

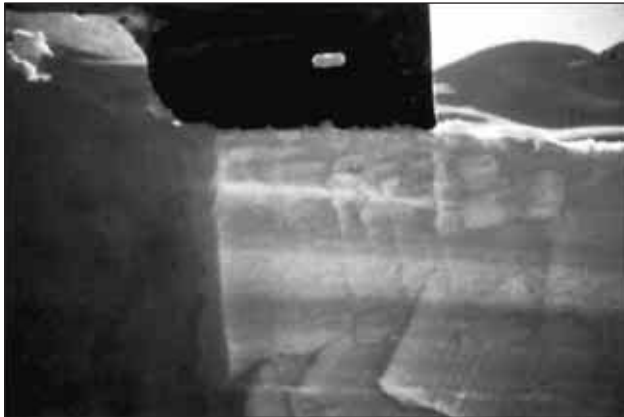
# PREOBRAZBA SNEGA

## Snow Metamorphism

Claude Sergent\*

UDK 548:551.578

Prerez snežne odeje pokaže, da gre za nakopičene snežne plasti z različnimi fizikalnimi in mehanskimi lastnostmi (slika 1). Vsaka izmed njih nastaja v določenem obdobju kot posledica vremenskih razmer med sneženjem in po njem. Plasti se razvijajo in spreminjajo vse do trenutka, ko sneg skopni. Razen vremena imajo pri preobrazbi snega pomembno vlogo tudi krajevne razmere, zlasti strani neba, ki lahko močno povečajo vpliv vremenskih dejavnikov. Snežna odeja je potemtakem kaj raznovrstna snov.



Slika 1. Prerez snežne odeje odkriva različne plasti snega  
Figure 1. Cross-section of snowcover reveals layers of different types of snow

Fizikalne in mehanske lastnosti snežne odeje so v veliki meri odvisne od vrste vsebovanih snežnih kristalov. Od trenutka, ko pade na tla nov sneg, smo priče spremembam prvotnih kristalov zaradi učinka termodinamičnih in mehanskih dejavnikov. Te spremembe, ki jim pravimo preobrazba snega, se začnejo v novem snegu in trajajo, dokler sneg ne izgine. Za potek sprememb so značilne kombinacije kristalov (zrn) v različnih razvojnih fazah.

Sneg je porozna snov, njegova temperatura je nižja ali kvečjemu enaka  $0^{\circ}\text{C}$ . Mešanici zraka in ledu, ohlajeni na manj kot  $0^{\circ}\text{C}$ , pravimo suh sneg. Ker so v zraku vodni hlapi, je voda v suhem snegu v dveh fazah – plinasti in trdni. Kadar je v snegu še tekoča voda, so v termodinamičnem ravnotežju vse tri faze, temperatura snega je tedaj  $0^{\circ}\text{C}$ . V suhem snegu poteka preobrazba zrn s pomočjo plinske faze, medtem ko je v mokrem snegu glavna tekoča faza, plinska faza pa močno okrnjena. Zato ločimo dve vrsti preobrazbe: preobrazbo suhega snega in preobrazbo mokrega snega. Razen termodinamičnih sprememb lahko spremembe nastajajo tudi zaradi mehanskih obremenitev, če na snežne delce delujeta veter ali teža vrhnjih plasti snežne odeje. Dejavniki preobrazbe je potemtakem več. Nekateri izmed njih pridejo do veljave samo v suhem snegu.

Kadar imamo opravka z mokrim snegom, zaradi tekoče vode v njem pri temperaturi snega  $0^{\circ}\text{C}$  vlada izotermija, ki zavira ali pospešuje dogajanje. Takrat so v igri drugi dejavniki.

## Suhi sneg

### Dejavniki preobrazbe suhega snega

Kadar v snegu ni tekoče vode, so spremembe posledica mehanskih dejavnikov ali pa termodinamičnih pojavov, v katerih prideta do veljave le trdna in plinasta faza vode.

### Efekt krivinskega polmera

Zrak lahko vsebuje samo omejeno količino vodne pare – maksimalni tlak nasičene vodne pare (mišljeni so vodni hlapi), kar je odvisno samo od temperature. Nad tekočo vodo ali ledom je ta maksimum odvisen tudi od oblike njune površine, le-to pa določa njen krivinski polmer. Polmer konic in izboklin je majhen, polmer ravne ploskve neskončen, polmer vboklin pa negativen s toliko manjšo absolutno vrednostjo, kolikor izrazitejša je vboklina. Pri dani temperaturi je maksimalni tlak nasičene vodne pare večji nad izboklinami kot nad ravnimi ali vboklinami ploskvami. Na splošno bo torej več vodne pare v bližini izboklin kot v vdolbinah. Ker neravnovesje ni obstojno, nastane pretok vodne pare z izboklin na vbokla območja. Zrak v bližini izboklin zaradi odtokanja ni nasičen z vodno paro, zato tam del ledu sublimira – voda prehaja iz trdnega stanja neposredno v plinasto. Velja pa tudi obratno: v bližini vboklin je vodna para prenasočena, zato se višek deponira v vboklini (depozicija – prehod vode iz plinastega v trdno stanje). Pretok vodne pare z območij višjega tlaka (od konic in izboklin) k območjem nižjega tlaka (k vboklinam) vzdržuje stanje, ki vodi k zaoblitvi snežnih delcev. Najmanjša zrnca izginjajo; če je na voljo zadosti časa, se zrna zaoblijo (slika 2).

