

Masteroppgave, Institutt for geofag

# En studie av skredaktiviteten i Arnegårdslia, Nes kommune, Hallingdal

*Utløsende årsaker og menneskelig påvirkning*

**Monika Rødin Lund**



**UNIVERSITETET I OSLO**

**DET MATEMATISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET**



# En studie av skredaktiviteten i Arnegårdslia, Nes kommune, Hallingdal

*Utløsende årsaker og menneskelig påvirkning*

**Monika Rødin Lund**



Masteroppgave i geofag

Studieretning: Miljøgeologi og Geofarer

Institutt for geofag

Matematisk-naturvitenskaplig fakultet

UNIVERSITETET I OSLO

3.6.2013

© **Monika Rødin Lund, 2013**

Dette eksamensarbeidet er publisert elektronisk i DUO – Digitale Utgivelser ved UiO

<http://www.duo.uio.no>

Det er også katalogisert i BIBSYS (<http://www.bibsys.no/>)

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted, in any form or by any means, without permission.

Forsidebilde: Skredet ved Oslo Lysverker boligene 23. mai 2013 (Foto: Politiet).

# Sammendrag

Sommeren 2007 og 2011 ble flere store jordskred utløst i Arnegårdslia i Nes kommune, Hallingdal, noe som førte til store materielle skader. Målet med denne oppgaven har vært å undersøke jordskredaktiviteten i denne dalsiden for å få en forståelse av hva som forårsaket disse hendelsene og når og hvor neste skred vil inntreffe. Gjennom feltstudier har dalsidens raviner og skredavsetninger blitt kartlagt. Observerte nedbørmengder har blitt sammenlignet med gitte terskelverdier for å studere nedbørens betydning for utløsningen av hendelsene i 2007 og 2011. Gjentakintervallet for utløsende nedbørmengder har også blitt beregnet for å kunne gi en indikasjon på når neste skredhendelse kan inntreffe. Flere analyser har blitt foretatt for å undersøke skogsbilveiens betydning i forhold til dens påvirkning på utløsningen av skredene i 2007 og 2011, og fremtidige skred.

De mange ravinene og skredavsetningene gir et bilde av den store skredaktiviteten som har vært i dalsiden. Disse ravinene vil være naturlige skredbaner for fremtidige skred og skredavsetningene langs Arnegårdslia vil nok en gang bli aktiverte.

Resultatene viser at den menneskelige aktiviteten i Arnegårdslia har hatt en stor negativ innvirkning på stabiliteten i dalsiden. Skogsbilveien har ført til en endring i dreneringsmønsteret i dalsiden og problemer med vann på avveie har oppstått, noe som var medvirkende årsak til utløsningen av skredene i 2007 og 2011. Det har også blitt funnet at nedbørmengdene som kom under disse hendelsene var tilstrekkelig til å utløse skred etter beregnede terskelverdier. Skredene skyldes derfor en kombinasjon av menneskelig aktivitet og store nedbørmengder. Utløsende nedbørmengder tilsvarer et gjentakintervall på 9-100 år, når neste skred kommer til å inntreffe er derfor vanskelig å forutsi. Nedbørmengder med et høyt gjentakintervall ser ut til å utløse flere skredhendelser samtidig, mens nedbør med kortere gjentakintervall, som i 2011, kun utløser enkeltskred.

# Abstract

During the summer of 2007 and 2011 several large debris flows were initiated in Arnegårdslia in Nes municipality, Hallingdal, which caused extensive material damage to several households. The aim of this study has been to investigate the landslide activity in this valley side to get an understanding of what caused these events and when and where to expect the next. Through field work, past landslide activity has been mapped by observation of ravines and debris flow depositional fans. In order to study the effect of rainfall on the initiation of the debris flow events in 2007 and 2011 observed rainfall amounts have been compared with calculated threshold values for Arnegårdslia. The recurrence interval for the triggering rainfall amounts has been calculated in order to give an indication of when to expect the next debris flow. Several analyses have been performed to investigate the role of the forest road in the initiation process of the debris flows in 2007 and 2011, and for future debris flow events.

The many ravines and debris flow depositional fans indicate a high past activity. These ravines will naturally become debris flow tracks for future flows and the depositional fans along the valley side will once again be reactivated.

According to the results the human activity in Arnegårdslia had a large negative influence on the stability of the slope. The forest road lead to changes in the natural drainage system in the valley side and drainage problems occurred, which contributed to the initiation of the debris flows in 2007 and 2011. It was also found that the rainfall amounts which fell during these events were, according to calculated threshold values, adequate to initiate the debris flows. The debris flows were therefore caused by a combination of human activity and large amounts of rain. The triggering rainfall amounts corresponds to a recurrence interval of 9-100 years and when the next debris flow can be expected is therefore difficult to predict. It seems that precipitation amounts with large recurrence intervals simultaneously initiate large numbers of debris flows, while precipitation with shorter recurrence intervals, as the event in 2011, will only trigger single debris flows.

# Forord

Denne masteroppgaven startet sommeren 2012 med en ni dager lang felttur til Nesbyen i regi av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). Det er få masterstudenter som har fått en så god veiledning i løpet av feltarbeidet som meg. I den anledning vil jeg takke alle de som var med i felt og gjorde dette til en meget lærerik og hyggelig opplevelse.

Først og fremst vil jeg takke min hovedveileder Terje H. Bargel fra NVE. Tusen takk for all inspirasjon, veiledning og støtte. Du har gitt meg muligheten til å være med på langt mer enn en spennende masteroppgave. Takk til min medveileder Nils Roar Sælthun, ved Universitetet i Oslo, for gode innspill og veiledning helt til siste slutt. Jeg vil også takke Luzia Fischer og Lena Rubensdotter fra NGU for deres hjelp med denne masteroppgaven og for deres bidrag til foredraget mitt ved Vinterkonferansen.

Til slutt vil jeg takke medstudenter for noen morsomme år og for alle gode råd underveis. Også en takk til familien som har bidratt med oppmuntrende ord når motivasjonen har vært manglende. En spesiell takk rettes helt til slutt til Nils Arne. Du har hjulpet til med mer enn du aner!

Monika Lund

30.5.2013





# Innholdsfortegnelse

Sammendrag .....	I
Abstract .....	II
Forord .....	III
1 Introduksjon .....	1
2 Områdebeskrivelse .....	3
2.1 Kwartærgeologi .....	3
2.2 Berggrunn .....	3
2.3 Vegetasjon .....	4
2.4 Klima .....	4
3 Massebevegelse .....	7
3.1 Skredtyper .....	7
3.1.1 Steinsprang, steinskred og fjellskred .....	7
3.1.2 Jordskred og flomskred .....	8
3.2 Utløsningsmekanismer .....	11
3.2.1 Nedbørutløste skred .....	12
3.2.2 Menneskelige inngrep og skredfare .....	15
3.3 Klima og skred .....	19
3.3.1 Norsk klima og endringer i skredpotensialet .....	19
4 Metoder .....	22
4.1 Feltarbeid .....	22
4.2 Databehandling .....	22
4.3 Nedbørdata .....	23
4.3.1 Ekstrem nedbørstatistikk .....	23
4.4 Dimensjonering av stikkrenner og grøfter .....	25
4.4.1 Dimensjonering av stikkrenner .....	25
4.4.2 Dimensjonering av grøfter .....	28
4.5 Modellering av jordskred og flomskred .....	30
4.6 Skjærbokstest .....	32
4.7 Terskelverdier for nedbør .....	33
4.7.1 Global terskelverdi .....	33
4.7.2 Terskelverdi basert på prosent av årsnedbør .....	34

4.7.3	NVEs jordskredindeks.....	35
5	Resultater.....	36
5.1	Skredhistorikk i Nes kommune .....	36
5.2	Kartlegging og modellering.....	38
5.2.1	Kartlegging.....	38
5.2.2	Modellering av jordskred .....	38
5.3	Dimensjonering av stikkrenner og grøfter.....	41
5.3.1	Dimensjonering av stikkrenner .....	41
5.3.2	Dimensjonering av grøfter .....	43
5.4	Skjærbokstest og kornfordeling.....	44
5.5	Terskelverdiberegninger.....	45
5.5.1	Global terskelverdi .....	48
5.5.2	Terskelverdi basert på prosent av årsnedbør .....	50
5.5.3	NVEs jordskredindeks.....	52
5.5.4	Gjentaksintervall .....	52
6	Diskusjon.....	56
6.1	Kartlegging og modellering.....	56
6.2	Menneskelig aktivitet og skredfare.....	57
6.2.1	Dimensjonering av stikkrenner .....	57
6.2.2	Dimensjonering av grøfter .....	59
6.2.3	Skjærbokstest .....	60
6.3	Nedbør og skredene i 2007 og 2011 .....	62
6.3.1	Terskelverdier.....	63
6.3.2	Gjentaksintervall .....	64
7	Konklusjon .....	67
	Litteraturliste .....	68
	Vedlegg A – Stikkrenner.....	i
A.1	Oversikt over stikkrennene.....	i
A.2	Avrenningsberegninger. ....	ii
A.3	Kapasitetsberegninger .....	vi
	Vedlegg B – Grøfter.....	xi
	Vedlegg C – Datagrunnlag nedbør.....	xii
	Vedlegg D – Gjentaksintervall .....	xv

# 1 Introduksjon

Flom og skred er blant de naturfarene som gjør størst skade og tar flest menneskeliv i Norge. Siden 1900 har det blitt registrert mer enn 500 skredhendelser som til sammen har ført til rundt 1100 dødsfall, hvor snøskred er den skredtypen som har ført til flest tap av menneskeliv. Antall mennesker som har mistet livet på grunn av løsmasseskred siden år 1900 er rundt 100 fordelt på om lag 60 skredhendelser. Gauldalsskredet i 1345 og Verdalskredet i 1893 og er blant de største løsmasseskredene man kjenner til i Norge med hensyn til antall døde (Furseth, 2006). Fra 1980 til 2010 er det registrert skader for mer enn 1,4 milliarder kroner som følge av skred (St. Meld. 15, 2012).

Jordskred og flomskred faller inn under kategorien løsmasseskred. Disse skredtypene blir ofte utløst av meteorologiske faktorer (Sandersen et al., 1996). Dette er først og fremst som følge av overflateerosjon etter kortvarige og intense nedbørsperioder, eller som følge av oppbygging av poretrykk over lengre nedbørsperioder (Jaedicke et al., 2008). I tillegg kan menneskelig aktivitet ha en innvirkning på skredpotensialet i utsatte skråninger. Gjennom endringer i vannets naturlige dreneringsveier, dårlig vedlikehold av skogsbilveier og mangelfull eller utilstrekkelig drenering av veibanen, kan menneskelig aktivitet føre til at stabiliteten i dalsider reduseres og skred utløses (Fergus et al., 2011). Hvordan mennesket påvirker skredpotensialet i en dalside er derfor viktig å ta hensyn til under utbygging.

Enkelte områder i Norge vil i løpet av de nærmeste 50 årene oppleve en økning i antallet ekstreme værhendelser, og da spesielt ekstreme nedbørsepisoder (Iversen et al., 2002). Disse endringene i klimaet kan føre til en økning i frekvensen av skred og flere områder kan bli utsatt for skred (Jaedicke et al., 2008). Skredene kan også få større intensitet enn tidligere (St. Meld. 15, 2012). Mer ekstremt vær kan føre til at nedbørfelt må håndtere større vannmengder hyppigere enn tidligere. Det eksisterende dreneringssystemet i bratte dalsider kan dermed få for liten kapasitet (Fergus et al., 2011).

Nesbyen i Nes kommune, Hallingdal (Figur 1-1), opplevde sommeren 2007 og 2011 store nedbørmengder som førte til utløsningen av mange jordskred, hvorav tre traff bebyggelse. Før denne masteroppgaven ble ferdig opplevde bebyggelsen i Nesbyen nok en ny skredhendelse. Natten til 23. mai 2013 ble et jordskred utløst i Arnegårdslia og traff en av lokalitetene som også ble rammet av skred i 2007. Ingen liv har gått tapt som følge av disse

hendelsene, men dette skyldes kun tilfeldigheter. Mye av bebyggelsen i dalsiden nord for Nesbyen er lokalisert på eldre skredavsetninger, noe som gjør dem utsatt for flere skred i framtiden. Nesbyen er derfor en prioritert lokalitet i forhold til undersøkelse av skredutsatt bebyggelse. Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) utførte derfor skredfarekartlegging i dalsiden nord for Nesbyen sentrum sommeren 2012. Formålet med kartleggingen var å identifisere skredutsatt bebyggelse og framstillingen av et faresonekart. Alle innsamlede data fra felt kunne brukes i denne masteroppgaven.

Masteroppgaven skal dokumentere med kart, bildestudier og feltarbeide de jordskredene og jordskredavsetningene som lar seg identifisere. Videre skal de utløsende faktorer vurderes og mulige lokaliteter for framtidige skred angis. Teoretiske betraktninger knyttet til skredutløsning, klimatiske, sedimentologiske og geotekniske faktorer, skal belyses. Problematikken omkring gjentaksintervall for sammenlignbare hendelser skal også diskuteres. Stratigrafiske undersøkelser og dateringer skal ikke gjøres i denne sammenheng.



**Figur 1-1. Nesbyen er lokalisert i Nes kommune, Hallingdal (A). Skogsbilveiene i Arnegårdsli hadde hovedfokus under feltarbeidet sommeren 2012 og har blitt valgt som studieområde for denne oppgaven, firkant i bilde B.**

## 2 Områdebeskrivelse

### 2.1 Kvartærgeologi

Nesbyen har vært islagt mange ganger opp gjennom jordens historie. Det er disse istidene som har formet det landskapet som sees i dag. Totalt antas det at Norge har vært utsatt for ca. 40 nedisninger i løpet av kvartær, de siste 2,5 millioner år (Nordgulen et al., 1997). I perioder da isen var på det tykkeste var isbevegelsen mot sørøst. Isen beveget seg da på tvers av Hallingdalen fra sentral Norge mot Oslofjorden (Nordgulen et al., 1997). Etter den siste kuldeperioden i Yngre Dryas, for ca. 11500 år, siden begynte isen å smelte raskt (Ramberg et al., 2007). Under de siste stadiene av avsmeltingen lå isen som en dalbre i Hallingdalen og isbevegelsen ble styrt av topografien. Noe av materialet som breen fraktet med seg og avsatte underveis kan i dag sees som moreneavsetninger og breelvavsetninger langs Hallingdalen (Nordgulen et al., 1997). Den vestlige dalsiden nord for Nesbyen er preget av et tykt morenedekke, mens den østlige dalsiden derimot er preget av et tynt morenedekke med større områder bart fjell (Figur 2-1). Forskjellen i tykkelse kan skyldes to årsaker. Den ene er at vestsiden var i le og materialet ble her avsatt når isbevegelsen var på tvers av dalen. I tillegg er berggrunnstopografien i vest mye brattere enn i øst, og vestsiden kan derfor ha vært en sedimentfelle. Siden isen forsvant for omtrent 9000-8000 år siden har Hallingdalselva transportert, erodert og avsatt materiale (Nordgulen et al., 1997). Flere terrasser etter Hallingdalselvas erosjon er synlige langs elveløpet. Elveviften som Nesbyen sentrum ligger på er dannet av Rukkedølas transport- og avsetningsprosesser. I morenematerialet på vestsiden har erosjon ført til dannelsen av utallige raviner (Nordgulen et al., 1997).

Legenden til kartet vist i Figur 2-1 inneholder flere elementer enn de avsetningene som finnes i Nesbyen. Kartet mangler også en del elementer som ble observert i felt. Disse inkluderer blant annet ravinene i Arnegårdslia og skredavsetningene langs dalbunnen.

### 2.2 Berggrunn

De fleste bergartene som en finner i Nesbyen i dag ble dannet under jordas urtid og er fra 900 til 1500 millioner år gamle. Berggrunnen tilhører grunnfjellsbergartene og består av omdannede avsetningsbergarter og vulkanske bergarter som er gjennomvannet av dypbergarter (Nordgulen et al., 1997). Berggrunnen rundt Nesbyen består hovedsakelig av migmatittisert

gneis og granitt, og kvartsitt (Figur 2-2). I den migmatittiserte gneisen er det områder med amfibolitt og gabbro. I kvartsitten er det også intrusjoner av både amfibolitt og gabbro, men i tillegg kan en finne soner med migmatittisert granitt (ngu.no, 2013). Granitt, kvartsitt og gneis er harde bergarter og en finner derfor mange steder at berggrunnsverflaten er jevn og blankskurt. De bratte partiene i berggrunnsverflaten kan sees som områder med bart fjell eller et tynt løsmassedekke på løsmassekartet (Figur 2-1).

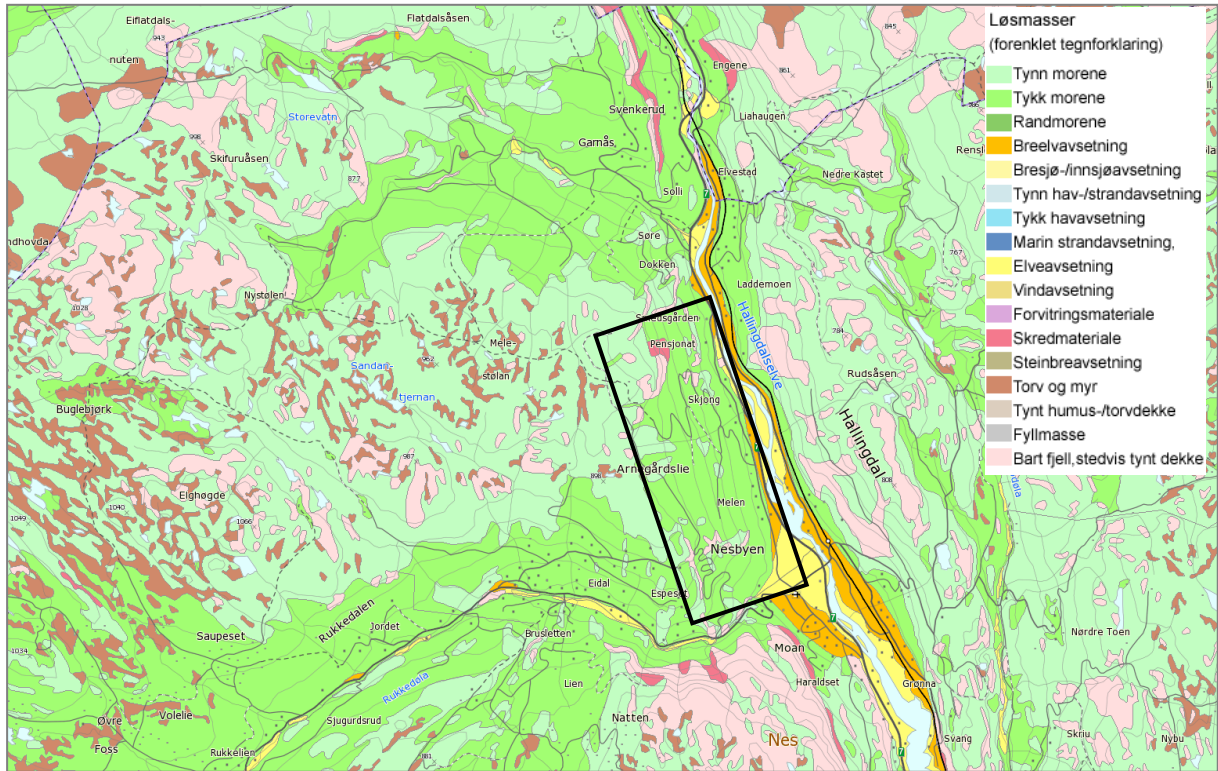
## 2.3 Vegetasjon

Norge er delt inn i sju vegetasjonssoner. Disse sonene representerer variasjonene i vegetasjonen fra sør til nord i landet, og fra lavland til fjell. Inndelingen er stort sett basert på sommertemperaturer. Nes kommune inkluderer to vegetasjonssoner. De nedre delene av dalen, helt nede ved elven, tilhører den sørboreale sonen. De høyereliggende områdene tilhører mellomboreal sone. Sørboreal sone domineres av barskog, men også løvskog som or og bjørk er å finne. I den mellomboreale sonen er det også mye barskog, men også her er or en godt representert art (Moen et al., 1998).

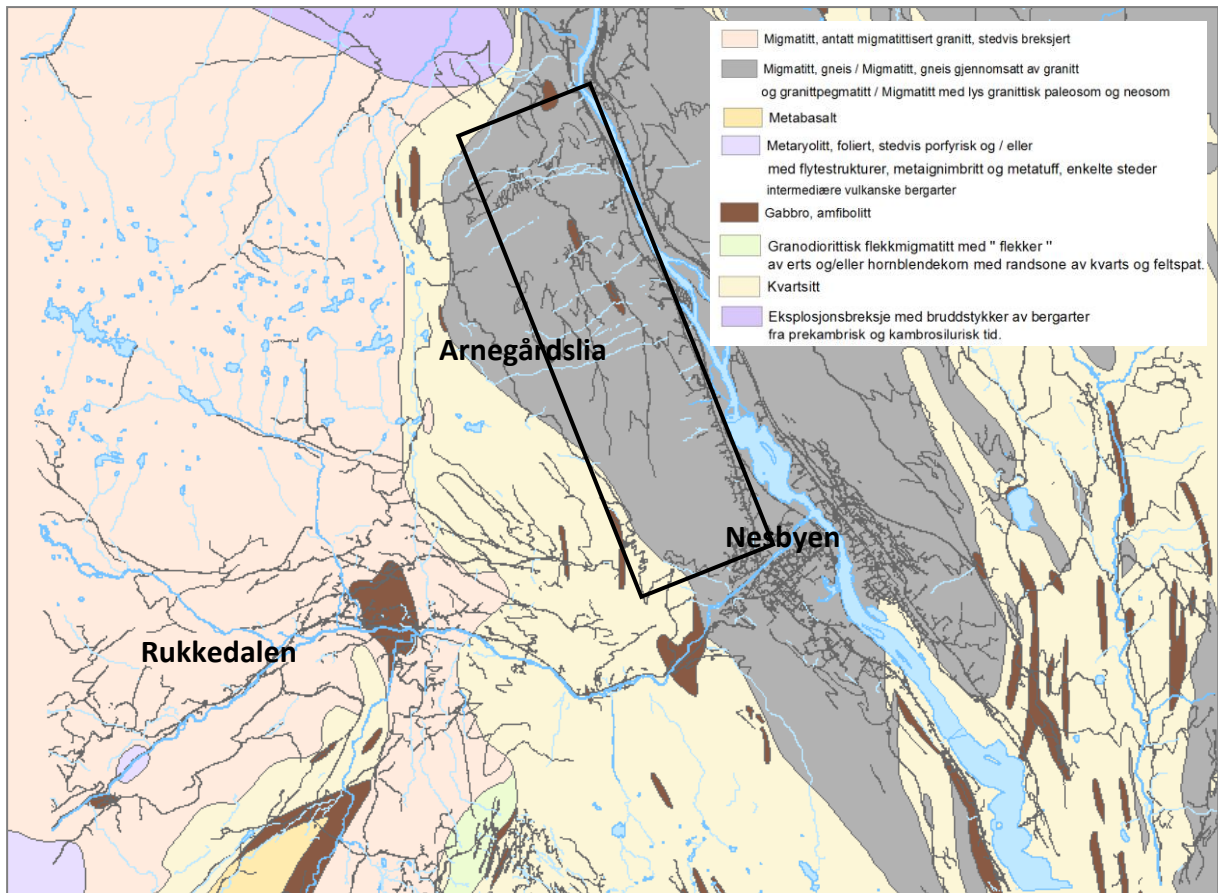
Som observert i felt består mye av vegetasjonen i området rundt Nesbyen av gran og furu, og ulike typer løvtrær. Totalt er 62 % av kommunens arealer produktiv skogsmark. Totalt utgjør gran 47 % av den stående skogsmassen, furu 45 % og løvtrærne utgjør 8 % (Nes Kommune, 2005).

## 2.4 Klima

Ifølge den norske inndelingen av Norge i klimaregioner ligger Nesbyen i et kaldtemperert klima med høye sommertemperaturer og lave vintertemperaturer. Basert på klimasonen kommer det meste av nedbøren i sommermånedene (Moen et al., 1998), men en del nedbør kommer også utover høsten. Topografiske forhold har stor innvirkning på lokalklimaet (Utaaker, 1991). Nesbyen ligger ved møtepunktet mellom Rukkedalen og Hallingdalen og i vær-situasjoner hvor været kommer fra vest vil været følge Rukkedalen. Når slike vær-situasjoner opptrer kan møtet med Hallingdalen føre til at Nesbyen opplever lokalt kraftige regnskyll. Spesielt dalsidene vil kunne oppleve noe større nedbørmengder enn det som blir observert i midten av dalen. En illustrasjon på en slik situasjon er vist i Figur 5-16.



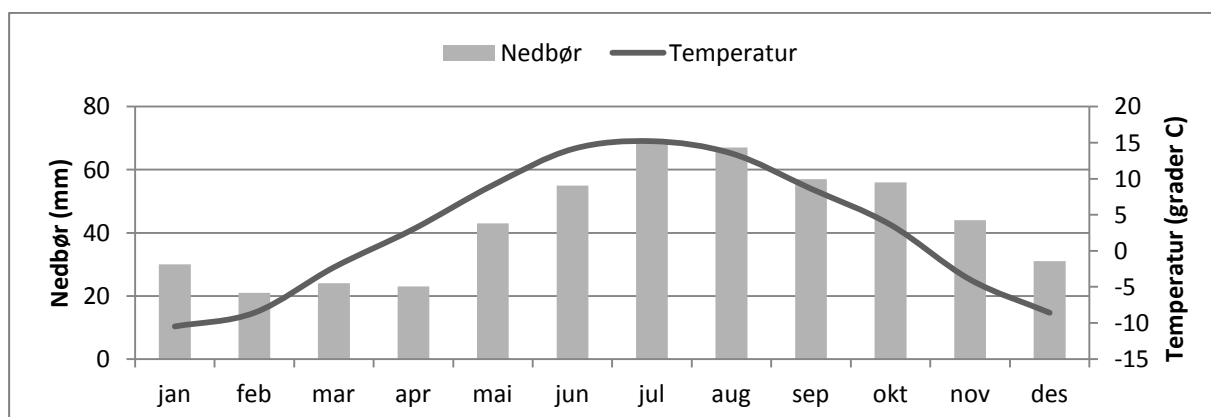
Figur 2-1. Løsmassefordelingen i Nesbyen området (ngu.no, 2013). Firkanten viser studieområdet.



Figur 2-2. Berggrunnskart over områdene rundt Nesbyen (ngu.no, 2013). Firkanten viser studieområdet.

Den nåværende værstasjonen i Nesbyen, Nesbyen – Todokk, har vært i bruk siden november 2003. Totalt har fire værstasjoner vært operative i Nesbyen og disse har ligget på nesten samme lokalitet. Disse er; Nesbyen; Nesbyen II, Nesbyen-Skoglund; og Nesbyen-Todokk. Målingene av blant annet nedbør og temperatur startet i juli 1895 og fram til i dag gir dette nesten 120 år med målinger (eKlima.no, 2013).

Figur 2-3 viser temperatur- og nedbørnormaler for den siste normalperioden, 1961-1990. De høyeste temperaturene forventes i løpet av månedene juli og august, tett etterfulgt av juni, september og oktober. Laveste månedsmiddeltemperatur ligger på rundt -10 °C. Per dags dato har Nesbyen varmereorden for Norge. Den 20. juni 1970 ble temperaturen i Nesbyen målt til 35,6 °C (Mamen, 2008). Den laveste temperaturen som er målt i hele observasjonsperioden i Nesbyen ligger på -38 °C og ble målt 13. januar 1914. Høyeste midlere månedsnedbør fordeler seg fra mai måned til november, med maks målte nedbør i juli på nesten 70 mm. Den største målte døggnedbøren var på 62,7 mm den 14. august 1994 (eKlima.no, 2013). Se også Tabell 5-5 for en oversikt over maksimalt observert nedbør i Nesbyen.



**Figur 2-3. Normalverdier for nedbør og temperatur i perioden 1961-1990 for Nesbyen (eKlima.no, 2013).**



# 3 Massebevegelse

I internasjonal litteratur er landslides (skred) definert som nedadgående bevegelse av jord, stein eller menneskeskapte fyllinger (Varnes, 1978). I motsetning til den norske definisjonen innebefatter den engelske definisjonen av skred ikke bevegelse av snø og is. (Varnes, 1978, NVE, 2011c). Den norske definisjonen utarbeidet av NVE er formulert på følgende måte (NVE, 2011c); ”et skred er et naturfenomen der tyngdekraften bidrar til at materialer som stein, løsmasser eller snø beveger seg nedover en skråning i terrenget. Bevegelsen kan skje gjennom fall, glidning eller en rask strøm av masse, og selve skredet kan også inneholde vann i ulike mengder.” I de følgende avsnittene vil relevante skredtyper for det undersøkte området utdypes og deres utløsningsmekanismer beskrives.

## 3.1 Skredtyper

Det eksisterer mange ulike klassifiseringer av skredtyper, de fleste av dem baserer seg på type materiale og hvordan dette beveger seg. Ettersom den norske definisjonen av skred er noe forskjellig fra den som er oppgitt i Varnes (1978) har det blitt utarbeidet egne, norske, definisjoner for de ulike skredtypene, se Tabell 3-1 (NVE, 2011a, 2011c). Skredene som gikk i Nesbyen i 2007 og 2011 har av personer fra NGI blitt klassifisert som jordskred og flomskred (Nerland, 2007a, 2007b, Solheim, 2011).

**Tabell 3-1. Den norske inndelingen av skredtyper (NVE, 2011c).**

Fast fjell	Løsmasser		Snø
	Grove	Fine	
Steinsprang	Jordskred		Snøskred
Steinskred	Flomskred	Kvikkleireskred	Sørpeskred
Fjellskred			

### 3.1.1 Steinsprang, steinskred og fjellskred

Hovedforskjellen mellom skredtypene steinsprang, steinskred og fjellskred er størrelsen. Steinsprang har et volum som er mindre enn  $100\text{ m}^3$ , steinskred har et volum som strekker seg mellom  $100$  og  $10\,000\text{ m}^3$ . Kommer skredmassenes volum over  $10\,000\text{ m}^3$  snakkes det om fjellskred (ngi.no, 2013). Under et steinsprang eller steinskred er det enkeltfragmenter som

løsner fra bratte fjellsider. For steinsprang vil denne steinblokken ofte holde seg intakt på sin vei nedover skråningen mens under et steinskred vil blokken fragmenteres på grunn av bevegelsen. Fjellskred har et mye større volum og har derfor en mye større utløpsdistanse enn steinsprang og steinskred. De oppstår etter en plutselig kollaps av et ustabil fjellparti (NVE, 2011b).

### 3.1.2 Jordskred og flomskred

Jordskred og flomskred kan i engelsk litteratur oversettes til debris slide (jordskred), debris flow og debris flood (flomskred) (NVE, 2011a). Overgangen fra jordskred til flomskred baserer seg på ulikheter i vanninnhold, bevegelighet, avsetningsmønster og utløsingsmekanismer, men overgangen er gjerne flytende (Varnes, 1978, NVE, 2011a).

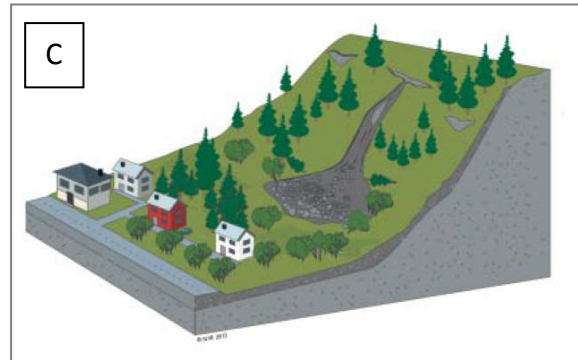
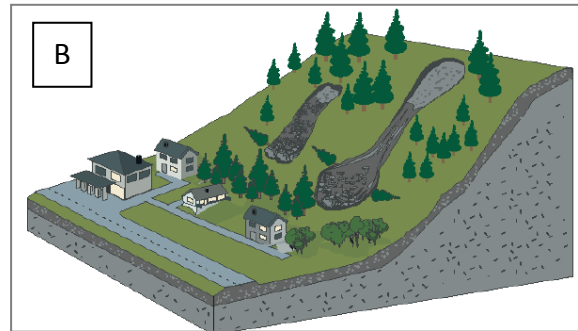
**Jordskred.** Ifølge Varnes (1958) klassifisering er dette skred som hvis utløsning kontrolleres av eksisterende svakhetssoner i undergrunnen. Dette kan være forkastninger, sprekker, lagdelinger, eller variasjoner i skjærstyrken mellom ulike jordhorisonter. De beveger seg ved glidning, men materialet deformeres og sprekkes opp mens det beveger seg nedover skråningen. Slike skred kan bestå av mange ulike typer materialer, men i hovedsak er det lite vann som er involvert. Dybden på skredene begrenses ofte av kontaktsonen mellom løsmasser og berggrunn (Varnes, 1958). Fasongen på skredene er i hovedsak styrt av topografien og tykkelsen på løsmassene, se Figur 3-1 (NVE, 2011c, 2011a).

Jordskred løsner i terreng som gjennomsnittlig er brattere enn 30°. Det er oftest store vannmengder som er den utløsende årsaken, men også steinsprang og fjellskred kan utløse jordskred (NVE, 2011a, 2011c). Skredene kan løsne i et punkt eller som en større bruddsone (NVE, 2013). Hastigheten på skredmassene øker med økende vanninnhold og kanalisering (Varnes, 1958, NVE, 2011a).

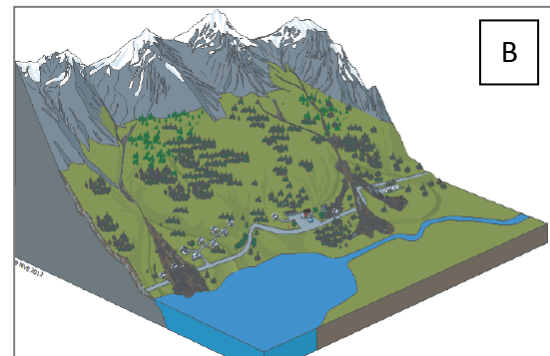
**Flomskred.** Overgangen mellom jordskred og flomskred reflekteres av variasjoner i vanninnhold, og et jordskred kan derfor utvikle seg til et flomskred dersom det tilføres vann. Flomskred har etter NVE (2011a) to engelske termer; debris flow og debris flood, og de skiller av forskjeller i vanninnhold og sedimentinnhold. Flomskred er hurtige, vannrike, flomlignende skred som ofte forekommer langs definerte elve- og bekkeløp, og i raviner og gjel der det ikke er permanent vannføring, se Figur 3-2 (NVE, 2011a). Tabell 3-2 gir en oversikt over hovedforskjellene mellom flomskred og jordskred.

