

SNØOMVANDLING

Snøens egenskaper endrer seg over tid og dette har stor betydning for snøskred og snøhydrologi. Dette faktaarket forklarer nedbrytende- og oppbyggende omvandling, samt smelteomvandling.

Tekst: Karsten Müller og Håvard Toft Larsen

Figurer: Georg Sojer

Snøomvandling

Snødekket bygges opp lagvis. Et snølag er et horisontalt område i snødekket av lik kornform (Figur 1) og hardhet. Hver gang det snør dannes det minst ett nytt lag. Hvis de termodynamiske forholdene i luften og innad i snødekket (f.eks. temperatur og trykk) endrer seg vesentlig under snøfallet kan det også oppstå flere lag på kort tid. Et typisk eksempel er lite vind i starten av en nedbørsperiode som gir luftig og løs nysnø med påfølgende økning av vind som bryter ned, avrunder og pakker snøkrystallene tett sammen. Dette danner ofte et svakt lag av løs **nysnø (+, PP)** under et overliggende lag av bunden snø - et flak (Figur 2). Hvis det svake laget kollapser i en bratt fjellside, typisk brattere enn 30 grader, så kan «tyngdekraften» brått overgå friksjonen mellom snølagene. Hvis dette skjer, så vil et flakskred løsne.

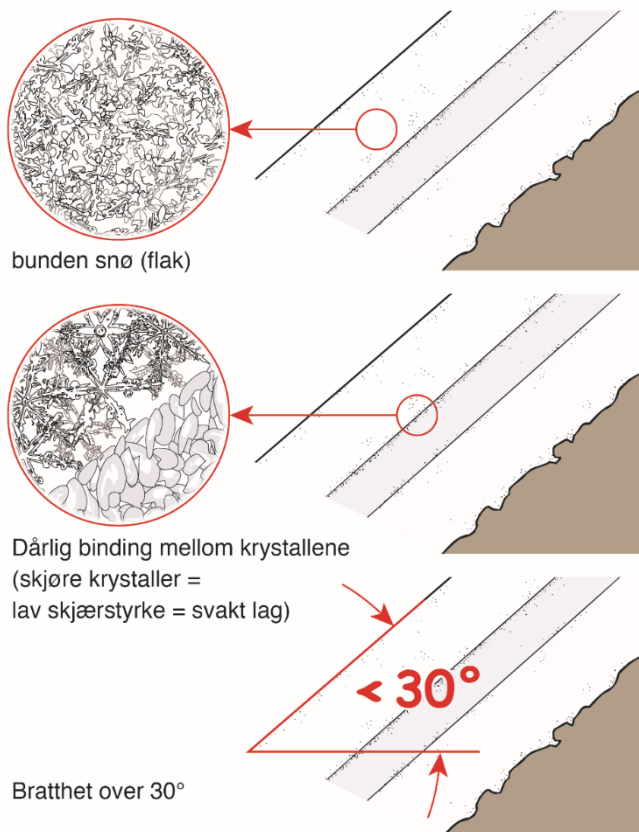
Et annet eksempel på snøomvandling er når regn gradvis går over til snøvær. Da får vi tett og fuktig snø under tørr og løs snø. Bindingene til det gamle snødekket blir gode på grunn av fuktigheten, og den overliggende snøen blir mer og mer ubunden. Da dannes det ikke flak. Dette gir stabile forhold, og kan gi godt skiføre.

KORNFORMER (GRAIN FORMS)

	+	PP	Nysnø <small>(Precipitation Particles)</small>
	/	DF	Delvis nedbrutt <small>(Decomposing and Fragmented Particles)</small>
	•	RG	Avrundede korn <small>(Rounded Grains)</small>
	□	FC	Kantkorn <small>(Faceted Crystals)</small>
	^	DH	Begerkrystaller <small>(Depth Hoar)</small>
	∨	SH	Overflaterim <small>(Surface Hoar)</small>
	○	MF	Smelteformer <small>(Melt Form)</small>
	⊙	MFcr	Smelte-fryse skare <small>(Melt Freeze Crust)</small>
	■	IF	Islag <small>(Ice Formations)</small>