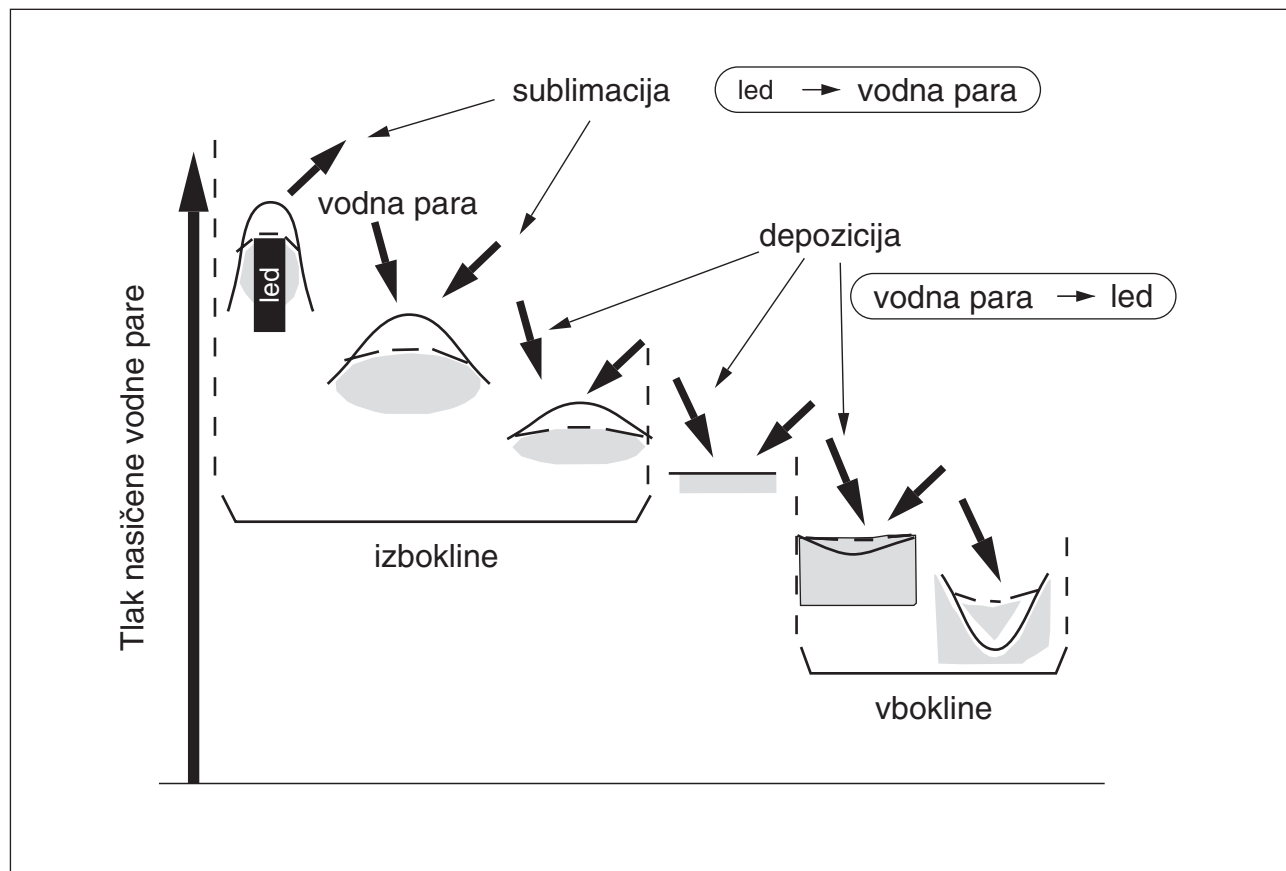
Ugotovljeno je, da se snov prenaša z vodno paro od izboklin na vbokla območja. Pomembna posledica efekta krivinskega polmera so vezi zaradi sintranja. Kjer se dotikata dve snežni zrna nastane konkavna špranja in v njej zaradi depozicije vodne pare na stiku zrn ledeni mostiček (zavoljo lažje razlage si zamišljamo, da sta zrna okrogli). Govorimo o sintranju zrn in koheziji sintranja. Hitrost nastajanja mostičkov in njihova velikost sta tem večji, čim manjša so snežna zrnca. Ob vsakem stiku zrn nastane mostiček, s katerim pridobi snežna odeja določeno trdnost. Ta je tem večja, čim več je mostičkov. Kohezija sintranja suhe snežne odeje z drobnimi zrnici ( $< 0,3/0,4\text{ mm}$ ) bo dobra, snežne odeje z debelejšimi zrnici pa slabša (slika 3).

### Vertikalni temperaturni gradient

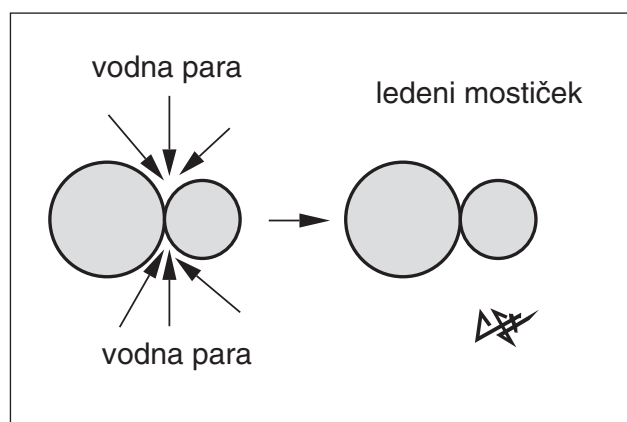
Gradient (padec) temperature v navpični smeri od vrha do dna snežne odeje je značilen za porazdelitev temperature v njej. V splošnem je temperatura na dnu okrog  $0^{\circ}\text{C}$ , na površini suhega snega pa je lahko dosti nižja, saj včasih doseže celo  $-20$  do  $-30^{\circ}\text{C}$ . Vertikalni temperaturni gradient je razmerje med temperaturno razliko dveh ravni snežne odeje in njuno navpično oddaljenostjo (slika 4). Odvisen je od izolacijskih lastnosti snega, torej je posledica količine zraka v snegu, z drugimi besedami – odvisen je od njegove prostorninske mase oz. gostote. V splošnem bomo na velik temperaturni gradient naleteli v vrhnjih, ne preveč debelih plasteh novega suhega snega, medtem ko je pojav v gostejših spodnjih plasteh manj izrazit. V mokrem snegu pa temperaturnega gradienta ni, saj je zaradi tekoče vode temperatura povsod enaka –  $0^{\circ}\text{C}$ .

