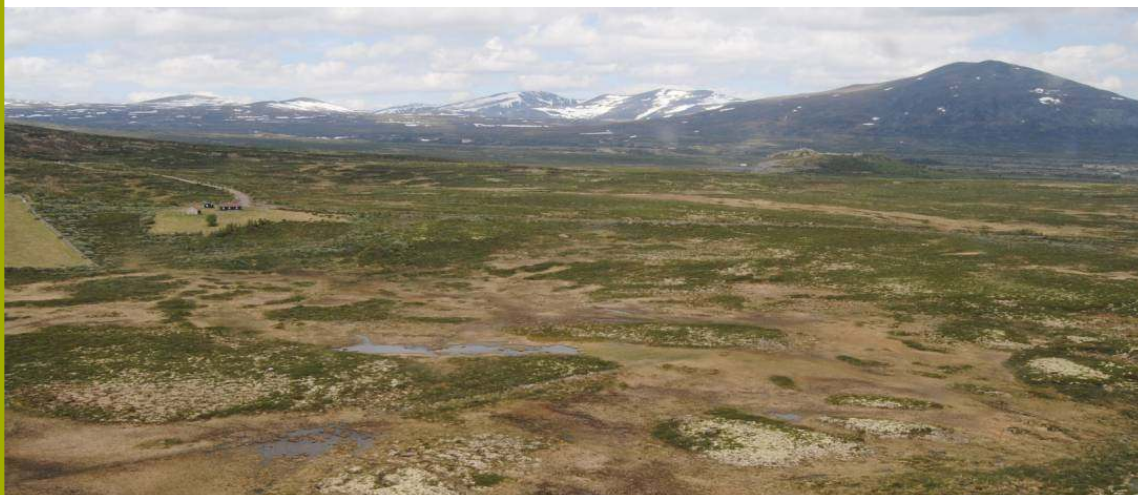


## Oppfrostfare Hjerkinn Skytefelt

Forsvarsbygg Utvikling



COWI AS

Prosjekt 129057

Dokumentnr. 1

Versjon 2

Dato 20.04.2011

Utarbeidd Oddmund Soldal; Tore Borvik, Svein Olaf Dahl og Helge Henriksen

Kontrollert Svein Olaf Dahl

## **Innhold**

|           |                                                                        |           |
|-----------|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>  | <b>Sammendrag</b>                                                      | <b>4</b>  |
| <b>2</b>  | <b>Innledning</b>                                                      | <b>5</b>  |
| <b>3</b>  | <b>Oppfrost</b>                                                        | <b>6</b>  |
| 3.1       | Forsøk med oppfrost                                                    | 9         |
| <b>4</b>  | <b>Utført arbeid</b>                                                   | <b>12</b> |
| 4.1       | Kvartærgeologisk kartlegging                                           | 12        |
| 4.2       | Kartlegging av jordartenes egenskaper                                  | 12        |
| <b>5</b>  | <b>Beskrivelse til det kvartærgeologiske kartet, Hjerkinnskytefelt</b> | <b>14</b> |
| 5.1       | Definisjons- og begrepsavklaring                                       | 14        |
| 5.2       | Jordarter                                                              | 14        |
| 5.3       | Kvartærgeologisk kart                                                  | 29        |
| <b>6</b>  | <b>Løsmassenes egenskaper</b>                                          | <b>31</b> |
| 6.1       | Kornfordeling                                                          | 32        |
| <b>7</b>  | <b>Tilgang på vann</b>                                                 | <b>35</b> |
| 7.1       | Grunnvann                                                              | 35        |
| 7.2       | Variasjon i grunnvannsnivå                                             | 38        |
| <b>8</b>  | <b>Temperaturmålinger</b>                                              | <b>40</b> |
| <b>9</b>  | <b>Risikovurdering</b>                                                 | <b>43</b> |
| 9.1       | Terrenghellning                                                        | 44        |
| 9.2       | Kvartærgeologi                                                         | 45        |
| 9.3       | Samlet vurdering av oppfrostfare                                       | 51        |
| <b>10</b> | <b>Diskusjon</b>                                                       | <b>54</b> |
| <b>11</b> | <b>Litteraturliste</b>                                                 | <b>56</b> |

Vedlegg 1    Registreringer i prøvepunkt

Vedlegg 2    Felthåndbok for vurdering av oppfrostfare



# 1 Sammen drag

Det er gjennomført en undersøkelse for å belyse risikoen for oppfrost i Hjer kinn skytefelt.

Som grunnlag for risikovurderingen er det gjennomført kvartærgeologisk kartlegging, det er tatt kornfordelingsanalyser på jordartsprøver, målt fuktighet i jordprofilet og gjort kartanalyser.

Kornfordelingsanalysene viser at den generelle faren for oppfrost er liten.

Basert på gjennomgang av ulike prosesser som styrer oppfrost, er det laget et risikokart som er basert på jordartsfordeling og tilgang på vann.

Risikovurderingen er basert på at det må være både frostsensitive jordarter og tilgang på vann for at det skal være risiko for oppfrost.

Dette betyr at det er liten fare for oppfrost i åsrygger og i områder med breelvmateriale.

I flate og lave områder med god tilgang på vann er det størst fare for oppfrost.

Det største arealet på faresonekartet ligger i en mellomklasse der det ikke er mulig på generelt grunnlag å fastsette fareklasse, men der faren for oppfrost anses som relativt liten.

## 2 Innledning

Hjerkinn skytefelt er avviklet, og området skal føres tilbake til naturtilstanden før forswarets aktivitet startet.

I feltet har det vært stor forsvarsaktivitet i en årrekke og det finnes derfor skrot, ammunisjonsrester og blindgjengere i feltet.

Forsvaret har startet en omfattende rydding av materiale som ligger synlig på overflaten i området. Dette arbeidet skal holde frem til 2020.

En del av ammunisjonsrestene og blindgjengerne er forventet å ligge begravd i jorden.

Det er kjent at objekt kan fryse opp av jorden. Skal hele området undersøkes for begravde objekter/blindgjengere er dette et svært omfattende arbeid, og det forventes at tilbakeføringen av arealene kan ta svært lang tid.

Eksisterende metoder for undersøkelser av begravde objekter er beskrevet i COWI (2009). Det er teknisk mulig å gjennomføre målinger enten på eller over bakken, men metodene har klare begrensinger. Et søk vil aldri kunne bli 100 % sikkert fordi det vil være rom for feiltolkninger, og ved at ikke alle områder blir undersøkt nøyaktig nok

Ved bruk av denne type metodikk vil man ikke kunne skille mellom blindgjengere og annet metall i bakken.

Et alternativ til denne metoden med kartlegging av blindgjengere er å kartlegge hvilke områder som er utsatt for oppfrostfare. Så lenge blindgjengere ligger begravd i bakken, vil de ikke utgjøre noen større risiko.

Foreliggende arbeid består i en detaljert løsmassekartlegging og innsamling av jordprøver for å karakterisere oppfrostfaren i ulike deler av feltet.

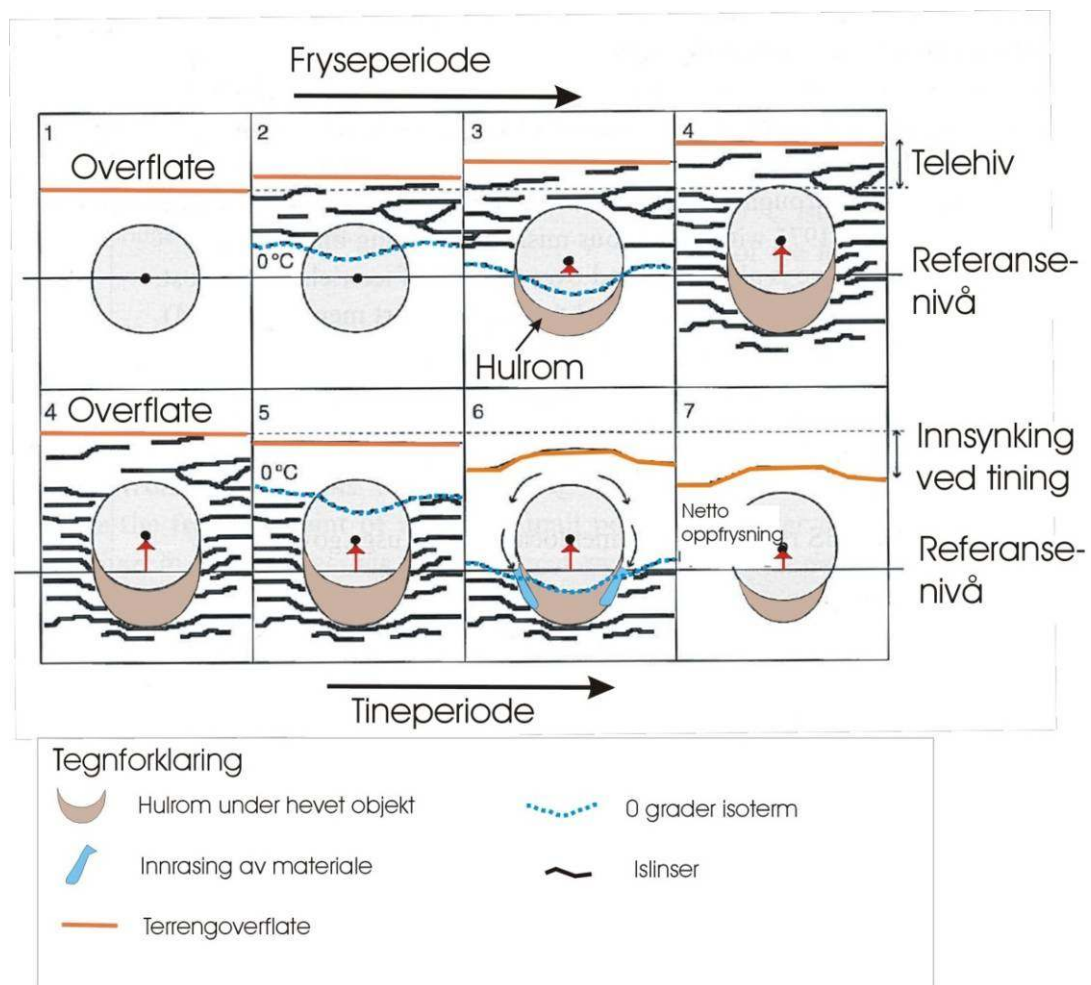
Arbeidet er utført i samarbeid mellom Universitetet i Bergen ved Institutt for geografi og COWI AS.

### 3 Oppfrost

Oppfrost er et kjent problem som opptar både vitenskapelige miljøer som en indikator på et klima der bakketemperaturen deler av året ligger under  $0^{\circ}\text{C}$ , og mer praktisk i forbindelse med bygging av veier og installasjoner under bakkenivå. I tillegg er det en utfordring for alle som driver landbruk.

Prosessene er beskrevet i en rekke bøker og vitenskapelige artikler. Oppfrost av objekter oppstår i frostsensible jordarter som utsettes for frysing og tining.

Allerede i 1930 ble det publisert (Beskow 1930) en hypotese hvordan oppfrost foregår (fig. 1).

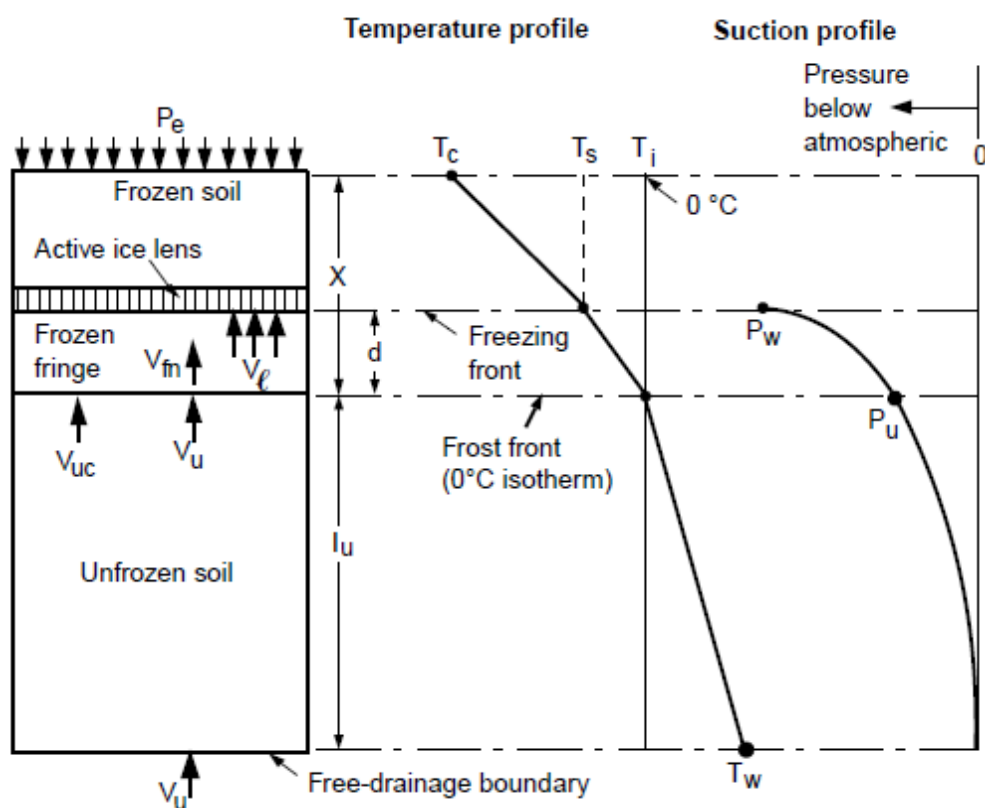


**Figur 1.** Sjematisk beskrivelse av oppfrost (Etter Beskow 1930 og Anderson & Anderson 2010).

I bilde 1-4 foregår en frostnedtrenging fra overflaten. I bilde 4-7 tiner jorden opp ved nedtrenging av en tinefront. Grå skravert sirkel viser et rundt objekt i bakken. Pilene i objektet viser relativ bevegelse av objektet i forhold til terrengoverflate.

Sortering av løsmasser etter kornstørrelse finner en i alle områder der jorden er utsatt for frysing og tining. Dette er en effekt av langvarige fryse- og tineprosesser av usorterte løsmasser (Anderson & Anderson, 2010). De vanligste effektene av oppfrost er strukturmark (polygonmark), steinstriper etc. I høyfjellet er dette svært vanlige fenomen der man ser ansamling av stor stein.

Den grunnleggende prosessen som skjer når frost trenger ned i bakken er dannelse av islinser. Islinserne flytter seg gradvis nedover i grunnen. En skisse av denne prosessen er vist i figur 2.



