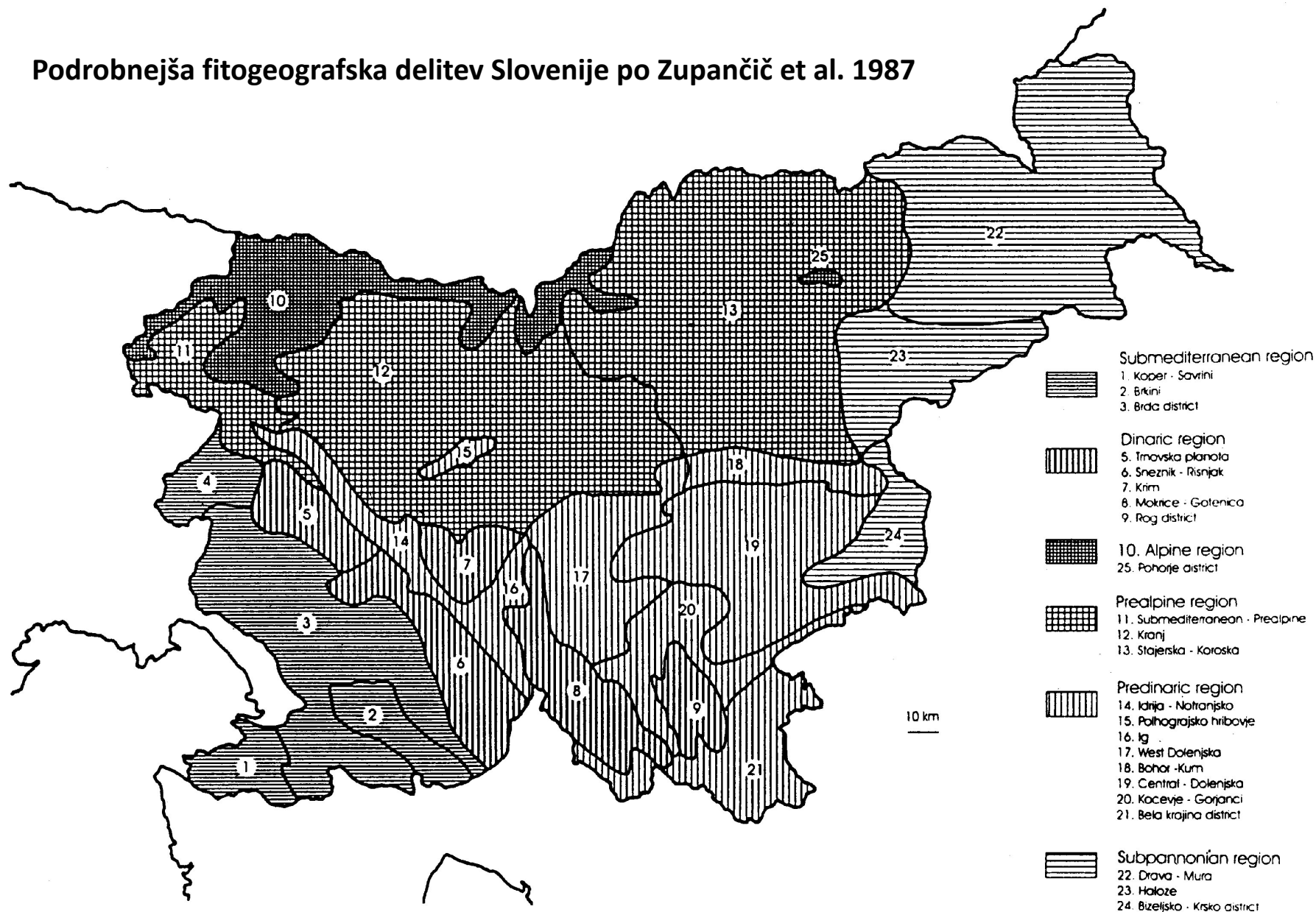


Fig.3.4 Phytogeographic division of Slovenia (redrawn from Zupancic et al. 1987)

Ekologija rastlin - osnovna literatura

Ellenberg, H. 1988. Vegetation ecology of central Europe, Cambridge.

V naslednjem predavanju si bomo ogledali razvoj poznoglacialne in holocenske vegetacije v različnih fitogeografskih regijah Slovenije.

Še prej pa nekaj besed o paleoklimatologiji.

Paleoklimatologija

metode



kvartarna klima

časovne skale



Globalna klima na Zemlji je odvisna od mnogih dejavnikov, npr.:

- tektonika zemeljskih plošč,
- vulkanizem,
- spremembe v razporeditvi morja in kopnega

Še zlasti pomemben **eksterni faktor** pa so **orbitalni parametri** – **spremembe v geometriji Zemeljske orbite in osi**, ki povzročajo spremembe v količini in porazdelitvi sončnega sevanja, ki doseže Zemljo.



