

Masteroppgave

Bruk av værradar til å estimere skredutløsende nedbørmengder ved konvektive nedbørhendelser

Pål August Graff Øverby



Oppgave for graden
Master i Geofag: Geofarer
60 studiepoeng

Institutt for geofag
Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

UNIVERSITETET I OSLO

Høsten 2019

Masteroppgave

Bruk av værradar til å estimere skredutløsende nedbørmengder ved konvektive nedbørhendelser

Pål August Graff Øverby

© 2019 Pål August Graff Øverby

Masteroppgave

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

Trykk: Reprosentralen, Universitetet i Oslo

Sammendrag

Den tradisjonelle metoden for nedbørestimering er interpolering av nedbørverdier registrert ved målestasjoner. Ved lokale nedbørhendelser kan nettverket av målestasjoner ofte være for glissent til å registrere nedbøren. Dette fører til at nedbøren utelukkes fra interpoleringen.

Konvektiv nedbør karakteriseres ved begrenset geografisk distribusjon og produserer gjerne svært intens nedbør over et kort tidsrom.

Nedbøren kan være så intens at den er skredutløsende. Interpolerte nedbørverdier vil da ikke representere de faktiske nedbørverdiene noe som fører til mangelfull skredforståelse og skredvarsling.

Denne oppgaven har tatt for seg om værradardata gir et bedre estimat av nedbørmengder da værradardata har en bedre romlig og temporal oppløsning enn interpoleringsmetoden. Det har også blitt sett på et datasett som er produsert ved en kombinasjon av modellert nedbør og in-situ målinger fra værradar og målestasjoner med timesoppløsning.

Rapporten kommer frem til at kortidsnedbør i form av bygenedbør kan være skredutløsende og at den høye intensiteten over en kort periode gjerne utløser flomskred. Videre vises det at interpolasjonsmetoden gir for lave nedbørestimat i disse situasjonene. Det vises også at værradaren kan gi en god oppfattelse av bygenedbør, men at den også kan unnlate å fange den opp helt.

Det vises også at tersklene som brukes til skredvarsling er basert på en romlig og temporal oppløsning som vil gi feilvarsling i noen tilfeller.

Avslutningsvis anbefales det en undersøkelse av modellert nedbør i kombinasjon med in-situ målinger for terskelestimering og skredvarsling. Dette begrunnes med at ingen eksisterende metoder fanger opp nedbørsmønstre og nedbørmengder til det fulle, men at en modell vil estimere de samme nedbørmengdene under like forhold og derfor ikke trenger å gi riktig nedbørestimat så lenge tersklene og varslingen benytter samme modell.

Figurer

2.1	Kaldfront med påfølgende bygenedbør til venstre i figuren og varmfront til høyre. I kaldfronten stiger den varme luften raskere enn i en varmfront. Dette fører til mer intens nedbør. Figur fra (NVE, 2017a)	9
2.2	Her kan du skrive inn kortere grafforklaring til figurlista	10
2.3	Illustrasjonen viser hvordan strålebredde endrer seg med avstand fra værradaren. Med større strålebredde øker også volumsegmentet som scannes av pulsen.	13
2.4	Skisse over hvordan en brattere helningsgrad vil kreve høyere skjærstyrke for unngå at et skred skal utløses.	17
2.5	Figur som viser mekanikken bak et skred. Figuren er hentet fra van Westen (2019)	17
3.1	Midlere sommernedbør for Norge. Figur er fra (Hanssen-Bauer et al., 2015).	28
3.2	MET sitt varslingsnivå for 3t nedbørmengder i ulike regioner i Norge. Fra (MET, 2019).	29
3.3	MET sitt varslingsnivå for 24t nedbørmengder i ulike regioner i Norge. Fra (MET, 2019).	30
3.4	Figuren viser til hvilken grad ulike deler av Norge er utsatt for løsmasseskred. Fra Xgeo.no.	31
3.5	Oversikt over de 11 værradarene som dekker fastlandsnorge og kysten. Dekningsområde med 240 km dekningsgrense er markert i beige. Områder som opplever full blokkering av signal, eller ikke er dekket er markert i gult. Hentet fra (Bye, 2013).	35
3.6	24 timer nedbørdata fra de tre ulike datasettene for den 26.08.16 for å illustrere hvordan datasettene ser ut landsdekkende. Det interpolerte datasettet og MetNordic-datasettet har større likheter seg imellom enn de har med værradardatasettet. Dette er særlig rundt fjellene sør-vest i Norge. Disse datasettene er fra før Hafjell-radaren ble operasjonell og en bedre dekning av disse områdene fra værradar vil nok oppleves nå.	37
5.1	Oversiktskart over skredhendelsene knyttet de syv utvalgte bygesystemene. I Troms gikk det skred ved to ulike lokaliteter knyttet til samme bygesystem. I de fleste tilfeller var det også flere skredhendelser ved hver lokalitet.	45
5.2	Oversiktskart over skredhendelsen ved Bøskreda. Målestasjoner som registrerer nedbør er vist i øvre høyre figur: ■ 24t nedbør ▲ 1t nedbør. Skredløp og utløpsområder markert i lys blått. Skredet gikk 26.08.16 kl. 13:00 UTC og var flomskred. Flyfoto fra norgebilder.	47

5.3	Foto tatt like etter skredhendelsen i Bøskrea. Det er fremdeles mye vann tilstede. Foto fra RegObs Bjørn Indrebø.	48
5.4	24t nedbørverdier registrert ved Øvre Årdal og Skjolden målestasjon. Skredet ble utløst 26.08.16 kl. 13 UTC, som er markert med oransje pil. Hver verdi er akkumulert mellom kl. 06:00 d og 06:00 d+1 UTC, slik at hver datomarkering i figuren er kl. 06:00. Øvre Årdal er den nærestliggende stasjonen. Plasseringen kan sees i 5.2, avstand i tabell 5.1.	49
5.5	Filefjell (a) og Lærdal IV (b) er de målestasjonene nærmest skredhendelsen som registrer timesnedbør. Skredhendelsen inntraff 26.08.16 kl. 13.00 UTC og er markert med oransje pil. Alle klokkeslettene er oppgitt i UTC.	49
5.6	Hydmet-indeks for Bøskreda gjeldene for skreddatoen 26.08.16. Figuren er 101x101 kilometer med en cellestrørrelse på 1x1 kilometer. Gridet som dekker figuren er 10x10 kilometer.	51
5.7	24t nedbørverdier for Bøskreda. (a) Interpolerte verdier. (b) Verdier fra værradar. (c) Verdier fra MetNordic. Figuren er for skreddatoen 26.08.16. Skredet gikk kl. 13 UTC. Gridene dekker et område på 101x101km over utløsningspunktet i Bøskreda med en oppløsning på 1x1km. Det er 10km mellom hver koordinatmarkering i figurene	51
5.8	3t nedbørverdier den 26.08.16. Venstre kolonne viser interpolert nedbør, midtre kolonne viser værradar og høyre kolonne viser en kombinasjon av Arome-modellen og værradardata. Skredhendelsen gikk i 3t intervallet 12 - 15 som er markert med rød skrift.	53
5.9	Nedbørprofil for utløsningspunktet til Bøskredaskredet, skreddatoen 26.08.16. Grafen viser 1t nedbørverdier estimert fra værradar i blått, og fra Arome-modellen og Radar i grønt. Klokkeslettet er oppgitt i UTC. Skredhendelsen inntraff kl. 13:00 UTC og er markert med en oransje pil.	55
5.10	viser hvor stor blokkeringen av signalet til værradarener i prosent. Utsnittet dekker samme område som vist i fig. 5.2 og fig. 5.7 og 5.8.	56
5.11	Oversiktskart over skredhendelsen ved Byrkjenes. Målestasjoner som registrerer nedbør er vist i øvre høyre figur: ■ 24t nedbør ▲ 1t nedbør. Skredløp og utløpsområder markert i lys blått. Skredet gikk 26.08.16 kl. 10 UTC og var flomskred. Flyfoto fra norgebilder.	57
5.12	a: Bilde av skredutløp nær Byrkjenes. b: Bilde av skredutløpet i Byrkjenes. I veibanen ligger en blanding av steiner, grus, sand og leire. Begge foto fra RegObs (Elrapp).	59
5.13	24t nedbør målt ved nedbørstasjon Tyssedal. Hver verdi er akkumulert mellom kl. 06:00 d og 06:00 d+1 UTC. Skredhendelsen er markert med oransje pil, dette er 26.08.16 kl. 10:00 UTC. Tyssedal er nærmeste stasjon for Byrkjenesskredet. Plasseringen kan sees i 5.11 og avstand i 5.3.	60
5.14	60
5.15	1t nedbør målt ved nedbørstasjon Ullensvang. Skredtidspunkt var 26.08.16 kl. 10:00 UTC og er markert med oransje pil. Klokkeslettene er oppgitt i UTC.	60
5.16	Hydmet-indeks for Byrkjenes. Figuren er 101x101 kilometer med en cellestrørrelse på 1x1 kilometer. Gridet som dekker figuren er 10x10 kilometer.	61

5.17	24 timers akkumulert nedbørverdier for skredhendelsen den 26.08.16 ved interpolert (a), værradar (b) og Arome + Radar (c). Skredet gikk kl. 10 UTC. Hvert grid er 101x101km med en celledørrelse på 1x1km og et koordinatgrid på 10x10km.	62
5.18	3 timers nedbørverdier fremstilt ved interpolering i venstre kolonne, transformert fra værradarverdier i midtre kolonne og fra en kombinasjon av Arome-modellen og værradardata i høyre kolonne. Samme oppløsning og gridstørrelse gjelder her som for 24 timersverdiene. Skredet gikk 26.08.16 kl. 10 UTC. Tidsintervallet som dekker hendelsen er markert med rød skrift. Klokkeslettene er oppgitt i UTC.	63
5.19	Nedbørprofil for utløsningspunktene til Byrkjenesskredet, skreddatoen 26.08.16. Grafen viser 1t nedbørverdier estimert fra værradar i blått, og fra Arome-modellen og Radar i grønt. Klokkeslettet er oppgitt i UTC. Skredhendelsen inntraff kl. 10:00 UTC og er markert med en oransje pil.	65
5.20	viser hvor stor blokkeringen av signalet til værradarener i prosent.	66
5.21	Oversiktskart over skredhendelsene ved Kjosens. Målestasjoner som registrerer nedbør er vist i øvre høyre figur: ■ 24t nedbør ▲ 1t nedbør. Skredløp og utløpsområder markert i lys blått. Skredene gikk 07.08.14 kl. 15 UTC og var flomskred. Flyfoto fra norgebilder.	67
5.22	Foto tatt ved befaring av skredhendelsene langs Kjosensfjorden. a viser skred 1.1 og b skred 2.1. (Odd-Arne Mikkelsen).	70
5.23	Foto tatt ved befaring av skredhendelsene langs Kjosensfjorden. a viser skred 2.2 og 2.3 hvor 2.2 er delt i to skredarmer. b viser noe av skadene skredhendelsene førte til. (Odd-Arne Mikkelsen).	70
5.24	70
5.25	Foto tatt ved befaring av skredhendelsene langs Kjosensfjorden. Dette er skred 5.1 som gikk på den sørlige siden av fjorden. (Odd-Arne Mikkelsen).	70
5.26	24t nedbørverdier registrert ved Lyngen og Sørkjosens målestasjon. Skredet ble utløst 07.08.14 kl. 15 UTC, som er markert med oransje pil. Hver verdi er akkumulert mellom kl. 06:00 d og 06:00 d+1 UTC, slik at hver datomarkering i figuren er kl. 06:00. Lyngen er den nærestliggende stasjonen. Plasseringen kan sees i 5.21, avstand i 5.5.	71
5.27	Hydmet-indeks for Kjosens for skreddatoen 07.08.14.	72
5.28	24t nedbørverdier for skreddatoen på Kjosens den 07.08.14. 5.28a viser nedbørverdier beregnet ved interpolering, 5.28b viser verdier fra værradar og 5.28c fra MetNordic. Gridene dekker et område på 100x100km med en celledørrelse på 1x1km.	73
5.29	3t nedbørverdier den 26.08.16 for henholdsvis interpolasjon, værradar og en kombinasjon av Aromemodellen og værradardata. Hver figur har en skala på 100x100 km med en oppløsning på 1x1km	74
5.30	Nedbørprofil for utløsningspunktene ved kjosens, skreddatoen 07.08.14. Fem celler dekker de 15 registrerte utløsningspunktene her. Grafen viser 1t nedbørverdier estimert fra værradar i ulike blåfarger, og fra en kombinasjon av Arome-modellen og værradardata i ulike grønnfarger. Klokkeslettet er oppgitt i UTC. Skredhendelsen inntraff kl. 15:00 og er markert med oransje pil.	76

5.31	viser hvor stor blokkeringen av signalet til værradarener i prosent. Utsnittet dekker samme område som vist i figur 5.28 og 5.29.	77
5.32	Oversiktskart over skredhendelsene ved Kågen. Målestasjoner som registrerer nedbør er vist i øvre høyre figur: ■ 24t nedbør ▲ 1t nedbør. Skredløp og utløpsområder markert i lys blått. Skredene gikk 07.08.14 kl. 16 UTC og var flomskred. Flyfoto fra norgeibilder.	78
5.33	Skredutløpet for Kågen kan skimtes i fotoet. Foto: Vegard Eriksen. . . .	79
5.34	24t nedbørverdier registrert ved Skjervøy og Sørkjosen målestasjon. Skredet ble utløst 07.08.14 kl. 16 UTC, som er markert med oransje pil. Hver verdi er akkumulert mellom kl. 06:00 d og 06:00 d+1 UTC, slik at hver datomarkering i figuren er kl. 06:00. Skjervøy er den nærestliggende stasjonen. Plasseringen kan sees i figur 5.32, avstand i tabell 5.7.	80
5.35	Hydmet-indeks for Kågen for skreddatoen 07.08.14.	81
5.36	24t nedbørverdier for Kågen den 07.08.14. 5.28a viser verdier beregnet ved interpolering mellom målestasjoner og 5.28b viser verdier beregnet ved transformasjon av refleksjonsverdier fra værradar. Gridene dekker et område på 100x100km med en cellestørrelse på 1x1km.	81
5.37	3t nedbørverdier den 26.08.16 for henholdsvis interpolasjon og værradar. Hver figur har en skala på 100x100 km med en oppløsning på 1x1km	83
5.38	Nedbørprofil for de fem utløsningspunktene nær Eresfjorden, skreddatoen 07.08.14. Grafen viser 1t nedbørverdier estimert fra værradar i ulike blåfarger, og fra Arome-modellen og værradardata i ulike grønnfarger. Klokkeslettet er oppgitt i UTC. Skredhendelsen inntraff kl. 16:00 UTC og er markert med en oransje pil.	85
5.39	viser hvor stor blokkeringen av signalet til værradarener i prosent. Utsnittet dekker samme område som de ulike nedbørproduktene. . . .	86
5.40	Oversiktskart over skredhendelsene ved Eresfjorden. Målestasjoner som registrerer nedbør er vist i øvre høyre figur: ■ 24t nedbør ▲ 1t nedbør. Skredløp og utløpsområder markert i lys blått. Skredene gikk 12.07.14 kl. 15 UTC og var flomskred. Flyfoto fra norgeibilder.	87
5.41	Foto tatt ved befarings av skredhendelsene langs Eikesdalen ved Eresfjorden. a viser skred 1 og b skred 2. Foto fra NVE.	89
5.42	24t nedbørverdier registrert ved Eresfjord og Øksendal målestasjon. Skredet ble utløst 12.07.14 kl. 13 UTC, som er markert med oransje pil. Hver verdi er akkumulert mellom kl. 06:00 d og 06:00 d+1 UTC, slik at hver datomarkering i figuren er kl. 06:00. Eresfjord er den nærestliggende stasjonen. Plasseringen kan sees i figur 5.40, avstand i tabell 5.9.	90
5.43	Marstein målestasjon registrerer 1 times nedbørverdier. Skredhendelsen inntraff 12.07.14 kl. 13:00 UTC og er markert med oransje pil. Alle klokkeslett er oppgitt i UTC. Lokaliteten til stasjonen i forhold til skredhendelsene kan sees i 5.40.	90
5.44	Hydmet-indeks som representerer datoen skredhendelene ved Eresfjorden gikk den 12.07.14	91
5.45	24t nedbør estimert ved interpolering (a), værradar (b) og Arome + Radar (c). Figurene er 100x100 km med en celleoppløsning på 1x1 km. Figurene viser skreddatoen 12.07.14.	92

5.46	3t nedbørverdier fremstilt ved interpolering (venstre kolonne), værradar (midtre kolonne) og en kombinert modell av arome-modellen og radardata (høyre kolonne). Skredene gikk kl. 13 UTC, intervallet som dekker skredtidspunktet er markert med rød skrift.	93
5.47	Nedbørprofil for de fem utløsningspunktene nær Eresfjorden, skreddatoen 12.07.14. Grafen viser 1t nedbørverdier estimert fra værradar i ulike blåfarger, og fra en kombinasjon av Arome-modellen og værradardata i ulike grønnfarger. Klokkeslettet er oppgitt i UTC. Skredet gikk kl. 13:00 UTC.	95
5.48	viser hvor stor blokkeringen av signalet til værradarener i prosent. Utsnittet dekker samme område som vist i figur 5.45 og 5.46.	97
5.49	Oversiktskart over skredhendelsene ved Sunndalen. Målestasjoner som registrerer nedbør er vist i øvre høyre figur: ■ 24t nedbør ▲ 1t nedbør. Skredløp og utløpsområder markert i lys blått. Skredene gikk 26.07.13 kl. 15 UTC og var flomskred. Flyfoto fra norgebilder.	98
5.50	a: Bilde over skredløp og utløp i Sunndalen. Noter grovere materiale mot kantene av skredet og finere sentralt. b: Bilde over skredutløpet i Sunndalen. I veibanen ligger for det meste leirmateriale, mens det høyere opp ligger steiner. Foto (Lina Engelsrud).	100
5.51	24t nedbørverdier registrert ved Hafsås og Angårdsvatnet målestasjon. Skredet ble utløst 26.07.16 kl. 15:00 UTC, som er markert med oransje pil. Hver verdi er akkumulert mellom kl. 06:00 d og 06:00 d+1 UTC, slik at hver datomarkering i figuren er kl. 06:00. Hafsås er den nærestliggende stasjonen. Plasseringen kan sees i 5.49, avstand i 5.11.	100
5.52	Storligrenda målestasjon registrerer 1 times nedbørverdier. Lokaliteten til stasjonen i forhold til skredhendelsene kan sees i 5.49. Skredhendelsen gikk 26.07.16 kl. 15:00 UTC og er markert med oransje pil i grafen.	101
5.53	Hydmet-indeks som representerer skreddatoen 26.07.13 over Sunndalen.	102
5.54	a: 24 timers fra interpolering mellom nedbørmålere. b: 24 timers nedbør fra værradar. Noter høyere nedbørverdier og flere bygeceller i 5.54b enn 5.54a. Figurene er 100x100 km med en celleoppløsning på 1x1 km. Figurene representerer skreddatoen 26.07.13.	102
5.55	3t nedbørverdier for skreddatoen 26.07.13 fremstilt ved interpolering (venstre kolonne) og værradar (høyre kolonne). Skredene gikk kl. 15:00 UTC (dette er anslått basert på nedbørdata). 3 timersintervallet som dekker utløsningsstidspunktet er markert med rød skrift.	104
5.56	Nedbørprofil for utløsningspunktene i Sunndalen, skreddatoen 26.07.13. Grafen viser 1t nedbørverdier estimert fra værradar. Klokkeslettet er oppgitt i UTC. Skredet er antatt utløst klokken 15:00 UTC.	106
5.57	viser hvor stor blokkeringen av signalet til værradarener i prosent. Utsnittet dekker samme område som de ulike nedbørproduktene.	107
5.58	Oversiktskart over skredhendelsen ved Sunndalen. Målestasjoner som registrerer nedbør er vist i øvre høyre figur: ■ 24t nedbør ▲ 1t nedbør. Skredløp og utløpsområder markert i lys blått. Skredet gikk 17.07.13 kl. 13 UTC og var flomskred. Flyfoto fra norgebilder.	108

5.59	a: Bilde over skredutløp i Sætenes. b: Bilde over skredutløpet i Sætenes etter oppryddingen har startet. Foto (NRK.no-tipser (ukjent)).	109
5.60	24t nedbørverdier registrert ved Sygna og Hovlandsdal målestasjon. Skredet ble utløst 17.07.13 kl. 13:00, som er markert med oransje pil. Hver verdi er akkumulert mellom kl. 06:00 d og 06:00 d+1 UTC, slik at hver datomarkering i figuren er kl. 06:00. Sygna er den nærestliggende stasjonen. Plasseringen kan sees i figur 5.58, avstand i tabell 5.13.	110
5.61	Furunaset målestasjon registrerer 1 times nedbørverdier. Skredhendelsen inntraff 17.07.13 kl. 13 UTC. Alle klokkeslett er oppgitt i UTC. Lokaltiteten til stasjonen i forhold til skredhendelsene kan sees i 5.58.	110
5.62	Hydmet-indeks for Sætenesskredet. Hydmet-indeksen gjelder for klokken 08:00 dagen etter skredhendelsen.	111
5.63	a: interpolerte nedbørverdier. b: nedbørverdier beregnet fra værradar-data. Figurene er 101x101 km med en celleopløsning på 1x1 km. Verdiene er for skreddataoen 17.07.13.	112
5.64	3t nedbørverdier 17.07.13. Skredtidspunktet (13 UTC) er markert i rødt.	113
5.65	Nedbørprofil for utløsningspunktet i Sætenes, skreddatoen 17.07.13. Grafen viser 1t nedbørverdier estimert fra værradar. Klokkeslettet er oppgitt i UTC. Skredet er antatt utløst klokken 13:00 UTC.	115
5.66	viser hvor stor blokkeringen av signalet til værradaren i prosent. Utsnittet dekker samme område som de ulike nedbørproduktene.	115
A.1	FLytdiagram som viser de ulike prosesseringsstegene i form av input, funksjon og output. Symbologien endres i properties i outputen 3t og 24t nedbør.	138

Tabeller

2.1	Hungr et al. (2013) sin skredklassifisering. Sett i forhold til Varnes (1978) har klassifiseringen en mer gradert inndeling i kornstørrelse. I tillegg er bevegelsestypen Varnes (1978) kaller "Complexer tatt ut av klassifikasjonssystemet og Slope deformationer føyd til.	15
2.2	Skredklassifisering med Norsk terminologi foreslått av Devoli et al. (2011). Tilsvarende Engelsk terminologi er notert i parantes, og en kan se at den norske klassifiseringen ikke er lik.	16
2.3	NVE jordskredvarsling sin varslingsklassifikasjon. Tabellen lister varslingsnivå samt tilhørende forklaring av omfang (NVE, 2017b)	23
3.1	Gjennomsnittlig årsnedbør for skredområdene. Data hentet fra xgeo klima.	29
3.2	Oversikt over hvilke målestasjoner som er benyttet til verifisering av nedbørdata. Verdier er lastet ned fra Xgeo.no.	32
5.1	Registrerte nedbørverdier for de nærmestliggende målestasjonene til skredet som gikk i Bøskreda. Målestasjonenes navn og avstand til løsnepunktet (km) finnes i de to øverste radene. Akkumulert 3t nedbør er gitt for Filefjell og Lærdal IV mens akkumulert 24t nedbør er gitt for Øvre Årdal, Skjolden, Filefjell og Lærdal IV. 3t intervall er oppgitt i venstre kolonne. Skredet gikk kl. 13:00 UTC.	50
5.2	Nedbørverdier for cellen som dekker utløsningspunktet for skredet ved Bøskreda. Hver celle er 1x1 kilometer. Skredet gikk klokken 13:00 UTC. Klokkeslettene i tabellen er gitt i UTC	55
5.3	Registrerte nedbørverdier for de nærmestliggende målestasjonene til skredet som gikk i Byrkjenes. Målestasjonenes navn og avstand til løsnepunktet (km) finnes i de to øverste radene. Akkumulert 3t nedbør er gitt for Ullensvang mens akkumulert 24t nedbør er gitt for Tyssedal og Ullensvang. 3t intervall er oppgitt i venstre kolonne.	61
5.4	Nedbørverdier for cellen som dekker utløsningspunktet for skredet ved Byrkjenes den 26.08.16. Skredet gikk klokken 10:00 UTC. Hver celle er 1x1 kilometer.	65

5.5	Registrerte nedbørverdier for de nærmestliggende målestasjonene til skredet som gikk på Kjosen. Målestasjonenes navn og avstand til løsnepunktet (km) finnes i de to øverste radene. Akkumulert 3t nedbør er gitt for Nordnesfjellet mens akkumulert 24t nedbør er gitt for Lyngen, Sørkjosen og Nordnesfjellet. 3t intervall er oppgitt i venstre kolonne. Skredhendelsene på Kjosen hadde relativt lang utstrekning i hendelser. Avstand er derfor oppgitt i intervall mellom skredhendelsen som ligger nærmest og lengst vekk. Nordnesfjellet målestasjon mangler verdier for flere timer den 07.08.14.	72
5.6	Nedbørverdier for cellene som dekker utløsningspunktene for skredene ved Kjosen den 07.08.14. Skredene gikk klokken 15:00 UTC. Hver celle er 1x1 kilometer. Ved Kjosen gikk flere ulike skred. Cellene som dekker utløsningspunktene er blitt nummerert 1 - 5 fra vest til øst og nord til syd.	75
5.7	Registrerte nedbørverdier for de nærmestliggende målestasjonene til skredet som gikk på Kågen. Målestasjonenes navn og avstand til løsnepunktet (km) finnes i de to øverste radene. Akkumulert 3t nedbør er gitt for Nordnesfjellet mens akkumulert 24t nedbør er gitt for Skjervøy, Sørkjosen og Nordnesfjellet. 3t intervall er oppgitt i venstre kolonne. Nordnesfjellet målestasjon mangler verdier for flere timer den 07.08.14. Skredet gikk kl. 16 UTC	80
5.8	Nedbørverdier for cellen som dekker utløsningspunktet for skredet på Kågen den 07.08.14. Hver celle er 1x1 kilometer. Skredet gikk kl. 16 UTC.	84
5.9	Registrerte nedbørverdier for de nærmestliggende målestasjonene til skredet som gikk i Eresfjord (se fig. 5.40). Akkumulert 3t nedbør er gitt for Marstein mens akkumulert 24t nedbør er gitt for Eresfjord, Øksendal og Marstein. Skredhendelsene i Eresfjord hadde relativt lang utstrekning i hendelser. Avstand er derfor oppgitt i intervall mellom skredhendelsen som ligger nærmest og lengst vekk. Skredet gikk kl. 13 UTC.	91
5.10	Nedbørverdier for cellene som dekker utløsningspunktene for skredene den 12.07.14 ved Eresfjorden. Skredene gikk kl. 13:00 UTC, 3t intervallet som dekker dette er markert i rødt. Hver celle er 1x1 kilometer. Ved Eresfjorden gikk det 5 ulike skred. Disse er blitt nummerert 1 - 5 fra nord til syd.	94
5.11	Registrerte nedbørverdier for de nærmestliggende målestasjonene til skredet som gikk i Sunndalen. Målestasjonenes navn og avstand til løsnepunktet (km) finnes i de to øverste radene. Akkumulert 3t nedbør er gitt for Storligrenda mens akkumulert 24t nedbør er gitt for Hafsås, Angårdsvatnet og Storligrenda.	101
5.12	Nedbørverdier for cellene som dekker utløsningspunktene i Sunndalen. Hver celle er 1x1 kilometer. Antall skred som ble utløst i hver celle er markert i parentes.	105
5.13	Registrerte nedbørverdier for de nærmestliggende målestasjonene til skredet som gikk i Sætenes. Målestasjonenes navn og avstand til løsnepunktet (km) finnes i de to øverste radene. Akkumulert 3t nedbør er gitt for Furuneset mens akkumulert 24t nedbør er gitt for Sygna, Hovlandsdal og Furuneset.	111

5.14	Nedbørverdier for cellene som dekker utløsningspunktene for skredene 17.07.13 i Sætenes. Skredet gikk kl. 13:00 UTC Hver celle er 1x1 kilometer.	114
5.15	Oppsummering over skredtidspunkt og skredtype, samt varsel utstedt fra NVE for de utvalgte skredhendelsene.	116
5.16	Hydmet-indeks for skredhendelsene. Utvalgte skredpunkter som burde gi høy indeks er representert. Aktsomhetsnivå hydmet-indeksen estimerer er markert med farget skrift. Fargene representerer de ulike aktsomhetsnivåene slik: Grønn - 1, Gul - 2, Oransje - 3, Rød - 4.	116

Innhold

Sammendrag	i
Figurer	ii
Tabeller	viii
1 Introduksjon	1
1.1 Motivasjon	1
1.2 Bakgrunn	2
1.3 Mål for oppgaven	6
2 Teori	8
2.1 Nedbør	8
2.1.1 Nedbørtyper	8
2.1.2 Konvektiv nedbør	10
2.2 Nedbørobservasjoner	11
2.2.1 Nedbørmålinger ved stasjoner	11
2.2.2 Interpolering	11
2.2.3 Værradar	12
2.2.4 MetNordic	14
2.3 Skredklassifisering og Skredprosesser	14
2.3.1 Skredklassifisering	15
2.3.2 Skredprosesser	16
2.3.3 Typer løsmasseskred	19
2.4 Jordskredvarsling	22
2.5 Terskelverdier	23
3 Studieområde og data	26
3.1 Studieområde	26
3.1.1 Nedbør i Norge	26
3.1.2 Løsmasser og skred i Norge	30
3.2 Data	32
3.2.1 Nedbørdata	32
3.2.2 Skreddata	38
4 Metoder	40
4.1 Metode	40
4.1.1 Valg av skredhendelser	40
4.1.2 Prosessering av GIS-data	42

5	Resultater	44
5.1	Skredhendelser	44
5.1.1	Bøskreda	47
5.1.2	Byrkjenes	57
5.1.3	Troms - Kjosén	67
5.1.4	Troms - Kågen	78
5.1.5	Eresfjord	87
5.1.6	Sunndalen	98
5.1.7	Såtenes	108
5.1.8	Oppsummering	116
6	Diskusjon	118
6.1	Skredbeskrivelse - Fellestrekk	118
6.2	Sammenlikning av nedbørintensitet	120
6.3	Nedbørvarighet	130
7	Konklusjon	132
8	Videre arbeid	135
8.1	Videre arbeid	135
	Vedlegg	136
A	Dataprosessering	136
B	Beregning av hydmet-indeks	138
	Bibliografi	139

Kapittel 1: Introduksjon

1.1 Motivasjon

Skred av ulike typer er i Norge den naturhendelsen som har skapt størst økonomiske tap og ført til størst tap av menneskeliv.

Løsmasseskred er en type skred som i stor grad styres av nedbør. For å redusere risikoen knyttet til løsmasseskred er det nødvendig med både kartlegging og varsling. Kartlegging av fareområder reduserer risikoen ved at arealplanlegging kan gjøres med hensyn til fareområder. Med Norges geologi og topografi er det vanskelig å unngå fareområder fullt ut, men en kan sørge for at viktig infrastruktur som sykehus, skoler og kraftforsyninger bygges utenfor fareområder og slik redusere risikoen. Vei og jernbane må ofte krysse skredutsatte områder og bygninger eksisterte gjerne i utsatte områder før farevurderinger ble gjort. Det er dermed ikke nok å kun unngå problemområder.

Varsling av skredfare blir også viktig. Vurdering av skredfare gjøre med bakgrunn i topografi, geologi, metrologi og hydrologeologi. Jordskredfarevarslingen ved NVE sender i felleskap med MET ut varsler når de er skredfare slik at en kan gjøre risikomotvirkende tiltak.

Nedbør og snøsmelting i kombinasjon med hverandre eller hver for seg alene er hovedmekanismen for utløsning av løsmasseskred. Også flom utløses av de samme metrologiske forholdene. Overvåkingen og varslingen av de to hendelsene er derfor sterkt knyttet sammen. Siden siste istid har naturen rundt om i landet tilpasset seg de lokale, normale klimaforholdene. Løsmasser som har vært ustabile har ved lave eller normale mengder nedbør sklidd ut. Det kreves derfor nedbørhendelser over normalen

for å utløse skred. Det er ikke bare langvarig og store mengder nedbør assosiert med store frontsystemer som kan gi nedbørsmengder som utløser skred. Konvektiv nedbør med typisk høy intensitet, kort varighet og kort romlig utstrekning kan også lede til skred- og flomhendelser. Urbane områder er spesielt utsatt for den intensive, konvektive nedbøren. Her blir mange mennesker påvirket samtidig som avrenningen i byer er veldig rask. Områder utenfor tettbebyggelser merker også konsekvensene av konvektiv nedbør. Flomhendelser, vann utenom normale vannveier og økt erosjon er typiske følger i små nedbørsfelt.

Hanssen-Bauer et al. (2015) tar for seg forventede klimaendringer ved ulike utslipps-scenarioer for Norge. Her kommer det frem at Norge generelt blir våtere. Størst prosentvis økning finner en i Nordnorge, mens Vestlandet, Trøndelag og Helgeland vil oppleve størst økning i millimeter. Ser en på korttidsnedbør med en varighet på under 3 timer vil det her være en større økning enn for middelnedbøren. Det forventes at bygehen-delser vil øke i både antall og intensitet. Hanssen-Bauer et al. (2015) anbefaler et klima-påslag på 40% i forhold til dagens nivå på 3 timers nedbørhendelser. Disse scenarioene for korttidsnedbør viser at vi kan forvente flere skredhendelser knyttet til bygenedbør.

1.2 Bakgrunn

For å kunne redusere risiko knyttet til skred utløst av intens korttidsnedbør, er det viktig å øke kunnskapen om og forbedre varslingen av skredhendelser utløst av denne typen nedbør. Norges Vassdrags og Energidirektorat (NVE) har siden 1989 sendt ut flomvarsler i Norge. I 2013 ble skredvarsling inkorporert i varslingen. Skredvarslingen baserer seg på værprognoser kombinert med kritiske terskler for nedbørsmengder og initiell fuktighet som kan utløse skred (Boje et al., 2014). Terskelverdiene er basert på analyser av tidligere skredhendelser der observert og interpolert nedbør inngår i analysen. De kritiske tersklene baserer seg på døgnverdier. Flere store skredhendelser er knyttet til kortvarig og intens nedbør, senest i Jølster 30. august. Få Norske studier tar for seg skredhendelser utløst av kortvarig, intens nedbør, og med klimaprognosene for fremtiden blir en forståelse for disse hendelsene særs viktig. Både riktig prognose og

observasjoner av bygenedbørens romlige og temporale variasjoner, samt dens intensitet er viktig for å kunne gi best mulig fareversel for skred.

Disse intensive nedbørhendelsene er vanskelige å varsle på forhånd fordi vanlige metrologiske prognosemodeller hverken klarer å plassere bygenedbøren romlig eller beregne nedbørens intensitet. Den romlige unøyaktigheten kan føre til at et utstedt varsel fra NVE blir sendt ut for et unødvendig stort område. Dette kan da føre til unødvendige advarsler (falske alarmer) fra NVE. Et annet utfall er at det ikke sendes ut en advarsel for en lokalt begrenset byge. Å ikke sende ut advarsel kan føre til at bygenedbør med høy nok intensitet til å utløse skred- eller flomhendelser ikke blir varslet (bom). Mange falske alarmer og varsler som bommer kan igjen føre til svekket pålitelighet i befolkningen til NVE og varslingens funksjon.

Det er i tillegg vanskelig å observere de konvektive nedbørhendelsene. For at de romlige og temporale variasjonene samt intensiteten til nedbøren skal fanges opp til det fulle, er det nødvendig med nedbørmålinger med høy oppløsning i tid og rom. Den tradisjonelle metoden for estimering av nedbørsmengder er basert på å bruke et nettverk av nedbørmålere. For å estimere nedbørsmengder mellom målestasjoner, blir de observerte verdiene interpolert. Problemet med denne metoden er at nettverket av målestasjoner kan være for glissent til å fange opp romlige variasjoner. En interpolering mellom målestasjoner kan gi feilestimat av nedbørintensitet. Tidsoppløsningen på nedbørmålinger kan også være en utfordring. Tidligere ble kun akkumulert døgnnedbør observert, men nå blir stadig flere nedbørsstasjoner brukt til å måle nedbør med høyere tidsoppløsning.

Det er særlig for lokale og intense bygecellene at nettverket ikke klarer å fange opp intensiteten til nedbørhendelsene. Feil i observerte og interpolerte nedbørsverdier kan føre til manglende kunnskap og erfaring om hvilke nedbørsintensiteter av kort varighet som utløser skred. De gjør også at terskelverdiene som skredvarslingen bruker er utarbeidet på feil grunnlag og ligger på feil nedbørnivå.

Et alternativ til den tradisjonelle bruken av prognosemodeller og interpolering mellom målestasjoner er å ta i bruk nedbørsinformasjon fra værradar. Det er 9 værradarer som dekker landet og kysten i Norge. Radarbildene i Norge tas nå med en temporal

oppløsning på 5 minutter , men har tidligere hatt oppløsning på 7.5 og 15 minutter(yrr, 2019).

Ved å ekstrapolere bevegelsesmønsteret til nedbør fanget opp hvert femtende minutt vil det være mulig å gjøre prognoser for nedbørsmengder og nedbørsmønstre for opp til 90 minutter framover (Valmot, 2019). Fordelen med denne metoden kontra numeriske atmosfæremodeller som blir brukt i dag, er at de radar-deriverte prognosene kan oppdateres hvert femte minutt hvor atmosfæremodellene oppdateres hver tredje time. Denne metoden har blitt vist til å gi bedre værprognoser enn numeriske atmosfæremodeller opp til 90 minutter frem i tid.

Nedbørsmengdene derivert fra radardata vil ha en bedre romlig og temporal oppløsning enn den interpolerte dataen. Denne oppløsningen vil, i tillegg potensielt føre til en bedre estimering av nedbørintensitet for nedbørhendelser av konvektiv karakter, og vil derfor kunne bidra til å forbedre kunnskapen vår om skred utløs av intens korttidsnedbør. Ofte vil man kombinere nedbørsobservasjoner fra ulike informasjonskilder (dvs. nedbørsmålere, radar, og prognosemodeller) for å oppnå et best mulig estimat av nedbørsmengder.

TIDLIGERE ARBEID

Bruken av værradar som et redskap for estimering av nedbørmengder ved konvektive hendelser i Norge, har blitt utforsket i flere prosjekter, rapporter og masteroppgave tidligere.

(Abdella og Engeland, 2013) (Kjølseth og Vatne, 2017) og flere tar for seg nedbørestimering ved konvektive nedbørhendelser ved bruk av værradar. Felles for disse studiene er at nedbørverdiene brukes til flommodellering. Selv om denne oppgaven tar for seg bygenedbør i forbindelse med skred er nedbørestimatet det samme og disse studiene gir nyttig informasjon.

Den romlige oppløsningen trekkes frem som værradarens styrke, men samtidig nevnes usikkerheter knyttet til det kvantitative estimatet. Generelt trekkes det frem at værradar gjerne underestimerer nedbørverdier.

(Kjølseth og Vatne, 2017) rapporterer en underestimering av nedbørverdier som øker med økende nedbørintensitet, i sitt studie.

Både internasjonalt og nasjonalt har metoden i stor grad blitt knyttet opp mot

flomhendelser og returverdier. Det finnes dog noen forskningsarbeid som tar for seg implementeringen av værradar i beregning av nedbørverdier og tidlig varsling av skred.

Internasjonalt tar Cremonini og Tiranti (2018) for seg bruken av værradar for å varsle grunne jordskred. Forfatteren skriver at god romlig oppløsning på nedbørdataen er den viktigste faktoren for å kunne estimere terskler for skredutløsning, akkurat som for bygenedbør.

Igjen trekkes usikkerheten i det kvantitative estimatet frem som en usikkerhet.

I dette studiet er det benyttet 24 timersverdier, som når det kommer til bygenedbørutløste skredhendelser kan være en svakhet da bygenedbør er kortvarig.

Marra et al. (2014) har utarbeidet terskler basert på nedbør med kortere varighet. Det har blitt sett på Flomskredutløsende nedbørintensiteter beregnet ved værradar. I studiet nevner (Marra et al., 2014) at det er få studier som tar for seg estimering av skredutløsende nedbørverdier ved bruk av værradar. Det nevnes også at de som gjør det kombinerer værradardata med stasjonsmålinger.

Som (Marra et al., 2014) peker på er det usikkerheter knyttet til metodene som ligger til grunn for tersklene. Målestasjoner som registrerer nedbør har et for glissent nettverk og befinner seg gjerne lavt i terrenget hvor utløsningen av skred skjer høyt.

Som alle disse studiene nevner er det en svakhet ved interpolering av målestasjonsdat, særlig når det kommer til bygenedbør. Denne lokale og intense nedbøren blir gjerne underestimert eller ikke fanget opp i det hele tatt. Forståelsen for de skredutløsende prosessene samt evnen til å varsle skredhendelser lider under dette. Terskelverdier som utvikles til skredvarsling blir basert på feilaktig data. Disse tersklene blir også utviklet basert på 24 timers datasett, noe som også gir feilestimat.

En mulig bedre metode for nedbørestimering er værradar. Her oppnår en bedre romlig og temporal oppløsning. Det er dog, som nevnte artikler peker på usikkerheter knyttet til det kvantitative estimatet her.

Et situasjonsstudie utført av Devoli et al. (2017) tar for seg bruken av landbasert og satellittbasert værradar til å forutse løsmasseskred og vannføring. Studiet konkluderer med at området hvor skredet som er undersøkt gikk opplevde større nedbørmengder enn hva de synnoptiske målestasjonene klarte å fange opp. Dette er bekreftet fra

vitnemålsutsagn. Nedbørmengder beregnet fra radardata gir verdier som er mer sammenfallende med den opplevde nedbøren samt med avrenningsverdier nedstrøms for området. Studiet avslutter med å trekke frem nytteverdien værradar har, i tillegg til å være et supplement til målestasjoner i analysen av løsmasseskred. Punktene som her trekkes frem er både tilbakevirkende i form av mer presis nedbørverdier til utarbeidelsen av skredutløsende terskelverdier og fremovervirkende i form av en forbedret now-casting", en kortidsvarsling av ekstreme bygehendelser når en ser utviklingen av værphenomenet.

Det er gjort lite arbeid i å utforske muligheter med alternative datakilder for estimering av skredutløsende bygenedbør. Denne nedbøren er karakterisert ved at den er kortvarig, lokal og veldig intens. En riktig oppfattelse av denne nedbøren er viktig for skredforståelse og skredvarsling. Dette er hva denne oppgaven ønsker å belyse.

1.3 Mål for oppgaven

Vi ser at det er fortsatt mangler kunnskap om hvilke nedbørsintensiteter som utløser løsmasseskred i Norge, spesielt for nedbørshendelser av kort varighet. Denne oppgaven vil bidra til å fylle dette kunnskapshullet ved å undersøke hvilke nedbørmengder som har utløst skred ved å ta i bruk flere informasjonskilder om nedbør. I denne oppgaven er det spesielt undersøkes om radar-derivert nedbørintensitet gir et bedre estimat av nedbørmengden ved utvalgte bygeutløste skredhendelser enn interpolert nedbørintensitet.

Hovedmål

- Ved lokale, kortvarige og intense nedbørsituasjoner i Norge anslå om bruk av nedbørsintensitet fra værradar bidrar til å forbedre estimatet av utløsende nedbørsintensiteter.

Delmål

- Beskrivelse av utvalgte bygeutløste skred hvor eventuelle fellestrekk trekkes frem.
- Sammenlikning av nedbørsintensitet, ved skredhendelsene og skredtidspunkt, beregnet ved interpolering mellom nedbørmålere og trukket ut fra radardata.

Dette vil bli gjort for akkumulert 24t og 3t nedbør og vil også bli validert mot skredpunktene nærmeste målestasjoner.

- For valgte hendelser gi et svar på om korttidsnedbør eller langtidsnedbør er avgjørende for utløsning av skred og hvordan dette påvirker tersklene brukt ved jordskredvarslingen til NVE.

Åtte skredhendelser som forekom under bygeaktivitet er valgt ut. Disse skredhendelsene vil innledningsvis beskrives og potensielle fellestrekk vil bli trukket frem. Her vil også utstedt varsel fra NVE sammenliknes med hva som har hendt. For skredhendelsene vil de estimerte nedbørverdiene beregnet fra radardata og interpolert mellom nedbørstasjoner så bli sammenliknet. For hendelsene hvor data fra metnordic er tilgjengelig vil dette også bli tatt med i sammenlikningen. Disse verdiene vil også bli sammenliknet med verdiene registrert ved nærmeste målestasjon for å kunne trekke en konklusjon om hvilken metode som gir best estimat av intensitet. Avslutningsvis vil oppgaven forsøke å svare på om korttidsnedbør eller langtids nedbør er kritisk for utløsning av skred og hvor viktig temporal oppløsning er for tersklene NVE bruker for jordskredvarsling.

Kapittel 2: Teori

2.1 Nedbør

Nedbør dannes når en luftpakke med varm og fuktig luft stiger opp i høyden og når metningspunktet for fuktinnhold. Luftpakken avgrenses ved å ha en homogen temperatur og et fuktinnhold som skiller seg fra omkringliggende luft. Metningspunktet er et mål på hvor mye vanndamp luftmassen kan holde på og varierer fra luftmasse til luftmasse. I høyden ekspanderes luftmassen som et resultat av lavere trykk. Luftmassene avkjøles og fukten kondenserer til regndråper på små nuklider i luften. Varm luft kan holde på mer fukt enn kald luft og kan derfor gi mer nedbør. Temperaturen i luftpakken synker med en tørradiabatisk rate til metningspunktet er nådd. Den tørradiatiske raten er på $9,8^{\circ}\text{C}$ per kilometer. Kondenseringen av fukt frigir varme og raten temperaturen synker med økende høyde avtar. Regndråpene øker i størrelse ved at mer fukt kondenserer og ved kollisjon mellom dråpene. Når dråpene er tunge nok faller de mot jorda som nedbør.

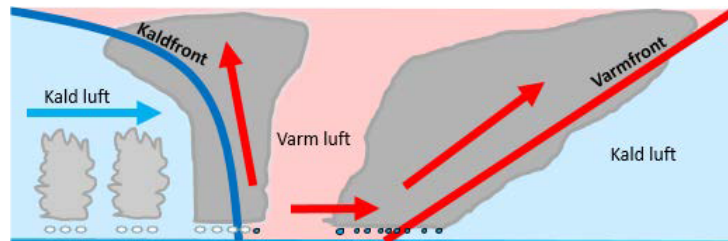
2.1.1 Nedbørtyper

I Norge opplever en nedbør som stratiform, orografisk og konvektiv.

Stratiform nedbør brukes om storskala værsystemer som også kalles frontnedbør. Frontnedbør skapes når pakker med luft av forskjellig temperatur møtes. Dette gjør at den varme luftpakken, som har lavere tetthet, presses over den kalde luftpakken. Frontsystemer deles inn i varmfront og kaldfront.