Nadaljujmo z razmerami v suhem snegu. V plasti suhega snega, v kateri temperaturna razlika v navpični smeri ni zanemarljiva, je vsako snežno zrno toplejše od zrna, ki leži nad njim. Zrak v neposredni okolici zrna ima enako temperaturo kot zrno, lahko pa vsebuje več vodne pare kot višje ležeče zrno. Posledica je krajevno neravnotežje med tlakoma nasičene vodne pare, ki povzroči pretok vodne pare od toplejšega k hladnejšemu zrnu. Okolica toplejšega zrna bo s tem izgubila določeno količino vodne pare, zato toplejše

\* Météo-France, Centre d'Études de la Neige; 1441 rue de la Piscine, St. Martin d'Herès, France. Originalni naslov članka je Les métamorphoses de la neige, objavljen je bil v reviji Neige et avalanches, ANENA, št. 83, september 1998, prevod: Pavle Šegula, Suška 34, Škofja Loka



Slika 2. Shema prehajanja snovi z vodno paro zaradi efekta krivinskega polmera  
Figure 2. Schematic presentation of radius-of-curvature-driven metamorphism by migration of water vapour

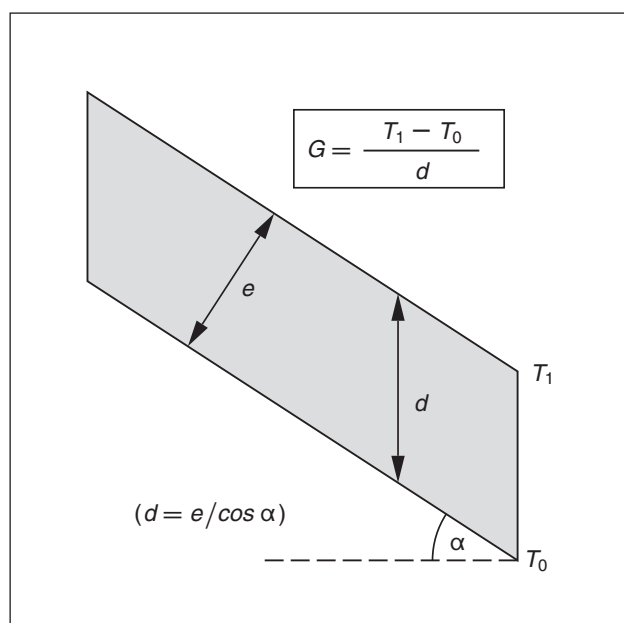


Slika 3. Shematski prikaz sintranja delcev v snežni odeji  
Figure 3. Schematic presentation of the sintering process in snowcover

zrno sublimira in izpari delček svoje ledne gnote. Hladnejše vrhnje zrno se viška vodne pare znebi tako, da jo odda v svojo okolico, medtem ko se prejeti višek na njem deponira, površina pa zato postaja oglasta (šesterokotna kristalizacija). Zrno se zasreži (slika 5). Snov se z vodno paro prenaša z zrna na zrno.

#### Vloga temperature

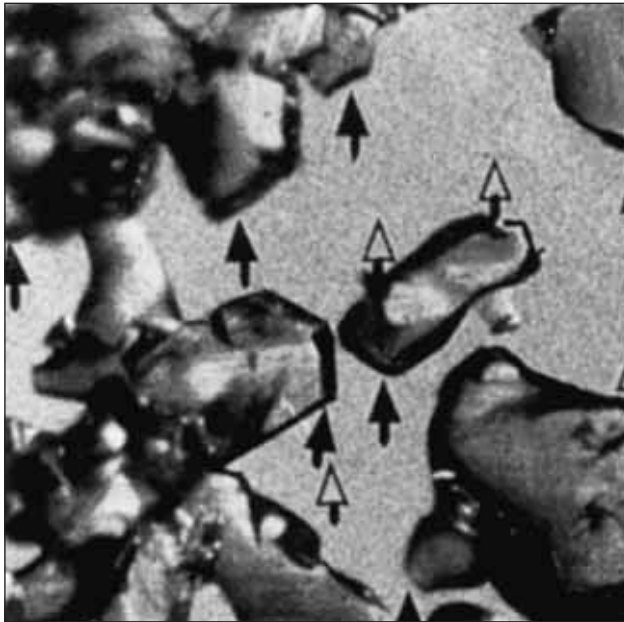
V suhem snegu igra temperatura zelo pomembno vlogo – pospešuje ali zavira njegovo preobrazbo. Največja količina vodne pare, ki se lahko nahaja v okolici snežnega zrna, je močno odvisna od temperature zraka v bližini zrna. Čim bližje 0° C je temperatura, tem izdatnejše bo led z vodno



Slika 4. Izračun vertikalnega temperaturnega gradienta v snežni odeji

Figure 4. Calculation of vertical temperature gradient in snowcover

paro prehajal z izboklih delov zrna k vboklim, tem hitreje se bodo občila zrna. Če opazujemo preobrazbo dveh enako debelih plasti snega z enakim temperaturnim gradientom, npr. -5/-20° C oz. -15/-30° C [ $\Delta T = 15^\circ C$ ], vendar z različno srednjo temperaturo, opazimo, da hitreje poteka preobrazba toplejše plasti.



Slika 5. Shematski prikaz prehajanja snovi z vodno paro zaradi temperaturnega gradienta  
Figure 5. Schematic presentation of temperature-gradient-driven metamorphism by migration of water vapour

### Veter

Veter je lahko vzrok spremembe snežnih kristalov med sneženjem ali po njem. Dokler sta prostorninska masa in sprijetost snega še majhni, veter zlahka odnaša sneg s površine snežne odeje. V vrtincih vetra del kristalov sublimira, deloma pa med njimi pride do trčenja. Krhki deli kristalov (kraki zvezdic – dendriti) slabo prenašajo sunke in se lomijo. Čim močnejši je veter, tem številčnejši so trki, kristali se drobijo v majhne, yčasih zelo drobcene delčke ledu s premerom  $< 0,1$  mm. Če je zrak razmeroma suh, se isto dogaja zaradi sublimacije. Razen kopičenja z vetrom odloženega snega v zavetrju je posledica še sprijemanje drobccev zaradi sintranja v trenutku, ko jih veter odloži. Sprijemanje je tem hitrejše in izdatnejše, čim manjši so delčki. Napihani sneg, ki se nabira na pobočjih, kamor ne sežejo močni vetrovi, je lahko zelo krhek ali zelo trd, odvisno od vrste snežnih delcev. Tako nastajajo tudi opasti.

