

Avtor zanimivosti: dr. Anton Polšak

COBISS: 1.04

Nekaj vsakodnevnih vremenskih pojavov: vlaga v zraku

Vlaga v zraku je gotovo zelo pomemben vremenski in podnebni dejavnik. Verjetno to velja tako za fizikalno (teoretično) kot aplikativno raven. Na fizikalni ravni mislimo zlasti na fizikalne lastnosti in zakone, ki veljajo za pline in kapljevine (npr. plinska enačba, zakoni termodinamike), pri aplikativni ravni pa na to, kako vlaga v zraku vpliva na vremenske prvine (npr. kondenzacija in nastanek oblakov, poleti pojav soparnosti ipd.). Drugo poimenovanje za vlago je vodna para, ki je bolj strokoven pojem, a pomensko enak.

V zraku je vedno nekaj vlage in še tako suh zrak ni brez nje. Količino vlage v zraku (v neki prostorski enoti) lahko izražamo na različne načine oz. z različnimi spremenljivkami (preglednica 1). Pri geografiji se največkrat srečujemo z **relativno vlažnostjo**, ker nam ta najbolj jasno pove, kako vlažen oz. suh je zrak.

Spremenljivka	enota
delni parni tlak - nasičen parni tlak	e [Pa], [mb] E
absolutna vlaga	ρ_v [kg/m ³], [g/m ³]
specifična vlaga	q [g/kg]
razmerje mešanosti	r [g/kg]
relativna vlaga	f [%]
temperatura rosišča	T_d [K][°C]

Preglednica 1: Spremenljivke za izražanje vlage v zraku.

Absolutna in relativna vlaga

Absolutna vlažnost zraka pomeni dejansko količino oziroma maso vodne pare (vlage) v zraku, ki jo lahko izrazimo z gostoto vodne pare (ρ_v) ali maso vodne pare v 1 m³ zraka ali delnim tlakom vodne pare v zraku (p_v). Podatek nam pove, koliko vodne pare je v nekem trenutku v zraku oz. kubičnem metru. Ta je lahko različno, vendar je ne more biti več, kot je maksimalno možno pri neki temperaturi (rečemo, da je zrak nasičen z vlago). Tako je lahko pri 25 °C v zraku največ 23,1 grama vodne pare v kubičnem metru

zraka, pri 0 °C pa le še 4,8 grama. Vrednosti lahko preberemo v posebej sestavljenih preglednicah ali spletnih računalih.

Relativna vlaga nam pove, koliko znaša dejanska vlažnost glede na največjo možno količino. Če je torej pri temperaturi zraka 25 °C v kubičnem metru 14,5 grama vlage (vodne pare), je relativna vlažnost zraka 63-odstotna. Navadno ugotavljamo, da višja kot je relativna vlažnost, bolj je soparno in obratno. Tako je na ekvatorialnih območjih relativna vlaga skoraj vedno nad 90-odstotna, v puščavskih območjih med 10- in 30-odstotna, a se tam precej spreminja čez dan.

Na ekvatorialnih območjih relativna vlaga skoraj vedno nad 90-odstotna, v puščavskih območjih med 10- in 30-odstotna, a se tam precej spreminja čez dan.



Slika 1: V puščavi Mojave (del Kalifornije, Nevade in Arizone) je relativna vlažnost preko dneva 10-30 %, ponoči pa naraste na okrog 50 %.