Figur 1: Oversikt over de mest vanlige kornformene som er diskutert i dette faktaarket. En full oversikt over klassifisering av snø kan lastes ned på nettsiden:

<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000186462>



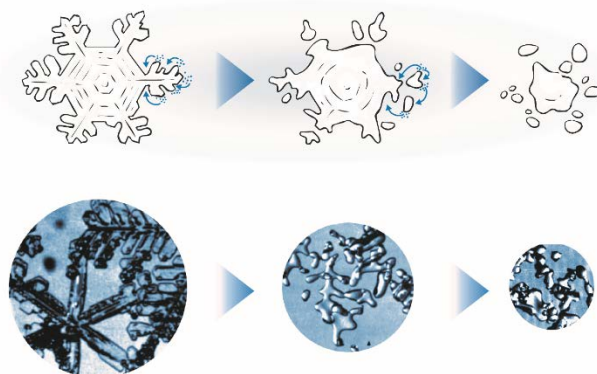
Figur 2: Oppskrift på et flakskred: Et flak dannes når snøkrystallene brytes ned (blir rundere) og sintres (blir tettere) sammen. Hvis et slikt flak ligger på et lag av løse og skjøre snøkrystaller kan laget kollapse og det vil oppstå et brudd i det svake laget som kan forplante seg utover. Er helningen bratt nok, kan kollapsen føre til at «tyngdekraften» blir større enn friksjonen mellom flaket og det svake laget under og et snøskred kan løsne.

Nedbrytende omvandling

Når snøen ligger på bakken så fortsetter den å omvende seg. Dette er fordi snøen er termodynamisk svært ustabil. Hva betyr det? – Snø er alltid nærme smeltepunktet sitt, som vil si at det er et «varmt» og dynamisk materiale. Snøkrystaller blir dannet i skyene der luften er overmettet av vanddamp og hvor det eksisterer ekstreme temperatur- og trykkforskjeller. Når en sekskantet snøkrystall daler ned og legger seg på bakken begynner den å omstrukturere vannmolekylene sine slik at den får et best mulig forhold mellom overflate og volum – den vil bli til en iskule.

Delvis nedbrutt (/ , DF) og avrundede korn (● , RG) dannes gjennom nedbrytende omvandling. Det kalles «nedbrytende», fordi vannmolekylene i en snøkrystall omstrukturerer seg slik at de bryter

ned komplekse strukturer for å få minst mulig overflate (Figur 3). Nedbrytende omvandling fører til små, avrundede korn med flere bindinger mellom hverandre per volumenhet.



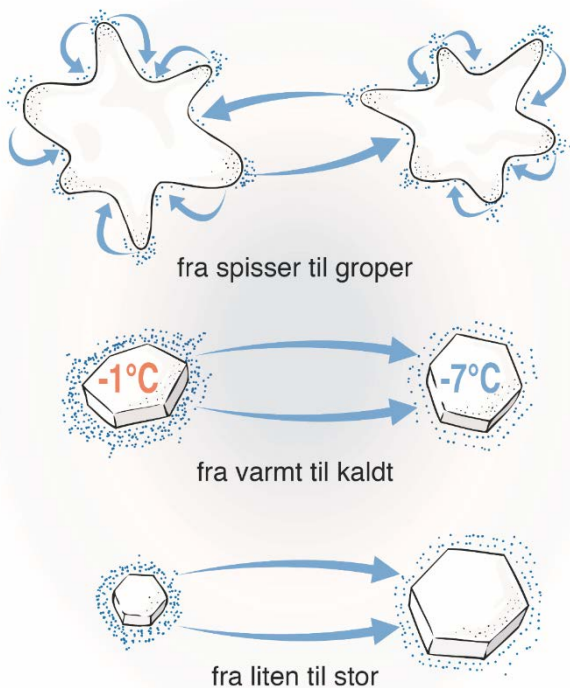
Figur 3: Nedbrytning av en snøkrystall gjennom omstrukturering av vannmolekylene langs krystalloverflaten. Komplekse strukturer skal bli til en iskule.