Flomskredene løsner i terreng som er brattere enn  $25^\circ$  og opp mot  $45^\circ$ . Også her er store vannmengder den utløsende årsaken (NVE, 2013). Flomskredene starter ofte som et jordskred i de øvre delene og utvikler seg til et flomskred underveis, eller på grunn av erosjon av løsmasser i skredbanen. Flomskred har stor volumetrisk tetthet og avstanden mellom partiklene er derfor liten slik at det er liten bevegelse mellom partiklene i forhold til hverandre (Takahashi, 2007, Norem og Sandersen, 2012). På grunn av kohesjonen og det store partikkelinnholdet minner massene om våt sement og er i stand til å frakte store steiner, og kan derfor føre til store materielle skader. På grunn av de store forskjellene i partikkelstørrelse kan skredene komme i pulser. Avstanden mellom pulsene kan være fra minutter til timer (De Blasio, 2011).

Hovedforskjellen mellom debris flow og debris flood er vanninnhold. Debris flood har et mye høyere vanninnhold/lavere sedimentinnhold noe som gjør at massene fortsatt innehar Newtonske egenskaper (Pierson, 2005). Debris flood er derfor en mer fluvial prosess (NVE, 2011a) og kan også kalles turbulente flomskred (Norem og Sandersen, 2012). Ofte vil det være en overgang fra flomskred til turbulente flomskred i løpet av et skred, hvor skredet utvikler seg til et turbulent flomskred når materiale avsettes (Pierson, 2005). Slike turbulente flomskred kan også observeres der det er stor produksjon av finstoff, som i breelver og i områder med vulkanske avsetninger (Takahashi, 2007, Norem og Sandersen, 2012). I dagligtale blir det ikke skilt mellom disse to skredtypene (NVE, 2011a)



**Figur 3-1. A: Eksempel på et langstrakt, trekantformet jordskred (Foto Terje H. Bargel, NVE). B: Eksempel på et vanlig jordskred (NVE, 2013). C: Trekantformet jordskred (NVE, 2013).**



**Figur 3-2. A: Flomskredvifte i Eikesdalen 2003 (NVE, 2011a). B: eksempel på ulike formasjoner av flomskred (NVE, 2013).**

Tabell 3-2. Sammenligning mellom jordskred og flomskred (NVE, 2011a).

	Forhold i løseområdet	Utløsningsmekanisme	Bevegelse og rekkevidde	Kjennetegn i avsetningsområde
Jordskred	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bratte skråninger (&gt;25-30°) dekket av løsmasser</li> <li>- Utenfor bekker og elver</li> <li>- En del finmateriale, men også stein, grus, sand og vegetasjon</li> <li>- Varierende vanninnhold</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intens/langvarig nedbør og/eller snøsmelting</li> <li>- Punktbrudd eller tversgående sprekk i løsmasser</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utglidningen skjer i vannmettede masser som kan øke i størrelse</li> <li>- Massestrømmen kan ha stor rekkevidde</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tungeformede rygger (lober) og langsgående rygger (levéer) av grovmateriale langs skredbanen og i flater områder</li> <li>- Avsetning i vifteformasjon, grovere materiale på toppen med avtagende størrelse utover langs viften (kan være brattere enn flomskredviftene)</li> </ul>
Flomskred	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bratt terreng, flomstore bekker og elver eroderer i løsmassene</li> <li>- Opptrer langs klart definerte dreneringsveier (raviner, gjel, bekker, elver, etc.) hvor det vanligvis ikke er permanent vannføring</li> <li>- Stort vanninnhold</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Flom pga. intens nedbør og/eller snøsmelting, eller pga. dambrudd etter oppdemming av skredmasser eller annet materiale</li> <li>- Intens erosjon i sammenheng med svært stor vannføring fører til en vannmettet sedimentstrøm</li> <li>- Materiale kan tilføres fra tilgrensende jordskred</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bølge av vann, sedimenter og organisk materiale med stor hastighet</li> <li>- Stor hastighet og tetthet</li> <li>- Stort volum</li> <li>- Svært lang rekkevidde</li> <li>- Vannmassene kan fortsette mye lenger enn sedimentene</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Skredmassene kan avsettes som langsgående rygger (levéer) på siden av skredbanen og som tungler (lober) i front</li> <li>- De groveste massene avsettes øverst på viften, partikkelstørrelse avtar utover på viften (kan ofte være en jevnere overflate enn på jordskredvifter)</li> </ul>

## 3.2 Utløsningsmekanismer

Før et skred kan utløses er det en rekke forhold som må være oppfylt. Først og fremst må skråningen ha en vinkel lik eller større materialets stabilitetsvinkel, det må også være nok tilgjengelig materiale i terrenget, og til slutt må det være en utløsende årsak (Norem og Sandersen, 2012). Ulike utløsningsmekanismer kan være (Hyndman og Hyndman, 2006):

- Jordskjelv
- Vulkanutbrudd
- Ustabilitet i massene
- Nedbør
- Endringer i vannivået i elver, innsjøer, eller dammer (Wieczorek, 1996).

- Menneskelig påvirkning i form av endringer i det naturlige skråningsmiljøet (fyllinger, veibygging, utgravninger)

Ikke alle de overnevnte utløsningsmekanismene er relevante for det studerte området og for de aktuelle skredtypene. Flomskred og jordskred blir oftest utløst av meteorologiske faktorer (Sandersen et al., 1996), i tillegg spiller menneskelig aktivitet en viktig rolle i utløsningen (Fergus et al., 2011). Selv om menneskelige inngrep ikke blir betegnet som en utløsende årsak er det en viktig medvirkende årsak og vil derfor her bli beskrevet under utløsende årsaker. Hovedfokuset heretter vil derfor være på menneskelig aktivitet og nedbør som utløsende årsaker.

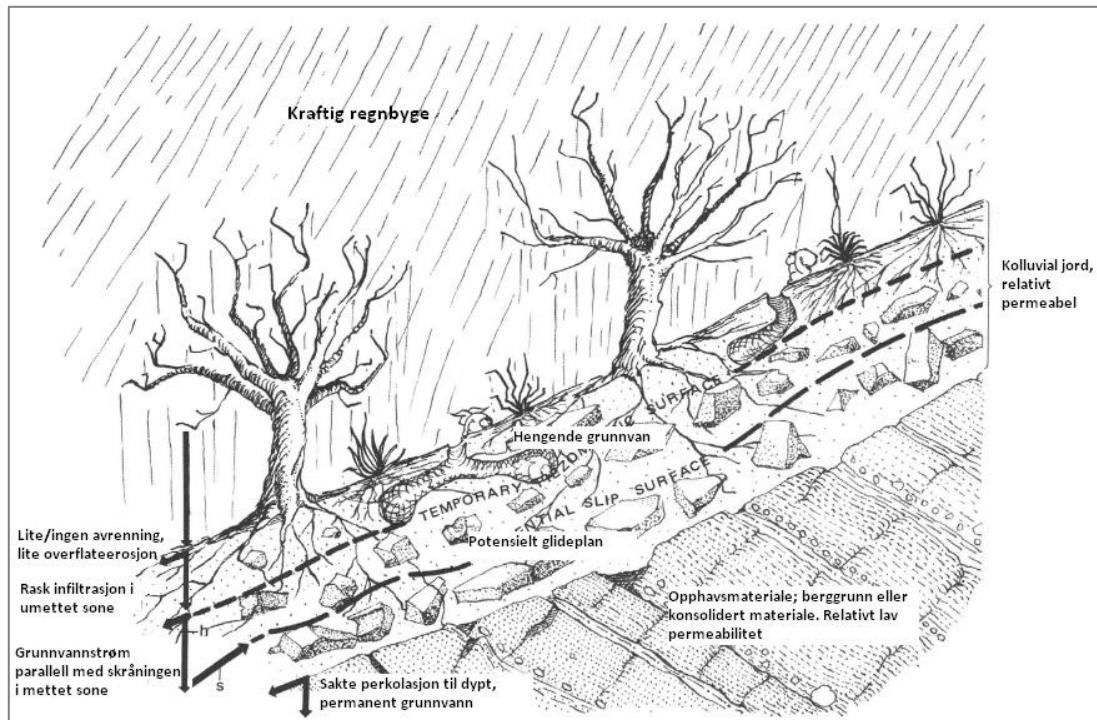
### 3.2.1 Nedbørutløste skred

Det er tre hovedårsaker til at skred blir utløst av nedbør (Cepeda, 2009):

- Økt porevannstrykk
- Økt vekt på grunn av metning av sedimentene
- Erosjon

**Økt porevannstrykk.** Nedbørutløste skred blir i de fleste tilfeller forårsaket av økt porevannstrykk og sigevannskrefter (Terzaghi (1950) hentet fra Wang og Sassa (2003)). Det økte porevannstrykket fører til en reduksjon i effektivspenningen og skjærstyrken til jorda blir derfor redusert og et skred kan utløses (Craig, 2004).

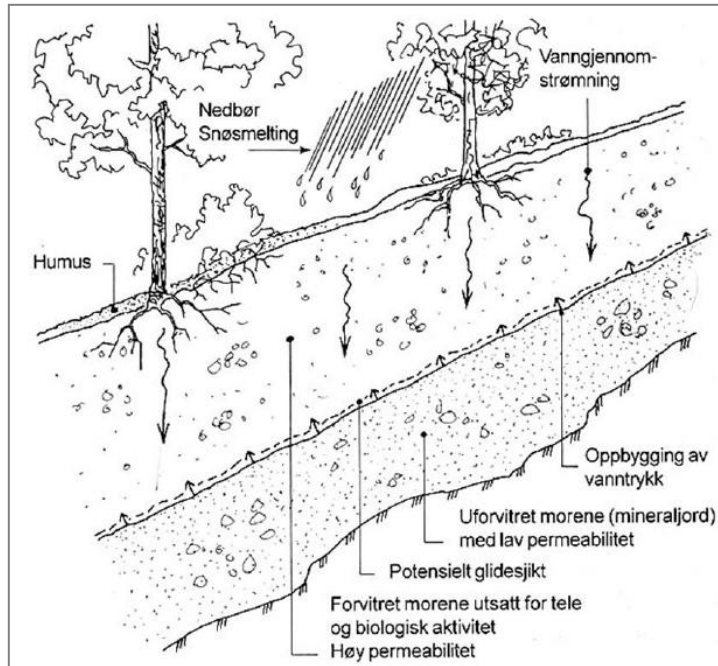
Flere situasjoner kan føre til økt porevannstrykk. En av dem er at infiltrasjon av regnvann kan føre til dannelse av hengende grunnvann i sedimentene og lokalt store porevannstrykk, Figur 3-3 (Campbell, 1975). Forutsetningene for dannelsen av hengende grunnvann er at jorda er ved feltkapasitet når nedbørperioden starter. Deretter må intensiteten være så høy at transmissiviteten i de dypere jordlagene overstiges (Wieczorek og Glade, 2005). Når transporten av det infiltrerte vannet er tregere enn infiltrasjonen kan det dannes midlertidige soner med hengende grunnvann i løsmassene (Campbell, 1975). Det hengende grunnvannet fører til lokalt positive porevannstrykk som reduserer styrken til materialet og grunne løsmasseskred kan utløses (Wieczorek og Glade, 2005).



**Figur 3-3. Dannelse av en midlertidig sone med hengende grunnvann i en permeabel jordart (Campbell, 1975).**

I norske morener er et typisk jordprofil delt inn i to lag; et permeabelt øvre lag og et konsolidert nedre lag med lav permeabilitet (Figur 3-4). Det øverste laget er mer permeabelt på grunn av forvittringsprosesser og har normalt en tykkelse på ca. 0,5-1 meter. Når infiltrasjonen er stor kan positive porevannstrykk bygges opp på lagflaten mellom det permeable og konsoliderte laget (Norem og Sandersen, 2012). Sonen med høyt poretrykk kan fungere som et glideplan, og en ser ofte at det er det øverste laget som løsner (NVE, 2011a). Positive porevannstrykk kan også oppstå i andre jordarter som har lag med ulik permeabilitet (Norem og Sandersen, 2012).

Snøsmelting kan også bidra med store mengder vann til infiltrasjon. Horton (1938) har funnet ut at det infiltrerer mer vann fra et snødekke enn ved lignende mengder regnvann. Snødekket er en kontinuerlig tilførsel av vann over en lengre periode sammenlignet med den normale infiltrasjonen fra regn. I frossen jord vil infiltrasjonen fra smeltevann være ubetydelig (Horton, 1938). Infiltrasjon av smeltevann øker porevannstrykket, og øker dermed faren for utløsning av skred, og da spesielt i situasjoner hvor det er et tynt løsmassedeck over berggrunnen (Costa, 1984, Mathewson et al., 1990).



**Figur 3-4. Typisk inndeling av norsk morene i et permeabelt lag og et nedre lite permeabelt lag. Hentet fra Norem og Sandersen (2012).**

**Økt vekt.** Vann tilfører en vekt til skråningen på grunn av metningen av sedimentene. Den spesifikke vekten til vannmettede sedimenter er større enn den spesifikke vekten til tørre sedimenter (Craig, 2004). Derfor vil den totale vekten av sedimentene øke med økende metningsgrad, og de drivende kreftene vil derfor bli større. Antakelig vil ikke den økte vekten alene føre til en utglidning, men i kombinasjon med andre prosesser, som økt porevannstrykk, føre til utglidning av sedimentene (Campbell, 1975).

**Erosjon.** Erosjonen i elver kan føre utløsning av løsmasseskred. Ved å undergrave elvas bredder blir skråningens vinkel brattere. I tillegg blir vekt fjernet fra bunnen av skråningen. Resultatet av disse to prosessene er at skråningens stabilitet reduseres, og det blir gunstige forhold for utglidninger (Norris et al., 2008).

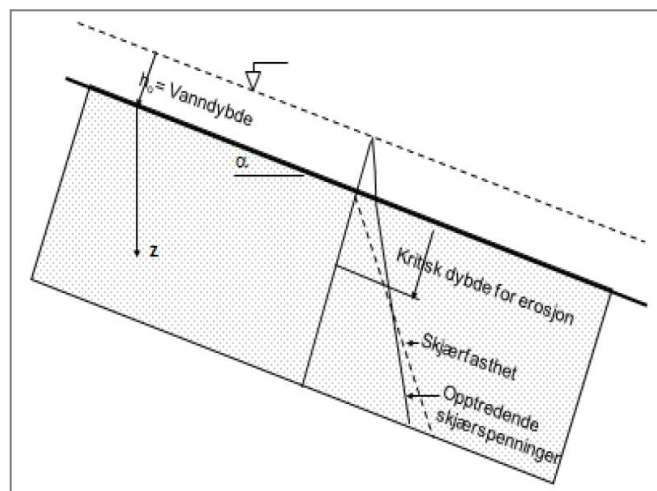
Erosjon på grunn av overflateavrenning kan også føre til skred. Overflateavrenning kan kategoriseres i to typer; jevnt fordelt flateerosjon og erosjon som fører til utviklingen av riller og raviner. Det er den siste typen som kan føre til utviklingen av løsmasseskred og den skyldes konsentrert overflateavrenning (Norris et al., 2008). Hvor stor erosjonen blir, avhenger av flere faktorer (Norris et al., 2008):

- Klimaet, høy nedbørintensitet i kombinasjon med terreng som ikke er dekket av vegetasjon fører til en økt erosjon



- De opprinnelige fuktighetsforholdene i sedimentene kan påvirke hvor lett massene eroderes; nesten vannmettede masser kan øke erosjonen
- Jordtypen og dens fysiske og kjemiske egenskaper bestemmer hvor lett den kan eroderes
- Energien til avrenningen, økende energi gir økt erosjon
- Skråningens morfologi, helning og lengde. Bratte og lange skråninger bidrar til at avrenningen får større energi og kan dermed erodere mer
- Menneskelige faktorer som fører til endringer i vegetasjonsdekket, jordbruksrelaterte endringer, og direkte inngrep på løsmassene vil kunne føre til økt erosjon
- Skogbrann fjerner vegetasjonen og gjør jordsmonnet sårbart og mer utsatt for erosjon

Som nevnt tidligere blir flomskred ofte utløst i naturlige dreneringsløp uten permanent vannføring (Varnes, 1958). Takahashi (2007) har undersøkt forhold som fører til initiering av flomskred i vannmettede løsmasser som følge av erosjon i raviner. Forutsetningen for denne utviklingen av flomskred er at det utvikles en ustabilitet i massene ned til en betydelig dybde. Flomskred vil kun utvikles dersom skjærspenningene som påføres sedimentene er større enn skjærfastheten til sedimentet ned til denne dybden,  $z$  i Figur 3-5. Det vil si at erosjonen starter når skjærspenningen fra vannet overstiger skjærfastheten til sedimentene i ravinen (Takahashi, 2007). Slike forhold utvikles som regel i flomperioder når det er markerte flomtopper eller hvis flomvannet finner nye løp i terrenget hvor overflaten ikke har utviklet en naturlig erosjonshud (Norem og Sandersen, 2012).



**Figur 3-5. Skjærspenninger og skjærfasthet i et sediment som overstrømmes av vann. Fra Norem og Sandersen (2012) som er basert på Takahashi (2007).**

### 3.2.2 Menneskelige inngrep og skredfare

I rapporten til Førland et al. (2007a) ble det konkludert at det har blitt en økning i antall hendelser av jordskred og flomskred siden 1960, men denne økningen skyldes først og fremst

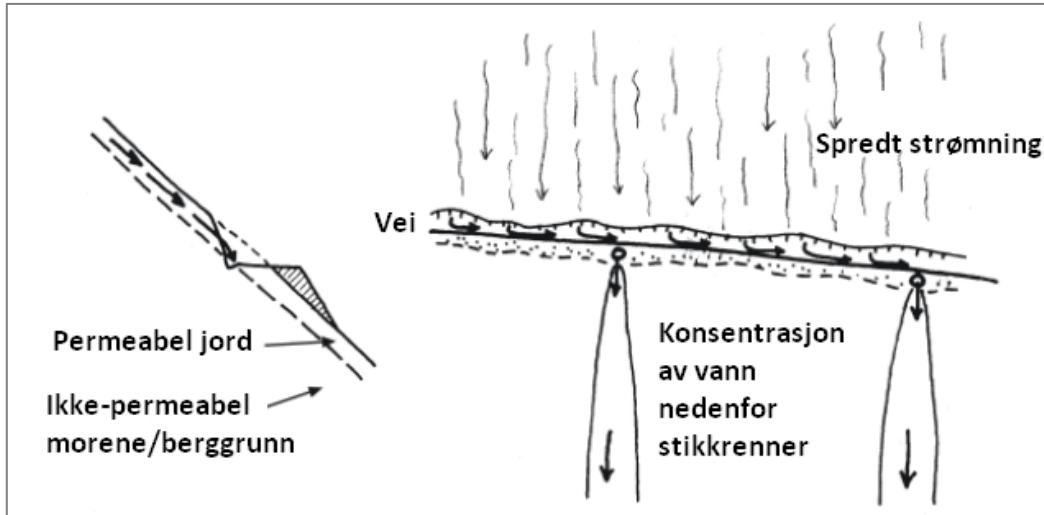
menneskelige og sosioøkonomiske faktorer. I Arnegårdslia er det i hovedsak aspekter i forhold til skogsdrift som har ført til menneskelige inngrep i dalsiden. Faktorer som omhandler skogsdrift og skred vil derfor få hovedfokuset i den videre diskusjonen.

**Skogsbilveier.** I dalsider hvor det drives skogsdrift er vanlige inngrep i skråningen anleggelse av skogsbilveier og hogst. Under slike inngrep kan stabiliteten til løsmassene forstyrres ved at de naturlige dreneringsforholdene endres (Fergus et al., 2011). Det har blitt påvist at i noen områder fører hogst og skogsbilveier til en økning i avrenningen fra små og store nedbørfelt (Jones og Grant, 1996). Dette skjer blant annet ved at grunnvannsstrømmene blir tvunget til overflaten og samles i veiens dreneringssystem (Swanson og Dyrness, 1975). Vann kan derfor bli ledet til og konsentrert i deler av skråningen som nå opplever større vanntilførsel enn det som er naturlig (Norem og Sandersen, 2012) og man kan få problemer med vann på avveie (Fergus et al., 2011). Det er da spesielt dreneringssystemet til skogsbilveien som kan føre til problemer i form av utglidninger, se Figur 3-6 og Figur 3-7 (Sidle og Ochiai, 2006). Raviner og andre dreneringskanaler i terrenget er en indikasjon på tidligere skredaktivitet. I slike naturlige dreneringssystemer har det utviklet seg en likevekt mellom sedimentenes bestandighet og nedbøren, man sier at det har utviklet seg en erosjonshud. Så lenge denne likevekten opprettholdes forholder skråningssystemet seg stabilt. Områdene mellom disse dreneringskanalene er ikke tilpasset de samme vannmengdene som kanalene. Ved ikke å ta hensyn til de naturlige dreneringsveiene i skråningen ved plassering av stikkrenner og grøfter kan vann ledes til områder som ikke er tilpasset store vannmengder. I verste fall kan dette føre til dannelsen av skred (Fergus et al., 2011).

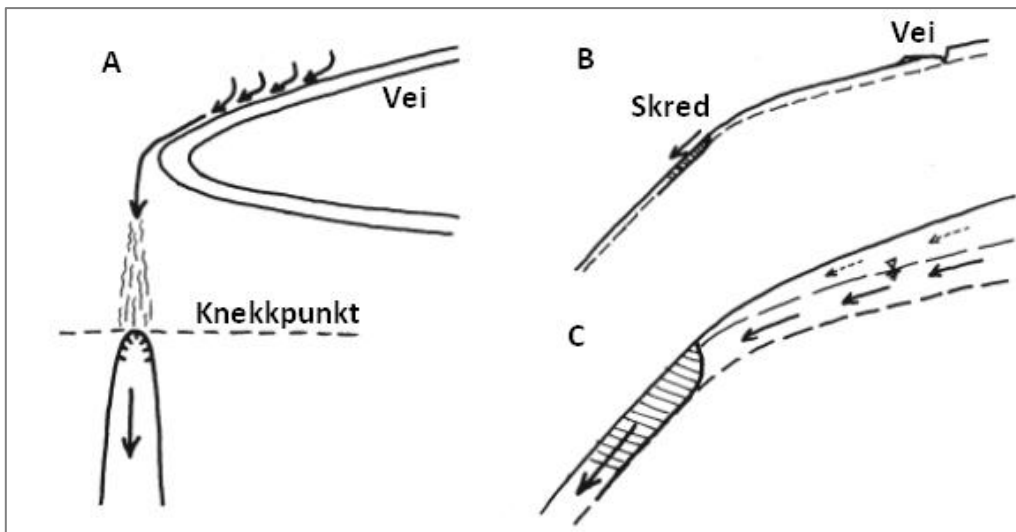
Undersøkelser gjort i sammenheng med en skogsbilvei i et testområde i Oregon, USA, viser at skogsbilveien har en innvirkning på oppbygging av porevannstrykk på oversiden av veien. Det kompakte materialet i veien fører til en endring i grunnvannstrømmene og man kan få en økning i poretrykket oppstrøms. Materialet blir derfor ustabil og ved neste nedbørhendelse med høy intensitet kan et skred utløses (Dutton et al., 2005).

Bratte skråninger er mindre stabile enn slake skråninger og aktiviteter som fører til at skråninger blir brattere kan føre til at sannsynligheten for utløsning av skred øker. Dette kan forekomme både av naturlige årsaker og menneskelig aktivitet. Skråningens helning kan økes ved å undergrave skråninger eller ved å legge på fyllinger i de øvre delene av skråningen. Dette kan spesielt observeres under veibygging i bratte dalsider. Fjerning av materiale fra bunnen av skråninger og påfylling av materiale i de øvre delene fører også til at vektbalansen

i skråningen forskyves noe som videre destabiliserer skråningen. Enhver skråning som overstiger materialets naturlige helningsvinkel vil være ustabil, og veiskjæringen som er brattere enn denne vinkelen vil med tiden rase ut (Hyndman og Hyndman, 2006).



Figur 3-6. Påvirkningen av veier og stikkrenner på hydrologien i en skråning. Tegnet for grunne jordarter med lav dreneringstetthet (Jordan, 2001).



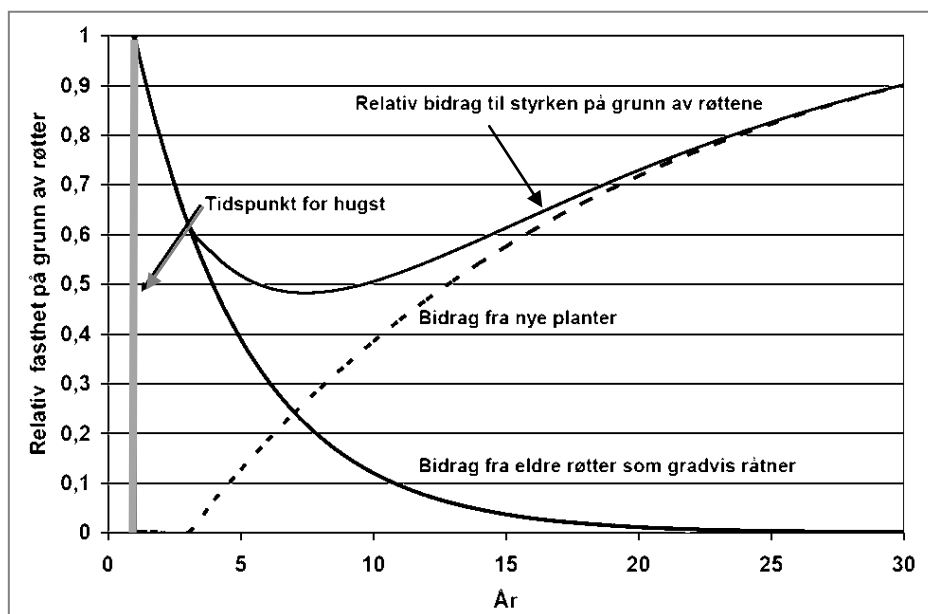
Figur 3-7. Veiens påvirkning på utløsning av et jordskred. A: utløsning av skred nedenfor en yttersving i veien. B: Tverrsnitt av initieringen av et jordskred. C: Forstørrelse av bildet i B som viser hvordan grunnvannet samler seg på grunn av mindre løsmasser ved knekkpunktet (Jordan, 2001).

**Fjerning av vegetasjon.** Vegetasjonen og deres røtter har en stabiliserende effekt på skråninger og røttene fører til en ekstra kohesjon i løsmassene. I følge Wästerlund (1989), sitert i Norris et al. (2008), øker røtter styrken i sedimentene med 50-70 %. I tillegg bruker vegetasjonen vann til vekst og fjerner dermed en del vann fra løsmassene. En mindre del av nedbøren kan derfor gå med til å øke grunnvannsstanden og heve poretrykket (Norem og

Sandersen, 2012). Bunnvegetasjonen fører også til at avrenningshastighet og mengde reduseres ved at plantene har en bremsende effekt og tar opp vann (Ranka (2002) hentet fra Breien et al. (2013)). Derfor er vegetasjonen viktig for å hindre at kritiske hastigheter for erosjon oppnås og dermed minker også faren for flomskred (Breien et al., 2013).

Etter hogst vil røttene gradvis råtne. Styrken røttene har tilført jordmassene vil derfor gradvis bli mindre (Norris et al., 2008, Norem og Sandersen, 2012). Figur 3-8 viser hvordan styrken i sedimentene påvirkes av hogst og nyplanting. Imaizumi et al. (2008) har etter undersøkelser fra et hogstområde i Japan funnet at når røttene begynner å råtne øker forekomsten av jordskred i studieområdet. Han fant også ut at skråningens stabilitet er tilbake til normal styrke igjen etter 25 år. Når røttene råtner etterlater de seg hulrom som kan føre til at en raskere infiltrasjon av vann (Norem og Sandersen, 2013). Forhold som favoriserer utløsning kan derfor oppnås i løpet av en kortere tidsperiode (Norris et al., 2008).

Flatehogst vil også føre til at snøsmeltingen går raskere og mer vann vil bli tilført i et høyere tempo enn normalt til områder nedstrøms, noe som kan føre til utløsning av skred (Jordan, 2001). Bruken av anleggsmaskiner etterlater seg store spor i landskapet. Disse sporene kan føre til endringer i avrenningsmønsteret i skråningen og konsentrerer vannet til mer utsatte områder (Norem og Sandersen, 2012), blir hastigheten høy nok kan erosjonen starte og et flomskred utvikles (Fergus et al., 2011).



Figur 3-8. Røttenes påvirkning på stabiliteten i skråninger etter hogst (Norem og Sandersen, 2012).

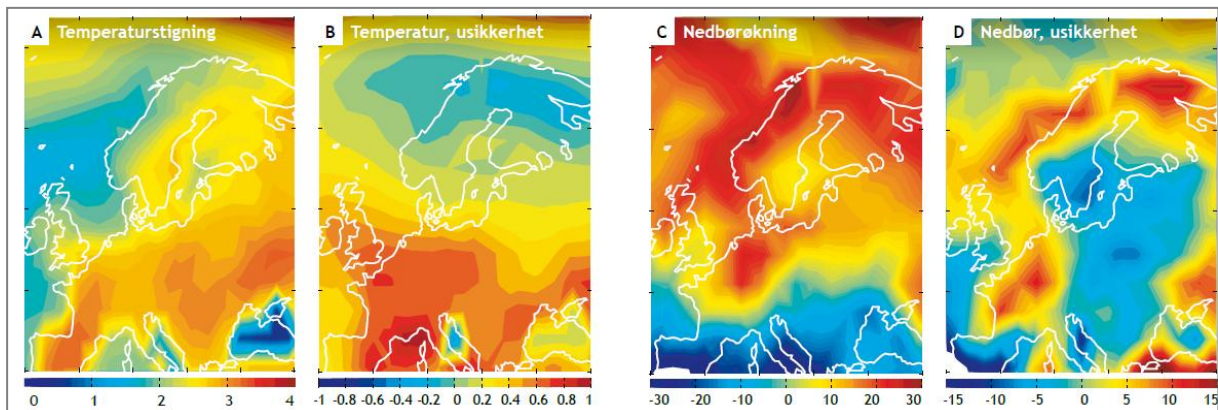
## 3.3 Klima og skred

Skredpotensialet blir påvirket av topografiske, geologiske, og meteorologiske forhold. I tillegg vil menneskelig påvirkning også ha en innvirkning på skredfare. Regn og snøsmelting er akseptert som de viktigste utløsningsfaktorene for skred (Sandersen et al., 1996), det er derfor viktig å se på hva slags vær som kan forventes i framtiden.

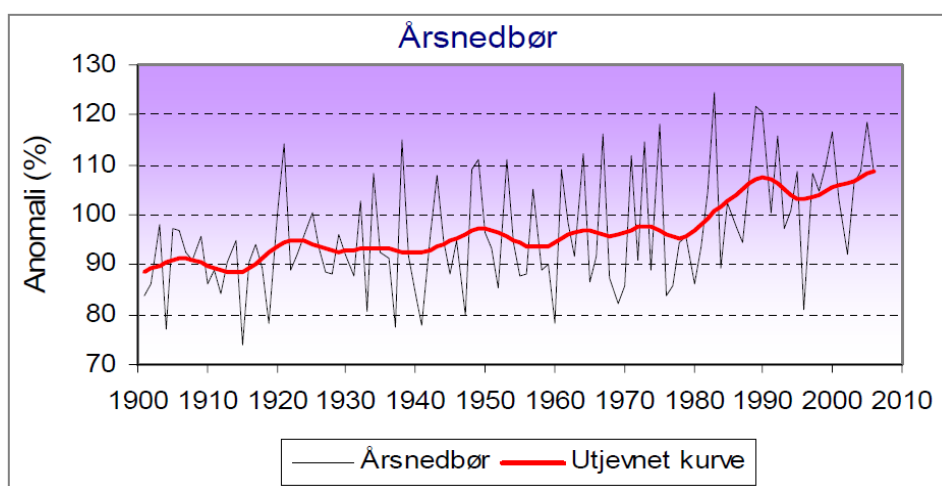
### 3.3.1 Norsk klima og endringer i skredpotensialet

Klimaet er i endring (IPCC, 2007). Om disse endringene skyldes menneskelig aktivitet eller naturlige svingninger vil det ikke bli tatt stilling til i denne oppgaven. IPCC (2007) hevder riktignok at de endringene som er prognosert er raskere enn de normale svingningene. I Norge er det ventet at klimaet vil endre seg betraktelig i løpet av dette århundret. Den årlige middeltemperaturen vil stige med mellom 2,3 og 4,6 °C. Den største økningen vil være om vinteren, mens det vil være minst økning om sommeren. Store regionale forskjeller vil føre til at temperaturen øker mest i Nord-Norge og minst på Vestlandet (Figur 3-9) (Iversen et al., 2005).

I løpet av de siste 100 år har det blitt observert en økning i årsnedbøren (bilde C i Figur 3-9), hvor den største økningen har blitt observert om våren og vinteren (Førland et al., 2007b). Totalt sett har det vært en økning på 2,1 % per tiår de siste 100 år (Førland et al., 2007a). Fra Figur 3-10 kan en se at nedbøren har økt sterkt etter 1970 og man antar at den nedbøren som en i dag ser på som ekstrem vil bli mer vanlig i fremtiden (Førland et al., 2007a). I løpet av de neste 25 årene vil det være en svak økning i 1-døgn nedbøren, mens fram mot 2050 vil denne økningen være størst. Østlandet vil merke lite til denne økningen. Derimot vil Vestlandet, Sør-Trøndelag og Nordland merke en større økning i ekstremnedbøren (15-20 %) (Førland et al., 2007b). Disse nedringene i klimaet kan føre til at terskelverdien for utløsning av skred endres, noe som vil føre til en endring i frekvensen av skred og hvor de kan forekomme (Jaedicke et al., 2008).