Ved en varmfront beveger en varm luftpakke seg mot kaldere luft og presses over den kalde luften (se fig. 2.1). Varmluftens bevegelse over kaldluftene skjer gradvis og stabilt

med en relativt lav helningsgradient mellom luftmassene. Skysystemet og påfølgende nedbør blir langtrukket. Nedbøren som faller i forbindelse med en varmfront kan vare fra timer til flere dager.



Figur 2.1: Kaldfront med påfølgende bygenedbør til venstre i figuren og varmfront til høyre. I kaldfronten stiger den varme luften raskere enn i en varmfront. Dette fører til mer intens nedbør. Figur fra (NVE, 2017a)

Ved en kaldfront beveger en kald luftpakke seg mot varm luft og presser den varme luften over seg. Det er en brattere gradient mellom varmluften og kaldluften og den varme luften dyttes raskere opp i høyden. Dette gir mer kortvarig og intens nedbør (se fig. 2.1). Denne raske hevingen av luftmasser gir sterke vinder rundt kaldfronten (NVE, 2017a) Den kalde luften fordriver den varme. Når den kalde luften driver inn over en varm overflate gir dette ustabiliteter i luftmassene. Ustabil luft har høyere energi og stiger. Dette gjør at bygenedbør gjerne følger etter en kaldfront.

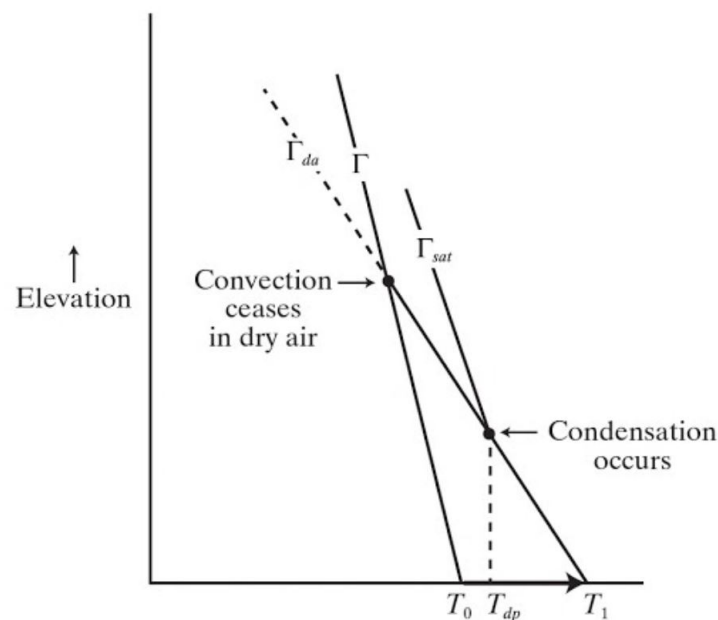
Orografisk nedbør dannes ved at luftmasser presses over høye terrengformer. Dette er typisk langs vestkysten av Norge hvor varm og fuktig luft fra havet presses over de kystnære fjellene. I høyden kondenserer fukten til nedbør. Etter fukten er fjernet fra luftpakken faller luften ned på lesiden av fjellene og påfølgende fönvind og regnskygge treffer innlandet. Langs vestkysten av Norge er en orografisk forsterkning av frontnedbør typisk. Dette gir høye nedbørverdier.

Konvektiv nedbør opptrer typisk i månedene Juni, Juli og August. Sola er da sterk nok til å varme opp bakken betydelig. Den varme bakken varmer luftmassene direkte over. Dette gjør at luftmolekylene får mer energi og vibrerer mer. De tar da større plass og luftmassen får lavere tetthet. Dette gjør at luftmassen stiger for å nå en likevekt med luftmassene rundt. Når luftpakken når metningspunktet dannes det nedbør som er typisk kortvarig og intens. En mer detaljert forklaring på konvektiv nedbør følger i neste avsnitt.

2.1.2 Konvektiv nedbør

Konvektiv nedbør gir typisk veldig intensiv nedbør og dekker et lite areal. Luftmassen stiger veldig raskt, noe som gir den kraftige nedbøren med kort varighet. Tordenvær er typisk for hendelsene Dingman (2015)

I følge (Dingman, 2015) dannes konvekative skyer når solstråling varmer opp bakken. Luften over bakken mottar varmestråling fra bakken og temperaturen i luftpakken stiger (T_0 til T_1 i fig. 2.2). Den varme luften stiger fordi den har en lavere tetthet enn luften rundt. Dette fører til at temperaturen i luftpakken synker med høyden. Temperaturen til luftpakken vil synke med en tørradiabatisk rate. Denne temperaturgradienten er brattere enn for den omkringliggende luften. Luftpakken vil stige til tetthetsforskjellen mellom pakken og omkringliggende luft er utliknet, om en har en tørr luftpakke. Om luftpakken er fuktig vil den stige til den når duggpunktet. Etter dette vil temperaturen til luftpakken synke med en våtadiabatisk temperaturgradient. Temperaturen til luftpakken vil da forbli lavere enn den omliggende luften og skyer dannes som et resultat av kondensasjon.



Figur 2.2: Konvektiv nedbør dannes når varm luft stiger og når duggpunktet fig. 2.2 viser denne prosessen. Figur tatt fra (Dingman, 2015).

Konvektiv nedbør i Norge

I Norge er bygenedbør typisk om sommeren. Det er særlig på innlandet dette er typisk for sensommeren, mens det i kyststrøk kan forekomme hele året (MET, 2019). Nedbørintensiteten knyttet til bygeaktivitet er dog høyere om sommeren.

På innlandet er det mest nedbør i sommermånedene på grunn av bygenedbør som inntreffer da.

2.2 Nedbørobservasjoner

2.2.1 Nedbørmålinger ved stasjoner

Målestasjoner som dekker fastlandsnorge registrerer nedbørverdier på 24 timer eller 1 times skala. NVE, Met, Statens Veivesen og Jernbaneverket har målestasjoner med data en kan få tilgang til via xgeo.no og eklima.met.no. Automatiske målestasjoner bruker vekt- eller vippepluviometere og måler akkumulert nedbør.

For punktet målestasjonene står er det små feilkilder. Vindturbulens og fordampning kan skape små feil, men dette korrigeres det for (Førland et al., 1996).

Disse stasjonmålingene ligger til grunn for interpoleringen av nedbørsverdier som gjøres mellom stasjonspunktene. Ulempen med stasjonsmålinger i forbindelse med bygenedbør er som nevnt tidligere at bygenedbøren er romlig begrenset og kan falle mellom målestasjonene.

2.2.2 Interpolering

Mellom stasjonsmålingene må de registrerte nedbørverdiene interpoleres for å gi et estimat av nedbørmengdene som faller mellom. En kort beskrivelse av interpoleringsmetoden kan sees i 3.2.1 og en detaljert beskrivelse i Lussana et al. (2018).

Fordelene med metoden beskrevet av (Lussana et al., 2018) er at den gir god oppløsning. Dette gjør dataen godt egnet til bruk i hydrologisk modellering, tidlig varsling og annen bruk som krever nedbørdata med tilsvarende oppløsning.

Ulempen med metoden brukt til å fremstille nedbørdata til `senorge2`-datasettet er at

den ikke korrigerer for oppfangssvikt på grunn av vind. Metoden tar også i bruk forholdet mellom nedbør og høyde kun rundt målestasjoner. Dette fører, i følge (Lussana et al., 2018) til en potensiell underestimert av nedbørmengder, særlig i områder med lav tetthet av målestasjoner. Videre sier (Lussana et al., 2018) at intens nedbør har større sannsynlighet for å bli underestimert enn lavere nedbørmengder.

(Lussana et al., 2018) understreker også at mangelen på målestasjoner gjør at nedbørmengder i områder med lav målestasjon-tetthet blir signifikant underestimert. Dette kommer frem ved en sammenlikning med state-of-the-art pan-European datasett".

Evaluering av seNorge2 viser at modellen underestimerer regn langs kysten og i fjellet. I fjellområder er det for få målinger til å gi et presist estimat av nedbørmengder. I følge citelussana2017 tar metoden i bruk for lite geografisk informasjon til å kompensere for mangelen på måledata. En mer detaljert forklaring av interpoleringsmetoden er beskrevet i Lussana et al. (2018).

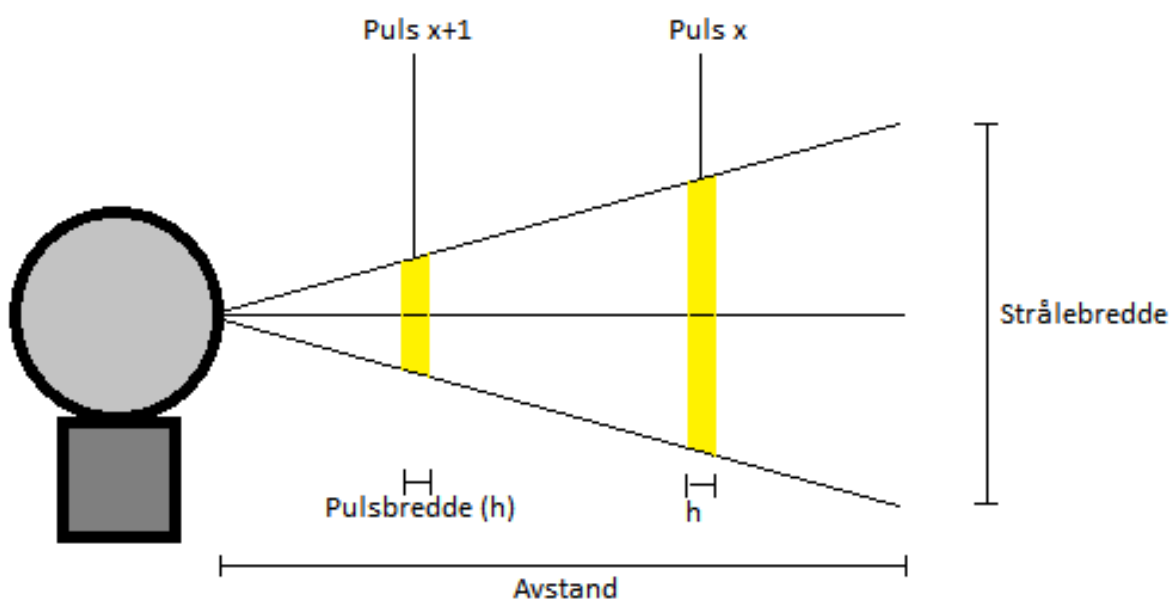
2.2.3 Værradar

En værradar består av transmitter og en mottaker. Transmitteren sender ut en puls i form av radiobølger. Når pulsen treffer objekter i banene reflekteres hele eller deler av signalet tilbake til mottakeren som et ekko. Objektet radarbølgene reflekteres tilbake fra kan være terrengformer, bygninger eller partikler i atmosfæren. Det er altså refleksjonsverdier fra regndråper som måles, ikke faktiske nedbørverdier. Jo høyere tetthet på objektet signalet reflekteres fra, jo større del av signalet reflekteres tilbake. Store mengder med nedbør av høy intensitet vil med andre ord reflektere en større del av signalet. Intensiteten i ekkoet er proporsjonalt med tettheten av nedbørpartikler i volumet som bølgene reflekteres fra.

Radiobølgene som sendes ut befinner seg til venstre i det elektromagnetiske spekteret har en relativt sett høy bølgelengde og lav frekvens, samt et bredt definisjonsområde. Ulike frekvenser har ulike egenskaper. Høyfrekvente radiobølger med kort bølgelengde gir et sterkt signal over korte avstander, men signalet dempes raskt når avstandene blir store. Lavfrekvente radarbølger med lang bølgelengde når på sin side langt, men signalet er svakere. Dette gjør at høyfrekvente radarbølger egner seg godt for å registrere regndråper med liten størrelse. Værradar kan sende ut radarbølger av ulik frekvens. S-båndet har en bølgelengde på 10 cm, C-båndet 5 cm, X-båndet har 3 cm, mens

Ka-båndet 1 cm. Til normal nedbørestimering bruker værradar i Norge C-båndet. Reflektiviteten måles i en høyde over bakken som på grunn av jordoverflatens krumning vil variere med avstand fra radaren. Atmosfæriske forhold vil dog krumme radarstrålen omtrent med jordkurvaturen.

Signalet som sendes ut fra værradaren sendes ut i form av en puls som brer seg utover. Med økende avstand fra kilden vil volumet som signalet treffer også øke. Økningen i scannet volumsegment fører til en dårligere oppløsning med økt avstand fra værradaren (se fig. 2.3)



Figur 2.3: Illustrasjonen viser hvordan strålebredden endrer seg med avstand fra værradaren. Med større strålebredde øker også volumsegmentet som scannes av pulsen.

Med økt avstand fra værradaren vil altså radarsignalet måle i en økt høyde over bakken og oppløsningen blir dårligere. For å unngå for store feil som et resultat av dette måler værradarer i Norge kun innenfor en maksimalavstand på 240 kilometer.

Selv om værradar oppnår en god romlig oppløsning er det usikkerheter tilknyttet denne metoden for innhenting av nedbørsdata. Det største usikkerhetsmomentet ligger i omdanningen av målt reflektivitet (Z) til nedbør ved bakken (R). Det kan også ligge feilkilder i selve reflektivetsmålingene. Disse kan stamme fra signaldemping hvor nedbøren i bakgrunnen av annen nedbør gir et lavere reflektert signal. Andre feilkilder her stammer fra atmosfærisk avbøyning av radarstråle, nedbør som ikke fanges opp fordi det ligger i skyggen av terrenget, falske ekko eller feilkalibrering av

selve radaren (Abdella og Engeland, 2013).

Scannefrekvensen til værradaren må også tas med i betraktning. Radaren gir et bilde hvert femtende minutt. En antagelse av at intensiteten ikke endrer seg mellom to påfølgende bilder vil gi feil estimering av nedbør og må således korrigeres for.

Refleksjonsverdiene værradaren produserer blir bearbeidet av MET til nedbørverdier ved bakkeplan ved metoden beskrevet i 3.2.1.

2.2.4 MetNordic

MetNordic viser nedbørdata estimert ved modellering kombinert ved biaskorrigerings fra værradardata. Metoden beskrives kort i 3.2.1. I følge (Lussana et al., 2019) er fordelingen med denne metoden for å estimere nedbørintensitet er at den gir en mer nøyaktig og presis representasjon av nedbørfeltet. Metoden gir i tillegg nedbørmengder hvor MEPS skal korrigere for værradarens over- eller underestimering. Feilkilder en finner i værradarmetoden (beskrevet i 2.2.3) som signaldemping og stråleblokkering vil også korrigeres for ved bruk av modellering.

Ulemper med metoden er at inngangsdataen er modellert og derfor kan gi feil bilde av virkeligheten samt at den originale oppløsningen er på 2,5 kilometer.

2.3 Skredklassifikasjon og Skredprosesser

Generelt kan et skred forklares som en forflytning av masser fra en plassering til en annen. Massene som har ligget på en plass har gjerne ligget der stabilt over lengre tid. For å utløse forflytningen trengs en påført faktor. Utløsende mekanismer er gjerne tektonisk bevegelse, menneskelig inngrep eller nedbør - enten langvarig eller kortvarig og intens. Fysisk snakker man gjerne om drivende og motvirkende krefter, hvor de drivende må overvinne de motvirkende for at et skred skal utløses. Konsekvensene av en skredhendelse kommer an på omfanget av skredet og hvor skredet går. Skred som går i tett befolkede områder eller områder utbygd infrastruktur vil kunne ha en høy konsekvens. Begrepet skred omfatter løsmasseskred, steinskred og snø- og isskred. I denne oppgaven vil løsmasseskred utløst av nedbør bli tatt for seg.

2.3.1 Skredklassifikasjon

En av de mest brukte skredklassifiseringene internasjonalt, stammer fra Varnes (1978). Denne klassifiserer skred etter bevegelsestype og materiale. Bevegelsestypen er her inndelt i "Fall", "Topple", "Slide", "Spread", "Flow" og "Complex". Innen disse seks bevegelsestypene er skredtype kategorisert etter type materiale. Her er "Fjell", "Debris" og "Jordbrukt", hvor skillet mellom debris og jord går henholdsvis under og over 80% fine materialer med kornstørrelse under 2 millimeter. Varnes (1978) skiller ikke nøye mellom kornstørrelser i materialet. Materialers kornstørrelse er en viktig faktor for hvordan skred utløses og forløper, da kornstørrelsen blandt annet påvirker materialets permeabilitet og friksjon. Hungr et al. (2013) har foreslått en skredklassifisering som i tillegg til å skille mellom bevegelsestype skiller mellom materiale og materialets kornstørrelse (se fig. 2.1). Hungr et al. (2013) skredklassifisering har generelt blitt godt mottatt internasjonalt og er mye brukt.

Type of movement	Rock	Soil
Fall	1. Rock/ice fall ^a	2. Boulder/debris/silt fall ^a
Topple	3. Rock block topple ^a	5. Gravel/sand/silt topple ^a
	4. Rock flexural topple	
Slide	6. Rock rotational slide	11. Clay/silt rotational slide
	7. Rock planar slide ^a	12. Clay/silt planar slide
	8. Rock wedge slide ^a	13. Gravel/sand/debris slide ^a
	9. Rock compound slide	14. Clay/silt compound slide
	10. Rock irregular slide ^a	
Spread	15. Rock slope spread	16. Sand/silt liquefaction spread ^a
		17. Sensitive clay spread ^a
Flow	18. Rock/ice avalanche ^a	19. Sand/silt/debris dry flow
		20. Sand/silt/debris flowslide ^a
		21. Sensitive clay flowslide ^a
		22. Debris flow ^a
		23. Mud flow ^a
		24. Debris flood
		25. Debris avalanche ^a
		26. Earthflow
27. Peat flow		
Slope deformation	28. Mountain slope deformation	30. Soil slope deformation
	29. Rock slope deformation	31. Soil creep

Tabell 2.1: Hungr et al. (2013) sin skredklassifisering. Sett i forhold til Varnes (1978) har klassifiseringen en mer gradert inndeling i kornstørrelse. I tillegg er bevegelsestypen Varnes (1978) kaller "Complexer tatt ut av klassifikasjonssystemet og Slope deformationer føyd til.

I Norge brukes gjerne en noe grovere skredklassifisering. Ved NVE gjøres en klassifisering av skred etter hva slags masse skredet består av. Klassifiseringen er Skred

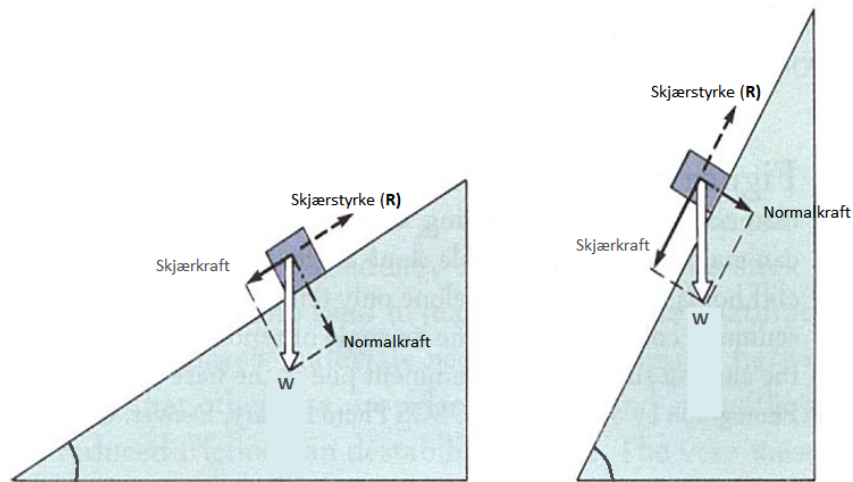
fra fjell/berg, snøskred og løsmasseskred (NVE, 2013). Her omfatter løsmasseskred jordskred, flomskred, leirskred og kvikkleireskred. Figur 2.2 viser en modifisering av skredklassifiseringen funnet i (Devoli et al., 2011). Modifiseringen er gjort i samarbeid med NGU og er funnet på geo365.no (Carstens, 2014). Som en kan se er løsmasseskred delt inn i grove og fine løsmasser. Både jordskred og flomskred samfatter to skredtyper funnet i skredklassifiseringen (Hungr et al., 2013). Jordskred brukes om debris slide"og Debris avalanche", men flomskred brukes om Debris flow"og Debris flood". I denne oppgaven vil det bli sett på løsmasseskredene jordskred og flomskred.

Type materiale			
Skred i fast fjell (Landslide in rocks) ↓	Løsmasseskred (Landslide in soils) ↓		Snøskred (Snow avalanches) ↓
	Grove løsmasser (Debris)	Fine løsmasse (Earth)	
Steinsprang Steinskred (Rock fall)			Snø og isfall (Ice-fall)
Ustabile fjellparti (Rock slide)	Jordskred (Debris slides and debris avalanches)	Leirskred (Rotational clay slides)	Snøskred (Flakskred og løssnøskred) (Snow avalanche)
Fjellskred (Rock avalanche)	Flomskred (Debris flow and debris floods)	Kvikkleireskred (Quick-clay slides)	Sørpeskred (Slushflow)

Tabell 2.2: Skredklassifisering med Norsk terminologi foreslått av Devoli et al. (2011). Tilsvarende Engelsk terminologi er notert i parentes, og en kan se at den norske klassifiseringen ikke er lik.

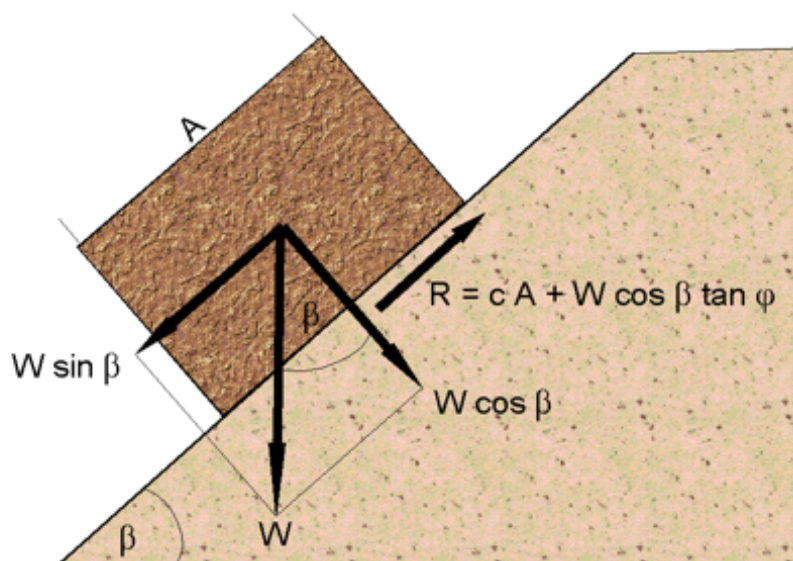
2.3.2 Skredprosesser

Som nevnt innledningsvis må de drivende kreftene overvinne de motvirkende kreftene for at et skred skal utløses. Dette kan skje ved at de drivende kreftene økes eller at de motvirkende og stabiliserende kreftene minkes. Skjærkraft og skjærstyrke er et mål på henholdsvis drivende og motvirkende krefter. Begge komponentene styres av helningsgraden til overflaten og tyngdekraften som virker på materialet - som er uttrykt ved W . Som en kan se i figur 2.4 vil en økning i helningsgrad før til større skjærkraft og skjærstyrken må være høyere for at materialet ikke skal skli ut. Pilene i figuren kan betraktes som vektorer.



Figur 2.4: Skisse over hvordan en brattere helningsgrad vil kreve høyere skjærstyrke for unngå at et skred skal utløses.

De fleste skredhendelser opptrer ved en helningsgrad på mellom 26° og 57° . Lavere vinkel vil i de fleste tilfeller ikke gi høy nok skjærkraft til å utløse skred. Ved høyere vinkel vil ikke løsmasser ligge stabilt lenge nok til at det blir samlet opp skredmateriale.



Figur 2.5: Figur som viser mekanikken bak et skred. Figuren er hentet fra van Westen (2019)

Her er $A = \text{overflaten}[m^2]$, $W = \text{Gravitasjonskraften}[N]$, $\beta = \text{helningsgraden}[grader]$, $c = \text{kohesjon}[kPa]$, $\phi = \text{indrefriksjonsvinkel}[grader]$ Normalkraften = $W \cos \beta / A$ Skjærkraften = $W \sin \beta / A$, Skjærstyrken = $cA + W \cos \beta \tan \phi$

Det er verdt å nevne at det er flere faktorer som utelates fra denne forenklete forklaringen på hva som kreves for å utløse et skred. Jordas fuktighet, grunnvann,

materialtyper og grunnbevegelser utelates.

Allikevel kan man slå fast at skjærkraften må være høyere enn skjærstyrken for at et skred skal utløses. Dette er også noe som brukes i skredfarevurdering hvor risikofaktor (Factor of safety) 2.1 tas i bruk.

$$FS = \frac{\text{Skjærstyrke}}{\text{Skjærkraft}} = \frac{cA + W\cos\beta\tan\phi}{W\sin\beta} \quad (2.1)$$

$FS > 0$: stabile forhold

$FS = 0$: akkurat likevekt, det skal lite til for å utløse et skred

$FS < 0$: Ustabilt, skred vil gå

En faktor som ikke tas med i likning 2.1 eller figur 2.5 er porevannstrykk. Porevannstrykket virker i motsatt retning av normalkraften (se fig. 2.5) og reduserer skjærstyrken.

Skjærstyrken kommer fra friksjonskraft og kohesjonskraft. Friksjonskraften er et mål på materialers motstand mot å gli mot hverandre. Svært røe materialer vil gli dårlig mot hverandre og ha høy friksjonskraft.

Kohesjonskraften stammer fra vanninnholdet i en løsmassepakke. Når det er vann tilstede vil partiklene i pakken ha en sugende kraft på hverandre.

Utløsningsmekanismer

Man skiller gjerne mellom forutforliggende faktorer og utløsende faktorer.

De forutforliggende forholdene er forholdene som kan føre til skred, men som endres over hundrevis til tusenvis av år. De er dog avgjørende for at et skred skal finne sted.

Dette er forhold som topografi, geologi og vegetasjon.

De utløsende faktorene endres på dags- og timestkalaen. Disse utløsningsmekanismene fører til at skjærkraften overstiger skjærstyrken.

Som en ser i figur 2.4 kan dette skje ved at β eller W øker, eller ved at skjærstyrken minker. Utløsningsmekanismene kan igjen deles i antropogene og naturlige faktorer.

Denne oppgaven tar for seg naturlige utløsende faktorer i form av bygenedbør.

Antropogene faktorer skyldes menneskelige inngrep i naturen.

Disse inngrepene kan føre til økt helningsgrad ved at skråninger undergraves i

forbindelse med gravearbeid. Menneskelige inngrep kan også øke W ved påføring av masser eller infrastruktur på ustabile områder. Reduksjonen av skjærstyrken kan skje ved at gravearbeid eller urbanisering av områder gir en endring i dreneringsforhold. Dette kan føre til at vannmasser ledes til områder som ikke er naturlig. Dette fører da til en økning i porevannstrykket og kan lede til skred.

Ved å fjerne vegetasjon vil stabiliteten røtter tilfører løsmassene bli borte.

Undergravningen av skrånninger kan også stamme fra naturlige årsaker, som elveerosjon. En økning i W krever av definisjon en økning av masse. Naturlig kan denne økningen stamme fra andre skredhendelser som avsetter løsmasser på ustabile områder. Steinsprang kan også være nok til å føre til utløsning. Den ekstra belastningen en stein gir løsmassene kan også gjøre at porevannstrykket overstiger kritisk grense (Sander- sen, 2014). Naturlig vannmetning av en løsmassepakke fører også til en økning av W . En naturlig reduksjon av skjærstyrken kan stamme fra tektoniske bevegelser som minker friksjonen mellom korn i løsmassene og kan ved store nok bevegelser føre til skred (Smith, 2013). Forvitring eller økning i poretrykket er også skjærstyrkereduserende faktorer.

Typen utløsningsmekanisme denne oppgaven tar for seg er nedbør. Nedbør er den viktigste utløsningsmekanismen for løsmasseskred. Nedbøren kan komme som langtidsnedbør hvor vannmetningen bygger seg opp over flere dager, eller som kortidsnedbør hvor intensiteten er veldig høy. Felles for begge tidsskalaene er at det kreves en ekstrem hendelse, som overgår nedbørnormalen for et område, for å utløse skred.

2.3.3 Typer løsmasseskred

Som man ser i tabell 2.2 omfatter løsmasseskred jordskred, flomskred, leirskred og kvikkleireskred.

Leirskred skiller seg fra jordskred og flomskred ved å bestå av finer sedimentkorn og dermed ha andre materialeegenskaper. Kohesjon blir viktigere faktor her.

Kvikkleireskred oppstår når saltet i marin leire vaskes ut av ferskvann. Dette fjerner de elektrostatiske bindingene mellom leirpartiklene og styrken til leiren blir borte. En kan se på det som skjer som et korthus hvor flakete leirpartikler er kortene. Vannet gjør at

denne korthusstrukturen blir borte og leira renner ut ved påført belastning. Skredene forplanter seg raskt og kan flyte ut over store arealer og gjøre store skader.

Fokuset i denne oppgaven er jordskred og flomskred. Disse to løsmasseskredene kan være vanskelig å skille fra hverandre. Skredtypene består av vannmettede løsmasser, beveger seg relativt hurtig og opptrer i bratte skråninger. Det er også noen ganger en glidende overgang mellom skredtypene (NVE, 2013)

Det som skiller skredtypene fra hverandre er om skredet følger definerte vannveier, formen på skredutløpet og sorteringen av sedimentene.

Jordskred

Jordskred defineres av NVE (2013) som raske utglidninger og bevegelse av vannmettede løsmasser i bratt skråningsgradienter, utenfor definerte vannveier.

Videre beskriver NVE (2013) at skredet starter langs et glideplan som enten er flatt eller konkavt. Utløsningen skjer langs en bruddsone eller fra et punkt og har gjerne en halvmåneformet utløsningssone.

I følge NVE (2013) skjer skredene ved en helningsgrad på 30° men kan opptre ved helningsgrader på 20° til 25° om det ikke er vegetasjon til stede, skredet skjer i et tynt løsmassedekke over fjell eller ved antropogene påvirkninger. Sandersen (2014) sier at helningsgraden som oftest er over 25°, men at ved høyt poretrykk kan jordskred opptre ved lavere helningsgrader.

Skredene beveger seg som en massestrøm og vokser i omfang fra utløsningspunktet. De brer seg gjerne utover lateralt. Dette er særlig tydelig i trekantskred. Disse jordskredene starter i ett punkt og brer seg utover i en trekantformet form.

Jordskred går gjerne i morenemateriale, løsmasser avsatt fra tidligere skred eller forvittringsmateriale. I utløpsområdet avsettes det groveste materialet i ytterkantene med en finere sortering bakover.

Typisk utløpslengde for jordskred er opptil 0,5 kilometer. Større skredhendelser med et høyt vanninnhold kan dog nå lenger (NVE, 2013) Jordskred går ikke flere ganger i samme skredløp. Skredene drar med seg det som finnes av løsmaterialer og det tar lang tid før det bygger seg opp nok avsetninger til at et nytt skred kan gå på samme sted. De opptrer derimot gjerne som flere i samme skråning.

Utglidning er en type jordskred som opptrer på en liten skala. De omtales også som grunne skred og har en løsmassetykkelse som typisk ligger mellom 0,5 til 2 meter. Løsmassene er finkornet og vannmettet.

Utglidningene kan også lede til større jordskred og omtales da som initialskred (NVE, 2013).

Flomskred

Flomskred defineres av NVE (2013) som hurtige flomliknende skred i kanaliserte terrengformer som bekkeløp og elveløp, også der det ikke er permanent vannføring. Store mengder løsmasser, større blokker, trær og vegetasjon kan rives med i flomskred. Flomskred består av vannmettede løsmasser som oppfører seg som en viskøs masse. De oppstår når løsmasser blir mettet med vann og går fra å oppføre seg som en solid masse til en fluide (Smith, 2013).

Utløsningsområdet til flomskred er som oftest i bratt terreng hvor helningsgraden er mellom 25° og 45° (NVE, 2013), men kan ved ekstreme nedbørsituasjoner utløses ved helningsgrader så lave som 10° (Sandersen, 2014). Utløsningen skjer i definerte kanaler i terrenget. Dette er gjerne på grunn av intens nedbør. Flomskredene kan også utløses ved at skred som har startet utenfor disse kanalene beveger seg inn i slike forsenkninger. Dette kan være jordskred eller sørpeskred.

Utløsningsområdet og skredløpet er i elve- og bekkeløp. Denne kanaliseringen av skredet gjør at det ikke sprer seg lateralt og at tykkelsen på skredmassene forblir den samme. Dette gjør og at skredløpet i stor grad styres av terrenget (Sandersen, 2014). Skredene følger eksisterende dreneringskanaler (Smith, 2013) (Sandersen, 2014) og har følgelig mer tilførsel av vann. Vanninnholdet i løsmassene gjør at flomskred har en strømmende bevegelse, mer som en flom, hvor jordskred har en skliende bevegelse. Det er en type skred hvor de drivende kreftene er i en overgangsfase fra å være tyngdekraftderivert som i jordskredkred til å være drevet av vanninnholdet som i en flom. Skredet går fra å være en massestrømprosess til å være en fluvial prosess. Nedover fra utløsningspunktet øker gjerne flomskredet i omfang ved at flere løsmasser og vann tas opp i skredmassen langs skredløpet. Kanaliseringen er med på å beholde energi i skredet. Den gjør også at massestrømmen forblir samme tykkelse og man får en innvers sortering av løsmassene.

Hastigheten på flomskred er høy av samme grunn. Hastigheten styres av vann og løsmasseinnhold i kombinasjon med topografi, og er opp mot 45-50 km/t.

Skredutløpet sprer seg utover i en vifteform fra skredløpets apex. Når dette skjer mister skredet energien og de groveste sedimentene avsettes først. De mindre partiklene krever mindre energi for å holde seg i bevegelse og følger med vannet mot ytterkanten av skredutløpet. Det høye vanninnholdet gjør at skredutløpet kan forplante seg langt utover. Typisk for flomskred er også at avsetningsområdet har en slak helning på skredviften fra apexet til enden.

Lengden på skredutløpet styres, i tillegg til innholdet av vann og løsmasser i skredet, i stor grad av topografien i et område. På grunn av vanninnholdet vil ikke skredet stoppe før ved 0° helning. Utløpsdistansen vil typisk være over 0,5 kilometer til 1 kilometer.

Jordskred og flomskred kan som nevnt tidligere være vanskelig å skille. Dette skyldes at skredene hovedsakelig skilles fra skredhendelsens dynamikk. Løsmassene som ligger igjen etter et skred kan være vanskelig å skille fra hverandre uten feltundersøkelser. En annen faktor som gjør at de kan være vanskelig å skille eller i hvertfall determinere er at man kan ha en glidende overgang fra jordskred til flomskred. Dette er hva (Hungr et al., 2013) kaller komplekse skred. Jordskred kan utvikle seg til flomskred. Dette skjer gjerne om skredet beveger seg inn i kanaler i terrenget. Skredløpene som ligger igjen etter jordskred kan også fungere som kanaler hvor flomskred opptrer.

2.4 Jordskredvarsling

Hensikten med tidlig varsling av løsmasseskred er å redusere økonomiske og menneskelige tap. Dette gjøres ved å sende ut et varsel når en fare er truende slik at myndigheter og lokalbefolkning er forberedt og kan iverksette nødvendige tiltak. Dette kan være tiltak som å stenge veier, evakuere områder eller sikre egne hjem og eiendommer.

Jordskredvarslingen ved NVE ble startet i 2013 etter testing av tjenesten siden 2012, og er av de eneste i sitt slag.

Jordskredvarslingen ved NVE sender ut aktsomhetsvarsler for ulike massebevegelser. Massebevegelsene som inngår i varselet er jordskred, flomskred og sørpeskred. Varslingen skjer på en regionalnivå og følger en aktsomhetsskala på fire trinn (se tab. 2.3).

Aktsomhetsnivå	Sannsynlighet for skred og skadeomfang
4	Ekstrem situasjon som forekommer svært sjelden, krever tett oppfølging og kan medføre store skader. Svært mange skredhendelser; flere kan få store konsekvenser.
3	Alvorlig situasjon som forekommer sjelden, krever beredskapsmessige forberedelser og kan medføre alvorlige skader. Mange skredhendelser; noen kan få store konsekvenser.
2	Utfordrende situasjon som krever oppfølging og kan medføre skader lokalt. Noen skredhendelser; enkelte store hendelser kan forekomme.
1	Generelt trygge forhold.

Tabell 2.3: NVE jordskredvarsling sin varslingsklassifikasjon. Tabellen lister varslingsnivå samt tilhørende forklaring av omfang (NVE, 2017b)

Flom- og jordskredvarslingen ved NVE utarbeider i samråd med Meteorologisk institutt farevarsel for kraftige regnbyger. Varselet publiseres på varsom.no og yr.no. Bygenedbør er som nevnt lokale fenomener mens varslingen skjer på regional skala. Dette i kombinasjon med at bygenedbør utvikler seg og opphører raskt gjør det vanskelig å varsle riktig for denne typen nedbør. Denne typen varsling gjøres derfor som et notis i form av et OBS-varsel. Her informeres det om at det er fare for lokale oversvømmelser, vann på avveie og økt skredfare (NVE, 2017b)

Varslingen gjøres av NVE, men implementeringen av tiltak gjøres av lokale beredskapsapperater.

2.5 Terskelverdier

Terskelverdier i forbindelse med nedbørinduserte jordskred tas blandt annet i bruk av jordskrevarslingen til NVE for å bestemme varslingsnivå.

Tersklene er utarbeidet ved å se på sammenhengen mellom tidligere skredhendelser

og metrologiske og hydrologiske tilstander (Boje et al., 2014). Dette er empirisk utarbeidede terskler hvor man bruker statistikk på tidligere skredhendelser og tilstanden ved hendelsen. Tersklene kan også bestemmes fysisk, basert på prosessene bak skred. En minimumsterskel er en nedre verdi hvor hendelser ikke vil finne sted. En maksimum terskel er en øvre verdi hvor hendelser alltid vil finne sted. Jordskredvarslingen ved NVE bruker fire varselnivåer og det er dermed nødvendig med tre definerende terskelverdier. For nedre og øvre terskel vil dog målet være at henholdsvis ingen hendelser finner sted og hendelser alltid finner sted.

Flere metoder er utarbeidet for å fremstille skredutløsende nedbørverdier. En snakker gjerne om intensitet-varighet-kurver, intensitet-varighet-kurver med bakgrunn i årlig normalverdi og Caine (1980) har sett på sammenhenger globalt og kommet frem til en varighet-intensitet-likning (se eq. 2.2 under). Intensitet-varighet-likninger antar at det finnes en intensitet for hver varighet som utløser skred.

$$I = 14,82D^{-0,39} \quad (2.2)$$

I er intensitet i mm/t og D er varighet i timer. Likningen gir en stigningslinje hvor alle intensiteter under ikke skal kunne utløse skred. Metoden er ment på varigheter mellom 10 minutter og 10 timer.

Den skredutløsende intensiteten (Caine, 1980) kommer frem til er basert på hendelser på et globalt nivå og tar ikke hensyn til lokal topografi, geologi eller lokale hydrologiske og metrologiske forhold.

Sandersen (1996) utviklet et forhold mellom nedbørsmengde og årsnedbør for en lokalitet (se fig. 2.3). Dette forholdet viser at årsnedbøren er en definerende faktor og at Caine (1980) sin metode blir for generell da studiet er gjort ved ulike klimasoner. Studiet ble gjort ved å se på 30 løsmasseskred i Norge.

$$P = 1,2D^{-0,6} \quad (2.3)$$

her er P nedbørmengde i prosent av årsnormalen og D varighet i timer. Formelen viser at dersom nedbørmengden overskrider 8% av årsnormalen vil det være fare for løsmasseskred.

Norge opplever ulike klimatiske forhold ulike steder i landet. Klimaet og nedbørmeng-

dene ved kysten skiller seg fra de rådende forholdene på innlandet. Meyer et al. (2012) har utarbeidet et sett av intensitetvarighetterskler.

Terskelverdiene beskrevet over gjelder for en kritisk mengde nedbør som er antatt å utløse skred. Jordskredvarslingen ved NVE baserer seg ikke nedbørmengder som kritisk variabel da dette har ført til for mange unødvendige varsler (Sandøy et al., 2017). Boje et al. (2014) oppsummerer tre prosjekter utført av NVE som tar for seg terskler for utløsning av jordskred i Norge. Tersklene er basert på statistiske analyser av hydrometeorologiske forhold på dager med og uten skred. Disse terskelstudiene er hva som har ledet til tersklene som brukes ved Jordskredvarslingen til NVE i dag.

Terskelverdiene baserer seg på relativ vannmetning i jorda og relativ vanntilførsel. Vannmetningen i jorda er HBV-modellens markvann- og grunnvannsverdi normalisert ved simulert maksimumsverdi. Relativ vanntilførsel er summen av nedbør og snøsmelte i prosent av middelvanntilførselen. Både normalisert verdi i markvann- og grunnvannmagasinet og middelvanntilførselen er verdier gjeldende mellom 1981 og 2010. HBV-modellen beregner vannbalanse. Inn i modellen går temperatur og nedbør som inngangsdata. Modellen bruker så høyde over havet, arealbruk for å beregne vannbalansen. Det er etablert tre terskler og varslingen har fire nivåer.

Tersklene ble frem til juni 2015 brukt på et nasjonalt nivå (Boje, 2017). Boje et al. (2014) og Boje (2017) anbefaler en manuell justering av tersklene for ulike regionale varsling. Boje (2017) peker på en mulig forklaring til hvorfor det ikke har blitt brukt egne regionale terskler er at det ikke finnes store og gode nok datasett til å etablere disse tersklene. Dette har ført til at Østlandet og Sørlandet har opplevd falske varslinger da de nasjonale tersklene var for sensitive for disse regionene.

En kan nå se en egen hydmet-indeks for Østlandet og Sørlandet i Xgeo.

Kapittel 3: Studieområde og data

3.1 Studieområde

Studieområdet denne oppgaven tar for seg dekker hele Norge, med skredhendelser i ulike regioner.

Norge er et langstrakt land og opplever ulik nedbør samt ulike nedbørmengder. Topografien i landet er noe variabel med bratte dalsider langs vestkysten og roligere terreng på innlandet. I bratt terreng kan ulike løsmasser skli ut.

3.1.1 Nedbør i Norge

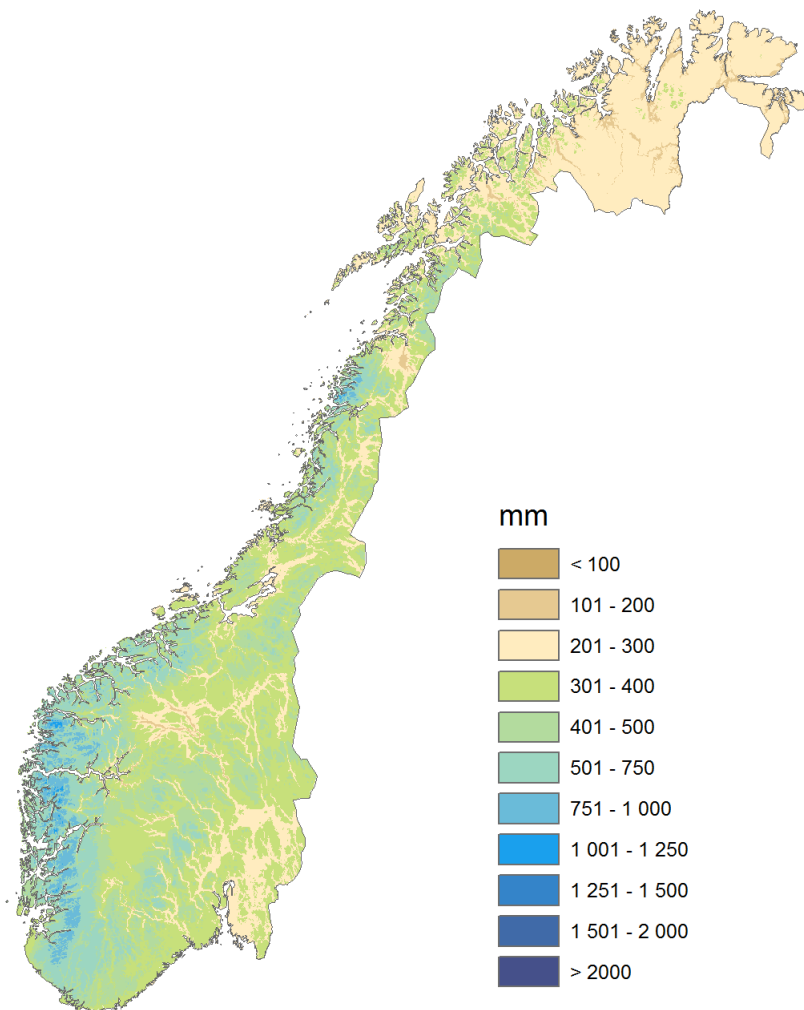
Vindsystemene på jorda preger nedbørmønstrene i Norge i stor grad. Norges geografiske plassering i vestavindsbeltet og ved polarfronten samt landets topografi, gir mye nedbør langs vestkysten. Her føres fuktig havluft innover kysten. Frontnedbøren forsterkes orografisk av fjellkjedene som strekker seg langs kysten og det oppleves mye nedbør (se fig. 3.1). Det er særlig midtre del av Vestkysten og Nordland som opplever mye nedbør ved de sørvestlige vindene som er typisk for vestavindsbeltet (Hanssen-Bauer et al., 2015). Sørøstlige vinder gir mindre nedbør på Vestlandet og mer på Sørlandet og Østlandet.

Innenfor fjellene langs vestkysten synker luften som nå er tømt for fukt og det oppleves lite nedbør her. Disse områdene på innlandet opplever hovedsaklig en annen type nedbør. Her er lokale regnbyger typisk. Landmassene varmes opp om sommeren, når den varme luften stiger fører dette til konvektiv nedbør.

Midlere årsnedbør for midtre del av vestkysten ligger rundt 3500 til 4000 millimeter (1971-2000). Størst nedbørverdier finner en i fjellene som et resultat av orografisk forsterkning. Her en årsnedbørverdier på over 5000 millimeter. Kystområdene nordover

opplever lavere verdier, men her finner en også stasjoner som måler over 2000 millimeter som midlere årsnedbør. For å sette disse verdiene i perspektiv er midlere årsnedbør for hele Fastlands-Norge 1600 millimeter og verdiene for de midtre delene av vestkysten blant de høyeste i Europa. Delene av landet som ligger i regnskyggen av fjellene langs vestkysten, som Østlandet, Finnmarksvidda og flere mindre steder langs Svenskegrensa opplever lav årsnedbør, men vil i sommerperiodene store nedbørverdier i form av bygenedbør (Hanssen-Bauer et al., 2015).