Vannmolekylene beveger seg fra områder på snøkrystallen med høyt vanddamptrykk (konvekse former) til områder med lavere vanddamptrykk (konkave former) (se Figur 3 og 4). Hastigheten på omstruktureringen er avhengig av temperatur, ved temperaturer nær 0°C kan det ta noen få timer, mens ved ekstremt kalde temperaturer kan det ta ukesvis.

Når to snøkrystaller kommer i kontakt med hverandre begynner de å «vokse sammen». Denne prosessen kalles sintring og følger det samme prinsippet som nedbrytende omvandling ved at vannmolekylene vandrer mot kontaktpunktene mellom krystallene. Når to vanndråper kommer i kontakt med hverandre danner de øyeblikkelig en stor dråpe. Noe liknende skjer når to snøkrystaller kommer i kontakt med hverandre, men mye saktere ettersom molekylene ikke kan bevege seg like fort i fast form som i flytende form. Sintring bidrar til gode bindinger i snøen, og øker dermed stabiliteten. Sintring er også prosessen som danner flak.

Oppbyggende omvandling

Kantkorn (□, FC) og sin ekstremform, **begerkrystaller** (△, DH), oppstår gjennom oppbyggende omvandling. Som følge av en trykkgradient beveger vannmolekylene seg imellom krystallene fra områder med høyere vandamptrykk, og avsettes på områder med lavere vandamptrykk. Forskjellen i trykk kan forårsakes av variasjoner i temperatur, form og størrelse på krystallene (Figur 4).

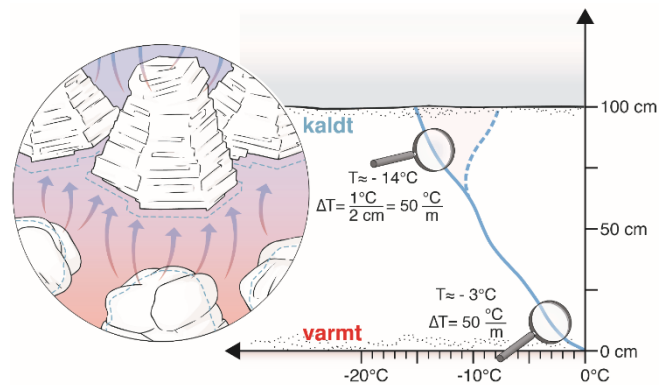


Figur 4: Vannmolekylene beveger seg fra områder med høyere trykk til områder med lavere trykk.

Oppbyggende omvandling foregår når det er store temperaturforskjeller over kort avstand i snødekket. Et eksempel kan være at snødekket er tilnærmet lik null grader ved bakken og mange minusgrader ved snøoverflaten. Da har vi en temperaturgradient fra varmt (høyt trykk) til kaldt (lavt trykk) oppover i snødekket.

Sublimasjon er betegnelsen på overgangen fra fast form til gassform uten å være flytende i mellomtiden. Vandamp sublimerer fra oversiden

av snøkrystallene der det er varmt (høyt trykk) og beveger seg mot kaldt (lavt trykk), som i dette tilfelle er oppover i snødekket. På vei oppover i snødekket fester (deponerer) vannmolekylene seg på bunnen av de overliggende krystallene (Figur 5).



Figur 5: Vannmolekylene beveger seg langsmed temperaturgradienten og deponeres på nærliggende krystaller. I dette eksempelet her har vi en temperaturgradient på 50 C/m både nede ved bakken og nær overflate, som vil gi oppbyggende omvandling i hele snødekket.

