

Romleg og temporal fordeling av styrtregnet og skredhendingane i Jølster 30. juli 2019

Spatial and temporal distribution of the extreme
precipitation and landslide events in Jølster
30th of July 2019



Synne Sandvoll

Masteroppgåve i Climate Change Management (Planlegging for klimaendringar)

Institutt for miljø- og naturvitskap, Fakultet for ingeniør- og naturvitskap

HØGSKULEN PÅ VESTLANDET

Sogndal
juni 2020


Eg stadfestar at arbeidet er sjølvstendig utarbeida, og at referansar/kjeldetilvisingar til alle kjelder som er brukt i arbeidet er oppgitt, *jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 10*



Høgskulen
på Vestlandet

Romleg og temporal fordeling av styrtregnet og skredhendingane i Jølster 30. juli 2019

Masteroppgåve i Climate Change Management/Planlegging for klimaendringar

Forfattar: Synne Sandvoll	Forfattar sign. 
Oppgåva innlevert: Vår 2020	Open
Rettleiar: Denise Christina Rüter (HVL)	
Stikkord: Lausmasseskred, jordskred, flaumskred, nedbør, vêrradar, nedbørsintensitet, poretrykk, Flow accumulation	Tal sider: 113 + Vedlegg: 3 Sogndal, 19.06.2020
Dette arbeidet er gjennomført som ledd i masterprogrammet i Climate Change Management (norsk namn: Planlegging for klimaendringar) ved Institutt for miljø- og naturvitskap, fakultet for ingeniør- og naturvitskap, Høgskulen på Vestlandet. Studenten(e) står sjølv ansvarleg for metodane som er brukt, resultatane som er kome fram, og konklusjonar og vurderingar i arbeidet.	

Forord

Denne masteroppgåva markera slutten på masterstudiet Planlegging for Klimaendringar ved Høgskulen på Vestlandet. Arbeidet med oppgåva har føregått gjennom vårsemesteret 2020, og tilsvara 30 studiepoeng.

Den fyrste og største takken må tildelast min rettleiar Denise C. Rüther (fyrsteamanuensis, HVL). Tusen takk for at du har tatt deg god tid til rettleiing, støtte og tilbakemeldingar. Eg er glad du gav meg moglegheit til å arbeide med ei spennande og svært lærerik masteroppgåve. Følgeleg må Stein Bondevik (Professor, HVL) takkast, som bidrog med gode innspel i formuleringa av oppgåva i starten.

Vidare vil eg takka Christoffer A. Flo ved MET for utarbeiding av radardata og nyttig informasjon. Eg vil òg takke Tor Arild Segtnan og Geir Ståle Støfring. Takk som tok dykkar tid til å svara på spørsmål og synfaring i Jølster, dykkar bidrag har vert svært nyttig.

Sist, men ikkje minst, går takken til mine tre systrer for oppmuntring gjennom prosessen. Takk til Ingelinn og Veslemøy som har bidratt med rask og nødvendig korrekturlesing, og takk til Åsunn for støttande (og lange) telefonsamtalar.

Sogndal 19. juni 2020

Synne Sandvoll

Samandrag

Denne oppgåva tek føre seg styrtregnet den 30. juli 2019 på Vestlandet, Jølster, som etter fleire veker med varmt og tørt vêr førte til fleire jord- og flaumskred, materielle skadar, stengte vegar, evakueringar og eit dødsfall. Endringar i klima medfører ei auke i styrke og frekvens av slike nedbørshendingar. I tillegg til brå skift i vêrsituasjonar, frå tørre periodar til styrtregn.

Målet med oppgåva har vert å nytta ulike kjelder til nedbørs- og klimadata for å belyse det metrologiske forholdet før, under og etter styrtregnhendinga i Jølster 30. juli 2019. Ved å nytte radardata har det vert mogeleg å relatere den romlege og temporale fordelinga av nedbørsmengd og -intensitet til lausnetidspunktane dei største skredhendingane som truga eller skada infrastruktur. Ei samanlikning med terskelverdiar for lausmasseskred vart gjort. Meteorologiske og hydrologiske data har vorte innsamla, og GIS-analyse gjort for å undersøkje skilnadar mellom lausmasseskred utløyst under sommarstyrtregn og dei utløyst etter langvarig haust og vårstormar. Basert på funna blei dagens aktsemd- og varslingsystem vurdert.

Resultata syner at kortvarig og intenst nedbør gav ustabile forhold og skredutløysing i Jølster, til tross for gunstige hydrologiske forhold før nedbørshendinga.

I områder med høgast nedbørsmengd – og intensitet skjedde skredutløysing kort tid etter høgste reflekterte nedbørsintensitet. Det er sett variasjonar i dei meteorologiske forholda knytt til skredutløysing på svært lokal skala, der lausneårsaka og skreddynamikken for skreda kan vera ulik. Funna tyder på at lausmasseskred utløyst under sommarstyrtregn er knytt lausnemekanismar og skreddynamikk prega av høg vasstilførsel på kort tid, der erosjon i mindre dreneringsløp er av betydning. Det er vist at styrtregn utløyser fleire skredhendingar til tross for tørre forhold, med vassmetting på under 60%. Indikasjonar er funne på at tørre forhold i forkant av styrtregn kan gi auka overflateavrenning og lausnepunkt som ikkje er inkludert i aktsemdkart. Ettersom vassmettinga i jorda må overstiga 60% blir ikkje skredhendingar som i Jølster varsla. Med tanke på klimaendringar vil det vera nyttig og inkludere skredhendingar knytt til eit brått skifte i vêrsituasjonar, frå tørre periodar til styrtregn i grunnlagsdata for aktsemdkart og terskelverdiane.

Abstract in English

On the 30th of July 2019 Western Norway, Jølster, was affected by an extreme precipitation event that caused many landslides, damaged infrastructure, closed roads, evacuations and one fatality.

With climate change, an increase in the strength and frequency of such precipitation events are expected, in addition to abrupt shifts in weather situations, from dry periods followed by extreme precipitation.

The goal of this study has been to analyse the metrological conditions before, during and after the rainfall event in Jølster 30 July 2019 using multiple sources of precipitation – and climate data.

The use of Doppler radar data has provided the opportunity to relate the spatial and temporal distribution of the precipitation (amount and intensity) to the largest landslide events that threatened or damaged infrastructure in Jølster. Meteorological and hydrological data have been collected, and GIS analysis done to investigate the differences between landslides triggered during short and intense precipitation events in summer and those triggered after prolonged spring and autumn storms. Based on the findings, the landslide-warning systems was evaluated.

The results show that short and intense precipitation event triggered multiple landslides in Jølster, despite favourable hydrological conditions. In areas with the highest amount of rainfall and intensity, landslides occurred shortly after the max reflected intensity. Variations in the precipitation event can vary within a small area, where both the trigger mechanism and the dynamics of landslide differed. The results suggest that landslides triggered during short and intense precipitation events in summer are triggered by intense surface-runoff, especially in areas not used to high drainage. The landslide dynamics are affected by high content of water.

Indications have been found that antecedent dry conditions before an extreme precipitation event can result in high surface runoff. Water saturation in the soil must exceed 60% for a local or regional warning to be sent. The results from this study show that short and intense rainfall can trigger several landslides despite dry conditions, with water saturation below 60%. With regards to climate change, it will be useful and include landslide related to dry periods followed by extreme precipitation in the baseline data for the warning systems.

Innholdsliste

Forord.....	I
Samandrag.....	II
Abstract in English	III
Innholdsliste	IV
Figurliste	VI
Tabelliste.....	IX
1. Innleiing.....	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Problemstilling og framgangsmåte.....	3
1.3 Vêrsituasjonen og varslinga 30.juli 2019.....	4
1.4 Hendingsgang.....	5
2. Beskriving av området.....	8
2.1 Jølster.....	8
2.2 Topografi	10
2.3 Geologi	11
2.3.1 Berggrunn.....	11
2.3.2 Lausmassar	12
2.4 Klima	13
2.5 Skredhistorikk	14
3 Skred	15
3.1 Flaum- og jordskred.....	15
3.2 Statistiske føresetnadar og utløysande faktorar	17
3.3 Nedbørsrelaterte utløysingsfaktorar.....	18
3.3.1 Lausmassars eigenskapar - porøsitet og permeabilitet	19
3.3.2 Poretrykk.....	20
3.3.3 Vegetasjon.....	22
3.4 Nedbør og lausmasseskred.....	23
3.5 Klima og lausmasseskred.....	24
4 Metode	25
4.1 Litteraturstudie	25

4.2	Synfaring.....	25
4.3	Dataoversikt	26
4.4	Geografisk informasjonssystem ArcGIS og QGIS.....	27
4.4.1	Flow accumulation.....	27
4.5	Analyse av meteorologiske og hydrologiske data	28
4.5.1	Meteorologiske data og statistikk frå eKlima.no	29
4.5.2	Meteorologiske og hydrologiske data frå xGeo.....	29
4.5.3	Nedbørsdata frå målestasjonar.....	30
4.5.4	Private målestasjonar	32
4.5.5	Nedbørsdata radar	32
4.6	Augevitne.....	35
5	Resultat.....	36
5.1	Meteorologiske forhold.....	36
5.1.1	Metrologiske data eKlima og xGeo	36
5.1.2	Private målestasjonar - Netamo	38
5.1.3	Vêrradar	39
5.1.4	Nedbør og intensitet-varigheitsterskel	51
5.2	Hydrologiske forhold.....	53
5.2.1	Grunnvasstand	53
5.2.2	Vasslagringskapasitet.....	55
5.2.3	Vassmetting.....	55
5.3	Resultat frå GIS-analyse	56
5.3.1	Kartanalyse.....	56
5.3.2	Dreneringsvegar.....	59
5.4	Synfaring.....	62
5.5	Augevitne.....	66
5.5.1	Tor Arild Segtnan	66
5.5.2	Geir Ståle Støfring	66
6	Diskusjon.....	68
6.1	Den romlege og temporale fordelinga av styrtregnet	69
6.1.1	Usikkerheiter knytt til meteorologiske data frå xGeo, eKlima og vêr-radar	69
6.1.2	Kjelder til nedbørsdata – ei samanlikning.....	72
6.1.3	Meteorologiske forhold under styrtregnhendinga.....	73

6.2	Den romlege og temporale fordelinga av nedbørsmengd- og intensitet	75
6.2.1	Lausnetidspunkt for dei registrerte skredhendingane i NSDB	75
6.2.2	Nedbørsmengd og intensitet knytt til lausnetidspunkta	76
6.3	Samanlikning av dreningsmønster, lausneårsak og skreddynamikk.....	81
6.3.1	Usikkerheit knytt til hydrologiske data frå xGeo og manglande feltarbeid.....	81
6.3.2	Dreneringsmønstre.....	82
6.3.3	Skredutløysande årsaker.....	84
6.3.4	Skreddynamikk	88
6.3.5	Lausmasseskred utløyst under sommarstyrtregn versus utløysing etter langvarig haust og vårstormar.....	92
6.4	Funnas betydning for arealplanlegging og varsling.....	94
7	Konklusjon	98
8	Referansar	100
9	Vedlegg.....	116

Figurliste

Figur 1	Romleg fordeling av nedbør på Vestlandet 29. juli 2019 og 30.juli 2019. Området Jølster er indikert med svart pil. Henta frå xGeo.no. (xGeo, 2020a, 2020b).....	5
Figur 2	Kartutsnitt som syner Jølster. Svart firkant syner studieområdet i Jølster, synt i figur 3	8
Figur 3	Kartutsnitt som syner studieområdet i Jølster, med skredområda Årnes (raudt område), Tindefjellet (blått område) og Slåtten (grønt område)(NVE, 2020b). Svart trekant syner Nedre Vassenden i Jølsters. Jordskreda er synt med raud prikk, flaumskred med blå. Informasjon tilknytt skreda i områda er synt i figur 4 (NVE, 2020b).....	9
Figur 4	syner dei dei registrerte skredhendingane i NSDB med utløysingstidspunkt 30. juli 2019; Årnes (raudt område), Tindefjellet (blått område) og Slåtten (grønt område)(NVE, 2020b). Svart trekant syner Nedre Vassenden i Jølster	9
Figur 5	Kart som syner brattheit i grader av topografien i studieområdet, samt registrerte skredhendingar 30. juli 2019 (NVE, 2020b). Jordskreda er registrert med lausneområde med helling mellom 45°-90°. Helling under 27° synast ikkje i figur.....	10
Figur 6	Oversikt over dominerande treslag i Jølster. Av figuren kjem det fram at området er prega av mykje lauv- og blandingsskog (lys brun og oransje på figur), med spette flekker av planta granfelt (mørk grønt) og furudominert skog	11
Figur 7	Berggrunnskart over studieområde med skred utløyst 30. juli 2019 (NVE, 2020b). Vassenden, Jølster er synt med svart trekant. Berggrunnen består av diorittisk til granittisk gneis (rosa på kart).	12
Figur 8	Kvartærgeologisk kart M: 1:250 000 som syner lausmassar i studieområdet i Jølster med skred registret utløysingstidspunkt 30. juli 2019 (NVE, 2020b). Vassenden, Jølster er synt med svart trekant. .	13

Figur 9 Figur som syner nedbørsnormalar frå to nærliggande målestasjonar, Haukedal og Skei, i perioden 1961-1990. Nedbørsdata er henta frå eKlima.no (eKlima, 2020)	14
Figur 10 Oversikt over historisk registrerte skredhendingar i Jølster er synt med oransje prikk. Svart trekant syner Vassenden, Jølster. Skredregistreringane er henta frå NVE Atlas (NVE, 2020b)	14
Figur 11 Krefter som verkar på masse (grå firkant på figur) i ein skråning. Henta frå Halvorsen & Sulebak (2009).	18
Figur 12 Eit typisk jordprofil for morene- to lag med ulik permeabilitet. Vatn som infiltrerer gjennom det øvste høgpermeable laget blir stagnert av det lågareliggjande laget med låg permeabilitet, som kan gi oppbygging av poretrykk og eit potensielt glideplan langs laggrensa. Skissa henta frå Sandøy et al. (2017).	20
Figur 13 Syner samanhengen mellom poretrykk og skjærstyrke, der auka poretrykk og vassmetting førar til mindre kontakt mellom korna, og redusera både friksjon og kohesjon. Figuren er modifisert etter Ricketts (2016)	21
Figur 14 Kart som syner lokasjonen til målestasjonar i området. Nummerering av målestasjonar 1-5 for enklare å knytte informasjon i tabell til kartet. Måling av distanse vart gjort med verktøyet «Teikne og måle» tilgjengeleg på Norgeskart.no. Kartet er skjermdump frå norgeskart.no © Kartverket	31
Figur 15 Figur som syner påverknader som kan forstyrre radarsignal og gi usikkerheiter knytt til radardata. Modifisert etter Hollemann (2006).	34
Figur 16 Interpolert data frå Xgeo som syner den romlege fordelinga av nedbør (mm) frå 27. juli til 01. august 2019. Data er henta frå Xgeo.no (Xgeo, 2020f).....	36
Figur 17 Nedbørsmålingar ved målestasjonane Haukedal, Skei i Jølster og Botnen i Førde for juli 2019. Data er henta frå eKlima.no (eKlima, 2020) og utforma i Excel.	37
Figur 18 Timesnedbør og temperatur ved Haukedal målestasjon 30. til 31. juli 2019. Data henta frå eKlima.no og utforma i Excel.	38
Figur 19 Figur henta frå Agersten et al. (2019) og syner akkumulert nedbør frå radar og Netamo-målingar frå kl. 13:00 til kl. 22:00 den 30. juli 2019. Vassenden, Jølster er markert med gul trekant	38
Figur 20 Oversiktskart som syner dekningsområde for radardata nytta i oppgåva, samt teiknforklaring, nedbørsintensitet (mm/t) nytta for figur 23 A-D(og 24 A-H).	39
Figur 21 Radardata som syner den romlege fordelinga av nedbør på Vestlandet 30. juli 2019. Nedbøren er akkumulerte mengde nedbør (mm) siste timen; A frå kl. 11:00 til kl. 12.00, B frå kl. 14:00 - kl. 15:00, C frå kl. 17:00 - kl. 18:00, og D frå kl. 20:00 til kl. 21:00. Teiknforklaring av nedbørsintensitet (mm/1t) kan sjåast på figur 20. Jølster indikert med raud pil.	40
Figur 22 A-H syner den romlege fordelinga av akkumulert nedbør i Jølster 30. juli 2019 siste timen frå kl. 14:00 til kl. 21:00, tidsperioden då skred er registeret den 30. juli 2019. Skred er synt med raud prikk for jordskred, blå for flaumskred. Svart trekant syner Vassenden, Jølster.	43
Figur 23 (A-O) syner den romlege fordelinga av nedbør i Jølster, der Vassenden i Jølster er indikert med svart trekant. Karta syner nedbørsintensitet per 5. minutt frå kl. 16:00 til kl. 17:15 den 30. juli 2019. Skred registrert i NSDB den 30.juli 2019	48
Figur 24 Nedbørsintensitetar (mm/5 min) i perioden frå kl. 12:00 den 30. juli 2019 til 31.juli 2019 kl. 01:55 for området Årnes (rød), Tindefjellet (blå), Slåtten (grøn), Vassenden (stipla grå), Haukedal (stipla lilla) og Botnen i Førde (stipla beige). Områda/punkta er synt i figur 25.	49
Figur 25 Kart med område/punkt der nedbørsintensitet nytta i figur 27 er henta i QGIS ved hjelp av «Identity features» og utforma i Excel.....	50

Figur 26 Grafen er modifisert etter Sandersen et al. (1996) og syner forholdet mellom nedbør og tid (varigheit i timar). Kurva utforma av Sandersen et al. (1997) som basera seg på 30 tidlegare jordskredhendingar i Noreg (Sandøy et al., 2017; Sandersen et al., 1996). I grafen er data frå tabell 6 plotta, der prikk er døger-verdiar og stjerne fram til (fyrste) skredregistrering for Tindefjellet (blå) Slåtten (grøn) og Årnes (raud).....	53
Figur 27 Grunnvasstanden den 30. juli 2019 kl.08:00 basert på interpolert data (xGeo, 2020c)	54
Figur 28 Grunnvasstanden den 31. juli 2019 kl.08:00 basert på interpolert data (xGeo, 2020d).....	54
Figur 29 Grunnvassnivået målt ved NVE sin målestasjon Førde/Moskog rør 3, og er einaste målestasjon i område kring Jølster som måler grunnvassnivå. Data frå perioden 15.juli til 4. august 2019 er henta frå NVE (2020c) og utforma i Excel	54
Figur 30 jordas vasslagringskapasitet 30 juli 2019 kl. 08:00 (xGeo, 2020f).....	55
Figur 31 Jordas vasslagringskapasitet den 31. juli 2019 kl. 08:00 (xGeo, 2020g)	55
Figur 32 Interpolert data frå xGeo som syner jordas vassmetting 30. juli 2019 kl. 08:00 (xGeo, 2020h) ..	55
Figur 33 Interpolert data frå xGeo som syner jordas vassmetting 31. juli 2019 kl. 08:00 (xGeo, 2020i)....	55
Figur 34 Syner lausmassedekke (M 1:250 000) i lausneområde og til dels i skredløp for Årnes (A), Slåtten (B) og Tindefjellet (C) og beskrive i tabell 7.....	57
Figur 35 Syner infiltrasjonsevne (M 1:250 000) i lausneområde og til dels i skredløp for Årnes (A), Slåtten (B) og Tindefjellet (C) og beskrive i tabell 7.....	57
Figur 36 Syner hellinga i grader i lausneområde og til dels i skredløp for Årnes (A), Slåtten (B) og Tindefjellet (C) og beskrive i tabell 7.....	58
Figur 37 DOM 1m med skyggerelieff som syner mogelege erosjonsspor og løp i lausneområde og dels i skredløp for Årnes (A), Slåtten (B) og Tindefjellet (C).....	59
Figur 38 Oversiktskartet med elvenett henta frå NVE sin nasjonale elvenettsdatabase som syner elveløp i Jølster og rundt skredområda med skred utløyyst 30. juli 2019. Vassenden, Jølster synt med svart trekant	60
Figur 39 Dreneringløp for skreda utløyyst 30. juli 2019 i område Tindefjellet/E39. Analysen er basert på 1 m DHM.....	61
Figur 40 Dreneringløp for skredet utløyyst 30. juli 2019 i område Årnes. Analysen er basert på 1 m DHM	61
Figur 41 Dreneringløp for skreda utløyyst 30. juli 2019 i område Slåtten. Analysen er basert på 1 m DHM	62
Figur 42 Bilete av striper på fine sediment aust i lausneområde. Dette er tolka til å vera skuringsstriper. Foto: Denise Ruther	63
Figur 43 Oversiktsbilete med observasjonar gjort under synfaringa 09. september 2019 av skredet "Strandsvollen, sørsida av Jølstravatnet" Årnes. Foto: Denise Ruther, 09. september 2019.	65
Figur 44 Syner den prosentvise blokkeringa for dei fem radarane (Stadt (nr.1), Bømlø (nr. 2), Hægebostad (nr.3), Hurum (nr.4) og Hafjell (nr.5) for Vestlandet. Gult rektangel syner området kring Jølster. Tilsendt og attgjeve med løyve frå C. A. Flo ved MET.....	70
Figur 45 Akkumulert nedbørsmengd i perioden 1.juli -1.september 2019. Nummerering av radarstasjonar lik som i figur 21. Svart rektangel indikerer området kring Jølster. Tilsendt og attgjeve med løyve frå C. A. Flo ved MET	70
Figur 46 Akkumulert nedbørsintensitet frå kl. 14:55 til kl. 15:00 30. juli 2019. Utheva område syner nedbørsintensitet i området der augevitne ikkje observerte noko nedbør i denne perioden.	71
Figur 47 Interpolert data frå xgeo.no (xGeo, 2020g) som syner den romlege fordelinga av nedbør (mm) i Jølster. Skredområde Tindefjellet synt med blått rektangel, Slåtten grønt og Årnes raudt.	72

Figur 48 Akkumulert timesnedbør 30. juli 2019 kl. 15:00. Figurutsnittet er av same grid og skala, men syner den akkumulerte nedbørmengda timen etter, frå kl. 15:00 til kl. 16:00.	74
Figur 49 Akkumulert nedbør pr. time (mm) frå kl. 03:00 30. juli 2019 til kl. 02:00 den 31. juli 2019 for skredområda Tindefjellet (blå), Slåtten (grøn) og Årnes (rød).	75
Figur 50 Figur er ein modifisert versjon av tidlegare synt figur (figur 24 kap. 5.3.1.) Figuren indikerer nedbørsintensitetar frå fyrste nedbørsrefleksjon kl. 12:55 den 30. juli 2019 til kl. 01:55 dagen etter for Tindefjellet (blå), Slåtten (grøn) og Årnes (raud). Pil syner nedbørsintensitet ved skredregistrering, stipla linje syner varigheit av nedbør før skredregistrering, og går gjennom høgaste målte intensitet. Tydinga av fargane på pil og stipla linje er lik som for nedbørsintensitet.	78
Figur 51 Figuren er tidlegare synt i kap. 5.1.4. som figur 26. Grafen er modifisert etter Sandersen et al. (1996) og syner forholdet mellom nedbør og tid (varigheit i timar). Kurva utforma av Sandersen et al. (1997) som basera seg på 30 tidlegare jordskredhendingar i Noreg (Sandøy et al., 2017; Sandersen et al., 1996). I grafen er data frå tabell 6 plotta, der prikk er døger-verdiar og stjerne fram til (fyrste) skredregistrering for Tindefjellet (blå) Slåtten (grøn) og Årnes (raud).	79
Figur 52 Ein modifisert versjon av figur 37 (kap. 5.3.1.) der utheva områder syner små slakare områder (27 - 40 grader) innimellom eit større bratt område (over 45 grader)	84
Figur 53 To dreneringsløp i underkant av 20 m vest for lausnepunktet til skredet Slåtten midtre.	86
Figur 54 Syner dominerande treslag og tilhøyrande alder i skredbana. Pil på figur indikerer pre-eksisterande kanalar aust og vest for skredbana.	90
Figur 55 Aktsemdområda (i brunt på figur) for kvar skred kan utløysast og potensielt utløpsområde. Utheva rektangel syner skredområda Tindefjellet (blått), Slåtten (grønt) og Årnes (raudt).	95
Figur 56 Terskel for jordskredfare som blir nytta i jordskredvarsling hos NVE (Boje et al., 2011)	96

Tabelliste

<i>Tabell 1 Skredregistreringer utløyst 30. juli 2019 i Jølster og registrert informasjon henta frå NSDB (NVE, 2020b). Flaumskreda er gjeve egne namn for då dette ikkje var registrert, synt med kursiv.</i>	7
<i>Tabell 2 Klassifisering av skredtypar ut frå forholdet mellom vatn, stein, jord, snø og is. Henta frå Norem & Sandersen (2014) s.11</i>	15
<i>Tabell 3 Oversikt over data nytta til utforming av kart og klimastatistikk</i>	26
<i>Tabell 4 Oversikt over nærliggande målestasjonar med avstand til Jølster, samt informasjon knytt til kvar enkelt målestasjon</i>	31
<i>Tabell 5 Nedbørsintensitet omgjort til nedbørmengd for skredområda Tindefjellet, Slåtten og Jølster fram til fyrste skredregistrering og for perioden med radardata tilgjengeleg (kl. 02:00 30.juli til kl.01:55 31. juli. For denne perioden er òg Vassenden, Haukedal og Botnen i Førde inkludert</i>	50
<i>Tabell 6 Tabell med utrekning av kritisk nedbørmengd i prosent (P), kritisk nedbørmengd (K) og prosent av årsnedbør, etter Sandersen et al. (1996) for områda Tindefjellet, Slåtten og Årnes den 30.juli 2019... ..</i>	52
<i>Tabell 7 Resultat frå ulike kartanalysar i QGIS av statistiske føresetnadar og faktorar for skredområda i Jølster; Tindefjellet, Slåtten og Årnes</i>	56
<i>Tabell 8 Akkumulert månadsnedbør for juli og døgnnedbør den 30. juli observert ved målestasjonane Haukedal, Skei i Jølster og Botnen i Førde. Dataa er henta frå eKlima (eKlima, 2020).</i>	73
<i>Tabell 9 Samanlikning mellom jordskred og flaumskred. Henta frå Bargel et al. (2011).....</i>	92

1. Innleiing

Sommaren 2019 var prega av fleire episodar med kort og intens nedbør. Meteorologisk institutt (MET) sendte ut farevarsel om kraftige regnbyer (styrtregn) på over 30 dagar i perioden mai-september (NVE, 2019). Spesielt styrtregnet på Vestlandet den 30. juli førte til mange jord- og flaumskred, ulike skadar, overfløymingar, stengte vegar og evakueringar. Hardast råka vart dåverande Jølster kommune i Sunnfjord, der ein mann mista livet som fylgje av jordskred (Agersten et al., 2019). Både forskarar og lokale har knytt hendinga til klimaendringar (NTB, 2019). Det er med klimaendringar venta ei auke i slike nedbørsepisodar, noko som vil auke sannsynet for at hendingar som i Jølster førekjem oftare (Svehagen, 2019).

Målet med denne oppgåva er å analysere dei meteorologiske forholda under hendinga med så høg romleg- og temporal oppløysing som mogeleg ut frå offisielle målestasjonar, vêrradar, private målestasjonar og augevitne. Vidare skal eg relatere tidsforløpet og den romlege fordelinga av nedbørsmengd og nedbørsintensitet til lausnetidspunktane for dei største skreda som truga og skada infrastrukturen i Jølster, og diskutera om årsak og skreddynamikk for lausmasseskred utløyst under sommarstyrtregn skil seg frå dei utløyst etter langvarig haust og vårstormar. Avsluttande vil eg vurdere om dagens aktsemd og varsling er tilstrekkelege verktøy når det kjem til varsling av jordskred løyst ut etter tørre periodar etterfølgt av styrtregn.

1.1 Bakgrunn

Noreg er eit land der bratte fjellsider, djupe fjordar og lange dalar dominerer. Dei geologiske, topografiske og klimatiske forholda, i kombinasjon med vårt busetnadsmønster og transportårer, medfører skredfare (Jaedicke et al., 2008). Den vanlegaste skredtypen i Noreg er lausmasseskred, ei felles nemning for alle skred utløyst i massar over fast fjell (NGU, 2015). Årleg skapar lausmasseskred skade på infrastruktur, store økonomiske kostnader og påverkar menneskes liv, helse og verdiar (Sorteberg et al., 2018). I alvorlegaste grad kan skred medføre tap av liv, som tilfelle i Jølster 30. juli 2019 (Agersten et al., 2019).

Forholdet mellom klimaendringar og skredaktivitet er ikkje eintydig for alle typar skred (Øydvin et al., 2011), men forskinga peikar på ein positiv korrelasjon mellom lausmasseskred og klimaendringar (Gariano & Guzzetti, 2016). Sjølv om samspelet mellom dei ulike faktorar som fører til lausmasseskred er komplekst (Gariano & Guzzetti, 2016; Nikolopoulos et al., 2014) er

utløysing av lausmasseskred oftast relatert til nedbør (Bollscheweiler & Stoffel, 2010; Colleuille, 2013; Gariano et al., 2015; Guzzetti et al., 2007; Jakob & Weatherly, 2003; Nikolopoulos et al., 2014). Særskild jord- og flaumskred er sterkt knytt til klima og vêr, der dei fleste skred utløysast ved intens nedbør eller nedbør i kombinasjon med høg grunnvasstand (Bacchini & Zannoni, 2003; Bollscheweiler & Stoffel, 2010; Jaedicke et al., 2008).

Klimaframskingane for Noreg mot år 2100 varslar ei auke i intensitet og frekvens av nedbørshendingar. Dette gjeld både langvarige nedbørsperiodar, men òg intens nedbør over kortare periodar slik som nedbørshendinga i Jølster 30.juli 2019 (Dyrrdal & Førland, 2019; Hanssen-Bauer et al., 2016). Styrregn er kraftig regn med varigheit på tre timer eller kortare, og har stort skadepotensial (Agersten et al., 2019). Samanlikna med perioden 1971-2000 er intensiteten i styrregn venta å auke med om lag 40% mot år 2100 (Svehagen, 2019). Allereie er ei nedbørsauke merkbar. På Vestlandet er det registrert 15-20% meir årsnedbør, og tilsvarande auke i episodar med styrregn (Jaedicke et al., 2008). Teoretisk fører meir nedbør til høgare vassinnhald i skredmassane som kan gi lengre utløpsdistanse og potensielt eit større skadeomfang (Norem & Sandersen, 2014; Øydvin et al., 2011). For Noreg viser resultat frå GeoExtreme-prosjektet ei generell auke i jord- og flaumskredfrekvens for heile landet. Størst auke er venta langs kysten frå Vestlandet til Nord-Norge (Jaedicke et al., 2008).

I tillegg til auka nedbør er det òg venta større svingingar og raskare vêromslag. Fleire episodar med langvarig tørke avløyst av intense nedbørsperiodar som styrregn-hendinga i Jølster er ikkje utenkjeleg (Hanssen-Bauer et al., 2016; Nabizadeh et al., 2019; NVE, 2019; Sorteberg et al., 2018). Dette førar til at den geografiske fordelinga av skred og skredfrekvensen kan endrast saman med endringar i klimaet (Bargel et al., 2011). Store delar av infrastrukturen i Noreg er utsett for kraftig og intense nedbørshendingar, særskilt infrastruktur som vegar, toglinjer og busetnad (Frauenfelder et al., 2013). Komplekse landskap og fjellområde kan gi store lokale variasjonar i nedbørsaktivitet. Få og spett fordelte målestasjonar gjer det vanskeleg å overvaka og varsle nedbør på førehand med høg nok oppløysing i tid og rom (Boje et al., 2014). Spesielt gjeld dette for styrregn, som ofte treff lokalt med stor styrke (Nikolopoulos et al., 2014; Varsom, 2017).

1.2 Problemstilling og framgangsmåte

For å kunne varsle om skred utløyst av intenst og kortvarig nedbørsbyer er det nyttig med kunnskap om kva nedbørsmengd og nedbørsintensitet som utløyser lausmasseskred. Ei betre forståinga av samspelet mellom dei meteorologiske og hydrologiske prosessar som påverkar skråningsstabiliteten er viktig, særskild med ei venta auke av meir ekstreme, og brå skift i vêrsituasjonar (Bjordal mfl. 2017; Bargel et al., 2011; Devoli et al., 2018). Ved å analysere dei meteorologiske forholda under styrtregnhendinga i Jølster 30. juli 2019 med så høg romleg- og temporal oppløysing som mogeleg ut frå ulike kjelder, og undersøkje korleis slike nedbørshendingar påverkar skråningsstabilitet og skredaktivitet, ynskjer oppgåva å bidra med:

I dette kapittelet vil resultatata bli diskutert og vurdert med oppgåvas målsetjing som bakteppe. Som presentert i innleiinga (kap. 1.2.) er ynskjer denne oppgåva å bidra med:

1. Den romlege og temporale fordelinga av styrtregnet i Jølster 30. juli 2019.
2. Relatere den romlege og temporale fordelinga for nedbørsmengd og -intensitet til lausnetidspunktane for skredhendingane.
 - Forbetre kunnskapen om lausnetidspunkt for dei største skreda som øydela eller trua infrastruktur.
 - Samanlikne dreneringssituasjon, lausneårsaker og skreddynamikk for dei ulike skreda.
 - Diskutere om årsak og skreddynamikk for lausmasseskred utløyst under sommarstyrtregn skil seg frå dei utløyst etter langvarig haust og vårstormar.
3. Observasjonane si betyding for arealplanlegging og varsling
 - Vurdera om dagens aktsemd og varsling er tilstrekkelege verktøy når det kjem til varslinga av jordskred løyst ut etter tørre periodar etterfølgt av styrtregn.

Litteraturstudie kombinert med analyse av ulike kjelder til klimadata skal belyse dei meteorologiske forholda i tida før og under styrtregnhendinga. Med utgangspunkt i registrerte og kartlagde skredhendingar i nasjonal skredhendingsdatabase, utløyst i Jølster 30. juli 2019, skal klimadata, kartanalysar og observasjonar bidra til å undersøkje dreneringssituasjon, lausneårsaker og skreddynamikk for dei ulike skreda. Basert på funna i oppgåva vil det avslutningsvis bli vurdert om lausmasseskred utløyst under sommarstyrtregn skil seg frå skred utløyst etter

langvarig haust og vårstormar, samt om dagens varslingsystem er tilstrekkeleg verktøy for skredfare knytt eit brått skifte i vêrsituasjonar tilsvarande i Jølster, frå tørre periodar til styrtregn.

1.3 Vêrsituasjonen og varslinga 30. juli 2019

Særskild varme luftmassar låg over Sør-Norge veka og helga før tysdag 30. juli 2019, og gav varme temperaturar og opphald i landet. Måndag 29. juli og tysdag 30. juli trakk eit lågtrykk inn frå nordaust. Når kald luft legg seg over varm luft får ein ustabile luftmassar (Agersten et al., 2019). Temperatur- og tettleiksforskjellar i høgda førar til ein vertikal transport av luft oppover, kalla konveksjon. Kraftig konveksjon kan danne cumulonimbus-skyer og gi lokalt styrtregn med høg intensitet, ofte med lyn, tore og hagl. I kombinasjon med tilførsel av luftfuktigheit og avkjølingseffekt frå fjellområde kan svært kraftige byer dannast. Dette var tilfellet tysdag 30. juli 2019, då slike skyer vart danna i front av lågtrykket frå nordaust, og forsterka over fjellområda kring Jostedalsbreen. Cumulonimbus-skyer har avgrensa horisontal utstrekning, men stor utstrekning vertikalt, noko som gjer det vanskeleg å varsle kvar nedbøren treff på lokal skala (N. H. Pedersen, MET, personleg kommunikasjon 13. februar 2020). Måndag 29. juli 2019 gav nedbørssituasjonen byevêr og tore i Trøndelag og nord på Austlandet. Tysdag 30. juli bevega luftmassane seg nordvest over fjellområda. Eit høgtrykk nord i Norskehavet, i tillegg til eit lågtrykk med kaldfront inn mot Vestlandet og ein kaldfront frå aust over Sør-Noreg gav ein kompleks vêrsituasjon for Vestlandet (Agersten et al., 2019).

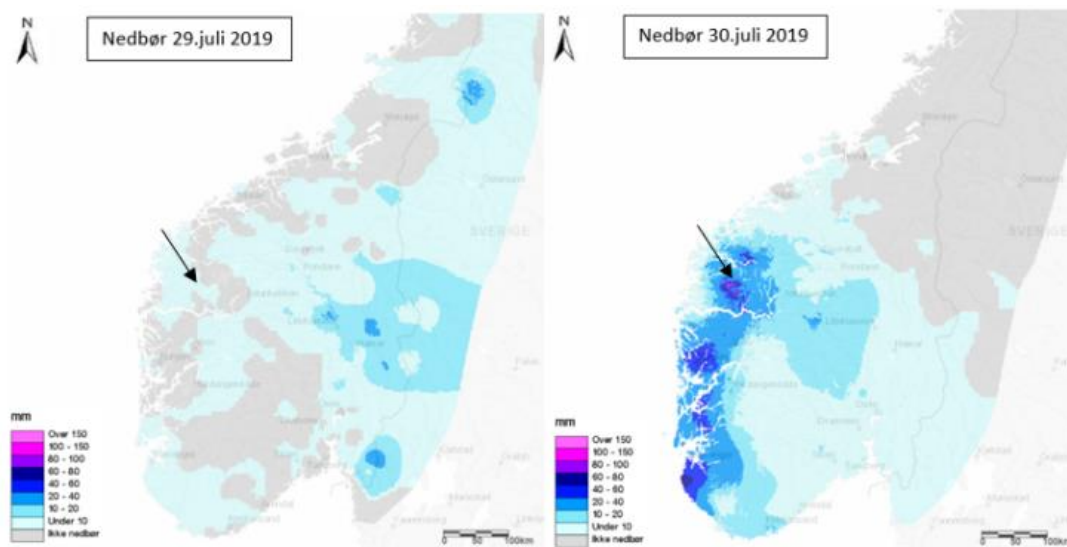
Meteorologisk Institutt (MET) sendte ut farevarsel nivå gult for Vestlandet sør for Stadt tysdag 30.juli. Varselet var gjeldande frå tysdag kl.12 til kl. 05 onsdag etter, og gjaldt lokalt kraftige regn- og torebyer (Agersten et al., 2019). I fylgje MET (2018) inneber gult farevarsel at vêret vil føre til mindre konsekvensar, eller at usikkerheita er stor kvar vêret faktisk inntreff.

Varselet tysdag 30. juli 2019 vart utsett i samarbeid med NVE, og publisert på yr.no og varsom.no, ein nasjonal nettstad som varslar om naturfarar (NVE, 2019). På nettstaden finn ein òg jordskredvarslinga i Noreg, driven av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) med det føremål om å kunne varsle lokal og regional beredskap om fare for jord-, flaum- og/eller sørpeskred på regionalt nivå (Norem & Sandersen, 2014).

Ein skil mellom jordskredvarsling og jordskredfare. Jordskredvarslinga er basert på analysar av historiske skreddata, samt to interpolerte hydrologiske parametarar; vassmetting og vasstilførsel samanlikna med middelårstilførsel av vatn (referanseperiode 1981 -2010). Varslinga skjer når

kombinasjonen av døgnnedbøren i % av middelårsnedbøren og vassmettinga i jorda indikerer sannsyn for skred. Jordskredvarslinga er på fire nivå; grønt, gult, oransje og raudt, der grønt er det lågaste. Varselet for jordskredfare er basert på ein totalvurdering ut frå kombinasjonen av terskelverdiane og fleire lokale hydrometeorologiske observasjonar og prognosar. Operatøren for varslinga får innspel frå vakthavande meteorolog før varselet går ut (Boje et al., 2014; Norem & Sandersen, 2014; Sandøy et al., 2017).

Prognosane for Vestlandet tysdag gav 50-90 mm nedbør i døgeret med nedbørsintensitet frå 15 til 20 mm/t. NVE vurderte at gult farevarsel frå Meteorologisk Institutt var nok ettersom nedbøren truleg ikkje ville bli stillestående, og flaum- og jordskredfare vart difor ikkje varsla (NVE, 2019). Men vêrsituasjonen denne dagen opphald seg i eit sadelpunkt, eit omgrep nytta når ein har eit område liggjande mellom to høgtrykk og to lågtrykk. Eit sadelpunkt fører til ein stillestående vêrsituasjon, som i Jølster resulterte i mykje nedbør lokalt tysdagen. Interpolert nedbørsdata frå det siste døgeret for måndag 29. juli og tysdag 30.juli 2019 syner at Vestlandet fekk mykje nedbør. Særs høge nedbørsmengder fekk Jølster og nærliggjande område (indikert med pil i figur 1), med verdiar mellom 100-150 mm (xGeo, 2020a, 2020b).



Figur 1 Romleg fordeling av nedbør på Vestlandet 29. juli 2019 og 30.juli 2019. Området Jølster er indikert med svart pil. Henta frå xGeo.no. (xGeo, 2020a, 2020b)

1.4 Hendingsgang

I fylgje Meteorologisk institutt kan nedbørsmengda som råka Jølster 30.juli 2019 kallas tohundreårsregn. Statistisk vil slike mengder nedbør dette døgeret ha eit gjentaksintervall på 200 år, med sannsyn for å overskride på 0,5 kvart år (NTB, 2019). Den kortvarige og intense

nedbøren dette døgeret resulterte i store øydeleggingar, kostnadar og tap for bygda under Jostedalsbreen.

Rundt kl. 14 tysdag 30. juli 2019 byrja det å lyne og tore, med moderat nedbørsmengder. Sjølv om nedbøren auka i intensitet rundt kl. 15 vart situasjonen avgjort som trygg. Vurdering var basert på tidlegare erfaringar med liknande vêrmeldingar, der sikt uvêr lokalt i Jølster ofte delte seg mot Angedalen i vest og mot Haukedalen i sør-aust (Vedlegg A).

Den fyrste meldinga om skred over hovudferdselsåra E39 (nordsida av Jølstravatnet) vart meldt kl. 16:26 til Vest politidistrikt (Rysjedal, 2019). Melding varsla om stein og vatten på E39 ved Svindalsneset, og brannvesenet køyrde ut for å stengje vegen. Utrykkinga vart stogga ved Årsetelva i Vassenden av steinar og vatten som sperra vegen, og skapa forvirring om kvar den meldte skadestaden faktisk var. Kl. 16:53 kjem meir massane ned Årsetelva, og ei hytte vert råka, medan tre bustadhus står utsett til. Området evakuerast, og kl. 16:58 vert det stadfesta at det var to separate skadestadar, Årsetelva og Svindalsneset (vedlegg A). Fleire skred vert innmeldt på same vegstrekning og i Slåtten, området vest for Vassenden. Til saman når fire skred E39 og over 150 menneske vert evakuert. Skreda skapa straumbrot, ramma teletrafikken, og sperra folk, ambulanse og bilar inne. På sørsida av Jølstravatnet går fylkesveg 5690 (då Fv 451), einaste mogelege omkøyringsveg. Denne vegen var stengd i perioden med flest skredutløysingar (rundt kl.17), men opna att utover kvelden då vêret letta. I fylgje lensmann på staden var det eit stort press frå folk som ville ut av området (Reksnes & Grimeland, 2019). Kl. 20:50 går det ein ny skredalarm, denne gongen på sørsida av Jølstravatnet, over fylkesveg 5690 ved Årnes (Kalajdzic & Folkeman, 2019). Ein personbil vart meldt teken av skredet. Etter 10-15 minutt er brannvesenet framme i båt og byrja søke. Etter kvart kjem hjelp frå helikopter og båt. Situasjonen var utrygg, og fleire skred kunne råka vegen (vedlegg A). Søket etter personbilen vart offisielt avslutta fem månadar etter hendinga. Ein mann omkom i skredet. Totalt vart det registrert 18 hendingar denne dagen (NVE, 2020b). Tabell 1 syner skred i Jølster med registrerte skredtidspunkt 30. juli 2019 i den nasjonale skredhendingsdatabasen (NVE, 2020b).

Tabell 1 Skredregistreringer utløyst 30. juli 2019 i Jølster og registrert informasjon henta frå NSDB (NVE, 2020b). Flaumskreda er gjeve egne namn for då dette ikkje var registrert, synt med kursiv.’

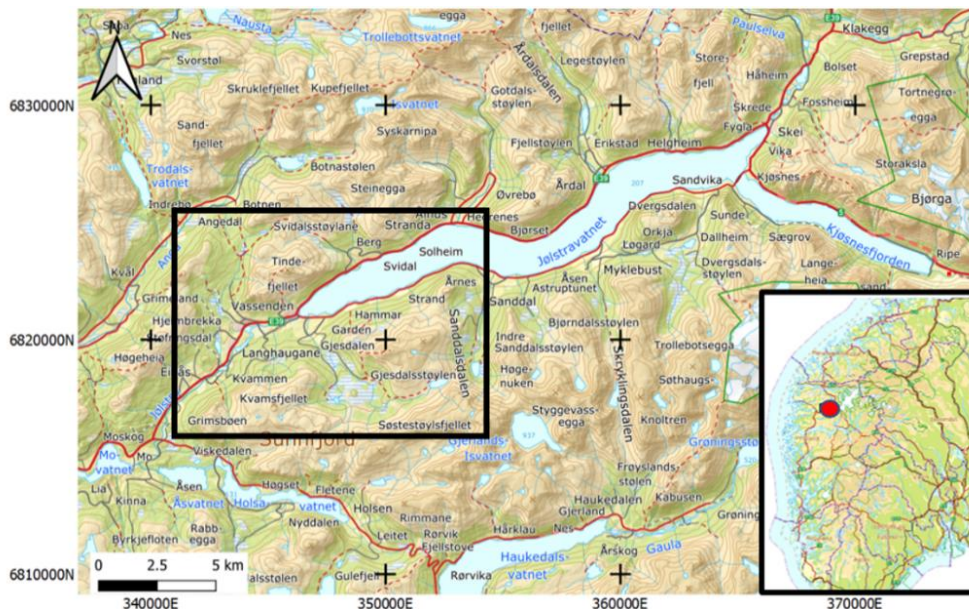
Objekt ID	Skrednamn	Skredtype	Skredtidspunkt	Nøyaktigheit registrering	Utløysingsårsak
18293	Skredene 2019 (Slåtten)	Jordskred	16:30	10 m	Naturlig utløyst
18291	Skredene 2019 (Slåtten)	Jordskred	16:30	10 m	Naturlig utløyst
18292	Skredene 2019 (Slåtten)	Jordskred	16:30	10 m	Naturlig utløyst
18294	Slåtten 2019	Jordskred	16:30	Eksakt	Naturlig utløyst
18295	Slåtten	Jordskred	16:53	50 m	Naturlig utløyst
15788	Slåtten 2019	Jordskred	16:30	Eksakt	Naturlig utløyst
15800	Slåttene, Jølster	Jordskred	16:30	10 m	Ukjent
15797	Slåtten 2019	Jordskred	16:30	50 m	Naturlig utløyst
18087	Slåtten midtre	Jordskred	17:30	50 m	Høgt poretrykk
15948	Strandsvollen, sørsida av Jølstravatnet (Årnes)	Jordskred	20:49	50 m	Høgt poretrykk
15817	Årsetelva, Vassenden	Jordskred	16:40	Eksakt	Naturlig utløyst
18306	Løsetslåtten 2019 (E39)	Jordskred	16:30	Eksakt	Ukjent
18305	Løsetslåtten 2019 (E39)	Jordskred	16:30	Eksakt	Ukjent
15804	Løsetslåtten 2019 (E39)	Jordskred	16:45	Eksakt	Naturlig utløyst
68201	<i>E39 Støylen</i>	Flaumskred	16:45	± 15 min	
68202	<i>E39 Støylen</i>	Flaumskred	16:30	± 30 min	
68193	<i>Svindalsneset</i>	Flaumskred	16:50	± 10 min	
68205	<i>Flata (Slåtten)</i>	Flaumskred	16:30	± 30 min	

Nedbørshendinga 30. juli 2019 utløyste over 50 skred i Jølster i fylgje Rouault et al. (2020), som i ein pågåande studie har kartlagt skredhendingar i Jølster utløyst denne dagen. Denne oppgåva vil ta utgangspunkt i dei største skreda som øydela eller trua infrastruktur, og som er registrert i Nasjonal skredhendingsdatabase (heretter forkorta NSDB) synt i figur 2 og i tabell 1. Som det kjem fram av tabellen er det knytt usikkerheit til nøyaktig lausnetidspunkt og plassering for fleire av skreda. Eit mål med oppgåva er å relatere den romlege og temporale fordeling av nedbørsmengd og intensitet opp mot lausnetidspunktane for skredhendingane, og følgeleg er skredas plassering og tidspunkt for skredutløysing viktig. Det vil difor bli undersøkt om observasjonar frå augevitne kan bidra med meir presist tidspunkt for skredhendingane. Oppgåva har ikkje som mål å forbetre kartlegginga av skredas plassering då det ville blitt for tidskrevande, samt at det allereie er studiar under arbeid med meir fullstendig kartlegging av skredhendingar utløyst i Jølster, basert på Sentinel satellittdata (Lindsay et al., in prep.; Rouault et al., 2020) og feltarbeid og dronemotogrammetri (Rüther et al., in prep.)

2. Beskriving av området

2.1 Jølster

Kommunane Jølster, Førde, Naustdal og Gaular vart i 2020 slått saman til Sunnfjord kommune, ein del av Vestland fylke. Tidlegare Jølster kommune grensa til Førde i sør, vest og nord, i tillegg til Naustdal og Gloppen i nord. I Aust grensa kommunen til Stryn, Luster og Sogndal (Helleve, 2016) (figur 2).

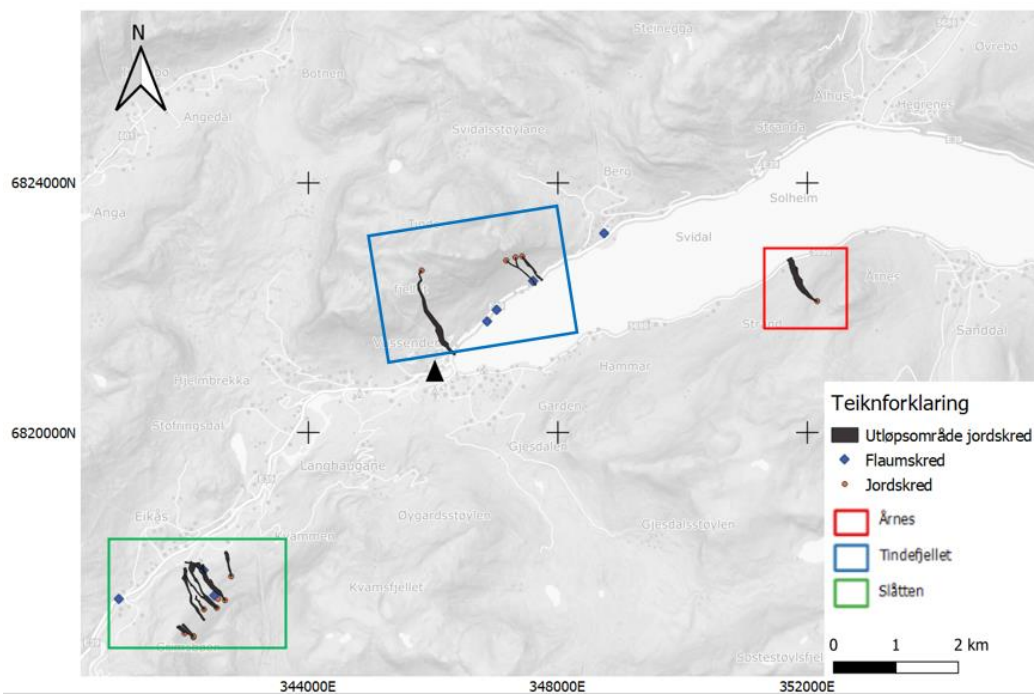


Figur 2 Kartutsnitt som syner Jølster. Svart firkant syner studieområdet i Jølster, synt i figur 3


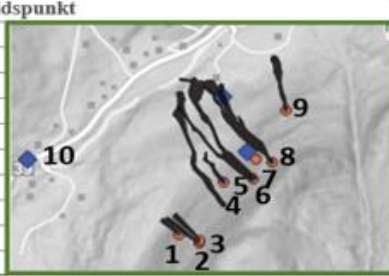

Jølster har vel 3000 innbyggjarar. Arealet på den tidlegare kommunen var 663km², derav 25 km² dyrka mark, 118 km² produktiv skog, og 480 km² fjell- og breområder (Helgheim, 2000).

Tettstadane Vassenden i vest og Skei i nord-aust ligg høvesvis to og fire mil frå Førde (Thorsnæs & Askheim, 2020). Dei fleste innbyggjarane er busett kring Jølstravatnet, eit tre mil langt vatn som strekk seg gjennom store delar av den tidlegare kommunen (Helgheim, 2000). I nordaust mot Gloppen ligg Myklebustbreen, den sjuande største breen på fastlands-Norge. Her ligg òg Jølsters høgaste punkt, Snønipa, 1827 moh. (Helleve, 2016). Sør for Jølstravatnet, på grensa til Førde, ligg Grovabreen, 1472 moh. Myklebustbreen og Grovabreen er sidearmar av Jostedalsbreen i aust, med sitt platå på omkring 1800 moh. (Thorsnæs & Askheim, 2020).

Studieområdet omfattar hovudsakleg områda der det er registrert skredhendingar med lausnetidspunkt 30. juli 2019; Slåtten i vest (grønt rektangel, figur 3 og 4), ved Tindefjellet på E39 (blått rektangel, figur 3 og 4) i nord og Årnes (raudt rektangel, figur 3 og 4) i sør-aust. Vidare i oppgåva vil skredområda bli omtalt, og referert til, som Slåtten, Tindefjellet og Årnes.