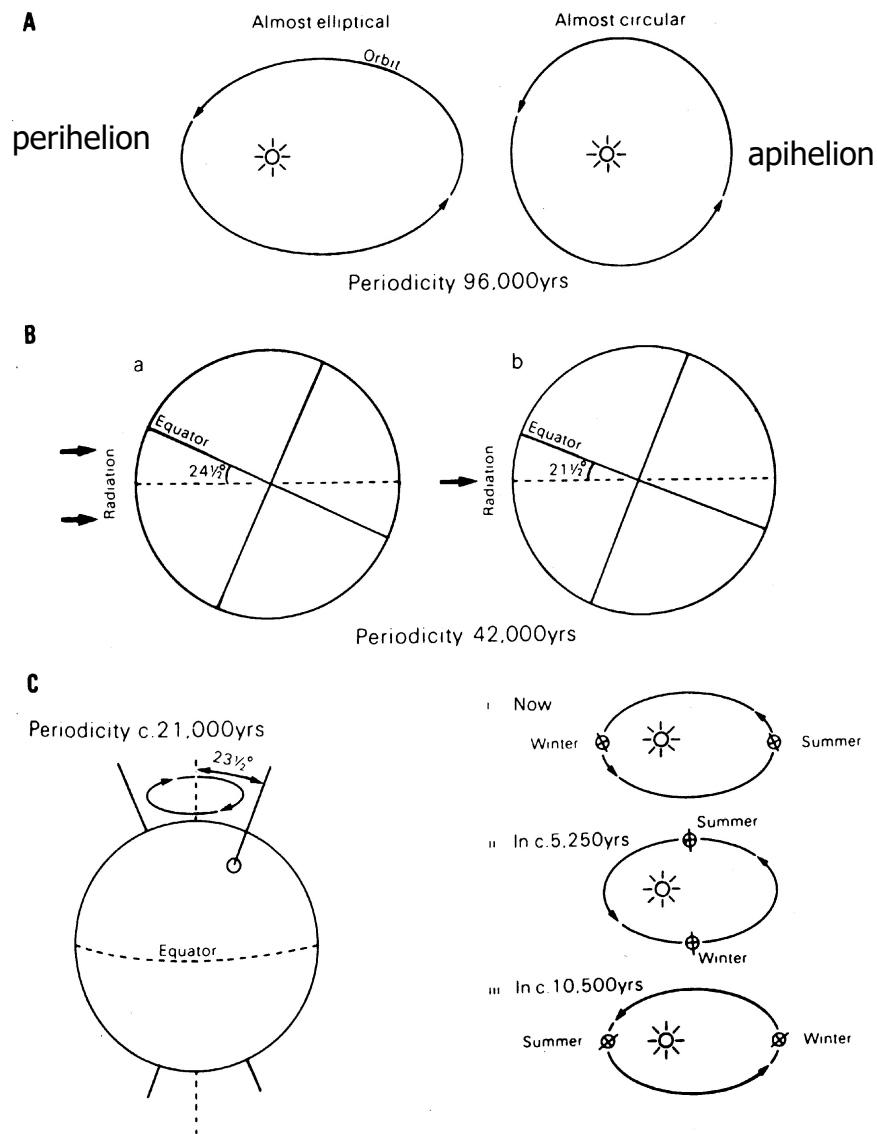


Figure 3.1 Orbital and axial variables, illustrating (A) orbital eccentricity, (B) axial tilt, and (C) precession of the equinoxes and orbital wobble. The orientation of the Earth's surface affects the amount of solar radiation received. (Reproduced from Lowe and Walker 1984: Fig. 1.5, by permission of Addison, Wesley, Longman.)

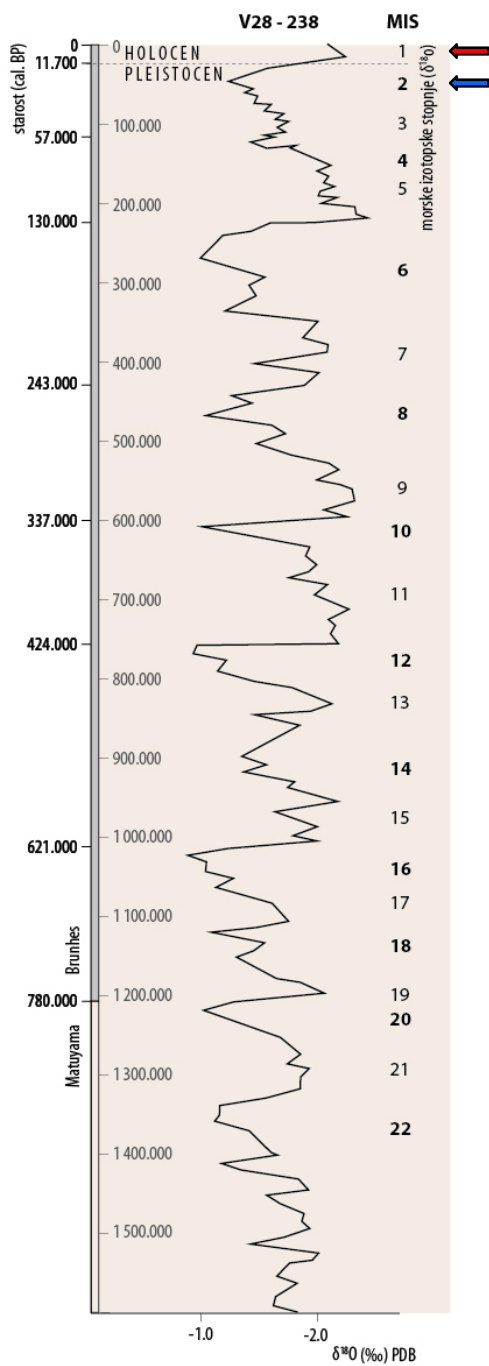
Dincauze D. F. 2000. Environmental Archaeology

SPREMEMBE V GEOMETRIJI ZEMELJSKE ORBITE IN OSI

Ekscentričnost – spremembe zemeljske orbite - nihanje razlike med perihelionom in apihelionom, ca. 96,000 let

Nagnjenost zemeljske osi – spremembe vplivajo na razporeditev in trajanje letnih časov, spreminja se s ciklom, ki traja ca. 42,000 let

Kroženje zemeljske osi – v času ca. 21,000 let opiše krožnico. Pojav vpliva na to, v katerem položaju na orbiti se pojavi posamezen letni čas, v perihelionu so poletja (ob ustrezni nagnjenosti osi) lahko zelo vroča



Ti cikli v kroženju Zemlje (96,000, 41,000 in 21,700 let) se imenujejo 'Milankovitchevi cikli' in so domnevno povzročili izmenjavanje ledenih in medledenih dob na Zemlji.

Ker pa so na klimo Zemlje lahko vplivali tudi še kakšni drugi dejavniki (n.pr. vulkanizem, trki s kometi,...), ti ritmi niso čisto pravilni, vseeno pa so vidni v paleoekološkem zapisu globokomorskih vrtin in grenlandskih ledenih vrtin.

Spremembe v temperaturi vplivajo na kemično sestavo sedimenta – količino posameznih kisikovih izotopov v mikroorganizmih (¹⁶O in ¹⁸O).

Risba T. Korošec po predlogi: Shackleton in Opdyke 1973, Svensson et al. 2008, Lowe et al. 2008)

Globokomorske in Grenlandske ledene vrtine

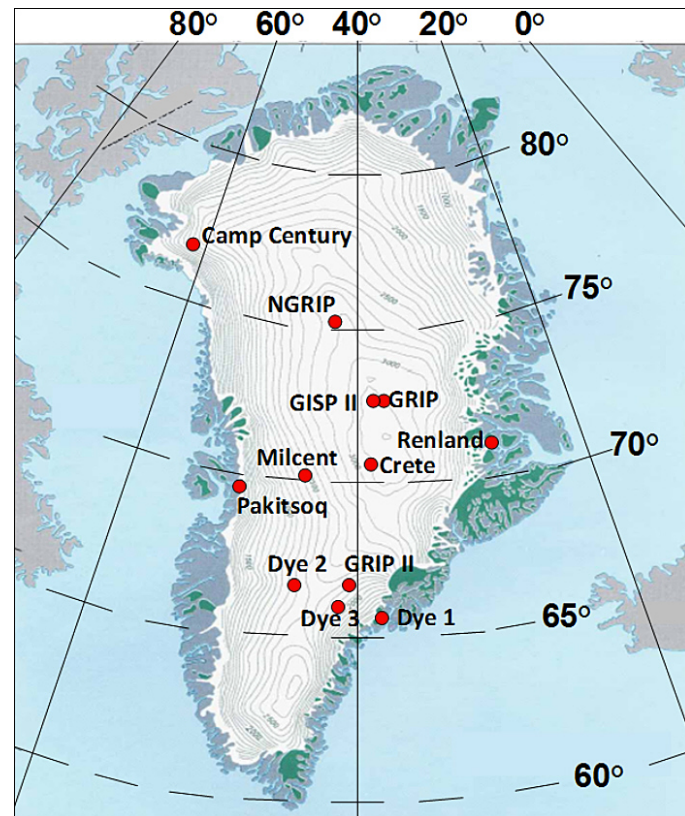
Temperatura vpliva na kemično sestavo ozračja in oceanov.

