

Iskontoret
ved NVE, Hydr. avd.

Emne 19
ISUNDERSØKELSER
ARKIV
Løpennr. 5 Eks. 2

HVORDAN en VASSDRAGSREGULERING og UTBYGGING
kan VIRKE på DANNElsen av TÅKE og RIM.

NB. Figurene mangler

	Side
Innledning	1
A. Transport av følbare varme fra en åpen vannflate, tåkedannelse, forskjellige slags tåke og hvordan disse oppstår	2
B. Underkjølt vann, rimdannelse på bakken, trær, hus og andre gjenstander, isslag ved regn og yr	13
C. Noen av vurderingsresultatene fra observasjonsmaterialet	22
1. Undersøkelse over tåkeforekomst ved Mjøsa om vinteren	22
2. Undersøkelser over vintertåke og rimavleiring i Hallingdal ved Hol og Nesbyen	24
3. Strålingståke og produksjon av frostrøyk ved Suldalsoset	29
4. Hvilken forandring reguleringen og utbyggingen av Nea har medført på vinterklimaet i Tydal og Selbu	31
Sluttmerknad og konklusjon	33

Innledning.

De fleste reguleringer av vassdrag her i landet består i at flomvannet fra vår og høst holdes ^{tilbake}/i magasiner for å slippes hovedsakelig i løpet av lavvannsperioder i vintermånedene. Et stort reguleringsmagasin er ikke bare et vannmagasin, men også et betydelig varmemagasin, og tappingen kan derfor forandre isforholdene nedover i vassdraget både p.g.a. øket vassføring og vanntemperatur. Dette kan medføre at større elvepartier og delvis også deler av gjennomstrømte innsjøer, som før reguleringen var årvist islagte, etter utbyggingen av vassdraget kan bli gående helt eller delvis åpne hele vinteren igjennom, eller kan få en betydelig forsinket islegging.

Fra flere hold blir det hevdet at fra isfrie strekninger dannes det mer tåke og rim om vinteren. Økt fuktighet og rimdannelse i dalbunnen kan gi ulemper av forskjellige slag og medføre skader på eiendommer.

Spørsmål om skadeerstatninger blir ^{reist}/ved flere reguleringsskjønn. Av denne grunn fikk Iskontoret ved NVE Hydr. avd. i oppdrag å undersøke forholdene under sine vinterbefaringer. Det ble på utsatte steder opprettet en rekke stasjoner med selvregistrerende apparatur for måling av temperatur og luftens fuktighetsgrad, regelmessige observasjoner av tåkens utbredelse og intensitet og anordninger for kvantitative målinger av rimnedslag. For tiden foregår slike undersøkelser i Hols- og Hallingdalsvassdraget, langs Hjartdøla og Heddøla, ved Suldal, langs Ottaelv og Lågen i Gudbrandsdalen, i Rendal, ved Nea og Namsen og spredte observasjoner langs andre regulerte vassdrag.

I det følgende er det gitt et utdrag av undersøkelsene og i den forbindelse er det tatt med en kortfattet orientering om de varmeprosesser som foregår om vinteren over vann, snø og is, og som kan bli årsak til tåke og rim.

Edvigs V. Kanavin.

A. Transport av følbare varme fra en åpen vannflate, mettet og umettet vanndamp, tåkedannelse, forskjellige slags tåke og hvordan disse oppstår.

I litt større lærebøker vil en finne gjennomgått forsøk som viser egenskaper hos mettet og umettet damp. Hvis vi i en lukket beholder fører inn vann til fordampning og måler trykk og temperatur, vil trykket i beholderen stige så lenge det foregår fordampning, men etter noen tid stiger ikke trykket mer. Da er det mettet vanndamp i beholderen og trykkstigningen gir oss trykket av mettet vanndamp ved den temperatur som blir målt. Den samme trykkstigning kan en få enten man startet med beholderen fylt med tørr luft av vannlig atmosfæretrykk, eller en fylte den med tørr komprimert luft, eller en startet forsøket med luftom beholder: Trykket av mettet vanndamp avhenger bare av vanndampens temperatur.

Hvis det blir ført inn i beholderen så lite vann at alt fordamper, vil trykkstigningen ikke nå opp til metningstrykket og vanndampen bli umettet. Hvis vi så avkjøler beholderen, kan vi likevel oppnå å få mettet vanndamp, og ved videre avkjøling begynner vanndamp å kondenseres som små dråper, dugg. Den temperatur hvor metning vintrer kalles derfor også for duggpunktet.

Til beregning av fordampningen fra en åpen vannflate er utviklet en rekke empiriske formler. Etter dr. Olaf Deviks undersøkelser er fordampning i mm pr. døgn fra åpent vann med temp. 0°C ved ulike lufttemperaturer og vindhastigheter følgende:

Tabell 1

Fordampning fra en åpen vannflate.

Deviks formel $E = 0,432 V^{0,845} \cdot (f_v - f_l)$ mm/døgn hvor f_v og f_l er gitt i mm Hg.

Vindhast. m/s Lufttemp. $^{\circ}\text{C}$	0	1	2	3	4	5
0	0,2	0,4	0,6	0,7	0,8	0,9
- 5	0,5	1,1	1,4	1,7	2,0	2,2
-10	0,7	1,5	2,0	2,3	2,7	3,0
-15	0,8	1,7	2,3	2,6	3,1	3,7
-20	0,9	1,9	2,5	3,0	3,5	3,9
-25	1,0	2,1	2,7	3,2	3,8	4,1
-30	1,0	2,1	2,8	3,3	3,9	4,3

Eks.: lufttemp. -25°C

Vanntemp. 0°C

Vindhast. 2 m/s

$E = 2,7$ mm/døgn.

Is og snø fordamper også, og på samme måte som for vann kan en måle metningstrykket av vanndamp over en isflate ved temperaturer fra 0°C og lavere. Over en isflate av 0°C er metningstrykket det samme som over en vannflate av samme temperatur, nemlig 4,58 mm kvikksølv eller 6,11 milibar. Den maksimale vannmengde som luften over flatene da kan inneholde er 4,9 gram pr. m^3 .

I den etterfølgende tabell 2 er oppgitt vanndampens metningstrykk over en vannflate ved temperaturer mellom 30°C og 0°C , og over underkjølt vann mellom 0°C og -10°C , videre metningstrykket over en isflate mellom 0°C og -30°C , og i siste rekke den maksimale vanndampmengde som luft kan inneholde for temperaturer mellom 0°C og -30°C .

Tabell 2.