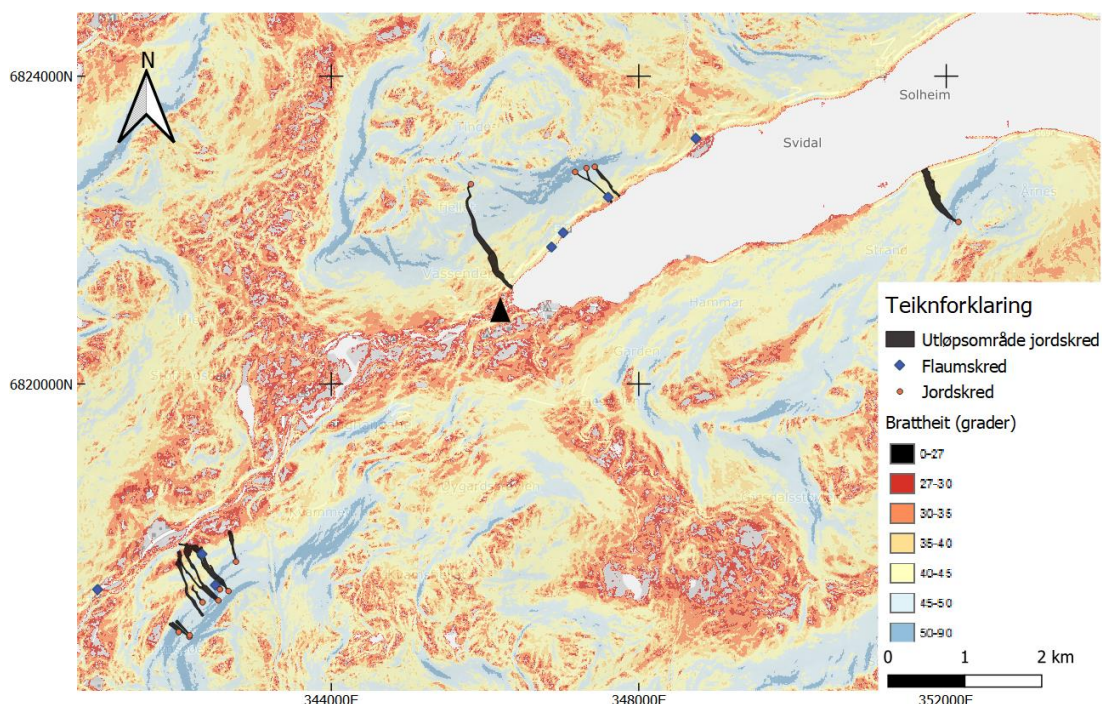
Figur 3 Kartutsnitt som viser studieområdet i Jølster, med skredområda Årnes (raudt område), Tindfjellet (blått område) og Slåtten (grønt område)(NVE, 2020b). Svart trekant viser Nedre Vassenden i Jølsters. Jordskreda er synt med raud prikk, flaumskred med blå. Informasjon tilknytt skreda i områda er synt i figur 4 (NVE, 2020b).

Skred nr.	Skrednamn	Skredtype	Skredtidspunkt	
1	Årsetelva, Vassenden	Jordskred	16:40	
2	Løsetslåtten 2019 (E39)	Jordskred	16:30	
3	Løsetslåtten 2019 (E39)	Jordskred	16:30	
4	Løsetslåtten 2019 (E39)	Jordskred	16:45	
5	E39 Støylen	Flaumskred	16:45	
6	E39 Støylen	Flaumskred	16:30	
7	Svindalsneset	Flaumskred	16:50	
Skred nr.	Skrednamn	Skredtype	Skredtidspunkt	
1	Skredene 2019 (Slåtten)	Jordskred	16:30	
2	Skredene 2019 (Slåtten)	Jordskred	16:30	
3	Skredene 2019 (Slåtten)	Jordskred	16:30	
4	Slåtten 2019	Jordskred	16:30	
5	Slåtten	Jordskred	16:53	
6	Slåtten 2019	Jordskred	16:30	
7	Slåttene, Jølster	Jordskred	16:30	
8	Slåtten 2019	Jordskred	16:30	
9	Slåtten midtre	Jordskred	17:30	
10	Flata (Slåtten)	Flaumskred	16:30	
ObjektID.	Skrednamn	Skredtype	Skredtidspunkt	
15948	Strandsvollen, sørsida av Jølstravatnet (Årnes)	Jordskred	20:49	

Figur 4 viser dei dei registrerte skredhendingane i NSDB med utløysingstidspunkt 30. juli 2019; Årnes (raudt område), Tindfjellet (blått område) og Slåtten (grønt område)(NVE, 2020b). Svart trekant viser Nedre Vassenden i Jølster

2.2 Topografi

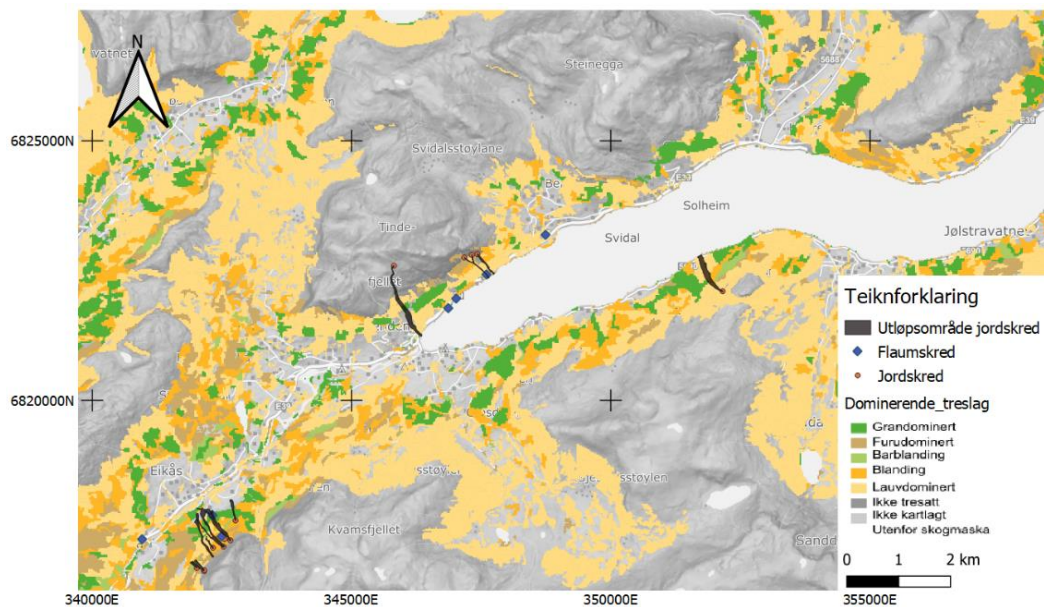
Topografien i eit område legg føresetnader på kva type skred som kan utløysast, frekvensen av skredhendingar samt påverke skredløpet og utlaupsområde (Hefre et al., 2019). Jølster ligg i ein glasialt utforma U-dal, der bratte fjellsider når opp til 1636 moh. (Thorsnæs & Askheim, 2020). Området har fleire hengedalar på tvers av dalføret, der hovuddalføret ligg om lag 200moh. og fylgjer dei same topografiske hovudlinjene som fjordane på Vestlandet, frå fjella i aust mot Norskehavet i vest som erosjonsbasis (Helgheim, 2000). Bratte fjellsider gir potensielle områder for steinsprang, medan det i lausmassedekka skråningar kan bli utløyst jord- og flaumskred. Skredhendingane som undersøkjast i oppgåva er jord- og flaumskred, som utløysast oftast der skråningsvinkelen er mellom 25-45° (Boje et al., 2014; Norem & Sandersen, 2014; Øydvin et al., 2011). Figur 5 syner hellinga i studieområdet i Jølster. Av figuren kjem det fram at området stort



Figur 5 Kart som syner brattheit i grader av topografien i studieområdet, samt registrerte skredhendingar 30. juli 2019 (NVE, 2020b). Jordskreda er registrert med lausneområde med helling mellom 45°-90°. Helling under 27° synast ikkje i figur.

Slakare områder er dyrka mark, og myr -og bekkeområder. Vegetasjonen er hovudsakleg i boreonemoral sone (Artsdatabanken, 2016) som er overgangen mellom den boreale barskogsona og den nemorale lauvskogsona (Sunding, 2019; Austad & Støle, 1992). Høgtliggjande område i Jølster er prega av lauvskog, med spett fordeling av furudominert og blandingsskog. Planting av gran på produktive skogsareal har vert gjort sidan 1960-talet (Thorsnæs & Askheim, 2020) (grønt

område på figur 6). Skog kan ha betydning for skredutløysing og skredutløp for nokre typar skred. Ein tett skog vil potensielt bidra til skråningsstabilitet og poretrykksoppbygging og redusere sannsynet for utløysing av lausmasseskred, eller redusere stabiliteten ved til dømes rotvelt ol. Betydninga av skog blir difor inkludert i vurderinga av skredfare og i faresonekartlegginga (Breien et al., 2015; Høydal & Sandersen, 2019).



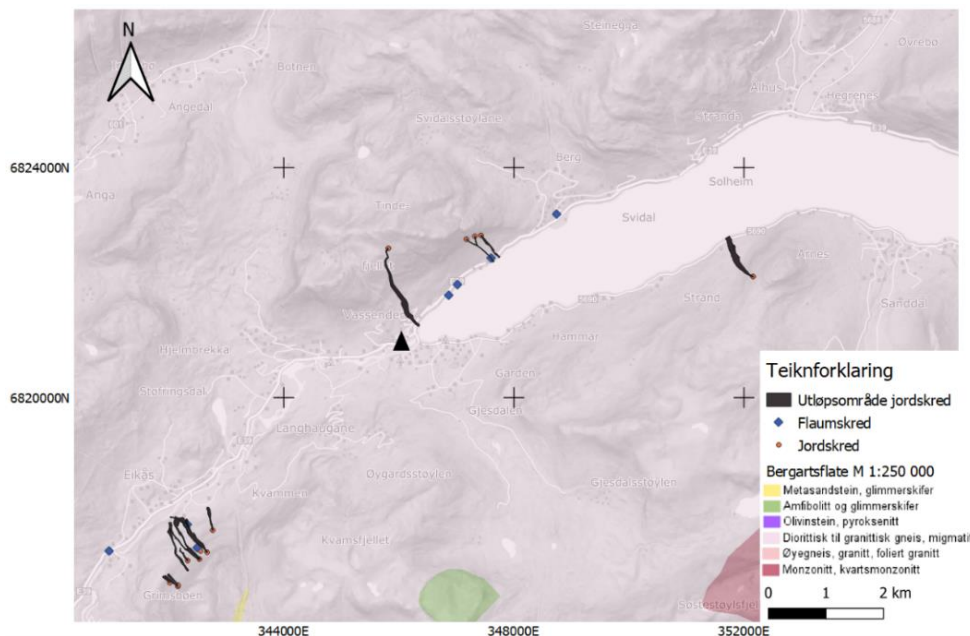
Figur 6 Oversikt over dominerande treslag i Jølster. Av figuren kjem det fram at området er prega av mykje lauv- og blandingsskog (lys brun og oransje på figur), med spette flekker av planta granfelt (mørk grønt) og furudominert skog.

2.3 Geologi

2.3.1 Berggrunn

Området er prega av det gamle grunnfjellet, og består hovudsakleg av gneis med diorittisk til granittisk samansetjing (rosa farge på figur 6). Gneis er den vanlegaste bergarten i grunnfjellsområdet og er ei gruppe med middels til grovkorna bergartar forma under høgt trykk og temperatur (Raade, 2020). I sør finn ein innslag av kvartsmonzonitt/monzonitt (synt med burgunder farge på kart, figur 6), ein grovkorna og hard bergart, der den nokre stader er omdanna til augegneis, i tillegg til noko metasandstein (gult) og amfibolitt (grønt) (figur 7).

Berggrunnskartet som synast over studieområdet i Jølster er i målestokk 1:250 000.

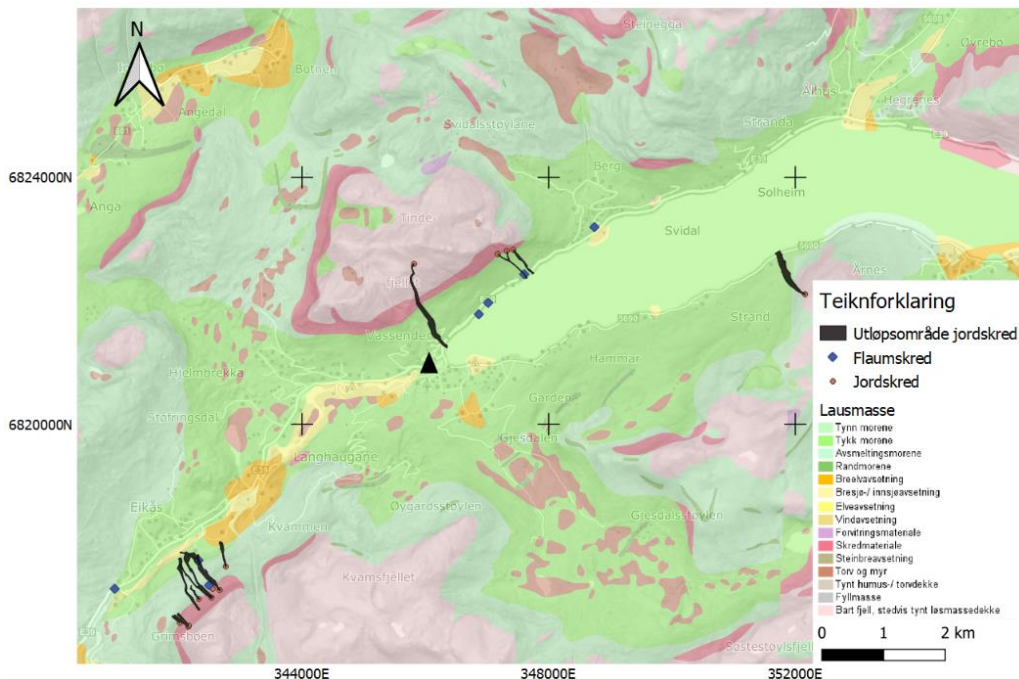


Figur 7 Berggrunnskart over studieområde med skred utløyst 30. juli 2019 (NVE, 2020b). Vassenden, Jølster er synt med svart trekant. Berggrunnen består av diorittisk til granittisk gneis (rosa på kart).

2.3.2 Lausmassar

I Jølster finn ein morenemassar (grønt, figur 8), som er dårleg sorterte massar med fraksjoner frå leire til stein og blokk, frå dalbotn og oppover til bart fjell (lys rosa, figur 8). For områda i vest er morenemateriale og avsmeltingsmorene dominerande lausmassestypar på begge sider av Jølstravatnet. Mot aust er dalsidene prega av mykje bart fjell og skredmateriale (mørk rosa, figur 8). Dalbotn har fluvialt avsette massar (gult, figur 8). Område med oransje farge er avsetningar frå siste istids breelvar. Det er varierende mektigheit på lausmassedekke, med størst mektigheit i slakare områder og der det er fordjupingar i terrenget (figur 8).

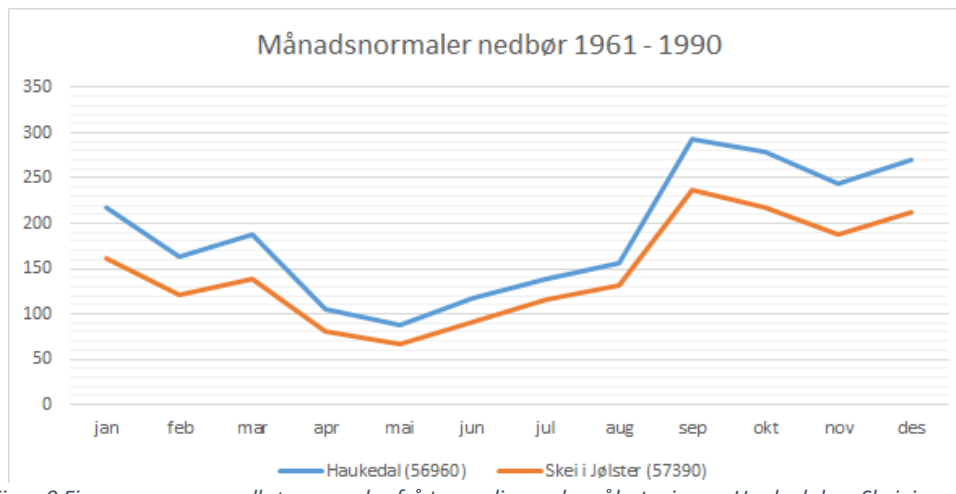
Lausmassekartet er i målestokk 1:250 000, og er berekna for på gi ein regional oversikt. For nokre av områda i Jølster eksistera det lausmassekart med betre oppløysing, utforma av NGU i forbindelse med i farekartlegging i området. Dette gjeld områda med busetting kring Årnes; Myklebust – Årnes (Stalsberg et al., 2018) og Hammar – Kjelsnes (Sandøy et al., 2018), som er på sørsida av Jølstravatnet. Desse er basert på detaljert kartlegging og er i målestokk 1:10 000. I tillegg eksistera det eit kart over Årnes i målestokk 1: 50 000 (Aa, 2006). Ettersom desse vil gi ein betre indikasjon på lausmasseforholda lokalt i Jølster, vil desse bli studert og referert til ved eventuell bruk.



Figur 8 Kvartærgeologisk kart M: 1:250 000 som syner lausmassar i studieområdet i Jølster med skred registret utløysingstidspunkt 30. juli 2019 (NVE, 2020b). Vassenden, Jølster er synt med svart

2.4 Klima

Områda vest i Jølster har eit maritimt klima, med milde vintrar og kjølige somrar. Det er lite svingingar i dagleg og årleg temperatur. Områder med maritimt klima har høg luftfuktigheit, og mykje nedbør og vind (Harstveit, 2018). Aust i Jølster vert klimaet påverka av Jostedalsbreen, og har kjøligare vintrar, medan sommartemperaturen er lik som i aust (Hefre et al., 2019). I forbindelse med farekartlegging i Jølster i 2019 analyserte Norges geotekniske undersøking (NGI) klimaet i Jølster. Dei nytta gridda data frå Senorge.no med data frå ni ulike punkt i området. Det vart analysert års- og månadsnormalar, samt ekstremanalyse av nedbør, snødjupn og snøtilvekst (Hefre et al., 2019). Det kjem fram i deira rapport at årsmiddeltemperaturen i lågtliggjande områder er på 4,5°C, og 0°C i fjellområda (over 100 moh.). Vest i Jølster er årsnedbøren ein stad mellom 2100 og 2400 mm, medan den er under 2000 mm i aust (Hefre et al., 2019). Figur 10 syner nedbørsnormalar for målestasjonane Haukedal og Skei i Jølster for perioden 1961-1990. Perioden september – desember er mest nedbørsrik, medan april – august er perioden då det fell minst nedbør. Normal nedbørsmengd i juli månad er høvesvis 138mm og 115mm for Haukedal og Skei (figur 9).

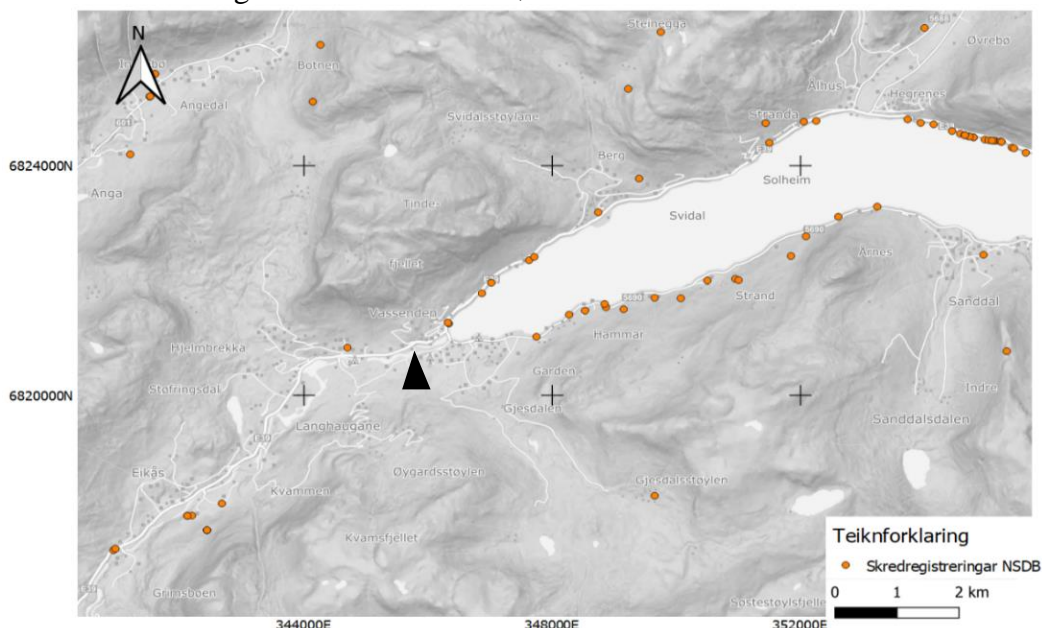


Figur 9 Figur som syner nedbørsnormalar frå to nærliggande målestasjonar, Haukedal og Skei, i perioden 1961-1990. Nedbørsdata er henta frå eKlima.no (eKlima, 2020)

2.5 Skredhistorikk

Nasjonal skredhendingsdatabase (forkorta NSDB heretter) på nettsida NVE Atlas gir tilgang til tidlegare registrerte skredhendinga (Bargel et al., 2011; NVE, 2020c). I Noreg omfattar NSDB over 3000 registrerte skred, men kvaliteten på data er varierende og ufullstendige.

Skredhendingane i NSDB er ofte knytt til infrastruktur som vegar, jernbaner og områder med busetnad, og registrert med geografisk og temporal unøyaktigheit, og der ulike skred kategorisert som feil skredtype (Guzzetti et al., 2007; Jensen et al., 2015). NSDB gir likevel nyttig informasjon som gir ein indikasjon på skredaktiviteten i området. Figur 10 syner historiske registrerte skredhendingar i studieområdet i Jølster.



Figur 10 Oversikt over historisk registrerte skredhendingar i Jølster er synt med oransje prikk. Svart trekant syner Vassenden, Jølster. Skredregistreringane er henta frå NVE Atlas (NVE, 2020b)

3 Skred

Skred, eller «landslide» på engelsk, er ein geologisk prosess der tyngdekrafta set material som stein, lausmassar eller snø i bevegelse ned ei skråning i terrenget. Rørsla av massane kan skje ved fall, velt, gliding, spreining og strøyming (Bargel et al., 2011; Blikra et al., 1989; Jensen et al., 2015). NVE, som har det overordna ansvaret for statlege forvaltingsoppgåver innan førebygging av flaumskadar og skredulukker, klassifiserer skred i tre hovudgrupper etter kva material som inngår: fastfjell, lausmassar og snø (tabell 2) (Norem & Sandersen, 2014; Øydvin et al., 2011).

Skreda utløyst i Jølster 30. juli inngår i hovudgruppa lausmasseskred, ei gruppe som omfattar flaumskred, jordskred, utgliding (grunne jordskred), leirskred og kvikkleireskred. Lausmassar er alle typar massar som ligg over fast fjell (berggrunnen). Massane varierer i kornstørrelse (stein, grus, sand, silt og leire), og

kan innehalde organisk og anna material (Jensen et al., 2015; Øydvin et al., 2011). Forskjell i kornstørrelse, terrengform og vassinnhald skil lausmasseskreda frå kvarandre. Som følge vil lausmasseskreda ha ulike lausne- og utløysingsmekanismar, rørsle, utløpslengd og avsetningsform (Norem & Sandersen, 2014).

Denne oppgåva vil omfatte flaumskred og jordskred ettersom det var desse typar lausmasseskred som vart utløyst under styrtregnet i Jølster, andre skredtypar vil ikkje bli gått nærare inn på.

3.1 Flaum- og jordskred

Begge er skredtypar der vassmetta lausmassar flyttar seg hurtig i bratte skråningar og elveløp, og ved høg nok vasstilførsel er det vanleg at mange jordskred utviklar seg til flaumskred (Norem & Sandersen, 2014; Øydvin et al., 2011). Desse likskapane gjer at omgrepa ofte vert nytta om kvarandre (Colleuille, 2013). Det vil under bli gått gjennom dei karakteristikkane som kjenneteiknar dei to skredtypane.

Flaumskred

Flaumskred er ein vassrikt utgliding som bevegar seg hurtig ned elve- og bekkeløp, ravine, gjel, skar eller andre søkk i terrenget der permanent vassføring ikkje er vanleg. Flaumskred utløysast oftast der skråningsvinkelen er mellom 25-45°, men kan bli utløyst i lågare skråningar (10-15°)

Tabell 2 Klassifisering av skredtypar ut frå forholdet mellom vatn, stein, jord, snø og is. Henta frå Norem & Sandersen (2014) s.11

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

(Hefre et al., 2019; Øydvin et al., 2011). Høg grunnvasstand som fylgje av langvarig nedbør, samt korte og intense regnbyer og sterk snøsmelting, er viktige utløysingsfaktorar for flaumskred. (Boje et al., 2014).

Dei fleste flaumskreda i Noreg vert utløyst gjennom erosjon i samanheng med stor vassføring som dannar ein vassmetta sedimentstraum, eller oppdemming av vassveg som følgje av jordskred. Flaumskred kan ha stor eroderande kraft, og rive med og ta opp meir vatn og sediment tilgjengeleg langs løpet (Colleuille, 2013; Norem & Sandersen, 2014). Mengdeforholdet mellom sediment og vatn i skredmassane vil avgjere rørsletype, hastigheit og utløpslengd. Ved høgt vassinnhald vil rørsla bli styrt av dei hydrodynamiske lovene og prosessen vera fluvial, noko som svarar på debris flood, medan ved lågt vassinnhald er prosessen ein gravitasjonsdrive massestraum, altså debris flow (Colleuille, 2013; Norem & Sandersen, 2014). For flaumskred kan mengda partiklar variere mellom 40-70% av det totale volumet (Norem & Sandersen, 2014), og som følgje vert flaumskred beskrive som ein overgangsform mellom ein massestraumprosess og ein fluvial prosess (Blikra et al., 1989; Colleuille, 2013).

Flaumskred kan gå som eit samanhengande skred, eller i pulsar (engelsk: surges).

Utløpsdistansen kan bli opp mot ein kilometer, og i teorien stoppar ikkje skredet før hellinga er 0° (Bargel et al., 2011; Colleuille, 2013). Skredmaterialet vert avsett som levéar langs skredløpet og i tungar, og som ein vifteform i utløpsområdet, med det grovaste material ved roten av vifta. Størst fare for flaumskred er områder med bratte nedbørsfelt og tynt lausmassedekke som gir rask respons ved vasstilførsel (Norem & Sandersen, 2014). Det høge vassinnhaldet i skredmassane gir at flaumskredet kan nå høg hastigheit og eit stort volum. Difor har flaumskred eit stort skadepotensial (Devoli et al., 2018; Øydvin et al., 2011).

Jordskred

NVE definerer jordskred som raske utglidingar og rørsle av vassmetta lausmassar i bratte skråningar. Skredløpet til jordskred går, i motsetnad til flaumskred, oftast utanom definerte vassvegar, og følgjer naturlege fordjupingar i terrenget. Det skiljast mellom kanaliserte og ikkje-kanaliserte jordskred, i tillegg til grunne jordskred eller utglidingar jordskred (Jensen et al., 2015; Norem & Sandersen, 2014; Sandøy et al., 2017). Utglidingar eller grunne skred oppstår i slakare terreng med vassmetta finkorna material. Denne typen jordskred er vanleg om våren når ein får utglidingar på tele (Schanche, 2014; Norem & Sandersen, 2014), og blir ikkje sett på i denne oppgåva.

Kanaliserte jordskred (engelsk: debris flow) er vanlegast i tjukke lausmassar. Ved utløyising skjerer jordskredet gjennom massane ned til berggrunnen og dannar ein kanal, eller erodera i eksisterande kanalar. Skredmassar som går ut av kanalen vert avsett parallelt med kanalen som langsgåande ryggar (Norem & Sandersen, 2014; Øydvin et al., 2011).

Ikkje-kanaliserte jordskred (engelsk: debris avalanche eller debris slide) har oftast opphav i skråningar med tynne lausmasseavsetningar eller lagdelte lausmassar. Skreda startar som regel som ei utgliding der massane gradvis breia seg ut nedover skråninga. I nokre tilfelle kan slike skred få trekantform, men ein meir uregelmessig form er vanlegast.

Skredmaterialet for begge typar jordskred vert avsett i ein tungeforma rygg med det grovaste materialet nedst i utløpsområdet (Norem & Sandersen, 2014; Sandøy et al., 2017; Øydvin et al., 2011).

Utløyisinga av både kanaliserte og ikkje-kanaliserte jordskred skjer i skråningar med gradient over 25° , som regel ved brå utgliding langs eit glideplan. Sjølve brotkanten er halvsirkelforma (Colleuille, 2013). Generelt vil skredfaren auke med aukande skråningsvinkel grunna gravitasjonskrafta, men sjeldan i skråningar over 45° då det her ikkje akkumulerast lausmassar i stor nok grad. Hastigheita til jordskred vert, som med flaumskred, bestemt av vassinnhald og topografi. I starten av skredprosessen er hastigheita låg, men skredet kan utvikla stor hastighet og eit stort volum, særskilt dersom lausmassedekket er vassmetta og mektigheita stor (Colleuille, 2013; Norem & Sandersen, 2014). Rørsletypen er karakterisert som gravitasjonsdrive massestraum (Øydvin et al., 2011). Eit jordskred erodera og transporterar som regel alt av lausmassar og vegetasjon i skredløpet, og det kan ta lang tid før vegetasjon og lausmassar vert reetablert der skredet har gått. Utløpsområdet for jordskred er når skråningsgradienten er rundt 20° , med ein utløpsdistanse på normalt under 500 m (Colleuille, 2013).

3.2 Statistiske føresetnadar og utløysande faktorar

Eit skred vert utløyst når skjerkreftene er større enn dei motsettande kreftene i massane, skjjerfastheita (Bogaard & Greco, 2016; Jørgensen et al., 2013). Skjerkreftene er drivkrafta som vil flytte massane ned skråninga, medan normalkrafta, som verkar normalt på massane, vil skape motstand i form av friksjon og tregheit mot flytting (figur 11). Forholdet mellom dei stabiliserande kreftene (skjjerfastheita) og dei drivande kreftene (skjerkreftene) gir eit mål på kor stabil ei skråning er (Bogaard & Greco, 2016). Fleire faktorar påverkar skråningsstabiliteten og

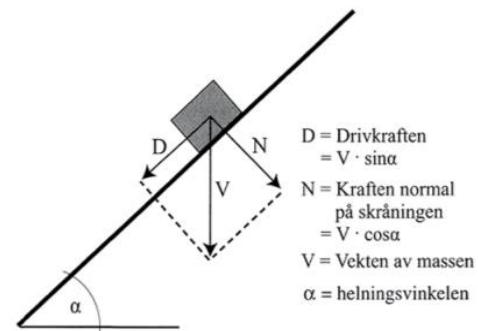
potensialet for skredutløysing. Desse vert ofte delt inn i statistiske føresetnadar og utløysande faktorar (Colleuille, 2013; Sidle & Bogaard, 2016). Dei statistiske føresetnadane omfattar området topografi (terrengform og helling), geologi (lausmasstype og mektigheit, lagdeling og kornfordeling), vegetasjon (type og tettleik) og hydrologiske forhold (vassvegane i skråninga) (Colleuille, 2013). Desse endrar seg naturleg langsamt, dvs. hundre til millionar av år. Ved

menneskeleg påverknad kan føresetnadane derimot endre seg raskt, til dømes ved endring av arealtype og bygging av infrastruktur (Schanche, 2014). Dei statistiske føresetnadane avgjer kor stabil ei skråning er. Litteraturen fremjar tre føresetnader som viktigast for utløysing av flaum- og jordskred; skråningsvinkelen lyt vera stor nok, nok lausmassar til stades i skråninga og at lausmassane har låg stabilitet. I tillegg trengst det ein utløysande faktor for skredutløysing (Crosta et al., 2012; Norem & Sandersen, 2014; Øydvin et al., 2011).

Dei prosessar som påverkar skråningsstabilitet over kort tid (timar-veker), der påverknaden resultera i ein brå respons i form av skredaktivitet, er utløysande faktorar (Crosta et al., 2012). Sjølv om jordskjelv, vulkansk aktivitet, menneskeleg aktivitet og påverknad frå andre skredtypar kan utløyse skred, er den vanlegaste utløysingsårsaka for flaum- og jordskred knytt til meteorologiske og hydrologiske prosessar. Skred utløyst av nedbør vert ofte kalla nedbørsrelatert eller nedbørsindusert skred (Devoli et al., 2018; Hungr et al., 2014; Sandøy et al., 2017). Nedbør er den viktigaste utløysingsfaktoren for jordskred og flaumskred generelt (Iverson, 2000; Sandøy et al., 2017) og relevant for skredhendingane i Jølster 30. juli 2019. Som følge vert det fokusert på nedbør vidare.

3.3 Nedbørsrelaterte utløysingsfaktorar

Både tilførsel og tilstadeverande av vatn påverkar stabiliteten til lausmassane (Boje et al., 2014; Crosta et al., 2012; Sandersen et al., 1996). Grunnvatn er det vatnet som fyller alle porer og sprekker i grunnen, og finst i den metta sona under grunnvass-spegelen. Over grunnvass-spegelen er jorda umetta, med delvis vassfylte porerom og sprekker. Dei fleste grunnvassmagasina i Noreg er små og tynne, noko som gjer dei kjenslevar for meteorologiske variasjonar. Snøsmelting og nedbør over lengre periodar vil føre til vassmetting i jorda. Mykje nedbør om hausten og vinteren



Figur 11 Krefter som verkar på masse (grå firkant på figur) i ein skråning. Henta frå Halvorsen & Sulebak (2009).

er typisk for områder langs kysten og låglandet, og eit høgt grunnvassnivå er difor vanleg på denne tida av året. Slike forhold gir auka sannsyn for flaum- og jordskred (Krøgli et al., 2018; NVE, 2020a). Kor raskt grunnvatnet stig avheng av ulike statistiske føresetnader (forklart under), i tillegg til grad av intensitet, varigheit og mengd på nedbøren.

3.3.1 Lausmassars eigenskapar - porøsitet og permeabilitet

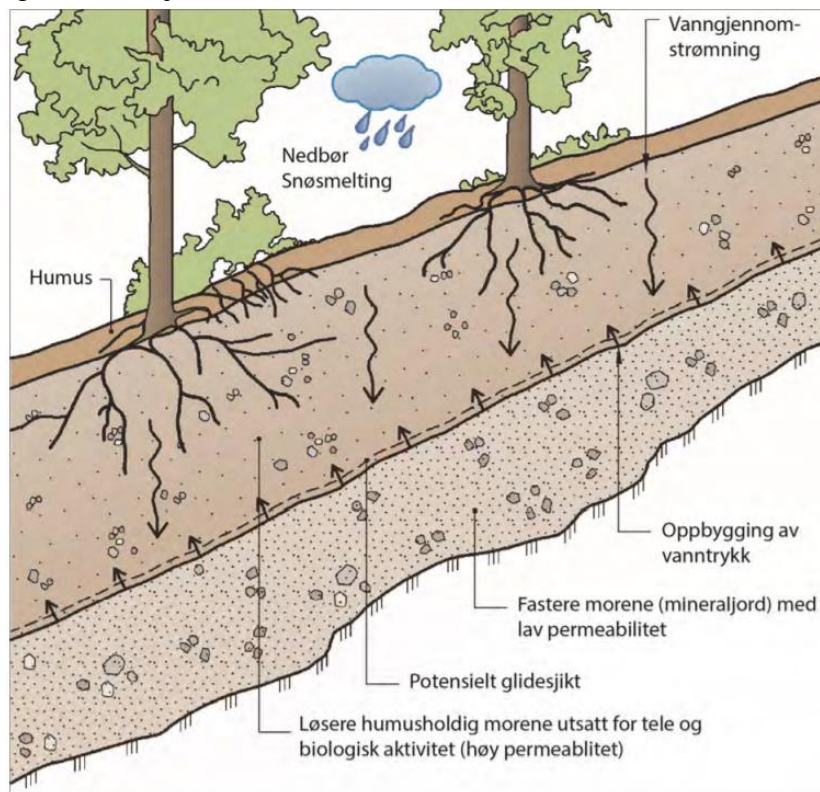
Ein deler jordartar etter kornstørrelse i friksjon – og kohesjonsjordartar. Kornstørrelsane frå sand til blokk inngår i friksjonsjordartane (kornstørrelse $> 0,006$ mm), der jordartanes skjærstyrke kjem av friksjonen mellom korna. Hellinga der friksjonsjordartar er stabile ligg mellom $35-40^\circ$.

Friksjonsjordartar kjenneteiknast med høg porøsitet og permeabilitet, som hindrar oppbygging av poretrykk (Statens Vegvesen, 2017). Volum tilgjengeleg for vatn i lausmassane avheng av porøsitet, og er eit mål på forholdet mellom porevolumet og det totale totalvolumet av lausmassane. Høg porøsitet gir meir rom til vatnet og hindrar slik poretrykksoppbygging, medan permeabilitet gjer det lett for vatnet og strøyme gjennom massane. Komprimering, høgt fuktnivå eller dårleg sortering vil redusere både porevolum og permeabiliteten.

Kohesjonsjordartane silt og leire (kornstørrelse $< 0,006$ mm), har høg friksjonsvinkel, der skjærstyrka kjem av kohesjon i massane som held jordartane saman. Dette kjem av kapillærkreftene, dei intramolekylære kreftene som verkar mellom korna og vatnet, som saman med kohesjon bidreg til auka skjærfastheit (Norges Geologiske Undersøkelse (NGU), u.å.). I kohesjonsjordartane er poreromma mindre enn i friksjonsjordartane, noko som redusera permeabiliteten (Jørgensen et al., 2013). Kohesjonsjordartar er difor meir utsett for poretrykk. På eit punkt vil auka poretrykk føre til ei svekking av kohesjon og dei kapillære kreftene.

Ein kan ha høg porøsitet, men dersom porene ikkje er «knytt saman» slik at strøymingsvegen blokkerast, vil permeabiliteten bli låg. Både porøsitet og permeabilitet spelar såleis ei viktig rolle med tanke på nedbørshendingar og vassmetting i lausmassane, skråningsstabilitet og dermed utløyning av lausmasseskred. Låg porøsitet og/eller permeabilitet vil påverke lausmassars respons på ei nedbørshending. Eit døme som illustrera dette godt er morene, då eit typisk jordprofil i morene består av to lag med stor variasjon i permeabilitet. Dette, kombinert med at morene dekkar mange av landets fjellsider, er årsaka til at dei fleste jordskred utløysast i morene (Colleuille, 2013; Norem & Sandersen, 2014). I morene er det øvste laget svært permeabelt grunna biologisk aktivitet, frostpåverknad og vegetasjon. Derimot er det nedste laget konsolidert med låg

permeabilitet (Norem & Sandersen, 2014). Ved infiltrasjon kan poretrykket auka i overgangssona mellom desse laga og fungere som eit glideplan, der utgliding av det øvste laget ofte glir ut i forbindelse med jordskred (figur 12) (Bargel et al., 2011). I tillegg til glideplan innan lausmassedekket vil ein òg ha ein tilsvarande overgang i kontaktflata mellom lausmassedekket og grunnfjellet. Over tid vil kjemisk og fysisk forvitringa bryte ned berggrunnen, ofte kalla *in-situ* forvitring (Sandøy et al., 2017). Lag av finere sediment blir akkumulert dersom det ikkje blir erodert, og vil kunne fungere som glideplan. Utgliding av vassmetta lausmassedekke generelt er vanleg utløysingsårsak for jordskred (Colleuille, 2013; Norem & Sandersen, 2014).



Figur 12 Eit typisk jordprofil for morene- to lag med ulik permeabilitet. Vatn som infiltrerer gjennom det øvste høgpermeable laget blir stagnert av det lågareliggjande laget med låg permeabilitet, som kan gi oppbygging av poretrykk og eit potensielt glideplan langs laggrensa. Skissa henta frå Sandøy et al. (2017).

3.3.2 Poretrykk

Infiltrasjon er prosessen der nedbør og anna vassstilførsel trengjer ned (perkulerar) i bakken. Når vatn blir tilført på overflata av massane vil det bevega seg vertikalt nedover grunna tyngdekrafta og kapillærtrykkgradienten (Hornberger et al., 2014). Infiltrasjonshastigheita blir styrt av eksisterande fuktnivå i massane, porøsitet og permeabilitet og vegetasjon (forklart under i kap.

3.4.3) (Horton, 1933). Nedbør, eller anna auka vasstilførsel resultera i høgare grunnvasstilstand og vassmetting i jorda, og kan ha stor betydning for skråningsstabiliteten (Bogaard & Greco, 2016). I Noreg er den vanlegaste utløyingsårsaka for jordskred knytt til høgt poretrykk. Dette skjer ved korte og intensive regnbyer, eller etter nedbør over ein lengre periode, i nokre tilfelle kombinert med snøsmelting (Bargel et al., 2011; Boje et al., 2014; Devoli et al., 2018; Sandøy et al., 2017). Nivå av fuktigheit i lausmassane før ei nedbørshending påverkar kor mykje meir vatn som krevst for å nå metting, og kontrollera størrelsen på poretrykket generert under og etter nedbørshendinga, som følgeleg påverkar skråningsstabilitet (Johnson & Sitar, 1990).

Høgt porevasstrykk

Auka poretrykk og vassmetting førar til mindre kontakt mellom korna, og redusera både friksjon og kohesjon og dermed skjerfastheita (figur 13) (Ricketts, 2016; Schanche, 2014).

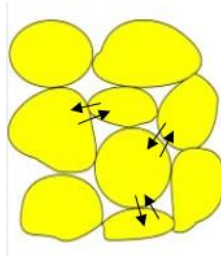
Nivå av fuktigheit i lausmassane før ei nedbørshending påverkar kor mykje meir vatn som krevst for å nå metting, og kontrollera størrelsen på poretrykket generert under og etter nedbørshendinga, som følgeleg påverkar skråningsstabilitet (Johnson & Sitar, 1990). Fleire studiar peikar på betydninga av

tidlegare nedbørsmengder og mettingsnivå, der skred hovudsakleg utløyast i forbindelse med positivt poretrykk (Crozier, 2010; Guzzetti et al., 2007; Sidle & Bogaard, 2016). Meir lokalt syner ei nyleg innsendt men d.d. upublisert studie frå Anestølen i Sogndal (Bondevik & Sorteberg, 2020) at utløyning av eit jordskred ikkje skjedde på tidspunktet for nedbørstoppen på 70 mm i døgeret tidlegare på hausten 2013, men derimot på tidspunktet då grunnvassnivået var særskilt høgt. Skredutløyninga skjedde i kombinasjon med rett under 50 mm døgnet nedbør under stormen Hilde 15. til 16. november 2013.

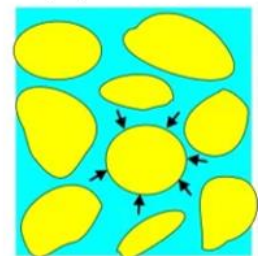
Lågt porevasstrykk

Langvarig tørke kan føre til at den øvste delen i massane tørkar ut. Dei kapillære kreftene forsvinn, og skråningsstabiliteten blir redusert (Sandøy et al., 2017). Uttørking påverkar jordas struktur, der tap av vatn førar til at jorda skrumpar inn. Særskild gjeld dette kohesjonsjordartane.

Umetta jord: Skjerstyrke
grunna kohesjon og friksjon
mellom korna



Vassmetta jord: Aukande
poretrykk reduserer kohesjon
og friksjon mellom korna.
Skjerstyrken forsvinn



Figur 13 Syner samanhengen mellom poretrykk og skjerstyrke, der auka poretrykk og vassmetting førar til mindre kontakt mellom korna, og redusera både friksjon og kohesjon. Figuren er modifisert etter Ricketts (2016)

I jordoverflata får ein sprekkdanningar og reaksjonar mellom partiklane. Deira evne til å absorbere og halde på vatn gir svelling og ekspansjon når vatn er tilgjengeleg. Når poretrykket blir lågare vil massane trekke seg saman, samstundes som aggregat (klumpar av partiklar) og djupe sprekker blir danna (UiO, 2018). Jordoverflata vil ha vanskeleg for å ta imot nedbør kort tid etter ein tørkeperiode. Det overfløydige vatnet vil renne av overflatevatn, medan sprekkdanninga gjer det mogeleg for hurtigare infiltrasjon av vatn i sprekkene og føra til raskare poretrykkoppbygging lokalt (Sandøy et al., 2017). I fylgje Flaaten & Aalvik (2019) har NVE satt nokre av skredhendingane i Jølster 30. juli 2019 i samband med tørke etterfølgd av kraftige regnbyer, der skorpedanning på jordoverflata truleg førte til overvatn som raskt fylte elvar. I elveløpa utvikla det seg på kort tid flaumskred som eroderte med enorm kraft og gav store skadar (Flaaten & Aalvik, 2019).

3.3.3 Vegetasjon

Vegetasjonen rolle for skråningsstabiliteten kan grovt delast i to: 1. Regulering av poretrykket ved intersepsjon og evaporasjon, og auke i permeabiliteten (grunna røter). 2. Rotsystema har ein bindande effekt, og tilfører forankring og ekstra kohesjon (lateralt) (Breien et al., 2015; Norem & Sandersen, 2014; Sandøy et al., 2017; Sidle & Bogaard, 2016). Stabiliseringseffekten frå vegetasjon avheng av fleire faktorar, blant anna type vegetasjon, alder, tettleik og sesong. Evapotranspirasjon vil vera høgst i vekstsesong. I fylgje Norem & Sandersen (2014) vil ein stor og tett skog gi best stabiliserande effekt. Skogen bør ikkje vera for gamal ettersom rotvelter og rotnande røter gir rom for lokal infiltrasjon og oppbygging av poretrykk. På sikt vil reduserande rotstyrke i kombinasjon med massevekt påverke skråningsstabiliteten negativt. Den bindande effekten styres av kor djupt røtene går, røtenes strekkfastheit og type (Breien et al., 2015; Sandøy et al., 2017; Sidle & Bogaard, 2016). Det skiljast mellom tre typar røter; pelerot, fastrot og flatrot, der pele- og fastrot gir best stabilitet. Djuptgåande røter vil kunne stabilisere gjennom ulike laggrenser, medan grunnare rotsystem bidra til auka kohesjon og stabilisering i øvste lag (Breien et al., 2015; Sidle & Bogaard, 2016)). I tillegg til den stabiliserande effekten vil vegetasjon gi friksjon i skredbana som redusera hastigheita og slik påverke erosjon og skreddynamikken. Skredmassar med mykje vegetasjonsmateriale kan gi redusert skredutløp grunna auka sannsyn for oppstuing og bremsing av hastigheita (Breien et al., 2015).

3.4 Nedbør og lausmasseskred.

Ein skil ofte mellom to kategoriar av nedbør, langvarig nedbør med låg intensitet og nedbør med høg intensitet men kort varigheit. Orografisk og stratiform nedbør er typar som høyrer til den fyrste kategorien, medan konvektiv nedbør den sistnemnde (Ødemark et al., 2012).

Nedbørstypane har ulike eigenskapar, både når det gjeld temporal og romleg fordeling, og nedbørsintensitet. Dette gjer at ulike nedbørstypar vil ha ulik påverknad på skråningsstabilitet og ulike skredutløysingsfaktorar.

Noreg er eit land med ulike geografiske forhold som gir klimatiske variasjonar. Fjellformasjonen som skil vest frå aust i Noreg har stor betydning for nedbørsfordelinga i landet. Fuktig vind frå vest er vanleg. Når vinden treff dei høge fjella mellom vest og aust blir lufta pressa opp og avkjølt. Ettersom kald luft kan halda på mindre fuktigheit enn varm, fell fuktigheita ned som regn i vest. Nedbøren vert kalla orografisk nedbør, og er årsaka til at Vestlandet får mykje nedbør gjennom året (Metrologisk institutt, 2017).

I møte mellom luftfrontar oppstå stratiform nedbør, òg kjent som frontnedbør. Denne typen nedbør førekjem ofte samstundes med orografisk nedbør, og har dei same kjenneteikna med langvarig og lågintensiv nedbør over eit relativt stort areal (Ødemark et al., 2012). Stratiform nedbør er vanleg langs kyststrøka i Noreg, med mest nedbør om hausten, og minst på seinvinter og om våren.

Konvektiv nedbør gir intense nedbørsbyer med kort varigheit over eit lite areal, og den typen nedbør som råka Jølster 30. juli 2019 (Agersten et al., 2019), og mest relevant for oppgåva. Konvektiv nedbør kjem av oppvarma luft nær bakken som stig og vert avkjølt, og følgeleg vanlegast om sommaren i Noreg. Når lufta vert avkjølt ved oppstigning når den ved eit punkt kondensasjonsnivået for heving (engelsk: Lifting condensation level). Ved dette punktet er mettinga i lufta nådd og skyer vert danna. Den fuktige lufta går over til dropeform, noko som frigjer latent varme. Dette fører til ei auke i temperaturen rundt skyene, og dråpene stig raskare. Etter kvart som dråpene stig og smeltar samen med andre dråper vert dei tyngre. Prosessen vert gjenteke til dråpene vert så store at dei overstig oppdrifta og fell ut av skya som regn (N. H. Pedersen, MET, personleg kommunikasjon 13. februar 2020).

Generelt er lågtrykk frå vest er den vanlegaste årsaka til nedbør i Noreg, med høgst aktivitet haust og vinter. Desse gir ofte langvarige nedbørsperiodar (Dannevig & Holm, 2019). På hausten utløyast lausmasseskred ofte som følgje av lengre periodar med høg lågtrykksaktivitet i

kystnære strøk. Høg nedbørsintensitet og snøsmelting om våren eller kraftig konvektiv nedbør om sommaren er mest vanleg skredutløyysande årsak i innlandet (Boje et al., 2014).

Porevasstrykk, erosjon og høgare massevekt som følgje av auka vasstilførsel er hovudårsakane til at nedbør utløysar skred (Norem & Sandersen, 2014), noko både langvarig nedbør med låg intensitet og kortvarig, høgintensit nedbør kan føra til. Ettersom tyngdekrafta er ein funksjon av massevekt (kap. 3.3) vil skjerkreftene «styrkast» med auka vassmetting i massane (Dimakis, 2013), og skråningsstabiliteten svekka. Ofte får ein fleire skredhendingar som følgje. Til dømes utløyste ein langvarig nedbørsperiode (oktober til desember) mellom 50-100 skred på austlandet i 2000 (Krøgli et al., 2018). Langvarige hauststormar og kraftig snøsmelting om våren gir ofte høg vassføring i elvar og bekkar. Kraftige, lokale byer medfører mykje vatn på kort tid. Dersom infiltrasjonsraten overstigast vil det overfløydige vatnet kunne føre til kraftige, eroderande strøymar ut i lausmassar der ein naturleg erosjonshud ikkje er oppretta (Norem & Sandersen, 2014; Boje et al., 2014). Dette skjedde truleg i Jølster 30. juli 2019, då to elvar gjekk over sine breidder og eroderte nye elveløp, og flauma over E39 fleire stadar (NVE, 2020c).

3.5 Klima og lausmasseskred

Som presentert i innleiinga (kap. 1.1) syner klimaframskrivingane ei venta auke i intensitet og frekvens av nedbørsepisodar. Klimaendringar vil føre til fleire overfløymingar, nedbørsrelaterte lausmasseskred og hendingar som i Jølster 2019 (Gariano & Guzzetti, 2016; Hanssen-Bauer et al., 2016; Jaedicke et al., 2008; Svehagen, 2019; Bargel et al., 2011). Nedbør, enten som langvarig nedbørsepisodar, eller korte og intense, utløysar ikkje alltid skred. Utfordringa når det kjem til nedbørsrelaterte skred er å avgjere kvar og når eit dei vil utløysast (Bogaard & Greco, 2016). Med bakgrunn i dette vil denne oppgåva undersøkje nedbørshendinga i Jølster 30. juli 2019 med så høg romleg- og temporal oppløysing som mogeleg for å bidra med kunnskap om skredutløyysande nedbørsintensiteter og -mengder, og prøve knytte desse til dei lokale føresetnadar for skredutløysing i Jølster.

4 Metode

Kapittelet vil gi innsyn i kva metodar som er nytta i oppgåva for å analysere styrtregnet og skredhendingane i Jølster 30. juli 2019. Metodane vil bli presentert i den rekkefølga dei er utført, og slik at dei høver inn etter kva mål dei skal bidra med informasjon til for å møte. Føremåla med metodane er forklart i kvart delkapittel. Det vil oppgitt noko teoretisk bakgrunn for dei ulike metodane, medan svakheitene knytt til metodane for det meste vil bli drøfta i diskusjonen.

4.1 Litteraturstudie

Litteratur knytt til jord -og flaumskred vart på førehand av masteroppgåva studert for å danne eit betre kunnskapsgrunnlag om lausmasseskred. Hovudfokuset i litteraturstudien har vert nedbørsrelaterte flaum -og jordskred, med vekt på utløysingsmekanismar knytt til nedbør, og nedbørens påverknad på skåningsstabilitet. Dette grunna at skredhendingane i Jølster vart utløyst etter ei styrtregnhending som truleg bidrog til utløysinga av skreda. Resultatet frå litteraturstudien er nytta i teori-kapittelet i oppgåva, men vil følgeleg prege diskusjonen og konklusjonen i oppgåva. Vidare har rapportar, dokument og avisartiklar relatert til styrtregn-hendinga i Jølster 30. juli 2019 blitt gjennomgått for å få ei oversikt over hendingsgangen denne dagen. Mykje av dette resultatet er synt i oppgåvas innleiing. Særskilt har rapporten frå Metrologisk Institutt (MET) «Intense byer med store konsekvensar i Sogn og Fjordane 30. juli 2019» (Agersten et al., 2019) gitt eit godt grunnlag for det meteorologiske aspektet ved hendinga i Jølster, samt rapporten frå beredskapsstyrken i Jølster (vedlegg A). NVE sine nettstadar, skredregistreringar (nveatlas.no) og varslingsstenesta (varsom.no) har vert til stor hjelp til å lokalisere tal på, og omfanget av, skredhendingane i Jølster. Avisartiklar relatert til styrtregn-hendinga i Jølster har bidrege til ei betre forståing av konsekvensane, og peika ut nøkkelpersonar som i etterkant har blitt kontakta for meir utdjupande informasjon, observasjonar og refleksjonar kring hendingsgangen denne dagen.

4.2 Synfaring

Det ble gjennomført synfaring saman med rettleiar og ei bachelorgruppe den 9.september 2019. Området for synfaring var Årnes i Jølster, og jordskredet som gjekk der 30.juli 2019. Formålet med feltarbeidet for bachelorgruppa var detaljert kartlegging, medan synfaringa i kontekst av denne oppgåva var å få eit inntrykk av nedbørsrelaterte lausmasseskred, samt å få ei betre

forståing for kva parametrar som kan være med på å påverke skredutløysing. Skredet blei undersøkt frå utløpsområde til lausnepunkt.

Den 26. februar 2019 blei det gjort synfaring i bil saman med to lokalkjente i områda kring Vassenden i Jølster som vart hardast råka under styrtregnet 30.juli 2019. Dei lokale var delaktige i beredskapsstyrken lokalt i Jølster, og kjente til dei råka områda. Synfaringa vart gjort i forbindelse med samtaler om sjølve hendingane denne dagen, og nyttig for å få ei betre forståing av situasjonen, både i tid og rom.

4.3 Dataoversikt

Tabell 3 syner data nytta i oppgåva til kartanalyse i QGIS, utarbeiding av kart og klimastatistikk.

