

Observationer omkring lavinedannelse og sikring i Grønnedal

En analyse af hændelsesforløbet af lavinerne
i 1983 og 1991 fra arkivfotos og samtaler
samt notater fra et besøg på Grønnedal
i perioden 18. til 26. juni 2003

Carl Egede Bøggild



Observationer omkring lavinedannelse og sikring i Grønnedal

En analyse af hændelsesforløbet af lavinerne
i 1983 og 1991 fra arkivfotos og samtaler
samt notater fra et besøg på Grønnedal
i perioden 18. til 26. juni 2003

Carl Egede Bøggild

Indhold

1. Observationer omkring lavinedannelse og sikring	3
1.1 Indledning.....	3
1.2 Lavinen i 1983.....	4
1.2.1 Observationer.....	4
1.2.2 Foreslået hændelsesforløb.....	4
1.3 Beskrivelse af lavinen i 1991.....	7
1.4 Orlogshjemmets placering (lavinehændelsen I 1956).....	8
1.5 Lavinernes mulige udløsningszone.....	8
1.6 Lavineværn og rende.....	10
1.7 Foreslåede tiltag ved lavineværn og rende.....	11
1.8 Opfølgende arbejde.....	11
1.9 Forslag til beredskab/monitoring.....	12

1. Observationer omkring lavinedannelse og sikring

En analyse af hændelsesforløb af lavinerne i 1983 og 1991 fra arkivfotos og samtaler

Notater fra et besøg på Grønnedal i perioden 18. til 26. juni 2003

1.1 Indledning

I februar blev GEUS kontaktet af Forsvarets Bygningstjeneste med henblik på en vurdering af lavinefaren i Grønnedal i forbindelse med beboelse af bygning 191 i vinterperioden. I første omgang blev forelagt materiale gennemgået og principperne for lavinedannelse blev beskrevet ud fra teori og tilgængeligt materiale. Men det ringe materiale som hovedsagelig omhandlede skader på bygninger samt begrænsede oplysninger om terrænet nødvendiggjorde et besøg i juni. Denne rapport beskriver observationer i terrænet samt afrapporterer indhentede oplysninger i Grønnedal.

I notat (9101/610.18/200001974/8) blev teori og dynamik for lavinedannelse gennemgået og beskrevet. Dette var før vi havde de baggrundsoplysninger som besøget i Grønnedal tilvejebragte. Men teorien er en vigtig forudsætning for forståelse af forekomsten af laviner – og har "ligget i baghovedet" under besøget og som forudsætning for denne rapport. Eksempelvis er det vigtigt at forstå/kunne forklare hvorfor lavinefaren ikke er størst ved skift til sydost forhold, men derimod efter nogle døgn idet snepakkenes kohæsionsstyrke reduceres ved at vandmængden når en mægtighed så snepakken gøres nærmest flydende og vandet samtidig ændrer sneens struktur.

Det vides at der har forekommet tre laviner siden stationens etablering under anden verdenskrig. Den første lavine i 1956 kendes kun fra en artikel i tidsskriftet Grønland. Den anden lavine som havde fatale konsekvenser ved tre dødsfald skete i 1983 og var den største. Derefter forekom der en lavine i 1991 som ikke medførte anden skade på bygninger end oversvømmelse.

For at kunne foreslå de mest optimale tiltag mod at afbøde konsekvenserne af laviner, er det vigtigt at have et klart billede af lavinernes udløsning, deres fremfærd samt deres størrelse. Denne rejserapport har vurderet alt tilgængeligt materiale, og ud fra materialet forsøgt at fortolke hændelsesforløbet. Slutteligt vurderes tiltag, der foreslås opfølgende arbejde og slutteligt et første udkast til beredskab/monitoring.

1.2 Lavinen i 1983

1.2.1 Observationer

Følgende observationer har kunnet udledes fra rapporter og billeder fra hændelsen i 1983:

- Aflejret snelavine mørk på den vestlige side men lys på den østlige side (ved de små grønne huse).
- Citat: aflejret sne mest vandmættet ved den vestlige side.
- Billeder viser at sneen sank hurtigt til ½-1 meter under tagskægget.
- Vestlige skred markant mørkere end det østlige.
- Østlige lobe overlejrer vestlige lobe.
- De to lober er markant adskilt på skråningen.
- Meget vand og vandmættet sne fra øverste plateau (evt. prop).