### Preobrazba snega med sneženjem

Kadar sneži pri negativni temperaturi (nahajališče snežne odeje je nad višinsko črto z izotermo  $0^{\circ}\text{C}$ ) se dogaja, da veter mikasti snežinke, ki so pogosto spriete v kosme. Pri tem ustrezno svoji moči in hitrosti bolj ali manj polomi krhke krake kristalov. Tak novi sneg ni več nedotaknjen (simbol +) (slika 6). Če iznakaženje ni preveliko in se v odloženem snegu še razločijo prvotni kristali, pravimo snegu *polsteni sneg* (simbol /) (slika 7). Kadar je iznakaženje zelo izrazito,



Slika 6. Različni tipi kristalov suhega snega  
Figure 6. Various types of dry snow crystals



Slika 7. Polsteni sneg – prvotni kristali so še prepoznavni (razmik med navpičnimi črtami je  $0,2$  mm)  
Figure 7. Faceted snow – the original crystals are still recognizable (vertical interval  $0.2$  mm)

padajo na tla zelo drobni delčki, med katerimi bi težko našli takega, po katerem bi sklepali na prvotno obliko. Tem zrncom pravimo *drobna zrna* ali tudi *finna zrna* (simbol je  $\bullet$ ). Imamo jih za posledico mehanskih procesov (slika 8) za razliko od tistih, ki nastanejo kot posledica termodinamičnega dogajanja (glej odstavek: Zrnjenje – posledica preobrazbe snega ob majhnem temperaturnem gradientu). Če zanemarimo veter, so kristali med sneženjem izpostavljeni efektu krivinskega polmera, pri čemer se zrna rahlo zaobljijo. Efekt je tem izrazitejši, čim bliže  $0^{\circ}\text{C}$  je temperatura zraka, ni pa zadosti močan, da bi razvejani delci povsem izginili, odtod polsteni sneg.

Kadar je temperatura precej nizka ( $< -10/-8^{\circ}\text{C}$ ) efekt krivinskega polmera ne pride prav do veljave. V odloženem snegu so v splošnem malo spremenjeni kristali novega snega (+) (slika 6). V srednjih višinah (1800–2000 m) sneženje pogosto spremlja bolj ali manj močan veter ob temperaturah od  $-3$  do  $-6^{\circ}\text{C}$ . V teh okoliščinah je razkrajajoči se sneg navadno mešanica polstenege snega: vejičastih drobcev, dendritov in zaobljenih zrn, ki so vrh vsega še zaivjeni s primrznenimi podhlajenimi kapljicami vode, ob katere trčijo med padanjem proti tlom. Zaradi polomljenih krakov in vejic se v snegu zmanjša razdalja

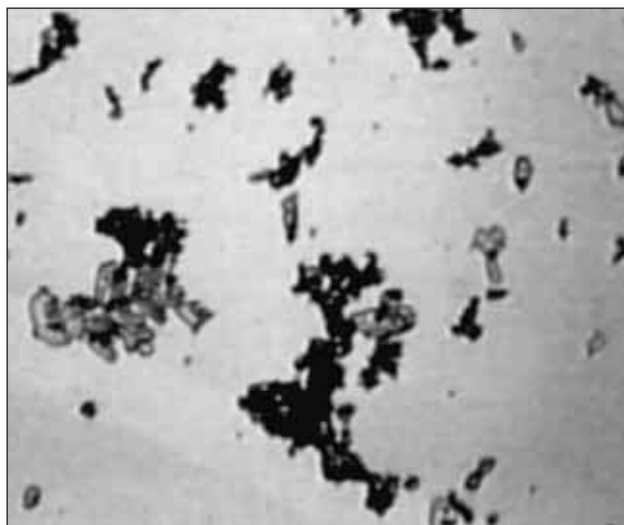
med zrnji, prostorninska masa tako predelanega snega se poveča. Sneg, ki pada npr. v brezvetrju pri temperaturi  $-15^{\circ}\text{C}$  ima srednjo prostorninsko maso  $20-50\text{ kg/m}^3$ , nasprotno pa bo masa snega, ki pada pri  $-5^{\circ}\text{C}$  z vetrom s hitrostjo  $10\text{ m/s}$ , dosegla  $150-200\text{ kg/m}^3$ . Izkušnje kažejo, da je srednja prostorninska masa (suhega) snega med sneženjem okoli  $100\text{ kg/m}^3$ , kar omogoča okvirno oceno:  $10\text{ cm}$  novega snega =  $10\text{ mm}$  vode na  $1\text{ m}^2$ .

Znana je še ena posledica zmanjšanja medsebojne razdalje med zrnji v snežni odeji – poveča se število stičnih točk med zrnji, na katerih pride do sintranja in s tem do povečanja kohezije. Čim večje so torej spremembe kristalov med sneženjem (močan veter, temperatura okoli  $0^{\circ}\text{C}$ ) in čim več jih je, tem gostejša bo snežna odeja, tem večja bo kohezija snega zaradi sintranja.

Ne pozabimo še, da ostane sneg, ki pade v brezvetrju, zaradi nizkih temperatur rahel še nekaj dni po sneženju. Če začne pihati veter, lahko nosi sneg daleč proč, dokler ga ne odloži nekje v zavetrju, ko njegova moč usahne. Opravka imamo pravzaprav z enakimi razmerami, kot če sneži z vetrom: obstajata nevarnost prekomerne krajevne obremenitve snežne odeje zaradi zametov in možnost spontanega trganja snežnih plazov.



Slika 8. Drobna zrna, posledica močnega delovanja vetra  
Figure 8. Small grains produced by strong winds



Slika 9. Drobna zrna po zrnjenju  
Figure 9. Small grains after granulation



## Zrnjenje ob majhnem temperaturnem gradientu ( $G < 5^\circ \text{C/m}$ )

Znotraj plasti suhega snega hkrati potekata preobrazba zaradi efekta krivinskega polmera in preobrazba zaradi temperaturnega gradienta, pri čemer so njuni učinki nasprotni. Medtem ko krivinski polmer povzroča zaoblitev zrn, je gradient kriv, da zrnca postajajo oglata. O končnem rezultatu odloča temperaturni gradient.