Tabell 3 Oversikt over data nytta til utforming av kart og klimastatistikk

Data	Skildring
Kartdata frå Statens Kartverk https://kartkatalog.geonorge.no/	Topografisk Norgeskart . Kartdata 3 gråtonar WMS Topografisk Norgeskart - Kartdata3 WMS Høgde digital overflatemodell (DOM) 1 m skyggerelieff WMS Høgde digital terrengmodell (DTM) helling prosent sømløs WMS WMS for SAT-SKOG frå NIBIO
Norges geologiske undersøkelse http://www.ngu.no/emne/kartinnsyn	Berggrunnskart M 1:250 000 Kvartærgeologisk kart M 1:250 000 Infiltrasjonsevne Mektigheit lausmassar
Norges vassdrag- og energidirektorat (NVE) https://atlas.nve.no/ https://kartkatalog.nve.no/#wms	NVE Atlas, registrerte skredhendingar Elvenett ELVIS
eKlima http://www.eklima.no/	Metrologiske data og statistikk frå vêrstasjonar drifta av Meteorologisk institutt (MET)
xGeo www.xGeo.no	Meteorologiske og hydrologiske data
Meteorologisk institutt (MET) v/ Christoffer Atturi Flo https://thredds.met.no/thredds/catalog/metusers/christofferae/projects/Ru ther/catalog.html	Data frå vêrradar med 5 minutt- og ein times oppløysing

4.4 Geografisk informasjonssystem ArcGIS og QGIS

Geografisk informasjonssystem (GIS) er programvareverktøy for kartlegging og analysering av data som er geografisk stadfesta i eit referansesystem (Berman et al., 2018; Dick, 2015; Ørstavik & Mæhlum, 2015). I GIS blir enten raster- eller vektormodell nytta for beskriva romlege data. For geografiske objekt er vektormodellar høveleg - vektordata er koordinatbasert og representert som punkt, linjer eller polygon (Dick, 2015). Rastermodellen representera romlege data ved å dele verden inn i celler, der kvar celle får ein verdi som representerer noko særskilt for plasseringa, til dømes høgde eller nedbørsmengd. Rasterdata er egna til representasjon av geografiske felt, og nyttas ofte til bilete, der kvar celle representarar ein fargeverdi, eller digitale høgdemodellar (DHM), der kvar celle har ein høgdeverdi (Dick, 2015; Esri, 2020d; Kartverket, 2020).

I denne oppgåva blei programvara ArcGIS, ArcMap 10.7.1. nytta til analyse av overflatedrenering i studieområdet ved hjelp av verktøyet *Flow Accumulation (Spatial Analyst)* tilgjengeleg i ArcGIS. Det meste av analysering og framstilling av ulike kartdata vart gjort ved å nytte QGIS, ein GIS-programvare, open og fritt tilgjengeleg for nedlasting på internett. Programmet gir moglegheit til å behandle kartdata, både vektor- og rasterkart, på same måte som ArcGIS. I begge programma vart koordinatsystemet UTM sone 32N saman med datum WGS (World Geodetic Systems) 1984 nytta.

4.4.1 Flow accumulation

Analyse av overflatedrenering i studieområdet vart utført ved hjelp av verktøyet *Flow Accumulation (Spatial Analyst)* tilgjengeleg i ArcGIS. Resultat av ein slik analyse syner mengde vatn som leiar ned i ei celle frå høgareliggjande celler. Tap av vatn til vegetasjon, fordamping eller infiltrasjon vert ikkje medrekna i Flow accumulation (Esri, 2020c). Ein slik analyse vil likevel gi eit estimat på kvar overflatevatnet samlar seg, til dømes ved ei kraftig nedbørshending. Det krev noko forarbeid før ein kan gjera ein Flow accumulation-analyse. Terrengmodellen som vert nytta må sjekkast for unaturlege fordjupingar og hol i terrengmodellen. Dette blir gjort ved å nytte verktøyet *sink* (Esri, 2020e) og korrigert med verktøyet *fill* (Esri, 2020a), begge tilgjengeleg i ArcGIS. I dette tilfellet vart ingen unaturlege fordjupingar identifisert. Flow accumulation krev ein raster som syner retninga vatnet vil drenerast gjennom cellene før analysen kan køyrast. Ved å nytte verktøyet *Flow direction* vil resultatet bli ein raster med denne informasjonen (Esri, 2020b). I oppgåva er det nytta ein terrengraster som input i *Flow direction*, der resultatet (ein

raster) vidare vart nytta som input for *Flow accumulation*. *Flow accumulation*- analysen summerer kor mange celler som drenerer vatn gjennom ei celle, slik at ein då får ein verdi på kvar celle som syner kor mange celler som drenera til den gitte cella. Ei celle med høg verdi indikerer opphoping av vatn, og kan nyttast til å identifisere mogelege bekke- eller elveløp (Esri, 2020c).

Resultatet frå *Flow accumulation* vart ved hjelp av verktøyet *Raster to other format* konvertert til ein geoTIFF, eit rasterformat som kan lesast i QGIS. I dette tilfellet vart analysen utført for å undersøkje overflateavrenning i eller kring skredhendingane sine lausneområde, Slåtten, kring Tindfjellet og Årnes (sjå figur 4 kap. 2.1). Analysen er utført på digital høgdemodell (DHM) med 1m oppløysing produsert frå Lidar (Light Detection and Ranging).

4.5 Analyse av meteorologiske og hydrologiske data

Innsikt i dei meteorologiske og hydrologiske forholda før, under og etter skredhendingane i Jølster er naudsynt for å kunne seia noko om skredutløyssande årsaker, og ikkje minst knytte nedbørsintensitet og nedbørsmengd opp mot utløyssingstidpunkta. I oppgåva er det nytta meteorologiske og hydrologiske data henta frå eKlima og xGeo.no. I områda kring Jølster er det få målestasjonar. Ingen nærliggjande målestasjon har timesoppløysing, og den næraste stasjonen med slik dataoppløysing er Haukedal målestasjon som er omtrent 16 km i luftlinje frå Vassenden i Jølster (Sjå figur 14, kap. 4.5.3). For å oppnå høg romleg- og temporal oppløysing på nedbøren i Jølster vart, i tillegg til nedbørsdata frå nytta radardata tilsendt frå Meteorologisk Institutt.

Både eKlima og xGeo nyttar same referanseperiode på nedbørsdata, oppgitt i UTC.

Nedbørstdøgeret går frå kl. 07:00 norsk normaltid til kl. 07:00 døgeret etter. Sommartid vil nedbørstdøgeret bli målt frå kl. 08:00 til kl. 08:00. For eKlima vil observerte verdiar gå frå i går kl. 08:00 til i dag kl. 08:00. Dette inneber at det meste av nedbørsdataa tilhøyrar dagen før ein gitt dato. For å dekke styrtreghendinga i Jølster 30. juli 2019 må ein difor sjå på døgndata for 31. juli (eKlima, 2020; Engeset et al., 2018; Sandøy et al., 2017). Derimot syner xGeo prognosen for i dag frå kl. 08:00 til i morgon kl. 08:00 (xGeo, 2017). Dette gir at døgndata for den 30. juli 2019 går frå kl. 08.00 den 30. juli til kl. 08.00 den 31.juli. Dersom ein ynskjer sjå grunnvasstanden før styrtreghendinga, må ein sjekke data frå 29. juli ettersom prognosen syner fram til kl. 08:00 den 30. juli. Kart frå xGeo nytta i oppgåva vil syne rett dato i utsnittet, og interpoleringane vil altså gå fram til kl. 08:00 dagen etter.

Det er òg viktig å fremja at nedbørsdata med timesoppløysing vil syne nedbør registrert den siste timen, både for eKlima og xGeo. Fleire av skreda i Jølster er registrert i NSDB med lausnetidspunkt mellom kl. 16:30 til kl. 16:50, og nedbørsdata for desse skreda må difor hentast frå kl. 17:00.

4.5.1 Meteorologiske data og statistikk frå eKlima.no

Klimadatabasen eKlima gir tilgang til vêr -og klimadata, både historiske og sanntidsdata, frå vêrstasjonar som Meteorologisk institutt driv, eller tidlegare har drive. Tenesta er open og gratis for alle (eKlima, 2020). Frå eKlima vart det nytta nedbørsinformasjon frå målestasjonane; Botnen i Førde (Stasjonsid. 57480), Skei i Jølster (Stasjonsid. 57390) og Haukedal (Stasjonsid. 56960). Nedbørnormalar for alle tre målestasjonane i perioden 1961-1990, i tillegg til døgnverdiar med tilhøyrande statistikk for juli 2019 vart lasta ned. Av desse stasjonane er det, som nemnt, einaste Haukedal som gir tilgang på nedbørsdata med timesoppløysing. Det vart difor henta ut månadsrapport for juli 2019 med nedbørsverdiar, i tillegg til døgnverdiar for 30. juli 2019 og 31. juli 2019 frå Haukedal målestasjon.

4.5.2 Meteorologiske og hydrologiske data frå xGeo

Ekspertverktøyet xGeo.no tilgjengeleg for alle, og utvikla for bruk til beredskap, overvaking og varsling av flaum, jord -og snøskred av NVE, Meteorologisk institutt (MET), Statens vegvesen og BaneNOR. Portalen inneheld meteorologiske og hydrologiske data, i tillegg til modellsimuleringar, prognosar og historiske -og sanntidsobservasjonar (Boje et al., 2014; Colleuille et al., 2017; Devoli et al., 2018; NVE, 2018; Sandøy et al., 2017). I følge Engeset et al. (2016) går datasetta tilbake til år 1957 og modellsimuleringar gir prognoser ni dagar fram i tid. Datasetta omfattar verdiar for nedbør, lufttemperatur og ulike snø-eigenskapar samanstilt frå målestasjonar og modellar, hendingar og feltobservasjonar (Engeset, 2016; NVE, 2018). Datasetta har og ei romleg oppløysing på ein kilometer (Engeset et al., 2018), og ei temporal oppløysing på enten eit døgn (24t) eller tre timar (Devoli et al., 2018; Engeset et al., 2018). Frå xGeo kan ein henta ut metrologiske og hydrologiske data. Nedbørsdata med romleg fordeling av nedbør som rasterdata, eller som vêrdata frå målestasjonar, berekna ved interpolasjon som baserar seg på avstanden til næraste målestasjon samt høgd over havet. Noreg delast inn i 1 km² store gridceller, slik vert kvar celle vert eit eige nedslagsfelt. Nedbøren frå xGeo presenterast som nedbørsmengd (mm), der observasjonar av nedbørssummen frå målestasjonane ligg til grunn; 3 t

eller 24 t (Colleuille et al., 2017; Engeset et al., 2018). Framstillinga av hydrologiske data skjer ved simuleringar med GWB-modellen (Gridded Water Balance model) (Colleuille et al., 2017; Engeset et al., 2018). Gridcellene er her delt i høgde-soner, der kvar sone vidare er delt i arealbruksklassar (Engeset et al., 2018; Ruan & Langsholt, 2017).

Til forskjell frå eKlima kan ein på xGeo hente ut vêrdata frå målestasjonar drifta av Statens Vegvesen (SVV), Jernbaneverket (JBV) og NVE, i tillegg til dei stasjonar drifta av MET (Colleuille et al., 2017; Engeset et al., 2018; Sandøy et al., 2017).

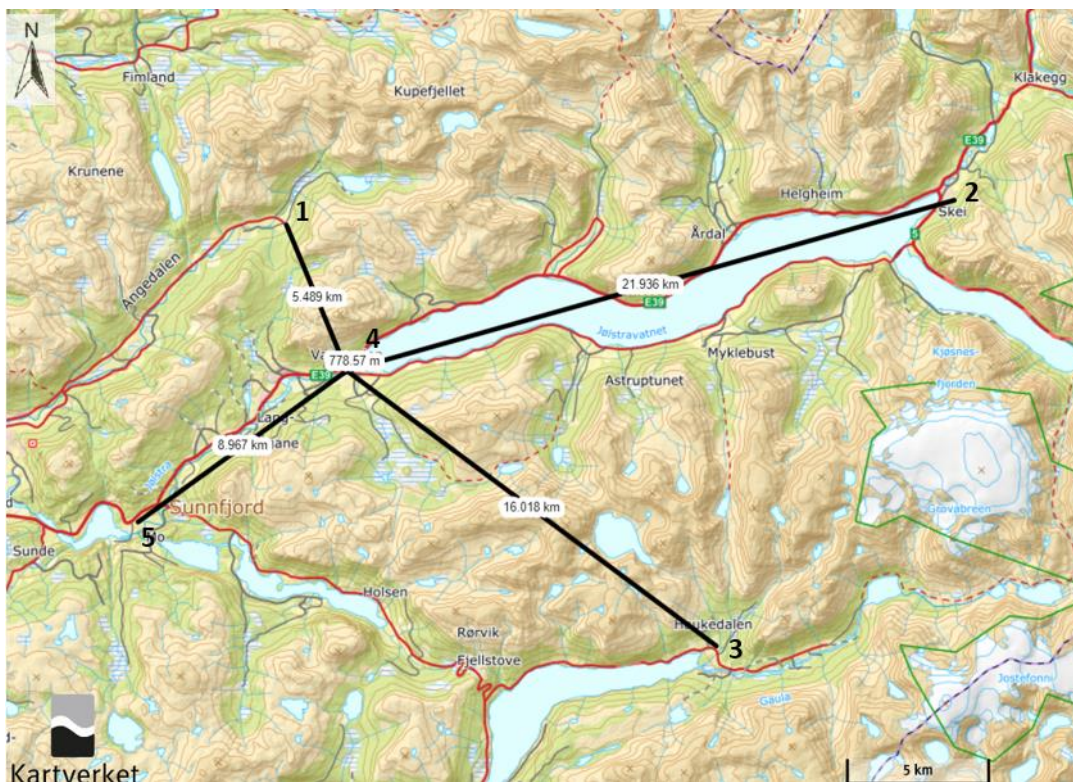
Portalen xGeo er i denne oppgåva er hovudsakleg nytta til å analysere ulike hydrologiske data som vassmettingsgrad, vasskapasitet og grunnvasstilstand, samt interpolert døggnedbør for dagane før styrtregnhending, under og døgeret etter.

4.5.3 Nedbørsdata frå målestasjonar

Målestasjonane i Noreg målar vanlegvis nedbør automatisk med vektpluviometer og vippepluviometer. Eit vippepluviometer fungera ved at ei trakt vert halden fast av ein magnet. Nedbøren fell i trakta, som vidare drypp ned i ein av to skåler. Når det er samla opp kalibrert nedbørsmengd (normalt 0,1 eller 0,2 mm) slepp magneten grepet, skåla tippast og innhaldet blir tømd. Kvar tipp registrerast lokalt eller blir fjernoverført. Nedbørsintensiteten kan kalkulerast ved målt mengde og tidsintervallet mellom kvar tipp. Vippepluviometeret nyttast mest sommarstid, og er best eigna for å avgjere intensitet og varigheit med svært god oppløysing. Vektpluviometer har ei temporal oppløysing på ein time, der nedbøren blir oppgitt i millimeter. Nedbøren akkumulerast i ei bømte der vekta kontinuerleg vert registrert kvar heile klokke.

Vektpluviometer er eigna heile året grunna ulike tilpassingar i utforminga, bruk av frostvæske i bømte og vindskjerm på nokre få stasjonar (Førland et al., 2016). Ulik metodikk vert nytta ved innhenting av nedbørsdata frå dei totalt over 400 målestasjonane ettersom dei har ulik temporal oppløysing, og er noko ein bør vera merksam på (Engeset et al., 2018; Sandøy et al., 2017). For å samanlikne målingar frå vippe- og vektpluviometer nyttas ein justeringsfaktor for timesverdien på nedbør då dei målte verdiane ikkje direkte kan samanliknast (Førland et al., 2016).

I denne oppgåva er nedbørsdata frå målestasjonar i områda nærliggjande Jølster for 30. til 31. juli 2019 og for månaden juli 2019 henta. Målestasjonane er synt i figur 14, og ei beskriving av målestasjonane er gitt i tabell 4. Som det kjem fram i tabellen er det kunn Haukedal og E39 Vassenden som har målingar med timesoppløysing.



Figur 14 Kart som viser lokasjonen til målestasjoner i området. Nummerering av målestasjoner 1-5 for enklare å knytte informasjon i tabell til kartet. Måling av distanse vart gjort med verktøyet «Teikne og måle» tilgjengeleg på Norgeskart.no. Kartet er skjermdump frå norgeskart.no © Kartverket

Tabell 4 Oversikt over nærliggande målestasjonar med avstand til Jølster, samt informasjon knytt til kvar enkelt målestasjon

Nr. på figur	Stasjons-id.nr.	Stasjon	Stasjons-eigar	Temp. [°C]	Nedbør 24t [mm]	Nedbør 12t [mm]	Nedbør 1t [mm]	Km luftlinje frå Vassenden
1	57480	Botnen i Førde	MET		X			ca. 5.5 km
2	57390	Skei i Jølster	MET		X			ca. 22 km
3	56960	Haukedal	MET	X	X	X	X	ca. 16 km
4	57365	E39 Vassenden	Statens vegvesen				X	ca. 1 km
5	57150	Førde/Moskog rør 3	NVE	Grunnvatn/ poretrykk				ca. 9 km

4.5.4 Private målestasjonar

Meteorologisk institutt mottar vêrobservasjonar frå eit nettverk av privat-eigde vêrstasjonar av typen Netamo. Vêrobservasjonane blir gjort tilgjengeleg over nett for MET, og bidreg med nyttig tilleggsdata som, i kombinasjon med METS eige observasjonsnett, gir kunnskap om lokale vêrforhold og meir presise vêrvarslingar (MET, 2018a). Plasseringa av privat-eigde målestasjonar er ikkje alltid optimal, og vil kunne påverke kvaliteten på målingane (Agersten et al., 2019). For å minske usikkerheitene knytt til dette kan råd til best mogeleg plassering finnast på MET sine nettsider (MET, 2018).

4.5.5 Nedbørsdata radar

Data frå ein vêrradar vil gi romleg informasjon om nedbør og vind, og vert nytta av Meteorologisk institutt til modelleringar og til kortidsvarsling for vêret. I denne oppgåva er vêrradar nytta for å kunne få ei betre romleg og temporal fordeling av nedbøren ettersom det ikkje eksistera målestasjonar med høg nok oppløysing i området.

I Noreg er det 11 vêrradarar (Sidselrud, 2020), der radarane Bømlo, Stad, Hægebostad, Hafjell og til dels Hurum dekkjer Vestlandet. Vêrradarane er av typen Doppler c-band, der Hurum, Hægebostad og Hafjell er dual-polarization, medan Bømlo blir oppgradert til det sommaren 2020 (C.A. Flo, MET, personleg kommunikasjon, 27. mars 2019). Ein dual-polarization radar sender og mottar pulser i både horisontal og vertikal retning. Som eit resultat gir returfrekvensane målingar av horisontale og vertikale dimensjonar på mål, og gir betre nedbørsestimat. Dual-polarization radarar evnar å skilje mellom ulike typar nedbør, samt detektere refleksjonar som ikkje skuldast nedbør og refleksjonar frå feilkjelder (Zhao et al., 2019). Kvar vêrradar har ein rekkevidde på 240 km og ei romleg oppløysing på ein km². For å få gode radarmålingar av nedbør trengst det ei rekkevidde innanfor 100km. Vêrradarane samlar inn data kvart 7,5 minutt, eller oftare, og gjer det mogeleg å estimera nedbør i områder der det ikkje er nærliggjande målestasjonar (MET & NRK, 2020; Sidselrud, 2020).

I oppgåva er det nytta radardata for døgeret 30.juli 2019 for Vestlandet i tida frå kl. 02.00 lokal norsk tid 30. juli 2019 til kl. 01.55 den 31.juli 2019. Radardata er radarrefleksjon konvertert til nedbørsintensitet, og to ulike temporal oppløysingar er analysert; mm/5 minutt og mm/time. Alle radardataa er utarbeida og levert av Christoffer A. Flo ved Meteorologisk Institutt. Radardataa

vart gjort tilgjengeleg på Meteorologisk institutt's database Thredds, og lasta ned den 23.03.2020 (mm/5 minutt) og 23.04.2020 (mm/time) (sjå tabell 3, kap. 4.3).

Ein vêrradar sender ut radiobølger som reflekterast når den treff nedbør. Radar-reflektivitet blir målt som eit volumsegmet, og blir målt i ei høgd avhengig av avstanden frå radar til det som reflekterast, radarens elevasjonsvinkel og høgde over havnivå (Vatne & Kjølseth, 2017).

Kraftigare nedbør gir sterkare ekko. Vêrradaren bereknar frekvensen på radiobølgene, og kan slik registrere nedbørens rørsle, om den er på veg mot eller frå radarsendaren, i tillegg til vind (MET & NRK, 2020; Sidselrud, 2020). Konverteringa av radarmålingar frå refleksjon (Z) til nedbørsintensitet (R) blir normalt gjort ved å nytte Z - R forholdet, og gitt ved Marshall-Palmer relasjonen: $Z = aR^b$, der a og b er variablar som avheng av type nedbør (Abdella og Engeland 2013; Sivasubramaniam et al., 2018; Vatne og Kjølseth 2017). Noreg har to ulike Z - R uttrykk, eit for snø og eit for regn. Framgangsmåten for korleis konvertering av radardata går føre kan kort summerast i sju steg (sjå tekstboks under). Standardverdiane for sommar-regn er $a=200$ og $b=1.6$ (Ødemark et al., 2012), og nytta i konverteringa av radardata i denne oppgåva. Det eksistera over 60 ulike verdiar for a og b , og usikkerheit knytt til verdiane aukar proporsjonalt med nedbørsintensitet. Ved ekstreme nedbørshendingar er det difor stor usikkerheit knytt til konverteringa (Abdella & Engeland, 2013; Ødemark et al., 2012). Ved å gjere bakkekorrigering, ein korrigering med målestasjonar og punktmålingar, eller VPR, kort for ikkje-uniform vertikal profil av reflektivitet (engelsk: vertical reflection profile), kan ein minske denne usikkerheita. VPR korrigerer for lange vertikale avstandar frå radar til det som reflekterast (Abdella & Engeland 2013).

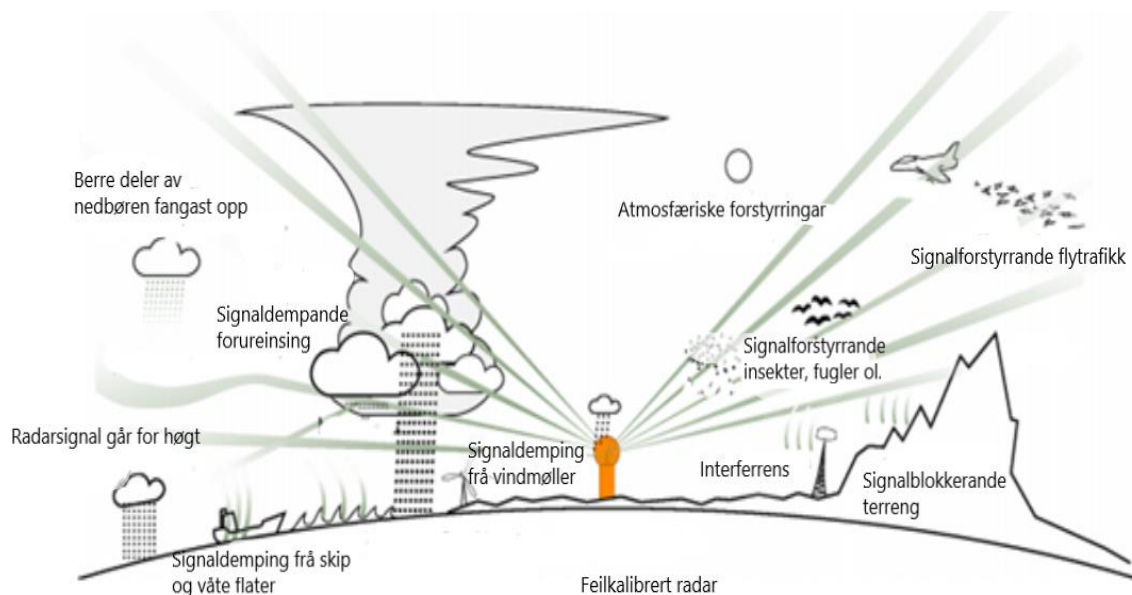
Datasettet i denne oppgåva er ikkje bakkekorrigert, men støy er fjerna ved standar filtreringsmetoder. Korreksjonsdata frå målestasjonar og/eller modelldata eksistera foreløpig berre opp til 2018, og VPR- korrigering ved konvektiv nedbør vil truleg ikkje forbetre resultatet (C.A. Flo, MET, personleg kommunikasjon, 27. mars 2019; Abdella & Engeland, 2013).

Framgangsmåte for konvertering av radardata til nedbørsintensitet ved MET

1. Radarane samlar inn rådata (ufiltret og doppler-filtret), der volumdata er i polar koordinatar
2. Data blir motteke hjå MET, og feilkjelder i radardataa som refleksjonar frå topografi, sjø, fly, vindmøller, sol, m.m. blir identifisert
3. Feilkjeldene frå topografi korrigerast med ein "inpainting" teknikk. Resten av støyen blir fjerna.
4. Dei korrigererte voluma blir sendt vidare som input til NWP modell (Numerical Weather Prediction), ein matematisk vêrvarslingsmodell nytta til å kalkulere vêret i tida framover (NOAA, u.å.) og datautveksling i Europa.
5. Nedbørstypa blir identifisert (her konvektiv nedbør)
6. Transformerer til kartesiske koordinatar i gitte projeksjonar og utsnitt
 - a) Klassifiserer nedbørstypa (sludd, snø og regn) ved hjelp av modelldata
 - b) Konverterer reflektivitet til nedbørsintensitet ved hjelp av den klassiske Marshall-Palmer likninga, der verdiane for $a=200$, og $b=1.6$.
 - c) Akkumulerer timeverdiar
7. Resultatet blir så vidare distribuert til blant anna Meteorologisk institutt's database Thredds og yr.no.

(C.A. Flo, MET, personleg kommunikasjon, 27. mars 2019)

Figur 15 syner generelle feilkjelder knytt til reflektivitetsmålingar, og som gir usikkerheiter ein lyt vera merksam på ved bruk av radardata. og auke usikkerheita knytt til Z-R forholdet (Abdella & England, 2013; Hollemann, 2006).



Figur 15 Figur som syner påverknader som kan forstyrre radarsignal og gi usikkerheiter knytt til radardata. Modifisert etter Hollemann (2006).

4.6 Augevitne

Samtaler med lokale i Jølster har bidratt til å få eit meir fullstendig bilete av situasjonen enn kva ein kunne fått frå litteraturstudie. Føremålet med samtalanane var å undersøkje om nokon av lokalbefolkninga kunne bidra med observasjonar kring den romlege og temporale fordelinga av styrtregnet og eventuelt tidspunkta for utløysinga av dei største skredhendingane. Det vart i tillegg undersøkt om nokon kjente til private vêrstasjonar i området. Ettersom det er få målestasjonar i nærliggjande områder, vil all informasjon kunne bidra til å validere målingar og statistikk frå eKlima.no, xGeo.no og data frå vêrradar.

Kvalitativ metode blir ofte nytta for å få djupare forståing og kunnskap om ein kontekst (Grønmo, 2020), og innhenting av nedbørs-relatert informasjon og om moglege private målingar kan tenkast å hjelpe på å karakterisere nedbørshendinga i Jølster 2019.

Det vart ikkje forma noko standard intervjuguide på førehand, og samtalanane kan kategoriserast som uformelle intervju, der det ikkje er nokon planlagde spørsmål eller eit gitt mål for intervjuet (Ulriksen, 2019), men der temaet var hendinga i Jølster den 30.juli 2019. Formatet på intervjuet/samtalen var både ansikt-til ansikt og telefon. Utveljinga av informantar starta med ei strategisk utveljing, der interessante/relevante personar vart kontakta. Vidare vart tips frå informantar om andre personar av interesse og relevans nytta til å kontakte andre (kjent som snøball-metoden). Prosjektet vart søkt om godkjenning hjå Norsk senter for forskingsdata, og godkjend 07. april 2020 (Vedlegg B). Informantane vart på førehand av samtalanane informert om deira rettigheitar knytt til deltakinga av masterprosjektet, og eit samtykkeskjema vart gjennomgått (Vedlegg C), der samtykke vart gjeve.

5 Resultat

I dette kapitlet vil gå resultatene knytt til metodene nytta i denne oppgåva, og beskrive i første kapittel, bli presentert.

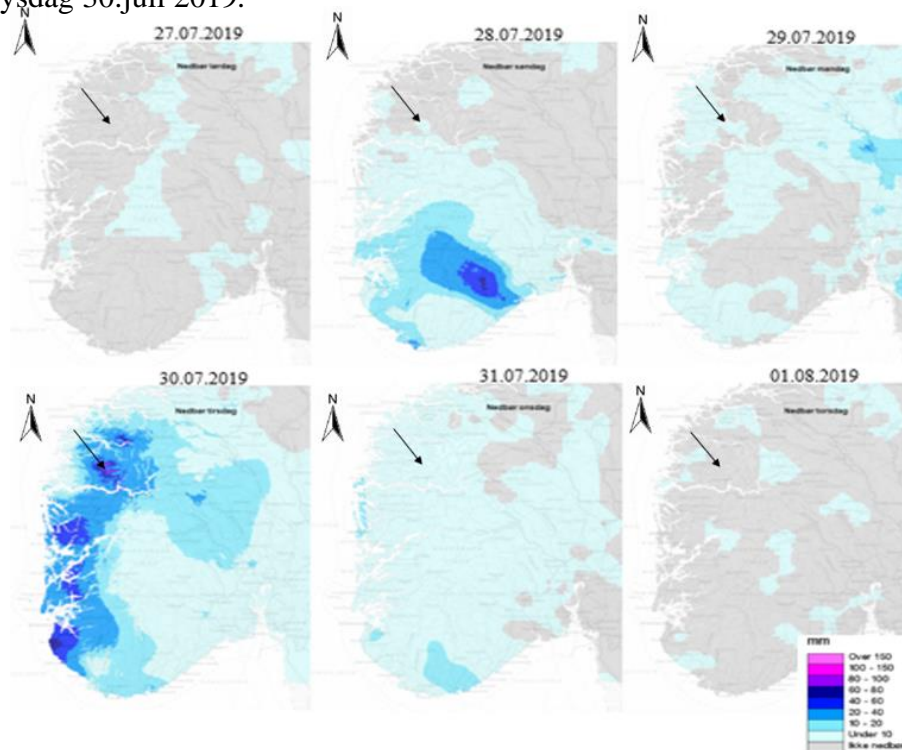
5.1 Meteorologiske forhold

Dei meteorologiske forholda er analysert både i forkant av, og under, skredhendingane i Jølster 30. juli.2019. Dette blei gjort for å få ei betre forståing av nedbørshendinga. Ulike kjelder til meteorologiske data er nytta for å få ei god romleg og temporal oppløysing av nedbørshendelsen, samt få ei betre grunnlag for å knytte dei metrologiske forholda til skredhendingane utløyst under styrtregnet.

5.1.1 Metrologiske data eKlima og xGeo

Lågtrykk og ustabile luftmassar førte til konvektiv nedbør og styrtregn i Jølster 30. juli 2019 (Agersten et al., 2019). Interpolert data frå xGeo (figur 16) syner den romlege fordelinga av nedbørsmengd (i millimeter) frå 27. juli til 01. august, henta frå xGeo.no (xGeo, 2020a).

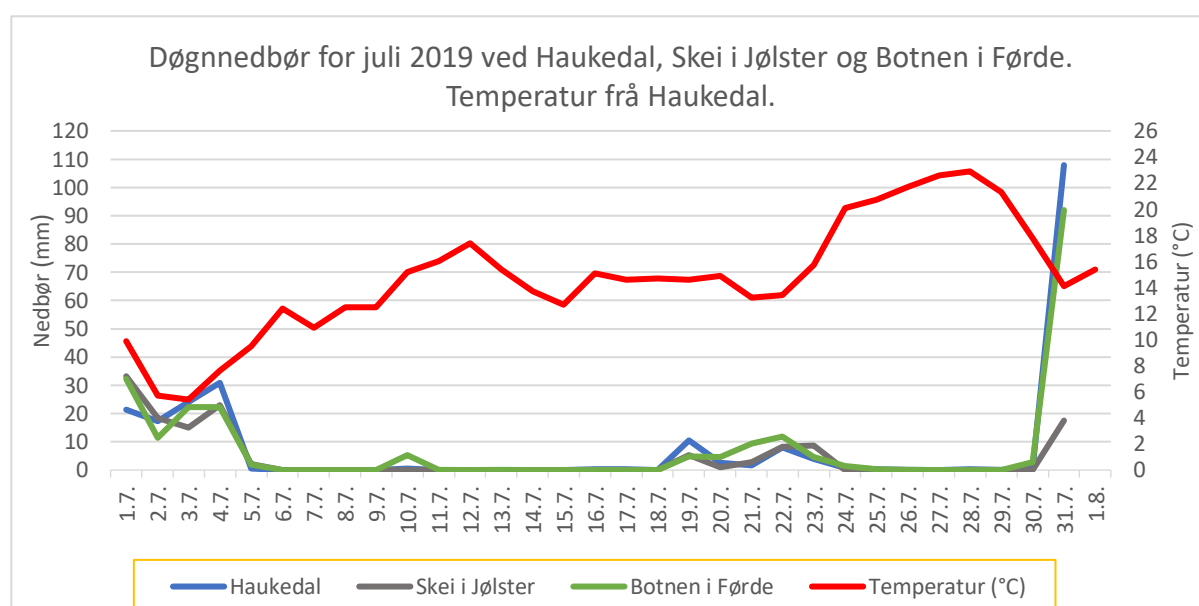
Nedbørsmengda synt er sum av observert nedbør frå MET sine målestasjonar dei siste 24t, frå kl. 08 til kl. 08 (Engeset, 2016). Av figuren kjem det fram at nedbøren denne perioden er konsentrert på Vestlandet tysdag 30.juli 2019.



Figur 16 Interpolert data frå Xgeo som syner den romlege fordelinga av nedbør (mm) frå 27. juli til 01. august 2019. Data er henta frå Xgeo.no (Xgeo, 2020f)

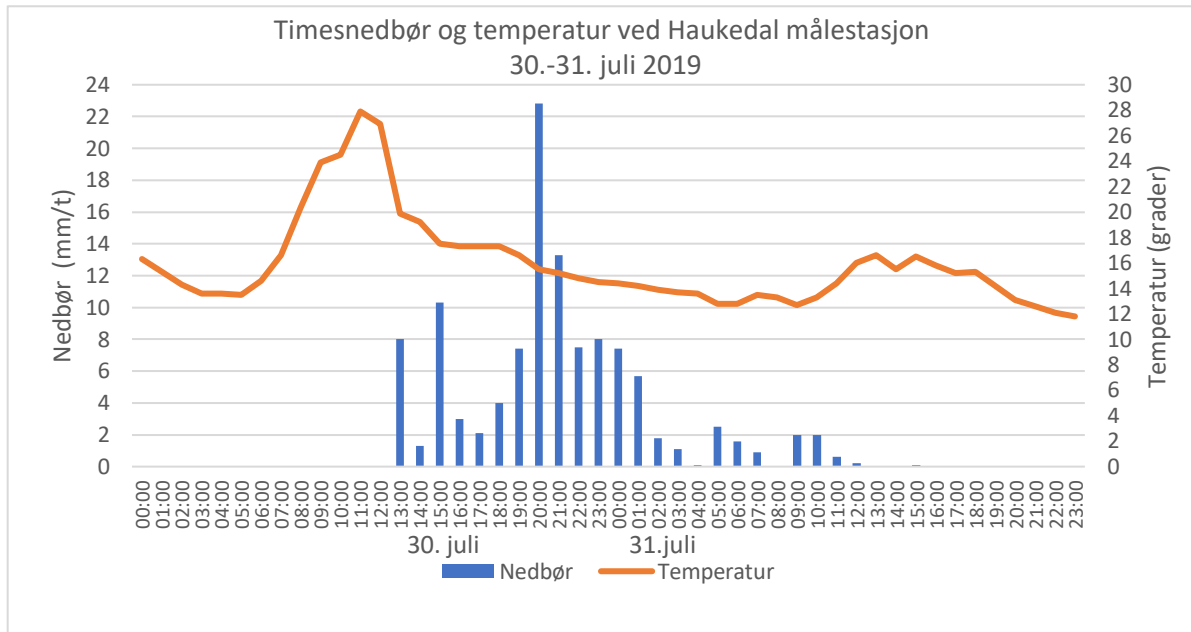
Det er estimert mellom 100-150 mm til over 150 mm nedbør i Jølster, frå 30. juli kl. 08:00 fram til 31. juli kl. 08:00 dette døgeret (xGeo, 2020b). Ifølge NVE (2019) er det truleg kome større mengder nedbør i fjellområda dette døgnet, men dette er usikkert då det ikkje eksisterer nokre målestasjonar i området.

Figur 17 syner nedbørsmålingar for juli 2019 ved målestasjonane Haukedal, Skei i Jølster og Botnen i Førde, samt lufttemperatur frå Haukedal. Data er henta frå eKlima.no, og illustrerer den høge nedbørsmengda 30. juli 2019 i kontrast til ein lengre tørr periode i område. Bortsett frå noko nedbør tidleg i juli, mellom 1. og 5. og under 10mm målte dagsverdiar 19.juli og mellom 21. og 24. juli, var månaden nedbørsfattig.



Figur 17 Nedbørsmålingar ved målestasjonane Haukedal, Skei i Jølster og Botnen i Førde for juli 2019. Data er henta frå eKlima.no (eKlima, 2020) og utforma i Excel.

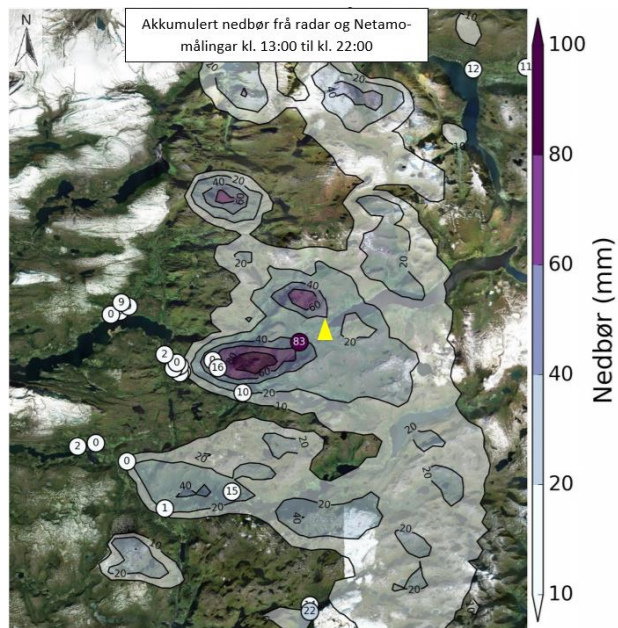
Data frå Haukedal målestasjon (figur 18) syner mykje nedbør frå kl. 15 den 30.juli, og med maksimal nedbørsintensitet frå kl. 19.00 – kl. 20.00 same dag (23 mm/t). Til saman målte stasjonen 78,5 mm 30.juli. Mellom kl. 00.00 og kl. 13.00 påfølgande dag, 31.juli, falt det ytterlegare 34,5 mm. Haukedal stasjon har målt nedbør sidan 1957. Det ikkje er registrert så kraftig nedbør ved målestasjonen tidlegare (Agersten et al., 2019). I nedbørsdøgeret 30. juli til 31. juli vart det målt 108 mm nedbør. Den gamle døgnsrekorden frå 1964 var på 66 mm (Nilsen & Opheim, 2019). Av figuren kjem det fram at temperaturen holdt seg rundt 15 grader døgeret 30. juli frå kl. 00:00 til 31.juli kl. 23:00. Rundt kl. 12:00 steg temperaturen raskt til 28 grader før fyrste nedbørsregistrering kl. 14.00 (akkumulert nedbørsregistrering frå kl.13 til kl.14). Temperaturen er målt ved målestasjonen i Haukedal, 16 km sør- søraust for Jølstravatnet.



Figur 18 Timesnedbør og temperatur ved Haukedal målestasjon 30. til 31. juli 2019. Data henta frå eKlima.no og utforma i Excel.

5.1.2 Private målestasjonar - Netamo

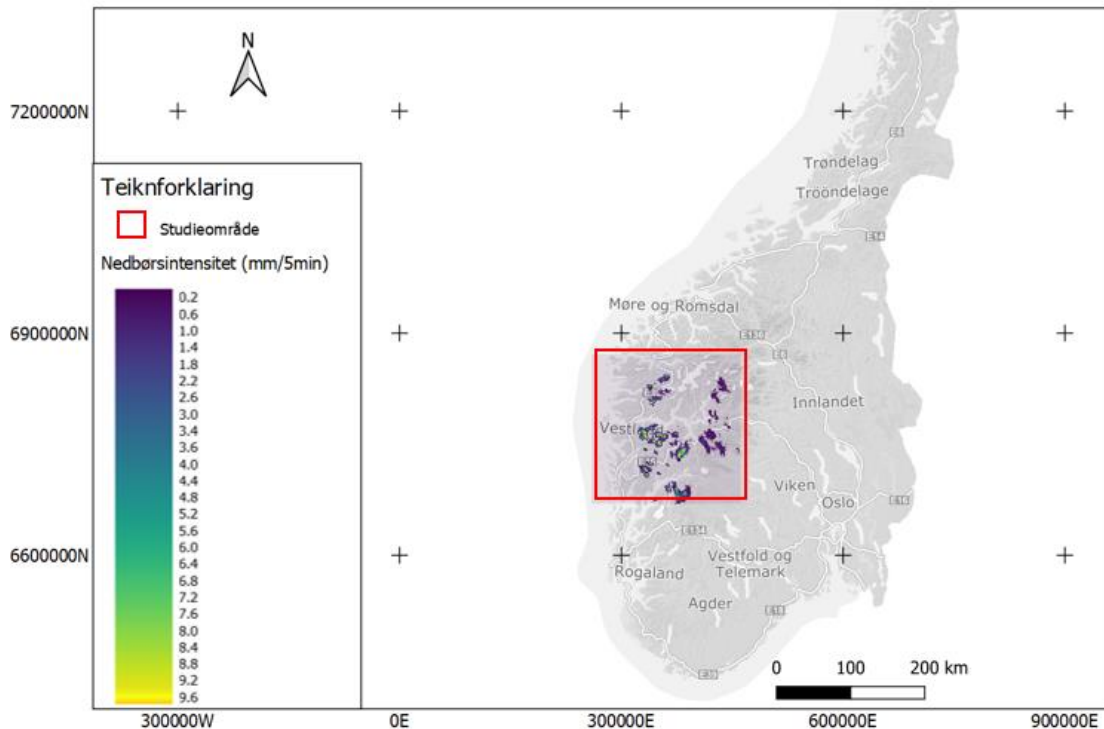
Netamo tilbyr eit oversiktskart over deira stasjonar på internett (weathermap.netamo.com), der det kjem fram at i området nær Vassenden, i Jølster er det tre vêrstasjonar som måler nedbør. Data frå Netamo- stasjonar er ikkje tilgjengeleg for offentleg distribusjon. Det har heller ikkje lukkast å komme i kontakt med nokon i områda kring Jølster som er eigar av ein privat målestasjon. Figur 19 er henta frå Agersten et al. (2019) og syner akkumulert nedbør frå radardata og data frå private målestasjonar kring Jølster. Ved ein målestasjon i Vassenden vart det 30. juli 2019 målt 83 mm nedbør i mellom kl. 13 til kl. 22, med 30 mm som høgste timesverdi, frå kl. 14 og kl. 15 (Agersten et al., 2019).



Figur 19 Figur henta frå Agersten et al. (2019) og syner akkumulert nedbør frå radar og Netamo-målingar frå kl. 13:00 til kl. 22:00 den 30. juli 2019. Vassenden, Jølster er markert med gul trekant

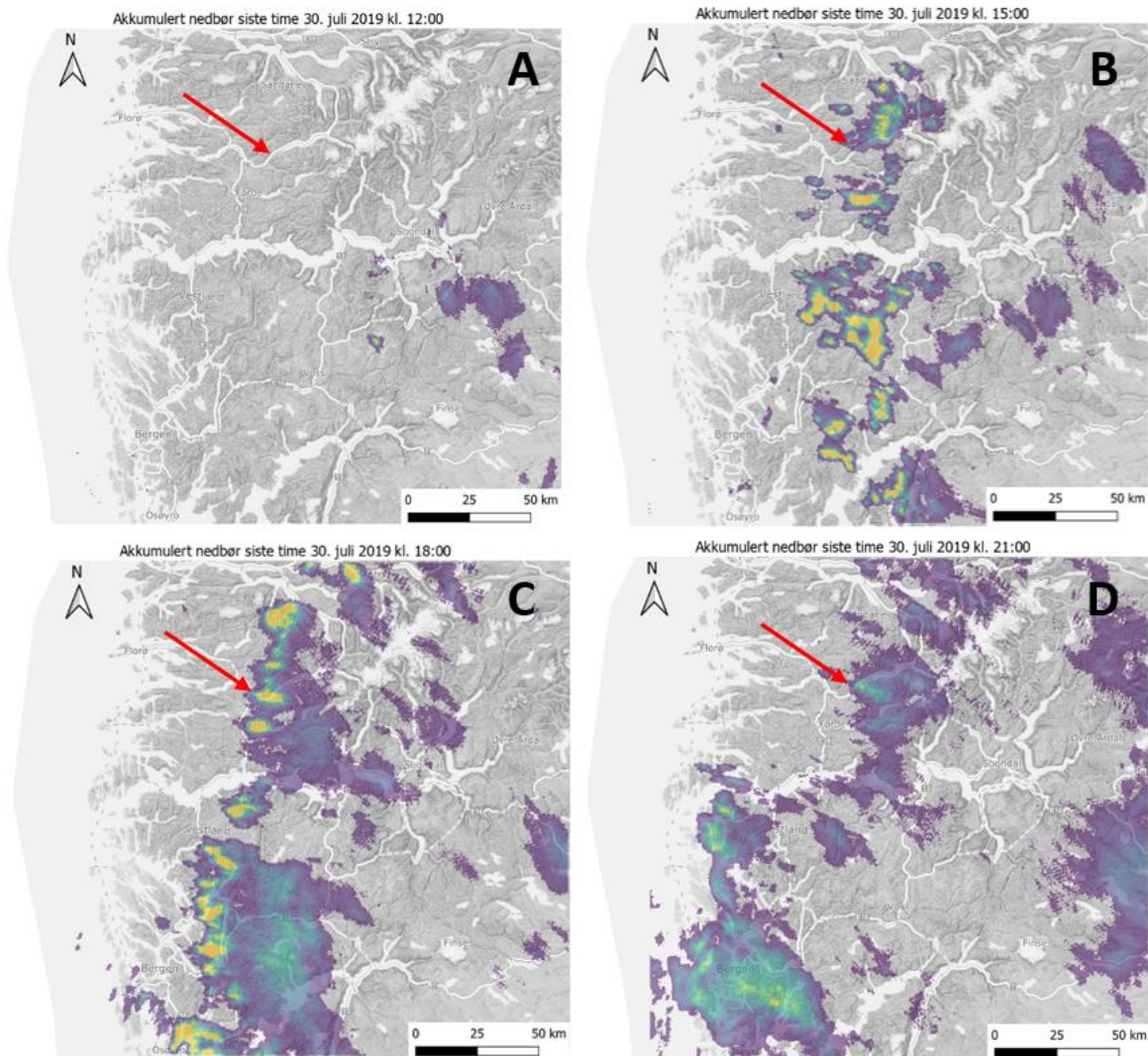
5.1.3 Vêrradar

Figur 20 syner dekninga for radardata som er nytta i oppgåva. Det må merkast at høgaste intensitet (0.58 mm/5min og 49 mm/t) er synt med fargen oransje, og at ingen celler synes å ha nest høgaste kategori for nedbørsintensitet.



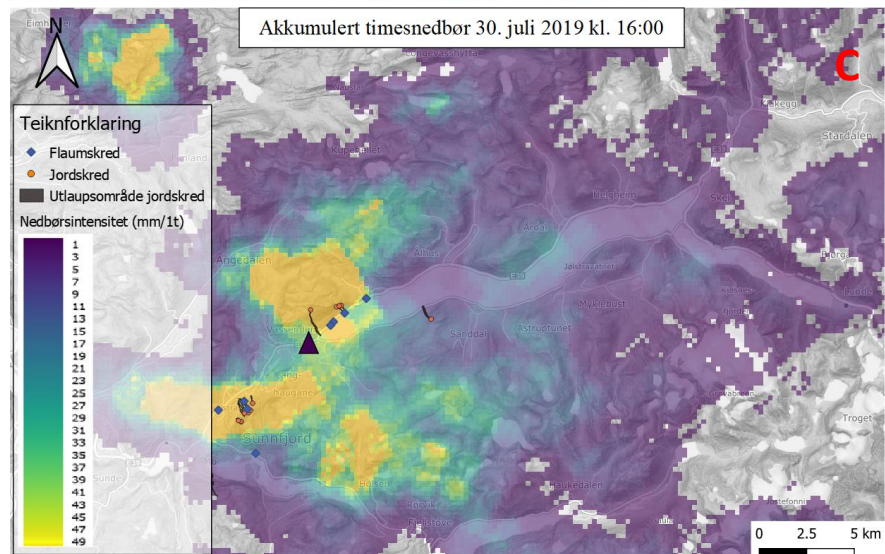
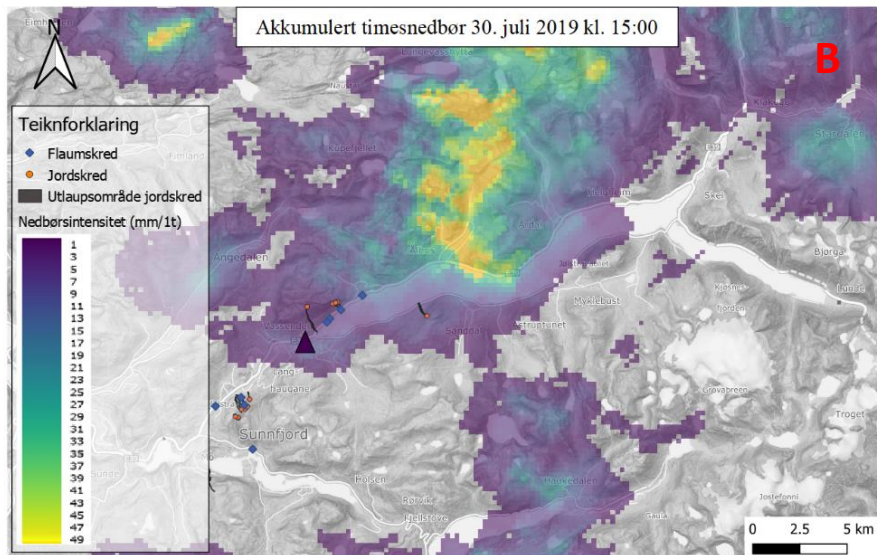
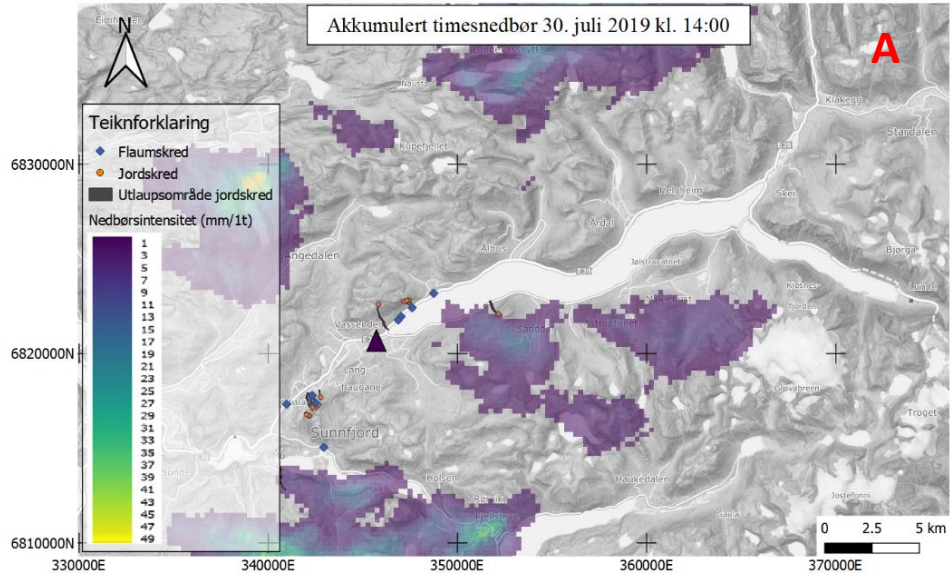
Figur 20 Oversiktskart som syner dekningsområde for radardata nytta i oppgåva, samt teiknforklaring, nedbørsintensitet (mm/t) nytta for figur 23 A-D(og 24 A-H).