Temperatur (duggpunkt) $^{\circ}\text{C}$	Mettningsstrykk over vannflate		Mettningsstrykk over isflate		Vanndampinnhold i luft g/m^3 over vann over is	
	mm	mb	mm	mb		
30	31,9	42,9			30,6	
25	23,8	31,7			23,1	
20	17,5	23,4			17,3	
15	12,8	17,1			12,9	
10	9,2	12,3			9,4	
5	6,5	8,7			6,8	
0	4,6	6,1	4,6	6,1	4,9	4,9
- 2 U.kjølt	4,0	5,3	3,9	5,2	4,1	4,2
- 5	3,2	4,2	3,0	4,0	3,4	3,2
-10	2,2	2,9	1,9	2,6	2,4	2,1
-15	1,4	1,9	1,2	1,6	1,6	1,4
-20	0,9	1,3	0,8	1,0	1,1	0,9
-25	0,7	0,9	0,5	0,6	0,7	0,6
-30	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5	0,4

Av tabell 2 vil en se at luftens evne til å inneholde vanndamp avtar sterkt med synkende temperatur. Blir f.eks. mettet luft av 20°C avkjølt til 10°C vil det felles ut $17,3 - 9,4 = 8,9$ g vann pr. m^3 , men avkjøles mettet luft av 0°C til -10°C vil det felles ut bare $4,9 - 2,4 = 2,5$ g vann pr. m^3 .

Erfaringer viser at fordampninger går langsommere over tørr is av 0°C enn over vann av 0°C , d.v.s. det tar lenger tid før metningstrykket blir nådd. Når isen er i vakuum går fordampningen forttere og derfor har frysetørring i vakuum av dypfrost organisk stoff fått både vitenskapelig og teknisk anvendelse.

Det kreves en varmetilførsel på omtrent 600 kcal for å fordampe 1 kg vann av 0°C til vanndamp av 0°C . Skal 1 kg is fordampe, kreves det i tillegg en varmetilførsel på 80 kcal for å smelte isen, altså tilsammen 680 kcal for å overføre 1 kg is av 0°C til vanndamp av 0°C .

Omvendt vil det bli frigjort 600 kcal når 1 kg vanndamp av 0°C kondenseres til vanndråper av 0°C , og denne varmemengde må omgivelsene overta. Skal 1 kg vanndamp av 0°C felles ut på iskrystaller må omgivelsene til iskrystallene ta imot kondensasjonsvarmen (600 kcal) og den krystallisasjonsvarme som blir frigjort når iskrystallene vokser, i alt 680 kcal.

Under spesielle forhold kan en holde vann flytende ved temperaturer under 0°C og måle metningstrykket. Det viser seg da at trykket over underkjølt vann er noe høyere enn over en isflate av samme temperatur. Vanndamp kan diffundere fra vannflaten til isflaten, som da vil bli rimet.

Det eiendommelige er at i fri luft kan luften oppmagasinere like mye vanndamp som over underkjølt vann av luftens temperatur, så metningstrykket for vanndamp i fri luft og for vanndamp over underkjølt vann blir det samme.

Den luft som kommer i berøring med vannflaten antar vannflatens temperatur og blir i stand til å oppta mer vanndamp. Siden den varme luft er lettere enn den kalde som ligger over, vil det oppstå konveksjon : d.v.s. den oppvarmete luften vil stige opp i kaldluften og blandes med denne.

Et eksempel på et slik fenomen gir følgende foto fra Suldalsvatn, på et sted mellom Suldalsporten og Helganes bru den 1. mars 1962 kl. 9⁰⁰.

Det var stille, klarvær og lufttemp. - 13°C . Vanntemp. ved utløpsoset var $3,14^{\circ}\text{C}$.

Etter at solstrålene begynte å komme inn over sjøen, ble det synlig fordampning over vannet. Det var et tynt tåkeskikt nærmest vannet og det ble stadig ført små tåkedotter tilværs, ført bort og derved hurtig oppløst.

Når luft som inneholder vanndamp blir avkjølt til duggpunktet behøver det ikke å bli noen kondensasjon ved videre avkjøling, hvis luften er støvfri. Det viser seg nemlig at kondensasjonen begynner på mikroskopiske kjerner av forskjellig slags, svevende støv og saltpartikler m.m. Hvis det er mangel på slike kjerner kan avkjølingen fortsette ganske langt uten at det blir kondensasjon. Luften blir da overmettet av vanndamp inntil kondensasjon i form av dråpedannelse til slutt forgår. Man kan også si at luft som er overmettet inneholder underkjølt vanndamp, d.v.s. den er kaldere enn den temperatur som svarer til dampens trykk når den er mettet. Er det på den annen side mange kjerner i luften så vil dråpekondensasjon komme meget snart når duggpunktet er passert. Slik kondensasjon høyt til værs skaffer skyer, og nær jordoverflaten eller i lave høyder blir det tåke.

Erfaringer viser at allerede ved en rel. fuktighet på 70-80 % vil det foregå kondensasjon på enkelte hydroskopiske partikler. Dette er meget typisk i skitten storbyluft og tildels i havluft. Når fuktigheten kommer opp i 100 % kommer tåkedannelsen forholdsvis bratt, med synsvidde på noen hundre meter eller enda mindre.

Hvis duggpunktet er under frysepunktet er det første trinn under kondensasjonen også dannelsen av underkjølte vanndråper. Skjer det i skyene kan drårene krystallisere og sveve som iskrystaller. De kan også vokse ved innfangning av nye dråper som krystalliserer, det blir snøfnugg som daler nedover gjennom atmosfæren.

Det er bare i en lukket beholder med jevn temperatur og konstant trykk at vanndampmolekylerne er jevnt fordelt og har det samme vanndamptrykk (partialtrykk) overalt i beholderen. Som vi vil se på side 19 er dette ikke tilfelle i f.eks. et kjøleskap, hvor vanndampens partialtrykk er minst nær kjøleelementet. Man kan si at det samtidig er både en luftatmosfære og en vanndampatmosfære i kjøleskapet. En del av luften vil bli avkjølt nær kjøleelementet, den blir da tyngre, synker nedover, og setter i gang en sirkulasjon i skapet. Denne sirkulasjon fører med seg vanndamp med et høyere partialtrykk enn vanndampen ved overflaten av kjøleelementet har, og derfor diffunderer vanndampmolekyler inn mot elementet, kondenseres der til vann og fryser til is. Men diffusjonen er bare den ene faktor i vanndamptransporten. En annen faktor er strømmen som fører luft og vanndamp langs kondensasjonsflaten, det foregår også vanndamptransport og kondensasjon ved adveksjon. Og det er også en tredje faktor, nemlig den blanding som skyldes virvling (turbulens) som en luftstrøm alltid setter i gang, og som fører til luft fra mange sider: det foregår også varmetransport ved konveksjon.