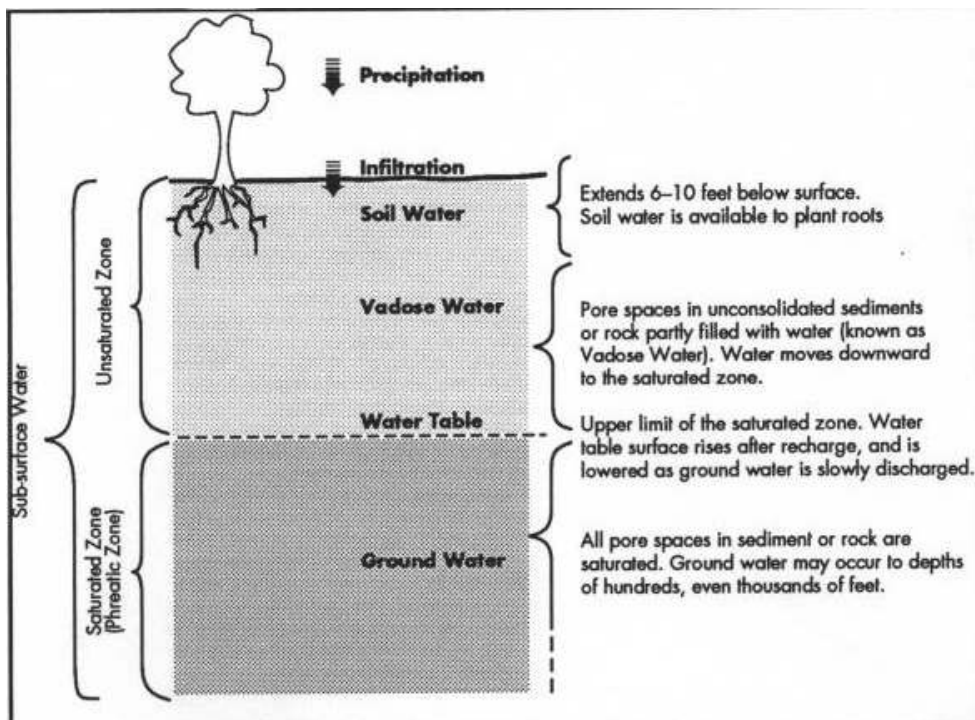
**Figur 2.** Skjematisk forklaring av frostnedtrenging i jord (Konrad, 1999).

Figur 2 viser at det danner seg et undertrykk under islinsen som blir dannet. I dette undertrykket kan vann trekkes opp mot islinsen. Når isvolumet blir større enn porevolumet i jorden vil denne ekspandere i retning med minst mottrykk. Dette resulterer i at jordoverflaten hever seg under innfrysing og senker seg under tining når overflødig vann drenerer ut av porevolumet i jorden.

Skal oppfrost skje er det tre grunnleggende forhold som må være oppfylt (Ferris, 2010):

- Jorden må være frostsensitiv
- Det må være tilgang på vann
- Temperaturen må være under frysepunktet i deler av året

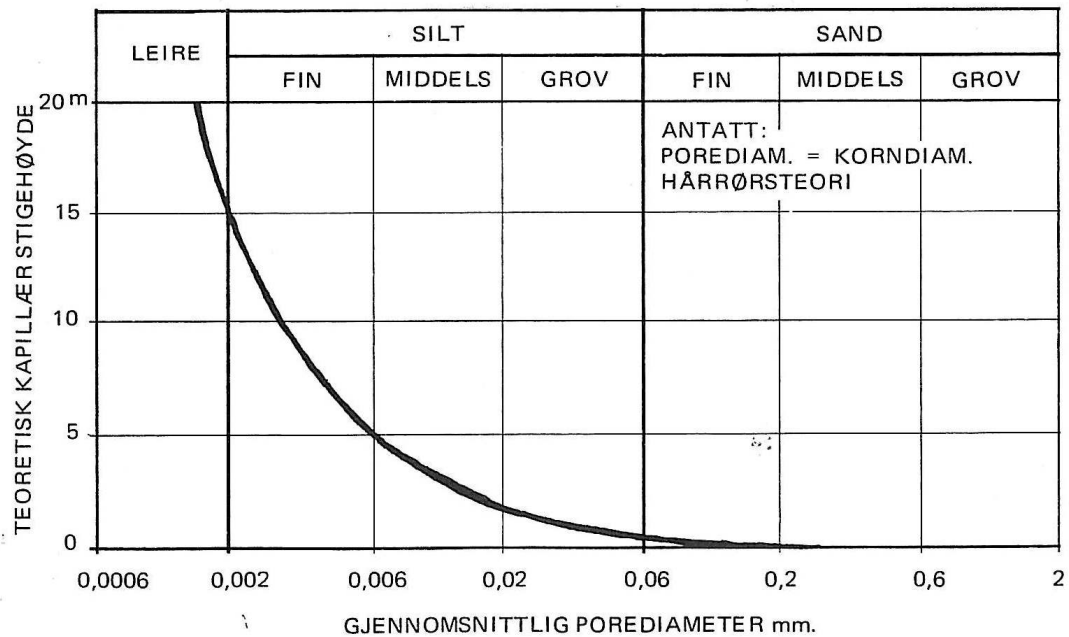
Den vanligste definisjonen på frostsensitiv jord er at den inneholder mer enn 3 % silt (Anderson & Anderson 2010). Tilgangen på vann vil variere både med årstider, grunnforhold og dyp til grunnvannsspeilet. Over grunnvannsspeilet vil vann trekkes oppover i jordprofilen på grunn av kapillære krefter (fig. 3).



**Figur 3.** Fordeling av vann i et jordprofil (<http://www.agwt.org/info/pdfs/watertable.pdf>).

Til mer finkornet materiale det er i jorden, til høyere er den teoretiske kapillære stighøyden (fig. 4).





**Figur 4.** Kapillær stighøyde som funksjon av kornstørrelse (Janbu, 1970).

Den kapillære stigningen kan føre til at jorden er vannmettet også over grunnvannsspeilet. Vanninnholdet i jord over grunnvannsspeilet kan være høy etter nedbør, etter langvarig tørke vil vanninnholdet være definert av feltkapasiteten. Feltkapasiteten beskriver hvor mye vann som er bundet til partikler. Til mer finkornet materiale det er i jorden, til høyere er feltkapasiteten.

Av figur 4 ser man at i finsand og grovere materialer vil den kapillære stigningen være under 0,5 m, men den i silt teoretisk kan være 15 m. I mellomsand vil den kapillære stigningen være neglisjerbar.

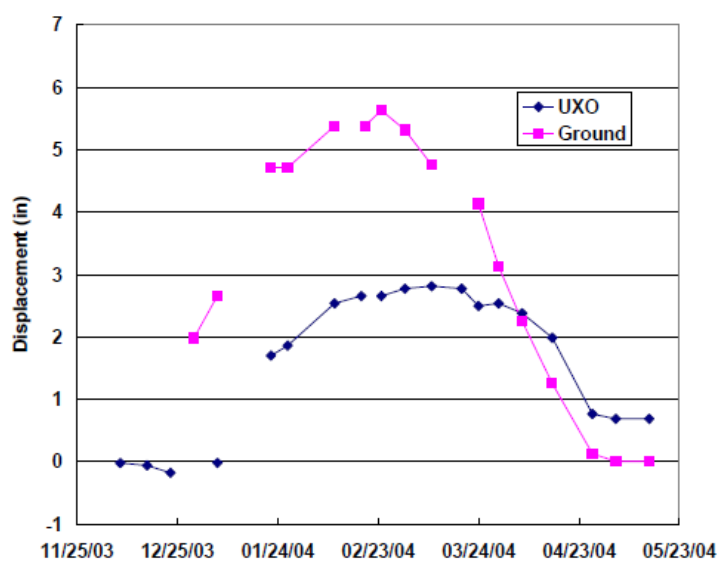
For at oppfrost skal skje må grunnvannsspeilet ligge høyt, eller det må være tilgang på overflatevann, eller ved at den kapillære stigningen må kunne føre vann frem til frysefronten.

### 3.1 Forsøk med oppfrost

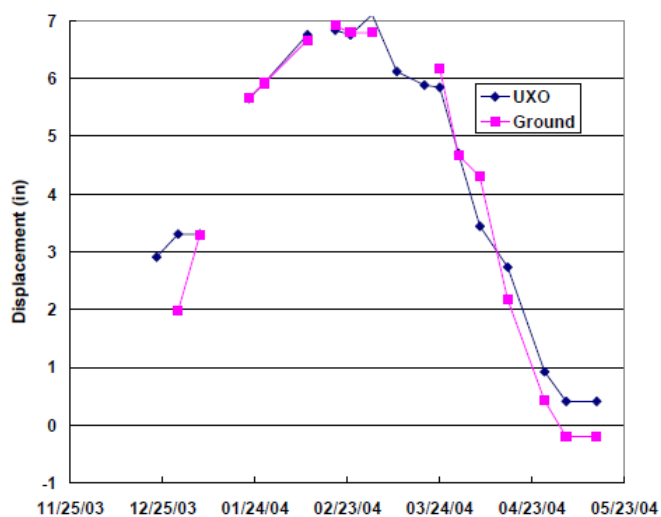
I et eksperiment fant man at formen på objektet har betydning for oppfrostmekanismene (Anderson 1988). I eksperimentet fant man at forholdet mellom høyde og lengde av objektet hadde betydning. Til større høyde objektet hadde i forhold til lengde, til mer oppfrost ble det.

Objekter som skal være utsatt for oppfrost må ha en høyde som er større enn tykkelsen på islinsene. Hvis tykkelsen av objektet er mindre enn på islinsene vil partiklene bevege seg med jorden som raser inn i hulrom under større partikler.

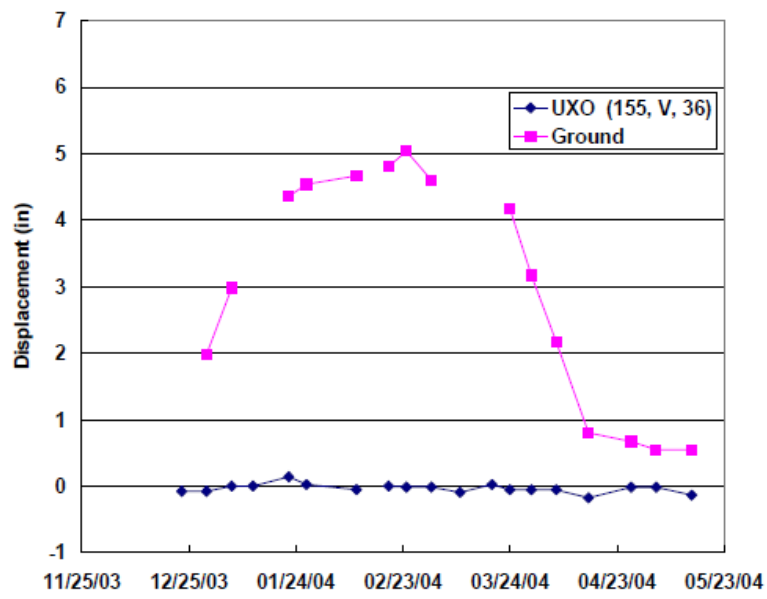
Henry med flere (2004) gjorde forsøk med oppfrost av ammunisjon. De fant at de største objektene hadde mer oppfrost enn de mindre, men at de aller største, 155 mm bombekastere ikke hevet seg i det hele tatt. En mulig forklaring på dette er at disse hadde for stor vekt (Fig. 5- 7).



**Figur 5.** Bevegelse av terrengoverflate og 81 mm bombekaster som var begravd ca 61 cm (24 inches) (Henry m. fl, 2004).



**Figur 6.** Bevegelse av terrengoverflate og et 40 mm prosjektil som var begravd ca 10 cm (4 inches) (Henry m.fl, 2004).



**Figur 7.** Bevegelse av terrengoverflate og et 155 mm prosjektil som var begravd ca 91 cm (36 inches) (Henry m.fl, 2004).

## **4 Utført arbeid**

### **4.1 Kvartærgeologisk kartlegging**

Universitetet i Bergen ved Institutt for geografi har kartlagt løsmassene i skytefeltet i målestokk 1:5 000.

Universitetet i Bergen ved Institutt for geografi har omfattende kvartærgeologiske prosjekter i tilgrensende områder og erfaringer fra andre arbeider er benyttet i dette prosjektet. Kvartærgeologisk kartlegging baserer seg på ulike jordarters dannelse. Et kvartærgeologisk kart viser i utgangspunktet jordarter den øverste meteren av jordprofilen. Det er viktig å merke seg at en og samme jordart kan ha samme dannelse, men kan ha ulike egenskaper. For eksempel er morene en jordart som er dannet i kontakt med en isbre og som i utgangspunktet består av alle kornstørrelser fra leire til stor blokk. Innholdet av finkornet materiale kan etter dannelse bli endret som følge av senere utvasking. Likeledes kan opphavsmaterialet til en morene variere som følge av variasjoner i opphavsmaterialet.

Den kvartærgeologiske kartleggingen har bestått i direkte kartlegging i felt i tillegg til flyfototolkning.

Som en konsekvens av kartleggingen er det også mulig å forstå sammenhengen mellom de ulike jordartene. Avsetningene av jordartene har foregått i flere faser og det er derfor mulig å forstå om det er sannsynlig for at det er andre jordarter under den som viser på overflaten.

Derfor er det viktig å ha forståelse for hvordan isbrebevegelsene har vært til ulike tider og hvordan isavsmeltingen har foregått.

### **4.2 Kartlegging av jordartenes egenskaper**

For å undersøke de faktiske egenskapene til jordartene, er det gjort undersøkelser av kornfordeling og fuktighet i en rekke kontrollpunkt. Kontrollpunktene ble valgt på grunnlag av det kvartærgeologiske kartet. I utgangspunktet ble det valgt 100 punkt som ble antatt å være representative for jordartene i området. I utvelgelsen ble det lagt vekt på å finne punkt med ulike jordarter, ulik terrengplassering og ulik fordeling i skytefeltet.

Av sikkerhetsmessige grunner kunne ikke alle punktene undersøkes.

I en del av punktene ble det gjennomført infiltrasjonstester for å finne jordartenes dreneringsegenskaper (hydraulisk konduktivitet). Disse målingene er av noe variabel kvalitet på grunn av en instrumentfeil. Det er likevel opplysninger fra testene som gir en god indikasjon på forholdene.

Alle prøvegroppene ble gravd ned til 30 cm dyp. Prøver av jordarten ble samlet inn i dette dypet og jordfuktigheten ble målt direkte ved hjelp av instrumentet HH2 Moisture Meter.

Kornfordelingsanalysene ble gjennomført ved Universitetet i Bergen.

## 5 Beskrivelse til det kvartærgeologiske kartet, Hjerkinns skytefelt

### 5.1 Definisjons- og begrepsavklaring

Definisjonene nedenfor tar utgangspunkt i NGU-standarden for løsmassekartlegging (*Bergstrøm et al., 2001*), men er i enkelte tilfeller korrigert gjennom øvrige kilder. Videre er beskrivelsen noe tilpasset forhold i felt, da mange løsmasseformer og landformer kan ha vidt forskjellig utseende og materialsammensetning.

For at et sediment skal kartlegges som flatesymbol må det være større enn ca 25 m<sup>2</sup> og minst 30 cm tykt målt fra overflaten. Avsetninger direkte over berggrunnen må være minst 0,5 m tykke for å flatesymboliseres. Unntakene er morenemateriale, forvittringsmateriale og skredmateriale hvor det finnes en egen gruppe for tynne og usammenhengende avsetninger over berggrunnen. For vannavsatte sedimenter er den dominerende kornstørrelsen i de øverste 30 cm påtegnet som punktsymbol over avsetningen.

Definisjonene grupperes på samme måten som i tegnforklaringen på kartet. I tillegg til mektighet dreier forskjellen mellom tynt og tykt løsmassedekke seg om dekningsgraden over fjellgrunn. Mens et tynt løsmassedekke har oppstikkende fjell mange steder, skal et tykt løsmassedekke være nær heldekkende over fjellgrunnen.

### 5.2 Jordarter

Breelvavsetning (*glasifluvial avsetning*) er løsmateriale avsatt fra breelver. Materialet er vanligvis lagdelt og sortert, og de dominerende kornstørrelsene varierer som oftest mellom grus og sand. Dette gjelder for de fleste breelvavsetningene i skytefeltet, men den store breelvsletten sørvest for Kolla ("Hjerkinnviften") inneholder en betydelig andel grovere materiale, opptil blokkstørrelse. Som hovedregel er glasifluvialt materiale lite frostsensitivt.