Midlere årsnedbør inneholder også nedbøren som faller som snø gjennom vintermånedene. Sommermånedene regnes som Juni, Juli og August. Dette er månedene bygenedbør typisk opptrer. Det er derfor kun for disse månedene denne oppgaven har forsøkt å knytte skredhendelser til bygenedbør. Gjennom sommermånedene er det igjen områdene langs vestkysten som opplever de største nedbørsverdiene. Av nedbøren som faller gjennom disse månedene er bygenedbør en større bidragsyter av totalen. Bygeaktiviteten er større på innlandet enn langs kysten. Dette gjør at kontrasten mellom innland og kyst blir mindre, som en kan se i figur 3.1. Av figur 3.1 kan en se at nedbørverdiene i fjellene langs vestkysten i Sør- og Midt-Norge ligger mellom 751 og 1000 millimeter med noen områder hvor verdiene er opp mot 1250 millimeter. Videre nordover fra Lofoten, langs Troms er midlere sommernedbør mellom 300 og 500 millimeter. Helt nord i landet ligger verdiene på rundt 200 millimeter mens de i Sør-Norge strekker seg mellom 200 og 400 millimeter.



Figur 3.1: Midlere sommernedbør for Norge. Figur er fra (Hanssen-Bauer et al., 2015).

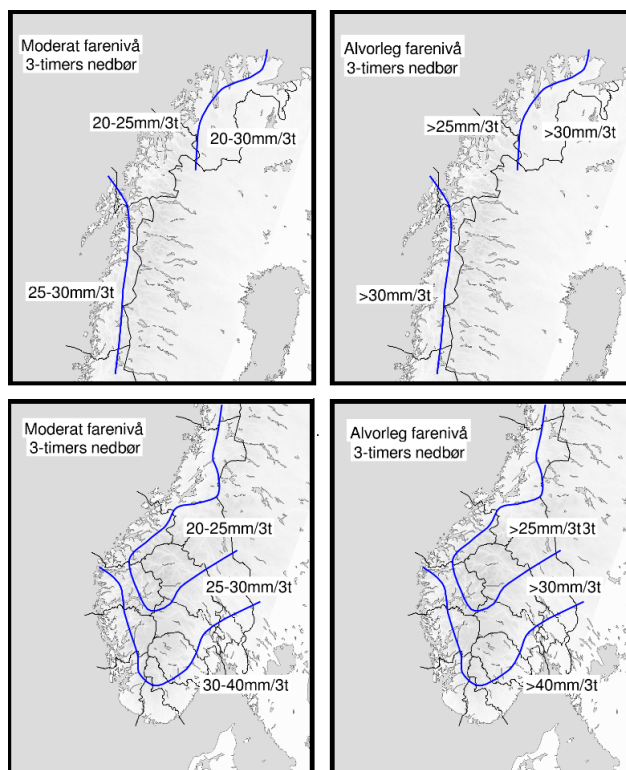
For skredhendelsene kan normalnedbøren per måned sees i tabell 3.1. Dette sier noe om hvor mye områdene det har gått skred er vandt med å oppleve. Dette igjen sier noe om hvilke nedbørmengder løsmassene i området har tilpasset seg. Verdiene er gjennomsnittlige månedsverdier funnet mellom 1961 til 1990. Ulempen er at dette er månedsverdier. De sier lite om intensiteten til nedbøren. Deler man nedbørverdiene på antall dager ser man hva det regner i snitt per dag, men dette sier lite om hvilken intensitet området opplever når det regner.

MET tar i bruk et varslingsystem som varsler nedbør på flere tidsskalaer. Her brukes

tre varslingsgrader, gult, oransje og rødt. For varslingsgradene tilsvarer gult en utfordrende situasjon, oransje en alvorlig situasjon og rødt en ekstrem situasjon. Dette tilsvarer nedbørsituasjoner med henholdsvis 5, 10 og 25 års returverdier. Det det blir det ikke varslet ekstremvær, altså rødt for varigheter på under 6 timer. Figurene under kan brukes til å se hva MET anser som unormalt mye nedbør, for ulike regioner i Norge.

Bøskreda	26.08.2026	1000 - 1500 mm
Byrkjenes	26.08.2016	over 4000 mm
Troms	07.08.2014	1000 - 3000 mm
Eresfjord	12.07.2014	2000 - 3000 mm
Sunndalen	26.07.2013	1500 - 2000 mm
Sætene	17.07.2013	2000 - 3000 mm

Tabell 3.1: Gjennomsnittlig årsnedbør for skredområdene. Data hentet fra xgeo klima.

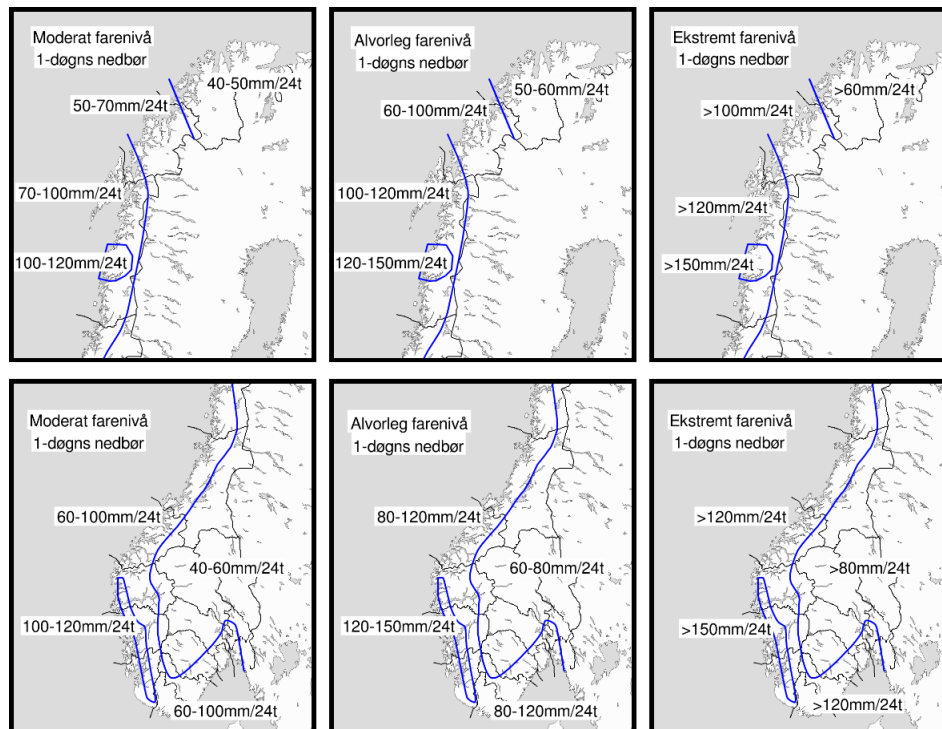


Figur 3.2: MET sitt varslingsnivå for 3t nedbørmengder i ulike regioner i Norge. Fra (MET, 2019).

Fra 3.2 kan en se at for skredhendelsene i Troms, Sætene og Byrkjenes vil 3t

nedbørmengde som tilsvarer gult varsel, altså nedbørintensitet med 5 års returverdi, være 20 - 25 millimeter nedbør. Oransje varsel med 10 års returverdi er over 25 millimeter nedbør.

For skredhendelsene ved Eresfjorden, Sunndalen og Bøskreda er tilsvarende verdier henholdsvis 20 - 25 millimeter nedbør og over 25 millimeter nedbør.



Figur 3.3: MET sitt varslingsnivå for 24t nedbørmengder i ulike regioner i Norge. Fra (MET, 2019).

Når det kommer til 24t nedbørverdier er det følgende verdier som gjelder for henholdsvis gult, oransje og rødt varselnivå. Troms 50 - 70 millimeter, 60 - 100 millimeter og over 100 millimeter. Eresfjord, sunndalen og Bøskreda 40 - 60 millimeter, 60 - 80 millimeter og over 80 millimeter. Sætenes og byrkjenes 60 - 100 millimeter, 80 - 120 millimeter og over 120 millimeter.

3.1.2 Løsmasser og skred i Norge

Løsmassedekket i Norge ble i stor grad dannet og avsatt under siste istid (Weichel, 117000 - 11700 år siden). Isen eroderte seg ned i landskapet og avsatte morenemateriale i dalsidene og skråningene den etterlatte.

Iserosjon har gitt daler, fjorder og spisse tinder i Norge. Dette har gitt skråninger som er overbratte, i tillegg har trykkavlastning etter isen forsvant gitt oppsprekninger i

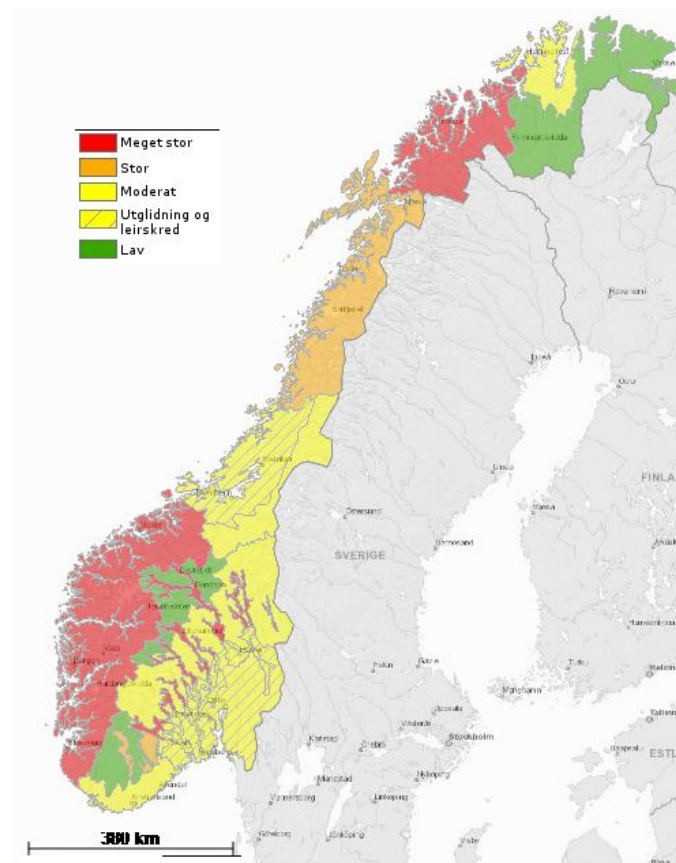
sidene. Disse faktorene har i noen områder gitt ustabile skråninger utsatt for skred.

I Norge er skred den geofaren som har ført til størst konsekvenser både økonomisk og i tap av menneskeliv. Det er registrert 3500 skred i Norge, men ikke alle skred registreres. Disse skredene har ledet til et tap av over 4000 menneskeliv.

Norges topografi, løsmassedekke og meteorologi gjør landet utsatt for skredhendelser. Skred deles inn i fjellskred, snøskred og løsmasseskred. Fjellskred opptrer oftest på Nordvestlandet og i Nord-Norge, snøskred i bratte områder i hele landet og løsmasseskred i bratt terreng med løsmassedekke i hele landet.

Som en kan se i figur 3.4 er det særlig langs kysten løsmasseskred kan inntreffe. Dette skyldes dype daler med bratte skråninger dekket med løsmasser.

Områdene på Østlandet og rundt Trondheim har en flatere topografi. Her er kvikkleireskred en risiko.



Figur 3.4: Figuren viser til hvilken grad ulike deler av Norge er utsatt for løsmasseskred. Fra Xgeo.no.

3.2 Data

3.2.1 Nedbørdata

Stasjonsdata

Nedbørdata fra Meteorologisk Institutt sine målestasjoner er hentet inn fra Xgeo.no. Dette er nedbørverdier i form av punktverdier. De akkumulerte nedbørverdiene kommer på 1t og 24t format. Begge deler er benyttet i denne oppgaven (se tab. 3.2). 24t verdiene er akkumulert mellom 06:00 og 06:00 UTC, som tilsvarer 08:00 til 08:00 Norsk sommertid. På grafsiden i Xgeo er de oppgitt med et tidsformat på UTC + 1. Dataen kan lastes ned fra eklima.met.no og Xgeo.no.

Skred	Stasjonsnavn	Stasjonsnr.	X-koord.	Y-koord.	Tidsoppløsning
Bøskreda	Øvre Årdal	5478	115926	6818641	24t
	Skjolden	55300	106938	6840391	24t
	Lærdal IV	54110	96414	6797467	1t
	Filefjell	54710	130042	6802132	1t
Byrkjenes	Tyssedal	49351	31489	6694664	24t
	Ullensvang Forsøksgård	49490	39787	6716085	1t
Tromsskredene	Lyngen	91150	697896	7728233	24t
	Skjervøy	91725	726922	7780691	24t
	Sørkjosen	91740	729298	7753510	24t
	Nordnesfjellet	91500	684047	7717211	1t
Eresfjord	Eresfjord	61820	147179	6966959	24t
	Øksendal	63100	163649	6967728	24t
	Marstein	61420	130785	6944347	1t
Sunndalen	Hafsås	63530	190156	6945406	24t
	Ångårdsvatnet	63580	203035	6962288	24t
	Storligrenda	63583	198295	6964870	1t
Sætenes	Sygna	56780	5042	6836308	24t
	Hovlandsdal	56520	-12309	6826246	24t
	Fureneset	56420	-32045	6836094	1t

Tabell 3.2: Oversikt over hvilke målestasjoner som er benyttet til verifisering av nedbørdata. Verdier er lastet ned fra Xgeo.no.

Interpolerte nedbørdata, 3t og 24t

Rasterdataen med de interpolerte nedbørverdiene ble utlevert fra NVE i en ascii-formatert tekstfil. Celleverdiene ligger her i en kolonne og cellene må struktureres med en prefiks. Dette forklares i vedlegg A. Det ble utlevert én fil per skreddato med 24t nedbør samt for datoen før og etter skreddatoen. Det ble og utlevert én fil per hvert 3t intervall for hver skreddato og datoen før og etter. Tidsformatet på filene er UTC slik at 06:00 vil tilsvare 08:00 norsk sommertid.

24 timersdataene er tilgjengelig fra

<http://thredds.met.no/thredds/catalog/senorge/seNorge2/archive/PRECcor1d/catalog.html>.

3 timersdataene er mottatt fra met, men er også tilgjengelig fra

<http://thredds.met.no/thredds/catalog/senorge/seNorge2/archive/PREC3h/catalog.html>.

Nedbørdataene baserer seg på verdier registrert ved målestasjoner. Mellom målestasjonene interpoleres nedbørverdiene. Dataene har en oppløsning på 1x1 km hvor hver celle får en tilegnet verdi. Den romlige plasseringen er bestemt etter koordinatsystemet WGS84, UTM33.

Interpolasjonsmetoden som er benyttet for å estimere nedbørmengder mellom målestasjoner i senorge versjon 2.0 datasettene, er utviklet av Lussana et al. (2018). Metoden baserer seg på optimal interpolering og suksessiv korleksjon. Optimal Interpolering (OI) kombinerer bakenforliggende kunnskap med faktiske målinger.

Den bakenforliggende kunnskapen er estimert fra stasjonsmålinger over tid. Her skiller metoden seg fra den tradisjonelle optimale interpoleringsmetoden som brukes i metreologi, ved at denne benytter atmosfærisk modellering for å bestemme den bakenforliggende informasjonen. In-situ målinger gjort i målestasjonene kombineres for å gi et mer presist bilde av situasjonen for gjeldende tidspunkt.

Mangelen på in-situ-fri bakgrunnsinformasjon gjør at en metode basert på suksessiv korleksjon benyttes. Denne metoden går fra grov til fin skala. Tilleggsinformasjon i form av høyde samt lengde- og breddegrad har også blitt tatt hensyn til her.

Både 3t og 24t datasettene estimeres ved denne metoden. For 3t er inndata 1t verdier fra målestasjoner, 24t interpolert datasettet og 3t interpolert real timedatasett. Real timedatasettet er også interpolert med samme metode og bruker 1t verdier fra målestasjoner som inndata.

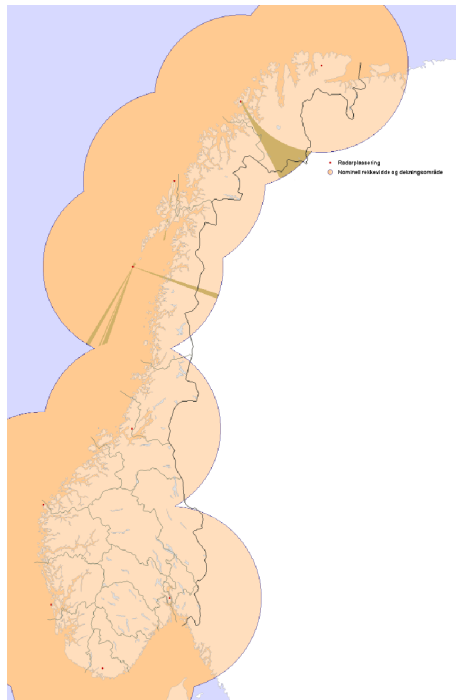
24t datasettet bruker akkumulert 24t nedbørsmålinger som inndata.

Værradar 1-times nedbørdata

Noe værradardata ble mottatt fra NVE, mens noe ble lastet ned fra thredds.met.no/thredds/catalog/remotesensingradaraccr/catalog. Alle datasett for værradar var på netCDF-format. Det ble utlevert eller lastet ned én netCDF-fil per skreddato samt datoen før og etter. Hver fil inneholder prosentvis blokkering av radarsignalet og nedbørverdier per time for gitt dato. For å finne 24t nedbør måtte derfor verdier fra 06:00 på skreddatoen til 06:00 på skreddatoen +1d legges sammen. Tidsformatet er UTC.

Værradardataen har en romlig oppløsning på 1x1 kilometer hvor hver celle har en tilegnet verdi. Den romlige plasseringen er bestemt etter koordinatsystemet WGS84, UTM33.

Det er 11 radarstasjoner plassert rundt om i Norge som produserer data og med disse stasjonene er radardatainnsamlingen mer eller mindre landsdekkende (se fig. 3.5). I Norge brukes C-bånd Doppler-radar. Dopplereffekten brukes for å bestemme hvilken retning nedbøren har ved hjelp av faseskift mellom utsendt og mottatt signal.



Figur 3.5: Oversikt over de 11 værradarene som dekker fastlandsnorge og kysten. Dekningsområde med 240 km dekningsgrense er markert i beige. Områder som opplever full blokkering av signal, eller ikke er dekket er markert i gult. Hentet fra (Bye, 2013).

Refleksjonsverdiene værradaren produserer blir bearbeidet av MET til nedbørverdier ved bakkeplan.

Først fjernes støy og refleksjoner fra objekter som ikke er nedbør. Deretter blir det bestemt om refleksivitetsverdiene stammer fra stratiform eller konvektiv nedbør slik at Vertikal Profil for Reflektivitet (VPR) kan dannes. MET bruker så lavest PPI (Plane Position indeks), som er 1° i azimutisk og 250 meter i radiell oppløsning, til å projekte refleksjonsdataene fra ulike høyder til referansehøyden på 1 kilometer over jordoverflaten. Når dette gjøres tas det også høyde for refleksjonsforskjeller med høyde (vertikal atmosfærisk profil) samt lyst båndfeil (bright band). Refleksjonsverdiene transformeres så til nedbørverdier ved bruk av et ZR-forhold etablert av Marshall (1948). Nedbørverdiene er som nevnt stillbilder tatt hvert 15 minutt og en akkumulert verdi blir beregnet for 1t verdier. En ytterligere forklaring av MET sin metode følger under.

KORREKSJON FOR SIGNALDEMPING

Fordi reflektert radarsignal fra regnbyger brukes til å anslå nedbørsmengde vil nedbør i skyggen av fremforliggende nedbør være mindre synlig. Dette er særlig gjeldende ved intens nedbør og blir således et viktig moment når det er snakk om bygehendelser.

$$Z(r) = \frac{Z_m(r)}{\left[1 - \frac{2 \ln 10}{10d} \int_0^r \left(\frac{Z_m(s)}{c}\right)^{1/d} ds\right]^d} \quad (3.1)$$

Hvor $Z(r)$ er sann reflektivitet og $Z_m(r)$ målt reflektivitet. Parameterne c og d gir en sammenheng mellom reflektivitet og spesifikk demping.

OMDANNING FRA POLARE TIL KARTESISKE KOORDINATER PÅ BAKKEPLAN

Polare koordinater defineres av avstand fra origo og vinkel fra x-aksen, hvor origo er værradaren. Kartesiske koordinater defineres i et grid med X- og Y-akse. Da polare koordinater vil ha en høyere tetthet av celler med verdier jo nærmere en er origo, er en arealvekting gjort på refleksjonsverdiene. Denne metoden vekter de polare cellene etter hvor stor andel av de kartesiske cellene de dekker (Abdella og Engeland, 2013)

Refleksjonsverdiene måles i en gitt høyde over bakken og må konverteres til bakkenivå. Dette er gjort ved å anta en standard atmosfærisk modell. Her gjør atmosfærens refraksjon av signalet at radarsignalet bue omtrent tilsvarer 4/3 av jordens kurvatur.

Hvordan signalet refrakteres i atmosfæren styres til en viss grad av lufttemperaturen.

Z-R KONVERTERING

Et Z-R forhold utviklet av Marshall (1948) blir brukt. Reflektivitetsverdiene blir transformert til nedbørsintensitetsverdier ved likning 3.2

$$Z = aR^b \quad (3.2)$$

Hvor Z er reflektivitetsfaktoren (mm^6m^{-3}) og R er nedbørintensiteten (mmh^{-1}). a og b er parametere gitt av dråpestørrelsesfordelingen og varierer med nedbørstypen (Abdella og Engeland, 2013). Parameterne benyttet er $a = 200$ og $b = 1,6$ (Marshall, 1948). Disse parameterne har det med å bli brukt uavhengig av klimaregion. Da de er knyttet til regndråpestørrelsen avhenger de av nedbørtype og nedbørfase. Dette bringer med seg en usikkerhet i metoden (Sivasubramaniam et al., 2019).

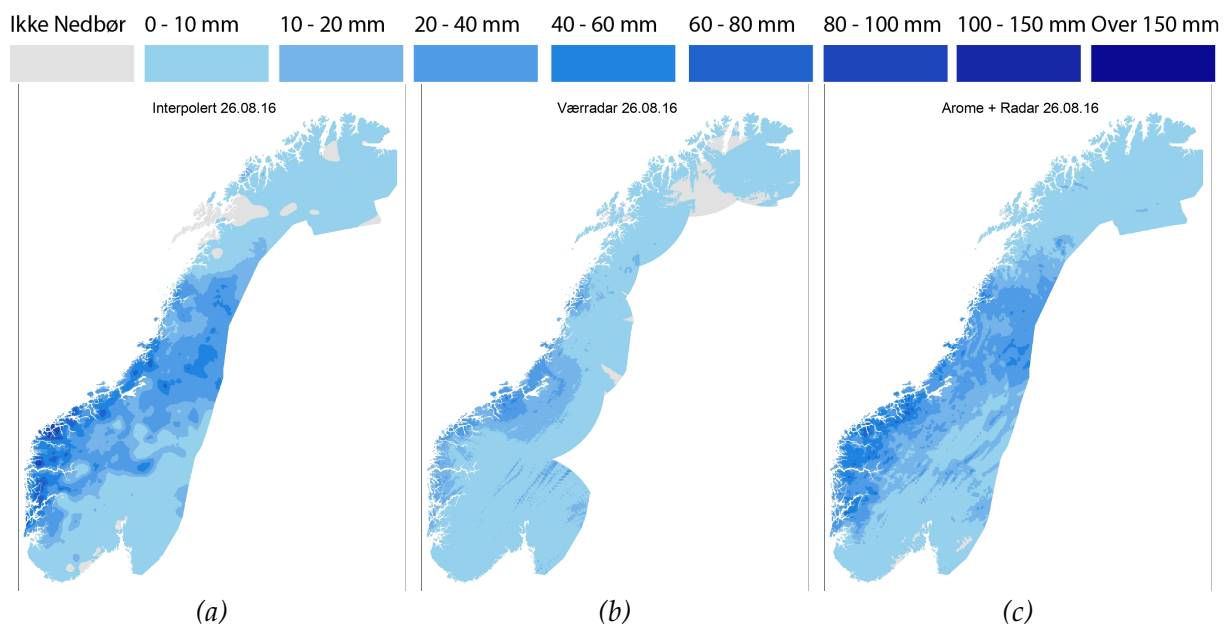
MetNordic 1-times nedbørdata

Nedbørdataen fremstilt med prognosemodell i kombinasjon med værradardata ble mottatt NVE i en ascii-formatert tekstfil. Samme beskrivelse som i seksjon 3.2.1 gjelder. Filene kom dog som 1t verdier med én fil per time.

Metnordic er et produkt som kombinerer en værvarslingsmodell med in-situ målinger. Arome er en numerisk værvarslingsmodell som gir et estimat av værsituasjonen. Denne dataen kombineres med in-situ målinger i form av værstasjoner, både offisielle og personlige, samt værradardata. Nedbørproduktet er i testfasen (Nipen, 2018).

Ut-dataen fra Arome kommer med en 2,5 kilometer romlig oppløsning og må således nedskaleres til 1 kilometer oppløsning. Dette gjøres ved nærmeste nabo nedskalering. In-situ målingene brukes så til en bias-korrigering av verdiene.

Optimal Interpolasjon brukes for å kombinere de ulike dataene, hvor den nedskalerte modellerte dataen går inn som bakgrunnsverdi (Kristiansen, 2018).



Figur 3.6: 24 timer nedbørdata fra de tre ulike datasettene for den 26.08.16 for å illustrere hvordan datasettene ser ut landsdekkende. Det interpolerte datasettet og MetNordic-datasettet har større likheter seg imellom enn de har med værradardatasettet. Dette er særlig rundt fjellene sør-vest i Norge. Disse datasettene er fra før Hafjell-radaren ble operasjonell og en bedre dekning av disse områdene fra værradar vil nok oppleves nå.

3.2.2 Skreddata

Skreddatabase

Alle skredene som er registrert i norsk skreddatabase ble mottatt i en geodatabase som feature datasett med punktmarkeringer. Punktmarkeringene er plassert med x- og y- koordinater. De inneholder informasjon om type skred, tidspunkt for skred og usikkerhet knyttet til dette. Noen inneholder også en kort beskrivelse. Det er gjerne usikkerheter knyttet til skredtype, tidspunkt og plassering.

Annen skredinformasjon

Ulike eksterne kilder er benyttet for å innhente ytterligere informasjon om skredhendelsene, både i form av bilder og beskrivelse. Disse kildene omfatter norgebilder, Google Streetview, media og kontakt med NVEs regionskontor for de ulike skredhendelsene.

NORGEIBILDER

Rektifiserte og ortorektifiserte flybilder er tilgjengelig på <https://www.norgebilder.no/>. Fotoene er definert etter koordinatsystemet ETRS89, både UTM32 og UTM33. Fotoen tas gjerne med noen års mellomrom.

GOOGLE STREETVIEW

Google streetview er en fremstilling av omgivelsene ved panoramabilder på gatenivå. Bildene er knyttet til geografisk plassering ved GPS.

MEDIA

Nasjonale og lokale aviser hvor skredhendelsene har blitt omtalt har blitt brukt som kilde for foto og skred- og værbeskrivelse.

KONTAKT MED REGIONSKONTOR

Foto og skredbeskrivelse gjort under befaring av Kjosenskredet av Odd-Arne Mikkelsen fra NVE ble oversent fra region Nord.

Hydmet-indeks

Hydmet-indeks brukes til skredvarsling ved jordskredvarslingen til NVE. Indeksen er delt inn i fire aktsomhetsnivå. Aktsomhetsnivået gis basert på relativ vannmetning i

jord og relativ vanntilførsel.

Hydmet-indeksen ble ulevert fra NVE som en ascii-formatert rasterfil. Rasterdataen har en oppløsning på 1x1 kilometer.

Den mottatte Hydmet-indeksen er den observasjonsbaserte. Det vil si at den er estimert tilbakevirkende med registrerte nedbørverdier.

Indeksen er oppgitt fra 06:00 - 06:00 UTC slik at Hydmet-indeksene som er vist under resultater er hentet fra datoen etter skreddatoen.

Beregningen av indeks finnes i vedlegg B.

Kapittel 4: Metoder

4.1 Metode

4.1.1 Valg av skredhendelser

For å velge ut skredhendelser som var antatt utløst av bygenedbør ble først et årsintervall, hvor det var ønskelig å gå gjennom skredhendelser bestemt. I dette tilfelle ble årene 2013 - 2016 valgt. For å begrense utvalget ytterligere ble månedet med typisk høy bygeaktivitet studert. Dette er månedene juni, juli og august. For disse tre månedene og for hvert år mellom 2013 - 2016 ble så ekspertverktøyet xgeo brukt til å finne datoer hvor det var registrert skredhendelser og nedbøren over Norge hadde bygestruktur. I xgeo ble det under hendelsesdata krysset av for flomskred, jordskred, leirskred, løsmasseskred uspesifisert og utglidning under nasjonal skreddatabase samt jordskred under regOps og Vegmeldinger. Under arealdata ble nedbør brukt for å identifisere bygehendelser. Her ble både 24t og 3t nedbør sett på.

Skredhendelser som sammenfalt med bygestrukturer ble notert i en liste. Skredbeskrivelsen i regops ble så brukt blandt disse hendelsene til å velge ut skredhendelsene hvor kortvarig, intens og lokal nedbør beskrives.

I alt ble syv skredhendelser valgt. Av disse ble en utelatt fra analysen. Skredhendelsen funnet i Trøndalag den 15.06.13 var det umulig å finne andre kilder enn registreringen i skreddatabasen for. Topografiske kart viser heller ikke noe typisk skredterreng der hendelsen er registrert. Hendelesen ble derfor utelukket fra analysen da det var vanskelig å validere og presist stedfest skredhendelsen.

Validering av skredhendelsepunkter

Skredpunktene som registreres i skreddatabasen har ikke alltid koordinater som stemmer. Skredpunktene registreres gjerne av Statens veivesen og noen ganger basert på kilder uten feltbefaring. Dette gjør at skredet ofte er registrert der det har kommet ut i veibanen. I andre tilfeller er skredet kun registrert et vilkårlig sted langs veien det har gått. Skredplasseringen kan også være helt feil. I tilfellene hvor kilder brukes uten feltbefaring, brukes gjerne topografi og prior kunnskap til å finne det mest sannsynlige skredpunktet basert på opplysningene i kildene. I tillegg registreres ofte flere skredhendelser i samme område kun som ett.

Da denne oppgaven tar for seg skredutløsende nedbørverdier er det viktig å finne utløsningspunktet for skredhendelsene. Koordinatene til skredhendelsene er derfor blitt validert. Der det har vært nødvendig har punktene blitt flyttet på og flere punkter har blitt lagt til. Valideringen har blitt gjort ved å oppdrive bilder og beskrivelser av skredhendelsene fra Xgeo og lokalaviser. De ulike regionene skredene gikk har blitt kontaktet for å ekstra informasjon der dette har vært tilgjengelig. For skredhendelsene i Troms har dette vært mottatt.

Foto og beskrivelser har så blitt satt i sammenheng med topografiske kart og flyfoto fra Norgebilder. Flyfotoene har et arkiv som gjør at en kan se foto fra ulike år. Her kan en spore endringer i terrenget mellom de ulike årene. Setter en dette i sammenhenge med registrerte skred i tidsrommet mellom årene fotoene er tatt, og informasjon og bilder fra ulike kilder kan en plassere skredhendelsene.

Google streetview er også benyttet for skredvalidering. Sætenesskredet var plassert på en lokalitet som ikke samsvarte med foto og beskrivelser funnet i media. Google streetview og foto fra lokalavisa ble så brukt til å finne riktig plassering.

Informasjonen mottatt fra geologer som har gjort feltbefaring har vært den mest troverdige kilden. Her har det vært både foto, god beskrivelse og god plassering av skredhendelser. Men heller ikke her har det vært en presis plassering av utløsningspunkter. Norgebilder har vært det mest nyttige verktøyet i valideringsprosessen da en kan se før- og etterbilder og bruke sår i terrenget til å identifisere nye skredhendelser.

4.1.2 Prosessering av GIS-data

Arcmap er et romlig analysprogram. Programmet gir muligheten til å visualisere data tilknyttet geografiske koordinater og gjøre analyser på dataene.

I denne oppgaven har Arcmap blitt brukt til å visualisere nedbørdata over og rundt de seks utvalgte skredhendelser.

Skredplassering

Den nasjonale skreddatabasen er blitt lastet inn i Arcmap og de seks skredhendelsene har blitt eksportert ut i et eget lag. Med dette laget følger en tabell, som blandt annet inneholder koordinatene til de registrerte skredhendelsene. Koordinatene er flyttet og noen koordinater er lagt til ut i fra hva som ble funnet i skredvalideringen (4.1.1). Utløsningspunktene er markert som punkter i Arcmap.

Fra utløsningspunktene er det tegnet polygoner der antatt skredløp har gått. Skredløp og utløpsområde er bestemt på bakgrunn av topografi og foto.

Interpolert, Værradar og MetNordic nedbør

Gridede nedbørdata kom på ascii- eller NetCDF-format. Dataene ble importert inn i ArcMap. En skrittvis gjennomgang av forløpet for interpolering og bearbeiding av dataene finnes i vedlegg A. Dataen fra værradar og MetNordic ble akkumulert til 3 timersverdier og 24 timersverdier. 24 timersverdiene med tidsintervall fra 06:00 - 06:00 UTC. Dette ble gjort for å kunne sammelikne med 3 og 24 timersverdiene fra de interpolerte datasettene.

Skredutløsende nedbørverdier

Utløsningspunktene (4.1.2) ble jamført med de gridede nedbørdataene (4.1.2). Nedbørverdien i cellene som dekket utløsningspunktet ble trukket ut og plotet.

Hydmet-Indeks

For å sammenlikne utslaget de ulike dataproduktene sine nedbørestimat gjør på Hydmet-indeksen er det blitt beregnet Hydmet-verdi for 24 timesverdien til de tre

ulike dataproduktene.

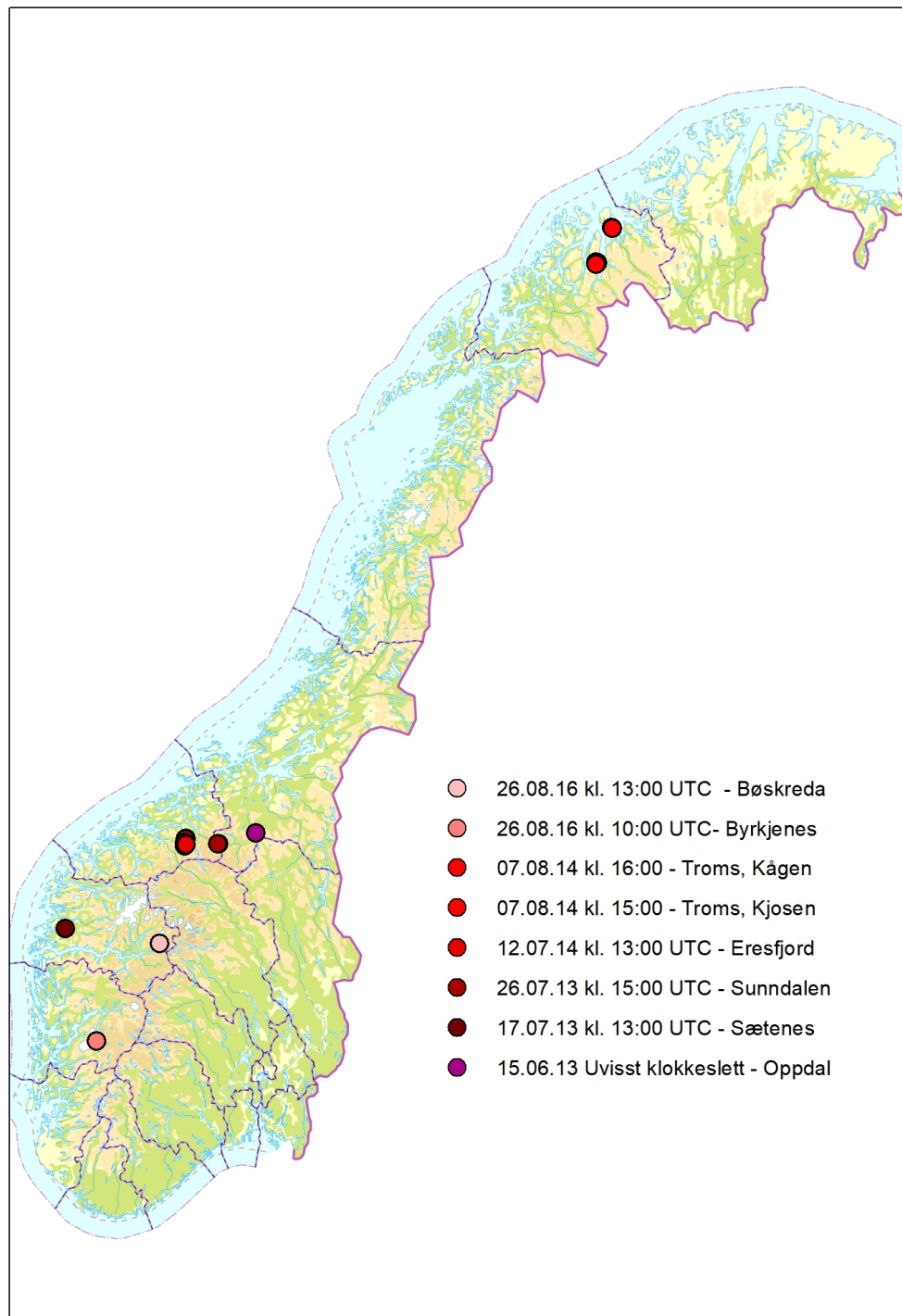
Ingen av skredhendelsene opplevde snøsmelting for skreddatoen så 24 timesnedbør er brukt som vanntilførsel. Gjennomsnittlig årsnedbør for skredområdene er hentet fra SeNorge Klima. Årsnedbøren er oppgitt i et intervall og for hvert skred er det beregnet en indeks for maksimum- og minimumverdien. Indeksen er også beregnet for det interpolerte datasettet.

Jordas relative vannmetningsgrad er hentet fra Xgeo.

Kapittel 5: Resultater

5.1 Skredhendelser

Syv skredhendelser som er antatt utløst av bygenedbør er valgt ut. Under følger en oppsummering over disse skredene fra yngst til eldst (se fig. A.1). For hver hendelse beskrives, defineres og analyseres skredene, og NVE sin varsling utstedt i forkant av hendelsene. Nedbørverdier hentet fra tre ulike datakilder blir presentert. Disse dataene, som beskrives i 3.2.1, er interpolering mellom nedbørstasjoner (SeNorge2), transformering av refleksjonsverdier fra værradar (Radarnedbør) og en kombinasjon av arome-modellen og radardata (MetNordic). Data innhentet fra målestasjonene nærmest liggende skredhendelsene i form av akkumulert 3-timers og 24-timers nedbør blir også presentert. Hydmet-indeks og prosentvis blokkering av radarstråle blir vist frem grafisk for samme 101x101km grid som for nedbørverdiene. Nedbørprofil på timestkalaen blir presentert for radarnedbør og MetNordic (der MetNordic er tilgjengelig).

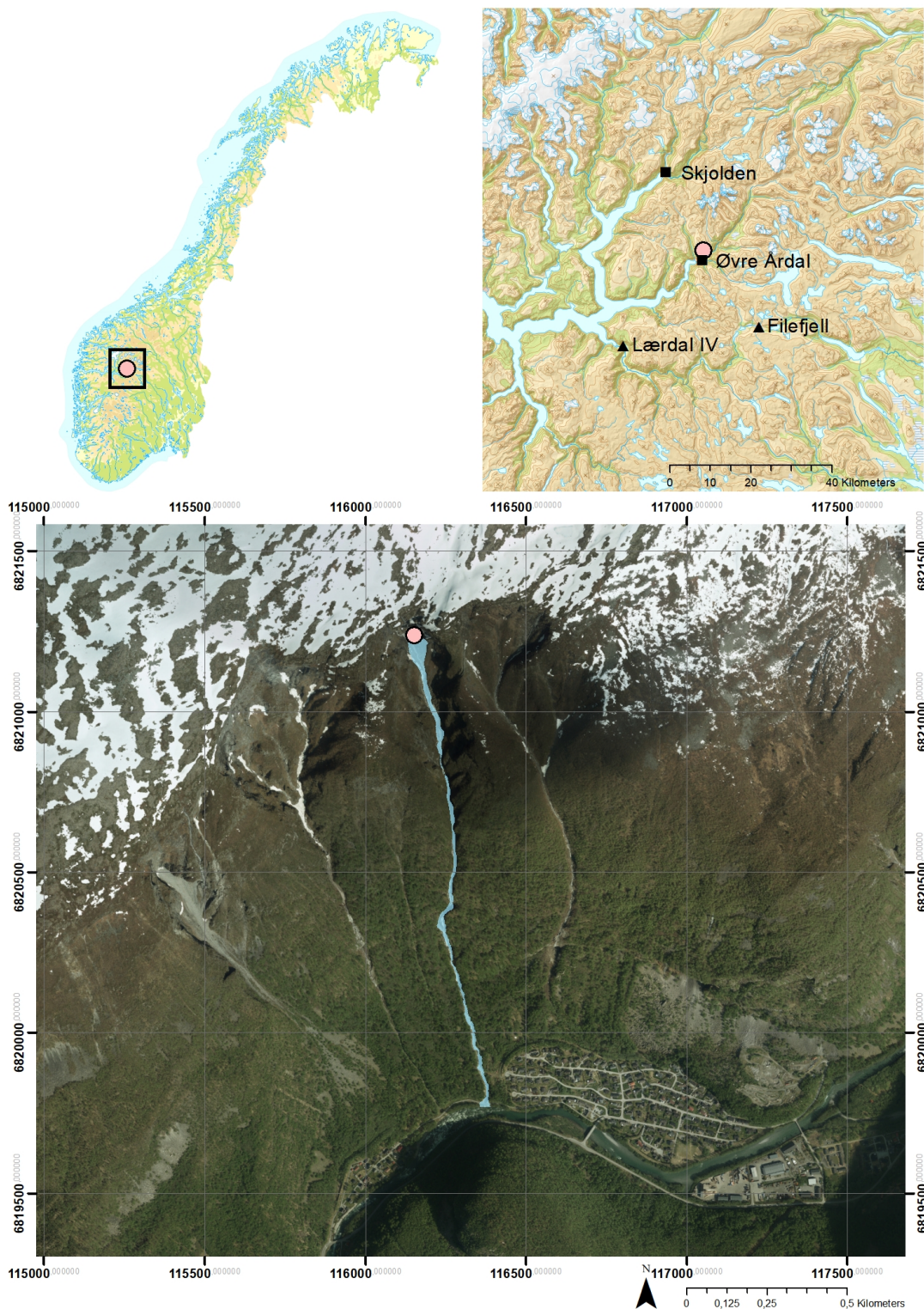


Figur 5.1: Oversiktskart over skredhendelsene knyttet til de syv utvalgte bygesystemene. I Troms gikk det skred ved to ulike lokaliteter knyttet til samme bygesystem. I de fleste tilfeller var det også flere skredhendelser ved hver lokalitet.

Av de syv skredhendelsene som er valgt ut er to lokalisert i Nord-Norge. Disse to er dog knyttet til samme bygesystem. De resterende seks ligger i Sør-Norge, hvorav fire

hendelser ligger på Vestlandet og èn i Midt-Norge. Fordelt på fylker har to hendelser funnet sted i Troms, to i Møre og Romsdal, to i Sogn og Fjordane, èn i Hordaland og èn i Trøndelag. Hendelsen i Trøndelag er utelatt fra analysen da det som nevnt tidligere ikke har vært mulig å finne spor etter skredet 4.1.1.

5.1.1 Bøskreda



Figur 5.2: Oversiktskart over skredhendelsen ved Bøskreda. Målestasjoner som registrerer nedbør er vist i øvre høyre figur: ■ 24t nedbør ▲ 1t nedbør. Skredløp og utløpsområder markert i lys blått. Skredet gikk 26.08.16 kl. 13:00 UTC og var flomskred. Flyfoto fra norgebilder.

Skredbeskrivelse

Bøskreda ligger ved Øvre Årdal i Utladalen, Sogn og Fjordane. Skredet her gikk fredag 26.08.2016 rundt klokken 15:00 (13:00 UTC). I RegObs og i avisa porten.no er det beskrevet store mengder regn før skredhendelsen, med særlig mye nedbør i tidsrommet 12 til 14 (10 til 12 UTC) til . RegObs beskriver også et bygesystem som har passert området rundt skredtidspunktet.

Det har gått ett skred her, knyttet til denne hendelsen. Skredet har krysset en gang- og sykkelvei, men ifølge beredskapslederen er det små materielle skader på infrastrukturen.

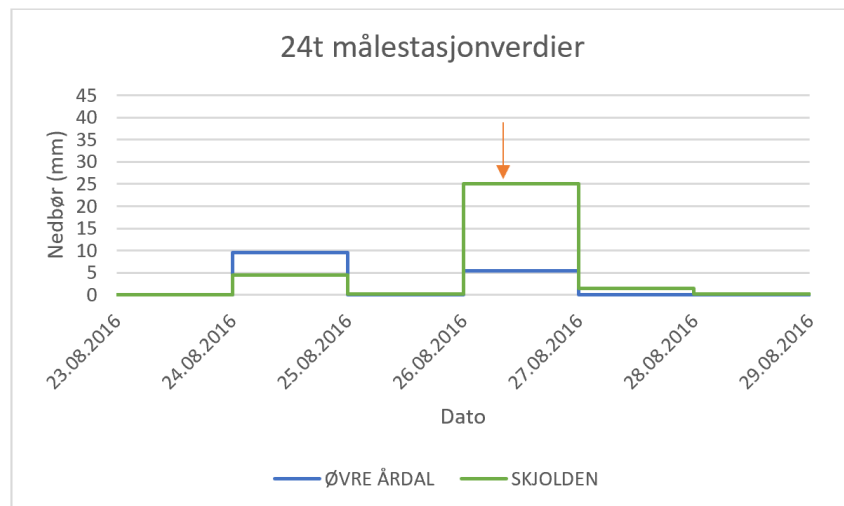
Norgebilder viser en dalside med flere tidligere skredløp hvor 2016-skredet har gått i det midterste løpet (fig. 5.2). Dette løpet er også et bekkefar. Bilder tatt like etter skredhendelsen viser at det har vært mye vann tilstede (se fig. 5.3a). De fineste kornstørrelsene er vasket ut og tilbake ligger kun størrelser på grus og større. Skredløpet med utløsningsområde og skredutløp er ca. 1,5 kilometer. På regObs beskrives skredet som et flomskred.

NVE utstedte grønt varsel.