Samtidig med denne sirkulasjon av luft og transport av vanndamp foregår det også en varmetransport fra vegger og varer til kjøleelementet. Varmen overføres da både ved diffusjon, adveksjon (strømning) og konveksjon (virvelbevegelse).

Ved vanndamptransport og varmetransport innenfor atmosfæren eller mellom luft og vann eller mellom luften og jordoverflaten, er de nevnte faktorer virksomme. Men varmetransport kan også foregå ved varmestraling som spiller en stor rolle både i atmosfæren og ved jordoverflaten.

Særlig viktig for dannelsen av skyer og nedbør eller av lave tåkeskyer er den avkjøling som finner sted når en luftmasse stiger oppover og utvider seg etter hvert. Det arbeide som luftmassen da utfører mot trykket fra den omgivende luft må først og fremst tas fra luftmassen selv. Hvis det ikke foregår noen varmetransport ellers, så utvidelsen skjer adiabatisk som det kalles, vil lufttemperaturen synke 1,0 grad pr. 100 m stigning når luften er tørr, og 0,5 grad pr. 100 m når luften er mettet. Vanligvis synker temperaturen omkring 0,6 grad pr. 100 m stigning.

Hvis luftmassen synker nedover vil den bli oppvarmet på grunn av sammentrykningen (sml. føhnvind). Det arbeid som den omgivende lufts trykk presterer blir da omsatt i varme.

Det som skiller de forskjellige typer av skyer og tåke er hvordan avkjøling av luftmasser kommer i stand. Her kan bare nevnes 5 tåketyper: adveksjonståke, strålingståke og blandingståke, terrengbettinget tåke og frostrøyk.

Adveksjonståke dannes ofte i vinterhalvåret når fuktig luft kommer i berøring med kaldere underlag så luften blir avkjølt under duggpunktet. Tåke- laget kan nå opp i 300-500 m høyde og fuktighet blir tilført i relativt store mengder.

Strålingståke eller utstrålingståke. Ved klarvær er varmeutstrålingen betydelig fra jordoverflaten og da vil også de lave luftlag bli avkjølt aller mest når det er vindstille. Lagdelingen blir stabil og når luften er fuktig vil det være betingelser for lav tåke hvis lufttemperaturen synker under duggpunktet. Risikoen for en slik tåke er størst på morgentiden før solen står opp.

Et eksempel på slik tåke over Vågåvatn, den 28. november 1965.

Dersom tåke som består av små vanndråper, siger inn over snødekket område, vil luften nærmest snøflaten bli overmettet p.g.a. reduksjonen i metningstrykket og en del vanndamp vil fryse som rim på snøen. Det er en av grunnene til at tåke som driver fra et åpent vann inn over snødekket is eller mark ikke rekker langt for den blir oppløst.

Det bør nevnes at på flere steder her i landet kan en oppleve sent på høsten eller tidlig på vinteren i rolige høytrykkssituasjoner lammende tåkeperioder p.g.a. sterk utstråling og solen er for svak til å løse opp den. Tåke- laget er inntil ca. 100 m tykkelse.

Blandingståke kan dannes ved blanding av to forskjellige luftmasser som er mettet eller meget nær mettet med vanndamp, men som har forskjellig temperatur. Observasjoner viser at daler som får tilførsel av kald luft fra høyfjell f.eks. gjennom en sidedal ofte får blandingståke på det sted hvor sidedalen munner ut i hoveddalen. En slik tåkedannelse ble observert over midterste del av Vangsmjøsa den 30. november 1961.

Tåkedannelse over Vangsmjøsa 30/11 1961 kl. 16⁰⁰.

Den 30/11 var det stille, klart vær, lufttemperatur -14°C og ingen tåke på fjellet ved Utrovatn. I dalen ved Vangsmjøsa var det litt dis, lufttemperatur nær 0°C . Sjøen var åpen og ingen tåke på den øverste del. Et svakt SW- luftdrag førte kald luft over Vangsmjøsa gjennom en sidedal ved Grindaheim og et tett tåketeppe lå over sjøens midterste parti.

Vanntemperatur ved utløpet av Vangsmjøsa var ca. 3°C .

Terrengbetiaget tåke eller orografisk tåke dannes når en fuktig luftstrøm blir ført tilværs mot et skrånende fjellområde. Denne tåke blir nærmest å karakterisere som lave skyer og forekommer oftest om høsten og vinteren når kondensasjonsnivået for vanndamp ligger i lav høyde.

Orografisk tåke over Holsfjord 14. desember 1962. Det var stille og lufttemperatur - 20 °C.

De forannevnte tåketyper har alle vært avkjølingståker. Under spesielle forhold kan tåke også oppstå ved øket fordampning fra en åpen vannflate, som er vesentlig varmere enn luften. Da luften under sådanne forhold oppvarmes nedenfra, vil på vannoverflaten foregå en vertikal omrøring mellom den fuktige luft og den ovenfor liggende tørrere luft. En sådann oppblanding vill normalt motvirke dannelsen av tåke, men hvis fordampningen er tilstrekkelig stor, dvs. hvis vannet er vesentlig varmere i forhold til luften og hvis det høyere liggende luftlag er så stabil at det forhindrer konvektion, kan det oppstå tåke som ser ut som om vannet ryker. Denne form tåke kalles derfor sjørøyk eller frostrøyk.

Følgende fotos viser frostrøyk over indre Oslofjord den 29. januar 1962.

Det var svak fralandsvind, lufttemperatur - 13 °C og luftens relative fuktighet 92 %.

Frostrøyken arter seg som tynne røykstrimer som stiger til værs i hvirvlende bevegelse, dels arter den seg som strukturløs, tett tåke som fyller et lag på opptil 100 m.

Tåke og lave tåkeskyer under markerte inversjoner er vanlig fenomen på Østlandet før isen legger seg på sjøer og elver. Spesielt er området omkring store innsjøer, Mjøsa, Randsfjord o.a. Selve Oslofjorden, som praktisk talt alltid er åpen, er også en viktig fuktighetskilde. Fra den sørlige delen av Mjøsa, langs Vorma og Glomma driver frostrøyken sør over flatland, like ens fra indre Oslofjord sør over Østfold.