Foto: Anton Polšak

Rosišče

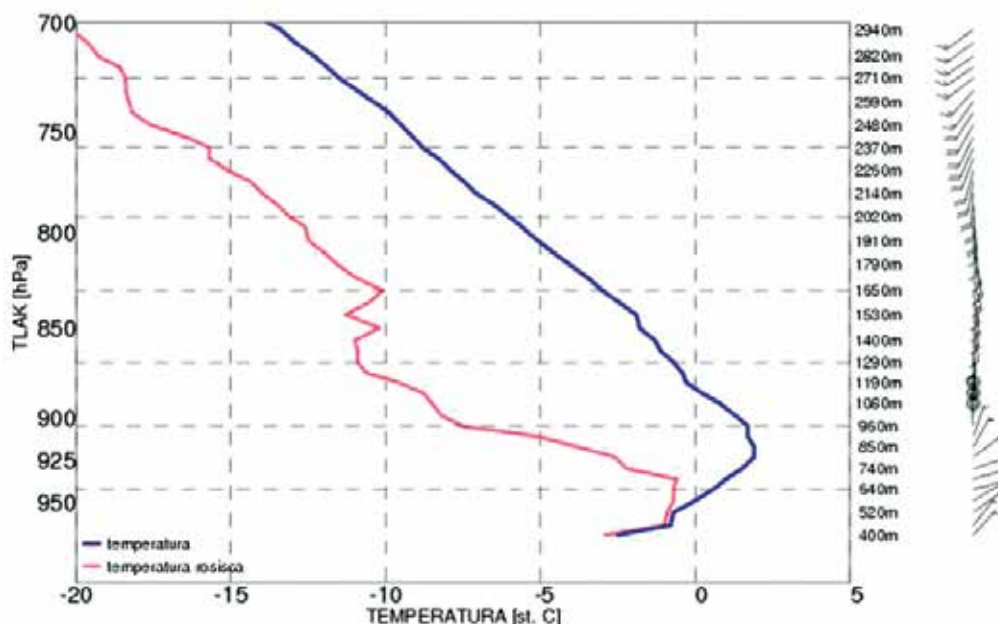
Rosišče je temperatura, na katero moramo ohladiti zrak, ki vsebuje določeno količino vodne pare, da pride do nasičenja. Podatke o rosišču najdemo tudi pri vremenskih napovedih naše državne meteorološke agencije (slika 2). Na sliki opazimo tudi, da sta rdeča in modra črta bolj ali manj narazen, kar imenujemo depresija rosišča.

VERTIKALNA SONDAŽA

SONDA LJUBLJANA

DATUM: 14. 1. 2016

URA: 4:35 UTC



Radiosondažne meritve vertikalnih profilov temperature, vlage in vetra nad Ljubljano do višine približno 3000m (700 hPa).

Opombe:

Modra linija predstavlja potek temperature, rdeča pa potek temperature rosišča. Večja, ko je razlika med obema temperaturama, manjša je relativna vlažnost zraka. Kjer se liniji prekrivata ali pa se vsaj močno približata, je običajno oblačna plast.

Ob desni strani grafa sta s puščicami označeni tudi smer in hitrost vetra. Krogec pomeni brezvetrje, samo paličica veter 2,5 vozla (približno 1,25 m/s), kratek repek 5 vozlov (približno 2,5 m/s), dolg repek (zastavica) 10 vozlov (približno 5 m/s), trikotnik pa 50 vozlov (približno 25 m/s). Veter piha v smeri od repkov proti začetku puščice.

Slika 2: Pravokotni termodinamični diagram kot del vremenske napovedi Agencije RS za okolje in prostor. Tu prikazuje vertikalno sondažo temperature in temperature rosišča 14. januarja 2016 ob 5.35^h po lokalnem času. Pod opombami je zapisana tudi poljudna razlaga grafikona.

Vir: <http://www.arso.gov.si/vreme/napovedi%20in%20podatki/> (14. 1. 2016)

Kdaj pride do pojava rose

Poglejmo primer. Predpostavimo, da se jeseni zrak s 60-odstotno vlažnostjo ohladi s 15 na 5 °C. Ali pride pri tem do pojava rose? V pomoč so nam razne preglednice ali spletne aplikacije (npr. http://www.rotronic.com/humidity_measurement-feuchtemessung-mesure_de_1_

humidite/humidity-calculator-feuchterechnernr), ki kažejo oz. izračunajo točke rosišča. S preglednice razberemo, da je temperatura rosišča 7,3 °C, kar pomeni, da se bo pojavila rosa. To velja še toliko bolj zaradi tega, ker se tla oz. rastlinstvo bolj ohladi kot zrak, pri čemer prav tako pride do nasičenja.