**Figur 8.** Breelvavsetninger og gamle breelvløp sørøst or Kolla.  
Tore Borvik

Foto:

Nordøstre deler av feltet preges av mye glasifluvialt materiale (Figur 1). Dette skyldes for det meste ”Hjerkinnsviften” som ligger her, men det er også en del små og spredte lokaliteter med glasifluvialt materiale i sentrale til østre Grisungdalen. Mindre forekomster av glasifluvialt materiale er også funnet andre steder.

Ryggformet breelvavsetning, esker er ryggformet glasifluvialt materiale avsatt i en breelvtunnel under isen . De er oftest dannet i motbakke. Dersom eskere er avsatt ned en dalside kalles det slukåser. Eskere dannes vanligvis subglasialt (under isdekket) eller englasialt (i isdekket), selv om også supraglasiale (på isdekket) eskere kan utvikles (Benn & Evans, 1998:452). Eskere er generelt lite frostsensitive.





**Figur 8.** Liten esker øst for Grisungknatten. Foto: Tore Borvik

Det er kartlagt relativt mange eskere i Skytefeltet. De fleste ligger i østre Grisungdalen og har retning nord-nordøst eller nordøst (Figur 8).

Elve- og bekkeavsetning (fluvial avsetning) er fluvialt transportert materiale. Avsetningen er sortert og generelt mer finkornig enn glasifluvialt materiale (vanligvis sanddominert). Unntak kan forekomme basert på elvens strømningsstyrke. Som hovedregel lite frostsensitiv.



**Figur 9.** Kroksjøer (meandere) i elve-avsetninger langs Grøna sørvest i skytefeltet. Foto: Tore Borvik



Disse avsetningene finnes spredt mange steder langs de større elvene (Figur 9), og iblant langs de mindre bekkene. Spesielt langs Grisungbekken (Figur 10) og i sørlige deler av Svone er det en del elve- og bekkeavsetninger. Der Svartbergbekken møter Grisungbekken er det en ganske stor elvevifte.

Nord for Grisungtjørni er det også en elvevifte. Det er også mye fluvialt materiale nord for Skredalægeret der det er avsnørte kroksjøer i forbindelse med meandrerende elv. Omfordelig av materiale i disse systemene skjer hovedsakelig i forbindelse med større flommer, og da kan eventuelle begravede blindgjengere komme til overflaten.



**Figur 10.** Bekkeerosjon og avsetning langs Grisungbekken i sentrale Grisungdalen.  
Foto: Tore Borvik

Bresjøavsetning (*glasilakustrin avsetning*) er løsmasser akkumulert i bredemte sjøer med rolige strømningsforhold. Sedimentene er ofte tydelig lagdelt og er vanligvis svært finkornige. Bresjøavsetninger kan være svært frostsensitive med fare for oppfrysing av blindgjengere.

Det finnes små og spredte bresjøavsetninger sørvest for Sletthøi (Figur 11), øst for Storfallet, sørøst for Bratthøi og et stykke nord for Hegglingen, mens det eneste store, sammenhengende området med bresjøavsetninger er nordøst i Grøndalen (Figur 12). Noen steder viser spor etter ytterligere bresjøer, uten at det er funnet glasilakustrint materiale.



**Figur 11.** Bresjøsedimenter sørvest for Sletthøi. Disse sedimentene ble avsatt i en mindre bredemt sjø. Foto: Tore Borvik



**Figur 12.** Bresjøsedimenter i Grøndalen sørvest i skytefeltet. I dette dalføret dekker bresjøsedimenter store områder. Foto: Tore Borvik

Morenemateriale er glasialt transportert og avsatt løsmateriale under breen langs bresålen.

Sedimentene er vanligvis usorterte og inneholder normalt alle kornstørrelser i varierende grad. Inneholder morenematerialet mye finmateriale (leire og silt) *kan* jordarten være svært frostsensitiv med fare for oppfrysing av blindgjengere. Er morenematerialet avsatt under breen betegnes det ofte som bunnmorene.



Morenemateriale er den dominerende løsmassen i skytefeltet. Mens det meste er tykt dekke, er sørlige deler av feltet (Einøvlingsmassivet og sør for Grisungdalen), samt de fleste øvrige høydedrag, preget av et tynt eller usammenhengende morenedekke (Figur 13).



**Figur 13.** Tynt eller usammenhengende dekke av morenemateriale mellom Storslåavatnet og Svartbekken. Dette er typisk for sørlige deler og de fleste høydedragene i skytefeltet. Foto: Tore Borvik

*Randmorenerygg / randmorenebelte* er ryggformet morenemateriale avsatt langs randen av en isbre, enten som enkeltstående rygger eller som parallelle rygger i en begrenset sone. Størrelsen på ryggene kan variere fra å være under en meter høy og bred til opptil flere titalls meter. Den relative størrelsen på ryggene er forsøkt gjengitt med forskjellig tykkelse på moreneryggene nedtegnet på kartet. *Avhengig av finstoffinnholdet kan moreneryggene være frostsensitive.*

Det er markerte randmorener/randmorenesoner innenfor skytefeltet i vest og nord (Figur 14). I sentrale deler av skytefeltet er det ganske sparsomt med kun noen mindre morenerygger et par steder i Grisungdalen, og øst for Svånådalen. En mindre sannsynlig morenerygg kan følges langs sørsiden av Sletthøi, men dette kan være en erosjonsrest.



**Figur 14.** Stor morenerygg ved Maribu helt vest i Skytefeltet. Morerygger inneholder ofte mye finmateriale, og kan derfor være frostsensitive. Foto: Tore Borvik

Iskjernekompleks. Blant randmorenerygger finnes et eget punktsymbol som brukes dersom randmorenen har en kjerne av is.

Foran samtlige resente breer er det iskjernekomplekser. Hvis isen i disse iskjernekompleksene smelter ut, vil landformen være svært ustabil. Skjer dette vil eventuelle begravde blindgjengere kunne komme opp i dagen.

Forvittringsmateriale er blokkdominerte overflater i flatt eller svakt skrånende terreng der løsmaterialet er utviklet gjennom mekanisk frostsprengning. *Hvis frostsortering har fått virke over lengre tid i dette forvittringsmaterialet kan det være lommer av finmateriale som er frostsensitive med fare for oppfrysing av blindgjengere.*

Det er generelt lite forvittringsmateriale i Skytefeltet, og de største forekomstene er hovedsakelig på toppen av Flathøi, Skredahøi og Kolla.

Skredmateriale er løsmateriale i dalsidene akkumulert fra steinsprang, løsmasseskred og snøskred. Den dominerende skredagensen i avsetningen er definert med punktsymbol og skiller mellom steinsprang/ (svart firkant), snøskred (stjerne) og løsmasseskred med grove massestrømmer (fylt dråpe). *Hvis det er mye finmateriale kan skredmateriale være frostsensitiv med fare for oppfrysing av blindgjengere.*

Skredmateriale er hovedsakelig kartlagt på begge sider av Grøndalen vest i feltet, og særlig på vestsiden.

Torv og myr brukes for alle typer organisk nedbrutt materiale som forekommer sammenhengende i fuktige områder. *Kan være frostsensitiv med fare for oppfrysing av blindgjengere.*

Torv og myr er vanlig i forsenkninger i terrenget over hele feltet, men ofte med liten mektighet.

Fyllmasse (*antropent materiale*) er materiale som enten er tilført av eller er sterkt modifisert påvirket av mennesker. Det største området med antropogent materiale er HFK Sletta. *Hvis fyllmassen inneholder mye finmateriale kan det være fare for oppfrysing av blindgjengere.*

### **Bart fjell**

Bart fjell er sammenhengende områder med fjell i overflaten uten løsmassedekke, eller med svært sporadisk og tynt løsmassedekke.

Liten fjellblotning er små og usammenhengende områder med fjell i overflaten uten løsmassedekke, eller med svært sporadisk og tynt løsmassedekke.

### **Vanskelig avgrensbare avsetninger i områder dominert av andre løsmasser/bart fjell**

De enkelte avsetningene er beskrevet under jordarter. Disse symbolene gjelder for funn av mindre områder av en jordart dominert ellers av en annen, i uklare overgangssoner mellom to forskjellige jordarter, eller enkelte flekker av løsmasser på bart fjell. Enkelte slike funn består av jordarter som ikke er beskrevet under jordarter over. Disse defineres nedenfor.

Ablasjonsmateriale er morenemateriale avsatt fra en vertikalt nedsmeltende inaktiv (klimatisk død) ismasse. Materialet danner tynne tepper av usortert materiale, ofte mer blokkrikt og løsere sammensatt enn øvrig morenemateriale, og med mindre finmateriale. Avsetningen varierer i tykkelse og konsentrasjon, og kan danne mindre hauger i terrenget. Det er vanskelig å kartlegge ablasjonsmateriale som ligger direkte over øvrig morenemateriale, og ablasjonsmorene er ikke skilt ut der det eventuelt ligger oppå annet morenemateriale ved kartleggingen i Hjerkinns skytefelt. Der ablasjonsmorene ligger oppå sorterte vannavsatte sedimenter er dette indikert. Som regel mindre frostsensitivt enn vanlig morenemateriale som en finner i bunnmorene eller i randmorener.

Innsjøavsetning er løsmasser akkumulert i innsjøer/større tjern hvor det er rolige strømningsforhold. Sedimentene er tydelig lagdelt og er finkornige. *Disse kan være frostsensitive med fare for oppfrysing av blindgjengere*, og særlig om vinteren med redusert vannstand i mindre innsjøer og tjern.

Vindavsetning er vindtransportert (eolisk) materiale. Materialet er meget godt sortert og faller i all hovedsak innunder finsand. Disse avsetningene er ofte små og sjeldent særlig frostsensitive.

### **Isbevegelsesretning**

Drumlin er en langstrakt rygg av morenemateriale som er subglasialt dannet. Formen er tykkest mot isbevegelsesretningen og blir gradvis tynnere og smalere med isbevegelsesretningen.

Isbevegelsesretning, bevegelse mot observasjonspunktet er synlige striper i fjellet som ble dannet fra steinfragmenter som ble under høyt trykk ble presset i isdekkets bevegelsesretning.

Kryssende isskruringsstriper viser til lokaliteter hvor det er påvist mer enn én isbevegelsesretning utfra funn av skuringsstriper.

Parallele furer i overflaten er subglasialt utviklede ryggformer av morenemateriale. Ryggene er vanligvis under 1,5 m høye, men kan strekke seg mange m horisontalt. Formene opptrer ofte i grupper og kan fortelle om isbevegelsen da de ble avsatt, siden de antas å være orientert med dreneringsretningen på isen (Sollid & Sørbel, 1981). Kalles også stripet bunnmorene eller flutings.

## **Overflateformer**

Breelvnedskjæring er renneformede nedskjæringer i overflaten erodert ut av breelver. Det skilles mellom tydelige former hvor nedskjæringen er svært distinkt, opptil flere meter dyp, og mindre tydelige former som er vanskeligere å gjenkjenne i landskapet.

Dødisgrop brukes der klumper/blokker av is i ettertid har blitt begravd av løsmasser, og hvor det siden er dannet et distinkt søkk/forsenkning i terrenget når isen har smeltet vekk. Formene dannes ofte i relativt finkornig materiale, spesielt i forbindelse med glasifluviale avsetninger.

Elve- eller bekkenedskjæring er renneformede nedskjæringer i overflaten fremerodert av elver som ikke har kilde fra breer.

Flomløp er linjeformede nedsenkninger i overflaten som er fremerodert av elve- eller bekker som normalt ikke er vannførende, men som antas å være vannførende under vårflommer eller ved spesielt kraftig nedbørsaktivitet.

Gjel utformet av moderne elv er spesielt kraftige elvenedskjæringer, ofte flere meter dype, og er gjerne dypere enn de er brede.

Gjel utformet av smeltevann er spesielt kraftige breelvnedskjæringer, ofte flere meter dype, og ofte betydelig dypere enn de er brede.

Kameterrasser er avsetninger av glasifluvialt som er bygd opp mellom breen og en dalside, og med en horisontal eller svakt skrånende overflate. *Kames* er hauger bestående av sand og grus med bratte sider i alle retninger. De kan være avsatt subglasialt, englasialt eller langs brekanten (Nesje, 1995:82). Begge underformene er kartlagt med samme symbol, men kame-terrasser er også symbolisert med terrasseform langs knekkpunkter hvor former skråner bratt ned mot det øvrige terrenget.

Lateralt smeltevannsløp er benevnelsen for smeltevannsløp som har drenert langs kanten på en kaldbasert eller polytermal is (Figur 15). Formen kalles oftest for

spylerenner, og det skilles mellom ensidige og tosidige spylerenner. Ensidige spylerenner har dels erodert i dalsiden, dels i iskanten. Tosidige spylerenner har helhetlig erodert i dalsiden.



**Figur. 15.** Laterale smeltevannsløp sentralt i Hjerkinnskytefelt.  
Foto: Tore Borvik

*Palser* er haugformer i myrområder. Haugen har vekslende lag av is som beskyttes fra smelting om sommeren av et torvdekke. Myrpalser avgrenser ofte den laveste sonen for sporadisk permafrost i terrenget (Luoto et al., 2004).

*Palser indikerer at området er frostsensitivt med fare for oppfrysing av blindgjengere.*

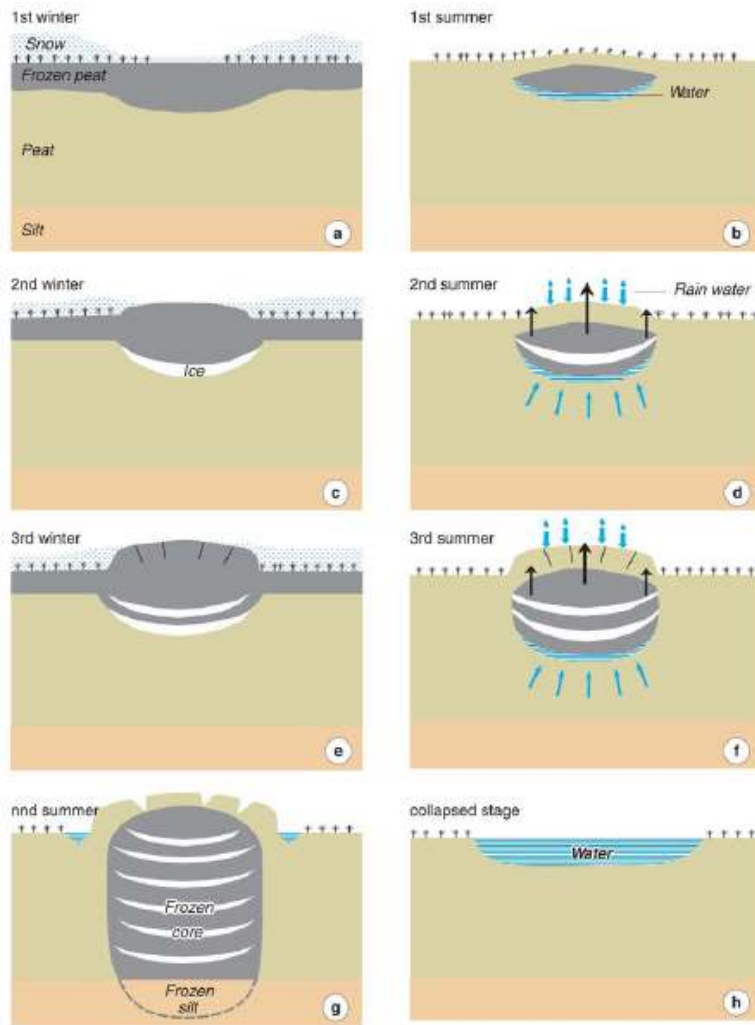
Det er ganske mange palsmyrer i Skytefeltet knyttet opp mot torv- og myrområdene med størst mektighet (Figur 16). I Figur 17 er vist ulike faser ved oppbyggingen av en pals.