Če je temperaturni gradient majhen ( $G < 5^\circ \text{C/m}$ ), efekt krivinskega polmera prevlada nad gradientom, zrna se oblijo. Če imamo na začetku opravka z novim snegom (+), se zrna lomijo in se postopoma spreminjajo v še prepoznavne delce – polsteni sneg (/). Če se bo proces nadaljeval, bodo kraki, vejice izginili, ostala bodo samo zaobljena zrna, t. i. drobna oz. fina zrna (•) s premerom 0,1 do 0,4 mm (slika 9).

Hitrost te preobrazbe je očitno odvisna od temperature snega. Če je sprememba kristalov iz novega snega (+) v polsteni sneg (/) v splošnem dokaj hitra (nekaj dni), je za prehod v drobna zrna (•) treba več časa. Oglejmo si primer: če je temperaturni gradient  $3^\circ \text{C/m}$  in srednja temperatura snežne odeje  $-3,5^\circ \text{C}$ , bo trajalo približno deset dni, da se v snežni odeji pojavi mešanica polstenelega snega in drobnih zrn. Med to preobrazbo izginjajo vejičaste oblike, zrna so si vse bližje, sneg je vse gostejši, poveča se število stičnih točk, sintranje se pospeši. Snežna odeja se seseda, njena prostorninska masa se opazno veča (dosežene vrednosti znašajo med 200 in  $300 \text{ kg/m}^3$ ). Njena trdnost pride od tiste, ki jo omogočajo sprijeti kraki in vejice, do mnogo večje kohezije zaradi sintranja zrn. Medtem ko zaradi upadanja kohezije po popuščanju vezi med kraki in vejicami v polstenem snegu trdnost snežne odeje sprva popusti in bomo na zadosti strmih pobočjih lahko opazili spontane snežne plazove, se kasneje stabilnost zaradi kohezije sintranja poveča. Kohezija je tem izdatnejša, ker so zrnca majhna, število stičnih točk pa veliko. Škoda, da tako spremenjena snežna odeja ni plastična in zato slabo prenaša napetosti.

## Zrnjenje ob zmernem temperaturnem gradientu ( $5^\circ \text{C/m} < G < 20^\circ \text{C/m}$ ) – mehko sreženje

V tem primeru se že čuti navpična temperaturna razlika med zrci v snežni odeji. Vsako zrno je toplejše kot zrno nad njim, vpliv temperaturnega gradienta se kosa z efektom krivinskega polmera in prevlada. Tokovi vodne pare zaradi temperaturnih razlik med zrci so izdatnejši kot tisti, ki jih povzroča efekt krivinskega polmera. Kristalizacijo vodne pare na mrzlih mestih kaže povečana robotost zrn. Zaradi

efekta krivinskega polmera poteka hitreje kot uparitev. Efekt krivinskega polmera pa na začetku preobrazbe kljub temu sproži uparitev najdrobnejših zrn in najtanjših vejic. Končna posledica je nastanek oglatih zrn s ploskvicami pod kotom  $120^\circ$  (šesterokotna – kristalizacija), ki jim pravimo *zrna z ravnimi ploskvami* ali *facetami* (simbol □) (slika 10). Ta preobrazba učinkovito načne novi sneg, polsteni sneg in drobna zrna. Snežna odeja z novim in polstenim snegom se pri tem močno seseda, saj kraki in vejice naglo izginjajo. Kar zadeva drobna zrna, je sprememba gostote neznatna. Pri temperaturnem gradientu  $15^\circ \text{C}$  potrebuje novi sneg 10 dni, da se preobrazi v mešanico polstenelega snega in zrn z ravnimi ploskvami. Prostorninska masa le-teh je med 250 in  $350 \text{ kg/m}^3$ , njihova velikost pa – kar je poglavitno – opazno večja od velikosti drobnih zrn, saj imajo premer od 0,4 do 0,6 mm. Posledici sta manjše število stičnih točk in manjša kohezija sintranja. Zaradi te preobrazbe se zmanjša trdnost snežne odeje, kar vodi k nestabilnosti, ko se na njej zaradi sneženja ali drugih vzrokov znajdejo nove plasti snega. Plast zrn z ravnimi ploskvami – pravimo ji tudi *šibka plast* – ima v snežni odeji vlogo drsne plasti, na njej se trgajo in speljejo zlasti tisti plazovi, ki jih sprožijo sami ponesrečenci.

Po drugi plati se v plasti zrn z ravnimi ploskvami ob majhnem temperaturnem gradientu lahko sproži povratni proces, ko zaradi efekta krivinskega polmera spet nastajajo zaobljena zrna. Če so ta dovolj majhna, se bo zaradi kohezije sintranja snežna odeja spet utrdila.

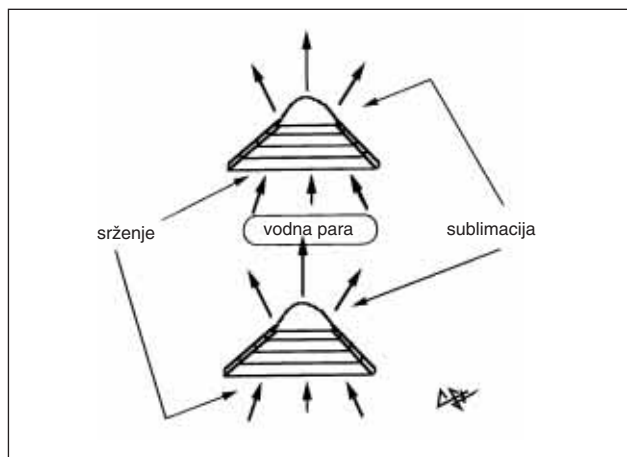
## Zrnjenje ob velikem temperaturnem gradientu ( $G > 20^\circ \text{C/m}$ ) – trdo sreženje

V tem primeru je navpična temperaturna razlika med zrci zelo izrazita in tok vodne pare močnejši. Za prvi stadij sprememb je značilen nagel pojav zrn z ravnimi ploskvicami, ki ga spremlja opazno sesedanje novega in/ali polstenelega snega (+ ali /). Sledi rast osnovne ploskve slehernega zrna kot posledica depozicije vodne pare, prihajajoče z zrna pod njim. Zaradi intenzivnosti toka vodne pare nastajajo nekakšne ledene stopničke. Na zgornji strani zrna medtem poteka uparitev – zrno postane bolj oblo in gladko (slika 11).