Kako si še lahko razložimo ta pojav? Praktično to pomeni, da ima kilogram zraka s 60-odstotno nasičenostjo pri 15 °C 7,7 grama vodne pare, pri 5 °C pa lahko ima največ 6,8 grama (če je stoo odstotno nasičen). To pomeni, da se mora pri taki ohladitvi izločiti 0,9 grama vodne pare v obliki kapljic (zrak se nasiči) in končno se te kapljice pojavijo v obliki rose na rastlinah in drugih predmetih.

Podoben pojav je slana, le da ta nastane takrat, ko je temperatura rosišča pod 0 °C. Predpostavimo, da se zrak s temperaturo 10 °C in relativno vlažnostjo 40 % ohladi na -5 °C. Ali bo ponoči nastala zmrznjena rosa ali slana? Najprej preverimo, ali bo sploh nastalo kaj od omenjenega. Prvotno ima zrak 3,8 grama vlage v kubičnem metru zraka, pri -5 °C pa ima lahko

Slika 3: Jesenska rosa na odcvetelem muhviču.

Foto: Anton Polšak



največ 3,4 grama. To pomeni, da bo prišlo do kondenzacije vodne pare. Ker pa iz preglednice preberemo, da sta temperaturi zmrzovanja ($-2,6\text{ }^{\circ}\text{C}$) oziroma temperatura rosišča ($-2,9\text{ }^{\circ}\text{C}$) pod lediščem, pomeni, da bo nastala slana.

Podobno nastanejo oblaki. Pri adiabatnem in prisilnem dvigovanju zraka se ta zaradi nižjega zračnega tlaka v višinah ohlaja in temperatura zraka se na določeni višini zniža do temperature rosišča. Iz vlažnega zraka se začne kondenzirati oziroma izločati vodna para v vodne kapljice, kar vidimo kot oblake. Pri suhi adiabati se zrak ohlaja $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ na 100 m višine, pri mokri pa po $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ na 100 m višine. O mokri adiabati govorimo takrat, ko se zračna vlaga kondenzira in se sprosti specifična izparilna oz. latentna toplota, zato je padec temperature pol manjši.

Pri suhi adiabati se zrak ohlaja $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ na 100 m višine, pri mokri pa po $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ na 100 m višine.

Običajni premer vode kapljice je le nekaj stotink milimetra, hitrost padanja pa 1 do 2 cm/s. Tako majhne kapljice med padanjem izhlapijo. V oblaku kapljice nenehno nastajajo in izhlapevajo.

Dežne vodne kapljice so večje in imajo v povprečju premer 1 do 2 mm, le največje okrog 7 mm, in s tem maso 0,2 grama (medmrežje 1). Težje oziroma večje skoraj ne morejo biti, ker se večje s padanjem razbijejo v manjše. Zaradi zračnega upora je hitrost padanja dežnih kapljic omejena in znaša za kapljice s premerom 5 mm okrog 8 m/s. Zmotno je prepričanje, da so kapljice v obliki solze. Zlasti manjše kapljice imajo obliko kroglice, večje pa se zaradi zračnega tlaka precej sploščijo. Čeprav so vodne kapljice majhne, pa je lahko v povsem običajnem oblaku do več sto tisoč ton vode.

