

BACHELOROPPGAVE

Utløsende årsaker og rekkevidde på flomskred i Arnegårdslie, Nes kommune i Hallingdal

av

408 Renate Rosseland Johansen
422 Oda Kristiane Delbeck

Triggering causes and run out distance of debris flows in Arnegårdslie,
Hallingdal

Geologi og Geofare

GE491

Juni 2016



Avtale om elektronisk publisering i Høgskulen i Sogn og Fjordane sitt institusjonelle arkiv (Brage)

Jeg gir med dette Høgskulen i Sogn og Fjordane tillatelse til å publisere oppgaven Utløsende årsaker og rekkevidde på flomskred i Arnegårdslie, Nes kommune i Hallingdal i Brage hvis karakteren A eller B er oppnådd.

Jeg garanterer at jeg er opphavsperson til oppgaven, sammen med eventuelle medforfattere. Opphavsrettslig beskyttet materiale er brukt med skriftlig tillatelse.

Jeg garanterer at oppgaven ikke inneholder materiale som kan stride mot gjeldende norsk rett.

Ved gruppeinnlevering må alle i gruppa samtykke i avtalen.

Fyll inn kandidatnummer og navn og sett kryss:

408 Renate Rosseland Johansen

JA NEI

422 Oda Kristiane Delbeck

JA NEI

Forord

Dette er den avsluttende oppgaven på bachelorstudiet Geologi og Geofare ved Høgskolen i Sogn og Fjordane. Oppgaven startet sommeren 2015 med 4 feltdager, der en dag var med Kalle Kronholm. Denne oppgaven har gitt oss mulighet til å tilegne oss mer kunnskap om temaene geofare og skredprosessen flomskred.

Vi ønsker å takke NGI og Seniorgeolog Frode Sandersen for konsultasjoner, veiledning og tilgang på litteraturmateriale. Vi vil også takke veilederne våre Stein Bondevik og Kalle Kronholm for mange gode tilbakemeldinger og hyggelige samtaler.

Sogndal 03.05.2016

Renate R. Johansen

Oda K. Delbeck

Sammendrag

Vi var ute i felt 27-30. august 2015 og undersøkte fire flomskredhendelser i fjellsiden nord-vest for Nesbyen i Hallingdal. Skredhendelsene var fra perioden 2007-2013. Dette gjorde det vanskelig å observere ulike deler av skredene gjennom feltarbeid. Vi brukte derfor mye flyfoto, rapporter fra NGI og intervju med lokalbefolkning for å skaffe oss bedre oversikt over skredhendelsene.

Vi har undersøkt terrenget og laget detaljerte kart over to av de fire undersøkte skredløpene. Da vi undersøkte terrenget kom det frem at helningen skredene ble utløst i var veldig interessant. I denne fjellsiden blir flomskred utløst i et terreng med uvanlig lav helning. Vi har også sett på faktorer som utløser flomskredene i det undersøkte området. Rapporter indikerer at fjellsiden opplever mye lokalt nedbør, dette blir ikke registrert av værstasjonen Todokk nede ved dalbunnen. Det kunne vært gunstig å plassere en værstasjon i fjellsiden, slik at den reelle nedbørmengden blir registrert. Disse registrerte nedbørsdataene kan sammen med et terskelsystem brukes til å utarbeide et varslingsystem.

Gjennom feltstudiet ble det tydelig at fjellsiden var sterkt påvirket av et nettverk av skogsbilveier. Skogsbilveiene kan påvirke det naturlige dreneringsforholdet i fjellsiden. Dette gjør at vannføringen i fjellsiden blir tvunget til å finne nye veier. Som en følge av dette og store nedbørsperioder kan det oppstå utglidninger i skogsbilveiene. Dette indikerer at nedbør og skogsbilveier jobber sammen for å utløse skred i dette området.

Vi har gjennom bachelorstudiet lært metoder for beregning av rekkevidde for steinsprang og snøskred. Vi har ikke lært noen metoder for utregning av rekkevidde for flomskred, og ville derfor undersøke om det var en metode for dette. I løpet av oppgaven ble det klart at det var vanskelig å finne en god modell for utregning av rekkevidden på flomskred. Gjennom beregninger med NGI sin modell, ble det tydelig at den ikke kunne brukes for alle de 4 skredhendelsene våre. Grunnen til dette er at NGI modellen mest sannsynlig tar utgangspunkt i et brattere terreng.

Innhold

Forord.....	2
Sammendrag.....	3
1.0 Innledning.....	6
2.0 Områdebeskrivelse.....	7
2.1 Geologien i området.....	8
2.2 Avsetninger/Løsmasser.....	10
2.3 Aktsomhetskart for jordskred og helningskart over området.....	11
3.0 Teori.....	13
3.1 Massebevegelse.....	13
3.2 Flomskred.....	13
3.3 Materialeegenskaper.....	15
3.4 Utløsningsmekanismer.....	15
3.5 Klima og skred.....	16
3.6 Utløpslengden.....	18
4.0 Materiale og metoder.....	20
4.1 Intervju.....	20
4.2 Feltarbeid.....	20
4.3 Gis og kartanalyse.....	21
4.4 Rekkevidden til flomskred.....	22
4.5 Beregning av rekkevidden til løsmasseskred, NGIs alfa-beta metode.....	23
4.6 Soneinndeling.....	24
5.0 Resultater.....	25
5.1 Smedsgården pensjonat 9. juli 2007.....	25
5.1.1 Innledning.....	25
5.1.2 Beskrivelse.....	26
5.1.3 Sone 1: Utløsningsområde.....	30
5.1.4 Sone 2: Transportetappen.....	36
5.1.6 Sone 3: Avsetningsområde.....	39
5.1.6 Test av rekkevidden fra NGI sin alfa-beta metode.....	40
5.1.7 Nedslagsfelt og Nedbør.....	41
5.2 Alfarveien 10. juni 2011.....	44
5.2.1 Innledning.....	44
5.2.2 Beskrivelse.....	46
5.2.3 Sone 1: Utløsningsområde.....	50
5.2.4 Sone 2: Transportetappe.....	55

5.2.5 Sone 3: Avsetningsområde	58
5.2.6 Test av rekkevidde fra NGI sin alfa-beta metode.....	62
5.2.7 Nedslagsfelt og Nedbør	62
5.3 Arnegårdslie 23. mai 2013	65
5.3.1 Innledning.....	65
5.3.2 Beskrivelse	66
5.3.3 Test av rekkevidde fra NGI sin alfa-beta metode.....	68
5.4 Arnegårdslie 9. juli 2007	69
5.4.1 Innledning.....	69
5.4.2 Beskrivelse	69
5.4.3 Test av rekkevidde fra NGI sin alfa-beta metode.....	71
6.0 Diskusjon.....	72
6.1 Utløsningsområdet og skredløpene	72
6.2 Skogsbilveien i utløsningsområdet.....	73
6.3 Vann som utløsende årsak.....	76
6.4 Utløpsdistanse	78
7.0 Konklusjon	81
Litteraturliste:	82
Vedlegg:	86
Vedlegg 1	87
Vedlegg 2	91

1.0 Innledning

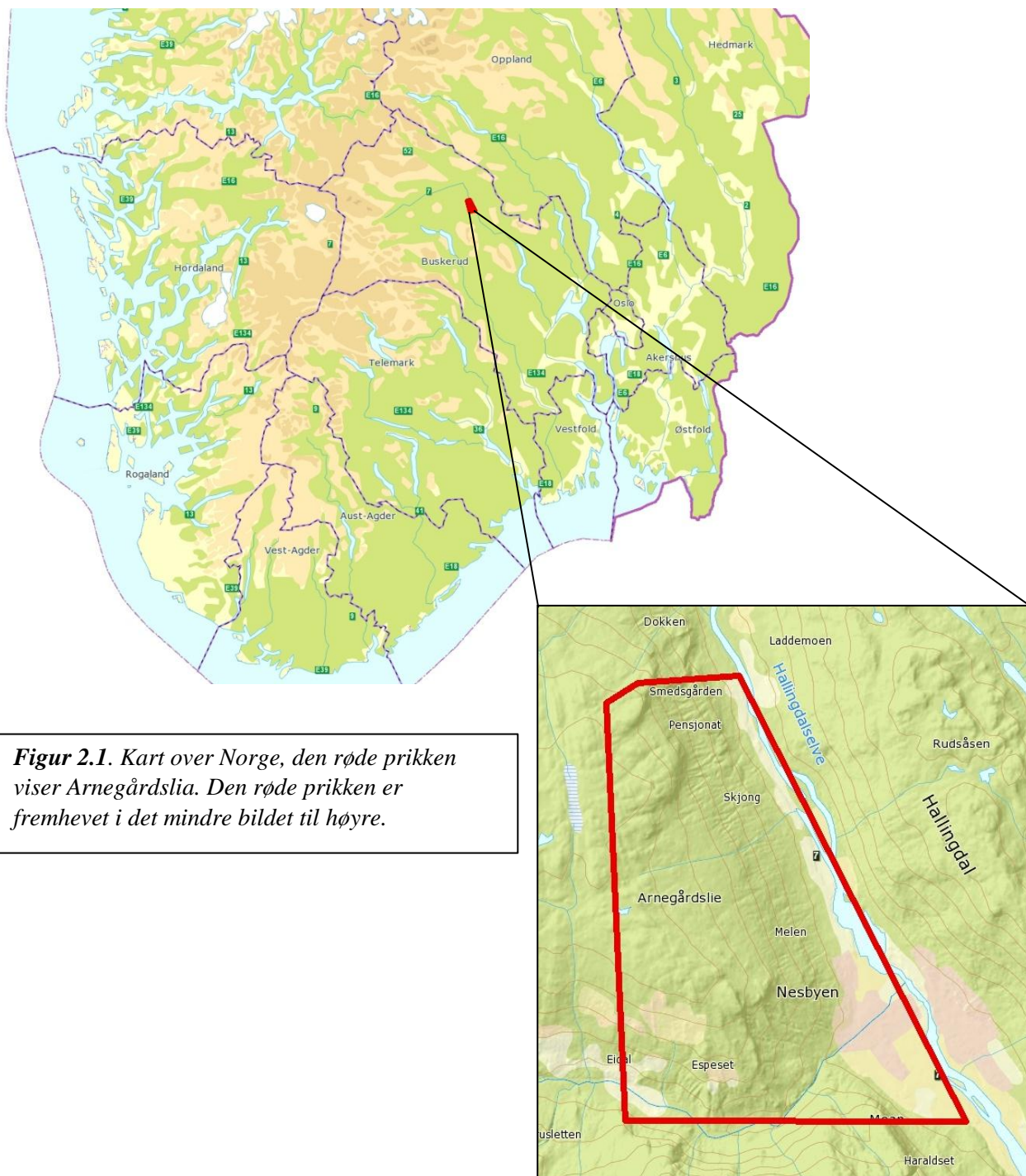
Området nord-vest for Nesbyen, Arnegårdslie, er tydelig preget av stor skredaktivitet. De siste 10 årene har det gått mange flomskred i denne dalsiden. Dalsiden er preget av mange raviner, det er også mye skredavsetninger å finne i området. Alle de fire skredene vi undersøkte i dalsiden var flomskred fra perioden 2007-2013. To av skredene gikk 9. juli 2007, ett gikk 10. juni 2011 og det siste 23. mai 2013. Det er viktig å skaffe seg kunnskap om hvorfor det går så mange skred i dette området, og spesielt hvorfor det har gått så mange skred de siste årene.

Dette området er veldig interessant med tanke på hyppigheten av skredhendelser og terrenget de blir utløst i. Fjellsiden har blitt undersøkt av andre før oss, Monika Lund har undersøkt skredaktiviteten i Arnegårdslie i sin masteroppgave. Der har hun fokusert på nedbørsdata, utløsende årsaker og dimensjonering av stikkrenner og grøfter (Lund, M. 2013). NGI har også gjort mange befaringer av denne fjellsiden. Vi har brukt noen av rapportene deres i vår oppgave. Rapportene er akuttbefaringer etter skredhendelser, der de har undersøkt skredbanen og faren for nye skred. Vi skal i denne oppgaven lage detaljerte kart over to skredhendelser i Arnegårdslie. Vi skal også undersøke utløsende årsaker og rekkevidden til alle de fire skredhendelsene.

I felt fokuserte vi spesielt på utløsningspunktet og rekkevidden for skredene. Mye av skredmassene i avsetningsområdet var ryddet bort da vi var ute i felt, og gjorde at det var vanskelig å skaffe seg et helhetlig bilde av skredene. Vi tilegnet oss derfor tilleggsinformasjon om rekkevidden gjennom intervju med lokalbefolkning, rapporter fra NGI og flyfoto.

Målet med denne oppgaven er å finne hvilke faktorer som påvirker utløsingen og rekkevidden på skredhendelsene. Skredhendelsene er av typen flomskred, dvs. skred som følger med stort vanninnhold. Gjennom litteraturstudie tilegner vi oss en bedre forståelse av flomskred, dette vil vi videre bruke til å forklare de utløsende faktorene for flomskredhendelsene vi undersøkte. Gjennom observasjoner i felt og innsamlet data, håper vi å kunne finne ut mer om faktorer for utløsning og gjøre enkle beregninger av rekkevidden.

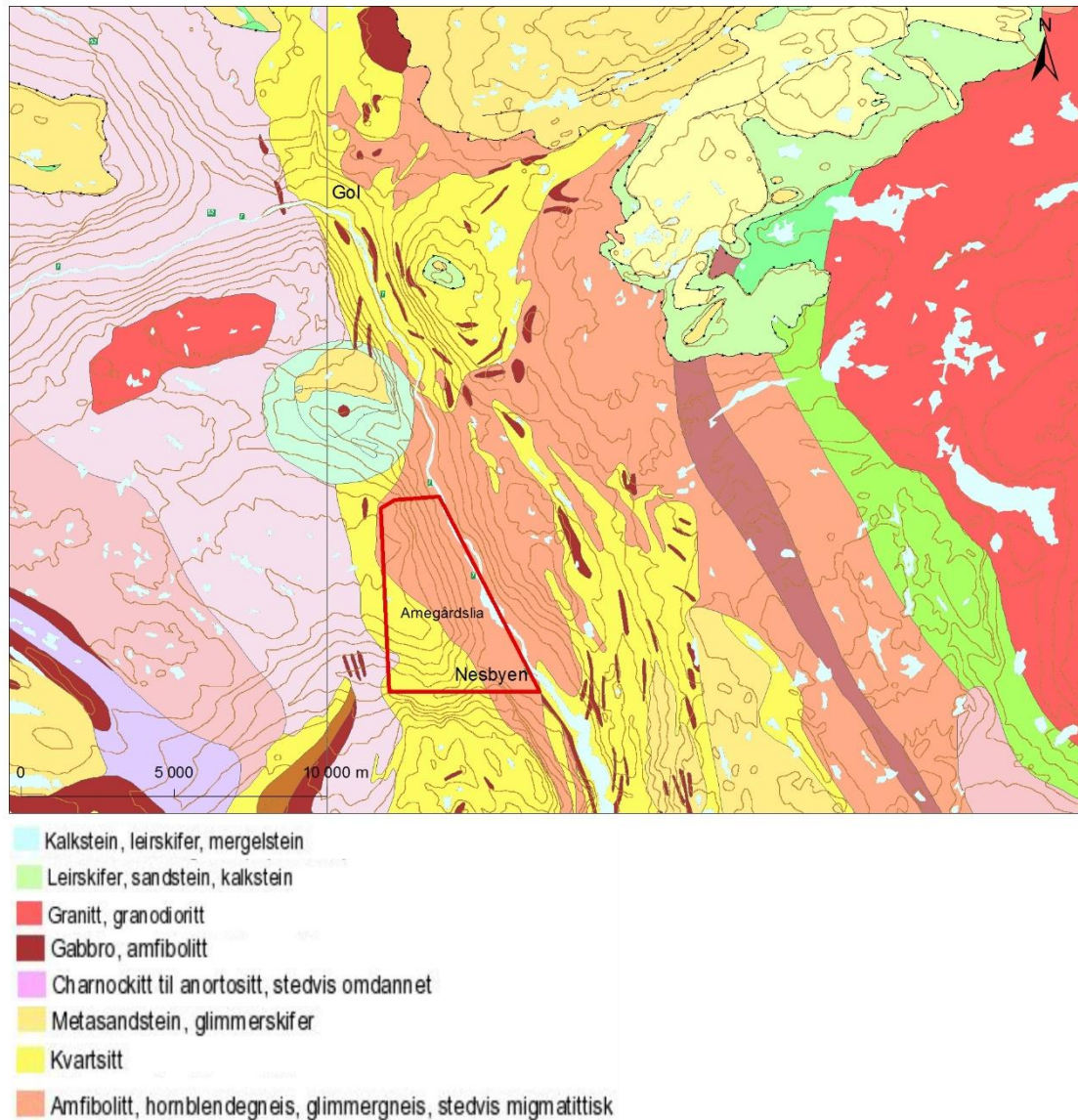
2.0 Områdebeskrivelse



Figur 2.1. Kart over Norge, den røde prikken viser Arnegårdsliå. Den røde prikken er fremhevet i det mindre bildet til høyre.

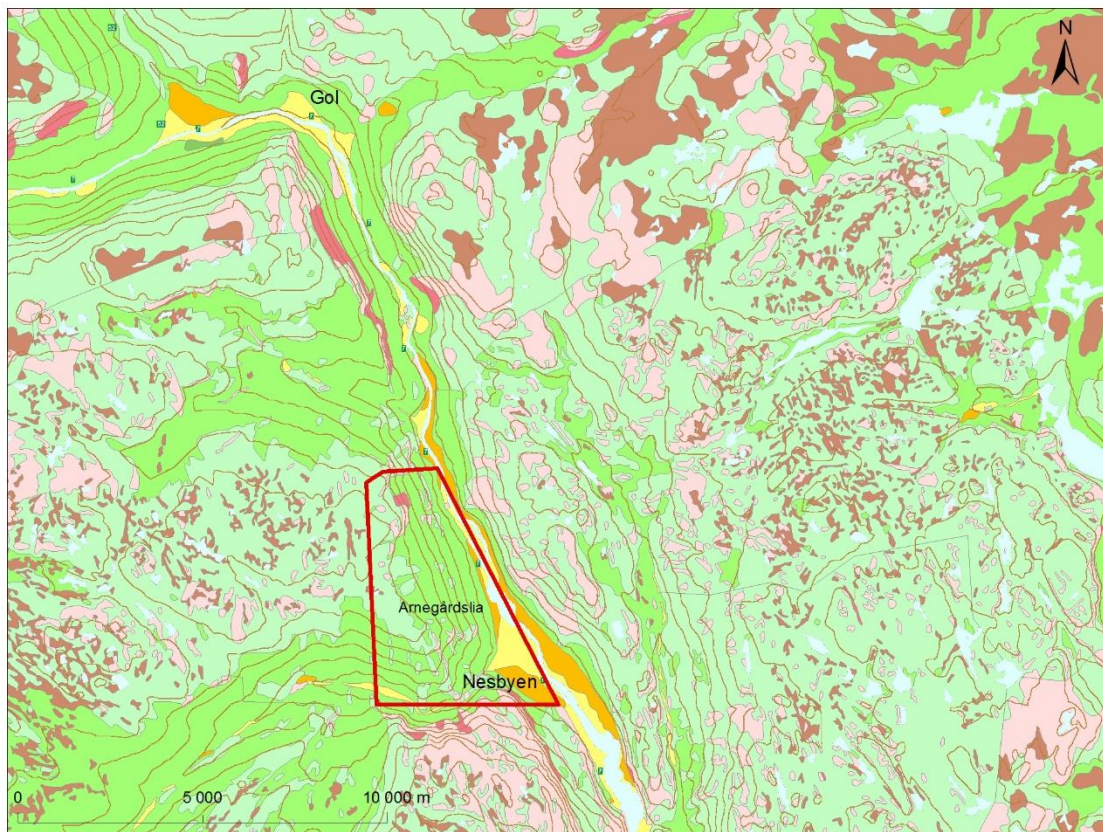
2.1 Geologien i området

Skredhendelsene omtalt i denne oppgaven befinner seg i Arnegårdslie nord-vest for Nesbyen i Hallingdal (figur 2.1). Fjellsiden er vendt mot øst og består av gneis og kvartsitt (figur 2.2).



Figur 2.2. Berggrunnskart over Arnegårdslia og området rundt, med tegnforklaring. Wms hentet fra ngu.no og brukt i ArcMap.

Fjellsiden er dekket av et tykt lag morenemateriale (figur 2.3). Det er også mye skredmateriale i nedre del av fjellsiden, dette er ikke registrert på løsmassekartet i figur 2.3. Vegetasjonen i Arnegårdslia består av stedvis tett barskog og spredt løvskog.



- Morenemateriale, tykt dekke
- Avsmeltingsmorene
- Breelv- og/eller bresjøavsetning, uspesifisert
- Hav- og fjordavsetning, tykt dekke
- Marin strandavsetning, tykt dekke
- Elve- og bekkeavsetning, uspesifisert
- Blokkhav
- Skredmateriale, tykt dekke/ur
- Torv og myr (organisk materiale)
- Bart fj. og fj. m/tynt el. usam.h. løsm.

Figur 2.3. Løsmassekart over Arnegårdslia og området rundt, med tegnforklaring. Wms hentet fra ngu.no og brukt i ArcMap.

2.2 Avsetninger/Løsmasser

Det er to typer avsetninger i Arnegårdslie, morene og skredmateriale. Morene karakteriseres som usortert erosjonsmateriale avsatt av isbre. Usortert vil si at det ikke er en sortering av kornstørrelsene. Morene kan derfor bestå av alt fra leire og silt til større blokker. I Arnegårdslie ble det observert veldig usortert morene, alt fra fin sand til store blokker. Dette kommer frem i figurene kap. 5.

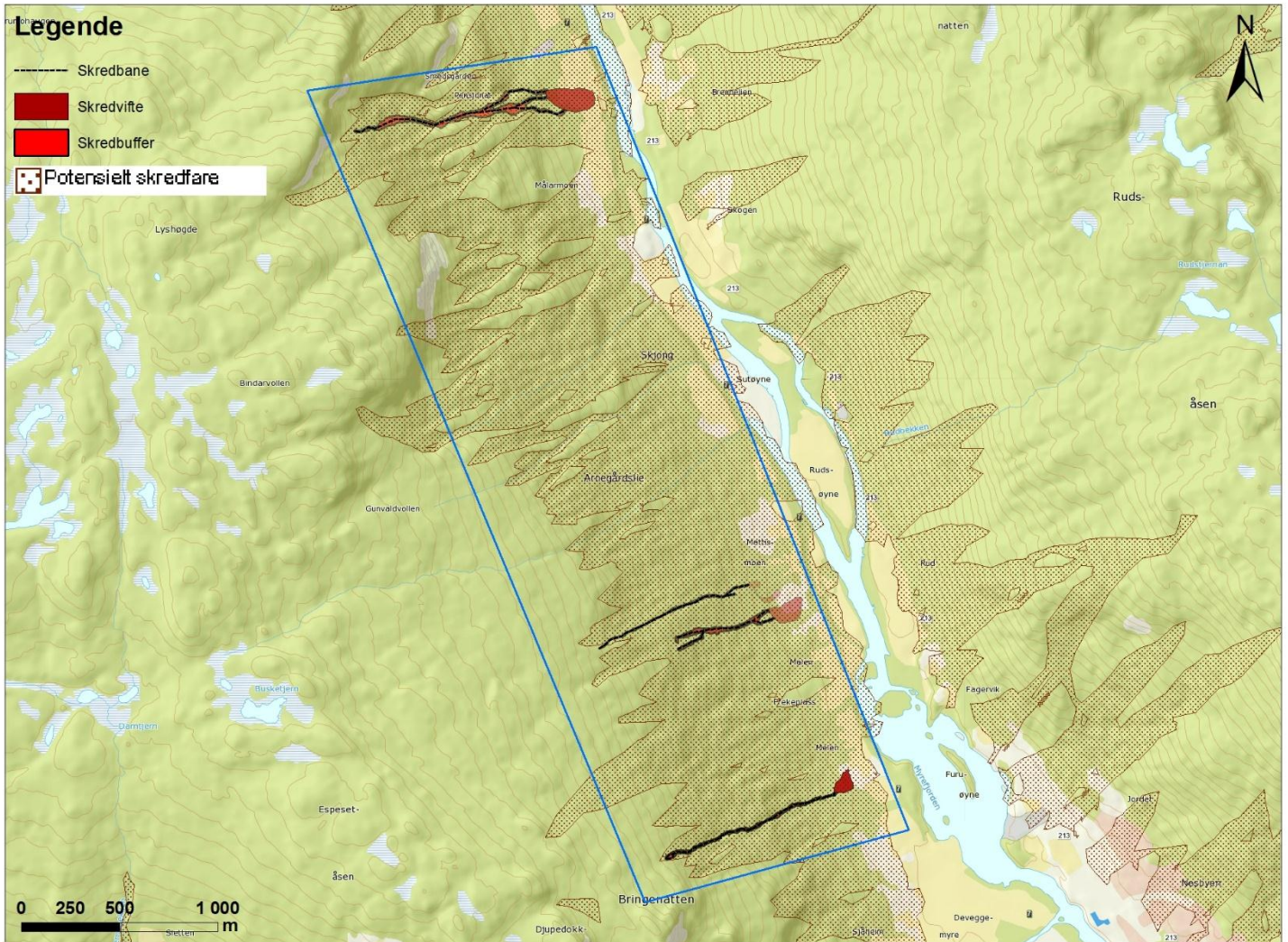
Skredmateriale blir avsatt av ulike skredtyper, i dette tilfellet ble det avsatt som en følge av jord- og flomskred. Utgangspunktet for skredmateriale består som regel av samme sedimenter som befinner seg i fjellsiden. I Arnegårdslie som er dominert av tykke moreneavsetninger er det dette som er opphavet til skredmaterialet.

Området langs elven og rundt Nesbyen består ikke bare av morene og skredmateriale, selv om landskapet er dominert av disse avsetningene. Nesbyen sentrum ligger på en elvevifte avsatt av transport- og avsetningsprosesser fra Rukkedøla (Lund, M. 2013) (Figur 2.3).

Elveavsetninger er ofte dominert av sand. Langs elven er det et belte med breelvavsetninger (Figur 2.3). Breelvavsetninger består i hovedsak av grus og sand/grov sand.

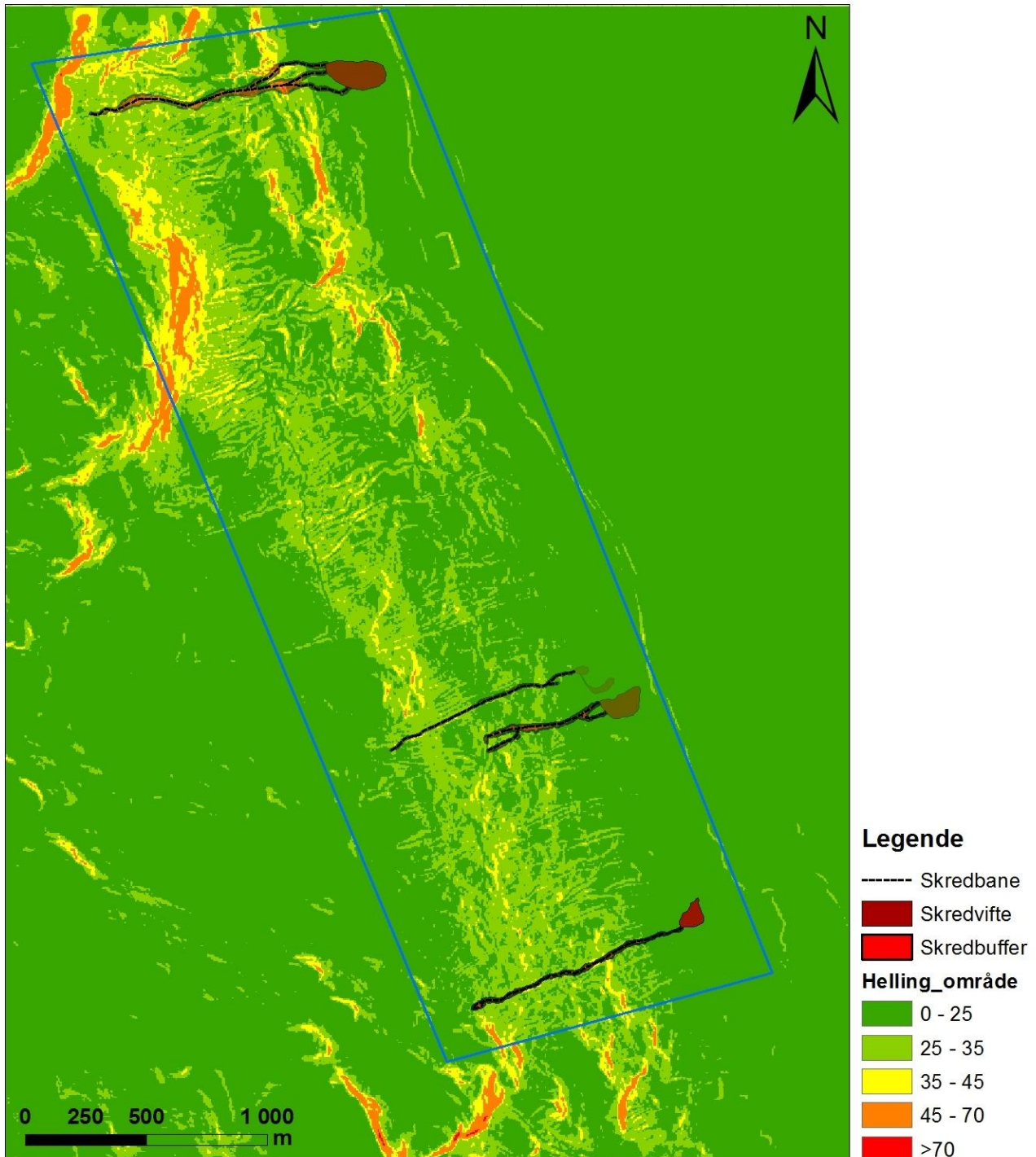
2.3 Aktsomhetskart for jordskred og helningskart over området

Aktsomhetskartet viser potensielle utløpsområder for jord- og flomskred (figur 2.4). Det vil ikke si noe om den reelle utløpslengden, for å finne reell utløpslengde må området befares av fagkyndige personer.