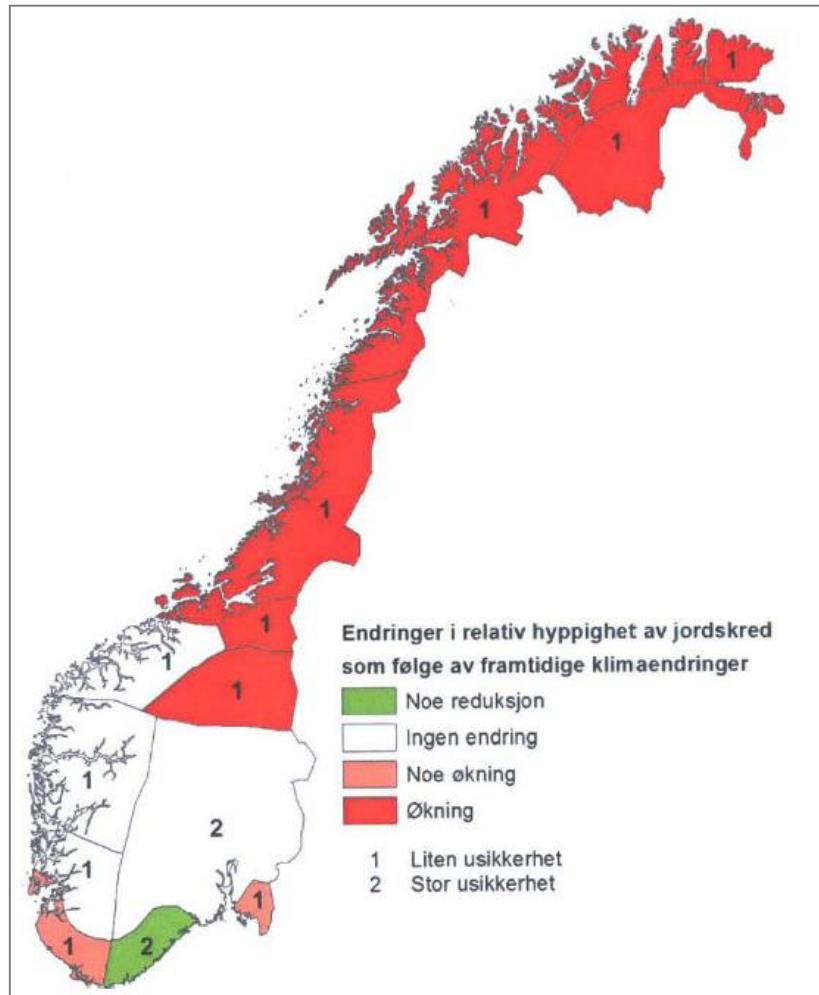
**Figur 3-9. Endringer i temperatur (bilde A, i °C) og nedbør (bilde C, i %) med en dobling av CO<sub>2</sub>. B og D viser forskjellen mellom ulike eksperimenter (Iversen et al., 2005).**



**Figur 3-10. Utviklingen av årsnedbør i Norge (Førland et al., 2007b).**

Gjennom undersøkelser av 1136 jordskredhendelser har det blitt funnet en sammenheng mellom nedbør og utløsningen av jordsred. Det er økningen i enkeltdøgn med mye nedbør som vil ha størst betydning for hyppigheten av jordskred. Langs store deler av kysten er det nedbørmengdene på skreddagen som er den viktigste utløsende faktoren, det vil si kortvarige og intense nedbørepisoder. I innlandet er det nedbøren fordelt over 3-10 dager som er mest avgjørende for utløsningen av skred (Førland et al., 2007b). Siden økningen i enkeltdøgn med kraftig nedbør vil være størst langs kysten av Vestlandet og Nord-Norge vil også økningen i skredhyppigheten her være størst. Også andre deler av landet vil oppleve en øking i skredhyppigheten på grunn av flere enkeltdøgn med kraftig nedbør (Førland et al., 2007b). Observasjoner og beregninger viser at antallet dager med nedbørmengder som overskrider gitte terskelverdier for utløsning av skred har økt de siste årene, men det er store regionale forskjeller i størrelsen på økningen (Figur 3-11). Følgene kan være at kritisk mengde kortidsnedbør for utløsning av skred avtar da det normale porevannstrykket vil være større

enn i dag (Kronholm og Stalsberg, 2009). Siden 1960 har det blitt en økning i antall skredulykker i Norge. Årsaken til dette er derimot ikke av klimatiske årsaker, men først og fremst menneskelige faktorer. Gjennom økt registrering av hendelser og flere utsatte husstander har antall skredulykker økt siden 1960 (Førland et al., 2007a).



**Figur 3-11. Endring i skredaktivitet som følge av klimaendringer i Norge (Kronholm og Stalsberg, 2009).**

## 4 Metoder

Oppgaven er basert på feltundersøkelser og litteraturstudie. Gjennom året 2012 har det blitt gjennomført to feltturer til Nesbyen. Den ene var i sammenheng med sommerjobben hos NVE mens den andre var på eget initiativ litt senere samme år.

### 4.1 Feltarbeid

**19.6.2012 - 27.6.2012.** Den første turen til Nesbyen ble gjort i sammenheng med sommerjobben hos NVE sommeren 2012, til sammen ble det tilbrakt ni dager i felt. NVEs hovedoppgave i Nesbyen var å samle inn data for å fullføre en skredfarekartlegging i Arnegårdslia. Arbeidet bestod av å innhente informasjon om de mange skogsbilveiene i dalsiden nord for Nesbyen sentrum og fram til Smedsgården Pensjonat. Dette innebar å se på størrelsen på stikkrennene, grøftenes størrelse og vedlikehold, og andre aspekter av veienes tilstand. Langs dalsiden ble det også registrert spor etter tidligere skredhendelser. Flere prøver ble tatt av morenematerialet i dalsiden.

**24.9.2012 – 26.9.2012.** Den andre turen ble gjort i september og varte bare i tre dager. På denne turen ble flere av skredene befart i hele deres lengde. Rekkevidden av flere av de små skredene ble derfor identifisert. I tillegg ble flere av beboerne langs Arnegårdslia kontaktet. Personer som har bidratt med informasjon er Magne Medgard og Rune Hansen Gunnerød. Under begge feltperiodene ble GPS benyttet for å markere ulike interessante lokaliteter.

### 4.2 Databehandling

Under feltarbeidet ble en GPS brukt for å lokalisere ulike relevante lokaliteter. GPS (Global Positioning System) er et satellittbasert radionavigasjonssystem som stedfester en lokalitets plassering ved å oppgi lokalitetens koordinater; lengdegrad og breddegrad samt høyde over havet. Koordinatsystemet som ble brukt er World Geodetic Systems 1984 (WGS84). Flere feilkilder er knyttet til bruk av GPS. I dette tilfellet er det i hovedsak unøyaktigheter i lokalitetenes plassering, og lokalitetene kan derfor ha blitt forskjøvet i forhold til faktisk posisjon.



Alle GPS punktene har senere blitt behandlet i arcmap. Dette er et program hvor innsamlede data kan behandles og analyseres. I hovedsak har arcmap blitt brukt i arealberegninger, avstandsmålinger og generell bildebehandling. I tillegg har programmet blitt brukt til å identifisere nedbørfeltet til stikkrennene langs skogsbilveien i Arnegårdslia.

## 4.3 Nedbørdata

Nedbørdata og klimastatistikk er hentet fra eKlima.no (2013), xgeo.no (2013) og senorge.no (2013). Gjennom eKlima har man tilgang til Meteorologisk institutts vær- og klimadata. For stasjonen Nesbyen-Todokk har det siden november 2003 vært mulig å få tilgang på nedbørdata med timesoppløsning. Denne informasjonen har blitt hentet for perioder rundt de aktuelle skreddatoene, 9. juli 2007 og 10. juni 2011. Andre funksjoner som har blitt brukt fra eKlima er intensitet- varighet- og frekvens (IVF) kurver, disse har blitt brukt under beregningene av avrenningen fra små nedbørfelt. I tillegg har gjentaksintervallet for målte og beregnede nedbørmengder blitt hentet fra eKlima.no (2013).

Gjennom xgeo.no (2013) og senorge.no (2013) har det vært mulig å hente informasjon om nedbør, klima og hvordan nedbøren fordeler seg i rommet. Det er også mulig å få et innblikk i grunnvannsforholdene på ulike datoer. En Funksjon som er brukt i xgeo.no er vannmetning i jord. Jordas vannmetning vises på et kart som er basert på den prosentvise vannmetningen i jorda. Prosentandelen er forholdet mellom den simulerte verdien for en valgt dato og den simulerte verdien for en referanseperiode som strekker seg fra 1981-2010. Alle verdier er simulert ved bruk av HBV-modellen. Døgnnedbøren hentet fra senorge.no (2013) viser den interpolerte romlige fordeling av nedbøren for nedbørdøgnet som går fra 07:00 til 07:00 det døgnet dataene er datert (eKlima.no, 2013, senorge.no, 2013, xgeo.no, 2013).

### 4.3.1 Ekstrem nedbørstatistikk

Gridbaserte M5(24)-verdier fått av NVE har blitt brukt i beregningene av gjentaksintervall for ulike nedbørmengder. M5(24) er nedbøren i løpet av 24 timer med et gjentaksintervall på 5 år. Gjentaksintervallet eller returperioden definerer hvor ofte en hendelse av en viss størrelse inntreffer. Dersom en hendelse har et gjentaksintervall på 50 år, vil det si at over et langt tidsrom vil det i gjennomsnitt gå 50 år mellom hver gang hendelsen opptrer (Dingman, 2002). Ut i fra M5(24)-verdien kan nedbørverdier med ulikt gjentaksintervall og varighet beregnes,

dette kan være M10(n) M50(n) og M100(n), hvor n indikerer varigheten i timer. Metoden baserer seg på en metode utviklet i Storbritannia, NERC-metoden (National Environment Research Council). Alle tall og likninger brukt til beregningene funnet i Førland (1984) er opprinnelig fra NERC (1975). Følgende ligning gir nedbørverdier for ulike gjentaksintervall med en varighet på 24 timer (Førland, 1984):

$$MT(24 \text{ timer}) = M5 \times \exp(C \times (\ln(T - 0,5) - 1,5)) \quad 4.1$$

Hvor T er gjentaksintervallet og C er i dette tilfellet gitt ved (Førland, 1984):

$$C = 0,3584 - 0,0473 \times \ln(M5) \quad 4.2$$

MT(n) er en nedbørverdi med gjentaksintervall T (år) og varighet n (timer). Disse beregnes fra MT(24) verdiene ved å multiplisere med forholdstall som varierer med feltet størrelse. For det gjeldende nedbørfeltet har forholdstall for felt med størrelse 10 km<sup>2</sup> blitt brukt siden det ikke ble funnet verdier som lå nærmere nedbørfeltets størrelse, 16 km<sup>2</sup> (Atlas.nve.no, 2013). Forholdstallet mellom M5(n) og M5(24 t) er basert på et område som får mellom 500 og 600 mm nedbør i løpet av året. Fra M5(24 til M5(12) er forholdstallet 0,85, fra M5(24) til M5(48) er det 1,18 og fra M5(24) til M5(72) er forholdstallet 1,29. Ved å multiplisere MT(24) verdiene fått fra Likning 4.1 med disse forholdstallene kan man få MT verdier for ulike varigheter (Førland, 1984). Det er ikke nødvendig å bruke areal reduksjonsfaktorer når gridbaserte M5 verdier brukes (Alfnes, 2007).

For at beregningene av gjentaksintervall skal kunne sammenlignes med både observert og interpolerte nedbørmengder, for eksempel fra senorge.no (2013), må det benyttes justeringsfaktorer for omregning fra nedbørdøgn (07-07) til vilkårlige 24 timer (Tabell 4-1). Nedbøren i løpet av vilkårlige 24 timer er som regel høyere enn nedbøren i løpet av ett nedbørdøgn (Førland, 1992).

**Tabell 4-1. Justeringsfaktorer for omregning fra nedbørdøgn til vilkårlige 24 timer. WMO (1974) hentet fra Førland (1992).**

	1 d → 24 timer	2 d → 48 timer	3 d → 72 timer	4 d → 96 timer
Forholdstall	1,13	1,04	1,03	1,02

## 4.4 Dimensjonering av stikkrenner og grøfter

Ulike metoder er utviklet for kapasitetsberegninger for stikkrenner og grøfter. Når det gjelder stikkrenner er disse basert på hydrologiske forhold hvor det er utformingen av stikkrennen som bestemmer hvordan vannet beveger seg gjennom den. For å kunne bestemme om den eksisterende dimensjonen på stikkrennen er tilstrekkelig må man bestemme hvilke vannmengder, avrenningen, som tilføres stikkrennen. Disse beregningene er basert på nedbørfeltets størrelse og hvilke data som er tilgjengelige (Skúli et al., 2011).

### 4.4.1 Dimensjonering av stikkrenner

Den dimensjonerende flomintensiteten (l/s km<sup>2</sup> eller l/s ha) brukes til beregninger av stikkrennenes kapasitet. Flomintensiteten er avhengig av mange forhold, disse inkluderer (Berg et al., 1992);

- Klimatiske forhold
- Nedbørfeltets størrelse
- Andelen av vann og innsjøer innenfor nedbørfeltets areal og hvor disse er plassert
- Nedbørfeltets utseende, helning og høydeforskjeller i feltet
- Jordsmonn og vegetasjon
- Andelen av tette flater og vannmettet areal

For beregning av avrenningen i store vassdrag benyttes vannføringer og statistiske metoder for flomfrekvensanalyser (Statens Vegvesen, 2011). I små nedbørfelt kan den rasjonelle formel brukes. Små nedbørfelt er <5 km<sup>2</sup>, har kort responstid (Skúli et al., 2011, Statens Vegvesen, 2011) og avrenningen (Q) fra nedbørfeltet beregnes fra målt nedbør. Den originale versjonen av den rasjonelle formel har blitt modifisert mange ganger opp gjennom tidene, originalen stammer fra Mulvaney (1851), hentet fra Vernieuwe et al. (2005). I Norge brukes følgende versjon (Statens Vegvesen, 2011):

$$Q = C \times i \times A \quad 4.3$$

C er avrenningsfaktoren (dimensjonssløs), i er dimensjonerende nedbørintensitet (l/s ha) og A er nedbørfeltets areal (ha). Innhenting av de enkelte elementene i Likning 4.3 vil forklares i følgende avsnitt.

Avrenningsfaktoren, C, bestemmes ut fra hvor mye av den totale nedbøren som dreneres gjennom nedbørfeltet (Berg et al., 1992). I tillegg må avrenningsfaktoren ta hensyn til mulige endringer i arealbruk. Tabell 4-2 viser verdier for avrenningsfaktoren med en returperiode på 10 år for dimensjonerende nedbørintensitet (Statens Vegvesen, 2011).

**Tabell 4-2. Avrenningsfaktoren for en ufrosset flate med gjentakintervall på 10 år for dimensjonerende nedbørintensitet (Berg et al., 1992, Statens Vegvesen, 2011).**

Overflatetype	Avrenningsfaktor
Betong, asfalt, bart fjell og lignende	0,6-0,9
Grusveger	0,3-0,7
Dyrket mark og parkområder	0,2-0,4
Skogsområder	0,2-0,5

Avrenningsfaktoren kan videre tilpasses nedbørfeltets egenskaper. For arealer med liten helning og stor permeabilitet senkes verdien av C. For brattere områder og/eller der grunnvannsspeilet ligger nær overflaten brukes høyere verdier for C (Statens Vegvesen, 2011). I tillegg må avrenningsfaktoren tilpasses gjentakintervallet for nedbøren. Når gjentakintervallet økes til 25 år legges det til 10 % på C, for en økning til 50 år legges det til 20 %, og for en økning til en returperiode på 100 år legges det til 25 % på C. Maksimal C-verdi er 0,95 (Berg et al., 1992).

Nedbørfeltets areal, A, bestemmes ut fra undersøkelser i felt og studie av kart. Det totale feltarealet må inndeles for å kunne bli tilpasset de enkeltes eller flere av stikkrennens tilsigsområde.

For å komme til den endelige avrenningen gjenstår kun dimensjonerende nedbørintensitet, i. Før man beregner den dimensjonerende nedbørintensiteten må man velge gjentakintervall og beregne konsentrasjonstiden,  $t_c$  i minutter. Konsentrasjonstiden er den tiden vannet bruker fra ytterst i det valgte nedbørfeltet og fram til stikkrennen.  $t_c$  beregnes fra følgende likning (Berg et al., 1992):

$$t_c = 0,6 \times \frac{L}{H^{0,5}} \times 3000A_{se} \quad 4.4$$

L er lengden av nedbørfeltet fra fjerneste punkt til stikkrennen (m), H er høydeforskjellen i nedbørfeltet og beregnes fra det høyeste punktet i feltet til stikkrennen (m), og  $A_{se}$  er effektivt innsjøareal og beregnes med følgende likning (Berg et al., 1992):

$$A_{se} = 100 \times \sum A_i \times a_i / A^2 \quad 4.5$$

$A_i$  er tilsigsfeltet til innsjøen,  $a_i$  er innsjøens overflateareal og  $A$  er det totale arealet til nedbørfeltet. Innsjøarealet summeres over samtlige innsjøer i nedbørfeltet.

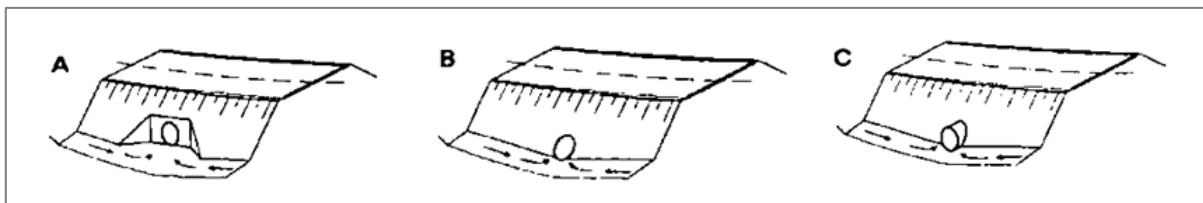
Den dimensjonerende nedbørintensiteten bestemmes for et valgt gjentakintervall og for den beregnede konsentrasjonstiden. Intensiteten for de valgte parameterne leses av på IVF-kurver for en representativ stasjon (Fergus et al., 2011). Deretter kan avrenningen fra nedbørfeltet til de ulike stikkrennene beregnet etter Likning 4.3.

En rekke usikkerheter er knyttet til bruken av den rasjonelle formel. Først og fremst er metoden anbefalt for små nedbørfelt (Fergus et al., 2011). Til selve flomberegningene er det knyttet flere problemer (Berg et al., 1992, Statens Vegvesen, 2011);

- IVF-kurvene. Usikkerheten her skyldes mange faktorer som for eksempel usikkerheter i selve målingene av nedbøren og den økende usikkerhet med økende gjentakintervall. En generell regel sier at hvis en skal beregne nedbørintensiteten for en hendelse med 100 års gjentakintervall må beregningene baseres på målinger som strekker seg over minst 25 sesonger. Det er ikke alltid at den nærmeste målestasjonen gir de mest representative nedbørmålingene. Det som også er viktig å merke seg er at det ikke alltid er en direkte sammenheng mellom nedbør og avrenning noe som Likning 4.4 forutsetter
- Avrenningsfaktoren skal være et midlere gjennomsnitt av hele feltet og avhenger av flere faktorer. Disse inkluderer helningen på feltet, andel av innsjøer, avstand til grunnvannet, overflatearealets dekke med mer. Det er også en usikkerhet knyttet til om hele eller bare deler av feltarealet bidrar til avrenningen (Sælthun pers. komm. 2013)
- Andre faktorer som også spiller inn på usikkerheten er ved bestemmelsen av konsentrasjonstiden i det aktuelle feltet. Her inngår usikkerheter i måling av avstander og høydeforskjeller i feltet, størrelsen på selve feltet og innsjøandelen
- For det aktuelle området vil dalsiden beregningene er rettet mot oppleve større nedbørmengder enn stasjonen, noe som kan bety at stikkrennene blir underdimensjonerte

Kapasitetsberegninger for stikkrenner kan kun gjøres når det har blitt bestemt om stikkrennens kapasitet styres av innløpets utseende eller om vannføringen bestemmes ut fra stikkrennen som en helhet. Dette kalles henholdsvis innløpskontroll og utløpskontroll (Statens Vegvesen, 2011). Innløpskontroll brukes for stikkrenner som er korte (<15-20 meter) og som

har middels til stort fall. Vannføringen til stikkrenner med innløpskontroll bestemmes av rørdiameteren, innløpets geometri og utforming, samt vannstanden ved innløpet. Ved utløpskontroll er bildet mer kompleks. Her bestemmes kapasiteten av de overnevnte faktorene samt lengden på stikkrennen, friksjonsforholdene i stikkrennen, helningen og vannstanden ved utløpet. Friksjonsforholdene vil variere med materialtypen som er brukt i stikkrennene (Berg et al., 1992, Statens Vegvesen, 2011). Etter feltobservasjoner og hva som er normalt for skogsbilveier er innløpskontroll avgjørende for kapasiteten til stikkrennene i det aktuelle området. Dermed vil kapasiteten i hovedsak bestemmes av innløpets utforming og rørdiameteren (Statens Vegvesen, 2011) Figur 4-1 viser utformingen av stikkrenner med innløpskontroll, hvor C er den utformingen som er brukt i Nesbyen. Kapasiteten bestemmes deretter ved å lese av i en tabell (Tabell 4-3)(Fergus et al., 2011). Tabell 4-3 viser til en situasjon hvor stikkrennen har en viss reservekapasitet, dette vil si at det er fritt vannspeil ved innløpet. Dette inntreffer når forholdet mellom vannstanden ved innløpet,  $Y_1$ , og diameteren,  $D$ , er lik 1,0. Innløpet vil bli dekket når forholdet  $Y_1/D$  er lik 1,2 (Berg et al., 1992).



Figur 4-1. Utforming av stikkrenner med innløpskontroll (Statens Vegvesen, 2011).

Tabell 4-3. Kapasitet (l/s) for stikkrenner med innløpskontroll. A, B og C er utformingen av innløpet fra Figur 4-1 (Berg et al., 1992).

Innløpstype	Innvendig diameter (mm)								
	300	400	500	600	800	1000	1200	1400	1600
A	67	135	232	361	726	1240	1940	2820	3890
B	65	132	228	357	723	1250	1950	2850	3950
C	57	117	204	320	652	1130	1780	2600	3630

#### 4.4.2 Dimensjonering av grøfter

Det har blitt utarbeidet normaler for veibygging (Landbruksdepartementet, 2002). Ut i fra normalen kan skogsbilveien i Arnegårdslia klassifiseres som veiklasse 3; helårs landbruksveg. Dette innebærer at veien skal kunne brukes gjennom hele året unntatt i teleløsningsperioden og i perioder med mye nedbør. De tekniske og geometriske kravene til bygging av vei er vist i



**Tabell 4-4. Mannings tall og anbefalte vannhastigheter hvor det ikke er fare for erosjon for grøfter av forskjellig materialer (Statens Vegvesen, 2011).**

Materialtype i grøft	Mannings tall, M	Vannhastighet uten fare for erosjon (m/s)
Betongkledning	50-80	2,5-5,0
Asfaltert dekke	60-75	2,0-5,0
Steinsetting (jevnt dekke)	30-60	2,0-5,0
Grus	30-50	1,0-1,5
Småstein	30-50	1,2-2,0
Jord uten vegetasjon	25-30	0,5-0,8
Steinsetting (ujevn)	25-30	1,5-3,0
Jord med vegetasjon	15-25	1,0-2,0
Naturlig bekk og elv	5-40	-

Vannhastigheten og vannføringen for grøften kan beregnes ved bruk av følgende formler (Fergus et al., 2011, Statens Vegvesen, 2011);

$$V = \frac{Q}{(A \times 1000)} \quad 4.6$$

$$Q = M \times A \times R^{2/3} \times L^{1/2} \times 1000 \quad 4.7$$

$$R = \frac{A}{P} \quad 4.8$$

Hvor V er vannhastigheten (m/s), Q er vannføringen (l/s), M er Mannings tall, A er tverrsnittet av grøfta (m<sup>2</sup>), R er hydraulisk radius, P er den våte omkretsen, og L er grøftens lengdefall (m/m).

## 4.5 Modellering av jordskred og flomskred

Norges geologiske undersøkelse (NGU) jobber med å ferdigstille et prosjekt som omhandler nasjonal kartlegging av områder som er utsatt for jordskred og flomskred. Det endelige resultatet vil være aktsomhetskart som dekker hele Norge. I den anledning ble feltundersøkelser fra Nesbyen sammenlignet med modelleringsresultater fra samme område for å kunne tilpasse modellen best mulig etter lokale forhold. NGU ved Luzia Fischer og Lena Rubensdotter har gjennomført modelleringene. Resultatene som presenteres i avsnitt 5.2 er kun midlertidige resultater.

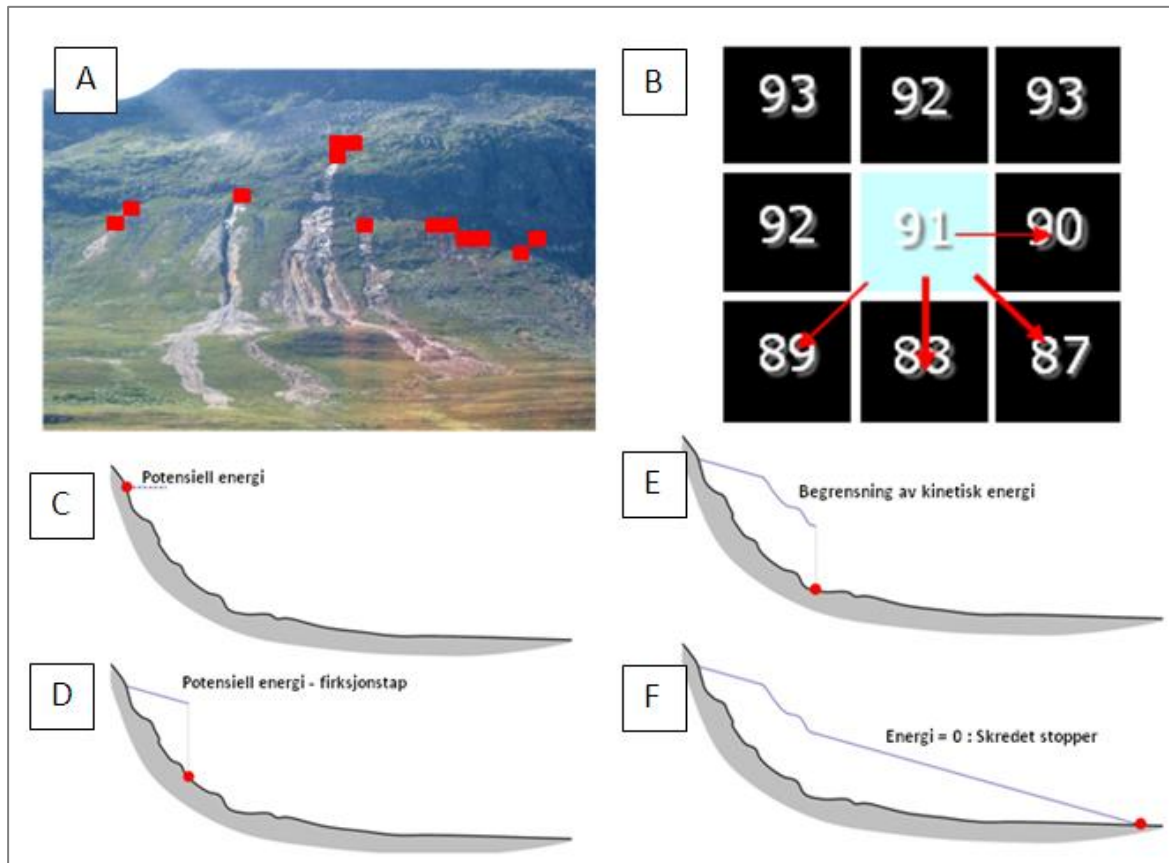


Modelleringen av jordskred og flomskred foregår i to trinn. Første trinn innebærer identifiseringen av startsoner, eller utløsningsområder. Dette gjøres ut fra en terrengmodell hvor ulike kriterier for startsoner må oppfylles før et område blir godkjent som en startsoner. Disse kriteriene er helningsvinkel, planar kurvatur og dreneringsområdet. Herunder inngår derfor skråningsvinkler som er større enn 15 grader (Takahashi, 1981, Rickenmann og Zimmermann, 1993), terreng med konveks topografi (Wieczorek, 1987) og områder som tilfører nok vann. For at en celle skal bli kategorisert som en startsoner må valgte terskelverdier for alle de overnevne parametrene overstiges (Figur 4-3, A) (Horton et al., 2008). Andre trinn er definisjonen av spredningen og utløpsdistansen, modelleringen begynner fra de identifiserte startsonene. For utløpsmodelleringen brukes Flow-R modellen som er utviklet av Horton et al. (2008). Modellen bruker to algoritmer for å bestemme spredningen og utløpsdistansen (Figur 4-3, B-F). Algoritmen som bestemmer utløpsdistansen har også en innvirkning på spredningen av skredmaterialet (Horton et al., 2008).

I Norge er landet delt inn i ulike aktivitetssoner basert på kartlagt jordskredaktivitet. Dette er med hensyn til at modelleringen vil bruke ulik følsomhet i identifiseringen av startsoner. Skillet mellom de ulike aktivitetssonene er basert på topografi, landskapsregioner og geologiske kart. Hver av de ulike klassene har tilpassede og empirisk testede terskelverdier for helningsvinkel, planar kurvatur og dreneringsområde. Totalt har Norge blitt delt inn i tre aktivitetsskredklasser (Tabell 4-5). Nesbyen faller her inn under aktivitetsskredklasse høy og løsmasseklasse skred: I (Fischer pers. komm, 2012).

**Tabell 4-5. Inndelingen av ulike klasser til identifiseringen av startsoner (Rubensdotter pers. komm, 2012).**

		AKTIVITETSKLASSE		
		1 HØY	2 MIDDELS	3 LAV
LØSMASSEKLASSE	SKRED: I	°min: 25 °maks: 45 Curv: -0,25 Contr: 0,0025	°min: 25 °maks: 45 Curv: -0,25 Contr: 0,0025	°min: 25 °maks: 45 Curv: -0,25 Contr: 0,0025
	REST: II	°min: 30 °maks: 45 Curv: -1,0 Contr: 0,0075	°min: 30 °maks: 45 Curv: -1,25 Contr: 0,0075	°min: 30 °maks: 45 Curv: -1,0 Contr: 0,0055
	BART FJELL: III	°min: 35 °maks: 45 Curv: -1,75 Contr: 0,01	°min: 35 °maks: 45 Curv: -2,0 Contr: 0,01	°min: 35 °maks: 45 Curv: -2,0 Contr: 0,01

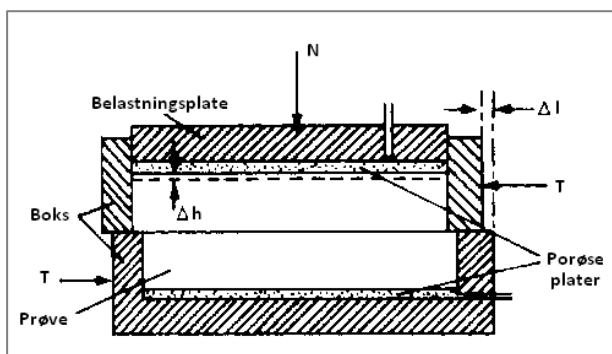


Figur 4-3. A: Identifiserte startsoner etter faktorene helningsvinkel, planar kurvatur og dreneringsområde (Foto: Luzia Fischer, NGU). B: Spredningen av et skred fra en celle til nærliggende celler (Foto: Luzia Fischer, NGU). Bilde C-F viser prinsippet bak energiberegningene for utløpsdistansen til et skred (Horton et al., 2008). C-D: Ved start har et skred en viss potensiell energi, etter hvert vil denne energien minke pga friksjon (D). E: Den kinetiske energien øker, når terskelverdien for hastighet nås kan energilinjen bli lik terrengets fasong. F: Skredet stopper når energien blir lik null.

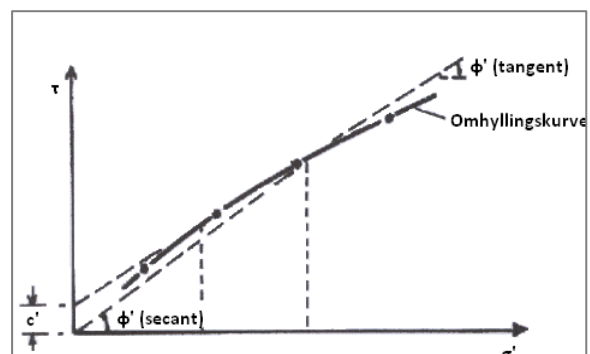
## 4.6 Skjærbokstest

Skjærstyrken til et materiale beskrives av to parametere; kohesjonen ( $C$ ) og friksjonsvinkelen ( $\varphi$ ). Disse parametrene kan bestemmes ved bruk av en direkte skjærttest, skjærbokstest. Apparatet som brukes er vist i Figur 4-4. Ved å påføre ulik vertikal kraft ( $N$  i Figur 4-3) og skjærbelastning ( $T$ ) kan man etter flere tester få ut verdier for normalspenningen ( $\sigma_n$ ) og skjærbelastningen ( $\tau_f$ ) ved brudd. Disse verdiene plottes deretter i en figur med normalspenning langs x-aksen og skjærbelastningen langs y-aksen, en illustrasjon på dette kan sees i Figur 4-5. Kohesjonen og friksjonsvinkelen finner man deretter fra den linjen som best passer til de inntegnede punktene (Craig, 2004).

Testene har blitt utført ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) ved Institutt for geologi og bergteknikk ved Gunnar Vistnes. Prøvene hentet fra området rundt Nesbyen har både blitt testet i mettet (våt prøve) og umettet (tørr prøve) tilstand. Drenerte skjærtester har blitt utført, det vil si at vannet kan drenere ut av prøven under testen. Det har derfor ikke kunnet bygge seg opp poretrykk i prøvene (Vistnes pers. komm. 2013). I tillegg til skjærbokstesten har det blitt foretatt kornfordelingsanalyser på prøvene fra Arnegårdslia. Størrelser ned til 0,063 mm har blitt siktet. Resterende materiale under 0,063 mm venter på å bli analysert. For prøvene hentet fra Nesbyen vil den videre tolkningen fokusere på betydningen av friksjonsvinkelen i forhold til de inngrepene som har blitt gjort i Arnegårdslia.



Figur 4-4. Apparatet som brukes til testing av skjærstyrke (Craig, 2004).



Figur 4-5. Plotting av parametrene  $\sigma_n$  og  $\tau_f$  for å finne friksjonsvinkelen  $\phi$  og kohesjonen  $c$ . Etter Craig (2004).

## 4.7 Terskelverdier for nedbør

Ulike metoder eksisterer for beregning av terskelverdier for utløsning av nedbørrelaterte skred. Her vil tre metoder basert på meteorologiske og hydrologiske faktorer benyttes.