På vedlagte kart utarbeidet av sjefmeteorolog Petter Dannevig ^{x)} er inntegnet områder med noenlunde ensartet tåkedannelse og forekomst. Innen hver region er gitt dominerende tåketype (adveksjonståke, strålingståke eller frostrøyk), årstiden som har størst tåkehyppighet og midlere hyppighet for året i prosent av samtlige observasjoner.

x) Naturen, nr. 7 1965, side 444.

Til slutt bør nevnes i dette avsnitt på hvilken måte en foretar praktiske målinger hvor det spørres om den vannmengde luften inneholder pr. m^3 , eller om den relative fuktighet av luften.

I luften som omgir oss er vanndampen en del av luften, men vanndampens andel av lufttrykket kan vi ikke måle direkte. Derimot er jo vanndampens temperatur den samme som luftens, og når vi har målt denne så kan vi av tabell 2, første og fjerde rekke, finne hvor stor vannmengde (f_m) luften ville da inneholdt pr. m^3 hvis vanndampen hadde vært mettet.

For å finne den dampmengde luften faktisk inneholder kan vi f.eks. bruke et duggpunkt-apparat til å bestemme luftens duggpunkt, dvs. den temperatur hvor dampen blir mettet og kondensasjon begynner. Av tabell 2, rekke 1 og 4 finner vi da den faktiske dampmengde (f_d).

Oftest har vi interesse av å få vite den relative fuktighet av luften, uttrykt i prosent, dvs. forholdet $100 f_d/f_m$.

Et apparat som graderes i prosent relativ fuktighet er hårhygrometret, som bruker den egenskap ved fettfri hår at lengden av et utspent hår varierer med den relative fuktighet av luften omkring. Det kan justeres f.eks. ved hjelp av et duggpunkthygrometer.

En tredje instrumenttype, aspirasjons-hygrometret, har to ventilerte termometre, et tørt og et "vått" termometer som har en gaze-kappe fuktet med destillert vann. Av temperaturforskjellen mellom disse kan en så finne den relative fuktighet etter særskilte tabeller.

Blir et aspirasjonspsykrometer brukt i kulde kan det våte termometer underkjøles og komme ned i flere kuldegrader før vannet i gaze-kappen fryser til en iskappe. Ved frysningen frigjøres det varme, så termometret forbigående viser noen stigning, men ventilasjonen sørger for at temperaturen snart blir konstant når det blir en jevn fordampning fra iskappen. Men termometret blir ikke avkjølt så mye som da kappen var våt (fordampningshastigheten er større over vann enn over is).

Som eks. kan vi ta en måling hvor det tørre termometer viser $-5,6^{\circ}$. Det "våte" termometer viser med vann-kappe $-7,5^{\circ}$. Tabellen for psykrometret viser at den relative fuktighet var 50 %.

Som selvregistrerende instrument brukes hår-hygrografen.

B. Underskjølt vann, rimdannelse på bakken, trær, hus og andre gjenstander, isslag ved regn og yr.

Hvis 1 kg flytende vann skal fryse, d.v.s. krystalliseres, så frigjøres det 80 kcal krystallisasjonsvarme som må avgis til omgivelsene. Denne krystallisasjonsvarme kan f.eks. avgis til luft som er kaldere enn 0°C , men den kan også avgis til vann som har lavere temperatur enn null grader, dvs. er underskjølt.

Det er en vanlig misforståelse at underskjølt vann er en labil tilstand hos rent vann. Har en støvfritt og luftfritt vann i en omhyggelig renset glassbeholder og avkjøler den, kan vannet holde seg flytende ved meget lave temperaturer. I laboratoriet har slike forsøk vist at rent vann kan avkjøles til ca. -55°C før det fryser til is. Årsaken til dette er at iskrystaller starter sin vekst fra en fast kjerne. Hvis vann er helt fritt for frie kjerner av fast stoff og står i en kjemisk ren beholder med helt glatt innerflate, er det gode betingelser for at vannet kan holde seg underskjølt så lenge en har bruk for det.

Annerledes er det med vann under naturlige forhold, der vil det alltid være nok av vekstpunkter for de første iskrystaller. Underkjøling er ikke alltid lett å måle, men for isproduksjon i elver spiller den allikevel en dominerende rolle over alt hvor det er åpent vann eller hvor det renner vann over is. Hele varmetapet fra åpent vann til den kalde luft foregår fra selve vannoverflatens ytterste vannfilm som stadig skifter i en virvlende strøm. I den korte tid vannfilmen er i berøring med luften blir den underskjølt, og den underkjølte filmen føres videre og blandes med det øvrige vann under virvlingen. På den måten kan hele elvestrømmen bli underkjølt. Men over alt hvor underskjølt vann kommer i kontakt med kjerner av fast stoff -- svevende partikler, steiner og annet materiale på elvens sider og bunn -- begynner iskrystaller å vokse. Dette frigjør krystallisasjonsvarme og motvirker underkjøling. Grenseflaten mellom krystall og vann holder $0,0^{\circ}\text{C}$, mens vannet utenfor har litt lavere temperatur så lenge iskrystallen fortsetter å vokse.

Når f.eks. 1000 kg vann er underkjølt til $-0,08^{\circ}\text{C}$ så vil det kreves 80 kcal for å varme opp vannmengden til 0°C . Hvis denne varmemengde leveres som krystallisasjonsvarme (80 kcal pr. kg is), så vil det produseres 1 kg iskrystaller samtidig som underkjølingen forsvinner.

Med passende forholdsregler kan en måle temperaturen i underkjølt ellevann, men den går sjelden ned i en tiendels grad under frysepunktet.

Et kvikksølvtermometer med fin inndeling omkring frysepunktet, helst i hundredels grader kan brukes til måling av underkjøling. Men en må passe på at termometret er varmet opp litt over null før det settes ned i vannet (Er det kaldere enn null vil det straks bli overtrukket av en fin ishinne og viser bare frysepunktet). Når termometret viser temperatur under null vil det ikke vare lenge før det begynner å gro iskrystaller på termometerkulen og snart deretter viser det frysepunktets temperatur. Skal en ta en ny måling må termometret tas opp og atter varmes opp litt før en måler.

Det viser seg at metningstrykket av vanndamp over underkjølt vann er noe høyere enn over is av samme temperatur. Metningstrykket over underkjølt vann av f.eks. -5°C er 3,2 mm kvikksølv, mens det over is av -5°C er 3,0 mm (se tabell 2).