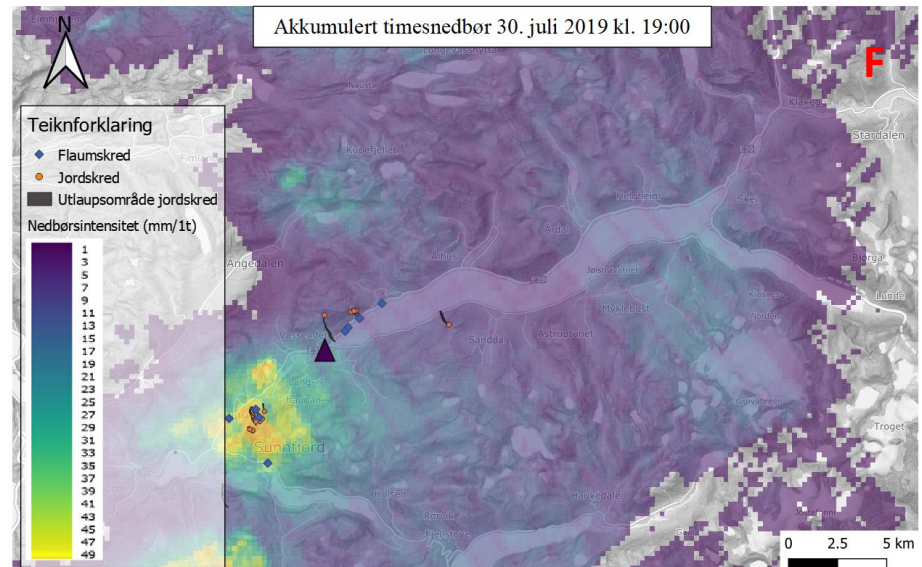
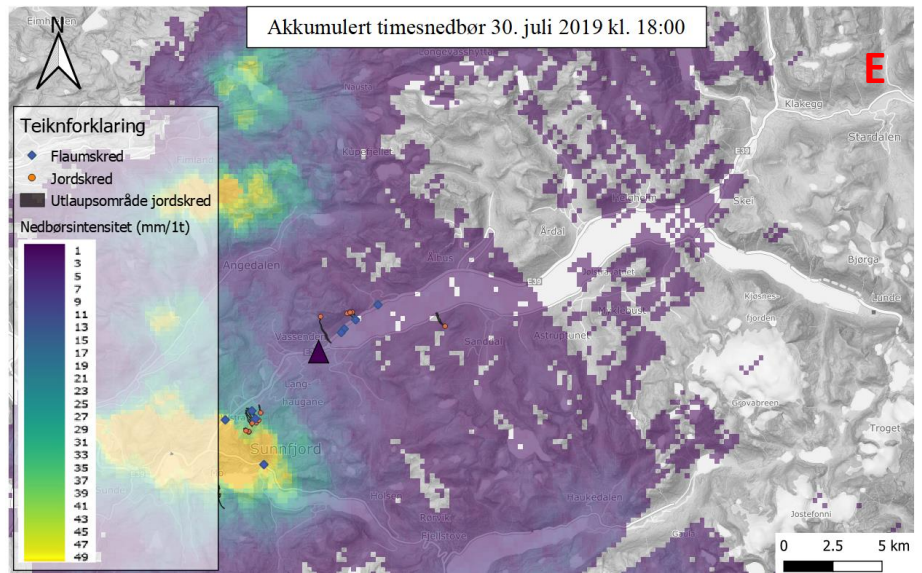
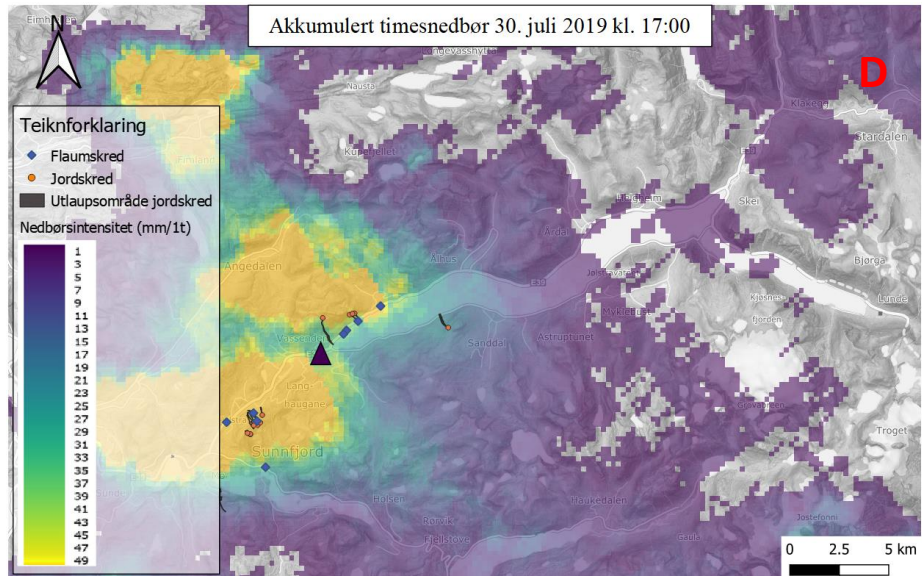
Figur 21 (A-D) syner den romlege fordelinga av nedbør for Vestlandet 30. juli 2019, der nedbørsmengda er akkumulert nedbør siste timen. Nedbøren kjem frå sør-aust, og utviklar seg til kraftigare og større byer over fjellområda (A-B). Høg nedbørsintensitet (synt med intens gul-oransje farge) i områda kring Jølster (A-D) og sørover til Bergen fram til kl. 18:00 (B-C). Kl. 21:00 er nedbørsintensiteten svakare over heile Vestlandet (D).

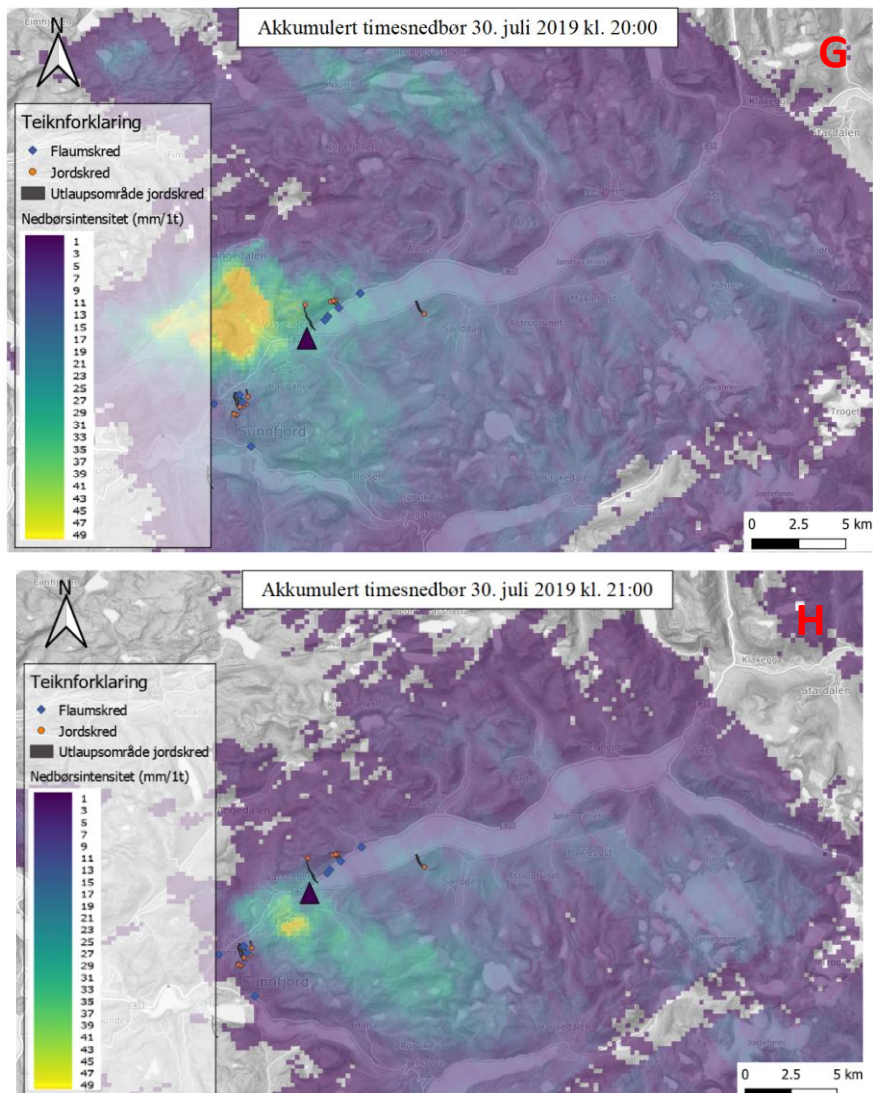


Figur 21 Radardata som viser den romlege fordelinga av nedbør på Vestlandet 30. juli 2019. Nedbøren er akkumulerte mengde nedbør (mm) siste timen; A frå kl. 11:00 til kl. 12:00, B frå kl. 14:00 - kl. 15:00, C frå kl. 17:00 - kl. 18:00, og D frå kl. 20:00 til kl. 21:00. Teiknforklaring av nedbørsintensitet (mm/1t) kan sjåast på figur 20. Jølster indikert med raud pil.

Av figur 22 (A-H) syner akkumulert nedbør (mm/t) frå kl. 14:00 til kl. 21:00. Figur 22 A syner nedbørsbyer nord, sør og vest for Jølstravatnet kl. 14:00 Kl.15:00 ligg nedbøren med høgste intensitet i området mellom Høgefjellet i aust og Tindefjellet i vest, med Svidal i midten (B). Den mest intense nedbøren bevegar seg sørvest mot Vassenden og kring Slåtten mot kl. 17:00 (C). Nedbøren blir verande med høg intensitet ved Slåtten fram til kl. 19:00, med gradvis reduserande størrelse på området med høgast nedbørsintensitet (D-F). i timen fram til kl. 20:00 er det Vassenden som har største nedbørsmengder, før nedbøren bevegar seg mot sør.

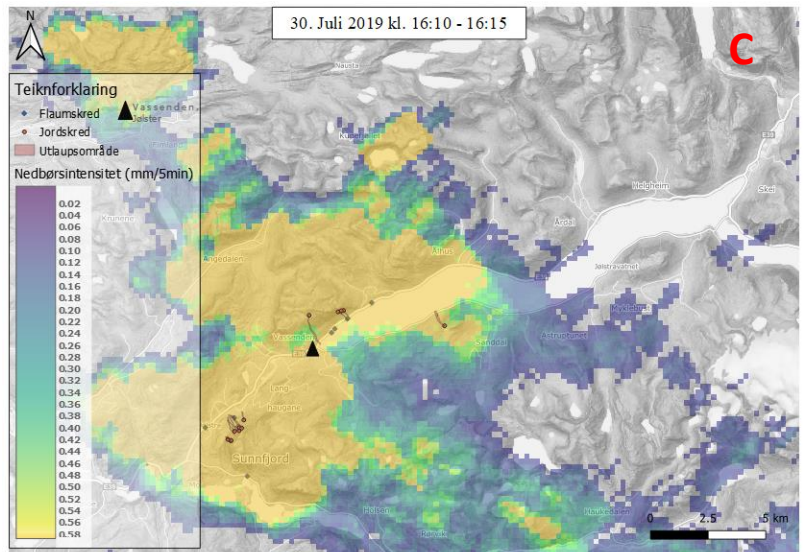
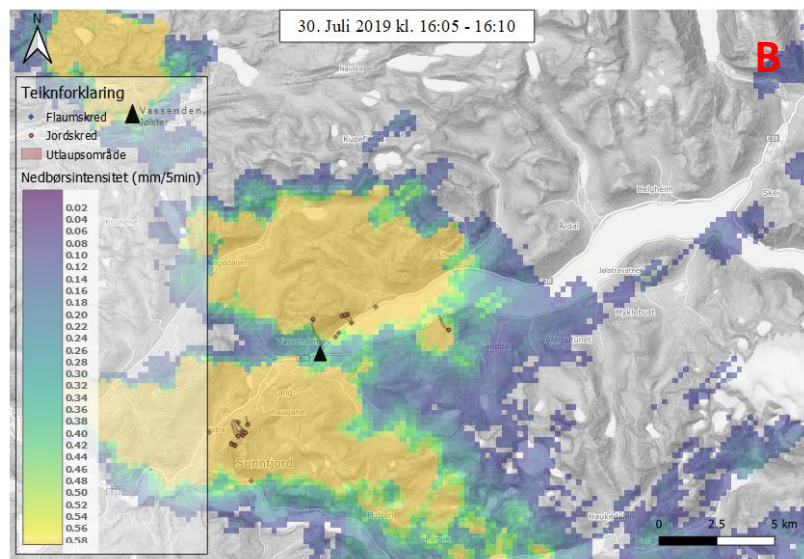
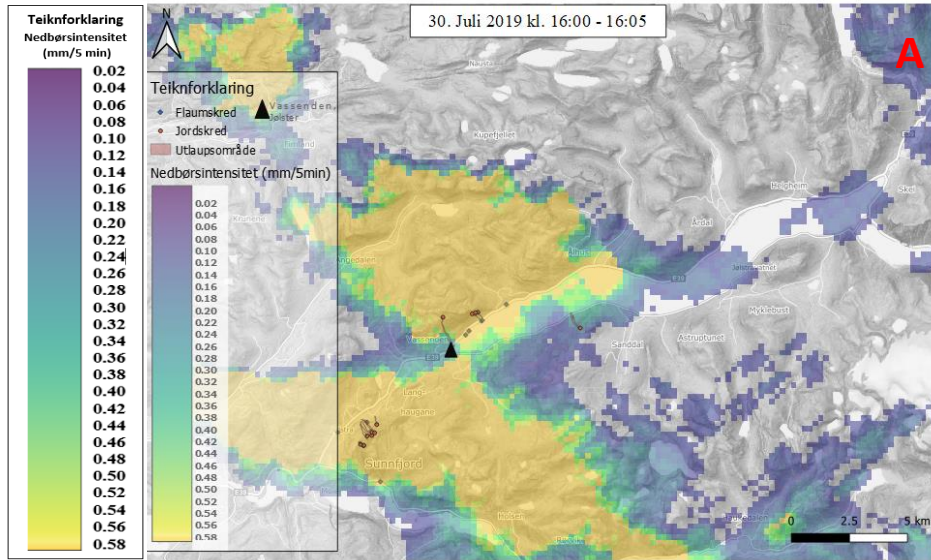


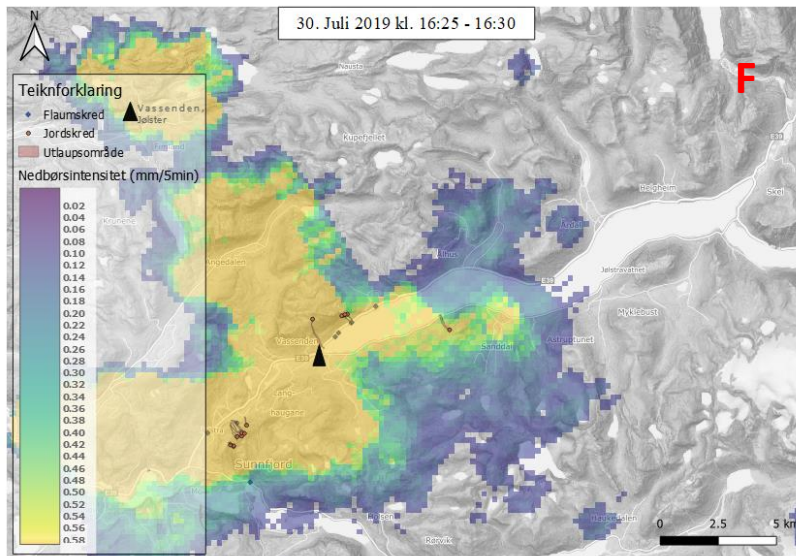
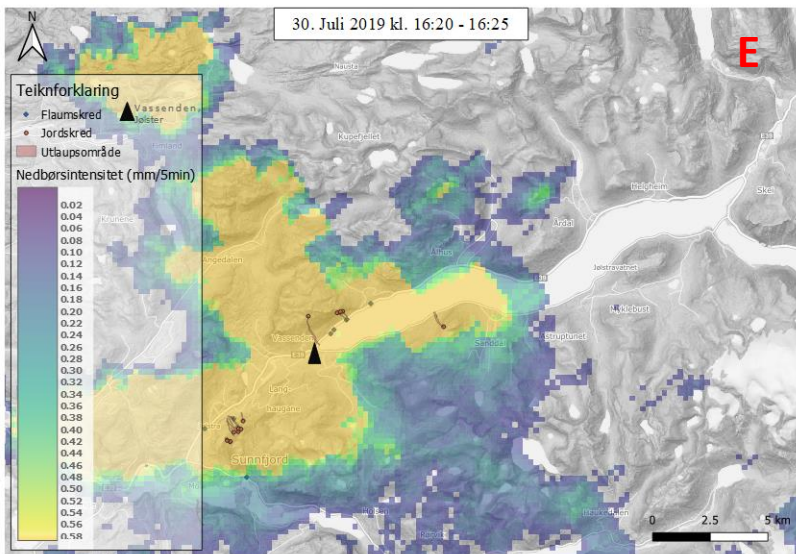
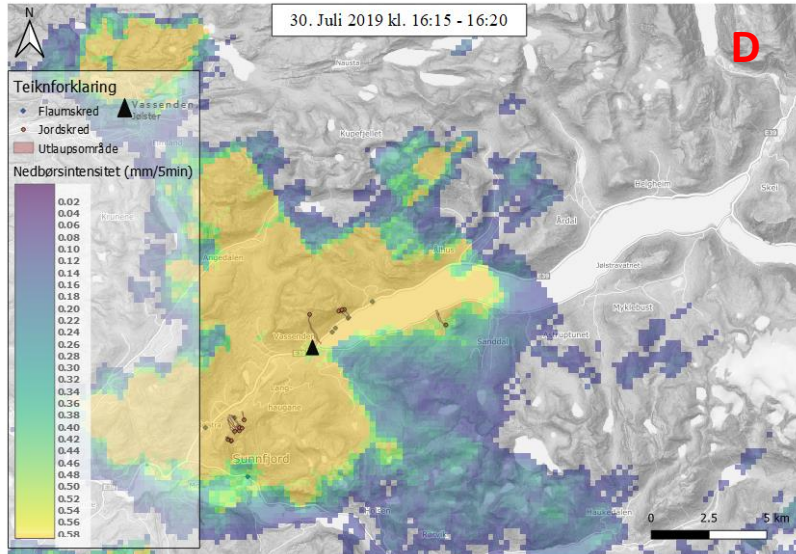


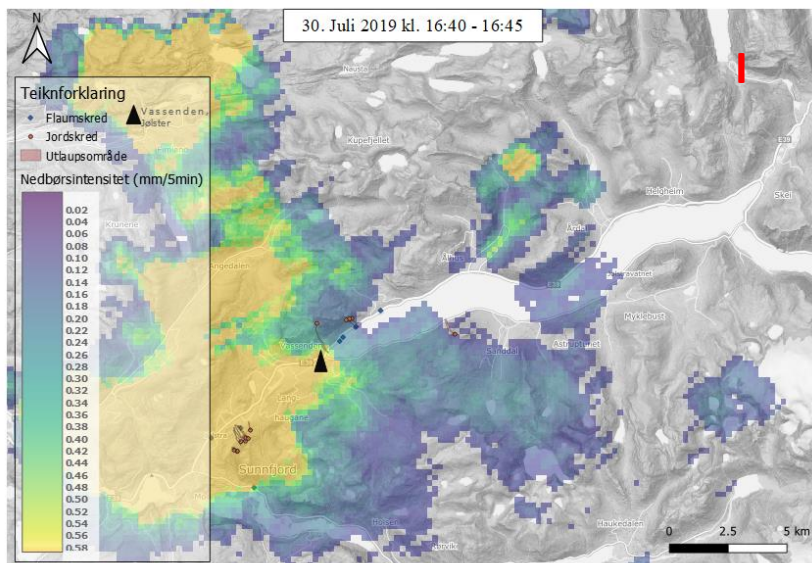
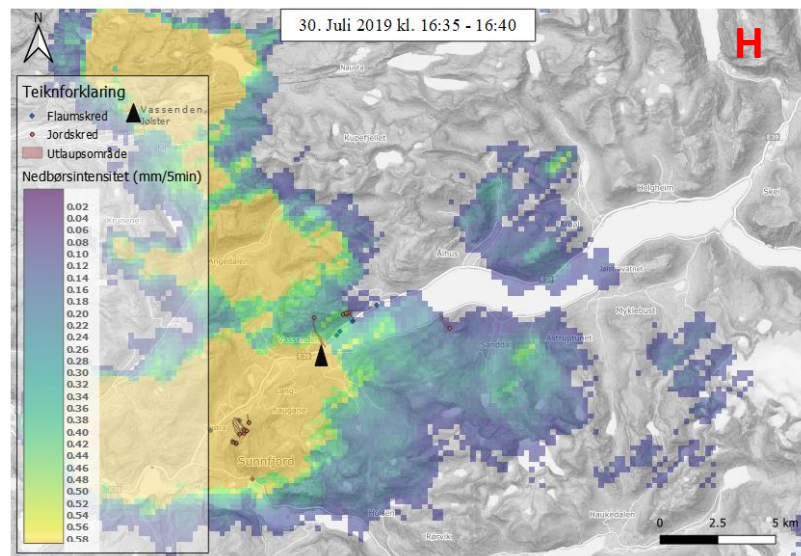
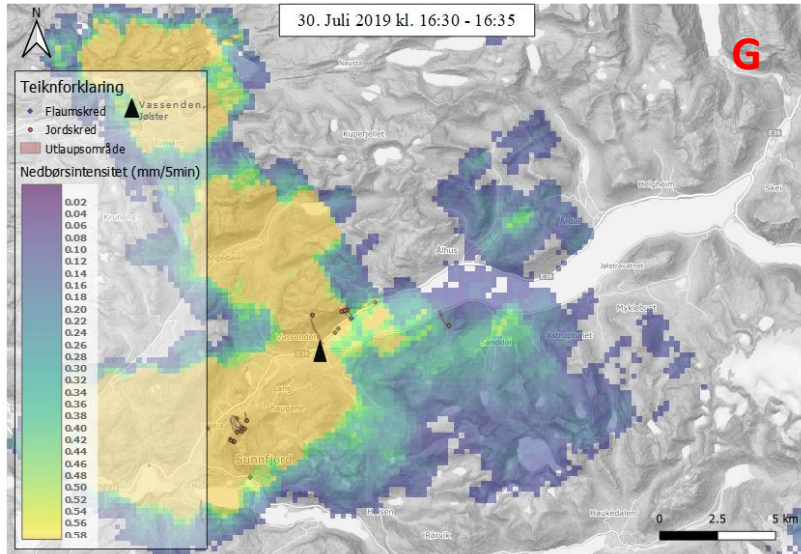


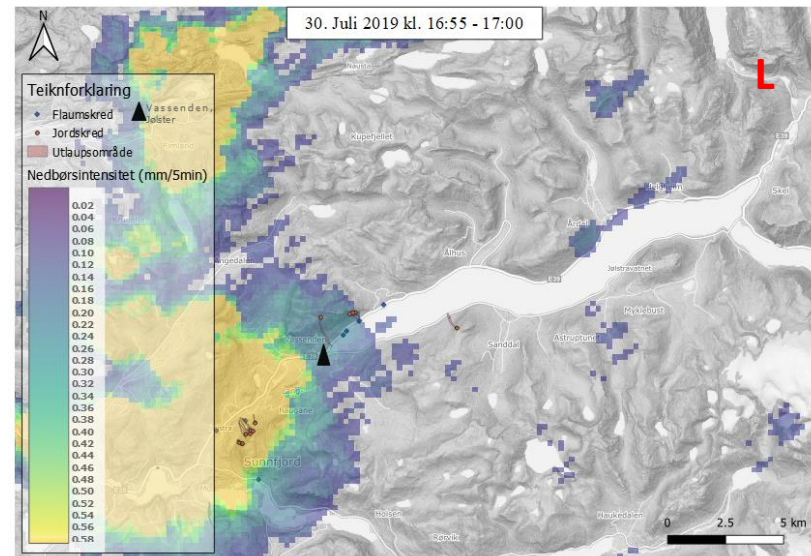
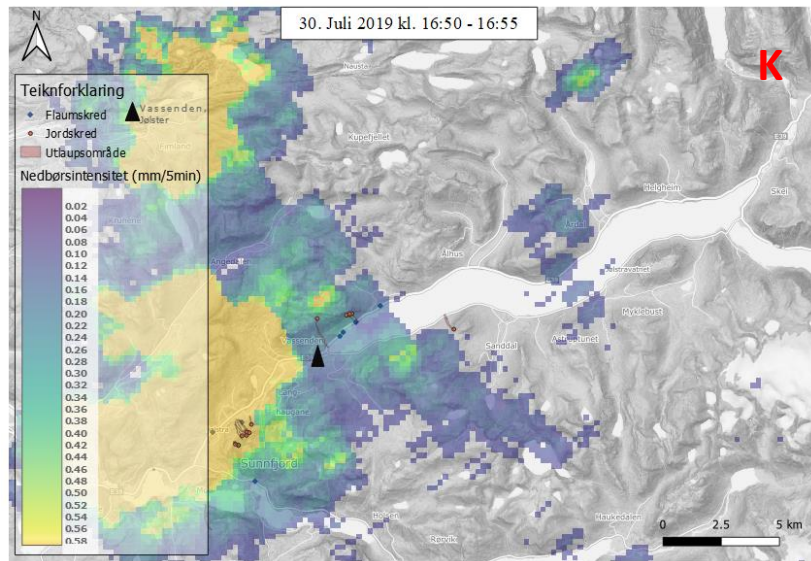
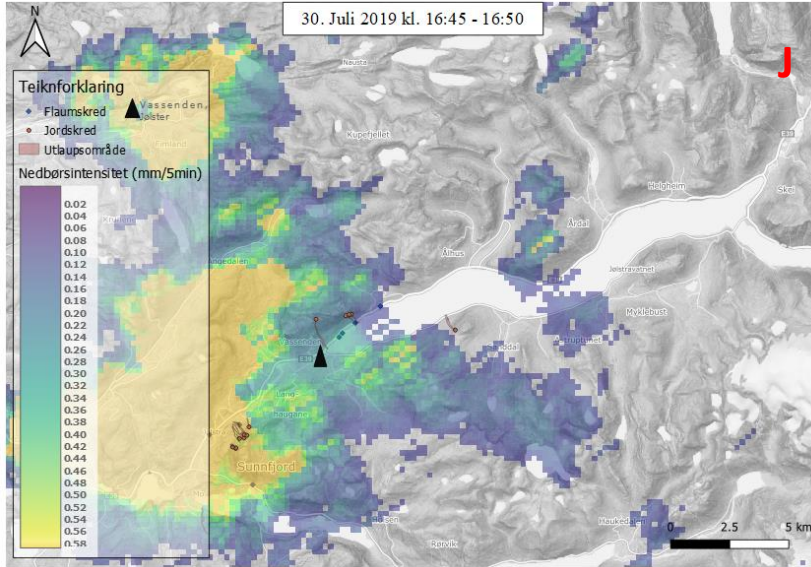
Figur 22 A-H syner den romlege fordelinga av akkumulert nedbør i Jølster 30. juli 2019 siste timen frå kl. 14:00 til kl. 21:00, tidsperioden då skred er registrert den 30. juli 2019. Skred er synt med raud prikk for jordskred, blå for flaumskred. Svart trekant syner Vassenden, Jølster.

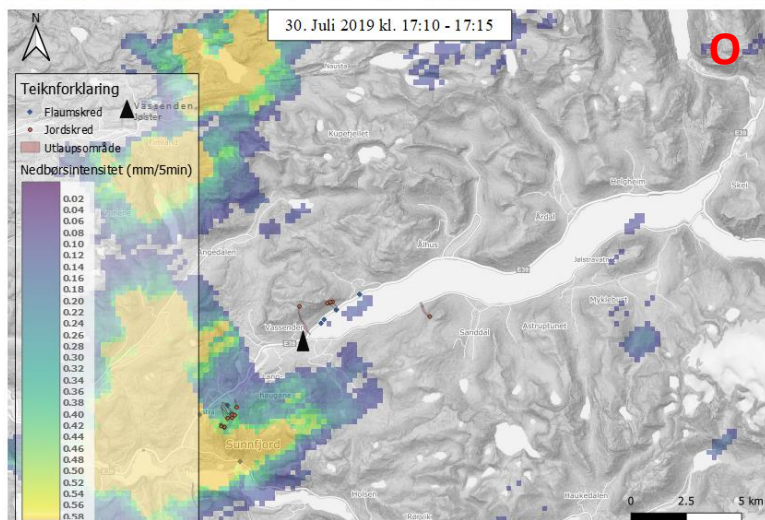
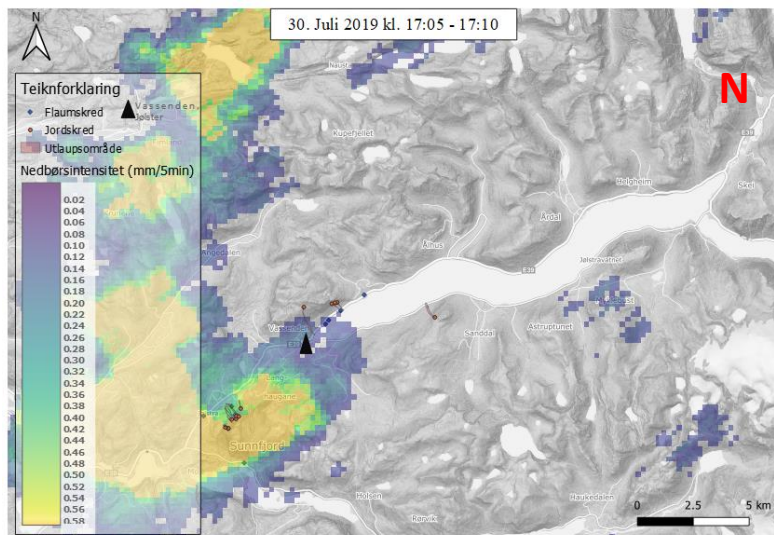
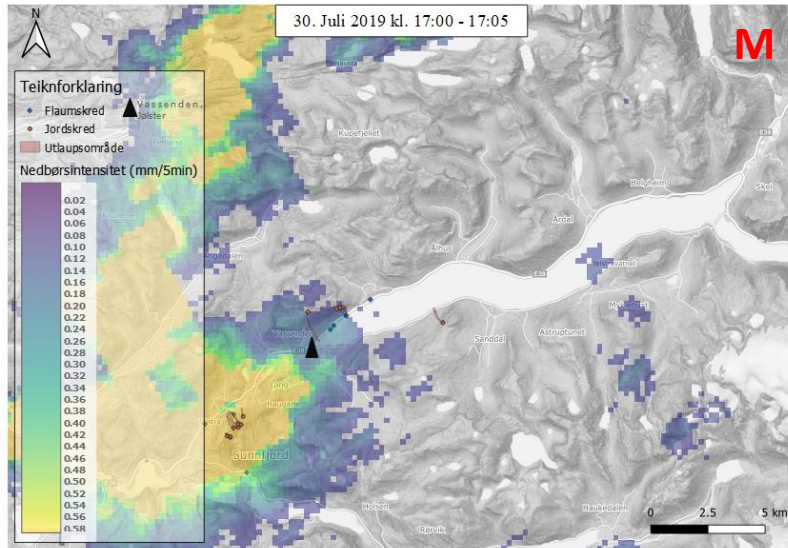
Figur 23 (A-O) syner nedbørintensitet per 5. minutt frå kl. 16:00 til kl.17:15 30. juli 2019. Forstørta teiknforklaring gjeldande for samtlege radarbilete synt i figur 23 A-O er synt ved A då det ikkje er godt synleg i figurane. Områda kring Tindefjellet (nordsida av Jølstravatnet) kom det mykje nedbør i tida mellom kl. 15:10 til kl. 16:15 (B-C). Feltet med høgst intensitet trekk svakt mot vest, med ei utstrekning inn i Angedalen i nord og Halvgjerda og Kvamsfjellet i sør. Radarbileta indikerer mykje nedbør med høg intensitet i områda kring fjellet Halvgjerda over Slåtten i heile perioden frå kl. 16:00 – kl. 17:15, samt innover mot Angedalen (figur A-O).







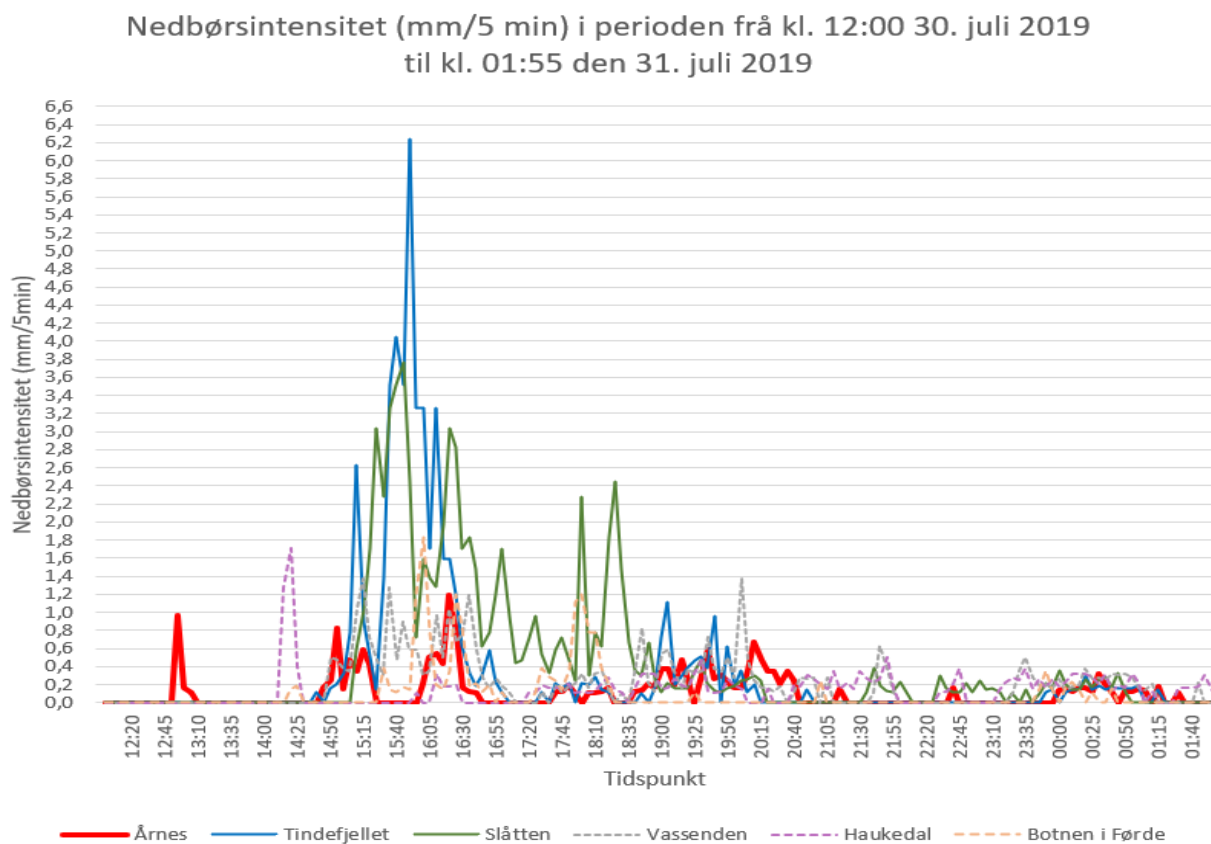




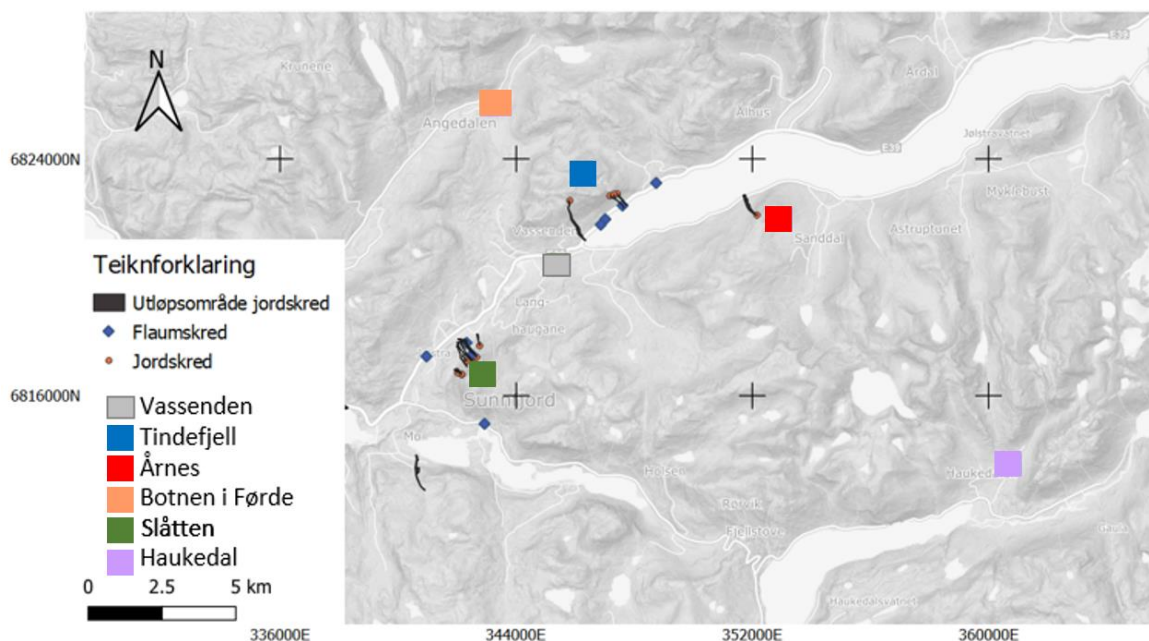
Figur 23 (A-O) syner den romlege fordelinga av nedbør i Jølster, der Vassenden i Jølster er indikert med svart trekant. Karta syner nedbørsintensitet per 5. minutt frå kl. 16:00 til kl. 17:15 den 30. juli 2019. Skred registrert i NSDB den 30.juli 2019

Nedbøren kom frå nordaust kring kl. 14:00 (figur 23 A). Kl.15:00 ligg nedbøren med høgste intensitet i områda kring Bjørsetfjellet, i området mellom Årdal og Ålhus og over E39 (B). Den mest intense nedbøren bevegar seg sørover mot Vassenden og kring Slåtten (C-D). Nedbøren var mest konsentrert i fjellet Halvgjerda kl. 18:00 (E). Mot kl. 19:00 (F) trekk nedbøren meir mot aust og minkar i intensitet, bortsett frå ved fjellet Halvgjerda over Slåtten som har område med høg nedbørintensitet (G). Nedbøren trekk gradvis mot sør-aust, og får gradvis redusert intensitet mot kl. 21:00 (H).

Figur 24 syner nedbørintensitet den 30.juli 2019 i tidsperioden frå kl. 12:00 til 31.juli 2019 kl. 01.55 lokal tid for utvalt punkt (sjå figur 33). Diverre vart ikkje koordinatane for punkta nytta registrert. Figuren er utforma av data henta ved å nytta verktøyet «Identify features» i QGIS og vidare forma i Excel. Dei fleste nedbørsdata henta frå målestasjonar i denne oppgåva er henta frå Haukedal målestasjon og Botnen i Førde, som er dei nærast liggjande målestasjonane, og punkt i desse områda vart difor inkludert.



Figur 24 Nedbørsintensitetar (mm/5 min) i perioden frå kl. 12:00 den 30. juli 2019 til 31.juli 2019 kl. 01:55 for området Årnes (rød), Tindefjellet (blå), Slåtten (grøn), Vassenden (stipla grå), Haukedal (stipla lilla) og Botnen i Førde (stipla beige). Områda/punkta er synt i figur 25.



Figur 25 Kart med område/punkt der nedbørsintensitet nytta i figur 27 er henta i QGIS ved hjelp av «Identity features» og utforma i Excel.

Størst nedbørsintensitet er målt ved Tinde fjellet i tidsperioden frå kl. 15:10 til kl. 16:15, med høgste nedbørsintensitet på 6,23986 mm/5min kl. 15:50. Slåtten er området med nest høgast intensitet, der nedbørsintensiteten auka raskt frå kl. 14:55, med høgste nedbørsintensitet kl. 15.45 på 3,77073 mm/5min. Slåtten er området med lengst varigheit av høg nedbørsintensitet, frå kl. 14:55 til kl. 18:25. Vassenden og Årnes har ikkje spesielt høge verdiar; høgste verdiar er 1,37697 mm/5. min kl. 15:15 og 0,96098 mm/5. min kl.12:55 høvesvis. Botnen i Førde har høgaste verdi kl. 16:05 med 1,83622 mm/5 min. Haukedal har høgste nedbørsintensitet kl.14:20 på 1,70874 mm/5. min (figur 24). Nedbørsintensitet vart omgjort til nedbørsmengd fram til fyrste skredutløyising for kvart av dei tre områda, synt i tabell 5.

Tabell 5 Nedbørsintensitet omgjort til nedbørsmengd for skredområda Tinde fjellet, Slåtten og Jølster fram til fyrste skredregistrering og for perioden med radarata tilgjengeleg (kl. 02:00 30.juli til kl.01:55 31. juli 2019). For denne perioden er òg Vassenden, Haukedal og Botnen i Førde inkludert

Skredområde	Akkumulert nedbør til fyrste skredregistrering	Akkumulert nedbør frå 30. juli kl. 02:00 til kl. 01:55 31. juli 2019
Tinde fjellet	204,6 mm nedbør (kl. 16:30)	267,9 mm
Slåtten	150,6 mm (kl. 16:30)	359,9 mm
Årnes	84,4 mm (kl. 20:49)	97,6 mm
Vassenden	-	182 mm
Haukedal	-	110,6 mm
Botnen i Førde	-	81,7 mm

5.1.4 Nedbør og intensitet-varighetsterskel

Både empirisk og fysisk metode er aktuelle for å knytte skredutløsning saman med ulike vêrforhold (Norem & Sandersen, 2014). Den fysiske metoden analysera ulike vêrparametrars påverknad på skråningsstabilitet og skredutløsning, og gjer det mogeleg å kunne ta omsyn til lokale variasjonar i grunnforhold og statistiske føresetnadar som påverkar skråningsstabiliteten, i tillegg til nedbørsforhold/snøsmelting før ein nedbørsperiode (Norem & Sandersen, 2014). Den empiriske metoden ser på historiske skredhendingar i samanheng med observert vêr på lausnetidspunktet for å finne statistisk samanheng mellom skredutløsning og vêrparametre. Metoden er relevant for etablering av skredvarsel i eit område, og vert ofte representert ved terskelverdiar, ei nedre grense, for når ein kan forventa skredutløsning (Norem & Sandersen, 2014). Fleire terskelstudiar er gjort ut frå regionale og lokale forhold i Noreg. Meyer et al. (2012) definerte tre terskelverdiar for skredutløsning, minimum- medium – og maksterskel. Studien basera seg på 502 jordskredhendingar i Noreg frå perioden og tek omsyn til intensitet og varigheit av nedbør, i tillegg til ein normalisering for lokal døggnedbør (PDN – precipitation day normal). Minimumsterskelen set den nedre grense for mogelegheit for skred, mediumterskelen gir høgt sannsyn for skred medan maksterskelen indikerer omtrent at skred vil bli utløyst. Det kunne vert interessant å samanlikne nedbørshendinga i Jølster med terskelverdiane til Mayer et al. (2012), men ettersom terskelverdiane er basert på varigheit i døger i dette tilfellet metoden til Sandersen et al. (1996), som nyttar nedbørsmengd pr. time, betre.

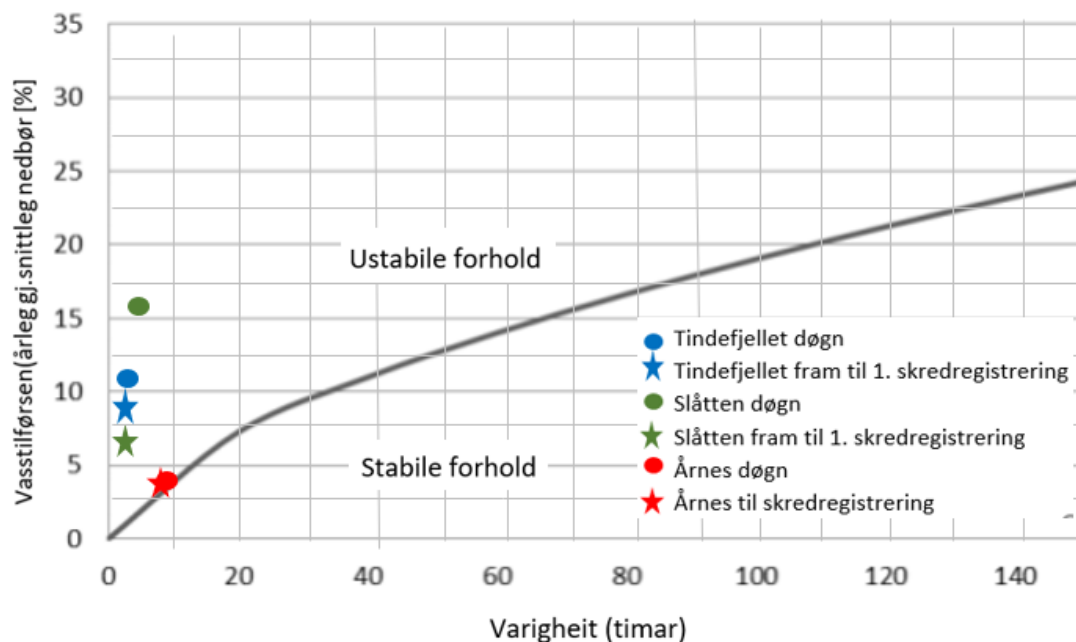
Tala i tabell 6 er nytta til å finne kritisk nedbørsmengd i prosent (P), kritisk nedbørsmengd (K) og prosent av årsnedbør, etter Sandersen et al. (1996) for områda Tindefjellet, Slåtten og Årnes den 30.juli 2019 (tabell 6). Sandersen et al. (1996) kom fram til ein intensitet-varighetsterskel for lausmasseskred; $P = 1,2 D^{0,6}$, der P er kritisk dagleg vasstilførsel (% av middelårsnedbør) og D er varigheit (timar). Normalt nyttast ein varigheit på 12 eller 24 timar, og terskelen syner at lausmasseskred vert utløyst når nedbør i løpet av 12 timar overstig 5%, eller døggnedbør overstig 8% av gjennomsnittleg årleg nedbør (Sandersen et al., 1996). I denne oppgåva er varigheit fram til fyrste nedbørsregistrering samt varigheita av radardata, frå kl.02:00 30.juli til kl.01:55 31. juli testa., noko som vil tilsvare eit dagn (23t, 55 min). Sjølv om denne oppgåva ikkje kan fullstendig samanliknast med Sandersen et al. (1996) si studie utført på flaumskred med data frå nærliggjande målestasjonar, er det likevel interessant å sjå korleis skredhendjingane i Jølster

samsvarar med studien. Gjennomsnittleg årsnedbør er mellom 2100 til 2400 mm vest i Jølster (Hefre et al., 2019), og 2300 mm er nytta i desse utrekningane.

Tabell 6 Tabell med utrekning av kritisk nedbørsmengd i prosent (P), kritisk nedbørsmengd (K) og prosent av årsnedbør, etter Sandersen et al. (1996) for områda Tindefjellet, Slåtten og Årnes den 30.juli 2019

Fram til fyrste skredregistrering (Tindefjellet og Slåtten kl.16:30, Årnes kl.20:49)					
	varigheit nedbør, D(t)	Kritisk nedbørsmengd [%], $P = 1,2 * D^{0,6}$	Kritisk nedbørsmengd, $R = (2300\text{mm}) * P / 100$	Akkumulert nedbør til fyrste skredregistrering	% av årsnedbør
Tindefjellet	1,833 t	1,726%	39,698mm	204,6mm	8,9
Slåtten	1,416 t	1,478%	33,994mm	150,6mm	6,5
Årnes	8 t	4,178%	96,094mm	84,4mm	3,7
Frå kl.02:00 30.juli til kl.01:55 31. juli					
Tindefjellet	2,33 t	1,993%	45,839mm	267,6mm	11,6
Slåtten	6 t	3,516%	80,868mm	358,8mm	15,6
Årnes	8,16t	4,228%	97,244mm	97,6mm	4,2

Etter Sandersen et al. (1996) vil lausmasseskred utløysast dersom døggnedbøren overstig 8% av gjennomsnittleg årleg nedbør. Radardata tilsvara omtrent eit døger (frå kl.02:00 30.juli til kl.01:55 31. juli). Tindefjellet og Slåtten med høvesvis 11,6% og 15,6% av gjennomsnittleg årleg nedbør dette døgeret gir etter Sandersen et al. (1996) metode svært ustabile forhold. Årnes fekk 4,2% av gjennomsnittleg årleg nedbør, noko som indikerer stabile forhold dersom nedbøren er fordelt på 24 timer (tabell 6). Nedbøren dette døgeret synast ikkje vera fordelt på 24 timar, men konsentrert i kortare periodar. Det kjem fram ved samanlikne prosent av årsnedbøren fram til fyste skredregistrering og heile radar-døgeret. Til dømes fekk Tindefjellet 8,9% av gjennomsnittleg årsnedbør på under to timar (tabell 6). Dette korrelera òg med nedbørsmålingar frå eKlima. I figur 26 er resultatata plotta mot Sandersen et al. (1996) terskelkurve, der punkt syner plot for heile radar-døgeret, medan stjerne er fram til fyrste skredregistrering for skredområda Tindefjellet, Slåtten og Årnes. Av figuren ser ein at vasstilførselen på kort tid gir både Tindefjellet og Slåtten klart ustabile forhold. Punkta for Årnes overlappar kvarandre rett over terskelkurva i nedre grense med ustabile forhold (figur 26). Punkta vil kunne variere noke i nøyaktigheit då intervalla på aksane er for grov for den korte varigheita for nedbøren dette døgeret.



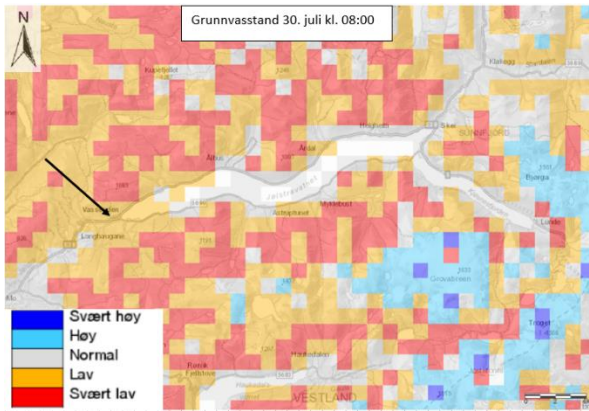
Figur 26 Grafen er modifisert etter Sandersen et al. (1996) og syner forholdet mellom nedbør og tid (varighet i timar). Kurva utforma av Sandersen et al. (1997) som basera seg på 30 tidlegare jordskredhendingsar i Noreg (Sandøy et al., 2017; Sandersen et al., 1996). I grafen er data frå tabell 6 plotta, der prikk er døger-verdiar og stjerne fram til (første) skredregistrering for Tindefjellet (blå) Slåtten (grøn) og Årnes (raud).

5.2 Hydrologiske forhold

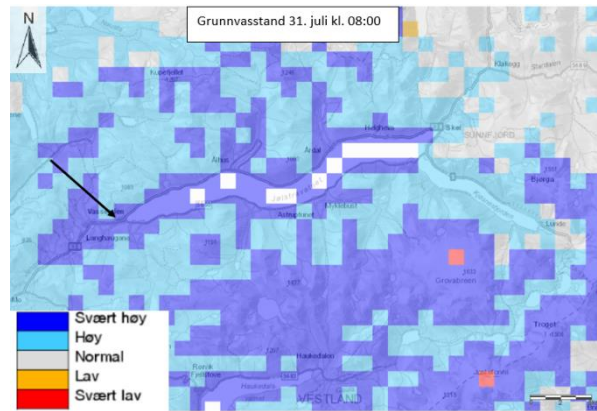
Data som syner dei hydrologiske forholda er henta frå xGeo.no, og basert på interpolert data, simuleringar frå HBV-modellen der referanseperioden 1981-2010 er nytta. Svart pil på figurane indikera Vassenden i Jølster. Som nemnd i metode-kapittelet går døgnmålingane frå kl. 08:00 til kl. 08:00 sommarstid. Dette gir at døgndata for 30. juli 2019 går frå kl. 08.00 den 30. juli til kl. 08.00 den 31.juli. For å dekke styrtregnhendinga den 30. juli 2019 er difor data for 29. juli 2019 og 30. juli 2019 henta frå xGeo.no.

5.2.1 Grunnvasstand

Skjermdumpane frå xGeo syner aktuell grunnvasstand i forhold til den gjennomsnittlege grunnvasstanden for same dato i referanseperioden (Engeset et al., 2018). Figur 27 indikerer svært lågt til låg grunnvasstand (frå under 5% til 25% prosentil) i området før skredhendingsane 30. juli 2019 (xGeo, 2020c). Dette korrelera med nedbørsmålingane som syner at månaden hadde vert nedbørsfattig (sjå kap. 5.1.1) Figur 28 syner grunnvasstanden 31. juli.2019 kl. 08:00, dagen etter styrtregnhendinga, der ei tydeleg endring i grunnvasstand kan observerast for området, her med høg til svært høg grunnvasstand (over 75% til over 95% prosentil) (xGeo, 2020d)

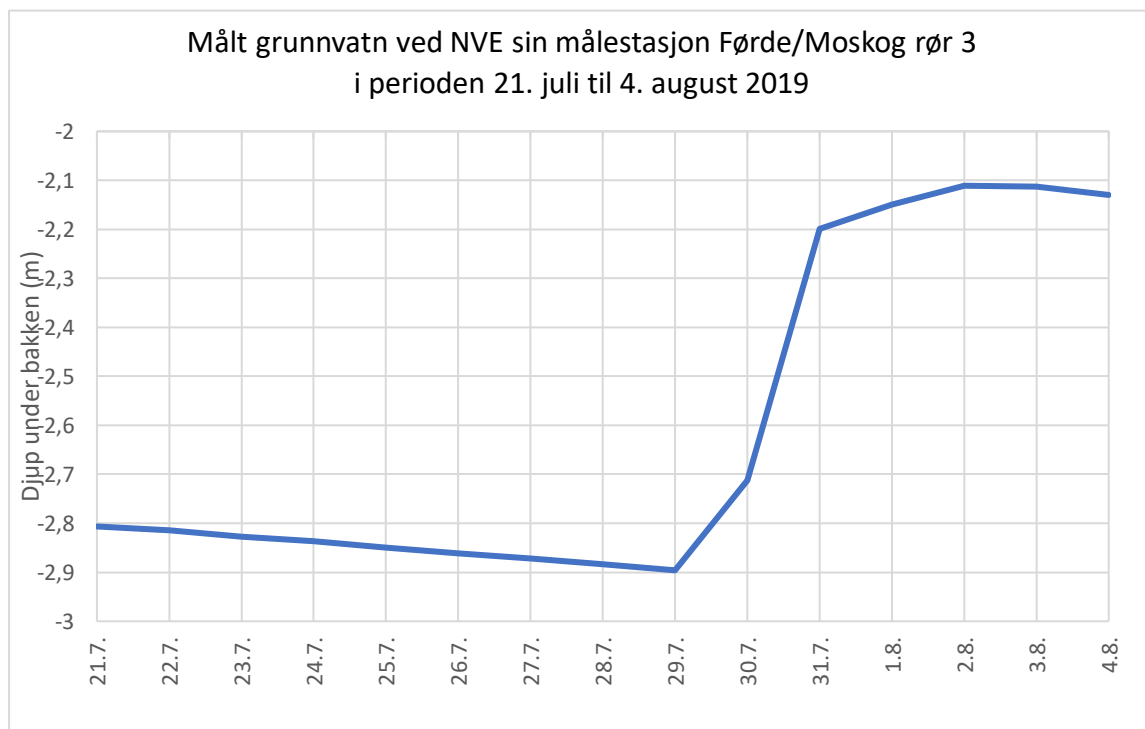


Figur 27 Grunnvasstanden den 30. juli 2019 kl.08:00 basert på interpolert data (xGeo, 2020c).



Figur 28 Grunnvasstanden den 31. juli 2019 kl.08:00 basert på interpolert data (xGeo, 2020d).