Končna oblika zrna je navadno značilna nabrazdana piramida, ki ji pravimo »člašasti kristal« (simbol ^) (slika 12). Velikost zrna je precejšnja: 0,6 do 2 mm, včasih 4 mm in celo več. Snežna plast s tolikšnimi zrci je dokaj rahla; zaradi velikosti zrn je med njimi malo stičnih točk, kohezija sintranja pa temu primerno zelo majhna. Če člašaste kristale zadržamo v dlani, se z dlani v dlan pretakajo kot debelozrna ta sol ali zrna riža. Njihova prostorninska masa se komaj razlikuje od prostorninske mase zrn z ravnimi ploskvami in



Slika 10. Zrna z ravnimi ploskvicami  
Figure 10. Flat-surfaced grains



Slika 11. Shematski prikaz nastanka čašastih kristalov  
Figure 11. Schematic presentation of formation of cup-shaped crystals

znaša od 250 do 400 kg/m<sup>3</sup>. Očitno imamo opravka s snegom, ki v notranjosti snežne odeje povzroča trajno veliko nestabilnost. Če se na taki plasti snega znajde trša plast sprjetega snega, bo to lahko vzrok splazitve, bodisi naravne bodisi po krivdi človeka. Za rast čašastih kristalov globinskega sreža je potreben močan pretok vodne pare od zrna do zrna in zadosti prostora, torej primerno rahla snežna odeja. Gostota snega v snežni odeji na začetku sreženja potemtakem ne sme biti. Sneg z gostoto nad 150 kg/m<sup>3</sup> v naravnih pogojih nima možnosti, da bi se preobrazil v čašaste kristale, obstaja kvečjemu možnost, da preide v zrna z ravnimi ploskvami. Zpomniti pa si velja, da se čašasti kristali po zmanjšanju temperaturnega gradienta ne morejo več spremeniti in bo plast ostala še naprej nestabilna. Edina možnost, da pride do spremembe, je močna navlažitev. Znan je primer, ko se je plast drobnih zrn (•) z gostoto 260 kg/m<sup>3</sup> pod vplivom temperaturnega gradienta 55° C/m v 25 dneh spremenila v čašaste kristale s premerom 2 mm. Močan temperaturni gradient lahko povzroči, da se nov sneg v nekaj dneh spremeni v zrna z ravnimi ploskvami. Klasičen primer je bilo sneženje, ko je padla tenka plast novega snega (10 cm) na plast vlažnega snega (temperatura = 0° C!), sledila pa je močna ohladitev s temperaturo -10° C na površini snežne odeje. Ustrezno razmeram je bil temperaturni gradient 100° C/m, nakar so se že po dveh dneh pojavila zrna z ravnimi ploskvami. Ko se je plast posedla, je ostala krhka šibka plast, debela nekaj centimetrov – zelo nevarna podlaga za plasti, ki bi jih odložile kasnejše snežne padavine.

## Mokri sneg

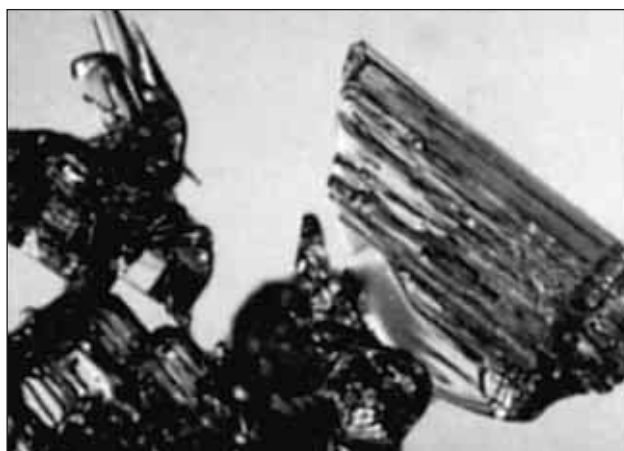
Kadar je v snežni odeji tekoča voda, pravimo, da je sneg moker. Temperatura snega je zaradi ravnotežja med tekočo, trdno in plinasto fazo nujno 0° C. Če to drži na ravni snežne plasti, pa ne velja za razmere med zrn. Tu sta ravnovesna temperatura in tališče rahlo nižja, včasih pa celo višja od 0° C (gre za nekaj tisočink do nekaj deset tisočink stopinje), odvisno od njihove oblike (vbokla, izbokla) ali velikosti. Te, sicer malenkostne temperaturne razlike in vsebnost tekoče vode v celoti omogočajo razumevanje obeh režimov preobrazbe, ki sta odvisna predvsem od količine oz. vsebnosti tekoče vode (VTV) v snegu.

## Režimi preobrazbe mokrega snega

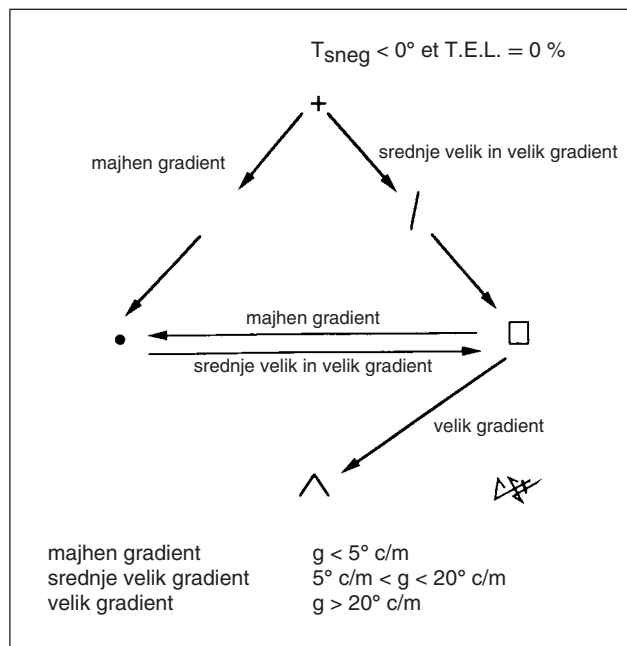
### Režim preobrazbe pri majhni vsebnosti tekoče vode

Kadar je v snegu malo tekoče vode (VTV < 2 % skupne mase), se ta zaradi kapilarnosti pojavi okrog stičnih točk. Med zrn in v vdolbinah nastane tanka vodna mrenica (slika 13).