Nedslag av vanndamp og tåkedråper kan forekomme i flytende form som dogg eller værende tåke på gjenstander som er kaldere enn luften, men har en temperatur over frysepunktet, eller som tåkerim eller frostrim på gjenstander som har en temperatur under 0°C .

Rim som er dannet ved direkte sublimasjon av luftens vanndamp i stille vær, er krystallisert i små sekskantete plater eller stjerner, ofte i dusker. Er luftdraget meget svakt, kan det også dannes krystallinsk rim i selve tåken.

F r o s t r i m har oftest en svært tett og meget luftig oppbygging. På trær vil den gjerne drysse ned ved lett vind og smelte når sola skinner på den med noen styrke. På følgende fotos er vist rimlag på Øyen bru i Hallingdal.

Øyen bru i Hallingdal 18. nov. 1952
kl. 9⁰⁰.

Det var stille
var, klart og
lufttemp. -12 °C.
Rimet hadde vokset
som fjærlik-
nende formasjoner
opptil 5 cm lange.

På følgende fotos er vist frostrim (isroser) på isen i Barduelv.

T å k e r i m som slår seg ned fra tåke og svak vind er oftest meget poros og likner frostrim. Tårerim fra store dråper som ofte inneholder underkjølte vanndråper vokser ut som et hvitt islag. På steder som er utsatt for vind kan slike tåkerimavsetninger bli ganske store. Jo fortere de underkjølte dråper fryser til is desto løsere blir isavleiringen. Foregår frysingen langsomt slik at flere dråper kittes sammen blir isbelegget fastere.

På vedlagte fotos er vist rim-avleiring på et trigonometrisk punkt i 600 m.o.h. på Island.

Når det driver fuktig luft med tåke innover snømarker, blir det ofte kolossale rimdannelser på oppstikkende bergknatter, varder, hus eller andre gjenstander. Se foto frostrim og fokksnø på Tronfjell.

Undersøkelser viser at rimdannelse fra frostrøyk ikke forekommer i større mengder, fordi dråpestørrelsen er liten og vindhastighetene oftest små i frostperioder. De største avsetninger forekommer på gjenstander som står i nærheten av åpne vannflater og utsatt i luftstrømmer som stryker over vannflaten og tar opp fuktighet fra vannet.

Om kondens og rim i lukkede rom og i bygninger kan nevnes følgende:

I et kjøleskap er det kjøleelementet som er kaldest, mens innerveggene og det som står i kjøleskapet har noe høyere temperatur. Vanndamptrykket nær de forskjellige flater i skapet vil da være lavest omkring kjøleelementet og høyere nær de flater som har høyere temperatur. Hvis da noe av innholdet er fuktig vil det avgi vanndamp (det vil tørke etter hvert) og vanndampen vil diffundere dit hvor vanndamptrykket er lavest, dvs. mot kjøleelementet, hvor vanndampen vil kondenseres og fryse til iskrystaller. I et fuktig rom vil vanndamp slå seg ned på den "kalde vegg" Derfor må også kjøleskap "avrimes" med mellomrom for ^a/fjerne isen på kjøleelementene. I dypfrysere er denne vandring av vanndampen mot den "kalde vegg" så virksom at levnettsmidler som skal oppbevares der må være innpakket i damptett pakning.

Skal den slags kondens eller riming unngås i kjellerrom er det nødvendig ikke bare å sørge for god isolasjon av veggene men også for tilstrekkelig gjennomtrekk. I et uoppvarmet hus vil den kaldeste flate i et kjellerrom være taket i kjellerrommet, fordi vintertemperaturen i det uoppvarmede rommet over vil være lavere enn kjellertemperaturen. Har kjellerrommet ingen eller for liten ventilasjon, og er luften fuktig, vil det bli kondensert vann under taket med den risiko det gir for sopp i treverket.

I fjøs eller stall hvor dyrene produserer store mengder vanndamp må det bli kondens på kalde yttervegger og under tak, hvis det ikke sorges for god ventilasjon og isolasjon. I låvebygging vil undersiden av taket være mest utsatt for kondens når luften er fuktig, særlig de moderne låvetak som bare har bølgeblikk eller eternittplater lagt på sperrene uten isolasjon.

I s s l a g eller g l a t t i s, kalles et glatt klart islag på bakken eller på trær og andre gjenstander. Det kan oppstå enten på den måte at underkjølte regndråper eller yr fryser til is med en gang de treffer bakken, eller ved værømslag etter streng kulde. Varmeluften kommer gjerne først inn i høyden, mens det ved den avkjølte jordoverflaten kan bli liggende et lag med kaldluft ofte i flate daler og større forsenkninger i landet. Regn og yr som faller gjennom kaldluften, avkjøles og kan fryse raskt på bakken. Vedvarende våtende tåke og vannsprøyt fra elver og sjøer fører også til glattis på det kalde underlaget, særlig hvis det er sterk vind.

Vedlagte fotos fra Island viser et karakteristisk isslag på lavamark.

Fotoet er fra Island og karakteriserer rimavsetninger på græsmark i nærheten av elven Tungnaá. Rimlaget forholdsvis kompakt og ca. 1 cm tykk.

C. Noen av vurderingsresultatene fra observasjonsmaterialet.

Erfaringer viser at det som bestemmer været fra dag til dag og dermed klimaet i de forskjellige deler av landet er de store luftstrømmer fra havet. Dessuten virker landets varierte relief i høy grad inn på det lokale vær, og dette kan være svært forskjellig selv innen meget korte avstander.

For å bedømme om en regulering kan eller har påvirket vinterklima i dalen er det viktig å ha faste data, bygget på observasjoner og målinger.

I det følgende er gitt et utdrag av undersøkelses resultatene fra forskjellige vassdrag.

1. Undersøkelse over tåkeforekomst ved Mjøsa

om vinteren.

For å studere tåkeforekomst ved en stor sjø har vi brukt den landbruks-meteorologiske stasjon Kise i Hedmark ved Mjøsa. Det foreligger observasjoner av lufttemperatur, luftens relative fuktighet, vindstyrke og retning og notater om forekomst av tåke. Observasjonene er foretatt kl. 4, 7, 10, 13, 16 og 19. I tabell 3 er gitt et utdrag av observasjonsmaterialet for desember måned i årene 1957-62.

Tabell 3.

TÅKEFOREKOMST ved KISE i HEDMARK nær MJØSA
i desembermånedene 1957-62.