### 4.7.1 Global terskelverdi

Caine (1980) undersøkte den empiriske sammenhengen mellom nedbørintensitet og varighet, og skredaktivitet. Han definerte en nedre grense, terskelverdi, for ved hvilken nedbørintensitet skred utløses. Denne terskelverdien for nedbørutløste skred finner man som oftest ved å tegne inn en nedre grense ut fra nedbørhendelser som har ført til skred. Dette kan gjøres gjennom statistiske eller matematiske analyser. Et annet alternativ er å tegne inn terskelverdien på skjønn ut fra nedbørhendelser som har resultert i skred (Guzzetti et al., 2007). Caine (1980) sammenheng mellom intensitet og varighet er basert på statistiske undersøkelser av

skredhendelser over hele verden. Sammenhengen gjelder derfor for mange ulike klimatiske soner, geologiske og topografiske forhold. Undersøkelsene førte til følgende empiriske sammenheng mellom varighet og intensitet (Caine, 1980);

$$I = 14,82D^{-0,39} \quad 4.9$$

I er intensitet gitt i mm/time, og D er varighet i timer. Likningen gjelder kun for jordskred og flomskred (ca. 2-3 meter dybde), og for nedbørperioder som varer fra ti minutter til ti dager. (Caine, 1980). Likning 4.9 har blitt tilpasset lokale forhold over hele verden (Aleotti, 2004).

Sidle og Ochiai (2006) har modifisert resultatene til Caine (1980) slik at de tar hensyn til hvor mye nedbør som har kommet i dagene før en eventuell skredhendelse. En todagers periode ble brukt for å simulere metningsforholdene i jorda. Denne todagers perioden ble delt inn i tørre forhold og våte forhold. Under tørre forhold har det falt mindre enn 20 mm i løpet av de to dagene før skredhendelsen. For våte forhold må denne mengden være på over 20 mm. Følgende likninger forklarer disse forholdene (Sidle og Ochiai, 2006):

$$I = 12,64 D_s^{-0,49} \quad 4.10$$

$$I = 19,99 D_s^{-0,38} \quad 4.11$$

I er nedbørintensitet i mm/time og  $D_s$  er varighet i timer. Hvor Likning 4.10 beskriver de våte forholdene og Likning 4.11 de tørre forholdene (Sidle og Ochiai, 2006).

#### 4.7.2 Terskelverdi basert på prosent av årsnedbør

Sandersen et al. (1996) har utviklet en terskelverdi for kritisk nedbørmengde for utløsning av løsmasseskred. Gjennom undersøkelser av 30 skredhendelser har de kommet fram til at kritisk mengde nedbør er avhengig av gjennomsnittlig årlig nedbør og varigheten på nedbørepisoden. Likningen som beskriver sammenhengen er som følger (Sandersen et al., 1996);

$$P = 1,2D^{0,6} \quad 4.12$$

hvor P er kritisk tilførsel av nedbør og snøsmelting i prosent av gjennomsnittlig årsnedbør og D er varighet i timer. Vanlige varigheter brukt i Norge er 12 og 24 timer (Sandersen et al., 1996, NVE, 2011a). Ulike faktorer kan være med på å endre den kritiske nedbørmengden for utløsning av skred. Dette kan blant annet være menneskelige inngrep i det hydrologiske systemet i dalsider (Sandersen et al., 1996).

### 4.7.3 NVEs jordskredindeks

NVE har siden 2009 hatt forvaltningsansvaret for forebygging av skader som følge av alle typer skred på et nasjonalt nivå (St. Meld. 15, 2012). Som et ledd i dette ansvaret jobber de med å utarbeide et varslingsystem for jordskredfare og snøskredfare i hele landet (Kleivane et al., 2012). Jordskredvarselet gjelder for flomskred, jordskred, sørpeskred og små utglidninger (Devoli pers. komm. 2013). Varselet baseres på værmeldinger og prognoser, og hydrometeorologiske forhold som stammer fra både simuleringer og sanntidsdata. Terskelverdier benyttet i varselet, for utløsning av skred, er estimert fra statistiske analyser av historiske skredhendelser og er basert på kombinasjoner av hydrologiske variabler (Devoli et al., 2012). Terskelverdiene er vist som kart i en hydrometeorologisk indeks for jordskred, også kalt jordskredindeksen. Terskelverdiene som brukes i dag er basert på prognosert vanntilførsel, regn og snøsmelting, og vannmetningen i jorda. Indeksen gir derfor en indikasjon på potensielle fareområder for overnevnte skredtyper oppgitt som aktsomhetsklasser hvor fire er høyeste nivå, se Tabell 4-6 (Devoli pers. komm. 2013). I dag benyttes to hydrometeorologiske indekser; jordskredindeks 1 og jordskredindeks 2. Jordskredindeks 1 er en kombinasjon av vanntilførsel, vannmetningsgraden i sedimentene og teledypet. Jordskredindeks 2 tar kun hensyn til vanntilførselen og metningsgraden i sedimentene (Boje pers. komm. 2013).

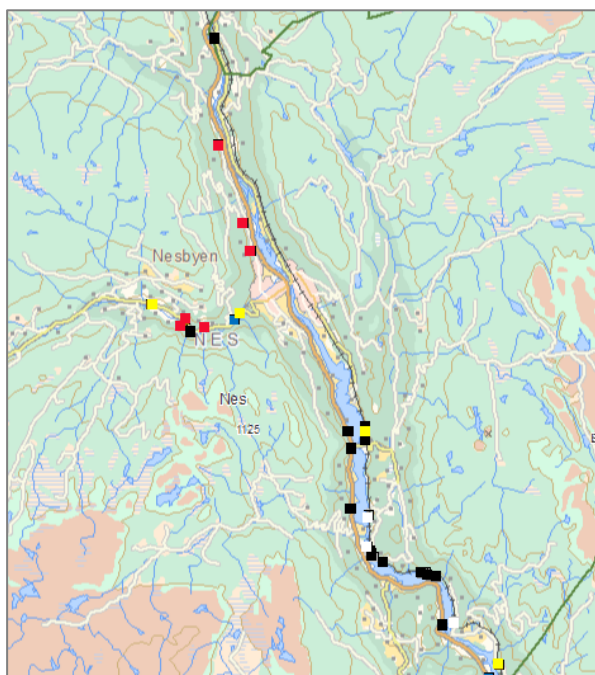
**Tabell 4-6. Aktsomhetsklasser brukt i jordskredvarselet ved NVE (Devoli pers. komm. 2013).**

Aktsomhetsnivå	Sannsynlighet for skred og skadeomfang	Forholdsregler
4	Det ventes mange små og store jordskred og flomskred over et stort geografisk område.	Følg med i media, og følg ordre eller råd fra myndighetene. Ferdsel langs elveløp og bratt terreng anbefales ikke. Sikkerhetstiltak som veistengning og evakuering kan skje på kort varsel
3	Det ventes noe små og store jordskred og flomskred. Materielle skader og ulykker er sannsynlig.	Vær oppmerksom og følg oppfordringer fra myndighetene. Ferdsel langs elveløp og i bratt terreng med løsmasser kan medføre fare. Forebyggende tiltak som rensing av dreneringsveier bør utføres.
2	Faren for jordskred er tilstede, hovedsakelig i form av små utglidninger langs vei, jernbane og vassdrag. Jordskred og flomskred kan forekomme lokalt som følge av kraftig regn/snøsmelting og/eller menneskelig aktivitet	Vær oppmerksom i utsatte områder (oftest bratt terreng og langs bekker og elveløp). Hold deg oppdatert om utviklingen av været og den hydrologiske situasjonen. Forebyggende tiltak som rensing av dreneringsveier i spesielt utsatte områder anbefales.
1	Generelt trygge forhold	Ingen spesielle forholdsregler er nødvendige.

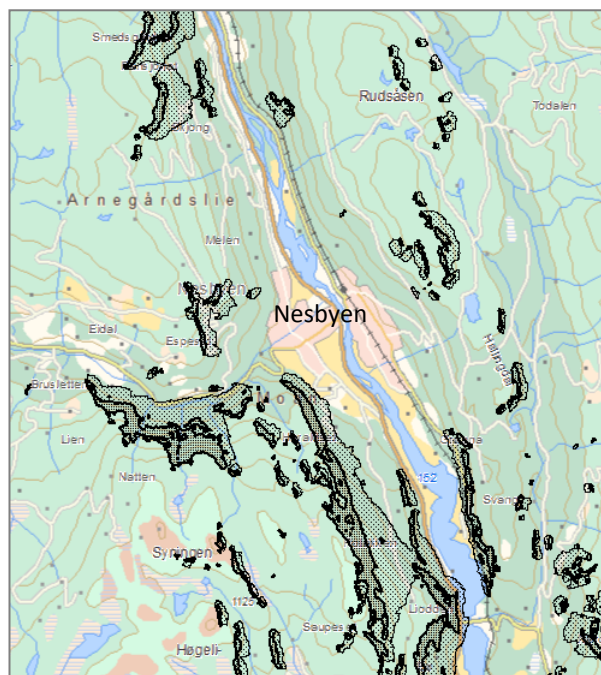
# 5 Resultater

## 5.1 Skredhistorikk i Nes kommune

Nes kommune er utsatt for mange geofarer, hvor flom og skred er de viktigste. Steinsprang, steinskred, fjellskred, jordskred og flomskred er skredtyper som har blitt registrert i kommunen og Figur 5-1 viser en oversikt over de registrerte skredhendelsene. Aktsomhetskartet i Figur 5-2 viser at flere områder nær sentrum er utsatt for steinsprang. Den tidligst registrerte skredhendelsen i Nes kommune stammer fra året 1825 og gjelder et jordskred i nedre deler av Rukkedalen. Jordskredet førte til store ødeleggelser på hus og antakelig ble flere husdyr drept i skredet, bosetningen måtte fraflyttes etter denne hendelsen (Skredatlas.nve.no, 2013). Etter samtaler med personer i kommunen har det kommet fram at det ikke er registrert noen skredaktivitet i studieområdet de siste 60-80 årene, før hendelsen i 2007, og at spor etter eventuelt eldre skred har blitt slettet av nyplantet skog (Bekkeseth pers. komm. 2013). Figur 5-3 til 5-8 viser de nyligste hendelsene fra 9.7.2007 og 10.6.2011. Før innleveringen av masteroppgaven gikk et nytt skred i Arnegårdslia natt til 23. mai 2013 (Lundahl, 2013).



**Figur 5-1. Skredhendelser i Nes kommune. Blå= isnedfall, svart= steinskred, hvit= snøskred, rød= jordskred, og gul= uspesifisert løsmasseskred (Skredatlas.nve.no, 2013).**



**Figur 5-2. Aktsomhetsområde for steinsprang rundt Nesbyen sentrum. Mørk svart farge er teoretisk utløsningsområde og lysere svart farge er antatt utløpsområde (Skredatlas.nve.no, 2013).**



**Figur 5-3. Nedre deler av skredbanen fra skredet som gikk i 2007 ved Oslo Lysverker boligene (Foto: Ørjan Nerland, NGI).**



**Figur 5-4. Avsetningsområdet for skredet ved Oslo Lysverker boligene i 2007 (Foto: Ørjan Nerland, NGI).**



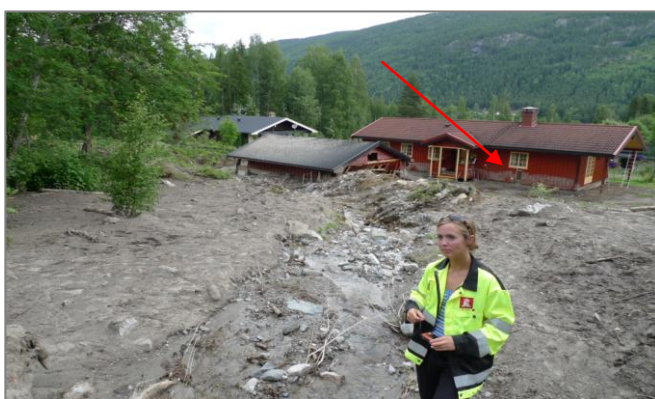
**Figur 5-5. Skredet i 2007 ved Smedsgården Pensjonat. Bildet er tatt omtrent midt i skredløpet (Foto: Ørjan Nerland, NGI).**



**Figur 5-6. Avsetningsområdet for skredet ved Smedsgården Pensjonat (Foto: Ørjan Nerland, NGI).**



**Figur 5-7. Midtre deler av skredbanen fra skredet ved Alfarveien i 2011. (Foto: Terje H. Bargel, NVE).**



**Figur 5-8. Følgebilde fra Figur 5-7. Avsetningsområdet for skredet i 2011. Det er tydelige spor etter skredmassene på husveggen, se pil (Foto: Terje H. Bargel, NVE).**

## 5.2 Kartlegging og modellering

### 5.2.1 Kartlegging

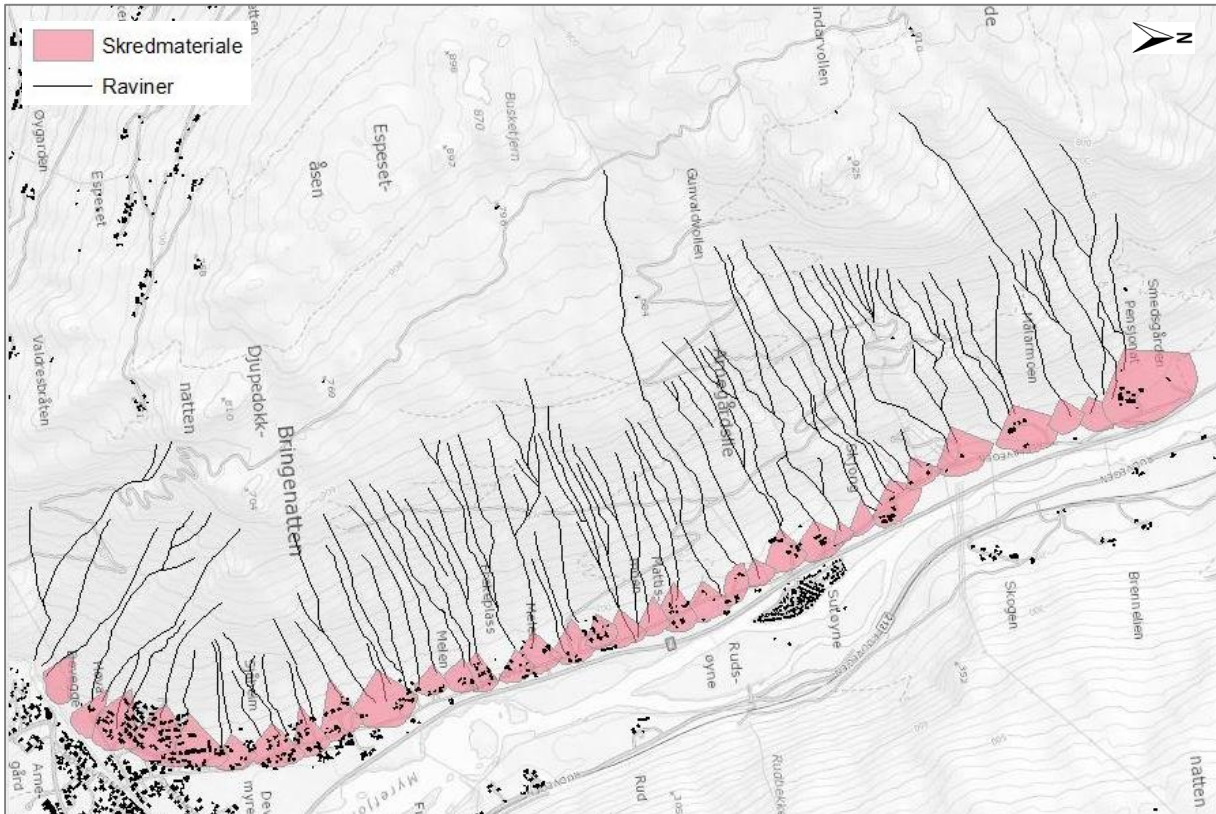
Under feltarbeidet ble det fokusert på å kartlegge skredhendelser, raviner og vifteformasjoner. De registrerte skredhendelsene er kun basert på observasjoner i felt, mens ravinene og viftene baserer seg på både observasjoner og tolkning av kart. Mange raviner og skredavsetninger har blitt lokalisert langs dalsiden i Arnegårdslia (Figur 5-9). Skredavsetningene dekker store deler av dalsiden og mange hus er lokalisert på disse avsetningene (Figur 5-9). Einar Hanserud, en av personene som ble rammet av skredet i 2011, bekrefter at under gravearbeider på tomte ble det identifisert flere gamle skredavsetninger. Volumet på skredavsetningene ser ut til å være mindre enn det som er erodert fra ravinene, noe som betyr at materiale har blitt fjernet fra viftene (Lund et al., 2013).

Registrerte skredhendelser og de fem største skredene er markert i Figur 5-10, samt størrelsen på det følgende avsetningsområdet fra de største hendelsene er indikert i figuren. Nesten alle de registrerte hendelsene er lokalisert i forbindelse med skogsbilveien i Arnegårdslia, men dette kan henge sammen med at få befaringer ble gjort i områdene utenfor skogsbilveien. De fleste av dem stammer fra nedbørhendelsen i 2007. Skredet som gikk natt til 23. mai 2013 fulgte en gate litt sør for skredet som er kalt Oslo Lysverker i Figur 5-10, men avsetningsområdet er det samme som ble rammet i 2007 (Lundahl, 2013). Figur 5-11 viser et helningskart over Arnegårdslia.

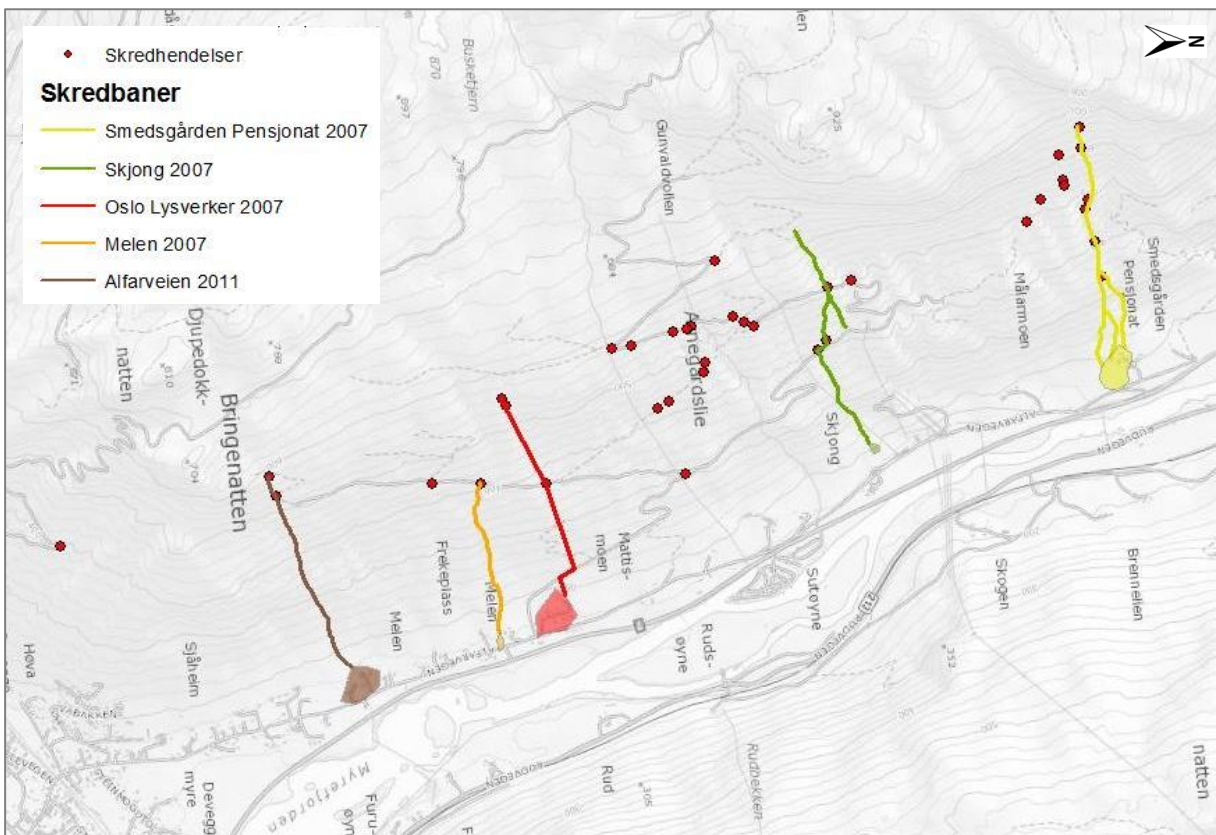
### 5.2.2 Modellering av jordskred

Etter kriteriene for identifisering av startsoner og utløpsområder har modelleringen, utført av NGU, identifisert en rekke områder hvor det kan opptre jordskred og flomskred i Arnegårdslia (Figur 5-12). Mange av de modellerte utløpene følger eksisterende dreneringskanaler i terrenget, men enkelte steder kan det være vanskelig å skille mellom de ulike skredbanene. Det kan se ut som om et skred dekker et veldig stort område, men dette er trolig på grunn av oppløsningen av terrenngmodellen eller fordi flere skredbaner har gått inn i hverandre (Fischer pers. komm. 2012). Modelleringen vist i Figur 5-12 er ikke det endelige resultatet som vil bli offentliggjort av NGU.

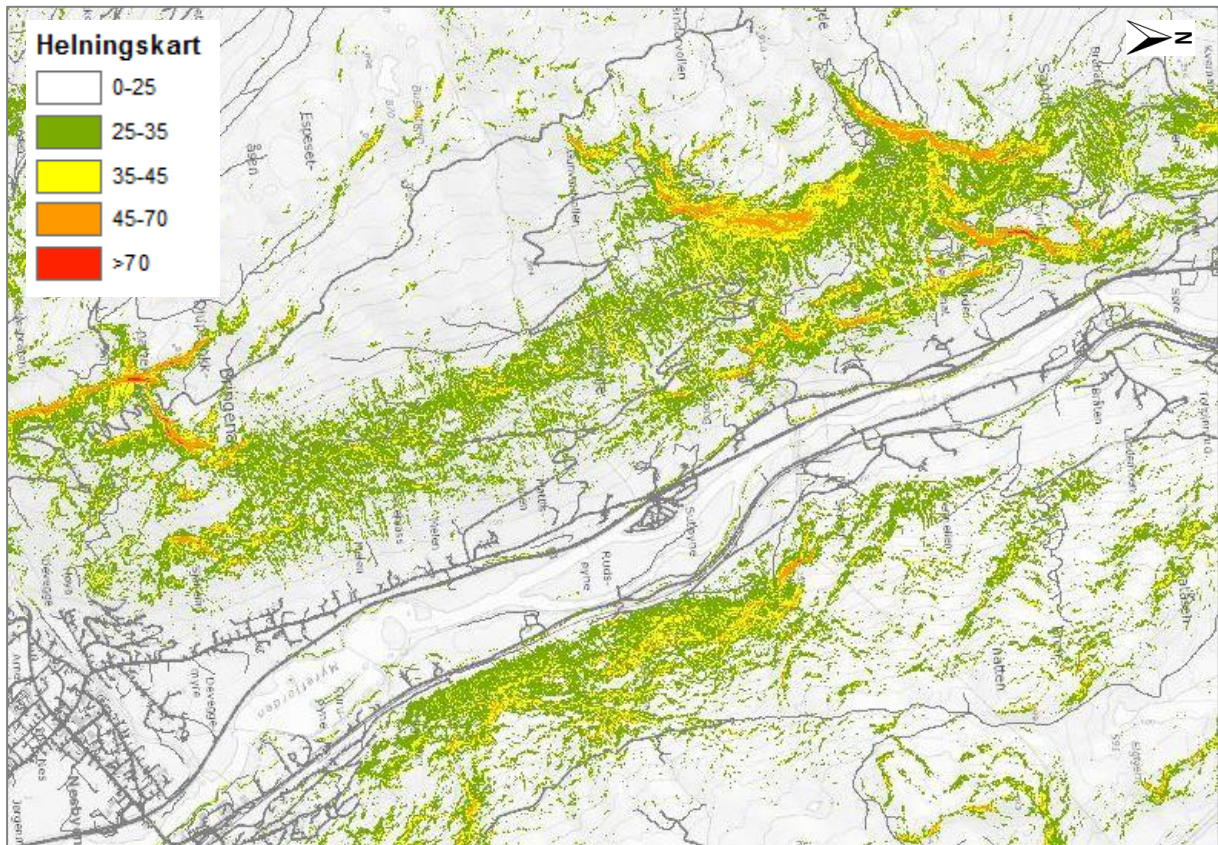




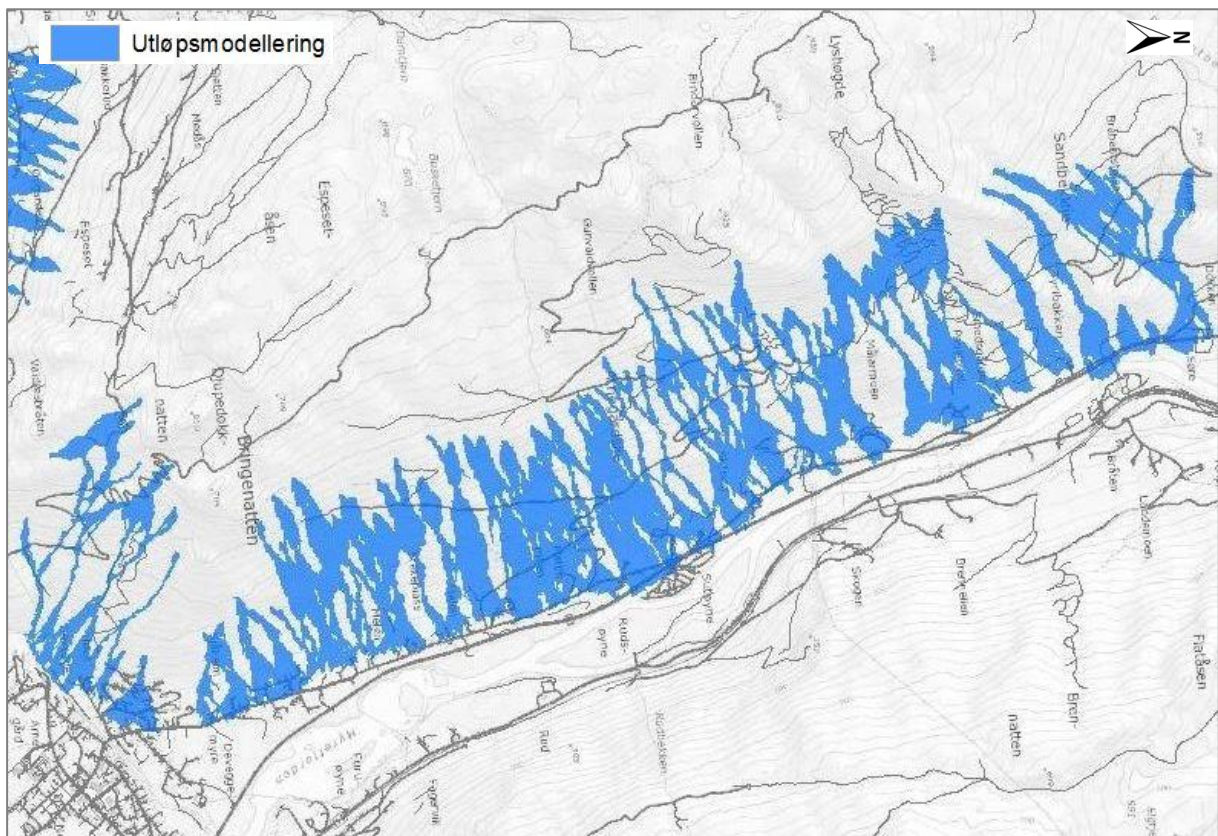
**Figur 5-9. Raviner og skredavsetninger i dalsiden nord for Nesbyen sentrum. Mange hus er plassert på skredavsetningene. Målestokk 1:25 000.**



**Figur 5-10. Registrerte skredhendelser og skredbaner fra 2007 og 2011 med avsetningsområder for de fem største skredene. Målestokk 1:24 000.**



**Figur 5-11. Helningskart over Arnegårdslia. Kartet er laget fra en terrengmodell med 1x1 m oppløsning som er basert på et topografisk kart. Målestokk 1:25 000.**

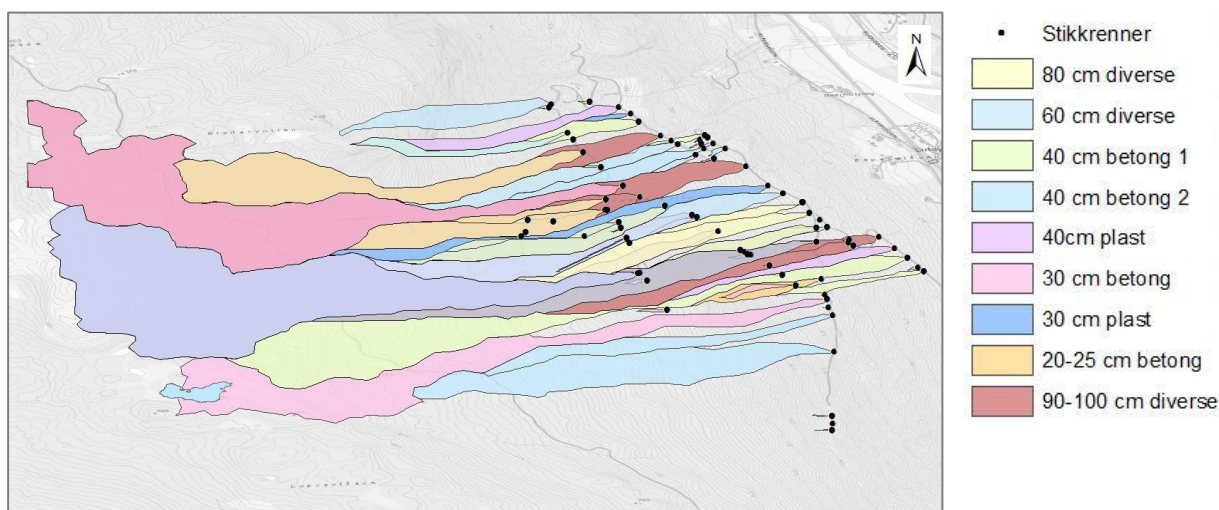


**Figur 5-12. Resultatet fra modelleringen av utløpsområder (Fischer pers. komm. 2013). Målestokk 1:30 000.**

## 5.3 Dimensjonering av stikkrenner og grøfter

### 5.3.1 Dimensjonering av stikkrenner

Under feltarbeidet sommeren 2012 ble stikkrennene langs skogsbilveien som ligger i Arnegårdslia lokalisert, og størrelsen og materialtypen ble notert. Nedbørfeltet til de registrerte stikkrennene er vist i Figur 5-13. Størrelsen på nedbørfeltene til de ulike stikkrennene er veldig varierende, minste areal er på 17 m<sup>2</sup> mens det største arealet er på 0,9 km<sup>2</sup> (se Vedlegg A.1 for en fullstendig oversikt). Under flomberegningene og kapasitetsberegningene er det ikke tatt hensyn til tilsiget fra nærliggende grøfter. Avrenningen til stikkrennene er derfor et minstemål. Det er tatt hensyn til at avrenningsfaktoren øker med økende gjentakintervall. Konsentrasjonstiden i feltet øker med økende lengde i feltet. Konsentrasjonstiden avhenger også av innsjøandelen i feltet, nedbørfeltet til stikkrenne nr 233 er eneste felt med en innsjø og har lengste konsentrasjonstid på 80 minutter. Vannføringen eller avrenningen fra de ulike feltene øker også med økende gjentakintervall. Største vannføring er funnet for et gjentakintervall på 200 år og ligger på nesten 2500 l/s. Et utdrag av den fullstendige tabellen i Vedlegg A.2 er vist i Tabell 5-1.



**Figur 5-13. Nedbørfeltene til stikkrennene langs skogsbilveien i Arnegårdslia hvor størrelsen til stikkrennene er gitt ved ulike farger på nedbørfeltene. Målestokk 1:18 000.**

**Tabell 5-1. Beregning av avrenning fra nedbørfeltene til stikkrenner av størrelse 30 cm plast basert på den rasjonelle formel. C er avrenningsfaktor,  $\Delta H$  er høydeforskjellen i feltet,  $t_c$  er konsentrasjonstiden,  $A_{se}$  er innsjøandelen og Q er avrenning i l/s.**

Størrelse (cm)	Areal nedbørfelt (ha)	Terrenngtype	C < 10 år	C 25 år	C 50 år	C 100 år	C 200 år	Lengde (m)	$\Delta H$ (m)
30 Plast (nr 425)	0,4	Skog	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5	164,4	72
30 Plast (nr 429)	$3,4 \cdot 10^{-3}$	Skog	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5	11,2	4,5
30 Plast (nr 443)	15,3	Skog	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5	1508,3	494,5
30 Plast (nr 445)	$5,0 \cdot 10^{-3}$	Skog	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5	16,9	8,5
$t_c$ (min)	$A_{se}$	Q, 2 år	Q, 5 år	Q, 10 år	Q, 20 år	Q, 25 år	Q, 50 år	Q, 100 år	Q, 200 år
11,6	0	11,9	14,4	16,2	17,4	20,0	22,8	26,5	27,3
3,2	0	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5
40,7	0	208,7	257,8	288,4	319,1	371,3	434,5	491,0	529,3
3,5	0	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7

Kapasitetsberegningene for en valgt stikkrennestørrelse og materialtype er vist i Tabell 5-2. Flere av disse stikkrennene har for liten kapasitet, indikert ved negative verdier. Dette gjelder også for de andre stikkrennene i Vedlegg A.3. For stikkrenne nr 443, 373, 457, 236, 237, 233, 297, 302, 231 og 257 er kapasiteten allerede for liten ved et gjentaksintervall på to år, stikkrenne nr er i Vedlegg A oppgitt som GPS nr. Fra et gjentaksintervall på 2 år til 5 år blir det en økning i antall stikkrenner med for liten kapasitet på to stykk, dette er stikkrennene 432 og 229. Fra 5 år til 10 år blir det nok en økning på 3 nye stikkrenner med for liten kapasitet (se Vedlegg A.3).