Figur 2.4. Aktsomhetskart for jord- og flomskred over Arnegårdslie. Kartet viser potensiell skredfare. Skredbuffer på figuren er skredbanens bredde. Det blå omrisset viser til området skredene befinner seg i. Wms hentet fra nve.no og brukt i ArcMap.

Helningskartet (figur 2.5) viser helningen i Arnegårdslie nord-vest for Nesbyen i Hallingdal. Figuren viser at helningen i utløsningspunktene for de fire skredene er liten.



Figur 2.5. Helningskart over Arnegårdslie nord-vest for Nesbyen i Hallingdal. Det blå omrisset viser til området skredene ligger i. Skredbuffer er det samme som bredden på skredbanen. Kartet er laget fra 1m høydekoter i ArcMap.

3.0 Teori

3.1 Massebevegelse

Det finnes mange ulike skredtyper, disse kan bli identifisert ut ifra innhold og bevegelse (Bargel et al, 2006). Et skred kan defineres som jord, stein og snø som kommer i bevegelse på grunn av tyngdekraften (Bargel et al, 2006). For at et skred skal kunne komme i bevegelse må kreftene som drar massene nedover være større enn de som holder massene på plass.

Hovedkraften som virker nedover er gravitasjonen, og hovedkraften som virker oppover er friksjonskraften. Det finnes også en annen kraft som virker oppover og holder massene på plass, den kalles kohesjonskraften. Det er ulike faktorer som må være med for at et skred skal kunne gå, som helningen i skråningen og vanninnholdet i massene (Hyndman & Hyndman, 2014). Det er sedimentenes tekstur og struktur som bestemmer vanninnholdet i skredmassene. Skredene vi har studert vil klassifiseres som flomskred.

3.2 Flomskred

Begrepene flomskred og jordskred brukes ofte om hverandre, og grensen mellom disse skredtypene kan i mange tilfeller være uklare. Disse to skredtypene er veldig like, men kan skilles ved vanninnhold i massene, bevegeligheten til massene, avsetningsmønster og utløsningsmekanismer (Sandersen, F. NGI, 2014). Jordskred starter ofte med en utgliding, eller med masser som siger i en skråning med brattere helning enn 25° (Sletten et al, 2015). Et jordskred vil ha en glidende bevegelsesform og skredbanen vil ha et pæreformet utseende (Sandersen, F. NGI, 2014).

Flomskred defineres ofte som et hurtig og vannrikt skred som opptrer langs allerede definerte elve- og bekkeløp, raviner og gjel (Sletten et al, 2015) (Jacob & Hunger, 2005). På engelsk vil dette hete ``channelized debris flow`` (Jacob & Hunger, 2005). Et flomskred vil vanligvis følge et dreneringsløp og derfor ha et høyt vanninnhold, på grunn av vannmengden vil skredet få en strømmende bevegelsesform. Det er også mulig at flomskred oppstår i en ukanalisert skråning (Tveit, J. 2011).

Ved store nedbørsperioder kan flomskred bli utløst i fjellsider ned mot 10° helning (Sandersen, F. NGI, 2014). De store vannmassene i skredet kan erodere og transportere større mengder med løsmasser, steinblokker og annen vegetasjon i og langs løpet (Sandersen, F. NGI, 2014). Det vil ofte bygges opp rygger/levéer på begge sider av skredløpet. I noen tilfeller vil skredmassene erodere seg helt ned til fjellet. Flomskred som oppstår i renner og forsenkninger vil ha god tilgang på vann. Dette er fordi vann er påvirket av gravitasjonen, og vannet vil bevege seg mot det laveste punktet (Tveit, J. 2011).

Det er vanlig å dele et skredløp for flomskred inn i tre hoveddeler, der de tre har ulike egenskaper (Tveit, J. 2011). Det finnes mange ulike betegnelser på disse tre delene av skredbanen. Matthias Jakob og Oldrich Hunger bruker i sin bok, *Debris- flow Hazards and Related Phenomena*, betegnelsene initieringszone, transport- og avsetningssonene. Den øverste delen er utløsningsområdet og har vanligvis en helning på 28-40°. Den midterste delene av skredløpet er transport delen, vanligvis har denne en helning på 20-30°. Den siste delen av skredet er avsetningsområdet med en vanlig helning på 15-20 ° (Sandersen, F. NGI, 2014). I utløsningsområdet er den viktigste prosessen erosjon og utglidning av materiale (Statens veivesen, 2014). Denne delen er utgangspunktet for volumet til skredet.

I skredløpet vil den viktigste prosessen være transport av sedimentene. I denne delen vil også skredet rive og erodere materiale som tas opp i skredet slik at det vokser i størrelse. I noen tilfeller kan denne tilførselen av nytt materiale være større enn volumet fra utløsningsområde (Statens veivesen, 2014). Det kan også i denne sonen forekomme sedimentasjon av skredmasser i svinger eller terreng der helningen blir slakere. I transportsonen kan massene avsettes i form av levéer (Sandersen, F. NGI, 2014). Det er normalt at hastigheten er størst i denne delen av skredbanen. Den siste delen av skredet er utløpsområdet, der sedimenteres skredmassene. Det vanlig at de grove massene avsettes først og da også på sidene av skredløpet. De finere skredmassene vil avsettes etter hvert og utover i utløpsområdet (Statens veivesen, 2014).

Man kan gjenkjenne eldre skredhendelser i en fjellside med at den har dype raviner i den øverste delen. Om flomskred gjentar seg flere ganger på samme plass, kan det over tid bygges opp en skredvifte nede ved dalbunnen, der helningen blir slakere (Sandersen, F. NGI, 2014).

3.3 Materialelegenskaper

Skråningen vi har undersøkt består av morenemateriale. Typisk for morenemasser er at den er dårlig sortert og består av alle kornstørrelser. Massene er ofte overkonsolidert på grunn av tyngden fra isen. Massene er på grunn av sorteringen og pakningen lite permeable. Det er ofte høy permeabilitet i den øvre delen på grunn av røtter, frostpåvirkning og organisk aktivitet. Det er i disse massene at skredene har blitt utløst.

3.4 Utløsningsmekanismer

For at et skred kan utløses må en rekke forhold være oppfylt. Når massene i en skråning får økt vanninnhold vil det svekke stabiliteten ved at poretrykket øker, eller ved at de kapillære kreftene reduseres (Sandersen, F. NGI, 2014). Kapillære krefter også kalt tilsynelatende kohesjon er spenninger som øker styrken i løsmassene. Ved mye nedbør vil disse spenningene forsvinne. Kohesjon og kapillære krefter holder partiklene i løsmassene sammen. I umettet sone er det vannet som er den bindende kraften mellom partiklene (Hyndman & Hyndman, 2014).

Ved økt nedbør vil vannføring og erosjon i bekker øke, dette gjør at stabiliteten i en skråning blir dårligere (Sandersen, F. NGI, 2014). Når grunnvannstanden stiger skal det mindre til for å utløse skred (Tveit, J. 2011). Det er poretrykket i sedimentene som utgjør den kritiske faktoren for stabiliteten i skråningen (Statens veivesen, 2014). Store vannmengder trenger ikke bare komme som nedbør, i Norge får vi mye smeltevann av snøsmeltning (Sandersen, F. NGI, 2014). Snøsmelting er ikke en faktor som er med i utløsningsprosessen for skredene vi har undersøkt. Skredene vi har undersøkt er ikke utløst i måneder med snøsmelting.

Stabiliteten i en skråning kan bli redusert ved undergraving og erosjon langs bekkeløp, disse skråningene kan bli såpass ustabile at større overheng faller ut og starter et skred (Sandersen, F. NGI, 2014). Årsaker til at bekkeløp tar nye veier kan være naturlige, men det kan også skyldes menneskelige inngrep. Noen menneskelige inngrep kan være boligbygging, veier i bratt terreng, masseuttak og omlegging av bekkeløp. Skogsbilveier kan være et eksempel på et menneskelig inngrep som påvirke dreneringsforholdet i en skråning.

En skogsvei vil forandre hvordan vannet i skråningen beveger seg nedover. Alt av overflatevann vil bli ledet mot skogsbilveien, dette kan igjen føre til at det blir samlet store mengder vann på enkelte plasser (Lund, M. 2013). Flomvannet vil samle seg i veigrøften og dra med seg masser, prosessen kan beskrives som en takrenne, dette gjør at stikkrennene kan gå tett. Dermed samles det opp store mengder vann som kan renne ukontrollert ned skråningen. Vannet som renner ut i skråningen kan føre til erosjon og transport av sedimenter som fører til flomskred (Sandersen, F. NGI, 2014).

Det å fjerne vegetasjon i form av hogst i en skråning kan også redusere stabiliteten, dette er fordi den bindende effekten røttene har på løsmassene vil forsvinne (Lund, M. 2013). Det å fjerne vegetasjon vil også gjøre at poretrykket øker og grunnvannstanden heves. Grunnvannstanden vil heves fordi vegetasjonen ikke tar opp vann lengre, vannet vil derfor forbli i sedimentene (Sandersen, F. NGI, 2014).

3.5 Klima og skred

Den nærmeste værstasjonen til Arnegårdslie, hvor skredene har gått, er Nesbyen målestasjon som ligger i Hallingdal i Buskerud. Nesbyen er påvirket av innlandsklima og ligger på en stor elveslette, dette gjør at lokalklimaet har store variasjoner mellom dag og natt. Det er også variasjoner mellom sommer og vinter (figur 3.2). Vinteren er kald og sommeren er varm. Nede på elvesletten samler det seg kald luft om natten, men dagtemperaturen om sommeren kan bli høy. Om vinteren er det vanlig med kald luft gjennom hele døgnet (Lund, M. 2013).

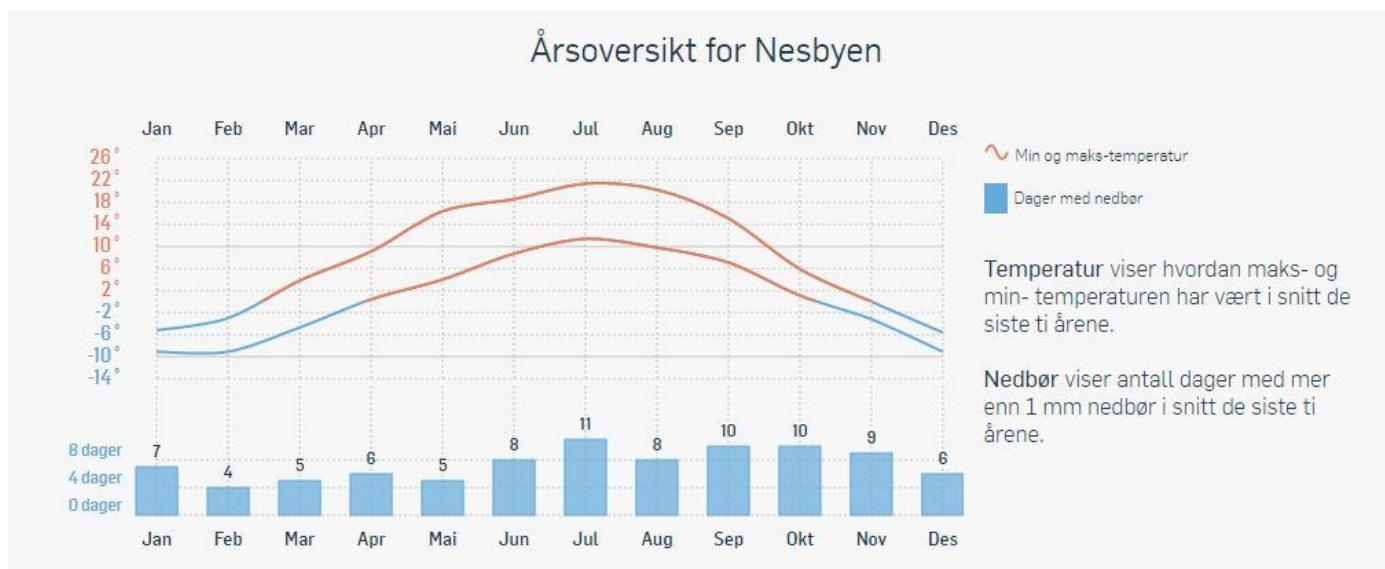
Nesbyen værstasjon har målt varmerekorden i Norge med den høyeste lufttemperaturen den 20. juni 1970 som ble målt til 35,6 grader (Støver (Norgesrekord. yr), Ingen dato).

Værstasjonen Nesbyen-todokk (figur 3.1) ligger på 166 m o.h. og har vært operativ siden 17. november 2003. Værstasjonen måler nedbør, temperatur, snødybde og vind. (Støver (Nesbyen målestasjon), Ingen dato).

De topografiske forholdene har innvirkning på klimaet i Nesbyen. Nesbyen er møtepunktet mellom Rukkedalen og Hallingdalen. I situasjoner der været kommer fra vest og følger Rukkedalen for så å møte Hallingdal, kan dette føre til at Nesbyen får kraftige regnskyll. Fjellsidene på hver siden av elvesletten kan oppleve større nedbørsmengder enn det som blir målt på Nesbyen værstasjon nede i dalen, grunnet lokalt nedbør (Lund, M. 2013).



Figur 3.1 Nesbyen værstasjon Todokk. Den er plassert i dalbunnen i Nes Kommune i Hallingdal. Foto: met.no 1977. (http://met.no/Nesbyen+p%C3%A5+Austlandet.9UFRHU4_ips_kl_14.00_15.03.16)



Figur 3.2 viser gjennomsnittlig temperatur og nedbørsdager for Nesbyen de siste ti årene. www.Yr.no

3.6 Utløpslengden

Når man bygger i områder hvor det er potensiale for skredfare, er utløpsdistansen til skredene en viktig faktor å evaluere. Det å vite utløpsdistansen til skredene er viktig for at ny bebyggelse ikke blir liggende skredutsatt, men også for bebyggelse som allerede er bygd (Tveit, J. 2011). Det stilles krav i plan- og bygningsloven at utbyggingsplaner skal ta hensyn til risiko og sårbarhet som kan true liv, helse, miljø, viktig infrastruktur og materielle verdier (DSB, 2011). For å kunne definere hvor det er trygt å legge ny bebyggelse eller om gammel bebyggelse trenger sikringstiltak, er befaring og vurdering av området viktig. Skredets utløpsdistanse blir definert som ytre begrensning av de avsatte skredmassene (Statens veivesen, 2014). Det som påvirker utløpslengden til et flomskred er helningen i terrenget, mengden av sedimenter, type sedimenter og mengden vann (NVE, 2013).

Skredbevegelsen vil på grunn av det ujevne terrenget bli forstyrret, og energi fra skredet går tapt til omgivelsene. Dette vil senke skredets hastighet. Er terrenget kupert vil farten til skredet gå saktere og utløpslengden vil bli kortere (Tveit, J. 2011).

Volumet til skredet vil påvirke utløpslengden. Tykkelsen på løsmassedekket vil ha en innvirkning på hvor stort volumet på skredet kan bli, og dermed bestemme hvor langt det går. Vanligvis vil skred med store volum gå lengre enn skred med mindre volum (Sandersen, F. NGI, 2014).

Vann gjør at friksjonen mot underlaget blir mindre og skredmassene glir lettere og fortere. Jo mer vann det er i skredmassene jo mindre friksjon vil det være mot underlaget. Den interne friksjonen mellom partiklene i skreden vil også bli mindre når vanninnholdet øker. For å få et langt skredløp er vanninnholdet i skredhendelsen veldig viktig. Evnen løsmassedekket har til å ta opp vann avhenger av materialet og vegetasjonen i skredområdet. Vegetasjonen i området kan bidra til å stabilisere skråningen og ta opp mye av vannet. Om skredmaterialet inneholder fint eller grovt materiale vil ha noe å si på utløpslengden. Består skredmassene av mye finstoff og mye vann vil utløpslengden bli lang, på grunn av mindre intern friksjon (Tveit, J. 2011). Flomskred som går i elveløp kan inneholde mye vann, dette fordi det kan være mye vann tilstede i skredløpet allerede før skredhendelsen oppstår (Tveit, J. 2011).

4.0 Materiale og metoder

4.1 Intervju

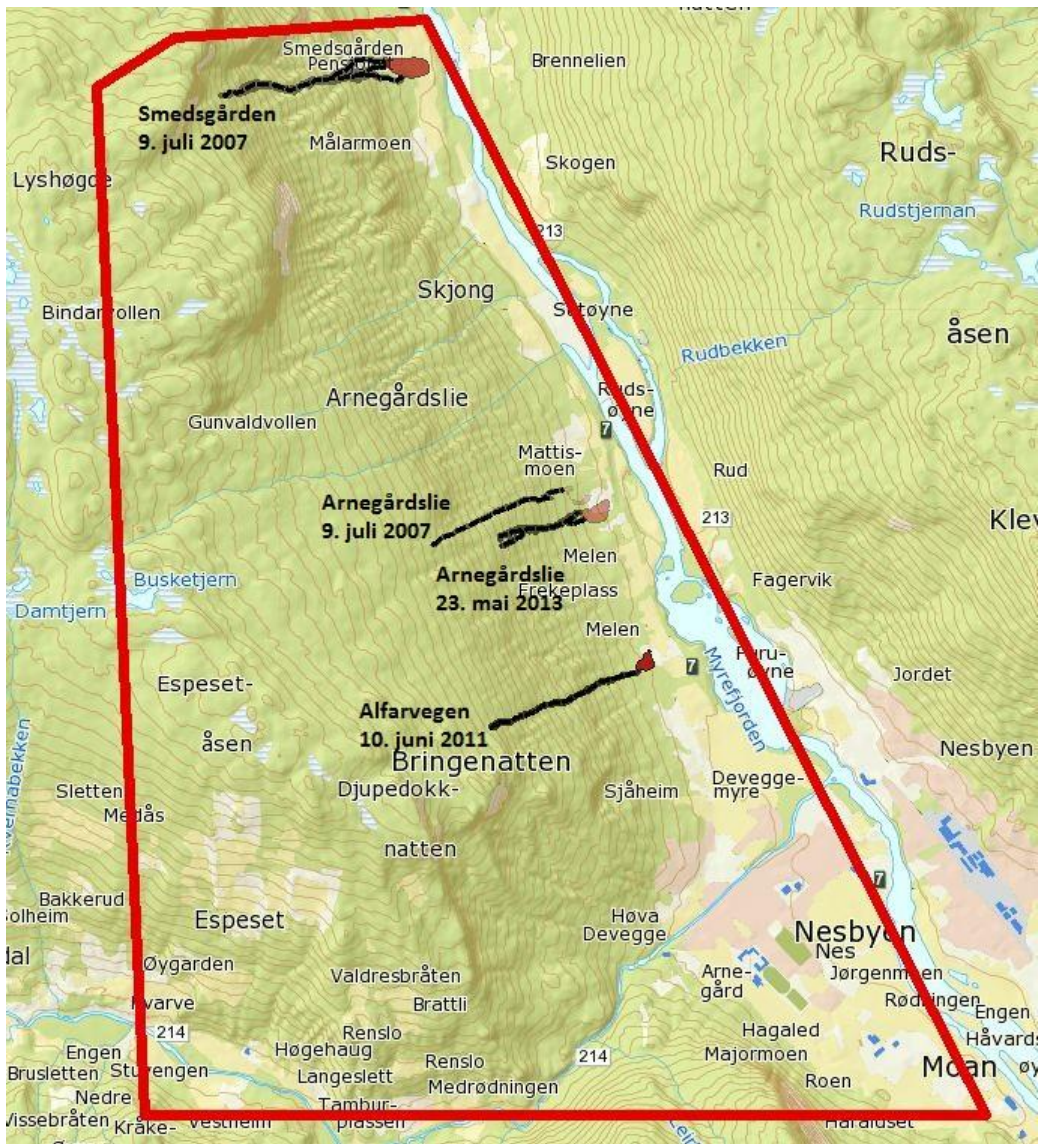
Når en skal kartlegge et skredutsatt område kan det være fornuftig og forhøre seg med beboere og grunneiere i området. Lokalbefolkning kan gi viktig informasjon om områdets historie, tidligere skredhendelser, tidspunkt og hendelsesforløpet til skredene. Ved å intervju lokalbefolkningen kan man få nyttig informasjon som ikke har blitt skrevet ned, informasjon som man ellers ikke ville ha fått tak i fra skriftlige kilder. På denne måten kan man samle inn viktig informasjon som kan hjelpe med kartlegging og forståelse av skredprosessene i området. Vi intervjuet: Morten Thoen ved Smedsgården pensjonat og en av grunneieren i Arnegårdslie Hans Tandberg.

Gjennom disse intervjuene fikk vi informasjon om hvor langt skredmassene hadde gått, tidspunkt på hendelsen og skredhistorikken i området. Vi fikk også vite hvordan de som enkeltpersoner opplevde skredhendelsen, og om det oppstod noen materielle ødeleggelser. Informasjonen vi fikk fra intervjuene er brukt i oppgaven.

4.2 Feltarbeid

Feltarbeidet ble utført i 2015, 27-30 august. Feltarbeidet startet med 1 dag synfaring med veileder Kalle Kronholm som er godt kjent i området. Etter det jobbet vi alene med å kartlegge de ulike skredene.

Vi valgte ut fire skredhendelser i dette området som vi ville kartlegge og undersøke nærmere. To av skredene ligger i Arnegårdslie, et ved Smedsgården pensjonat og det siste ved Alfarvegen nærmere Nesbyen sentrum (figur 4.1). Vi brukte videre dagene til å kartlegge skredene og diskutere skredprosessene, med et hovedfokus på utløsningspunktene. Vi brukte GPS (Garmin, modell Oregon 300) og kart til å kartlegge skredene og merke av formasjoner vi ville dokumentere. Vi tok GPS punkter på de forskjellige delene av skredet som utløsningspunkt, erosjonskanaler, levéer og observert slutt på skredbanen.



Figur 4.1 viser en oversikt over de fire skredhendelsene vi har undersøkt. Plassering av skredene og dato for utløsning står ved hver skredbane.

4.3 Gis og kartanalyse

Vi har jobbet mye med ArcMap og vi har derfor brukt ulike wms tjenester i prosessen med å lage kartene. For figurene med flyfoto som kartgrunnlag er Norge i bilders wms brukt (Kartverket, ingen dato). Topografisk Norgeskart er også brukt som kartgrunnlag i noen av figurene. Vi fikk tilsendt en terrengmodell over Arnegårdslie, den ble brukt som et bakgrunnsgrunnlag for noen av figurene over skredhendelsene i Arnegårdslie. Terrengmodellen hjalp å definere terrenget i fjellsiden. Vi fikk også tak i 1m høydekoter over Nes kommune i Hallingdal. Høydekotene ble brukt til å lage helningskart og deretter terreng- og helningsprofiler. Vedlegg 3 med ArcGIS filen ligger på en minnepenn, denne er levert til veileder Stein Bondevik.

4.4 Rekkevidden til flomskred

Det finnes to måter å lage en modell for utløpet til et skred (Jacob & Hunger, 2005). Den ene er dynamiske modeller som baserer seg på materialeegenskaper, friksjon fra underlaget og i selve skredmassene (Tveit, J. 2011). Farten og energien er også faktorer denne modellen tar med i betraktning (Jacob & Hunger, 2005). Den dynamiske modellen prøver å forstå skredbevegelsen, og derfra modellerer skredet. En dynamisk modell inneholder i flomskredtilfellet vanskelige beregninger og svært nøyaktige data, denne metoden blir derfor mindre brukt enn den empiriske modellen (Tveit, J. 2011).

Den andre modellen er empirisk og tar utgangspunktet i skredbanens egenskaper. De empiriske modellene er mer brukt i praktiske sammenhenger, enn til forskning (Tveit, J. 2011). Dataene til modellen er lettere å samle inn, og modellen er lettere å bruke (Jacob & Hunger, 2005). Vi har i oppgaven valg å se på den empiriske NGI-modellen, en type alfa-beta modell, som bare tar hensyn til helningsprofilen til skredet. NGI-modellen er utviklet av Norem og Sandersen (2012).

Modellen bygger på samme prinsipper som alfa-beta modellen, men benytter andre verdier. Beta-linjen starter i utløsningspunktet på flomskredet, og slutter på det punktet i terrenget/kartet der man mener avsetningen/sedimenteringen begynner. NGI modellen tar utgangspunkt i at avsetningen begynner på 20°. Denne modellen er tenkt til å beregne flomskred med lavt vanninnhold, og ikke i elveløp med betydelig vannføring (Sandersen, F. NGI, 2014). Vi har testet denne modellen til Norem og Sandersen (2012) på de fire skredene vi har undersøkt.

En annen metode for å beregne utløpslengden er å bruke kart og se på geomorfologien av det utvalgte området. Denne metoden går ut på å evaluere ut i fra kart og flyfoto hvor langt flomskred kan gå i terrenget (Sandersen, F. NGI, 2014). Tar man utgangspunkt i formasjoner som skredvifter, kan man få en indikator på hvor langt et flomskred eventuelt kan gå.

Det mest bruke beregningsverktøyet for rekkevidden til jord- og flomskred i dag er programmet RAMMS. RAMMS gir en mulighet til å visualisere og animere skredforløpet i en terrengmodell. Programmet kan beregne hastigheten, strømningshøyde og trykk langs utvalgte tverr- og lengdesnitt. Det er også mulig å få et estimat av rekkevidden til flomskred ved hjelp av dette programmet (Sandersen, F. NGI, 2014).

4.5 Beregning av rekkevidden til løsmasseskred, NGIs alfa-beta metode

Finner ved hjelp av helningsprofilen og terrengprofilen for skredet 20° punktet på skredvifta. Bruker helningsprofilen der det er 1m mellom kotene. Vi velger å bruke det siste 20° punktet på helningsprofilen.

Formelen for alfa-beta metoden (figur 4.2):

$$\tan \beta = \frac{h}{l}$$

$$\tan \beta = \left(\frac{(h - h)}{l} \right) = x, \tan^{-1} x = \beta$$

h er høydeforskjellen mellom utløsningspunktet og punktet i skråningen med en helning på 20°. Liten l er avstanden fra utløsningspunktet og til 20° punktet.

$$A = 0 \tan \alpha = \frac{H}{L} \langle - \rangle L = \frac{H}{\tan \alpha}$$

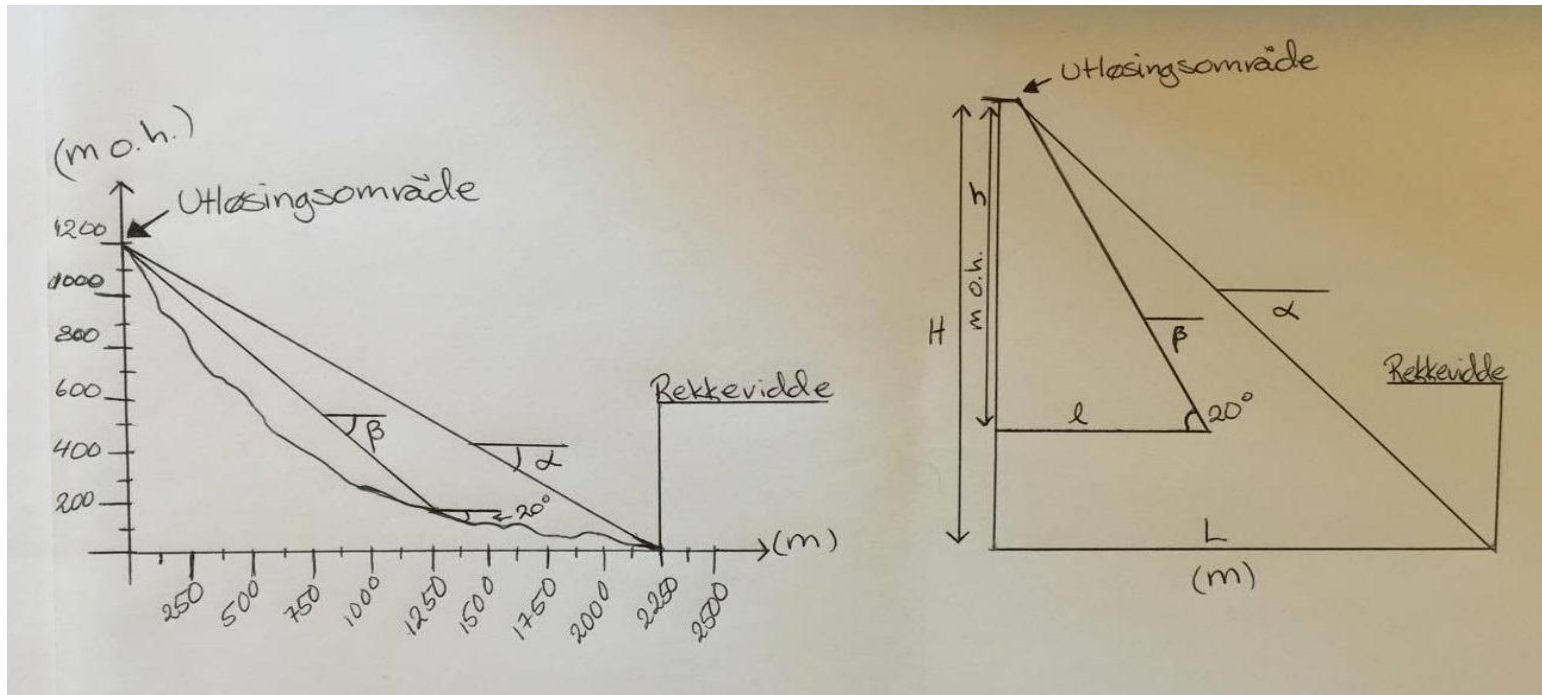
$$H = H - H$$

H er høydeforskjellen mellom utløsningspunktet og ned til der vi mener skredet slutter

$$\tan \alpha = \frac{H}{L}$$

$$L = \frac{H}{\tan \alpha}$$

L = Rekkevidden



Figur 4.2 til venstre viser en figur av NGI-modellen (Sandersen og Norem, 2012). Figuren til høyre i bilde viser alfa-beta metoden.