Primer

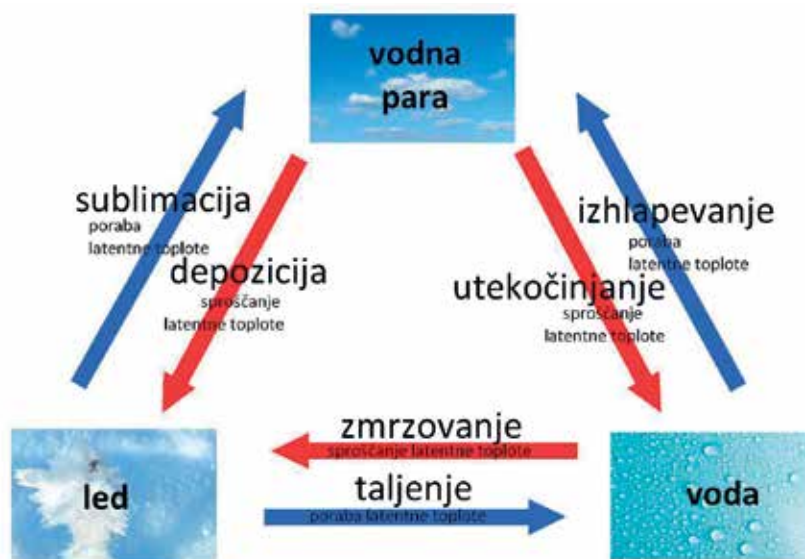
Vzemimo, da je debelina oblaka s premerom 5 km 700 m, temperatura oblaka pa je $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Predpostavimo, da je relativna vlažnost 100 %, kar pomeni, da je v m^3 zraka 9,3 gr vodne pare. Koliko je torej vode v tem oblaku?

Izračunamo, da je v oblaku 127.800 ton vode. Ta praktično pomeni, če bi na zemljo padlo $\frac{3}{4}$ vode iz oblaka v obliki dežja, bi to znašalo 5 l vode/ m^2 .

Agregatna stanja vode v atmosferi

Vlaga ali bolje rečeno voda obstaja v atmosferi v vseh treh agregatnih stanjih: v obliki plina kot vodna para, v tekočem stanju v obliki kapljic in v trdni obliki kot ledeni kristalčki ali snežinke. Pri prehajanju iz ene v drugo obliko se sprošča ali porablja veliko energije (preglednica 2). Vsi vemo, da nas izhlapevanje znoja na telesu močno ohladi, a koliko energije se šele sprosti pri kondenzaciji vodne pare v vodne kapljice (sproščanje latentne toplote oz. entalpije) pri nastanku oblakov.

Pri suhi adiabati se zrak ohlaja $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ na 100 m višine, po mokri pa po $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ na 100 m višine.



Slika 4: Agregatna stanja vode in energijski pretoki.

Proces	Energijska pretvorba
izhlapevanje (evaporacija)	- 2,5 MJ/kg
utekočinjanje (kondenzacija)	+ 2,5 MJ/kg
taljenje	- 0,3 MJ/kg
zmrzovanje	+ 0,3 MJ/kg
sublimacija	- 2,8 MJ/kg
depozicija	+ 2,8 MJ/kg