Interval	-10,0	-12,0	-14,0	-16,0	-18,0	-20,0
av luft.temp.	-11,9	-13,9	-15,9	-17,9	-19,9	-21,9
Vind = 0						
Antall dager	13	8	7	7	4	1
Luft.rel.fukt. %	90	88	85	80	(70)	-
Observert tåke	10	7	3	6	3	1
Vind ca. 2 m/s						
Antall dager	54	37	22	10	5	1
Luft.rel.fukt. %	88	88	83	80	70	-
Observert tåke	19	15	18	10	5	1

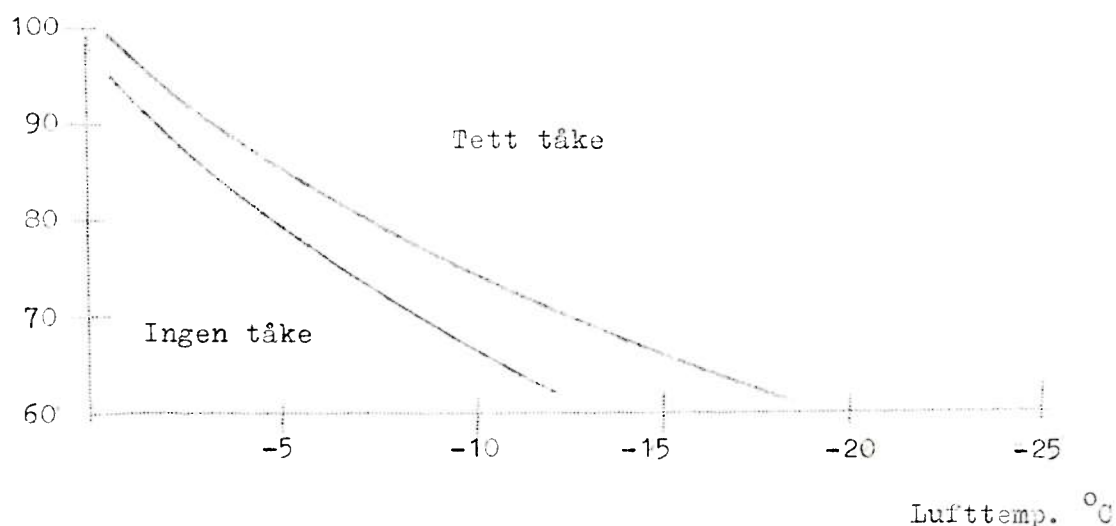
Vind ca. 5 m/s						
Antall dager	22	13	11	9	2	1
Luft.rel.fukt.%	80	80	78	75	70	-
Observert tåke	2	6	8	7	2	1
Vind ca. 9 m/s						
Antall dager	5	2	1			
Luft.rel.fukt.%	71	70	70			
Observert tåke	0	0	1			
Vind ca. 13 m/s						
Antall dager	1	1				
Luft.rel.fukt.%	60	(60)				
Observert tåke	0	0				

Merknad: Luftens relative fuktighet er oppgitt tilnærmet som middeltall av enkelte observasjoner.

Av tabellen kan en se at kulde inntreffer hyppigst ved svak vind og ikke ved vindstille, men sannsynligheten for at tåke vil opptre er størst ved vindstille. Ved vindstyrke over 5 m/s avtar forekomsten av tåke.

På følgende diagram er inntegnet omtrentlige grenseverdier for tåkedannelsen etter observasjonene over Mjøsa fra Kise landbruksmeteorologiske st.

Rel. fuktighet %



Av tegningen kan en se at hvis luftens fuktighetsgrad er f.eks. 80 % så kan tåke dannes hvis lufttemperaturen synker under -10°C . Hvis luftens fuktighet er f.eks. 70 %, må lufttemperaturen synke under -15°C .

Det er her overalt regnet med at vannet holder en temperatur på ca. 0°C .

2. Undersøkelser over vintertåke og rimavleiring i Hallingdal ved Hol og Nesbyen.

Etter full utbygging av Holsvassdraget er det en ca. 2,6 km lang elvestrekning av Holselv, mellom Ruud og Hovsfjord (flate ca. 0,2 km²) som går helt åpen. Likeså holder enkelte deler av Hovsfjord og Holsfjord (tilsammen ca. 0,45 km²) seg åpen om vinteren. Holselv på strekningen mellom Hovsfjord og Holsfjord og mellom Holsfjord og Strandefjord (areal ca. 0,4 km²) ble tørrlagt.

I følgende tabell er gitt antall dager med lufttemperatur under -15°C og antall dager hvor det ble observert frostrøyk over de åpne partiene i Holselv midtvinters (des.-febr.) i tidsrommet 1958-65.

Vinter	Des.	Jan.	Febr.	Sum	Dager med frostrøyk	Sum
1958-59	4	7	10	21	2, 5, 3	10
59-60	7	13	11	31	0, 2, 4	6
60-61	8	15	4	27	5, 4, 0	9
61-62	8	7	4	19	2, 7, 4	13
62-63	9	5	10	24	4, 3, 2	9
63-64	1	0	3	4	4, 3, 0	7
64-65	(6)	(5)	(1)	(10)	5, 0, 2	7

Av ovenstående tabell ser en at det i 1958-65 ble notert gjennomsnittlig ca. 9 dager med frostrøyk, dvs. omkring 3 frostrøykdager pr. mnd. Det høyeste antall for en vinter var 13 dager i vinteren 1961-62.

Mest utsatt for dannelsen av tåke og rim var elvestrekning fra Ruud og nedover til Hovsfjord. Der hvor frostrøyk drev innover land ble det avsatt mest rim.

Spesielle målinger av rimavleiringen ble foretatt. Målinger ble foretatt på veggene av to brakker like ved elva, den ene like nedenfor avløpskanalen fra Hol kraftstasjon, og den andre ved Moen gård, ca. 1 km lenger nedover.

I desember 1962 etter 39 timers forutgående frostrøyk, viste gjennomsnittet av 9 målinger at det på 0,1 m² vertikal ytterveggflate var avsatt 5,7 g rim på den øverste brakken, og på den nederste brakken 10,7 g rim. Vannets temperatur i elva var ca. 1°C .

Vinteren 1964-65 ble det den 23/12 målt maks. 14 gr. på den øverste og 34 gr. på den nederste. Det var da nesten stille, klart, lufttemp. -19°C . Frostrøyken rakk ca. 5-7 m over vannflaten. Den 17/1 1965 ble det målt 12 gr. rim på målefeltet på den øverste og 19 gram på den nederste brakken. Det var svak N-lig vind og frostrøyken gikk 20-50 m inn over land i en høyde på 10-12 m. Mest utsett var veggen mot elva.