4.6 Soneinndeling

Vi har valgt å dele skredløpene inn i tre soner. Sonene viser til de ulike prosessene i skredløpet. Vi har satt sone 1 som utløsningsområdet, der den viktigste prosessen er erosjon. Vi har valgt å strekke denne sonen fra utløsningspunktet og ned til det punktet avsetningen begynner i form av levéer.

Sone 2 har vi valgt å kalle transportetappen. Her er de viktigste prosessene erosjon og transport. Det vil derfor bli observert større levéer, i tillegg til erosjon i denne sonen. Vi har valgt å strekke denne sonen fra avsetningen av levéer blir observert sammen med erosjon i skredløpet, ned til avsetningsprosesser dominerer i skredløpet.

Sone 3 har vi valgt å kalle avsetningsområdet, som navnet tilsier er den viktigste prosessen i denne sonen avsetning. Vi plasserer denne sonen fra punktet avsetningsprosesser dominerer i skredløpet og ut til kanten på skredviften.

5.0 Resultater

5.1 Smedsgården pensjonat 9. juli 2007

5.1.1 Innledning

Skredet gikk ovenfor Smedsgården pensjonat nord-vest for Nesbyen 02:30 9. juli 2007 (Nerland, Ø, 2007). Skredavsetningene bredte seg mellom bygningene og ut over jordet fremfor pensjonatet. I intervjuet med eier av pensjonatet, Morten Thoen, fikk vi vite at gjester og ansatte ved Smedsgården Pensjonat ble vekket av en høy lyd. Det var ikke mange som forstod hva som skjedde, det var derfor mye forvirring rundt situasjonen. Heldigvis ble alle gjestene vekket, alle kom seg ut av pensjonatet og husene rundt og ingen ble skadet.

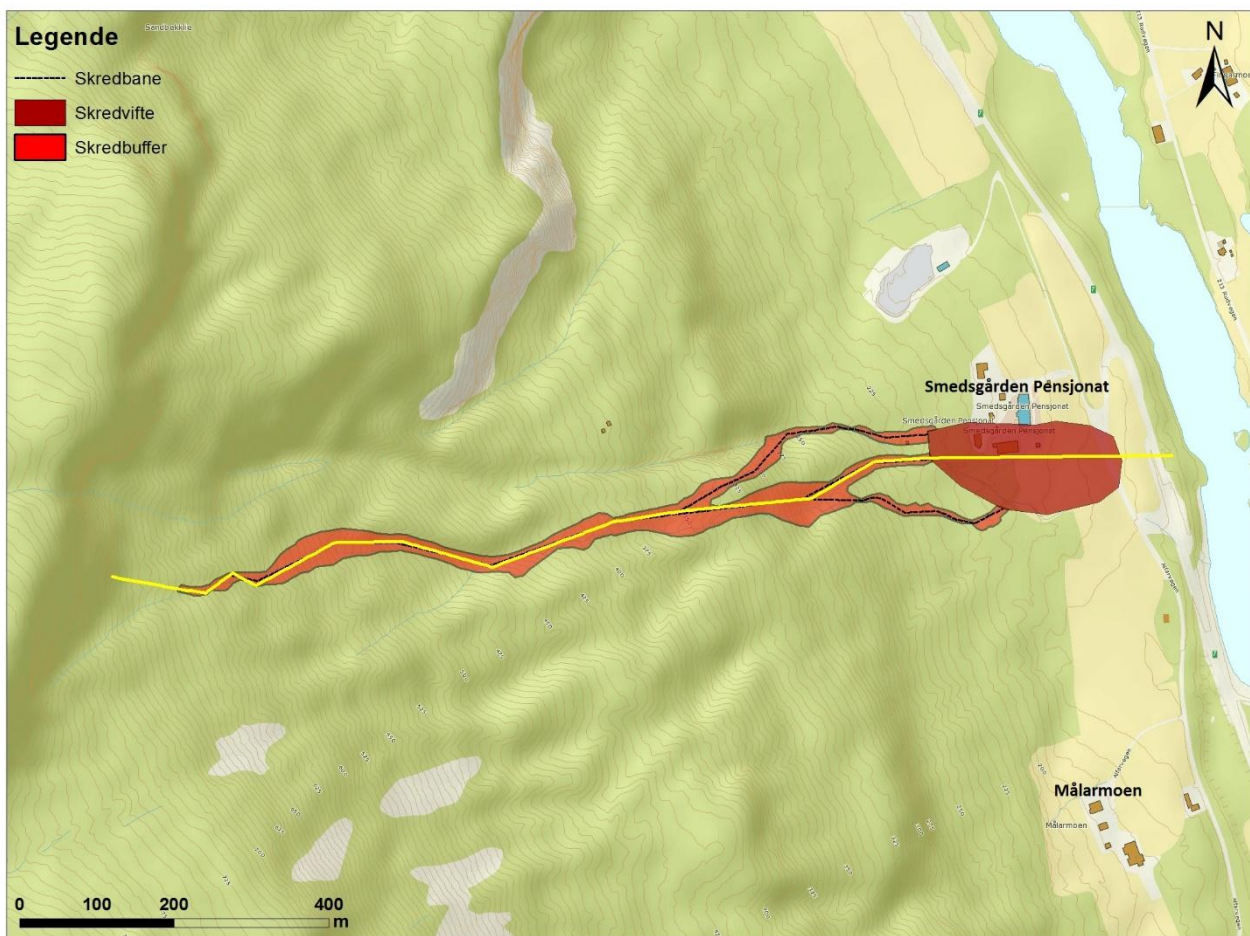


Figur 5.1 viser at skredmassene traff Smedsgården pensjonat (bygget med rød vegg), og gravmaskinen viser at skred massene ble begynt fjernet sammen dag (09.07.07) Foto: Ørjan Nerland, NGI (epost 04.04.16).

Det var lite nedbør dagen før skredhendelsen, men uken før hadde det regnet mye. Skredmassene gjorde liten skade på byggene, den største skaden var pumpehuset som ble dratt med av skredmassene. Det kom også skredmasser ned i kjelleren av pensjonatet. Det ble klart under feltarbeidet at skredmassene var ryddet vekk fra området og at vegetasjon hadde dekket til skredformasjonene, dette er logisk siden skredet gikk i 2007.

Vi har også i senere tid fått en del informasjon av senioringeniør Ørjan Nerland fra NGI gjennom epost. Vi har av han fått et teknisk notat som han lagde av skredområdet dagen etter skredhendelsen. Av epostene fra Nerland har vi også fått en god del bilder fra hvordan skredhendelsen så ut samme dag som det ble utløst (Nerland, Ø, 2007). Skredmassene gikk ned på tunet og inntil husveggen på Smedsgården pensjonat (figur 5.1) (Nerland, Ø, 2007).

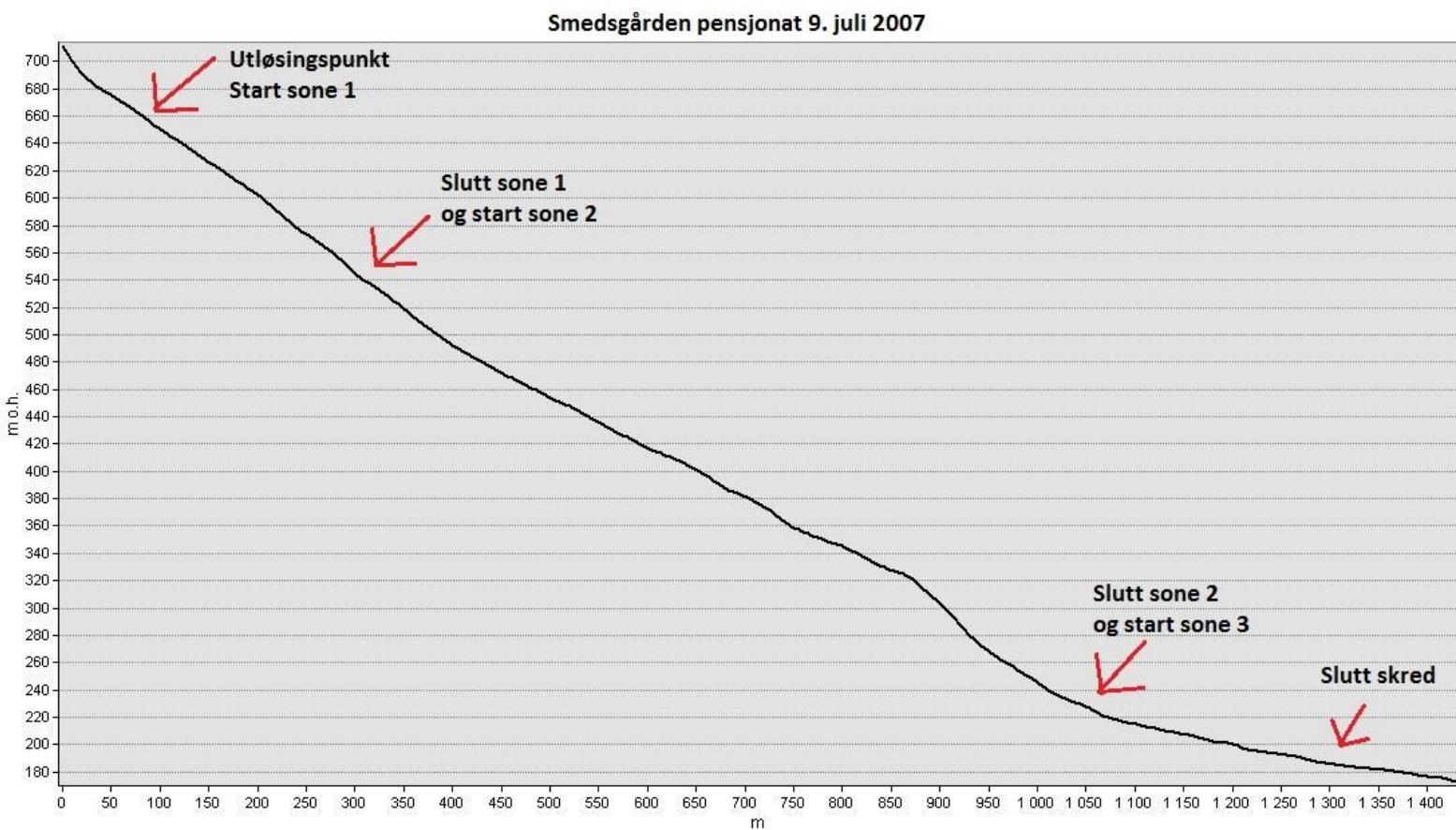
5.1.2 Beskrivelse



Figur 5.2 viser plassering av skredhendelsen 9. juli 2007. Den gule streken på figuren er profil linjen brukt til å lage profilene senere i oppgaven. Skredbuffer tilsier bredden på skredløpet.

Vi tegnet en profil linje langs skredbanen (figur 5.2) i ArcMap og laget ved bruk av denne terrengprofil og hellingsprofil for skredet.

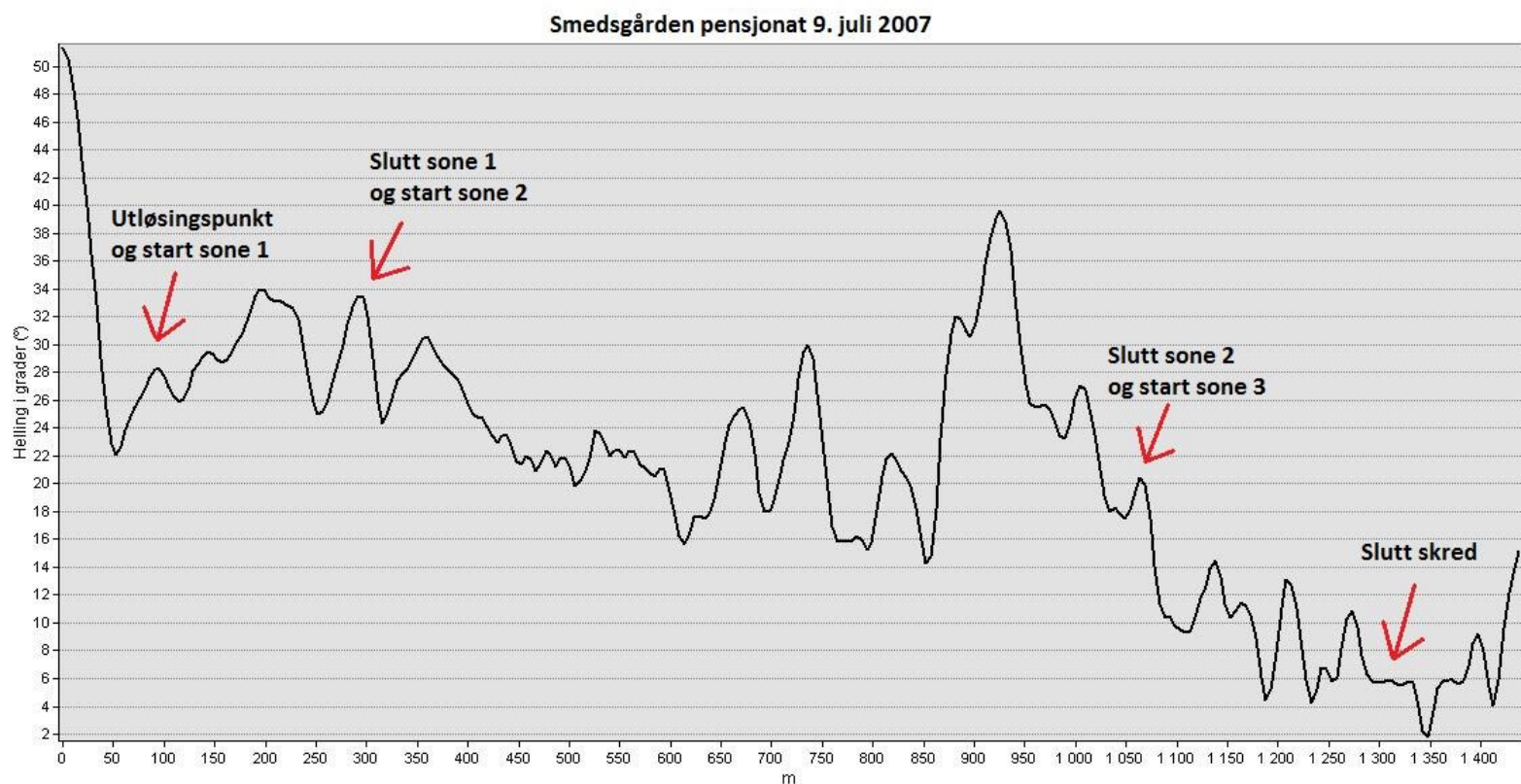
Terrengprofilen (figur 5.3) viser hvordan skredbanen ser ut med m o.h. på y-aksen og meter langs terrenget på x-aksen. De forskjellige sonene som er forklart senere i oppgaven er merket med røde piler i figuren. Ut ifra profilen ser det ut til å være en skredbane med en jevn nedadgående gradient frem til siste del av sone 2, etter dette jevner skredbanen seg ut. I slutten av sone 2 er det et stup i skredløpet, dette kan man se på terrengprofilen i figur 5.3. Dette stupet kan ha øket hastigheten mot slutten av skredbanen.



Figur 5.3 viser terrengprofil til skredhendelsen ved Smedsgården. De røde pilene viser til start og slutt på de ulike sonene.

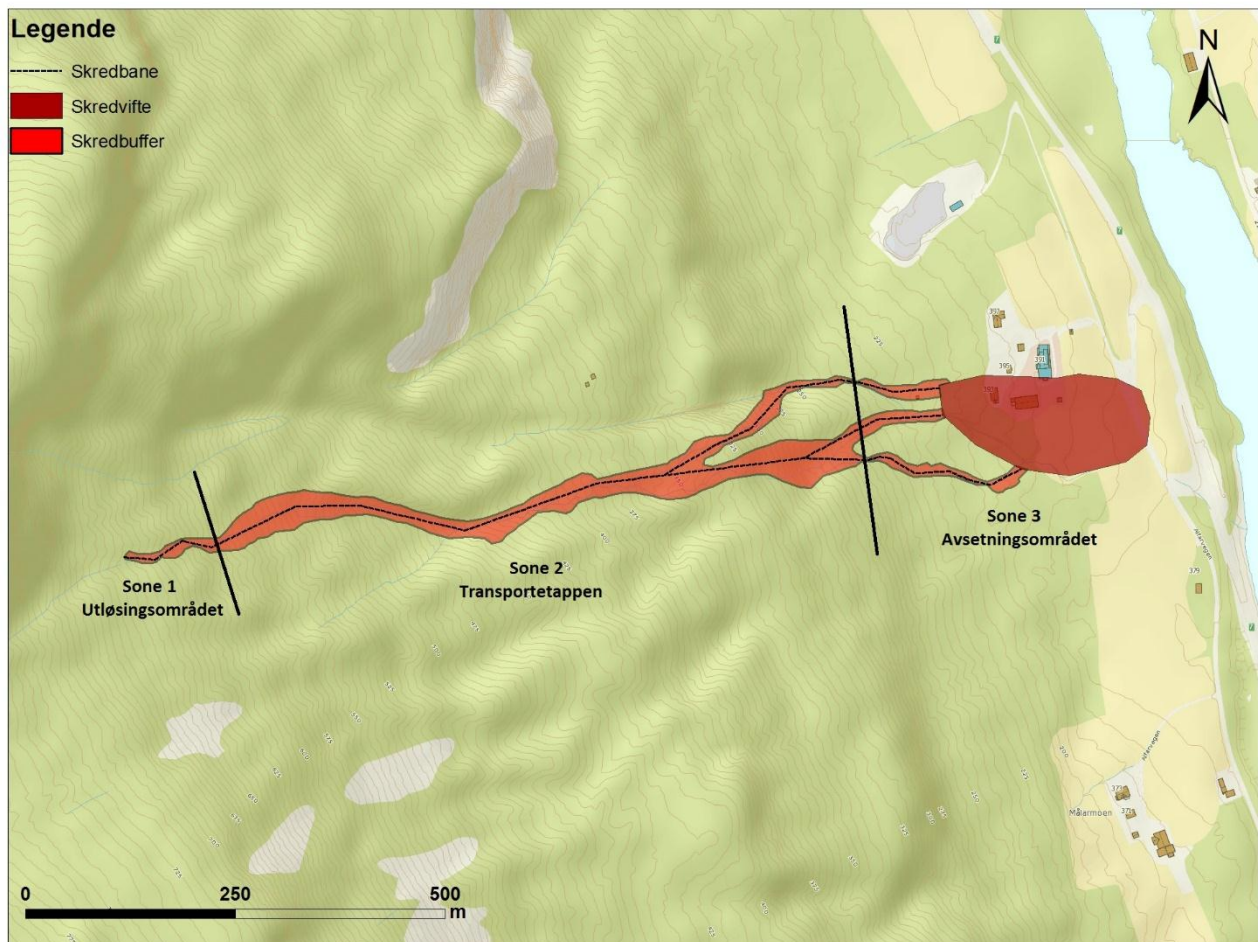
Figur 5.4 er en helningsprofil av skredbanen. X-aksen viser meter langs terrenget, likt som i figur 5.3, Y-aksen på denne figuren viser helning i graden ($^{\circ}$). Det er tydelig ut ifra figur 5.4 at skredløpet ikke har konstant helning. Helningen i utløsningspunktet er 28° . Helningen i sone 1 varierer fra $28-33^{\circ}$, vanlig helning i denne sonen er $28-40^{\circ}$. Helningsprofilen samsvarer bra med dette.

Sone 2 har helninger fra $15-40^{\circ}$. Det er store variasjoner i helningen gjennom denne sonen. Fra punktet med 40° helning stuper der fort med til 20° . Dette er det samme stupet man kan se i terrengprofilen (figur 5.3). Vanlig helning i sone 2 er $20-30^{\circ}$, dette skredløpet ligger både over og under dette. Sone 3 har gradienter fra $4-20^{\circ}$. Området med 20° helning stuper fort ned til 4° . Det er vanlig at sone 3 starter ved $15-20^{\circ}$, dette skredløpet har en starthelning på sone 3 som er 18° .

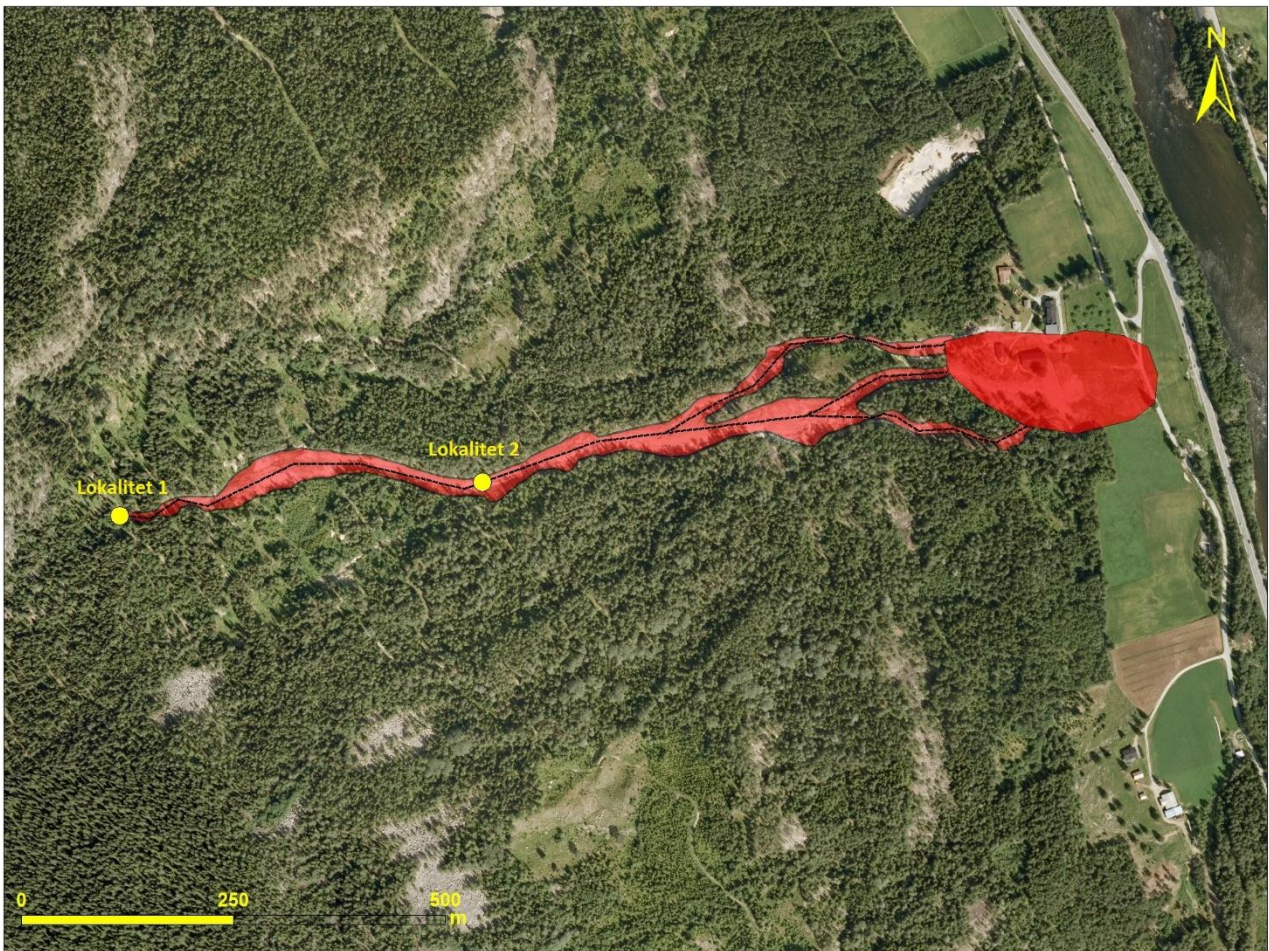


Figur 5.4 viser helningsprofil til skredhendelsen ved Smedsgården. De røde pilene viser start og slutt på de ulike sonene.

Vi har delt skredet inn i tre soner (figur 5.5). Hvor sone 1 er utløsningsområdet, sone 2 er transportetappen og sone 3 er avsetningsområdet. Vi har valgt å ta med to lokaliteter for dette skredet (figur 5.6). Lokalitet 1 viser utløsningspunktet, den blir beskrevet i sone 1. Lokalitet 2 ligger midt i skredløpet. Skredet svinger i denne lokaliteten, det er derfor et godt eksempel på avsetning i skredbanen. Denne blir beskrevet i sone 2.



Figur 5.5 viser inndelingen av skredbanen i tre soner. Skredbuffer tilsier bredden på skredløpet.

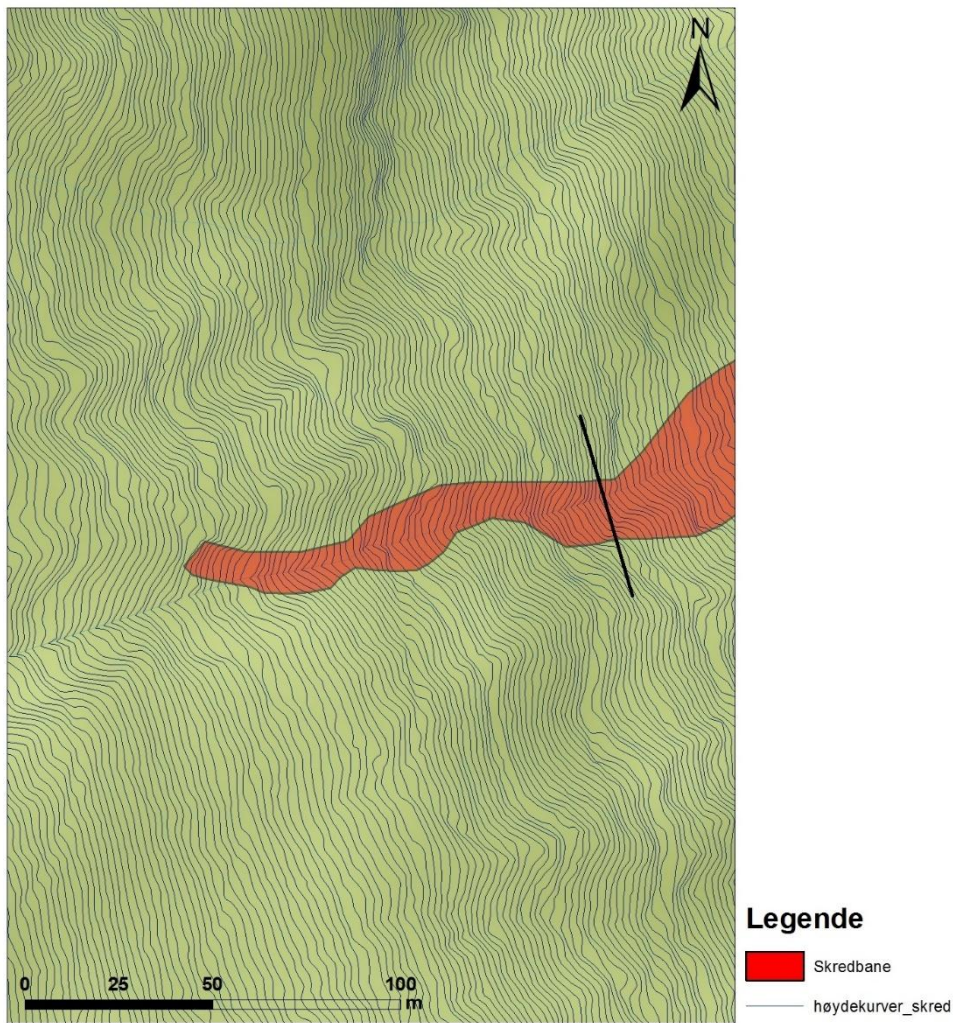


Figur 5.6 viser et flyfoto av fjellsiden ovenfor Smedsgården pensjonat. Skredet er markert med rødt. Lokalitetene vi har beskrevet nærmere er merket med gule prikker.

5.1.3 Sone 1: Utløsningsområde

Skredet starter 660m o.h. i en bratt skråning ovenfor Smedsgården pensjonat. Området rundt utløsningspunktet består av en fjellside på 20-30° helning (Kartverket, Geodata AS).