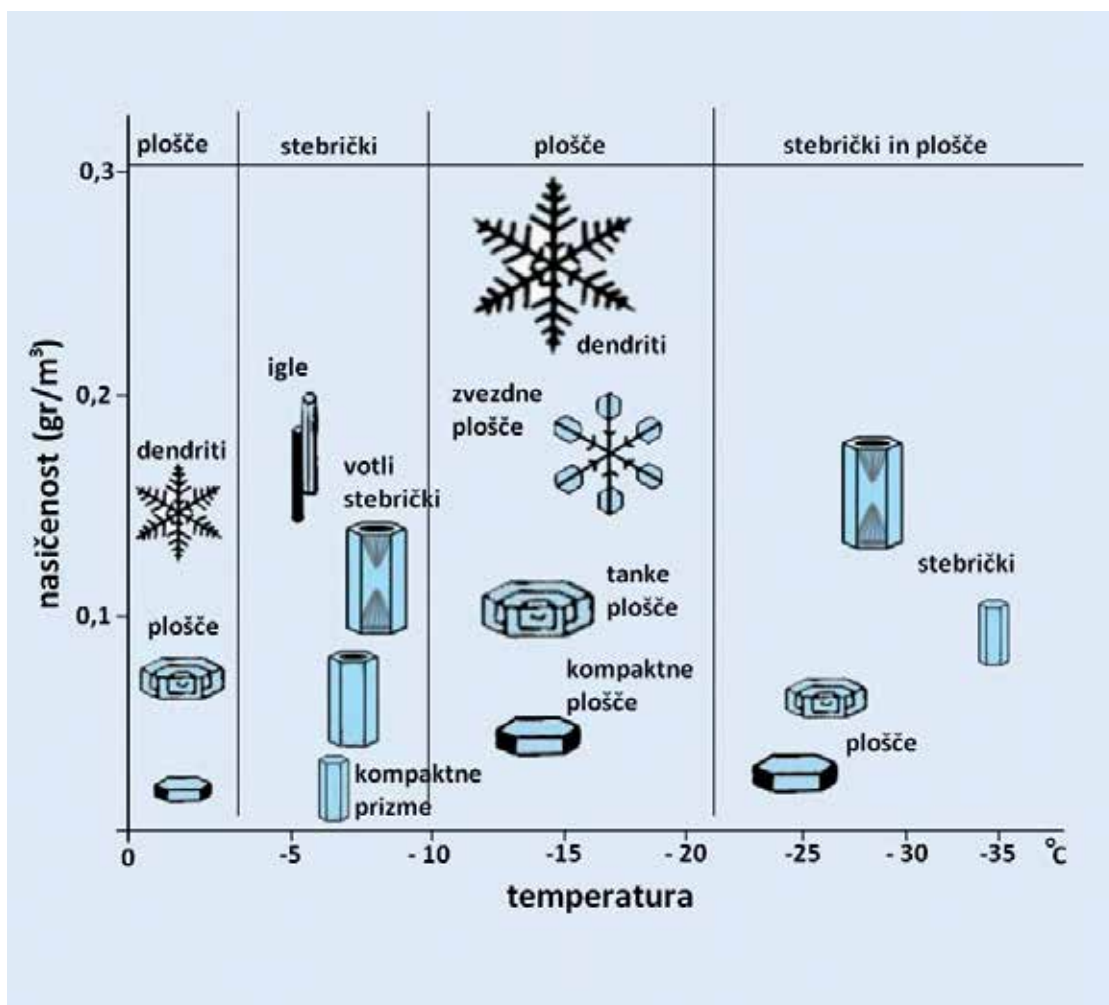
Preglednica 2: Voda prehaja v atmosferi iz enega v drugo agregatno stanje. Pri sublimaciji se porabi ravno toliko energije kot pri izhlapevanju in taljenju.

Za praktičen primer bi bil zelo slikovit že opis navadne nevihte. Najprej voda izhlapeva, nato se kondenzira v vodne kapljice ali neposredno v ledene kristalčke, nakar nastanejo padavine. V velikih višinah je temperatura tako nizka, da se v nevihtnem oblaku padavine pojavijo najprej kot snežinke in šele nato kot dežne kapljice. Vidimo, da pri pretvorbah prevladuje sproščanje latentne toplote (kondenzacija, depozicija in zmrzovanje) in le v manjši meri poraba latentne toplote (npr. pri taljenju ledenih kristalov). Sproščena energija znaša tako kar nekaj sto ali tisoč terajoulov (TJ). Že samo energija bliskov ni povsem zanemarljiva, čeprav je neznatna v primerjavi

z vso sproščeno energijo. Posamezen blisk ima namreč veliko moč (nekaj GW), a traja le kakšno tisočinko sekunde.