Tåke over Holselv 14. des. 1962 kl. 9⁰⁰. Det var klarvær, stille og lufttemp. -20°C . Ellevannets temperatur var ca. 1°C .

Rimavleiring på innsiden på vegger og under tak av bølgeblikk eller eternitt på brakkene var ikke målbar. Temperatur og luftens fuktighetsgrad inne svarte noenlunde til det som ble målt utenfor.

Forøvrig var rimavleiringen i det vesentlige begrenset til en smal sone langs med breddene. Mest rim var dannet på spisser og kanter mot vinden. Nåletrær var bl.a. av den grunn mer utsatt enn andre trær og busker.

Observasjonene viste at forekomsten av vintertåke og rim hadde økt, men økingen i derav følgende ulemper bære omfattet enkelte områder like ved vassdraget og i et begrenset antall dager.

Også over Hovsfjord og Holsfjord hadde forekomsten av frostrøyk øket noe i vassdragets umiddelbare nærhet. I kulde under -15°C hadde det også funnet sted en øket rimdannelse langs de åpne arealer.

Det bør nevnes at også før utbyggingen ble det observert tåke og frostrøyk og rimdannelse i dalbunnen, særlig over åpne strømdrag mellom Hovs- og Holsfjord og mellom Hols- og Strandefjord. Etter at Hol II og Hol III kraftverk ble tatt i bruk ble disse elvestrekninger tørrlagt og har gitt

en bedring av dalklimaet.

Etter utbyggingen av Hol III er det observert frostrøyk og rimdannelse midtvinters bare over den øverste enden av Strandefjorden og særlig over avløpskanalen og det aller nærmeste område ved munningen.

Om vinteren forekommer det ofte at flate og brede områder av et dalføre har lavere vintertemperatur enn ellers i dalen. Den kalde luften kan ligge som et lag under noe varmere luft, og det kan ofte forekomme vintertåke i dalen. For avkjølingen av luftlaget spiller varmeutstrålingen en stor rolle. Men det kan også forekomme at luften i dalen får tilførsel av kald luft som flyter ned fra fjellet gjennom sidedaler som munner ut i hoveddalen. Kald luft er jo tyngre enn varmere luft og flyter nedover terrenget, især merkes det i dalsøkk og elvedaler som sno. For å undersøke forekomsten av vintertåke under slike forhold valgte Iskontoret Nesbyen, hvor Rukkedalen munner ut i hoveddalen. I Nesbyen er det en meteorologisk stasjon 165 m.o.h. og en særskilt stasjon ble opprettet ved Åsen gård, 369 m.o.h. hvor det er god utsikt over Nesbyen. Observasjoner begynte her vinteren 1960-61 og periodiske befaringer ble også foretatt.

Materialet er blitt bearbeidet av dr. Reinard Mook og fra hans undersøkelser er kartskissen tatt, som viser den relative hyppighet av tåke. Det er et tydelig maksimum på begge sider av Rukkedølas utløp. Det bemerkes at Hallingdalselven var islagt i observasjonstiden så elven ikke gikk åpen. Den tåke som ble observert her skyldtes dels varmeutstråling og dels blanding med kald luft fra Rukkedalen.

Kurvene gir den relative hyppighet av tåke i Hallingdal på strekningen fra nord for Nesbyen til Viki vintrene 1960-61 til 1962-63. Det er tydelig hyppighetsmaks. på begge sider av Rukkedølas utløp.

Under befarings den 15. des. 1962 ble det observert slik kortvarig tåkedannelse, se fotos

Hallingdalselva ved Nesbyen bru 15. desember 1962 kl. 13⁰⁰.

Elva var for det meste islagt. Lufttemperaturen ved Åsen met.st. kl. 12 var $-13,5^{\circ}\text{C}$. Midtveis i bakkeskråningen ble det målt $-15,2^{\circ}\text{C}$ og ved Nesbyen bru -17°C . I Rukkeålen, ca. 1 mil oppover fra Nesbyen ble det målt lufttemperatur -18°C og luftens fuktighet 75-80 %.

På strekningen Nesbyen - Svenkerud var det mye rim på trær.

3. Strålingståke og produksjon av frostrøyk ved
Suldalsoet.

Flate og fuktige dalfører som ligger lavt i forhold til terrenget forøvrig er mest utsatt for strålingståke. På følgende figur er gitt et eksempel på registreringskurver som viser karakteristiske variasjoner av luftens relative fuktighet og temperatur ved Suldal met.st. i tidsrommet 25/2-4/3-1963.

Når den relative fuktighet når opp til 100 % vil lufttemperaturen nærme seg duggpunktet, og av de to kurver ser en at duggpunktet i dette tilfelle ligger nær -10°C .

På vedlagte fotos tatt ved Suldalsoset 1/3 1963 kl. 8 kan en se slik tåke. Det var klarvær og stille, og solskinnet rakk ikke ned til vannet da bildet ble tatt. Vanntemperatur i elva var 3 °C.

Som regel er strålingståken nokså lav slik at himmelen kan skimtes gjennom tåken. Det skal derfor ikke mye vind for å bryte den opp. Når solen kommer opp, skulle en tro at tåken fort forsvinner, men det kan ta tid. Det kalde tåkelaget er begrenset at et varmere lag over og hviler på varmere underlag. Hadde underlaget vært tørr, ville tåken oppløses hurtig. Fra åpen elv foregår det en stadig fordampning inn i den kalde luften og dette forsinker oppløsningen.

Det er karakteristisk for Suldalsvatn som islegges meget sjelden, at det nesten ikke forekommer tåke der, antakelig p.g.a. luftdrag.

4. Hvilken forandring reguleringen og utbyggingen av Nea har medført på vinterklimaet i Tydal og Selbu.

Før utbyggingen av Nea kraftverk var vanntemperaturen ved foten av Kistafoss meget nær 0°C under kuldeperioder midtvinters, men ved mildvær, med et par varmegrader, måltet det temperaturer fra $0,5-0,8^{\circ}\text{C}$. Fallstrekningen ovenfor Kistafoss viste seg å ha en betydelig innflytelse på elvas termiske forhold og dermed på isforholdene under vekslende værforhold.

Etter at Nea kraftverk ble tatt i bruk holder avløpsvannet midtvinters meget jevn temperatur, uavhengig av værforholdene, nemlig $0,2-0,3^{\circ}\text{C}$. Som følge av denne overtemperatur går Nea åpen til Børholen.