Helningsprofilet i figur 5.4 viser en helning på 28° i utløsningsområdet. Området er preget av tett barskog og mye vegetasjon. Massene observert i utløsningspunktet er matriksbåren morene, med en sandig matriks og steiner opp mot 1m i diameter. Det er et lag på 10-20cm med jordsmonn over morenelaget (figur 5.8).



Figur 5.7 Kart over sone 1 laget med 1m koter. Den svarte streken merker overgangen fra sone 1 til sone 2.

Det er et nettverk av skogsbilveier rundt utløsningsområdet for skredet. Dette kommer frem i figur 5.7, som er et kart laget med 1m høydekoter. Her ser man tydelig hvordan terrenget er utformet og hvordan skogsbilveiene møtes og splittes.



Figur 5.8 viser bakveggen i skredgropa ved utløsningspunktet. Det er tydelig morene med sandig matriks og steiner opp mot 1m i diameter. Foto: Renate R. Johansen

Skredet ble utløst i en skogsvei. 10m sør for utløsningspunktet ble det observert en bekk som gikk over skogsveien (figur 5.7). Ved og rundt bekken observerte vi vannmetta masser. Bekken kom fra over veien, ned langs bart fjell og ut på veien. Noe av vannet gikk videre over skogsveien, men en liten del av vannet beveget seg langs veien mot utløsningspunktet. Skogsveien var veldig gjengrodd (figur 5.9).



Figur 5.9 viser skogsbilveien der skredet ble utløst. Det er en gammel og igjengrodd skogsbilvei. Geologihammeren ligger midt i veien. Foto: Renate R. Johansen

Lokalitet 1



Figur 5.10 viser utløsningspunktet for skredhendelsen 9. juli 2007 ovenfra. Den røde streken viser begynnelsen på skredet og pilen viser retningen skredet tok. Foto: Renate R. Johansen

Lokalitet 1 er utløsningspunktet til skredet ovenfor Smedsgården. Skredet ble utløst midt i en gammel skogsbilvei. Skogsbilveien er synlig nede til venstre i figur 5.10. Vi kartla skredet 8 år etter det ble utløst, dette førte til at vi ikke observerte like mye erosjon i utløsningspunktet som det opprinnelig var. Som figur 5.10 og 5.11 viser at sedimentene i utløsningspunktet består morene. Figur 5.11 viser tydelig dårlig sortering, det ble observert kornstørrelser fra sand til blokker med 1m i diameter.



Figur 5.11 viser utløsningspunktet for skredhendelsen ved Smedsgården nedenfra. Den røde streken viser utløsningspunktet. Massene i utløsningspunktet er tydelig morene med steiner og blokker. Målestokken (personen) på bilde er 174cm. Foto: Oda K. Delbeck

5.1.4 Sone 2: Transportetappen

Transportetappen av et skred er der masser, som sedimenter, vegetasjon og stein/blokker blir erodert og transportert langs skredløpet. I dette skredløpet ble det ikke observert erosjon ned til fjell langs hele transportetappen, figur 5.12 viser et område der det derimot ble erodert ned til fjell. På sidene av skredløpet er det tydelig at vannmassene har erodert og tatt med seg materialer, vi ser at skredet har gravd seg ned i bekkeløpet.

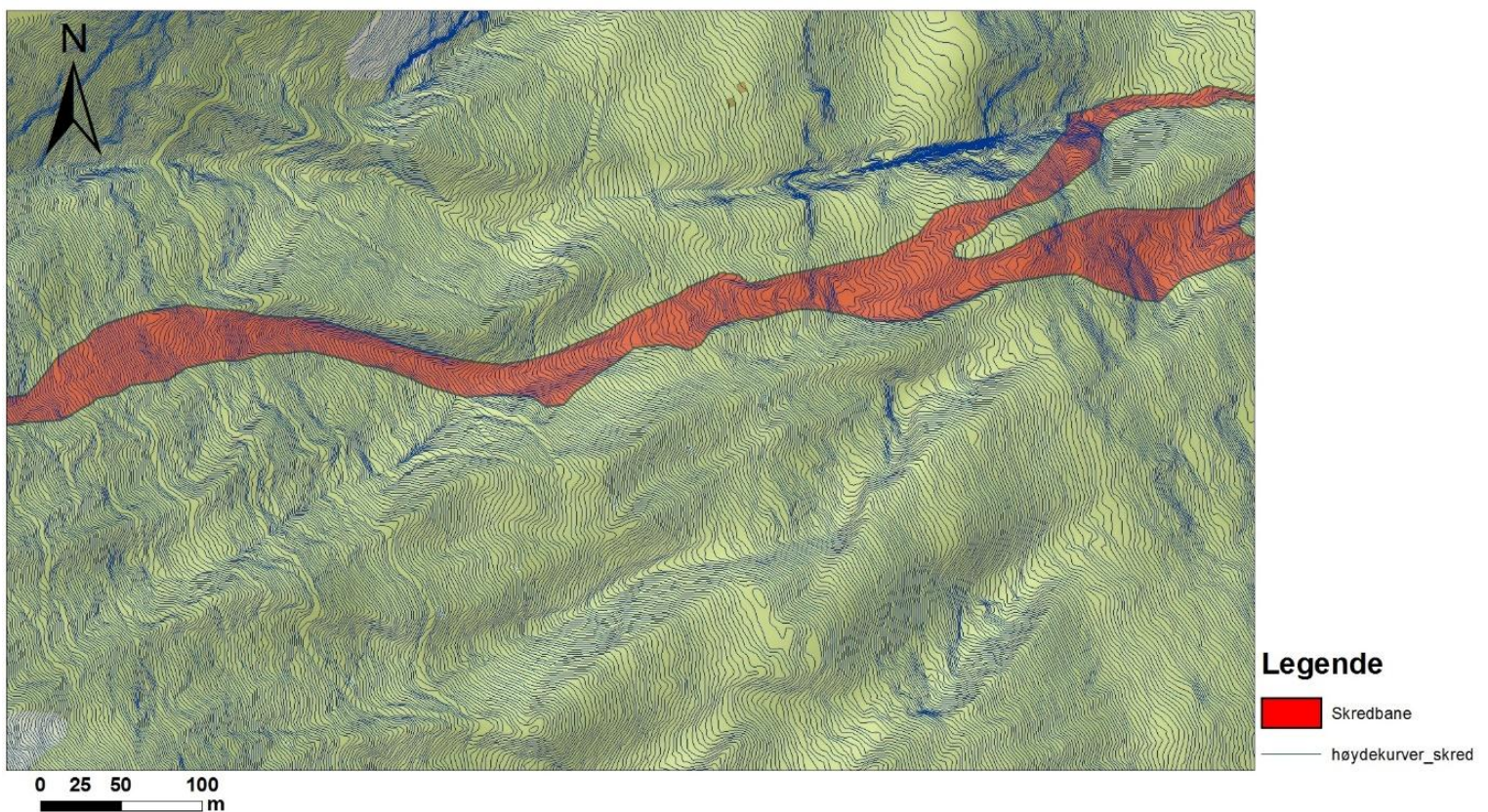


Figur 5.12 viser at skredet har erodert seg ned til fjellet. Det er tegn til erosjon til høyre i bildet. Foto: Renate R. Johansen

Vi vet at vi har kommet til transportetappen av skredet når det blir observert avsatte masser på hver side av skredløpet, samtidig som det er tydelige tegn til erosjon som fjell i dagen. Det bygges ofte opp rygger og levéer på begge sider av skredet.

I dette skredløpet var det ikke en tydelig overgang fra transportetappedelen til avsetningsdelen. Av den grunn at skredløpet ikke hadde samme helning fra start på sone 2 til slutt på avsetningsområdet. Det var områder i transportetappen med mindre helning enn andre. Områdene med mindre helning ble det avsatt skredmasser, mens områdene der helningen var større ble det erodert masser. Formen på terrenget langs transportetappen er lett å se på figur 5.13.

Skredbanen har fulgt et opprinnelig bekkeleie nedover skråningen. Deretter har skredbanen skilt seg i to ved en fjellknaus (figur 5.13). Skredbanen mot sør-øst fulgte det opprinnelige bekkeleiet, mens skredbanen mot nord-øst lagde et nytt skredløp (figur 5.13). Før fjellknausen begynte farten til skredet og avta grunnet slakere terreng, dette kan være grunnen til at skredet splittet seg ved fjellknausen istedenfor å gå rett over.



Figur 5.13 Detaljert kart over sone 2 for skredhendelsen ved Smedsgården laget med 1m koter.

Lokalitet 2



Figur 5.14 viser et eksempel på erosjon i skredbanen. Under den røde streken til høyre i bildet ser man at skredbanen har erodert seg inn i siden av skredbanen og tatt med seg masser på vei ned fjellsiden. De røde pilene viser retningen skredet beveget seg. Foto: Renate R. Johansen

Lokaliteten befinner seg nede i skredløpet som vist i figur 5.6. Her svinger skredløpet mot sør. Figur 5.14 viser yttersvingen av skredløpet. Når skredet beveget seg ned fjellsiden fulgte det et eksisterende elveløp. Dette medfører at skredløpet ikke går som en rett strek ned fjellsiden, men svinger seg med elveløpet.

Når skred svinger er det samme prinsipp som når en elv svinger. De største kreftene påføres yttersvingen og vil derfor erodere denne delen av skredløpet. Innersvingen i skredløpet opplever ikke like store krefter, derimot vil farten senkes og skredmateriale kan bli avsatt.

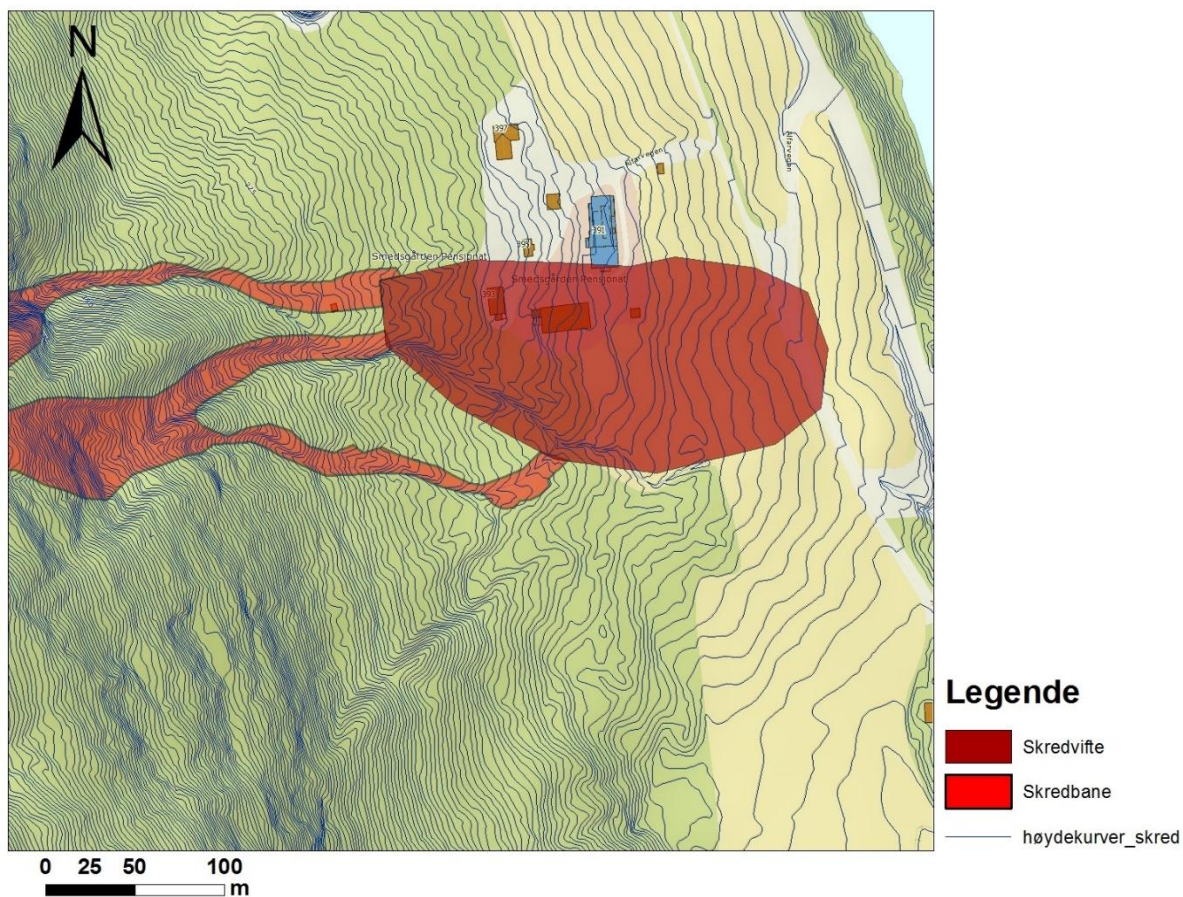
5.1.6 Sone 3: Avsetningsområde

Under intervju med eier av Smedsgården pensjonat, Morten Thoen, fikk vi vite at skredavsetningene ikke gjorde store skader på bebyggelsen. Figur 5.15 viser at skredmassene passerte bolighusene uten å gjøre noe skade. Vi ble også fortalt at skredavsetningene strakte seg helt ned til Alfarvegen.

Skredavsetningene ser ut til å være vannmettet og inneholde mye fine sedimenter. Figur 5.15 viser også mange blokker og vegetasjon i skredavsetningene. Vi tegnet inn skredviften i ArcMap på grunnlag av intervju med Morten Thoen og rapporter fra NGI. Skredviften og terrenget vises på figur 5.16.



Figur 5.15 Skredavsetningene dagen skredet gikk, 09.07.2007. Skredavsetningene går mellom to bolighus ved Smedsgården pensjonat. Foto: Ørjan Nerland, NGI (epost 04.04.16).



Figur 5.16 Detaljert kart over sone 3 laget med 1m koter.

5.1.6 Test av rekkevidden fra NGI sin alfa-beta metode

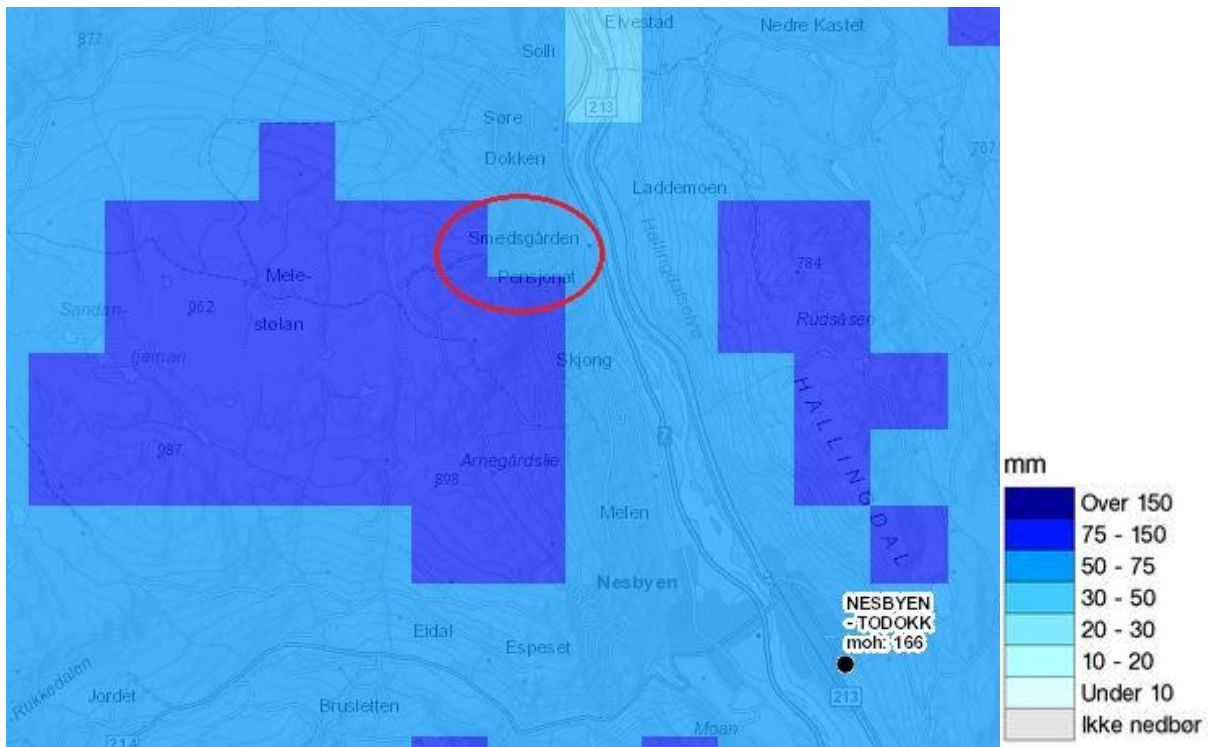
Det ble med beregninger med NGI modellen tydelig at den ikke samsvarte med våre rekkevidde resultater (Vedlegg 1). I følge NGI Modellen blir rekkevidden på Smedsgården 1378,4m, dette stemmer ikke med rekkevidden vår på 1200m. Ved å bruke NGI modellen blir $\beta = 24,4^\circ$ og $\alpha = 19,2^\circ$. Alfa vinkelen ut i fra våre resultater $\alpha = 21,8^\circ$. NGI modellen får lengre rekkevidde enn det vi får.

5.1.7 Nedslagsfelt og Nedbør

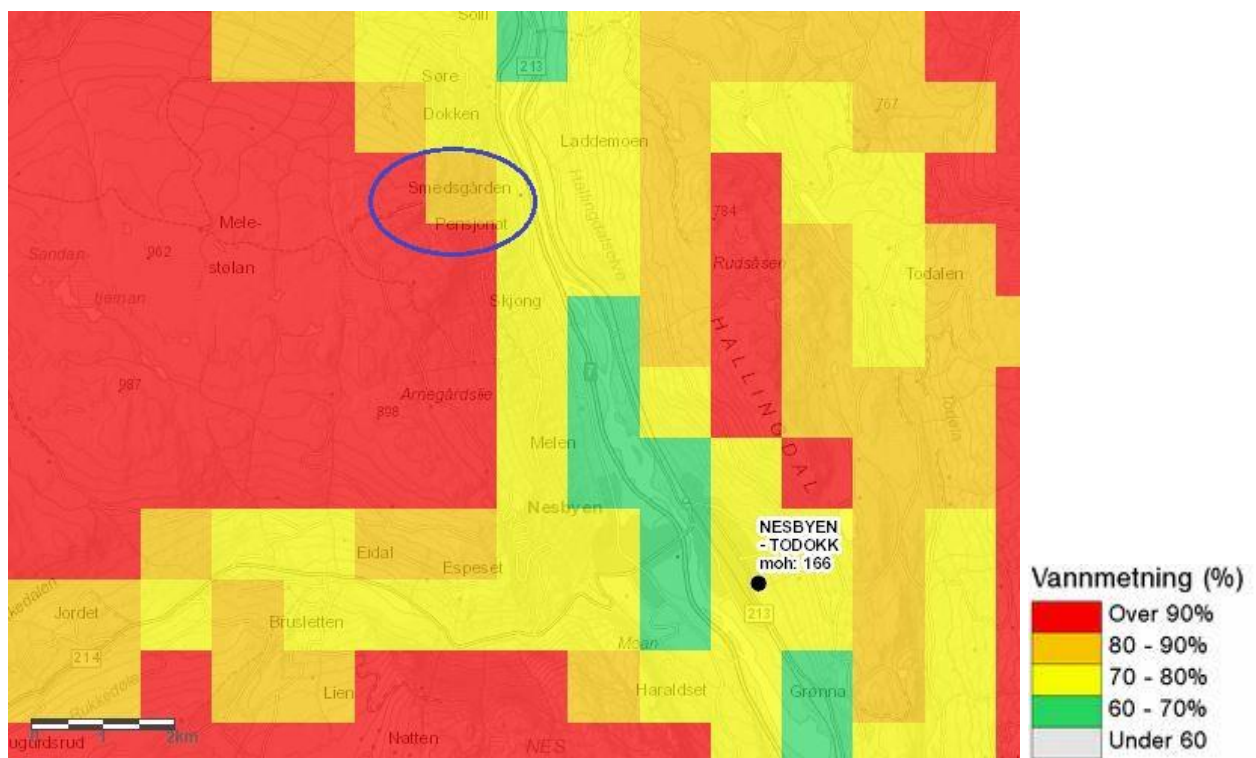
Smedsgården opplevde mye nedbør uken før skredet gikk. Ut ifra vannmetningskart og nedbørskart kan vi se at fjellsidens vannmetningsgrad økte fra tirsdag 03.07.2007 (NVE, ingen dato). Nedbørsmengden sank betydelig helgen før, men vannmetninga sank ikke. Mandag 09.07.2007 kom det 52,5mm nedbør i løpet av dagen (figur 5.18). Vi fant ikke ut når på døgnet denne nedbøren kom, men vi vet at sedimentene i fjellsiden var over 90% vannmettet (figur 5.19).

På grunn av vannmetningsgraden i fjellsiden og nedbørsmengden denne uken gjør at skredfaren over Smedsgården var stor. Fjellsiden ved Smedsgården vender nord-øst. Vind fra østlig retning fører ofte med seg mye fuktighet og regn, dette fører til at østvendte fjellsider er mer skredutsatt enn vestvendte fjellsider. Ut ifra denne informasjonen kan vi si at dalsiden ved Smedsgården er mer skredutsatt en ikke østvendte dalsider.

Nedbørsmengde dagene før var høy, og dette gjør at jorden i skråningen blir vannmettet, dette og bratt terreng gjør fjellsiden ustabil og faren for skred øker. Hvor akutt skredfaren er i en skråning er avhengig av hvor raskt tilførselen av vann skjer og hvor vannmettet jorden er på forhånd.

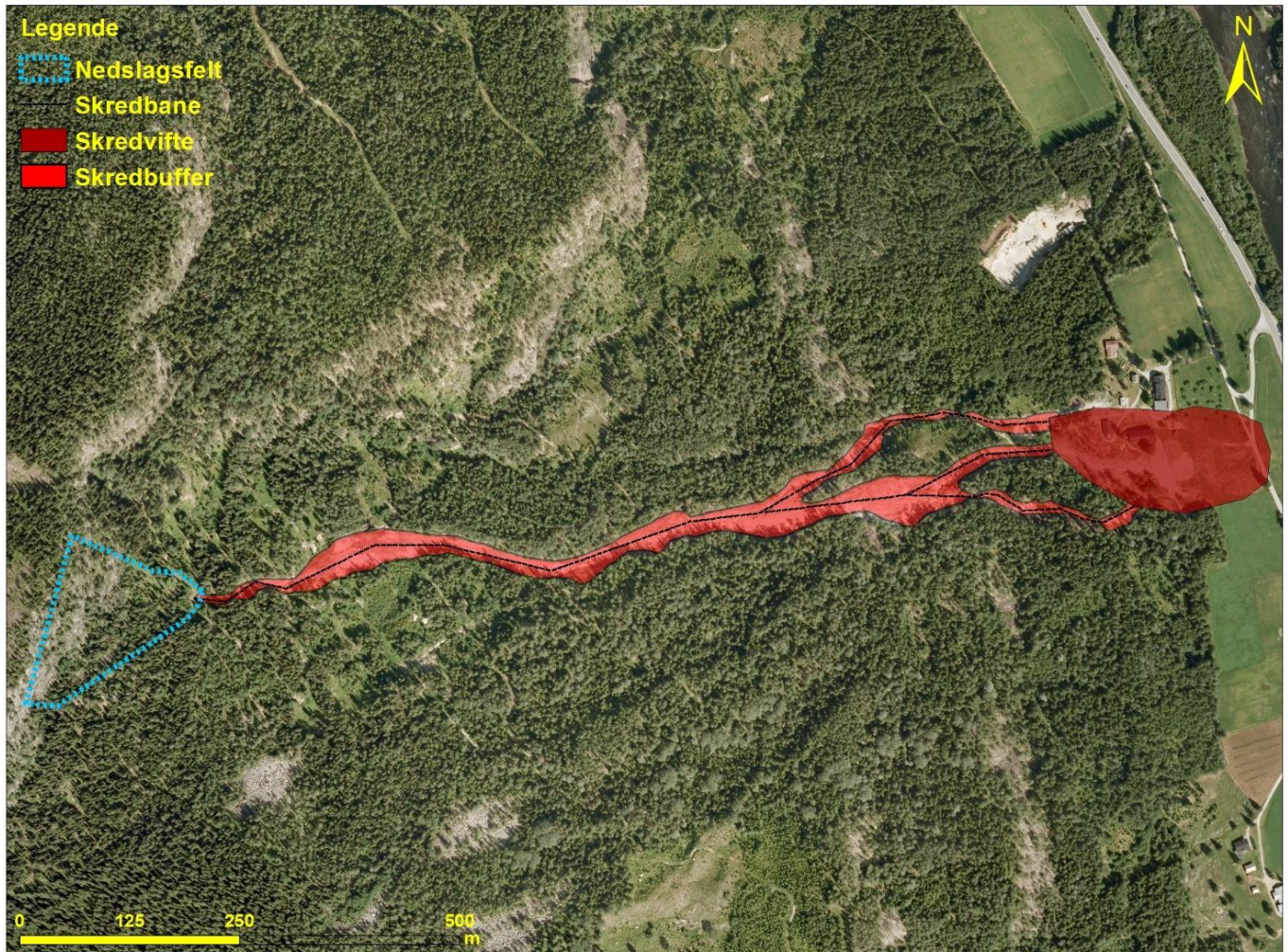


Figur 5.18 viser dagsnedbøren for Arnegårdslie og Smedsgården 09.07.2007. Den røde sirkelen viser hvor Smedsgården ligger. Dataeier: Metrologisk institutt, xgeo.no



Figur 5.19 viser vannmetningsgraden for Arnegårdslie og Smedsgården 09.07.2007. Den blå sirkelen viser hvor Smedsgården ligger. Dataeier: NVE, xgoe.no

Nedslagsfeltet er beregnet ut ifra 1m høydekoter i ArcMap (figur 5.20), der vi ser hvordan terrenget er utformet. Arealet på nedslagsfeltet er 20 066,2 m². Det er dette området som mater utløsningsområdet med vann under nedbørsperioder.



Figur 5.20 viser kart over skredet ved Smedsgården pensjonat. Det blå stipla området er nedslagsfeltet for utløsningspunktet. Skredbuffer tilsier skredbanens bredde.

5.2 Alfarveien 10. juni 2011

5.2.1 Innledning

Skredet gikk nord-vest for Nesbyen sentrum fredag kveld 10. juni 2011. Et boligområde ble evakuert på grunn av skredet. Et av bolighusene hadde skredmasser 1 meter opp på husveggen og to garasjer ble ødelagt. Skredet startet i en gjengrodd skogsvei. Det var store nedbørmengder døgnet før og frem mot skredhendelsen. På grunn av en lengre periode med nedbør var bakken trolig vannmettet (Solheim A, 2011).

Nordre Buskerud Politidistrikt tok kontakt med NGI på grunn av problemer med skred og ustabile masser flere steder i Hallingdal. NGI var på befaring dagen 11.06.2011, dette for å vurdere om det var fare for nye skred mot et boligområdet (figur 5.21 og 5.22) der 10 personer var evakuert.

Flomskredet hadde løsnet i kanten av en gjengrodd skogsbilvei som gikk på tvers av fjellsiden. Lengre oppe i veien var det en liten bekk med løp ut i og langs skogsbilveien. Vannet til denne bekken drenerte ut i skråningen og til skredets utløsningsområdet. Denne bekken er muligens tørr i perioder med lite regn.

Skredet startet på nedsiden av skogsbilveien, utløsningsområdet var ca. 30m bredt. Det ser ut som et flak på en halv meters tykkelse har glidd ut. Massene har så blitt transportert nedover en ravine og erodert kraftig langs skredløpet. Skredløpet er preget av tydelige levéer på hver side. Skredet tok med seg blokker og trær i hendelsen. Trærne som stod igjen hadde spor av materiale opp til 2.3 meter opp på stammen, dette viser at det har vært store vannmengder involvert i skredhendelsen (Solheim A, 2011).



Figur 5.21 Dette bildet viser avsetningsområdet ned mot bolighusene som ble rammet 10.06.11. Garasjen til venstre i bilde ble fylt med skredmasser. Foto: Anders Solheim, NGI



Figur 5.22 Det røde huset i bilde fikk skredmasser oppover husveggen. Foto: Anders Solheim, NGI

5.2.2 Beskrivelse



Figur 5.23 Plassering av skredet ved Alfarvegen. Den gule linjen er profil linjen brukt for å lage terrengprofil og helningsprofil. Skredbuffer tilsier skredbanens bredde.

Vi tegnet inn en profil linje langs skredbanen (figur 5.23) i ArcMap, linjen ble brukt til å lage en terrengprofil og en helningsprofil av skredbanen. Terrengprofilen (figur 5.24) viser hvordan skredbanen ser ut plottet med m o.h. på y-aksen og meter langs terrenget på x-aksen. De forskjellige sonene av skredet er merket inn med røde piler. Terrengprofilen viser en skredbane som gradvis blir slakere mot slutten. Under befarings ble det observert to stup i skredbanen, dette er ikke tydelig i terrengprofilen.