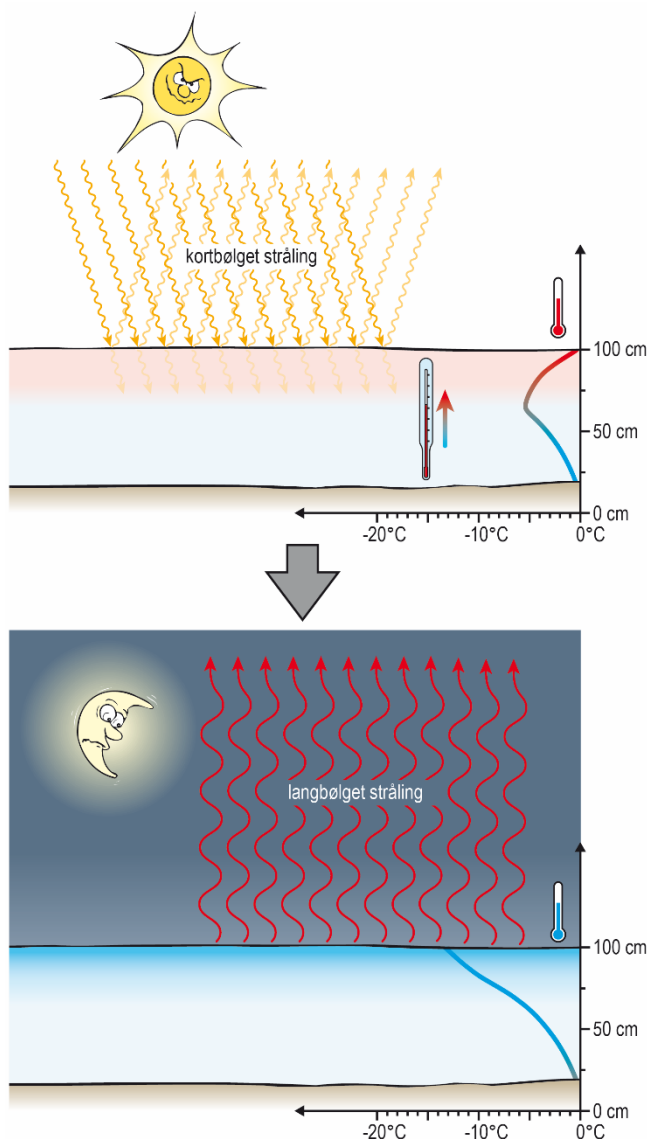
Vannmolekyler foretrekker å deponere på ujevne deler av snøkrystallen der det er flest bindinger til nabomolekylene. Dette gjør at det over tid dannes rette flater og skarpe kanter på undersiden av krystallen, mens den runde formen på oversiden sublimeres. Siden oppbyggende omvandling dominerer over nedbrytende omvandling ved stor nok trykkgradient (og temperaturgradient) så forsvinner kontaktpunktene mellom krystallene, og antall bindepunkt per volum enhet reduseres. Når krystallene vokser seg store nok, dannes et svakt lag av kantkorn eller begerkrystaller. Dette svekker (skjær-)styrken i laget og øker sannsynligheten for et brudd ved belastning.

Jo varmere snøen er, jo lettere er det for vannmolekylene å flytte på seg. Vi kan si at ved en stor trykkgradient, så har vannmolekylet stor «motivasjon» til å flytte på seg. I eksempelet fra figur 5, så vil det føre til at det er mest oppbyggende omvandling nede langs bakken der temperaturen er varmest.

Kantkorn kan også oppstå nær snøoverflaten som følge av; (I) temperatursvingninger gjennom