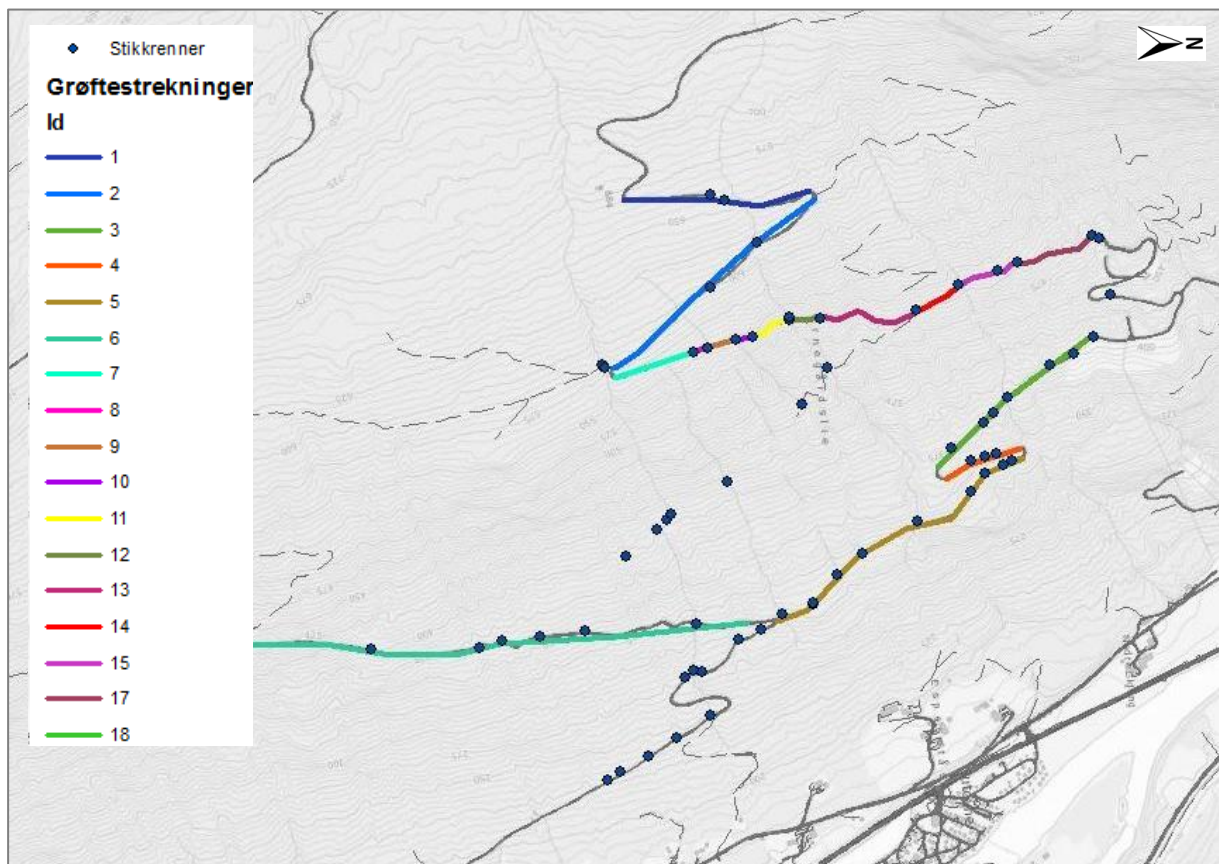
**Tabell 5-2. Kapasitetsberegninger for stikkrenner med størrelse 30 cm plast. Følger fra Tabell 5-1.**

		Kapasitet (l/s)	Gjentaksintervall 2 år (l/s)		Gjentaksintervall 10 år (l/s)		Gjentaksintervall 50 år (l/s)	
Nr	Størrelse (cm)	57	Nødvendig kapasitet	Ledig kapasitet	Nødvendig Kapasitet	Ledig kapasitet	Nødvendig kapasitet	Ledig kapasitet
425	30 Plast		11,9	45,1	16,2	40,8	22,8	34,2
429	30 Plast		0,2	56,8	0,3	45,7	0,4	56,6
443	30 Plast		208,7	-151,7	288,4	-231,4	434,5	-377,5
449	30 Plast		0,3	56,7	0,4	56,5	0,6	56,4

### 5.3.2 Dimensjonering av grøfter

Under beregningene av grøftenes erosjonsbestandighet har en rekke antagelser blitt tatt da det i felt ikke ble gjort noen direkte målinger av grøftenes størrelse. Ut fra bilder har det blitt anslått at grøftenes generelle størrelse er; bunnbredde 0,4 meter; dybde 0,3 meter; og øvre bredde 0,75 m. Det har også blitt antatt at grøftene har en ruhet som tilsvarer 27 etter Mannings ruhekkoeffisient (se Tabell 4-4). Vegens strekning har blitt delt inn i 18 grøftestrekninger, hvor det for strekning 7-18 har blitt tatt hensyn til stikkrennenes plassering (Figur 5-14). I Vedlegg B er de fullstendige beregningene av vannføringen og oppnådde hastigheter til de ulike strekningene som vist i Figur 5-14.

Det anbefales at vannhastigheten ikke overstiger 0,8 m/s for grøfter uten vegetasjonsdekke (Statens Vegvesen, 2011). I Tabell 5-3 er resultatet fra beregningene for grøftestrekning 7-18 vist. Som for resten av de undersøkte stikkrennene ligger de beregnede vannhastighetene for alle grøftestrekningene er over den anbefalte verdien (Vedlegg B).



Figur 5-14. Grøftestrekningene som er brukt i beregningene av vannhastigheter. Målestokk 1:12 000.

**Tabell 5-3. Beregnede og anbefalte vannhastigheter for utvalgte strekninger langs skogsbilveien i Arnegårdslia.**

Grøftestrekning	Beregnet hastighet (m/s)	Anbefalt hastighet (m/s)	Differanse
7	2,4	0,8	+1,6
8	2,7	0,8	+1,9
9	1,5	0,8	+1,7
10	2,6	0,8	+1,8
11	2,8	0,8	+2,0
12	2,9	0,8	+2,1
13	2,5	0,8	+1,7
14	2,3	0,8	+1,5
15	1,6	0,8	+0,8
16	2,2	0,8	+1,4
17	2,5	0,8	+1,7
18	4,9	0,8	+4,1

## 5.4 Skjærbokstest og kornfordeling

Alle prøver som har blitt testet er behandlet ved NTNU av Gunnar Vistnes. Prøven som har blitt testet i skjærboksen er fra en lokalitet som ligger like nord for Nesbyen sentrum, nedenfor Bringenatten. Prøven har blitt testet under drenerte og udrenerte forhold, vist som tørr og vannmettet i Tabell 5-4. Kohesjonen og friksjonsvinkelen har blitt funnet ved bruk av Mohr-Coulomb bruddkriteriet som ble beskrevet i avsnitt 4.6. Friksjonsvinkelen holder seg på samme verdi med økende vanninnhold, mens kohesjonen viser en økning med økt vanninnhold.

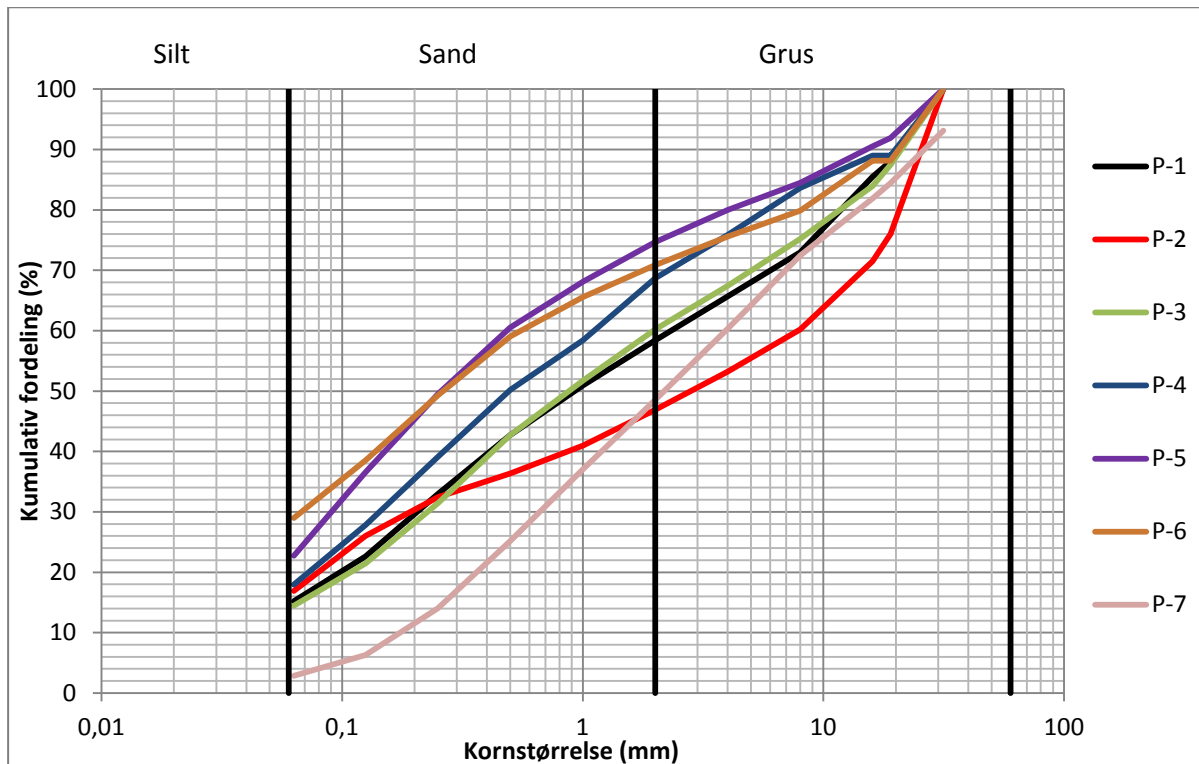
**Tabell 5-4. Resultater fra skjærbokstest utført på en jordprøve fra Arnegårdslia (Vistnes pers. komm. 2013).**

Prøve nr	Kohesjon, c (kPa)	Friksjonsvinkel, $\varphi$ (grader)
P-1 Tørr	2	39,5
P-1 Vannmettet	3,67	39,5

Langs grøftestrekning 7-18 (Figur 5-14) har det blitt foretatt målinger av helningen på veiskjæringene langs skogsbilveien. Fem veiskjæringer har blitt målt med følgende helninger; 38, 32, 40, 48 og 48.

Kornfordelingen til P-1 sammen med de andre moreneprøvene er vist i Figur 5-15. Finstoffandelen, det vil si materialet som er mindre enn 0,063 mm, utgjør ca. 15 % av den totale massen til P-1. Alle prøver unntatt P-7 og P-3 har et høyere finstoffinnhold enn prøve

P-1. Prøve P-3 og prøve P-1 har nesten lik kornfordeling. Prøvene P-3, P-4, P-5 og P-6 ligger i området hvor helningen på grøftene har blitt målt.



Figur 5-15. Kornfordelingskurver for ulike prøver fra Nesbyen. Prøve P-1 har blitt testet i skjærbokstesten (Vistnes pers. komm. 2013).

## 5.5 Terskelverdiberegninger

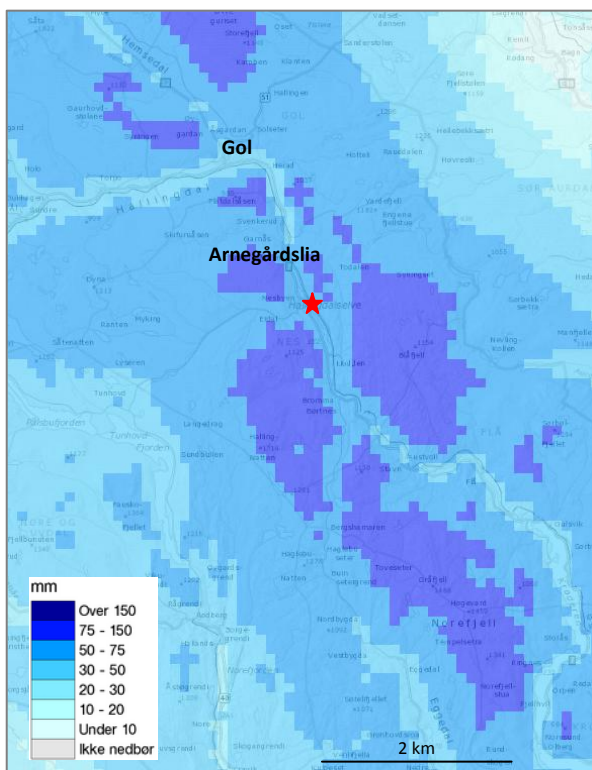
Tre metoder har blitt brukt til å uttrykke sammenhengen mellom nedbør og skredpotensialet, disse inkluderer metoden utviklet av Sandersen et al. (1996), varianter av Caines (1980) terskel og NVEs jordskredindeks. Nedenfor følger nedbørrelatert informasjon som er brukt under beregningene av terskelverdiene.

Figur 5-16 og Figur 5-17 viser den romlige fordelingen av nedbøren på datoene for utløsingen av skredene i 2007 og 2011. Hendelsen i 2011 fant sted den 10. juni, men nedbørhendelsen er registrert på nedbørdøgnet 11. juni og denne datoen vil derfor bli brukt videre. Nedbørmengdene som har blitt registrert på målestasjonen Nesbyen-Todokk er noe lavere enn den interpolerte verdien for nedbørfeltet i Arnegårdslia, som vist i Figur 5-16 og Figur 5-17. Temperaturen og nedbørmengdene i dagene før og etter skredhendelsen den 9. juli 2007 er vist i Figur 5-18. Totalt kom det 52,5 mm nedbør i løpet av døgnet 9. juli 2007. I 2011 var

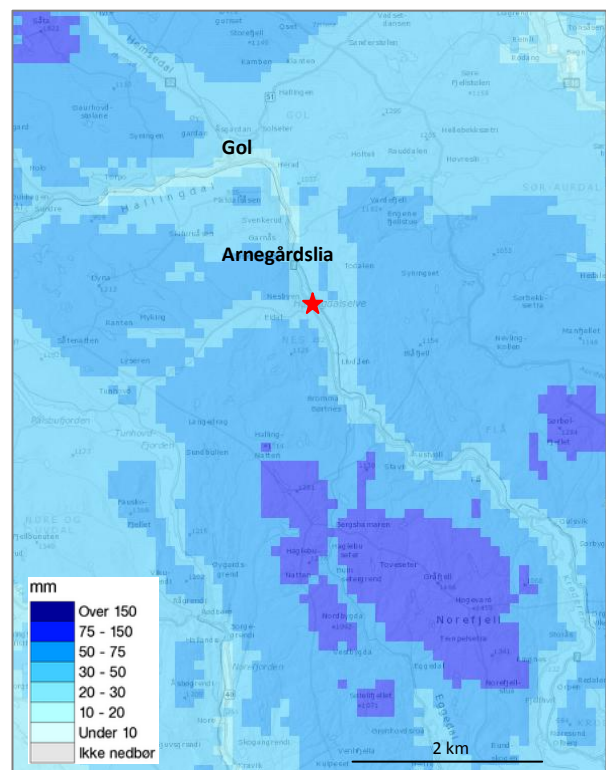
nedbørsituasjonen noe annen enn i 2007. Nedbøren i løpet av dagene før og etter hendelsen i 11. juni 2011 er vist i Figur 5-19. Totalt kom det litt over 32 mm i løpet av 24 timer.

Opp gjennom stasjonenes levetid har det blitt registrert flere høye døgnnedbørverdier. Tabell 5-5 viser en oversikt over de to høyeste verdiene som er registrert for de ulike stasjonene som har vært aktive i Nesbyen. Skreddagen 9. juli 2007 ligger blant de høyeste verdiene som er registrert for stasjonen Nesbyen-Todokk. Den høyeste verdien som har blitt registrert var under driftsperioden til Nesbyen-Skoglund og var på 62,7 mm den 14.8.1994. Det er kun ved nedbørhendelsen 9. juli 2007 at det har blitt registrert skred.

Jordas vannmetning er basert på simulerte data og er derfor ikke virkelige observasjoner, men de gir en indikasjon på metningsforholdene i sedimentene. Vannmetningen den 9. juli 2007 ligger i enkelte områder av Arnegårdslia på over 90 % av maksimal vannmetning (Figur 5-20). I 2011 ligger det meste av Arnegårdslia på en metning på 60-70 % og 80-90 % (Figur 5-21).

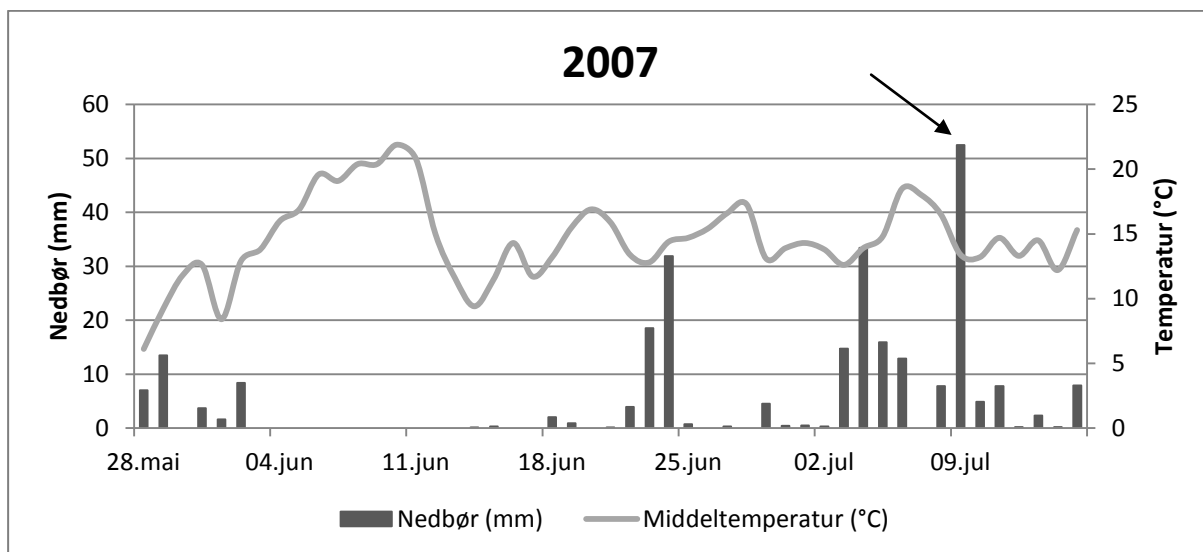


**Figur 5-16. Nedbør fordelt over Nesbyen og nærliggende områder 9. juli 2007. Stjernen indikerer plasseringen av målestasjonen Nesbyen-Todokk (xgeo.no, 2013).**

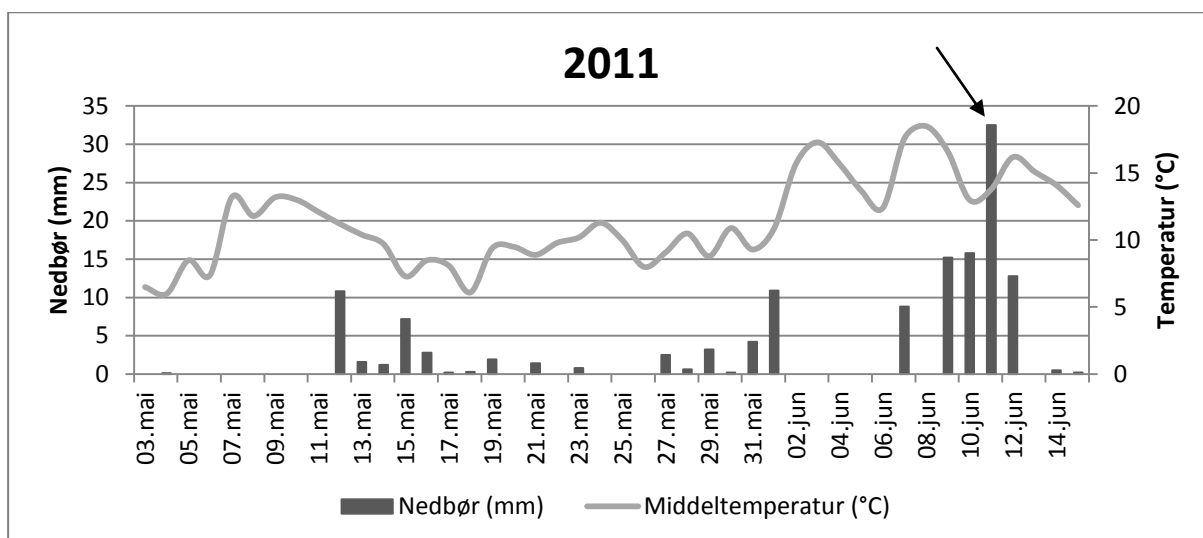


**Figur 5-17. Nedbør fordelt over Nesbyen og nærliggende områder den 11. juni 2011. Stjernen indikerer plasseringen av målestasjonen Nesbyen-Todokk (xgeo.no, 2013).**





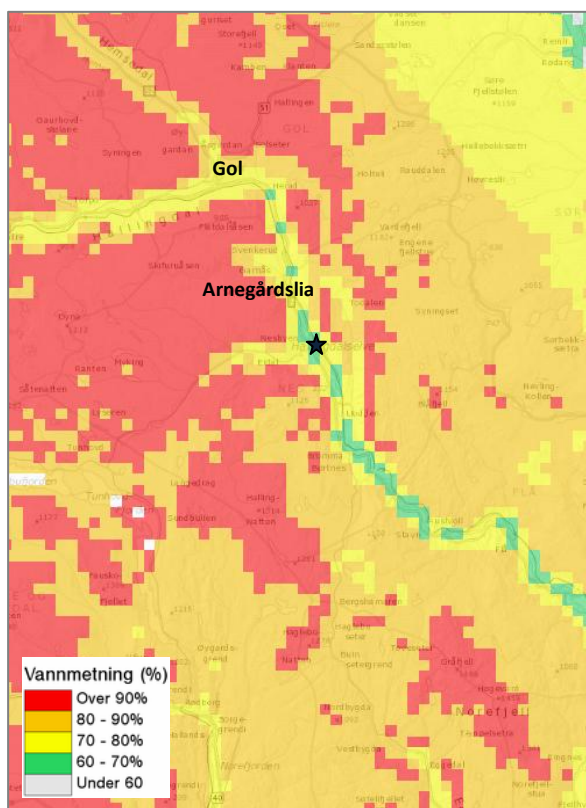
Figur 5-18. Nedbør i mm fra 28. mai til 15. juli 2007. Pilen representerer datoen for skredhendelsen (eKlima.no, 2013).



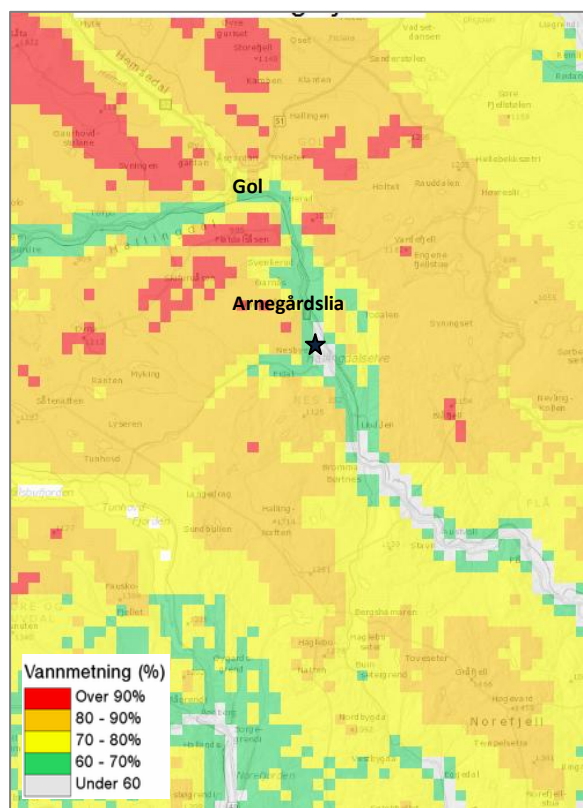
Figur 5-19. Nedbør i mm fra 3. mai til 15. juni 2011. Pilen representerer nedbørdøgnet som hendelsen i 2011 er registrert under (eKlima.no, 2013).

Tabell 5-5. Registrerte maksimumsverdier for nedbør for de ulike målestasjonene i Nesbyen (eKlima.no, 2013).

Stasjon	Driftsperiode	1. Maks registrert nedbør (mm)	2. Maks registrert nedbør (mm)
Nesbyen	Jan. 1895- Jan. 1947	61,2 (2.8.1910)	55,7 (1.9.1938)
Nesbyen II	Mar. 1946- Okt. 1976	56,1 (10.8.1951)	40,2 (11.11.1961)
Nesbyen – Skoglund	Jan. 1977- Jan. 2004	62,7 (14.8.1994)	46,3 (30.10.1990)
Nesbyen – Todokk	Nov. 2003 -	52,5 (9.7.2007)	34 (6.5.2004)



**Figur 5-20. Jordas vannmetning for nedbørdøgnnet 9. juli 2011. Stjernen indikerer plasseringen av målestasjonen Nesbyen-Todokk (xgeo.no, 2013).**



**Figur 5-21. Jordas vannmetning for nedbørdøgnnet 11. juni 2011. Stjerne indikerer plasseringen av målestasjonen Nesbyen-Todokk (xgeo.no, 2013).**

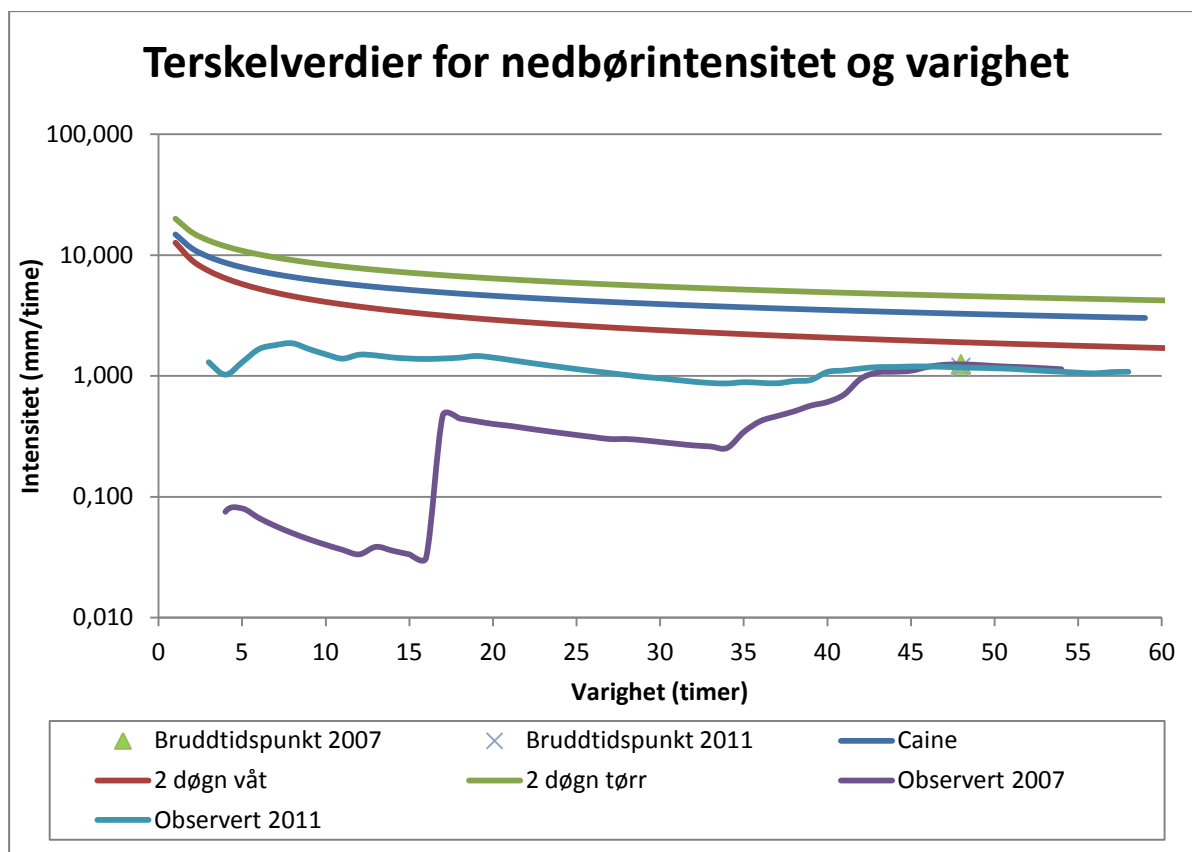
### 5.5.1 Global terskelverdi

Caine (1980) utarbeidet en terskelverdi som bruker nedbørintensitet og varighet som kritisk faktor for utløsning av løsmasseskred. Denne formelen (Likning 4.9) og formlene utviklet for våte og tørre forhold (Likning 4.10 og Likning 4.11) har blitt brukt sammen med observert nedbørintensitet fra 2007 og 2011, se Figur 5-22.

Terskelverdiene baserer seg på ulikheter i jordas vanninnhold, noe som representeres ved forskjellige terskler. Den laveste terskelverdien er den som tar hensyn til at det har falt mer enn 20 mm nedbør i døgnene før nedbørhendelsen, se 2 døgn våt i Figur 5-22. I Figur 5-22 er også observasjonene fra nedbørhendelsene i 2007 og 2011 tatt med for sammenligning. Intensiteten har blitt beregnet fra nedbørdata med timesopløsning fra stasjonene Nesbyen-Todokk hentet fra eKlima.no (2013) og varigheten er på litt over 2 døgn, se Vedlegg C for datagrunnlaget. I 2007 varierer intensiteten mer over de to dagene enn i 2011, hvor intensiteten holder seg jevnt på litt over 1 mm/time. Begge hendelsene når omtrent den samme intensiteten, 1 mm/time, ved tidspunktet for utløsning (Figur 5-22). Tidspunktet for utløsningen av skredene i 2007 og 2011 er basert på informasjon fra Nerland (2007a), (2007b)

og Solheim (2011). Det er ikke oppgitt nøyaktig tidspunkt for utløsning, og klokkeslettet som er brukt i beregningene er derfor basert på tilgjengelig informasjon. Største observerte nedbørintensitet i 2007 var på omtrent 1,2 mm/time og varte i omtrent 4 timer. I 2011 var største nedbørintensitet på 1,2 mm/time og varte i ca. 6 timer (Figur 5-22).

Hendelsene i 2007 og 2011 ligger under alle de foreslåtte terskelverdiene for utløsning av skred (Figur 5-22). Den terskelen som ligger nærmest observert intensitet er 2 døgn våt.



Figur 5-22. Terskelverdier basert på nedbørintensitet og varighet etter Caine (1980) og Sidle og Ochiai (2006) sammen med observasjoner fra 2007 og 2011.

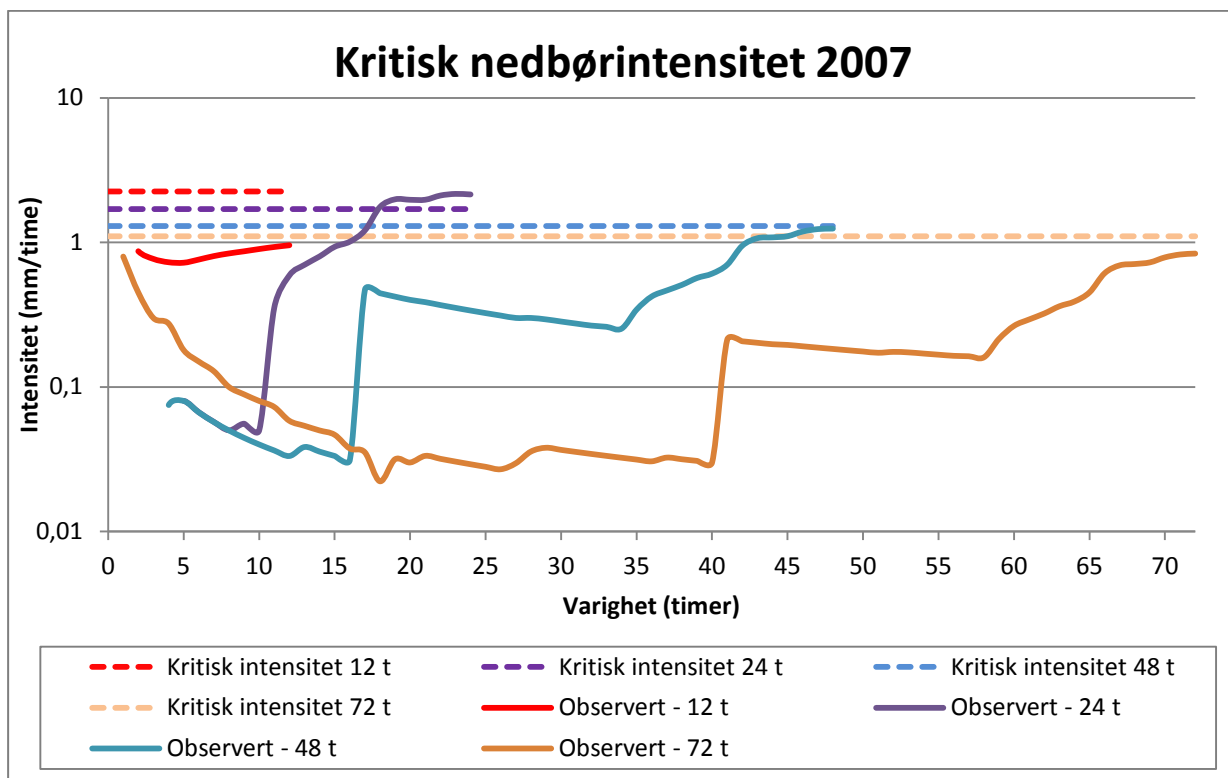
## 5.5.2 Terskelverdi basert på prosent av årsnedbør

Fire målestasjoner har vært aktive i Nesbyen fra 1895 og fram til i dag. For de tre nyeste stasjonene er den årlige nedbøren i normalperioden 1961-1990 oppgitt til å være 490-520 mm (eKlima.no, 2013). Ingen av stasjonene har vært aktive i hele observasjonsperioden, men de har ligget på nesten samme lokalitet. Gjennomsnittet av nedbøren i normalperioden for de tre stasjonene har derfor blitt brukt under beregningene; 510 mm. De fire varigheter som er brukt i beregningene er 12 timer, 24 timer, 48 timer og 72 timer. Terskelverdiene som er basert på prosent av normal årsnedbør etter Sandersen et al. (1996) med valgte varigheter er vist i Tabell 5-6. Siden målestasjonen i Nesbyen har data med timesoppløsning har kritisk intensitet i Tabell 5-6 blitt sammenlignet med observasjoner. Sammenligningen er vist i Figur 5-23 og Figur 5-22.