Alfarvegen 10. juni 2011

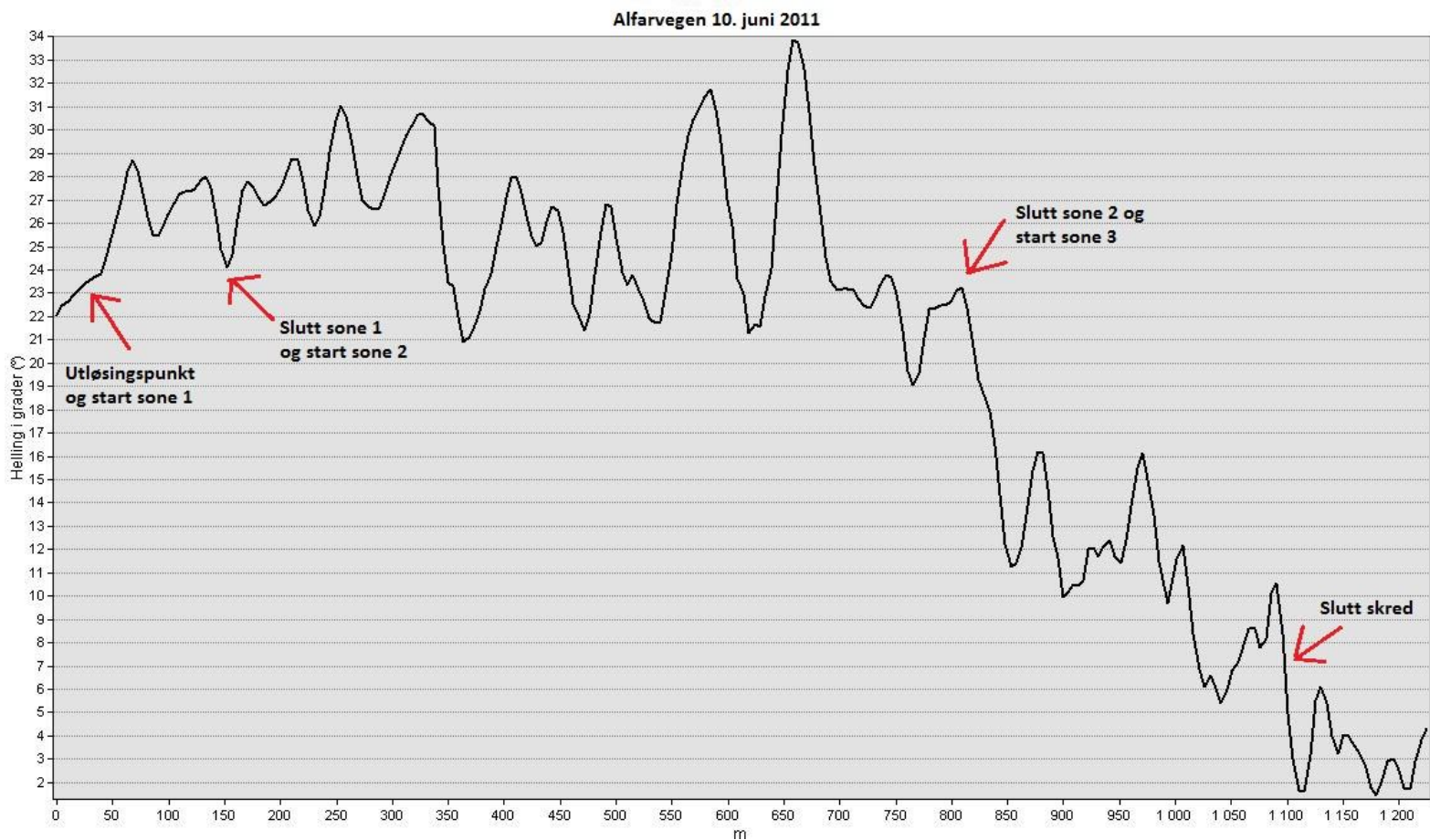


Figur 5.24 viser terrengprofil av skredhendelsen 10. juni 2011. De røde pilene viser til soneinndelingen av skredet.

Figur 5.25 er en helningsprofil av skredbanen. X-aksen viser meter langs terrenget og y-aksen viser helning i grader ($^{\circ}$). I terrengprofilen virker det som skredbanen hadde så å si samme gradient fra utløsningspunkt til avsetningsområde, det er ikke samme tilfellet i helningsprofilen.

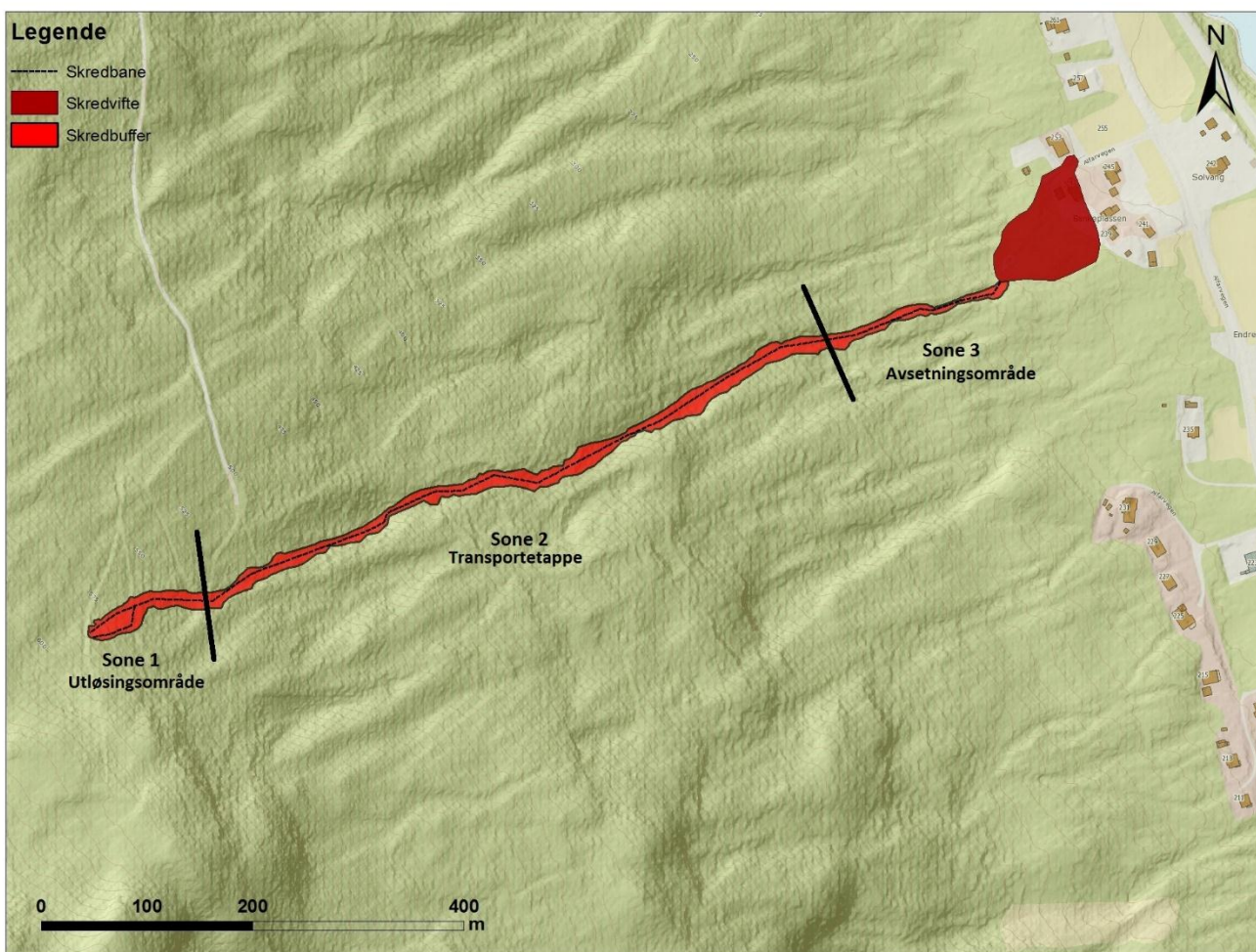
Helningen i utløsningspunktet er 23° . Helningen i sone 1 varierer fra 23° - 29° , vanlig helning i denne sonen er 28° - 40° . Denne skredbanen ligger under det som er vanlig på denne sonen. Sone 2 har en helning fra 21° - 34° . De to stupene nevnt tidligere er mer tydelige på denne helningsprofilen. De området der hellingen går fra 34° til 19° mot slutten av sone 2, er et tegn på at helningen går fra stor til liten over en kort distanse. Vanlig helning i denne sonen er 20° - 30° , denne helningsprofilen samsvarer bra med dette. Sone 3 har en helning fra 7° - 23° .

Sone 3 begynner med en helning på 23°, men går raskt ned til 11°. For flomskred er det vanlig at sone 3 starter med en helning på 15-20°.

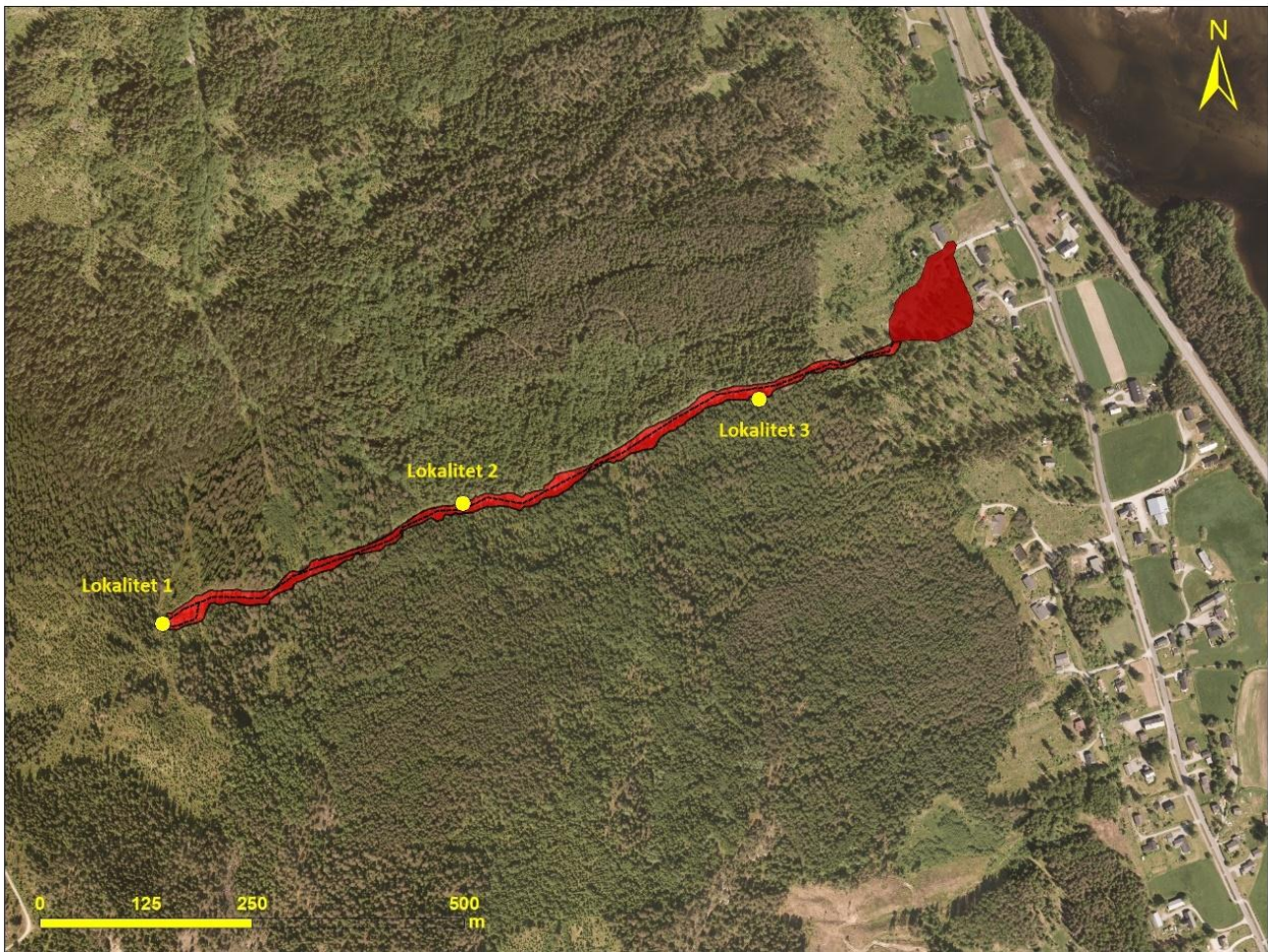


Figur 5.25 viser helningsprofil til skredhendelsen 10. juni 2011. De røde pilene viser til soneinndelingen av skredbanen.

Vi har valgt å dele skredet inn i tre soner (figur 5.26). Sone 1 er utløsningsområdet. Sone 2 beskriver transportetappen, og sone 3 er avsetningsområdet. Vi skal også beskrive tre lokaliteter (figur 5.27). Disse befinner seg i de ulike sonene. Lokalitet 1 er utløsningsområdet, denne lokaliteten går nærmere inn på selve utløsningspunktet enn det som blir beskrevet om utløsningsområdet i sone 1. Lokalitet 2 er en av svingene skredløpet tar. Lokalitet 3 er punktet mellom transportetappen og avsetningsområdet.



Figur 5.26 viser inndelingen av skredbanen i tre soner. Skredbuffer tilsier skredbanens bredde.



Figur 5.27 viser hvor skredhendelsen ved Alfarvegen er plassert i terrenget. De gule sirklene på kartet viser til de tre lokalitetene som skal beskrives.

5.2.3 Sone 1: Utløsningsområde

Skredet starter i et område med veldig liten helning. Der skredet ble utløst er det 23° helning (figur 5.25). Området er preget av moderat til tett barskog og mye vegetasjon. Massene observert i utløsningspunktet begynner med 30-40cm med jordsmonn og røtter, under dette laget ble det observert leire, fin sand og grus (figur 5.28).



Figur 5.28 viser utløsningspunktet. Målestokk er 1m. Foto: Renate R. Johansen

Utløsningsområdet til dette skredet er veldig stort. Det er tegn til flere utløsningspunkt, dette kan tyde på at det er gått flere skred fra samme område (figur 5.29). Over det store utløsningspunktet går en veldig gammel og igjengrodd skogsbilvei. Trær og gress har forårsaket at skogsbilveien var vanskelig å finne ute i felt. Figur 5.30 viser det vi tror kan ha vært det utløsende punktet for dette skredet. Det var tydelig i felt at den nyeste skredbanen begynte nord i utløsningsområdet, figur 5.30 viser til dette punktet.

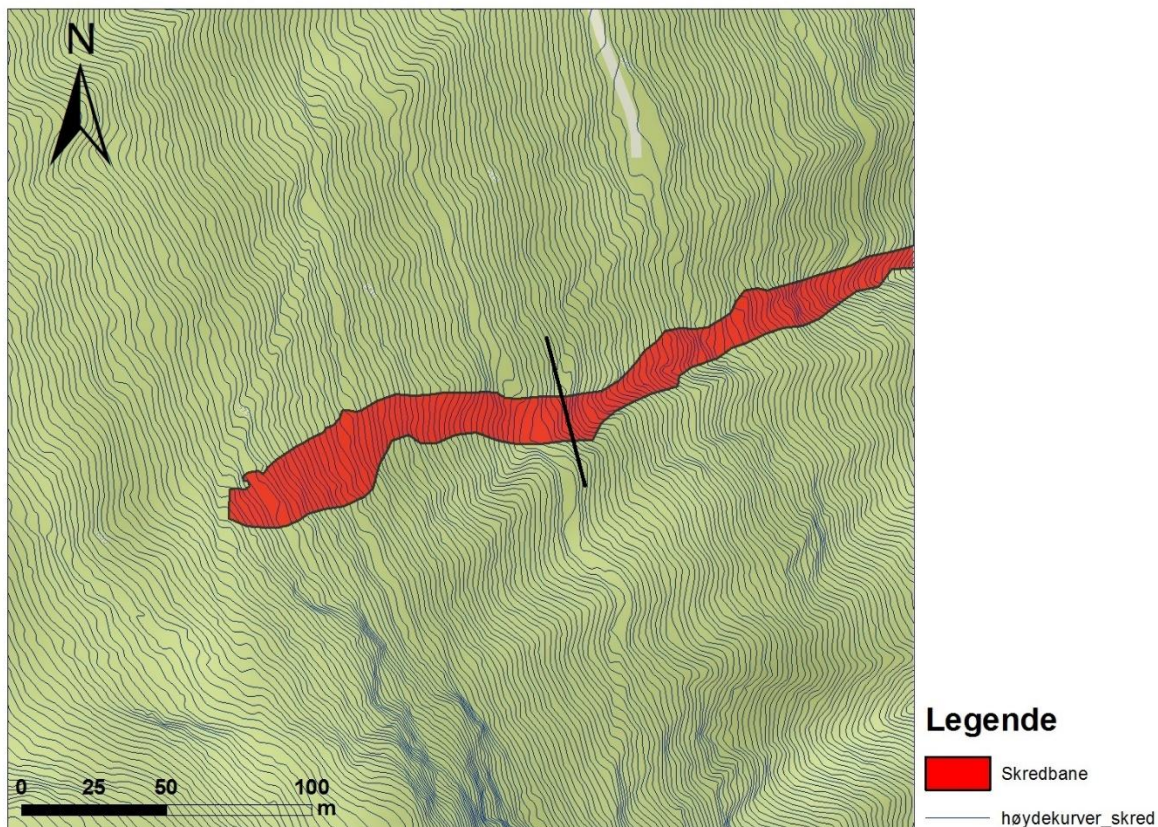


Figur 5.29 viser utløsningspunktet. Det er et veldig stort område, det er ingen tegn til grunnfjell før lengre nede i skredbanen. Foto: Renate R. Johansen.

Vi observerte ingen elver i området rundt utløsningspunktet. Gjennom en av NGI sine rapporter fant vi ut at det går en flombekk lengre sør i fjellsiden, denne har bekkeløp ned til utløsningsområdet under flomperioder (Solheim A, 2011). Skogsbilveien over utløsningsområdet vises tydelig i figur 5.31. Dette kartet er laget fra 1m høydekoter og viser tydelig hvordan terrenget er utformet i sone 1.



Figur 5.30 viser det vi mistenker som det utløsende punktet for skredet. Den røde streken viser omrisset av utløsningspunktet. Det er også tegn til en skogsbilvei til høyre for den røde streken. Foto: Renate R. Johansen



Figur 31 Detaljert kart over sone 1 laget med 1m koter. Den svarte streken på kartet viser til overgangen mellom sone 1 og 2.

Lokalitet 1

Lokalitet 1 er utløsningspunktet (figur 5.27), figur 5.29 viser store deler av utløsningsområdet. Figuren viser at skredet ikke tok med seg alle massene i utløsningsområdet. For et flomskred er dette uvanlig. Utløsningsområdet til et flomskred er vanligvis rensket for løsmasser. For dette skredet ligger det igjen alt fra fin sand til blokker. Utløsningspunktet er også veldig stort, noe som tilsier at det kan være et utløsningsområde for flere skred. Det ble observert to skredløp nedover fra dette punktet.

5.2.4 Sone 2: Transportetappe

Transportetappen av skredet er der masser som sedimenter, vegetasjon og stein/blokker blir revet løst og transportert langs skredløpet. I dette skredløpet var det ikke tegn til fjell før 100m nedenfor utløsningspunktet (figur 5.32). Skredløpet fulgte et eksisterende bekkeløp. Bekkeløpet tilhører en flomelv, og vil dermed være tørr store deler av året.

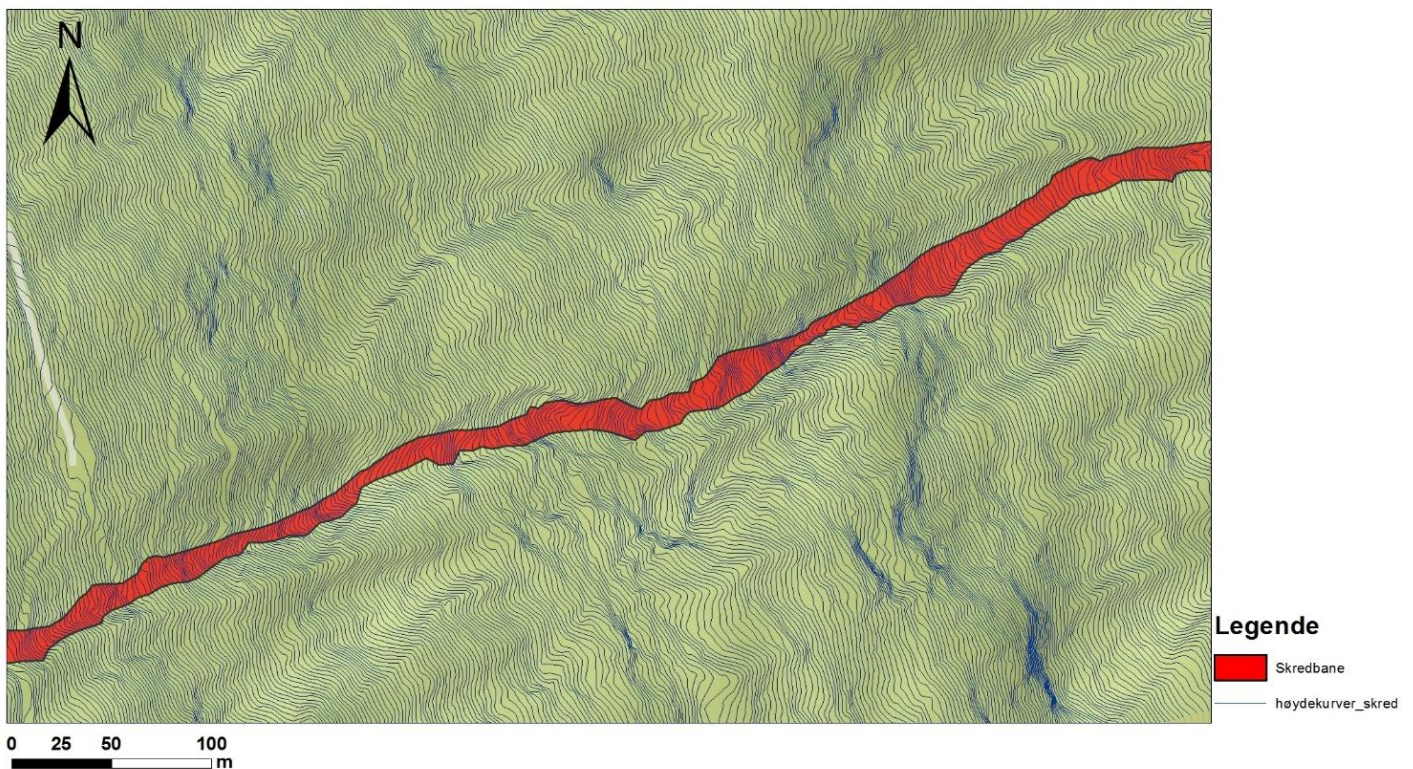


Figur 5.32 viser eksempel på fjell i dagen. Fjellet som er synlig på bildet ligger midt i skredbanen. Under den røde streken til høyre i bildet ser man tydelige tegn til erosjon i kanten av skredbanen.

Vi vet at skredløpet har gått over til transportetappen når det blir observert avsatte masser på hver side av skredløpet, samtidig som det er tydelige tegn til erosjon. Det bygges ofte opp rygger/levéer på begge sider av skredet. Transportetappen på dette skredet er veldig lang, det ble observert avsatte masser og grunnfjell i dagen helt fra 100m under utløsningspunktet, ned til 195m over et sedimentbasseng.

I dette skredløpet var det ingen tydelig overgang fra utløsningsområdet til transportetappen, av den grunn at det var avsatt skredmasser før tegn til erosjon i skredløpet. Vi valgte å sette denne grensen ved første tegn til fjell i dagen. Overgangen fra transportetappen til avsetningsområdet var mye tydeligere. Det var et punkt i skredløpet der det ikke var tegn til erosjon, men mye avsatte masser. Dette begynte ved soneinndelingen mellom sone 2 og 3 (figur 5.27).

Dette skredløpet har variasjoner i helning, det vil si at terrenget forandrer helning gjennom hele transportetappen. Skredløpet tar to bratte stup, dette kan ha ført til en økning av hastigheten. Stupene kan observeres i figur 5.33, figuren er et detaljert kart over terrenget i sone 2 laget av 1m høydekoter.



Figur 5.33 Detaljert kart over sone 2 for skredhendelsen ved Alfarvegen laget med 1m koter.

Lokalitet 2

I dette punktet svinger skredløpet, det er derfor avsatt materialer i skredløpet. Figur 5.34 viser disse avsetningene, figuren viser også at massene er avsatt i yttersvingen. Dette er svært uvanlig, men om man ser til venstre i figuren blir terrenget betydelig brattere etter skredløpet svinger. Dette kan føre til at hastigheten var liten da skredbanen svinget og skredmasser ble avsatt i yttersvingen.



Figur 5.34 viser lokalitet 2. Massene under den røde streken er avsatt i yttersvingen, de røde pilene viser skredløpets retning. Foto: Renate R. Johansen

5.2.5 Sone 3: Avsetningsområde

Avsetningsområdet begynte om lag 170m før skredviften. Det var tydelige tegn på avsetning av skredmasser og lite tegn til erosjon. Punktet det går fra erosjon til avsetning er lokalitet 3 som blir forklart senere i oppgaven (figur 5.28).

Skredviften gikk ned i Bankeplassen boligfelt. Viften strakte seg forbi husene, men det ble ingen permanent skade på boligfeltet. I avsetningsområdet bak boligfeltet er det i senere tid bygget et sedimentbasseng som har i hensikt å samle opp de minste sediment partiklene og regulere vannføringen ned til boligfeltet (figur 5.35 og 5.36).

Det er mulig at det var en liten bekk i retning boligfeltet før skredet gled ut, i ettertid kan denne bekken ha blitt større. Dermed ble det behov for et sedimentbasseng bak boligfeltet for å regulere vannføringen.



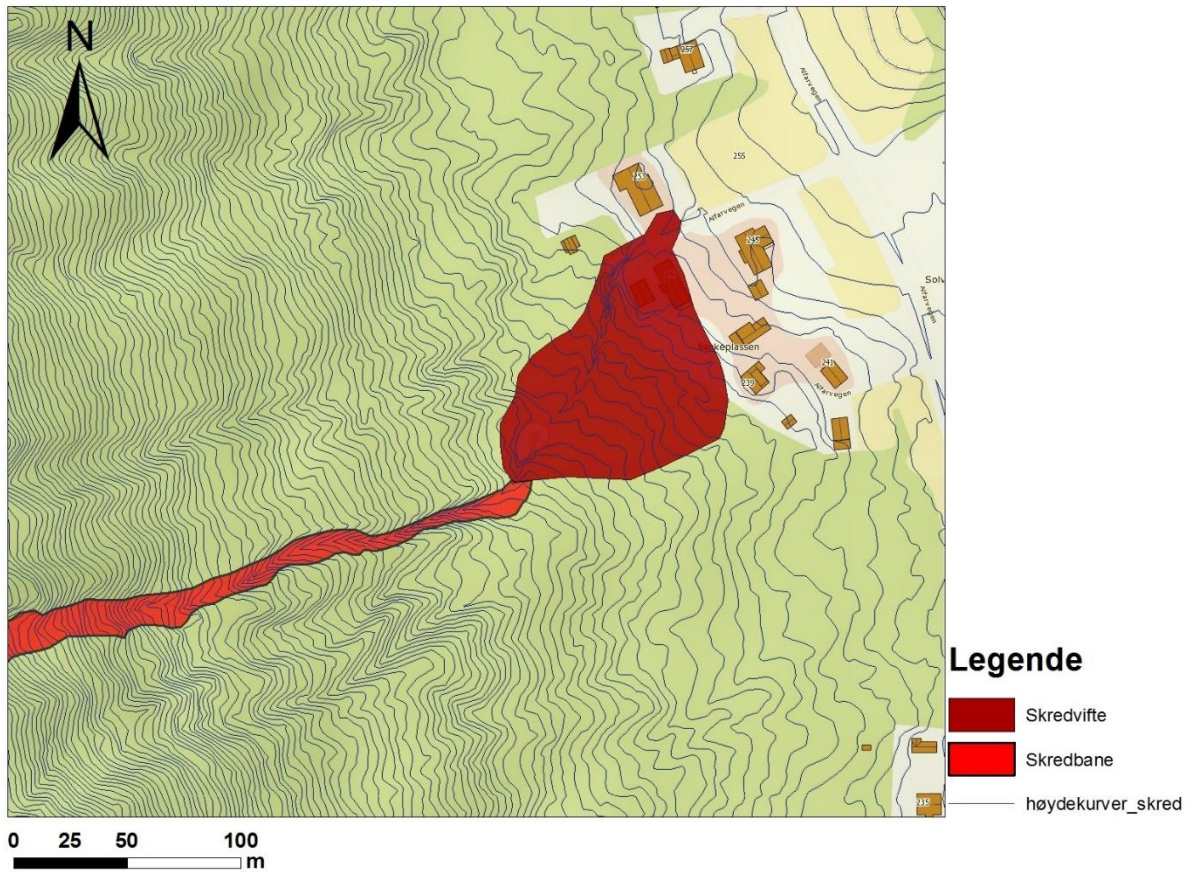
Figur 5.35 viser sedimentbassenget bak boligfeltet Bankeplassen. Den røde pilen viser hvor skredbanen gikk før bassenget ble bygget. Foto: Renate R. Johansen



Figur 5.36 viser sedimentbassenget sett nedenfra. Den røde sirkelen viser hvor bassenget er.
Foto: Renate R. Johansen

Grunnet befaring 5 år etter skredhendelsen var det ikke mye å observere i avsetningsområdet. Alle skredmassene var ryddet bort kort tid etter skredhendelsen. Mye av informasjonen vi har om avsetningsområdet er fra NGI sine rapporter.