1.2.2 Foreslået hændelsesforløb

Ovenstående observationer indikerer at der er tale om to separate laviner, der samlet har forårsaget det katastrofale hændelsesforløb. Billederne som er taget fra heliporten (fig. 1) viser en mørk vestlig (venstre i billedet) lobe med en klar afgrænsning opetter samt til siderne. Der synes at være aflejret meget sne umiddelbart nedenfor skråningen hvor terrænet flader ud. Men er også transporteret ned mod bygning 191. Østfor denne mørke lobe er der en lys lobe, hvis øvre afgrænsning er diffus, men den synes at have sin oprindelse fra det højere-liggende plateau som udgør størstedelen af det hydrologiske opland til Maskinmesterens elv. Desuden ses det at den aflejrede sne er mørk ved bygning 191 fig. 2, men lys ved bygning 82 og 83 fig. 3. Fig. 1 viser en lys kile af uforstyrret sne pegende ned mod dalen der adskiller den mørke vestlige lobe fra den lyse østlige lobe – hvilket beviser at de to laviner er adskilt i deres oprindelse, og adskillelsen tyder på to separate hændelsesforløb.

Et scenarie er at den vestlige lavine udløstes først, som en "almindelig" lavine. Den deponerede store snemængder nede på det flade terræn og som herefter er blevet vandmættet da den lavere terrænhældning retardere afstrømningen. Det øverste af vandledningen er sandsynligvis blevet beskadiget ved denne lejlighed. Senere (samme nat) er der fra det højere plateau enten kommet en "bølge" af vandmættet sne eller blot en hurtigt forøget afstrømning som på skråningen har udviklet sig til en vådsne lavine (slush avalanche). Da den nåede ned på det flade terræn har den reaktiveret den deponerede vestlige snelavine - som er blevet mobilt pga. den store vandmætning akkumuleret på det flade terræn.

Et andet scenarie er at der har strømmet store vandmængder fra det høje plateau (østlig lobe) som har aflejret sne samt vandmættet snepakken på det flade nedre plateau. Da den vestlige lavine blev aktiveret rullede sneen ned på det flade plateau hvor dræningen er lille og aktiverede den mættede/overmættede sne. Stor vandmætning og lille friktion til følge bragte sneen helt ned til bygning i så store mængder et det forårsagede katastrofen. Da

vandmættet sne fra den østlige lobe fortsatte med at strømme efter lavinehændelsen fremstår den østlige lobe som at have overlejret den vestlige lobe.

Hvilke af de to scenarier som forekom ved den katastrofale hændelse i 1983 kan ikke bevises. Men det står klart at et samspil af fire hændelser har været til stede, nemlig 1) sydost med positive lufttemperaturer og kraftig vind, 2) kraftig regn, 3) store snemængder fra en snelavine 4) en kraftig vådsne lavine fra det øvre plateau. Et forstærket samspil mellem disse fire faktorer har sandsynligvis skabt betingelserne for den katastrofale konsekvens lavinen fik. Under lavinefare er det vigtigt at kunne se samt vurdere samtlige enkeltfaktorer.



Figur 1. Lavinen i 1983 fotograferet fra heliporten nogle dage senere. Bemærk den mørke lavine til venstre (vest) samt det lyse skred til højre (øst) som sandsynligvis kommer oppe fra det øvre plateau.



Figur 2. Udsnit af hvor lavinen i 1983 ramte bygning 191. Bemærk den mørke sne, det afbrækkede tagskæg samt den "lave" snehøjde. Sneen i lavinen har været meget viskøs, har overskredet bygningen og er derefter hurtigt sunket sammen som følge af dræning af vand fra den overmættede sne.



Figur 3. Den østlige lavine som også ramte det lille grønne hus. Bemærk den lyse sne. Til venstre ses det mørke vestlige skred med skarp afgrænsning, som ligeledes blev observeret ved skredet i 1991. Omfanget af snemængderne opsamlet i lavinen ses af figur 4 og 5.



Figur 4. Aflejrede snemasser ved den sydlige ende af bygning 191.



Figur 5. Snemasser som overskred og passerede bygning 191.



Figur 6. Den ødelagte bygning. Bemærk de store vandmængder.



Figur 7. Rester af sne på taget som indikerer store snemængder og den voldsomme kraft.