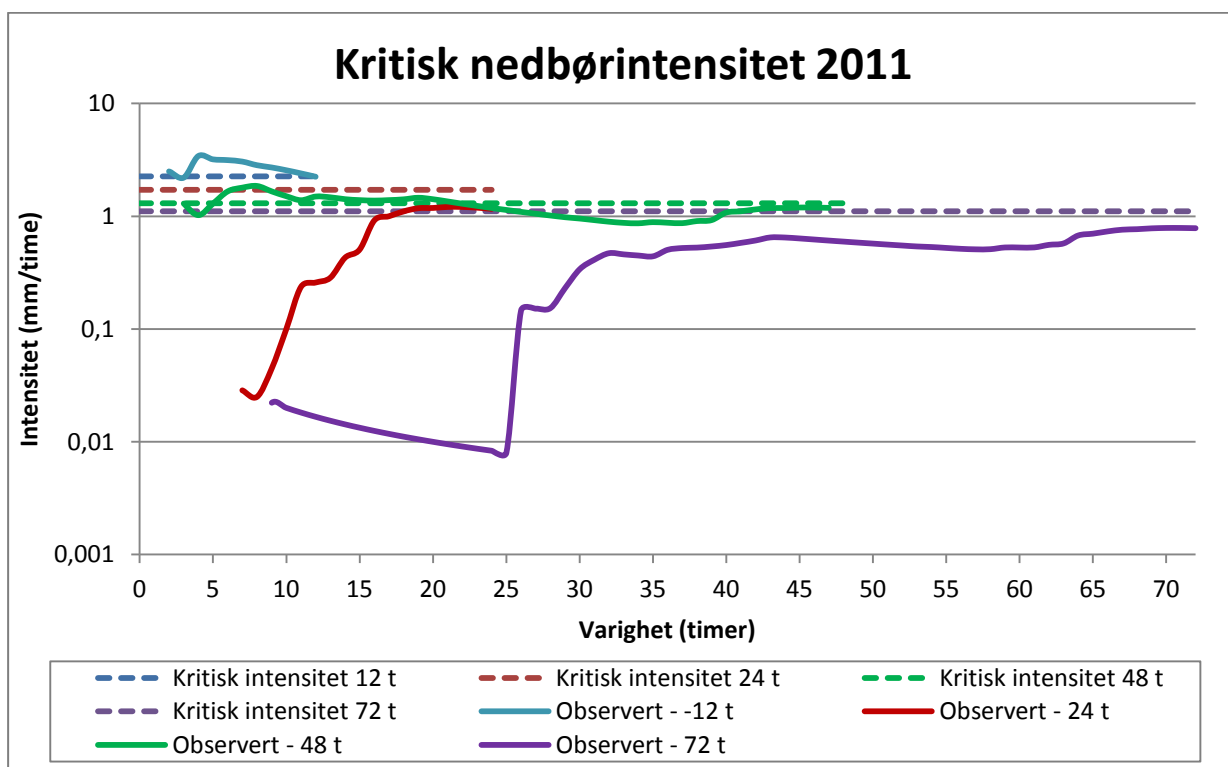
*Tabell 5-6. Terskelverdier for nedbør basert på prosent av normal årsnedbør.*

Varighet (timer)	Kritisk nedbørmengde (%)	Kritiske nedbørmengder for Nesbyen (mm)	Kritisk intensitet (mm/time)
12	5,3	27,0	1,3
24	8	40,8	1,7
48	12,2	62,2	1,3
72	15,6	79,6	1,1

I 2007 er det bare verdien for 24-timers kritisk intensitet som blir krysset. Observert intensitet for 48-timers varighet ligger like under terskelverdien. I 2011 krysses både terskelverdien for 12-timers og 48-timers varighet før skredet utløses. Det er bare observert intensitet med 12-timers varighet som ligger over terskelverdien ved tidspunktet for utløsning i 2011. Det ser derfor ut til at intensiteten de siste 24 timene var avgjørende for utløsningen av skredene i 2007, mens i 2011 var det de siste 12 timene som var avgjørende.



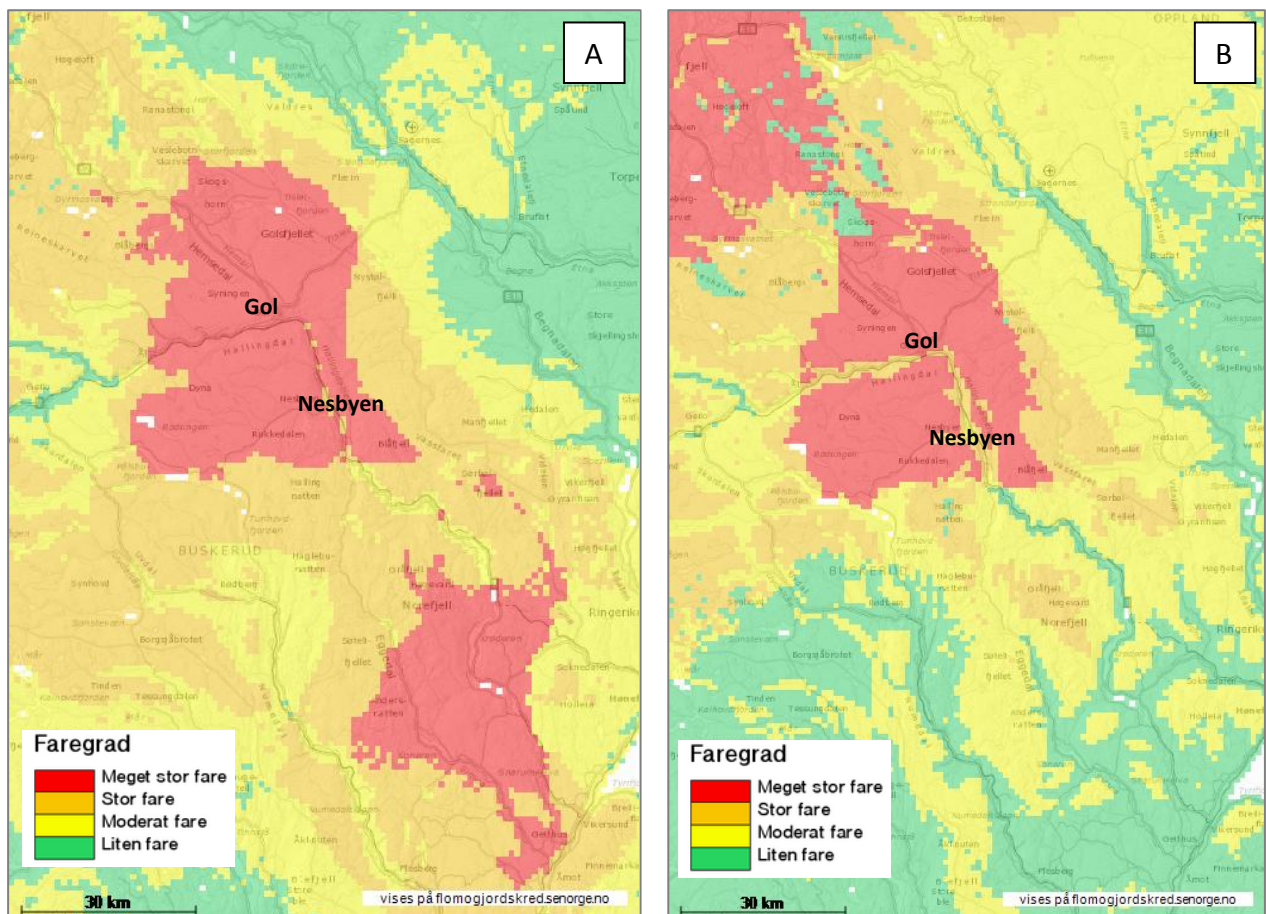
Figur 5-23. Intensitet- og varighetskurver for juli 2007 satt sammen med Sandersens et al. (1996) terskelverdi for utløsning av skred. Enden av strekene representerer tidspunkt for utløsning.



Figur 5-24. Intensitet- og varighetskurver for juni 2011 satt sammen med Sandersens et al. (1996) terskelverdi for utløsning av skred. Enden av strekene representerer tidspunkt for utløsning.

### 5.5.3 NVEs jordskredindeks

NVEs jordskredindeks 1 baserer seg på tre parametere; vannmetning, vanntilførsel og teledyp. Skredindeks 2 tar ikke hensyn til teledypet og vil derfor bli benyttet siden begge skredepisodene skjedde om sommeren. Skredindeksen for 9. juli 2007 og 11. juni 2011 er vist i Figur 5-25. I 2007 var kombinasjonen av vannmetning og vanntilførsel slik at faregraden ble klassifisert til meget stor fare. I 2011 var situasjonen nesten den samme, bortsett fra at flere områder i dalbunnen ble klassifisert til faregrad stor fare og moderat fare (Figur 5-25, B).



Figur 5-25. A: jordskredindeks 2 for 9. juli 2007 (xgeo.no, 2013). B: jordskredindeks 2 for nedbørdøgnet 11. juni 2011 (xgeo.no, 2013).

### 5.5.4 Gjentakintervall

De ulike nedbørmengdene som ble observert i 2007 og 2011 samt beregningene av kritisk nedbørmengde har ulike gjentakintervall. Gjentakintervallet for observert nedbør hentet fra eKlima.no (2013) må sammenlignes med gjentakintervall basert på beregninger gjort med den stasjonsbaserte metoden (dvs. verdier hentet fra eKlima.no (2013)) for å få likt

sammenligningsgrunnlag. Gjentakintervallet for de ulike nedbørmengdene observert i 2007 og 2011 blir oppgitt for hver av de enkelte stasjonene som har vært operative i Nesbyen. I 2007 kom det totalt 52,5 mm i løpet av ett døgn, se Tabell 5-7. For tre av stasjonene tilsvarer dette et gjentakintervall på 34 år. I løpet av 2 døgn kom det totalt 60,3 mm nedbør i 2007. Her er det større variasjoner i gjentakintervallet, men gjennomsnittet ligger på omtrent 20 år. 11. juni 2011 kom det totalt 32,5 mm nedbør i løpet av ett døgn (Tabell 5-7). For tre av fire stasjoner tilsvarer dette et gjentakintervall på 3 år. I løpet av 2 døgn kom det 48,3 mm nedbør i 2011. Også her, når varigheter på 2 døgn vurderes, er det større variasjoner i gjentakintervallene som blir oppgitt.

**Tabell 5-7. Målte nedbørmengder for de to datoene med skredhendelser og nedbørmengdenes gjentakintervall (eKlima.no, 2013). Dataene gjelder for nedbørdøgnet 07-07.**

Dato	Stasjon	Observert nedbør 1 døgn (mm)	Gjentaksintervall for 1-døgns nedbør (år)	Observert nedbør 2 døgn (mm)	Gjentaksintervall for 2-døgns nedbør (år)
9.7.2007	Nesbyen	52,5	34	60,3	22
	Nesbyen II		58		25
	Nesbyen-Skoglund		34		20
	Nesbyen-Todokk		34		10
11.6.2011	Nesbyen	32,5	3	48,3	7
	Nesbyen II		5		8
	Nesbyen-Skoglund		3		6
	Nesbyen-Todokk		3		3

I tillegg har det blitt brukt en annen metode til beregningen av gjentakintervall for nedbørmengder over vilkårlige 24 timer. Disse beregningene er basert på gridbaserte M5 verdier med ulik varighet for det aktuelle nedbørfeltet (Figur 5-26, se Vedlegg D). M5(24) verdien brukt i beregningene er et gjennomsnitt av alle verdiene for hele nedbørfeltet, og for det aktuelle nedbørfeltet er M5(24) 41,3 mm (verdien er hentet fra NVEs arkiv). Datagrunnlaget for denne verdien strekker seg fra 1957 til 2008. M5(24) er basert på interpolasjoner og datagrunnlaget kommer fra nærliggende målestasjoner (senorge.no, 2013). Disse gjentakintervallene for nedbør er sammenlignet med interpolerte døggnedbørverdier for nedbørfeltet hentet fra senorge.no (2013). Døggnedbøren har blitt korrigert med justeringsfaktorer slik at de gjelder for vilkårlige 24 timer, se Tabell 5-8. Døggnedbøren er hentet fra en gridcelle med lokalitet 33 N 174436 6732103.

**Tabell 5-8. Interpolerte nedbørmengder for et punkt i Arnegårdslia med varigheter på ett, to og tre døgn (senorge.no, 2013). Nedbørmengder har blitt korrigert med justeringsfaktorer fra Tabell 4-1.**

Dato	Varighet (døgn)	Interpolert nedbørmengde (mm)	Korrigert nedbørmengde (mm) for vilkårlige timer
9.7.2007	1	77,6	87,7
8.7-9.7.2007	2	86,4	89,9
7.7-9.7.2007	3	86,4	89,0
11.6.2011	1	50	55,7
10.6-11.6.2011	2	78	81,1
9.6-11.6.2011	3	102,5	105,6

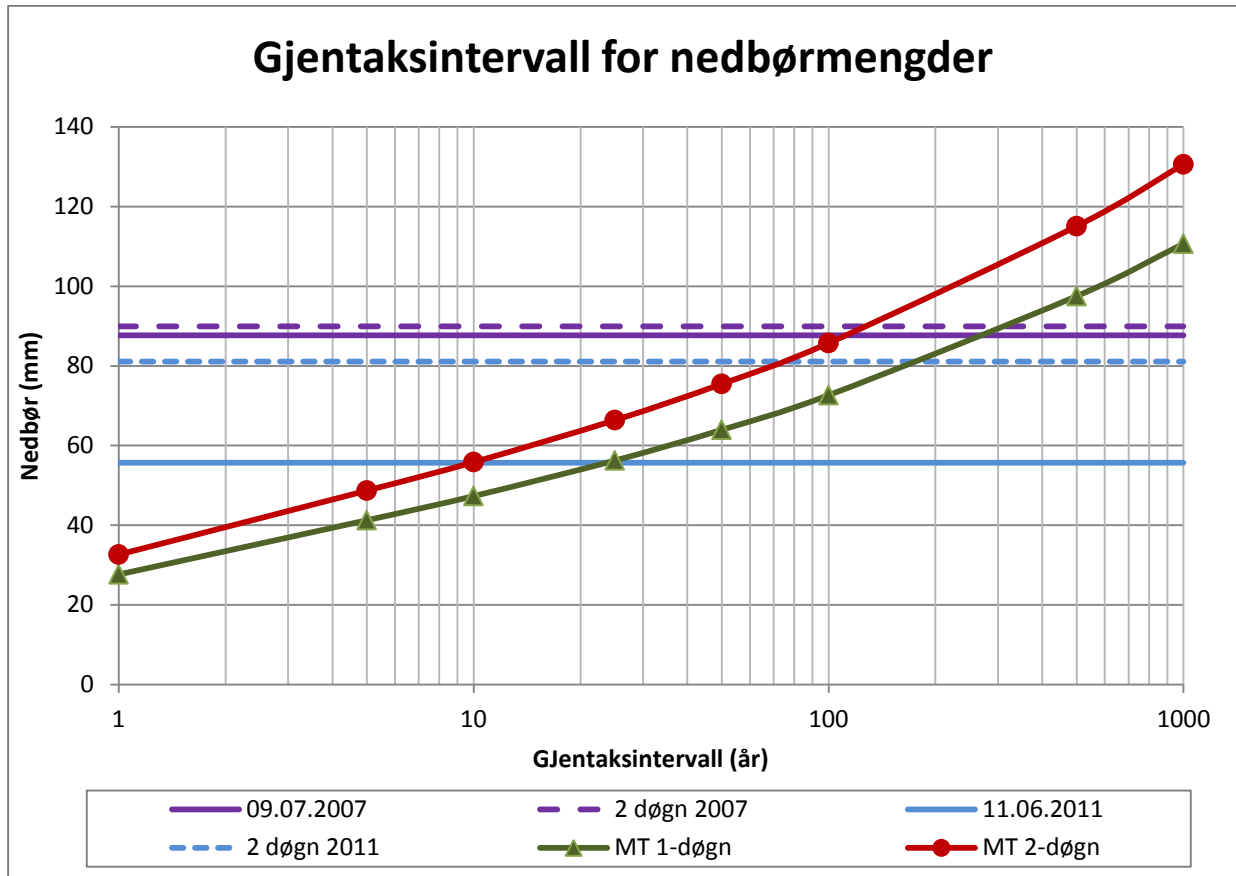
Nedbørhendelsen i døgnet 9.7.2007, i nedbørfeltet, tilsvarer et gjentaksintervall på rundt 100 år (Figur 5-26). Nedbøren over 48 timer tilsvarer et gjentaksintervall på omtrent 110 år. Nedbørhendelsene i 2011 har et lavere gjentaksintervall enn i 2007, men nedbørmengdene som kom i 2011 var også noe lavere enn i 2007. Hendelsen 11.6.2011 med en varighet på 24 timer har et gjentaksintervall på litt over 25 år. Nedbørmengdene over 48 timer i 2011 tilsvarer et gjentaksintervall på ca. 170 år. Dataene i Figur 5-26 er ikke direkte sammenlignbare siden verdiene er basert på to delvis forskjellige grunnlag. Beregningene av gjentaksintervallet er basert på et gjennomsnitt for hele nedbørfeltet, mens interpolert nedbørmengde er basert på nedbøren i en gridcelle i øvre deler av nedbørfeltet.

De kritiske nedbørmengdene funnet ved bruk av metoden til Sandersen et al. (1996) har ulike gjentaksintervall (Tabell 5-9). Kritisk nedbørmengde for 24 timer er på 40,8 mm. Dette tilsvarer for tre av stasjonene et gjentaksintervall på 9 år. For kritisk nedbørmengde over 48 timer er det varierende resultater for alle stasjonene. Høyeste gjentaksintervall er oppgitt for stasjonen Nesbyen og ligger på 28 år. Både for 48 og 72 timer gir Nesbyen-Todokk de laveste gjentaksintervallene. Det er også denne stasjonen som har den korteste driftsperioden.

**Tabell 5-9. Gjentaksintervall for kritiske nedbørmengder med ulik varighet, gjentaksintervallet er hentet fra eKlima.no (2013). Dataene gjelder for nedbørdøgnet 07-07.**

Stasjon	Gjentaksintervall i år for 1 døgn (40,8 mm)	Gjentaksintervall i år for 2 døgn (62,2 mm)	Gjentaksintervall i år for 3 døgn (79,6 mm)
Nesbyen	9	28	54
Nesbyen II	16	23	49
Nesbyen-Skoglund	9	25	49
Nesbyen-Todokk	9	12	28





**Figur 5-26.** MT er gjentaksintervall i år for nedbør (mm) i nedbørfeltet i Arnegårdslia med varighet på 24 og 48 timer. Interpolerte døggnedbørverdier for hendelsene i 2007 og 2011 er også tegnet inn for sammenligning.

# 6 Diskusjon

## 6.1 Kartlegging og modellering

Arnegårdslia bærer preg av stor skredaktivitet, dette kommer fram av de mange ravinene og skredavsetningene i dalsiden. Det store antallet skredhendelser har ført til et sammensatt mønster av skredavsetninger langs dalbunnen, når denne skredaktiviteten begynte er vanskelig å anslå. Antagelig begynte skredaktiviteten like etter at isen i Hallingdalen forsvant for 9000-8000 år siden. Siden det ikke har blitt foretatt stratigrafiske undersøkelser av skredavsetningene er verken alderen eller frekvensen på skredhendelsene i dalsiden bestemt. I kommunen finnes det ikke noe arkiv på skredhendelser som er eldre enn 2007, og disse har derfor ikke vært mulig å tidfeste. Alderen på vegetasjonen i skredutsatte dalsider har i enkelte tilfeller blitt brukt til å gi en relativ alder på skredaktiviteten. I Arnegårdslia ble det i de fleste ravinene observert voksen gran og furu. Omløpstiden, tiden mellom planting og når treet er hogstmodent, for disse treslagene er omtrent 70-80 år for gran og 100-110 for furu (snl.no, 2009b). Dette betyr at det kan ha gått minst 100 år siden det forrige skredet gikk i disse ravinene, hvis man antar at det ikke har vært hugget i ravinene mellom skredhendelsene. Etter en skredhendelse vil det ta tid før materiale igjen fyller ravinene slik at trær kan vokse der og skred kan utløses, det kan derfor være langt mer enn 100 år siden det forrige skredet gikk i Arnegårdslia. Mange faktorer påvirker omløpstiden og disse kan enten forkorte eller forlenge den (snl.no, 2009a). Bruken av vegetasjon som en indikator på alderen på skredaktiviteten i en dalside er derfor å betrakte som en meget usikker metode, men den gir en relativ alder på skredhendelsene (Wilkerson og Schmid, 2003).

Størrelsen på skredavsetningene er også noe usikre. I felt var topografien kun svakt undulerende med en jevn overgang til sletten nedenfor. Volumet som i dag finnes i viftene synes også å være mindre enn det som har blitt erodert fra ravinene. Både menneskelig aktivitet og naturlige prosesser kan ha ført til endringer i størrelsen av disse viftene. Hallingdalselva kan ha stått for noe av denne størrelsesreduksjonen gjennom erosjon da den var større og/eller hadde et annet løp (Lund et al., 2013). Gjennom utbygging og jordbruk kan også topografien ha blitt endret slik at det blir vanskelig å anslå maksimalt utløp av tidligere skredhendelser. I forhold til et framtidig faresonekart vil det derfor være noe usikkerhet

knyttet til defineringen av maksimalt utløp. Det er heller ikke sikkert at de sedimentmengdene som nå er igjen i ravinene er tilstrekkelig til å nå fortidens maksimale utløp.

Flomskred var den skredtypen som ble utløst i Arnegårdslia i 2007 og 2011. Dette er en skredtype som normalt følger eksisterende dreneringskanaler i terrenget (Takahashi, 1981), noe som også kommer fram av modelleringsresultatene. Man kan derfor anta at ravinene vil være den neste skredbanen, men hvilken ravine som blir den neste er vanskelig å forutsi. Man kan heller ikke utelukke at et skred vil bli utløst i områdene utenfor ravinene. Dersom et skred utløses og følger ravinene vil dette føre til en reaktivering av skredavsetningene langs dalbunnen. Bebyggelsen langs Arnegårdslia vil derfor sannsynligvis bli påvirket av skred igjen, noe som ble tydeliggjort i 2007, 2011 og nå senest i mai 2013. Fra kartleggingen og modelleringen blir det derfor bekreftet at Arnegårdslia er et skredutsatt område.

## **6.2 Menneskelig aktivitet og skredfare**

Under feltarbeidet ble det fokusert på å kartlegge skogsbilveien i Arnegårdslia og dens forhold til skredpotensialet i dalsiden. Etter rapportene til Nerland (2007a), (2007b) og Solheim (2011) er det spesielt hendelsen i 2007 som har satt sitt preg på skogsbilveien og nesten alle hendelsene i Figur 5-10 stammer fra nedbørhendelsen i 2007. Observasjoner tilsier at dreneringssystemet langs veien hadde kollapset og veien var flere steder ødelagt. Mange av skadene og problemene fra 2007 ble reparert, men det ble under feltarbeidet observert flere nye problemer. Gjenfylte grøfter har flere steder ført til erosjonsproblemer og utglidinger (se Figur 6-1 og Figur 6-2). Skredet kalt Melen i Figur 5-10 er et eksempel på at dette kan føre til større skred.

### **6.2.1 Dimensjonering av stikkrenner**

Stikkrenner som brukes ved bygging av skogsbilveier skal dimensjoneres etter nedbørforhold som gjentar seg hvert 25-50 år. Det vil si en avrenning som tilsvarer en 25-års flom eller en 50-års flom. Minste indre anbefalte diameter er 300 mm (Fergus et al., 2011). Man må også ta sikte for at de forutsetningene som ligger til grunn for stikkrennenes kapasitet kan endre seg over tid, blant annet kan økt avrenning kan føre til at minstekrav til dimensjon bør endres. Økt avrenning kan forekomme av flere årsaker. Blant annet vil inngrep i naturen føre til at dreneringsmønster og mengde endres (utbygging, flatehogst, bygging av skogsbilveier og

lignende). I tillegg må en ta sikte for at klimaendringer kan føre til at det blir en større avrenning fra nedbørfeltet (Statens Vegvesen, 2011). Eksempelvis anbefales det at skogsbilveier som bygges i virkelig bratte områder ( $>30^\circ$ ) burde dimensjoneres for en 100 års flom og minste diameter burde økes til 400 mm (Fergus et al., 2011). Siden flere områder i Arnegårdslia har vinkler på over  $30^\circ$  burde derfor minste diameter økes til 400 mm og stikkrennene burde også dimensjoneres etter en 100-års flom.



**Figur 6-1. Skogsbilveien i Arnegårdslia. De røde pilene indikerer hvor vannet har fulgt veien og erodert i veimassene.**



**Figur 6-2. Følgebilde fra Figur 6-1. Erosjon i veimassene har ført til en utglidning i innersving.**

Alle stikkrenner som er mindre enn 400 mm i diameter har derfor et utskiftningsbehov. Selv stikkrenner som er mindre enn 400 mm og har tilstrekkelig kapasitet burde byttes ut for å sikre kapasiteten i framtiden. Flere faktorer kan påvirke resultatet fra kapasitetsberegningene for stikkrennene. Den ene er at det ikke har blitt tatt hensyn til tilsig fra grøfter og andre nærliggende områder under beregningene. Den faktiske avrenningen til stikkrennen kan derfor være mye større enn det som er vist i Vedlegg A.2. Den beregnede avrenningen er derfor et minstemål. En annen faktor som vil påvirke resultatet er at det ikke har blitt tatt hensyn til stikkrennenes reservekapasitet. For noen av stikkrennene med for liten kapasiteten vil denne derfor dempes av reservekapasiteten. I tillegg må man ta med i betraktning at stikkrennene med tiden vil tettes igjen med materiale, noe som gradvis vil redusere kapasiteten. En annen vurdering som ikke ble gjort i felt er om stikkrennene har optimal plassering i forhold til den naturlige dreneringen i dalsiden. Jevnlig kontroll og vedlikehold er derfor viktig for å opprettholde kapasiteten. Under de forutsetninger som er gjort i beregningene vil det ved å øke minste diameter og bytte ut for små stikkrenner være tilstrekkelig kapasitet i stikkrennene. Dette gjelder kun for nedbørmengder som tilsvarer et gjentaksintervall på opp til 100 år.

### **6.2.2 Dimensjonering av grøfter**

Som beregningene viser (Vedlegg B) kan det oppnås relativt store hastigheter på vannet i grøftene, og i alle tilfeller overstiger disse de anbefalte verdiene for denne materialtypen. Materialet som er brukt i grøftene, og til veien, kan derfor lett eroderes hvis grøftene fylles maksimalt med vann. Som ble observert i 2007 kan dette føre til massetransport og utviklingen av flomskred (Figur 6-3). Med tanke på at mange av grøftene per i dag er fylt igjen med rasmateriale er det stor sannsynlighet for at ved lignende nedbørhendelser vil veiens dreneringssystem kollapse. Det er derfor meget viktig med vedlikehold av grøftene slik at vannet kan transporteres i grøftene i stedet for på veien noe som er tilfellet mange steder i dag.

I hovedsak tilsier observasjoner at det er erosjon og overflateavrenning som har vært årsak til de fleste skredhendelsene i 2007. Det har ikke blitt observert noe i felt som tilsier at skredene kan ha blitt utløst av andre årsaker, men det er mulig at mange spor har blitt slettet siden det gikk 5 år mellom skredet i 2007 og feltarbeidet i 2012. Hendelsen i 2011 (Alfarveien i Figur 5-10) var også, i følge Solheim (2011), utløst som følge av erosjon. Hendelsesforløpet er

forklart som følger; en flombekk fulgte en nesten gjengrodd skogsbilvei helt til utløsningspunktet. Ved utløsningspunktet rant bekken over veien og ned i ravinen som senere utviklet seg til skredbanen. Årsaken til skredet var derfor erosjon i kombinasjon med vannmettede løsmasser. Manglende eller dårlig vedlikehold, eller for små grøfter og stikkrenner er trolig en årsak til at vannet har fulgt veien og ført til erosjon og skred. Dette betyr at samtlige skredhendelser kan settes i sammenheng med skogsbilveien. En konklusjon er derfor at veien har hatt en stor negativ innvirkning på dreneringsforholdene i dalsiden og har vært en medvirkende årsak til skredene både i 2007 og 2011. Selv de nesten gjengrodde skogsbilveier endrer dreneringen i dalsiden. Man må også vurdere at få observasjoner ble utført i områdene utenfor skogsbilveiene. Det kan være ikke registrerte skredhendelser som har blitt utløst uten menneskelig påvirkning og statistikken er derfor ikke 100 % pålitelig. Oslo Lysverker skredet



*Figur 6-3. Erosjon lang skogsbilveien i Arnegårdslia, etter nedbørhendelsen 9. juli 2007 (Foto Ørjan Nerland, NGI).*

(Figur 5-10) ble registrert på en tur i terrenget. Dette skredet har løsnet omtrent 120 meter nedenfor en eldre skogsbilvei. Tilsynelatende kan det se ut som om dette skredet ikke har noen relasjon til skogsbilveien. Utløsningspunktet ligger ved knekkpunktet i skråningen, og løsmassedekket her kan være tynnere. Grunnvannet vil derfor samles og strømme med en større hastighet og en får lokalt store porevannstrykk, noe som naturlig kan føre til utløsning av skred i vannmettede masser, men veien kan ha bidratt med mer vann enn det som er naturlig. I felt ble det observert store mengder vann i veien selv under en tørr periode, og det er derfor ikke usannsynlig at veien har tilført mer vann enn det som er naturlig og bidratt til utløsningen av skredet.

### **6.2.3 Skjærbokstest**

Det har bare blitt utført en skjærbokstest på materialet fra Arnegårdslia og denne lokaliteten ligger ca. 3,5 km lenger sør for de målte veiskjæringene. Siden det kan være store lokale

forskjeller i sedimentenes sammensetning, og dermed også styrken, er det usikkert om resultatet fra skjærboksen kan sammenlignes med de målte veiskjæringene. Prøve P-3, fra området ved veiskjæringene, har nærmest lik kornfordeling som prøve P-1 og man kan derfor anta at disse prøvene vil ha sammenlignbare egenskaper. Friksjonsvinkelen kan derfor være forholdsvis lik den til prøve P-1 og den stabile vinkelen på materialet i veiskjæringene i Arnegårdslia ligger derfor på rundt 39,5 grader (Tabell 5-4). Sammenlignes denne vinkelen med målingene av veiskjæringene langs skogsbilveien er den for 3 av 5 skjæringer oversteget. Resultatet av denne overskridelsen er at det øverste, løse morenelaget, kontinuerlig vil rase ut. Dette ble observert i felt hvor mange av grøftene hadde blitt fylt igjen med rasmateriale og som nevnt ovenfor kan dette ha fatale konsekvenser i form av dreneringsproblemer og skredutløsning (Figur 6-4 og Figur 6-5).

Ved å se på kornfordelingen på de ulike prøvene fra Arnegårdslia kan man få en indikasjon på hvordan den stabile skråningsvinkelen varierer med forskjeller i kornfordeling (Figur 5-15). De fleste prøvene har et noe høyere finstoffinnhold enn prøve P-1 noe som etter Tabell 6-1 vil føre til en nedgang i friksjonsvinkelen. Dermed vil disse områdene muligens ha en lavere friksjonsvinkel enn prøve P-1 og skråningen kan derfor ha en lavere stabilitetsvinkel. Resultatet kan derfor bli at flere av veiskjæringenes vinkel overstiger stabil vinkel og materiale vil også her rase ut. Fuktighetsforholdene i jorda vil også påvirke friksjonsvinkelen, siden disse prøvene inneholder en del silt er det to vannrelaterte forhold som vil påvirke friksjonsvinkelen. Silt gjør at jordarter får et stort kapillært sug og silt vil derfor opp til et vist vanninnhold beholde friksjonsvinkelen. Bli materialet mett opphører kapillærkreftene og friksjonsvinkelen avtar. Også ved tørke opphører kapillærkreftene i materialet og friksjonsvinkelen avtar. Siden det kun har blitt utført en skjærbokstest på materialet i Arnegårdslia er det begrenset hva man kan konkludere med. Resultatet kan derfor bare brukes som en indikasjon på stabilitetsforholdene i dalsiden.

**Tabell 6-1. Kohesjon og friksjonsvinkel til ulike materialer. Etter Norris et al. (2008) som bygger på Ortiz et al. (1986) og Goodman (1980).**

Materiale	Skjærstyrkeparametere	
	$c'$ (kPa)	$\phi'$
Finkornede kohesjonsjordarter: leire	6-10	17-24°
Finkornede kohesjonsjordarter: silt	≈ 3	≈ 25°
Grove, granulære friksjonsjordarter: løs sand	≈ 0	≈ 32°
Grove, granulære friksjonsjordarter: sand og grus	≈ 0	≈ 35°
Svake bergarter: kraftig oppsprukket/lite konsolidert	≈ 38	≈ 14°
Harde bergarter: intakt og solid	6-66	27-55°



**Figur 6-4. A: Oversiktsbilde over situasjonen i Figur 6-5 hvor pilen indikerer plasseringen av lokaliteten i figuren. Gjenfylte grøfter har ført til avrenning langs og over veibanen (Foto Yngvild S. Kvalvik).**



**Figur 6-5. Forstørrelse av situasjonen i Figur 6-4. En utglidning som følge av avrenning langs veien på grunn av gjenfylte grøfter (Foto Yngvild S. Kvalvik).**

## 6.3 Nedbør og skredene i 2007 og 2011

Fra kornfordelingsanalysen av materialet i Arnegårdslia er det sett at mange av prøvene har et finstoffinnhold på over 15 % (Figur 5-15). Permeabiliteten i jordarter som inneholder mye silt og leire avtar med økende finstoffinnhold. Innholdet av silt og leire muliggjør derfor at positive porevannstrykk kan dannes i massene og skred kan utløses (Sandersen, 1988). I tillegg har det blitt observert at morenematerialet er delt inn i to deler, en øvre permeabel del og en nedre konsolidert del. Dette favoriserer også til oppbyggingen av poretrykk på lagflaten mellom disse to lagene. Undersøkelser har vist at sedimentene var nær mettet ved utløsningstidspunktet for skredene i 2007 og 2011, på grunn av sedimentenes sammensetning har dette ført til positive porevannstrykk. Dette har i følge Nerland (2007a), (2007b) og Solheim (2011) i sammenheng med kortvarig intens nedbør vært en medvirkende årsak til



skredhendelsene i 2007 og 2011. Det eksisterer mange måter å definere terskelverdier basert på nedbør for utløsning av skred. I denne oppgaven har observasjoner blitt sammenlignet med flere av dem for å bekrefte eller avkrefte nedbørens rolle i utløsningen. I etterfølgende avsnitt vil dette diskuteres, samt hvor ofte man kan forvente slike nedbørutløsende forhold.