Gjennom rapportene tilegnet vi oss kunnskap om hvor skredviften var plassert og hvor langt den strakte seg. Den er tegnet inn i ArcMap og figur 5.37 viser et detaljert kart over terrenget i avsetningsområdet. Figuren er laget ved å bruke 1m høydekoter over Nes kommune i Hallingdal.



Figur 5.37 Detaljert kart over sone 3 laget med 1m koter.

Lokalitet 3

Dette er i punktet avsetningsområdet begynner. Figur 5.38 viser området, bildet er tatt 5 år etter skredhendelsen, det er derfor mye vegetasjon i området. Det er ingen tegn til erosjon i figuren, men derimot store rygger. Det ble ikke observert store tegn til erosjon lengre nede i skredløpet etter dette punktet.



Figur 5.38 viser lokalitet 3. De skraverte områdene på figuren er rygger avsatt av skredet. I midten av skredløpet mellom de skraverte områdene er det mye vegetasjon, det er også store blokker avsatt. Foto: Renate R. Johansen

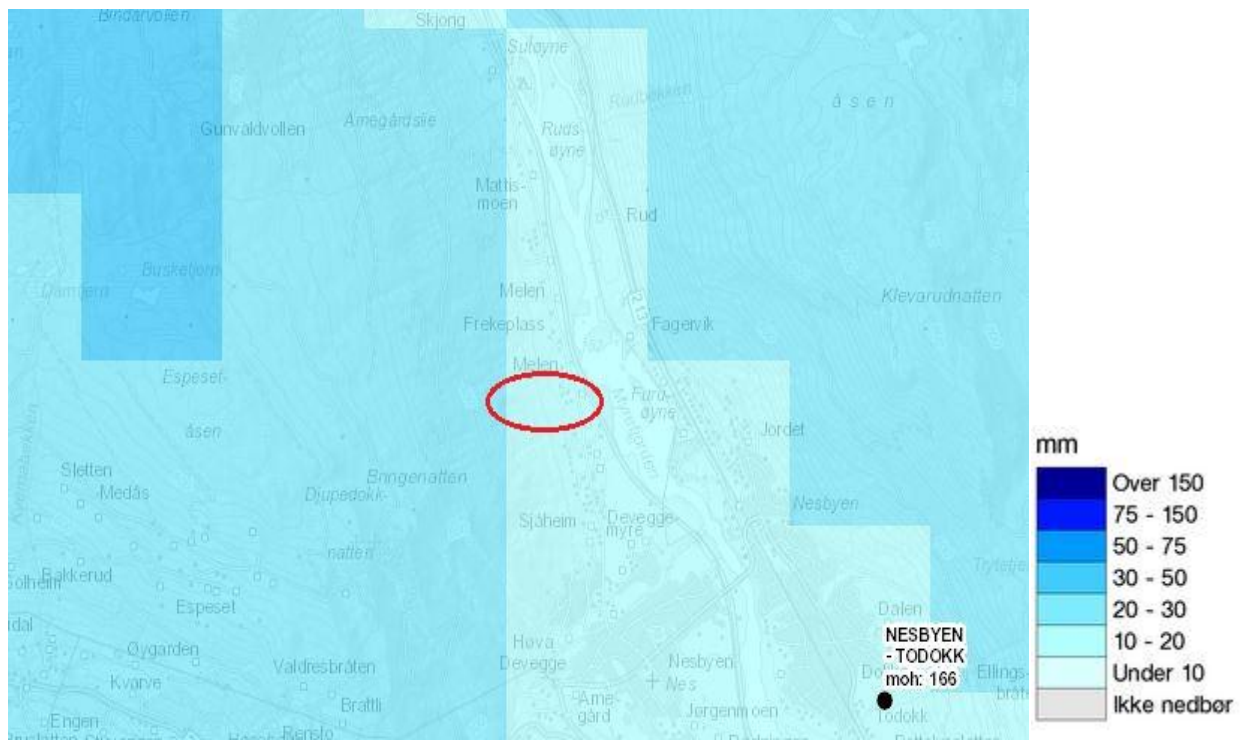
Under vegetasjonen midt i figur 5.38 er det avsatt mye blokker. Når skredet mistet fart i dette punktet begynte det å avsette de større kornstørrelsene. Ryggene avsatt i dette punktet er også ganske store.

5.2.6 Test av rekkevidde fra NGI sin alfa-beta metode

Det ble med beregninger med NGI modellen tydelig at den ikke samsvarte med våre rekkevidde resultater (Vedlegg 1). I følge NGI Modellen blir rekkevidden på Alfarveien 1160m, dette stemmer ikke med rekkevidden vår på 1075m. Ved å bruke NGI modellen blir $\beta = 24,7^\circ$ og $\alpha = 19,7^\circ$. Alfa vinkelen ut i fra våre resultater $\alpha = 21,1^\circ$. NGI modellen får lengre rekkevidde enn det vi får.

5.2.7 Nedslagsfelt og Nedbør

Døgnet frem mot skredhendelsen 10.06.2011 kom det store nedbørsmengder (figur 5.39). Før dette var det en lengre periode med mye nedbør. (Solheim A, 2011). Nedbørsdata fra metrologisk institutt (figur 5.39) viser at det kom 20-30mm nedbør døgnet før skredhendelsen. Den røde sirkelen på figur 5.39 viser hvor skredet hadde avsetningsområdet og traff bebyggelse. I området med den rødesirkelen kan vi se det kom 10-20mm, men i området over hvor skredet startet var det 20-30mm.



Figur 5.39 Figuren viser nedbørsmengden de siste 24 timene før skredet ved Alfarvegen 10.06.11. Den røde sirkelen viser hvor Bankeplassen boligområdet ligger. Dataer: Metrologisk institutt, xgeo.no

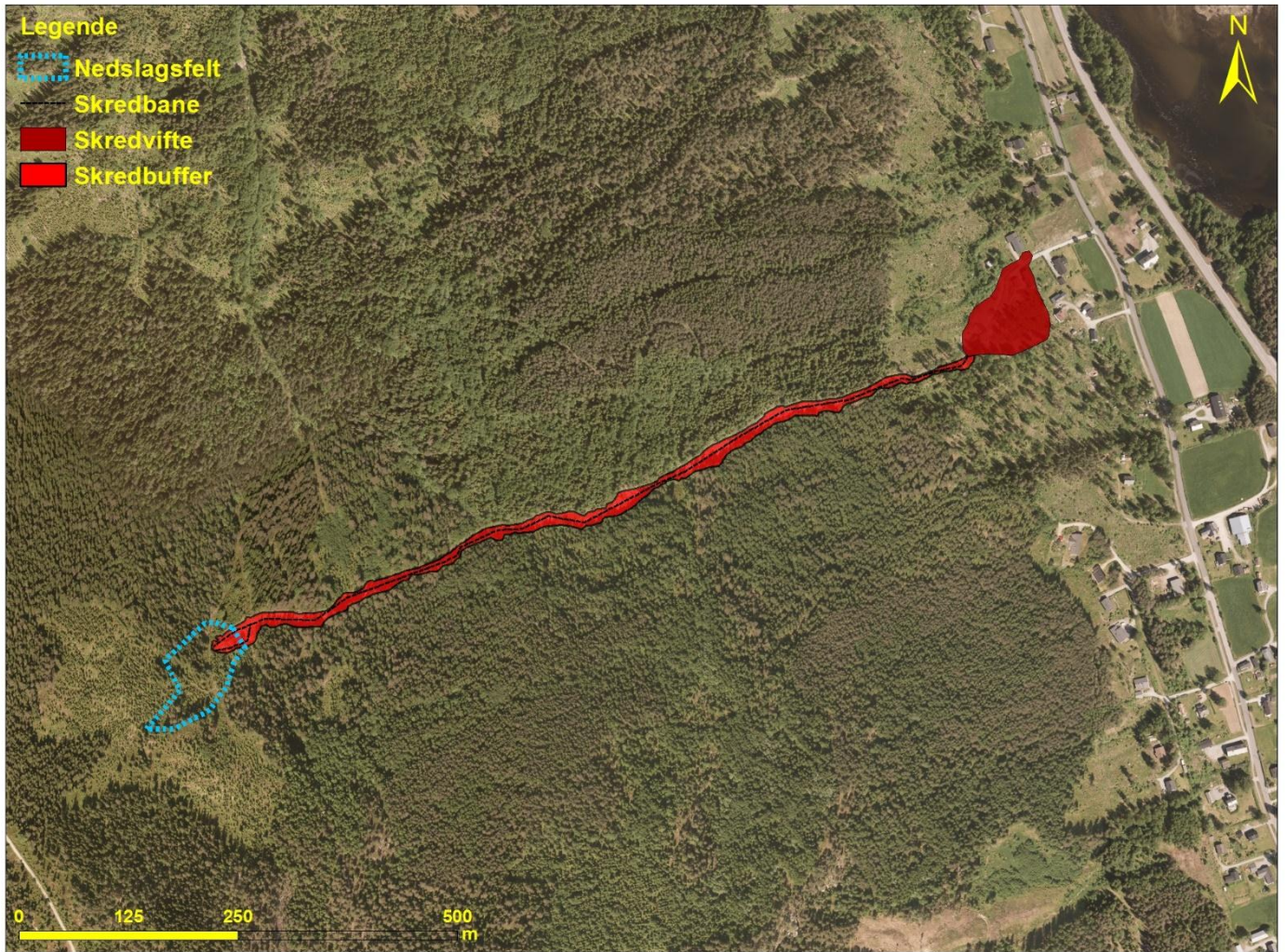


Figur 5.40 viser vannmetningsgraden for skredhendelsen ved Alfarvegen ovenfor Bankeplassen den 10.06.11. Skredbanen til skredet ligger innenfor 70-60% vannmetningsgrad. Dataeier: NVE, xgoe.no

Vannmetningsgraden var ikke høy dagene før skredhendelsen, men var relativt høy dagen skredet gikk og dagene etter (NVE, ingen dato). Figuren 5.40 viser hvor vannmettet jorden var i prosent dagen skredet gikk, målingen ble tatt på morgenen samme dag.

Prosentresultatene på figuren tar utgangspunkt i forholdet mellom dagens simulerte vannlager og maksimalt simulert vannlager i perioden 1981-2010.

Nedslagsfeltet til utløsningspunktet for skredhendelsen er vist i figur 5.41. Nedslagsfeltet er beregnet ut ifra 1m høydekoter i ArcMap, der vi så hvordan terrenget er utformet. Arealet på nedslagsfeltet er 6 834,17 m². Det er dette området som mater utløsningspunktet med vann under nedbørsperioder.



Figur 5.41 viser bilde av skredhendelsen ved Alfarvegen. Det blå stipla området er nedslagsfeltet for utløsningspunktet. Skredbuffer tilsier skredbanens bredde.

5.3 Arnegårdslie 23. mai 2013

5.3.1 Innledning

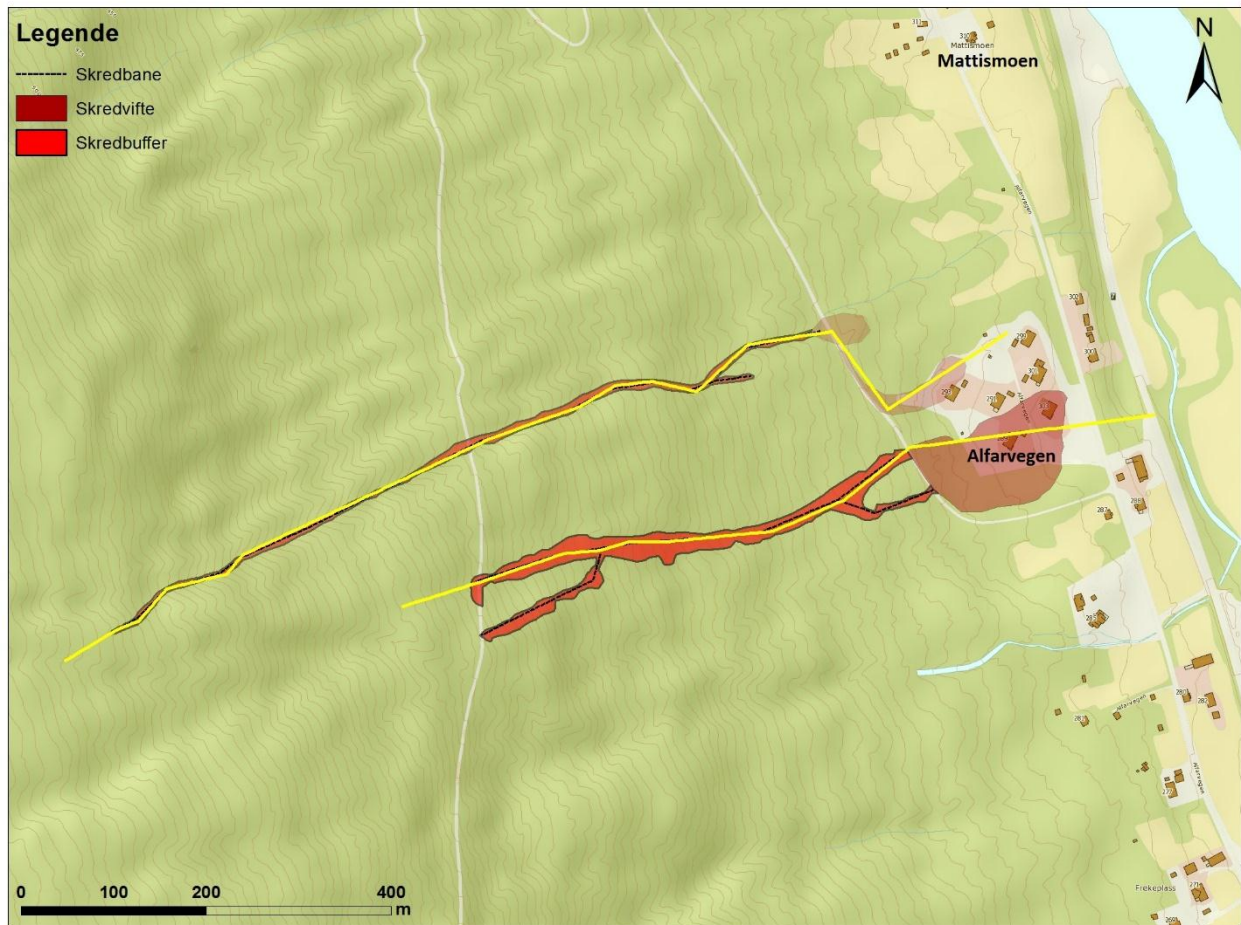
Skredet i Arnegårdslie gikk natt 23. mai 2013 og traff et boligfelt. To av bolighusene ble truffet av skredmassene og fikk kjellerne fylt med jord og slam. I følge NGI sitt tekniske notat kom det store nedbørmengder ukene før hendelsen. Det ble målt 28mm døgnet før skredhendelen den 23. mai (Domaas, U, 2013). Nedslagsfeltet til dette skredet er 11 797,60 m².

Dette skredet hadde to utløsningspunkt som begge startet i en skogsbilvei i Arnegårdslie. Det ene er vist i figur 5.42. Skogsbilveien som går vannrett i skråning har flere steder bekkeløp som krysser veien. Skredet startet som to utglidinger i en skogsbilvei som ligger mellom høydekote 450-500 i Arnegårdslie. De to skredbanen møtes så igjen og blir et stort skredløp. Ved høydekote 230 deler de to skredbanen seg igjen. Figur 5.43 viser hvordan skredbanene starter, slår seg sammen og til slutt splittes.



Figur 5.42 viser utløsningsområdet til en av skredbanen som startet i skogsbilveien den 23.05.2013. Foto: Ulrik Domaas, NGI

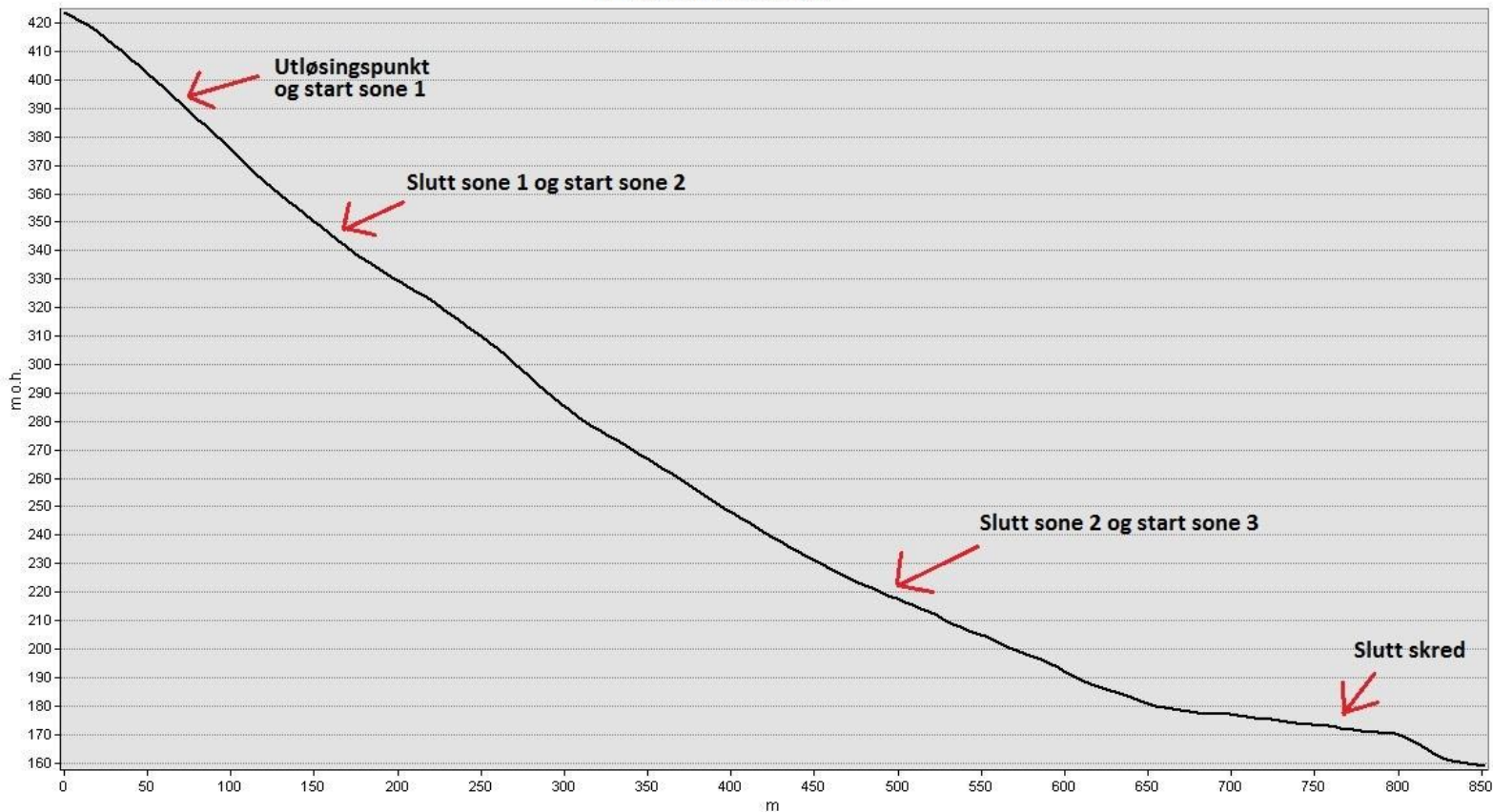
5.3.2 Beskrivelse



Figur 5.43 viser plassering av skredhendelsene i Arnegårdslia. Begge skredene har en gul profil linje. Skredbuffer tilsier skredbanens bredde. Skredbanen lengst nord i figuren er skredløpet fra 9. juli 2007. Skredbanen lengst sør i figuren er skredløpet fra 23. mai 2013.

Det ble tegnet inn en profil linje i skredbanen på skredhendelsen 23.05.2013 i Arnegårdslia (figur 5.43). Skredbanen til skredet 23. mai 2013 er skredbanen lengst sør i figuren. Profil linjen som er tegnet inn ble brukt til å lage en terrengprofil og en helningsprofil av skredbanen i ArcMap. Terrengprofilen i figur 5.44 viser en skredbane som gradvis blir slakere ned mot slutten.

Arnegårdslie 23. mai 2013



Figur 5.44 viser terrengprofil av skredbanen til skredhendelsen 23. mai 2013 i Arnegårdslie. De røde pilene viser soneinndelingen av skredbanen.

Helningsprofilen i figur 5.45 viser en varierende helning av skredbanen. Utløsningspunktet har en helning på 27° . Sone 1 har en helning fra $25-30^\circ$, det er ikke så mye variasjon i helningen i denne sonen. Vanlig helning i sone 1 er $28-40^\circ$, denne helningsprofilen samsvarer greit med dette.

Sone 2 har en helning fra $15-27^\circ$, fra toppen på 27° går helningen fort ned til 15° . Vanlig helning i denne sonen er $20-30^\circ$, denne skredbanen ligger for det meste under dette. Det vil si at skredbanen er slakere enn normalt i denne sonen. Sone 3 har en helning fra $17-0^\circ$. I midten av sonen er det et område på 100m der helningen går fra $17-0^\circ$. For flomskred er det vanlig for sone 3 å starte med en helning på $15-20^\circ$.

Arnegårdslie 23. mai 2013



Figur 5.45 viser helningsprofil av skredbanen til skredhendelsen 23. mai 2013 i Arnegårdslie. De røde pilene viser soneinndelingen av skredbanen.

5.3.3 Test av rekkevidde fra NGI sin alfa-beta metode

Det ble med beregninger med NGI modellen tydelig at den ikke samsvarte med våre rekkevidde resultater (Vedlegg 1). I følge NGI Modellen blir rekkevidden på Arnegårdslie 23.Mai 2013 707,7m, dette stemmer ikke med rekkevidden vår på 700m. Ved å bruke NGI modellen blir $\beta= 21,8^\circ$ og $\alpha= 16,9^\circ$. Alfa vinkelen ut i fra våre resultater $\alpha = 17,1^\circ$. NGI modellen får lengre rekkevidde enn det vi får.

5.4 Arnegårdslie 9. juli 2007

5.4.1 Innledning

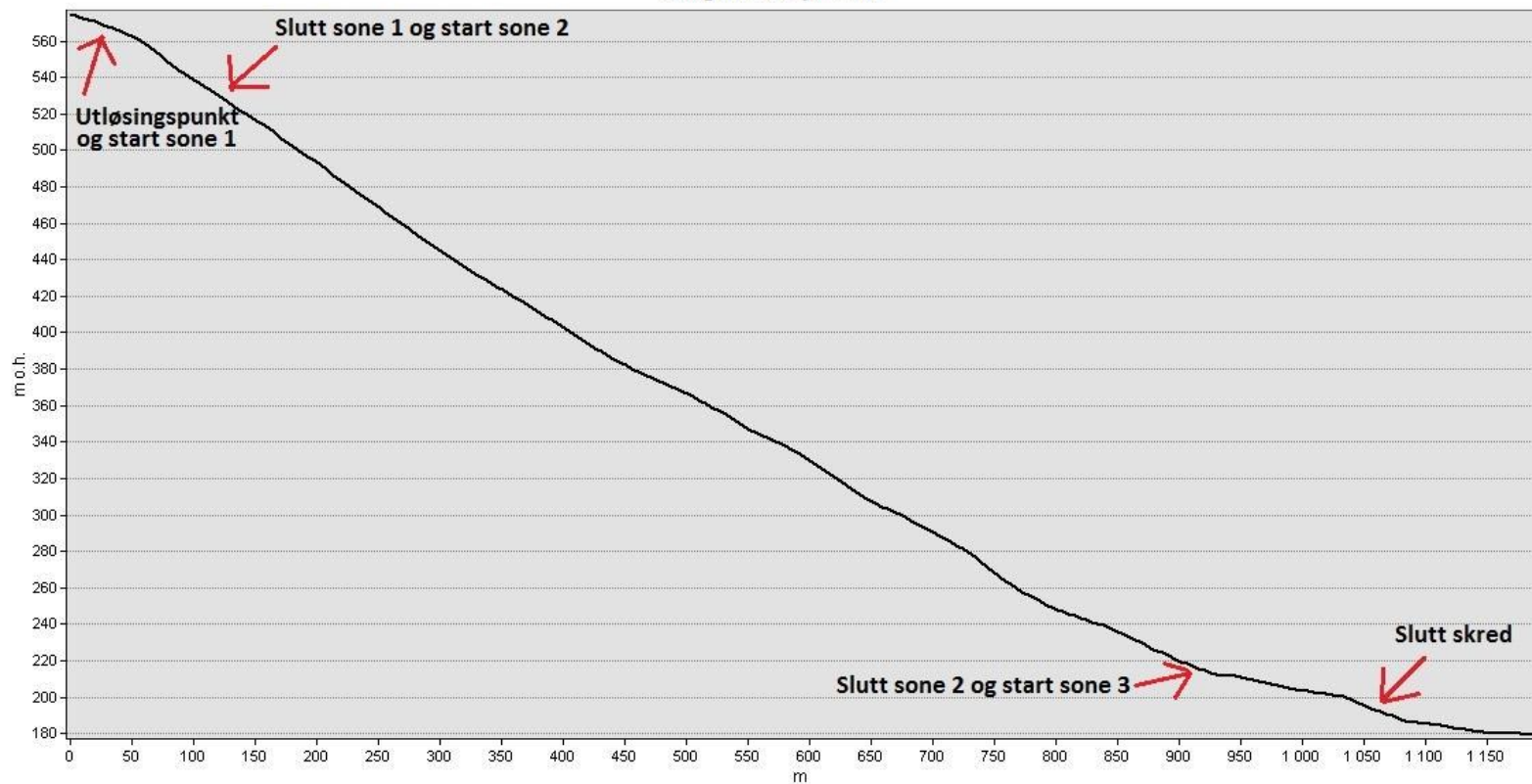
Skredet gikk 03:30 natt til mandag 9. juli 2007. Skredet hadde utløsningspunkt på høydekote 555m o.h. og helningen var ikke spesielt bratt, 19° (figur 5.47). Det var ikke tegn på noe bekkeløp eller skogsbilvei i selve utløsningsområdet. Skredbanen fulgte etter hvert et bekkeløp nedover lia. Skredmassene havnet inntil bebyggelse ved Alfarvegen. Skredmassene fulgte en skogsbilvei ved boligfeltet i retning sør-øst og beveget seg helt ned til Alfarvegen (Nerland, Ø. 2007, Skred 9.juli. 2007).

Skredet gikk i morenemasser som bestod av blokker, stein, grus, sand og jord. Jordmaterialet hadde et høyt innhold av vann. I følge NGI sitt tekniske notat var det mye nedbør ukene før skredhendelsen 9. juli og i perioden 2-9 juli kom det til sammen 138 mm nedbør. Fra den 8. til natt den 9. juli kom det 53mm nedbør (Nerland, Ø. 2007, Skred 9.juli. 2007). Nedslagsfeltet til dette skredet er 2 784,43 m². Størrelsen på dette feltet er noe mindre enn for de andre skredene.

5.4.2 Beskrivelse

Det er tegnet inn en profil linje i skredbanen i Arnegårdslia, denne linjen er illustrert i figur 5.43. Skredet 9. juli 2007 i Arnegårdslie er den skredbanen lengst nord i figuren. Linjen ble tegnet inn i ArcMap og brukt til å lage en terrengprofil og en helningsprofil. Terrengprofilen er vist i figur 5.46, soneinndelingen er vist med røde piler. Profilen ser ut til å vise en skredbane som gradvis blir slakere ned mot slutten.

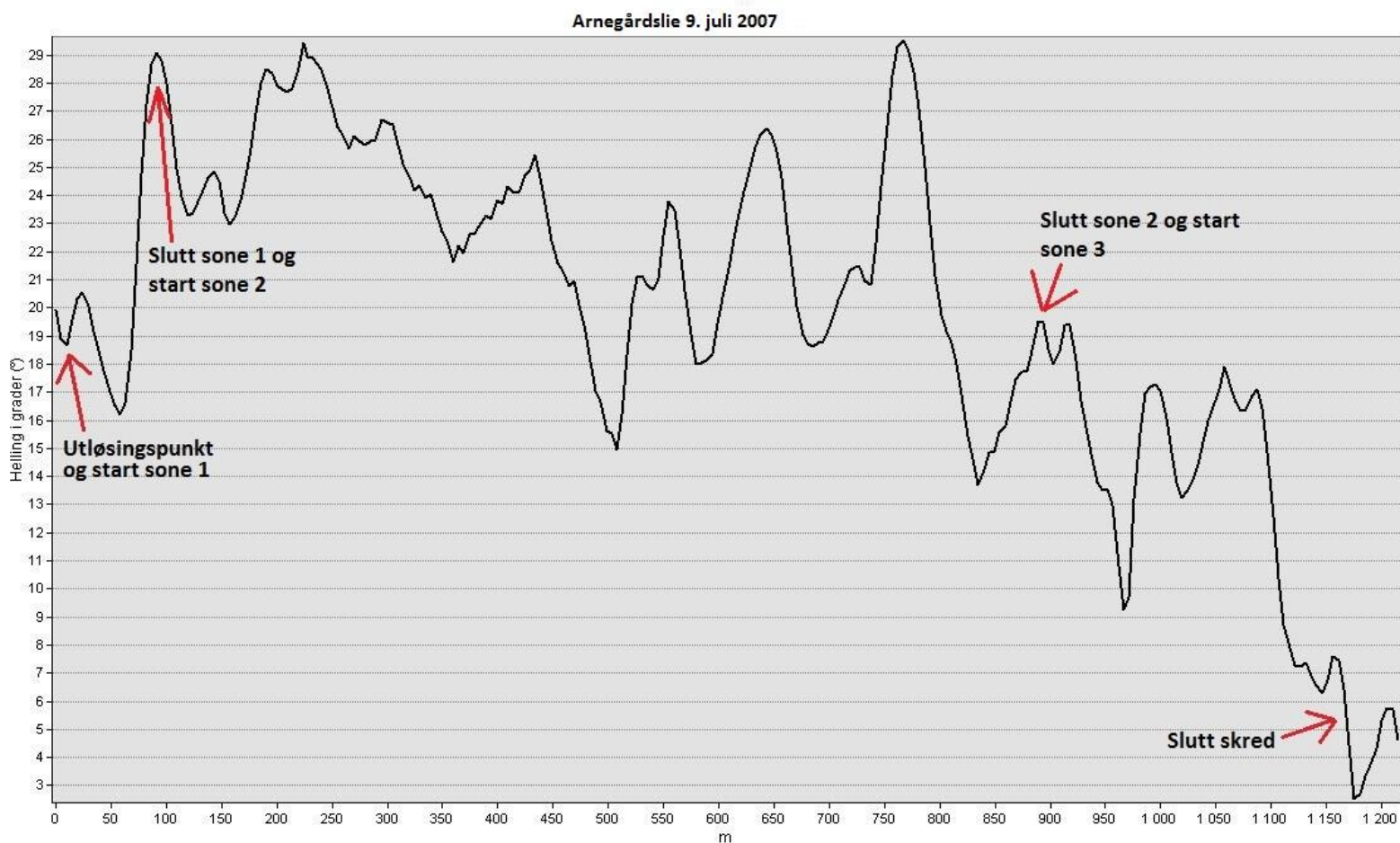
Arnegårdslie 9. juli 2007



Figur 5.46 viser terrengprofil til skredhendelsen 9. juli 2007 i Arnegårdslie. De røde pilene viser soneinndelingen av skredbanen.