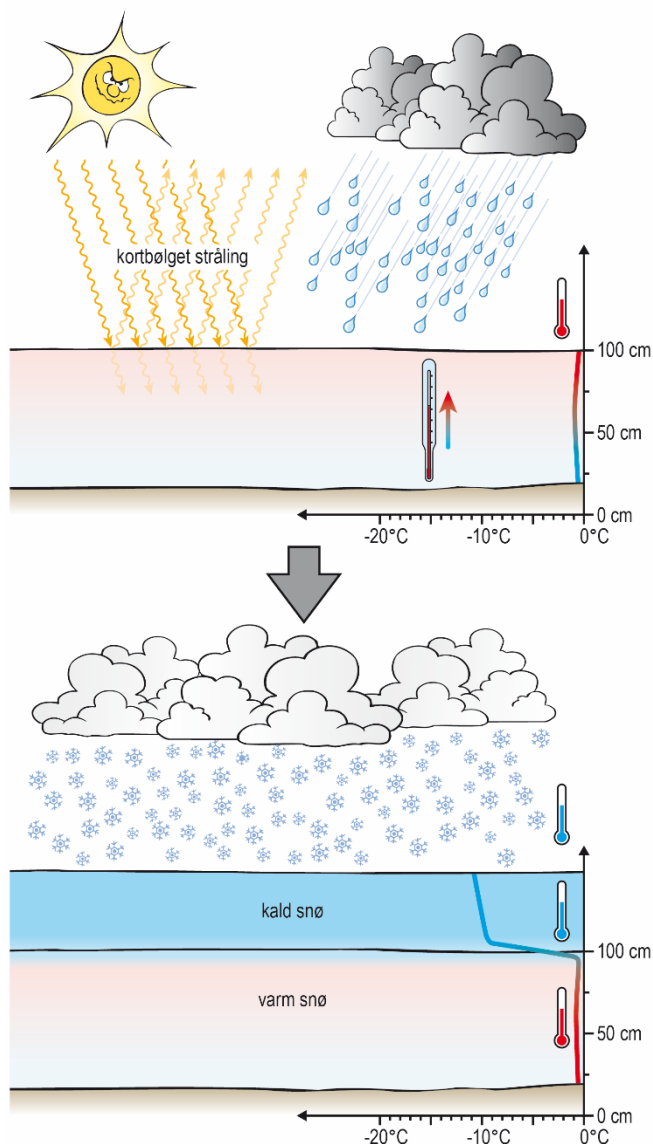
døgnet, (2) tørrsnø over våtsnø og (3) balansert inn- og utstråling. Hvis det danner seg et flak over et slikt lag av kantkorn, kan ustabiliteten vare lenge.

Temperatursvingninger gjennom døgnet kan gi en stor temperaturgradient som følge av at snøoverflaten varmes opp på dagen og avkjøles på natten. Dette gir en syklisk endring i temperatur hver morgen og kveld, som kan gi en kort, men kraftig temperaturgradient i de øvre 30-50 cm av snødekket som gir gode vekstforhold for kantkorn i snøoverflaten (Figur 5 og 6).



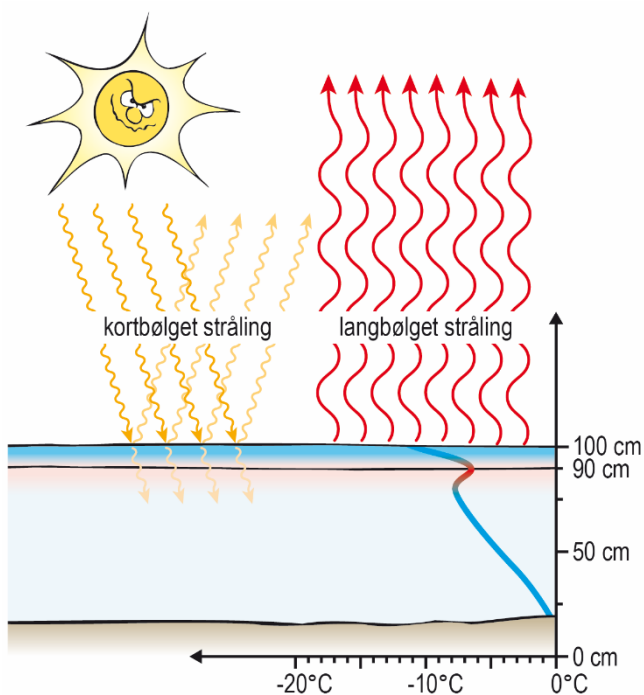
Figur 6: Temperatursvingninger gjennom døgnet kan danne en stor temperaturgradient nær snøoverflaten. Dette kan føre til rask vekst av kantkorn.