Razmerje kisikovih izotopov ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) v nekdanjih morjih in posledično tudi v sedimentu in morskih organizmih, ki kisikove atome vgrajujejo v svoje ogrodje (npr. foraminifere in diatomeje), se spreminja glede na podnebje.

Ko morska voda hlapi z njo hlapi tudi lažji kisikov izotop (^{16}O) in se odlaga v ledenih pokrovi, težji izotop (^{18}O) pa večinoma ostaja v oceanih.

Nižje (bolj negativne) vrednosti $\delta^{18}\text{O}$ ‰ v kontinentalnem ledu so značilna za hladnejša (ledenodobna) obdobja.

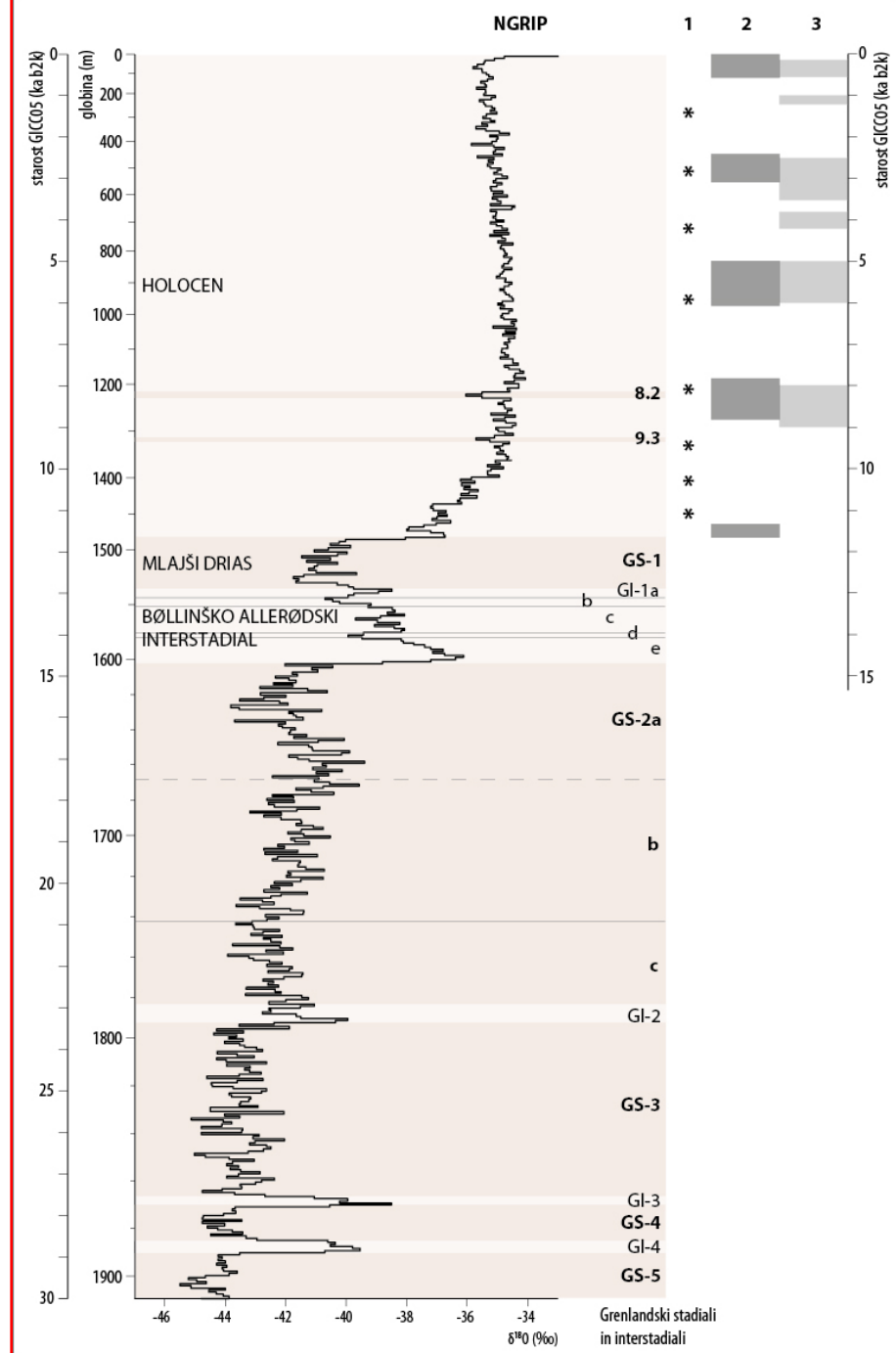
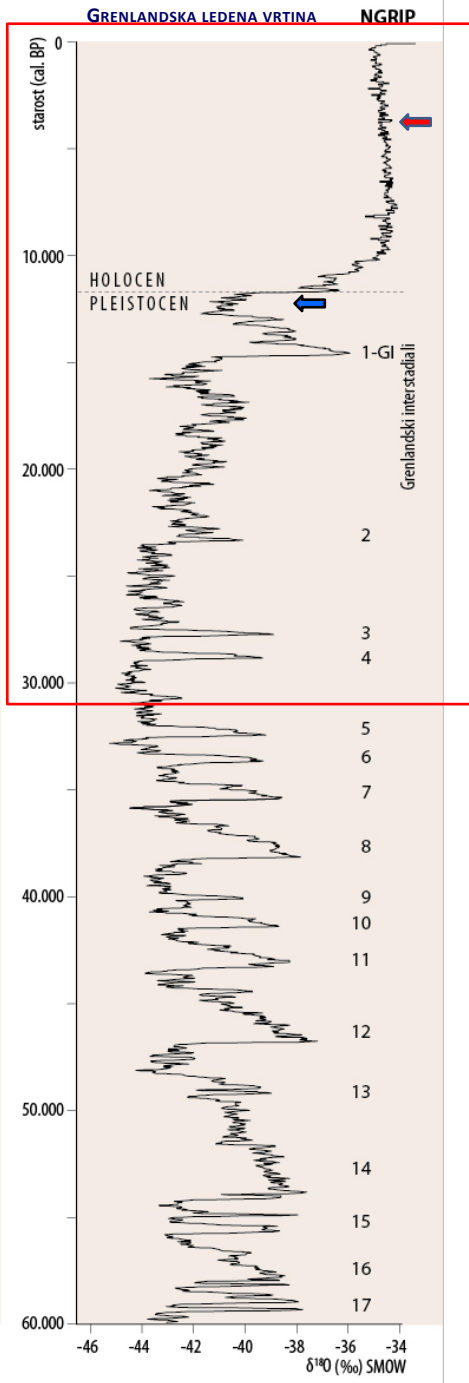
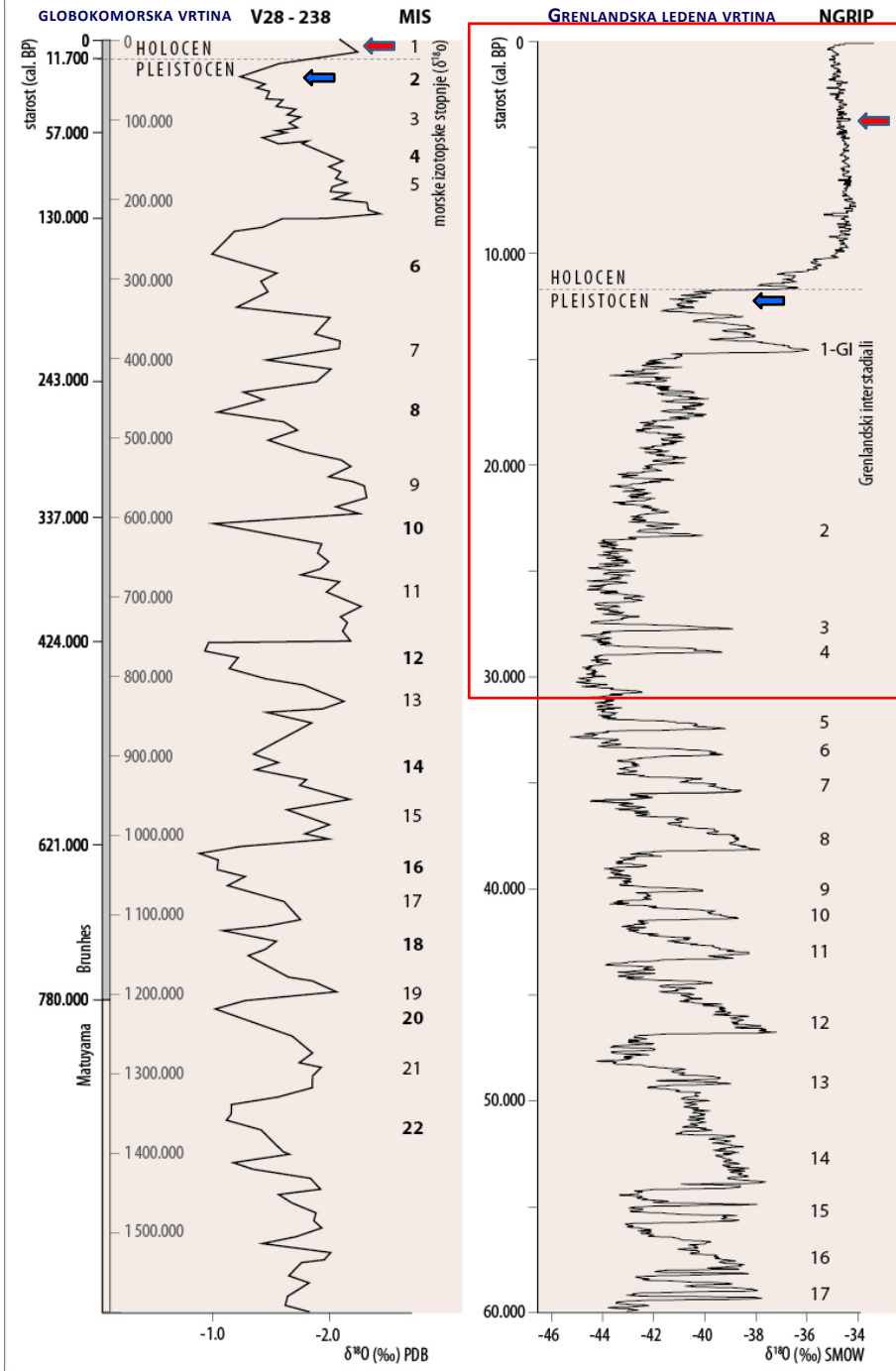
Ravno obratno je v morskih sedimentih. V hladnejših obdobjih, ko je ledeni pokrov večji in je zato več lahkega kisikovega izotopa ujetega v ledu, je morska voda obogatena s težjim O izotopom (bolj pozitivne vrednosti $\delta^{18}\text{O}$).