Helningsprofilen i figur 5.47 viser helningen gjennom hele skredløpet. Utløsningspunktet har en helning på 19° . Sone 1 har en helning fra $16,5-29^\circ$, det er en rask stigning fra $16,5-19^\circ$ med en distanse på 40m. Vanlig helning i sone 1 er $28-40^\circ$, denne skredbanen ligger under dette. Det betyr at sone 1 for skredbanen er slakere enn vanlig.

Sone 2 har en helning fra $14-30^\circ$, det er mye variasjon i helling gjennom hele sonen. Vanlig helning for denne sonen er $20-30^\circ$, helningsprofilen samsvarer greit med dette. Sone 3 har en helning fra $19,5-5,5^\circ$, det er en rask nedstigning fra $17-5,5^\circ$ mot slutten av sonen. For flomskred er det vanlig at sone 3 begynner med en helning på $15-20^\circ$.



Figur 5.47 viser helningsprofil av skredbanen til skredhendelsen 9. juli 2007 i Arnegårdslia. De røde pilene viser soneinndelingen av skredbanen.

5.4.3 Test av rekkevidde fra NGI sin alfa-beta metode

Det ble med beregninger med NGI modellen tydelig at den ikke samsvarte med våre rekkevidde resultater (Vedlegg 1). I følge NGI Modellen blir rekkevidden på Arnegårdslie 9. juli 2007 1217,8m, dette stemmer ikke med rekkevidden vår på 1050m. Ved å bruke NGI modellen blir $\beta = 21,8^\circ$ og $\alpha = 16,9^\circ$. Alfa vinkelen ut i fra våre resultater $\alpha = 19,4^\circ$. NGI modellen får lengre rekkevidde enn det vi får.

6.0 Diskusjon

Vi har undersøkt de utløsende årsakene og rekkevidden til skredhendelsene. Flomskred vil følge eksisterende dreneringskanaler i terrenget, dette ser ut til å være tilfellet i denne dalsiden. Det virker som vann er hovedfaktoren (Takahashi, T. 2014) for utløsning av skredene vi undersøkte, vi må derfor se på hvor dette vannet kommer fra. Når vi skal sjekke dette tar vi utgangspunkt i utløsningspunktene. Vi fant ved hjelp av 1m høydekoter størrelse og plassering av nedslagsfeltet for de ulike utløsningspunktene. Etter å ha funnet størrelsen på nedslagsfeltene, satt vi dem opp mot rekkevidden for å se om det er en sammenheng mellom disse.

6.1 Utløsningsområdet og skredløpene

Terrenget der skredene ble utløst var ikke spesielt bratt (Lund, M. 2013), utløsningsområdene til de fire undersøkte skredene ligger på en helning fra 19-28°, dette er vist i tabell 6.1.

Helningen gjennom skredløpene (tabell 6.1) stemmer greit overens med det som er vanlig for flomskred. Det som skiller seg ut med skredhendelsene i denne fjellsiden er helningen på terrenget der skredhendelsene ble utløst. Det er vanlig at flomskred blir utløst i en helning fra 28-40°. Skredhendelsene vi undersøkte ble utløst i en helning mindre enn dette (tabell 6.1).

For å forstå hvorfor skredhendelsene ble utløst i et såpass slakt terreng, har vi sett på faktorene som jobbet sammen for å utløse skredene.

Tabell 6.1: Helningen i de forskjellige sonene for hvert av de undersøkte skredhendelsene.

Skred	Utløsningspunkt (°)	Utløsningsområde (°)	Transportetappen (°)	Avsetningsområde (°)
Smedsgården 9. juli 2007	28	28-33	15-40	4-20
Alfarvegen 10. juni 2011	23	23-29	21-34	7-23
Arnegårdslie 23. mai 2013	27	25-30	15-27	0-17
Arnegårdslie 9. juli 2007	19	16,5-29	14-30	5,5-19,5

6.2 Skogsbilveien i utløsningsområdet

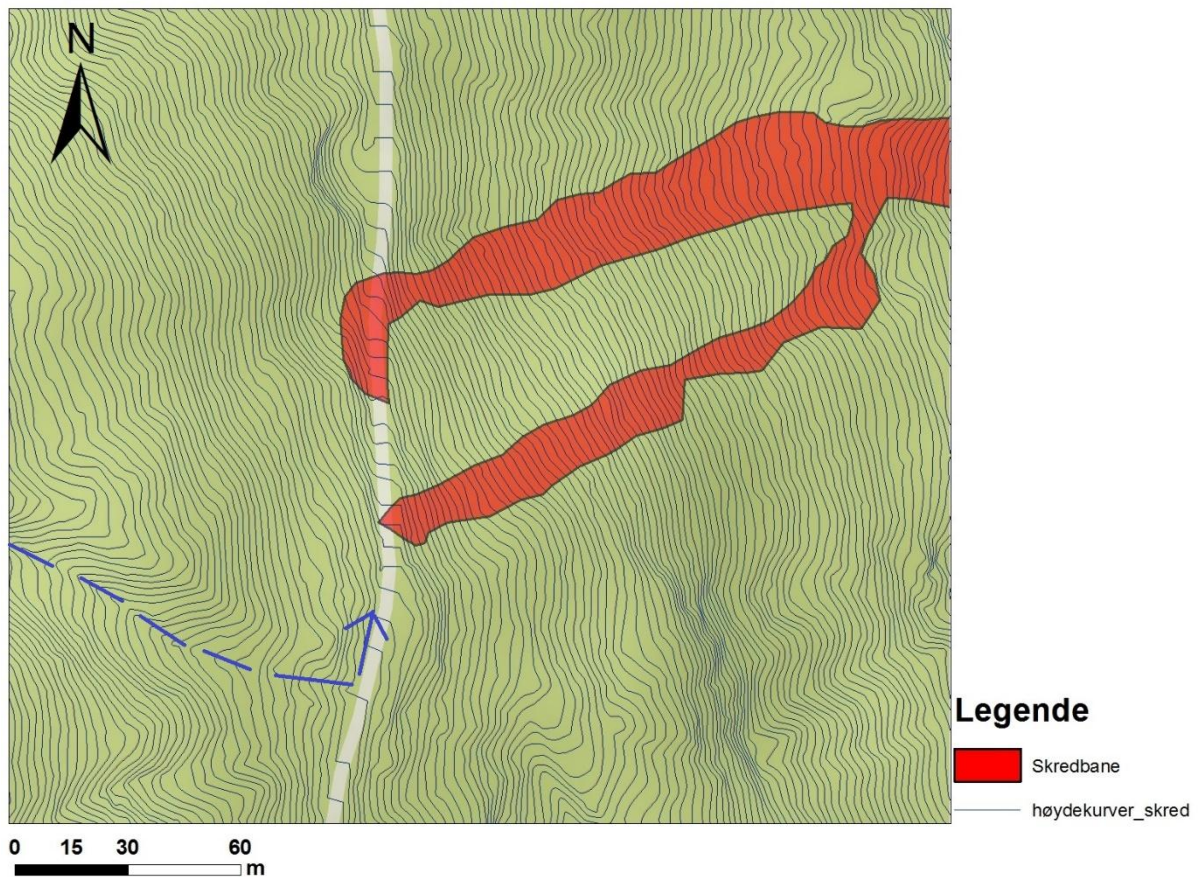
Ved undersøkelse av utløsningsområdene i felt ble det observert skogsbilveier knyttet til tre av de fire skredhendelsene. Skredhendelsen ved Smedsgården pensjonat 9. juli 2007, Alfarvegen 10. juni 2011 og Arnegårdslie 23. mai 2013 har skogsbilveier tilknyttet utløsningsområdet. Skredhendelsene i Arnegårdslie er blitt undersøkt av Lund (2013), som konkluderte med at skogsbilveiene kan ha forandret dreneringsløpet i fjellsiden. Et forandret dreneringsløp kan føre til at store mengder vann samles langs skogsbilveiene og videre kan utløse skredene (Fergus, T. et. al., 2013).

Det er ikke alle grunneiere som er like flinke til å vedlikeholde gamle skogsbilveier, av den grunn at stikkrenner og grøfter ikke er vedlikeholdt/laget. Samtidig er det gamle skogsbilveier som har ligget i fjellsiden over lengre tid, det vil si at de alene ikke utgjør skredfaren i fjellsiden. Det må være en ekstern faktor på fjellsiden som øker skredfaren.

For det ene skredet i Arnegårdslie, 23. mai 2013, som ikke har blitt undersøkt av Lund (2013), var det tydelig i felt at en stikkrenne langs skogsbilveien sør for utløsningspunktet var gått tett. Vannet og materialet det brakte med seg strømmet ned langs skogsbilveien i retning nord (figur 6.2). Da denne stikkrennen gikk tett valgte grunneier sammen med en fagkyndig å lage en åpen stikkrenne der bekken kunne renne fritt over veien, istedenfor en stikkrenne under veien (Figur 6.1). Dette er et eksempel på at stikkrennene i Arnegårdslie muligens er feildimensjonerte.



Figur 6.1 Den røde pilen viser der bekken renner ned til skogsbilveien. Den røde streken viser der bekken renner over veien i en åpen stikkrenne, istedenfor en stikkrenne under veien. Bildet er tatt retning sør. Foto: Renate R. Johansen



Figur 6.2 Viser detaljert kart over utløsningsområdet til det ene skredet i Arnegårdslie (23. mai 2013). Bekken er tegnet inn med stiplet linje. Den blå pilen viser til retningen bekken tok langs skogsbilveien.

I resultater fant vi gjennom NGI sine rapporter at det var intense nedbørsperioder i fjellsiden før hver skredhendelse. Med intense nedbørsperioder menes det at samme mengde nedbør som vanligvis rammer fjellsiden kommer innen et mye mindre tidsrom. Dette kan forklare hyppigheten på skredhendelser i fjellsiden: gamle skogsbilveier som ikke er riktig vedlikeholdt, kombinert med intense nedbørsperioder.

6.3 Vann som utløsende årsak

Flomskred er en strøm med sedimenter og vann som blir drevet av tyngdekraften, og på grunn av det store vanninnholdet vil sedimentene bevege seg lett nedover (Takahashi, T. 2014). NGI sine rapporter viser at fjellsiden mottok mye nedbør tiden før hver skredhendelse. I rapportene ble terrenget beskrevet som ugunstig, noe vi har tolket til å være en kombinasjon av helningen og en konvergent form på fjellsiden.

Det at fjellsiden er konvergent fører til at overflatevann samles i sentrale deler av skråningsformen, og videre fører til økt porevannstrykk (Haugen, E, D. 2013). Ved feltarbeid ble terrenget i utløsningsområdene til tre av skredene observert å være konvergente, Smedsgården 9. juli 2007, Alfarvegen 10. juni 2011 og Arnegårdslie 9. juli 2007. For skredhendelsen i Arnegårdslie 23. mai 2013 var det vanskelig å konstatere en konvergent form på terrenget i utløsningsområdet. Av den grunn at skogsbilveien har forandret terrengformen.

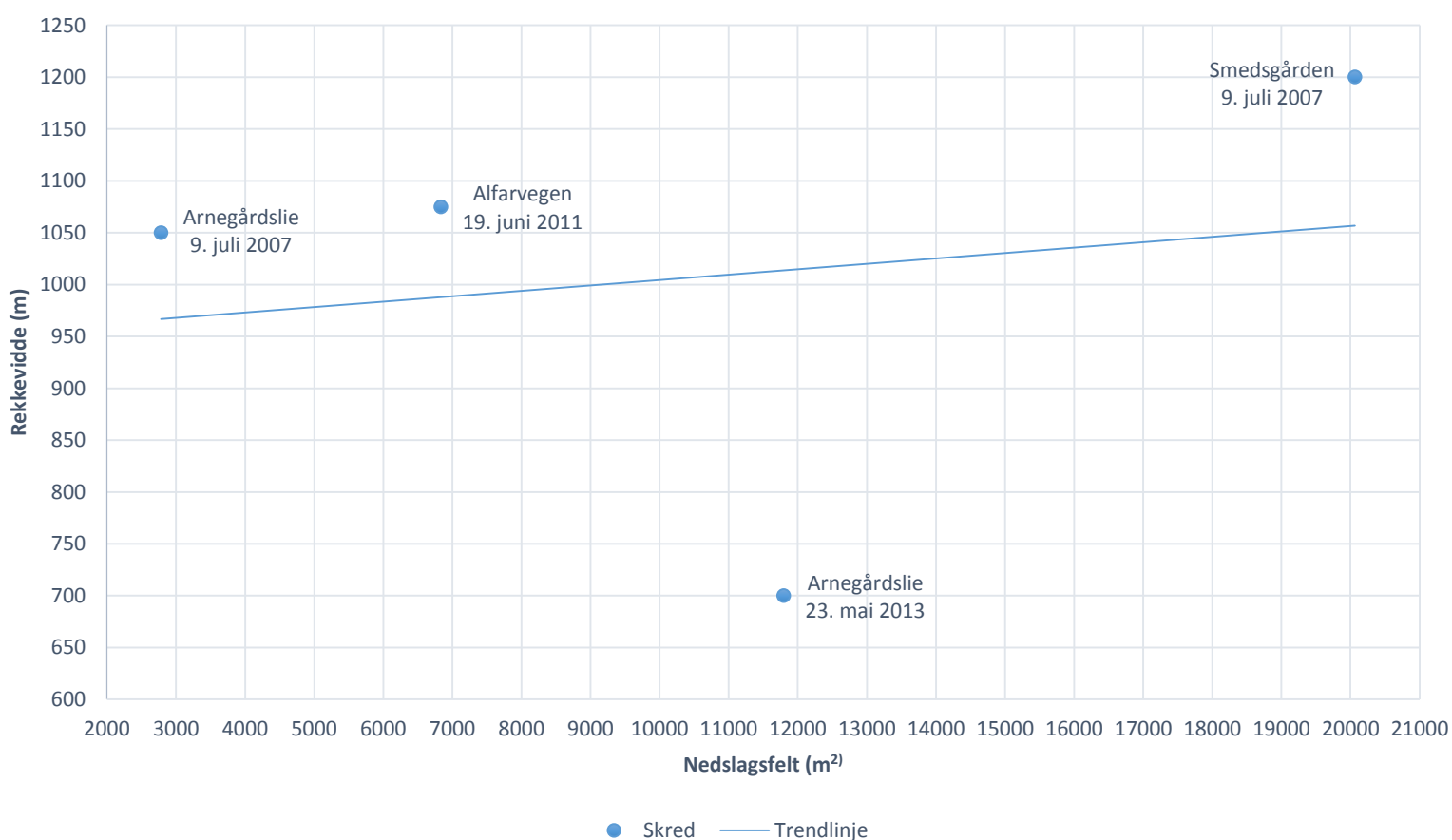
Nedbør sin påvirkning på stabilitet kan skje gjennom to prosesser. Den første er at vannet infiltrerer bakken slik at poretrykket øker over glideplanet til skredet. Den andre innvirkningen vannet kan ha, er å erodere i løsmassene. Disse prosessene kan begge ha påvirket utløsningsområdet til skredhendelsene. Med dette mener vi at nedbør er en av hovedfaktorene for utløsning av skred i området. Videre burde det plasseres en værstasjon i fjellsiden, dermed kan den reelle nedbørsmengden registreres. De registrerte nedbørsdataene sammen med et terskelsystem kan brukes til å utarbeide et varslingsystem.

Av den grunn at vi tenker nedbør som en viktig faktor for utløsning av skredhendelsene, har vi ved hjelp av 1m høydekoter, funnet størrelsen på nedslagsfeltet mot utløsningspunktet til de forskjellige skredhendelsene. Økt vanninnhold kan føre til en lengre rekkevidde (Bargel, T, H. 2011). Da vi satte størrelsen til nedslagsfeltet opp mot rekkevidden på skredhendelsene, fant vi en svak sammenheng mellom disse (figur 6.3 og tabell 6.2). Tilførsel av vann senere i skredløpet kan være forskjellige for hvert skredløp, men nedslagsfeltet har derfor noe å si på rekkevidden for disse skredene. Skredet i Arnegårdslie 23/5-2013 avvik fra dette mønsteret, ved kort rekkevidde selv om nedslagsfeltet var relativt stort.

Tabell 6.2: Størrelse på nedslagsfelt og rekkevidde på hvert av de undersøkte skredhendelsene.

Skred	Nedslagsfelt (m ²)	Rekkevidde (m)
Smedsgården 9. juli 2007	20066,20	1200
Alfarvegen 19. juni 2011	6834,17	1075
Arnegårdslie 23. mai 2013	11797,60	700
Arnegårdslie 9. juli 2007	2784,43	1050

Nedslagsfelt - Rekkevidde



Figur 6.3 Plot av størrelse på nedslagsfeltet til utløsningspunktene for de forskjellige skredhendelsene (m², x-aksen), opp mot rekkevidden til skredhendelsene (m, y-aksen). Det er en sammenheng mellom større nedslagsfelt og større rekkevidde. Skredet 23/2013 avviker fra denne trenden.

6.4 Utløpsdistanse

Beregning av rekkevidde er en viktig komponent i skredfareanalyse og skredfarekart. Det finnes i dag flere empiriske og numeriske modeller for å regne ut rekkevidden (Clague, J, J. and Stead, D. 2012). Når det kommer til å beregne utløpslengden til flomskred, er det et stort problem at mange av skredløpene og skredmassene er svært forskjellige. For flomskred er det en utfordring og definere hvor skredet slutter (Tveit, J.2011). Det er derfor vanskelig å finne en skredmodell for beregning av rekkevidden. I de fleste skredene, som omfatter både partikler og vann, vil det være et samspill mellom begge disse to prosessene som bestemmer bevegelsestype og utløpsdistanse (Statens veivesen, 2014).

Vi har sammenlignet våre resultater av rekkevidde bestemt ut i fra observasjoner i felt, flyfoto og intervju, med NGI- modellen av Sandersen og Norem som er en type alfa-beta metode. Etter en konsultasjon med han (Frode Sandersen, pers.kom. 2016) ble det tydelig at en α - β metode trolig ikke var noen god måte og beregne rekkevidden til flomskred. Dette er fordi volumet, vanninnhold og materiale i flomskred varierer mye, og påvirker rekkevidde og ikke bare terrenget. Vi har likevel valgt å sammenlikne våre resultater opp mot NGI sin α - β modell (tabell 6.3 og figur 6.4).

Tabell 6.3 viser at differansen mellom våre verdier og NGI-modellen sine verdier varierer mye. Arnegårdslie skredet i 2013 har kun et avvik på 7 m, det vil si at skredene NGI- modellen brukte til modellering er ganske lik Arnegårdslie 2013 skredet. Smedsgården og Arnegårdslie 2007 skredene har avvik på mer enn 150m, dette vil vi at disse skredene skiller seg mer ut fra NGI modellen sine modellerings skred. Disse to skredene vil det derfor ikke egne seg til å bruke NGI- modellen for å beregne rekkevidden.

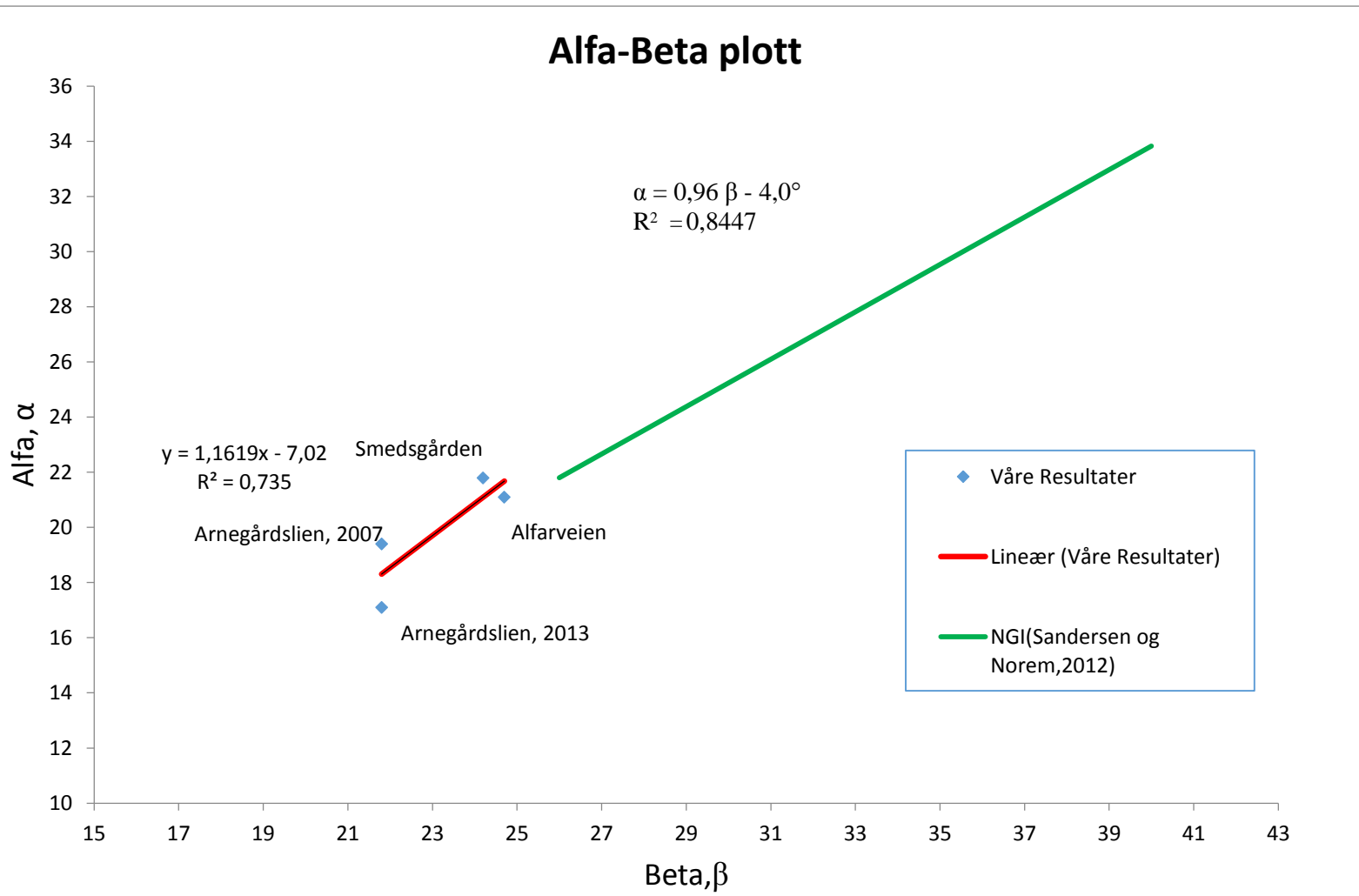
Tabell 6.3 viser resultatene av sammenlikningen av våre resultater og NGI modellen, og differansen mellom faktisk rekkevidde og NGI-modellen.

Våre Verdier					Sandersen og Norem (2012)		Differansen	
Skred	Fall- høyde H	Rekkevidde L (m)	α	β	α	Rekke-vidde L (m)	α	L
Smedsgården	480	1200	21,8	24,2	19,2	1378,4	2,6	178,4
Alfarveien	415	1075	21,1	24,7	19,7	1160	1,4	85
Arnegårdslie, 2007	370	1050	19,4	21,8	16,9	1217,8	2,5	167,8
Arnegårdslie, 2013	215	700	17,1	21,8	16,9	707,7	0,2	7,7

Resultatene viste at utregning med NGI-modellen ga lengre rekkevidde enn det vi kom frem til. Siden NGI modellen bare tar hensyn til helningsprofilen til skredet er det flere faktorer som ikke blir tatt i betraktning. Dette kan være en av grunnene til at våre resultater ikke stemmer med denne modellen.

Figur 6.4 viser at alfa og beta vinklene til skredene vi undersøkte ble lavere enn NGI modellen sine verdier. Dette skyldes at skredene som inngår i NGI-modellen ligger i et brattere terreng, som gir en lengre rekkevidde. Når det kommer til beregning av rekkevidden til fremtidige skred i området vi undersøke, kan det hende at vår formel er den best egnede.

$$\alpha = 1,1619x - 7,02, R^2 = 0,735$$



Figur 6.4 viser et alfa- beta plott av NGI modellen (øverste i grønn), den nederste i blå viser alfa-beta verdiene for skredene vi undersøkte. NGI- modellen er basert på skred med beta-verdier $> 25^\circ$, men våre skred har alle beta-verdier $< 25^\circ$.

Det kan i beregningene av rekkevidden til flomskred være flere feilkilder. Den første mulige feilkilden kan være hvor på helningsprofilen man velger å sette 20° punktet på skredbanen. Vi har i beregningene av flomskred valgt å bruke den laveste 20° på helningsprofilen. Det kan være feil i beregningen våre, hvor vi satt start og slutt på skredbanen i profilene kan være unøyaktige. Ut i fra våre erfaringer med alfa-beta modellen for denne type skred vil vi ikke anbefale og bruke denne modellen. Alfa- beta metoden egner seg ikke for flomskred, fordi modellen kun tar for seg en av de mange faktorene som påvirker rekkevidden til flomskred.

7.0 Konklusjon

Vi har kommet frem til at nedbør er en viktig faktor for utløsning av skred i dette området. Værstasjonen Todokk som er plassert nede ved dalbunnen vil ikke registrere den reelle nedbøren i fjellsiden, vi mener derfor det kan være gunstig å sette opp en værstasjon i fjellsiden. Denne vil registrere den reelle nedbørmengden. Videre kan nedbøredataene sammen med en terskelverdi muligens utarbeide et varslingsystem. Ved å undersøke nedslagsfeltet for de ulike utløsningsområdene, kom vi frem til at det er en liten sammenheng mellom størrelsen på dette og rekkevidden.

Det som gjør denne fjellsiden interessant er den lave helningen skredene har blitt utløst i. Helningen på utløsningspunktene går fra 19-28°. Et samarbeid mellom intense nedbørsperioder og skogsbilveiene, vil kunne føre til utglidning i selv så lave terreng som dette.

Vi gjorde et forsøk på å finne rekkevidden på skredhendelsene ved å bruke NGI sin modell. Våre alfa-beta verdier ble lavere enn de NGI har jobbet med. Resultatene viste at NGI modellen fikk lengre rekkevidde enn det vi regnet oss frem til. NGI modellen tar utgangspunkt i helningsprofilet til skredhendelsene. Det er her forskjellen mellom NGI modellen sine beregner og våre ligger. NGI modellen har trolig tatt utgangspunkt i skredhendelser med brattere terreng enn de vi undersøkte, dette kan forklare hvorfor vi får en lengre rekkevidde på skredhendelsene ved å bruke denne modellen. Vi kom gjennom bruk av NGI modellen frem til en egen formel egnet for dette området.