**Figur 16.** Palsmyr i sentrale Grímsungdalen. Fjernes torven på palsen i forgrunnen finner en is. Foto: Tore Borvik





**Figur 17.** Ulike faser ved dannelsen av en palsa etter Seppälä og Kujala (2009). Først får en utvikling av isrike lag under den frosne kjernen som følge av oppdrift (**a-d**). Vannbevegelser er indikert med grå og blå piler, mens heving er indikert med svarte piler. Oppsprekking av det aktive laget er indikert i fase **e** og **f**. I fase **g** og **h** kollapser palsen som følge av at islagene eksponeres mot atmosfæren, og den ender som en vannfylt forsenkning. Palsdannelse er ofte syklisk, dvs. oppbygging, nedbrytning, ny oppbygging osv.

*Polygonmark eller strukturmark* er geometriske overflateformer, og utvikles i periglasiale områder (dvs. områder der årsmiddeltemperaturen er under 0°C). Strukturen skyldes frostsortering av korn i overflaten og bakkeunderlaget, og er avhengig av at det finnes frostsensitive kornstørrelser (leire og silt) i den opprinnelige jordarten. *Polygonmark* er en sterk indikasjon på at området er eller har vært frostsensitivt med fare for oppfrysing av blindgjengere. Det kan imidlertid være vanskelig å avgjøre i hvilken grad strukturmarken er under aktiv dannelselse i dag (Figur 18 og Figur 19), og observasjoner av strukturmark bør derfor uansett brukes som en indikator på potensielt stor frostsensitivitet.



**Figur 18.** Aktiv frostsirkel/ begynnende frostpolygon i Grøndalen. Foto: Tore Borvik



**Figur 19.** Trolig lite aktiv/relikt polygonmark fra sentrale deler av skytefeltet. Foto: Tore Borvik

Ravine er V-formede elve- eller bekkenedskjæringer som vanligvis er fremerodert i finkornige løsmasser (med leire og silt) som ofte er frostsensitive. Hvis finkornige sedimenter er dekket av grovere sedimenter oppå, *kan raviner være en viktig indikator på at det er et større område enn det som overflatekartleggingen tyder på som kan være frostsensitivt med fare for oppfrysing av blindgjengere. Utviklingen av raviner i forbindelse med snøsmelting og kraftig nedbør kan i seg selv være med på å bringe blindgjengere opp i dagen.*

Ryggform av morenemateriale er brukt der det er usikkert om det er akkumulasjonsformer (randmorener), eller om det er restformer utviklet ved erosjon på begge sidene av ryggen.

Solifluksjonstunger/gelifluksjonstunger (sigejordstunger) er valkeformer av løsmasser i dalsiden. Formene utvikles ved sig i vannmettede sedimenter, og er vanlige i

periglasiale miljø. De kan være fra noen titalls cm til mange m lange. I permafrostmiljøer betegnes de som gelifluksjonstunger (French, 2007).

*For å få godt utviklede gelifluksjonstunger er tilstedeværelsen av finmateriale (leire og silt) ofte en forutsetning, og denne landformen indikerer derfor at området kan være frostsensitivt med fare for oppfrysing av blindgjengere.*

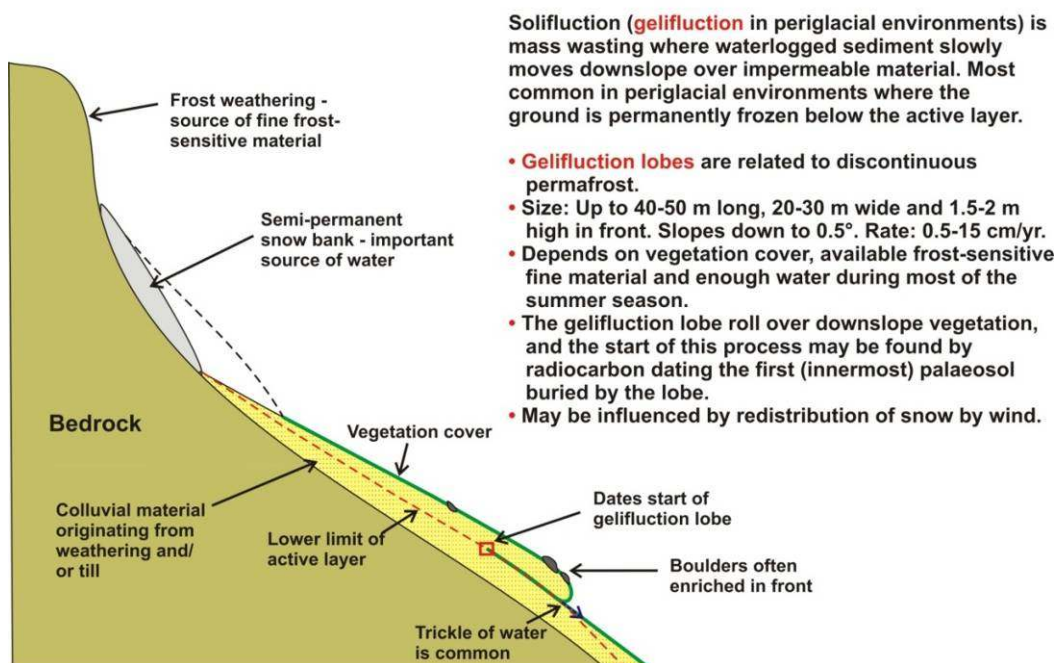
Det er mange områder med solifluksjonstunger/gelifluksjonstunger i skytefeltet (Figur 20). I Figur 21 er vist en prinsippskisse over hvilke faktorer som påvirker dannelsen av solifluksjonstunger/ gelifluksjonstunger.



**Figur 20.** Nord for Grisungknatten ligger det mange meget store gelifluksjonslober. De største er over 50 meter lange. Foto: Tore Borvik



## Formation of gelifluction lobe



**Figur 21.** Prinsippskisse som viser faktorer som påvirker dannelsen av gelifluktjonslober (S. O. Dahl, upublisert).

Skredvifte, ytterkant gjelder den ytterste grensen for sammenhengende talusvifter. Usammenhengende blokker er vanlig utenfor denne grensen.

Smeltevannsløp er renneformede søkk i overflaten. De er mindre dype enn breelvnedskjæringer og har slakere knekkpunkter i nedskjæringsområdet.

Spylefelt er større områder hvor smeltevann har fjernet hele eller mesteparten av et løsmassedekke.

Steinstriper er et periglasialt formelement som danner striper av frostsorert materiale i svake til moderate skråninger. De indikerer at frostsorerting er en aktiv prosess, og det kan være fare oppfrysing av blindgjengere i områder der en finner steinstriper.

Strandlinjer etter bredemt sjø er horisontale linjer dannet i løsmasser eller bart fjell fra strandprosesser langs bresjøer. Strandlinjer kan både være akkumulasjons- og erosjonsformer.

Strandlinje i løsmasser er horisontale linjer dannet i løsmasser eller bart fjell fra strandprosesser langs sjøer/store tjern. Strandlinjer kan både være akkumulasjons- og erosjonsformer.

Terrassekant er en generell beskrivelse for knekkpunkter i overflaten hvor terrenget endrer en tydelig og vedvarende gradient fra nær horisontalt til langt brattere vinkel.

Tidligere elve- eller bekkeløp er linjeformede nedsenkninger i terrenget fremmerodert av elver eller bekker som ikke lenger er vannførende under normale tilstander.

Vifteform er akkumulasjonsområder hvor elve- eller breelvmaterialer er spredt ut mot dalbunnen i en vifteform (Figur 22).



**Figur 22.** Elvevifte ved Maribu på grensen mellom Grøndalen og Svånådalen vest i skytefeltet. I dalbunnen er det i tillegg flere steder spor etter bresjøsedimenter. Foto: Tore Borvik

Tydelig skredløp er distinkte renner i fjellsiden som danner naturlige falløyer for steinsprangaktivitet.

### **Andre symboler**

Høyt blokkinnhold i overflaten gjengir områder hvor overflaten domineres av minst 25% blokk. Brukes ikke i sammenheng med forvittringsdekke.

Massetak er områder hvor menneskelig aktivitet har fjernet løsmasser.

Stor blokk er enkeltblokker som er minst 10m<sup>3</sup>. Størrelsene er utført på øyemål.

## **5.3 Kwartærgeologisk kart**

En utgave av det kvartærgeologiske kartet er vist i fig. 23.







## 6 Løsmassenes egenskaper

I vedlegg 1 er alle observasjoner fra prøvegroppene vist. Det er gjort observasjoner av massetype, vegetasjon og nærhet til vann. Et eksempel på registrering er vist i fig. 24.

### Hjerkinn Skytefelt, egenskapskartlegging

#### Kornfordellingsprøver

|          |          |
|----------|----------|
| Punkt nr | 3        |
| Dato     | 14.08.09 |
| WP       | 058      |
| Vær      | Fint     |

#### Observasjoner for området

|                 |                                 |
|-----------------|---------------------------------|
| Overflate       | Sand og stein, vegetasjon rundt |
| Nærhet til vann | Nei                             |
| Terreng         | Småkupert                       |
| Vegetasjon      | Litt busker og bjørkekratt      |

#### Observasjoner i prøvepunkt

|                        |                    |
|------------------------|--------------------|
| Dyp (cm under terreng) | Observasjon        |
| 0-5                    | Sand, gråbrun      |
| 5-15                   | Sand, grå          |
| 15-25                  | Sand, mørk beige   |
| 25-30                  | Sand og grus, brun |
|                        |                    |

#### Fuktighet

|                         |      |
|-------------------------|------|
| Fuktighet 30 cm dyp (%) | 20,1 |
|                         |      |

Bilde av sjakt, sandige masser



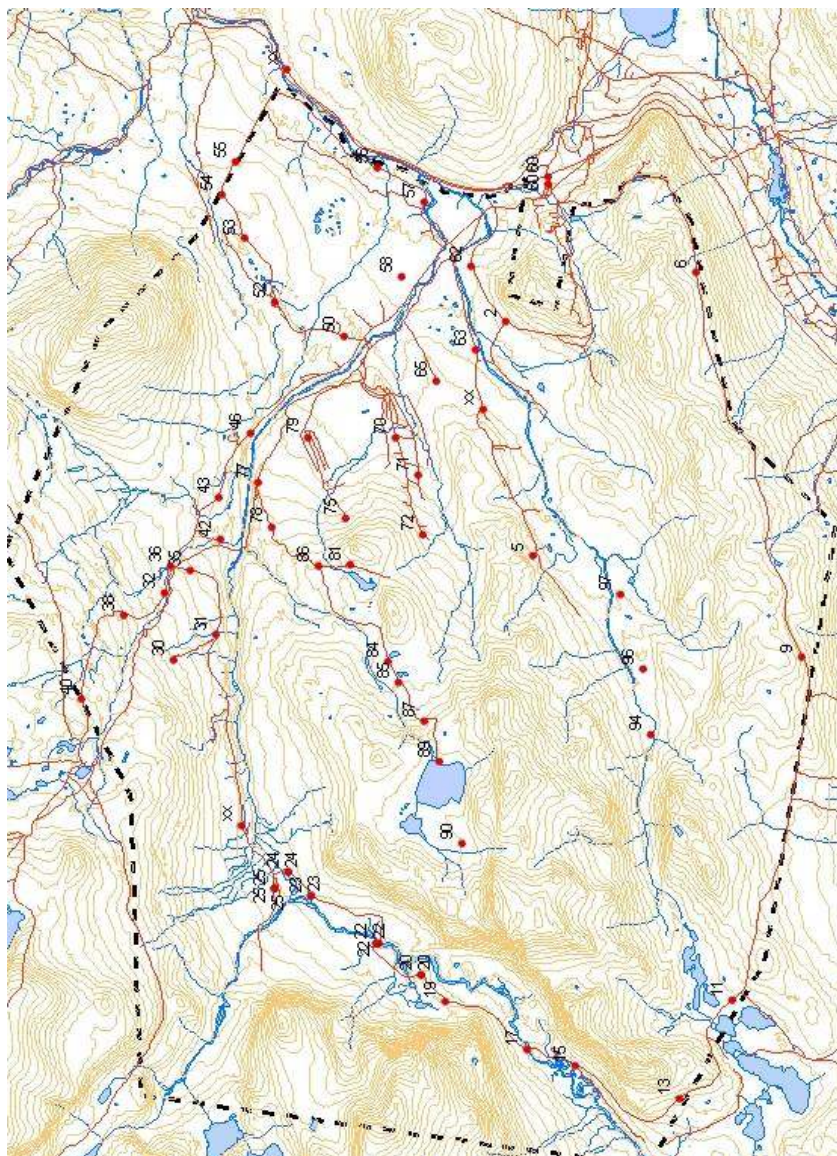
Bilde av området rundt sjakt



**Figur 24.** Registreringslogg fra feltarbeid

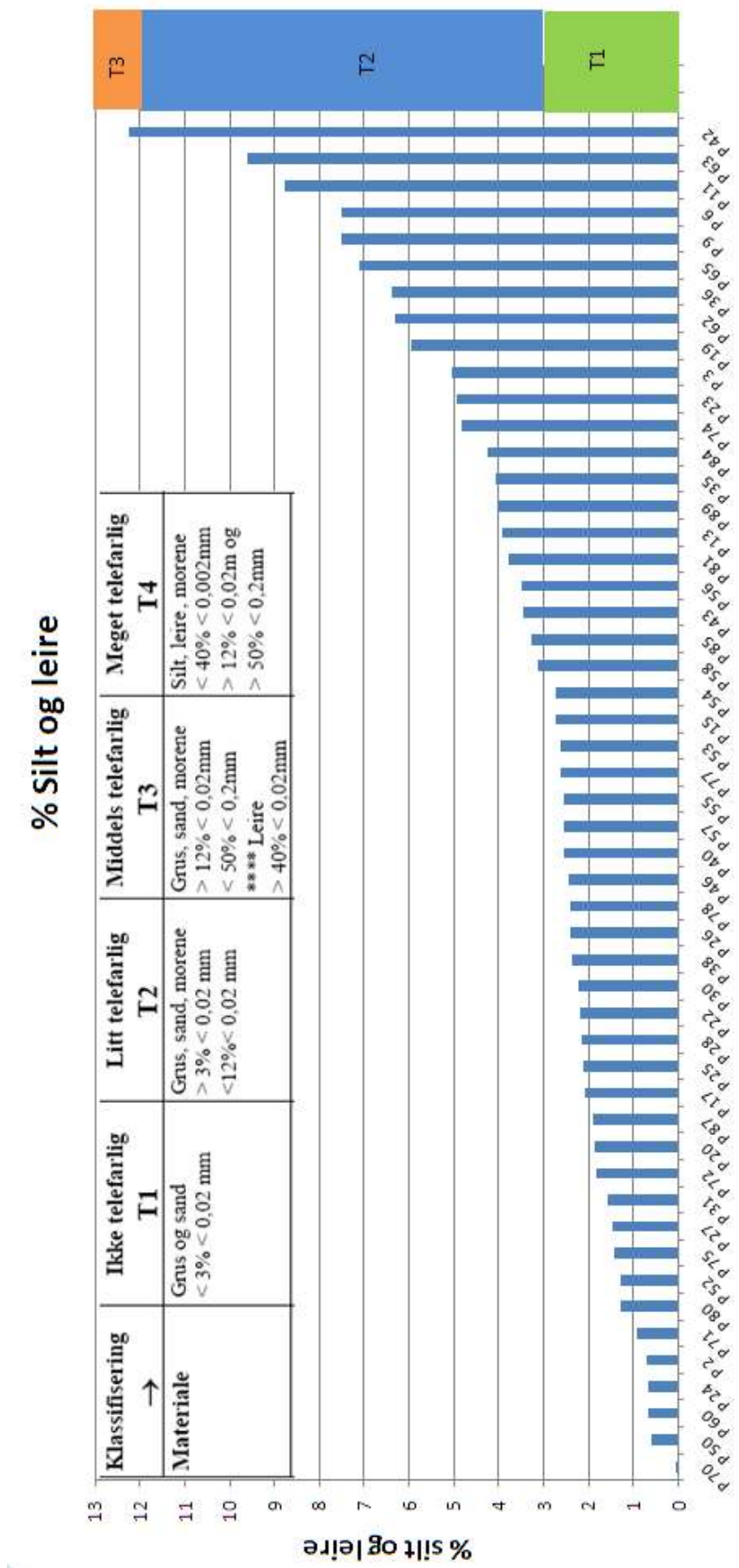
## 6.1 Kornfordeling

Det er samlet inn 50 jordartsprøver fra 30 cm dyp. Det er foretatt kornfordelingsanalyse av disse prøvene, plassering av prøvepunkt er vist i fig 25. Det var planlagt i alt ca 100 prøvepunkt i ulike jordarter og terrengformasjoner. Mange prøvepunkt måtte utgå pga mangel på sikkerhetsklarering av punktene.