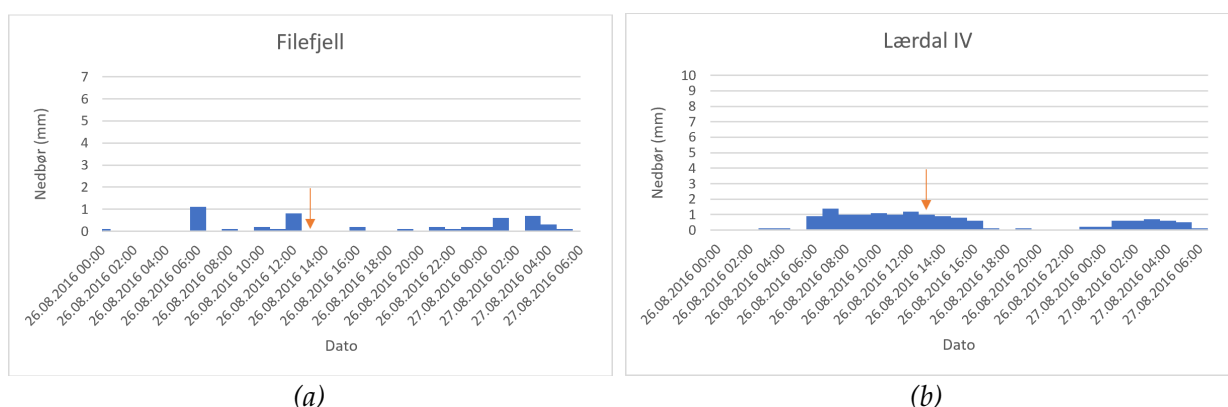
Figur 5.3: Foto tatt like etter skredhendelsen i Bøskrea. Det er fremdeles mye vann tilstede. Foto fra RegObs Bjørn Indrebø.

Målestasjonene synlig i 5.2, Øvre Årdal og Skjolden, måler 24 timers akkumulert nedbør. Disse to stasjonene, har som en kan se i tabell 5.1, en avstand fra skredhendelsen på henholdsvis 2,6 og 21,2 kilometer. Filefjell og Lærdal IV måler 1 times nedbørverdier. Disse målestasjonene har en avstand på 23,6 og 31 kilometer til utløsningspunktet.



Figur 5.4: 24t nedbørverdier registrert ved Øvre Årdal og Skjolden målestasjon. Skredet ble utløst 26.08.16 kl. 13 UTC, som er markert med oransje pil. Hver verdi er akkumulert mellom kl. 06:00 d og 06:00 d+1 UTC, slik at hver datomarkering i figuren er kl. 06:00. Øvre Årdal er den nærestliggende stasjonen. Plasseringen kan sees i 5.2, avstand i tabell 5.1.

Målestasjonene som registrerer 24 timers akkumulert nedbør registrerer fra 06.00 til 06.00 UTC. Dette gjør at ønsket dag +1 er mest representativ for ønsket dag. Det gjør også at skredtidspunktet blir viktig. Skredtidspunktet for Bøskreda var den 26.08.16 omtrent klokken 13 UTC. Grafen for den 27.08.16 blir dermed den som gir verdier for skredtidspunktet. Både Øvre Årdal og Skjolden viser høyere nedbørverdier for den 27. august enn dagen før og dagen etter. Øvre Årdal, som er stasjonen som ligger nærmest viser dog betydelig lavere verdier enn Skjolden. Her viser stasjonene henholdsvis 5,5 og 25 millimeter nedbør.



Figur 5.5: Filefjell (a) og Lærdal IV (b) er de målestasjonene nærmest skredhendelsen som registrer timesnedbør. Skredhendelsen inntraff 26.08.16 kl. 13.00 UTC og er markert med oransje pil. Alle klokkeslettene er oppgitt i UTC.

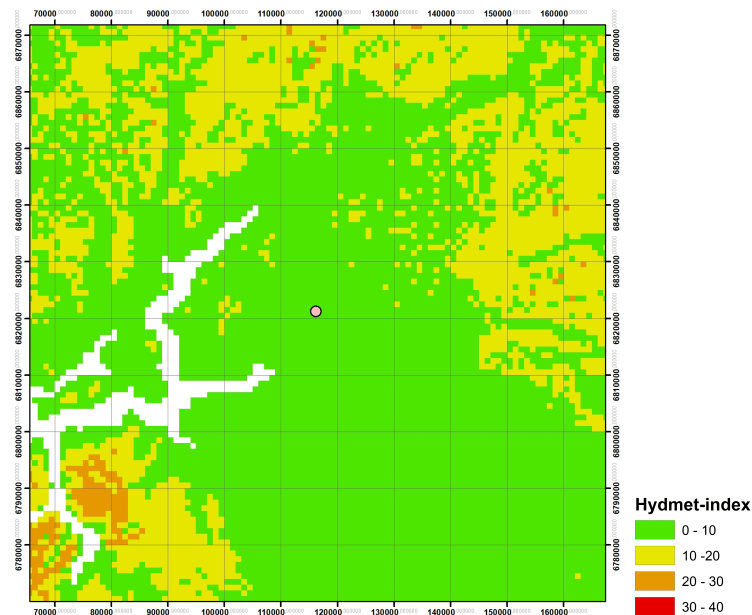
For timesnedbør er det den aktuelle dato og time som gjelder. Filefjell viser generelt

lave timesverdier for 26. august. Verdiene ligger jevnt over på 0-0,2 millimeter per time med unntak av klokken 08 hvor nedbøren er på 1,1 millimeter og klokken 14 hvor den er på 0,8 millimeter. Lærdal IV viser høyere timesverdier. I tidsrommet 08 til 16 er det registrert nedbørverdier på mellom 0,9 og 1,4 millimeter. For klokken 14 og klokken 15 viser Lærdal IV 1,2 og 1,0 millimeter.

Målte nedbørverdier (mm)				
Stasjonsnavn	Øvre Årdal (24t)	Skjolden (24t)	Filefjell (1t)	Lærdal IV (1t)
Avstand (km)	2.6	21.2	23.6	31
kl. 09 - 11	-	-	0.1	3.4
kl. 12 - 15	-	-	1.1	3.3
kl. 15 - 17	-	-	0	2.7
kl. 18 - 20	-	-	0.2	0.7
24t	5.5	25	2.9	11

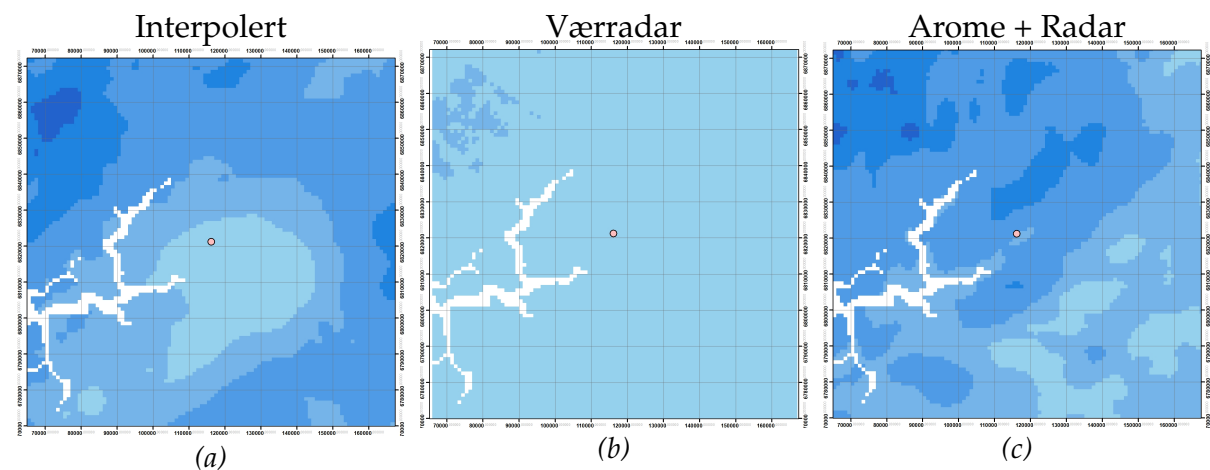
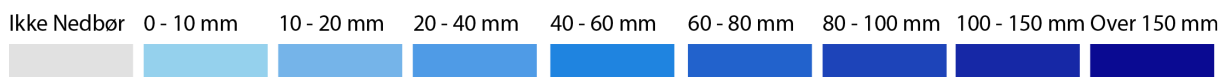
Tabell 5.1: Registrerte nedbørverdier for de nærmestliggende målestasjonene til skredet som gikk i Bøskreda. Målestasjonenes navn og avstand til løsnepunktet (km) finnes i de to øverste radene. Akkumulert 3t nedbør er gitt for Filefjell og Lærdal IV mens akkumulert 24t nedbør er gitt for Øvre Årdal, Skjolden, Filefjell og Lærdal IV. 3t intervall er oppgitt i venstre kolonne. Skredet gikk kl. 13:00 UTC.

Øvre Årdal målestasjon, som kun ligger 2,6 kilometer fra utløsningspunktet i Bøskreda har registrert 5,5 millimeter som akkumulert 24 timers nedbør. Skjolden som ligger 21,2 kilometer unna har registrert 25 millimeter nedbør. De nærestliggende målestasjonene som registrerer timesnedbør har for tidrommet skredet gikk (12 - 15 UTC) registrert 3 timesnedbør på 1,1 (Filefjell) og 3,3 millimeter (Lærdal IV). For tretimerintervallet før skredet har stasjonene også registrert lave verdier med henholdsvis 0,1 og 3,4 millimeter.



Figur 5.6: Hydmet-indeks for Bøskreda gjeldene for skreddatoen 26.08.16. Figuren er 101x101 kilometer med en cellestrørrelse på 1x1 kilometer. Gridet som dekker figuren er 10x10 kilometer.

Figur 5.6 viser grønt nivå for skredet i Bøskreda. Vest, nord og øst for skredet viser hydmet-indeksen gule forhold, i store felt. Dette er omtrent 20 kilometer fra skredet. Sørvest for Bøskredaskredet er hydmet-indeksen på oransj nivå, dette er omtrent 30 kilometer fra skredhendelsen.



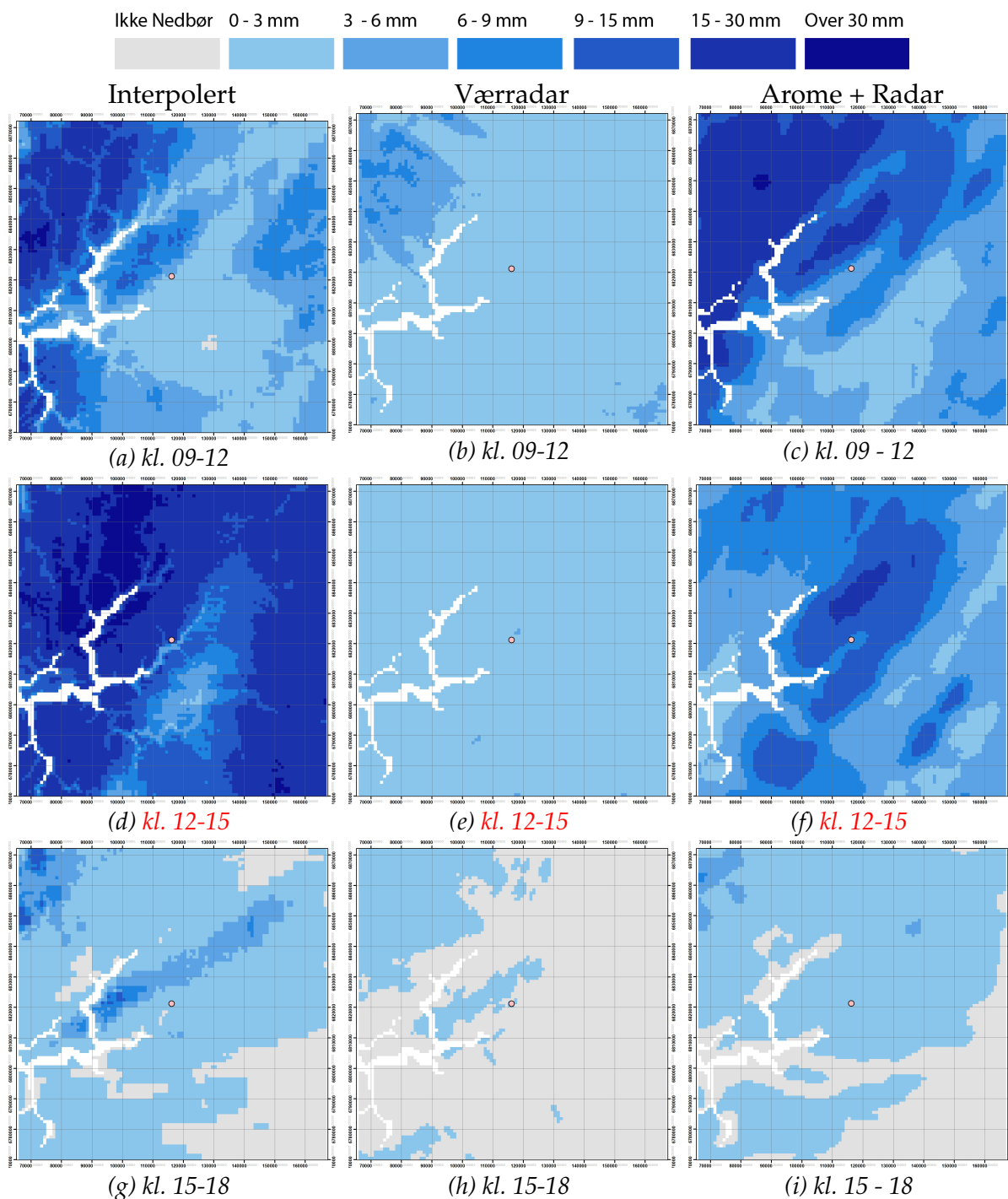
Figur 5.7: 24t nedbørverdier for Bøskreda. (a) Interpolerte verdier. (b) Verdier fra værradar. (c) Verdier fra MetNordic. Figuren er for skreddatoen 26.08.16. Skredet gikk kl. 13 UTC. Gridene dekker et område på 101x101km over utløsningspunktet i Bøskreda med en oppløsning på 1x1km. Det er 10km mellom hver koordinatmarkering i figurene

For 24 timers nedbør viser verdiene beregnet ved interpolering mellom målestasjoner

større variasjon innad i utsnittet enn verdiene beregnet ved transformering av refleksjonsverdier fra værradar. De høyeste interpolerte verdiene ligger rundt skredhendelsen. De høyeste verdiene ligger nordvest i utsnittet med en verdi mellom 80 og 100 millimeter. Rundt skredhendelsen ligger den estimerte nedbørmengden på mellom 0 og 10 millimeter med en verdi på 6,4 millimeter i utløsningspunktet. Den interpolerte verdien for Øvre Årdal målestasjon er 5,9 millimeter.

Nedbørverdiene som er beregnet fra værradardata er svært homogene. Med unntak av et område nordvest i utsnittet, med verdier på mellom 10 og 20 millimeter, gir værradaren nedbørmengder på mellom 0 og 10 millimeter. I utløsningspunktet er nedbørmengden 2,56 millimeter mens den over Øvre Årdal målestasjon er estimert til 1,32 millimeter.

MetNordic viser et mer variert nedbørbilde med noen celler med større intensitet. Den mer intense nedbøren ligger i nordvest. Det er høyere nedbørverdier rundt utløsningspunktet enn rett over. I utløsningspunktet er nedbørmengden 20,7 millimeter.



Figur 5.8: 3t nedbørverdier den 26.08.16. Venstre kolonne viser interpolert nedbør, midtre kolonne viser værradar og høyre kolonne viser en kombinasjon av Arome-modellen og værradardata. Skredhendelsen gikk i 3t intervallet 12 - 15 som er markert med rød skrift.

3 timers nedbør for Bøskreda fra interpolering, værradardata og MetNordic gir ulike bilder. De interpolerte nedbørmengdene viser en tiltagende nedbørintensitet fra klokken 09 til 18 i hele utsnittet. Figur 5.8a viser høyest nedbørmengder i vest og nordvest med verdier opp mot over 30 millimeter. I ultøsningspunktet er det mellom 0 og 3 millimeter med høyere verdier like nordvest. De høyeste nedbørverdiene

for utsnittet finnes i figur 5.8d. Her ligger verdiene på mellom 15 - 30 millimeter gjennom nær hele utsnittet. Rett syd for utløsningspunktet er det en lomme hvor verdiene synker ned til 0 - 3 millimeter nedbør. Høyest verdiene ligger nordvest for utløsningspunktet. Her er nedbørmengden over 30 millimeter. For utløsningspunktet ligger verdien på mellom 15 og 30 millimeter. I figur 5.8g ligger verdiene i utsnittet, for det meste mellom 0 - 3 millimeter. Nedbørverdien i utløsningspunktet er også 0 - 3 millimeter. En tversgående celle med verdier mellom 3 - 9 millimeter og enkelte celler mellom 9 - 15 er synlig like nordvest for utløsningspunktet.

Verdiene fra værradar er generelt lave. Figur 5.8b viser for utløsningspunktet, og jevnt over, verdier mellom 0 og 3 millimeter. Unntaket er i nordvest hvor verdiene ligger mellom 3 - 9 millimeter. I fig. 5.8e viser hele utsnittet verdier mellom 0 og 3 millimeter med et par små unntak hvor verdien ligger på 3 til 6 millimeter. Ved neste 3 timerintervall (fig. 5.8h) er det estimert 0 millimeter nedbør ved skredhendelsen og størstedelen av utsnittet. Mot nordvest er det noen felt nedbør med 0 til 3 millimeter. Figur 5.8c viser et nedbørmønster som er delt i to trekanter. Mot nordvest er det høye nedbørverdier. Verdiene her ligger for det meste mellom 15 - 30 millimeter med en mindre celle med over 30 millimeter innad og noe lavere verdier i nordøst. Sørøstover avtar nedbørmengdene. Over skredpunktet er verdiene mellom 3 - 6 millimeter. Det er vesentlig høyere nedbørverdier rett nordvest for skredet. Neste tretimersintervall (fig. 5.8f) viser høyest nedbørintensitet sentralt i figuren med et langsgående mønster i sørvest - nordøst retning. Her det en relativt stor celle med økende verdier mot sentrum. Høyest nedbørintensitet i denne cellen er lokalisert ca. 5 kilometer nord for skredpunktet. Her er nedbørverdien mellom 15 - 30 millimeter. Rundt denne cellen ligger nedbørverdiene noe lavere. Verdiene her er typisk 3 - 6 millimeter med høyere verdier i nord (6 - 9 millimeter) og en celle i sørøst med 9 - 15 millimeter nedbør. Over skredpunktet er nedbørverdien 9 - 15 millimeter med 15 - 30 millimeter rundt. Neste tretimersintervall (fig. 5.8i) viser lave nedbørintensitet i hel utsnittet. Nedbørverdien ligger på 0 - 3 millimeter i størstedelen av figuren og ingen nedbør i sørøst. Over utløsningspunktet er det 0 - 3 millimeter nedbør.

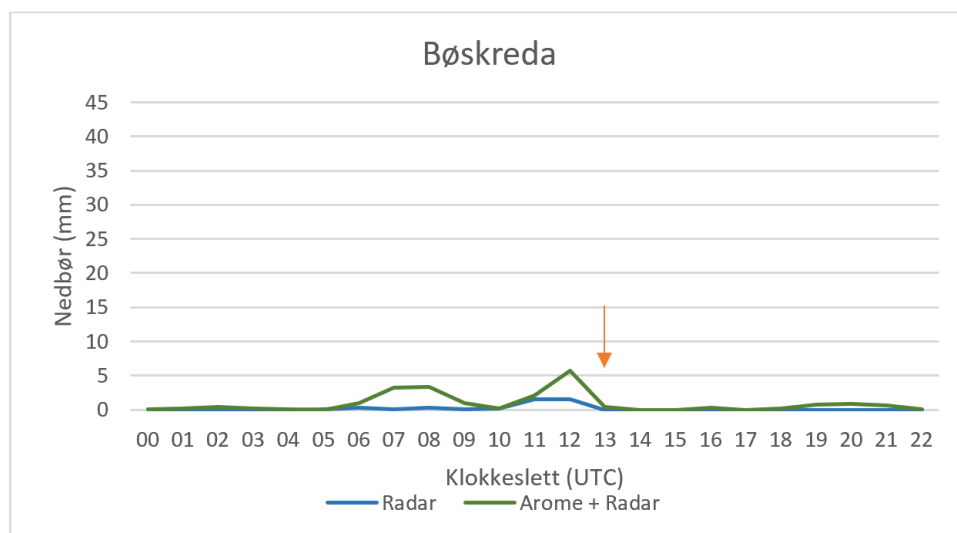
	Interpolert	Radar	Arome + Radar
kl. 09 - 12	2.1	0.4	4.5
kl. 12 - 15	18.0	1.7	8.2
kl. 15 - 18	0.5	0.0	0.3
24t	6.4	2.5	20.7

Tabell 5.2: Nedbørverdier for cellen som dekker utløsningspunktet for skredet ved Bøskreda. Hver celle er 1x1 kilometer. Skredet gikk klokken 13:00 UTC. Klokkeslettene i tabellen er gitt i UTC

De interpolerte nedbørverdiene i tab. 5.2 er lave for 3 timersintervallene 09 - 12 og 15 - 18. Fra klokken 12 - 15 er nedbørintensiteten høy med 18 millimeter over tre timer. 24 timersverdien er 6,4 millimeter.

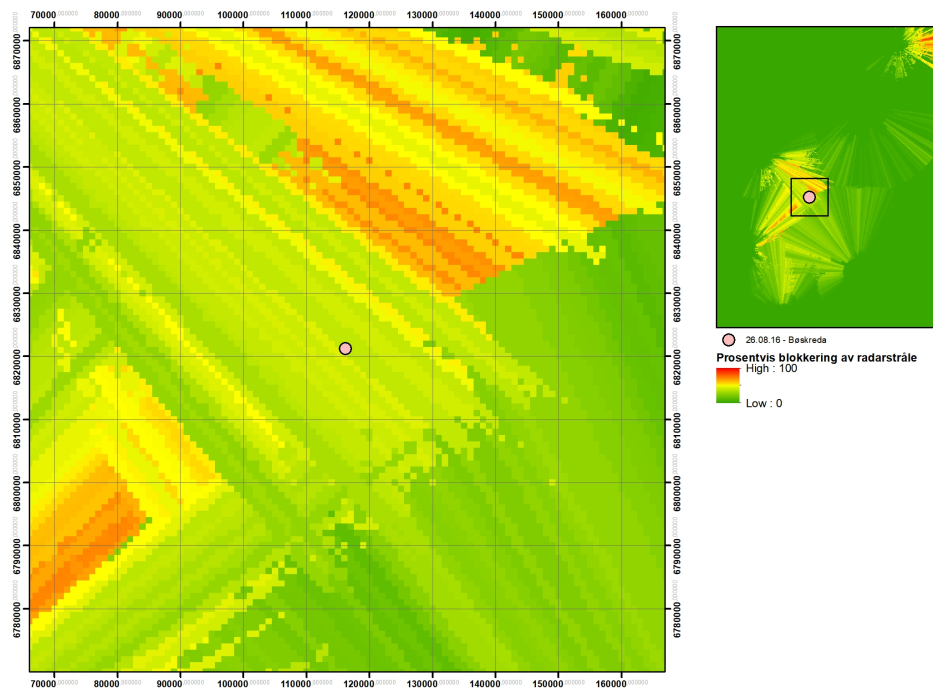
Radardataen viser lave til ingen nedbørverdier for alle 3 3-timersintervaller i tabellen. 24 timersverdien er 2,5 millimeter.

Atome + Radar viser høyere 24 timers verdi enn de andre på 20,7 millimeter. For tretimersintervallet før og over skredhendelsen er nedbørverdien estimert til henholdsvis 4,5 og 8,2 millimeter før den faller til 0,3 millimeter i tretimersintervallet etter.



Figur 5.9: Nedbørprofil for utløsningspunktet til Bøskredaskredet, skreddatoen 26.08.16. Grafen viser 1t nedbørverdier estimert fra værradar i blått, og fra Arome-modellen og Radar i grønt. Klokkeslettet er oppgitt i UTC. Skredhendelsen inntraff kl. 13:00 UTC og er markert med en oransje pil.

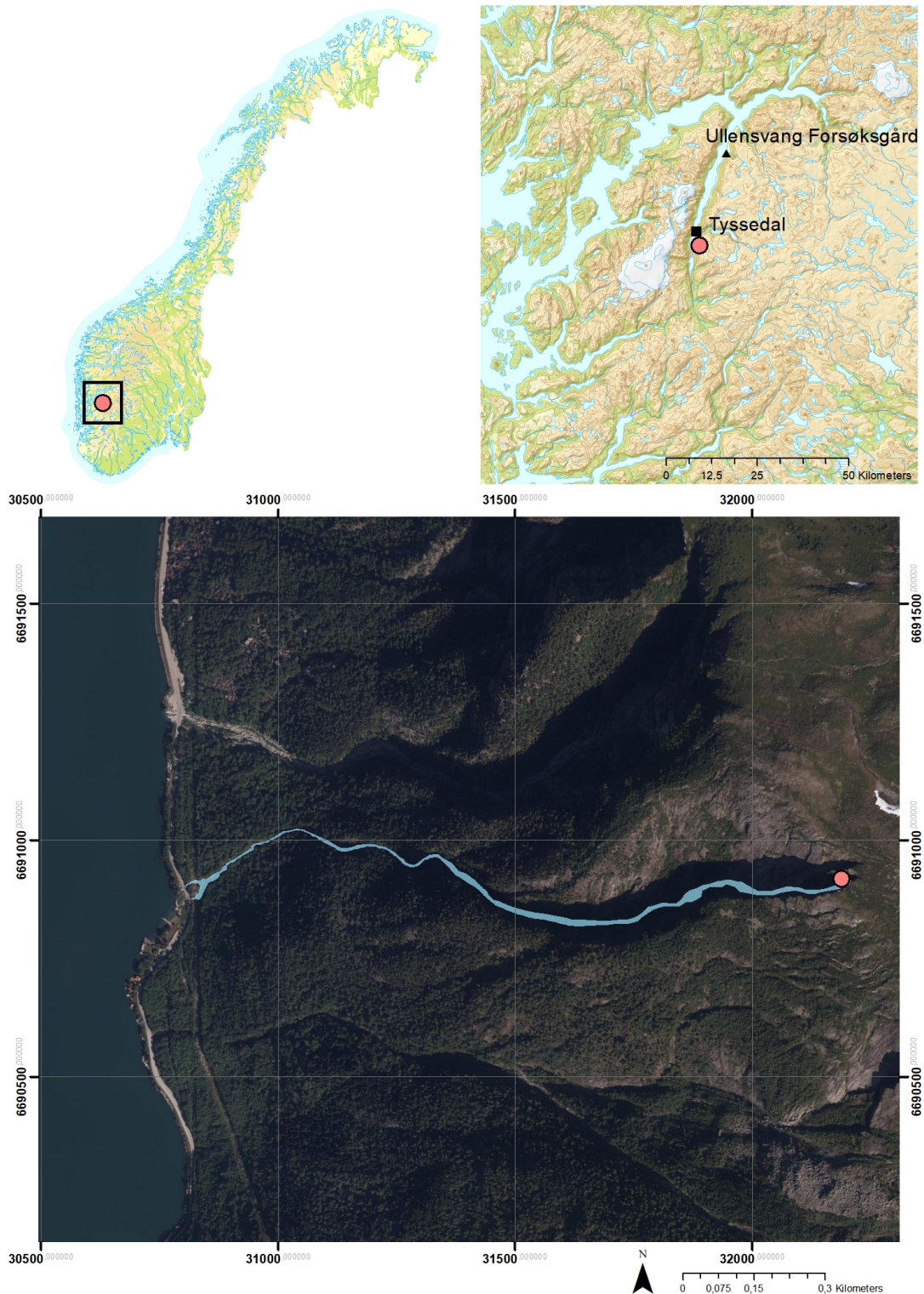
Nedbørprofilen for Bøskreda for skreddatoen viser lave verdier for både radar og arome + radar. Begge profilene viser en liten økning i verdi en time før skredhendelsen med henholdsvis 1,5 og 5,7 millimeter.



Figur 5.10: viser hvor stor blokkeringen av signalet til værradarener i prosent. Utsnittet dekker samme område som vist i fig. 5.2 og fig. 5.7 og 5.8.

Figur 5.10 viser hvor stor prosentandel av værradarens signale som blokkeres av topografi. Ser en på hele utsnittet er det relativt store områder i nord samt et litt mindre område i sørvest med relativt stor blokkeringsprosent. I sørøst er det liten grad av blokkering. For skredpunktet er det noe større blokkering hvor signalet har en prosentvis blokkering på 35 til 50 prosent. Fra figuren kommer det også frem at skredhendelsen er i ytterkanten av signalet fra de tre værradarene som dekker Bøskreda.

5.1.2 Byrkjenes



Figur 5.11: Oversiktskart over skredhendelsen ved Byrkjenes. Målestasjoner som registrerer nedbør er vist i øvre høyre figur: ■ 24t nedbør ▲ 1t nedbør. Skredløp og utløpsområder markert i lys blått. Skredet gikk 26.08.16 kl. 10 UTC og var flomskred. Flyfoto fra norgebilder.

Skredbeskrivelse

Fredag 26.08.2016 gikk det også et skred ved Byrkjenes, nær Odda i Hordaland. Denne skredhendelsen har vært noe vanskelig å identifisere og klassifisere da bildene tatt ved hendelsen kun fokuserer på jordmaterialet i veibanen og det ikke finnes flyfoto av nyere dato enn 2013. Det er dog knyttet koordinater til bilder tatt ved stedet og det er antatt at skredet har fulgt bekkefarene som strekker seg oppover i dalsiden her. Det kom inn melding om skredhendelsen like før klokken 13:00 og er antatt at skredet har gått rundt klokken 12:00 (10:00 UTC)

Flyfoto fra norgebilder.no viser at skredet sannsynligvis har fulgt et bekkefar. Foto tatt etter skredhendelsen (5.12) viser at større steiner ligger sammen med mindre steiner og grus. Det meste av det finere materialet er vasket ut. Det er mye vann tilstede.

Det har gått en skredhendelse her hvor jordmaterialet har nådd ut i veibanen. Det er ingen skader på infrastruktur, men ett kjørefelt ble stengt.

Utstedt varsel: Grønt varsel.

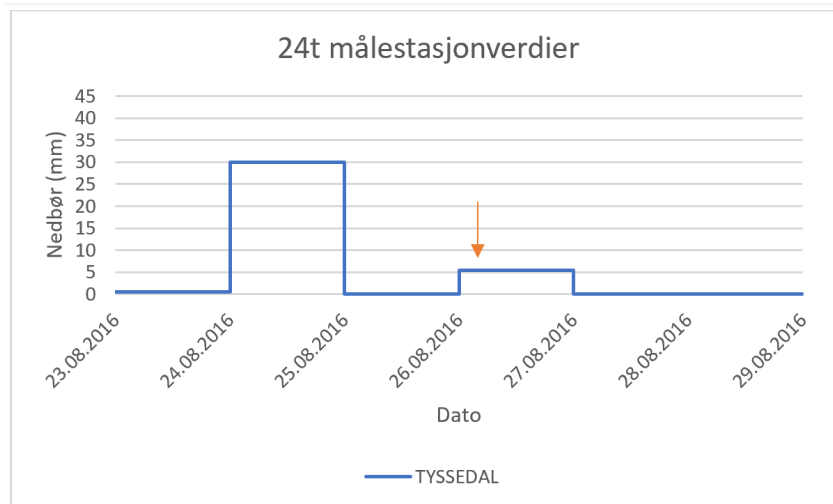
Byrkjenes-skredet nevnes ikke i ukesoppsummeringen til NVE.



Figur 5.12: a: Bilde av skredutløp nær Byrkjenes. b: Bilde av skredutløpet i Byrkjenes. I veibanen ligger en blanding av steiner, grus, sand og leire. Begge foto fra RegObs (Elrapp).

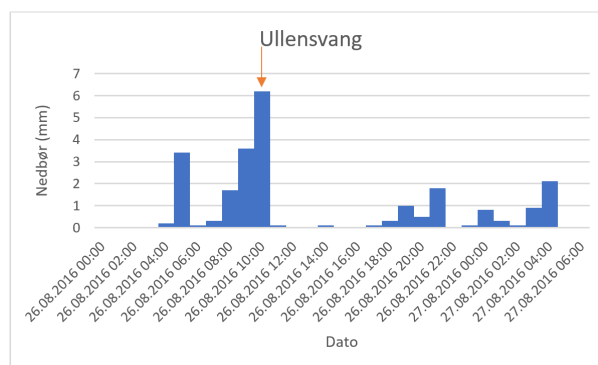
Det er blitt hentet inn data fra tre målestasjoner (se fig. 5.11) i nærheten av skredhendelsen i Byrkjenes. Tyssedal og Ullensvang registrer henholdsvis 24 timers og 3 timers nedbørverdier. Avstanden til nedbørstasjonene finnes i 5.14.

Det er blitt hentet inn data fra tre målestasjoner i nærheten av skredhendelsen i Byrkjenes. Tyssedal og Ullensvang registrer henholdsvis 24 timers og 3 timers nedbørverdier. Avstanden til nedbørstasjonene finnes i 5.14.



Figur 5.13: 24t nedbør målt ved nedbørstasjon Tyssedal. Hver verdi er akkumulert mellom kl. 06:00 d og 06:00 d+1 UTC. Skredhendelsen er markert med oransje pil, dette er 26.08.16 kl. 10:00 UTC. Tyssedal er nærmeste stasjon for Byrkjenesskredet. Plasseringen kan sees i 5.11 og avstand i 5.3.

Av fig. 5.13 kan en se at det regnet mye to dager i forkant av skredhendelsen. Over 24 timer falt det da 30 millimeter. På selve skreddagen falt det 20 millimeter nedbør. Nedbørverdiene registreres over 24 timer fra klokken 06 til 06 UTC slik at verdiene registrert for dagen etter skredhendelsen blir representativ.



Figur 5.14

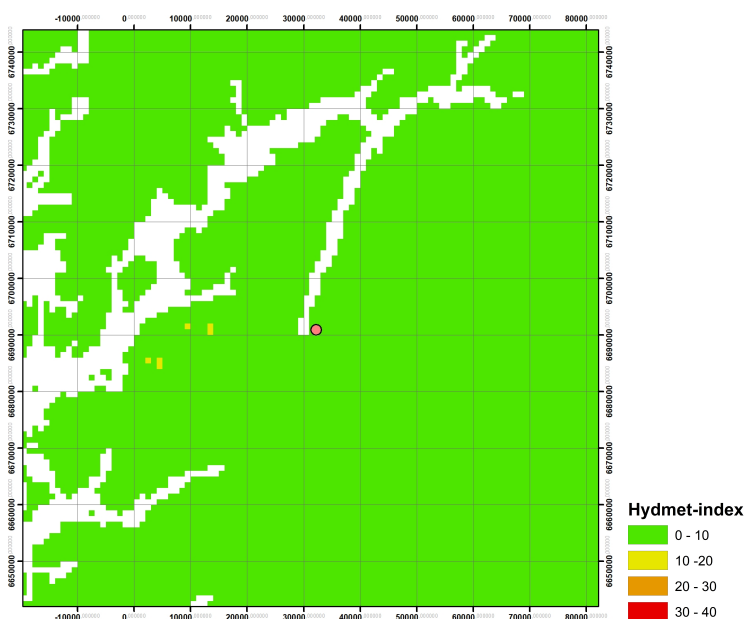
Figur 5.15: 1t nedbør målt ved nedbørstasjon Ullensvang. Skredtidspunkt var 26.08.16 kl. 10:00 UTC og er markert med oransje pil. Klokkeslettene er oppgitt i UTC.

I figur 5.14 kan en se at den skreddatoen er relativt høye timesverdier. Den høyeste timesverdien er her 6,3 millimeter klokken 10 UTC.

Målte nedbørverdier (mm)		
Stasjonsnavn	Tyssedal (24t)	Ullensvang (1t)
Avstand (km)	3.8 km	26.3 km
09 - 12	-	5.6
12 - 15	-	6.3
15 - 17	-	0.1
24t	20.0	20.1

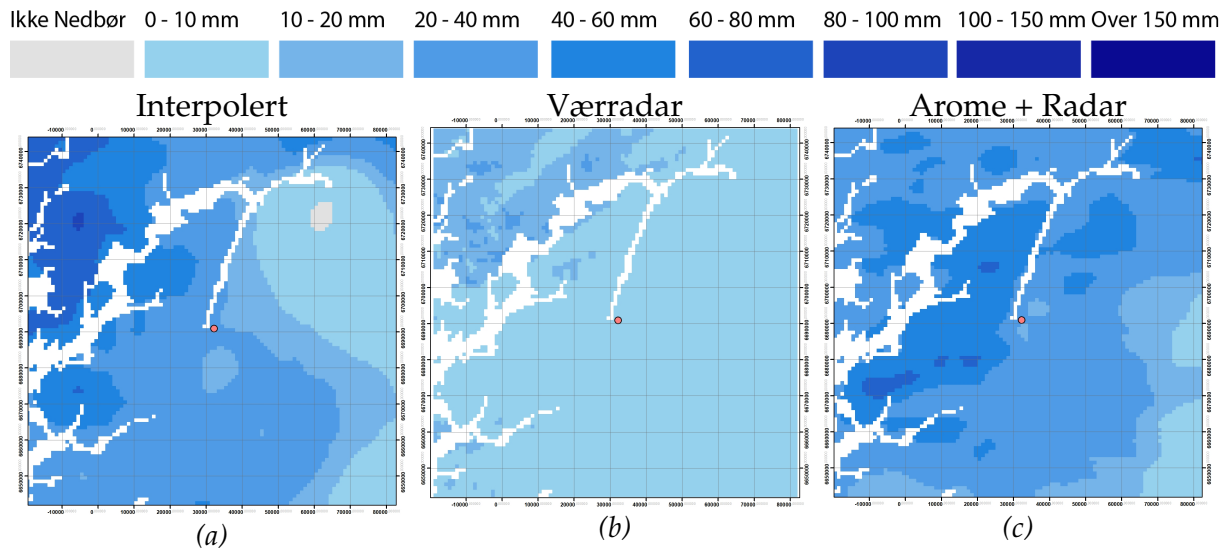
Tabell 5.3: Registrerte nedbørverdier for de nærmestliggende målestasjonene til skredet som gikk i Byrkjenes. Målestasjonenes navn og avstand til løsnepunktet (km) finnes i de to øverste radene. Akkumulert 3t nedbør er gitt for Ullensvang mens akkumulert 24t nedbør er gitt for Tyssedal og Ullensvang. 3t intervall er oppgitt i venstre kolonne.

Tabell 5.3 oppsummerer nedbørverdiene. Tyssedal målestasjon ligger nærmest utløsningspunktet for skredhendelsen i Byrkjenes. Tyssedal viser 20 millimeter akkumulert nedbør. For Ullensvang er 3 timers nedbør beregnet for samme tretimersintervall fig. 5.18 viser. Akkumulert 24 timers nedbør er også beregnet fra 06 til 06 UTC.



Figur 5.16: Hydmet-indeks for Byrkjenes. Figuren er 101x101 kilometer med en cellestrørrelse på 1x1 kilometer. Gridet som dekker figuren er 10x10 kilometer.

Hydmet-indeksen for Byrkjenes den 27.07.13 viser grønt nivå over skredhendelsen og så godt som hele utsnittet. Omtrent 20 kilometer vest for hendelsen viser et fåtalls celler gult nivå. Hydmet-indeksen er beregnet basert på observerte verdier.

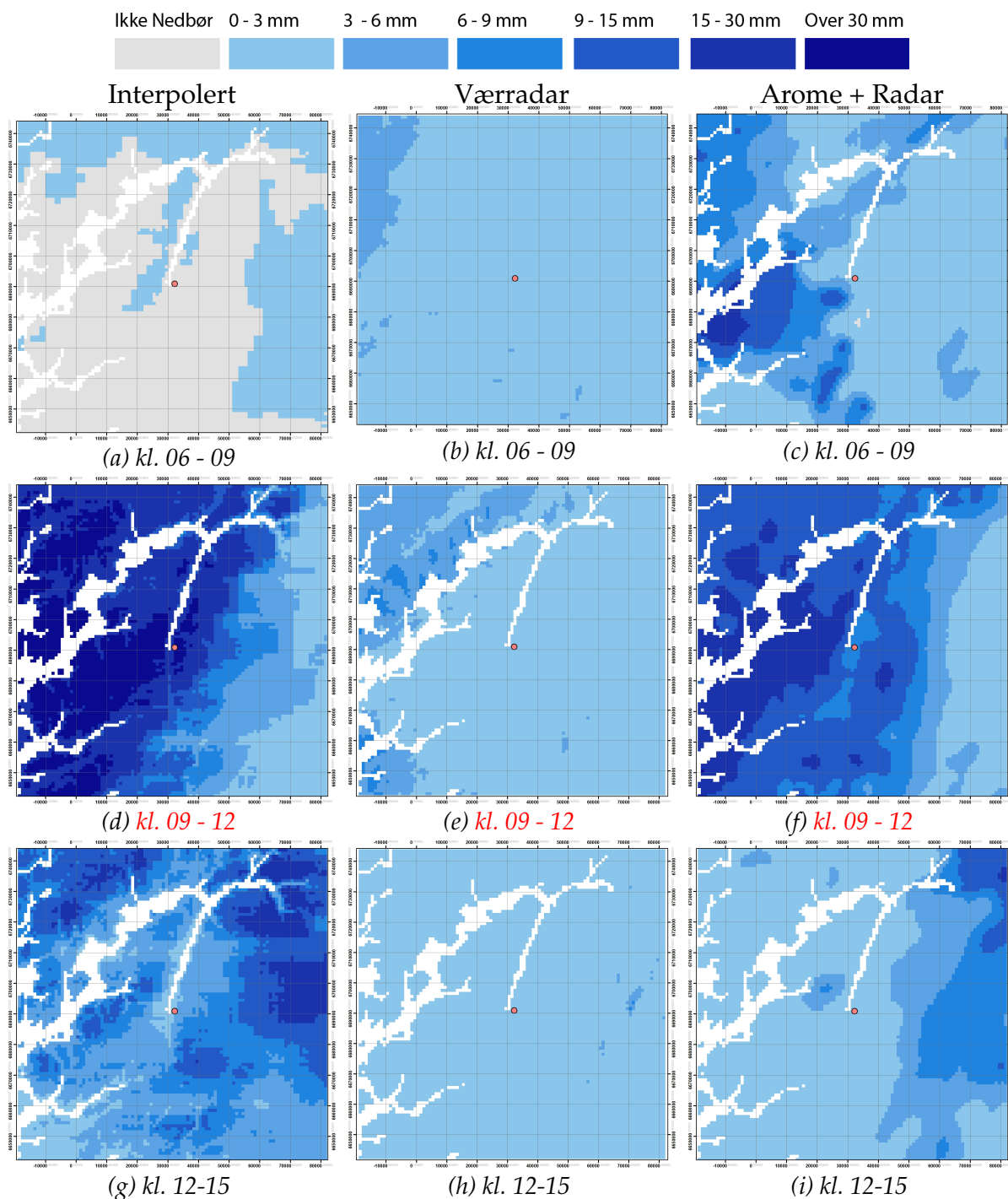


Figur 5.17: 24 timers akkumulert nedbørverdier for skredhendelsen den 26.08.16 ved interpolert (a), værradar (b) og Arome + Radar (c). Skredet gikk kl. 10 UTC. Hvert grid er 101x101km med en cellestørrelse på 1x1km og et koordinatgrid på 10x10km.

Interpolert nedbør viser et varierende nedbørmønster ved slake overganger mellom intensiteter. Det er høyere verdier i vest og særlig nordvest av utsnittet. Her ligger verdiene opp mot 80 - 100 millimeter. I øst er verdiene lavere med 0 - 10 millimeter. Sentralt i utsnittet og over skredhendelsen er nedbørmengden 20 - 40 millimeter.

Værradaren viser lave verdier i hele usnittet. Det er noe høyere verdier mot nordvest hvor de er opp mot 20 - 40 millimeter. Over skredpunktet er det 0 - 10 millimeter endbør.

Arome + Radar (MetNordic) viser varierende intensiteter med noen celler emd høyere verdier. Vest i utsnittet er det 40 - 60 millimeter med noen celler på 60 - 80 millimeter. Over skredet er det 20 - 40 millimeter.



Figur 5.18: 3 timers nedbørverdier fremstilt ved interpolering i venstre kolonne, transformert fra værradarverdier i midtre kolonne og fra en kombinasjon av Arome-modellen og værradardata i høyre kolonne. Samme oppløsning og gridstørrelse gjelder her som for 24 timersverdiene. Skredet gikk 26.08.16 kl. 10 UTC. Tidsintervallet som dekker hendelsen er markert med rød skrift. Klokkeslettene er oppgitt i UTC.

Figur 5.18d viser lite nedbør i utsnittet. Hovedandelen av figuren opplever ingen nedbør og ytterkantene fra nordvest til sørøst opplever 0 - 3 millimeter nedbør. Over skredpunktet er det ingen nedbør. Tretimersintervallet 12 - 15 (fig. 5.18g) viser

en nedbørsituasjon som er delt i fra sør til nordøst. Den sørøstlige delen opplever en nedbørmengde på mellom 0 - 3 millimeter med en gradvis økning til 9 - 15 millimeter nedbør mot nordvest. Den nordvestlige delen opplever nedbør med høyere intensitet. Her er den laveste verdien 9 - 15 millimeter og flere partier opplever 15 - 30 millimeter nedbør, uten at det er noen distinkt struktur på dette. Over utløsningspunktet er nedbørmengden mellom 15 - 30 millimeter. Figur 5.18g viser relativt høye nedbørintensiteter i store deler av utsnittet. I nordvest og nordøst-øst er det nedbørverdier på 9 - 15 millimeter med noen felt på 15 - 30 millimeter. Det er også nedbørmengder på opp mot 9 - 15 millimeter både vest og sør for utløsningspunktet. Over utløsningspunktet er det 3 - 6 millimeter nedbør.

Figur 5.18b viser lave verdier i hele utsnittet med 0 - 3 millimeter over skredpunktet. Figur 5.18e viser lave nedbørintensiteter i hele utsnittet. Nordevestre del av figuren opplever nedbørverdier på 3 - 6 millimeter med noen mindre områder med 6 - 9 millimeter. Resten av figuren, inkludert utløsningspunktet opplever 0 - 3 millimeter nedbør. Neste tretimersintervall (fig. 5.18h) viser 0 - 3 millimeter nedbør innad i hele figuren, med unntak av noen få celler med 3 - 6 millimeter nedbør øst i bildet.