http://cdiac.ornl.gov/trends/co2/ice_core_isotopes.html



http://www.iceandclimate.nbi.ku.dk/research/drill_analysing/history_drilling/central_ice_cores/



MODELIRANJE ASTRONOMSKIH PARAMETROV ZEMLJE - PREHOD PLEISTOCENA V HOLOCEN

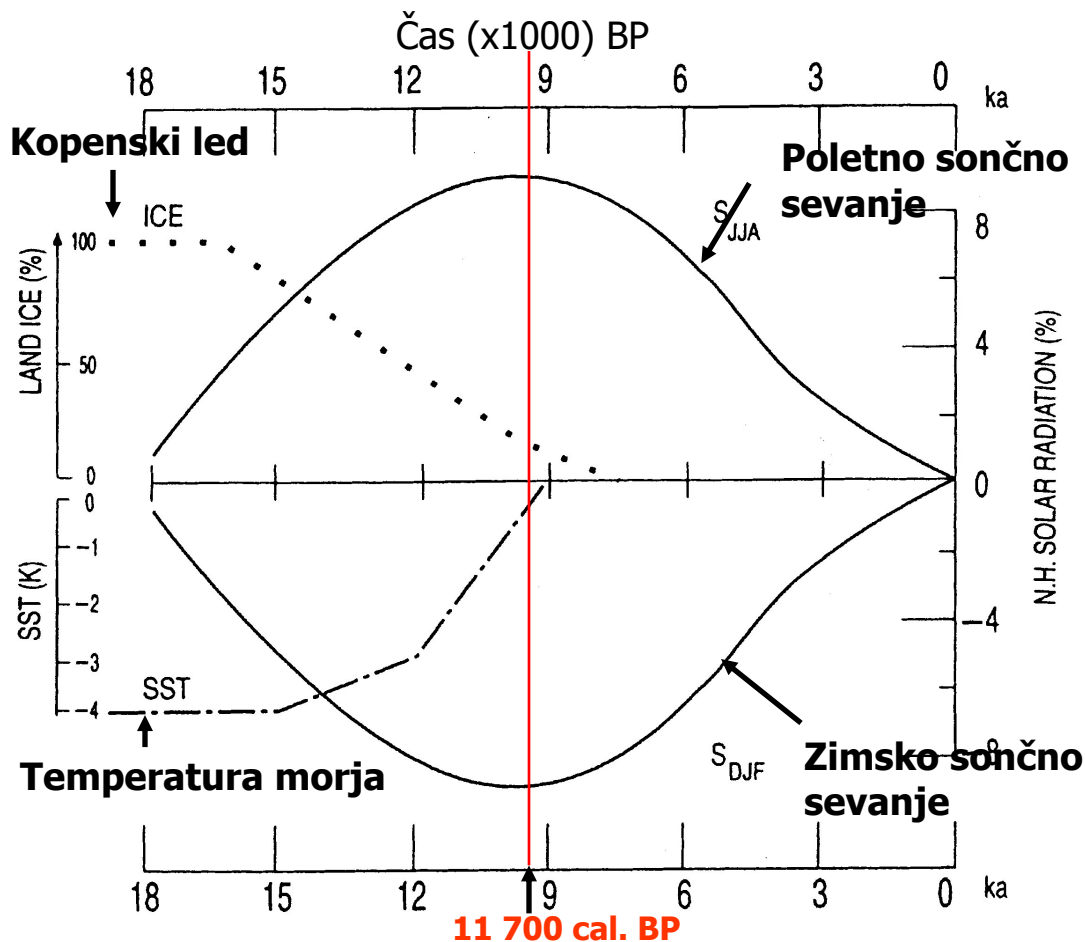


Figure 7.3 Variation in seasonal solar radiation in the northern hemisphere as percent difference from that at present, calculated on the basis of obliquity of axis and precession of the equinoxes. The diagram shows summer (JJA) and winter (DJF) radiation for the last 18,000 years, since the height of the last glaciation. Percent difference in solar radiation is not expressed directly as temperature, which is defined by complex interactions of many additional variables. SST = sea surface temperature. (After Kutzbach 1987: Fig. 1.)

Ob prehodu pleistocena v holocen je postala klima toplejša in vlažnejša.

Na začetku holocena je bila klima domnevno še vedno nekoliko bolj suha kot danes, količina sončnega sevanja je bila večja in kontrasti med poletji in zimami bolj izraziti.

8000–5000 cal. BP klima domnevno nekoliko toplejša in vlažnejša od današnje.

Holocenska klimatska nihanja manj izrazita kot ob prehodu pozni glacial-holocen in zato slabše raziskana.

Holocen (po 11.700 cal. BP)

- kemične analize in meritve stabilnih izotopov v grenlandskem ledu večjih nihanj holocenskega podnebja ne zaznavajo

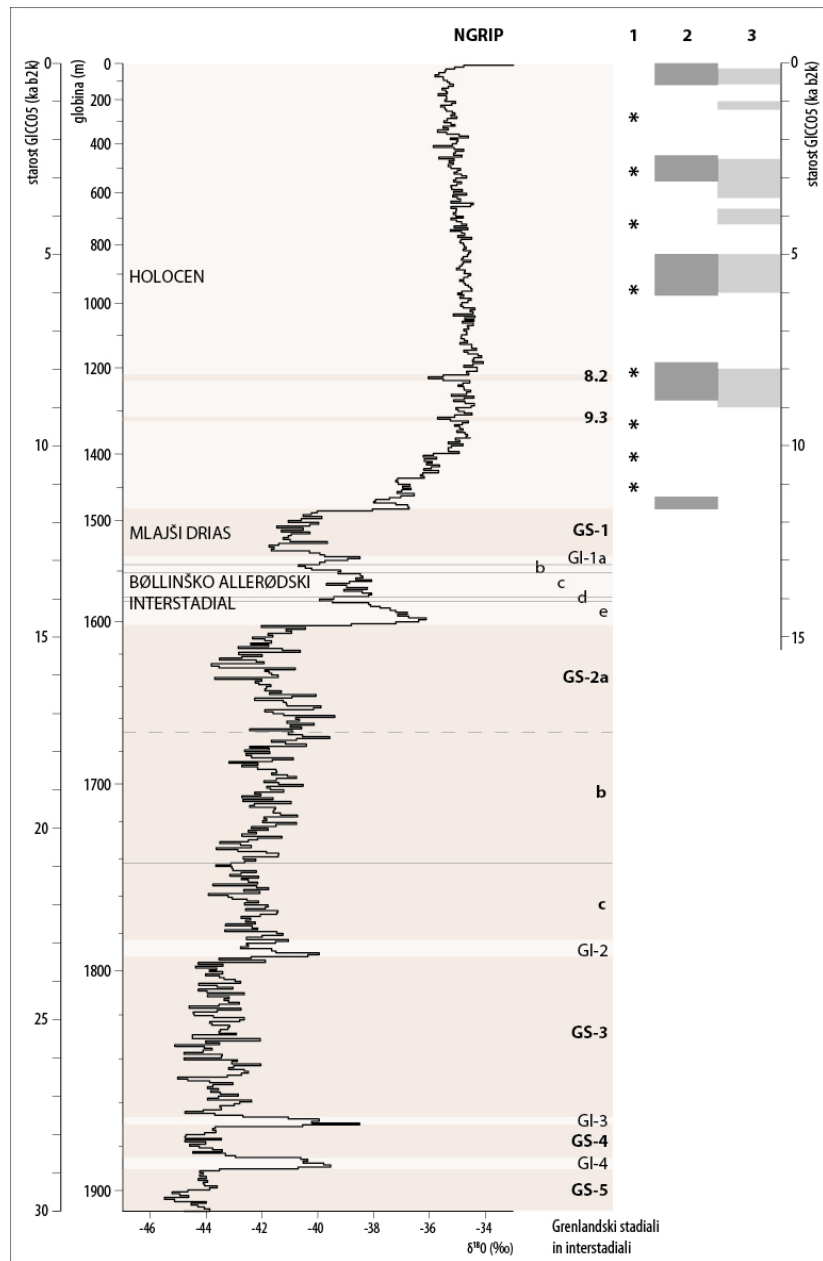
- na območju Grenlandije in S Atlantika pred pribl. 8000–5000 leti za 2–3°C toplejša kot danes, zadnjih 5000 let pa se je postopno ohlajala