Tørrsnø over våtsnø kan gi kantkornutvikling nær overflaten med stor utbredelse på kort tid (Figur 7). Hvis hele snødekket varmes opp slik at det blir vått, så vil temperaturgradienten i snødekket være $0^{\circ}\text{C}/\text{m}$. Hvis dette etterfølges av en rask nedgang i temperatur og litt nysnø, så vil det gi en kraftig temperaturgradient i sjiktovergangen. I kombinasjon med tilgjengelig fuktighet gjør dette at kantkorn kan vokse raskt. Siden mildvær og nysnø ofte har stor utbredelse, så kan dette skje over store områder på kort tid. Hvis det dannes et flak på toppen av dette (f.eks. som følge av vindtransportert snø) vil det gi særdeles ugunstige forhold som kan komme overaskende på mange.



Figur 7: Kald nysnø på en fuktig snøoverflate tilrettelegger for hurtig kantkornvekst. I slike situasjoner er både en stor temperaturgradient og mye fuktighet til stede.

Balansert inn- og utstråling har mest effekt i sydvendte sider (sydvest til sydøst). Dette skyldes en hårfin balanse mellom innkommende kortbølgestråling og utgående langbølgestråling. Mesteparten av kortbølgestrålingen reflekteres som følge av at snøen er hvit, men noe av strålingen blir absorbert og varmer opp snøen noen centimeter under overflaten (Figur 8). Samtidig som dette skjer, så fører utgående langbølgestråling til at overflaten kjøles ned. Dette gir en kraftig temperaturgradient i øvre del av snødekket som gir vekst av kantkorn. Denne typen kantkornutvikling nær overflaten inntreffer sjeldent i Norge på grunn av høye breddegrader, og blir mindre relevant desto lengre nord en befinner seg.



Figur 8: Balansert inn- og utstråling kan føre til en stor temperaturgradient i de øverste cm av snødekket og dermed gi oppbyggende omvandling rett under snøoverflaten.

Når temperaturgradienten er lav over lang tid, så kan et kantkorn brytes ned til et **avrundet kantkorn** (\ominus , FCxr) og deretter avrundet korn uten at det er noen smelteomvandling i snødekket (Figur 12). Dette kornet vil være mye større og blankere enn slik vi normalt gjenkjenner avrundet snø. Det kan være veldig vanskelig å skille dette fra

en smelteform, da begge er store runde blanke iskrystaller. Dette forklarer hvorfor en kan finne slike iskrystaller i snødekket uten at det har vært noen form for smelteomvandling i snødekket.

Overflaterim (∇ , SH) er en annen snøkrystall som dannes av oppbyggende omvandling. Denne dannes når det er stor forskjell mellom temperaturen i luften sammenliknet med snøoverflaten. Når vanddamp i luften treffer den kalde snøoverflaten, deponeres den på snøoverflaten og danner rimkrystaller. Dette er fjærformede krystaller som vokser på snøoverflaten (Figur 9).



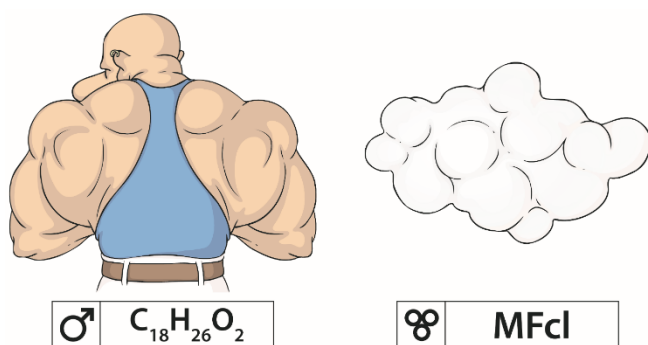
Figur 9: Overflaterim dannes optimalt under kalde skyfrie forhold med svak vind ($\sim 1-3$ m/s).

Slike forhold har vi ofte under kalde klare netter med svak vind. Når det ikke er noen skyer på himmelen, mister snøoverflaten mye av varmen sin gjennom langbølget utstråling som gjør at snøoverflaten avkjøles raskere enn luften. For at overflaterim skal kunne vokse, må det være en svak bevegelse i luften som fører til kontinuerlig tilgang av ny fuktig luft. Hvis det er for lite vind så vil det ikke være nok fuktig luft som kommer i kontakt med den kalde overflaten, mens for sterk vind vil ødelegge de skjøre krystallene og utligne temperaturen mellom snøoverflaten og luften. Optimal vind for dannelse av overflaterim er derfor ca. 1-3 m/s.