Figur 5.18c viser lave verdier øst i bildet og høye verdier like vest for skredet. Verdiene over skredet er 0 - 10 millimeter. Figur 5.18f viser lave nedbørverdier (0 - 3 millimeter) øst i figuren. Det er så en gradvis økning i nedbørintensitet vestover. Like øst for utløsningspunktet og sør i utsnittet er nedbørverdier 9 - 15 millimeter med mindre celler hvor verdien er 15 - 30 millimeter. Fra Byrkjenesskredet og vest samt sørvestover er det et stort felt med nedbørverdier på mellom 15 - 30 millimeter. Nord og nordvest i figuren er det 9 - 15 millimeter nedbør. Over utløsningspunktet er det estimert 6 - 9 millimeter nedbør. Figur 5.18i viser lite nedbør i vestre halvdel av utklippet. Her er det 0 - 3 millimeter nedbør med unntak av en mindre celle rett nordvest for Byrkjenesskredet hvor nedbørmengden er 6 - 9 millimeter. Øst og nordøst i figuren øker nedbørmengden til 6 - 9 millimeter i øst og 15 - 30 millimeter i nordøst. Over utløsningspunktet er nedbørmengden mellom 0 - 3 millimeter.

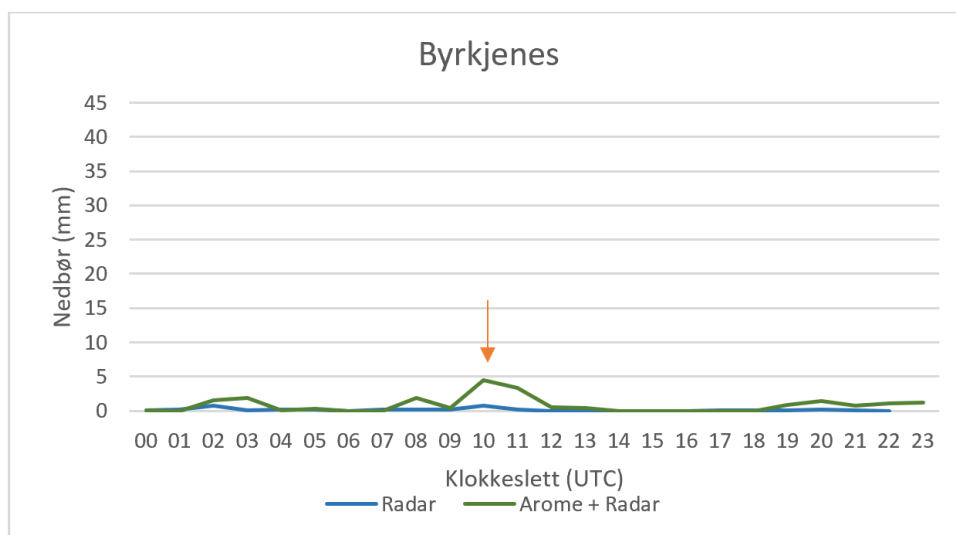
	Interpolert	Radar	Arome + Radar
kl. 06 - 09	0	0.4	2.0
kl. 09 - 12	38.1	1.1	8.2
kl. 12 - 15	4.0	0.1	0.9
24t	21.6	2.3	20.2

Tabell 5.4: Nedbørverdier for cellen som dekker utløsningspunktet for skredet ved Byrkjenes den 26.08.16. Skredet gikk klokken 10:00 UTC. Hver celle er 1x1 kilometer.

For Byrkjenesskredet viser tab. 5.4 ingen nedbør mellom klokken 09 - 12. For klokken 12 - 15 er det høy nedbørintensitet med 38, 1 millimeter over tre timer i utløsningspunktet. Mellom klokken 15 - 18 har intensiteten falt til 4 millimeter over tre timer. 24 timersverdien er 21,6 millimeter.

Radardataen viser lave nedbørverdier for alle tre 3 timersintervaller. Mellom klokken 12 - 15 er nedbørverdien her 0,1 millimeter.

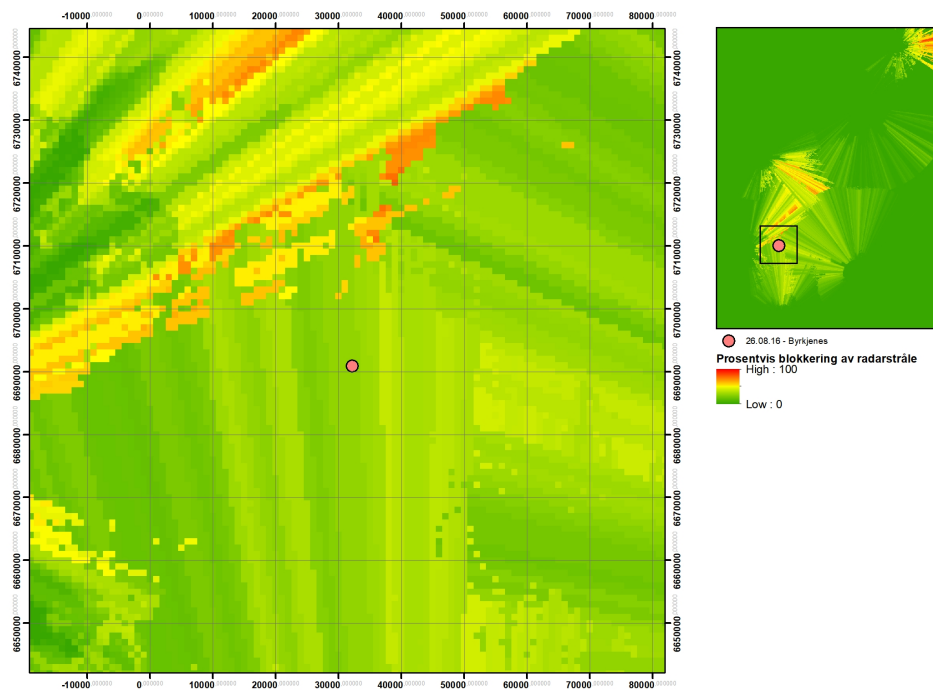
Arome + Radar viser 8,2 millimeter for tretimersintervallet 09 - 12 som dekker utløsningstidspunktet. Før og etter er det lave verdier. 24 timersverdien er estimert til 20.2 millimeter for utløsningspunktet.



Figur 5.19: Nedbørprofil for utløsningspunktetene til Byrkjenesskredet, skreddatoen 26.08.16. Grafen viser 1t nedbørverdier estimert fra værradar i blått, og fra Arome-modellen og Radar i grønt. Klokkeslettet er oppgitt i UTC. Skredhendelsen inntraff kl. 10:00 UTC og er markert med en oransje pil.

Nedbørprofilen for Byrkjenes viser jevnt over lave verdier under 5 millimeter og gjerne nærmere 0. For utløsningstidspunktet (10:00 UTC) er det estimert 4,5 millimeter

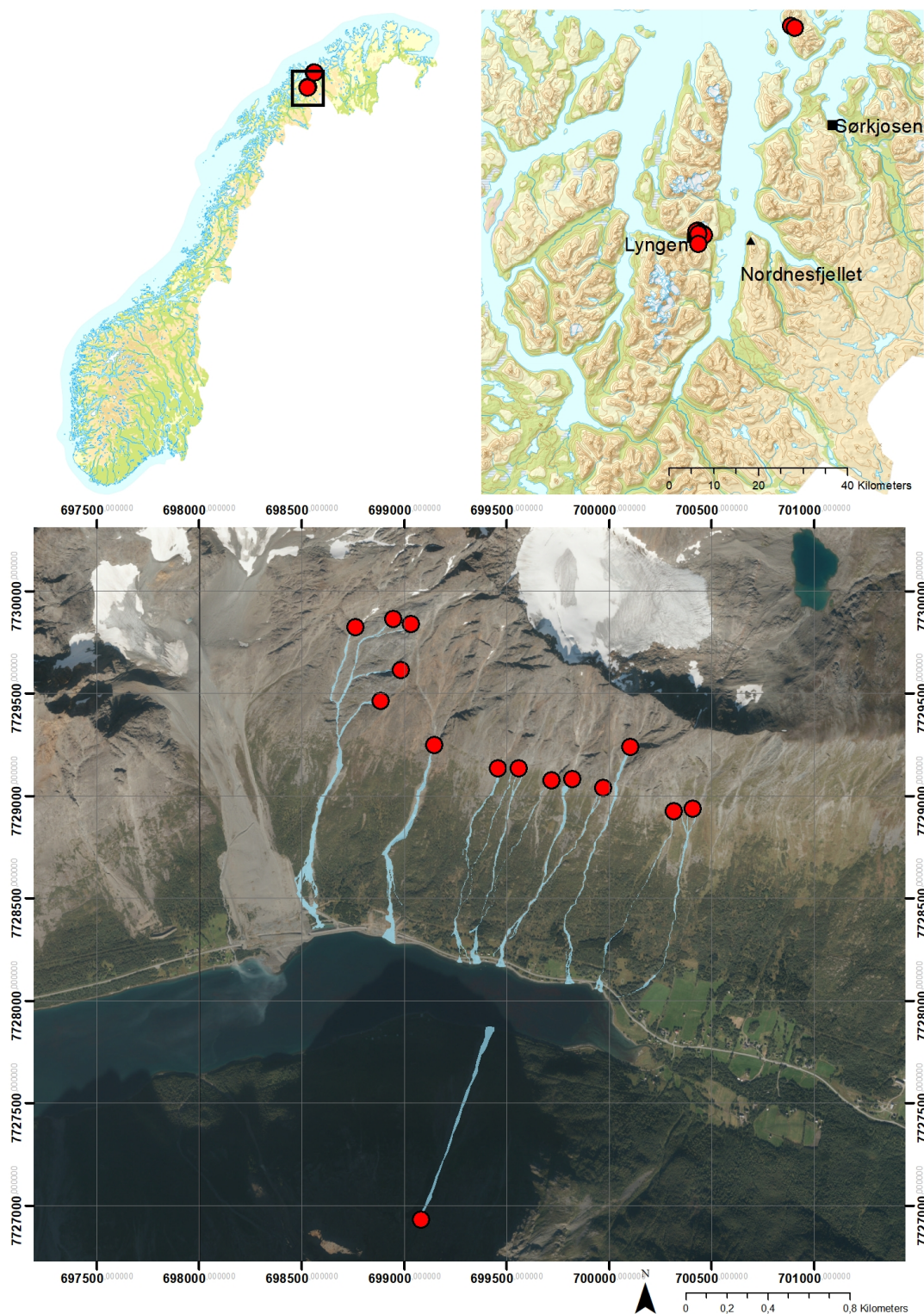
nedbør.



Figur 5.20: viser hvor stor blokkeringen av signalet til værradarener i prosent.

Stråleblokkeringen er størst i nordvestre del av utsnittet. Resten av utsnittet opplever mindre blokkering av radarsignalet med en prosentandel blokkering på 15 til opp mot 40. Rundt skredhendelsen ligger blokkeringen på mellom 25 og 30 prosent. Figuren viser også at skredet ligger i ytterkanten av avstanden på 240 km som værradarene måler.

5.1.3 Troms - Kjosen



Figur 5.21: Oversiktskart over skredhendelsene ved Kjosen. Målestasjoner som registrerer nedbør er vist i øvre høyre figur: ■ 24t nedbør ▲ 1t nedbør. Skredløp og utløpsområder markert i lys blått. Skredene gikk 07.08.14 kl. 15 UTC og var flomskred. Flyfoto fra norgebilder.

Skredbeskrivelse

Torsdag 07.08.2014 gikk det flere skred i Troms fylke. Skredhendelser ved Kjosens Lyngen opplevde en værissituasjon som beskrives som «kraftig nedbør har truffet veldig lokalt» i RegObs.

Ved Kjosens har det gått syv skred i et større område. På det meste er utløsningspunktene 2,9 kilometer fra hverandre. Skredhendelsene rundt Kjosens har berørt og skadet vei, bebyggelse, gårdstun og biler. Ingen mennesker er skadet men flere måtte evakueres og hendelsene har gitt økonomiske konsekvenser.

I det aktuelle området ved Kjosens er det brukt bilder fra 2011, 2014 – 8. juli og 2015 for å spore endringer i terrenget som skyldes de aktuelle skredhendelsene. Til tross for en bedre temporal oppløsning vil det også her være usikkerhet knyttet til om skredsporene skyldes de valgte skredhendelsene. Flybildene viser at dette er et særlig skredutsatt område. Skredspor samt skredsikringer er synlige. Skredhendelser som i skreddatabasen er registrert 7/7-14 er faktisk fra 7/8-14. beskrivelser av antall skred, utløsningsmekanisme samt forløpet til redningsarbeidet samsvarer med informasjon knyttet til hendelsene 7/8-14.

Befaring av skredene utført av Odd-Arne Mikkelsen ved NVE beskriver et hendelsesforløp hvor kortvarig og intens nedbør har ført til større vannføring i små bekkefar som har dratt med seg omkringliggende løsmasser. Vannet har så fraktet med seg løsmassene og avsatt de i slakere terreng. I RegObs beskrives hendelsene som flomskred. Informasjon fra lokale, innhentet av Odd Arne Mikkelsen, sier at Målestasjonen Ura (som målte 37 millimeter nedbør for skreddatoen) lå utenfor den mest intense nedbøren og at mesteparten av nedbøren kom over 2 timer. Det kommer også frem at alle skredene gikk i løpet av 45 minutter etter det begynte å regne. Bilder fra skredområdene bekrefter dette. Under følger en beskrivelse av skredhendelsene ved Kjosens, nummerert fra vest til øst og nord til syd. Skredene har blitt nummerert x.y hvor x angir hvilken celle, med union nedbørverdi, som dekker utløsningspunktet. Y angir hvilket skred innad i cellen det er snakk om. Beskrivelsen er en generell beskrivelse hvor viktige forskjeller mellom skredene også blir trukket frem. Skredene er mellom 1 og 1,8 kilometer lange, inkludert utløsningsområde, skredløp og avsetningsområde.

Flere av skredene har gått ut i Kjosenfjorden slik at skredene i realitet ville vært lengre. Fra norgebilder", topografisk norgeskart, bilder tatt etter skredhendelsene og beskrivelse fra feltbefaring av Odd-Arne Mikkelsen (NVE) virker det som at skredet har fulgt eksisterende bekkefar. Løsmasser rundt bekkefarene har blitt erodert og transportert av vannmasser for å bli avsatt når terrenget slaker ut. Skred 1.1 og 2.1 bærer preg av store løsmasser, både i skredløpet og avsetningsområdet. I skred 1.1 virker de finere materialene, som grus, sand og leire, å være vasket ut av avsetningene. Det ser ut til å være en sortering av materialer hvor de groveste løsmassene ligger i ytterkantene av skredutløpet. I skred 2.1 ser (på avstand) ut til å ikke kun bestå av stein og blokker, men også noe finere materialer. Skredet munner ut i en viftestruktur hvor det ser ut til at vannet, som fremdeles renner gjennom skredløp og skredutløp, har endret bane flere ganger over vifta. Der vannet renner og har rent tidligere er det noe finere materiale enn rundt. Skredene 2.2, 2.3, 2.4, 3.1, 4.1 og 4.2 preges av skredutløp med et større innhold av finere avsetninger som grus, sand og leire. Innad i det finere materialet er det flere steder tydlige vannbaner hvor det finere materialet er vasket bort og det grovere blir synlig. Mot Kjosenfjorden munner også disse ut i vifteformer. Skred 5.1 på motsatt side av fjorden, består som skred 1.1 og 2.1 av grove materialer. Skredet ser ikke ut til å ha fulgt et tidligere bekkefar, men det er tydelig at det har vært mye vann tilstede da det har erodert seg ned i løsmaterialene. Skredet danner en vifteform i avsetningsområdet. Dette skredet kan muligens være en reaktivert ur.

Utstedt varsel for Troms var grønt. Hordaland og Rogaland får oppdatert varselet til gult etter grønt først har blitt utstedt grunnet muligheter for lokal nedbør og tordenvær.



Figur 5.22: Foto tatt ved befarings av skredhendelsene langs Kjosenfjorden. a viser skred 1.1 og b skred 2.1. (Odd-Arne Mikkelsen).



Figur 5.23: Foto tatt ved befarings av skredhendelsene langs Kjosenfjorden. a viser skred 2.2 og 2.3 hvor 2.2 er delt i to skredarmer. b viser noe av skadene skredhendelsene førte til. (Odd-Arne Mikkelsen).

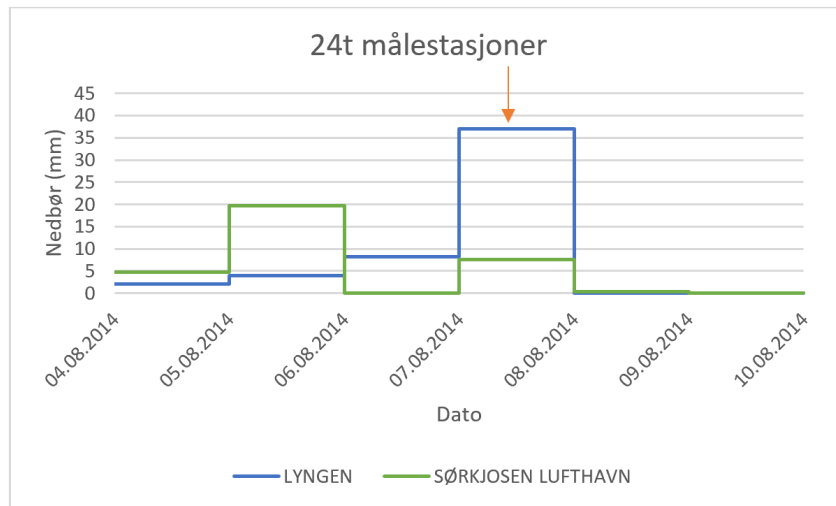


Figur 5.24

Figur 5.25: Foto tatt ved befarings av skredhendelsene langs Kjosenfjorden. Dette er skred 5.1 som gikk på den sørlige siden av fjorden. (Odd-Arne Mikkelsen).

Nedbørmålestasjonene det er innhentet verdier fra er Lyngen og Sørkjosens Lufthavn,

som begge måler 24 timers nedbør, samt Nordnesfjellet som måler verdier på 1 time (se fig. 5.21). Avstanden mellom skredhendelsene og målestasjonene er henholdsvis 1,7 - 2,6 kilometer, 37,9 - 40,2 kilometer og 10,8 - 12,5 kilometer, som en kan se i 5.5.



Figur 5.26: 24t nedbørverdier registrert ved Lyngen og Sørkjosen målestasjon. Skredet ble utløst 07.08.14 kl. 15 UTC, som er markert med oransje pil. Hver verdi er akkumulert mellom kl. 06:00 d og 06:00 d+1 UTC, slik at hver datomarkering i figuren er kl. 06:00. Lyngen er den nærestliggende stasjonen. Plasseringen kan sees i 5.21, avstand i 5.5.

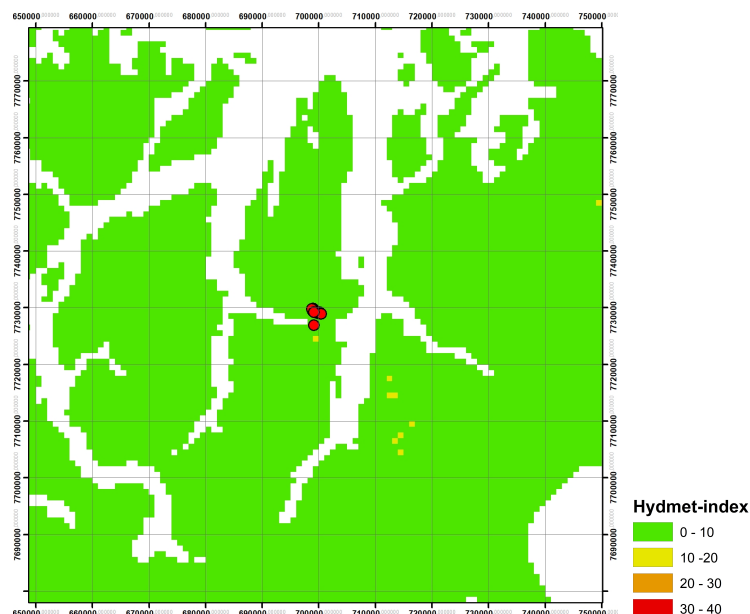
Den nærmest lokaliserte målestasjonen, Lyngen (fig. 5.26) viser lave nedbørmengder i dagene opp mot skredhendelsen. Verdiene ligger da på 2 til 8 millimeter. For skreddatoen er akkumulert 24 timers nedbør over 35 millimeter. Sørkjosen Lufthavn viser mer nedbør i dagene før skredene ble utløst. To dager i forkant av hendelsene viser figuren 20 millimeter akkumulert 24 timers nedbør, mens den for skreddatoen viser omtrent 8 millimeter.

Målte nedbørverdier (mm)			
Stasjonsnavn	Lyngen (24t)	Sørkjosen (24t)	Nordnesfjellet (1t)
Avstand (km)	1.7 - 2.6	37,9 - 40.2	10.8 - 12.5
kl. 12 - 14	-	-	0
kl. 15 - 17	-	-	Mangler verdi
kl. 18 - 20	-	-	Mangler verdi
kl. 21-23	-	-	0
24t	37	7.6	Mangler verdi

Tabell 5.5: Registrerte nedbørverdier for de nærmestliggende målestasjonene til skredet som gikk på Kjosen. Målestasjonenes navn og avstand til løsnepunktet (km) finnes i de to øverste radene. Akkumulert 3t nedbør er gitt for Nordnesfjellet mens akkumulert 24t nedbør er gitt for Lyngen, Sørkjosen og Nordnesfjellet. 3t intervall er oppgitt i venstre kolonne. Skredhendelsene på Kjosen hadde relativt lang utstrekning i hendelser. Avstand er derfor oppgitt i intervall mellom skredhendelsen som ligger nærmest og lengst vekk. Nordnesfjellet målestasjon mangler verdier for flere timer den 07.08.14.

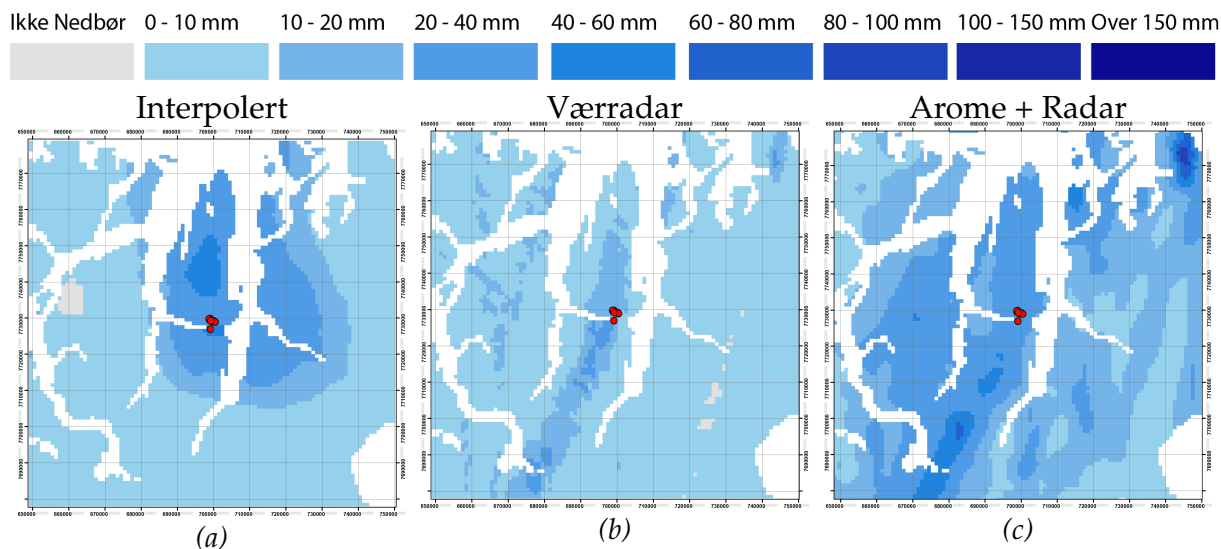
Tabell 5.5 oppsummerer verdiene figurene 5.26 viser i aktuelle 3 og 24 timesverdier. Nordnesfjellet mangler verdier for skredtidspunktet. Dette gjør at 24 timersverdi ikke kan beregnes her. Lyngen og Sørkjosen har registrert henholdsvis 37 og 7,6 millimeter akkumulert 24 timers nedbør for skreddatoen.

Da Nordnesfjellet opplevde problemer med registrering av timesverdier for skreddatoen 5.5 har det ikke blitt produsert nedbørgraf for denne stasjonen.



Figur 5.27: Hydmet-indeks for Kjosen for skreddatoen 07.08.14.

Hydmet-indeksen i figur 5.27 viser grønt nivå for skredhendelsen som gikk på Kjos den 12.07.14. Noen få celler som viser gult nivå finnes sørøst for skredhendelsene. Ellers viser hele figuren grønt nivå. Dette er en observasjonsbasert hydmet-indeks.

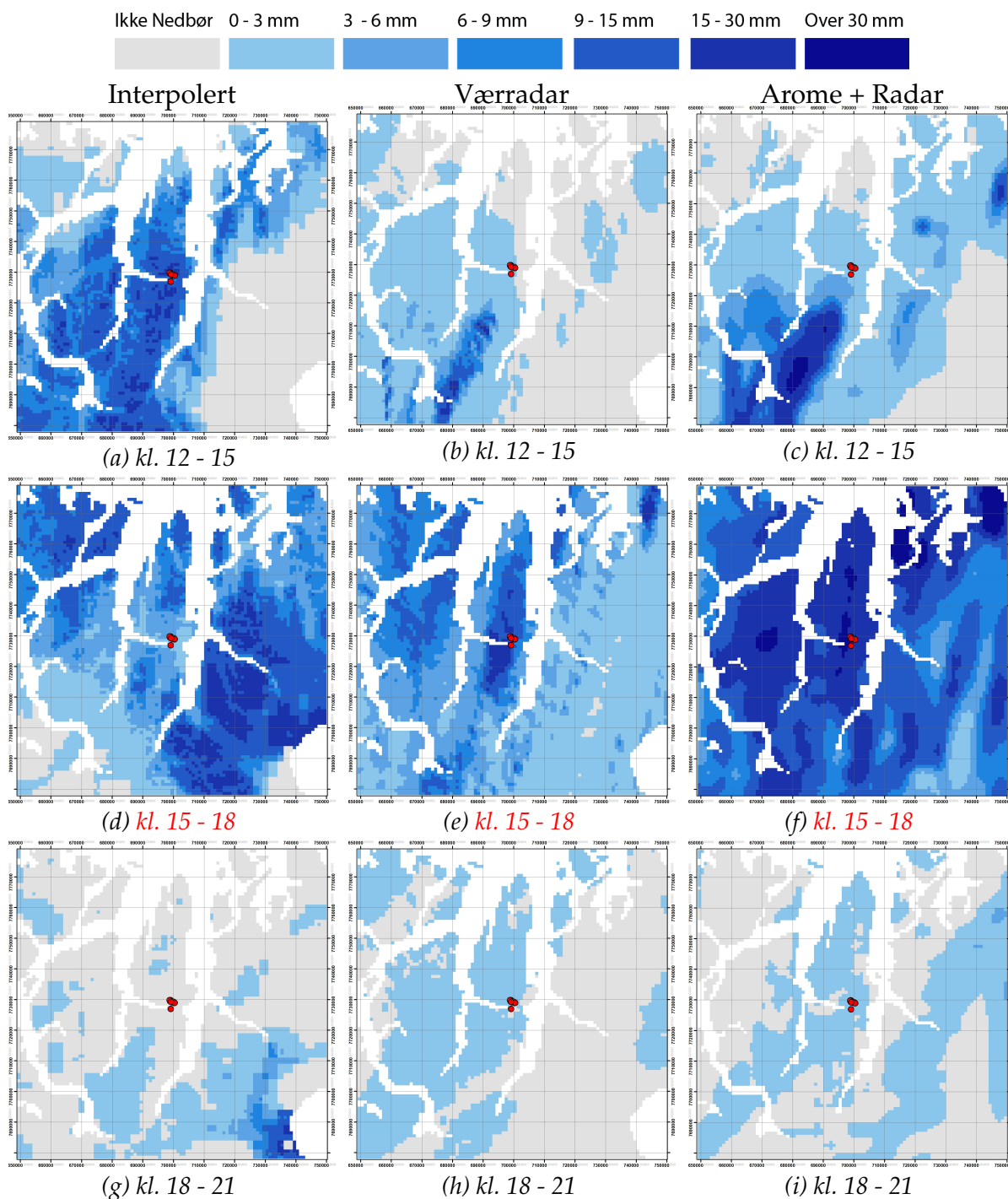


Figur 5.28: 24t nedbørverdier for skreddatoen på Kjos den 07.08.14. 5.28a viser nedbørverdier beregnet ved interpolering, 5.28b viser verdier fra værradar og 5.28c fra MetNordic. Gridene dekker et område på 100x100km med en cellestørrelse på 1x1km.

Fig. 5.28a viser interpolert 24 timers nedbør. Her ser en en relativt stor celle med høyere nedbørverdier enn rundt, sentralt i bildet. I ytterkantene av figuren er verdiene mellom 0 - 10 millimeter. Inn mot sentrum av cellen er det en gradvis økning i intensitet til over 20 - 40 millimeter. Over skredpunktene er nebmengdene 20 - 40 millimeter for de i nord, men skredet i sør opplever mellom 40 - 60 millimeter.

Fig. 5.28b viser nedbør fra værradar. Her ser en ikke samme sirkulære celle som i fig. 5.28a, men et smalt og langstrakt system som strekker seg fra sørvest og sentral inn i figuren. Verdiene vest og øst for denne kilen er for det meste mellom 0 - 10 millimeter. I kilen ligger verdiene for det meste mellom 10 - 20 millimeter med noen celler hvor verdiene er mellom 20 - 40 millimeter sør for Kjos. Over skredpunktene er verdiene mellom 0 - 10 millimeter for de østligste skredpunktene og mellom 10 - 20 millimeter for resten.

Figur 5.28c viser Arome + Radar for Kjos. Her ser en mer nedbør i hele figuren enn i de to andre. Figuren gir et variert bilde med noen celler med mer nedbør. Over skredpunktet er mellom 20 - 40 millimeter nedbør.



Figur 5.29: 3t nedbørverdier den 26.08.16 for henholdsvis interpolasjon, værradar og en kombinasjon av Aromemodellen og værradardata. Hver figur har en skala på 100x100 km med en oppløsning på 1x1km

Figur 5.29a viser relativt intens nedbør sentralt og vestover i bildet. Det er et relativt homogent mønster med noen celler som opplever høyere intensitet. Øst i bildet er det ingen nedbør og over skredpunktet er det 9 - 30 millimeter. Neste 3 timersintervall viser relativt høye verdier i nesten hele utsnittet. I sørvest er det lave verdier. Over skredpunktene ligger verdiene på 0 - 6 millimeter. Mellom klokken 18 - 21 viser

interpolert nedbør nær ingen nedbør. Det er ingen nedbør over skredpunktene.

Fig. 5.29b viser nedbør i sørvestre del av utsnittet og lite til ingen i resten. I sørvestre del ligger verdiene opp mot 15 - 30 millimeter. I figur 5.29e er det nedbør innenfor hele utsnittet. Mest nedbør er det mot nordvest og sentralt i utsnittet med høyest intensitet sentralt. Like sør for skredpunktene ligger nedbørverdiene på opp mot 9 - 15 millimeter. Over skredpunktene er verdiene mellom 6 - 9 millimeter for de østligste skredpunktene og 9 - 15 millimeter for resten. Mellom kl. 18 - 21 (fig. 5.29h) er det tilnærmet ingen nedbør i sørøstre halvdel av utsnittet, mens det i nordvestre halvdel er verdier mellom 0 - 3 millimeter. Over skredhendelsene er verdiene 0 for det sørligste skredet og mellom 0 - 3 millimeter over resten.

Figur 5.29c viser celler med høyere nedbørintensitet. Nedbøren strekker seg fra sørvest mot nordøst. Det er noen mindre celler i nordøst med verdier opp mot 15 - 30 millimeter. I sørvest er det en større cellestruktur med verdier rundt 15 - 30 millimeter. Over skredpunktene er verdiene mellom 0 - 3 millimeter. Neste 3 timersintervall (fig. 5.29f) viser høy nedbørintensitet innad i hele utklippet. Det er celler med høyere intensitet enn rundt. Flere av disse cellene har verdier over 30 millimeter. Over skredpunktene ligger verdiene på over 30 millimeter for de vestligste punktene og 15 - 30 millimeter for resten. Figur 5.29i viser lave nedbørverdier mellom klokken 18 - 21. Over skredpunktene er det 0 - 3 millimeter nedbør.

	Interpolert					Radar					Arome + Radar				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
kl. 12 - 15	13.5	15.8	17.0	10.0	16.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
kl. 15 - 18	2.9	3.5	3.8	2.3	2.9	12.5	10,9	9.1	8.6	11,2	30.0	28.0	25.0	25.0	26.7
kl. 18 - 21	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
24t	36.8	37.0	37.6	39.3	41.7	12.5	10.9	9.2	8.6	11,3	32.6	29.9	27.1	26.9	29.1

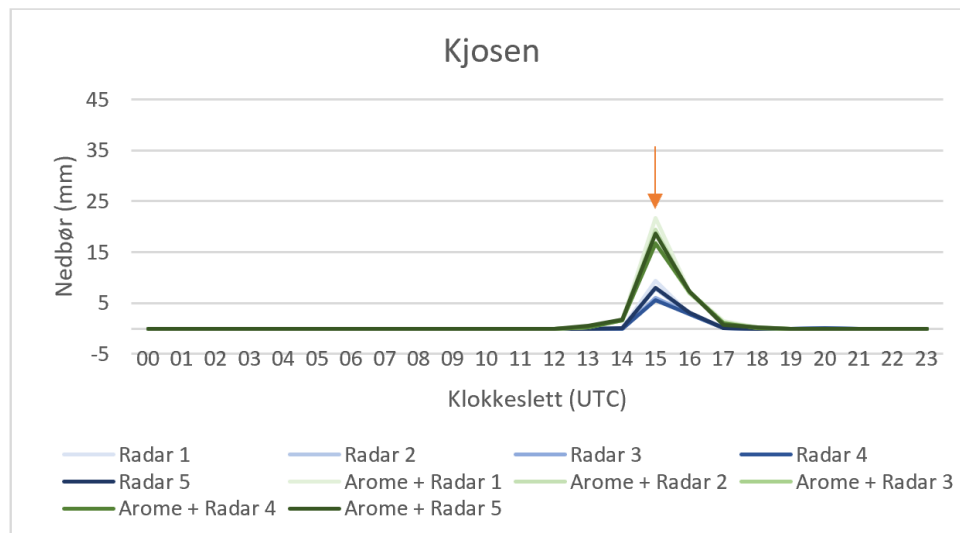
Tabell 5.6: Nedbørverdier for cellene som dekker utløsningspunktene for skredene ved Kjosens den 07.08.14. Skredene gikk klokken 15:00 UTC. Hver celle er 1x1 kilometer. Ved Kjosens gikk flere ulike skred. Cellene som dekker utløsningspunktene er blitt nummerert 1 - 5 fra vest til øst og nord til syd.

I tab. 5.6 ser en nedbørverdier beregnet ved interpolering, fra værradardata og ved en kombinasjon av Arome-modellen og værradardata. De interpolerte verdiene viser mest nedbør mellom klokken 12 - 15 med verdier mellom 10 millimeter og 17 millimeter. Mellom klokken 15 - 21 er nedbørintensiteten lav. 24 timersnedbøren ligger på mellom 36,8 millimeter og 41,7 millimeter.

Radardataen viser ingen nedbør mellom klokken 12 - 15. Fra klokken 15 - 18 er verdiene mellom 8,6 millimeter og 12,5 millimeter nedbør. 18 - 21 intervallet viser ingen til tilnærmet ingen nedbør. 24 timers akkumulert nedbør ligger mellom 8,6 og 12,5 millimeter nedbør for skredpunktene.

Arome + Radar viser 2,0 millimeter nedbør for alle utløsningspunktene mellom klokken 12 - 15. Fra klokken 15 - 18 gir denne metoden høy nedbørintensitet. Verdiene ligger da på 25 millimeter til 30 millimeter nedbør. Det er ingen nedbør fra klokken 18 - 21.

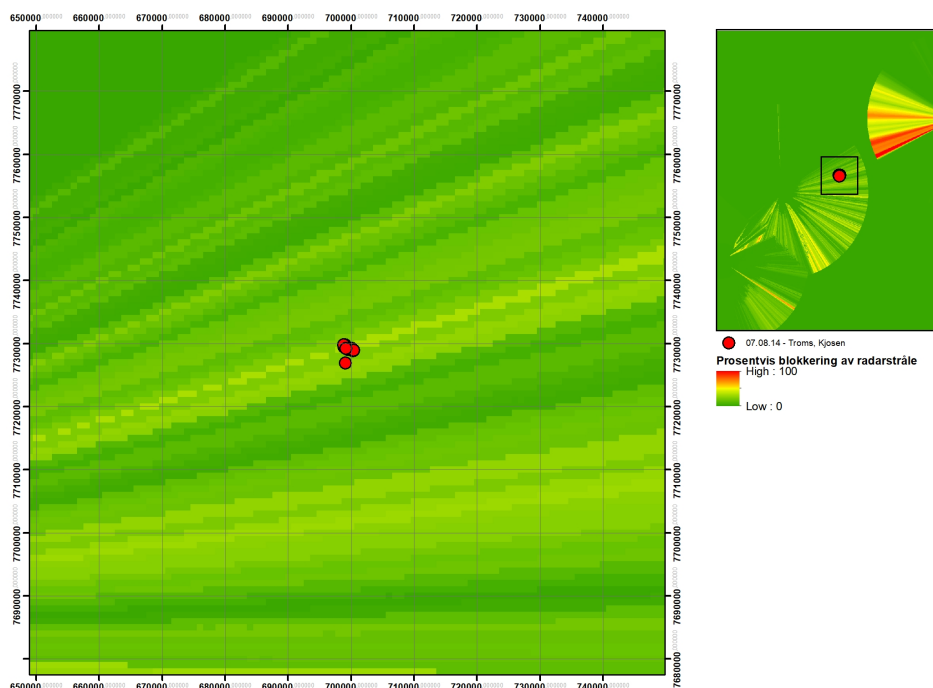
De interpolerte verdiene viser høyest nedbørintensitet i 3 timersintervallet før værradar og Arome + Radar.



Figur 5.30: Nedbørprofil for utløsningspunktene ved kjosens, skreddatoen 07.08.14. Fem celler dekker de 15 registrerte utløsningspunktene her. Grafen viser 1t nedbørverdier estimert fra værradar i ulike blåfarger, og fra en kombinasjon av Arome-modellen og værradardata i ulike grønnfarger. Klokketslettet er oppgitt i UTC. Skredhendelsen inntraff kl. 15:00 og er markert med oransje pil.

Figur 5.30 viser estimerte nedbørverdier, per time for de fem cellene som dekker utløsningspunktene ved Kjosens. En kan se at både værradar og Arome + Radar estimerer maksimumsverdien til å inntreffe klokken 15:00 UTC for alle utløsningspunktene. Verdiene estimert ved bruk av værradar er lavere enn ved bruk av Arome-modellen i kombinasjon med værradardata. Værradaren estimerer 9,3 millimeter klokken 15 og 2,8 millimeter klokken 16 for utløsningspunktene i nedbørce1le 1. Her estimerer Arome + Radar 0,4 millimeter, 1,6 millimeter, 21,7 millimeter, 7,3 millimeter, 1,4 millimeter, og 0,2 millimeter nedbør mellom klokken 13:00 og 18:00. For utløsningspunktene dekket av celle 2 estimerer værradar 7,8 millimeter klokken 15:00, 2,8 millimeter klok-

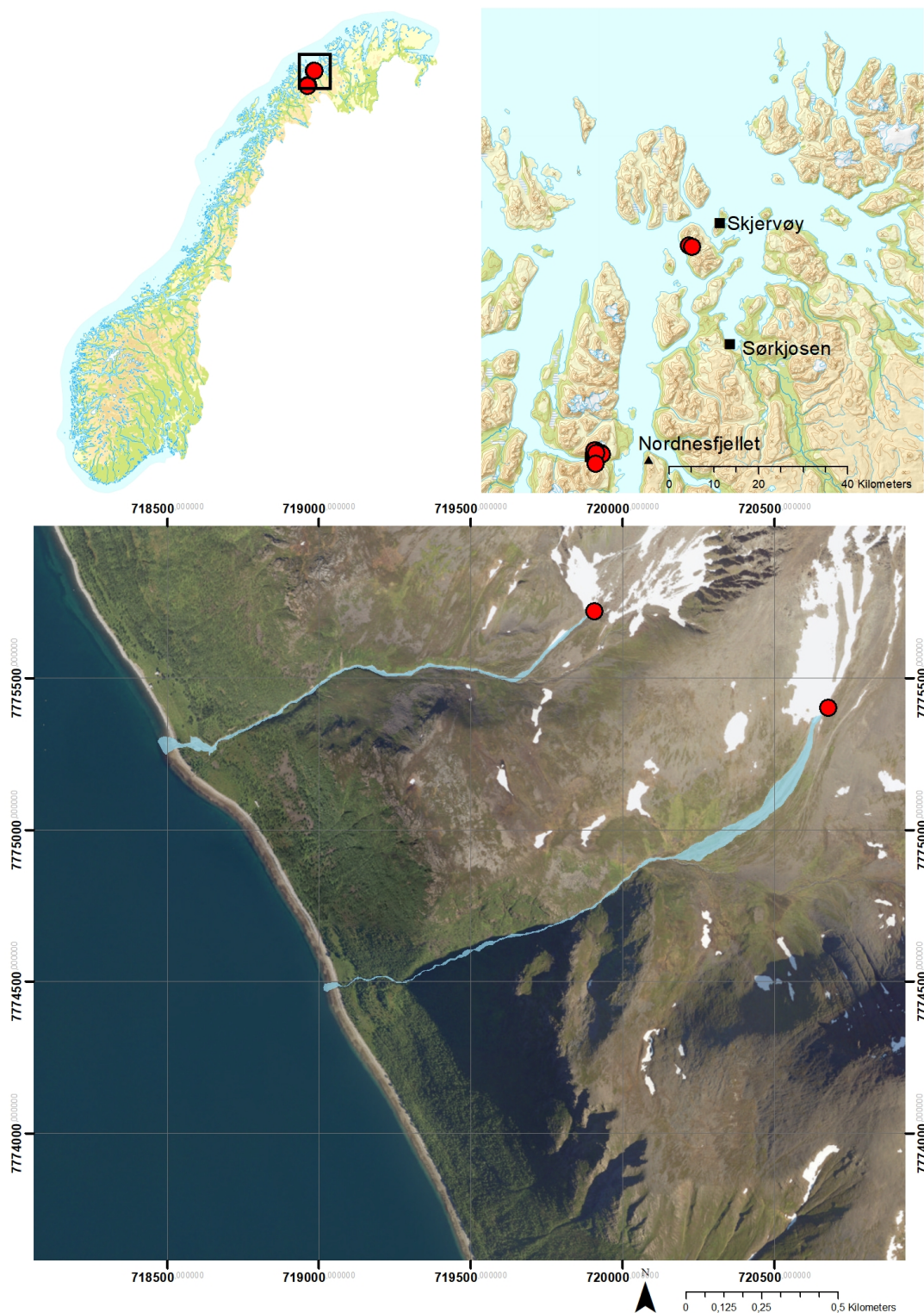
ken 16:00 og 0,2 millimeter klokken 17:00. Arome + Radar estimerer 0,3 millimeter, 1,7 millimeter, 19,4 millimeter, 7,1 millimeter, 1,2 millimeter og 0,2 millimeter nedbør mellom klokken 13:00 og 18:00. I celle 3 blir det estimert nedbørmengde på 6,0 millimeter, 3,0 millimeter og 0,2 millimeter fra klokken 15:00 til og med klokken 17:00 ved værradar. Arome + Radar estimerer da 0,3 millimeter, 1,6 millimeter, 16,9 millimeter, 7,0 millimeter, 1,2 millimeter og 0,1 millimeter nedbør mellom klokken 13:00 og 18:00. Værradar estimerer nedbørmengder på 5,6 millimeter klokken 15:00, 2,9 millimeter klokken 16:00 og 0,1 millimeter klokken 17:00 for celle 4. Her estimerer Arome + Radar 0,3 millimeter, 1,6 millimeter, 16,7 millimeter, 7,2 millimeter, 1,0 millimeter og 0,1 millimeter nedbør. For utløsningspunktet i sør estimerer værradar 8,0 millimeter nedbør klokken 15:00, 3,1 millimeter klokken 16:00 og 0,1 millimeter klokken 17:00. Nedbørmengdene estimert med Arome + Radar er 0,5 millimeter, 1,7 millimeter, 18,7 millimeter, 7,3 millimeter, 0,7 millimeter og 0,2 millimeter. Dette er mellom klokken 13:00 til klokken 18:00.



Figur 5.31: viser hvor stor blokkeringen av signalet til værradarener i prosent. Utsnittet dekker samme område som vist i figur 5.28 og 5.29.

Som en kan se i fig. 5.31 er det relativt liten blokkering av værradarsignalet. Den prosentvise blokkeringen ligger for det meste mellom 10 % og 20 %. Alle verdier er under 33 %. Over skredpunktene er stråleblokkeringen mellom 21 % og 32 %. Skredet ligger omtrent 2/4 ut i signalrekkevidden til værradaren.

5.1.4 Troms - Kågen



Figur 5.32: Oversiktskart over skredhendelsene ved Kågen. Målestasjoner som registrerer nedbør er vist i øvre høyre figur: ■ 24t nedbør ▲ 1t nedbør. Skredløp og utløpsområder markert i lys blått. Skredene gikk 07.08.14 kl. 16 UTC og var flomskred. Flyfoto fra norgebilder.

På Kågen gikk det også skredhendelser torsdag 07.08.2014. Disse inntraff rundt klokken 18:00 (16:00 UTC). Disse skredene ligger omtrent 50 kilometer fra skredhendelsene ved Kjosen og er antatt utløst av samme nedbørhendelse. Nedbørsituasjonen er beskrevet som lokal kraftig byge i RegObs. Ved Kågen er det notert ett skred som har delt seg i tre armer. Skredet som er rapportert på Kågen har gått mellom to hyttefelt og endt opp i fjorden rett ved et oppdrettsanlegg. Hverken bygninger eller oppdrettsanlegget ble påvirket av skredhendelsen.