- krajša hladna obdobja, ko so:

- ledene gore potovale južneje in s seboj nosile koščke kamenja (1),
- alpski ledeniki napredovali,
- podnebje pa je postalo hladnejše in vlažnejše

so datirana ca. 9300, 8200, 6300, 4700, 2700, 1550 in 550 cal. BP

Razlike med posameznimi arhivi in regijami, kar je lahko posledica razhajanj v kronologiji ali pa (še zlasti v drugi polovici holocena) vse večjih medregionalnih razlik



1 – IRD oz. Bondovi dogodki (globokomorski sedimenti), Bond et al. 1997

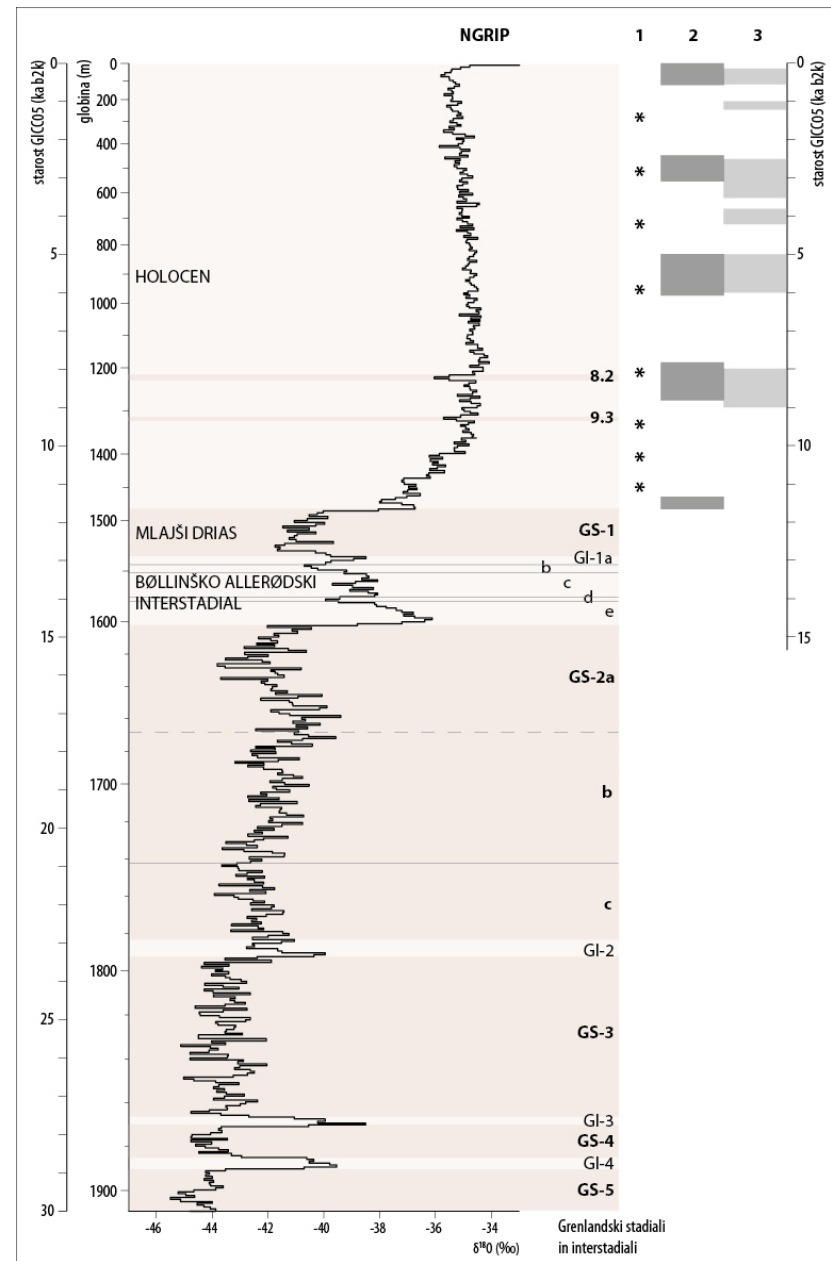
2 – nečistoče v grenlandskem ledu, O'Brien et al. 1995

3 – primerjava različnih arhivov, Mayewski et al. 2004

Holocen (po 11.700 cal. BP)

- kemične analize in meritve stabilnih izotopov v grenlandskem ledu večjih nihanj holocenskega podnebja ne zaznavajo
 - na območju Grenlandije in S Atlantika pred pribl. 8000–5000 leti za 2–3°C toplejša kot danes, zadnjih 5000 let pa se je postopno ohlajala
 - krajša hladna obdobja, ko so:
 - ledene gore potovale južneje in s seboj nosile koščke kamenja (1),
 - alpski ledeniki napredovali,
 - podnebje pa je postalo hladnejše in vlažnejše
- so datirana ca. 9300, 8200, 6300, 4700, 2700, 1550 in 550 cal. BP

Razlike med posameznimi arhivi in regijami, kar je lahko posledica razhajanj v kronologiji ali pa (še zlasti v drugi polovici holocena) vse večjih medregionalnih razlik



- 1 – IRD oz. Bondovi dogodki (globokomorski sedimenti), Bond et al. 1997
- 2 – nečistoče v grenlandskem ledu, O'Brien et al. 1995
- 3 – primerjava različnih arhivov, Mayewski et al. 2004

Rekonstrukcija poznoglacialne in holocenske klime na osnovi multiproksi raziskav jezerskih sedimentov

Kisikovi izotopi so prisotni tudi v jezerih (karbonatni sediment, ostrakodi, mehkužci), branikah dreves, koralah, sigi in šoti.

Interpretacija teh kopenskih paleookoljskih ‚arhivov‘ je zaradi kompleksnejšega kroženja snovi pogosto težavnejša kot v morskih sedimentih ali ledu.

Na izotopsko sestavo jezerske vode poleg T zraka vplivajo še količina in izvor padavin ter evaporacija.



Ammersee (Nemčija) – izotopska sestava lupinic ostrakodov, von Grafenstein et al. 1999

- poznoglacialne in zgodnjeholocenske podnebne spremembe v srednji Evropi podobne tistim v Skandinaviji
- na začetku holocena se je podnebje v srednji Evropi bolj ogrelo kot na Grenlandiji, nato (10.000–9700 cal BP) pa so se razlike med regijama zmanjšale



Kaj pa pelod?