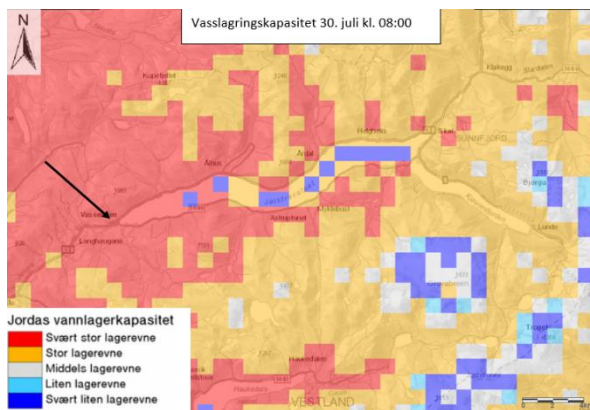
Døgnendring i grunnvatn kl.08 den 31.juli estimerer svært raskt til ekstremt aukande grunnvasstand tida etter nedbørshendinga 30.juli (xGeo, 2020e). Dette kjem òg fram av figur 29, med målt grunnvatn ved NVE sin målestasjon Førde/Moskog rør 3 (NVE, 2020c). Grunnvassnivået steig med nesten 18 cm frå 29. juli til 30. juli (frå 2,896 m under bakken til 2,712 m). Den 30. juli steig grunnvassnivået 51,3 cm. (NVE, 2020d). Målestasjonen Førde/Moskog rør 3 ligg om lag ni kilometer i luftlinje sør-vest for Vassenden.



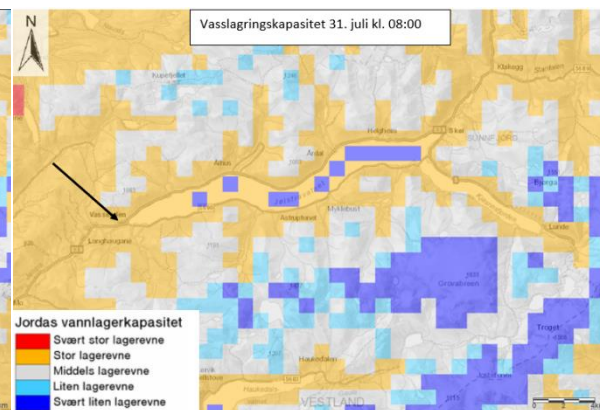
Figur 29 Grunnvassnivået målt ved NVE sin målestasjon Førde/Moskog rør 3, og er einaste målestasjon i området kring Jølster som måler grunnvassnivå. Data frå perioden 15.juli til 4. august 2019 er henta frå NVE (2020c) og utforma i Excel

5.2.2 Vasslagringskapasitet

Data frå xGeo syner vasslagringskapasiteten i mark- og grunnvatn i forhold til total metting. Den aktuelle dagens markvatn- og grunnvassnivå blir samanlikna med den maksimale modellerte verdien for gridcella med referanseperioden (Engeset et al., 2018). Den 30. juli 2019 var vasslagringskapasiteten svært stor (figur 30) (xGeo, 2020f). Dagen etter styrtregnhendinga var vasslagringsevna redusert (figur 31), særskilt sør-aust for Jølstravatnet, der vasslagringsevna er svært låg til låg (xGeo, 2020g).



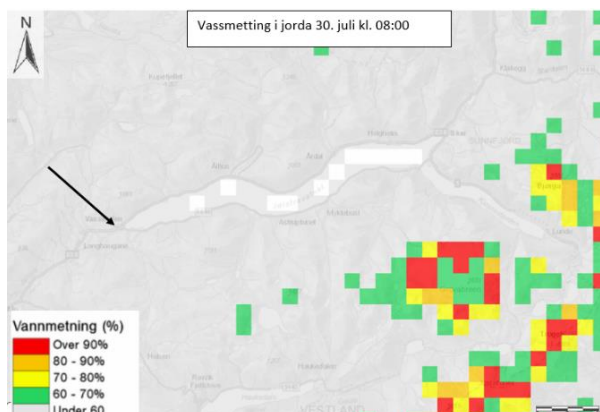
Figur 30 jordas vasslagringskapasitet 30 juli 2019 kl. 08:00 (xGeo, 2020f)



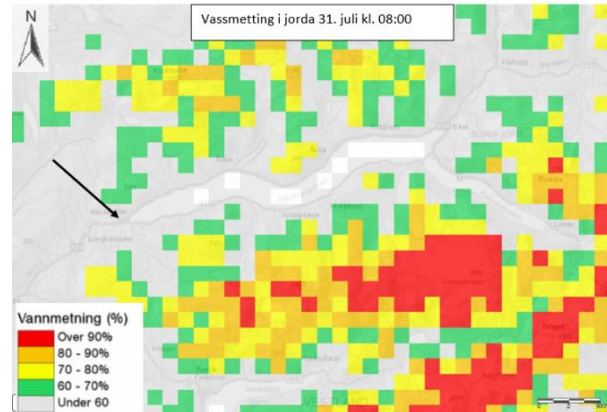
Figur 31 Jordas vasslagringskapasitet den 31. juli 2019 kl. 08:00 (xGeo, 2020g)

5.2.3 Vassmetting

xGGeo gir den prosentvise vassmettinga i jorda, der prosentandelen er forholdet mellom dagens simulerte vasslager samanlikna med maksimalt simulert vassmetting (2020i). Vassmettinga var under 60% den 30.juli 2019 (figur 32), medan ei tydeleg auke i vassmetting i jorda den 31.juli, synt med oransje-raudt på figurane (figur 33). Nedbøren dette døgeret utgjorde 60% til over 80% av maksimal dagleg vasstilførsel (xGeo, 2020j)



Figur 32 Interpolert data frå xGeo som syner jordas vassmetting 30. juli 2019 kl. 08:00 (xGeo, 2020h)



Figur 33 Interpolert data frå xGeo som syner jordas vassmetting 31. juli 2019 kl. 08:00 (xGeo, 2020i)

5.3 Resultat frå GIS-analyse

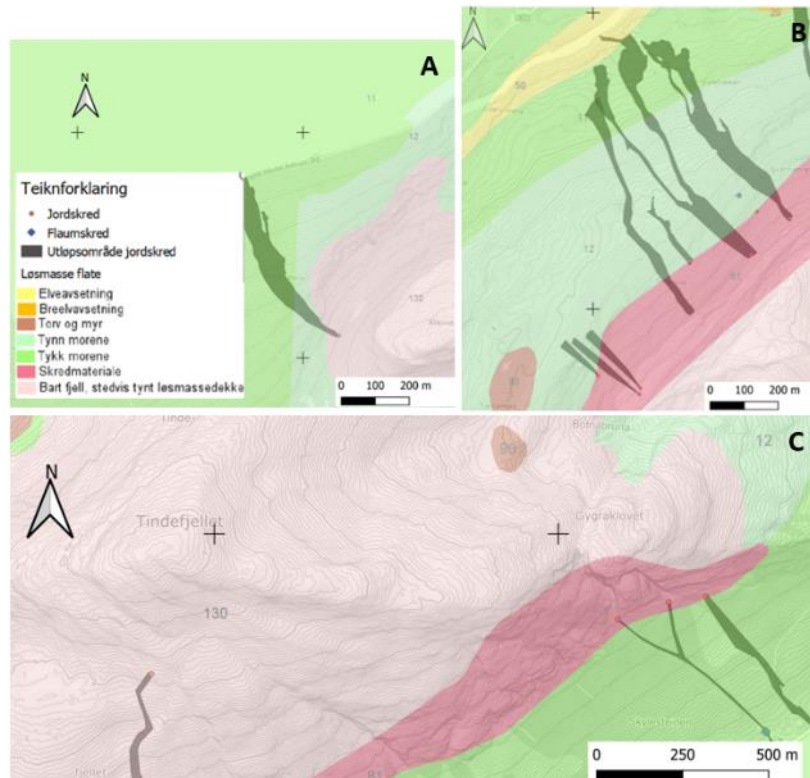
5.3.1 Kartanalyse

Sidan oppgåva ikkje omfattar feltarbeid har ulike kartanalysar blitt utført i QGIS for å avdekke nokre av dei statistiske føresetnadane nemnd i kap. 3.2 for dei ulike skredområda. Resultata er samanfatta i tabell 7. Det er ikkje skilt mellom skredhendingar i tabellen som er funne å ha lite variasjon i føresetnadane, til dømes dei fleste av skreda på Slåtten der skreda er utløyst i eit kort tidsrom i eit avgrensa område. For området Tindfjellet er dei skreda registrert med namn Løsetslåtten (tabell 1), omtalt som vest – midt og aust etter kvar dei er registrert (figur 4).

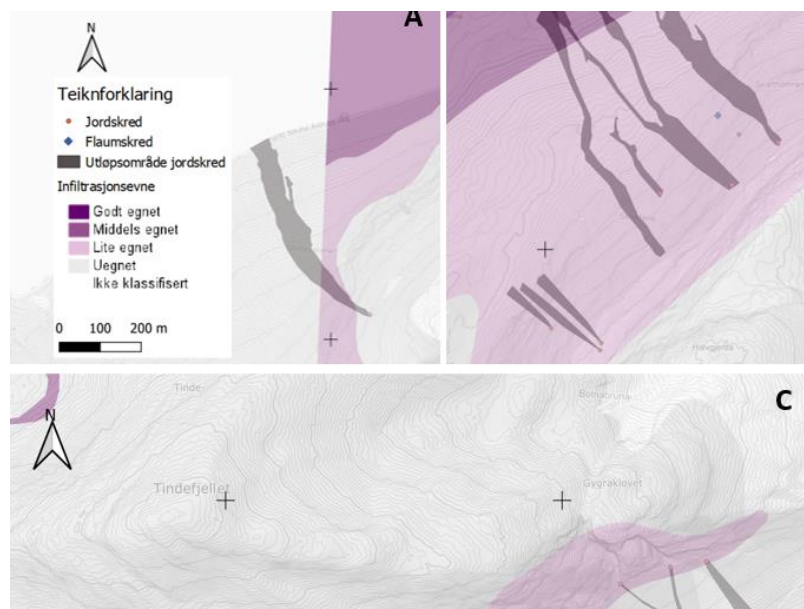
Tabell 7 Resultat frå ulike kartanalysar i QGIS av statistiske føresetnadar og faktorar for skredområda i Jølster; Tindfjellet, Slåtten og Årnes

Kartlagde eigenskapar	Tindfjellet		Slåtten	Årnes	
Skrednamn (tabell 1)	Årsetskredet	Løsetslåtten frå vest -midt-aust	Skredene 2019 Slåtten og Slåttene	Slåtten midtre	Strandvollen, sørsida av Jølstravatnet
Lausnepunkt moh.	868 moh.	429-503 moh.	500 – 613 moh.	353 moh.	655 moh.
lausmasstype i lausneområde (figur 35)	130 – bart fjell /tynt lausmassedekke	81 – skredmateriale samanhengande dekke.	81 – skredmateriale samanhengande dekke.	12 – morene	130 – bart fjell /tynt lausmassedekke
Lausmasse mektigheit i lausneområde	ubetydeleg dekke, minst 50% av arealet er bart fjell	tjukt dekke > 0,5m med få fjellblotningar	tjukt dekke > 0,5m med få fjellblotningar	tynt dekke (<0,5m)	ubetydeleg dekke, meir enn 50% av arealet er bart fjell
Infiltrasjonsevne i lausneområde (figur 36)	ueigna	Lite eigna	Lite eigna	Lite eigna	ikkje kartlagt
Skog i lausneområde (figur 6)	ikkje kartlagt	Furudominert (64-80år)	furudominert (71 år) og blanding (63 år)	Blanding	lauvdominert (45 år)
Skog i skredløp (figur 6)	Blanding, felt med gran	lauvdominert (46-62år), blanding (51 år)	blanding (63-71 år), furu (71 år), lauvdominert (54år). Grandominert ved utløp (50-63år)	Grandominert (71år)	lauvdominert (45 – 70år). Innslag av blanding (66år), gran (52år) og ved utløp lauvdominert (20år)
Brattheit ° i lausneområde (figur 37)	> 45°	> 45°	> 45°	> 45°	> 45°
Drenering til lausneområde [m²] (figur 10-42)	15820 m ²	50565 m ² i vest, elles 13307 m ² og 15820 m ²	3000 – 4500 m ²	20052 m ² 10m vest	3520 m ²
DOM 1 m skyggerelieff (figur 38)	Bart fjell	lausneområde knytt til overgang bart fjell -	lausneområde knytt til overgang bart fjell - vegetasjon	Dekke med vegetasjon	lausneområde knytt til overgang bart fjell - vegetasjon

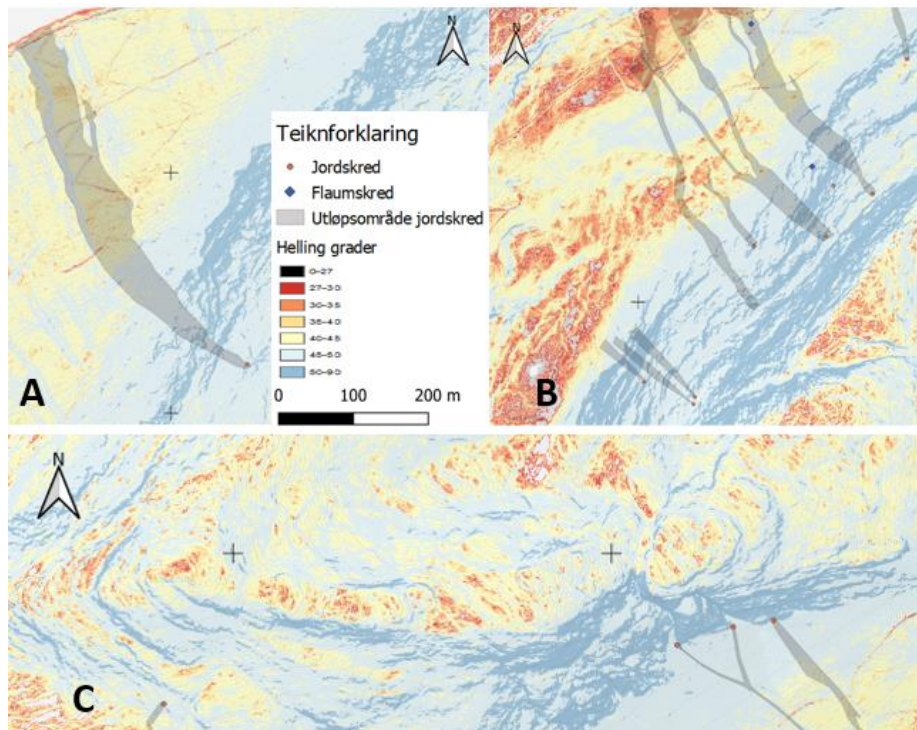
Figurane under viser til tabell 7. Figur 34 syner lausmassestype i utløysingsområda for dei ulike skredhendingane. Figur 35 infiltrasjonsevne og figur 36 hellinga i skredområda. I alle figurane «A» til Årnes, «B» til skredhendingane på Slåtten og «C» skreda registrert i Tindfjellet.



Figur 34 Syner lausmassedekke (M 1:250 000) i lausneområde og til dels i skredløp for Årnes (A), Slåtten (B) og Tindfjellet (C) og beskrive i tabell 7

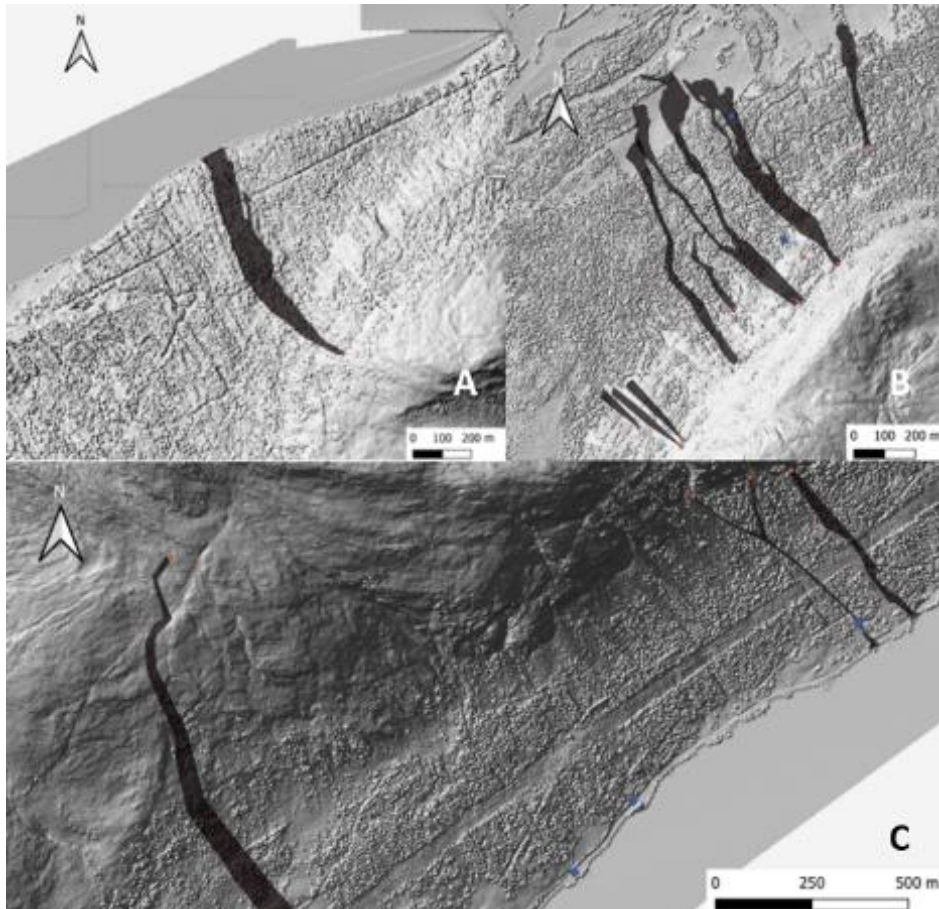


Figur 35 Syner infiltrasjonsevne (M 1:250 000) i lausneområde og til dels i skredløp for Årnes (A), Slåtten (B) og Tindfjellet (C) og beskrive i tabell 7



Figur 36 Syner hellinga i grader i lausneområde og til dels i skredløp for Årnes (A), Slåtten (B) og Tindefjellet (C) og beskrive i tabell 7.

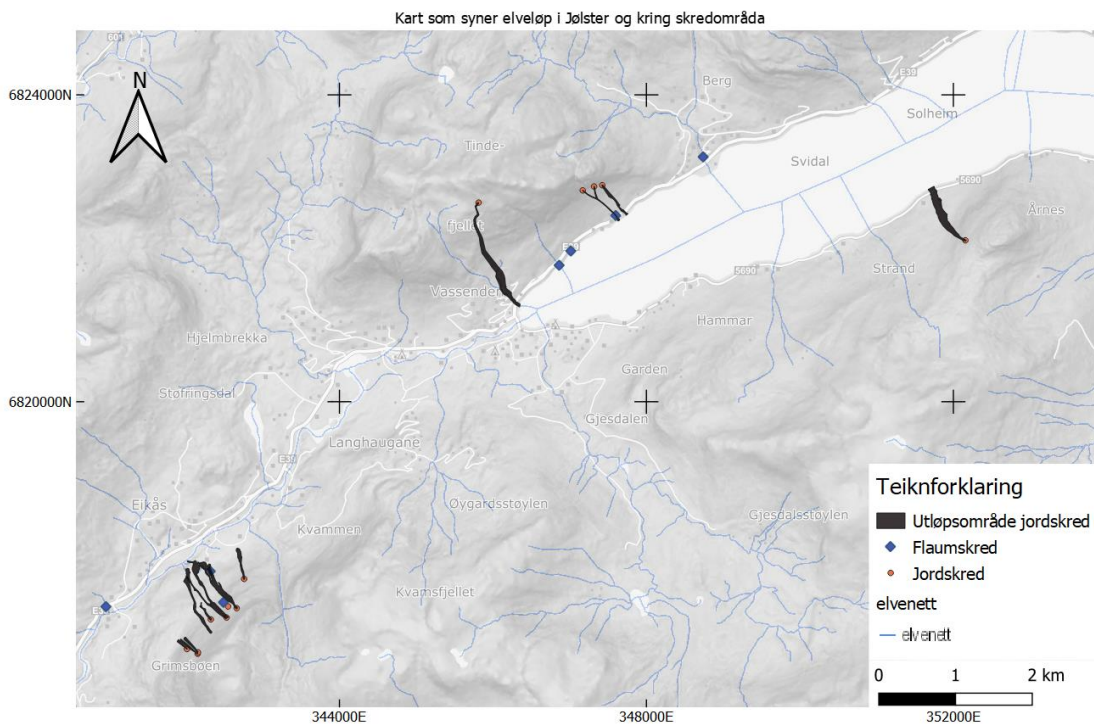
Skredhendingar og dreneringsløp vil gi forstyringar i terrenget. Ein digital overflatemodell (DOM) med skyggerelieff kan bidra til å tolke topografien, og gjere det mogeleg å tolke kvar ein har tidlegare skredavsetningar, skredbaner og ulike erosjonsformar. I tillegg er det mogeleg å skilje områder med vegetasjon frå bart fjell (Hefre et al., 2019; NVE, 2020b). Resultatet frå analyse av DOM med ein meters oppløysing for skredområda er synt i figur 37. Frå figuren kan det tolkast spor etter fleire erosjonsskanalar, ravine og skredbanar i alle skredområda. Bortsett frå skredet i Årsetelva (vestlegaste skred i figur 37C), og det austlegaste skredet på Slåtten (37B) kan det sjå ut som at samtlege skredhendingar er knytt til overgangen mellom blotta fjell/tynt lausmassedekke til eit dekke med meir vegetasjon. Skredhendingane i Slåtten ser ut til å har parti med blotta fjell under lausnepunkta og i øvste del av skredløpet. Dette kjem ikkje fram på lausmassekartet for området (figur 34). Derimot syner hellingskartet (36) relativt små områder/hyller med svakare helling kring lausnepunkta som korrelerer godt med DOM.



Figur 37 DOM 1m med skyggerelieff som syner moglege erosjonsspor og løp i lausneområde og dels i skredløp for Årnes (A), Slåtten (B) og Tindefjellet (C).

5.3.2 Dreneringsvegar

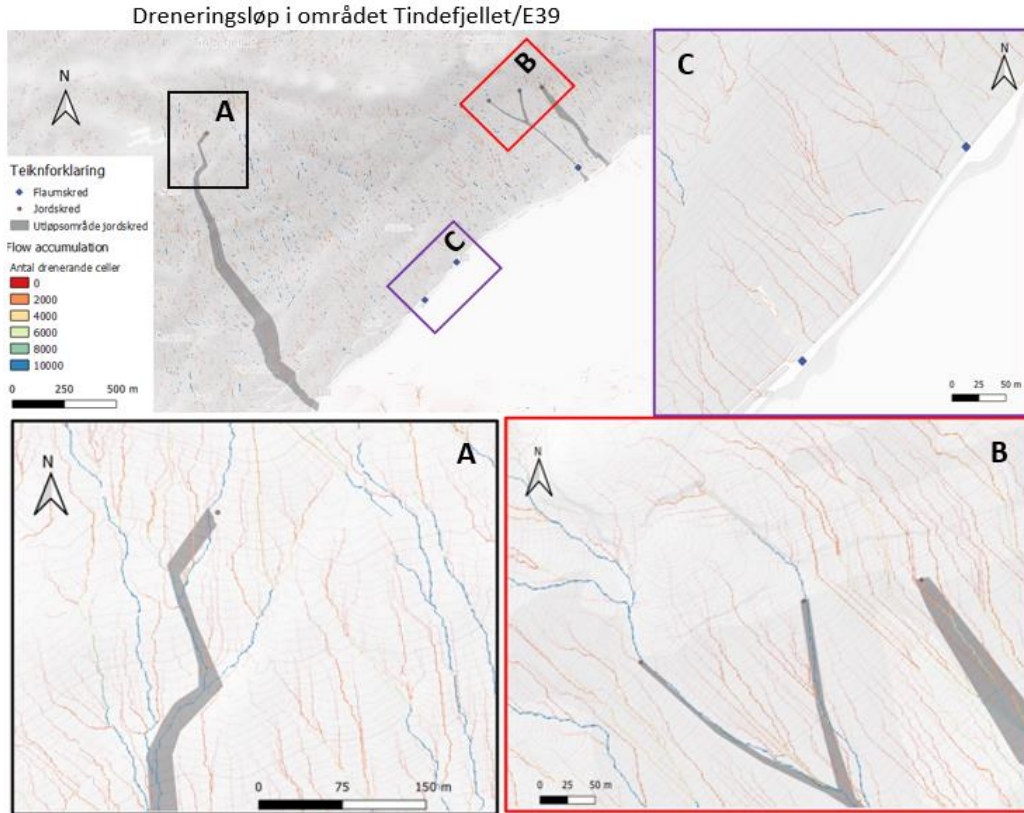
Ved å laste inn data frå NVE sin nasjonale elvenettverkdatabase (ELVIS) i GIS kan ein få fram elveløp i Jølster og rundt skredområda (figur 38). Det kjem fram av figur 38 at dei fleste flaumskred (synt med blå prikk på figur 38) utløyst er knytt til elveløp, men at dette ikkje er tilfelle for jordskreda (raud prikk på figur 38). Det er ikkje teikn til elveløp i utløpsområda for jordskreda, men det kan tyde på at topografien kring skreda er eigna for drenering.



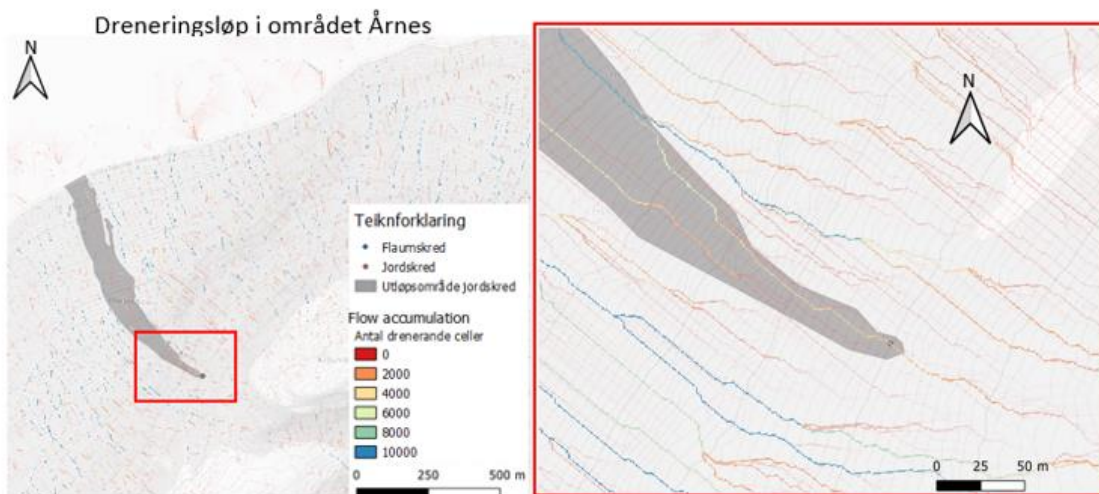
Figur 38 Oversiktskartet med elvenett henta frå NVE sin nasjonale elvenettsdatabse som syner elveløp i Jølster og rundt skredområda med skred utløyst 30. juli 2019. Vassenden, Jølster synt med svart trekant

Flow accumulation tilgjengeleg i ArcGIS vart nytta til å analysere mogelege dreneringsvegar i områda med skredregistreringar den 30. juli 2019. Resultata frå analysen er synt i figur 40 (Tindfjellet/E39), figur 41 (Årnes) og figur 42 (Slåtten) og det totale estimerte dreneringsarealet for områda er summert i tabell 7.

Tindfjellet/E39 er synt i figur 39, og delt i tre delområde (A, B, C). Resultatet syner fleire små dreneringsløp langs heile skråninga. Ein større dreneringsveg som leiar ned i registrert lausnepunkt for jordskredet i vest, registrert i NSDB med skrednamnet «Årsetelva» (NVE, 2020b) (A), med fleire tilløp nedover skredløpet. Totalt estimert dreneringsareal på 15820 m². For jordskreda i aust, Løsetslåtten (B), drenera det to tydelege dreneringsløp i det vestlege skredets to lausnepunkt, med eit dreneringsareal på 50656 m². For skredet lengst mot aust syner analysen ingen større dreneringsløp i lausneområde (B). For flaumskreda (C) er det kunn skredet mot aust som har tydeleg drenering til registrert utløpsstad.

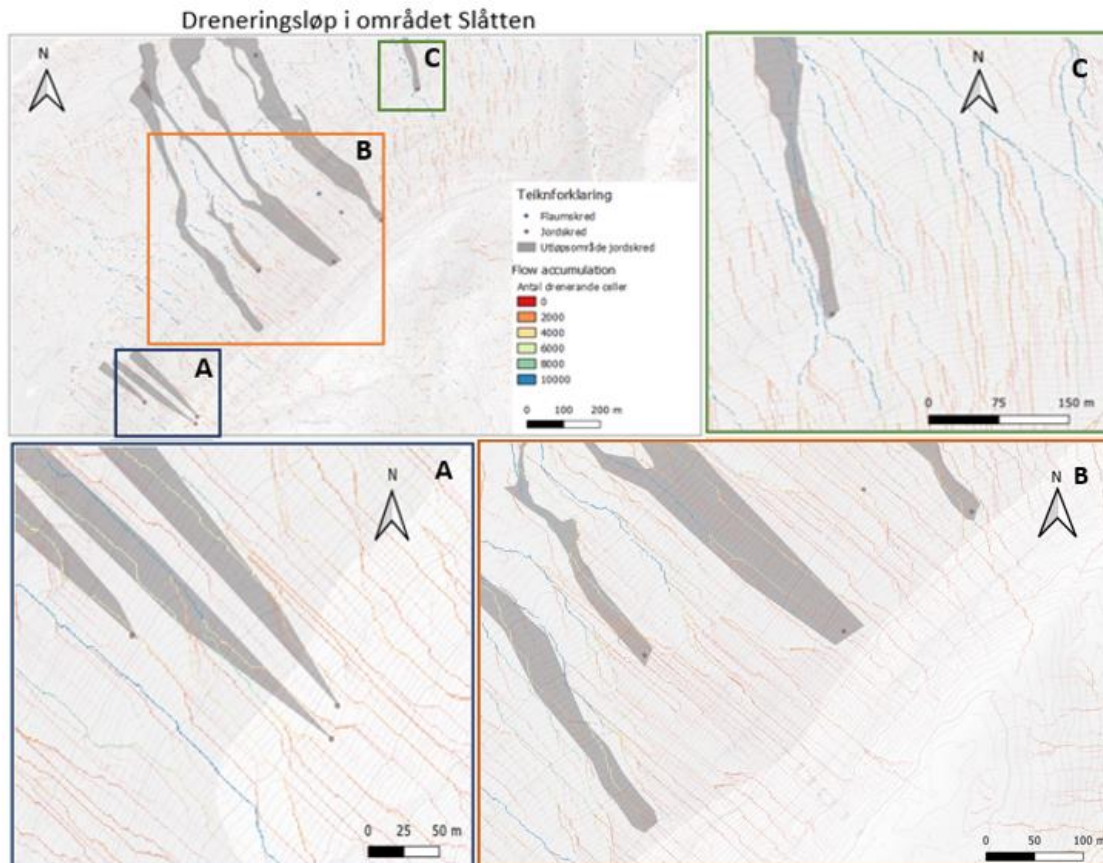


Figur 39 Dreneringsløp for skreda utløyst 30. juli 2019 i område Tindefjellet/E39. Analysen er basert på 1 m DHM



Figur 40 Dreneringsløp for skredet utløyst 30. juli 2019 i område Årnes. Analysen er basert på 1 m DHM

Figur 40 syner analyseresultata for området Årnes. Fleire små dreneringsløp i området kring skredets registrerte utløpspunkt, men ikkje tydeleg større drenering direkte til lausnepunktet, som har eit dreneringsareal på 3520 m². To større dreneringsløp er synleg om lag 75m vest og 40m aust for lausnepunktet (figur 40).



Figur 41 syner resultat for området Slåtten, der området er delt i tre (A, B, C) for å god nok oppløysing for kvart del-område. Resultata syner at mindre dreneringsløp pregar skråninga, men ingen større dreneringsområde i utløpsområda (frå 3000m² til 4500 m²) (A, B, C). Det vestlegaste skredet i delområde A har eit betydeleg større dreneringsløp om lag 20m vest for lausneområdet, med eit dreneringsareal på 20052 m².

5.4 Synfaring

Det må merkast at oppgåva omfattar ikkje detaljert feltarbeid. Som nemnd i kap. 4.2 vart synfaringa gjennomført for å få ei betre forståing av nedbørsrelaterte lausmasseskred. Det vart likevel gjort nokre observasjonar som kan ha nytteverdi for tolkingar av skredutløysande årsaker. Ettersom synfaringa var gjort relativt kort tid etter skredets utløysing var det mogeleg å få oversikt over kva lausmassar som var til stades i skredløpet og levéar. I tillegg vart erosjonskanalar og erosjonsdjupn i skredløpet sett på, samt dreneringsforhold i området. Observasjonane er samla i oversiktsbilete i figur 43.

Lausneområde:

Lausnepunktet ligg 655 moh. på ei av fleire overliggjande hyller med svakare helling i eit elles bratt terreng (over 40°). Vegetasjonen i lausneområdet er prega av sprett bjørk, gras, lyng, mose og bregne. Området er prega av større blokker dekkja med tynt vegetasjon- og jorddekke, med moglege jordsig. Brotkanten er halvsirkelforma, om lag fem meter brei med utvidar seg raskt til 10 meter etter 11 meter i fallretninga. Lausmassane i bakkant av lausneområdet har ei mektigheit på kring 50 cm. Øvst eit humusholdig jordlag, så eit brunt humusrikt jordlag med klustar i størrelse blokk. Nedst eit gråleg, sandig diamikt. Det er observert lommer med finere material i lausneområdet. Dei fyrste metrane er glideplanet på hovudsakleg på sandig diamikt. I austleg del av lausneområdet ser glideplanet ut til å vera på finere sediment der antydingar til noko som kan vera skurestriper er observert (figur 42). Nokre stader, og lengre ned i lausneområdet er det erodert ned til berggrunn, og bart fjell kan fungert om glideplan for lausmassane.



Figur 42 Bilete av striper på fine sediment aust i lausneområde. Dette er tolka til å vera skuringsstriper. Foto: Denise Ruther

Skredløp:

Nedanfor brotkanten er det observert eit bratt parti i skredløpet, om lag frå 655 til 445 moh. Her er hellinga høg, og skredløpet aukar i breidda til om lag 40m. Grunna brattheita er det ikkje observert nøye i området. Det kan sjå ut som at lausmassedekket er tilsvarande som i lausneområdet, med tynt, humushaldig jordlag. Her har erosjonen for det meste gått ned til berggrunnen. Nokre sporadiske lommer med finkorna til sandig diamikt blir observert i skredløpet.

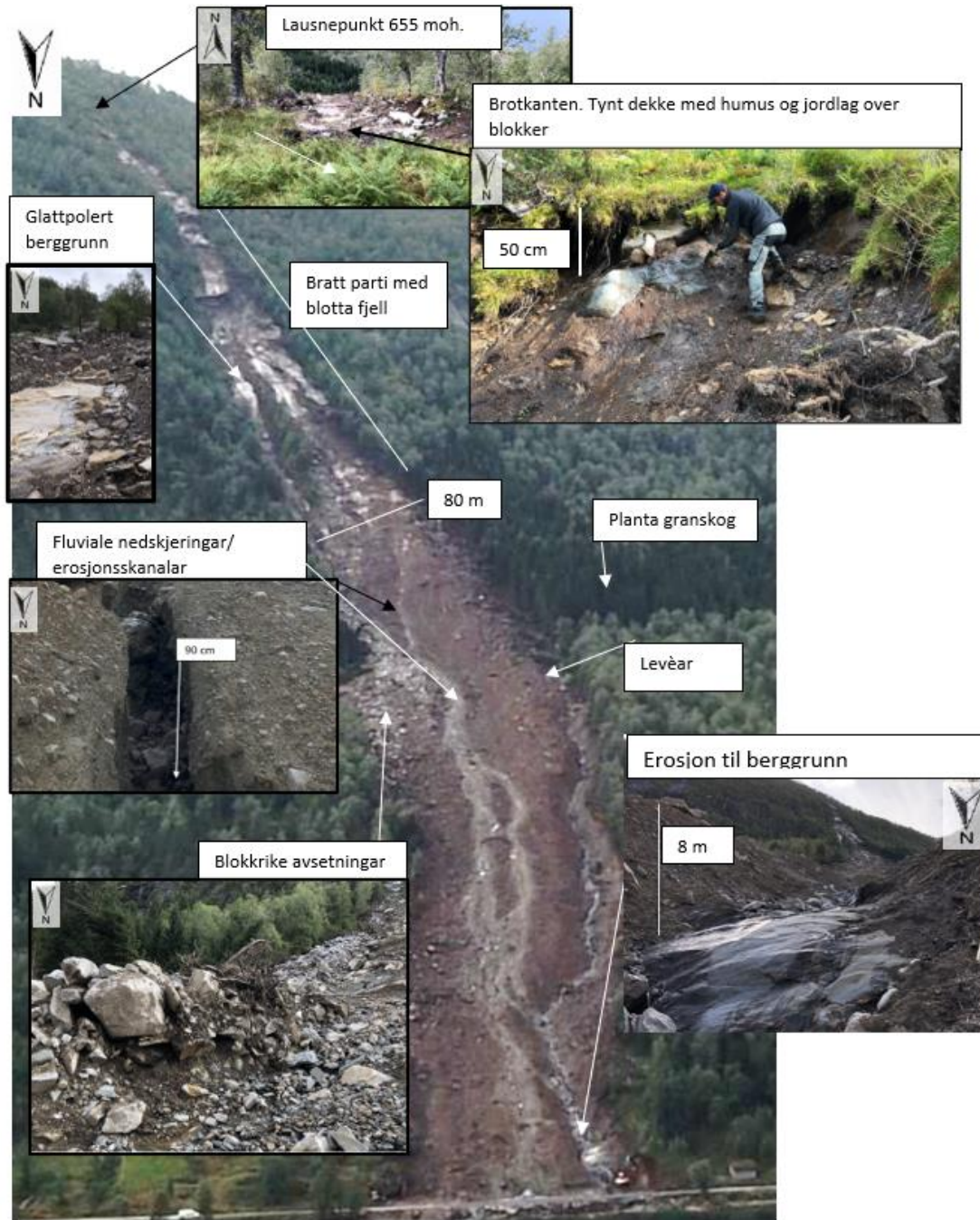
Breidda på skredet aukar til 80 m ved ca. 400 moh. Dette samstundes som hellinga blir svakare og lausmassedekket mektigare. Skredet held denne breidda (80 til 100 m) fram til det går i Jølstravatnet på 205 moh. Hellinga i nedre del av skredløpet er under 25°. Stratigrafien i synleg lausmassedekke ser ut til å bestå av ein gråleg farga diamikt under eit lausare, brunfarga diamikt. Mektigheita er estimert til å vera på omlag fem meter. Erosjonen er ujamn, men hovudsakleg

avgrensa til den øvstliggjande brune diamikten. Nokre stader er det observert nedskjeringar, 50 cm til 1 m, i den grå diamikten. Vest i skredløpet nær Fv 5690 har skredløpet fylgt ein eksisterande kanal der erosjonen er ned til bart fjell.

Langs heile nedre skredløp (frå 400 til 205 moh.) er det avsett levèar. Austleg sida av skredet er prega av mykje grov vegetasjon og blokker opp mot 2 m i diameter. Levèane i vest er observert til å bestå av den same brunlege diamikten som er ein del av stratigrafien i skredløpet, med dårleg sortering. Utløpsområdet var ikkje tydeleg då skredet har gått ut i Jølstravatnet. I tillegg var òg oppryddingsarbeidet godt i gang under synfaringa.

Oppsummering:

Gitt topografien med bratt fjell i bakkant er det basert på observasjonane i området rund og i lausneområdet nærliggjande å tru at lausneområdet er ei avsetningar frå steinsprang med jordddanning over. Det nedste laget, sandig grått diamikt, er mogleg remobilisert eller forvitra morene. Lommene av finere sediment kan være utfellingslag, botnmorene eller glasifluviale avsetningar. Glideplanet består av den sandige diamikten og fine sediment. På grunn av variabel og ujamn erosjon i skredløpet står stratigrafien i nedre skredløpet (frå 400 til 205 moh.) fram som noko kaotisk. Den underliggjande gråleg kompakte diamikt som tolkast å være botnmorene, medan den brunlege, forvitra diamikten over har truleg opphaveleg vert morene men ved skredprosessar blitt remobilisert og forvitra gjennom prosessar av jordddanning. Observasjonane er noko usikre, og utan kornfordelingsanalysar er det vanskeleg å vere sikker i tolkinga. Levèane i aust, med store blokker, samt observasjonar av blokker i skredløpet kan tyde på remobiliserte skredmassar, hovudsakleg frå steinsprang. I vest er levèane prega av dårleg sorterte massar, truleg remobilisert morenejord og jord.



Figur 43 Oversiktsbilete med observasjonar gjort under synfaringa 09. september 2019 av skredet "Strandsvollen, sørsida av Jølstravatnet" Årnes. Foto: Denise Ruther, 09. september 2019.

5.5 Augevitne

Resultat av samtaler med Tor Arild Segtnan og Geir Ståle Støfring, begge busett i Vassenden, Jølster, om deira opplevingar hendingsdagen 30. juli 2019.

5.5.1 Tor Arild Segtnan

Samtalen med Tor Arild Segtnan vart gjort under synfaring til Jølster 26. februar 2019, og det er gitt samtykke til bruk av informasjonen.

Tor Arild Segtnan er brannsjef i Jølster brannvern og delaktig i den lokale beredskapsgruppa som hadde eit stort ansvar under hendingane som fylgje av styrtregnet i Jølster 30. juli 2019. Han er òg den som har forfatta «Evalueringa jordras og evakuering Vassenden 30. juli 2019», som har gitt eit godt grunnlag for forståinga av hendingsgangen denne dagen.

Tor Arild Segtnan fortel han var på jobb i Skei tysdag 30. juli 2019. Det var strålende sol fram til lunsjtider, då det skya over. Etersom Segtnan har ei rolle i Jølster brannvern og i beredskapsgruppa var han særleg merksam på vêret då det var meldt om lyn og tore, noko som medføra at utstyret nytta i brannvernet krev ekstra tilsyn. Kl. 15:00 var det normalt dårleg vêr på Skei då Segtnan køyrde heimover mot Vassenden. Ved Svidal, rett før brua på Svindalsneset (om lag 18 km vest for Skei) køyrde han inn i eit kraftig styrtregn. I fylgje Segtnan var nedbøren så intenst at vindaugsviskarane ikkje makta fjerne vatnet på maks hastigheit. Dette høgintense styrtregnet varte i ca. fem minutt før nedbøren gjekk over til «normalt mykje regn». Det fortsette å regne mykje fram til skredutløysingane kom, med periodar med høgare intensitet på nedbøren.

Tor Arild Segtnan estimerer at det denne dagen gjekk minst 20 skred om ein inkludera alle små skred, der minst 10 truga infrastruktur.

5.5.2 Geir Ståle Støfring

Samtalen med Geir Ståle Støfring vart gjort ved telefonsamtale den 17. mars 2020, og det er gitt samtykke til bruk av informasjonen.

Geir Ståle bur på Støfring, på familiegard gjennom fleire generasjonar. Lokasjonen til garden er midt i dalføret, og dei opplever stadig kjapp avrenning. Difor er dei kjent med å sjå etter vêrteikn og å «lese naturen», slik at dei er førebudd på det som kjem. Den 30. juli 2019 var alle signala der om at vêrvarsla om mykje regn skulle stemme. Tidlegare på dagen var Geir Ståle med familien på bading. Rundt kl. 14:00 såg han byer i aust som breidde seg mot vest/nordvest (mot Vassenden),

og skjønnte at uvêret var på veg. Av erfaring hevdar Geir Ståle at byer frå aust gir dei verste skybrota. Ettersom det ved kraftige regnbyer krev ekstra arbeid på garden var han merksam på vêret, men uvanleg nok såg det ut som at byene stogga opp, og brukte svært lang tid mot vest. Mellom kl. 14 -14:30 stod skyene over Ålhus, aust for Vassenden. Geir Ståle og familien tok seg difor god tid, og det vart fleire badeturar før dei vendte heimover. Det tok nærare 30 minutt til før byevêret seig vestover mot Vassenden. Om lag kl. 15:00 kunne tore høyrast, og dei køyrde då heimover.

Heime på garden venta han på teikn om at regnet skulle kome. Vanlegvis kan ein merke det på vinden, eit kaldare drag. Men denne dagen var det heilt vindstille på garden, og lufta var varm. Det såg ikkje ut til at det skulle skje noko. Det var ikkje før klokka nærma seg ca. 15:45 at det vart lyn –og toreaktivitet, men ikkje nedbør. Han såg over Gaularfjellet at det kom skyer frå sør som strekte seg nordover. Geir Ståle arbeidde på garden, grov grøfter og sikra utstyr og liknande forberedande arbeid mot store nedbørsmengder. Etter middagstid kl. 17:00 gjekk han på kjøkkenet, som har utsyn mot fjellet Halvgjerda over Slåtten (ca. 2km luftlinje mot sør). Der såg han vatn over alt. Fjellsida var farga kvit av massar av vatn og blotta stein. Hogstfeltet som ligg i området var dekkja av vatn.

Bestefar til Geir Ståle , og sjølv drivar av garden i si tid, hadde lært frå seg at dersom ein kunne telja meir enn 20 grov i fjellet var det på tide å ta på støvlane å sikre alt av dyr, vegar og utstyr på garden. Denne dagen talde far til Geir Ståle 42 grov i fjellet, med vassøyler som stod ut av fjellet. Heile fjellsida var dekkja av store mengder vatn i god bevegelse. «Ein såg berre kvitt. Kunne nesten tru det sludda, med det var jo varmt. Det må ha vert store mengder og krefter i det vatnet». Geir Ståle observerte at byene var svært lokale, og at det såg ut som det var lite eller ingen nedbør vest for Ålhus.

Geir Ståle fekk stor bekymring for busetnaden på Slåtten, folk og bygningar, samt hadde han sjølv dyr på beite der borte. I tillegg hadde han motteke ein video som synte skreda utløyst i området. Geir Ståle køyrde mot Slåtten, og merka seg at grusvegen på garden hans ikkje var prega av noko nedbør, berre ei lita rand – ikkje større enn ved vanleg regn. Ved E39 hadde elva Jølstra flauma over, der vassmassane innehaldt store mengder jord. Geir Ståle følgde med på nedbøren fram til kl. 19:00. Omkring kl.18 vart dei eit opphald i nedbøren, og sideelvane roa seg. Rundt kl. 19:30 for vegen hans som følgje av at massane no var vassmetta. Det var fortsett nedbør i området sjølv om den ikkje var like «styrande» som tidlegare.

6 Diskusjon

I dette kapitlet vil resultatane bli diskutert og vurdert med oppgåvas målsetjing som bakteppe. Som presentert i innleiinga (kap. 1.2) er ynskjer denne oppgåva å bidra med:

1. Den romlege og temporale fordelinga av styrtregnet i Jølster 30. juli
2. Relatere den romlege og temporale fordelinga for nedbørsmengd og -intensitet til lausnetidspunktane for skredhendingane.
 - Forbetre kunnskapen om lausnetidspunkt for dei største skreda som øydela eller trua infrastruktur.
 - Samanlikne dreneringssituasjon, lausneårsaker og skreddynamikk for dei ulike skreda.
 - Diskutere om årsak og skreddynamikk for lausmasseskred utløyst under sommarstyrtregn skil seg frå dei utløyst etter langvarig haust og vårstormar.
3. Observasjonane si betyding for arealplanlegging og varslings
 - Vurdera om dagens aktsemd og varslings er tilstrekkelege verktøy når det kjem til jordskred løyst ut etter tørre periodar etterfølgd av styrtregn.

Oppgåva famnar om tre målsetjingar med tilhøyrande delmål. Kapitlet vil fylgje strukturen synt over. Fyrst vil resultatane frå analysen av dei meteorologiske forholda og augevitne bli diskutert for å belyse dei meteorologiske forholda under styrtregnhendinga, og kjelder til nedbørsdata samanlikna (6.1). I delkapittel 6.2 vil den romlege og temporale fordelinga av nedbørsmengd og -intensitet knytt opp mot lausnetidspunkt for skredhendingane. Det er valt å danne eit eige kapittel for delmålet som omfattar dreneringssituasjon, lausneårsaker og skreddynamikk (6.3) då det vil gi ein ryddigare framstilling. Her vil dei statistiske føresetnadane bli knytt opp mot mogelege årsaker til skredutløysing og skreddynamikk. Det vil bli diskutert om funna i oppgåva indikerer skilnadar mellom lausmasseskred utløyst under sommarstyrtregn og skred utløyst etter langvarig haust og vårstormar. Avsluttande, i delkapittel 6.4, vil det bli vurdert om resultatane indikerer behov for betre eller anna aktsemd kring skred utløyst av styrtregn etter tørrare periodar. Kvart delkapittel vil starte med å belyse dei usikkerheitane knytt til dataa og metodane relatert til det som blir diskutert.

6.1 Den romlege og temporale fordelinga av styrtregnet

Ulike kjelder er blitt nytta for å analysere dei meteorologiske forholda under styrtregnhendinga i Jølster 30. juli 2019. Ettersom det ikkje lukkast å kome i kontakt med eigarar av private målestasjonar i området består kjeldene i vêrdataa frå offisielle målestasjonar, vêrradar og augevitne.

6.1.1 Usikkerheiter knytt til meteorologiske data frå xGeo, eKlima og vêr-radar

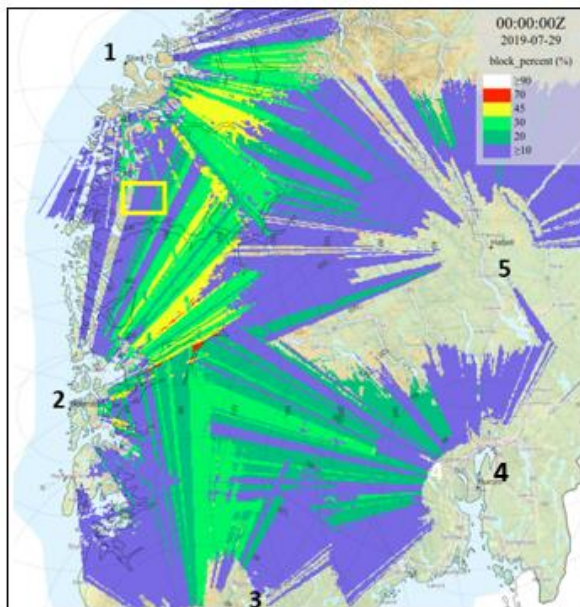
Nedbørsdata henta frå xGeo er berekna ved interpolasjon som baserar seg på avstanden til næraste målestasjon samt høgd over havet, med 1 km² gridceller (Colleuille et al., 2017; Engeset et al., 2018). Dette gir at kvart observasjonspunkt (gridcelle) har ein kilometer avstand, noko som medføra ein usikkerheit i nedbørsdata då lokale variasjonar i nedbørsintensitet kan treffe mellom observasjonspunkta (Colleuille et al., 2017; Ødemark et al., 2012). Dette gjeld spesielt for nedbørstypen studert i denne oppgåva, konvektiv nedbør, og usikkerheita i interpolering kan i slike tilfelle bli stor.

Sprett romleg fordeling av pluviometerstasjonar og avstand til næraste vêrradar gir usikkerheit knytt til lokale målingar av nedbørsintensitet. I tillegg vil sterk vind, fordamping og ulike nedbørstypar påverke akkumulert nedbør for både vippe- og vektpluviometer, og gi feilregistreringar. Pluviometermålingar har under fleire ekstreme vêrhengingar synt å ikkje klare fange opp total nedbørsintensitet (Abdella & Engeland, 2013; Førland et al., 2016)

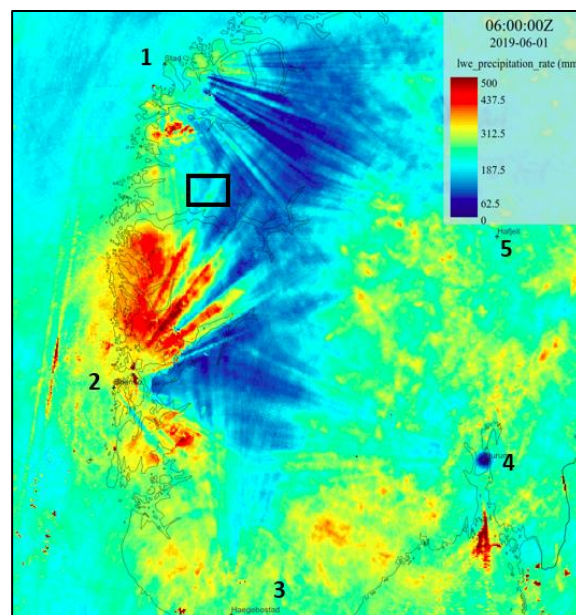
Den næraste målestasjonen med timesoppløysing er Haukedal, 16km frå Vassenden. Dette medføra usikkerheit i kor representative nedbørsdataa er for Jølster, og områda med skredhendingane. Radardata kan gi eit betre estimat av nedbørens romlege og temporale fordeling (Abdella & Engeland, 2013), og blir av Sidle & Bogaard (2016) anbefala å nytta saman med nedbørsdata frå målestasjonar for å få ein meir realistisk framstilling av nedbøren. Difor har radardata blitt nytta i denne oppgåva. Ved å nytte fleire kjelder til nedbørsdata har det vert mogleg til å samanlikne og vurdere dataa.

Som nemnd i metode-kapittelet er det fleire feilkjelder ein lyt vera merksam på ved bruk av radardata (omtalt i kap. 4.5.5 og synt på figur 15). Demping av radarsignal, der nedbør i skuggen av intense regnbyer blir mindre synleg, vert fremjar av Abdella & Engeland (2013) som ei viktig feilkjelde ved konvektiv nedbør, som er nedbørssituasjonen oppgåva tek føre seg. I tillegg inneheld ofte konvektiv nedbør mykje hagl som har sterkare refleksjon enn våt nedbør (C.A. Flo, MET, personleg kommunikasjon, 27. mars 2019). Estimering av nedbør nær bakken er vanskeleg

då dei ulike høgdenivåa som radiostrålen reflektera i ulike avstandar frå radaren ikkje fangar opp endringar i nedbørens karakter på veg mot bakkenivå (Ødemark et al., 2012). Fjellformasjonen som skil Austlandet og Vestlandet blokkera for radarsignal på Vestlandet. Den prosentvise blokkeringa 29. juli 2019 kjem fram i figur 45. For studieområdet i oppgåva (gult rektangel i figur 44) er det omlag 10-20 % blokkering frå radarane på Stad (nr. 1) og Bømlo (nr. 2). Aust for Bømlo er det store blokkeringar grunna fjellformasjonen. Det same ser ein for Hægebostad (nr.3), Hurum (nr.4) og Hafjell (nr. 5) mot vest. For å få gode radarmålingar av nedbør trengst det ei rekkevidde innanfor 100km. Rekkevidda til radar Hægebostad (nr.3), Hurum (nr.4) og Hafjell (nr. 5) vil vera på godt over 100km frå Jølster, og difor ikkje gi gode nedbørsverdiar for områda kring Jølster. Utifrå akkumulert nedbørsmengd i perioden 1.juli til 1.september 2019 (figur 45) kjem fjellformasjonens blokkering for radarmåling på Vestlandet tydeleg fram.