1.3 Beskrivelse af lavinen i 1991

Der foreligger ingen fotodokumentation eller rapport over lavinen i 1991. Alle informationer er mundtlig overlevering fra seniorsergent Johnny Parnset. Han har givet følgende nyttige oplysninger:

- Vandmættet sne efter et par dage med regn, tø og vind.
- Udløsningszone klart afgrænset ved klippekant.
- Lavine mindre og meget forskellig fra den i 1983.
- Mener ikke at lavinen kom fra høje plateau.
- Der blev aflejret "sne rester" på det lave terræn, dvs. udløbszone startede på det lave terræn.
- Væsentlig mere sne end i 1983 ifølge billeder.

Det er overvejende sandsynligt at lavinen i 1991 adskilte sig fra 1983 lavinen ved at være en mindre og klart afgrænset lavine som ikke på samme måde inddragede vand fra det høje plateau. Den var mest sandsynligt "blot" et sneskred på skråningen. Men da det flade re terræn sandsynligvis bliver vandmættet eller måske overmættet med vand under sydost forhold havde den relativt beskedne snelavine et langt udløbsområde helt ned til broen ved bygning 191. Broen blev blokeret, og for at reducere skaderne ved oversvømmelse i bygning 191 blev proppen fjernet med manuel kraft.

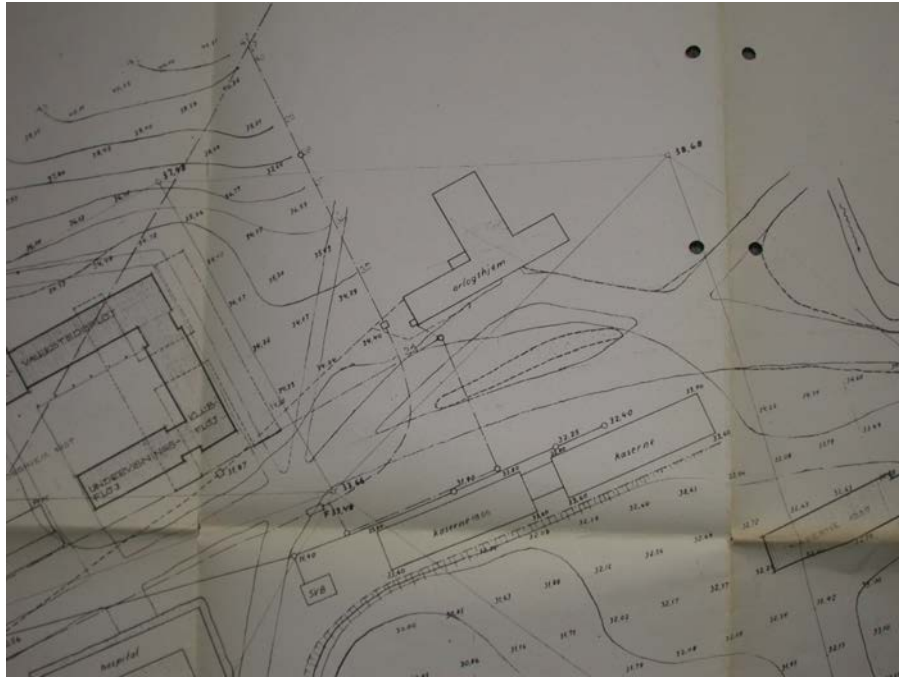


Figur 8. Viser skråningen med den nogenlunde afgrænsning ifølge Parnset.

Lavinen er startet som et sneskred, men er derefter sandsynligvis omdannet til en vådsne lavine på det flade terræn. Vandmætningen der reducerer friktionen mod underlaget og har herved givet lavinen en længere udløbsstrækning. Til forskel fra 1983 hændelsen nåede denne lavine ikke ned til bygning 191, og fik derfor ikke følger for mennesker og bygninger – bortset fra oversvømmede gulve i enkelte bygninger.

1.4 Orlogshjemmets placering (lavinehændelsen i 1956)

Der foreligger kun et billede af lavinen fra 1956 hvor orlogshjemmet blev beskadiget af en lavine om natten. Billedet viser beskadigelserne indendørs, og ikke lavinens forløb i terrænet. Men ældre kort viser placeringen af orlogshjemmet. Nedenstående kortudsnit viser hvor det lå (fig. 9). Det skønnes at have ligget præcist på samme lokalitet som bygning 191 nu er bygget. Vi kan derfor fastslå at lavinen havde samme udløbszone som i 1983 og 1991. Hvor stor lavinen har været kan ikke bedømmes. Men det er mest sandsynligt at den var på størrelse med lavinen fra 1991, idet dokumentationen kun viser væg som er trykket ind.