**Figur 25.** Plassering av prøvepunkter.

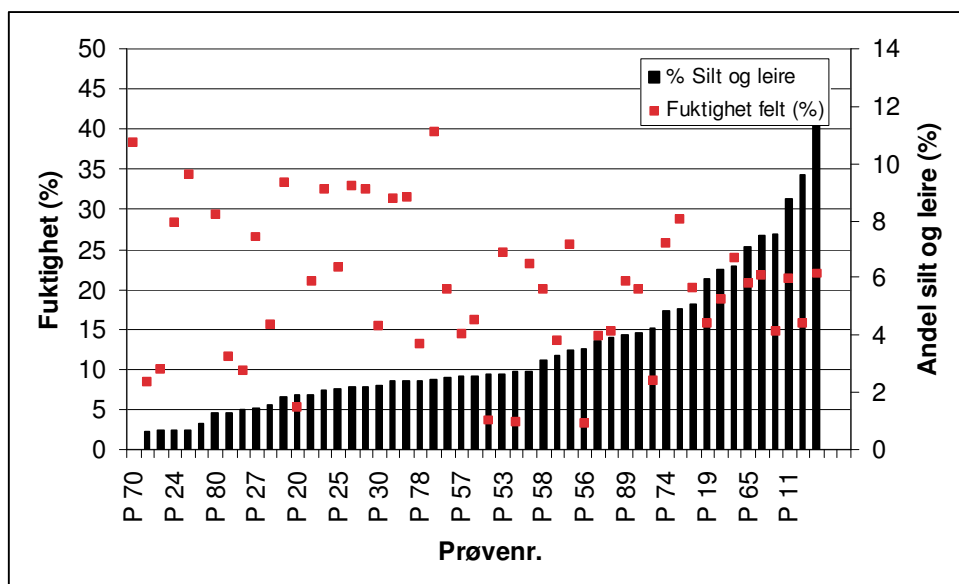
I figur 26 er resultatene av kornfordelingsanalysene vist.



**Figur 26.** Kornfordelingsanalyser sortert etter innhold av finstoff.



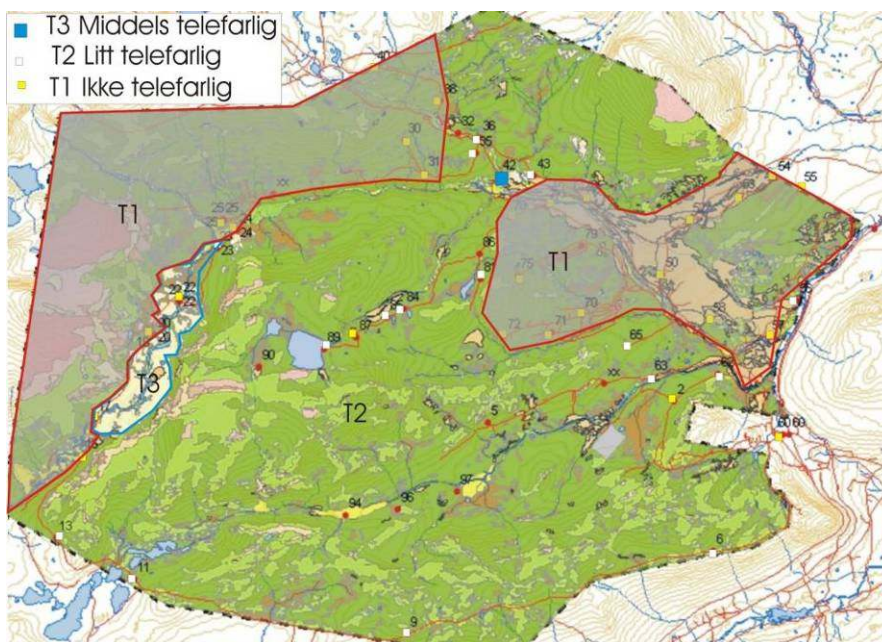
Kornfordelingsanalysene viser at det er liten til moderat telefare og dermed generelt liten oppfrostfare i skytefeltet, telefaregruppe T1 og T2. Fuktighetsmålinger i prøvegroppene er sammenlignet med andelen finstoff i prøven (fig 27).



**Figur 27.** Sammenligning av fuktighet og andel finstoff i prøvegroppene.

Normalt ville man forvente at det var en sammenheng mellom andel finstoff og fuktighet i en jordprøve. Når det ikke synes å være tilfelle, kan forklaringen være at det er avstand til grunnvannsnivå og kappilær stigning som forklarer observasjonene.

En grov gruppering av telefare basert på kornfordelingsanalysene er vist i fig. 28.



**Figur 28.** Grov inndeling av telefare basert på kornfordelingsanalyser av 30 cm dype prøver.

## 7 Tilgang på vann

Skal oppfrost kunne skje er det en forutsetning at det er tilgang på vann i den frysende jorden.

Ved nedbør og snøsmelting vil det være god tilgang på vann fra overflaten. I fryseperioden vil først overflatejorden fryse og i stor grad tette porer i jorden. Selv om ikke alle porene fryser og tetter jorden fullstendig vil tilgangen på overflatevann være meget begrenset siden nedbøren også kommer som snø. I snøsmeltingsperioden vil jorden tine gradvis opp og denne tilførselen vil ikke ha betydning for oppfrost.

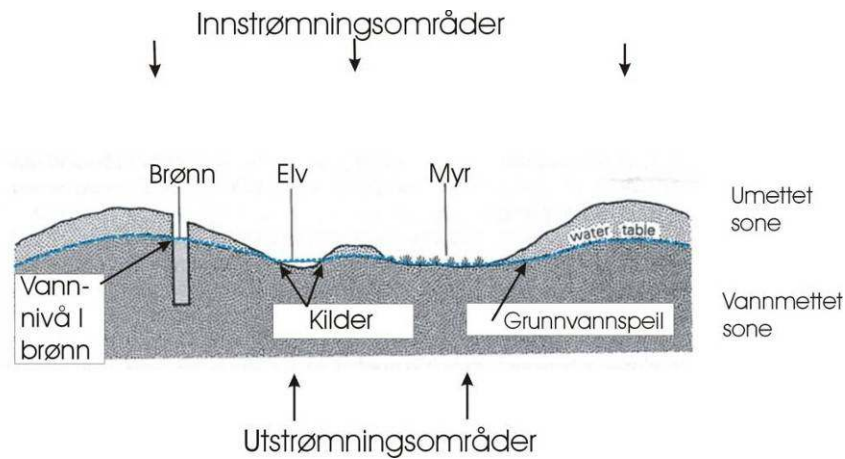
Det betyr at det vil være tilgangen på grunnvann og tilførsel av vann fra myrer og vassdrag som vil være kilden til det vann som fryser til under islinsene.

I områder nær myrer og vassdrag kan det derfor alltid være tilstrekkelig med vann til å forsyne en islinsedannelse.

### 7.1 Grunnvann

Grunnvannspeilet i et område er styrt av nedbør, infiltrasjonsegenskaper i jordoverflaten, jordartens dreneringsegenskaper (hydraulisk konduktivitet) og topografi. I grove trekk gjenspeiler grunnvannsspeilet topografien i et område, grunnvannet ligger høyere i høyereliggende terreng enn i lavereliggende (fig. 29). I området er det observert grunnvannskilder en rekke steder. Grunnvannskildene oppstår der grunnvannsspeilet når terrengoverflaten (fig. 30), og tilfører vann til både myrområder og bekker.





**Figur 29.** Figuren viser hvordan grunnvannsspeilet varierer generelt med terreng. Forløpet på grunnvannsspeilet i denne figuren forutsetter homogene grunnforhold. I høyereliggende terreng er det generelt nydanning av grunnvann i innstrømningsområdene og grunnvannet strømmer ut til overflaten i utstrømningsområdene (modifisert etter Price, 1996).



**Figur 30.** Utslag av grunnvann i Grøndalen.

Topografi er styrende for hvor man finner utslag av grunnvann, og i terrengforsenkninger er det større sannsynlighet for å treffe på grunnvann enn på høydedrag (fig. 31).



**Figur 31.** Område med erosjonskanaler som når ned til grunnvannsnivå.

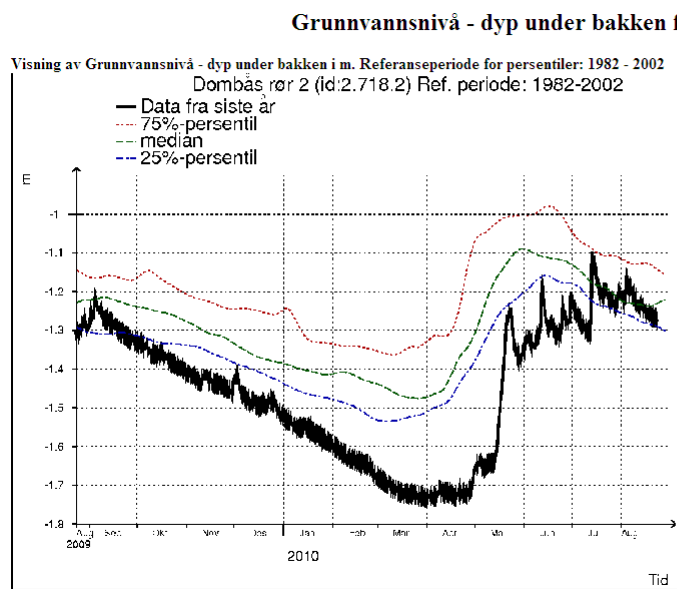
I skytefeltet er det flere steder der både kornfordelingsanalysene og observasjoner viser at morenen har gode dreneringsegenskaper (fig. 32).



**Figur 32.** Midt i bildet er et tjern som periodevis er vannfylt. Det er ingen overflateutløp fra tjernet, og dette viser at morenen i området har gode dreneringsegenskaper.

## 7.2 Variasjon i grunnvannsnivå

Grunnvannsnivået varierer vanligvis regelmessig i innlandet. I figur 33 er det vist variasjoner i grunnvannsnivået gjennom året fra 2009 til 2010 ved nærmeste grunnvannsstasjon.

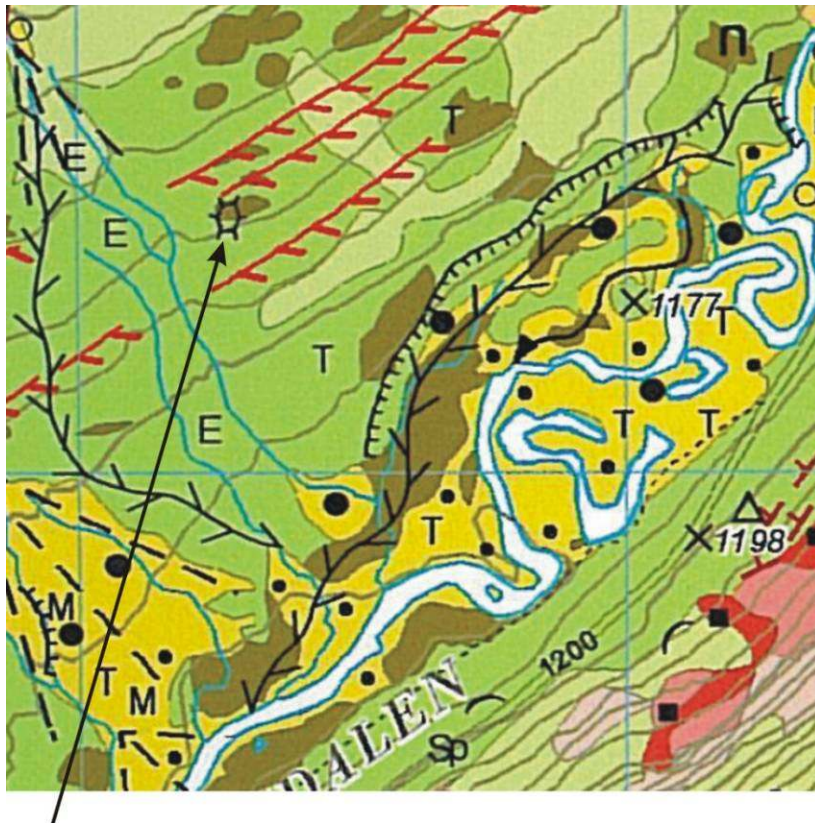


**Figur 33.** Variasjon i grunnvannet ved Dombås ([www2.nve.no/h/hd/plotreal/GRW/0002.00718.002/index.html](http://www2.nve.no/h/hd/plotreal/GRW/0002.00718.002/index.html)). Kurven er typisk for innlandsområdene med stor nydanning av grunnvann på grunn av nedbør om høsten, og på grunn av snøsmelting på våren.

Det er viktig å merke seg at det generelle bildet er at samtidig med at frosten setter inn, så synker grunnvannsspeilet.

At tilgang på vann er viktig ser man bla. i fig. 34.





Polygonmark i nedkant av terrasse der det er tilgang på vann

**Figur 34.** Utsnitt av kvartærgeologisk kart i Grøndalen. I moreneskråningen mot nordvest er det kun et eksempel på polygonmark. Den finnes i nedkant av en terrasse der terrenget krysser grunnvannspeilet og det er fuktig med myrdannelse.



## 8 Temperaturmålinger

Høsten 2009 ble det installert temperaturmålere i bakken på tre steder på Haukberget.