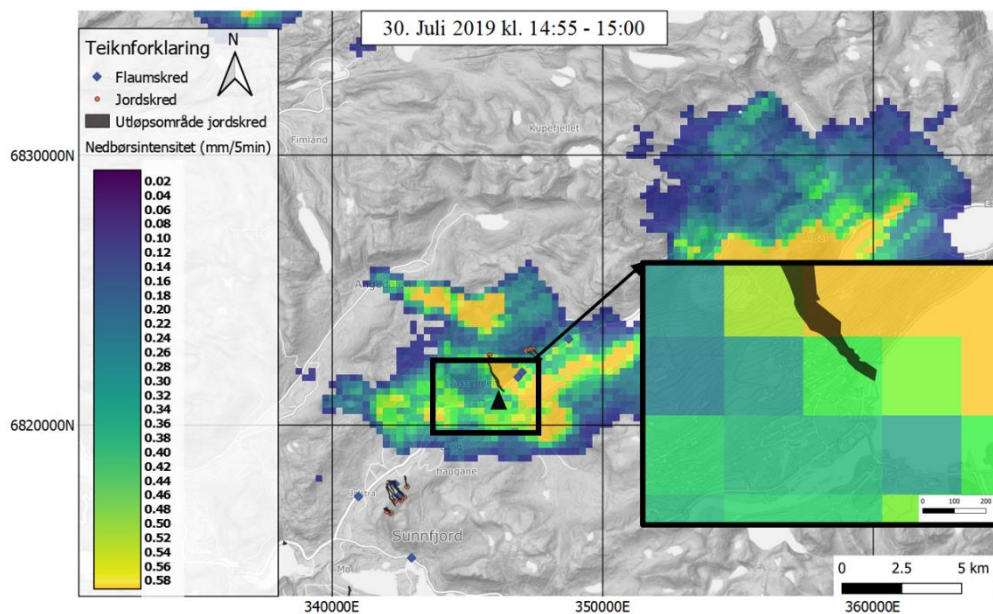


Figur 44 Syner den prosentvise blokkeringa for dei fem radarane (Stad (nr.1), Bømlo (nr. 2), Hægebostad (nr.3), Hurum (nr.4) og Hafjell (nr.5) for Vestlandet. Gult rektangel syner området kring Jølster. Tilsendt og attgjeve med løyve frå C. A. Flo ved MET.



Figur 45 Akkumulert nedbørsmengd i perioden 1.juli - 1.september 2019. Nummerering av radarstasjonar lik som i figur 21. Svart rektangel indikerer området kring Jølster. Tilsendt og attgjeve med løyve frå C. A. Flo ved MET

Dersom luftlaga nær bakken er oppvarma kan ein få fordamping og mindre nedbør, eller få ei auke i intensitet om det er høg fuktigheit eller lågare temperatur. Ved spesielt høge nedbørsintensitetar kan denne feilkjelda gi signifikant feil for c-bands-radarar, og auke usikkerheita knytt til Z-R forholdet (Abdella & Engeland, 2013; Hollemann, 2006). Ettersom det var ein temperatur over 20° dei seks siste dagane i forkant av nedbørshendinga er det rimeleg å tru at lufta nær bakken var oppvarma, i tillegg steig temperaturen i Haukedal til 28° rett før fyrste nedbørsregistrering (figur 18, kap. 5.1.1) noko som kan ha gitt fordamping av nedbør. Av figur 46 ser ein reflekterte nedbørsintensitetar dei siste fem minuttane fram til kl. 15:00 i Vassenden, med nedbørsintensitetar mellom 0.34 og 0.46mm/5 min i området. I fylgje augevitne Geir Ståle Støfring var han på badestranda i Vassenden til om lag kl. 15.00. Badestranda ligg nær den svarte trekanten i figuren. Geir Ståle fortel om torevêr, men opphald. Dette kan indikere at noko av den fyrste nedbøren har fordampa som følgje av det oppvarma luftlaget nedst mot bakken, og følgeleg gi radardataa for høge akkumulerte nedbørsverdiar.



Figur 46 Akkumulert nedbørsintensitet frå kl. 14:55 til kl. 15:00 30. juli 2019. Utheva område syner nedbørsintensitet i området der augevitne ikkje observerte noko nedbør i denne perioden.

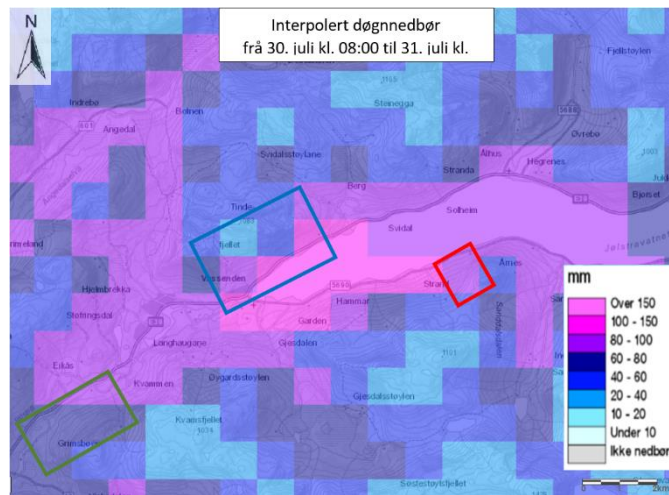
6.1.2 Kjelder til nedbørsdata – ei samanlikning

Interpolert nedbørsmengd i Jølster 30. juli syner over 150 mm i området under Tindefjellet, medan 60-80 mm på Slåtten og under 80- 100 mm for området Årnes i perioden frå 30. juli kl. 08:00 til 31. juli kl. 08:00 (figur 47). Høgste verdi på

døgnnedbør er «over 150 mm» i xGeo. Det er difor ikkje mogeleg å avgjere høgge verdiar over dette gjennom xGeo. Ved å

konvertere og summere nedbørintensitet frå radardata (frå 30. juli kl. 02:00 til kl. 01:55 31.juli 2019) får ein 267,9 mm akkumulert nedbørsmengd ved Tindefjellet, 358,8mm på Slåtten og 97,6 mm ved Årnes. Radardata og xGeo korrelera godt for Årnes, og samsvarer med at det ved Tindefjellet har høgst akkumulert nedbør dette døgeret. Likevel korrelera ikkje radardata og xGeo på den romlege fordelinga av den mest intense nedbøren. I fylgje radardata har heile området på sørsida av Tindefjellet høge nedbørsverdiar (Figur 22, kap. 5.1.3). xGeo og radardata samsvarar ikkje for området på Slåtten. Nesten 300 mm skil den interpolerte døgnnedbøren frå akkumulert nedbørsmengd henta frå radardata (høvesvis 60-80 mm mot 358,8 mm) (tabell 6, kap. 5.1.4). Etersom observasjonar frå augevitne støtter store nedbørsmengder på Slåtten, og radardata syner nedbør med høg intensitet over ein lang periode, er det rimeleg å anta at xGeo i dette tilfellet underestimerer akkumulert døgnnedbør for Slåtten.

I følgje eKlima målte Haukedal målestasjon 78,5 mm den 30. juli 2019. Berekingar frå nedbørsintensitet henta frå radardata for same periode syner ei nedbørsmengd på 89 mm ved målestasjonen. Det må nemnast at punkta der radardata er henta ut frå vil kunne avvike noko frå nøyaktig plassering av målestasjonen (sjå figur 25, kap.5.1.3). Haukedal målestasjonen syner det gjennom nedbørsdøgeret (frå 30. juli kl. 08:00 til 31. juli kl. 08:00) vart målt 108 mm nedbør (Agersten et al., 2019). Radardata gir ei nedbørsmengd på 110,6 mm i Haukedal i tida frå kl. 02:00 den 30. juli til kl. 01:55 den 31. juli. Det er mogeleg all nedbør ikkje er fanga opp ved Haukedal målestasjon, og/eller at punktets plassering er for unøyaktig. Haukedal ligg i eit



Figur 47 Interpolert data frå xgeo.no (xGeo, 2020g) som syner den romlege fordelinga av nedbør (mm) i Jølster. Skredområde Tindefjellet synt med blått rektangel, Slåtten grønt og Årnes raudt.

topografisk variert område som kan gjere det vanskeleg for radarar å estimere eller fange opp endringar i nedbøren mot bakkenivå (Ødemark et al., 2012). Likevel, gitt ulike tidsperiodar og moglegheit for at den fyrste nedbøren har fordampa, korrelera nedbørsmengder frå vêrradar og Haukedal målestasjon godt. Ettersom det ikkje er tilgjengeleg radardata for heile nedbørsdøgeret er det vanskeleg å seia sikkert kor stort avviket mellom radardata og målestasjonen Haukedal er. Generelt gjer ulike oppløysinga av nedbørsdataa frå målestasjonar og radardata det vanskeleg å validere resultata. Det er ikkje gitt at høge nedbørsintensitet er det mest truverdige, men med tanke på at det ikkje har blitt registrert så kraftig nedbør ved målestasjonen i Haukedal sidan målingane starta i 1957 (Agersten et al., 2019), og augevitne fortel om opplevingar av særskilte intense regnbyer, er det rimeleg å anta at det i dette tilfellet er radardata som fangar best opp nedbørens karakter. Dette samsvara med tidlegare studiar. Til døme konkludera Devoli et al. (2017) med at radardata fanga opp nedbørsmengdene betre enn målestasjonar, og samsvara best med augevitnes observasjonar. Studien undersøke ein situasjon som omfatta lausmasseskred utløyst av kortvarig nedbør, og korleis nedbøren vart reflektert i nedbørsmålingar frå målestasjonar og radar.

6.1.3 Meteorologiske forhold under styrtregnhendinga

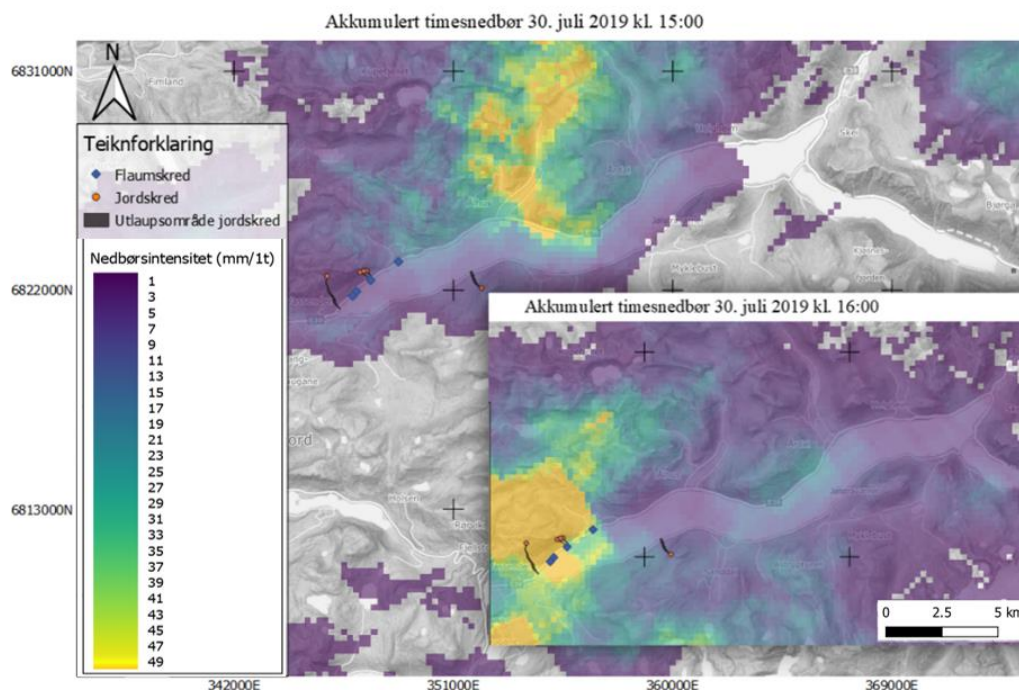
Nedbørsmålingar for juli, henta frå eKlima frå målestasjonane Haukedal, Skei i Jølster og Botnen i Førde syner ein nedbørsfattig månad (figur 17, kap. 5.1.1). Tabell 8 syner akkumulerte målte døgnerverdiar fram til 30. juli 2019, samt den målte døggnedbøren denne dagen. Siste målte nedbør før styrtregnet 30. juli 2019 var mellom 21. og 24. juli, med målte dagsverdiar under 10 mm (eKlima, 2020). Det er difor rimeleg å tru at skreda vart utløyst av styrtregnet 30. juli 2019.

Tabell 8 Akkumulert månadsnedbør for juli og døggnedbør den 30. juli observert ved målestasjonane Haukedal, Skei i Jølster og Botnen i Førde. Dataa er henta frå eKlima (eKlima, 2020).

Målestasjon	Akkumulert døggnedbør 1. juli - 30. juli 2019 kl. 08:00	Døggnedbør 30.juli 2019 (30. juli kl. 08:00 til kl. 08:00 31. juli)
Haukedal	123,9 mm	107,9 mm
Skei i Jølster	117,7 mm	17,5 mm
Botnen i Førde	135,3 mm	92 mm

I fylgje MET kom det eit lågtrykk inn frå aust til Vestlandet tysdag 30. juli 2019 (Agersten et al., 2019). Dette er synleg på radardata (figur 22 A-B). Nedbøren kjem frå sør-aust, og aukar i omfang over fjellområda. Det er truleg at avkjølinga frå fjellområda og Jostedalsbreen, samt

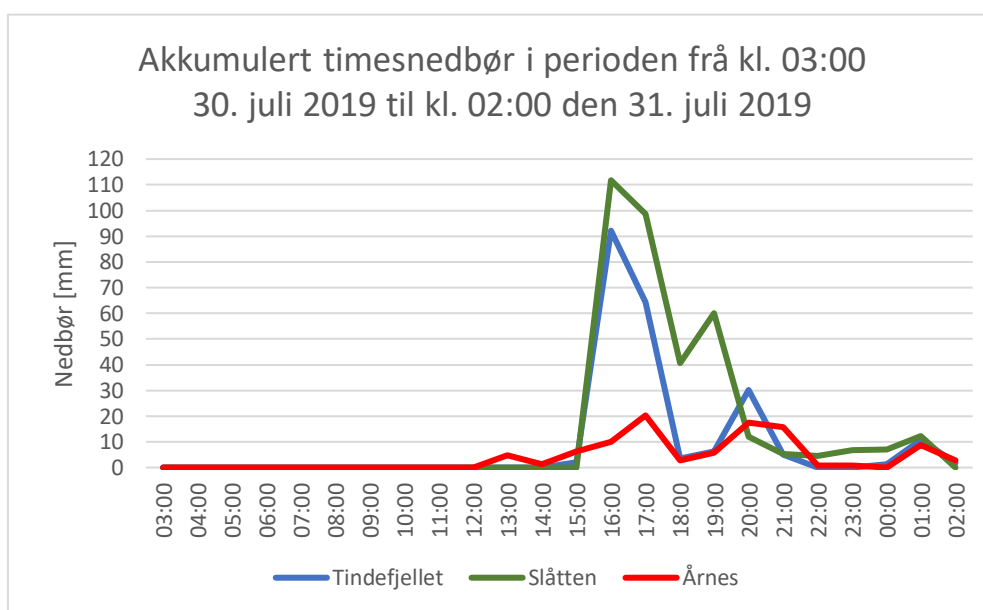
tilførsel av fuktigheit, har ført til ei utvikling av kraftigare og større byer (N. H. Pedersen, MET, personleg kommunikasjon 13. februar 2020). Nedbørsbyene når Jølster kring kl. 14:00, med sprette byer nord, sør og vest for Jølstravatnet. Nedbøren bevegar seg lite, men trekk i vestleg retning og samlast i Svidal, mellom Høgefjellet i aust og Tindefjellet i vest (figur 23). Dette blir bekrefta av begge augevitne. Geir Ståle Støfring observerte byer i aust kring kl. 14 som bevega seg svært sakte vestover. Tor Arild Segtnan som var på jobb i Skei fortel om «normalt dårleg vær rett før kl. 15:00. Døgnnedbøren frå målestasjonen Skei i Jølster syner 17,5 mm akkumulert nedbør denne dagen, noko som er betydeleg lågare enn vest i Jølster. Akkumulert nedbør frå radar kl. 16:00 syner at nedbøren har aukar i intensitet og trekt vestover til Tindefjellet, noko som kjem klart fram ved å sjå på dei akkumulerte nedbørsintensitet pr. time (figur 50) med ein brå og intens nedbøren frå klokka 15:00 til kl.16:00 ved Tindefjellet og for Slåtten. Dette samsvarar godt med augevitne Tor Arild Segtnan sin observasjon, som observerte byer med den høgaste intensitet han hadde opplevd ved Svidalsneset på veg mot Vassenden frå Skei. Frå Skei er det om lag 18 km til staden, som gir ei reisetid på ca. 15 min. Ut i frå radardata er det høgste målte intensitet over E 39 i området denne perioden (figur 48).



Figur 48 Akkumulert timesnedbør 30. juli 2019 kl. 15:00. Figurutsnittet er av same grid og skala, men syner den akkumulerte nedbørsmengda timen etter, frå kl. 15:00 til kl. 16:00.

Nedbøren fortsett vestover og stagnera over Slåtten med høg intensitet, noko som samsvarer med observasjonar gjort av augevitne Støfring kring kl. 17, med store vassmengder frå fjellet

Halvgjerda over Slåtten. Mot kl. 20:00 reduserast intensiteten gradvis før byene trekk mot sør-aust (figur 23 E-H). Støfring fortalte om eit opphald i nedbøren kring kl. 18:00. Til tross for at dette ikkje samsvarar med radarata, er det ein tydeleg reduksjon i intensitet i timen fram mot kl. 18:00 for området Slåtten, med ein reduksjon frå over 22 mm/t til 8 mm/t, og noko som kan tenkast å opplevast som eit «opphald» gitt situasjonen på staden. Støfring observera vidare at det kl. 19:30 at det framleis er nedbør i området, men ikkje like intenst. Dette korrelera godt med den akkumulerte timesnedbøren (figur 49). I fylgje media opna den stengte vegen på sørsida av Jølstravatnet, fylkesveg 451, kring kl. 20:30, og vêret hadde då letta (Reksnes & Grimeland, 2019). Dette stemmer for dei tre områda den akkumulerte timesnedbøren er henta frå (figur 49). Likevel er det høg nedbørsintensitet i Vassenden i denne perioden (figur 23G, kap. 5.1.3), og Slåtten har relativt høg intensitet fram mot klokka 20, der både Tindefjellet, Slåtten og Årnes får ei auke i intensitet i timen fram mot kl. 20.



Figur 49 Akkumulert nedbør pr. time (mm) frå kl. 03:00 30. juli 2019 til kl. 02:00 den 31. juli 2019 for skredområda Tindefjellet (blå), Slåtten (grøn) og Årnes (rød).

6.2 Den romlege og temporale fordelinga av nedbørsmengd- og intensitet

6.2.1 Lausnetidspunkt for dei registrerte skredhendingane i NSDB

Eit av oppgåvas føremål er å knytte nedbørsintensitet og nedbørsmengd opp mot lausnetidspunkt for dei største skreda som truga eller øydela infrastruktur. Difor er det naudsynt å ha så presise skredtidspunkt og plassering som mogeleg. Skredtidspunkta og plasseringane nytta i denne

oppgåva er henta frå NSDB (vist i tabell 1, kap. 1.3). Som nemnd i innleiinga har det blitt undersøkt om skredtidspunkta kunne forbeistrast, men ikkje for plasseringa av skredhendingane. Det er allereie fleire pågåande studiar med fullstendig kartlegging av skredhendingane (Lindsay et al., in prep.; Rouault et al., 2020; Rütther et al., in prep.) og ikkje mogeleg å oppnå her gitt oppgåvas tidsramme.

Jordskredregistreringane har godkjent status og er av kvalitetsnivå A. For å oppnå dette er det krav om at registreringa representera ein faktisk skredhending. Omlag halvparten av jordskreda utløyst 30. juli vert i NSDB oppgitt med 10 m og 50 m usikkerheit i nøyaktig plassering av lausnepunkt, medan andre er registrert «eksakt» i nøyaktig posisjon. Flaumskreda er godkjent og av kvalitet B, som inneber at det er sjekka for duplikatregistreringar, men at nøyaktig posisjonen for skredet kan variere med ± 50 m, og registrert tid med nøyaktigheit \pm ein dag (NVE, 2020c). Augevitne Tor Arild Segtnan, som var delaktig i beredskapsgruppa med stort ansvar hendingdagen, hadde god oversikt over hendingforløpet. Under synfaringa med han i Jølster vart det gått igjennom dei ulike skredhendingane og eit estimert tidsforløp, noko som samsvarar med dei registrerte skredtidspunkta i NSDB. Fleire av skredhendingane er òg nemnd i rapporten frå beredskapsgruppa denne dagen (vedlegg A). Det har vist seg å vera vanskeleg å finne kjelder som kan gi noko meir presise tidspunkt for skredutløysingane. Styrregnet utløyste fleire skred, overfløymingar og skadar på kort tid denne dagen, med evakueringar og straumbrot. Det er difor forståeleg at det ikkje er blitt retta større merksemd til presist klokkeslett for skredutløysing. Likevel er det godt samsvar i augevitnes utsegn, rapporten frå beredskapsgruppa (vedlegg A) og registrerte skredhendingar. I tillegg samsvarar det med ulike kjelder frå media (Kalajdzic & Folkeman, 2019; Aalvik et al., 2019). Kvaliteten på registreringane er òg relativt høg. På bakgrunn av dette er skredregistreringane vurdert til å vera av god nok kvalitet til å kunne gi eit estimat av nedbørsintensitet og nedbørsmengd kring lausnetidspunkta, og vidare moglegheit til å drøfte nedbørsrelaterte lausneårsak.

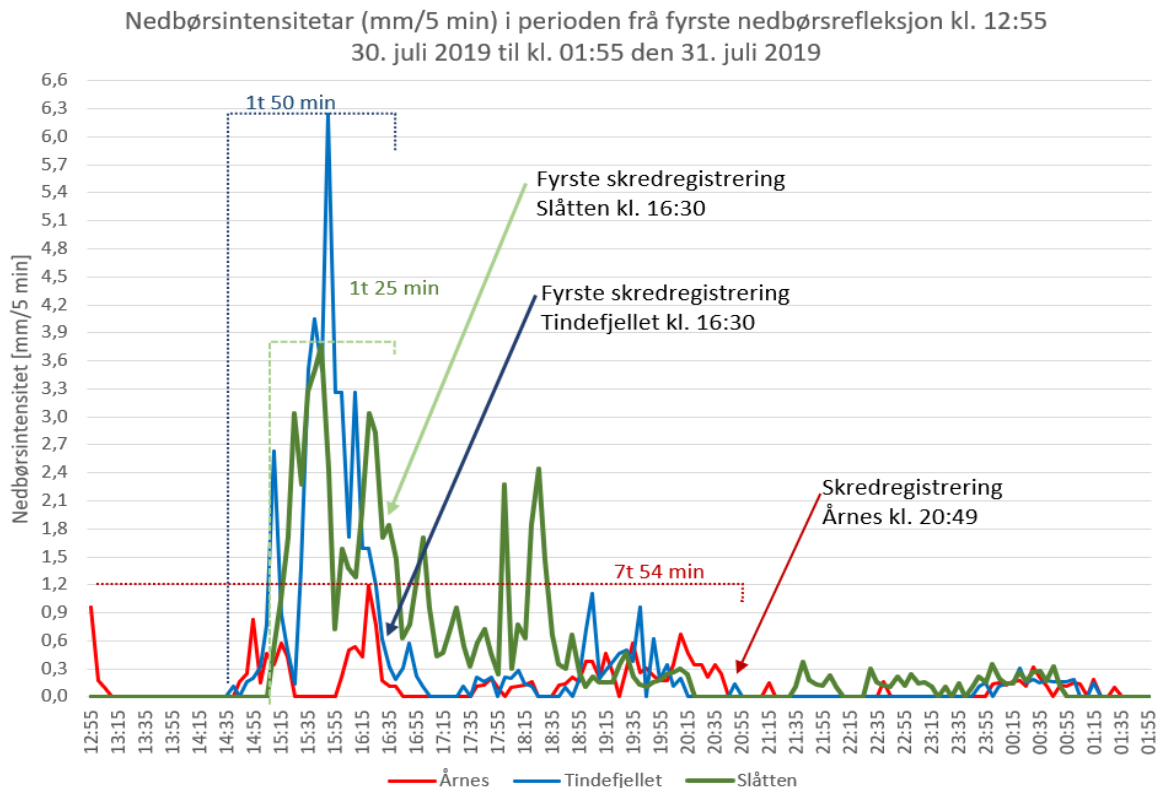
6.2.2 Nedbørsmengd og intensitet knytt til lausnetidspunkta

Med dei registrerte skredhendingane i NSDB som utgangspunkt er målet å knytte nedbørsintensitet og nedbørsmengd opp mot lausnetidspunkta. Det er valt å nytte data frå vèrradar til dette ettersom dei nærliggjande offisielle målestasjonane, bortsett frå Haukedal, har kunn døgnnedbør. Når ein ser på kor stor den romlege variasjonen av nedbøren er berre i Jølster ville truleg avstanden til målestasjonane likevel vert for stor til å fange nedbørsintensiteten og

nedbørsmengda for skredhendingane. Det er vanskeleg å gi eit slikt estimat for augevitne og det lukkast ikkje å få kontakt med nokon private eigarar av vêrstasjonar i Jølster. Som nemnt er det fleire feilkjelder knytt til data frå vêrradar. Det synast at noko av den fyrste nedbøren fordampa og at vêrradaren ikkje fanga opp dette (figur 49), noko som vil føre til over-estimering av akkumulert nedbørsmengd fram til skredutløysing. På den andre sida er det kjent at vêrradar ofte underestimerer nedbør med høg intensitet (Abdella & Alfredsen, 2010; Abdella & Engeland, 2013). Med vêrradar som einaste kjelde med høg nok oppløysing i både tid og rom er det ikkje mogeleg å verifisere dei verdiane som her blir nytta. Trass i denne usikkerheita i kombinasjon med den nemnde usikkerheita i nøyaktig skredtidspunkt og plassering av punkta dataa er henta ut, kan det vere verdifullt å samanlikne akkumulert nedbørsmengd og intensitet på skredtidspunkta for dei ulike områda.

Figur 50 indikera nedbørsintensitetar for Tindefjellet, Slåtten og Årnes i perioden frå fyrste nedbørsrefleksjon kl. 12:55 30. juli 2019 til kl. 01:55 31. juli. 2019, i tillegg til tid fram til fyrste skredutløysing og tida frå intensitetstopp til skredutløysing. Som det kjem fram av figuren er fyrste skredregistrering på Slåtten og i området det i oppgåva er valt kalle «Tindefjellet» kl. 16:30. Skredtidspunktet på Årnes er registrert til kl. 20:49. Tindefjellet og Slåtten har begge høge nedbørsintensitetar over ein kort periode (under to timar), der fyrste skredregistrering skjer kort tid etter høgste nedbørsintensitet. Tindefjellet har høge nedbørsintensitetar frå kl. 15:10 til kl. 16:15, med høgste nedbørsintensitet på 6,2 mm/5 min kl. 15:50, altså 40 min. før fyrste registrerte skred i området. Slåtten får fyrste skredregistrering 45 min. etter ein intensitetstopp på 3,7 mm/5.min kl. 15.45. Skredutløysing skjer som oftast ved høgste nedbørsintensitet eller kort tid etter (Sandersen et al., 1996), noko som samsvarar med skredhendingane på Slåtten og ved Tindefjellet. At utløysinga skjer ei kort stund etter høgste målte intensitet kan kome av tida det tek for vatnet å infiltrere og poretrykket å byggje seg opp, tida det tek for overflatevatnet å strøyme frå høgare hald til å nå lausmassedekket, eller ein kombinasjon av nemnde tilfelle. Om ein samanliknar Årnes med Tindefjellet og Slåtten er det ikkje reflektert særst høge verdiar i området. Den høgste verdiar er 1,19 mm/5 min kl. 16:20. Sjølv om skredhendinga ikkje skjer etter høgste målte nedbørsintensitet som ved Tindefjellet og Slåtten, aukar intensiteten den siste timen før skredutløysing. Skredutløysinga skjer 24 minutt etter målt nedbørsintensitet på 0,67 mm/5min kl. 20:10. Fram til skredutløysing er det her estimert akkumulert nedbørsmengd på 84,4 mm, noko som er nært kritiske nedbørsmengda for Årnes på 97 mm dersom ein fylgjer

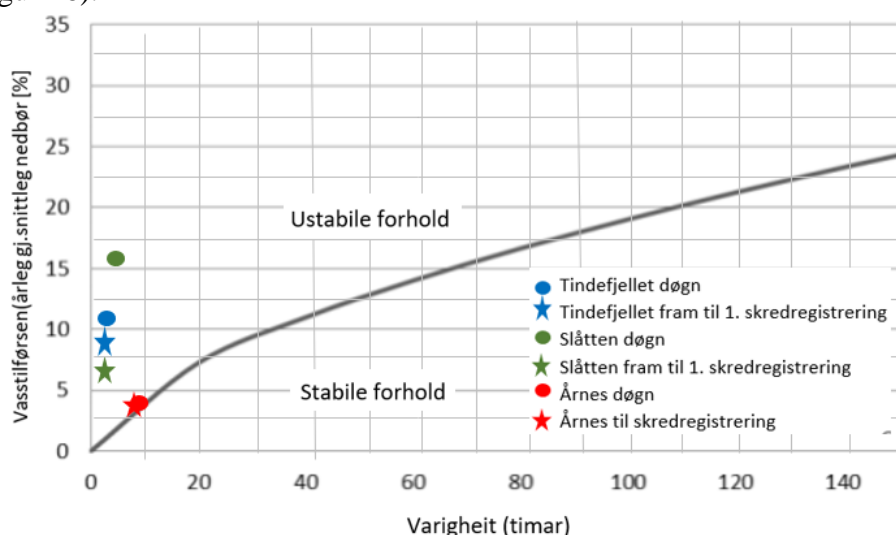
framgangsmåten til Sandersen et al. (1996). Med tanke på usikkerheitene knytt estimatet i oppgåva (t.d. bruk av værradar og lausnepunktet) kan det tenkjast at det er på dette punktet den kritiske nedbørsmengda nåes. Igjen må det merkast at studien til Sandersen et al. (1996) har nytta anna datagrunnlag enn i denne oppgåva. Akkumulert nedbør fram til fyrste skredregistrering er 204,6 mm for Tindefjellet, 150,6 mm for Slåtten og 84,4 mm for Årnes.



Figur 50 Figur er ein modifisert versjon av tidlegare synt figur (figur 24 kap. 5.3.1.) Figuren indikerer nedbørsintensitetar frå fyrste nedbørsrefleksjon kl. 12:55 den 30. juli 2019 til kl. 01:55 dagen etter for Tindefjellet (blå), Slåtten (grøn) og Årnes (raud). Pil syner nedbørsintensitet ved skredregistrering, stipla linje syner varigheit av nedbør før skredregistrering, og går gjennom høgaste målte intensitet. Tydinga av fargane på pil og stipla linje er lik som for nedbørsintensitet.

Kunnskap om skredutløysande nedbørsintensitetar og nedbørsmengd er viktig for kunne vurdere kritiske forhold for skred og varsling av skredfare. Styreretnet som råka Jølster 30. juli 2019 er allereie vanskeleg å varsle grunna den korte varigheita og geografiske avgrensinga, og kanskje difor endå viktigare å undersøkje nærare.

Terskelstudiar basera seg ofte på intensitet og varigheit av nedbørsepisodar (kalla ID-events) der det tenkjast at det eksistera ei nedre grense for moglege skredutløysing ut frå forholdet mellom varigheit av nedbør og nedbørsintensitet (Boje et al., 2014; Guzzetti et al., 2007; Meyer et al., 2012). Samla syner studiane at dersom varigheita av nedbørsepisoden er kort krevst høgare nedbørsintensitet for at kritiske forhold oppnåast. Derimot er det stor variasjon i det å avgjere den kritiske nedbørsmengda som trengst for å få kritiske forhold, noko som grunnar i dei ulike statistiske føresetnadar og klimatiske forholda i studiane (Norem & Sandersen, 2014; Wiczorek and Glade, 2005; Sandersen et al., 1996). Studien utført av Sandersen et al. (1996) (omtalt i kap. 5.1.4) såg på samanhengen mellom nedbørsmengd og skredhendingar, og basera seg på 30 lausmasseskred (debris flows). Studien tek omsyn til at områder med høg gjennomsnittleg årsnedbør vil måtte trenge større nedbørsintensitet og/eller varigheit før det oppstår kritiske forhold (Sandersen et al., 1996). Bruk av gjennomsnittleg årsnedbør er òg ein av dei to hydrologiske parametrane som inngår i jordskredvarslinga og relevant for oppgåva. Resultata ved bruk av Sandersen et al. (1996) intensitet-varigheitsterskel er synt i figur 51 (tidlegare synt i kap. 5.1.4 som figur 26).



Figur 51 Figuren er tidlegare synt i kap. 5.1.4. som figur 26. Grafen er modifisert etter Sandersen et al. (1996) og syner forholdet mellom nedbør og tid (varigheit i timar). Kurva utforma av Sandersen et al. (1997) som basera seg på 30 tidlegare jordskredhendingar i Noreg (Sandøy et al., 2017; Sandersen et al., 1996). I grafen er data frå tabell 6 plotta, der prikk er døgn-verdiar og stjerne fram til (fyrste) skredregistrering for Tindfjellet (blå) Slåtten (grøn) og Årnes (raud).

I oppgåva er det nytta tida fram til fyste skredregistrering ved Tindefjellet og på Slåtten, og skredregistreringa på Årnes, til å finne terskelverdien (markert med stjerne i figur 51), i tillegg til den perioden radardata dekkja (frå kl.02:00 30.juli til kl.01:55 31.juli) som er fem minutt frå eit døger (markert med prikk i figur 51). Plotta mot Sandersen et al. (1996) si terskelkurve viser at nedbørshendinga i Jølster var ekstrem nok til å gi ustabile forhold til tross for at varigheita var kort. Når området i snitt har høge verdiar på årsnedbøren (Hefre et al., 2019) som gir stabile lausmassar under vanlege nedbørsintensitetar, indikerer dette at nedbørsintensiteten under hendinga var svært høg (Norem & Sandersen, 2014; Sandersen et al., 1996). Det er rimeleg å anta at kortvarig og intenst nedbør utløyste skredhendingane i Jølster, men som det kjem fram av figur 50, og som poengtert over, skil Årnes seg frå Tindefjellet og Slåtten både i nedbørsintensitet, akkumulert nedbørsmengd og difor òg i forhold til Sandersen et al. (1996) si terskelkurve.

Tindefjellet og Slåtten med høvesvis 11,6% og 15,6% av årsnedbøren dette døgeret gir etter Sandersen et al. (1996) svært ustabile forhold. Etter Sandersen et al. (1996) vil lausmasseskred utløysast dersom døgnnedbøren overstig 8% av gjennomsnittleg årleg nedbør, eller 5% i løpet av 12 timar. Tindefjellet har fram til fyrste skredregistrering, og i underkant av to timar med nedbør, 8,9% av gjennomsnittleg årleg nedbør. Slåtten har fram til fyrste skredregistrering 6,5% av årsnedbøren på under halvanna time. Både Tindefjellet og Slåtten har difor etter Sandersen et al. (1996) ustabile forhold, og det er difor ikkje uventa at skred utløysast i områder der dei statistiske føresetnadane ligg til rette for det.

Årnes har vel åtte timar varigheit på nedbøren fram til både skredregistrering og totalt i døgeret som utgjer ein årsnedbør på 4,2%. Dette gir at punkta for Årnes, både fram til skredregistrering og for heile døgeret, overlappar kvarandre rett over terskelkurva i nedre grense for ustabile forhold (figur 51). Årnes ligg òg lengre aust enn områda Tindefjellet og Slåtten der gjennomsnittleg årleg nedbør er lågare enn det som er nytta i utrekningane her (Hefre et al., 2019). Dette vil i så fall senke den kritiske nedbørsmengda for området og gitt ustabile forhold.

6.3 Samanlikning av dreningsmønster, lausneårsak og skreddynamikk

Oppgåvas fokus er hovudsakleg kring det meteorologiske aspektet ved styrtregn-hendinga i Jølster. Det er gjort ein grov GIS-analysen for å kunne vurdere dreneringssituasjon, lausneårsaker og skreddynamikk for dei ulike skredhendingane registrert i NDSB. Ettersom det GIS-analysen er grov vil det å spekulere i lausnemekansismar, som krev detaljert kartlegging og analysar, medføre stor usikkerheit. Det vil difor ikkje bli diskutert i detalj her, men nokre forslag blir nemnd. Som tidlegare vil usikkerheitene knytt til metodane og data nytta fyrst bli gjennomgått.

6.3.1 Usikkerheit knytt til hydrologiske data frå xGeo og manglande feltarbeid

I oppgåva er hydrologiske data henta frå xGeo, presentert i resultat-delen som skjermdumpar av gridkarta som synes i xGeo, med ulike hydrologiske variablar; grunnvasstand, vasslagingskapasitet og vassmetting i jorda. Framstillinga av desse dataa er simuleringar av GWB-modellen (Gridded Water Balance model) (Colleuille et al., 2017; Engeset et al., 2018). Gridcellene er delt i høgde-soner, der kvar sone vidare er delt i arealbruksklassar (Engeset et al., 2018; Ruan & Langsholt, 2017). Til tross for at modellen tek omsyn til mange ulike hydrometeorologiske og atmosfæriske parameterar (Engeset et al., 2018), vil kvaliteten på modellsimuleringane vera avhengig av inndatagrunnlaget. Oppløysinga er ofte for grov til å fange alle faktorar, og bruk av gjennomsnittlege verdiar vil ikkje vera like representative for alle områder. Lokale forskjellar som kan ha betydning vert ikkje fanga opp (Sidle et al., 2017). Kalibreringa av modellen i 2017 synte blant anna feil utslag i fordampinga av nedbør, og ved høge nedbørsverdiar (Ruan & Langsholt, 2017). Ein modell er ein forenkla representasjon av verkelegheita, og må takast med i betraktning ved bruk av slike dataa.

Sidle & Bogaard (2016) fremjar detaljert kartlegging som viktig for å få forsåinga for det komplekse samspelet mellom dei meteorologiske og hydrologiske faktorane som påverkar skråningsstabilitet og skredutløysing. Ettersom det ikkje gjennomført feltarbeid i denne oppgåva, vil det difor vera stor usikkerheit knytt til dei statistiske føresetnadane i skredområda. Sjølv om det er gjennomført analysar i GIS vil kartdata være i ein for grov målestokk til å kunne avdekke dei lokale forholda i skredområda. Særskilt gjeld dette lausmassetypar, og lag- og kornfordeling og kornstørrelse. At dette ikkje er undersøkt vil følgeleg medføra stor usikkerheit i tolkingar av skredutløysande årsaker. Desse faktorane har stor påverknad på skråningsstabilitet, infiltrasjonsevne og poretrykksoppbygging (Colleuille et al., 2017; Halvorsen & Sulebak, 2009;

Norem & Sandersen, 2014; Schanche, 2014; Sidle & Bogaard, 2016) (omtalt i kap. 3.4). Til dømes vil eit område med mykje fint materiale gi større sannsyn for poretrykksoppbygging, sorteringsgraden påverke permeabiliteten og eventuell lagdeling i lausmassane utgjere potensielle glideplan (Dhakal & Sidle, 2004; Norem & Sandersen, 2014). Vegetasjon kan ha ein stabiliserande effekt, men der både vegetasjonstype, alder, tettleik og sesong spelar inn (kap. 3.4.3). Av vegetasjon er det kunn sett på dominerande treslag og alder i skredområda ut frå kartdata. Dette gjer lågareliggjande vegetasjon ikkje er undersøkt eller vurdert. Grunnare vegetasjonstypar vil ha størst påverknad for det øvste laget og bidra med auka kohesjon, stabilisering og permeabilitet (Breien et al., 2015; Sidle & Bogaard, 2016). For poretrykket i jorda kan rotsystema på den eine sida gi strøymingsvegar og slik redusere poretrykket i jorda, men òg skape sprekker og gi rom for lokalt poretrykksoppbygging (Sidle & Bogaard, 2016). Dhakal & Sidle (2004) fann at i klima med variasjonar og definerte årstider påverkar ikkje vegetasjonen poretrykket i jorda signifikant. Vidare hevdar Sidle & Bogaard (2016) at evapotranspirasjon truleg har større påverknad på langvarige nedbørsepisodar. Det er difor ikkje utenkjeleg at vegetasjonen hadde mindre å seia for poretrykksoppbygging under den korte og intense nedbørsepisoden hendingsdagen.

I tillegg til skråningsvinkelen vil òg forma på skråninga påverke skredutløysing. Ein konkav terrengform vil konsentrere meir vatn og lausmassar enn konveks-forma skråningar, noko som vil kunne gi porevasstrykkoppbygging ved intense nedbørsbyer (Norem & Sandersen, 2014; Sandøy et al., 2017; Sidle & Bogaard, 2016). Skråningsform er ikkje analysert i denne oppgåva, men *Flow accumulation*-analyse som er nytta for å finne mogelege potensielle dreneringsløp i skredområdet vil gi eit bilete på kvar føresetnadane ligg til rette for konsentrasjon av overflatevatn og poretrykksoppbygging.

6.3.2 Dreneringsmønstre

Ein svakheit i *Flow accumulation* analysen er at tap av vatn til vegetasjon, fordamping eller infiltrasjon ikkje vert medrekna. I eit område med høg infiltrasjonsevne, tett vegetasjon og varmt vêr vil *Flow accumulation* analysen altså estimere for høg drenering (Norem & Sandersen, 2014; Boje et al., 2014). Dagane fram til 30. juli var prega av varmt og tørt vêr (figur 19), og kan ha gitt noko fordamping av den fyrste nedbøren, men truleg ikkje tilstrekkeleg til å ha stor betydning. Ingen av skredområda er estimert til å ha særleg høg infiltrasjonsevne (figur 39). I kombinasjon med låg grunnvasstand og tørke kan dette ha ført til ei ytterlegare redusert infiltrasjonsevne (UiO,

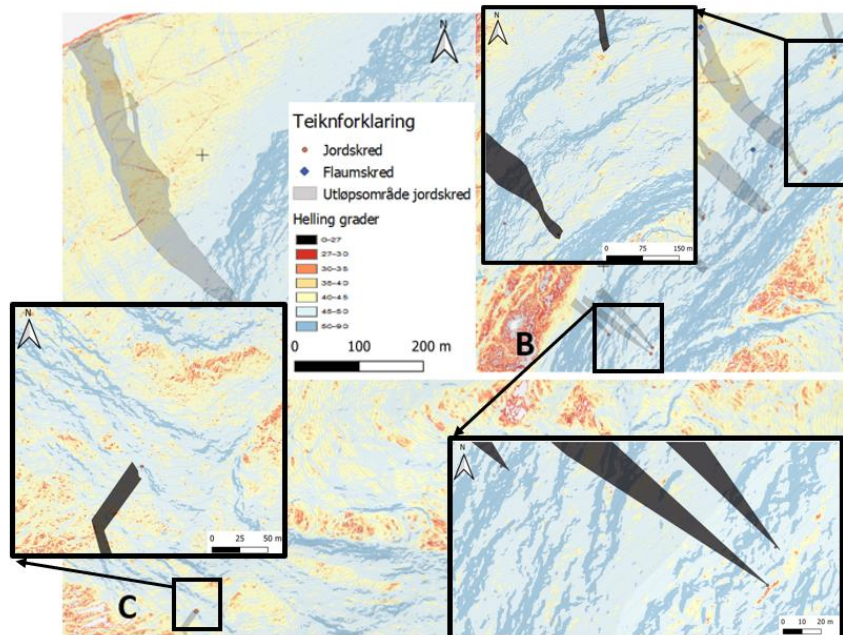
2018; Sandøy et al., 2017). Det er tenkjeleg at *Flow accumulation* analysen treff betre under slike forhold enn i område med høgare infiltrasjon eller meir langvarig nedbørshendingar der tap av vatn til vegetasjon og/eller fordamping spelar ei større rolle.

Generelt for studieområdet syner elvenettdatabasen at topografien kring skredhendingane er eigna for drenering, noko som samsvarar med funna frå *Flow accumulation* analysen for skredområda, der det er fleire små dreneringsløp i området (sjå kap. 5.3.2). Elvenettdatabasen syner at flaumskreda er knytt til elveløp, medan det ikkje er noko teikn til vel-etablerte elveløp kring utløpsområda for jordskreda på Slåtten eller Årnes (figur 38). Samla er det kunn Årsetelva-skredet ved Tindefjellet (figur 39A), og vestlegaste skredet på Løsetslåtten (39B) der *Flow accumulation* analysen syner eit større dreneringsløp direkte til utløysingsområda. Skredet på Årnes har eit potensielt dreneringsløp som leiar direkte inn i lausnepunktet. Det vestlegaste skredet på Slåtten (Slåtten midtre) med ein dreneringsveg med eit dreneringsareal på 20052m² om lag 20m vest for lausnepunktet. Sett vekk i frå dette tilfellet har ingen av skredhendingane potensielt betydelege dreneringsvegar nær utløysingsområda.

Sjølv om det er likskapar i dreneringsmønsteret for skredet på Årnes og skredhendingane ved Tindefjellet og på Slåtten er det skilnadar i både nedbørmengd, nedbørsintensitet og varigheit før skredutløysing. Skredet ved Årnes vart utløyst nesten 4,5 timar etter dei andre skredhendingane, der radardata ikkje syner særleg høg intensitet på nedbøren (figur 51). Derimot har området lågintens nedbør over ein lengre periode sett i forhold til Tindefjellet og Slåtten, med fyrste reflekterte nedbør kl. 12:55. Fram til skredutløysing kl. 20:49 kom det 84,4 mm nedbør, noko som er klart lågast blant områda med utløysing av skred. Tørr periode i forkant av nedbørshendinga kan ha redusert infiltrasjonsevna og gitt høgare og/eller endra drenering (UiO, 2018; Sandøy et al., 2017). Kombinasjonen av overliggjande bart fjell har truleg bidrege til auka avrenning (figur 37, kap. 5.3.1).

Analysen med DOM skyggerelieff indikerer at samtlege skredhendingar er knytt til overgangen mellom blotta fjell/tynt lausmassedekke og eit dekke med meir vegetasjon (figur 34, kap. 5.3.1) bortsett frå skredet i Årsetelva og skredet på Slåtten (*Slåtten midtre*).

NGU gjennomførte faresonekartlegging av området ved Slåtten etter skredhendingane 30. juli 2019 (rapport 45/2019) (Høydal & Sandersen, 2019). Der kjem det fram at der øvre del av fjellet er bratt med eit slakare parti med mykje sva og sprette plassar med bjørk og nokre lausmassar. Ut ifrå hellingskartet over skredområda kan små områder eller hyller med svakare helling sjåast for samtlege skredhendingar (figur 52), Dette vart òg observert under synfaringa på Årnes.



Figur 52 Ein modifisert versjon av figur 37 (kap. 5.3.1.) der utheva områder syner små slakare områder (27 - 40 grader) innimellom eit større bratt område (over 45 grader)

6.3.3 Skredutløysande årsaker

I kapittel 3.2. blir det referert til dei tre viktigaste føresetnadane for utløysing av flaum- og jordskred; skråningsvinkelen lyt vera stor nok, nok lausmassar til stades i skråninga og at lausmassane har låg stabilitet. For at skredutløysing skal skje trengst det ein ytre faktor (Crosta et al., 2012; Norem & Sandersen, 2014; Øydvin et al., 2011).

For skredområda undersøkt er det lausmassar til stades, om så i varierende mektigheit, og utløysingsområda for samtlege skred er over 45°, altså er skråningsvinkelen stor nok (tabell 7, kap. 5.3.1). Vest i Jølster er årsnedbøren mellom 2100 og 2400 mm (Hefre et al., 2019), og lausmassar som har vert ustabile vil truleg ha blitt utløyst under tidlegare forhold, særskilt når utløysingsområda for samtlege skred er over den kritiske vinkelen for skred. Lausmassane framleis til stades vil ha utvikla ein naturleg erosjonshud, og dreneringsløp sterke botnsjikt, som gjer dei stabile mot normale nedbørsmengder og vassføring (Norem & Sandersen, 2014).

Samanlikning med Sandersen et al. (1996) støtter tolkinga av at styrtregnet var av ein slik karakter at forholda vart raskt ustabile.

Skredhendingane registrert som flaumskred (tabell 1, kap. 1.4) er hovudsakleg knytt til elveløp (figur 38, kap. 5.3.2), og difor tolka å ha blitt utløyst som følgje av auka vasstilførsel der skjerspenningane frå overflatevatnet har overstige fastleiken i dreneringsløpet (Norem & Sandersen, 2014).

GIS-analysen syner at skredhendingane på Slåtten stort sett har like forutsetningar. Det er registrert ni jordskred på eit relativt lite område der skredutløysinga for samtlege skred er innanfor eit kort tidsrom (ein time). Det same gjeld for skreda på Løsetslåtten ved Tindefjellet. Einaste skredet som skil seg litt ut er skredet mot aust, *Slåtten midtre* (tabell 7). Det er valt å gi ei felles tolking for hendingane utanom *Slåtten midtre* på Slåtten og *Årsetskredet* ved Tindefjellet, som blir omtalt for seg.

Slåtten og Tindefjellet

I fylgje lausmassekartet frå NGU (figur 34, kap.5.3.1) har samtlege skredhendingar ved Tindefjellet og Slåtten (utanom dei nemnde *Slåtten midtre* og *Årsetskredet*) lausneområde kartlagt i skredmateriale, som er ei oppsamling av avsetningar frå steinskred/steinsprang, snøskred, utrasing av andre jordartar i form av lausmasseskred, eller kombinasjonar av desse. Som følgje kan det vera stor variasjon i lausmassanes eigenskapar når det kjem til infiltrasjon, oppbygging av poretrykk og skjerstyrke. Sandøy et al. (2017) viser at dersom skredmassane er blokkrike vil vekta av skredmassane gi auka skjerspenning, i tillegg til å gi hurtig infiltrasjon ned til underliggjande lausmassar. Dei ekstreme nedbørmengdene på kort tid kan ha ført til ei svært rask infiltrering gjennom blokkrike skredmassar og oppbygging av poretrykk. Det vart observert blokkrike massar i skredløypene på Slåtten (Høydal & Sandersen, 2019), noko som kan indikere utrasing av skredmateriale, men kan òg vera teikn på steinsprang. Belastninga steinmateriale påføra lausmassane kan gi auka poretrykk på treffstaden og føra til at skjerstyrka overstigast slik at ein får skredutløysing (Colleuille, 2013; Norem & Sandersen, 2014). Om dette er tilfelle er uvisst.

For samtlege skredhendingar er overliggjande område prega av bart fjell med stadvis tynt lausmassedekke, og vil såleis ikkje halda tilbake mykje vatn. Tindefjellet og Slåtten størst mengd akkumulert nedbør før skredutløysing og høgast nedbørsintensitet, der det på under to timar kom 8,9% og 6,5% av årsnedbøren for høvesvis Tindefjellet og Slåtten. Som nemnt observerte

augevitne vassøyler som stod ut av fjellet over Slåtten hendingsdagen. Dreneringsanalysen tyder på at dette var tilfelle ved Tindefjellet òg. Truleg har overflatevatn drenert langs berget og i sprekker ned mot lausnepunktet. Den høge intensiteten og nedbørsmengdene har truleg ført til samling av overflatevatn i strøymmer (Norem & Sandersen, 2014).

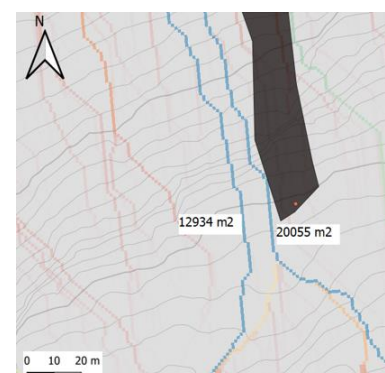
Som tidlegare gjennomgått i kap. 6.3 fekk områda intenst nedbør i underkant av to timar før skredutløysing. Tørke og lågt poretrykk over tid kan føre til ei redusert infiltrasjonsevne, samt danning av tørkesprekker i lausmassane (Handwerger et al., 2019; Sandøy et al., 2017; Tichavský et al., 2019). Nedbørsbyer over ein kort tid vil førar infiltrasjonshastigheita overstigast, der nedbøren ikkje rekk trenge langt ned i jorda (Skaland et al., 2019). Som følgje vil ein få meir overflateavrenning. Ut frå dette blir det antatt at den utløysande årsaka for skredhendingane er intens erosjon frå strøymmer av overflatevatn der skjersstyrken vart overstige av skjerspenningane dei høge vassmengdene påførte på overflata (Norem & Sandersen, 2014).

Vegetasjonen i lausneområda er kartlagt til å vera furudominert og blandingsskog, høvesvis 71 og 63 år gammal. Furu er av dei treslaga med djupaste røter, som i utgangspunktet er av typen pelerot. Djupe røter verkar stabiliserande ettersom dei går gjennom fleire laggrenser.

Blandingskog skal vere bra for å hindre erosjon, i tillegg til å gi best infiltrasjon. I fylgje Breien et al. (2015) hindrar blandingskog best jord- og flaumskred. Skogen i lausneområda er gamal, og kan ha redusert stabiliteten ettersom rotvelter og rotnande røter gir rom for lokal infiltrasjon og oppbygging av poretrykk. For Skredhendingane på Slåtten syner DOM (figur 39) at lausneområda er i øvre grense mellom vegetasjonsdekke og bart fjell, noko som kan tyde på skogen er for spett og tynn til å kunne ha noko betydning for skredutløysing, særskilt under så intenst nedbør.

Slåtten midtre

Skredet *Slåtten midtre* er utløyst i tynt dekke av morene i fylgje lausmassekartet frå NGU i målestokk 1:250 000 (figur 34, kap. 5.3.1). Granskog dominera lausneområdet, noko som i fylgje Høydal & Sandersen (2019) aukar sannsynet for skredutløysing i morene då det eksistera lite eller ingen lågareliggjande vegetasjon i slike skogar. Den kortvarige og intense nedbøren gav mykje overflatevatn i området som nemnd over. Dreneringsvegane nær lausnepunktet kan indikere at det har vert større eroderande



Figur 53 To dreneringsløp i underkant av 20 m vest for lausnepunktet til skredet Slåtten midtre.

strøymar i området. Med tanke på usikkerheit i nøyaktigheita i skredregistreringane er det mogeleg dreneringsløpet treff lausnepunktet. Slike strøymar vil då erodere ned i lausmassane og potensielt utløyse initialscred (Norem & Sandersen, 2014). Basert på dette tolkast det at skredet er utløyst som følge av erosjon i samanheng med stor vassføring.