Figur 9. Kort med placeringen af det tidligere orlogshjem.

1.5 Lavinernes mulige udløsningszone

Der har været brugt en del tid på at kunne lokalisere området for hvor lavinerne mest sandsynligt udløses. Lokaliseringen er vigtig hvis der ønskes opstillet værn som senere kan reducere sandsynligheden for at nye laviner udløses. Lavineværn kan ikke forhindre dem, men opsættes mest for at reducere hyppigheden samt størrelsen af laviner. Gældende for begge laviner i hhv. 1983 og 1991 er at en udløsning var i et område nord for vandløbet. Nedenstående foto (fig. 10) viser området med lav sol-vinkel hvorved terrænets undulationer fremhæves. Det ses at der er en lavning umiddelbart nord for Maskinmesterens elv, og at denne lavning er fattig på krat bevoksning. Ringe kratbevoksning kan være indikator for at vegetationen med mellemrum delvis fjernes af sne i bevægelse.



Figur 10. *Billede af den mulige udløsningszone. Bemærk ringe krat bevoksning i lavning nord for elv.*

En nærmere inspektion af lavningen viser at vegetationen er beskadiget (figur 11). Men det kan ikke entydigt fastslås om beskadigelsen skyldes snebevægelse fra lavine eller beskadigelse fra snekrybning. Figur 12 viser imidlertid at der i denne lavning er meget sne om vinteren, hvilket udelukker beskadigelse af kratbevoksningen ved snefygning. På afblæsningsflader ses ikke krat beskadiget på samme måde, hvilket forstærker formodningen om at snebevægelse mest sandsynligt har forårsaget afskrælning af barken på pilekrattet.



Figur 11. *Beskadiget vegetation.*



Figur 12. *Sneklædt skråning med den mulige udløsningszone (sneklædt lavning midt i billede ovenfor midterste tynde).*

1.6 Lavineværn og rende

Det er udenfor denne opgave at evaluere tidligere tekniske rapporter af lavinesikringen. Men erfaringen fra Østrig viser at der aldrig er set opstillet et lavineværn udført i stål i den nedre udløbszone. Her bruges altid jordvolde der anses som værende stærke nok til at modstå de store naturkræfter. Desuden har lavineværn i alperne altid stiverne vendende bagud op imod skråningen, så stiverne udsættes for et tryk fremfor et træk (figur 12). Lavineværnet kan yderligere sikres hvis der under stiverne lægges en jordvold. Den vil om vinteren fryse og blive fast på grund af vandindholdet i jorden.

Figur 13 viser renden om vinteren. Det ses at dens geometri medfører at der ophobes store snemængder – den virker som en snefælde. En måde at reducere ansamlingen af sne er at udgrave renden så den er flad og afrundet mod vindretningen under fygning. Desuden er det nødvendigt at vurdere om huset nærmest renden skal fjernes, fordi sneaflejring reduceres pga. husets lævirkning. Det fjerneste hus er derimod for langt borte til at skabe en signifikant læ-effekt.



Figur 13. *Vinterbillede af snefordeling i rende.*

Figur 14 viser renden fotograferet ovenfra. Det ses at renden er smal og dyb, hvilket fremmer sneaflejring under fygning. Desuden virker både cementkonstruktionen (kloak) og bro hæmmende for frit afløb for en vådsne lavine i fremdrift. Kloakken bør overvejes fjernet og broen bør overvejes hævet eller fjernet.



Figur 14. Renden set ovenfra. Bemærk det smalle forløb og hindringen fra hhv. kloak og bro.

1.7 Foreslåede tiltag ved lavineværn og rende

Fra ovenstående informationer kan følgende tiltag foreslås for at gøre renden mere effektiv til at bortlede vandmættet sne fra en lavine:

- Kloak fjernes/rykkes tilbage.
- Bro hæves eller fjernes.
- Renden graves fladere så dens kapacitet forøges og sneaflejring formindskes.
- Overskudsjord deponeres under lavineværn (forstærkning).
- Nærmeste hus fjernes evt.
- Øvre lavineværn forkortes (forhindrer sne-aflejring).
- Renden holdes fri for sne om vinteren.