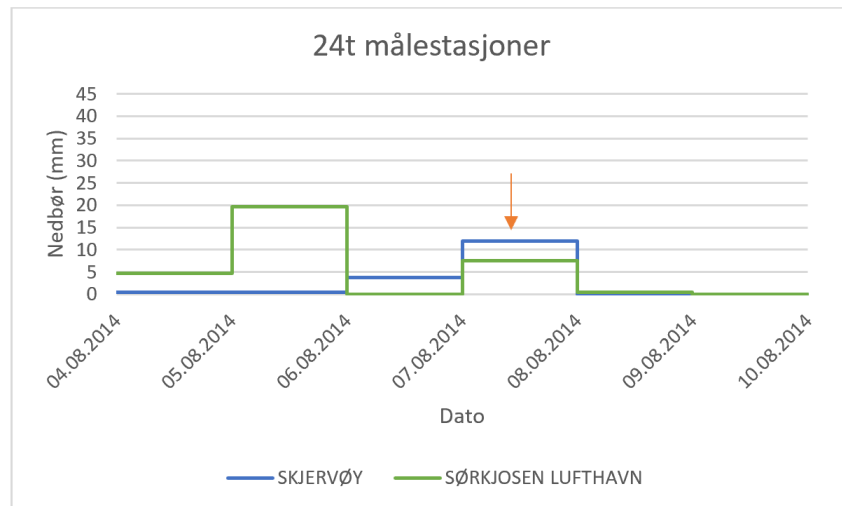
Beskrivelsen av skredtype på RegObs lyder flomskred. Ved begge lokaliteter er det spor etter tidligere skredhendelser i terrenget. Ved begge lokaliteter strekker det seg flere bekkedar ned fjellsiden. Det finnes ingen detaljbilder over hendelsene, men det finnes et foto tatt fra avstand som viser skredutløpet til et av skredene (fig. 5.33) og flyfoto (fra norgeibilder) med relativt god oppløsning. Fra disse bildene og topografisk norgeskart, kan man se at skredløpene følger bekkeløp. Avsetningen i både skredløp og avsetningsområde består av grove og finere løsmasser, fra stein til antatt leire. Ved avsetningsområdet har skredene bredd seg ut i en vifteform ned mot vannet. I skredløpet har vann erodert seg ned i løsmassene.

Varselet fra NVE var grønt for skreddatoen.



Figur 5.33: Skredutløpet for Kågen kan skimtes i fotoet. Foto: Vegard Eriksen.

Nedbørmålestasjonene det er innhentet verdier fra er Skjervøy og Sørkjosen Lufthavn (se fig. 5.32). Begge disse stasjonene måler 24 timers nedbør. Nordnesfjellet måler verdier på 1 time, det er også hentet inn verdier herfra. Avstanden mellom skredhendelsene og målestasjonene er henholdsvis 8,6 kilometer, 24,1 kilometer og 48,8 kilometer, som en kan se i tabell 5.7.



Figur 5.34: 24t nedbørverdier registrert ved Skjervøy og Sørkjosen målestasjon. Skredet ble utløst 07.08.14 kl. 16 UTC, som er markert med oransje pil. Hver verdi er akkumulert mellom kl. 06:00 d og 06:00 d+1 UTC, slik at hver datomarkering i figuren er kl. 06:00. Skjervøy er den nærestliggende stasjonen. Plasseringen kan sees i figur 5.32, avstand i tabell 5.7.

Skervøy målestasjon har registrert relativt lave nedbørverdier i dagene opp mot skredhendelsen. For skreddatoen er det registrert 12 millimeter nedbør. Sørkjosen lufthavn har registrert 20 millimeter to dager i forkant av skredhendelsen og registrerte 7,6 millimeter for skreddatoen.

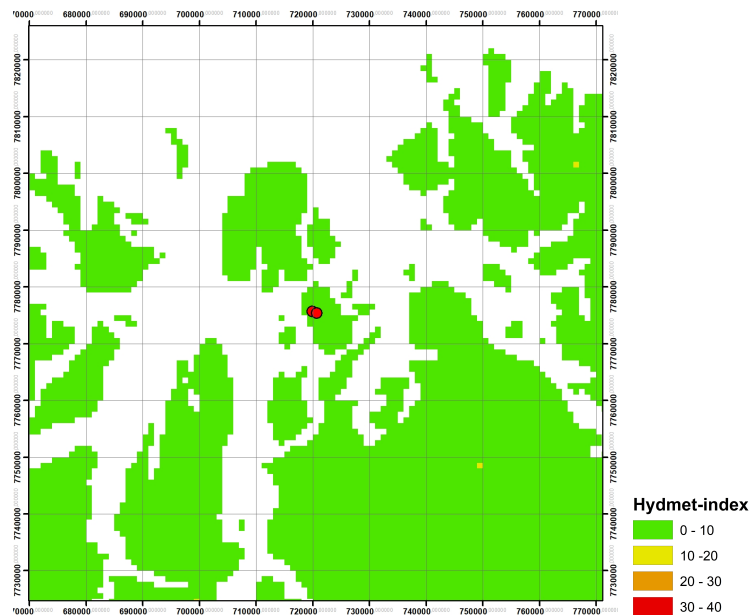
Målte nedbørverdier (mm)			
Stasjonsnavn	Skjervøy (24t)	Sørkjosen (24t)	Nordnesfjellet (1t)
Avstand (km)	8.6	24.1	48.8
kl. 12 - 14	-	-	0
kl. 15 - 17	-	-	Mangler verdi
kl. 18 - 20	-	-	Mangler verdi
kl. 21-23	-	-	0
24t	12	7.6	Mangler verdi

Tabell 5.7: Registrerte nedbørverdier for de nærmestliggende målestasjonene til skredet som gikk på Kågen. Målestasjonenes navn og avstand til løsnepunktet (km) finnes i de to øverste radene. Akkumulert 3t nedbør er gitt for Nordnesfjellet mens akkumulert 24t nedbør er gitt for Skjervøy, Sørkjosen og Nordnesfjellet. 3t intervall er oppgitt i venstre kolonne. Nordnesfjellet målestasjon mangler verdier for flere timer den 07.08.14. Skredet gikk kl. 16 UTC

Tabellen over viser avstanden mellom målestasjonene og skredhendelsen med tilhørende nedbørmengder. Her kan en se at den nærmestliggende målestasjonen, Skjervøy har registrert 12 millimeter nedbør for skreddatoen. Sørkjosen og Nordnesfjellet er

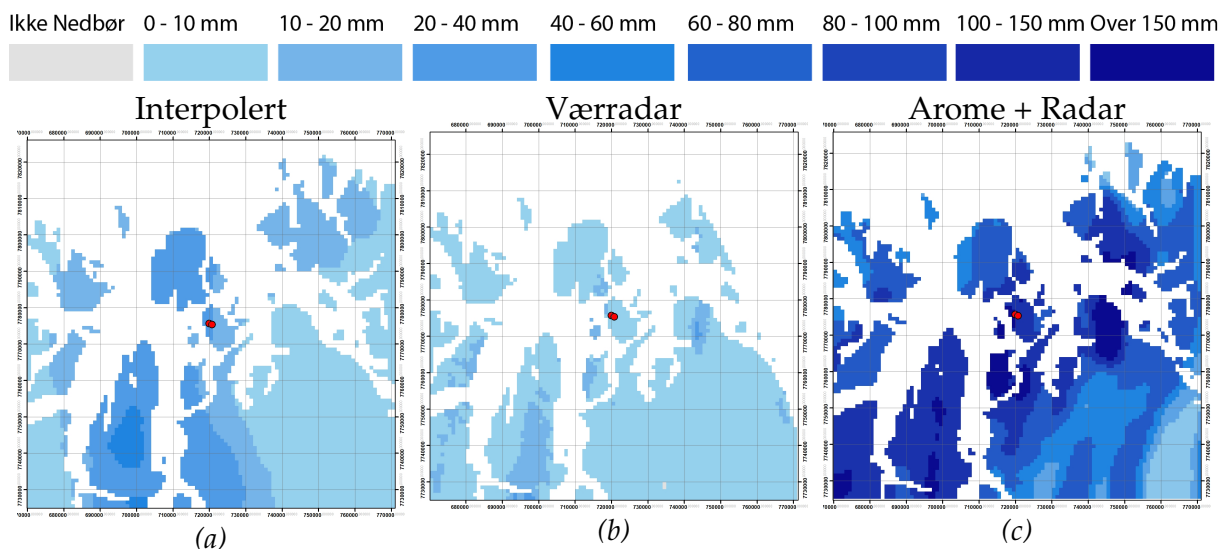
kommentert i 5.1.3.

Nedbørgraf over Nordnesfjellet er som nevnt ikke produsert da stasjonen opplevde problemer med registreringen under skreddatoen.



Figur 5.35: Hydmet-indeks for Kågen for skreddatoen 07.08.14.

Hydmet-indeksen i figur 5.35 viser grønt nivå for skredet og hele utklippet.



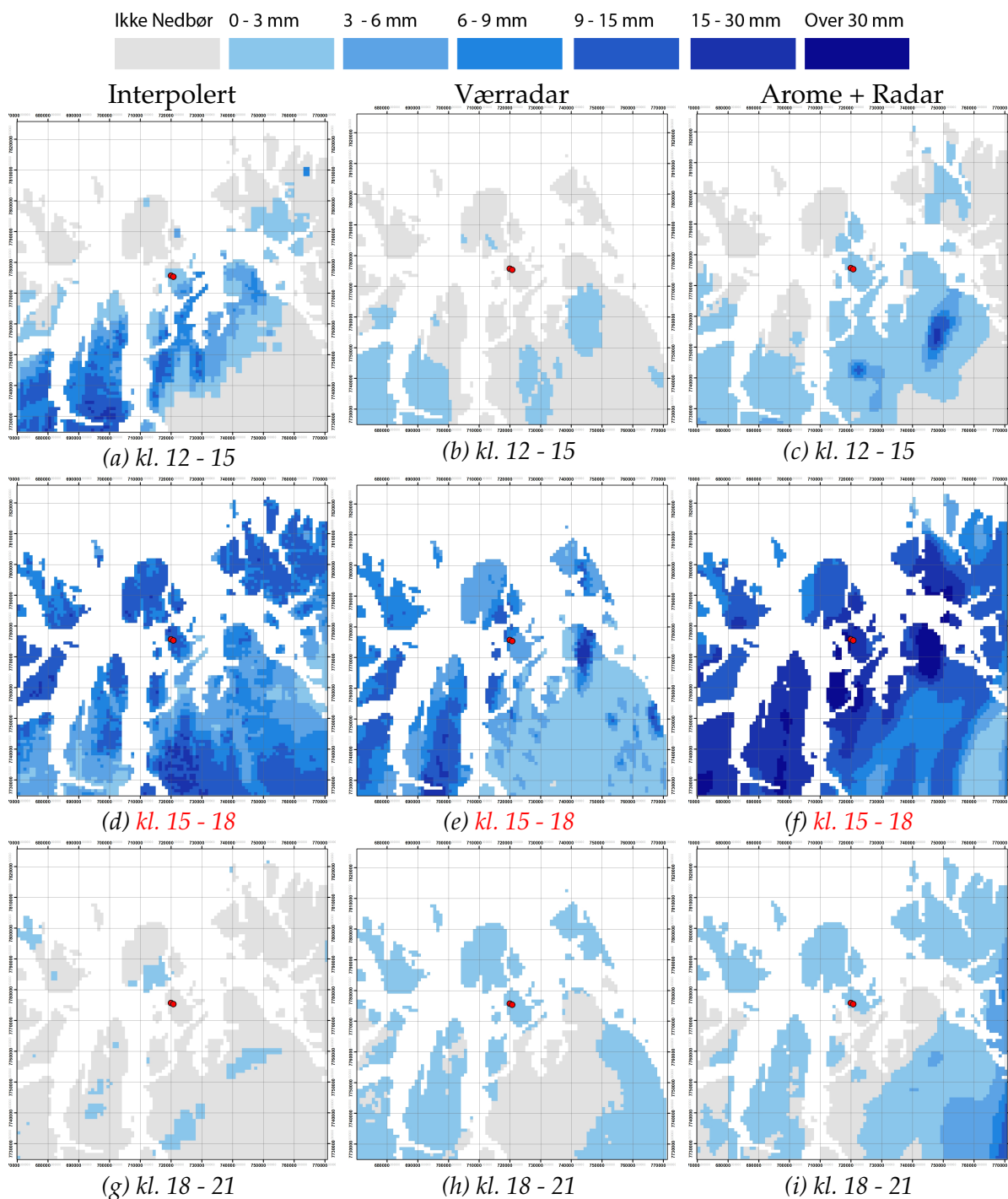
Figur 5.36: 24t nedbørverdier for Kågen den 07.08.14. 5.28a viser verdier beregnet ved interpolering mellom målestasjoner og 5.28b viser verdier beregnet ved transformasjon av refleksjonsverdier fra værradar. Gridene dekker et område på 100x100km med en cellestørrelse på 1x1km.

Figur 5.36a viser nedbør over alle landområder innad i figuren. Ytterkantene i vest og øst viser verdier på 0 - 10 millimeter. Verdiene er økende mot midten av figuren

i lengderetning. Over nordre Kjosens, sørvest i figuren, er det en celle med verdier mellom 40 - 60 millimeter. over skredpunktene er verdiene 20 - 40 millimeter.

Figur 5.36b viser nedbør over alle landområder i figuren. Utsnittet opplever relativt lave verdier. Størsteparten av figuren viser verdier mellom 0 - 10 millimeter. Over nordre Kjosens er nedbørintensiteten 10 - 20 millimeter. Over skredpunktene viser figuren 0 - 10 millimeter nedbør.

Arome + Radar viser høye verdier for hele utsnittet med verdier opp mot over 150 millimeter. over skredpunktet er nedbørmengden mellom 15 - 30 millimeter.



Figur 5.37: 3t nedbørverdiene den 26.08.16 for henholdsvis interpolasjon og værradar. Hver figur har en skala på 100x100 km med en oppløsning på 1x1km

Fig. 5.37a viser et nedbørsystem som strekker seg fra sørvest mot nordøst. Verdiene er høyest i sørvest, hvor de ligger opp mot 15 - 30 millimeter. Over skredpunktene er verdiene mellom 0 - 3 millimeter. Mellom klokken 15 - 18 (fig. 5.37d) viser nedbør som dekker hele figuren. Verdiene er høyest i nord og sør og noe lavere imellom. Både i nord og i sør ligger verdiene rundt 9 - 15 millimeter med noen pixler på mellom 15 - 30

millimeter. Over skredpunktene er verdiene mellom 9 - 15 millimeter. Mellom 18 - 21 er det tilnærmet ingen nedbør i figuren.

I fig. 5.37b kan en se at det er lite til ingen nedbør mellom klokken 12 - 15. Det er noen områder med 0 - 3 millimeter i de sørlige delene av utsnittet. Over skredpunktene er det ingen nedbør. Neste 3 timersintervall (fig. 5.37e viser nedbør i hele utsnittet. Mest nedbør er det i sørvest med verdier rundt 9 - 15 millimeter og noen pixler på 15 - 30 millimeter. I sørøst er det mindre nedbør med noen celler med høyere intensitet. Cellene her har verdier opp mot 15 - 30 millimeter. Over skredpunktene er verdiene 6 - 9 millimeter. Fig. 5.37h viser lavere nedbørverdier igjen. Figuren viser for det meste 0 - 3 millimeter og har et felt uten nedbør sør for skredpunktene. Over skredpunktene er verdiene 0 - 3 millimeter.

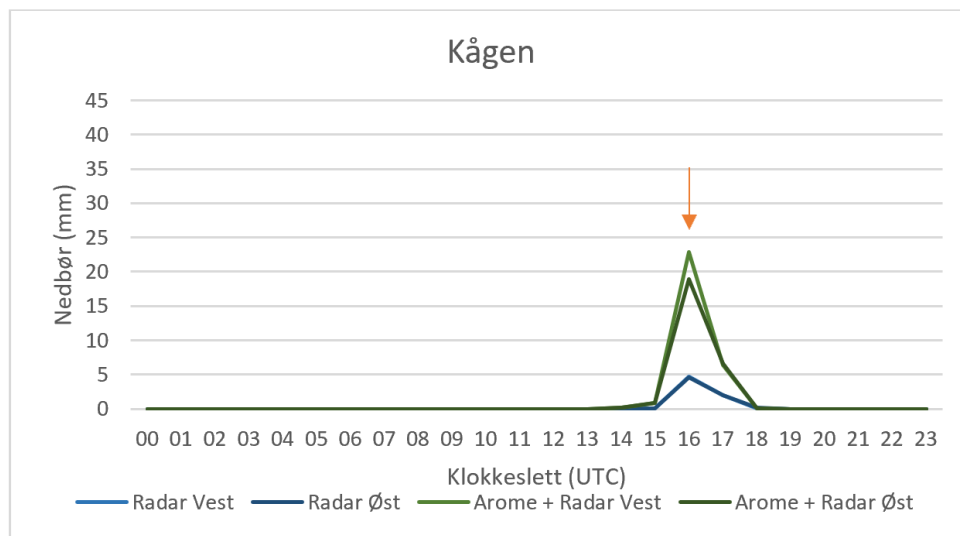
Fig. 5.37c viser et utklipp med generelt lite nedbør og to celler med høyere intensitet sørøst i figuren. Over skredpunktene er verdiene 0 - 3 millimeter. Fig. 5.37f viser en høy nedbørintensitet i nesten hele figuren med verdier opp mot over 30 millimeter. Over skredpunktene er verdiene 15 - 30 millimeter for det vestlige punktet og over 15 millimeter for det østlige. Mellom klokken 18 - 21 (fig. 5.37i) er nedbørmengdene lavere igjen. Det er her ingen nedbør sentralt i utklippet. Mot sørøst øker nedbøren gradvis fra 0 - 3 millimeter til 9 - 15 millimeter. Over skredpunktene er verdiene mellom 0 - 3 millimeter.

	Interpolert		Radar		Arome + Radar	
	Vest	Øst	Vest	Øst	Vest	Øst
kl. 12 - 15	0.8	1.0	0.0	0.0	0.2	0.2
kl. 15 - 18	9.6	12.3	6.8	6.6	30.0	26.0
kl. 18 - 21	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1
24t	21.5	20.6	6.9	6.7	30.4	26.7

Tabell 5.8: Nedbørverdier for cellen som dekker utløsningspunktet for skredet på Kågen den 07.08.14. Hver celle er 1x1 kilometer. Skredet gikk kl. 16 UTC.

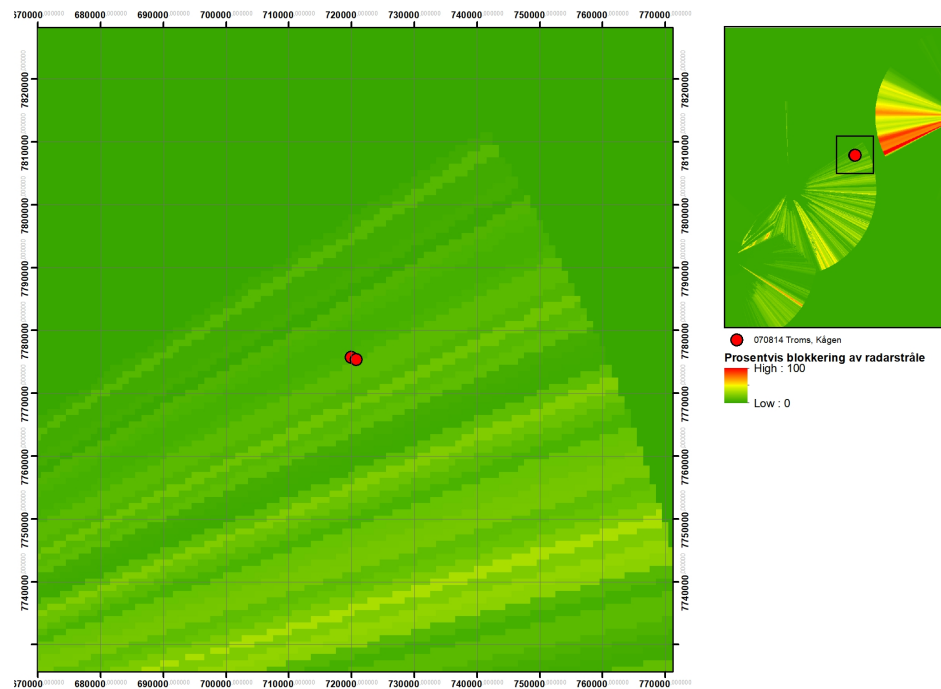
I tab. 5.8 ser en at det ikke er noen nedbør for noen av de to utløsningspunktene mellom klokken 12 - 15. Mellom klokken 15 - 18 er det lite nedbør med verdier rundt 1 millimeter. Fra klokken 18 - 21 har nedbørmengden økt noe, til 9,6 millimeter og 12,3 millimeter. 24 timers akkumulert nedbør er 21,5 millimeter for vestlig utløsningspunkt og 20,6 for østlig. Værradran viser ingen nedbør for utløsningspunktene mellom

klokken 12 - 15. For klokken 15 - 18 er det rundt 6,7 millimeter og fra 18 -21 er det 0,1 millimeter for begge utløsningspunkt. 24 timersnedbøren er 6,9 millimeter for vestlig utløsningspunkt og 6,7 millimeter for østlig. Nedbøren beregnet med Arome-modellen og værradardata viser lave nedbørverdier mellom klokken 12 - 15. Mellom klokken 15 - 18 er det høy nedbørintensitet for begge utløsningspunkter, med 30 millimeter og 26 millimeter for henholdsvis vestlig og østlig utløsningspunkt. For klokken 18 - 21 er det igjen lave nedbørverdier for begge utløsningspunkter.



Figur 5.38: Nedbørprofil for de fem utløsningspunktene nær Eresfjorden, skreddatoen 07.08.14. Grafen viser 1t nedbørverdier estimert fra værradar i ulike blåfarger, og fra Arome-modellen og værradardata i ulike grønnfarger. Klokkeslettet er oppgitt i UTC. Skredhendelsen inntraff kl. 16:00 UTC og er markert med en oransje pil.

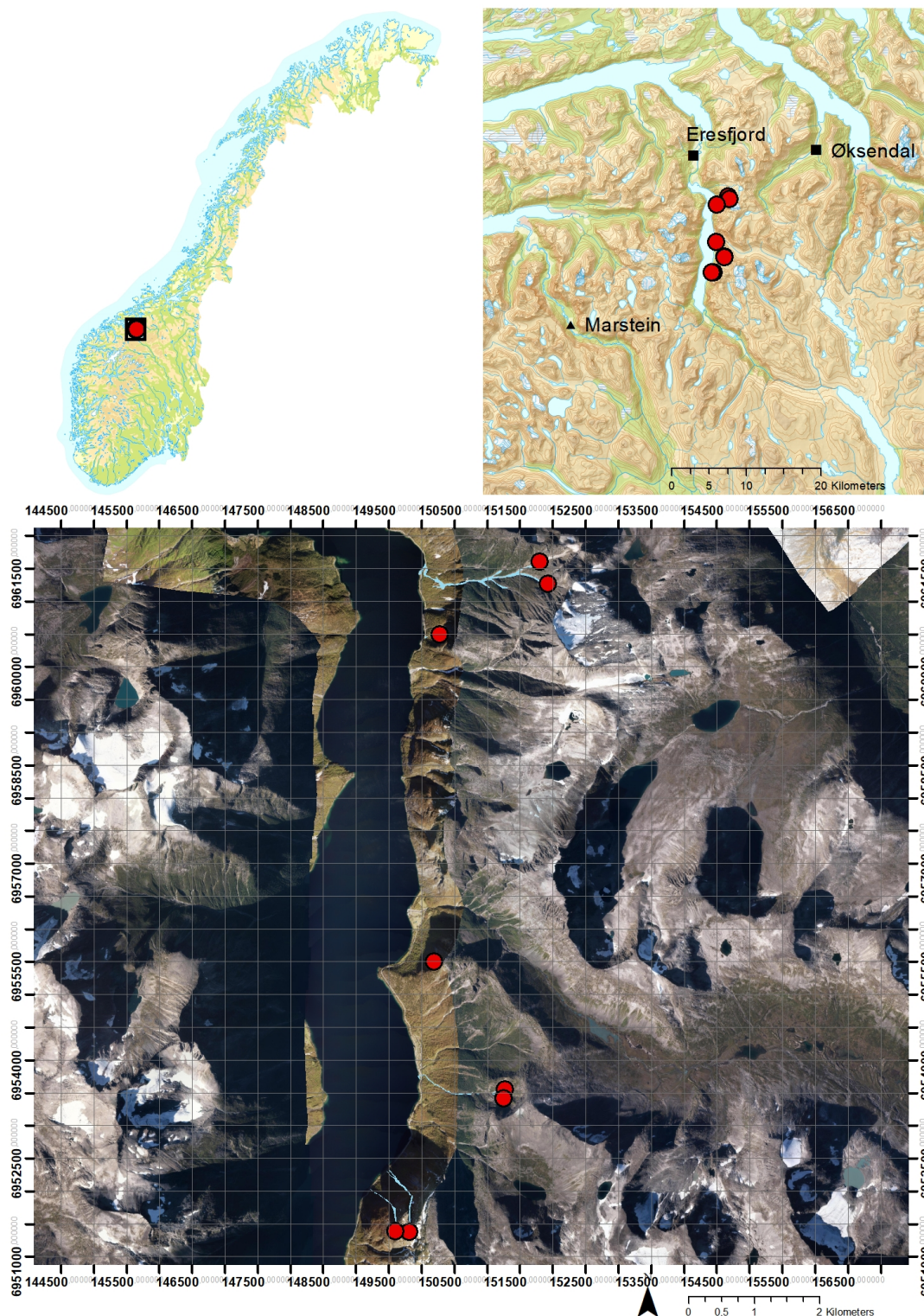
Nedbørgrafen for Kågen viser at både værradar og Arome + Radar estimerer maksimum timesverdi for utløsningspunktene til å inntreffe samme klokkeslett. Værradaren estimerer dog lavere nedbørmengder enn Arome + Radar gjør. For det vestlige utløsningspunktet estimerer værradaren 4,7 millimeter, 2,0 millimeter og 0,1 millimeter nedbør mellom klokken 16:00 og 18:00. Her estimerer Arome + Radar 0,2 millimeter, 0,8 millimeter, 22,9 millimeter, 6,4 millimeter og 0,1 millimeter nedbør mellom klokken 14:00 og 18:00. Det østlige utløsningspunktet har nedbørverdier estimert til 4,5 millimeter, 2,0 millimeter og 0,1 millimeter mellom klokken 16:00 og 18:00 ved værradar. Ved Arome + Radar er verdiene estimert til 0,2 millimeter, 0,9 millimeter, 18,9 millimeter, 6,6 millimeter og 0,1 millimeter mellom klokken 14:00 og 18:00.



Figur 5.39: viser hvor stor blokkeringen av signalet til værradarener i prosent. Utsnittet dekker samme område som de ulike nedbørproduktene.

Det er liten grad av stråleblokkering over skredhendelsene på Kågen. Mest blokkering er det sør i utsnittet. Her er den prosentvise stråleblokkeringen opp mot 32 %. Resten av utsnittet oplever lavere blokkeringsprosent med de fleste verdeine mellom 10 % og 20 %. Over skredpunktene er det ca. 10 % blokkering av værradarsignalet. Skredet ligger i ytterkantene av strålesignalet maksimalavstand på 240 kilometer.

5.1.5 Eresfjord



Figur 5.40: Oversiktskart over skredhendelsene ved Eresfjorden. Målestasjoner som registrerer nedbør er vist i øvre høyre figur: ■ 24t nedbør ▲ 1t nedbør. Skredløp og utløpsområder markert i lys blått. Skredene gikk 12.07.14 kl. 15 UTC og var flomskred. Flyfoto fra norgebilder.

Lørdag 12.07.2014 omtrent klokken 15 (13 UTC) gikk det flere skred i Eikesdalen, litt øst for Åndalsnes i Møre og Romsdal. En geolog forteller NRK at det har gått syv skred i området. På RegObs er det registrert elleve hendelser.

Eikesdalen er veldig skredutsatt og det har gått mange skred her. Norgebilder har flyfoto fra 2013 og 2017. I dette tidrommet har er det registrert flere andre skred i dalen, noe som gjør at man ikke kan se på før- og etterbilder og registrere de skredene som ikke er synlige i førbildet.

Nedbørsituasjonen beskrives som en veldig lokal og intens regnbyge, som ikke har blitt registrert hos noen av værstasjonene i området.

Skredene som har gått her har hatt stor påvirkning på infrastruktur. Fylkesvei 191 har ved et tilfelle rast ut på grunn av undergraving fra skredet.

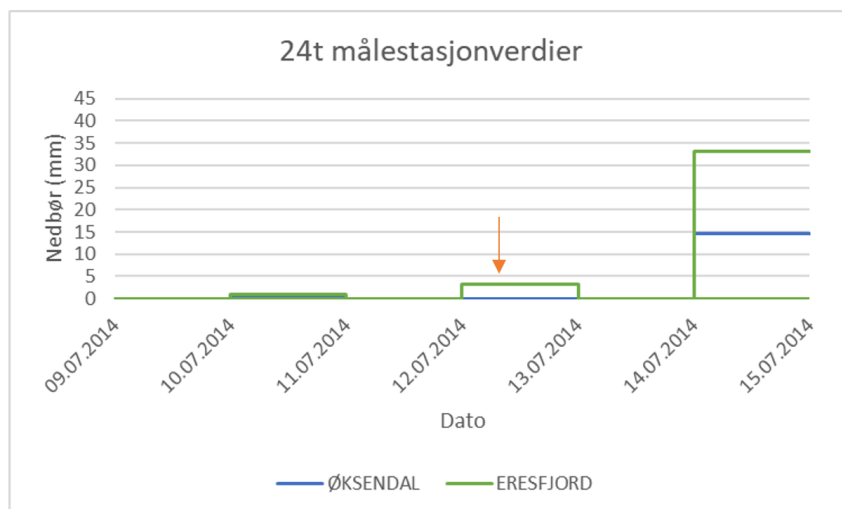
Ikke alle de registrerte skredene i Eikesdalen har blitt tatt bilde av. Skredet lengst mot nord (1) er det som er størst både i volum og påvirkning. Her har veien rast ut som et resultat av skredet. Bilder tatt av skredet viser et skredutløp bestående av grove materialer som stein. Noe sand ligger ut i veibanen. Skred 2 er et mindre skred i volum. Dette har også dratt med seg større steiner. De andre skredene finne det ikke foto av. De har dog fulgt bekkefar. Skredene som gikk i dalen beskrives som flomskred av ingeniørgeolog Tore Humstad.

Det ble utstedt grønt varsel fra jordskredvarslingen ved NVE.



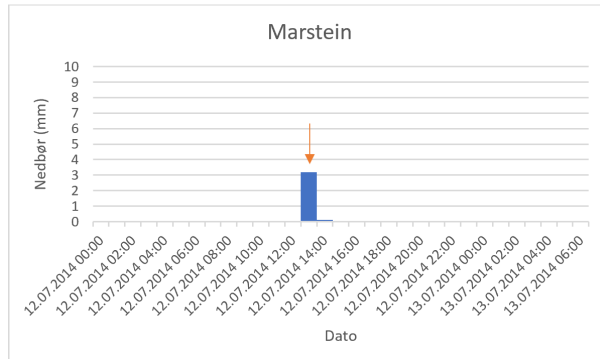
Figur 5.41: Foto tatt ved befarings av skredhendelsene langs Eikesdalen ved Eresfjorden. a viser skred 1 og b skred 2. Foto fra NVE.

Det er innhentet nedbørverdier fra tre målestasjoner rundt de fem skredhendelsene ved Eresfjorden (se fig. 5.40). Eresfjord og Øksendal registrerer 24 timers verdier og ligger henholdsvis 6,2 - 15,6 kilometer og 14,9 - 21,9 kilometer fra skredhendelsene. Marstein registrer 1 timers verdier og har en avstand på 19,5 - 25,7 kilometer fra skredhendelsene.



Figur 5.42: 24t nedbørverdier registrert ved Eresfjord og Øksendal målestasjon. Skredet ble utløst 12.07.14 kl. 13 UTC, som er markert med oransje pil. Hver verdi er akkumulert mellom kl. 06:00 d og 06:00 d+1 UTC, slik at hver datomarkering i figuren er kl. 06:00. Eresfjord er den nærestliggende stasjonen. Plasseringen kan sees i figur 5.40, avstand i tabell 5.9.

Verken Eresfjord eller Øksendal viser særlige mengder nedbør for dagene i forkant av skredhendelsen eller for datoen skredet gikk. For skreddatoen viser Eresfjord stasjon under 5 millimeter nedbør mens Øksendal ikke viser noe nedbør.



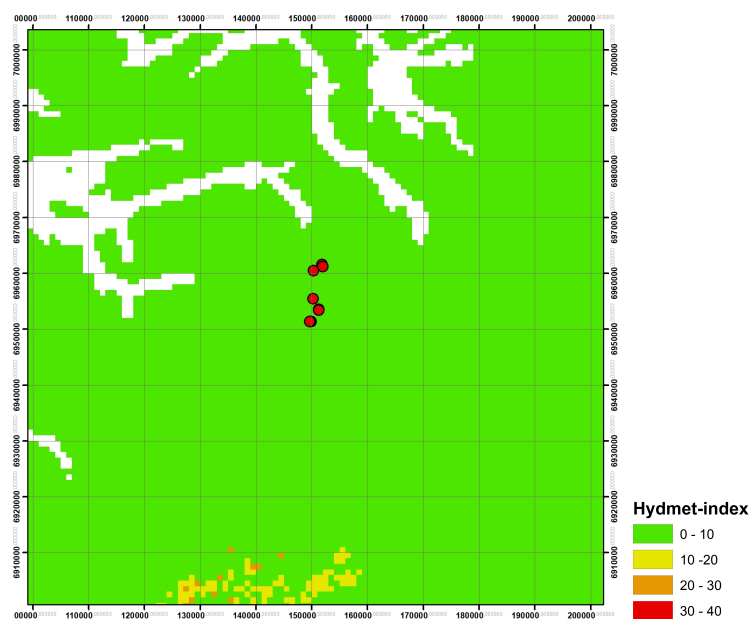
Figur 5.43: Marstein målestasjon registrerer 1 times nedbørverdier. Skredhendelsen inntraff 12.07.14 kl. 13:00 UTC og er markert med oransje pil. Alle klokkeslett er oppgitt i UTC. Lokalteten til stasjonen i forhold til skredhendelsene kan sees i 5.40.

Figur 5.43 viser 1 times nedbørverdier registrert ved Marstein målestasjon. Figuren viser lave til ingen nedbørmengder opp mot skredhendelsen. Unntaket er klokken 13 UTC på skreddatoen hvor det er registrert 3,2 millimeter.

Målte nedbørverdier (mm)			
Stasjonsnavn	Eresfjord (24t)	Øksendal (24t)	Marstein (1t)
Avstand (km)	6.2 - 15.6	14.9 - 21.9	19.5 - 25.7
kl. 06 - 09	-	-	0
kl. 09 - 12	-	-	0
kl. 12 - 15	-	-	0
kl. 15 - 18	-	-	3.3
24t	3.2	0	3.3

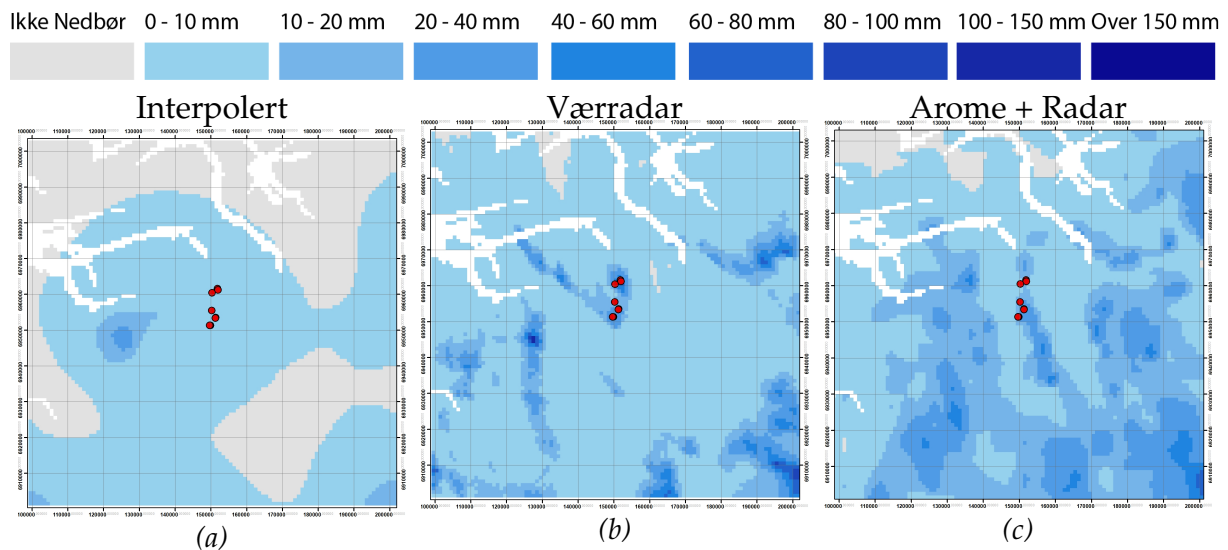
Tabell 5.9: Registrerte nedbørverdier for de nærmestliggende målestasjonene til skredet som gikk i Eresfjord (se fig. 5.40). Akkumulert 3t nedbør er gitt for Marstein mens akkumulert 24t nedbør er gitt for Eresfjord, Øksendal og Marstein. Skredhendelsene i Eresfjord hadde relativt lang utstrekning i hendelser. Avstand er derfor oppgitt i intervall mellom skredhendelsen som ligger nærmest og lengst vekk. Skredet gikk kl. 13 UTC.

Målestasjonene Eresfjord, Øksendal og Marstein viser alle lave nedbørmengder for skreddatoen. Eresfjord målestasjon ligger 6,2 kilometer fra den nærmeste skredhendelsen ved Eresfjorden. De andre stasjonene ligger litt lengre vekk.



Figur 5.44: Hydmet-indeks som representerer datoen skredhendelene ved Eresfjorden gikk den 12.07.14

Hydmet-indeksen for skredene ved Eresfjorden viser grønt nivå for dalen skredene gikk og de omkringliggende områdene. I den sørlige delen av figur 5.44 er det et lite område som viser gult nivå og noen celler som viser oransje nivå. Bortsett fra dette området viser hele figuren grønt nivå. Dette er en observasjonsbasert indeks.

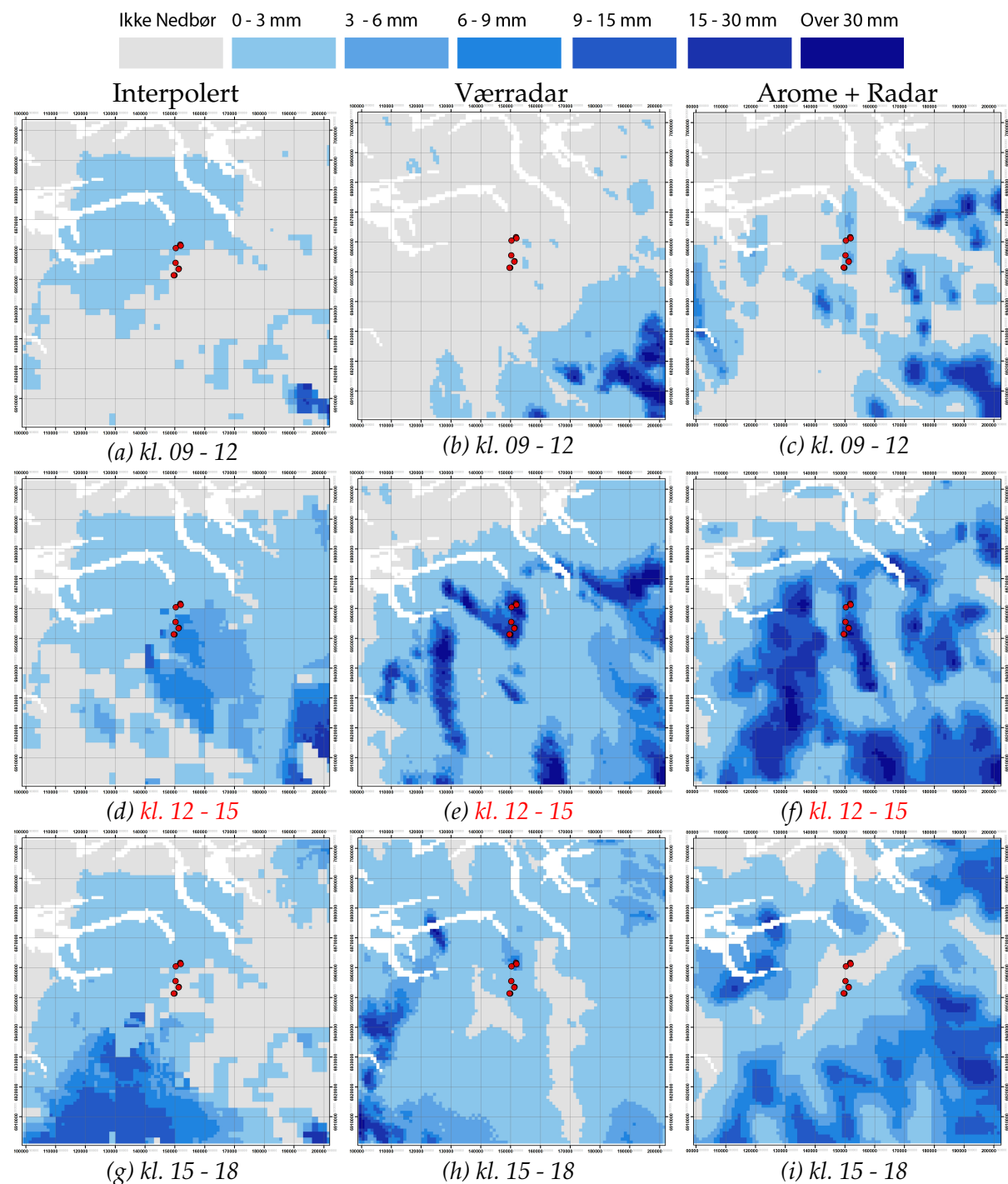


Figur 5.45: 24t nedbør estimert ved interpolering (a), værradar (b) og Arome + Radar (c). Figurene er 100x100 km med en celleopløsning på 1x1 km. Figurene viser skreddatoen 12.07.14.

Figurene over 24 timers akkumulert nedbør gir et ulikt bilde av nedbørhendelsen over Eresfjord. Alle tre figurer viser lokale celler med mer intens nedbør enn rundt. Nedbøren beregnet ved interpolering (fig. 5.45a) viser dog kun en celle med en plassering noe vest for skredhendelsene. Over skredpunktene er det 0 - 10 millimeter nedbør

Nedbøren beregnet fra værradar (fig. 5.45b) viser flere celler celler med mer intens nedbør i området. Denne figuren gir også et bilde av mer nedbør innad i hele utsnittet i tillegg til høye nedbørverdier over skredhendelsene hvor det er 20 - 80 millimeter nedbør avhengig av hvilket skredpunkt en ser på.

Arome + Radar viser også flere små nedbørceller, men flere av de enn de to andre figurene. Intensiteten i cellene er lavere enn i radarplotet. Over skredpunktene er verdiene i cellene mellom 9 til over 30 millimeter.



Figur 5.46: 3t nedbørverdier fremstilt ved interpolering (venstre kolonne), værradar (midtre kolonne) og en kombinert modell av arome-modellen og radardata (høyre kolonne). Skredene gikk kl. 13 UTC, intervallet som dekker skredtidspunktet er markert med rød skrift.

De interpolerte plotene i venstre kolonne viser så godt som ingen nedbør mellom 09 - 12 UTC. Over skredpunktene er det ingen nedbør for de tre sydligste og 0 - 3 millimeter for de to nordligste. Neste 3 timersintervall viser nedbør over skredpunktet og i sørøst. Over skredpunktet ligger nedbørmengden på mellom 0 - 9 millimeter. Mellom klokken 15 - 18 er verdiene lave over skredpunktene med ingen til 3 millimeter nedbør. Sør i

bildet er det 9 - 15 millimeter.

For radarplotene er nedbørmengdene gjennomgående høyere. Det er også flere nedbørceller emd høy intensitet synlig. Cellene har en brå overgang mellom lav og høy intensitet. Figur 5.46b viser nedbørceller i sørøstre hjørne av utsnittet. Her finnes celler med verdier over 30 millimeter. Resten av utsnittet, inkludert skredpunktene opplever et homogent bilde, med fravør av nedbør. I figur 5.46e er en større del av utsnittet dekket av nedbør. Fremdeles er det størst andel verdier mellom 0-3 millimeter, men det er flere celler med intensiv nedbør. Verdiene i disse cellene er over 30 millimeter. En av disse cellene med verdier over 30 millimeter dekker skredhendelsene i Eikesdalen. Siste figur gir nedbørverdier for mellom 15 og 18. Mesteparten av nedbørcellene fra fig. 5.46e er nå ute av bildet, med unntak av et sjikt i sørvestre og vestre del. Mesteparten av utsnittet er dekket av nedbørverdier på 0-3 millimeter.

Arome + Radar gir også høye nedbørverdier med lokale celler med høy intensitet. Mellom 09-12 ser en flere nedbørceller med verdier over 30 millimeter. Cellene er spredd over hele bildet, syd for y-koordinat 6980000. Rundt cellene er det estimer ingen nedbør. Over skredhendelsene er det nedbørmengder på mellom 0 og 6 millimeter. Figur 5.46f viser en relativt stor ansamling av nedbørceller med høy intensitet. Her er verdier over 30 millimeter. Sett i forhold til nedbørcellene en kan observere i fig. 5.46e er cellestrukturen her større, tettere og distribuert over en større andel av utsnittet. Over skredhendelsene er det nedbørceller med verdier over 30 millimeter. Det siste tretimersintervallet (fig. 5.46i) viser nedbørceller med noe lavere intensitet enn for 12-15 intervallet. Konsentrasjonen av cellestrukturer innad i utsnittet er også lavere. Sett i forhold til fig. 5.46g og fig. 5.46h. Over skredhendelsene er det ingen nedbørceller.