Årsetskredet

Årsetskredet har lausnepunkt 868 moh., utløyst i bart fjell med lite lausmassedekke i følgje NGU sitt lausmassekart i målestokk 1:250 000. Med dreneringsveg i utløpsområdet, og fleire tilløp i øvre del av skredløpet (figur 39A, kap. 5.3.2) vil det vera rimeleg å tru at skjerstyrken vart overstige av skjerspenningane dei høge vassmengdene påførte på overflata, og at skreda utløysast som fylgje av intens erosjon frå overflatevatn.

Skredets lausnepunkt er over tregrensa, og vil difor ikkje ha noko betydning for skredutløysinga.

Årnes

Årnes er einaste skredstaden som er blitt synfart (men ikkje feltkartlagt), så det er mogeleg å kunna seia noko meir om kva dei føresetnadane til stades i lausneområde og langs skredbana. Dreneringsanalysen syner at området er eigna for drenering, og der det er dreneringsløp direkte i lausneområdet (figur 40, kap. 5.3.2). Årnes fekk i motsetnad til Tindfjellet og Slåtten nedbør over ein lengre tid, vel åtte timar, der nedbørsintensiteten ikkje var spesielt høg (figur 50). Dette har truleg ført til at infiltrasjonsraten ikkje er blitt overstige i same grad som for Tindfjellet og Slåtten, men der overflatevatn kan infiltrere over ein lengre periode. Kor raskt infiltrasjonen skjer avheng blant anna av lausmassane sine eigenskapar (Horton, 1933). Tolkinga av synlege lausmassane i lausnepunktet er grått diamikt nedst, med steinsprangavsetningar og jordanning og lag med humus over (sjå kap. 5.4). Det øvstliggjande laget i ein stratigrafi blir meir utsett for biologisk aktivitet, frostpåverknad og vegetasjon, som medføre permeabilitet og ein porøs struktur (Sandøy et al., 2017; Norem & Sandersen, 2014). Dette stemmer med observasjonen i felt då det øvste laget var lite kompakt, med innhald av vegetasjon og blokker. Gitt det relativt tynne lausmassedekket i lausneområdet er det ikkje urimeleg å anta at lausmassane kan ha blitt vassmetta i denne perioden. Dreneringsløp og observerte blokkar i og kring lausneområdet har truleg bidrege til raskare infiltrasjon. Vassmetting og innhald av blokker i gir lausmassane høgare eigenvekt og større poretrykk. Følgeleg vil skråningsstabiliteten svekkast (Dimakis, 2013; Sandøy et al., 2017). Poretrykksoppbygging langs to lag med ulik permeabilitet er ein kjent utløysingsårsak for jordskred, der overgangssona fungera som glideplan (Bargel et al., 2011;

Colleuille, 2013; Norem & Sandersen, 2014). Som nemnd i kap. 3.4.1 kan *in-situ* forvitring av berggrunn potensielt utgjere eit glideplan dersom det ikkje har føregått erosjon på staden. Bakkant av lausneområdet er prega av berggrunn, og poretrykksoppbygging mellom *in-situ* forvittra berggrunn og overliggjande lausmassar kan difor ikkje bli utelukka. I øvste delen av lausneområdet har glideplan utvikla seg i diamikt, men det ble ikkje undersøkt nærmare om denne diamikten skil seg frå det nedste jordlaget i brotkanten. Nokre meter ned i lausneområdet er glideplanet på berggrunn og etter kvart på ei lomme av finere sediment. Permeabilitet reduserast med minkande kornstørrelse (sjå kap. 3.4.1) og vil dermed kunna gitt lokal poretrykksoppbygging og utgliding. I så fall måtte den øvste delen av skredet har glidd ut i ettertid.

Høgt poretrykk spelar ei viktig rolle for skredutløysing (Crozier, 2010; Guzzetti et al., 2007; Sidle & Bogaard, 2016; Wieczorek & Glade, 2005). Det er i oppgåva estimert at området fekk 84,4 mm nedbør gjennom ein periode på åtte timar, og vist, ved å nytta framgangsmåten til Sandersen et al. (1996), at nedbørsmengda kan ha gitt ustabile skråningsforhold (figur 51, kap. 6.3). At skredet utløysast på eit tidspunkt der faktisk ikkje er registrert noko nedbør kan være eit resultat av at grunnvatnet har fortsett å stige trass avtakande nedbør mot lausnetidspunktet (figur 50). Som blant anna vist i studien frå Anestølen i Sogndal (Bondevik & Sorteberg, 2020) er det ein mogelegheit at skredet utløysast når grunnvassnivået er på det høgste. Det tolkast at skredet på Årnes blir utløyst som følgje av vassmetting frå nedbør og avrenning, der utløysinga skjer når grunnvassnivået når høgste nivå. Skjerkreftene overstig på dette punktet skjerfastheita, og ein får utgliding av dei vassmetta lausmassane. Om utløysinga skjer plutselig, eller som følgje av at lausmassane gradvis har sige utover og blitt meir ustabile, er uvisst.

Vegetasjonen i området var bjørk og lågare sjikt vegetasjon som gras, lyng, mose og bregne. Bjørk verkar positivt på skråningsstabiliteten og har størst strekkfastleik (Breien et al., 2015), men bjørketrea var spreidd fordelt og truleg for spe til å ha noko betydning for stabiliteten (Sandøy et al. 2017).

6.3.4 Skreddynamikk

Rørsletype, hastighet og utløpslengd avheng av sediment- og vassinnhald i skredmassane (Colleuille, 2013; Norem & Sandersen, 2014). I oppgåva har ikkje skreddynamikk blitt særleg vektlagt, og det krev betre datagrunnlag og modelleringar for å kunna tilføre nyttig eller ny informasjon relatert til skreddynamikken. Under gis difor kunn ein generell beskriving.

Skredhendingane på Slåtten og ved Tindefjellet er alle tolka til å vera utløyst av kraftig erosjon i samband med stor overflateavrenning. Det er valt å presentere desse saman.

Med høg drenering av overflatevatn til lausnepunktet og langs skredbana vil skreda fort kunne auke i volum og hastigheit og oppnå stor eroderande kraft (Norem & Sandersen, 2014). Med eksisterande kanalar eller skar i terrenget (figur 37, kap. 5.3.1) har truleg nokre av skreda kanalisert seg i desse, noko som kan forklare at skreda har behalde omtrent same breidde på skredløpet. Dei ulike skredet går gjennom lausmassedekke med skredmateriale og tynn morene (tabell 7, kap. 5.3.1). Dette vil ha gitt tilgang på lausmassar, remobilisering av skredmateriale og erosjon i morenedekket kan ha ført til at sediment har blitt tatt opp i skredløpet. Grunna vassinnhaldet kan skreda ha fått ein flaumande eller strøymande rørsle, men dette avheng av partikkelvolumet i massane, som her er ukjent (Colleuille, 2013; Norem & Sandersen, 2014). Bilete og film frå hendingane (blant anna Kalajdzic & Folkeman, 2019; Reite & Løset, 2019; Aalvik et al., 2019), og beskrivingar frå augevitne tyder på at skreda på Slåtten og Årsetskredet avsette det grovaste materialet fyrst. I fylgje Høydal & Sandersen (2019) kom skreda på Slåtten i fleire pulsar, med grovt material som blokker, trer og vegetasjon fyrst. Utløpsområda var prega av store mengder skog og inst ved vifterota, finere sediment vart avsett lengre ut (Høydal & Sandersen, 2019; Reite & Løset, 2019). Antydingar til vifteform er kartlagt for skreda på Slåtten (figur 3, kap. 2.1). Skreda på Løsetsslåtten har gått over E39 og ut i Jølstravatnet.

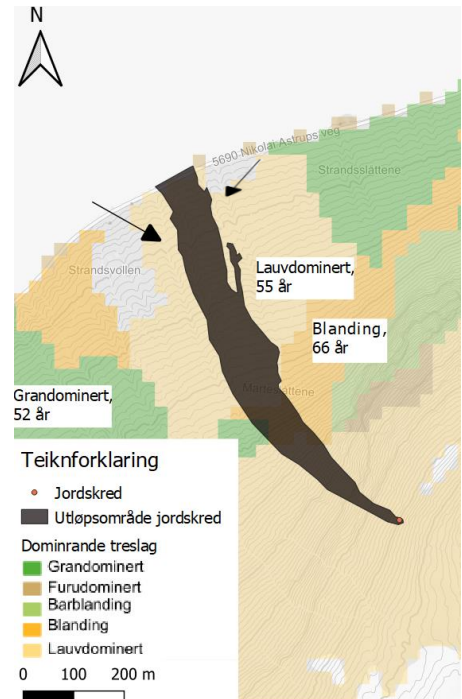
Årsetskredet ser ut til å ha fylgt dreneringsveggar ned det bratte fjellpartiet. Skredet har truleg fått stor eroderande kraft, og tatt opp vatn og tilgjengeleg sediment. I møte med slakare område breia skredløpet seg ut. I området er lausmassedekke skredmateriale og tjukk morene (figur 34, kap. 5.3.1). Vidare kanalisera skredet seg i Årsetelva, med utløp i Jølstravatnet.

Årnes

Utløysingsårsaka for Årnes er tolka til å vera utgliding av vassmetta lausmassar. I lausneområdet er glideplanet utvikla på både diamikt, bart fjell og finere sediment med skurestriper. Frå om lag frå 655 til 445 moh, er det to svært bratte parti som ikkje er grundig observert, men bilete tydar på at skredet har erodert ned til berggrunnen. Overgangen frå lausneområde til dei bratte partia vil ha påført lausmassane eit ekstra poretrykk, og redusert skjerfastleiken betrakteleg og skredet gått frå ein glidane til ein meir strøymande rørsle, der grovaste masse vil strøyme raskast grunna gravitasjonen (Wang & Sassa, 2003; Norem & Sandersen, 2014). Gjennom partia utvidar skredet seg gradvis frå vel 25 m til 40 m, og ender med ei breidde på 80 m ved ca. 400 moh. Årsaka til

utbreiinga i øvste del av skredløpet kjem truleg av at noko av energien vert fordelt lateralt grunna tynt lausmassedekke der erosjonen ikkje kan gå i djupna. I fylgje Sandøy et al. (2017) vil jordskred med tilgang på tjukt lausmassedekke erodere i djupna. Ettersom lausmassedekket ved ca. 400 moh. går frå tynt lausmassedekke til eit mektigare, samanhengande dekke er dette truleg òg tilfelle ved Årnes. I denne nedre delen av skredløpet (400 til 205 moh.), minkar hellinga. Dette, i kombinasjon med auka erosjon i djupna, og kanalisering i venstre del av skredløpet har sannsynlegvis ført til at skredet har mista energi, noko avsetning av levèar i dette området er teikn på. Austlege levè er prega av mykje blokkmateriale, noko som kan indikere tidlegare steinsprangur, og kan ha bidrege til energitap. Erosjonen i kanalen går til berggrunnen. Erosjonen i det øvste skredløpet er derimot for det meste avgrensa til den brune diamikten, med nokre nedskjeringar i den meir kompakte, underliggjande grå diamikten. Det kan vera fleire årsaker til at erosjonen er konsentrert til og delvis i det øvste laget. Lausmassars porøsitet og/eller permeabilitet vil påverke lausmassars respons på ei nedbørshending (Colleuille, 2013; Jørgensen et al., 2013; Norem & Sandersen, 2014). I dette tilfellet kan det øvste laget, med høgare porøsitet og permeabilitet (biologisk aktivitet, forvitring og vegetasjon) gitt raskare infiltrasjon enn den meir kompakte, underliggjande grå diamikten. Infiltrasjon i lausmassar med to lag med ulik permeabilitet kan føre til poretrykksoppbygging langs laggrensa og danning av eit potensielt glidelan (Norem & Sandersen, 2014). Samstundes er mektigheita på den brune diamikten stor. Gitt den relativt korte varigheita på nedbøren er det truleg at vassmettinga ikkje har nådd djupt nok i lausmassane før skredet vart utløyst, og ført til eit skilje mellom vassmetta og umetta lausmassar. Dei vassmetta lausmassane vil grunna redusert skjerfastleik lettare kunna eroderast (sjå kap. 3.4). Dette vil kunne forklare den ujamne erosjonen i nedre del av skredløpet. Sekundær porøsitet kan ha ført til djupare vassmetting i nokre områder, medan den varierte samansetninga av remobilisert skredmateriale og morene vil òg truleg påverka infiltreringshastigheita (sjå kap. 3.4)

Nedskjeringane i den grå diamikten er typisk for sekundære



Figur 54 Syner dominerande treslag og tilhøyrande alder i skredbana. Pil på figur indikerer pre-eksisterande kanalar aust og vest for skredbana.

flaumskred (Sandøy et al., 2017), og det antakast at det er tilfelle ved Årnes. Mykje grovt materiale nedst i skredløpet før skredet har gått over fylkesvegen og ut i Jølstravatnet. Det er ikkje teikn til at vegetasjon har hatt noko særleg betydning for skreddynamikken. For allereie utløyste jord- og flaumskred har skog som nemnt truleg liten betydning (Breien et al., 2015; Hefre et al., 2019). Når det er sagt, kan oppsamlinga av mykje vegetasjonsmateriale i lag med steinsprangur på austleg side av skredløpet bidratt til at det ikkje vart drenert ytterlegare i austlege pre-eksisterande kanal (synt med pil på figur 54).

Oppsummering og samanlikning av skredlausneårsaker og skreddynamikk

Det kan synast at skreda utløyst i området Slåtten og Tindefjellet er knytt kortvarig og intens nedbør som gav eroderande strøymar i samband med høg overflateavrenning, ein lausnemekanisme som ofte er knytt til flaumskred (tabell 9; Bargel et al., 2011). Med antatt høgt vassinnhald vil skreda ha fått stor mobilitet og hastigheit, og skjerfastleiken i dreneringsløpa bli overstige. *GIS*-analysen tyder på at fleire av skreda har fylgt pre-eksisterande kanalar, og/eller eksisterande drenering- og elveløp (kap. 5.3). Med bakgrunn i dette, og ut frå tabell 9, samsvarar desse karakteristikkane med det som kjenneteiknar flaumskred (debris flood og debris flow) (Bargel et al., 2011).

For skredet på Årnes har truleg lågintensit nedbør over ein lengre periode (åtte timar) ført til oppbygging av poretrykk og vassmetta lausmassar, med utgliding som resultat. Dette er den lausnemekansismen som utløysar dei fleste jordskred i Norge (Bargel et al., 2011; Boje et al., 2014; Devoli et al., 2018; Sandøy et al., 2017). Dreneringsanalysen tyder på at skredløpet ikkje har fylgt ein definert vassveg (kap.5.3.2), bortsett frå kanalisering i nedre skredløp. Mektigheita på lausmassar i nedre skredløp er stor som indikerer ein massestraumprosess (Blikra et al., 1989; Colleuille, 2013). Basert på dette, og observasjonar av grovt material i øvre del av lausmassedekket, samsvara Årnes-skredet med karakteristikkar som kjenneteikna jordskred (Bargel et al., 2011).

Tabell 9 Samanlikning mellom jordskred og flaumskred. Henta frå Bargel et al. (2011).

	Forhold i løseområde	Utløsningsmekanisme	Bevegelse og rekkevidde	Kjennetegn i avsetningsområde
Jordskred	<ul style="list-style-type: none"> • Bratte, løsmassedekkede skråninger (> 25-30°) • Utenfor bekker og elver • En del finmateriale i massene, men også stein, grus og sand blandet med vegetasjon. • Varierende vanninnhold. 	<ul style="list-style-type: none"> • Intens/langvarig nedbør og/eller snøsmelting. • Punktbrudd eller tversgående sprekk i vannmettede løsmasser 	<ul style="list-style-type: none"> • Utglidning av vannmettede masser som kan vokse i omfang, både i lengde- og bredderetning. • Kan resultere i en massestrøm med stor rekkevidde. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tungeformede rygger (lober) og langsgående rygger (levéer) av grovmateriale langs skredbanen og nedenfor i skredbanen der terrenget flater ut • Vifte av grovt materiale i øvre del av vifta og finmateriale utover i bunnen av skrånningen (ofte brattere enn flomskredviftene)
Flomskred	<ul style="list-style-type: none"> • Bratte, flomstore elver og bekker eroderer i løsmassedekket. • Opptrer langs klart definerte elve- og bekkeløp og raver, gjel eller skar der det vanligvis ikke er permanent vannføring. • Stort vanninnhold. 	<ul style="list-style-type: none"> • Flom pga. intens nedbør og/eller snøsmelting, eller dambrudd etter oppdemming av skredmasser, våt snø og vegetasjon. • Intens erosjon i sammenheng med svært stor vannføring danner en vannmettet sedimentstrøm • Masser tilføres også fra tilgrensende jordskred. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bølge av vann, sedimenter og organisk materiale som beveger seg raskt nedover i elveløpet. • Stor hastighet og tetthet. • Stort volum. • Svært stor rekkevidde. • Selve flommen kan fortsette mye lengre enn løsmassene. 	<ul style="list-style-type: none"> • Skredmasser kan avsettes som langsgående rygger (levéer) på sidene av skredløpet og som tunger (lober) i fronten. • De groveste massene avsettes ved viftas rot (øverst på vifta), og gradvis finere masser avsettes utover i vifta (ofte jevnere overflate og en fremre front på flomskredvifte).

6.3.5 Lausmasseskred - sommarstyrtregn versus langvarig haust og vårstormar.

Sommarstyrtregn er timar med intens nedbør med varigheit opptil tre timar. Haust og vårstormar har nedbør med låg intensitet over dagar, ofte i kombinasjon med snøsmelting (Ødemark et al., 2012). Sjølv om nedbøren ikkje var langvarig i form av dagar ved Årnes, var nedbøren relativt låg intens over åtte timar, og kan difor ikkje inkluderast som ei skredhending direkte utløyst av sommarstyrtregn. Slåtten og Tindfjellet fekk derimot høgintens nedbør i underkant av to timar før skredutløysingane, og det vil difor representere skredhendingar utløyst av sommarstyrtregn i samanlikninga mot skred utløyst etter langvarige vår- og hauststormar. Eit større datagrunnlag enn skreda på Slåtten og ved Tindfjellet trengst for å kunna fastslå skilnadar mellom lausneårsak og skreddynamikk for lausmasseskred utløyst under sommarstyrtregn og dei utløyst etter langvarig haust og vårstormar. Likevel, resultatane frå denne oppgåva kan bidra med nyttige indikasjonar for vidare undersøking.

For lausmasseskred utløyst etter langvarige nedbørsepisodar som vår- og hauststormar er som regel lausneårsaka knytt til høgt poretrykk og utgliding av vassmetta lausmassar. der skredutløysing ikkje nødvendigvis krev høge nedbørsintensitetar (Sidle & Bogaard, 2016; Bondevik & Sorteberg, 2020). Fleire studiar peikar på at større nedbørsintensitetar for å gi ustabile forhold og skredutløysing i lausmassar med lågt poretrykk (Crozier, 2010; Guzzetti et al., 2007; Sidle & Bogaard, 2016). Med lågintensit nedbør i åtte timar, oppbygging av poretrykk og utgliding av vassmetta lausmassar skredutløysinga på Årnes antyde (men ikkje representere) eit skred utløyst av langvarig haust og vårstormar. Skredutløysinga skjer ikkje etter høgste målte nedbørsintensitet, men kort tid etter ei auking (figur 50, kap. 6.2.2). Som nemnd fann Bondevik & Sorteberg (2020) i sin studie frå Anestølen i Sogndal at skredutløysinga ikkje skjedde på høgaste nedbørsintensitet, men derimot ved høg grunnvasstand ved lågintensit nedbør, og noko som er antatt tilfelle på Årnes. Motsett vart skreda på Slåtten og ved Tindefjellet utløyst kort tid etter høgste målte nedbørsintensitet (figur 50). Generelt er sommarsesongen prega av låg grunnvasstanden og lågt poretrykk (NVE, 2020a). Dette tilsvara forholda i Jølster før skredhendingane (sjå kap. 5.1 og 5.2). Resultata frå oppgåva kan tyde på at intense nedbørsbyer over ein kort tid gir auka overflateavrenning, der lågt porevasstrykk kan føre til sekundær porøsitet og lokal, rask poretrykksoppbygging som utløysar skred. Dette korrelera med tidlegare studiar, blant anna Tichavský et al. (2019) som syner med at tørke og lågt poretrykk over tid fører til oppsprekking i lausmassane, og at dette påverkar infiltrasjonshastigheita og vassføringa i lausmassane. Vidare fann Handwerger et al. (2019) at langvarig tørke etterfølgd av kort og intens nedbørsbyer reduserte skråningsstabiliteten.

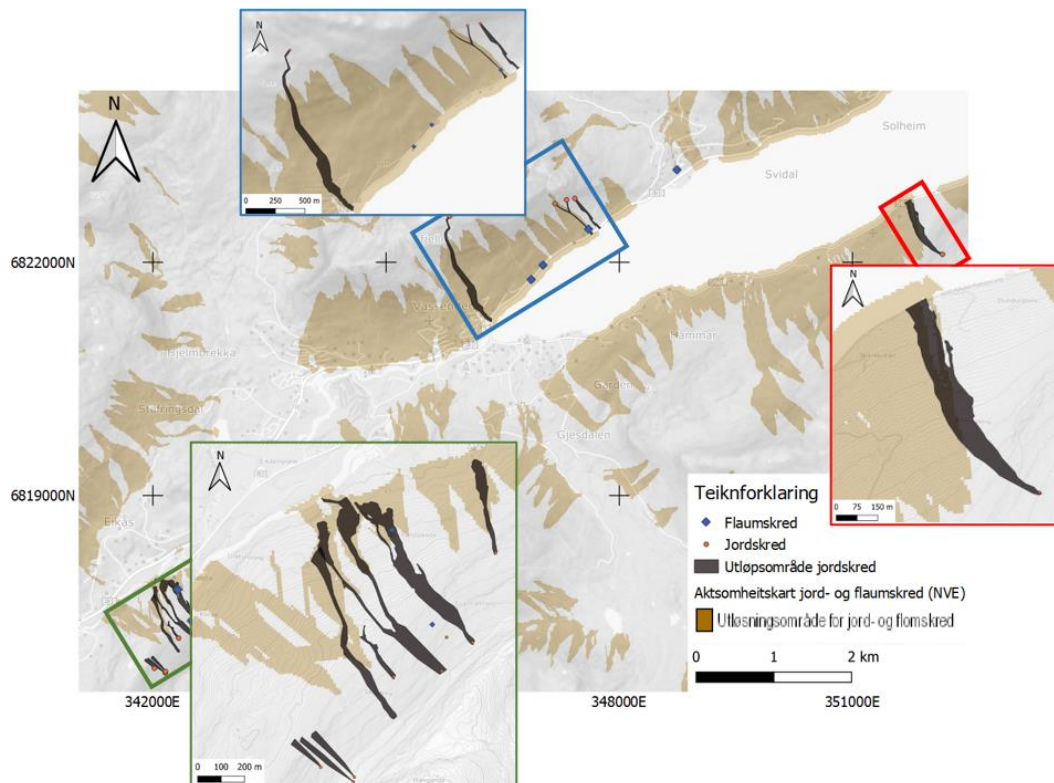
Oppsummert indikera funna frå denne oppgåva at skred utløyst av lausmasseskred under sommarstyrtregn er knytt lausnemekanisme og skreddynamikk prega av høg vasstilførsel og vasstilgang, noko som kan tilsvara flaumskred. Skredutløysing for skreda undersøkt er kort tid etter høgste nedbørsintensitet. Den intense nedbøren medføre auka overflateavrenning som kan føra til utvikling av eroderande strøymar i lausmassedekke, spesielt i erosjonsløp som ikkje drenerer store områder. Høgt vassinnhald prega skreddynamikken, der skjervefastleiken i dreneringsløpa fort overstigast av sær høge vassmengder og nedbørsintensitet på kort tid. For skred utløyst under langvarige vår- og hauststormar har oppbygging av poretrykk og vassmetting i lausmassane over tid har større betydning for skredutløysing. Studiar tyder på at skredutløysing skjerr når poretrykket er høgast, ikkje nedbørsintensiteten (Bondevik & Sorteberg, 2020; Guzzetti

et al., 2007). Skreddynamikken pregast av erosjon i lausmassar der skjerfastheita er svekka grunna vassmetting og høgt poretrykk som kan resultera i høgare massetettleik i skredmassane.

6.4 Arealplanlegging, varsling og vurdering

Dei siste åra har gitt fleire episodar med sommarstyrtregn som har truga og skada infrastruktur. I tillegg til oppgåvas studieområde, Jølster, fekk og Brumunddal og Fredrikstad store utfordringar knytt til styrtregn same år, 2019. I 2017 vart Utvik og Breim råka (Setså, 2020; Svehagen, 2019; Varsom, 2020). Lausmasseskred førekjem i ulike terrengetypar, forutsett nok tilgjengelege lausmassar, stor nok skråningsvinkel og der høg vasstilførsel og auka poretrykk er ein moglegheit (Fischer et al., 2014). Eit aktsemdkart er eit resultat av terrengeanalysar og modelleringar nytta for å identifisere områder med potensiell skredfare, og tek omsyn til dei nemnde føresetnadane for lausmasseskred. Aktsemdkart dannar vidare grunnlaget for vurdering områder som trengst detaljert skredfare-kartlegging i forbindelse med arealplanlegging og utbygging (Fischer et al., 2014). Figur 55 syner aktsemdområder i Jølster. Bortsett frå dei austlege skreda på Løsetslåtten fangar aktsemdkartet rimeleg godt opp utløpsområda til samtlege av dei undersøkte skredhendingane som truga eller skada infrastruktur i Jølster 30. juli 2019. Derimot fell lausneområda utanfor kartlegginga, om ein ser vekk frå det eine skredet på Løsetslåtten. Lausneområda ligg høgare enn det som er venta ut frå aktsemdkartet (figur 55). For Slåtten og Tindefjellet kan resultatata frå oppgåva tyda på at styrtregnet førte til stor overflateavrenning. Dette gav auka vassførsel i etablerte bekke- og elveløp, men kanskje spesielt i erosjonsløp som ikkje drenere store områder. Sommartørka i forkant av skredhendingane kan ha medverka til forsterka og endra dreneringsløp, som i samband med sekundær porøsitet resulterte i nye og «uvente» lausnepunkt. Til tross for høgareliggjande lausnepunkt gav nedbørsintensiteten og overflateavrenninga denne dagen skreda høg hastigheit, stort volum og lang nok rekkevidde til å øydeleggje og truga infrastrukturen i områda. Funna i oppgåva kan indikere at styrtregn medføre høgare vassinnhald i skredmassane, og følgeleg høg hastigheit og stort volum (Devoli et al., 2018; Øydvin et al., 2011). Det same er sett ved tidlegare styrtregn-hendingar (Rønningen, 2018; Svehagen, 2019). Høgare vassinnhald kan gi raskare utløysing, lengre utløpsdistanse og ha eit større skadeomfang enn det som fangast opp i aktsemdkarta. Tørrare periodar i forkant kan gi nye lausnepunkt som ikkje er inkludert i aktsemdkarta, og potensielt utsette busetnad og anna infrastruktur på stadar der skredfare ikkje er tatt omsyn til. Etersom aktsemdkarta er hovudsakeleg i målestokk 1:50 000 (Fischer et al., 2014) kan det å vektlegge kartlegging av

dreneringsvegar, særleg erosjonsløp som ikkje drenere store områder, i større detalj vera nyttig. Til tross for at skredhendingane undersøkt her er statistisk for få til å konkludere med noko, kan det tyde på at spesielt områder i overgangen mellom overliggjande bart fjell og lausmassedekke bør vektleggjast. Med ei venta auke episodar med langvarig tørke avløyst av styrtregn (Hanssen-Bauer et al., 2016; Nabizadeh et al., 2019; NVE, 2019; Sorteberg et al., 2018) kan det vera relevant å inkludere parametrar knytt til svært lågt poretrykk i modelleringar.

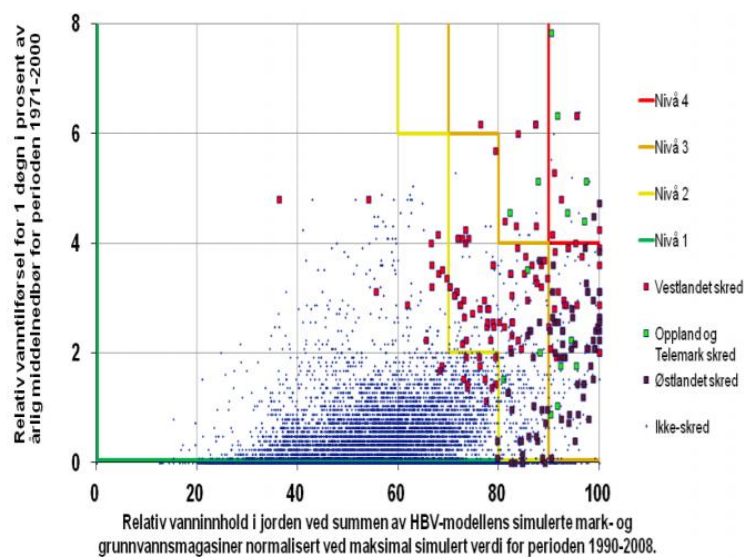


Figur 55 Aktsemdområda (i brunt på figur) for kvar skred kan utløysast og potensielt utløpsområde. Utheva rektangel syner skredområda Tindfjellet (blått), Slåtten (grønt) og Årnes (raudt).

Som gjennomgått i tidlegare kapittel er det fleire utfordringane knytt til varsling av styrtregn. Følgeleg blir det vanskeleg å varsle om skred knytt til styrtregn. Usikkerheitene knytt til den kvar og når byene treff skapar eit dilemma for vakhavande. Skal varsel sendast ut for eit stort område, der mange av varsla vil vera unødvendige? Eller skal ein stå i usikkerheita og vente på meir pålitelege data? Både unødig varsling og manglande varsling vil medføre ei svekking av truverdigeheita til varslinga, og i verste fall utelata respons (Krøgli et al., 2018). På bakgrunn av dette blir det ikkje varsla om flaum- og jordskred knytt til styrtregn. Frå i år (2020) er farevarsel om kraftige byer (MET) og flaum- og jordskred der hovudårsaka er styrtregn (NVE) samla til eit farevarsel kalla styrtregn-varsel. Det vil altså fortsett bli varsla om flaum- og jordskred ved anna nedbør (MET, 2020; Varsam, 2020).

Styrtregnhendinga i Jølster skjedde før denne endringa. For tilfelle i Jølster vart det ikkje sendt ut noko varsel for flaum- og jordskredfare før kl. 19:49 hendingsdagen. Då hadde mykje nedbør allereie falt, og det var venta meir nedbør påfølgjande dag. NVE varsla farenivå gult (Agersten et al., 2019).

Varslinga for jordskred blir som nemnd burdert ut i frå ein kombinasjon av terskelverdiar, der desse vidare blir nytta som utgangspunkt for vurderinga av jordskredfare. Som det kjem fram av figur 56 estimerer tersklane at vassmettinga i jorda må overstiga 60% for at gult nivå skal oppnåast. I Jølster indikerte dei interpolert data frå xGeo gunstige hydrologiske forhold med vassmetting på under 60% i alle skredområda før styrtregn-hendinga. Modellsimuleringar blir gjort fleire gongar for dagen, og datagrunnlaget oppdaterast følgeleg. Om gult farenivå var varsla grunna oppdateringar er uvisst. Skredhendingane i Jølster vart uansett ikkje blitt fanga opp i flaum- og jordskredvarslinga. Som nemnd i kap. 1.3. ligg det ein totalvurdering bak varsling for jordskredfare, der lokale forhold og innspel frå MET blir inkludert, i tillegg til terskelverdiane (Boje et al., 2014; Norem & Sandersen, 2014; Sandøy et al., 2017). Med tanke på at det vart registrert 18 utløyste skred i Jølster denne dagen, kartlagt over 50 skred i området (Rouault et al., 2020), kan det tyde på at terskelverdien er for låg. Usikkerheitene knytt til interpolerte data og metrologiske målingar vart gjennomgått i kap. 6.1.1, og er av stor betydning her. I fylgje Krøgli et al. (2018) er det pågåande studiar for å forbetre terskelverdiane og varslinga. Det vil vera nyttig å inkludera hendingar som i Jølster i statistikken som er ein del av grunnlaget for terskelverdiane.



Figur 56 Terskel for jordskredfare som blir nytta i jordskredvarsling hos NVE (Boje et al., 2011)

Samanlikninga med ulike meteorologiske data nytta i denne oppgåva tyder på at det trengst ei betre romleg og temporal fordeling av metrologiske målingar for å kunne fange opp hydrologiske parametrar. Kombinasjon av ulike kjelder kan vera nyttig for å validere målingar og få meir reelle interpoleringar. Funna syner at det kan vera store variasjonar i nedbørsmengd og -intensitet på svært lokal skala, og der lausneårsaka og skreddynamikken for skred utløyst kan vera ulik. Ikkje berre område som fekk høgintensit og kortvarig nedbør, Tindefjellet og Slåtten, fekk ustabile forhold. Den lågare intense nedbøren over ein lengre periode førte òg til ustabile forhold på Årnes.

Klimaendringane kan påverke den geografiske fordelinga av skred, der områder som er tilpassa lokale klimatiske forhold blir ustabile (Jaedicke et al., 2008; Norem & Sandersen, 2014). Nærast alle skredhendingane i Jølster fell utanom kartlagde aktsemdområder. Funna i oppgåva understrekar viktigheita med å forbetre kunnskapen om skredutløysande nedbørsintensiteter og nedbørsmengder og knytte desse til dei lokale føresetnadar for skredutløysing. Denne kunnskapen kan bidra til ei betre forståing av mogelege lausneområder og utløysingsfaktorar, slik at betre omsyn kan takast i framtida.

7 Konklusjon

Målet med denne oppgåva var å nytta ulike kjelder til nedbørs- og klimadata for å belyse det metrologiske forholdet under styrtregnhendinga i Jølster 30. juli 2019, samt relatere den romlege og temporale fordelinga for nedbørsmengd og -intensitet opp lausnetidspunkt for skredhendingane. Resultat frå ulike GIS-analysar skulle knytast opp mot funna i oppgåva for å diskutere dreneringssituasjon, lausneårsaker og skreddynamikk for skredhendingane for å undersøkje om lausmasseskred utløyst under sommarstyrtregn skil seg frå skred utløyst etter langvarig haust og vårstormar. Det skulle òg vurderast om resultatata indikerte behov for betre eller anna aktsemd kring skred utløyst av styrtregn etter tørrare periodar.

- Samanlikninga av meteorologiske data frå xGeo, eKlima og vêrradar synte at radardata reflekterte nedbørsmengder som best stemte overeins med augevitneobservasjonar. Interpoleringane frå xGeo gir for låge nedbørsestimat, og den romlege og temporale oppløysinga i data frå offisielle målestasjonar er for grov til å fange opp styrtregn.
- Kortvarig og intenst nedbør gav ustabile forhold og skredutløysing i Jølster til tross for gunstige hydrologiske forhold. Funna syner at det kan vera store variasjonar i dei den romlege og temporale fordelinga av nedbørsmengd -og intensitet på svært lokal skala, og der lausneårsak og skreddynamikk kan vera ulik.
- Skredområda ved Tindefjellet og på Slåtten har begge høge nedbørsintensitetar over ein kort periode (under to timar), der fyrste skredregistrering skjer kort tid etter høgste reflekterte nedbørsintensitet. Akkumulert nedbør fram til fyrste skredregistrering er estimert til 204,6 mm for Tindefjellet og 150,6 mm for Slåtten .
- Samanlikna med Slåtten og Tindefjellet er det ikkje reflektert sær høge verdiar i nedbørsintensitet for området kring Årnes-skredet. Fram til skredutløysing er estimert akkumulert nedbørsmengd på 84,4 mm. Samanlikna med Tindefjellet og Slåtten var nedbøren her av lågare intensitet med lengre varigheit (åtte timar).
- Topografien kring skredhendingane er eigna for drenering. *Flow accumulation*- analysen syner fleire mindre dreneringsvegar i og kring lausneområda. Dei fleste skredhendingane er knytt til overgangen mellom blotta fjell/tynt lausmassedekke.
- Skredhendingane på Slåtten og ved Tindefjellet er følgjer av kortvarig og intens nedbør som gav eroderande strøymar i samband med høg overflateavrenning. Høgt vassinnhald i

skredmassane gav stor mobilitet og hastigheit, og skjerfastleiken i dreneringsløpa vart overstige.

- For skredet på Årnes har truleg lågintensit nedbør over åtte timar ført til oppbygging av poretrykk og vassmetta lausmassar. Årnes-skredet tolkast utløyst som følge av vassmetting frå nedbør og avrenning, der utløysinga truleg skjer når grunnvassnivået når høgste nivå.
- Lausmasseskred under sommarstyrtregn er knytt lausnemekanisme og skreddynamikk prega av høg vasstilførsel og vasstilgang. Den intense nedbøren medføre auka overflateavrenning som kan føra til utvikling av eroderande strøymar i lausmassedekke, spesielt i erosjonsløp som ikkje drenere store områder. Høgt vassinnhald prega skreddynamikken, der skjerfastleiken i dreneringsløpa overstigast av sær høge vassmengder og nedbørsintensitet på kort tid. Lausmasseskred utløyst etter langvarige nedbørsepisodar som vår- og hauststormar er som regel lausneårsaka knytt til høgt poretrykk og utgliding av vassmetta lausmassar, der skredutløysing ikkje nødvendigvis krev høge nedbørsintensitetar, men heller høgt grunnvassnivå.
- Høgare vassinnhald kan gi raskare utløysing, lengre utløpsdistanse og ha eit større skadeomfang enn det som fangast opp i aktsemdkarta. Resultata kan indikere at tørrare periodar i forkant av styrtregn gir nye lausnepunkt som ikkje er inkludert i aktsemdkarta, og såleis potensielt utsette busetnad og anna infrastruktur.
- For aktsemdkarta kan meir detaljert kartlegging av dreneringsvegar, særleg erosjonsløp som ikkje drenere store områder, vera nyttig. GIS- analyse i oppgåva tyder på at særskilt områder i overgangen mellom overliggjande bart fjell og lausmassedekke bør vektleggjast.
- Ettersom vassmettinga i jorda må overstiga 60% blir ikkje skredhendingar som i Jølster inkludert i jordskredvarslinga. Med tanke på klimaendringar vil det vera nyttig å inkludere skredhendingar knytt til eit brått skifte i vêrsituasjonar, frå tørre periodar til styrtregn, i grunnlagsdata nytta i evaluering og utarbeidinga av terskelverdiane.

8 Referansar

- Abdella, Y., & Alfredsen, K. (2010). Long-term evaluation of gauge-adjusted precipitation estimates from a radar in Norway. *Hydrology Research*, 41(3–4), 171–192.
<https://doi.org/10.2166/nh.2010.011>
- Abdella, Y. S., & Engeland, K. (2013). Bruk av værradardata for beregning av gjentakintervallkart for ekstreme nedbørshendelser. *VANN*, 48(2), 162–174.
- Agersten, S., Andersen, A. S. H., Berger, A., Dyrrdal, A. V., Køltzow, M., & Tunheim, K. (2019). *Intense byger med store konsekvenser i Sogn og Fjordane 30. Juli 2019* (Nr. 25/2019; s. 41). Meteorologisk institutt (MET). Henta frå: <https://bit.ly/2V0JnHP>
- Artsdatabanken. (2016, april 7). *Bioklimatisk utbredelse*. Artsdatabanken. Henta frå: https://www.artsdatabanken.no/Pages/205795/Bioklimatisk_utbredelse?Key=1435226532
- Austad, I., & Støle, A. (1992). *Kulturandskap og kulturmarkstyper i Jølster kommune. Kulturlandskap i Sogn og Fjordane, bruk og vern*. (Nr. 28). Sogn og Fjordane distriktshøgskule. Avdeling for landskapsøkologi. Henta frå: <https://bit.ly/3db9Et7>
- Bacchini, M., & Zannoni, A. (2003). Relations between rainfall and triggering of debris-flow: Case study of Cancia (Dolomites, Northeastern Italy). *Natural Hazards and Earth System Science*, 3(1/2), 71–79. <https://doi.org/10.5194/nhess-3-71-2003>
- Bargel, T. H., Fergus, Å. T., Devoli, G., Orvedal, K., Peereboom, I., & Øydvin, E. K. (2011). *Plan for skredfarekartlegging—Delrapport jordskred og flomskred* (Nr. 16/2011; Plan for skredfarekartlegging). Norges vassdrags-og energidirektorat.
http://publikasjoner.nve.no/rapport/2011/rapport2011_16.pdf

- Berman, G., La Rosa, S., & Accone, T. (2018). *Ethical Considerations When Using Geospatial Technologies for Evidence Generation* (Innocenti Discussion Papers Nr. 02/2018). UNICEF Office of Research - Innocenti. <https://doi.org/10.18356/60c0e27b-en>
- Bjordal, H., Colleuille, H., Engeset, R., Helgås, G., Odberg, M. M., Sivle, A., & Steinvik, K. (2017). *Evaluering av snø- og jordskredvarslingen* (Nr. 38/2017). Norges vassdrags-og energidirektorat (NVE). Henta frå: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2017/rapport2017_38.pdf
- Blikra, L. H., Hole, P. A., & Rye, N. (1989). *Skred i Norge: Hurtige massebevegelser og avsetningstyper i alpine områder, Indre Nordfjord*. Norges geologiske undersøkelse. Henta frå: https://urn.nb.no/URN:NBN:no-nb_digibok_2008070804012
- Bogaard, T. A., & Greco, R. (2016). Landslide hydrology: From hydrology to pore pressure. *WIRES Water*, 3(3), 439–459. <https://doi.org/10.1002/wat2.1126>
- Boje, S., Colleuille, H., & Devoli, G. (2014). *Terskelstudier for utløsning av jordskred i Norge—Oppsummering av hydrometeorologiske terskelstudier ved NVE i perioden 2009 til 2013* (Norges vassdrags-og energidirektorat Nr. 43/2014; Terskelstudier for utløsning av jordskred i Norge, s. 60). Norges vassdrags-og energidirektorat. Henta frå: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2014/rapport2014_43.pdf
- Bollschweiler, M., & Stoffel, M. (2010). Changes and trends in debris-flow frequency since AD 1850: Results from the Swiss Alps. *The Holocene*, 20(6), 907–916. <https://doi.org/10.1177/0959683610365942>
- Bondevik, S., & Sorteberg, A. (2020). Abstract title: Groundwater fluctuations during a debris flow event in Western Norway triggered by rain and snowmelt. *in prep.*, 1/2020, 33–34. Henta frå: https://geologi.no/images/NGWM20/Abstractvolume_NGWM20.pdf

- Breien, H., Høydal, Ø. A., & Jensen, O. A. (2015). *Oppsummeringsrapport for skog og skredprosjektet. Samanstilling av rapportar frå prosjektet* (Nr. 92/2015; Skog og skredprosjektet). Norges vassdrags-og energidirektorat. Henta frå:
http://publikasjoner.nve.no/rapport/2015/rapport2015_92.pdf
- Colleuille, H. (2013). *Jordskred og flomskred*.
http://publikasjoner.nve.no/faktaark/2013/faktaark2013_05.pdf
- Colleuille, H., Boje, S., Devoli, G., Krøgli, I. K., Engen, I. K., Sundt, M., Skaslien, T., Humstad, T., Frekhaug, M., & Wiréhn, P. (2017). *Jordskredvarslingen. Nasjonal varslingssteneste for jord-, sørpe- og flomskredfare* (Nr. 75/2017). Norges vassdrags-og energidirektorat (NVE). Henta frå: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2017/rapport2017_75.pdf
- Crosta, G. B., Agliardi, F., Frattini, P., & Sosio, R. (2012). *SafeLand Living with landslide risk in Europe: Assessment, effects of global change, and risk management strategies 7th Framework Programme Cooperation Theme 6 Environment (including climate change) Sub-Activity 6.1.3 Natural Hazards* (1.1; Work Package 1.1 – Identification of mechanisms and triggers). Henta frå:
<https://www.ngi.no/eng/Projects/SafeLand/#Reports-and-publications>
- Crozier, M. J. (2010). Deciphering the effect of climate change on landslide activity: A review. *Geomorphology*, 124(3), 260–267. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.04.009>
- Dannevig, P., & Holm, A. K. (2019). Nedbør. I *Store norske leksikon*. Henta frå:
<http://snl.no/nedb%C3%B8r>
- Devoli, G., Tiranti, D., Cremonini, R., Sund, M., & Boje, S. (2018). Comparison of landslide forecasting services in Piedmont (Italy) and Norway, illustrated by events in late spring 2013. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(5), 1351–1372.
<https://doi.org/10.5194/nhess-18-1351-2018>

- Dhakal, A. S., & Sidle, R. C. (2004). Distributed simulations of landslides for different rainfall conditions. *Hydrological Processes*, 18(4), 757–776. <https://doi.org/10.1002/hyp.1365>
- Dick, Ø. B. (2015). Geografiske data. I *Store norske leksikon*. http://snl.no/geografiske_data
- Dimakis, P. (2013). *Grunnvannsanalyser av skråninger* (Nr. 75/2013). Norges vassdrags-og energidirektorat. http://publikasjoner.nve.no/rapport/2013/rapport2013_75.pdf
- Dyrddal, A. V., & Førland, E. J. (2019). *Klimapåslag for kortidsnedbør—Anbefalte verdier for Norge* (Nr. 5/2019; NCCS report no. 5/2019, s. 20). Norsk klimaservicesenter. Henta frå: https://cms.met.no/site/2/klimaservicesenteret/rapporter-og-publikasjoner/_attachment/14849?_ts=16ae48116a6
- eKlima. (2020). *EKlima*. Henta frå: http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?_pageid=73,39035,73_39049&_dad=portal&_schema=PORTAL
- Engeset, R., Boje, S., & Beldring, S. (2018). *Hvordan lages vær- og vanndata for seNorge.no og xGeo.no?* NVE. Henta frå: https://www.nve.no/media/7502/waterdata_v2_no.pdf
- Esri. (2020a). *Fill—Help | Documentation*. Henta frå: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/fill.htm>
- Esri. (2020b). *Flow Direction—Help | Documentation*. Henta frå: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/flow-direction.htm>
- Esri. (2020c). *How Flow Accumulation works—Help | Documentation*. Henta frå: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-flow-accumulation-works.htm>
- Esri. (2020d). *Raster basics*. Henta frå: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/geodatabases/raster-basics.htm>

Esri. (2020e). *Sink—Help / Documentation*. Henta frå: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/sink.htm>

Fischer, L., Rubensdotter, L., & Staksberg, K. (2014). *Aktsomhetskart jord-og flomskred: Metodeutvikling og landsdekkende modellering* (2010.019; s. 72). Norges geologiske undersøkelse (NGU). Henta frå:
https://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Rapporter/2014/2014_019.pdf

Flaaten, G., & Aalvik, H. O. (2019, juli 31). Her har skredene gått. De enorme nedbørsmengdene overgikk NVE sine egne prognoser. *Bergens Tidene*. Henta frå:
<https://www.bt.no/article/bt-9vXL11.html>

Frauenfelder, R., Solheim, A., Isaksen, K., Romstad, B., Dyrddal, A. V., Gangstø, R., Harbitz, A., Harbitz, C. B., Haugen, J. E., Hygen, H. O., Haakenstad, H., Jaedicke, C., Jónsson, Á., Klæboe, R., Ludvigsen, J., Mayer, N. M., Rauken, R., Sverdrup-Thygeson, K., & Aaheim, A. (2013). *Impacts of extreme weather events on infrastructure in Norway (InfraRisk)—Sluttrapport til NFR-prosjekt 200689* (NGI rapport nr. 20091808-01-R; s. 94 + Appendiks). Henta frå: <https://www.ngi.no/download/file/6742>

Førland, E., Mamen, J., Dyrddal, A. V., Grinde, L., & Myrabø, S. (2016). *Dimensjonerende korttidsnedbør. Naturfareprosjektet Dp 5 Flom og vann på avveie* (Nr. 134/2015; Naturfareprosjektet Dp 5 Flom og vann på avveie.). Norges vassdrags-og energidirektorat (NVE). Henta frå: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2015/rapport2015_134.pdf

Gariano, S., Brunetti, M., Iovine, G., Melillo, M., Peruccacci, S., Terranova, O., Vennari, C., & Guzzetti, F. (2015). Calibration and validation of rainfall thresholds for shallow landslide forecasting in Sicily, southern Italy. *Geomorphology*, 228, 653–665.

Gariano, S. L., & Guzzetti, F. (2016). Landslides in a changing climate. *Earth-Science Reviews*, 162, 227–252. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.08.011>

- Grønmo, S. (2020). Kvalitativ metode. I *Store norske leksikon*. http://snl.no/kvalitativ_metode
- Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., & Stark, C. P. (2007). Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 98(3–4), 239–267. <https://doi.org/10.1007/s00703-007-0262-7>
- Halvorsen, R., & Sulebak, J. R. (2009). Massebevegelse i skråninger som geomorfologisk prosess. *Naturtyper i Norge, versjon 1.0*(Artikkel 11: 1-6). Henta frå:
https://www.artsdatabanken.no/Files/21280/Artikkel_11_-_Massebevegelse_i_skr_ninger_som_geomorfologisk_prosess.pdf
- Handwerger, A. L., Huang, M.-H., Fielding, E. J., Booth, A. M., & Bürgmann, R. (2019). A shift from drought to extreme rainfall drives a stable landslide to catastrophic failure. *Scientific Reports*, 9(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-38300-0>
- Hanssen-Bauer, I., Fjørland, E. J., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J. E. Ø., Sandven, S., & Sandø, A. B. (2016). *Klima i Norge 2100* (Nr. 02/2015; Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015, s. 204). Miljødirektoratet. Henta frå:
https://cms.met.no/site/2/klimaservicesenteret/klima-i-norge-2100/_attachment/10990?_ts=159d5ffcffd
- Harstveit, K. (2018). Maritimt klima. I *Store norske leksikon*. http://snl.no/maritimt_klima
- Hefre, H., Høydal, Ø. A., Sandersen, F., Kristensen, K., Breien, H., Ekseth, K., Thygeson, K. S., Gisnås, K., & Mo, K. (2019). *Faresonekartlegging i Jølster kommune* (Nr. 45/2019; Faresonekartlegging skredfare i bratt tereng). Norges vassdrags-og energidirektorat (NVE). Henta frå:
http://publikasjoner.nve.no/eksternrapport/2019/eksternrapport2019_45.pdf
- Helgheim, J. (2000). *Jølster: Bygda og breen*. Samlaget.