1.8 Opfølgende arbejde

- Oplandet til maskinmesterens elv skal bestemmes ud fra indsamlede geografiske koordinater.
- Rendens geometri skal bestemmes ud fra theodolitmålinger.
- Et skøn over vandmængder i 1983 fra meteorologiske data fra DMI.
- Sne-fordeling i opland og skråning bestemmes (et vinterbesøg).
- Analyse af lavinedannende "depth hoar" krystaller i sneen (et vinterbesøg).
- Undersøgelser for snebroer på øvre plateau (et vinterbesøg).
- Snetaksering af snefordelingen i oplandet (et vinterbesøg).

Som beskrevet i notat (9101/610.18/200001974/8) omkring teori for lavinedannelse blev snepakkenes kohæsiønssevne belyst. I notatet er forklaret dannelsen af "depth hoar" krystal-

ler en indikation for at snepakken kan blive endog meget skrøbelig. Hvis dette sker skal der ikke meget vand til at udløse en vådsne lavine, og den kan derfor komme før forventet. Forekomsten af disse krystaller er altså vigtig.

For at kunne give et bedre skøn på lavinens størrelse er det nødvendigt at bestemme oplandet. Der er indsamlet koordinater for oplandets afgrænsning. På GEUS kan der vha. GIS systemer bestemmes et opland. Der blev brugt en arbejdsdag på at opmåle renden vha. teodolit. Disse data skal processeres og der skal så der kan fremstilles 3D model af renden samt profiler af lavinesporet. Udfra meteorologiske data bør vandmængderne potentielt tilgængelig for lavinen i 1983 bestemmes. Skønnede vandmængder ved lavinebegivenheden i 1983 kan bruges som "reference" som nye føn begivenheder kan sammenlignes op imod. Denne reference kan også bruges til udarbejdelse af et nyt beredskab. Snefordelingen i oplandet bør bestemmes i vinterperioden med henblik på at skønne vandmængder ved vådsne laviner. Undersøgelse for "depth hoar" krystaller og snestrategrafi bruges alle steder til at bestemme lavinefare. Hvis disse krystaller forekommer, er der en stærkt øget risiko for laviner ved disse lokaliteter. Er der snebroer i oplandet omkring indesnævninger i terrænet, er der potentielt stor risiko for at der dannes "propper" som kan medføre katastrofale vandstrømme ved pludselig gennembrydning.

1.9 Forslag til beredskab/monitoring

I notat (9101/610.18/200001974/8) blev forklaret dannelsen af en "chok front" hvor vandet samles i en "selv-accelerende" proces i sneen. Men betingelserne for dette indtræffer først når snepakken er gennemvædet og kornene i frit vand har haft tid til at vokse. Derfor bliver faren for vådsne-laviner størst efter nogle dage med intensiv sydost. Det giver tid til at rømme bygninger og samtidig foretage observationer i terrænet for at forstå udviklingen imod en evt. optrappede lavinefare.

- Skønnede vandmængder fra 1983 anvendes som reference.
- Der udarbejdes liste over indikatorer i terrænet som lavinefare.
- GLK+GEUS udarbejder en trinvis beredskabsplan.
- Vandtryk og klima på plateau inddrages til varsling.
- Alle skred fotograferes og dokumenteres (opsamling af statistisk materiale).
- Beredskabsplan evalueres/justeres evt. løbende efter hhv. 1, 3 og 7 år.

Disse punkter bør diskuteres med GLK. Det vil være en klar forbedring at have 1983 begivenheden som en kvantitativ "worst case" som akutte lavinefarer kan sammenlignes op imod. Der bør udarbejdes en liste over indikatorer i terrænet som kan bruges til at varsle en mulig lavine. Der bør udarbejdes en trinvis beredskabsplan. Her er det tilrådeligt at anvende forsigtighedsprincippet, som gradvis kan justeres efterhånden som den akkumulerede viden bliver tilstrækkelig. Akkumuleret viden skal primært indsamles ved dokumentation som lettere kan overleveres til nyt personel. Herefter kan beredskabsplanen justeres med passende mellemrum, oftest i begyndelsen og med længere tidsrum siden hen. Den kritiske udløsningszone hvor lavinen starter, bør bestemmes med større nøjagtighed. Det muliggør opstilling af værn som kan reducere både sandsynlighed samt størrelse af nye laviner.