De ulike målepunktene hadde ulike grunnforhold:

Stasjon a: Tynn myr over morene, vannmettet

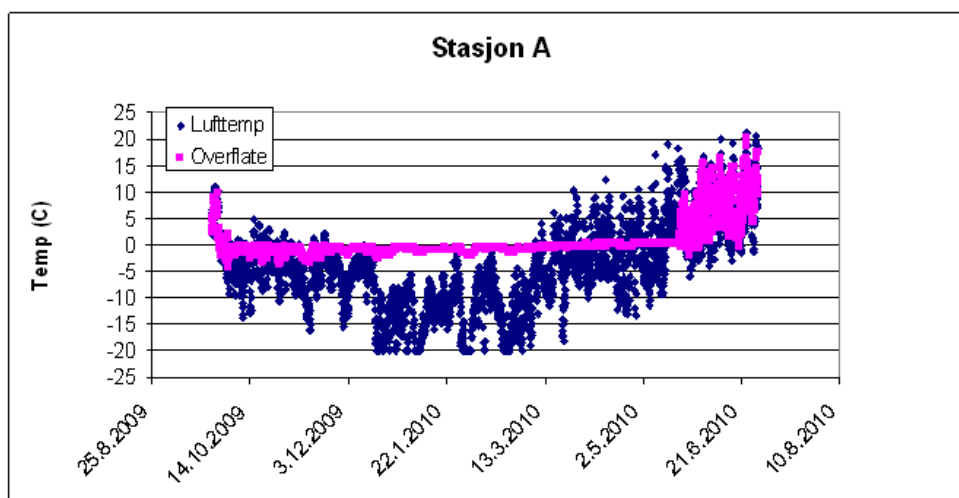
Stasjon b: Myr

Stasjon c: Morene over grunnvannspeilet

I hvert punkt ble det målt på terrengoverflaten og på 15, 30 og 60 cm dyp.

Som referanse ble det målt lufttemperatur i samme område.

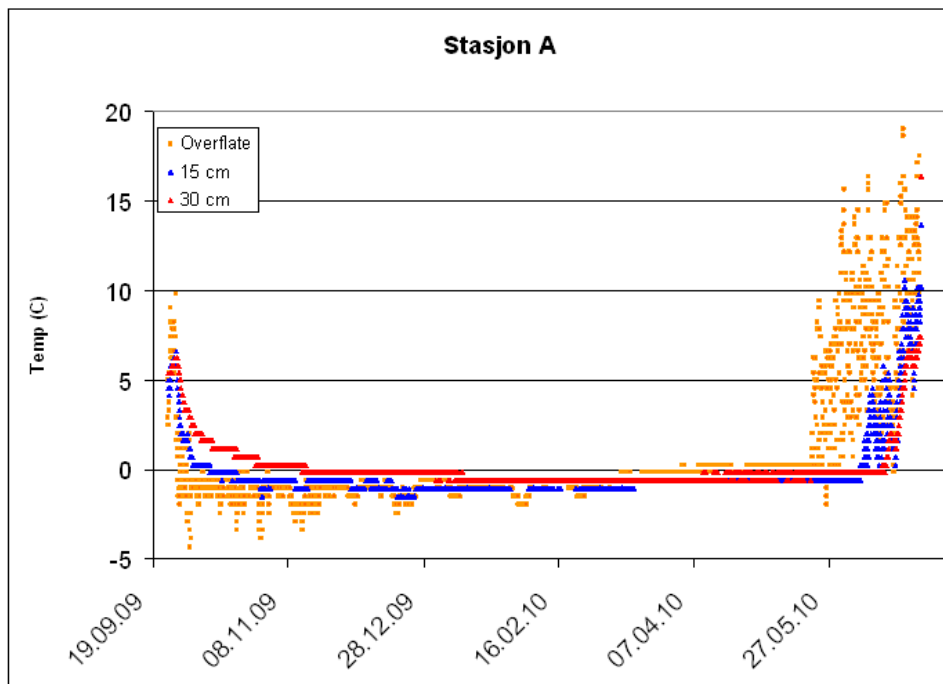
I fig.35 er det vist sammenheng mellom tempertur på terrengoverflate og luft.



**Figur 35.** Målinger av temperatur på markoverflate og friluft.

Det er stabil temperatur på bakken fra første del av oktober til midten av mai. I samme periode er det stor variasjon i lufttemperatur. Dette viser dermed perioden det var snødekket mark på målestasjonen.

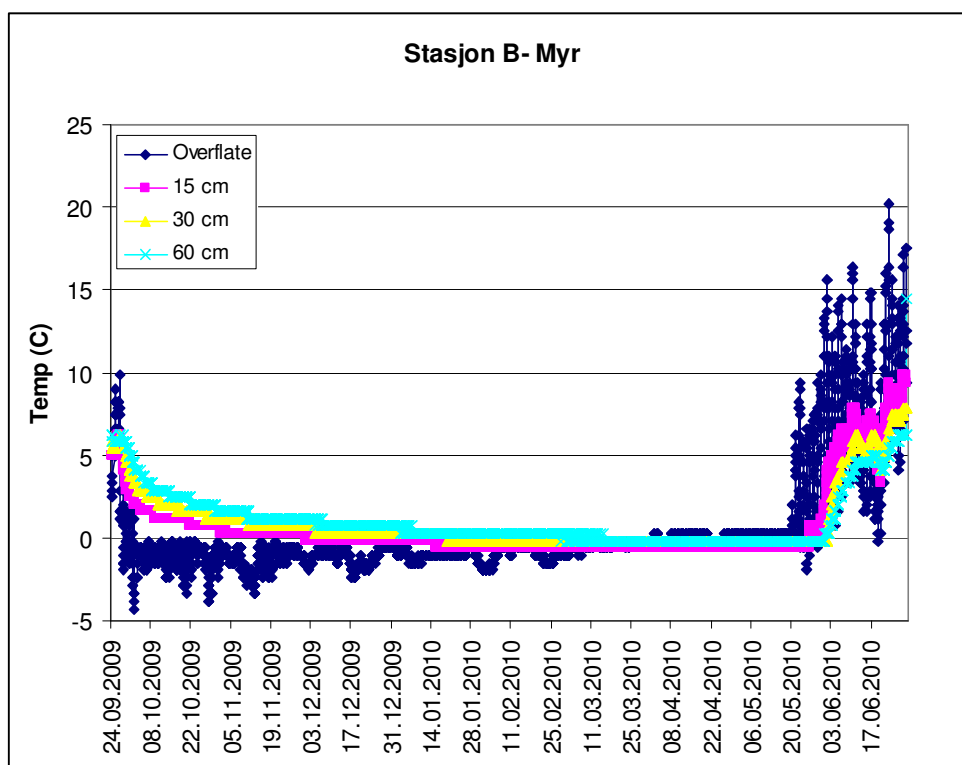
I figur 36 er det vist temperaturer i bakken på målestasjonen.



**Figur 36.** Målinger av temperatur på og i ulike dyp i marken ved stasjon A. Under nedfrysning er det en gradient der temperaturen på overflaten er lavere enn i dypet. I starten av mars snur gradienten og overflatetemperaturen er høyere enn i dypet.

Temperaturen på 30 cm dyp er  $-0,5^{\circ}\text{C}$  på det laveste.

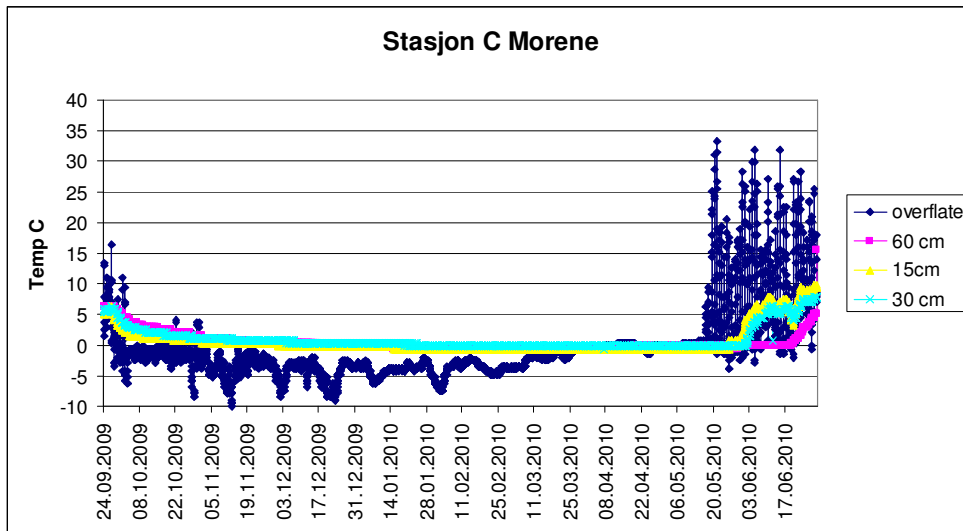
Tilsvarende målinger på stasjon B, i vannmettet myr, er vist i fig. 37.



**Figur 37.** Temperaturmålinger i vannmettet myr, stasjon B.

3 måneder etter at temperaturen på markoverflaten går under frysepunktet når frosten 60 cm dyp. Laveste målte temperatur på 60 cm dyp er  $-0,16^{\circ}\text{C}$ .

Målinger i tørr morene, i stasjon C er vist i fig. 38.



**Figur 38.** Målinger i morene i stasjon C. Figuren viser at frosten så vidt når ned til 60 cm dyp.

Målingene viser at der det er snødekket er det begrenset nedtrenging av frost. Det er heller ingen markant forskjell på frostnedtrenging i ulike jordarter og vannmetning.

Målingene viser at oppfrost er et fenomen som er knytt til overflatenære forhold.

## 9 Risikovurdering

Faren for oppfrost kan vurderes ut fra flere forhold. Tidligere i rapporten er det vist at så lenge det er frost i et område, så kan risikoen knyttes til om det er frostsensitive jordarter som har tilgang til vann som er avgjørende.

Kornfordelingsanalysene viser at det generelt er liten telefare i skytefeltet. Dette viser også at det er generelt liten fare for oppfrost. Likevel er det observasjoner som tilsier at det enkelte steder er en reell fare for oppfrost. Forsøk som er gjort i forhold til oppfrysning av objekter viser at det kan være forskjell i hvordan ulike størrelser beveger seg under oppfrysning. De minste objektene vil ikke fryse oppover, og de aller største kan ha så stor tyngde at de beveger seg sammen med det generelle jordvolumet under en fryse-tine prosess. Objektene må også være tykkere enn islinsene for at de skal fryse opp.

Kartlegging av jordarter er gjennomført etter standardmetoder som er noe tilpasset lokale forhold. Kartet viser jordarter dannet ved samme prosess. *Merk likevel at egenskapene til samme jordart kan variere avhengig av hva slags materiale prosessen har virket i.* Morene, som er den dominerende jordarten i skytefeltet, er definert som en jordart avsatt i nær tilknytning til isbreer. Avsetningsprosessen sorterer ikke på ulike kornstørrelser. Det innebærer at morene ved avsetning som regel har så mye finstoff i seg at den er frostsensitiv. Etter avsetning av morenen kan denne ha vært utsatt for bl.a. erosjon, frostforvitring og utvasking (fig. 39), noe som kan ha påvirket hvor frostsensitiv den er.



**Figur 39.** Stor blokk på morene. Blokken har vernet morenen under mot erosjon.



Det er derfor viktig å merke seg at det kvartærgeologiske kartet danner et grunnlag, men at det ikke gir hele svaret i forhold til oppfrost. Som vist i temperaturmålingene så er ikke nedtrengingen av frost stor der det er et dekke av snø i frostperioden.

Det betyr bl.a. at det er den øverste delen av de ulike jordartene som er viktigst for oppfrostfaren, altså i den delen av jordprofilet som i mange tilfeller er bearbeidet av frost og utvasking etter avsetning.

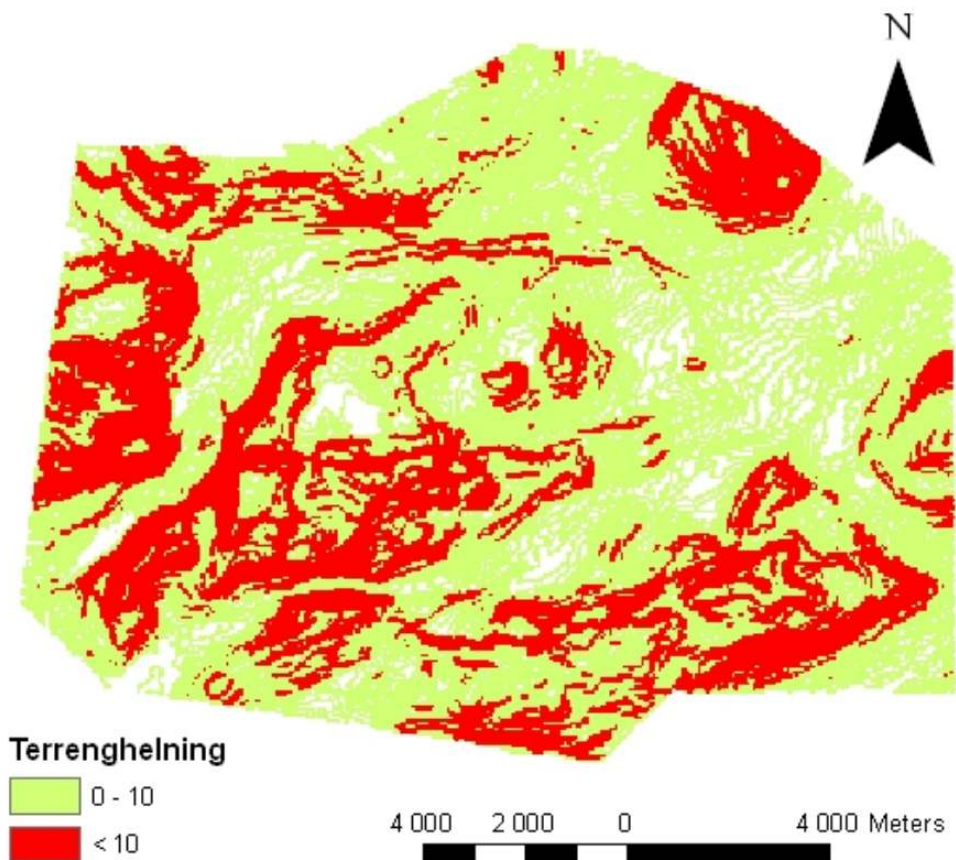
Generelt er det ikke forventet at prosjektiler har trengt dypt ned i mineralske løsmasser som inneholder stein.

Det er påvist frostfenomener en rekke steder i feltet, og dette viser at oppfrost er eller har vært en aktiv prosess flere steder. Fig. 19 viser inaktiv polygonmark.

I dette kapittelet vil de ulike faktorene av betydning bli gjennomgått og diskutert.

## 9.1 Terrenghellning

I flate lavereliggende terrengpartier vil det generelt være større fare for oppfrost sammenlignet med tilsvarende jordarter høyt i terrenget og i oppstikkende terrengparti. Dette har sin årsak i at grunnvannsspeilet ligger grunnere i flatt terreng som korresponderer i høyde med tilgrensende vassdrag. Et kart over terrenghellningen i skytefeltet er vist i fig. 40.



**Figur 40.** Terrenghellning i skytefeltet. Hellningsgraden oppgitt som grader.

I områder med rød skravur er det mindre risiko for oppfrost enn i de grønne, flatere områdene.

## 9.2 Kvartærgeologi

Basert på kun kvartærgeologi er det laget et utkast til oppfrostfare, fig. 41.

Dette kartet må justeres i forhold til andre faktorer som har betydning, spesielt tilgang på vann.

Som en innledende tilnærming til farevurderingen er dette kartet delt opp i 5 fareklasser. Andre faktorer vil senere bidra til reduksjon av fareklassegrupper.