	Interpolert					Radar					Arome + Radar				
N - S	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
kl. 09 - 12	0.8	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	1.8	3.2	6.1	0.9
kl. 12 - 15	0.8	0.6	6.3	6.8	5.6	42.4	39.3	15.8	24.5	28.5	9.1	7.5	15.5	30.9	15.8
kl. 15 - 18	0.8	0.6	0.0	0.0	0.0	9.2	6.3	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0.4	0.3
24t	3.3	4.1	4.0	3.5	3.6	51.6	45.5	15.8	24.5	28.5	12.0	9.3	18.7	37.4	17.0

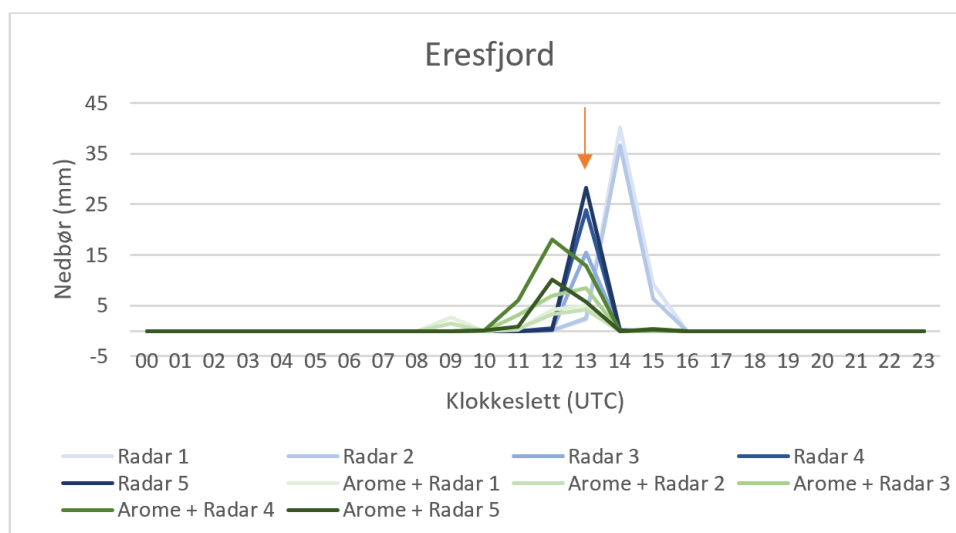
Tabell 5.10: Nedbørverdier for cellene som dekker utløsningspunktene for skredene den 12.07.14 ved Eresfjorden. Skredene gikk kl. 13:00 UTC, 3t intervallet som dekker dette er markert i rødt. Hver celle er 1x1 kilometer. Ved Eresfjorden gikk det 5 ulike skred. Disse er blitt nummerert 1 - 5 fra nord til syd.

Tabell 5.10 viser nedbørverdier beregnet ved interpolering, fra værradardata og en

kombinasjon av Arome-modellen og værradardata. Skredpunktene (1 - 5 fra nord til syd) strekker seg over omtrent 12 kilometer. De interpolerte verdiene er relativt lave for alle utløsningspunktene gjennom alle 3 timersintervallene. Mellom klokken 15 - 18 er verdiene noe høyere for utløsningspunkt 3 - 5. 24 timersnedbøren er lav for alle skredpunktene med verdier mellom 3,3 og 4,1 millimeter over 24 timer.

Verdiene beregnet fra værradardata viser ingen nedbør mellom klokken 09 - 12. 3 timersintervallet 12 - 15 viser høye nedbørintensiteter. Skredpunkt 1 og 2 opplever særlig høy nedbørintensitet med verdiene rundt 40 millimeter over tre timer. 3 timersintervallet 15 - 18 viser lave nedbørintensiteter for utløsningspunktene 1 og 2 og ingen nedbør for 3, 4 og 5. For klokken 18 - 21 vises ingen nedbør for utløsningspunktene. 24 timersnedbøren er høy, men ikke særlig mye høyere enn for 3 timersintervallet 12 - 18.

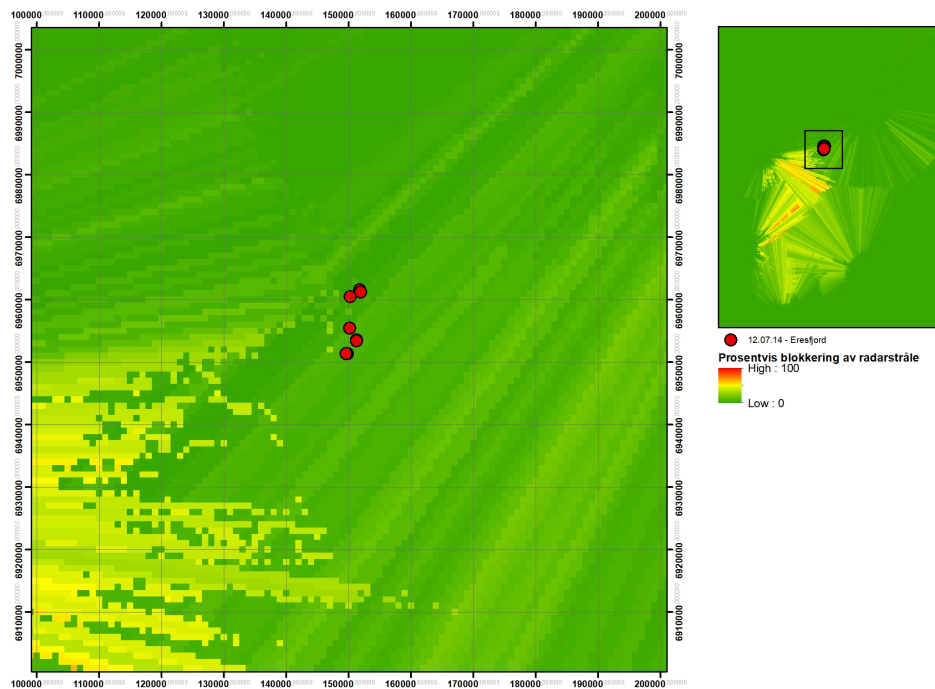
Nedbørverdiene beregnet med Arome og værradar viser lave nedbørintensiteter for utløsningspunktene mellom klokken 09 - 12. Mellom klokken 12 - 15 er intensiteten høyere. For utløsningspunktene 1, 2, 3 og 5 er nedbørverdiene under 16 millimeter. For utløsningspunkt 4 er det høy nedbørintensitet med 30,9 millimeter. Mellom klokken 15 - 18 viser utløsningspunktene 1, 2, og 3 ingen nedbør, men 4 og 5 viser lite nedbør. Klokken 18 - 21 opplever ingen nedbør i utløsningspunktene.



Figur 5.47: Nedbørprofil for de fem utløsningspunktene nær Eresfjorden, skreddatoen 12.07.14. Grafen viser 1t nedbørverdier estimert fra værradar i ulike blåfarger, og fra en kombinasjon av Arome-modellen og værradardata i ulike grønnfarger. Klokketallet er oppgitt i UTC. Skredet gikk kl. 13:00 UTC.

I figur 5.47 kan en se at de to nordligste utløsningspunktene (1 og 2) opplever en økt

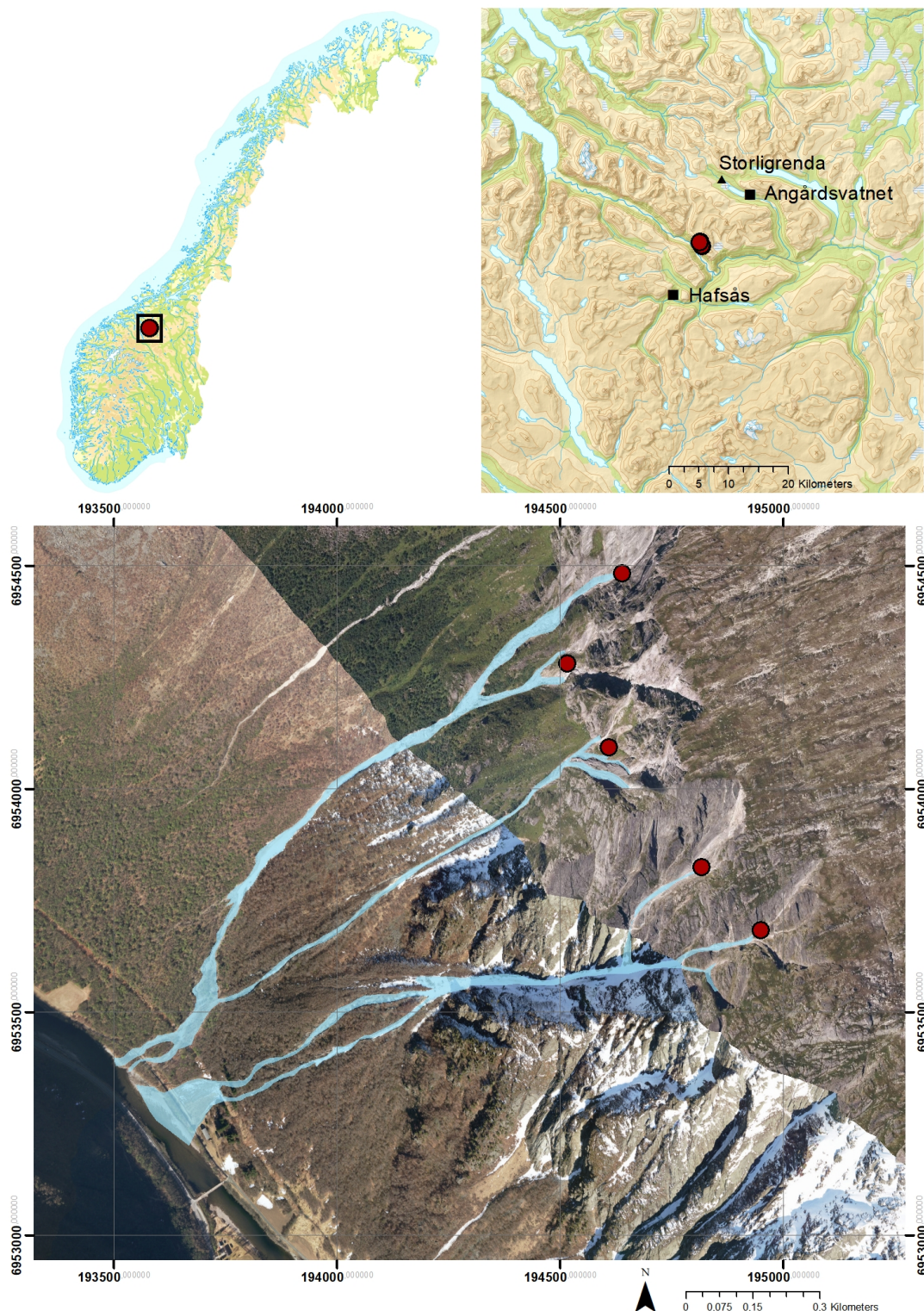
nedbørintensitet noe senere enn de tre sørlige utløsningspunktene (3, 4 og 5). Arome + radar estimerer at økningen i nedbørintensitet startet tidligere enn værradaren gjør. Verdiene estimert fra værradardata viser høyest verdier for utløsningspunkt 1 og 2 og noe lavere for utløsningspunkt 3, 4 og 5. Nedbørverdiene estimert med Arome-modellen i kombinasjon med værradardata viser lavere verdier for utløsningspunkt 1 og 2 enn for 3, 4 og 5. For utløsningspunkt 1 estimerer værradaren at det var 0,1 millimeter nedbør klokken 12:00, 2,2 millimeter klokken 13:00, 40,1 millimeter klokken 14:00 og 9,2 millimeter klokken 15:00. For det samme punktet estimerer Arome + Radar at det falt 2,6 millimeter, 0 millimeter, 0,3 millimeter, 4,2 millimeter og 4,9 millimeter fra klokken 09:00 til og med 13:00. Utløsningspunkt 2 ligger i nabocellen til utløsningspunkt 1 og viser samme trend i både nedbørtidspunkt og nedbørverdier. Værradaren estimerer 0,1 millimeter, 2,6 millimeter, 36,6 millimeter og 6,3 millimeter fra klokken 12:00 til og med klokken 15:00. Arome + radar gir 1,4 millimeter, 0 millimeter, 0,4 millimeter, 3,3 millimeter og 4,2 millimeter fra klokken 09:00 til og med 13:00. Utløsningspunktene 3, 4 og 5 opplever nedbør ved samme tidspunkter som utløsningspunktene 1 og 2, men har en forskyvning av maksimumsnedbøren på -1 time. Værradar estimerer nedbørmengden for utløsningspunkt 3 til å være 0,1 millimeter, 15,5 millimeter, 0,2 millimeter, og <0,1 millimeter fra klokken 12:00 til og med klokken 15:00. Her estimerer Arome + Radar 3,2 millimeter, 7,0 millimeter og 8,5 millimeter mellom klokken 11:00 til og med klokken 13:00. For utløsningspunkt 4 estimerer værradaren 0,5 millimeter, 23,9 millimeter, 0,1 millimeter og <0,1 millimeter nedbør mellom klokken 12:00 og 15:00. For samme punkt estimerer Arome + radar 0,1 millimeter, 6,1 millimeter, 18 millimeter, 12,9 millimeter, 0 millimeter og 0,4 millimeter mellom klokken 10:00 og 15:00. Det sørligste utløsningspunktet (punkt 5) opplever 0,2 millimeter, 28,3 millimeter, 0,1 millimeter, og <0,1 millimeter nedbør mellom klokken 12:00 og 15:00, estimert med værradar. Estimert med Arome + Radar opplever punktet 0,1 millimeter, 0,8 millimeter, 10,1 millimeter, 5,7 millimeter, 0 millimeter og 0,3 millimeter nedbør mellom klokken 10:00 og 15:00.



Figur 5.48: viser hvor stor blokkeringen av signalet til værradarener i prosent. Utsnittet dekker samme område som vist i figur 5.45 og 5.46.

Værradarens signal nær Eresfjorden opplever generelt lite blokkering. Sørvest i utsnittet er blokkeringen størst med verdier på rundt 40 prosent. Rundt skredhendelsene er verdiene mellom 0 og 10 prosent. Skredhendelsene er plassert omtrent 2/3 ut i maksimum signalavstand fra værradaren i nord.

5.1.6 Sunndalen



Figur 5.49: Oversiktskart over skredhendelsene ved Sunndalen. Målestasjoner som registrerer nedbør er vist i øvre høyre figur: ■ 24t nedbør ▲ 1t nedbør. Skredløp og utløpsområder markert i lys blått. Skredene gikk 26.07.13 kl. 15 UTC og var flomskred. Flyfoto fra norgebilder.

Fredag ettermiddag den 26.07.13 gikk det tre skredhendelser i Sunndalen. Skredtidspunkt er anslått til rund 17:00 (15:00 UTC) basert på nedbørdata. Som en kan se i 5.49 har flere skredløp blitt flettet sammen. Dette har resultert i to skredutløp (hvor det nordligste er delt i to mindre utløp). Det sørligste skredet har det bredeste skredutløpet. Bredden på dette skredutløpet er omtrent 200 meter som også adressa.no bekrefter. Medregnet det nordligste utløpet er det en avstand langs veien på nærmere 300 meter som er påvirket av skredhendelsen. Lengden på de fem skredløpene (med utløps- og utløpsområde) er fra nord til sør 1,6 km, 1,4 km, 1,3 km, 1,4 km og 1,4 km.

I adressa.no beskrives nedbørsituasjonen som lokalt og kortvarig, men sjeldent intenst". I samme artikkel nevnes det store nedbørmengder i kombinasjon med tordenvær. Videre beskriver vitnemål selve skredet som bestående av leire- og steinmasser med en hovedbestanddel av sand og grus. Store steiner og trær ble revet ut i veibanen. Bilder fra etter skredhendelsen (se fig. 5.50) viser både avsetningene oppover langs skredløpet i dalsiden (5.50a) og i skredutløpet ned mot og over veien (5.50b). Figur 5.50a viser at avsetningene i skredet brer seg utover i en vifteform i det helningsgradienten blir lavere. I samme bilde kan en i skredløpet i dalsiden, se grovere løsmaterialer som ligger som vuller rundt noe som ser ut som et bekkedar. Både fig. 5.50a og 5.50b viser en gradvis finsortering av materialer mot enden av skredutløpet. Dette er særlig synlig i fig. 5.50b hvor materialet i veibanen ser ut til å utelukkende bestå av sand og leire.

Konsekvensene av skredet har vært ødeleggelse av dyrket mark og vei samt tetting av dreneringsanlegg og bekkeløp.

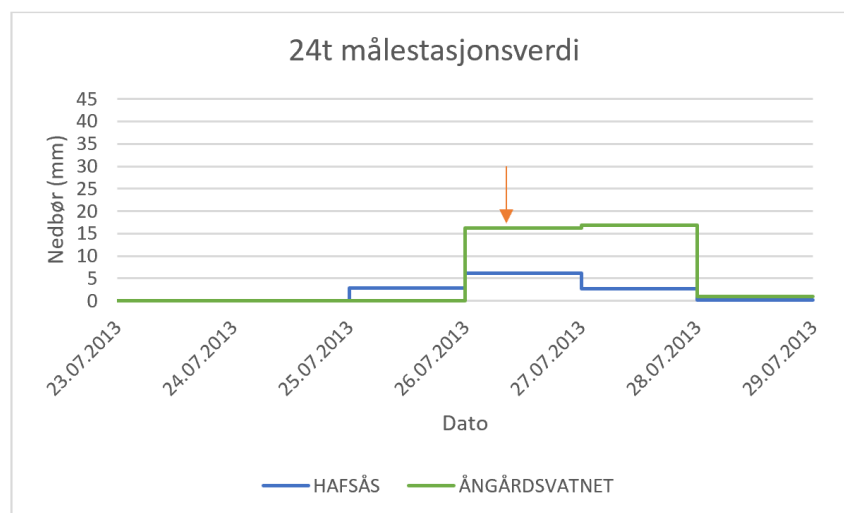
På RegObs beskrives skredhendelsen som et jordskred. Videre lyder beskrivelsen at det har gått tre skred fra tre bekkedaler med mye løsmasser.

Det ble utstedt grønt varsel fra skredvarslingen ved NVE.



Figur 5.50: a: Bilde over skredløp og utløp i Sunndalen. Noter grovere materiale mot kantene av skredet og finere sentralt. b: Bilde over skredutløpet i Sunndalen. I veibanen ligger for det meste leirmateriale, mens det høyere opp ligger steiner. Foto (Lina Engelsrud).

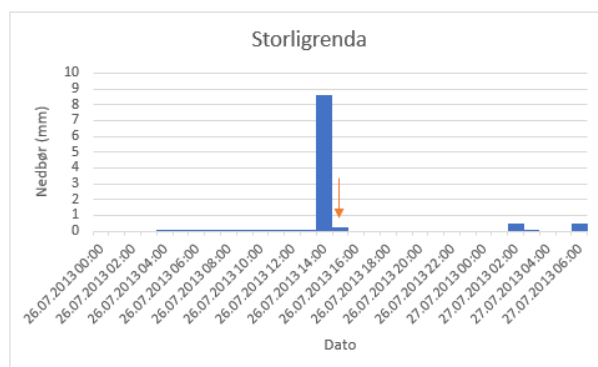
Det er innhentet nedbørverdeir fra to målestasjoner som gir 24 timers akkumulert nedbør (se fig. 5.49). Disse to stasjonene, Hafsås og Angårdsvatnet ligger henholdsvis 9,7 og 11,7 kilometer fra skredhendelsene i Sunndalen. Hafsås ligger sørvest for hendelsene og Angårdsvatnet nordøst. Storligrenda ligger 11,4 kilometer nord-nordøst fra hendelsene og registrerer 1 times nedbør.



Figur 5.51: 24t nedbørverdier registrert ved Hafsås og Angårdsvatnet målestasjon. Skredet ble utløst 26.07.16 kl. 15:00 UTC, som er markert med oransje pil. Hver verdi er akkumulert mellom kl. 06:00 d og 06:00 d+1 UTC, slik at hver datomarkering i figuren er kl. 06:00. Hafsås er den nærestliggende stasjonen. Plasseringen kan sees i 5.49, avstand i 5.11.

Hafsås målestasjon (fig. 5.51) har registrert lite nedbør dagene i forkant av skredhendelsen. Det er ingen nedbør den 23. og 24. juni. Den 25. er det registrert litt under 3 millimeter mens det er registrert 6,1 millimeter for skredhendelsesdatoen. Angårdsvatnet har ikke registrert noe nedbør i dagene opp mot den 26. juni. For skreddagen er

det registrert 16,3 millimeter.



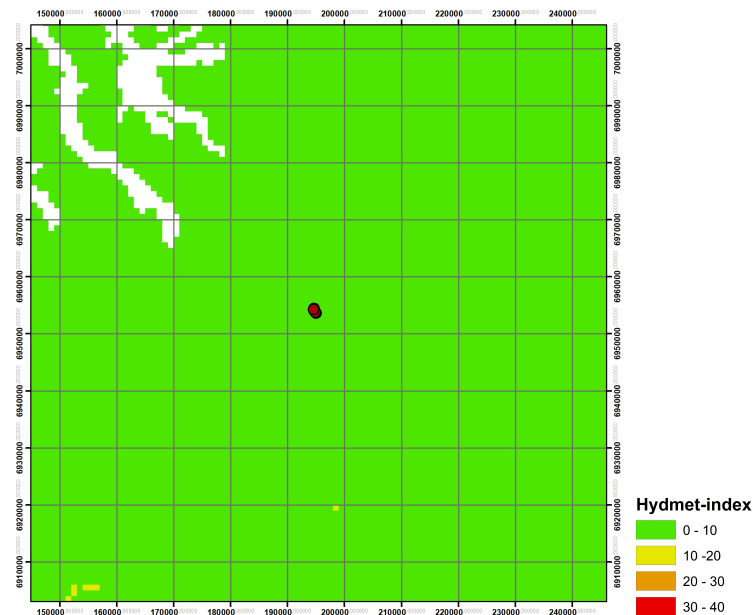
Figur 5.52: Storligrenda målestasjon registrerer 1 times nedbørverdier. Lokaliteten til stasjonen i forhold til skredhendelsene kan sees i 5.49. Skredhendelsen gikk 26.07.16 kl. 15:00 UTC og er markert med oransje pil i grafen.

Storligrenda viser lave til ingen nedbørverdier opp mot skredhendelsesdatoen. Klokken 14:00 UTC har målestasjonen registrert 8,9 millimeter. Dette er timen før skredhendelsen inntraff.

Målte nedbørverdier (mm)			
Stasjonsnavn	Hafsås (24t)	Angårdsvatnet (24t)	Storligrenda (1t)
Avstand (km)	9.7	11.7	11.4
kl. 09 - 12	-	-	0.3
kl. 12 - 15	-	-	0.3
kl. 15 - 18	-	-	8.9
kl. 18 - 21	-	-	0
24t	6.1	16.3	10.7

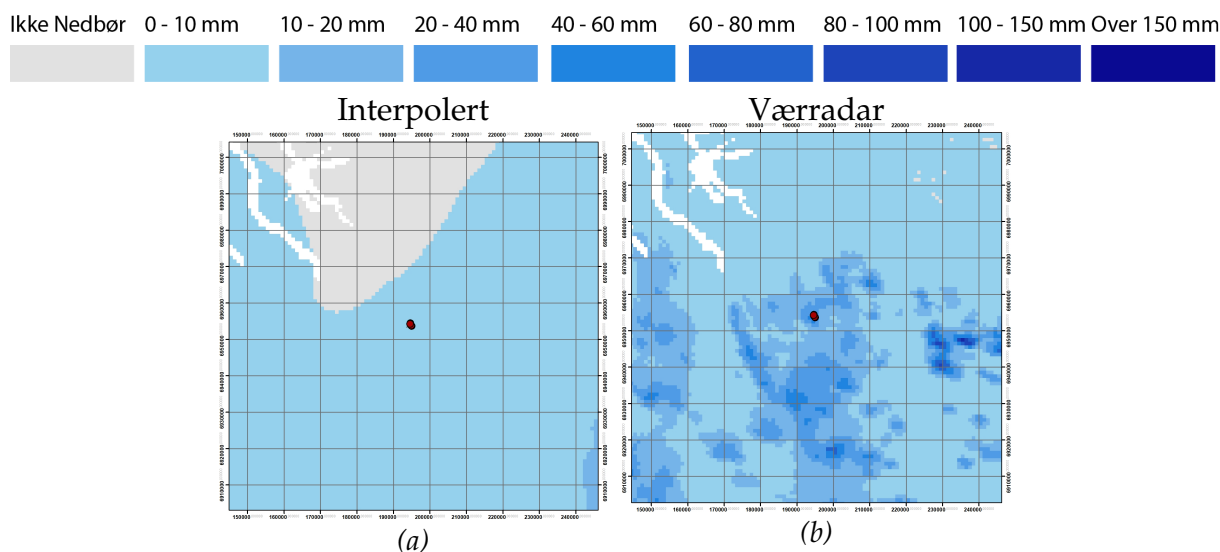
Tabell 5.11: Registrerte nedbørverdier for de nærmestliggende målestasjonene til skredet som gikk i Sunndalen. Målestasjonenes navn og avstand til løsnepunktet (km) finnes i de to øverste radene. Akkumulert 3t nedbør er gitt for Storligrenda mens akkumulert 24t nedbør er gitt for Hafsås, Angårdsvatnet og Storligrenda.

Av tab. 5.11 kan en lese at Hafsås målestasjon ligger 9,7 kilometer fra skredhendelsene og har registrert en 24 timers nedbørmengde på 6,1 millimeter mellom klokken 08.00 den 26.07.13 og 08.00 den 27.07.13. For samme tidsrom har målestasjon Angårdsvatnet registrert 16,3 millimeter og Storligrenda 9,8 millimeter. Angårdsvatnet ligger 11,7 kilometer fra skredhendelsene og Storligrenda 11,4 millimeter. For samme 3 timersintervaller som i fig. 5.55 har Storligrenda registrert 0,3 millimeter fra 09 - 12, 0,3 millimeter fra 12 - 15, 8,9 millimeter fra 15 - 18 og ingen nedbør fra 18 - 21.



Figur 5.53: Hydmet-indeks som representerer skreddatoen 26.07.13 over Sunndalen.

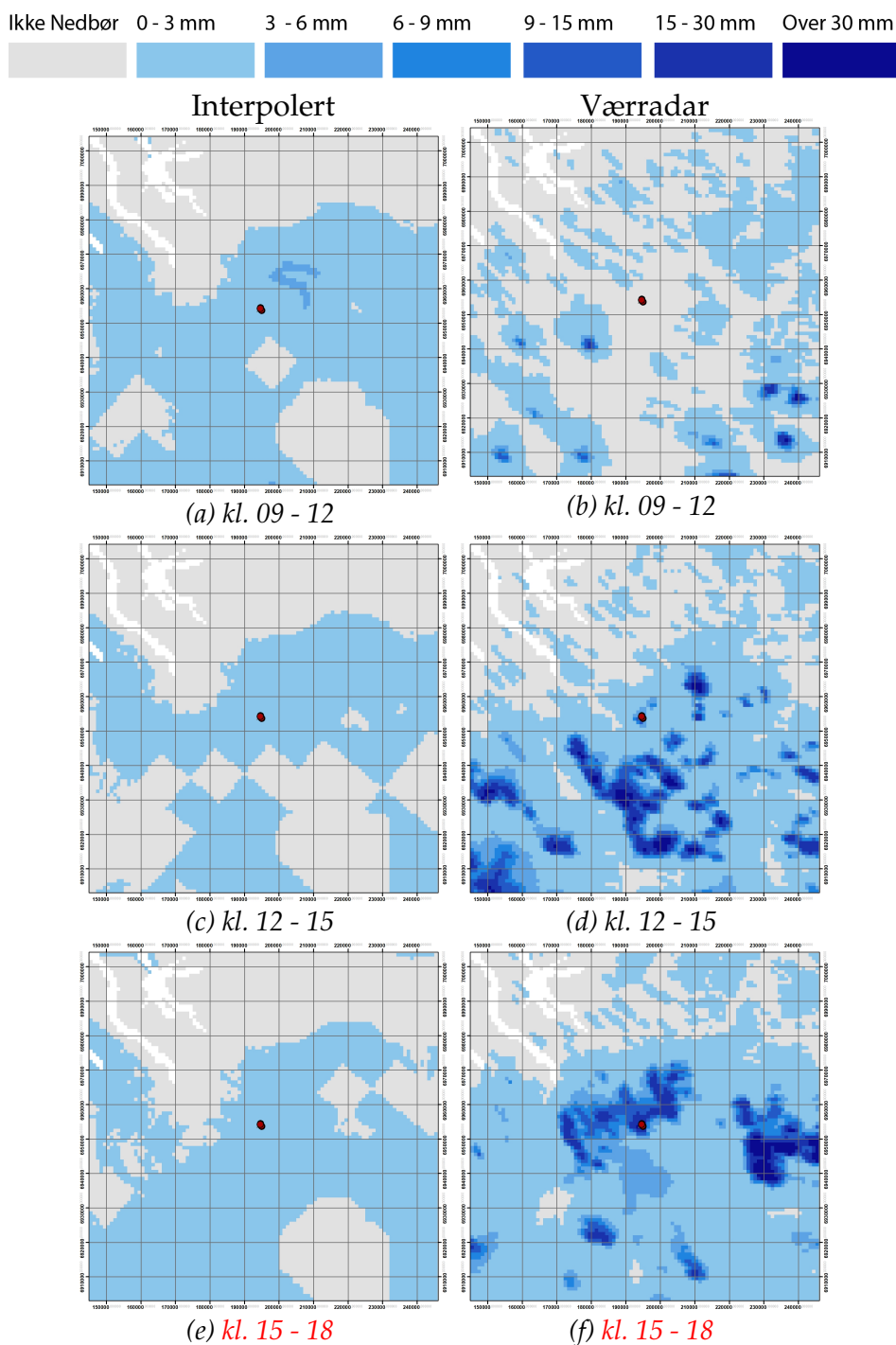
Hydmet-indeksen for Sunndalenskredet viser grønt nivå for cellene som dekker skredet. Med unntak av noen få celler i sør og sørvest som viser gult nivå, viser hele utsnittet grønt nivå. indeksen er observasjonsbasert.



Figur 5.54: a: 24 timers fra interpolering mellom nedbørmålere. b: 24 timers nedbør fra værradar. Noter høyere nedbørverdier og flere bygeceller i 5.54b enn 5.54a. Figurene er 100x100 km med en celleoppløsning på 1x1 km. Figurene representerer skreddatoen 26.07.13.

De interpolerte nedbørverdiene (fig. 5.54a) viser et relativt homogent nedbørmønster. Det er for det meste 0 - 10 millimeter nedbør i utsnittet, med unntak av en kile uten nedbør i nord og et sjikt med 10 - 20 millimeter nedbør helt i sørøst. Over skredpunktene viser 24 timers akkumulert nedbør 0 - 10 millimeter nedbør.

Nedbørverdiene hentet fra værradar (fig. 5.54b) viser flere celler med høyere nedbørintensitet. Rundt nedbørcellene er det estimert nedbør mellom 0 - 10 millimeter. Intensiteten i øst er noe høyere enn i vest. Nedbørmengden i cellene i øst er 80 - 150 millimeter på det meste, mens de i vest er 20 - 60 millimeter på det meste. Over skredhendelsene er verdiene mellom 20 - 40 millimeter. Værraderen viser ingen cellestrukturer nord for y: 6970000 meter.



Figur 5.55: 3t nedbørverdier for skreddatoen 26.07.13 fremstilt ved interpolering (venstre kolonne) og værradar (høyre kolonne). Skredene gikk kl. 15:00 UTC (dette er anslått basert på nedbørdata). 3 timersintervallet som dekker utløsningstidspunktet er markert med rød skrift.

Figurene i venstre kolonne viser interpolerte nedbørverdier. Fra 09 - 12 (fig. 5.55a) er det tilnærmet ingen nedbør. Utsnittet viser Noen områder uten nedbør og noen med 0 - 3 millimeter. Over skredpunktet er det 0 - 3 millimeter nedbør. Neste tretimersintervall (fig. 5.55c) fra klokken 12 - 15 viser omtrent samme mønster med nedbørmengder på ingen nedbør og mellom 0 - 3 millimeter. Over skredpunktet er det 0 - 3 millimeter.

I figur 5.55e er det et liknende mønster med ingen nedbør og 0 - 3 millimeter over skredpunktet.

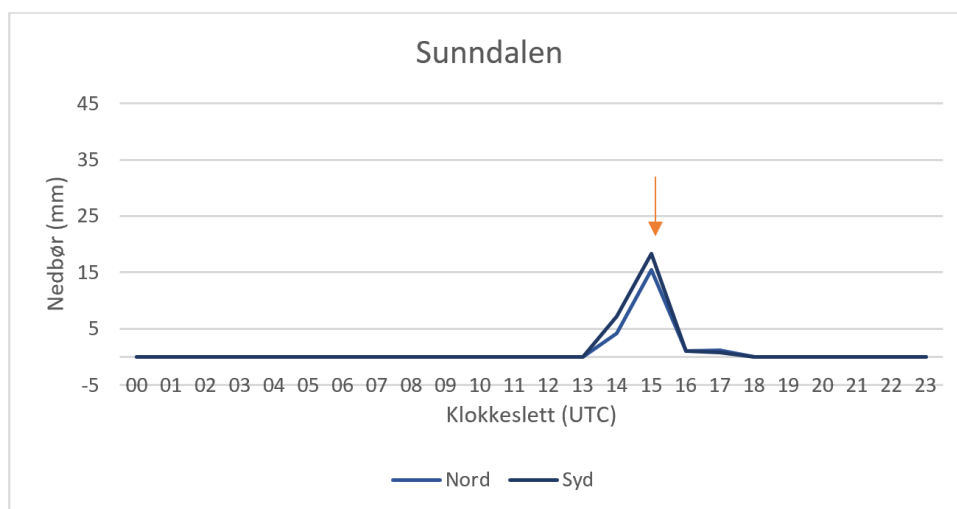
Midtre kolonne viser nedbørverdier fremstilt fra værradardata. Disse figurene viser distinkte celler med høyere nedbørverdier enn rundt. I figur 5.55b er det 10 celler i sørlige del av bildet med en størrelse på 3 til 6 kilometer i diameter med verdier opp mot over 30 millimeter. Rundt og over skredhendelsene er det ingen nedbør. I figur 5.55d har både cellestørrelsen og nedbørintensiteten økt. Flere cellestrukturer ser ut til å henge sammen i en titalls kilometer stor struktur rett sør for skredhendelsene. Over skredhendelsene er det en liten cellestruktur på 3 - 4 kilometer med 3 - 15 millimeter. I figur 5.55f er det noen celler nord og øst for skredene med 15 - 30 millimeter og noen verdier over 30 millimeter. Over skredpunktene er verdiene mellom 15 - 30 millimeter mellom klokken 15 og 18. Cellene estimert med værradar viser brå overgang mellom høy og lav intensitet.

	Interpolert		Radar	
	Nord (3)	Syd (2)	Nord (3)	Syd (2)
kl. 09 - 12	2.9	4.3	0.0	0.0
kl. 12 - 15	1.4	2.1	4.1	7.2
kl. 15 - 18	1.4	2.1	17.7	20.0
24t	1.4	1.5	27.0	32.7

Tabell 5.12: Nedbørverdier for cellene som dekker utløsningspunktene i Sunndalen. Hver celle er 1x1 kilometer. Antall skred som ble utløst i hver celle er markert i parentes.

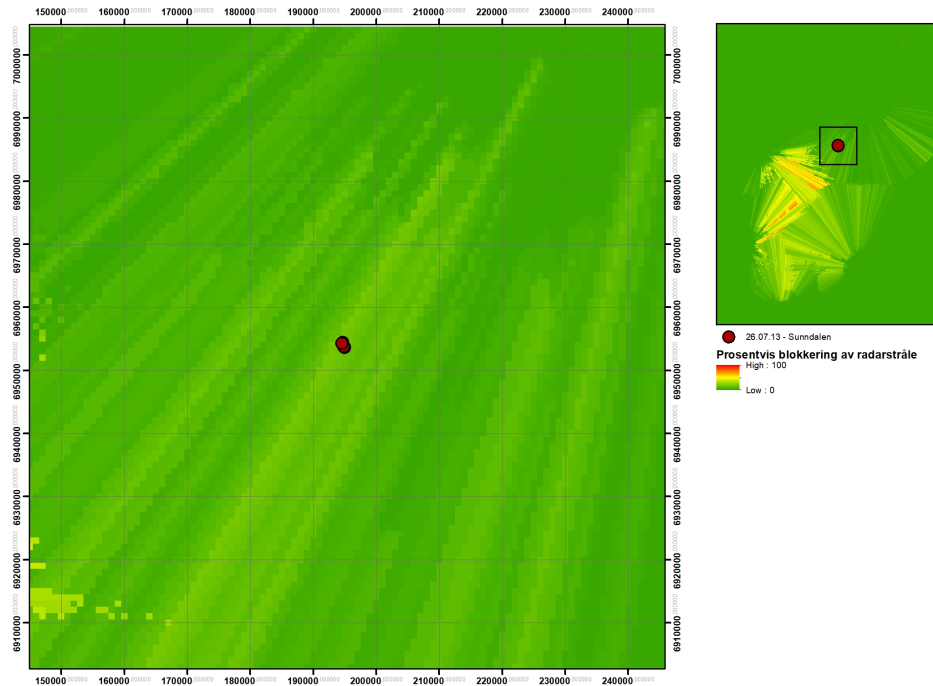
I tab. 5.12 ser en at de interpolerte nedbørverdiene er lave i begge utløsningspunktene, gjennom alle 3 timersintervallene. Nedbørintensiteten er noe høyere i det sørligste utløsningspunktet. 24 timers akkumulert nedbør er estimert til 27 og 32,7 millimeter for henholdsvis nordlig og sydlig utløsningspunkt.

Radarverdiene i tabell 5.12 viser ingen nedbør for klokken 09 - 12. For klokken 12 - 15 er det noe nedbør med 4.1 millimeter for det nordligste utløsningspunktet og 7.2 millimeter for det sørligste. 3 timersintervallet 15 - 18 opplever intens nedbør. Her er nedbørverdien henholdsvis 17.7 millimeter og 20.0 millimeter for nordlig og sørlig utløsningspunkt. 24 timers akkumulert nedbør er estimert til 27 og 32,7 millimeter for henholdsvis nordlig og sydlig utløsningspunkt.



Figur 5.56: Nedbørprofil for utløsningspunktene i Sunndalen, skreddatoen 26.07.13. Grafen viser 1t nedbørverdier estimert fra værradar. Klokkeslettet er oppgitt i UTC. Skredet er antatt utløst klokken 15:00 UTC.

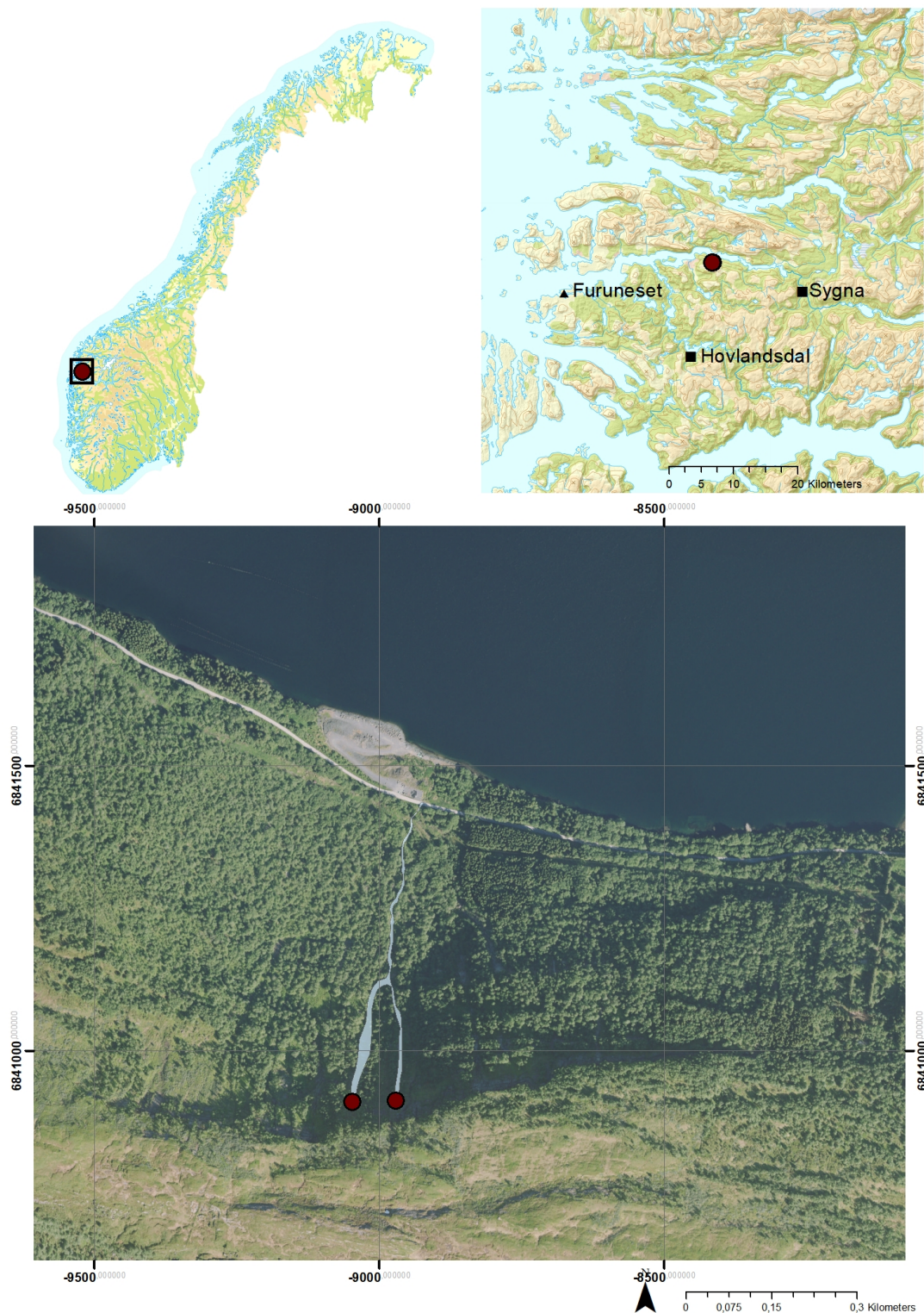
Nedbørprofilen i figur 5.65 viser hvordan timesnedbøren har fordelt seg gjennom døgnet skredhendelsen i Sunndalen fant sted. Grafen viser at det ikke har vært noen nedbør over utløsningspunktet frem til klokken 14:00. Klokken 14:00 faller det 4,1 millimeter nedbør i det nordlige utløsningspunktet og 7,2 millimeter i det sørlige. Klokken 15:00 er det estimert en nedbørmengde på 15,4 millimeter i nordlig utløsningspunkt og 18,3 millimeter i sørlig. Klokken 16:00 og 17:00 faller nedbørmengden til henholdsvis 1,0 millimeter og 1,2 millimeter for det nordlige utløsningspunktet, og 1,0 millimeter og 0,8 millimeter for det sørlig. Fra og med klokken 18:00 opplever ingen av utløsningspunktene noe nedbør.



Figur 5.57: viser hvor stor blokkeringen av signalet til værradarener i prosent. Utsnittet dekker samme område som de ulike nedbørproduktene.

Stråleblokkeringen i Sunndalen er generelt lav. Alle verdier, med unntak av noen få celler i sørvest ligger under 20 prosent. over skredhendelsene er blokkeringsprosenten mellom 17 og 19 prosent. Skredhendelsene ligger innenfor 2/3 av maksimumsavstanden til værradarsignalet.

5.1.7 Sætenes



Figur 5.58: Oversiktskart over skredhendelsen ved Sunndalen. Målestasjoner som registrerer nedbør er vist i øvre høyre figur: ■ 24t nedbør ▲ 1t nedbør. Skredløp og utløpsområder markert i lys blått. Skredet gikk 17.07.13 kl. 13 UTC og var flomskred. Flyfoto fra norgebilder.

Onsdag 17. juli 2013 noe før klokken 15:00 (13:00 UTC) gikk det et skred nær Sætenes i Sogn og Fjordane. Som en kan se fra fig. 5.58 ahr to skredløp gått sammen til ett som så har gått ut i veibanen. Lengden på skredet er ca. 600 meter. Bredden på skredetutløpet er mellom 10 og 20 meter og 1 meter dypt på det dypeste.

På RegObs skrives det at det muligens har vært lokalt mye nedbør, uten at dette er observert. Her omtales skredhendelsen som et flomskred hvor et bekkefar har vokst seg stort og funnet et nytt løp. Flomskredet har dratt med seg jord og stein. Både avisa Firda og NRK.no beskriver samme forløp, hvor et bekkefar har vokst seg stort og funnet nytt leie. Grus og småstein rast ut i veibanen og inn mot utløpet ligger løsmassene i et 1 meter tykt lag. Bilder fra skredet (se fig. 5.59) viser kun skredutløpet. Her ser en lite sortering av løsmasser. Småstein ligger sammen med sand og leire. Løsmassene har spredd seg ut til sidene, fra apex (se fig. 5.59a). Skredet omtales som lite flomskred i ukesoppsummeringen til NVE.

Konsekvensene av skredet var relativt små. Veien ble stengt, men ryddet og åpnet til klokken 15.25.

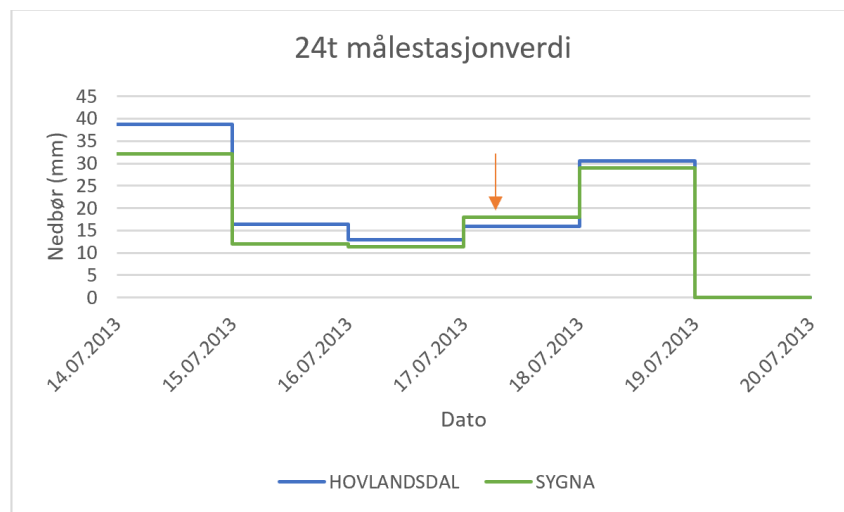
Det ble utstedt grønt varsel fra varslingstjenesten til NVE. Onsdag morgen ble det utstedt OBS-varsel for Nordfjord og Møre og Romsdal samt Sogn og Fjordane.



Figur 5.59: a: Bilde over skredutløp i Sætenes. b: Bilde over skredutløpet i Sætenes etter oppryddingen har startet. Foto (NRK.no-tipser (ukjent)).

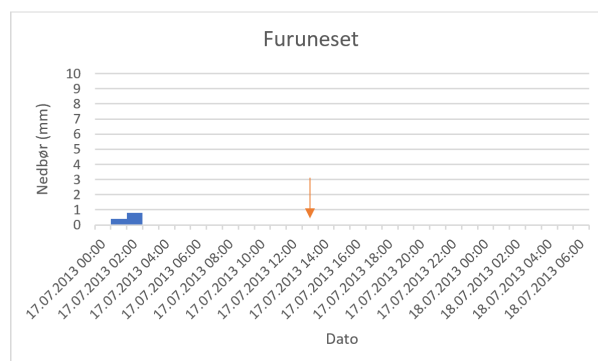
Det er innhentet 24 timers akkumulert nedbør fra to målestasjoner (se fig. 5.58). Dette er Sygna som ligger 14,8 kilometer øst for skredhendelsen og Hovlandsdal som ligger

15 kilometer sør for skredhendelsen. Furuneset ligger 23,5 kilometer vest for hendelsen og registrerer timesnedbør.