### 6.3.1 Terskelverdier

Figur 5-24 viser kriteriene som er satt for utløsning av skred både av Caine (1980) og Sidle og Ochiai (2006) sammen med observasjoner. Alle disse terskelverdiene ligger over observert nedbørintensitet. Dette skulle derfor bety at nedbøren som kom ikke var tilstrekkelig til å utløse skred, men det var ikke et uventet resultat at disse tersklene ikke ble krysset. Terskelen utarbeidet av Caine (1980) er basert på skredhendelser over hele verden. Den omfatter derfor mange forskjellige klimatiske, topografiske og geologiske forhold som ikke kan sammenlignes med Nesbyen. Den er også basert på skred som har blitt utløst i dalsider uten menneskelig aktivitet og den tar ikke hensyn til forutgående nedbørforhold (Sandersen, 1988). Sandersen et al. (1996) poengterer at ulike klimatiske regioner har forskjellig terskelverdier for utløsning av skred. Ved bruk av terskelverdier basert på nedbør burde disse tilpasses de lokale forholdene. Det er også viktig at jordas vannmetning blir vurdert når en terskelverdi konstrueres. Resultatene viser at dersom dette hensynet blir tatt til følge ligger teoretisk terskelverdi nærmere observert intensitet, se Figur 5-24 Sidle og Ochiai (2006) terskel.

Sandersen et al. (1996) metode er basert på norske klimatiske og geologiske forhold. Med dette som utgangspunkt burde denne metoden teoretisk passe bedre for Nesbyen enn den utviklet av Caine (1980), men det er viktig å påpeke at det er store lokale forskjeller i nedbørutløsende forhold. Årene 2007 og 2011 er forskjellige i forhold til hvilke varigheter som gir tilstrekkelig nedbør og intensitet for utløsning av skred. I 2007 er det de siste 24 timene som var avgjørende for utløsningen, mens i 2011 var det de siste 12 timene som var avgjørende (se Tabell 5-6, Figur 5-23 og Figur 5-24). Disse forskjellene i avgjørende varigheter viser at det ikke bare er nedbørmengden som er avgjørende for utløsningen av skred, men også hvordan denne fordeler seg i tid.

Det har ikke blitt testet andre varigheter enn 12, 24, 48 og 72 timer for utløsning av skred. Andre varigheter kan derfor også ha vært tilstrekkelig for utløsningen av skredene i 2007 og 2011. Flere forfattere hevder at det er enda kortere tidsrom som også kan være avgjørende for utløsningen av jordskred og flomskred (Temple og Rapp (1972), Sidle og Swanston (1982)

hentet fra Sandersen (1988), og Sandersen (1988)). Den avgjørende intensiteten kan gå helt ned til de siste 30 minuttene før skredutløsningen (Temple og Rapp, 1972). Dessuten vil den forutgående nedbøren være av stor betydning for hvilken nedbørintensitet som er tilstrekkelig for utløsningen. Under nær mettede forhold vil derfor nedbørintensiteten som trengs for å utløse skred være lavere enn i det motsatte tilfellet (Sandersen, 1988). I Arnegårdslia, hvor sedimentene var nær mettet med vann kan varighetene som var nødvendige for utløsningen derfor ha vært enda kortere enn det som er undersøkt her.

Nedbørmengdene som kom i 2007 og 2011 var derfor i følge terskelen for kritisk nedbørmengde tilstrekkelig til å utløse skred. Selv om det ikke hadde blitt gjort noen inngrep i dalsiden hadde derfor nedbørforholdene og vannmetningen i jorda ligget til rette for utløsningen av jordskred og flomskred. I Arnegårdslia kan man derfor ikke si at de menneskelige inngrepene alene førte til skredhendelsene. Det har flere ganger opp gjennom målestasjonenes historie vært lignende nedbørhendelser som i 2007 som ikke har ført til skredutløsning (se Tabell 5-5 for nedbørmengder). Her kan de foregående nedbørmengdene ha vært avgjørende for at et skred ikke ble utløst. Flere forfattere hevder at nedbør kun er en medvirkende årsak til skred og en dalside vil flere ganger opp gjennom historien oppleve flere ekstreme nedbørhendelser som ikke vil føre til skred. Andre faktorer må derfor bidra til en reduksjon i skråningens stabilitet og til utløsningen (Terzaghi (1950) hentet fra Jackson (1966), og Jackson (1966)). Dette kan for eksempel være menneskelige inngrep i skråningssystemet (Sandersen, 1988). I Arnegårdslia har skogsbilveien vært den kritiske stabilitetsreducerende faktoren. En kombinasjon av menneskelige inngrep, sårbart terreng og tilstrekkelige nedbør har derfor vært bestemmende for utløsningen, men nedbørmengdene var nok den avgjørende faktoren for utløsningen.

### **6.3.2 Gjentakintervall**

I Nesbyen har det ikke blitt benyttet stratigrafiske undersøkelser til å vurdere gjentakintervallet på tidligere skredhendelser, og bruken av vegetasjonen som indikator på gjentakintervall er også meget usikkert. Siden nedbør var en medvirkende årsak til skredene i 2007 og 2011 har det blitt sett på gjentakintervallet på ulike utløsende nedbørmengder for å kunne vurdere når neste skredhendelse kan inntreffe.

Det er brukt to metoder for å vurdere gjentakintervallet på nedbør; stasjonsbasert (verdier er hentet fra eKlima.met.no) og gridbasert (beregnete verdier) metode. I følge Alfnes (2007) er

den gridbaserte metoden mer pålitelig. Dette følger av at ekstremene er basert på observasjoner av nedbør med aktuell varighet. Det er også tatt hensyn til at nedbørmengdene varierer med forskjeller i topografien. Dessuten baserer de gridbaserte beregningene seg på en mye lenger tidsserie enn den stasjonsbaserte. De stasjonsbaserte verdiene, se Tabell 5-7 og Tabell 5-9, er kun oppgitt for hver enkelt stasjon og ikke som en sammensatt serie av alle observasjonene fra målestasjonene. Gridbaserte beregninger av gjentaksintervall er derfor bedre tilpasset det aktuelle nedbørfeltet (Alfnes, 2007, Dyrddal, 2012). Det er derfor valgt å benytte de gridbaserte beregningene så langt det lar seg gjøre til vurderingen av gjentaksintervallet for nedbørmengder. Disse må kun sammenlignes med data fra nedbørfeltet, her er det valgt å benytte interpolerte døgngnedbørverdier hentet fra et punkt i feltet. Kritiske nedbørmengder beregnet etter Sandersen et al. (1996) må sammenlignes med gjentaksintervall hentet fra eKlima siden alle disse er basert på informasjon fra stasjonene.

Nedbørhendelsen i 2007 som var avgjørende for utløsningen tilsvarer et gjentaksintervall på 100 år (Figur 5-26). I 2011 kan man ikke sammenligne utløsende nedbørmengde med et gjentaksintervall fordi verken eKlima (når det gjelder gjentaksintervall) eller senorge.no (se Tabell 5-9 for nedbørmengder) har oppløsning på 12 timer. Interpolasjonen fra nedbørfeltet gir en nedbørmengde på 55,7 mm i løpet av 24 timer. Dette er i følge metoden til Sandersen et al. (1996) også tilstrekkelig til å utløse skred og tilsvarer et gjentaksintervall på omtrent 25 år (Figur 5-28). Gjentaksintervallene for kritisk nedbørmengde fra målestasjonen i løpet av ett døgn ligger på rundt 9 år for 2007 (Tabell 5-7), noe som viser at det er store variasjoner i hvilke gjentaksintervall man får for utløsende nedbørmengder. Det er derfor store forskjeller for når man kan forvente nedbørutløsende forhold. Nedbørfeltet i Arnegårdslia kan oppleve kritiske nedbørmengder langt oftere enn det målestasjonene gjør, men kritiske nedbørmengder vil antakelig være høyere i dalsiden siden denne normalt opplever større nedbørmengder. Ut fra gjentaksintervallet på utløsende nedbørmengder er det derfor vanskelig å kunne spesifisere når neste skred vil inntreffe. Flere forfattere ((Swanston (1969), Tempel og Rapp (1972), Sidle og Swanston (1982) hentet fra Sandersen (1988)) har funnet at skredutløsende nedbørmengder har et gjentaksintervall som er lavere enn det som er funnet her, rundt 2-10 år. Man kan derfor ikke alene bruke gjentaksintervallet på nedbøren til å forutsi når neste skred kommer, men det gir en god indikasjon på at kritiske nedbørmengder kan oppnås med jevne mellomrom.

Det er store forskjeller i hvor mange skred disse to nedbørhendelsene utløste. Hendelsen i 2007 har et høyt gjentaksintervall og utløste mange skred samtidig, mens nedbørhendelsen i 2011 kun utløste ett skred. Nedbør med et høyt gjentaksintervall ser derfor ut til å utløse flere skred enn nedbør med kortere gjentaksintervall. Aleotti (2004) har også funnet denne sammenhengen hvor nedbør med et høyt gjentaksintervall, rundt 50 år, er tilstrekkelig til å utløse mange skred, mens nedbør med 10 års gjentaksintervall kun utløser få skred. Denne sammenhengen kan antakelig også være avhengig av sedimentenes metningsgrad før nedbørhendelsen, og liten metningsgrad vil trolig føre til utløsningen av færre skred.

## 7 Konklusjon

Gjennom observasjoner og modellering har det blitt vist at Arnegårdslia er en meget skredutsatt dalside. De mange ravinene, skredavsetningene, den sedimentære sammensetningen (finstoffinnhold og lagdeling) og det korte gjentaksintervallet på utløsende nedbørmengder bekrefter dette. Høyst sannsynlig vil kommende skred gå i de eksisterende ravinene og man vil få en reaktivering av viftene langs dalbunnen. Arnegårdslia blir derfor vurdert som meget skredutsatt, noe som ble bekreftet av de ødeleggende hendelsene i 2007 og 2011, og nå senest med skredhendelsen i mai 2013.

Studiene har vist at både menneskelig aktivitet og nedbør var avgjørende for utløsningen av skredene i 2007 og 2011. Oppfylling av grøfter med rasmateriale fra for bratte veiskjæringer, bruken av lite erosjonsbestandig materiale i veibanen og for små stikkrenner har ført til en reduksjon av stabiliteten i dalsiden. Samtidig har det blitt vist at nedbørmengdene som kom i 2007 og 2011 var tilstrekkelig til å utløse skred etter beregnede terskelverdier. Begge disse faktorene har derfor vært en medvirkende årsak til skredene, hvor den avgjørende faktoren for utløsningen var nedbørmengdene.

Gjentaksintervallet for nedbør med skredutløsende potensial ligger i Nesbyen på 9-100 år og det er derfor vanskelig å anslå når neste skredhendelse kommer til å inntreffe. Det er trolig at nedbørmengder som tilsvarer et høyt gjentaksintervall vil utløse flere skred samtidig, noe som ble observert i 2007, mens nedbørmengder med et kort gjentaksintervall tilsvarende de i juni 2011 kun vil utløse enkeltskred.

Skredene i Arnegårdslia henger sammen med skogsbilveien i dalsiden og konkrete anbefalinger for å redusere skredfaren går derfor hovedsakelig ut på forbedringer av skogsbilveien. For det første må grøftene forbedres, enten gjennom forsterkning med mer erosjonsbestandig materiale og/eller jevnlig vedlikehold. I den sammenheng burde også vinkelen på de bratte veiskjæringer reduseres slik at materialet ligger i en mer stabil vinkel. Erosjonsbeskyttende tiltak på veiskjæringer kan også være aktuelt. Til slutt vil utbygging av underdimensjonerte stikkrenner bidra til å bedre stabiliteten i Arnegårdslia.

# Litteraturliste

- Aleotti, P. 2004. A warning system for rainfall-induced shallow failures. *Engineering Geology* 73, 247-265.
- Alfnes, E. 2007. *Ekstremnedbør beregnet fra serier med gridbasert arealnedbør*. Oslo. Meteorologisk institutt. met.no rapport, 1. 20 s.
- Atlas.nve.no. *NVE Atlas - databasen inneholder temadata om nedbørfelt, innsjøer, elver, årsavrenning, flomsoner, sikringstiltak langs vassdrag, utbygd vannkraftverk, hydrologiske målestasjoner m.m.* NVE, Besøkt 2013. Tilgjengelig fra <http://atlas.nve.no/ge/Viewer.aspx?Site=NVEAtlas>.
- Berg, A., Lunde, T. og Mosevoll, G. 1992. *Flomberegning og kulvertdimensjonering*. STF60 A92101, Trondheim: SINTEF, NHL. 89 s.
- Breien, H., Høydal, Ø.A. og Sandersen, F. 2013. *Skog og skred - Forslag til kriterier for vernskog mot skred - DEL 1*. Norges Geotekniske Institutt. NGI Rapport. 48 s.
- Caine, N. 1980. The rainfall intensity: duration control of shallow landslides and debris flows. *Geografiska Annaler - Series A - Physical Geography* 62, 23-27.
- Campbell, R.H. 1975. *Soil slips, debris flows, and rainstorms in the Santa Monica Mountains and vicinity, southern California*. Washington. U.S. Geological Survey professional paper 851. 58 s.
- Cepeda, J. 2009. *Characterisation and risk management of rainfall-induced landslides*. Avhandling (ph.d.), Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet, Universitetet i Oslo.
- Costa, J.E. 1984. Physical geomorphology of debris flows. *Developments and applications of geomorphology*: Springer, 268-317.
- Craig, R.F. 2004. *Craig's soil mechanics*, London: Spon Press. 447 s. 1-29, 71-135.
- De Blasio, F.V. 2011. *Introduction to the physics of landslides : lecture notes on the dynamics of mass wasting*, Dordrecht: Springer Science Business Media B.V. 408 s. 1-159.
- Devoli, G., Kleivane, I., Colleuille, H., Haugen, L., E., Alve Glad, P. og Beldring, S. 2012. An early warning system for forecasting the occurrence of debris flows and shallow slides in Norway at a regional level. *Poster: 2nd Conference on Modeling Hydrology, Climate and Land Surface Processes*
- Dingman, S.L. 2002. *Physical hydrology*, Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall. 646 s. 427-428.
- Dutton, A.L., Loague, K. og Wemple, B.C. 2005. Simulated effect of a forest road on near-surface hydrologic response and slope stability. *Earth Surface Processes and Landforms* 30, 325-338.
- Dyrddal, A.V. 2012. *Estimation of extreme precipitation in Norway and a summary of the state-of-the-art*. Meteorologisk institutt. met.no rapport, 8. 19 s.
- eKlima.no. *eKlima - Gratis tilgang til Meteorologisk institutts vær- og klimadata fra historiske data til sanntidsobservasjoner*. Meteorologisk Institutt, Besøkt 2013. Tilgjengelig fra [http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?\\_pageid=73,39035,73\\_39049&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?_pageid=73,39035,73_39049&_dad=portal&_schema=PORTAL).

- Fergus, T., Høydal, Ø.A., Johnsrud, T.E., Sandersen, F. og Schanche, S. 2011. *Skogsveger og skredfare - veiledere*, Oslo: Landbruks- og matdepartementet. 37 s.
- Furseth, A. 2006. *Skredulykker i Norge*, Oslo: Tun Forlag AS. 207 s. 65-66.
- Førland, E.J. 1984. *Påregnelige ekstreme nedbørverdier*. Oslo. Meteorologisk institutt. DNMI rapport, 3. 32 s.
- Førland, E.J. 1992. *Manual for beregning av påregnelige ekstreme nedbørverdier*. Oslo. Meteorologisk institutt. DNMI rapport, 21. 40 s.
- Førland, E.J., Alfnes, E., Amundsen, H., Pytte Asvall, R., Benestad, R., Debernard, J., Engen-Skaugen, T., Hanssen-Bauer, I., Harstveit, K., Haugen, J.E., Hovelsrud, G.K., Isaksen, K., Jaedicke, C., Kronholm, K., Kvambekk, Å.S., LaCasce, J., Roald, L.A., Sletten, K. og Stalsberg, K. 2007a. *Climate change and natural disasters in Norway - an assessment of possible future changes*. Meteorologisk institutt. met.no rapport, 6. 120 s.
- Førland, E.J., Amundsen, H. og Hovelsrud, G.K. 2007b. *Utviklingen av naturulykker som følge av klimaendringer: utredning på oppdrag fra Statens Landbruksforvaltning*. Oslo. CICERO. CICERO rapport. 71 s.
- Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M. og Stark, C.P. 2007. Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe. *Meteorology and Atmospheric Physics* 98, 239-267.
- Horton, P., Jaboyedoff, M. og Bardou, E. 2008. Debris flow susceptibility mapping at a regional scale. *4th Canadian Conference on Geohazards*, 399-406.
- Horton, R.E. 1938. Phenomena of the contact zone between the ground surface and a layer of melting snow. *Association Internationale d'Hydrologie Scientifique, Paris*, 545-561.
- Hyndman, D.W. og Hyndman, D.W. 2006. *Natural hazards and disasters*, Belmont, California: Brooks/Cole. 490 s. 188-223.
- Imaizumi, F., Sidle, R.C. og Kamei, R. 2008. Effects of forest harvesting on the occurrence of landslides and debris flows in steep terrain of central Japan. *Earth Surface Processes and Landforms* 33, 827-840.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. The contribution of working group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Redigert av Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., Miller, H. L., Cambridge: Cambridge University Press. 996 s.
- Iversen, T., Benestad, R., Haugen, J.E., Kirkevåg, A., Sorteberg, A., Debernard, J., Grønås, S., Martinsen, E.A. og Engen-Skaugen, T. 2005. *RegClim: Norges klima om 100 år - usikkerheter og risiko*, Oslo: RegClim. 10 s.
- Iversen, T., Grønås, S. og Martinsen, E.A. 2002. *RegClim : mer variabelt vær om 50 år - mer viten om usikkerheter*, Kjeller: RegClim. 8 s.
- Jackson, R. 1966. Slips in relation to rainfall and soil characteristics. *Journal of Hydrology* 5, 45-53.
- Jaedicke, C., Solheim, A., Blikra, L., Stalsberg, K., Sorteberg, A., Aaheim, A., Kronholm, K., Vikhamar-Schuler, D., Isaksen, K. og Sletten, K. 2008. Spatial and temporal

- variations of Norwegian geohazards in a changing climate, the GeoExtreme Project. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 8, 893-904.
- Jones, J., A og Grant, G.E. 1996. Peak flow responses to clear cutting and roads in small and large basins, Western Cascades, Oregon. *Water Resources Research* 32, 959-974.
- Jordan, P. 2001. Regional incidence of landslides. *Watershed assessment in the southern interior of British Columbia* 57, 237-247.
- Kleivane, I., Colleuille, H., Haugen, L., Alve Glad, P. og Devoli, G. 2012. Debris flow early warning systems in Norway: organization and tools. *EGU General Assembly Geophysical Research Abstracts vol 14, EGU 2012*, 4103.
- Kronholm, K. og Stalsberg, K. 2009. Klimaendringer gir endringer i skredhyppigheten. *KLIMA* 3, 34-36.
- Landbruksdepartementet. 2002. *Normaler for Landbruksveger med Byggebeskrivelse*. 76 s.
- Lund, M.R., Bargel, T.H., Fischer, L. og Rubensdotter, L. 2013. Active debris flows in Nes, Hallingdalen, Southern Norway; detailed field mapping and susceptibility modelling revealing past and present activity. Foredrag presentert ved *Norsk Geologisk Forenings Vinterkonferanse*, Oslo.
- Lundahl, A.O. 2013. *21 evakuert i Nes*. Hallingdølen 2013 [nedlastet 23.05 2013]. Tilgjengelig fra <http://hallingdolen.no/article/20130523/ARTIKKLER/130529940/1001>.
- Mamen, J. 2008. Dypdykk i klimadatabasen - Rekorder og kuriositeter fra Meteorologisk institutts klimaarkiv. *Naturen* 6, 250-266.
- Mathewson, C.C., Keaton, J. og Santi, P. 1990. Role of bedrock ground water in the initiation of debris flows and sustained post-flow stream discharge. *Bulletin of Association of Engineering Geologists* 27, 73-83.
- Moen, A., Odland, A. og Lillethun, A. 1998. *Nasjonalatlas for Norge: Vegetasjon*, Hønefoss: Statens Kartverk. 199 s.
- Nerland, Ø. 2007a. *Skredbefaring, Nes i Hallingdal - Jordskred ved Alfarvegen*. Norges Geotekniske Institutt. 8 s.
- Nerland, Ø. 2007b. *Skredbefaring, Nes i Hallingdal - Jordskred ved Smedsgården Pensjonat*. Norges Geotekniske Institutt. 9 s.
- Nes Kommune. 2013. *Landbruksplan for Nes kommune 2005-2014*. Nes kommune 2005 [nedlastet 02.03 2013]. Tilgjengelig fra <http://www.nes-bu.kommune.no/nesfiles/Landbruk/Landbruksplan%20for%20Nes%20kommune%202005-2014.pdf?epslanguage=nb-NO>.
- ngi.no. 2013. *Tre typer steinskred* 2013 [nedlastet 11.04 2013]. Tilgjengelig fra <http://www.ngi.no/no/Utvalgte-tema/Skred-og-skredfare/Skredkategorier/Tre-typer-steinskred/>.
- ngu.no. 2013. *Løsmasser og berggrunnskart*. Norges geologiske undersøkelse 2013 [nedlastet 16.05 2013]. Tilgjengelig fra <http://www.ngu.no/no/hm/Kart-og-data/>.
- Nordgulen, Ø., Riiber, K. og Bargel, T.H. 1997. *Nes kommune. Geologisk kart M 1:100 000 med beskrivelse*. Norges geologiske undersøkelse.
- Norem, H. og Sandersen, F. 2012. *Flom- og sørpeskred - høringsutgave av veileder*. Statens vegvesen. Statens vegvesens rapporter, 73. 102 s.



- Norris, J.E., Stokes, A., Mickovski, S.B., Cammeraat, E., van Beek, R., Nicoll, B.C. og Achim, A. 2008. *Slope stability and erosion control - ecotechnological solutions*: Springer. 287 s.
- NVE. 2011a. *Plan for skredfarekartlegging - Delrapport jordskred og flomskred*. Norges vassdrags- og energidirektorat, 16. 62 s.
- NVE. 2011b. *Plan for skredfarekartlegging - Delrapport steinsprang, steinskred og fjellskred*. Norges vassdrags- og energidirektorat, 15. 120 s.
- NVE. 2011c. *Plan for skredfarekartlegging - Status og prioriteringer innen oversiktskartlegging og detaljert skredfarekartlegging i NVEs regi*. Norges vassdrags- og energidirektorat, 14. 92 s.
- NVE. 2013. Forebygging av skredfare i Norge - jordskred og flomskred. *Faktaark*, 4.
- Pierson, T., C. 2005. Distinguishing between Debris Flows and Floods from Field Evidence in Small Watersheds. *US Geological Survey Fact Sheet 2004-3142*, 4.
- Ramberg, I.B., Bryhni, I. og Nøttvedt, A. 2007. *Landet blir til : Norges geologi*, Trondheim: Norsk geologisk forening. 608 s. 478-549.
- Rickenmann, D. og Zimmermann, M. 1993. The 1987 debris flows in Switzerland: documentation and analysis. *Geomorphology* 8, 175-189.
- Sandersen, F. 1988. *Faktorer som har betydning for utløsning og rekkevidde av flomskred og mulige sikringsmetoder*. Oslo. Norges Geotekniske Institutt. NGI rapport, 58300-8. 50 s.
- Sandersen, F., Bakkehøy, S., Hestnes, E. og Lied, K. 1996. The influence of meteorological factors on the initiation of debris flows, rockfalls, rockslides and rockmass stability. *Landslides*, 97-114.
- senorge.no. *seNorge - Tilgang til data om vær, vann, snø og klima*. NVE, Meteorologisk Institutt, Kartverket, Besøkt 2013. Tilgjengelig fra <http://www.senorge.no/?p=senorgeny&st=weather>.
- Sidle, R.C. og Ochiai, H. 2006. *Landslides: processes, prediction, and land use*. 18: American Geophysical Union. 317 s. 49-110, 145-150.
- Skredatlas.nve.no. *Skredatlas - database for skredhendelser, aktsomhetskart og andre skredrelaterte temaer*. NVE, Besøkt 2013. Tilgjengelig fra <http://skredatlas.nve.no/ge/Viewer.aspx?Site=Skredatlas>.
- Skúli, Þ., Myrabø, S., Myhre, Ø. og Flesjø, K. 2011. *Risiko- og sårbarhetsanalyser av stikkrenner mht værrelaterte hendelser*. Oslo. Statens vegvesen, Vegdirektoratet. VD rapport, 24. 22 s.
- snl.no. 2013. *Bonitering - Skogbruk 2009a* [nedlastet 24.05 2013]. Tilgjengelig fra <http://snl.no/bonitering/skogbruk>.
- snl.no. 2013. *Omløpstid - Skogbruk*. Store norske leksikon 2009b [nedlastet 03.05 2013]. Tilgjengelig fra <http://snl.no/oml%C3%B8pstid./skogbruk>.
- Solheim, A. 2011. *Nesbyen, Nes kommune - akuttbefaring 11. juni 2011*. Norges Geotekniske Institutt. 9 s.
- St. Meld. 15. 2012. *Hvordan leve med farene - om flom og skred*, Oslo: Det Kongelige Olje- og Energidepartement. 73 s.

- Statens Vegvesen. 2011. *Vegbygging (normaler)*. Oslo. Vegdirektoratet. Statens vegvesens håndbokserie, 018. 522, 106-143 s.
- Swanson, F. og Dyrness, C. 1975. Impact of clear-cutting and road construction on soil erosion by landslides in the western Cascade Range, Oregon. *Geology* 3, 393-396.
- Takahashi, T. 1981. Estimation of potential debris flows and their hazardous zones: soft countermeasures for a disaster. *Natural disaster science* 3, 57-89.
- Takahashi, T. 2007. *Debris flow, mechanics, prediction and countermeasures*, London: Taylor & Francis. 448 s. 1-157.
- Temple, P.H. og Rapp, A. 1972. Landslides in the Mgeta area, western Uluguru mountains, Tanzania. *Geografiska Annaler - Series A - Physical Geography*, 157-193.
- Utaaker, K. 1991. *Mikro- og lokalmeteorologi - det atmosfæriske miljø på liten skala*, Bergen: Alma Mater. 242 s.
- Varnes, D.J. 1958. *Landslide types and processes*. Highway Research Board Special Report, 29. 20-47 s.
- Varnes, D.J. 1978. *Slope movement types and processes*. Washington. Landslide Analysis and Control - National Academy of Sciences, Transportation Research Board Special Report, 176. 11-33 s.
- Vernieuwe, H., Georgieva, O., De Baets, B., Pauwels, V., Verhoest, N.E. og De Troch, F.P. 2005. Comparison of data-driven Takagi–Sugeno models of rainfall–discharge dynamics. *Journal of Hydrology* 302, 173-186.
- Wang, G. og Sassa, K. 2003. Pore-pressure generation and movement of rainfall-induced landslides: effects of grain size and fine-particle content. *Engineering geology* 69, 109-125.
- Wieczorek, G.F. 1987. Effect of rainfall intensity and duration on debris flows in central Santa Cruz Mountains, California. *Reviews in Engineering Geology* 7, 93-104.
- Wieczorek, G.F. 1996. Landslide triggering mechanisms. *Landslides Investigation and Mitigation - Special Report: Transportation Research Board - National Research Council, Special Report 247*, 76-90.
- Wieczorek, G.F. og Glade, T. 2005. Climatic factors influencing occurrence of debris flows. *Debris-flow hazards and related phenomena*, 325-362.
- Wilkerson, F.D. og Schmid, G.L. 2003. Debris flows in Glacier National Park, Montana: geomorphology and hazards. *Geomorphology* 55, 317-328.
- xgeo.no. *xgeo - et føre var verktrøy for varsling og beredskap*. NVE, Statens Vegvesen, Jernbaneverket, Meteorologisk Intstitutt, Kartverket,, Besøkt 2013. Tilgjengelig fra <http://www.xgeo.no/>.

# Vedlegg A – Stikkrenner

## A.1 Oversikt over stikkrennene

Stikkrenne nr	Størrelse (cm)	Materiale	UTM	Areal nedbørfelt (ha)	Terrengtype
425	30	Plast	32 V 503342 6718407	0,4	Skog
429	30	Plast	32 V 503475 6718219	0,003	Skog
443	30	Plast	32 V 503770 6717960	15,3	Skog
449	30	Plast	32 V 503961 6717708	0,005	Skog
369	40	Plast	32 V 503192 6717590	0,003	Skog
373	40	Plast	32 V 503371 6717353	76,5	Skog
424	40	Plast	32 V 503313 6718463	4,8	Skog
440	40	Plast	32 V 503613 6718201	0,1	Skog
456	40	Plast	32 V 504197 6717520	3,4	Skog
40	40	Plast	32V 503303 6718450	3,4	Skog
355	40	Betong 1	32 V 502985 6717589	0,02	Skog
418	40	Betong 1	32 V 503208 6718489	0,04	Skog
426	40	Betong 1	32 V 503349 6718346	5,8	Skog
433	40	Betong 2	32 V 503589 6718170	4,0	Skog
434	40	Betong 1	32 V 503574 6718207	0,02	Skog
435	40	Betong 2	32 V 503569 6718233	0,01	Skog
438	40	Betong 1	32 V 503584 6718267	0,4	Skog
439	40	Betong 1	32 V 503594 6718249	0,01	Skog
441	40	Betong 2	32 V 503653 6718175	0,1	Skog
446	40	Betong 1	32 V 503905 6717822	0,003	Skog
450	40	Betong 1	32 V 503985 6717660	2,8	Skog
453	40	Betong 1	32 V 504073 6717533	0,01	Skog
457	40	Betong 1	32 V 504251 6717449	33,8	Skog
458	40	Betong 2	32 V 504286 6717384	0,03	Skog
459	40	Betong 1	32 V 504304 6717357	1,5	Skog
236	40	Betong 2	32 V 504005 6717068	8,0	Skog
237	40	Betong 2	32V 504011 6716822	23,2	Skog
242	40	Betong 2	32V 504007 6716344	0,003	Skog
286	40	Betong 1?	32 V 503802 6717390	0,01	Skog
41	40	Betong 1	32V 503706 6717501	0,003	Skog
360	30	Betong	32 V 503005 6717698	0,1	Skog
432	30-40	Betong	32 V 503614 6718109	0,04	Skog
228	30	Betong	32V 503953 6717659	2,6	Skog
233	30	Betong	32V 503985 6717182	35,2	Skog
241	30	Betong	32V 504001 6716406	0,02	Skog
243	30	Betong	32 V 504004 6716307	0,02	Skog
261	30	?	32 V 503462 6717104	0,1	Skog
282	30	Betong	32 V 503884 6717266	0,6	Skog
284	30	Betong	32 V 503841 6717332	0,02	Skog
289	30	Betong	32 V 503725 6717472	0,01	Skog
296	30	Betong	32 V 503559 6717721	0,4	Skog
297	30	Betong	32 V 503544 6717734	10,1	Skog
302	30	Betong	32 V 503324 6717929	58,8	Skog
258	30	Betong	32 V 503396 6717299	0,1	Skog
231	20	Betong	32V 503968 6717307	2,6	Skog
232	25	Betong	32V 503980 6717205	0,003	Skog
235	25	Betong	32V 503993 6717121	0,01	Skog
402	60	Plast	32 V 503138 6718284	3,3	Skog
407	60	?	32 V 503090 6718478	7,2	Skog
430	60	Betong	32 V 503496 6718198	6,5	Skog
431	60	Betong	32 V 503555 6718133	0,4	Skog
445	60	Betong	32 V 503841 6717874	14,2	Skog
451	60	Betong	32 V 504057 6717569	0,01	Skog
372	60	?	32 V 503371 6717346	0,01	Skog
229	50	Betong	32V 503948 6717547	14,1	Skog
257	60	Betong	32 V 503367 6717343	76,5	Skog

356	80	Plast	32 V 502998 6717623	0,003	Skog
367	80	Plast	32 V 503090 6717695	0,01	Skog
378	80	?	32 V 503340 6717550	0,002	Skog
379	80	?	32 V 503329 6717585	0,1	Skog
382	80	?	32 V 503311 6717649	0,02	Skog
383	80	?	32 V 503303 6717685	1,3	Skog
387	80	?	32 V 503265 6717770	1,0	Skog
391	80	?	32 V 503263 6717838	2,3	Skog
397	80	?	32 V 503250 6718051	0,05	Skog
399	80	?	32 V 503185 6718152	23,2	Skog
400	80	?	32 V 503159 6718239	0,002	Skog
406	80	Plast	32 V 503081 6718441	0,01	Skog
447	80	?	32 V 503905 6717821	1,9	Skog
448	80	?	32 V 503928 6717751	9,1	Skog
299	80	Plast	32 V 503455 6717795	7,1	Skog
452	100	Betong	32 V 504057 6717552	91,1	Skog
455	90-100	Betong	32 V 504157 6717590	7,4	Skog
428	100	Betong	32 V 503440 6718253	26,8	Skog
442	100	?	32 V 503722 6718053	64,3	Skog
386	90-100	?	32 V 503263 6717766	0,7	Skog
288	90	Betong	32 V 503741 6717467	0,1	Skog
301	90	Betong	32 V 503372 6717848	13,0	Skog

## A.2 Avrenningsberegninger.

C er avrenningsfaktoren, Lengden er distansen fra øverst i nedbørfeltet til stikkrennen,  $\Delta H$  er høydeforskjellen i feltet,  $A_{se}$  er innsjøandelen i feltet,  $t_c$  er konsentrasjonstiden og Q er avrenning i l/s.