Palinološke paleoklimatske rekonstrukcije temeljijo na analogijah med današnjim in nekdanjim rastlinstvom. Rastlinstvo se odziva na podnebna nihanja, vendar na razvoj rastlin vpliva še veliko drugih dejavnikov, zato je treba upoštevati, da:

- vegetacija ni nujno vedno v ravnovesju z regionalnim podnebjem,
- konkurenčni odnosi med vrstami so bili v nekdanjih združbah (za katere pogosto nimamo modernih analogij) lahko drugačni kot danes,
- pomembni so še tipi tal, motnje v pokrajini, vpliv škodljivcev, rastlinojedih živali in človeka



Človekov vpliv na vegetacijo je (bil) v nekaterih obdobjih in geografskih območjih lahko pomembnejši kot podnebje.

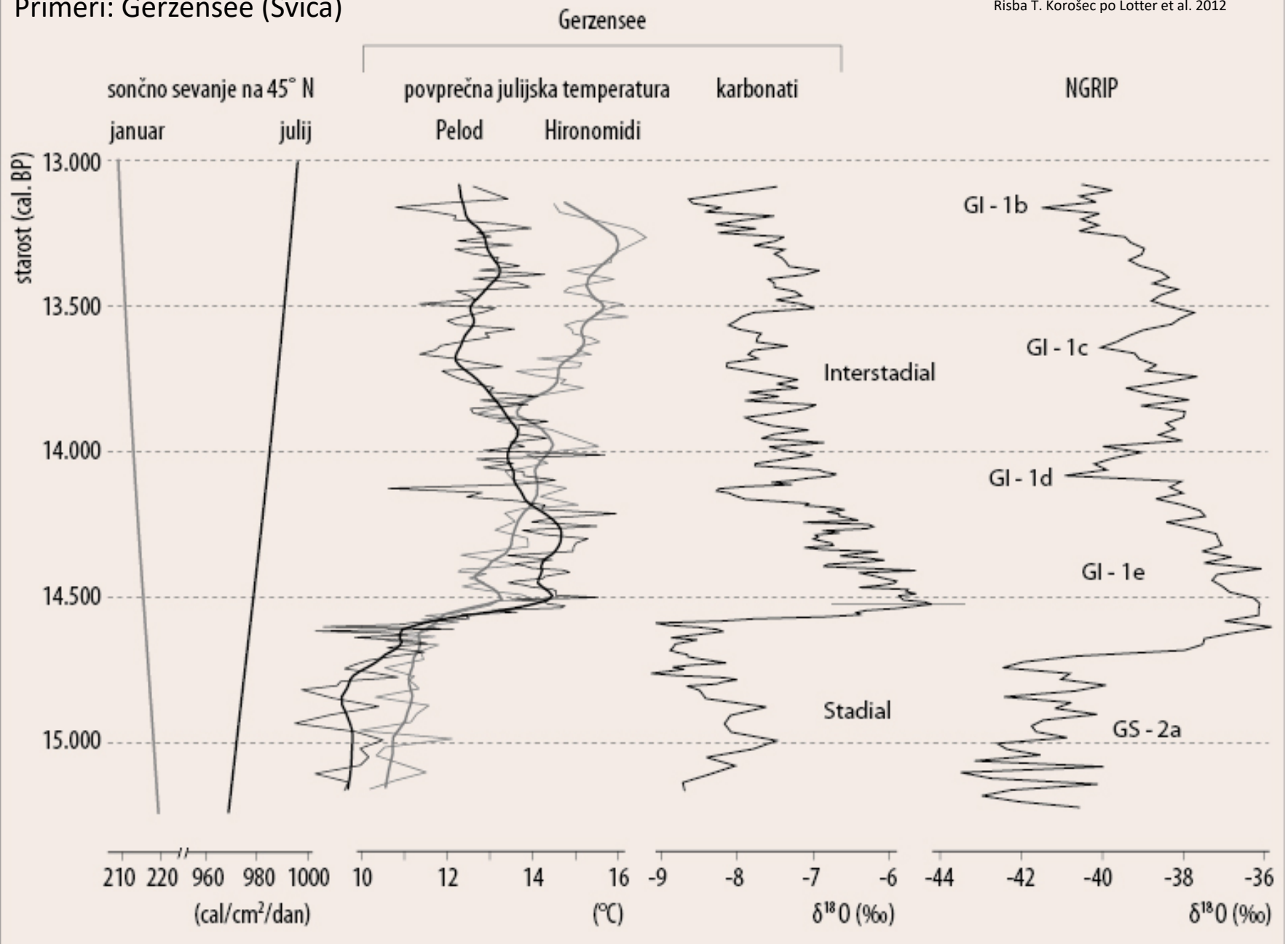
Veliko rekonstrukcij paleoklime narejenih le za hladnejša obdobja in S Evropo, kjer (ko) so bile nizke T zelo omejujoč dejavnik za rast rastlin, človekov vpliv na okolje pa manj intenziven kot drugje v Evropi.