Snežinke ali ledeni kristali

Preučevanje snežink je prava znanost. S tem se ukvarjajo tako posamezni znanstveniki, med katerimi je gotovo eden vodilnih Kenneth G. Libbrecht (medmrežje <http://www.snowcrystals.com/>), profesor fizike na Kalifornijskem tehnološkem inštitutu (Caltech), pa meteorologa C. Magono in C. W. Lee, ki sta leta 1966 objavila najbolj kompleksno klasifikacijsko shemo z 80



Slika 5: Oblike ledenih kristalov pri različni temperaturi in vodni pari, ki je potrebna, da kristali ostanejo v ravnovesju (da ne izhlapevajo in da okoliška vodna para nanje ne primrzuje).

Po E. Magono (1966) in K. G. Libbrecht (medmrežje 2) priredil Anton Polšak.

različnimi snežnimi kristali, kot mednarodne organizacije, npr. Mednarodna komisija z sneg. Ta je leta 1951 za sneg in led določila pogosto uporabljeni sistem klasifikacije za trdne padavine. Sistem določa sedem glavnih vrst snežink: ploščice, zvezdni kristali, stebri ali stolpci, igle, prostorska ali razširjajoča drevesa, omejeni stolpci in nepravilni kristali. Tem sedmim vrstam so dodali še tri vrste zamrznjenih padavin: toča, sodra in žled (dostopno na http://www.fmf.uni-lj.si/~zagarn/s_snezinke.php).

Pravijo, da na svetu ni dveh enakih snežink, kar skoraj gotovo drži, saj kristali rastejo na različne načine, vsem pa je skupna šestkotna (heksagonalna) prizma. Ta je posledica razporeditve vodnih molekul v ledu. Pogosta oblika lepo zrasle snežinke je šesterokraka snežinka v obliki praproti (zvezdni dendrit; slika 5).

Kdaj voda zavre?

Vemo, da je voda na našem planetu v vseh treh agregatnih stanjih. Toda ali res vedno zmrzne pri 0 °C in zavre pri 100 °C?

Pri višjem tlaku voda zavre pri višji temperaturi kot pri nižjem tlaku. Tako zavre ob normalnih pogojih (1013 hPa) pri 100 °C. Splošno znano je, da v gorah skoraj ne moremo skuhati fižola, ker voda prej zavre in ne doseže temperature, da bi se fižol skuhal do mehkega. Tako je zračni tlak na Triglavu malo več kot 700 hPa, voda pa tam zavre že pri 90 °C (pri tem nismo znanstveno preverjali trditve, ali se fižol pri 90 °C ne skuha, mogoče je potreben le daljši čas kuhanja). Pri tlaku 473 hPa zavre voda že pri 80 °C, pri 123 hPa pa že pri 50 °C, nasprotno pa je pri tlaku 2000 hPa vrelišče 120 °C (približno takšni pogoji so v ekonom loncu).

Trojna in kritična točka

Zanimiva je tudi t. i. **trojna točka**, pri kateri so v ravnovesju vse tri faze vode: led (trdna snov), tekoča voda (kapljevina) in vodna para (plin). Pri tem voda istočasno izpareva, zmrzuje in sublimira (prehaja iz trdnega v plinasto stanje). To se zgodi z vodo pri temperaturi 0 °C in tlaku 611,7 Pa (0,6 % zračnega tlaka na morski gladini). Pri 220 barih (22 MPa) in 372 °C pa ni



Slika 6: Nastanek ledenih kristalčkov (ivja) kot primer depozicije vodne pare v led. Podobno nastanejo snežinke, ko se vlažen zrak na hitro ohladi pod 0 °C.