V tem režimu se bosta zaradi premera zrn in zlasti zaradi kapilarnih sil med zrn znižala ravnovesna temperatura oz. tališče ledu. Čim manj je tekoče vode in čim večje so kapilarne sile, tem bolj se zniža tališče (za tisočinko stopinje pod 0° C). V takem snegu se bodo najprej stalila zrna z vodno mrenico, katerih masa je najmanjša. Zaradi tega pojava se uskladi količina proste vode ob vezeh med zrn. Kar zadeva zrna, je zmanjšanje temperature tališča obratno sorazmerno z njihovim premerom. Posledica je, da se bodo najprej stalila najmanjša zrnca in najbolj koničaste tvorbe (zaradi majhnega krivinskega polmera se bodo zlile z majhnimi zrn). V obeh primerih tako sproščena voda zaradi kapilarnih sil roma k preostalim zrnom in vdolbinam ter s primrzovanjem povzroči, da se ta zaobljijo in debelijo. To prehajanje iz trdnega stanja v tekoče in obratno vodi do kopičenja in sproščanja toplote ter tako vzdržuje preobrazbo. Prisotnost zraka zavira pretok toplote med zrn, zato ta prehaja v glavnem na stiku voda–led. Če se VTV poveča, poteka preobrazba hitreje in tako omogoči, da prevlada vpliv premera zrn. Tako je v režimu majhne vsebnosti tekoče vode debelenje zrn precej počasno zaradi stičnih površin led–zrak, se pa pospeši, ko se poveča VTV. Vendar se kljub počasnim spremembam v ravni snežni plasti opazi zaoblitev in odebelitev zrn. Sicer pa je snežna odeja kot celota zaradi močnih kapilarnih sil med zrn dobro sprjeta.



Slika 12. Čašasti kristali – globinski srež (razmik med navpičnimi črtami je 0,2 mm)  
Figure 12. Cup-shaped crystals – depth hoar (vertical interval of 0.2 mm)



Shema preobrazbe suhega snega  
 Schematic presentation of dry snow transformation

**Režim preobrazbe pri veliki vsebnosti tekoče vode**

Ko se vsebnost tekoče vode v snegu zelo poveča (VTV > 12 % skupne mase) in je v snegu že vsepovsod voda, med ledom in vodo ni več vmesnih plasti zraka ali le redkokatera (slika 14). Takrat je kapilarni tlak majhen, na spremembo tališča ledu (za 10 tisočink stopinje pod 0° C) lahko vpliva le premer zrn. Zdaj se najmanjša zrnca talijo v korist debelejših zrn, na katera primrzujejo, ker je temperatura ledišča tam višja. Isto se dogaja z izboklinami, ki se talijo v korist manj izboklih delov, zlasti vboklin. Spremembe so v tem primeru učinkovitejše, ker je pretok toplote med zrnoli lažjan zaradi sprememb faze, še posebno zaradi tekoče vode, katere toplotna prevodnost je bistveno večja od toplotne prevodnosti zraka. Sicer pa se zaradi tlaka na stičnih točkah med zrnli zniža tudi temperatura tališča, če je

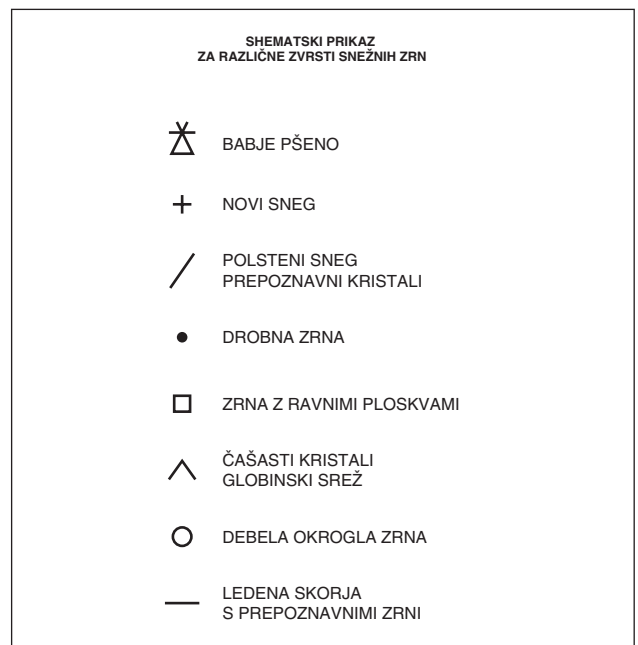
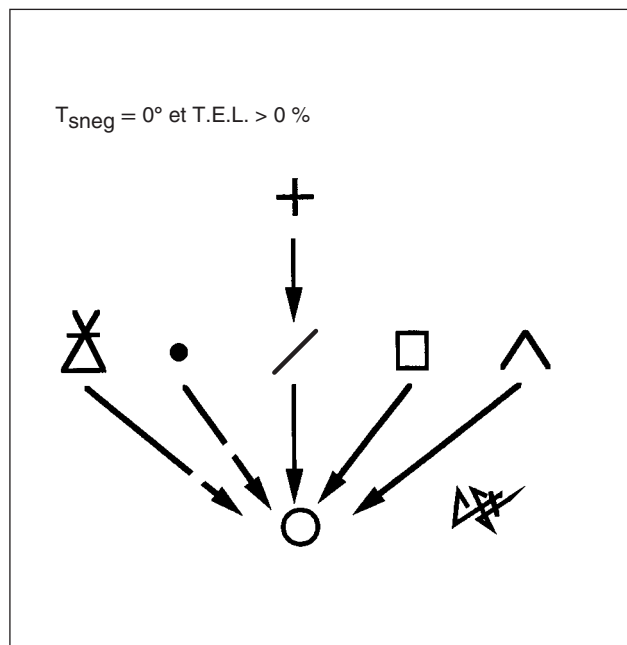
tlak zadosti velik (npr. na dnu debele snežne odeje). Opazimo taljenje in povečanje stičnih mest. Pojav je pomemben, ker je tališče lahko za tisočinko ali stotinko stopinje pod 0° C. V tem režimu preobrazbe opazimo v snežni odeji hitro zaoblitev in debeljenje zrn ter zgoščanje snežne odeje. Z mehanskega vidika pa je pomembno izginjanje vezi in – kot posledica – močno zmanjšanje kohezije med snežnimi zrnli.