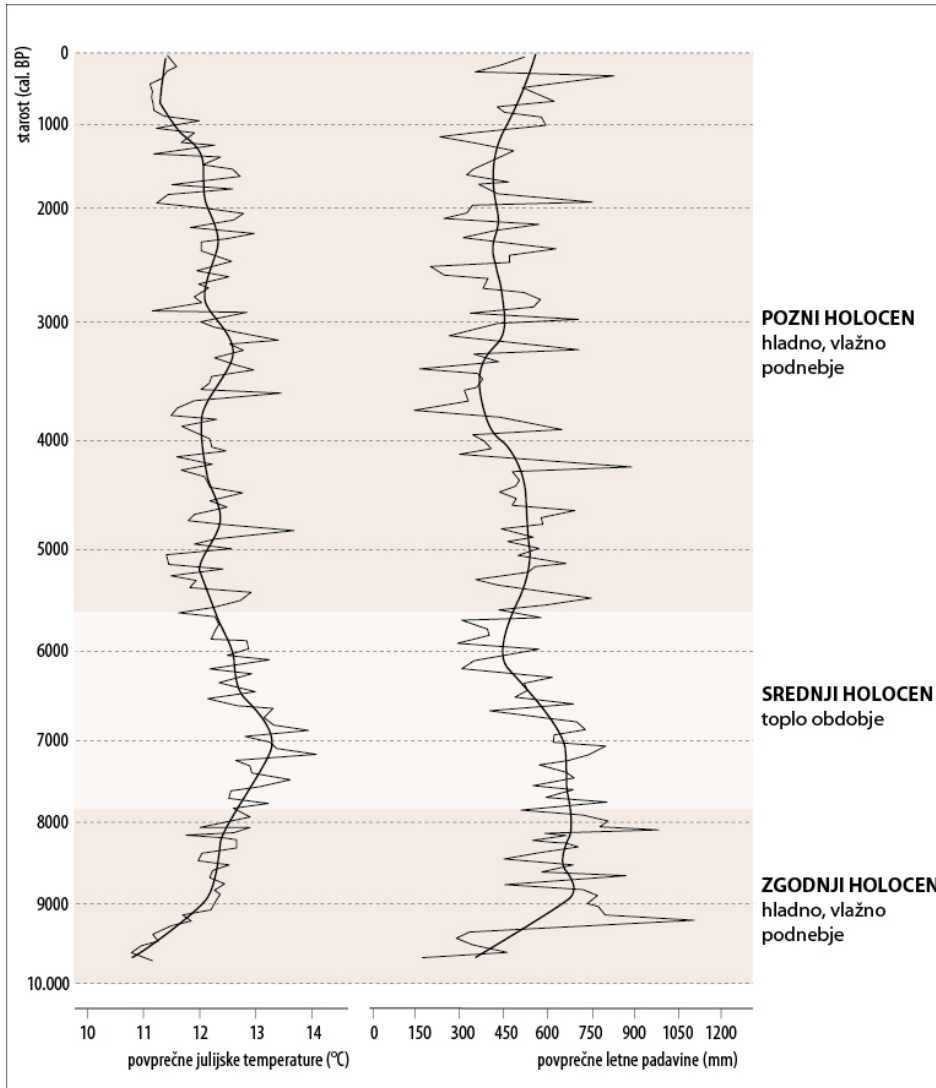
foto M. Andrič

Primeri: Gerzensee (Švica)

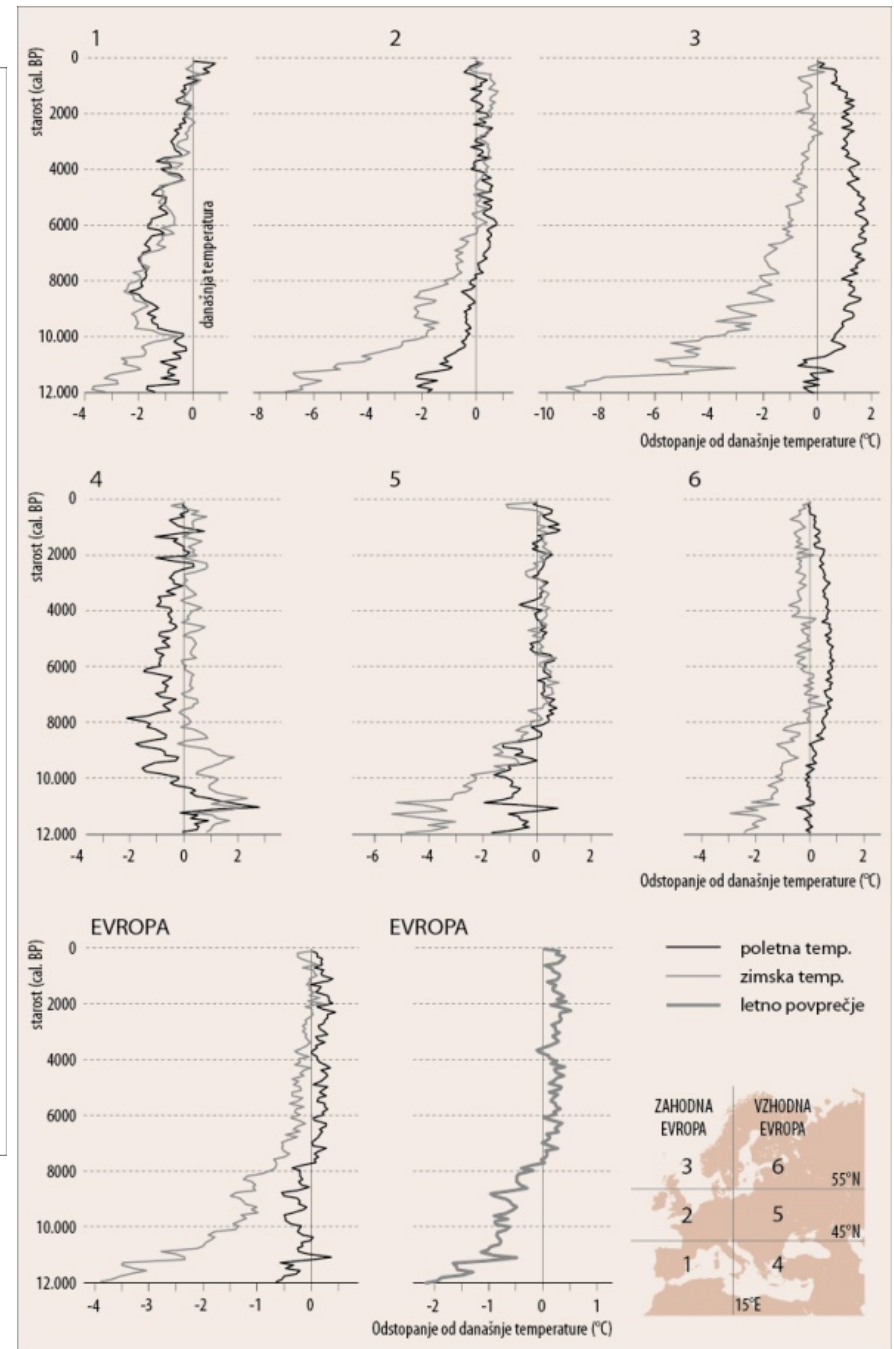
Risba T. Korošec po Lotter et al. 2012



Primeri: Tsuolbmajavri (Finska)



Risbe T. Korošec po Seppä in Birks 2001 in Davis et al. 2003



Dolgoročne spremembe okolja so zapisane v različnih tipih ,arhivov' kot so npr. ledeniki, globokomorski sedimenti in kopenski arhivi (jezera, šotišča, jame, drevesa, arheološka najdišča).

Korelacija med različnimi najdišči je v zadnjih letih postala eno najpomembnejših raziskovalnih področij. S primerjavo različnih regij in čim boljše kronološko kontrolo lahko bolje razumemo vzročno-posledične povezave med posameznimi kratkoročnimi spremembami okolja ter vzroke za dolgoročne spremembe okolja, vegetacije in življenja ljudi.

INTIMATE: <http://intimate.nbi.ku.dk/>

PAGES: <http://www.futureearth.org/projects/pages-past-global-changes>

Osnovna literatura

Ellenberg, H. 1988. Vegetation ecology of central Europe, Cambridge.

Andrič M., Tolar T. in Toškan B. 2016. Okoljska arheologija in paleoekologija: palinologija, arheobotanika in arheozoologija. Ljubljana, Inštitut za arheologijo in Založba ZRC ... in tam citirana literatura