Litteraturliste:

- Bargel, T. H. Blikra, L. H. Høst, J. Sletten, K. og Stalsberg, K. (2006), *Skredkartlegging i Norge*. Hentet: 12.03.16
http://www.ngu.no/upload/publikasjoner/Graasteinen/Graasteinen12_06_Bargel.pdf
- Bargel, T. H. (2011) *Plan for skredfarekartlegging, Delrapport jordskred og flomskred*. Hentet: 28.05.16
http://webby.nve.no/publikasjoner/rapport/2011/rapport2011_16.pdf
- Bergheim, J. Bjordal, A. Fivelstad, I. Aune Høseth, K. Arne Haarseth, O. Jevne, B. Johnsen, M. Langsethagen, J. Lavoll, I. Leirvik, T. Midtun, Y. Mobæk, A. Nordvik, S. Leiv Nordvik, H. Myhre Odberg, M. Traae, E. Arne Vågane, S. Hedemann Aalsta, G. / Haugum, A. (2014), *Årsrapport for utførte sikrings- og miljøtiltak 2014*. Kilde: Norges vassdrags- og energidirektorat.
Hentet: 27. april 2016
http://publikasjoner.nve.no/rapport/2015/rapport2015_45.pdf
- Clague, J. J. and Stead, D. (2012). *Cap 16: Developments in landslide runout prediction. Landslides: Types, Mechanisms and Modeling*. Cambridge university press. Hentet 30.05.16
https://books.google.no/books?id=4uXfBmtrVK0C&pg=PA187&dq=runout+prediction+methods&hl=no&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Domaas, U, 2013. *Nesbyen, Arnegårdslie. Vurdering av akutt fare for flomskred*. Teknisk notat av NGI. Henviser til epost av Frode Sandersen den 13.04.16
- DSB. (2011) *Temaveileder: Samfunnssikkerhet i arealplanlegging, kartlegging av risiko og sårbarhet*, av direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap
- Fergus, T. Høydal, Ø, A. Johnsrud, T. Sandersen, F. Schanche, S. (2013). *Skogsveger og skredfare – veileder* (NVE) (NGI) (SKI). Hentet 30.05.2016
<http://publikasjoner.nve.no/diverse/2011/skogsveggerskredfare2011.pdf>

- Haugen, E, D. (2013) *Utløsningsårsaker og utløsningmekanismer til flomskred i morenavsetninger*. Masteroppgave NTNU. Hentet 28.05.16.
<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:698953/FULLTEXT01.pdf>

- Hyndman, D., & Hyndman, D. (2014). *Natural Hazards and Disasters*, 4th, International Edition. Yoland Cossio. ss. 183.

- Jacob, M., & Hunger, O. (2005). *Cap 2: Classification and terminology. Debris-flow Hazards and Related Phenomena*. Praxis Publishing.

- Kartverket, (ingen dato) *Norge i bilder wms*. Hentet 10.03.16
<https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/kartverket/norge-i-bilder-wms/50eaadfc-1f54-4a90-abca-8f3df239a4b7>

- Lund, M. (2013) *En studie av skredaktiviteten i Arnegårdslien, Nes Kommune, Hallingdal*, Utløsende årsaker og menneskelig påvirkning. Masteroppgave Universitetet i Oslo. Hentet. 04.05.16
https://www.duo.uio.no/bitstream/handle/10852/36839/Masteroppgave_MonikaxLund.pdf?sequence=1

- NVE, (ingen dato) *Døgnnedbør, vannmetning i jord*. Hentet 04.04.16
<http://www.xgeo.no/index.html?p=fag>

- NVE. (2013) *Forebygging av skredfare i Norge, Jordskred og Flomskred*. Fakta ark 2013-01. Hentet 26.05.16
http://www.naturfare.no/_attachment/506973/binary/819611

- Nerland, Ø, 2007. *Jordskred ved Smedsgården pensjonat*
Teknisk notat fra NGI. Henviser til epost av Ørjan Nerland den 04.04.16

- Nerland, Ø. 2007. *Jordskred ved Alfarvegen*
Teknisk notat av NGI. Henviser til epost av Ørjan Nerland den 04.04.16

- Sandersen, F. NGI, (2014). *Kap 4: Løsmasse- og flomskred. Skred- skredfare og sikringstiltak, praktiske erfaringer og teoretiske prinsipper*. Norges Geotekniske Institutt (NGI) og Universitetsforlaget, ss 77-93 og 86-87.

- Sletten, K. Stalberg, K. Rubensdotter, L. (2015) NGU, *Jordskred og flomskred*,
Hentet: 11.03.16
<https://www.ngu.no/emne/jordskred-og-flomskred>

- Solheim A, 2011. *Nesbyen, Nes kommune – akuttbefaring 11. juni 2011*
Teknisk notat av NGI. Henviser til epost av Frode Sandersen den 13.04.16

- Statens veivesen. (2014). *Flom- og sørpeskred*. Veiledning Håndbok V139.
Veidirektoratet PDF. www.vegvesnet.no. Tilsendt på epost den: 14.04.16 av
Frode.Sandersen@ngi.no
http://www.vegvesen.no/_attachment/740653/binary/1006021?fast_title=H%C3%A5ndbok+V139+Flom-+og+s%C3%B8rpeskred.pdf

- Støver, I. J (Redaktør) Yr. *Nesbyen målestasjon, Nes (Buskerud)* Været som var.
Hentet: 15.03.16
http://www.yr.no/sted/Norge/Buskerud/Nes/Nesbyen_m%C3%A5lestasjon/detaljert_statistikk.html

- Støver, I. J (Redaktør). *Norgesrekord*. Yr
Hentet: 15.03.16
<http://www.yr.no/sted/Norge/rekorder.html>

- Takahashi, T. (2014) *Chap 1 What is debris flow? Debris flow: mechanics, prediction and countermeasures. 2nd edition.* Taylor & Francis Group, London, UK
Hentet 30.05.16
https://books.google.no/books?hl=no&lr=&id=jSzMBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Debris+flow:+mechanics,+prediction+and+countermeasures.+2nd+edition&ots=FgwwBcpihl&sig=UZix84Qrt68yPYNR0WsGLMx4NCQ&redir_esc=y#v=onepage&q=Debris%20flow%3A%20mechanics%2C%20prediction%20and%20countermeasures.%202nd%20edition&f=false

- Tyssebotn, G, H. Velle, H, J. (2010) *Poretrykksmålinger i ei skredutsett dalside*
Bacheloroppgave fra Høgskulen i Sogn og Fjordane. Hentet: 05.04.19
http://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/149778/Bachelor2010_TyssebotnVelle.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Tveit, J. (2011), *Flomskred- utløsningsårsaker, karakteristiske geomorfologiske trekk og utløpsdistanser.* Masteroppgave NTNU. Hentet: 12.03.16.ss.52 og 54 og 57-62 og 67 og 114.
<https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/235987>

Vedlegg:

Vedlegg 1: Utregning av rekkevidden til skredene

Vedlegg 2: Helningsprofil og terrengprofil som viser framgangsmåte for rekkevidde resultat beregningene

Vedleggene 3-5 ligger på minnepenn (Denne har veileder Stein Bondevik)

Vedlegg 3: ArcGIS

Vedlegg 4: Tabell til Rekkevidde resultatene

Vedlegg 5: Excel plot av alfa- beta metoden og våre resultater og NGI metoden

Vedlegg 1

Rekkevidden til skredet ved Smedsgården

Finner ved hjelp av helningsprofilen og terrengprofilen for Smedsgården skredet 20° punktet på skredvifta. Bruker helningsprofilen der kvotene er på 1m. Hvor vi har valgt å sette 20° kan ses i helningsprofilen og terrengprofilen under beregningene.

Lengde l: er avstanden fra utløsning området til 20° punktet.

Høyden h: er moh i utløsningspunktet minus moh i 20° punktet

$$\tan \beta = h/l$$

$$l = 1060\text{m} - 100\text{m} = 960\text{m}$$

$$h = 660\text{moh} - 230\text{moh} = 430\text{moh}$$

$$\tan \beta = ((660\text{moh} - 230\text{moh}) / 960\text{moh}) = 0,45 \quad \beta = 24,2^\circ$$

$$\alpha = 0,96 * 24,2^\circ - 4,0^\circ = 19,2^\circ$$

$$\tan \alpha = H/L \leftrightarrow L = H / \tan \alpha$$

$$H = 660\text{moh} - 180\text{moh} = 480\text{moh}$$

$$L = 480 / \tan(19,2^\circ) = 1378,4\text{m}$$

$$\text{Rekkevidden} = 1378,4\text{m}$$

Alfa vinkelen ut i fra våre resultater:

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{480}{1200} \right) = 21,8^\circ$$

1200 er rekkevidden vi fant i vår terrengmodell.

Rekkevidden til skredet ved Alfarveien

Finner ved hjelp av helningsprofilen og terrengprofilen for Alfarveien skredet 20° punktet på skredvifta. Bruker helningsprofilen der kvotene er på 1m. Hvor vi har valgt å sette 20° kan ses i helningsprofilen og terrengprofilen under beregningene.

Lengde l: er avstanden fra utløsning området til 20° punktet.

Høyden h: er moh i utløsningspunktet – moh i 20° punktet

$$\tan \beta = h/l$$

$$l = 825\text{m} - 25\text{m} = 800\text{m}$$

$$h = 585\text{moh} - 220\text{moh} = 365\text{moh}$$

$$\tan \beta = ((585\text{moh} - 195\text{moh}) / 800\text{moh}) = 0,46 \quad \beta = 24,7^\circ$$

$$\alpha = 0,96 * 24,7^\circ - 4,0^\circ = 19,7^\circ$$

$$\tan \alpha = H/L \quad \leftrightarrow \quad L = H / \tan \alpha$$

$$H = 585\text{moh} - 170\text{moh} = 415\text{moh}$$

$$L = 415 / \tan(19,7^\circ) = 1160\text{m}$$

$$\text{Rekkevidden} = 1160\text{m}$$

Alfa vinkelen ut i fra våre resultater:

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{415}{1075} \right) = 21,1^\circ$$

1075 er rekkevidden vi fant i vår terrengmodell.

Rekkevidden til skredet i Arnegårdslie 23. mai 2013

Finner ved hjelp av helningsprofilen og terrengprofilen for Arnegårdslie 23. mai 2013 skredet 20° punktet på skredvifta. Bruker helningsprofilen der kvotene er på 1m. Hvor vi har valgt å sette 20° kan ses i helningsprofilen og terrengprofilen under beregningene.

Lengde l: er avstanden fra utløsning området til 20° punktet.

Høyden h: er moh i utløsningspunktet – moh i 20° punktet

$$\tan \beta = h/l$$

$$l = 440\text{m} - 60\text{m} = 390\text{m}$$

$$h = 390\text{moh} - 235\text{moh} = 155\text{moh}$$

$$\tan \beta = ((390\text{moh} - 235\text{moh}) / 390\text{moh}) = 0,40 \quad \beta = 21,8^\circ$$

$$\alpha = 0,96 * 21,8^\circ - 4,0^\circ = 16,9$$

$$\tan \alpha = H/L \quad \leftrightarrow \quad L = H / \tan \alpha$$

$$H = 390\text{moh} - 175\text{moh} = 215\text{m}$$

$$L = 215 / \tan(16,9^\circ) = 707,7 \text{ m}$$

$$\text{Rekkevidden} = 707,7\text{m}$$

Alfa vinkelen ut i fra våre resultater:

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{215}{700} \right) = 17,1^\circ$$

700 er rekkevidden vi fant i vår terrengmodell.

Rekkevidden til skredet i Arnegårdslie 9. juli 2007

Finner ved hjelp av helningsprofilen og terrengprofilen for Arnegårdslie 9. Juli 2007 skredet 20° punktet på skredvifta. Bruker helningsprofilet der kvotene er på 1m. Hvor vi har valgt å sette 20° kan ses i helningsprofilet og terrengprofilet under beregningene.

Lengde l: er avstanden fra utløsning området til 20° punktet.

Høyden h: er moh i utløsningspunktet – moh i 20° punktet

$$\tan \beta = h/l$$

$$l = 800\text{m} - 10\text{m} = 790\text{m}$$

$$h = 565\text{moh} - 250\text{moh} = 315\text{moh}$$

$$\tan \beta = ((565\text{moh} - 250\text{moh}) / 790\text{moh}) = 0,40 \quad \beta = 21,8^\circ$$

$$\alpha = 0,96 * 21,8^\circ - 4,0^\circ = 16,9^\circ$$

$$\tan \alpha = H/L \quad \leftrightarrow \quad L = H / \tan \alpha$$

$$H = 565\text{moh} - 195\text{moh} = 370\text{moh}$$

$$L = 370 / \tan(16,9^\circ) = 1217,8\text{m}$$

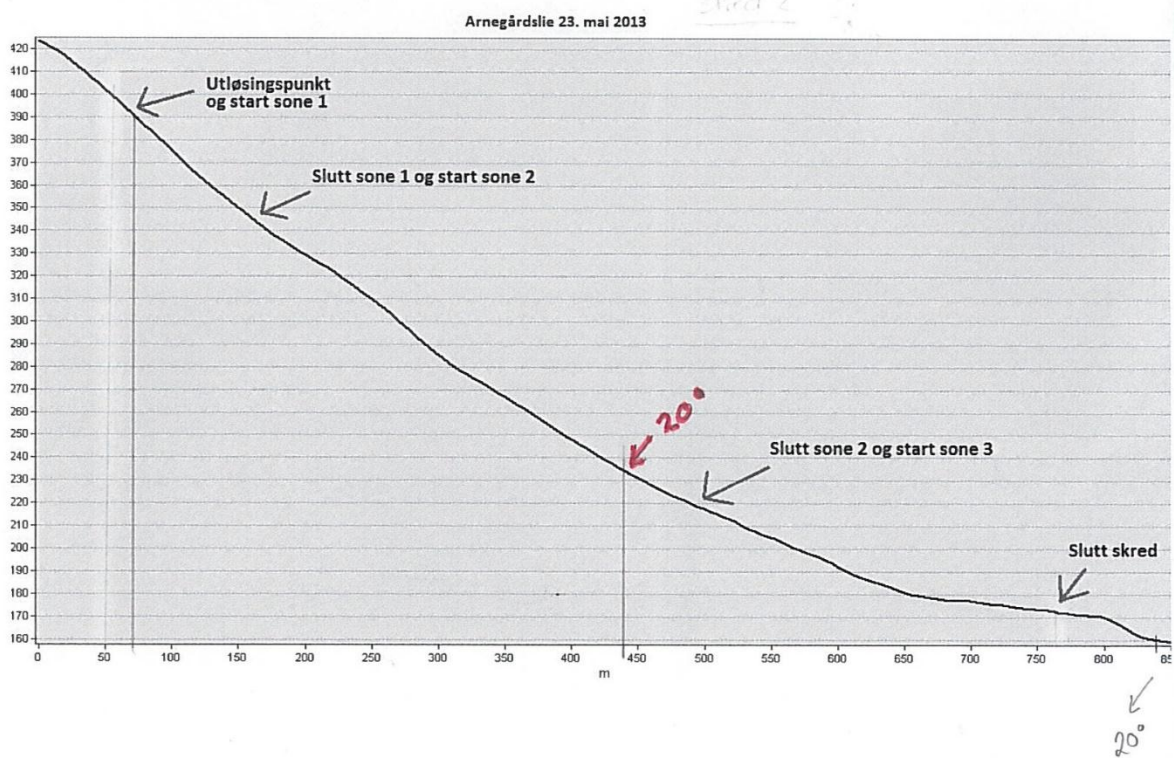
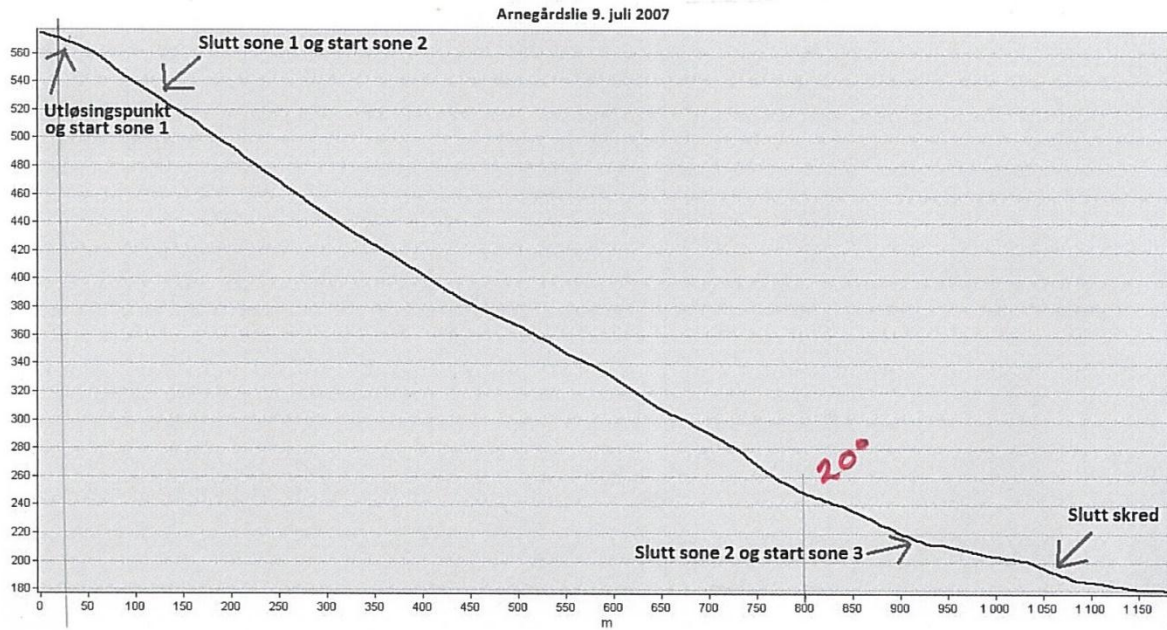
$$\text{Rekkevidden} = 1217,8\text{m}$$

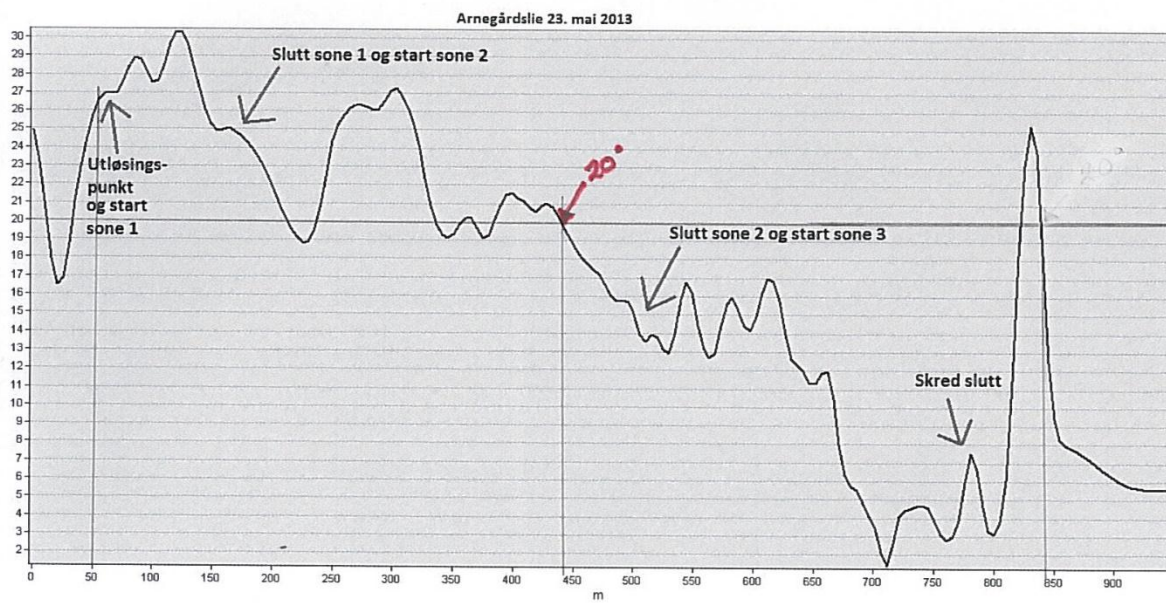
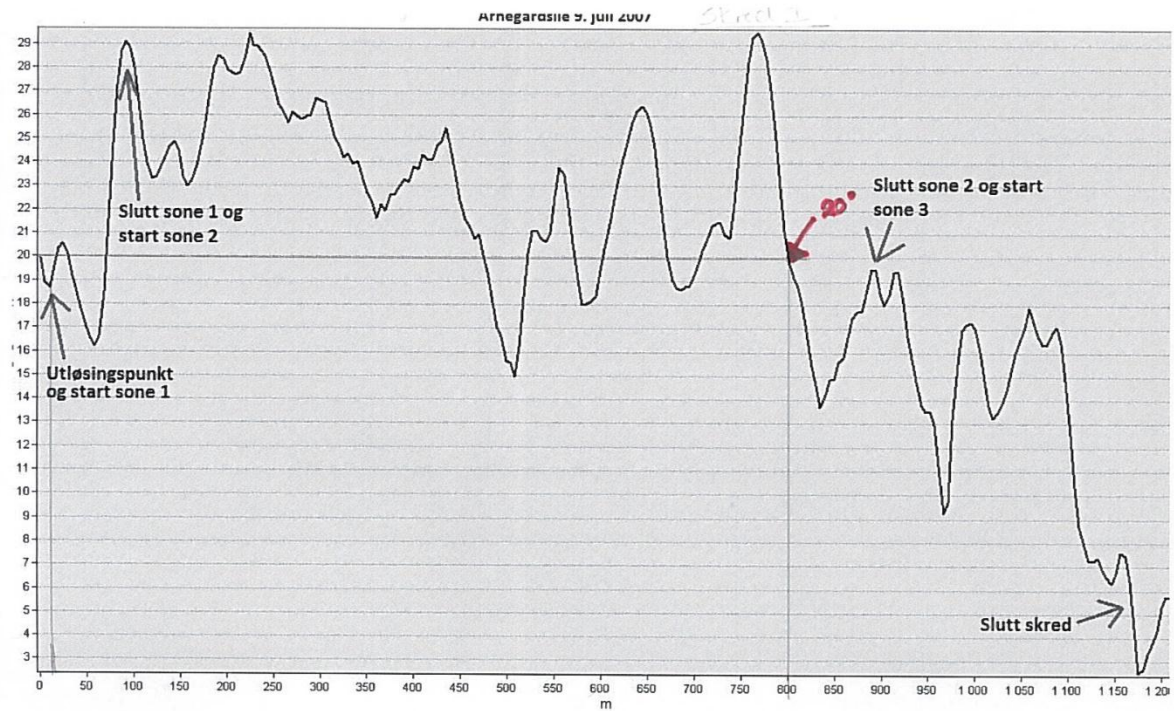
Alfa vinkelen ut i fra våre resultater:

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{370}{1050} \right) = 19,4^\circ$$

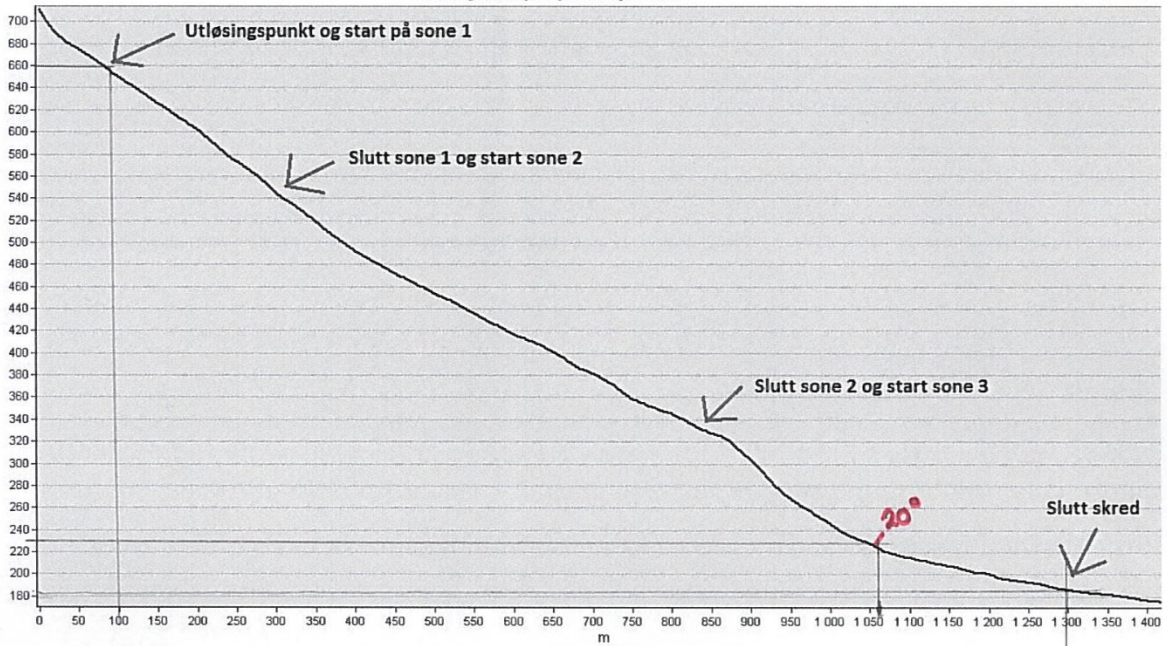
1050 er rekkevidden vi fant i vår terrengmodell.

Vedlegg 2



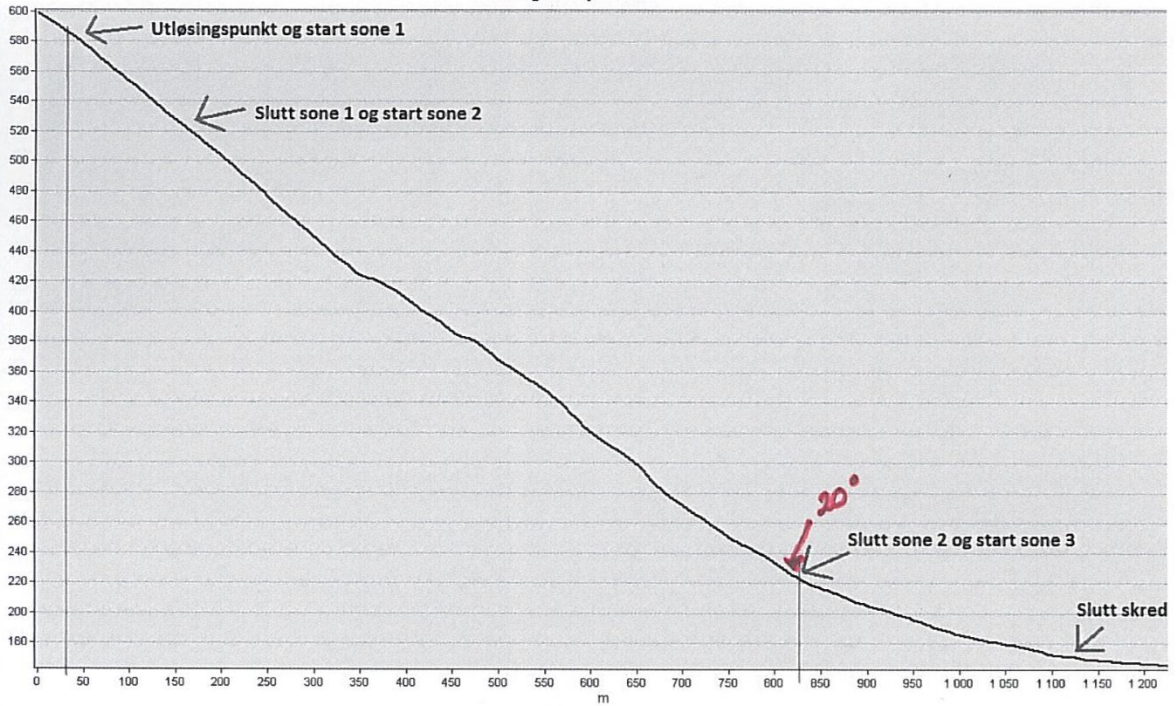


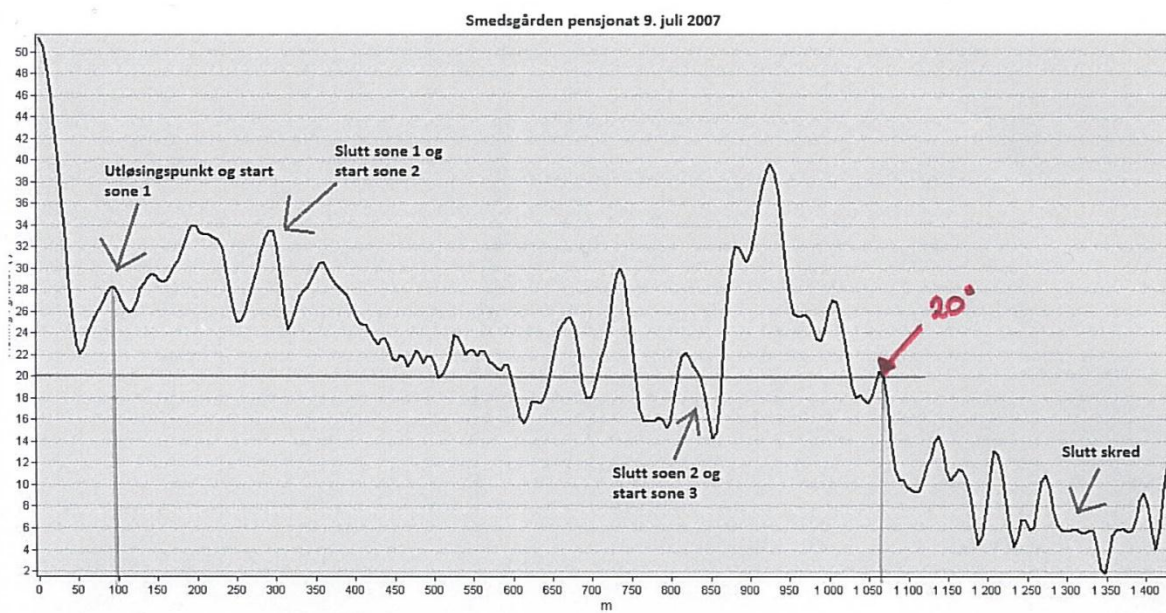
Smedsgården pensjonat 9. juli 2007



Smedsgården har feil plassert start på sone 3. Den skal begynne på ca. 1050m.

Alfarvegen 10. juni 2011





Smedgården har feil plassering for starten på sone 3. Den skal begynne på toppen over 1050m.