Foto: Anton Polšak

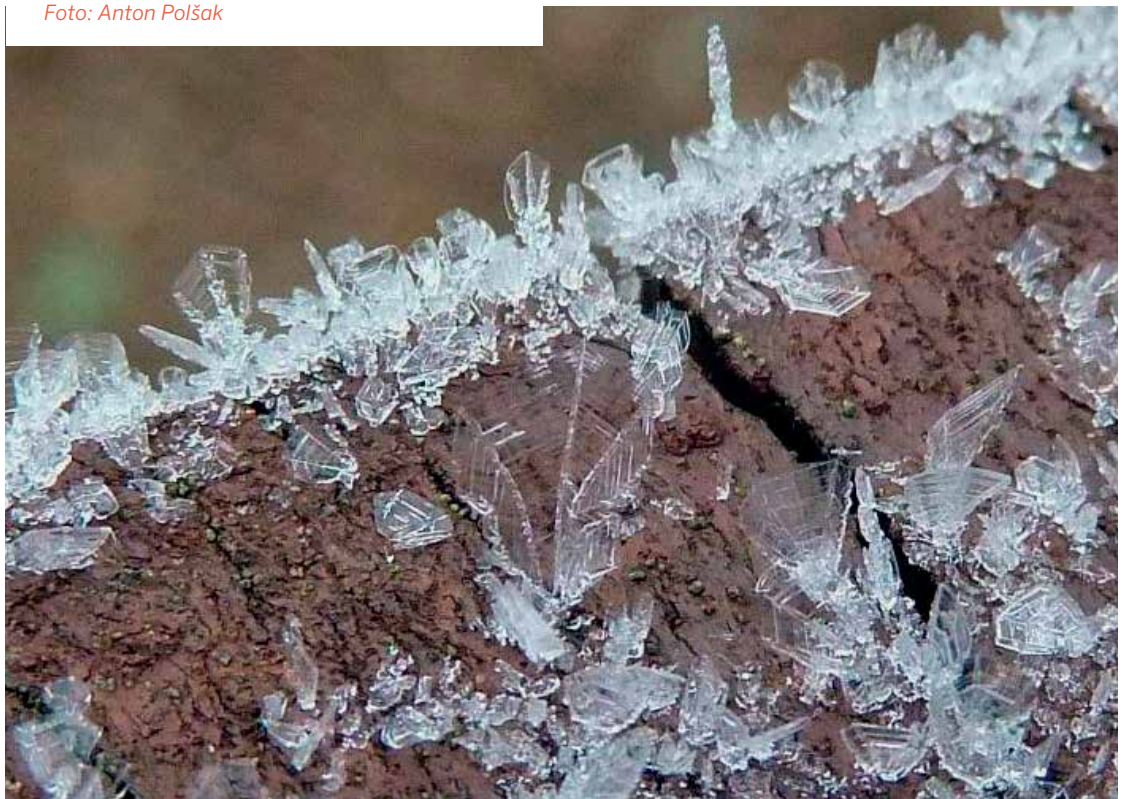


Slika 7: Kristali ledu v obliki stolpca. Osnova za kristal je heksagonalna prizma (označeno s puščicama).

Foto: Anton Polšak

Slika 8: Kristali v obliki pahljač in iglic. Pahljače so nepopolne, ker so kristali začeli nastajati na podlagi in ne prosto v zraku.

Foto: Anton Polšak



več mogoče razlikovati med plinom in kapljevino (**kritična točka**).

Literatura

1. Črepinšek, Z., 2005, *Agrometeorologija* (študijsko gradivo za interno uporabo). Biotehniška fakulteta. Dostopno na <http://url.sio.si/maS> (10. 2. 2016).
2. Hočevar, A., Petkovšek, Z., 1984, *Meteorologija, osnove in nekatere aplikacije*. Partizanska knjiga, Ljubljana, 219 str.
3. Kajfež-Bogataj, L., 1996, *Vaje iz meteorologije*. Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Ljubljana, 98 str.
4. Magono, C., Woo Lee, C., 1966, Meteorological Classification of Natural Snow Crystals. *Journal of Faculty of Science, 4/II*, Hokkaido University. Dostopno na <http://url.sio.si/kX9> (4. 2. 2016).
5. Medmrežje 1: http://vreme.prelog.org/vreme/vremenski_pojmi.htm (12. 2. 2016).
6. Medmrežje 2: <http://www.snowcrystals.com/> (12. 2. 2016).