- Helleve, E. (2016, april 21). *Jølster kommune, Sogn og Fjordane—Allkunne*. Alkunne. Henta frå:
<https://www.allkunne.no/framside/geografi/noreg/kommunar/jolster-kommune-sogn-og-fjordane/23/84112/>
- Hollemann, I. (2006). *Bias adjustment of radar-based 3-hour precipitation accumulations*. (Technical Report KNMI TR-290). Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut.
<http://bibliotheek.knmi.nl/knmipubTR/TR290.pdf>
- Hornberger, G. M., Wiberg, P. L., Raffensperger, J., & D'Odorico, P. (Red.). (2014). *Elements of physical hydrology* (2nd ed.). The Johns Hopkins University Press.
- Horton, R. E. (1933). The Rôle of infiltration in the hydrologic cycle. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 14(1), 446–460. <https://doi.org/10.1029/TR014i001p00446>
- Hungr, O., Leroueil, S., & Picarelli, L. (2014). The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, 11(2), 167–194. <https://doi.org/10.1007/s10346-013-0436-y>
- Høydal, Ø. A., & Sandersen, F. (2019). *Faresonekartlegging i Jølster kommune. Tilleggsrapport til faresonekartlegging i Jølster kommune – ekstern rapport 45/2019* (Nr. 69/2019). Norges vassdrags-og energidirektorat (NVE). Henta frå:
http://publikasjoner.nve.no/eksternrapport/2019/eksternrapport2019_69.pdf
- Iverson, R. M. (2000). Landslide triggering by rain infiltration. *Water Resources Research*, 36(7), 1897–1910. <https://doi.org/10.1029/2000WR900090>
- Jaedicke, C., Solheim, A., Blikra, L. H., Stalsberg, K., Sorteberg, A., Aaheim, A., Kronholm, K., Vikhamar-Schuler, D., Isaksen, K., Sletten, K., Kristensen, K., Barstad, I., Melchiorre, C., Høydal, Ø. A., & Mestl, H. (2008). Spatial and temporal variations of Norwegian geohazards in a changing climate, the GeoExtreme Project. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8(4), 893–904. <https://doi.org/10.5194/nhess-8-893-2008>

- Jakob, M., & Weatherly, H. (2003). A hydroclimatic threshold for landslide initiation on the North Shore Mountains of Vancouver, British Columbia. *Geomorphology*, 54(3), 137–156.
- Jensen, O. A., Devoli, G., Rustad, B. K., Verhage, A., Viklund, M., & Kristensen, L. L. (2015). *Terminologi for naturfare. Naturfareprosjektet: Delprosjekt 1 Naturskadestrategi* (Nr. 90/2015; s. 29). Norges vassdrags-og energidirektorat. Henta frå: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2015/rapport2015_90.pdf
- Jørgensen, P., Sørensen, R., & Prestvik, O. (2013). *Norske jordarter*. Jordforeningen. http://www.jordforeningen.no/wp-content/uploads/2018/05/Norske_jordarter.pdf
- Kalajdzic, P., & Folkeman, V. (2019, juli 31). *Dette har skjedd/tidslinje jordras Jølstra*. NRK. https://www.nrk.no/norge/dette-har-skjedd_tidslinje-jordras-jolstra-1.14644500
- Kartverket. (2020, januar 28). *Brukerveiledning om formater og programvare for kartdata*. Kartverket. Henta frå: <http://kartverket.no/data/Brukerveiledning-for-kartdata/>
- Krøgli, I., Devoli, G., Colleuille, H., Boje, S., Sund, M., & Engen, I. (2018). The Norwegian forecasting and warning service for rainfall- and snowmelt-induced landslides. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18, 1427–1450. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-1427-2018>
- Lindsay, E., Frauenfelder, R., Rubensdotter, L., & Rütther, D. (in prep.). *Change detection with Sentinel-1 and Sentinel-2 imagery for landslide event inventory*.
- MET. (2018, mars 19). *Private værstasjoner gir bedre temperaturvarsler på Yr*. Meteorologisk institutt. Henta frå: <http://www.met.no/nyhetsarkiv/private-vaerstasjoner-gir-bedre-temperaturvarsler-pa-yr>

- MET. (2020, mai 26). *Styrtregn*. Meteorologisk institutt. Henta frå: <http://www.met.no/vaer-og-klima/ekstremvaervarsler-og-andre-farevarsler/vaerfenomener-som-kan-gi-farevarsel-fra-met/styrtregn>
- MET, & NRK. (2020). *Radarene på Yr*. Yr hjelp og informasjon. Henta frå: <http://hjelp.yr.no/hc/no/articles/360001555053-Radarene-p%C3%A5-Yr>
- Metrologisk institutt. (2017). Orografisk nedbør. I *Store norske leksikon*. Henta frå: http://snl.no/orografisk_nedb%C3%B8r
- Meyer, N. K., Dyrrdal, A. V., Frauenfelder, R., Etzelmüller, B., & Nadim, F. (2012). Hydrometeorological threshold conditions for debris flow initiation in Norway. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12(10), 3059–3073. <https://doi.org/10.5194/nhess-12-3059-2012>
- Nabizadeh, E., Hassanzadeh, P., Yang, D., & Barnes, E. A. (2019). Size of the Atmospheric Blocking Events: Scaling Law and Response to Climate Change. *Geophysical Research Letters*, 46(22), 13488–13499. <https://doi.org/10.1029/2019GL084863>
- NGU. (2015, januar 8). *Aktsomhetskart for jord- og flomskred | Norges geologiske undersøkelse*. Henta frå: <https://www.ngu.no/emne/aktsomhetskart-jord-og-flomskred>
- Nikolopoulos, E. I., Crema, S., Marchi, L., Marra, F., Guzzetti, F., & Borga, M. (2014). Impact of uncertainty in rainfall estimation on the identification of rainfall thresholds for debris flow occurrence. *Geomorphology*, 221, 286–297. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.06.015>
- Norem, H., & Sandersen, F. (2014). *Håndbok V139 Flom-og sørpeskred* (Vegdirektoratet, Red.). Vegdirektoratet. Henta frå: https://www.vegvesen.no/_attachment/740653/
- Norges Geologiske Undersøkelse (NGU). (u.å.). *Grunnvann i Norge—Ordbok*. Henta 13. mars 2020, frå <https://www.ngu.no/grunnvanninorge/ordbok#k>

- NTB. (2019, august 6). «*Tohundreårsregn*» og nedbørsrekorder da rasene gikk i Jølster.
Aftenposten. Henta frå: <https://www.aftenposten.no/article/ap-1AexRy.html>
- NVE. (2018, februar 13). *Kartverktøy*—NVE. <https://www.nve.no/karttjenester/kartverktoy/>
- NVE. (2019, juli 31). *Mye regn på kort tid ga store skader i Sogn og Fjordane 30. Juli 2019.* -
Varsom. varsom.no. Henta frå: <https://www.varsom.no/nytt/nyheter-flom-og-jordskred/mye-regn-pa-kort-tid-ga-store-skader-i-sogn-og-fjordane-30-juli-2019/>
- NVE. (2020a, februar 7). *Grunnvann i Norge*—NVE. Norgev vassdrags- og energidirektorat (NVE). Henta frå: <https://www.nve.no/hydrologi/grunn-og-markvann/grunnvann-i-norge/>
- NVE. (2020b, mars 9). *Hvordan utføre en skredfarevurdering Fase 2: Utføre oppdrag*—NVE. Norgev vassdrags- og energidirektorat (NVE). Henta frå:
<https://www.nve.no/skredfarekartlegging/hvordan-utfore-en-skredfarevurdering/fase-2-utfore-oppdrag/>
- NVE. (2020c, april 23). *NVE Atlas*. Henta frå:
<https://atlas.nve.no/Html5Viewer/index.html?viewer=nveatlas#>
- NVE. (2020d, mai 3). *Grunnvannsnivå*—*Dyp under bakken for Førde/Moskog rør 3 Nr:84.25.3.*
Henta frå: <https://www2.nve.no/h/hd/plotreal/GRW/0084.00025.003/>
- Reite, L. O., & Løset, O. (2019, august 1). *Jakob (14) hamna midt i rasdrama: –Eg har fått mange meldingar frå folk som lurar på korleis det går.* NRK. Henta frå:
https://www.nrk.no/vestland/jakob-_14_-hamna-midt-i-rasdrama_-_eg-har-fatt-mange-meldingar-fra-folk-som-lurer-pa-korleis-det-gar-1.14645845
- Ricketts, B. (2016, oktober 4). *Landslide! How groundwater affects the stability of slopes.* Geological Digressions. <https://www.geological-digressions.com/how-groundwater-affects-the-stability-of-slopes/>

- Rouault, C., Lindsay, E., Nordal, S., & Lohne, J. (2020). *Abstract title: Jølster landslide event July 2019: Predisposition, trigger and consequences. 1/2020*, 184. Henta frå:
https://geologi.no/images/NGWM20/Abstractvolume_NGWM20.pdf
- Ruan, G., & Langsholt, E. (2017). *Rekalibrering av flomvarslings HBV-modeller med inndata fra seNorge, versjon 2.0* (Nr. 71/2017). Norges vassdrags-og energidirektorat. Henta frå:
http://publikasjoner.nve.no/rapport/2017/rapport2017_71.pdf
- Rüther, D., Hefre, H., Sandersen, F., & Rubensdotter, L. (in prep.). *Forensic analysis of Jølster landslides*.
- Rønningen, E. S. S. (2018). *Utløsende årsaker til løsmasseskred i Utvik og Stordalen 24. Juli 2017* [Masteroppgåve, Norges teknisk-naturvitenskaplige universitet (NTNU)]. Henta frå:
<https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/handle/11250/2590961>
- Sandersen, F., Bakkehøi, S., Hestnes, E., & Lied, K. (1996). The influence of meteorological factors on the initiation of debris flows, rockfalls, rockslides and rockmass stability. *Publikasjon - Norges Geotekniske Institutt*, 201, 97–114.
- Sandøy, G., Rubensdotter, L., & Devoli, G. (2017). *Trekantformede jordskred—Studie av fem skredhendelser i Norge* (Norges geologiske undersøkelse 2017.17; s. 152). Henta frå:
https://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Rapporter/2017/2017_017.pdf
- Schanche, S. (2014). *Sikkerhet mot skred i bratt terreng. Veileder nr. 38—2014*. Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). Henta frå:
http://publikasjoner.nve.no/veileder/2014/veileder2014_08.pdf
- Setså, R. (2020). *Tidlig vårflom og mer styrtregn – Geo365*. Henta frå:
<https://geo365.no/geofarer/tidlig-varflom-og-mer-styrtregn/>

- Sidle, R. C., & Bogaard, T. A. (2016). Dynamic earth system and ecological controls of rainfall-initiated landslides. *Earth-Science Reviews*, *159*, 275–291.
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.05.013>
- Sidle, R. C., Gomi, T., Úsuga, J. C. L., & Jarihani, B. (2017). *Hydrogeomorphic processes and scaling issues in the continuum from soil pedons to catchments*.
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.10.010>
- Sidselrud, L. F. (2020). Værradar. I *Store norske leksikon*. <http://snl.no/v%C3%A6rradar>
- Sivasubramaniam, K., Sharma, A., & Alfredsen, K. (2018). Estimating radar precipitation in cold climates: The role of air temperature within a non-parametric framework. *Hydrology and Earth System Sciences*, *22*, 6533–6546. <https://doi.org/10.5194/hess-22-6533-2018>
- Skaland, R. G., Colleuille, H., Andersen, A. S. H., Mamen, J., Grinde, L., Tajet, H. T. T., Lundestad, E., Sidselrud, L. F., Tunheim, K., Hanssen-Bauer, I., Benestad, R., Heiberg, H., & Hygen, H. O. (2019). *METinfo Tørkesommeren 2018* (Nr. 14/2019). Meteorologisk institutt (MET). Henta frå: <https://bit.ly/3ebutM>
- Sorteberg, A., Engeland, K., Lawrence, D., Dyrørdal, A. V., & Mayer, S. (2018). *Climatic changes in short duration extreme precipitation and rapid onset flooding—Implications for design values* (Nr. 1/2018; s. 143). Norsk klimaservicesenter. Henta frå:
https://cms.met.no/site/2/klimaservicesenteret/rapporter-og-publikasjoner/_attachment/13537?_ts=163df95ff7b
- Statens Vegvesen. (2017). *Definisjoner for statens vegvesens normaler*. Statens Vegvesen (SVV).
Henta frå: <https://bit.ly/2UYJSIz>
- Sunding, P. (2019). Boreonemorale sone. I *Store norske leksikon*. Henta frå:
http://snl.no/boreonemorale_sone

- Svehagen, M.-L. F. (2019, august 2). *Vi venter hyppigere og kraftigere styrtregn om sommeren*. Meteorologisk institutt. Henta frå: <http://www.met.no/nyhetsarkiv/vi-venter-hyppigere-og-kraftigere-styrtregn-om-sommeren>
- Thorsnæs, G., & Askheim, S. (2020). Jølster – tidligere kommune. I *Store norske leksikon*. Henta frå: http://snl.no/J%C3%B8lster_-_tidligere_kommune
- Tichavský, R., Ballesteros-Cánovas, J. A., Šilhán, K., Tolasz, R., & Stoffel, M. (2019). Dry Spells and Extreme Precipitation are The Main Trigger of Landslides in Central Europe. *Scientific Reports*, 9(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-51148-2>
- UiO. (2018, juli 11). *Tørkestress—Institutt for biovitenskap*. Institutt for biovitenskap. Henta frå: <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/t/torkestress.html>
- Ulriksen, K. A. (2019, juni 17). *Sosiologi og sosialantropologi—Formelle og uformelle intervju—NDLA*. ndla.no. Henta frå: <https://ndla.no/subjects/subject:43/topic:1:190302/topic:1:197975/resource:1:190651>
- Varsom. (2017, august 1). *Ustabile luftmasser gjør det utfordrende å varsle fare for flom og jordskred—Varsom*. Varsom.no. Henta frå: <https://varsom.no/nytt/nyheter-flom-og-jordskred/ustabile-luftmasser-gjor-det-utfordrende-a-varsle-fare-for-flom-og-jordskred/>
- Varsom. (2020). *Varsel om styrtregn—Varsom*. <https://varsom.no/flom-og-jordskredvarsling/varsel-om-styrtregn/?ref=mainmenu>
- Vatne, I., & Kjølseth, T. M. H. (2017). *Modellering av urbane pluviale flommer ved bruk av værradar* [Masteroppgåve, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, NMBU]. Henta frå: <https://bit.ly/37Kd9pt>
- Wang, G., & Sassa, K. (2003). Pore-pressure generation and movement of rainfall-induced landslides: Effects of grain size and fine-particle content. *Engineering Geology*, 69(1), 109–125. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(02\)00268-5](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(02)00268-5)

Wieczorek, G. F., & Glade, T. (2005). Climatic factors influencing occurrence of debris flows.

Debris Flow Hazards and Related Phenomena, 325–362.

xGeo. (2017, november 28). xGeo driftsmeldinger: Ny oppdatert xgeo. *xGeo driftsmeldinger*.

Henta frå: <http://xgeo-driftsmeldinger.blogspot.com/2017/11/ny-oppdatert-xgeo.html>

xGeo. (2020a). *Varsom xGeo—Flom og jordskred. Akkumulert nedbør siste døgeret til*

30.07.2019 kl. 08:00. Henta frå:

http://www.xgeo.no/?p=flomogjordskred&m=bmGeodataGraatone%3BMapLayer_rr&l=no&d=1564351200000&e=7357%7C6837341%7C72381%7C6866297

xGeo. (2020b). *Varsom xGeo—Flom og jordskred. Akkumulert nedbør siste døgeret til*

31.07.2019 kl. 08:00. Henta frå:

http://www.xgeo.no/?p=flomogjordskred&m=bmGeodataGraatone%3BMapLayer_rrc&l=no&d=1564437600000&e=7357%7C6837341%7C72381%7C6866297

xGeo. (2020c). *Varsom xGeo—Flom og jordskred. Døgnendring i grunnvann 30.07.2019*. Henta

frå:http://www.xgeo.no/?p=flomogjordskred&m=bmGeodataGraatone%3BMapLayer_gwb_gwtdev&l=no&d=1564437600000&e=7357%7C6837341%7C72381%7C6866297

xGeo. (2020d). *Varsom xGeo—Flom og jordskred. Grunnvannstand 30.07.2019 kl.08:00*. Henta

frå:http://www.xgeo.no/?p=flomogjordskred&m=bmGeodataGraatone%3BMapLayer_gwb_gwtcl&l=no&d=1564351200000&e=7357%7C6837341%7C72381%7C6866297

xGeo. (2020e). *Varsom xGeo—Flom og jordskred. Grunnvasstand 31.07.2019 kl.08:00*. Henta

frå:http://www.xgeo.no/?p=flomogjordskred&m=bmGeodataGraatone%3BMapLayer_gwb_gwtcl&l=no&d=1564437600000&e=7357%7C6837341%7C72381%7C6866297

xGeo. (2020f). *Varsom xGeo—Flom og jordskred. Jordas vannlagringskapasitet 30.07.2019*

kl.08:00. Henta frå:

[http://www.xgeo.no/?p=flomogjordskred&m=bmGeodataGraatone%3BMapLayer_gwb_s
ssdev&l=no&d=1564351200000&e=7357%7C6837341%7C72381%7C6866297](http://www.xgeo.no/?p=flomogjordskred&m=bmGeodataGraatone%3BMapLayer_gwb_s
ssdev&l=no&d=1564351200000&e=7357%7C6837341%7C72381%7C6866297)

xGeo. (2020g). *Varsom xGeo—Flom og jordskred. Jordas vannlagringskapasitet 31.07.2019 kl.*

08:00. Henta frå:

[http://www.xgeo.no/?p=flomogjordskred&m=bmGeodataGraatone%3BMapLayer_gwb_s
ssdev&l=no&d=1564437600000&e=7357%7C6837341%7C72381%7C6866297](http://www.xgeo.no/?p=flomogjordskred&m=bmGeodataGraatone%3BMapLayer_gwb_s
ssdev&l=no&d=1564437600000&e=7357%7C6837341%7C72381%7C6866297)

xGeo. (2020h). *Varsom xGeo—Flom og jordskred. Vannmetting i jorda 30.07.2019 kl.08:00.*

Henta frå:

[http://www.xgeo.no/?p=flomogjordskred&m=bmGeodataGraatone%3BMapLayer_gwb_s
ssrel&l=no&d=1564351200000&e=7357%7C6837341%7C72381%7C6866297](http://www.xgeo.no/?p=flomogjordskred&m=bmGeodataGraatone%3BMapLayer_gwb_s
ssrel&l=no&d=1564351200000&e=7357%7C6837341%7C72381%7C6866297)

xGeo. (2020i). *Varsom xGeo—Flom og jordskred. Vannmetting i jorda 31.07.2019 kl. 08:00.*

Henta frå:

[http://www.xgeo.no/?p=flomogjordskred&m=bmGeodataGraatone%3BMapLayer_gwb_s
ssrel&l=no&d=1564437600000&e=7357%7C6837341%7C72381%7C6866297](http://www.xgeo.no/?p=flomogjordskred&m=bmGeodataGraatone%3BMapLayer_gwb_s
ssrel&l=no&d=1564437600000&e=7357%7C6837341%7C72381%7C6866297)

Zhao, K., Huang, H., Wang, M., Lee, W.-C., Chen, G., Wen, L., Wen, J., Zhang, G., Xue, M.,

Yang, Z., Liu, L., Wu, C., Hu, Z., & Chen, S. (2019). Recent Progress in Dual-

Polarization Radar Research and Applications in China. *Advances in Atmospheric*

Sciences, 36(9), 961–974. <https://doi.org/10.1007/s00376-019-9057-2>

Ødemark, K., Førland, E., Mamen, J., Elo, C. A., Dyrødal, A. V., & Myrnes, S. (2012). *Ekstrem*

korttidsnedbør på Østlandet fra pluviometer og radar data (Nr. 14/2012;

Naturfareprosjektet Dp 5 Flom og vann på avveie.). Meteorologisk institutt (MET).

Henta frå: <https://bit.ly/3ddxYe8>

Ørstavik, E., & Mæhlum, L. (2015). Geografisk informasjonssystem. I *Store norske leksikon*.

Henta frå: http://snl.no/geografisk_informasjonssystem


Øydvin, E. K., Devoli, G., Bargel, T. H., Wiig, T., Taurisano, A., Berg, H., Eikenæs, O., Lyche, E., Fergus, T., Kvaland, M. R., Wasrud, J., Helle, T. E., Orvedal, K., Peereboom, I., Andersen, Ø. B., Hermanns, R., Høst, J., Hansen, L., Bunkholt, H., ... Stalsberg, K. (2011). *Plan for skredfarekartlegging. Status og prioriteringer innen oversiktskartlegging og detaljert skredfarekartlegging i NVEs regi* (Nr. 14/2011). Norges vassdrags-og energidirektorat (NVE). Henta frå:

http://publikasjoner.nve.no/rapport/2011/rapport2011_14.pdf

Aalvik, H. O., Drægebø, R., Risnes, K., & Opheim, T. (2019, juli 30). 150 personer ble evakuert etter flere store jordras i Jølster. *Bergens Tidene*. Henta frå: <https://www.bt.no/article/bt-9vXWOW.html>

8 Vedlegg

VEDLEGG A

	JØLSTER KOMMUNE BRANN OG REDNING	Ferdigstillt: 27. august 2019 Sign: TAS
---	---	--

Evaluering jordras og evakuering Vassenden 30. juli 2019

Hendinga:

Situasjonen før alarm og dei fyrste meldingane:

Det var på førehand varsla torevær, mogleg store nedbørmengder og flaumfare på nivå «gult». Vakhavande innsatsleiar (brannsjefen) vurderte situasjonen, men ut frå tidlegare erfaringar kor liknande meldingar medførte at uværet delte seg og gjekk innover Angedalen og Haukedalen, vart risikoen for store skadar vurdert som liten. Ca kl 14.00 byrja det å regne moderat med lyn og tøre. I 15-tida var nedbøren auka i intensitet, men situasjonen vart fortsatt vurdert som relativt trygg. Kl 16.30 vart det køyrd kategori 3 alarm for T41 med melding om stein og vatten på E39 ved Svidalsnesset. Brannvesenet vart bedne om å køyre ut for å stengje vegen i til arbeidslag frå Mesta kom på staden. På veg dit vart uttrykkinga stoppa ved Årsetelva (ca kl 16.40), kor nokre steinar og vatten sperra E39. Dette vart tolka til at det var feil plassering av skadestad, og melding om dette vart gjeve på radio. Mens dette føregjekk kom resten av massane ned elva og sperra vegen heilt. Det vart konstatert at ei hytte var teke, og tre bustadhus var utsett. Brannvesenet sette i gang søk og evakuering av området, og fekk raskt opplyst at dei som var på hytta truleg var på handel i Førde, eit av bustadhusa var evakuert av bebuarane og dei to siste var på ferie. Opplysningane vart seinare verifisert.

Kl 16.58 hadde varabrannsjefen køyrd fram til Svidalen frå Skei-sida og kunne stadfeste at det var to separate skadestadar. På vegen hadde han meldt hendinga til Ordføraren, som igjen tok kontakt med Rådmann/kommunal kriseleiiing. Kontakt på dårleg mobiltelefon vart oppretta mellom Rådmann og innsatsleiar. Varabrannsjef gjekk, i tråd med våre rutinar inn som utrykkingsleiar i hendinga.

Bruk av talegrupper:

Ved fyrste alarm fekk brannvesenet tildelt «07 Brann 10» som arbeidsgruppe. Gruppen var delt med Førde brannvesen som hadde samstundes aksjon. Det vart tidleg klart at begge aksjonane kravde mykje radiokommunikasjon, og Jølster fekk beskjed om å bytte til «07 Brann 17». Denne vart nytta i resten av innsatsen. Rask tildeling av eiga talegruppe vert vurdert som ein nøkkelfaktor for aksjonen. Kommunikasjonen var så omfattande og (stort sett) tidskritisk at deling av talegruppe med ein anna aksjon ville gjeve store problem for vår innsats. Tilsvarande truleg også for Førde og deira innsats.

«SAR 1» vart oppretta som aksjonssamband. Dette fungerte dårleg for innsatsen på skadestad. Samla informasjonsflyt frå mannskap og SAR vart for stor til at innsatsleiar klarde å sile det relevante. Bruk av sambandsmann ville truleg hjelp, men kompetansen var ikkje tilgjengeleg i KO. Fleire løysingar vart prøvd, mellom anna delt ansvar for lytting mellom politi og brann, og bruk av Sivilforsvaret sin eine mann inne på skadestaden. Både brann og politi hadde så stor aktivitet i sine faggrupper at dei i liten grad rakk å lytte i SAR. Sivilforsvaret sin mann var ikkje øvd i oppgåva, og klarte ikkje å sile relevant informasjon. På skadestad vart SAR oppfatta som overordna og lite relevant i høve til den

situasjonen vi prøvde å løyse. Aktiv lytting vart difor sporadisk gjennomført når situasjonen på skadestad opna for dette. Skadestad gjekk truleg glipp av informasjon på grunn av at sambandet ikkje var optimalt.

Ved så store hendingar bør fagsentralane fungere som filter/sambandsmenn mellom overordna nivå og innsatsen. BAPS burde vore oppretta og nytta til å vidareformidle relevant informasjon til skadestad. Dette vil krevje ekstra kapasitet hjå sentralane, men det viktige må være at alt vert lagt til rette for best mogleg innsats på skadestad. Politiet sin operasjonssentral legg til vanleg ned BAPS med ein gong nødetatane er framme på skadestad. Dette vitnar om dårleg forståing for korleis eit KO i akuttfasen fungerer. Manglande moglegheit for at innsatsleiar brann og politiet sin skadestadsleiar kunne kommunisere også ved fysisk avstand la avgrensingar for leiinga av skadestaden. Det vert her synt til Jølster brannvesen si evaluering etter brannen i Fjærlandstunellen 17.04.17, kor bruk av BAPS gjennom heile innsatsen vart identifisert som eit suksesskriterium.

Bortfall av mobil, datanett og straum i området:

Ras og lynnedslag hadde gjort stor skade på mobilnettet. I starten var det mogleg å ringe/bli oppringt på dårleg linje, men mobilnettet braut heilt saman i 18-19 tida. Dette medførde at det ikkje var mogleg å opprette kontakt mellom innsatsleiing og kommunen si kriseleiing før vakthavande i Førde (T01F) organiserte dette via naudnettet rett før kl 21. Delar av Jølster sin krisestab var då lokalisert saman med Førde kommune si, hjå lensmannen i Sunnfjord. Resterande kriseleiing var sett på kommunehuset på Skei. Det var tilnærma normal kommunikasjon (telefon og nett) mellom dei to delane. På skadestad opplevde vi ikkje noko ulempe knytt til delinga av kriseleiinga. Rundt kl 02 fekk Skei tilgang til naudnettet via ein av Jølster brannvesen sine terminalar. Dette burde ha vore organisert tidlegare.

Bortfall av mobil og internettet medførde stor aktivitet for å sjekke ut personar som vart etterlyst av pårørende utanfor skadestad. Registreringa av evakuerte var til nytte i dette arbeidet, men det vart også lett etter folk i området. Sjølv om manglande mobildekning var årsak til at omfanget vart så stort, gjorde det også at dei fleste spørsmåla kom tenesteveg. Dette reduserte pågangen hjå oss på staden.

Straumstansen gjorde at Vassenden og øvre delar av Hjelmbrøkkfeltet vart utan straum.

Naudstraumsaggregatet ved Vassenden omsorgssenter starta ikkje som føresett, og brannvesenet måtte nytte to mann for å få start på dette. Rask respons frå mannskapet gjorde at det ikkje fekk vesentlege konsekvensar for drifta av omsorgssenteret.

Mange laddar terminalane om kvelden eller natta. Mykje bruk på ettermiddagen gjorde at mange byrja å ha lite straum ut i aksjonen. Brannvesenet har 12V laddeutstyr i befalsbilane og i T31 og 41. Av desse køyretøya var berre to tilgjengeleg på Vassenden. I tillegg skal det være bordladdar i T31 og 41. 31 var på Skei og laddaren i 41 var mellombels omdisponert. Dårlege moglegheiter for å ladde medførde ikkje konsekvensar for innsatsen, men det bør vurderast å skaffe fleire 12 V og å ha 2-3 fulle batteri liggjande i mannskapsbilane slik at mannskapet fortløpande kan bytte.

Kommunen si kriseleiing og innsatsleiing i brannvesenet:

I kommunen sine beredskapsplanar er det føresett at kriseleiinga skal kunne samlast og få støtte av ein brannmann for kommunikasjon i naudnettet. Kommunikasjon mellom skadestad og kriseleiinga skjer elles via mobiltelefon. Kommunen ved brannvesenet disponerer også to satellittelefonar. Ved meldingar om ekstremvær eller når situasjonen vert vurdert som utrygg vert desse utplassert med ein tilgjengeleg på Vassenden og ein på Skei. Dette vart ikkje gjort i førekant av hendingane då det ikkje var indikasjonar på at omfanget skulle bli så stort. Det bør vurderast om rutinar og planverk skal endrast for å auke sannsynet for god kommunikasjon.

Kommunen har firdelt dreiande vakt for innsatsleiar, og i våre rutinar er det føresett at frivakt når dei er disponible skal delta som utrykkingsleiar eller beslutningsstøtte i dei to leiarnivåa. Innsatsleiarane er knytt til kvar sine stasjonar og er ledig ressurs for desse når dei ikkje har vakt. Dette gjer at mannskapet på begge stasjonane kjenner sine næraste leiarar godt. I tillegg har brannvesenet to reine utrykkingsleiarar knytt til stasjonen på Vassenden. I akuttfasen av hendingane var det berre to innsatsleiarar tilgjengeleg i innsatsen. Våre rutinar har klare avgrensingar i oppgåve og ansvarsfordeling mellom innsatsleiar og utrykkingsleiar, og desse er innøvd både hjå mannskap og leiarane. Vi har også rutinar for korleis tildeling av oppgåver skal skje. Til tross for omfanget til hendinga og manglande leiarstøtte på begge nivåa fungerte vår organisering godt. Det at begge leiarnivåa raskt kom på plass og hadde ei felles forståing av rollefordelinga gjorde leiinga effektiv, og det vart ikkje brukt unødig tid på avklaringar. Dette vert vurdert som eit suksesskriterium.

Brannvesenet har som overordna leiarfilosofi at riktige avgjersler skal takast på så lågt nivå som mogeleg. Dette sikrar raske avgjersler og vi kan utnytte mogelegheiter som oppstår under innsats. Prinsippet har vore styrande for vår organisering, rutinar, øvingar og innsats og er godt innarbeida hjå mannskapet. Det at dette fungerte var sentralt for innsatsen. Mannskapet identifiserte problema ute på skadestad, tok avgjersle på korleis dei kunne løyse dei, handla og rapporterte oppover kva dei hadde gjort. I tillegg til at vi fekk rask respons på hendingar, gav det leiarane mogelegheit til i større grad å sikre koordinering mellom mannskapet og andre aktørar.

Etablering av KO ved skadestad:

Politi og brann etablerte raskt KO ved brua på Vassenden. Plasseringa var i utgangspunktet god i høve til oversikt over innsatsen og mobiltelefondekning, men mykje nedbør, små tilgjengelege støtteressursar for brann og politi, manglande egna lokale til KO og mykje folk (i hovudsak trafikantar som ikkje kom lengre) var med på å hindre effektiv koordinering. Befalsbil Vassenden skal etter våre planar kunne fungere som improvisert lokale, men denne vart i store delar av akuttfasen etter konkrete vurderingar nytta til andre oppgåver.

Ut frå situasjonen hadde plasseringa også taktiske fordelar. Politi og brann var godt synleg og lett tilgjengeleg for dei frivillige, og det vart lett å få oversikt over og koordinere deira innsats. Noko ein truleg ikkje ville klart med ei meir tilbaketrekt plassering. Samla er det usikkert om flytting av KO i denne fasen ville betra leiinga av skadestad. Helse var saman med dei evakuerte i Gjesthalla og ikkje representert i KO under innsatsen.

Organisering og gjennomføring av evakuering:

Då det var klart at det ikkje var mogeleg å nytte bil til evakuering av bustadhus og trafikantar langs E39 byrja brannvesenet å organisere båtskysst. Til dette fekk vi stor hjelp både frå frivillige som raskt stilte med båt, redningsvestar og jaktradio for kommunikasjon mellom båtar og land. I realiteten sytte desse for all transport, og brannvesenet kunne nytte sine ressursar på å få folk fram til bryggene og kontrollere at alle hus, bilar og område var evakuert.

Frivillige sytte for at Gjesthalla vart opna, og dei evakuerte gjekk eller vart køyrd frå brygga på Vassenden (ca 400 m). På grunn av straumstansen i området var det ikkje varme i bygget, men lokale entreprenørar ordna med dieselaggregat og byggtørker. Seinare vart det også ordna med kaffe, te og mat frå dei to butikkane i området. Røde kors og ambulanspersonell var til stades for å gje førstehjelp og omsorg til dei evakuerte. Gjesthalla var godt egna som samlestad, men ikkje til overnatting for så mange folk. Lærarar busett i området vart difor kontakta for å låse opp Vassenden barneskule (ca 200 m frå Gjesthalla). Alle evakuerte vart registrert når dei kom fram til skulen, frå ca kl 22. Også dette vart gjennomført av frivillige.

Frivillig innsats:

Frivillig innsats var heilt sentral i gjennomføringa av evakuering, etablering av samleplass evakuerte, registrering av evakuerte, matforsyning, helsekontroll og innkvartering for natta. Mykje av organiseringa vart leia av eit fåtal private som såg problema, tok tak i det som måtte gjerast og organiserte andre frivillige etter kvart som dei melde seg i området. Desse sytte for at den aktiviteten kriseleiinga normalt organiserer på skadestad, likevel vart gjennomført på ein god måte. Ut frå omfanget ville korkje politiet eller brannvesenet hatt mogelegheit til å organisere dette utan at det ville fått store konsekvensar for innsatsen samla. Det bør vurderast å gjennomføre opplæring og øving av nøkkelfrivillige rundt om i tettstadane. Ved større hendingar vil dei då kunne bidra i innsatsen på ein god måte, enten som leiarar eller i støttefunksjonar.

Eskalering av situasjonen:

Tidspunktet går ikkje fram av vår logg, men rundt kl 17.30 var det kome melding om fleire ras over E39 ved kommunegrensa til Førde og i Movika. I tillegg var været slik at det ikkje var forsvarleg å nytte helikopter. Vassenden var då skild frå omværa med dei resursane som fantes lokalt og som var kome inn før E39 vart heilt stengd. På skadestad var det då ein patrulje frå politiet (to betjentar), ein ambulanse (i tillegg var det ein ambulanse med pasient innesperra av rasa på nordsida), brannvesenet med ca 10 mann og sivilbefolkninga.

Det kom fortløpande inn meldingar om at det var gått ras på Kvammen, men at dei som budde der sjølve hadde evakuert til Støfring. Vidare kom det meldingar om at ras/flaum hindra ferdsel mellom hyttefelta Bjøkeli og Holtane utan at dette var til fare for personar, ras ved Slåtten, ras frå Halvgjera og ras på Grimsbø. Brannvesenet hadde ikkje kapasitet til straks å kontrollere at desse hendingane ikkje truga liv og helse, men verifisering vart gjennomført så raskt personell var tilgjengeleg. Med unnatak av Holtane vart alle områda, inkludert området Flaten – Jordbruksskulen på Mo kontrollert i løpet av kvelden. Det var ikkje trygt å sende folk inn i Holtane utan dagslys, og dette vart ikkje gjennomført før på føremiddagen den 31.

Det kom også meldingar om sideveggar som var overfløymd og bruer som var i fare for å bli teke av flaumvatn. Sivile sytte for at desse områda vart sperra – oftast ved bruk av ulikt landbruksmateriell.

Flytting av KO til Gjesthalla:

Ca 20.30 var alle av dei ca 120 som enten budde nære rasområda på nordsida, eller var i bilar fanga mellom rasa evakuert til Vassenden. Aktiviteten ved brygga vart mindre og KO vart difor flytta til Gjesthalla. Flyttinga gjorde at arbeidstilhøva vart betre og arbeidet i KO lettare.

Ny alarm – ras med sakna køyretøy:

Kl 20.50 gjekk det alarm med melding om ras langs Fv 451, og ein bil skulle være teke av raset. Mannskapet og frivillige som hadde delteke i evakueringa var fortsatt i eller nær båtane, og sette kurs mot rasstaden. I tillegg køyrde T31 og T41 ut frå stasjonane. Ingen av bilane hadde til då vore nytta i innsatsen, sjølv om dei fleste av mannskapet deltok. Dei fyrste frå brannvesenet var framme i båt 10-15 minutt etter alarm, og byrja søk. Dei fekk etter kvart hjelp frå helikopter og båt frå Røde kors. T 31 og 41 køyrde fram til raset frå kvar si side, men situasjonen var så utrygg at dei trekte seg tilbake i to etappar. Innsatsen knytt til «søk etter sakna», og «søk etter antatt omkomne» vert omtala i eiga evaluering.

Evakuering til Skei – eller ikkje:

Kommunen si kriseleiing organiserte mat og transport av mat med båt frå Skei til Vassenden. Båten var stor og skulle etter planen evakuere folk frå Vassenden til Thon Hotell Skei, kor kriseleiinga hadde reservert alle ledige rom (8 stk.). Ut frå været, båten, lengde på turen, kle og tilstand til dei som var aktuelle, vurderte brannvesenet sin representant hjå dei evakuerte det som uforsvarleg å prøve transport. Dette vart meldt til innsatsleiar brann, som stadfesta avgjersla. Det vart difor ikkje gjort forsøk på evakuere folk frå Vassenden.

Dimittering av mannskap:

I 1-2. tida den 31. gjekk nedbøren over til meir normal intensitet før det til slutt gav seg. Dei fleste mannskapet vart dimittert for natta, med beskjed om å stille om morgonen. Fagleiar vart att i KO, for saman med politi å planlegge innsatsen seinare på dagen. Før flytting til skulen var det varsla at kontakt med naudetatane var mogeleg i Gjesthalla, det var difor naudsynt at KO var bemanna gjennom natta. Ein brannmann var i tillegg saman med dei evakuerte for å kunne gje helsehjelp og samband mot KO om naudsynt. Det vart avtalt at fagleiar skulle avløyssast så raskt som mogeleg når innsatsen vart teke opp, estimert til i 7-8 tida.

Mannskap frå Skei stod vakt ved krysset mellom Rv 5 og Fv 451. Det synt seg vanskeleg å få andre aktørar til å avløyse desse slik at dei kunne kvile og være klar for ny innsats seinare på dagen. Mannskapet vart til slutt beordra å reise heim og gje politiet på staden melding om dette. Manglande organisering av avløyssing frå andre aktørar medførte unødig belastning på vårt mannskap som skulle i viktig innsats dagen etter.

Registrering av evakuerte:

Samanbrotet i mobilnettet medførte at mange tok kontakt med politiet og kommunen for å etterlyse pårørende dei ikkje fekk kontakt med. Politiet hadde tidlegare på kvelden prøvd å overføre namna

som bildedeling på mobil, men desse vart ikkje leseleg hjå mottakar. Etter avtale med kommunen si kriseleiing vart det utplassert ein av brannvesenet sine terminalar i samlestad evakuerte og ein på kommunehuset på Skei. Listene med ca 150 namn (inkluderer dei som var på Vassenden når vegane vart sperra) vart så lest opp via privat oppkall i løpet av natta.

Innsatsen den 31. juli:

Med dagslyset (ca kl 6) trappa brannvesenet opp sin innsats. Prioriterte oppgåver var å bringe medisinar ut til heimeværande pleietrengande, vassforsyning, kontroll av personar i randsonene til evakueringsområda (mellom anna vart det gjennomført dør til dør aksjon i Svidalen), kontroll av personar det ikkje var mogeleg å evakuere om kvelden/natta og kontroll av etterlyste. Innsatsen vart fortløpande meldt til kriseleiinga (som fortsatt var i Førde og på Skei).

På føremiddagen vart KO flytta til Vassenden omsorgssenter og fekk då tilgang til internett (kom opp at i løpet av natta i dette bygget), straum, kontorfasilitetar og mobiltelefon via wifi. Etter flyttinga fungerte KO omtrent som føresatt i planverket.

Innsatsen føregjekk fram til vegane vart opna for kolonnekøyring ca kl 21, og dei evakuerte kunne reise vidare eller heim. Dette markerte avsluttinga av brannvesenet sin innsats knytt til skreda langs E39. Søkeinnsats den 1. august vart diskutert før mannskapet vart dimittert ca 22.

På grunn av prioritering av spesialkompetanse hjå befa, transportproblem inn i området og omsyn til overlapp ved avløysing fekk ikkje innsatsleiar avløysing før kl 14 den 31.

Skade på anna viktig infrastruktur:

Raset hadde også øydelagd vassleidningen til høgdebassenget i Årsetbakkane og dette vart tøynd i starten av hendinga (den 30.). Brannvesenet gjennomførte stenging av ventilar slik at vatnet, når straumen kom til bake, ikkje ville bli pumpa til dette men i staden direkte til abonnentane og «HB Hjelmbrekke». Straumen kom tilbake på morgonen den 31, men forsyningssituasjonen for vatten var utrygg. For å unngå større konsekvensar av rasa vart arbeidet med å sikre vassforsyninga prioritert av brannvesenet frå og med morgonen 31. juli. Brannvesenet sin innsats var med på å sikre at dei fleste innbyggjarane hadde vassforsyning gjennom heile hendinga. Normal vassforsyning vart oppretta torsdag 1. august, og gav då vassforsyning til dei siste 8-10 husstandane.

Naudnett og støtte frå omværa:

På grunn av været var det ikkje mogeleg å fly helikopter inn i området under dei akutte hendingane. Det var heller ikkje mogeleg å hente inn ekstra mannskap frå andre stasjonar for innsats eller avløysing. Dette er ikkje ein ynskjeleg situasjon og førte til unødig stor belastning på mannskapet (alt for lang innsattid utan mogelegheiter for mat og god kvile). Det er likevel ikkje grunn til å tru at dette hadde store konsekvensar for gjennomføringa av innsatsen, men det har utan tvil forlenga tida før mannskapet var restituert. Ut frå situasjonen er det vanskeleg å sjå alternative løysingar som kunne redusert problemet.

Naudnettet fungerte godt gjennom heile akuttfasen, og var i stor grad medverkande til at evakueringa og utsjekking av etterlyste let seg gjennomføre på ein god måte. Rundt kl 13 den 31. fekk vi melding frå dsb om at fleire basestasjonar gjekk på naudstrøm og kunne slutte å virke. Det

vart då gjeve ordre om at ved bortfall av nett skulle alle gå over i DMO «Brann». Dette vart utført då nettet falt bort i ein kort periode (ca 1-2 minutt), men vi gjekk tilbake til «07 Brann 17» når det kom tilbake. Mobil basestasjon vart seinare flydd inn i området. For å forlenge opetida maksimalt, vart kapasiteten til basestasjonane redusert. Dette medførte at terminalane ramla ut av nettet i kortare periodar og at tale difor vart klipt. Av di akutthendinga var avslutta hadde dette liten praktisk tyding, men skadestad var så stor at vi var heilt avhengig av radio.

Brannvesenet har ikkje faste rutinar for bortfall av naudnett under aksjon. Dette bør utarbeidast, med klar instruks om å bytte arbeidsgruppe til «DMO Brann» ved bortfall. Sjølv om nettet kjem tilbake, bør det på grunn av fare for ustabilitet og uklårt sambandsreglement ikkje bytast tilbake til TMO. Fagleiar må organisere kommunikasjon med fagsentral via mobiltelefon eller i DMO dersom mogeleg.

Talet på innsatspersonell varierer gjennom innsatsen. I akutt fasen var det i Vassenden til saman 11 mann i innsats. I tillegg kjem 5 frå Skei som stoppa trafikken langs E39 og Fv 451 og bidrog som båtførar ved evakueringa. I løpet av den 31 kom det ytterlegare 3 mann inn i området og deltok i sluttarbeidet.

Fagleiar under innsatsen: TAS, BAS

Utrykkingsleiar under innsatsen: AD

I akuttfasen var ca 10 mann i innsats i og rundt Vassenden. 31. juli vart dette auka til ca 15.

Mannskap frå begge stasjonane deltok. Mannskap frå Skei deltok også i trafikkdirigering E39 og Fv 451. I tillegg deltok kommunen sin krisestab, frivillige og andre offentlege aktørar.

Taktisk konklusjon:

Det kan være stor forskjell i nedbørsmengda i ulike delar av kommunen. Ved vurdering av risiko må det takast omsyn til dette.

Riktig vurdering av været ville truleg ikkje hatt tyding for hendingane i seg sjølve. Mange av rasa gjekk på stadar som ikkje er kjend som utsett, mens kjende problemområde ikkje utløyste flaum eller ras. Årsetelva som var det einaste raset som skadde bygg vart forbygd i 2017 og var difor vurdert som trygg. Brannvesenet må være utstyrt og øvd slik at dei kan respondere på dei hendingane som oppstår.

Tilstreккеleg og godt organiserte frivillige er naudsynt ved så store hendingar. Det bør vurderast å lære og øve nøkkelpersonell rundt om i kommunen.

Mannskapsbilane må ha laddeutstyr tilgjengeleg. I tillegg bør det ligge ladda batteri klar for byting. Tomme batteri må kunne laddast i bilane.

Det bør utarbeidast rutinar for bytte til DMO ved bortfall eller utrygt nett. Leiarane bør likevel ha ein terminal kvar i TMO dersom det er/blir mogeleg å kommunisere med fagsentral.

Kart bør være tilgjengeleg på skadestad. Både mannskap- og befals-bilar bør ha fleire kart tilgjengeleg.

Rutinar som sikrar at mannskapet får avløyning og litt kvile minimum kvar 2. time bør innførast.

Strategisk konklusjon:

Rask etablering av to leiarnivå ved store hendingar er viktig. Innsatsleiar og utrykkingsleiar må ha klart definerte oppgåver og rollefordeling for effektiv utnytting av deira kompetanse.

Skadestad bør ikkje belastast med å nytte SAR. Fagsentralane bør vidareformidle viktig informasjon som kjem i SAR ved å nytte ei anna talegruppe. Ved store hendingar bør BAPS nyttast gjennom heile innsatsen.

Alle tilgjengelege ressursar må nyttast til å få innsatsområdet til å fungere. Fagsentralane må ha kapasitet til både å serve innsatsen og handtere det trykket sivile og andre etatar gjev ved store hendingar.

Det bør vurderast om rutinane for kontakt mellom kommunen si kriseleiiing og brannvesenet er tilstrekkeleg. Rutine for distribusjon av satellittelefonar bør lagast.

Ved større hendingar bør personar øvd i ELS være tilgjengeleg i KO

Sjølv om bistand i dei fleste tilfella er pårekeleg, må brannstasjonane være organisert og leia på ein måte som gjer dei mest mogeleg autonome i innsats. Større naturhendingar kan råke store område og gjere bistand mellom stasjonar umogeleg. Det må takast høgde for dette i planlegginga og organiseringa av brannvesenet.

Brannvesenet har ikkje utarbeida planar/analyser for så omfattande hendingar. Slik dokumentasjon ville truleg ha betra koordineringa og styringa av innsatsen. Mangelen fekk små konsekvensar då vår organisering av innsats fungerte som føresett. For å få ein sikrere beredskap bør brannvesenet likevel utarbeide meir omfattande planverk/analyser.

Alle planar, rutinar, øvingar og innsats i brannvesenet har vore styrd mot at riktige avgjersler skal takast på så lågt nivå som mogeleg. Dette fungerte godt, og kompenserte i stor grad for manglande planverk. Å ha ei samla målsetjing for brannvesenet lettar arbeidet med å styre den organisatoriske utviklinga.

Alle leiarane må ha ei felles forståing av ansvar og oppgåvefordeling. Øving av samhandling mellom leiarane må gjennomførast. Stor fordel om dei kjenner og stolar på kvarandre.

KO bør plasserast slik at det har gode mogelegheiter for kommunikasjon og gode arbeidsforhold.

Avsluttande kommentarar.

Det vart ikkje registrert vesentlege avvik frå våre rutinar eller planar. Dei er med vilje utforma slik at dei kan tilpassast situasjonen, og dette fungerte som føresett. Nokre rutinar kunne likevel med fordel vore presisert/hatt konkrete krav. I ein så ekstrem situasjon ville dei truleg bli brote, men det vil være til hjelp ved meir normale hendingar.

Som nemnd under «Strategiske kommentarar» bør det vurderast om det er andre og betre løysingar, som sikrar kommunikasjon mellom brannvesenet og kommunen si kriseleiiing.

Innsatsleiar hadde hatt behov for betre leiarstøtte knytt til ELS. Når dette ikkje vart gjort skuldast dette at det ikkje var kunnig personell tilgjengeleg for leiar, enten på grunn av ferie, manglande kommunikasjon eller at dei vart prioritert til anna oppgåver. Oppgåver vart i akuttfasen overlata til kommunen si kriseleiiing og andre, men manglande koordinering kan ha redusert effekten av deira innsats. Innsatsleiar ville ha hatt stor nytte av støtte i KO. Løysingar for å sikre dette må organiserast.

Det bør lagast klårare retningslinjer for avløyning av leiarane. Ut frå situasjonen var det ikkje ynskjeleg med avløyning tidlegare, men klåre reglar er likevel naudsynt. Leiarane bør truleg ikkje være i innsats meir en 2-3 timar utan mogelegheit til å ete og slappe av. I dette tilfelle var utrykkingsleiar ca 10 t i innsats før kvile og innsatsleiar ca 21 t (inkludert 4 rolige timar i KO om natta). Dette vart alt for lenge og må unngåast.

NSD NORSK SENTER FOR FORSKNINGSDATA

NSD sin vurdering

Prosjektittel

Romleg og tidsmessig fordeling av styrtregn og skredhendingane i Jølster 30.07.2019

Referansenummer

178401

Registrert

20.03.2020 av Synne Sandvoll - synne_ms@hotmail.com

Behandlingsansvarlig institusjon

Høgskulen på Vestlandet / Fakultet for ingeniør- og naturvitenskap / Institutt for miljø- og naturvitenskap

Prosjektansvarlig (vitenskapelig ansatt/veileder eller stipendiat)

Denise Christina Ruther , denise.christina.ruther@hvl.no, tlf: 4757677629

Type prosjekt

Studentprosjekt, masterstudium

Kontaktinformasjon, student

Synne Sandvoll, 135024@stud.hvl.no, tlf: 92078448

Prosjektperiode

20.01.2020 - 19.06.2020

Status

07.04.2020 - Vurdert

Vurdering (1)

07.04.2020 - Vurdert

Det er vår vurdering at behandlingen av personopplysninger i prosjektet vil være i samsvar med personvernlovgivningen så fremt den gjennomføres i tråd med det som er dokumentert i meldeskjemaet med vedlegg den 07.04.2020, samt i meldingsdialogen mellom innmelder og NSD. Behandlingen kan starte.

MELD VESENTLIGE ENDRINGER

Dersom det skjer vesentlige endringer i behandlingen av personopplysninger, kan det være nødvendig å melde dette til NSD ved å oppdatere meldeskjemaet. Før du melder inn en endring, oppfordrer vi deg til å lese om hvilke type endringer det er nødvendig å melde:

https://nsd.no/personvernombud/meld_prosjekt/meld_endringer.html

Du må vente på svar fra NSD før endringen gjennomføres.

TYPE OPPLYSNINGER OG VARIGHET

Prosjektet vil behandle alminnelige kategorier av personopplysninger frem til 19.06.2020.

LOVLIG GRUNNLAG

Prosjektet vil innhente samtykke fra de registrerte til behandlingen av personopplysninger. Vår vurdering er at prosjektet legger opp til et samtykke i samsvar med kravene i art. 4 og 7, ved at det er en frivillig, spesifikk, informert og utvetydig bekreftelse som kan dokumenteres, og som den registrerte kan trekke tilbake. Lovlig grunnlag for behandlingen vil dermed være den registrertes samtykke, jf. personvernforordningen art. 6 nr. 1 bokstav a.

PERSONVERNPRINSIPPER

NSD vurderer at den planlagte behandlingen av personopplysninger vil følge prinsippene i personvernforordningen om:

- lovlighet, rettferdighet og åpenhet (art. 5.1 a), ved at de registrerte får tilfredsstillende informasjon om og samtykker til behandlingen
- formålsbegrensning (art. 5.1 b), ved at personopplysninger samles inn for spesifikke, uttrykkelig angitte og berettigede formål, og ikke behandles til nye, uforenlige formål
- dataminimering (art. 5.1 c), ved at det kun behandles opplysninger som er adekvate, relevante og nødvendige for formålet med prosjektet
- lagringsbegrensning (art. 5.1 e), ved at personopplysningene ikke lagres lenger enn nødvendig for å oppfylle formålet

DE REGISTRERTES RETTIGHETER

Så lenge de registrerte kan identifiseres i datamaterialet vil de ha følgende rettigheter: åpenhet (art. 12), informasjon (art. 13), innsyn (art. 15), retting (art. 16), sletting (art. 17), begrensning (art. 18), underretning (art. 19), dataportabilitet (art. 20).

NSD vurderer at informasjonen om behandlingen som de registrerte vil motta oppfyller lovens krav til form og innhold, jf. art. 12.1 og art. 13.

Vi minner om at hvis en registrert tar kontakt om sine rettigheter, har behandlingsansvarlig institusjon plikt til å svare innen en måned.

FØLG DIN INSTITUSJONS RETNINGSLINJER

NSD legger til grunn at behandlingen oppfyller kravene i personvernforordningen om riktighet (art. 5.1 d), integritet og konfidensialitet (art. 5.1. f) og sikkerhet (art. 32).

For å forsikre dere om at kravene oppfylles, må dere følge interne retningslinjer og/eller rådføre dere med behandlingsansvarlig institusjon.

OPPFØLGING AV PROSJEKTET

NSD vil følge opp ved planlagt avslutning for å avklare om behandlingen av personopplysningene er avsluttet.

Lykke til med prosjektet!

Tlf. Personverntjenester: 55 58 21 17 (tast 1)

Vil du delta i forskingsprosjektet

"Romleg og tidsmessig fordeling av styrtregn og skredhendingane i Jølster 30.07.2019"?

Dette er eit spørsmål til deg om å delta i eit forskingsprosjekt der føremålet er å analysere dei meteorologiske forholda under hendinga i Jølster 30.07.2019 ved å nytte offisielle målestasjonar, værradar, private målestasjonar og augevitne. I dette skrivet gir vi deg informasjon om måla for prosjektet og kva deltakinga vil innebera for deg.

Føremål

Dette er ei masteroppgåve i masterprogrammet «Climate Change Management» ved Høgskulen på Vestlandet, Sogndal.

Målet med denne oppgåva er å analysere dei meteorologiske forholda under hendinga med så høg romleg- og tidsoppløysing som mogeleg ut frå offisielle målestasjonar, værradar, private målestasjonar og augevitne. Vidare skal eg bidra til forbetra kunnskap om utløysingstidspunkt for dei største skreda som øydela eller trua infrastruktur. Sist, men ikkje minst, skal eg relatere tidsforløpet for nedbørmengd og intensitet med utløysingstidspunktane for skred og diskutera om årsak og skreddynamikk for lausmasseskred utløyst under sommarstyrtregn skil seg frå dei utløyst etter langvarig haust og vårstormar.

Kven er ansvarleg for forskingsprosjektet?

Høgskulen på Vestlandet, Sogndal er ansvarleg for prosjektet.

Kvifor får du spørsmål om å delta?

Det er forstått slik etter samtalar med lokale personar i området, eller rapportar og dokument frå hendingane 30.07.19, at du kan sitte med relevant informasjon som kan hjelpe til å betre forståinga av nedbøren denne dagen.

Kva inneber det for deg å delta?

Om du vel å delta i prosjektet, inneber deltakinga enten eit telefonintervju med varigheit 15-30minutter, eller ein samtale i Jølster med same varigheit. Spørsmåla vil i hovudsak dreia seg om nedbøren som falt den 30.07.2019, og dine observasjonar og/eller refleksjonar rundt dette. Dine opplysningar vil bli registrert elektronisk, i form av notat.

Det er frivillig å delta

Det er frivillig å delta i prosjektet. Dersom du vel, kan du når som helst trekke samtykket tilbake uten å oppgi noen grunn. Alle dine personopplysningar vil då bli slettet. Det vil ikkje gi nokre negative konsekvensar for deg dersom du ikkje vil delta eller seinare vel å trekkja deg.

Ditt personvern – korleis me oppbevarer og bruker dine opplysningar

Me vil kun nytte opplysningane om deg til føremåla oppgitt i dette skrivet. Me behandlar opplysningane konfidensielt og i samsvar med personvernregelverket.

Under prosjektet vil masterstudent Synne Sandvoll og rettleiar for oppgåva, Denise Ruther, ha tilgang til opplysningane som blir gitt under deltakinga, og er alene om å bearbeide data. Notata vil bli lagra elektronisk, med tilgang for dei med brukarnamn og passord.

Deltakarane vil kunna bli attkjent i oppgåva, men den skal ikkje publiserast offentleg.

Kva skjer med dine opplysningar når me avsluttar forskingsprosjektet??

Opplysningane vil bli anonymisert når prosjektet er avslutta/oppgåva er godkjent, noko som etter planen er 19.06.2020.

Dine rettigheter

Så lenge du kan identifiserast i datamaterialet, har du rett til:

- innsyn i kva personopplysningar som er registrert om deg, og å få utlevert en kopi av opplysningane,
- å få retta personopplysningar om deg,
- å få sletta personopplysningar om deg, og
- å sende klage til Datatilsynet om behandlinga av dine personopplysningar.

Kva gir oss rett til å behandle personopplysningar om deg?

Me behandlar opplysningar om deg basert på ditt samtykke.

På oppdrag frå Høgskulen på Vestlandet, har NSD – Norsk senter for forskningsdata AS vurdert at behandlinga av personopplysningar i dette prosjektet er i samsvar med personvernregelverket.

Kvar kan eg finne ut meir?

Om du har vidare spørsmål ta gjerne kontakt med
Masterstudent Synne Sandvoll, ~~epost:~~ synne_ms@hotmail.com

Rettleiar for oppgåva Denise Ruther, ~~epost:~~ denise.christina.ruther@hvl.no

HVL sitt personvernombod: personvernombud@hvl.no

Dersom du har spørsmål ~~knyttet~~ til NSD si vurdering av prosjektet, kan du ta kontakt med:

NSD – Norsk senter for forskningsdata AS på ~~epost:~~ personverntjenester@nsd.no eller på telefon: 55 58 21 17.

Med vennleg

Synne Sandvoll
(Masterstudent)

Denise Christina Ruther
(~~Førstamanusjef~~/Rettleiar)

Samtykkeerklæring

Jeg har mottatt og forstått informasjon om prosjektet «Klimaomstillingsplan for Sunnfjord Kommune, og har fått anledning til å stille spørsmål. Jeg samtykker til:

- å delta i telefonintervju
- å delta i samtale/intervju
- Jeg samtykker til at mine opplysninger behandles frem til prosjektet er avsluttet, 19.06.2020.

(Signert av prosjektdeltaker, dato)