Hvis overflaterim blir dekket av snø, så vil rimkrystallene ligge beskyttet fra vind og vil kunne utgjøre et svakt lag som kan vare i uker til måneder.

Smelteomvandling

Snøen kan tilføres varme gjennom lufttemperatur, vind, solinnstråling eller regn. Når temperaturen i snødekket når 0°C, brukes energien til å smelte snøkrystallene og produsere vann i snødekket i stedet for å øke temperaturen ytterligere. Da begynner snøkrystallene å smelte til vann og avrundingen skjer mye raskere siden vannmolekylene beveger seg mye enklere i flytende tilstand sammenliknet med fast tilstand. Vi kan derfor kalle smelteomvandling for «nedbrytende omvandling på steroider» der det dannes store avrundede korn som vi kaller **smelteformer** (♂, MF) (Figur 10).

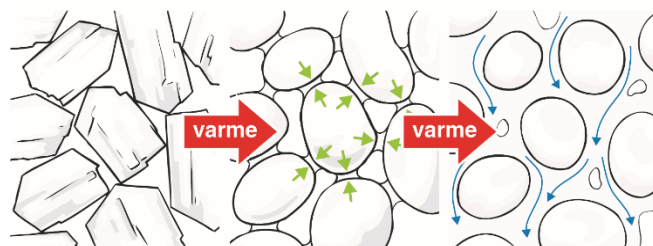


Figur 10: Under smelteomvandling dannes det store avrundede korn. Siden prosessen er den samme, bare mye raskere så kaller vi den «nedbrytende omvandling på steroider».

Små mengder vann danner en tynn film rundt snøkrystallene på grunn av kohesjon. Når vannmengden øker, fyller porerommet mellom krystallene seg med vann. Til slutt blir tyngdekraften sterkere enn kohesjonen og vannet begynner å renne gjennom snødekket. Dette gjør at bindingene mellom hver enkelt snøkrystall vil smelte bort (Figur 11).

Hvis temperaturen i snødekket beveger seg under null igjen så vil vannet fryse og det dannes svært sterke bindinger (isbroer) mellom krystallene. **Skare-** (⊙⊙, MFcr) eller **islag** (■, IF) er et typisk

tegn på at det har vært en smelte-fryse-prosess i snødekket.



Figur 11: Smelteomvandling fører til en overgang fra is til vann. Snøkrystallene blir avrundet. Når det er lite vann i snødekket vil en vannfilm mellom krystallene opprettholde stabiliteten, men ved ytterligere smelting og opphopning av vann mellom krystallene vil bindingene til slutt forsvinne og vi får en usammenhengende sørpe.

På vårparten er det vanlig at snødekket smelter på dagtid og fryser om natten. Dette kalles diurnale prosesser. Hvis slike sykluser gjentas så vil de minste snøkrystallene smelte først, da dette krever minst energi. Om natten vil vannet som har opphopet seg i snødekket i løpet av dagen fryse på de større snøkrystallene som fortsatt ikke har smeltet. Når dette gjentas regelmessig så forsvinner de minste snøkrystallene, mens de største vokser seg større og større.

Betydningen av temperatur og trykk

I snødekket er det til enhver tid utveksling av vannmolekyler mellom snøkrystallene. Hvor raskt denne utvekslingen av molekyler skjer er avhengig av temperatur og trykk, og det som påvirker formen, størrelse og bindingene til snøkrystallene. Samtidig er trykk og temperatur igjen avhengig av form, størrelse og bindingene til snøkrystallene. Dette gjør at nedbrytende og oppbyggende omvandling skjer samtidig i snødekket, og ved ulike hastigheter på forskjellige steder i snødekket. Dette gjør at snøomvandling er komplekst.

Heldigvis kan vi forenkle det litt. Generelt sett så vil vannmolekylene alltid bevege seg fra områder med høyere trykk til områder med lavere trykk. Dette tilsvarer ofte områder med høyere temperatur (ofte nederst i snødekket) til områder med lavere temperatur (lengre oppe i snødekket).