**Preobrazba mokrega snega**

Sneg lahko postane moker na dva načina: zaradi tavanja snega na površini snežne odeje kot posledice pozitivne energetske bilance pri menjavi sneg–ozračje (topel zrak, močno sončevo obsevanje itn.) ali zaradi neposrednega dotoka tekoče vode, tj. dežja. Navlažitve plasti snežne odeje poteka v glavnem s površine snežne odeje. Naj gre za dež ali za snežnico, ne prvi ne druga ne ponikata v notranost enakomerno, ampak po prednostnih kanalčkih. Potemtakem bomo v notranosti snežne odeje naleteli na različno vsebnost tekoče vode (VTV) ali, drugače rečeno, v isti ravnini snežne odeje bodo nekje suhi, drugje pa mokri predeli. V snežni odeji, ki ne leži na neprepustni podlagi, voda navadno vendarle odteka, čim je prekoračena njena zmogljivost zadrževanja vode. Ta je odvisna od gostote snežne odeje pred navlažitvijo in niha med 12 % skupne gnote v snegu z gostoto okoli 250 kg/m<sup>3</sup> in 7 % v snegu z gostoto okoli 500 kg/m<sup>3</sup>.

V takih razmerah poteka oblitev snežnih zrn precej hitro, porajajo se okrogla zrna srenca (simbol O) (slika 15). Njihovo debeljenje poteka pri majhni VTV zelo počasi, poveča pa se, kadar se vrednost VTV približa zmogljivosti zadrževanja vode snežne odeje. Iz izkušnje vemo naslednje: nov sneg, ki se je vlažil 16 dni, se pri VTV 2 % spreminja v okrogla zrna premera 0,2 mm, če pa je VTV 10 %, bo premer zrn 0,6 mm. V splošnem je premer zrn med 0,2 in 2 mm. V snežni odeji ugotovimo napredujoče povečanje gostote (do 500 kg/m<sup>3</sup>). Kohezija, ki je pri majhnih vrednostih VTV dobra, se z rastočo VTV manjša.

Kadar leži vlažeča se snežna odeja na neprepustnih tleh ali na snežni odeji, ki ne prepušča vode, lahko pride do nasičenja snežne odeje z vodo (debelejša zrna, rahel sneg). V tem primeru poteka preobrazba v režimu zelo velike vsebnosti vode. Takrat se po eni strani zrna debelijo



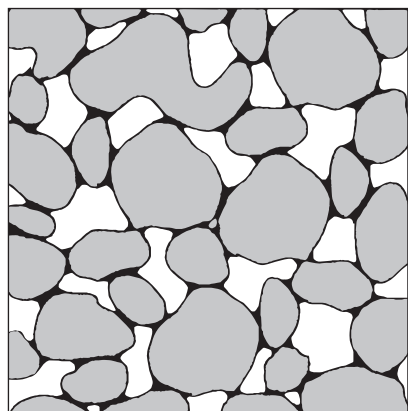
Shema preobrazbe mokrega snega  
 Schematic presentation of wet snow transformation

zelo hitro, po drugi strani pa popuščajo vezi in kapilare med zrn. V snežni odeji imamo opravka z rastočo gostoto in upadanjem kohezije. prihaja do plazov mokrega snega.

Kadar je moker sneg izpostavljen mrazu, tekoča vodo postopoma zmrzuje – med okroglimi zrn se porajajo ledene vezi, nastajajo gručice zrn, ki merijo v premeru več milimetrov, in včasih ledena skorja. Snežna odeja postane izredno trdna, gre za kohezijo zaradi zmrznitve. Na ta pojav pogosto naletimo spomladi, ko dnevnim otoplitvam, mehča-

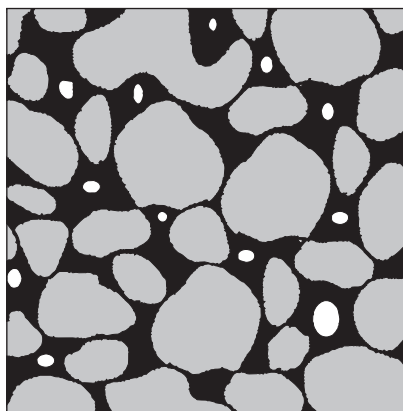
nju in tajanju snežne odeje sledita nočna ohladitev in zmrzovanje.

Okrogla zrna srenca lahko nastanejo iz vseh vrst mokrega snega, za čašaste kristale globinskega sreža in babje pšeno pa je preobrazba v srenec sploh edina možna preobrazba. Sredi zime je močna odjuga z dežjem za usodo snežne odeje, razrahljane s šibkimi plastmi, lahko dobesedno zdravilna. Seveda pa v času odjuge ne smemo zanemariti nevarnosti snežnih plazov.



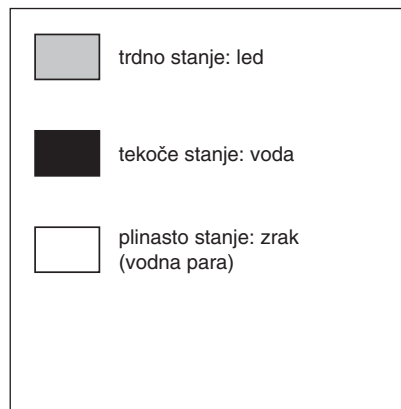
Slika 13. Razporeditev treh faz vode v snegu pri majhni vsebnosti tekoče vode

Figure 13. Distribution of three phases of water in snow at low liquid water content



Slika 14. Razporeditve treh faz vode v snegu pri veliki vsebnosti tekoče vode

Figure 14. Distribution of three phases of water in snow at high liquid water content



Legenda  
Legend



Slika 15. Okrogla zrna – gručice zrn (razmik med navpičnimi črtami je 0,2 mm)

Figure 15. Rounded grains – grain clusters (vertical interval 0.2 mm)