Øket vassføring og døgnreguleringen fra Nea kraftstasjon bevirket at isproduksjonen i Klingene og i Greslistrykene var noe større enn en kunne vente. En ca. 3 km lang strekning fra Greslivolden og nedover til Hilmo bru la seg under sarr- og drivansamlinger.

Et meget viktig ledd i vassdraget vedrørende isforhold i nedre del av Nea var Bjørgadammen. Dammen demner opp det naturlige elveløp på en sterk isproduserende strekning og gir mulighet for dannelse av et fast isdekke tidlig på vinteren. Magasinet er også i stand til å utjevne de variasjoner i vassføringen som Nea kraftverk bevirker, vesentlig p.g.a. døgnreguleringer.

Bjørgadammen er inntaksmagasin for Hegsetfoss kraftstasjon som får sitt utløp like ndf. Eet. Utbyggingen reduserer ytterligere isproduksjon på en ca. 15 km lang meget kritisk elvestrekning. Avløpsvannet fra Hegsetfoss kraftstasjon holder en temperatur på bare noen få hundredels grader og bare på en kort strekning når det er kaldt. Deretter er et strøk på ca. 10 km lengde hvor vannhastigheten overstiger den kritiske for islegging og strømdraget holder seg delvis åpent. Den aller nederste del av Nea ved Selbu islegges som før.

Det ble reist spørsmål i hvilken utstrekning regulering og driften av Nea kraftverk har medført forandringer i lokalklimaet i Tydal og Selbu og om dette har ført til øket luftfuktighet og ekstraordinær frostrøyk med isdannelser på dyrket mark og beite.

Forholdene ble undersøkt i tidsrom 1957-63. Det viste seg at innflytelsen av den åpne elvestrekningen på vinterklimaet i Tydal var av betydning bare i relativt stille klarværssituasjoner med lufttemperatur under -10°C . I slik vær dannes det en inversjon i dalen og p.g.a. øket tilførsel av varme og vanndamp fra den åpne elva var minimumstemperatur i nærheten av elva noe høyere enn andre steder. Noen betydning for eller innvirkning på eventuelle isdannelser på marka kunne en slik temperaturstigning neppe ha.

Det var noen øket frekvens av frostrøyk, særlig over og like ved den åpne elva. I gjennomsnitt for vintermånedene nov.-april i tidsrommet 1957-63 og vinteren 1964-65 ble det konstatert 25 dager med frostrøyk. Observasjonene ved Aunegrenda viste at frostrøyk var synlig bare i ca. 15 av disse dagene. I Gresligrenda var hyppigheten av frostrøyk enda mindre i gjennomsnitt trolig mindre enn 2-3 dager pr. vinter, maks. kanskje 5-6 dager.

Rimavsetningen ble observert bare like ved elva. Rimnedslaget på bakken spilte en underordnet rolle ved isdannelse på dyrket mark og beite.

Noen merkbar endring i lokalklimaet i Tydal og ved Selbu ble ikke konstatert.

Nea ved Flura 14. februar 1962.

Det var klarvær, stille og lufttemperatur -14°C .

Sluttmerknad og konklusjon.

Værforholdene og nedbør er avhengig av en storstilt sirkulasjon i atmosfæren. Denne kan ikke påvirkes merkbar av de forholdsvis begrensede inngrep i naturen som en vassdragsregulering utgjør. Derimot kan lokalklimaet i umiddelbar nærhet av en innsjø eller større elv bli påvirket i en begrenset utstrekning. Observasjoner viser at av to steder som tilsynelatende ligger like utsatt kan det ene bli plaget av tåke og rim, men den andre ikke. Vurdering av risikoen for frostrøyk, rimdannelse, isbrand og lignende plager på et bestemt sted må derfor baseres på faste observasjoner. Tåkedannelse er oftest avhengig av flere faktorer, hvorav enkelte er vanskelig å kontrollere. Således må det for at utstrålingståke kan dannes være praktisk talt vindstille og det må være klarvær så at utstrålingen kan bli stor nok til å senke lufttemperaturen til metningspunktet ved det forhåndenværende fuktighetsinnhold.

Luft som bringes fra et høyere til et lavere lag i atmosfæren, blir adiabatisk oppvarmet ca. $0,7^{\circ}\text{C}$ pr. 100 m p.g.a. trykkforskjellen i de nivåer. Hvis terrenget er svært bratt forekommer oppvarming, ellers viser observasjoner at kaldluft som siger nedover, avkjøles betydelig på vegen p.g.a. utstrålingen fra det underlaget den renner over. Ofte dannes i bunnen på flate dalfører på den måten i stille klarvær et lag med kald luft, en såkalt dalinversjon. Det ligger da varmere luft over dette laget og utvekslingen mellom lagene er liten slik at vanndamp, røykpartikler etc. blir liggende innen dette skiktet. Midt på vinteren er solstrålingen alt for svak for å løse opp inversjonen og tåken kan holde seg i flere dager. En regulering av vassdrag kan gi en øking av slik vintertåke og rim, særlig langs de elvestrekninger som blir gående mer åpne enn før. Økingen utgjør likevel oftest bare et begrenset antall dager om vinteren. Likeså viser det seg at det langs en åpen elv bare er et smalt område langs strand-sidene og dalskråningene som blir utsatt for tåke- og rimproduksjon.

P.g.a. tilførsel av varme og vanndamp fra et åpent vassdrag til luften kan dette føre til øket frekvens av frostrøyk under sterk kulde (lufttemperatur -15°C eller lavere). Fuktigheten kan likevel ikke slå seg ned på bakken på en slik måte at det dannes et kompakt islag. På bar mark avsettes vanndampen som rim. Ved sublimasjon frigis varme som for det meste avgis

til luften og tåken løses opp. Rimavsetningen er størst like ved åpne elvepartier, og sjelden over hele området som er dekket av kaldluftskiktet. Rimnedslaget på bakken spiller likevel en underordnet rolle ved isdannelse på dyrket mark og beite.

Ved lufttemperatur omkring 0°C og under mildvær om vinteren er vanndamp- og varmetransporten fra en åpen elv liten. En regulering har ved temperatursvingninger omkring 0°C eller litt under derfor neppe noen som helst innvirkning på smeltings- og frysingsprosesser eller isdannelse på bakken.

Vanndråper som blir hvirvlet opp fra fosser og stryk kan medføre isdannelser på bakken men bare i den umiddelbare nærhet av større fosser eller p.g.a. sterk vind.