Vannmolekylene vil også bevege seg fra spisse områder (konveks = høyt trykk) til forsenkninger (konkav = lavt trykk) og/eller fra små krystaller (høyt trykk) til større krystaller (lavt trykk) (Figur 4).

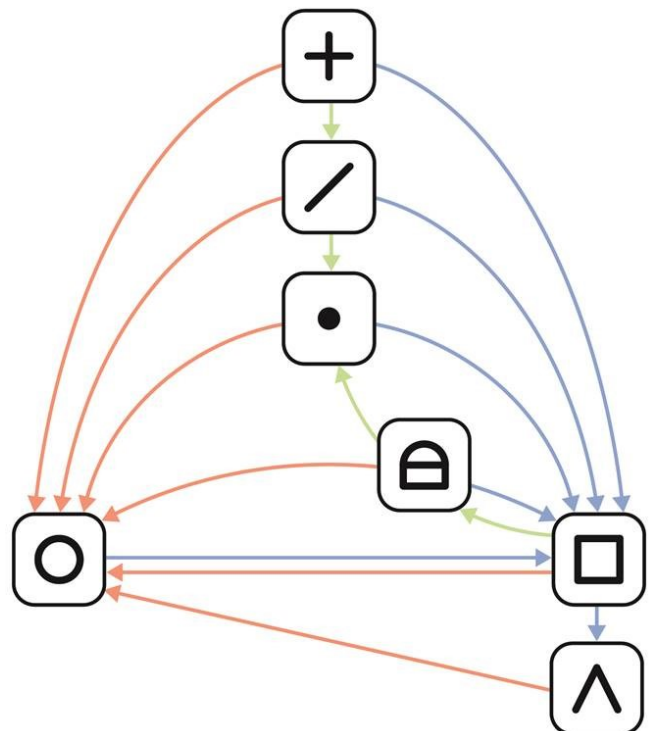
Vannmolekylene vil bevege seg raskest når det er «varmt». Det betyr at nedbrytende og oppbyggende omvandling foregår raskere i et snødekket der temperaturen er -2°C sammenliknet med områder der er -20°C , forutsatt at temperaturgradienten er lik. Hvis det er en liten temperaturgradient (mindre enn $10^{\circ}\text{C}/\text{m}$) et sted i snødekket vil den nedbrytende omvandlingen dominere og vi får en avrunding av snøkrystallene. Dette vil skje raskere der vi måler -2°C sammenliknet med der vi måler -20°C . Derfor kan et svakt lag av nysnø være ustabil mye lenger når det er veldig kaldt sammenliknet med når det er mildere temperaturer. En tommelfingerregel er at hvis temperaturgradienten er større enn $10^{\circ}\text{C}/\text{m}$ dominerer den oppbyggende omvandlingen.

Vi måler for eksempel en temperaturforskjell fra -2°C til -4°C over 5 cm nær bunnen av snødekket, mens nær snøoverflaten måler vi -13°C til -15°C over samme avstand. Begge steder har en temperaturgradient på $40^{\circ}\text{C}/\text{m}$ og oppbyggende omvandling vil dominere. Siden temperaturen nær bunnen av snødekket er høyere, vil den oppbyggende omvandlingen skje mye raskere enn nær overflaten der det er kaldere. Langsmed bakken vil det også være mer fuktighet tilgjengelig da dette typisk kommer fra jord, myr eller vegetasjon. Dette er ganske vanlig, og forklarer hvorfor vi ofte finner kantkorn og begerkrystaller nederst i snødekket.

Kort forklart

Omvandling av snø pågår kontinuerlig i snødekket. Figur 12 viser de mest vanlige hovedgruppene av snø, og hvordan de forskjellige omvandlingsprosessene foregår på tvers av disse. En full oversikt over klassifisering av snø kan lastes ned på nettsiden:

<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000186462>.



Figur 12: Oppbyggende omvandling er markert med blå piler, nedbrytende omvandling er markert med grønne piler, mens smelteomvandling er markert med oransje piler.