Overflatearealet i Hjerkinns skytefelt er inndelt i 5 faresoner ut i fra oppfrostfaregrad for blindgjengere. Faresonene er inndelt som:

1. Meget stor oppfrostfare
2. Stor oppfrostfare
3. Moderat oppfrostfare
4. Liten oppfrostfare
5. Ingen oppfrostfare

Utgangspunktet for kalkulering av geografisk plassering av og omfanget på faresonene er prosessert ut i fra variasjonen av løsmasser, steder hvor bart fjell/dypere vann ligger i overflaten, og distribusjonen av frostindikerende landformer. Forskjellige typer løsmasser innehar forskjellige egenskaper når det gjelder grovhet av sedimentene, grad av kompaktet, grunnvannspotensiale, og annet. Disse egenskapene er med på å påvirke til hvilken grad hver hovedtype løsmasser er sensitiv for oppfrost av blindgjengere. Det må merkes at innenfor hver løsmassekategori vil det kunne være lokale avvik i sedimentets egenskaper. Dette er avvik som er praktisk umulig å kartlegge i tilstrekkelig detalj, spesielt siden det ikke var tilrådelig å grave snitt for å se hvordan sedimentets struktur varierer under overflatelaget. Faresonekartleggingen ut i fra løsmasser er derfor estimerer for *den generelle* egenskapen per hovedgruppe. Nedenfor vises hvilke jordarter som faller innunder de forskjellige faresonene.

### 1 – Meget stor oppfrostfare

Områder med kildehorisonter, bresjømateriale og torv og myr hvor det er synlige frostformer i overflaten, som virker aktive.

Tilstedeværelse av frostrelaterte overflateformer viser til områder hvor det foregår frostsortering av bakkeunderlaget, og utgjør dermed oppfrostfare for blindgjengere. I feltområdet gjelder det følgende former: Polygonmark, solifluksjonsløber, froststriper og palser. Det er nedtegnet felter på kartet hvor disse overflateprosessene forekommer. Disse sonene er koblet mot de forskjellige løsmassetypene. Alle løsmassetypene har en opprinnelig farekode, men i kombinasjon med frostform-områdene økes denne opprinnelige faresonen 1 grad.

### 2 – Stor oppfrostfare

Bresjømateriale, torv og myr, samt alle øvrige løsmasser med frostformer, unntatt forvittringsmateriale.

### 3 – Moderat oppfrostfare

#### Morenemateriale

Morenemateriale består av alle kornstørrelser, en materialsammensetning som er gunstig for oppfrost. Mye av morenen er derimot relativt kompakt og til dels fattig på grunnvann, som igjen reduserer oppfrostfaren. Totalt sett estimeres jordarten å utgjøre

en moderat oppfrostfare for blindgjengere. Mengden blokker på og i materialet minsker derimot sjansen for at blindgjengere penetrerer særlig dypt, og dermed vil et potensielt oppfrosttidsbruk være lavere enn hos mer finkornige avsetninger.

#### elve- og bekkemateriale

*Elve- og bekkemateriale utgjør en forholdsvis liten andel av skytefeltets areal.*

Antropogent materiale uten tegn til frostrelaterte overflateformer,

### **4 – Liten eller ingen oppfrostfare**

#### Ablasjonsmorene

Ablasjonsmorene er vanligvis mer blokkrik enn øvrig morene. Dette øker sjansen for detonasjon ved treff, og reduserer sjansen for udetonert penetrasjon gjennom ablasjonsmorenelaget. Morenetypen er derimot løst sammensatt, og muliggjør i teorien oppfrost av potensielle blindgjengere.

#### Breelvavsetning (glasifluvial avsetning)

Breelvavsetninger er til dels finkornige, men de største områdene med breelvmateriale i skytefeltet domineres av grove kornfraksjoner og/eller et dekke av ablasjonsmorene. Derfor liten oppfrostfare.

### **5 – Ingen oppfrostfare**

#### Bart fjell

Prosjektiler som treffer bart fjell vil enten detoneres på stedet eller ligge direkte i overflaten, og det er dermed ingen oppfrostfare tilknyttet områder med fjell i dagen.

#### Vann/brede elver

Dersom projektiler treffer vannflaten reduseres sjansen for detonasjon, altså er det en betydelig sjanse for funn av blindgjengere under vannspeilet. Dype vann fryser derimot ikke i bunnen om vinteren, og derfor vil det ikke kunne skje noen oppfrost av disse potensielle blindgjengerne. Derfor ingen oppfrostfare.

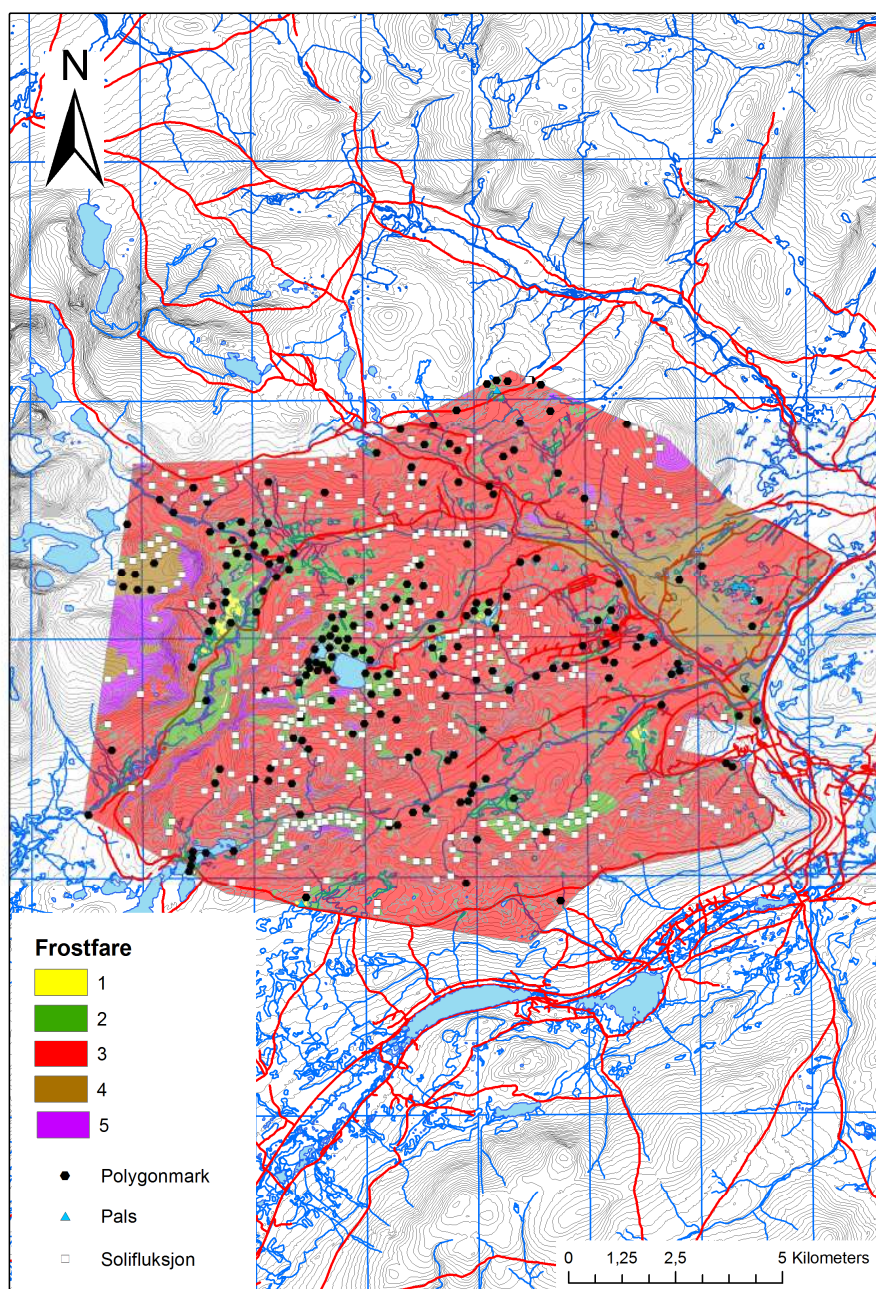
#### Forvittringsmateriale

Forvittringsmaterialet i Hjerkinnskytefelt er svært grovkornig frosprengingsmateriale. Motstandseffekten det har mot projektiler kan sammenliknes med bart fjell. Derfor ingen oppfrostfare. De fleste områdene med forvittringsmateriale er på fjelltoppene hvor det i hele tatt er liten sannsynlighet for at større projektiler har endt opp. Kun der det er tilstedeværelse av frostformer i løsmassen, noe som indikerer lokale områder med mer finkornig materiale, vil det være teoretiske muligheter for penetrasjon og dermed mulig oppfrost av blindgjengere.







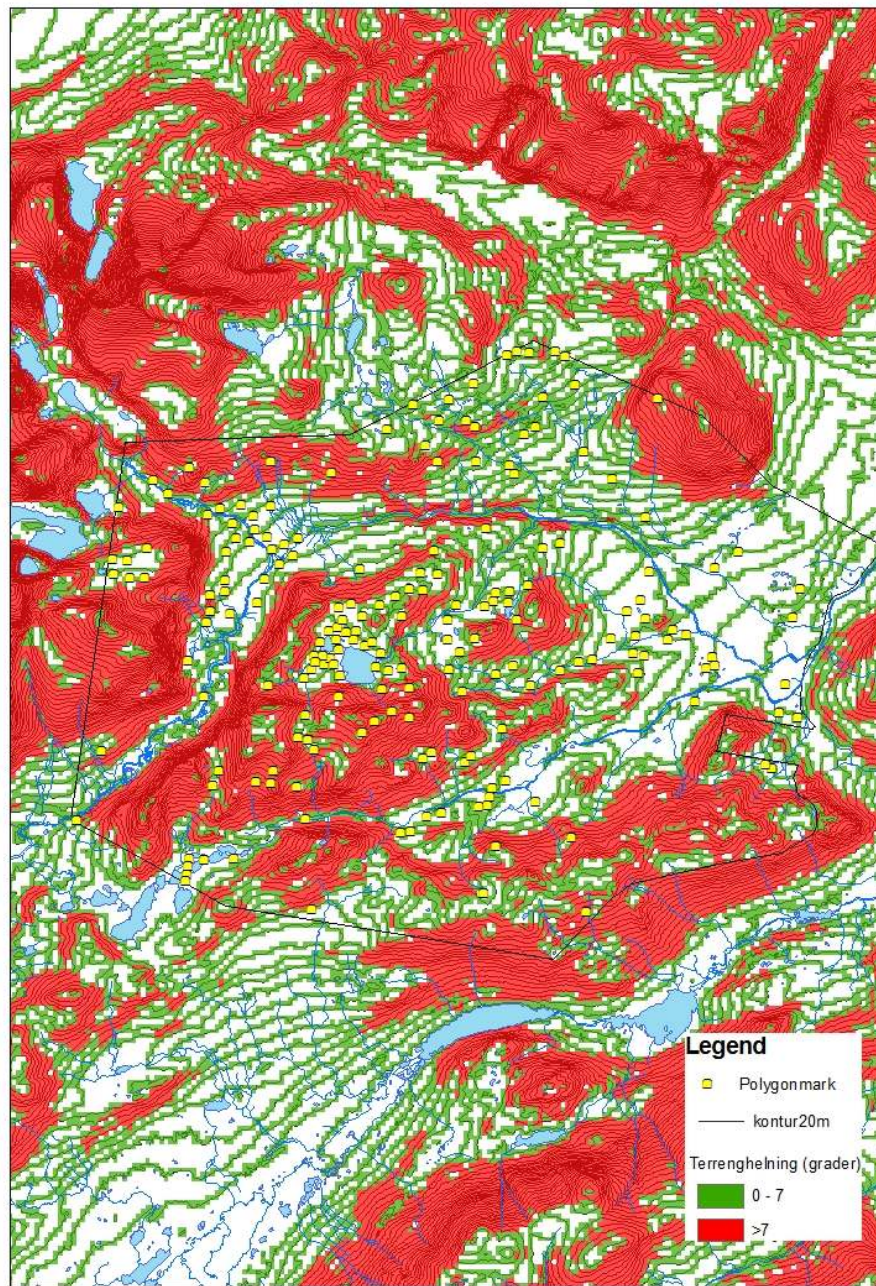


**Figur 42.** Frostfenomen (polygonmark, palser og solifluksjon) i skytefeltet. Det er ikke klarlagt hva som er aktive og hva som er inaktive frostprosesser.

I fig.43 er det vist sammenhengen mellom terrenghelling og forekomst av polygonmark. Det går frem av figuren at det er i flate områder man finner polygonmark.

De områdene der det tilsynelatende finnes polygonmark i brattere områder antas det å skyldes for dårlig kartgrunnlag til å skille ut mindre endringer i terrenget.

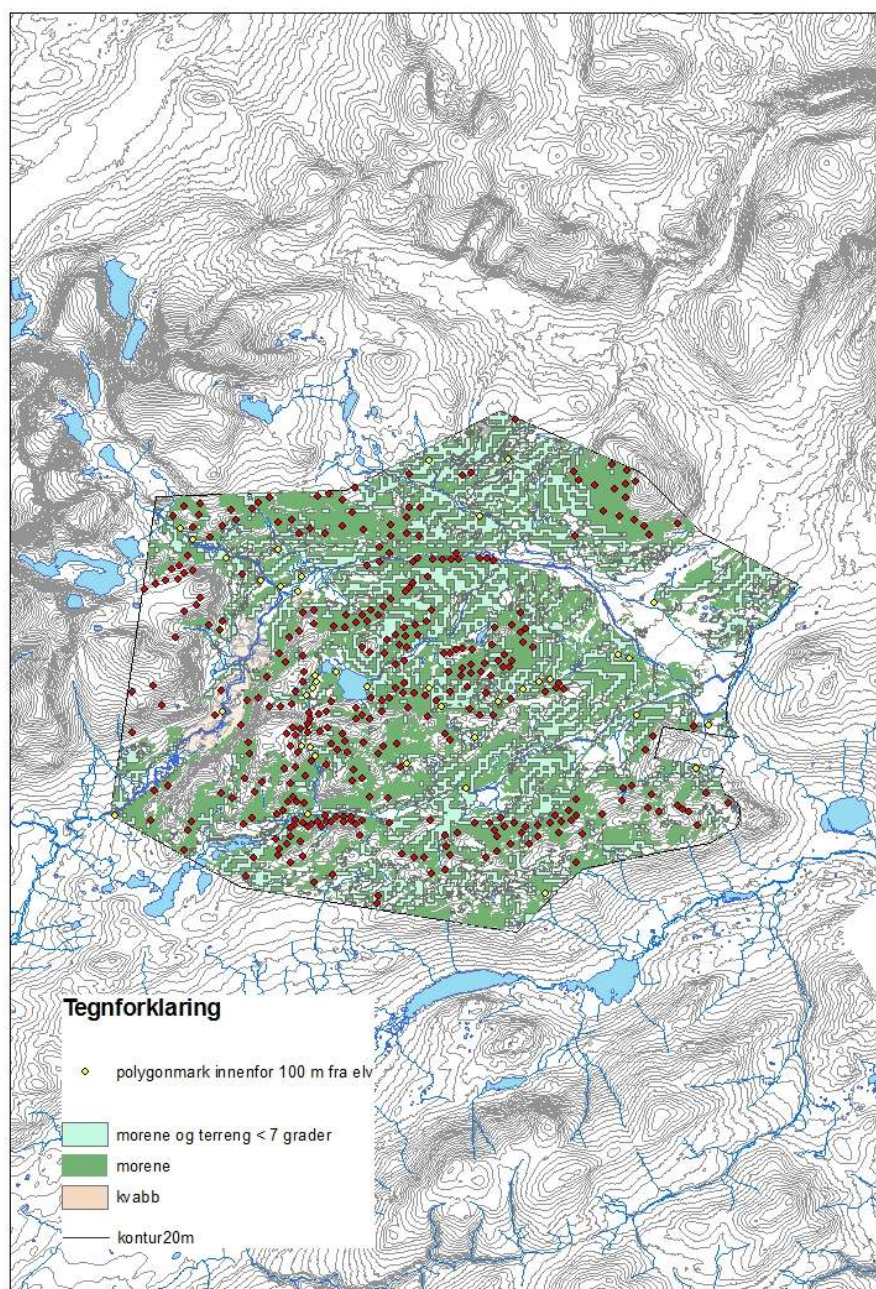




**Figur 43.** Sammenheng mellom polygonmark og terrenghelling.

Frostfenomenene i fig. 42 kan være både aktive og inaktive, for å undersøke dette nærmere er det i fig. 44 gjort en kartanalyse som viser polygonmark som ligger i nærheter av åpent vann.