Stikkrenne nr	C faktor < 10 år	C faktor 25 år	C faktor 50 år	C faktor 100 år	C faktor 200 år
425	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
429	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
443	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
449	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
369	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
373	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
424	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
440	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
456	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
40	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
355	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
418	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
426	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
433	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
434	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
435	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
438	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
439	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
441	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
446	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
450	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
453	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
457	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
458	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
459	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
236	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
237	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
242	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
286	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
41	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
360	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
432	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5

228	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
233	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
241	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
243	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
261	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
282	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
284	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
289	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
296	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
297	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
302	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
258	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
231	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
232	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
235	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
402	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
407	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
430	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
431	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
445	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
451	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
372	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
229	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
257	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
356	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
367	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
378	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
379	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
382	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
383	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
387	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
391	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
397	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
399	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
400	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
406	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
447	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
448	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
299	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
452	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
455	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
428	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
442	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
386	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
288	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5
301	0,4	0,44	0,48	0,5	0,5

Stikkrenne nr	Lengde (m)	$\Delta H$ (m)	$A_{se}$ andel	$t_c$ redusert (min)	Q (l/s) 2 år	Q (l/s) 5 år
425	164,4	72	-	11,6	11,9	14,4
429	11,2	4,5	-	3,2	0,2	0,2
443	1508,3	494,5	-	40,7	208,7	257,8
449	16,9	8,5	-	3,5	0,3	0,3
369	11,1	3	-	3,9	0,2	0,2
373	1961,1	361	-	61,9	764,5	948,0
424	758,6	421	-	22,2	96,9	114,4
440	57,0	20	-	7,6	2,5	3,1
456	814,2	339,5	-	26,5	57,7	72,5
40	740,8	269	-	27,1	57,3	72,3
355	76,7	19	-	10,6	0,7	0,8
418	43,1	17	-	6,3	1,5	1,8
426	956,6	502	-	25,6	108,8	106,5
433	723,7	288,5	-	25,6	75,0	73,4
434	49,3	20,5	-	6,5	0,9	1,1
435	24,1	9	-	4,8	0,4	0,5

438	207,9	75	-	14,4	10,5	12,5
439	19,8	5	-	5,3	0,3	0,4
441	72,3	29	-	8,1	4,6	5,5
446	11,5	2,5	-	4,3	0,2	0,2
450	639,7	291	-	22,5	55,5	65,6
453	19,3	8	-	4,1	0,3	0,4
457	2334,0	649	-	55,0	378,1	486,1
458	44,4	15	-	6,9	1,2	1,5
459	515,2	187	-	22,6	29,9	36,0
236	1207,9	385	-	36,9	121,9	144,3
237	1412,5	395	-	42,6	297,2	371,5
242	11,1	4	-	3,3	0,2	0,2
286	21,8	10	-	4,1	0,3	0,5
41	6,9	3	-	2,4	0,1	0,2
360	56,2	13	-	9,3	2,0	4,5
432	47,1	13	-	7,8	1,3	1,4
228	608,9	274	-	22,1	52,4	120,6
233	2278,4	532	0,00693	80,1	309,8	830,7
241	65,7	131	-	3,4	1,1	1,4
243	60,4	28	-	6,9	0,7	0,9
261	103,9	26	-	12,2	3,2	4,2
282	260,9	140	-	13,2	16,4	16,9
284	62,5	25	-	7,5	0,8	1,0
289	14,6	5	-	3,9	0,3	0,3
296	210,9	98	-	12,8	10,9	12,9
297	1104,6	339	-	36,0	148,8	181,0
302	2012,5	466	-	55,9	635,4	847,1
258	82,5	25	-	9,9	2,9	3,5
231	462,3	221	-	18,7	59,3	68,8
232	12,1	5	-	3,2	0,2	0,2
235	20,1	6	-	4,9	0,3	0,4
402	715,2	395	-	21,6	66,4	78,1
407	721,1	432	-	20,8	149,4	181,0
430	993,9	372	-	30,9	103,7	127,0
431	188,9	69	-	13,6	11,1	11,5
445	1425,9	470	-	39,5	204,3	244,0
451	27,1	10	-	5,1	0,3	0,5
372	31,9	10	-	6,0	0,5	0,6
229	1734,3	498	-	46,6	163,2	208,3
257	1961,5	360	-	62,0	764,8	948,3
356	12,7	4	-	3,8	0,2	0,2
367	18,6	9	-	3,7	0,3	0,4
378	5,5	6,5	-	1,3	0,1	0,2
379	320,6	97,5	-	19,5	2,4	2,9
382	44,1	22	-	5,6	0,7	0,8
383	599,9	180	-	26,8	23,2	30,2
387	899,6	260	-	33,5	14,8	18,3
391	528,2	187	-	23,2	43,8	52,0
397	61,3	30	-	6,7	2,0	2,4
399	1343,8	425	-	39,1	334,5	390,3
400	5,4	1	-	3,2	0,1	0,1
406	36,6	15	-	5,7	0,5	0,6
447	518,5	207	-	21,6	39,3	46,2
448	1069,8	386	-	32,7	142,3	171,4
299	979,5	317	-	33,0	108,4	134,1
452	2625,4	668	-	60,9	947,1	1165,7
455	1208,6	438	-	34,7	110,2	128,1
428	1609,1	545	-	41,4	364,5	428,8
442	2385,5	615	-	57,7	694,4	848,7
386	318,5	125	-	17,1	16,1	18,7
288	80,9	40	-	7,7	3,7	4,6
301	1030,5	320	-	34,6	193,1	224,4

Stikkrenne nr	Q(l/s) 10 år	Q (l/s) 20 år	Q (l/s) 25 år	Q (l/s) 50 år	Q (l/s) 100 år	Q (l/s) 200 år
425	16,2	17,4	20,0	22,8	26,5	27,3
429	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5
443	288,4	319,1	371,3	434,5	491,0	529,3
449	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7
369	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5
373	1100,9	1223,2	1345,6	1614,7	1873,1	2026,0
424	128,0	137,6	159,9	186,1	210,8	225,4
440	3,4	3,7	4,1	5,1	5,6	6,3
456	83,2	89,9	100,4	120,8	132,5	142,6
40	81,8	88,6	99,0	121,1	131,2	138,1
355	0,9	1,0	1,2	1,4	1,5	1,6
418	2,2	2,2	2,5	3,2	3,5	3,9
426	145,8	159,7	178,2	236,0	234,3	248,8
433	100,6	110,2	122,9	162,8	161,6	171,6
434	1,3	1,3	1,4	1,9	2,0	2,3
435	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9
438	13,7	14,9	16,7	19,8	22,1	23,2
439	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8
441	6,0	6,9	8,1	9,5	10,4	10,6
446	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4
450	74,7	79,2	94,6	108,6	124,5	131,6
453	0,5	0,5	0,6	0,5	0,8	0,9
457	526,6	594,1	683,2	793,9	962,0	945,2
458	1,8	1,9	2,0	2,5	2,8	2,9
459	40,3	42,8	50,4	58,6	66,4	71,0
236	166,8	182,8	204,7	250,2	316,8	296,7
237	436,6	473,7	541,5	646,5	743,1	789,5
242	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5
286	0,5	0,5	0,6	0,5	0,8	0,9
41	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4
360	2,7	3,0	3,3	3,9	4,4	4,7
432	1,7	1,9	2,2	2,7	3,2	3,3
228	69,2	78,7	86,5	101,9	114,1	121,9
233	436,5	492,8	542,1	659,0	721,6	809,6
241	1,6	1,7	2,1	2,4	2,8	3,0
243	1,1	1,1	1,3	1,5	1,6	1,7
261	4,4	4,9	5,9	6,7	7,6	7,3
282	21,5	23,2	25,5	31,9	35,0	34,4
284	1,0	1,2	1,4	1,6	1,9	2,0
289	0,6	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7
296	15,1	15,8	17,7	22,2	24,5	25,1
297	213,2	229,2	256,6	313,7	346,9	372,0
302	917,7	1035,4	1164,8	1355,4	1529,6	1706,0
258	3,9	4,2	4,8	5,6	6,3	6,7
231	76,2	80,5	93,2	109,3	123,1	131,0
232	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5
235	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8
402	87,2	96,4	108,9	128,1	143,2	153,0
407	198,2	218,3	246,5	289,6	326,8	344,8
430	142,5	158,1	179,6	211,5	239,7	255,9
431	14,4	15,5	17,3	21,8	23,7	23,5
445	261,0	306,4	343,3	415,3	468,1	489,4
451	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
372	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,2
229	242,1	270,2	309,6	364,8	422,2	450,3
257	1070,7	1223,6	1379,6	1651,9	1835,4	2026,6
356	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5
367	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8
378	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
379	3,2	3,5	3,9	4,6	5,2	5,5
382	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,7
383	33,5	34,5	41,0	46,6	54,6	57,3
387	20,6	22,9	25,6	30,8	34,5	36,9
391	61,1	71,1	75,2	87,6	99,2	106,0
397	2,9	3,1	3,5	4,1	4,4	5,1

399	427,4	492,5	562,2	669,0	766,6	801,4
400	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
406	0,7	0,8	0,9	1,1	1,2	1,4
447	52,4	56,2	63,6	75,8	82,8	90,5
448	197,0	215,2	240,7	297,6	323,7	351,1
299	151,2	168,3	188,3	232,8	253,2	271,1
452	1347,8	1493,5	1682,9	2010,8	2276,7	2458,8
455	157,9	166,8	190,1	225,2	249,5	283,0
428	493,2	546,8	648,6	759,1	857,7	911,3
442	1003,0	1105,9	1244,7	1512,2	1671,6	1800,2
386	21,2	22,9	25,5	30,2	33,9	36,7
288	5,0	5,5	6,1	7,6	8,4	8,9
301	276,5	292,2	332,9	394,5	437,0	495,7

### A.3 Kapasitetsberegninger

Total kapasitet er hentet fra Tabell 4-3, gjentakintervallet indikerer gjentakintervallet som stikkrennen blir dimensjonert etter. Manglende kapasitet er indikert ved negative verdier i kolonnen ledig.

GPS nr	Total Kapasitet (l/s)	Gjentaksintervall 2 år (l/s)		Gjentaksintervall 5 år (l/s)	
		Nødvendig (l/s)	Ledig (l/s)	Nødvendig (l/s)	Ledig (l/s)
425	57	11,9	45,1	14,4	42,6
429	57	0,2	56,8	0,2	56,8
443	57	208,7	-151,7	257,8	-200,8
449	57	0,3	56,7	0,3	56,7
369	117	0,2	116,8	0,2	116,8
373	117	764,5	-647,5	948,0	-831,0
424	117	96,9	20,1	114,4	2,6
440	117	2,5	114,5	3,1	113,9
456	117	57,7	59,3	72,5	44,5
40	117	57,3	59,7	72,3	44,7
355	117	0,7	116,3	0,8	116,2
418	117	1,5	115,5	1,8	115,2
426	117	108,8	8,2	106,5	10,5
433	117	75,0	42,0	73,4	43,6
434	117	0,9	116,1	1,1	115,9
435	117	0,4	116,6	0,5	116,5
438	117	10,5	106,5	12,5	104,5
439	117	0,3	116,7	0,4	116,6
441	117	4,6	112,4	5,5	111,5
446	117	0,2	116,8	0,2	116,8
450	117	55,5	61,5	65,6	51,4
453	117	0,3	116,7	0,4	116,6
457	117	378,1	-261,1	486,1	-369,1
458	117	1,2	115,8	1,5	115,5
459	117	29,9	87,1	36,0	81,0
236	117	121,9	-4,9	144,3	-27,3
237	117	297,2	-180,2	371,5	-254,5
242	117	0,2	116,8	0,2	116,8
286	117	0,3	116,7	0,5	116,5
41	117	0,1	116,9	0,2	116,8
360	57	2,0	55,0	4,5	52,5
432	57	1,3	55,7	1,4	55,6
228	57	52,4	4,6	120,6	-63,6
233	57	309,8	-252,8	830,7	-773,7
241	57	1,1	55,9	1,4	55,6
243	57	0,7	56,3	0,9	56,1
261	57	3,2	53,8	4,2	52,8



282	57	16,4	40,6	16,9	40,1
284	57	0,8	56,2	1,0	56,0
289	57	0,3	56,7	0,3	56,7
296	57	10,9	46,1	12,9	44,1
297	57	148,8	-91,8	181,0	-124,0
302	57	635,4	-578,4	847,1	-790,1
258	57	2,9	54,1	3,5	53,5
231	< 57	59,3	-2,3	68,8	-11,8
232	< 57	0,2	56,8	0,2	56,8
235	< 57	0,3	56,7	0,4	56,6
402	320	66,4	253,6	78,1	241,9
407	320	149,4	170,6	181,0	139,0
430	320	103,7	216,3	127,0	193,0
431	320	11,1	308,9	11,5	308,5
445	320	204,3	115,7	244,0	76,0
451	320	0,3	319,7	0,5	319,5
372	320	0,5	319,5	0,6	319,4
229	204	163,2	40,8	208,3	-4,3
257	320	764,8	-444,8	948,3	-628,3
356	652	0,2	651,8	0,2	651,8
367	652	0,3	651,7	0,4	651,6
378	652	0,1	651,9	0,2	651,8
379	652	2,4	649,6	2,9	649,1
382	652	0,7	651,3	0,8	651,2
383	652	23,2	628,8	30,2	621,8
387	652	14,8	637,2	18,3	633,7
391	652	43,8	608,2	52,0	600,0
397	652	2,0	650,0	2,4	649,6
399	652	334,5	317,5	390,3	261,7
400	652	0,1	651,9	0,1	651,9
406	652	0,5	651,5	0,6	651,4
447	652	39,3	612,7	46,2	605,8
448	652	142,3	509,7	171,4	480,6
299	652	108,4	543,6	134,1	517,9
452	1133	947,1	185,9	1165,7	-32,7
455	1133	110,2	1022,8	128,1	1004,9
428	1133	364,5	768,5	428,8	704,2
442	1133	694,4	438,6	848,7	284,3
386	1133	16,1	1116,9	18,7	1114,3
288	1133	3,7	1129,3	4,6	1128,4
301	1133	193,1	939,9	224,4	908,6

GPS nr	Gjentaksintervall 10 år (l/s)		Gjentaksintervall 20 år (l/s)		Gjentaksintervall 25 år (l/s)	
	Nødvendig (l/s)	Ledig (l/s)	Nødvendig (l/s)	Ledig (l/s)	Nødvendig (l/s)	Ledig (l/s)
425	16,2	40,8	17,4	39,6	20,0	37,0
429	0,3	56,7	0,3	56,7	0,3	56,7
443	288,4	-231,4	319,1	-262,1	371,3	-314,3
449	0,4	56,6	0,4	56,6	0,5	56,5
369	0,2	116,8	0,3	116,7	0,3	116,7
373	1100,9	-983,9	1223,2	-1106,2	1345,6	-1228,6
424	128,0	-11,0	137,6	-20,6	159,9	-42,9
440	3,4	113,6	3,7	113,3	4,1	112,9
456	83,2	33,8	89,9	27,1	100,4	16,6
40	81,8	35,2	88,6	28,4	99,0	18,0
355	0,9	116,1	1,0	116,0	1,2	115,8
418	2,2	114,8	2,2	114,8	2,5	114,5
426	145,8	-28,8	159,7	-42,7	178,2	-61,2
433	100,6	16,4	110,2	6,8	122,9	-5,9
434	1,3	115,7	1,3	115,7	1,4	115,6
435	0,5	116,5	0,6	116,4	0,7	116,3
438	13,7	103,3	14,9	102,1	16,7	100,3
439	0,4	116,6	0,5	116,5	0,5	116,5
441	6,0	111,0	6,9	110,1	8,1	108,9

446	0,2	116,8	0,3	116,7	0,3	116,7
450	74,7	42,3	79,2	37,8	94,6	22,4
453	0,5	116,5	0,5	116,5	0,6	116,4
457	526,6	-409,6	594,1	-477,1	683,2	-566,2
458	1,8	115,2	1,9	115,1	2,0	115,0
459	40,3	76,7	42,8	74,2	50,4	66,6
236	166,8	-49,8	182,8	-65,8	204,7	-87,7
237	436,6	-319,6	473,7	-356,7	541,5	-424,5
242	0,3	116,7	0,3	116,7	0,3	116,7
286	0,5	116,5	0,5	116,5	0,6	116,4
41	0,2	116,8	0,2	116,8	0,3	116,7
360	2,7	54,3	3,0	54,0	3,3	53,7
432	1,7	55,3	1,9	55,1	2,2	54,8
228	69,2	-12,2	78,7	-21,7	86,5	-29,5
233	436,5	-379,5	492,8	-435,8	542,1	-485,1
241	1,6	55,4	1,7	55,3	2,1	54,9
243	1,1	55,9	1,1	55,9	1,3	55,7
261	4,4	52,6	4,9	52,1	5,9	51,1
282	21,5	35,5	23,2	33,8	25,5	31,5
284	1,0	56,0	1,2	55,8	1,4	55,6
289	0,6	56,4	0,4	56,6	0,5	56,5
296	15,1	41,9	15,8	41,2	17,7	39,3
297	213,2	-156,2	229,2	-172,2	256,6	-199,6
302	917,7	-860,7	1035,4	-978,4	1164,8	-1107,8
258	3,9	53,1	4,2	52,8	4,8	52,2
231	76,2	-19,2	80,5	-23,5	93,2	-36,2
232	0,3	56,7	0,3	56,7	0,3	56,7
235	0,4	56,6	0,5	56,5	0,5	56,5
402	87,2	232,8	96,4	223,6	108,9	211,1
407	198,2	121,8	218,3	101,7	246,5	73,5
430	142,5	177,5	158,1	161,9	179,6	140,4
431	14,4	305,6	15,5	304,5	17,3	302,7
445	261,0	59,0	306,4	13,6	343,3	-23,3
451	0,5	319,5	0,6	319,4	0,7	319,3
372	0,7	319,3	0,8	319,2	0,9	319,1
229	242,1	-38,1	270,2	-66,2	309,6	-105,6
257	1070,7	-750,7	1223,6	-903,6	1379,6	-1059,6
356	0,2	651,8	0,3	651,7	0,3	651,7
367	0,4	651,6	0,5	651,5	0,5	651,5
378	0,2	651,8	0,2	651,8	0,2	651,8
379	3,2	648,8	3,5	648,5	3,9	648,1
382	0,9	651,1	1,0	651,0	1,2	650,8
383	33,5	618,5	34,5	617,5	41,0	611,0
387	20,6	631,4	22,9	629,1	25,6	626,4
391	61,1	590,9	71,1	580,9	75,2	576,8
397	2,9	649,1	3,1	648,9	3,5	648,5
399	427,4	224,6	492,5	159,5	562,2	89,8
400	0,1	651,9	0,1	651,9	0,2	651,8
406	0,7	651,3	0,8	651,2	0,9	651,1
447	52,4	599,6	56,2	595,8	63,6	588,4
448	197,0	455,0	215,2	436,8	240,7	411,3
299	151,2	500,8	168,3	483,7	188,3	463,7
452	1347,8	-214,8	1493,5	-360,5	1682,9	-549,9
455	157,9	975,1	166,8	966,2	190,1	942,9
428	493,2	639,8	546,8	586,2	648,6	484,4
442	1003,0	130,0	1105,9	27,1	1244,7	-111,7
386	21,2	1111,8	22,9	1110,1	25,5	1107,5
288	5,0	1128,0	5,5	1127,5	6,1	1126,9
301	276,5	856,5	292,2	840,8	332,9	800,1

GPS nr	Gjentaksintervall 50 år (l/s)		Gjentaksintervall 100 år (l/s)		Gjentaksintervall 200 år (l/s)	
	Nødvendig (l/s)	Ledig (l/s)	Nødvendig (l/s)	Ledig (l/s)	Nødvendig (l/s)	Ledig kapasitet
425	22,8	34,2	26,5	30,5	27,3	29,7
429	0,4	56,6	0,4	56,6	0,5	56,5
443	434,5	-377,5	491,0	-434,0	529,3	-472,3
449	0,6	56,4	0,6	56,4	0,7	56,3
369	0,4	116,6	0,4	116,6	0,5	116,5
373	1614,7	-1497,7	1873,1	-1756,1	2026,0	-1909,0
424	186,1	-69,1	210,8	-93,8	225,4	-108,4
440	5,1	111,9	5,6	111,4	6,3	110,7
456	120,8	-3,8	132,5	-15,5	142,6	-25,6
40	121,1	-4,1	131,2	-14,2	138,1	-21,1
355	1,4	115,6	1,5	115,5	1,6	115,4
418	3,2	113,8	3,5	113,5	3,9	113,1
426	236,0	-119,0	234,3	-117,3	248,8	-131,8
433	162,8	-45,8	161,6	-44,6	171,6	-54,6
434	1,9	115,1	2,0	115,0	2,3	114,7
435	0,8	116,2	0,9	116,1	0,9	116,1
438	19,8	97,2	22,1	94,9	23,2	93,8
439	0,6	116,4	0,7	116,3	0,8	116,2
441	9,5	107,5	10,4	106,6	10,6	106,4
446	0,3	116,7	0,4	116,6	0,4	116,6
450	108,6	8,4	124,5	-7,5	131,6	-14,6
453	0,5	116,5	0,8	116,2	0,9	116,1
457	793,9	-676,9	962,0	-845,0	945,2	-828,2
458	2,5	114,5	2,8	114,2	2,9	114,1
459	58,6	58,4	66,4	50,6	71,0	46,0
236	250,2	-133,2	316,8	-199,8	296,7	-179,7
237	646,5	-529,5	743,1	-626,1	789,5	-672,5
242	0,4	116,6	0,4	116,6	0,5	116,5
286	0,5	116,5	0,8	116,2	0,9	116,1
41	0,3	116,7	0,3	116,7	0,4	116,6
360	3,9	53,1	4,4	52,6	4,7	52,3
432	2,7	54,3	3,2	53,8	3,3	53,7
228	101,9	-44,9	114,1	-57,1	121,9	-64,9
233	659,0	-602,0	721,6	-664,6	809,6	-752,6
241	2,4	54,6	2,8	54,2	3,0	54,0
243	1,5	55,5	1,6	55,4	1,7	55,3
261	6,7	50,3	7,6	49,4	7,3	49,7
282	31,9	25,1	35,0	22,0	34,4	22,6
284	1,6	55,4	1,9	55,1	2,0	55,0
289	0,5	56,5	0,6	56,4	0,7	56,3
296	22,2	34,8	24,5	32,5	25,1	31,9
297	313,7	-256,7	346,9	-289,9	372,0	-315,0
302	1355,4	-1298,4	1529,6	-1472,6	1706,0	-1649,0
258	5,6	51,4	6,3	50,7	6,7	50,3
231	109,3	-52,3	123,1	-66,1	131,0	-74,0
232	0,4	56,6	0,4	56,6	0,5	56,5
235	0,6	56,4	0,7	56,3	0,8	56,2
402	128,1	191,9	143,2	176,8	153,0	167,0
407	289,6	30,4	326,8	-6,8	344,8	-24,8
430	211,5	108,5	239,7	80,3	255,9	64,1
431	21,8	298,2	23,7	296,3	23,5	296,5
445	415,3	-95,3	468,1	-148,1	489,4	-169,4
451	0,8	319,2	0,9	319,1	1,0	319,0
372	1,0	319,0	1,2	318,8	1,2	318,8
229	364,8	-160,8	422,2	-218,2	450,3	-246,3
257	1651,9	-1331,9	1835,4	-1515,4	2026,6	-1706,6
356	0,4	651,6	0,4	651,6	0,5	651,5
367	0,6	651,4	0,7	651,3	0,8	651,2
378	0,3	651,7	0,3	651,7	0,3	651,7
379	4,6	647,4	5,2	646,8	5,5	646,5
382	1,4	650,6	1,6	650,4	1,7	650,3
383	46,6	605,4	54,6	597,4	57,3	594,7
387	30,8	621,2	34,5	617,5	36,9	615,1
391	87,6	564,4	99,2	552,8	106,0	546,0

397	4,1	647,9	4,4	647,6	5,1	646,9
399	669,0	-17,0	766,6	-114,6	801,4	-149,4
400	0,2	651,8	0,2	651,8	0,2	651,8
406	1,1	650,9	1,2	650,8	1,4	650,6
447	75,8	576,2	82,8	569,2	90,5	561,5
448	297,6	354,4	323,7	328,3	351,1	300,9
299	232,8	419,2	253,2	398,8	271,1	380,9
452	2010,8	-877,8	2276,7	-1143,7	2458,8	-1325,8
455	225,2	907,8	249,5	883,5	283,0	850,0
428	759,1	373,9	857,7	275,3	911,3	221,7
442	1512,2	-379,2	1671,6	-538,6	1800,2	-667,2
386	30,2	1102,8	33,9	1099,1	36,7	1096,3
288	7,6	1125,4	8,4	1124,6	8,9	1124,1
301	394,5	738,5	437,0	696,0	495,7	637,3

# Vedlegg B – Grøfter

Beregning av oppnåelige vannhastigheter i grøftene langs skogsbilveien i Arnegårdslia.

	Grøft 1	Grøft 2	Grøft 3	Grøft 4	Grøft 5	Grøft 6	Grøft 7	Grøft 8	Grøft 9	Grøft 10
<b>Areal av grøfter (m<sup>2</sup>)</b>	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>Mannings tall</b>	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
<b>Hydraulisk radius (m)</b>	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>Våt omkrets (m)</b>	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
<b>Lengde (m)</b>	425,0	597,0	450,0	184,0	690,0	1219,0	181,0	32,0	64,0	35,0
<b>Høydeforskjell (m)</b>	37,0	51,0	85,0	36,0	18,0	43,0	18,0	4,0	7,0	4,0
<b>Lengdefall (m/m)</b>	0,1	0,1	0,2	0,2	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
<b>Vannføring (l/s)</b>	390,7	387,0	575,5	585,7	213,9	248,7	417,6	468,1	437,9	447,6
<b>Vannhastighet (m/s)</b>	2,3	2,2	3,3	3,4	1,2	1,4	2,4	2,7	2,5	2,6
<b>Anbefalt hastighet (m/s)</b>	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
<b>Differanse</b>	+1,5	+1,4	+2,5	+2,6	+0,4	+0,6	+1,6	+1,9	+1,7	+1,8

	Grøft 11	Grøft 12	Grøft 13	Grøft 14	Grøft 15	Grøft 16	Grøft 17	Grøft 18
<b>Areal av grøfter (m<sup>2</sup>)</b>	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
<b>Mannings tall</b>	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
<b>Hydraulisk radius (m)</b>	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
<b>Våt omkrets (m)</b>	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14
<b>Lengde (m)</b>	83,0	68,0	228,0	111,0	90,0	43,0	178,0	15,0
<b>Høydeforskjell (m)</b>	11,00	9,50	24,50	10,00	4,00	3,50	19,50	6,00
<b>Lengdefall (m/m)</b>	0,13	0,14	0,11	0,09	0,04	0,08	0,11	0,40
<b>Vannføring (l/s)</b>	482,03	494,91	434,04	397,43	279,14	377,76	438,25	837,43
<b>Vannhastighet (m/s)</b>	2,8	2,9	2,5	2,3	1,6	2,2	2,5	4,9
<b>Anbefalt hastighet (m/s)</b>	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
<b>Differanse</b>	+2,0	+2,1	+1,7	+1,5	+0,8	+1,4	+1,7	+4,1

# Vedlegg C – Datagrunnlag nedbør

Data hentet fra eKlima.met.no for Nesbyen-Todokk. Fargede ruter indikerer antatt tidspunkt for utløsning.

Stasjon	År	Måned	Dato	Klokkeslett	Oppsamlet nedbør (mm)	Nedbør (mm)
24890	2007	7	6	3	244,9	0,6
24890	2007	7	6	4	245,1	0,2
24890	2007	7	6	5	245,2	0,1
24890	2007	7	6	6	245,2	0
24890	2007	7	6	7	245,4	0,2
24890	2007	7	6	8	245,2	0
24890	2007	7	6	9	245,2	0
24890	2007	7	6	10	245,2	0
24890	2007	7	6	11	245,1	0
24890	2007	7	6	12	245,1	0
24890	2007	7	6	13	245,1	0
24890	2007	7	6	14	245,1	0
24890	2007	7	6	15	245	0
24890	2007	7	6	16	245	0
24890	2007	7	6	17	245	0
24890	2007	7	6	18	245	0
24890	2007	7	6	19	244,9	0
24890	2007	7	6	20	244,9	0
24890	2007	7	6	21	244,7	0
24890	2007	7	6	22	244,9	0,2
24890	2007	7	6	23	244,9	0
24890	2007	7	6	24	245	0,1
24890	2007	7	7	1	245	0
24890	2007	7	7	2	245	0
24890	2007	7	7	3	245	0
24890	2007	7	7	4	244,9	0
24890	2007	7	7	5	244,9	0
24890	2007	7	7	6	245	0,1
24890	2007	7	7	7	245,2	0,2
24890	2007	7	7	8	245,3	0,1
24890	2007	7	7	9	245	0
24890	2007	7	7	10	245	0
24890	2007	7	7	11	245	0
24890	2007	7	7	12	245	0
24890	2007	7	7	13	245	0
24890	2007	7	7	14	245	0
24890	2007	7	7	15	244,9	0
24890	2007	7	7	16	245	0,1
24890	2007	7	7	17	245	0
24890	2007	7	7	18	244,9	0
24890	2007	7	7	19	244,9	0
24890	2007	7	7	20	252,4	7,5
24890	2007	7	7	21	252,4	0
24890	2007	7	7	22	252,4	0
24890	2007	7	7	23	252,4	0
24890	2007	7	7	24	252,5	0,1
24890	2007	7	8	1	252,4	0
24890	2007	7	8	2	252,4	0
24890	2007	7	8	3	252,4	0
24890	2007	7	8	4	252,4	0
24890	2007	7	8	5	252,4	0
24890	2007	7	8	6	252,4	0
24890	2007	7	8	7	252,7	0,3
24890	2007	7	8	8	252,8	0,1
24890	2007	7	8	9	252,8	0
24890	2007	7	8	10	252,6	0

24890	2007	7	8	11	252,6	0
24890	2007	7	8	12	252,7	0,1
24890	2007	7	8	13	252,7	0
24890	2007	7	8	14	256,1	3,4
24890	2007	7	8	15	259,3	3,2
24890	2007	7	8	16	261,3	2
24890	2007	7	8	17	263,4	2,1
24890	2007	7	8	18	266,2	2,8
24890	2007	7	8	19	268,4	2,2
24890	2007	7	8	20	272,8	4,4
24890	2007	7	8	21	283,9	11,1
24890	2007	7	8	22	290	6,1
24890	2007	7	8	23	291,7	1,7
24890	2007	7	8	24	293,7	2
24890	2007	7	9	1	298,7	5
24890	2007	7	9	2	302,1	3,4
24890	2007	7	9	3	303,8	1,7
24890	2007	7	9	4	304,4	0,6
24890	2007	7	9	5	304,4	0
24890	2007	7	9	6	304,7	0,3
24890	2007	7	9	7	305,2	0,5
24890	2007	7	9	8	305,3	0,1
24890	2007	7	9	9	305,3	0

Stasjon	År	Måned	Dato	Klokkeslett	Oppsamlet nedbør (mm)	Nedbør (mm)
24890	2011	6	7	19	417,8	0
24890	2011	6	7	20	417,8	0
24890	2011	6	7	21	417,8	0
24890	2011	6	7	22	417,8	0
24890	2011	6	7	23	417,8	0
24890	2011	6	7	24	417,8	0
24890	2011	6	8	1	417,8	0
24890	2011	6	8	2	417,8	0
24890	2011	6	8	3	417,7	0
24890	2011	6	8	4	417,8	0,1
24890	2011	6	8	5	417,9	0,1
24890	2011	6	8	6	417,9	0
24890	2011	6	8	7	417,8	0
24890	2011	6	8	8	417,8	0
24890	2011	6	8	9	417,8	0
24890	2011	6	8	10	417,8	0
24890	2011	6	8	11	417,7	0
24890	2011	6	8	12	417,7	0
24890	2011	6	8	13	417,7	0
24890	2011	6	8	14	417,7	0
24890	2011	6	8	15	417,7	0
24890	2011	6	8	16	417,7	0
24890	2011	6	8	17	417,7	0
24890	2011	6	8	18	417,7	0
24890	2011	6	8	19	417,7	0
24890	2011	6	8	20	417,7	0
24890	2011	6	8	21	417,7	0
24890	2011	6	8	22	421,3	3,6
24890	2011	6	8	23	421,6	0,3
24890	2011	6	8	24	421,8	0,2
24890	2011	6	9	1	424,2	2,4
24890	2011	6	9	2	427,7	3,5
24890	2011	6	9	3	430,3	2,6
24890	2011	6	9	4	432,6	2,3
24890	2011	6	9	5	432,7	0,1
24890	2011	6	9	6	432,8	0,1
24890	2011	6	9	7	433	0,2
24890	2011	6	9	8	435,7	2,7
24890	2011	6	9	9	436,9	1,2

24890	2011	6	9	10	437,6	0,7
24890	2011	6	9	11	438,6	1
24890	2011	6	9	12	439,8	1,2
24890	2011	6	9	13	441,4	1,6
24890	2011	6	9	14	443,2	1,8
24890	2011	6	9	15	445,5	2,3
24890	2011	6	9	16	446,1	0,6
24890	2011	6	9	17	446,2	0,1
24890	2011	6	9	18	446,2	0
24890	2011	6	9	19	446,2	0
24890	2011	6	9	20	446,2	0
24890	2011	6	9	21	446,2	0
24890	2011	6	9	22	446,2	0
24890	2011	6	9	23	446,2	0
24890	2011	6	9	24	446,2	0
24890	2011	6	10	1	446,2	0
24890	2011	6	10	2	446,4	0,2
24890	2011	6	10	3	446,4	0
24890	2011	6	10	4	446,4	0
24890	2011	6	10	5	446,6	0,2
24890	2011	6	10	6	447,2	0,6
24890	2011	6	10	7	448,8	1,6
24890	2011	6	10	8	449,3	0,5
24890	2011	6	10	9	449,9	0,6
24890	2011	6	10	10	452,2	2,3
24890	2011	6	10	11	453,8	1,6
24890	2011	6	10	12	460,9	7,1
24890	2011	6	10	13	463,2	2,3
24890	2011	6	10	14	466,1	2,9
24890	2011	6	10	15	468,6	2,5
24890	2011	6	10	16	469,9	1,3
24890	2011	6	10	17	471,6	1,7
24890	2011	6	10	18	472,8	1,2
24890	2011	6	10	19	473,6	0,8
24890	2011	6	10	20	474,1	0,5
24890	2011	6	10	21	474,9	0,8
24890	2011	6	10	22	475,6	0,7
24890	2011	6	10	23	476,1	0,5
24890	2011	6	10	24	476,1	0
24890	2011	6	11	1	476,1	0
24890	2011	6	11	2	476,2	0,1
24890	2011	6	11	3	476,3	0,1
24890	2011	6	11	4	476,6	0,3
24890	2011	6	11	5	479,1	2,5
24890	2011	6	11	6	480,5	1,4



# Vedlegg D – Gjentaksintervall

Informasjon om nedbørfeltet er hentet fra [www.atlas.nve.no](http://www.atlas.nve.no). Beregninger er basert på informasjon hentet fra Førland (1984).

Info nedbørfelt	
Vassdragsnr.	012.CD20
Lokalnavn	Hallingdalselvi
Navn	Drammensvassdraget
Areal enhet (km <sup>2</sup> )	16,27
Normal årsnedbør (mm)	510
M5(24) gridbasert, mm	41,28
C beregnet fra Likning 4.2	0,18

MT(24)	Nedbørmengde MT(24), mm	Antall timer (n)	12	24	48	72
		Forholdstall n timer/24 timer	0,85	1	1,18	1,29
M1	27,67	M1 (mm)	23,52	27,67	32,65	35,69
M5	41,28	M5 (mm)	35,09	41,28	48,71	53,25
M10	47,34	M10 (mm)	40,24	47,34	55,86	61,07
M25	56,27	M25 (mm)	47,83	56,27	66,40	72,59
M50	63,98	M50 (mm)	54,38	63,98	75,49	82,53
M100	72,67	M100 (mm)	61,77	72,67	85,75	93,74
M500	97,54	M500 (mm)	82,91	97,54	115,09	125,82
M1000	110,69	M1000 (mm)	94,09	110,69	130,62	142,79