**Figur 44.** Gule prikker viser frostfenomen som ligger mindre enn 100 m fra åpent vann. Røde prikker viser frostfenomen som ligger mer enn 100 m fra åpent vann.

### 9.3 Samlet vurdering av oppfrostfare

Risikoen for oppfrost beskrives først med en generell tilnærming. Innen alle kategorier kan det være unntak som ikke er mulig å fremstille på et kart. Disse lokale unntakene beskrives i vedlegg 2 som skal være en veiledning for konkrete vurderinger i feltet.

Ved tilnærmingen basert på kvartærgeologi er området delt inn i 5 klasser:

- 1 Meget stor oppfrostfare
- 2 Stor oppfrostfare
- 3 Moderat oppfrostfare
- 4 Liten oppfrostfare
- 5 Ingen oppfrostfare

I den videre klassifiseringen er overnevnte klassifisering forenklet ned til 3 klasser. Hovedforenklingen vil basere seg på gruppering av risikoklassene i forhold til tilgang på vann.

- Lavest risiko
- Moderat risiko
- Størst risiko

Det er få observasjoner av grunnvannsnivå i feltet. I prøvegropene er det funnet at vannet står høyt mange steder, det er også observert at fuktighet og andel finstoff ikke korrelerer. I de lavereliggende flate områdene er det vassdrag som demmer opp grunnvannet.

Derfor kan det antas at grunnvannet står nær terrengoverflaten i lave og flate terrengpartier, og høyt i oppstikkende terreng står vannet dypere.

Kornfordelingsanalysene viser at massene er generelt lite/ikke telefarlige fordi de er godt drenert. Derfor vil selv små forhøyninger i terrenget bli relativt tørre og gjøre at risikoen for oppfrost er liten. Temperaturmålingene har også vist moderat nedtrenging av frost. Dette understreker ytterligere at det er den aller øverste del av jordprofilet som er viktig å vurdere i forhold til oppfrost.

Områder som er i faresoneklasse 2-3 basert på kvartærgeologisk kart og som ligger i lave/flate terrengpartier er plassert i klassen for moderat risiko.

Kart som viser risikoen for oppfrost er vist i fig. 45.



**Grunnlaget for utarbeiding av kartet er:**

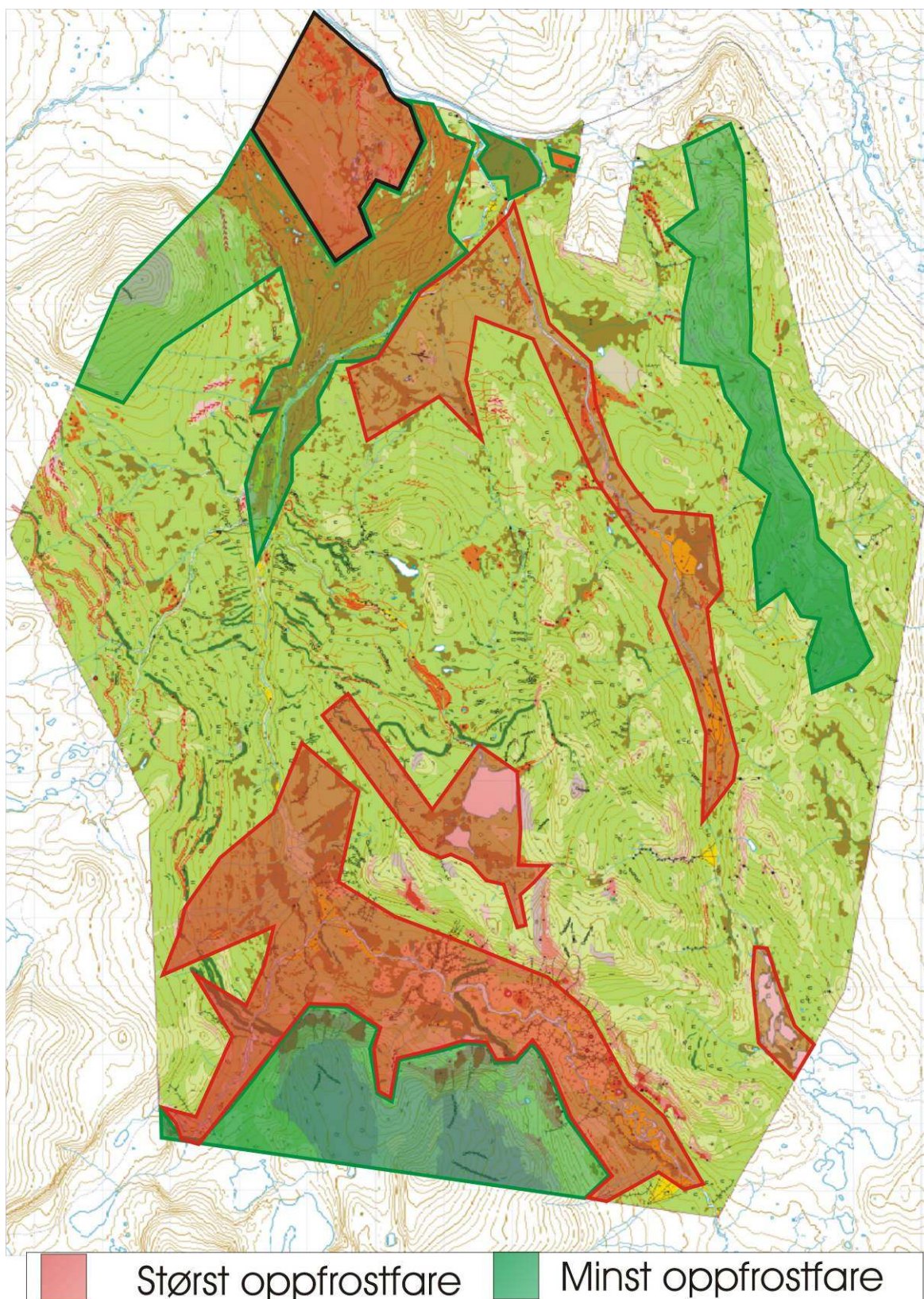
- Breelvavsetninger har ikke oppfrostfare
- Bresjøsedimenter har oppfrostfare
- Morene kan være oppfrostfarlige
- Tilgangen på vann overstyrer telefarlighet i massene
- Snøsmelting fører vann til alle områder, men opptrer utenom frysesesongen og er ikke tillagt vekt.
- I nedre del av skråninger kan grunnvann slå ut i terreng
- Langs elver, bekker og i myrer er det oppfrostfare pga tilgang på vann.

**Områder der det ikke er indikasjoner på oppfrostfare er:**

- Storranden, pga breelvmateriale og stort dyp til grunnvann
- Vest for Grøndalen, morene med antatt dypt grunnvann
- Fjellområde sør for Grisungdalen, skredmateriale, bart fjell og antatt dypt til grunnvann

**Områder med indikasjoner på størst oppfrostfare er:**

- Grøndalen, breelvmateriale og høytliggende grunnvann
- Ved Einhøvlingsvatnet, morene med høytliggende grunnvann
- Grisungdalen og Haukberget, morene og myr med høytliggende grunnvann
- Mellom Storranden og Svåni, morene med høytliggende grunnvann.
- Moreneområder langs bekker/vann med høytliggende grunnvann



**Figur 45.** Risiko for oppfrost i Herkinn skytefelt. Områder som ikke er i "størst" eller "minst" oppfrostfare er i moderat risiko. Smale soner langs bekker/elver er ikke markert.

## 10 Diskusjon

I skytefeltet er morene den dominerende jordarten. I utgangspunktet er dette er frostsensitiv jordart. Men utførte kornfordelingsanalyser og observasjoner i terrenget viser en godt drenerende jordart med generelt liten oppfrostfare.

Det er observert oppfrostfenomener mange steder, men det er ikke mulig å konkludere med om de er aktive eller ikke. Det anbefales å bruke resultatene av forsøkene i kryolaboartoriet på Hjerekinn til å evaluere den reelle risikoen for oppfrost.

Blindgjengere er antatt å ligge i de øvre 30 cm av jordarten i mineraljord. I myrjord vil de kunne ligge dypere.

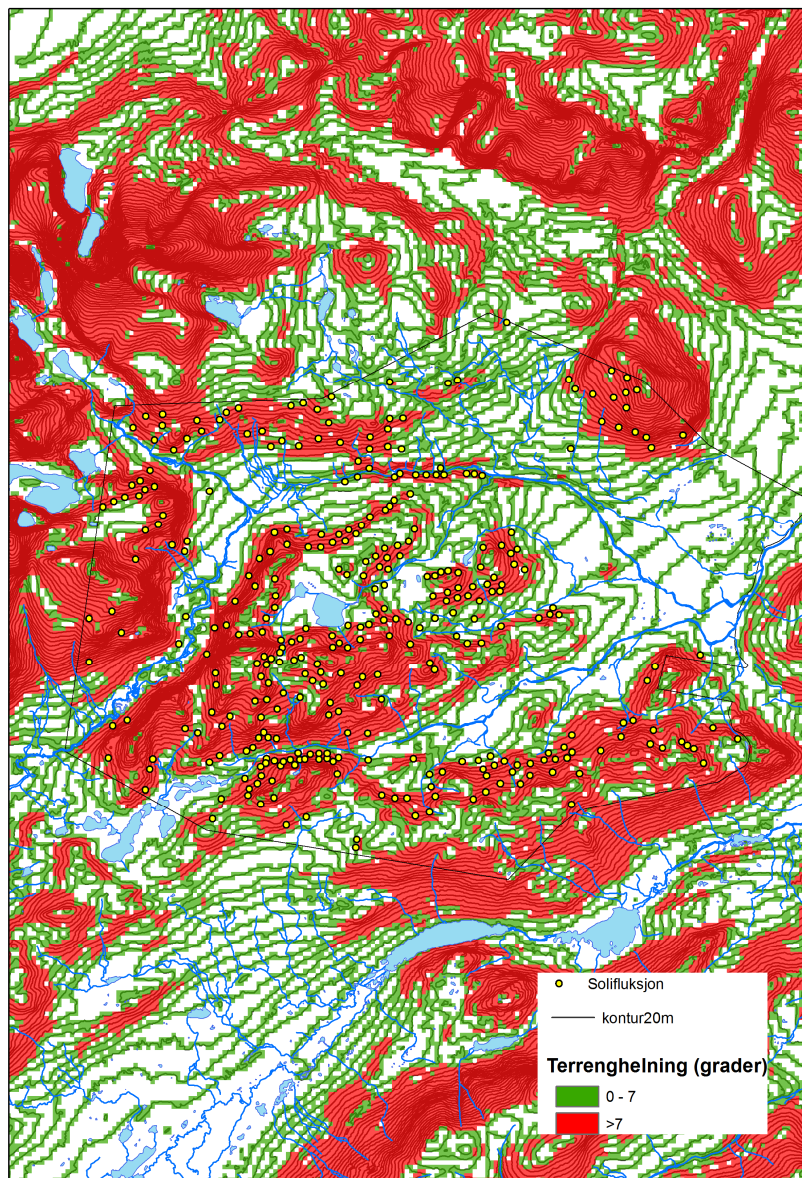
Blindgjengere kan fryse opp med ulik hastighet, avhengig av form og størrelse.

Siden det skal overflatelyddes og kontrolleres i lang tid fremover er det stor sannsynlighet for at evt. oppfrost av blindgjengere er kommet til overflaten innen siste overflatesøk gjennomføres.

Det er kombinasjonen av tilgang på vann og frostsensitive jordarter som er antatt å styre faren for oppfrost. Kartet som viser vurdert risiko for oppfrost er generalisert. I områder der det lokale kilder eller langs bekker kan det være en forhøyet risiko for oppfrost.

I dette arbeidet er det faren for oppfrost som er vurdert. Det er også andre geologiske fenomener som kan fore til at et begravd objekt kommer til overflaten. Solifluksjon eller jordsig samt ras er slike prosesser der jorden "ruller" nedover skråninger. I fig. 46 er det vist plassering av solifluksjon i det undersøkte området.





**Figur 46.** Plassering av solifluksjon i forhold til terreng.



## 11 Litteraturliste

**Anderson, R.S. & Anderson, S.** 2010: Geomorphology. The Mechanics and Chemistry of Landscapes. Cambridge University Press.

**Anderson, S.P.** 1988. The Upfreezing process; experiments with a single clast. Geological Society of America Bulletin 100: 609-621.

**Benn, D.I. & Evans, D.J.A.** 1998: *Glaciers & glaciation*. Hodder Education, 734 s.

**Bergstrøm, B., Reite, A., Sveian, H. & Olsen, L.** 2001: Feltrutiner, kartleggingsprinsipper og standarder for kvartærgeologisk kartlegging/løsmassekartlegging ved NGU. *Internrapport nr. 2001.018, Norges Geologiske Undersøkelse*.

**Beskow, G.** 1930. Erdfliessen und Strukturböden der Hochgebirge im Licht der Frosthebung. Geologiska Föreningen Stockholm Föhandlingar 52: 622-638.

**COWI AS, 2009:** Vurdering av risiko for oppfrysning av blindgjengere i Hjerkinnskytefelt

**Ferris, G.** 2010. Differential Frost Heave At Pipeline-Road Crossings.  
[http://www.bgcengineering.ca/files/publications/GF\\_Diff\\_Frost\\_Heave.pdf](http://www.bgcengineering.ca/files/publications/GF_Diff_Frost_Heave.pdf)

**French, H.M.** 2007. Gelifluction. i Thomas, D.S.G. & Goudie, A. (red.): *The dictionary of physical geography, 3rd Edition*. Blackwell Publishing, 217.

**Henry, K. Danyluk, P.E. & Anderson, T.** 2004: Field Tests Of Frost Jacking Of Unexploded Ordnance. U.S. Army Engineering Research and Development Center Cold Regions Research and Concurrent Technologies Cooperation Denver CO.

**Isaksen, K. & Sollid, J.L.** 2002: Løsavleiringer og permafrost i Hjerkinnskytefelt, Dovrefjell. Meteorologisk institutt, Oslo, og Geografisk institutt, Universitetet i Oslo.  
**Janbu, N.** 1989: Grunnlag i geoteknikk, 2. Utgave. Tapir Forlag

**Konrad, J.-M.** 1998: Frost susceptibility related to soil index properties. Canadian Geotechnical Journal 36: 403-417.

**Luoto, M., Heikkinen, R.K. & Carter, T.R.** 2004: Loss of palusa mires in Europe and biological consequences. *Environmental conservation* 31(1), 30-37.

**Nesje, A.** 1995: *Brelære*. Høyskoleforlaget, 124 s.

**Price, M.,** 1996: Introducing Groundwater. Chapman & Hall. 277 s.

**Seppälä, M. & Kujala, K.** 2009: The role of buoyancy in palsa formation. *Geological Society of London, Special publication 329*, 51-56.

**Sollid, J.L. & Sørbel, L.** 1981: *Kvartærgeologisk verneverdige områder i Midt-Norge*. Miljøverndepartementet, Avdelingen for naturvern og friluftsliv, Rapport T-524, 206 pp.

**COWI** .  
2008

Oddmund Soldal.