Figur 5.60: 24t nedbørverdier registrert ved Sygna og Hovlandsdal målestasjon. Skredet ble utløst 17.07.13 kl. 13:00, som er markert med oransje pil. Hver verdi er akkumulert mellom kl. 06:00 d og 06:00 d+1 UTC, slik at hver datomarkering i figuren er kl. 06:00. Sygna er den nærestliggende stasjonen. Plasseringen kan sees i figur 5.58, avstand i tabell 5.13.

I figur 5.60 kan en se at det har vært jevnt med nedbør dagene opp mot skredhendelsen. Mest nedbør var det tre dager i forkant av skredet med ca. 32 millimeter nedbør registrert ved Sygna og 39 millimeter ved Hovlandsdal. De to neste dagene er det registrert mellom 11 og 12 millimeter ved Sygna og 16 millimeter, så 13 millimeter ved Hovlandsdal. For skredendelsesdatoen er det registrert 18 millimeter og 16 millimeter nedbør for henholdsvis Sygna og Hovlandsdal målestasjon.



Figur 5.61: Furuneset målestasjon registrerer 1 times nedbørverdier. Skredhendelsen inntraff 17.07.13 kl. 13 UTC. Alle klokkeslett er oppgitt i UTC. Lokaliteten til stasjonen i forhold til skredhendelsene kan sees i 5.58.

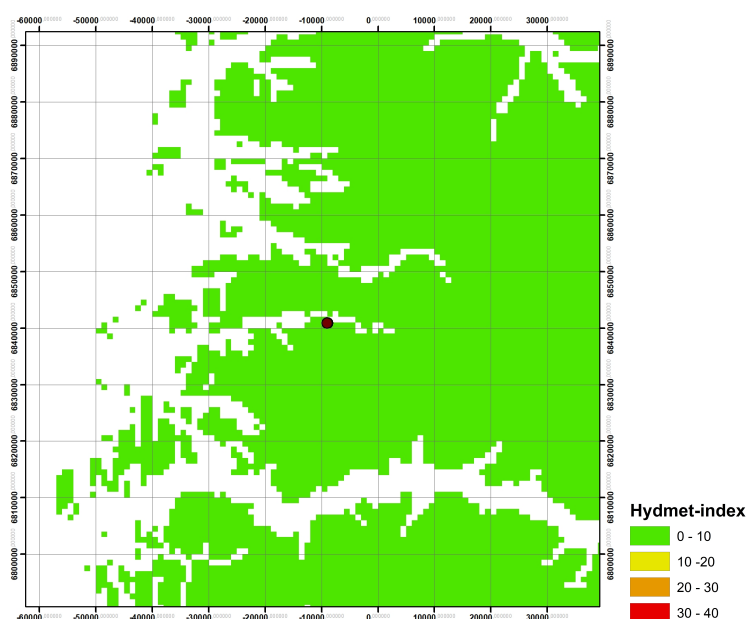
Som en kan se i figur 5.61 er det registrert lite nedbør i timene rundt skredhendelsen.

For hendelsesdatoen er det registrert 0,4 millimeter klokken 01.00 og 0,8 millimeter klokken 02.00 UTC.

Målte nedbørverdier (mm)			
Stasjonsnavn	Sygna (24t)	Hovlandsdal (24t)	Furuneset (1t)
Avstand (km)	14.8	15	23.5
06 - 09	-	-	0
09 - 12	-	-	0
12 - 15	-	-	0
15 - 18	-	-	0
24t	18	16	0

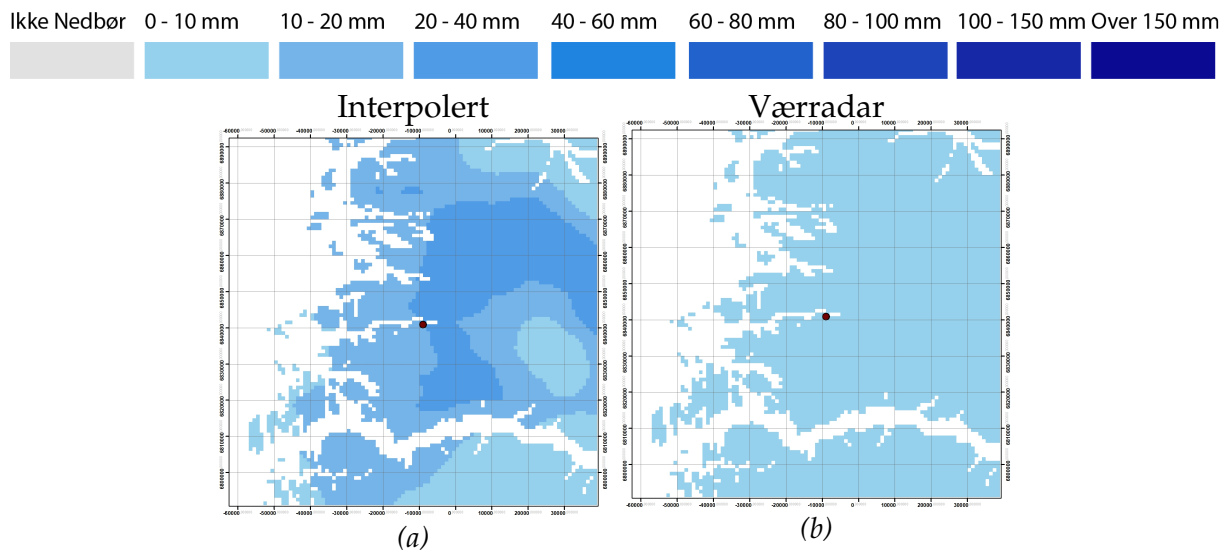
Tabell 5.13: Registrerte nedbørverdier for de nærmestliggende målestasjonene til skredet som gikk i Sætenes. Målestasjonenes navn og avstand til løsnepunktet (km) finnes i de to øverste radene. Akkumulert 3t nedbør er gitt for Furuneset mens akkumulert 24t nedbør er gitt for Sygna, Hovlandsdal og Furuneset.

Fra tabell 5.13 kan en lese at Sygna og Hovlandsdal har registrert 24 timers akkumulert nedbør på henholdsvis 18 og 16 millimeter. Furuneset har ikke registrert nedbør for de relevante 3 timers intervallene. Akkumulert 24 timers verdi er også 0 for Furuneset. Her er nedbørmengden beregnet mellom 06.00 og 06.00 UTC, akkurat som 24 timersstasjonene, fra 1 timesverdiene.



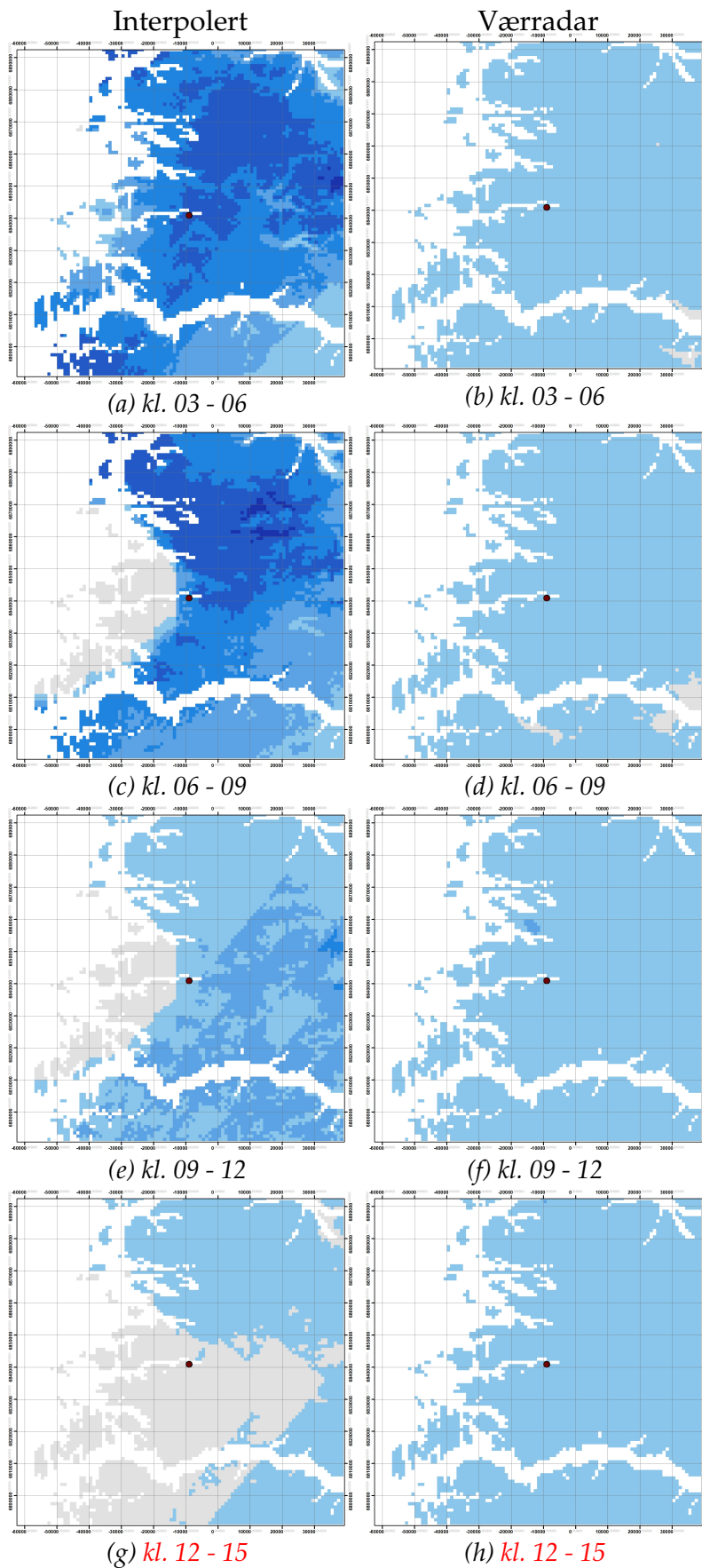
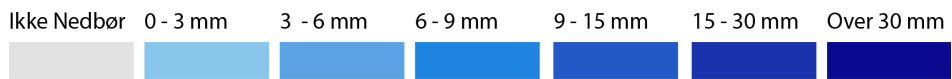
Figur 5.62: Hydmet-indeks for Sætenesskredet. Hydmet-indeksen gjelder for klokken 08:00 dagen etter skredhendelsen.

Hydmet-indeksen for Sætenes viser grønt nivå for Sætenesskredet for indeksen som representerer skreddatoen 17.07.13. Hydmet-indeksen er observasjonsbasert.



Figur 5.63: a: interpolerte nedbørverdier. b: nedbørverdier beregnet fra værradardata. Figurene er 101x101 km med en celleoppløsning på 1x1 km. Verdiene er for skreddatoen 17.07.13.

De interpolerte nedbørverdiene i fig. 5.54a viser store strukturer uten noen distinkte celler med høyere intensitet. Over utløsningspunktene er det registrert 19,6 millimeter for det vestre og 20,2 millimeter for det østre punktet. Nedbørverdiene beregnet fra værradardata i fig. 5.54b viser et homogent bilde hvor hele utsnittet har verdier mellom 0 - 10 millimeter.



Figur 5.64: 3t nedbørverdier 17.07.13. Skredtidspunktet (13 UTC) er markert i rødt.

Som i fig. 5.63 viser figurene i venstre kolonne interpolerte nedbørverdier og figurene i midtre kolonne nedbørverdier fra værradardat

I fig. 5.64a er det generelt relativt høye neddbørverdier. Det er ingen distinkte celler med høyere verdier enn andre, men heller jevnt med nedbør innad i hele utsnittet. Sentralt og mot nord ligger det store felt med verdier mellom 9 - 15 millimeter nedbør. Over skredpunktet ligger verdien på 9 - 15 millimeter nedbør. Neste tretimersintervall (5.64c) viser samme store nedbørsystem med verdier mellom 9 -15 millimeter. Over skredpunktene ligger verdiene på 6 - 9 millimeter i vestre punkt og 3 - 6 millimeter i østre. Figur 5.46d viser lavere nedbørverdier hvor nedbørintensiteten varierer mellom 0 - 6 millimeter. Over skredpunktene er nedbørverdiene 0 - 3 millimeter. Fra 12 - 15, som er 3 timersintervallet som dekker skredtidspunktet er det mindre nedbør. Over skredpunktet er det ingen nedbør her.

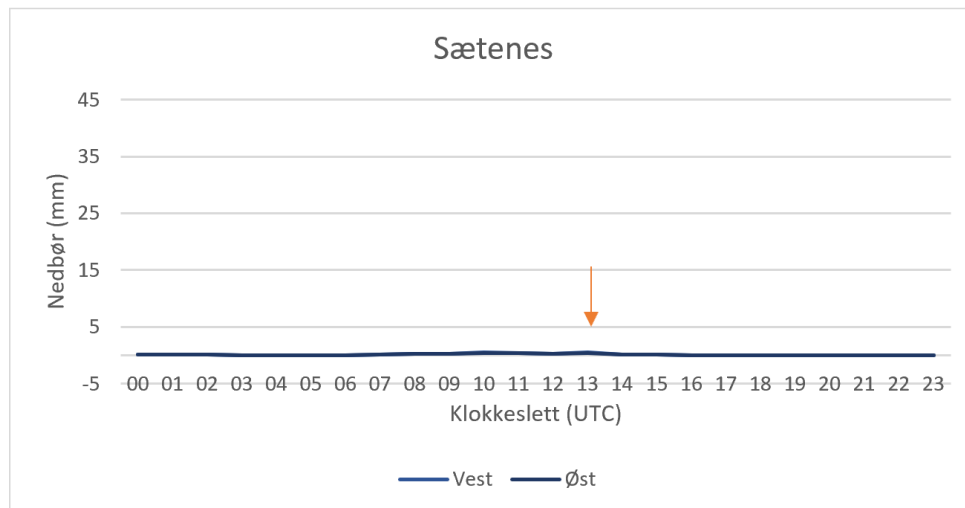
Nedbørverdiene beregnet fra værradardata viser stor homogenitet over alle 3 timersintervallene. Alle plotene viser 0 - 3 millimeter over hele utsnittet, med noen mindre variasjoner. Over skredpunktene er det 0 - 3 millimeter for alle plotene.

	Interpolert		Radar	
	Vest	Øst	Vest	Øst
kl. 03 - 06	9.9	9.9	0.3	0.3
kl. 06 - 09	6.1	5.9	1.2	1.1
kl. 09 - 12	1.5	1.5	0.8	0.7
kl. 12 - 15	0.0	0.0	0.2	0.2
24t	19.6	20.2	2.7	2.5

Tabell 5.14: Nedbørverdier for cellene som dekker utløsningspunktene for skredene 17.07.13 i Sætenes. Skredet gikk kl. 13:00 UTC Hver celle er 1x1 kilometer.

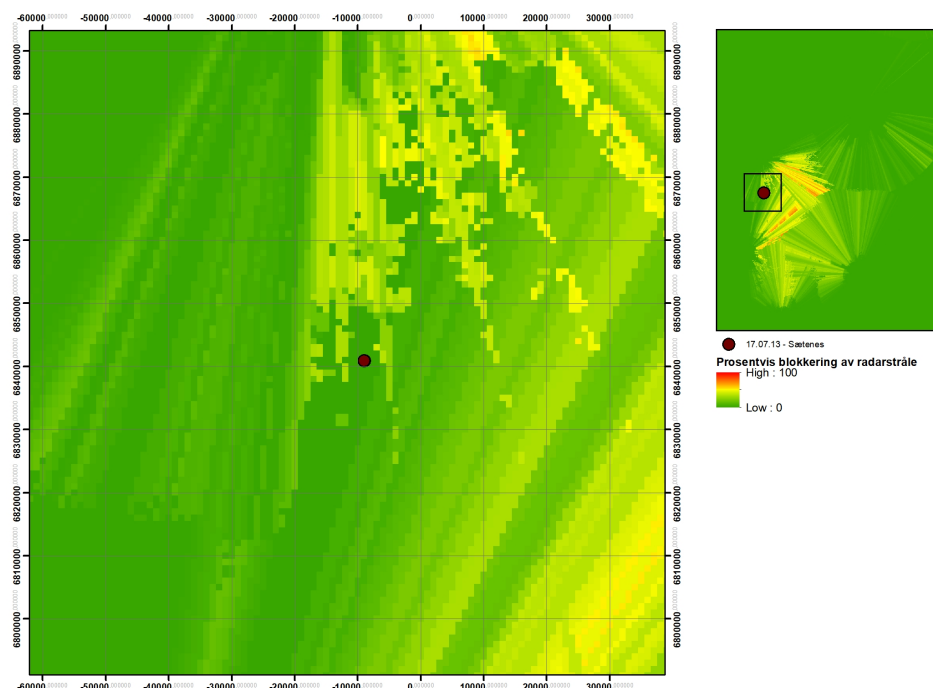
Av tabell 5.14 kommer det frem at de interpolerte nedbørverdiene gir høye nedbørintensiteter for begge utløsningspunktene i timene 06 - 09 og 09 - 12. Mellom klokken 12 - 15 er intensiteten lav. 24 timers akkumulert nedbørverdi er 19,6 og 20,2 millimeter for henholdsvis vestre og østlige skredpunkt.

Nedbørverdiene beregnet fra værradardata viser lav intensitet for alle tidsintervaller. Intensiteten er lite varierende og værradaren gir verdier også mellom klokken 15 - 18. 24 timers akkumulert nedbørverdi er 2,7 og 2,5 millimeter for henholdsvis vestre og østlige skredpunkt.



Figur 5.65: Nedbørprofil for utløsningspunktet i Sætenes, skreddatoen 17.07.13. Grafen viser 1t nedbørverdier estimert fra værradar. Klokkeslettet er oppgitt i UTC. Skredet er antatt utløst klokken 13:00 UTC.

Nedbørprofilen for skreddatoen 17.07.13 over utløsningspunktene til Sætenesskredet viser timesverdier på rundt 0 millimeter. En liten antydning til økt intensitet like før skredtidspunktet er synlig.



Figur 5.66: viser hvor stor blokkeringen av signalet til værradaren i prosent. Utsnittet dekker samme område som de ulike nedbørproduktene.

Figur 5.66 viser at det er mer blokkering av radarstrålen i øst enn det er i vest. Vest for x: -20000 meter ligger blokkeringsprosenten på mellom 2 og 17 prosent. Øst for x: -20000 er blokkeringen høyere. Her er stråleblokkeringen på mellom 40 og 50

prosent i de gule feltene og opp mot 60 prosent i de oransje. Det er dog noen felt med lavere stråleblokkering mellom disse verdiene. Figuren viser også at skredet ligger i ytterkantene av signallengden til værradarene rundt.

5.1.8 Oppsummering

Skred	Dato	Klokkeslett	Skredtype	Varsel	Kommentar til varsel
Bøskreda	26.08.2016	13:00 UTC	Flomskred	Grønt	
Byrkjenes	26.08.2016	10:00 UTC	Flomskred	Grønt	
Kjosen	07.08.2014	15:00 UTC	Flomskred	Grønt	Andre deler av landet får oppdatert varsel til gult pga. byger
Kågen	07.08.2014	16:00 UTC	Flomskred	Grønt	Andre deler av landet får oppdatert varsel til gult pga. byger
Eresfjord	12.07.2014	13:00 UTC	Flomskred	Grønt	
Sunndalen	26.07.2013	15:00 UTC	Flomskred	Grønt	
Sætenes	17.07.2013	13:00 UTC	Flomskred	Grønt	Morgenen for skredhendelsen utstedt obs-varsel for regionen

Tabell 5.15: Oppsummering over skredtidspunkt og skredtype, samt varsel utstedt fra NVE for de utvalgte skredhendelsene.

Tabell 5.15 oppsummerer skredtidspunkt, skredtype og utstedt varsel fra NVE.

For skredtidspunkt bør man bruke et slingringsmonn på 1-2 timer da ikke alle kilder er like presise. Skredet i Sunndalen har fått fastsatt tidspunkt basert på nedbør da skredtidspunkt ikke ble nevnt i noen kilder. Det finnes avisartikler fra klokken 17 UTC og skredet må ha gått før det.

For skredtype er det også noen usikkerheter da ingen feltbefaring har blitt gjort.

Tabell med 3t nedbørverdi i utløsningsceller for alle skred

Skred	Dato	Vannmetning	Interpolert % av årsnedbør		Værradar % av årsnedbør		MetNordic % av årsnedbør	
			max årsnedbør	min årsnedbør	max årsnedbør	min årsnedbør	max årsnedbør	min årsnedbør
Bøskreda	26.08.2016	57	0.4	0.6	0.2	0.3	1.4	2.1
Byrkjenes	26.08.2016	50	0.5	0.5	0.1	0.1	0.5	0.5
Kjosen	07.08.2014	70 - 81	1.2	3.7	0.3	0.9	0.9	2.7
Kjosen	07.08.2014	70 - 81	1.4	4.2	0.4	1.3	1.1	3.3
Kågen	07.08.2016	61 - 78	0.7	1.1	0.2	0.3	1.0	1.5
Eresfjord	12.07.2014	60 - 93	0.1	0.2	1.7	2.6	0.3	0.5
Eresfjord	12.07.2014	60 - 93	0.1	0.2	0.5	0.8	1.2	1.9
Sunndalen	26.07.2013	54	0.1	0.1	1.6	2.2	-	-
Sætenes	17.07.2013	45	0.7	1.0	0.1	0.1	-	-

Tabell 5.16: Hydmet-indeks for skredhendelsene. Utvalgte skredpunkter som burde gi høy indeks er representert. Aktsomhetsnivå hydmet-indeksen estimerer er markert med farget skrift. Fargene representerer de ulike aktsomhetsnivåene slik: Grønn - 1, Gul - 2, Oransje - 3, Rød - 4.

Denne tabellen viser hvilket utslag utvalgte skredpunkter gir for de ulike skredene i hydmet-indeksen. Punktene som er valgt ut er "verste utfallpunkter, altså punkter som burde gi høye hydmet-verdier, for å illustrere hvordan nedbør som har kommet over

kort tid slår ut i hydmet-indeksen.

Av tabellen kommer det frem at for Kjosen burde interpoleringsmetoden gitt oransje aktsomhetsnivå når beregnet med minimumsverdi for gjennomsnittlig årsnedbør. Med MetNordic som inngangsdata ville aktsomhetsnivået blitt satt til gult, beregnet opp mot minimums gjennomsnittlig årsnedbør.

Eresfjord er den eneste skredhendelsen som ville fått aktsomhetsnivå over grønt beregnet mot både minimum og maximum gjennomsnittlig årsnedbør. Her vill værradar som inngangsdata gitt gult aktsomhetsnivå for max årsnedbør og oransje aktsomhetsnivå for min årsnedbør.

Resten av skredhendelsene ville de tre inngangsdataene gitt grønt aktsomhetsnivå selv for et "verste fallscenario.

Kapittel 6: Diskusjon

6.1 Skredbeskrivelse - Fellestrekk

Alle de utvalgte skredhendelsene er kategorisert som flomskred. Begrunnelsen for dette ligger i topografiske kart, foto fra etter skredhendelsene samt beskrivelse funnet i media og på RegObs.

Topografisk norgeskart viser tydelig at alle skredene har funnet sted i definerte forsenkninger i landskapet. Disse forseningene ser også ut til å være bekkefar hvor det, om ikke alltid er vannføring i alle fall er det tidvis. Skredhendelsen ved Sætenes er dog noe vanskelig å tolke om har hatt et kanalisert skredløp da vegetasjon dekker innsyn til skredet. Dette kunne godt ha blitt tolket til et grunt jordskred. Topografisk norgeskart viser allikevel at det også her er forsenkninger i dalsiden skredet har gått og det er antatt at skredløpet har fulgt en av disse. Kanalisering av skredløpet er som beskrevet i 2.3.3 en av faktorene som skiller flomskred fra jordskred. Sætenesskredet er også kategorisert som flomskred i RegObs av Herve@NVE.

En av de andre faktorene som skiller flomskred fra jordskred er mengden vann tilstede i skredet. Bilder ved skredene viser at det har vært mye vann til stede, og stedvis fremdeles var det da fotoet ble tatt. Videre viser foto tatt ved skredene, Kjosens, Kågen, Eresfjord og Sunndalen skredutløpet. Her kan en se en sortering av løsmasser som samsvarer med sorteringen funnet ved flomskred (se seksjon 2.3.3). Løsmassene ligger med det fineste materialet i ytterkantene av skredutløpet og de grovere materialene innover mot apexen. Skredutløpene har en tydelig vifteform og vannet ser ut til å ha beveget seg frem og tilbake lateralt over løsmassene. Dette har ført til at det stedvis ligger finere materiale over det grovere.

Ikke alle skredene viser samme distinkte vifteform og sortering av sedimenter. Skredene Bøskreda, Byrkjenes og Sætenes er noe vanskeligere å tolke basert på foto.

Dette kunne muligens vært mindre jordskred. Det at både grunne jordskred og flomskred gjerne utløses av intense nedbørsituasjoner er med på å underbygge denne tolkningen (Salciarini et al., 2006). Med bakgrunn i kanaliseringen av skredløpet, samt antagelsen om at det har vært mye vann tilstede under skredhendelsen er det allikevel valgt å definere de som flomskred. Skredene ved Byrkjenes og Sunndalen beskrives som jordskred i RegObs. Dette er antatt å være feil da faktorene nevnt over tyder på at de alle var flomskred. Det er flere grunner som kan ført til at skredtypen registrert i Xgeo er feil. For det første registreres skredene gjerne av personell fra Statens Vegvesen og det virker som det er viktigere at det registreres at løsmasser har blitt observert i veibanen enn at skredregistreringen er nøyaktig. Dette fører til at punktregistreringen gjerne ligger et annet sted enn der skredet gikk, tidspunktet for skredet er feil og at typen skred er feil. Skredene registreres gjerne som jordskred så lenge det er løsmasser observert i veibanen. Et av poengene med å ha en skreddatabase må være at man skal ha et datagrunnlag som gjør det lettere å jobbe med skredutløsende terskler, tidlig varslings og konsekvensminimering. Skal dette være mulig må arbeidet som gjøres med skredregistrering forbedres. Det gjøres nå en kvalitetssikring av registrerte skred i skreddatabasen. Dette er nødvendig og et godt tiltak, men det krever også ressurser i form av personell, tid og finanser. En mer effektiv vei mot en mer nøyaktig skreddatabase vil være bedre opplæring av personellet som registrerer skredhendelser. Om en sørger for at skredhendelsene registreres der de gikk, ikke bare et sted langs veien. At skredpunktene registreres i utløsningspunktet fremfor i veibanen. Og at riktig type skred og riktig tidspunkt blir registrert vil sørge for en skreddatabase som gir et bedre grunnlag for skredanalyser.

Alle de utvalgte skredene som er utløst av kortvarig intens nedbør er her kategorisert som flomskred. Til tross for at syv skredhendelser ikke er nok for å trekke en generell slutning om at bygenedbør heller utløser flomskred enn jordskred, er ikke tanken utenkelig. Det høye vanninnholdet er hva som gir et flomskred den strømmende, flomliknende bevegelsen, og som separerer skredtypen fra jordskred. Ved kortvarige og veldig intense nedbørsituasjoner vil ikke bakken klare å absorbere nedbøren som blir liggende i det øvre sjiktet av jordpakken og som overflatevann. Forsenkningene i terrenget fungerer som dreneringskanaler for vannet. Når vannet så river med seg løsmasser går det et flomskred. Kort sagt vil energien fra vannets bevegelse overstige

erosjonsmotstanden i løsmassene (Norem og Sandersen, 2012). Generelt er det også kjent at grunne jordskred (utglidninger) og flomskred utløses av kortvarige intense nedbørhendelser (Aleotti, 2004).

Tidspunkt for skredutløsning er også forsøkt å definere. Dette har for noen hendelser vært vanskelig av samme grunn som nevnt tidligere om unøyaktig skredregistrering. Ved bruk av eksterne kilder som lokalaviser har et omtrentlig tidspunkt for skredutløsning blitt funnet. Med et slingringsmonn på et par timer virker det som alle skredhendelser har opptrådt rundt klokken 15:00.

Store jordskred blir gjerne utløst senere da disse i større grad drives av poretrykk og det tar lengre tid før dette bygges opp i en grad hvor det kan utløse skred. Da dette er skredhendelser som alle er utløst av bygenedbør, og skredene er flomskred som har en raskere responstid på nedbøren gir tidspunktet for utløsning mening. Sola, som er den drivende faktoren for bygenedbør (se seksjon 2.1.2 er sterkest midt på dagen. Det er da bakken varmes opp og bygenedbør opptrer noe senere og fører til flomskred litt utpå dagen.

6.2 Sammenlikning av nedbørintensitet

Denne oppgaven tar for seg bruken av værradar til å estimere skredutløsende nedbørmengder. For å gjøre dette vil Værradar-dataen bli sammenliknet med metoden som benyttes i dag - interpolering, og med et nytt produkt som er i testfasen - MetNordic. Nedbørverdiene de ulike metodene har reprodusert vil bli satt opp mot faktisk registrerte nedbørverdier i målestasjoner for å validere datasettene. Selv om nettverket av målestasjoner ikke klarer å fange opp de konvektive cellene er verdiene i målestasjonene riktig (sett bort i fra feilkilder som vind og fordamping). Om værradaren ikke klarer å estimere riktig nedbørverdi over disse stasjonene er de grunn til å tro den ikke gjør det for de konvektive cellene også. Det samme gjelder for MetNordic datasettet.

Som en kan se under resultater viser ikke nedbørmengder estimert ved de tre metodene det samme bildet for værsituasjonen ved noen av skredhendelsene. Det er påfallende store forskjeller i nedbørverdier og nedbørsmønstre for de to datasettene gjennom alle skredhendelsene.

Værradaren ser ut til å gjøre en bedre jobb med å fange opp lokale og intensive hendelser. Hvor værradardataen kan vise brå overganger fra lave til høye nedbørverdier, viser den interpolerte dataen en mer nyansert overgang mellom verdier. MetNordic-dataen ser også ut til å registrere lokale nedbørceller på en bedre måte enn den interpolerte, men viser også en gradvis endring i intensitet. Datasettene viser ingen gjentakende forskjeller hvor det ene konsekvent underestimerer i forhold til det andre.

For skredene ved Bøskreda, Byrkjenes og Sætenes viser værradardataen tilnærmet ingen nedbør, her viser både interpolert og MetNordic (Arome + Radar) relativt store nedbørmengder. Sætenes har ikke data fra MetNordic da skredet gikk før prosjektet ble startet. Over Kågen og Kjosen er det estimert nedbørverdier på samme størrelsesorden, dog med romlige forskjeller. For skredhendelsene ved Eresfjord og Sunndalen er det værradardata som ser ut til å prestere best ved at den indikerer intensive nedbørceller og interpolert ikke gjør det. For Eresfjorden viser MetNordic også slike mønstre. Sunndalenskredet gikk før MetNordic-prosjektet ble startet.

Felles for hendelsene hvor de interpolerte verdiene er høyere enn værradar-verdiene eller relativt like, altså Bøskreda, Byrkjenes, Sætenes, Kågen og Kjosen er at den interpolerte dataen antyder at de opplever relativt store nedbørsystemer med gradvise endringer i intensitet. MetNordic antyder det samme for Bøskreda og Byrkjenes mens for Kjosen og Kågen viser denne dataen et stort nedbørsystem med lokale forskjeller. For hendelsene hvor værradaren estimerer de høyeste nedbørverdiene, Eresfjorden og Sunndalen, ser en mindre lokale nedbørceller med høy nedbørintensitet. Her viser MetNordic-datasettet et liknende mønster som værradaren for Eresfjorden.

Man kan ikke trekke konklusjonen at metoden som gir høyest nedbørverdier er mest korrekt kun med bakgrunn i at de er høyere nedbørverdier. Hendelsene er dog valgt ut nettopp fordi det er rapportert at de har opplevd høye nedbørverdier. En kan derfor si noe om metodene underestimerer nedbørintensiteten. I tilfellene hvor det eksisterer sikre kilder på at nedbørhendelsen har vært intens og lokal kan en også trekke konklusjoner om nedbørsmønsteret dataene viser.

Når en ønsker å si noe om værradar sin funksjon til å estimere nedbørmengder ved bygehendelser, sett i forhold til interpolering av måledata, må man ikke bare se på nedbørmengdene men også nedbørsmønsteret. Svakheten ved interpolert nedbør, når det kommer til bygehendelser, ligger ikke kun ved evnen til å estimere korrekte verdier, men også ved å identifisere de lokale cellene.

Denne oppgaven vil videre gå bort fra den generelle beskrivelsen av likheter og ulikheter mellom datasettene for de ulike skredhendelsene til å fokusere på mer spesifikk observasjon for de tre datasettene ved skredhendelsene. Det vil bli vektlagt å beskrive i hvilke situasjoner de ulike metodene yter best. Strukturen på gjennomgangen går derfor bort fra den revers-kronologiske gjennomgangen resultatene følger, til å gruppere hendelser etter hvilken metode som har gitt best estimat av nedbørmengder. Som forklart tidligere er ikke høye nedbørverdier synonymt med riktig estimat. Det er dog tydelig at for disse utvalgte hendelsene gir de lave estimatene, uavhengig om de stammer fra interpolering eller værradar, det mest urealistiske bildet av nedbørsituasjonen. Denne antagelsen er basert på det faktum at høye nedbørintensiteter beskrives for alle skredhendelsene.

Først vil hendelsene hvor værradar-datasettene gir lavest nedbørverdier bli gjennomgått. Dette gjelder skredhendelsene ved Bøskreda, Byrkjenes og Sætenes.

Deretter skifter fokus til hendelsene i Troms, hvor nedbørverdiene er på samme størrelsesorden, men den romlige fordelingen er ulik. Her er det viktig å huske at skredhendelsene på Kågen og Kjoseligger rett ved hverandre og er antatt knyttet til samme nedbørhendelse.

Så vil skredhendelsene hvor værradar fanger opp lokale og intense celler gjennomgå. Dette gjelder skredhendelsene ved Eresfjord og Sunndalen.

Avslutningsvis vil det bli diskutert styrker og svakheter ved bruk av de tre ulike datasettene til identifisering av skredutløsende nedbør.

Bøskreda, Byrkjenes og Sætenes

For Bøskreda er det store forskjeller i nedbørverdiene fra interpolering og Arome + Radar til værradar. Der interpolert nedbør og Arome + Radar viser høye verdier viser værradardataen omtrent ingen.

Ser en på den interpolerte nedbørmengden i forhold til de registrerte verdiene ved

målestasjonene er det tydelig at verdiene er overestimert. Lærdal IV har ikke registrert noen verdier høyere enn 1,1 millimeter for det aktuelle tidsrommet. Det interpolerte datasettet viser verdier høyere enn dette både mellom klokken 12- 15 og 15 – 18. En ville forvente at målestasjonene hadde riktig registrerte verdier da interpoleringen skjer mellom stasjonene. Denne feilen i verdier kan ligge i at Lærdal IV ikke er en av målestasjonene som brukes til interpolering. En annen mulighet er at det er noe feil med dette datasettet. Sammenlikner en verdiene funnet i 3 timers-datasettet går ikke dette opp med verdiene for 24 timer. 3 timer-datasettet viser for høye verdier til å akumulere til 24 timerssettet.

Værradardataen ser ut til å korrespondere ok med verdiene registrert i målestasjonene. Unntaket er 24 timers verdiene registrert ved Skjolden, som er over dobbelt så høye. De homogene og lave nedbørverdiene radardataen viser står i motsetning mot beskrivelsen av regnbyger i regops samt foto tatt etter skredhendelsen. Nedbørverdiene er heller ikke på en størrelsesorden som burde utløse skred, selv om her vil også nedbøren dagene i forkant kunne være en faktor.

Ser en på stråleblokkeringsfiguren (fig. 5.10) kan kanskje dette være med på å forklare de lave verdiene værradaren viser. Her ser en at utsnittet opplever høy stråleblokkering.

Påfallende er det at MetNordic-datasettet også viser høye nedbørverdier for det aktuelle tidsrommet. Da værradardata er inngangsdata for MetNordic ville en forventet noe lavere verdier som et resultat av de lave nedbørverdiene en kan se i værradardataen.

Dette datasettet viser høy nedbørintensitet for tretimersintervallet før skredhendelsen og for intervallet som dekker hendelsen. MetNordic har også klart å fange opp mindre cellestrukturer.

Byrkjenesskredet skjedde samme dato som Bøskredaskredet og nedbørsdataene stammer således fra de samme datasettene.

Samme forskjell i de ulike datasettene er synlig. Her viser interpolert nedbør høye nedbørintensiteter med lite lokale variasjoner og værradaren gir relativt homogene og lave nedbørverdier. Også her viser MetNordic høy nedbørintensitet og evnen til å fange opp mindre nedbørceller.

Det interpolerte datasettet for tretimersverdier gir (xx sjekk opp dette og forklar, pass på at det også nevnes for Bøskreda) igjen verdier som er for høye for både målestasjonene det dekker og til å akkumulere til 24 timesverdiene i figur 5.17.

Også værradardataen minner om Bøskredaskredet. Her er det lave nedbørverdier som stemmer godt over ens med verdiene registrert i målestasjonene, men de rapporterte lokale bygehendelsene er ikke å se. Verdiene her er også på en størrelsesorden som ikke burde utløse skred.

Ser en på stråleblokkeringen i dette tilfellet er det ikke fullt så stor blokkering som ved Bøskreda. Det er stor grad av blokkering nord for skredhendelsen, men resten er bedre.

Sætenesskredet har også interpolerte verdier som viser et større værsystem enn det som er forventet ved bygenedbør. Nedbørmengdene korresponderer her bra med de registrert i målestasjonene.

Værradaren gir homogene, lave verdier med ytterst få variasjoner. Til tross for at verdiene er lave er det estimert nedbør selv når målestasjonene ikke har registrert noe. Nå er en forskjell på noen få millimeter å forvente, men akkumulert over 24 timer blir denne forskjellen på et par cm. Det er heller ikke fanget opp en nedbørintensitet som tilsier skred.

For denne hendelsen blir det på RegObs beskrevet muligens mye lokal nedbør, selv om dette ikke er observert. Det er også verdt å nevne at det har vært registrert nedbørmengder på omtrent samme størrelsesorden ved de nærmeste målestasjonene, dagene i forkant av skredet. Det er dermed mulig at det har bygget seg opp et poretrykk over tid. Beskrivelsen av skredhendelse er flomskred noe som skulle tilsi en høyere nedbørintensitet.

Stråleblokkeringen kan minne om for Bøskreda og Byrkjenes. Det er dog lav grad av blokkering vest for skredhendelsen.

For de tre skredsituasjonene har hverken interpolering eller værradar klart å fange opp byggesystem over skredhendelsene.

En mulighet er at dette ikke er skred som er utløst av bygenedbør, men heller storskala frontnedbør som den interpolerte dataen viser. Dette er motstridende med hva som er beskrevet. Store nedbørmengder er beskrevet på Xgeo og i media.

Problemet her er at akkumulert tretimersnedbør gir langt høyere verdier enn 24-timersverdiene for både Bøskreda og Byrkjenes. 24-timersverdiene over målestasjonene korresponderer med verdiene målt ved disse stasjonene, noe tilfellet ikke er for 3-timersverdiene. Det antas derfor at det er noe galt med de interpolerte 3-timesdatasettene for 26.08.16.

Ved Sætenes-skredet er det noe usikkert om det er et byggesystem som har utløst skredet. Her omtales hendelsen som mulig bygenedbør. Her kan det altså være frontnedbør som interpolert nedbør viser antydning til. Det som uansett er klart er at værradaren ikke oppfatter nedbørsituasjonen.

Når det gjelder værradardataene for de tre skredsituasjonene viser de som nevnt homogene og lave nedbørverdier. Dette motstrider med beskrivelser av situasjonen. I tillegg er verdiene såpass lave at en ikke kan forvente at de har utløst skredhendelsene.

Ser en på strukturene det interpolerte datasettet og MetNordic-datasettet kan det se ut som nedbørsituasjonen for skreddatoen minner mer om storskala nedbør i form av frontnedbør. Det er kilder som sier at det har vært lokale intense nedbørceller. Dette er ikke fanget opp i det interpolerte datasettet, men en kan se antydninger til det i MetNordicdataen. Det er typisk at bygenedbør følger etter frontnedbør og særlig kaldfronter fordi luften over bakken blir ustabil etter kaldluften har trukket inn over den varme bakken (NVE, 2017a). Det mulig at et frontsystem har beveget seg inn fra vest, som 3 timersintervallen antyder, og at dette har blitt fanget opp av nedbørsmålere og derfor er synlig i det interpolerte datasettet. Det har så fulgt bygenedbør som ikke har blitt fanget opp av målestasjonene som har gitt lokal og høy intensitet. Det er noe vanskelig å forklare hvorfor Skjolden er den eneste av de fire valgte stasjonene som registrerer høye nedbørverdier, men stasjonene står spredt og det må ha vært lokale forskjeller i intensiteten.

Fordi både det interpolerte datasettet og MetNordic-datasettet viser høye nedbørverdier, i tillegg til beskrivelser av mye nedbør og den høye verdien registrert ved Skjolden er det antatt at værradardatasettet viser feil. Det er flere feilkilder til nedbørverdier estimert fra værradar. Villarini og Krajewski (2009) gir en beskrivelse av disse. For Bøskreda kan stråleblokkeringen være en faktor. Den er høyere her enn for de andre skredene. Det er dog områder innad i utsnittet med lave blokkeringsverdier og en

burde forvente oppfang av nedbør her. Stråleblokkeringsfiguren viser også at skredet ligger i ytterkanten av måleområdet for værradarene rundt. Med økende avstand til værradaren øker også høyden over bakken værradaren skanner (Villarini og Krajewski, 2009). Dette gjør at det er sannsynlig at værradarsignalet skyter over nedbøren og derfor ikke registrerer den. Om antagelsen av at dette er frontnedbør og ikke bygenedbør stemmer er dette med på å forsterke denne teorien da frontskyer ikke strekker seg like langt opp som bygeskyer.

Kjosen og Kågen

Tromsskredene har også interpolerte data som viser et mer storskala værsystem enn hva som er å forvente ved bygehendelser. Forskjellen her er at værradardataen viser et liknende system. Dette er to skredsituasjoner, en på Kågen og en ved Kjosen. Det var flere hendelser for hver situasjon. De har gått i omtrent samme tidsrom noen kilometer fra hverandre og er antatt utløst av samme værsystem. Verdiene for utløsning er forskjellige, men i sammenlikning av nedbørestimater omtales de felles da situasjonene er så godt som like.

Ser en på nedbørmengdene estimert over målestasjoner ser en at interpolert stemmer godt over ens, mens værradaren underestimerer. Sammenlikner en verdiene estimert i skredpunktene sammenfaller høyeste tretimersintervall mellom klokken 15 – 18 for både interpolert og værradar. Igjen er værradarverdiene underestimert sett i forhold til den interpolerte. Værradaren ser ut til å fange opp nedbøren over Tromsskredene, den er dog underestimert i forhold til hva målestasjonene har fanget opp. Det er usikkert om værradaren har fanget opp den generelle strukturen til nedbørsystemet og bare underestimert eller om den har unngått å fange opp lokale intensiteter.

Stråleblokkeringen over Tromsskredene er ikke nevneverdig stor og værradaren burde ha god mulighet til å se nedbøren.

MetNordic viser nedbør med cellestruktur og høy intensitet. Verdiene her er generelt estimert høyere enn ved både værradar og interpolering. Uten 24t nedbørverdier eller målestasjon som har registrert korrekt på 1t skala er det ingen måte å verifisere disse verdiene. Det at interpolert nedbør viser samsvarende verdier med 24t målestasjoner og MetNordic estimer såpass mye høyere 3t verdier er det plausibelt at MetNordic overestimerer nedbørverdier her.

Her skal det dog nevnes at vitnemål sier at den mest intense nedbøren unngikk målestasjonen ved Kjosén. Når MetNordic 3t nedbør overestimerer i forhold til interpolert 3t, og akkumulert 3t interpolert er verifisert over 24t målestasjoner er det antatt at MetNordic overestimerer for hele utklippet.

Da værradar har en tendens til å underestimere nedbørverdier er det nyttig å plote nedbørprofil for å si noe om når nedbøren falt. Ser en på figur 5.30 hvor MetNordic og værradar er plottet sammen ser en at de viser høyest nedbørintensitet ved samme klokkeslett. Værradarverdiene er dog mye lavere enn MetNordic sine.

Det antas for disse områdene at værradaren underestimerer nedbøren over skredhendelsene. Det er såpass gode kilder på at området har opplevd lokal og intens nedbør til at frontnedbør kan stemme. Underestimering av nedbør fra værradar er et kjent problem og unøyaktigheten kan stamme fra flere kilder. Demping av signal er en mulighet, her vil nedbør i forgrunnen gjøre at nedbør bakenforliggende ikke oppfanges til det fulle (Villarini og Krajewski, 2009). Med nedbørsystemet som fanges opp er det meget mulig at mer intens og lokal nedbør over skredpunktene har blitt underestimert.

Eresfjorden og Sunndalen

Eresfjorden og Sunndalen har nedbørmengder som er veldig lave. Dette er to tilfeller hvor interpolering ikke har klart å estimere nedbørmengdene områdene har opplevd. Radardataen har i disse tilfellene plukket opp flere byggestrukturer med intens nedbør. Ved Eresfjorden er det et gjentakende mønster som ligger som bakgrunn i den interpolerte dataen. Sammenliknet med verdiene målestasjonene ha registrert er det ved Marstein ikke registrert nedbør før mellom klokken 15 – 18. Her viser de interpolerte datasettene at det skal være nedbør de to tretimersintervallene i forkant også. Det antas at det er noe som ikke stemmer med disse to tretimersintervallene. Det er viktig å notere seg her at selv om disse to tretimersintervallene ikke stemmer er det tre målestasjoner som ligger relativt nærme skredhendelsene som har registrert lave nedbørverdier. Dette er motstridende med flere vitnemål som forteller om svært lokal og intens nedbør rundt skredtidspunktene. Dette er også nedbørmengder som ikke burde forårsake løsmasseskred.

Radardataen ved Eresfjorden viser derimot mindre cellestrukturer med intens nedbør.

Disse strukturene overlapper ikke målestasjonene noe som er en indikator på at oppfattelsen til værradaren er god i dette tilfellet. Da ingen målestasjoner har fanget opp nedbørintensitetene er det ingen måte å verifisere verdiene. Stråleblokkeringen er relativt liten og burde ikke være i veien for værradarens signal.

MetNordic-datasettet viser også mindre cellestrukturer med høye nedbørintensiteter. Her er det dog overlapp mellom høye nedbørverdier og målestasjoner noe som indikerer en feilaktig plassering av nedbøren.

Ved dette tilfellet ser en i radarprofilen at det er MetNordic som underestimerer i forhold til værradaren. I tillegg viser MetNordic en topp i nedbørintensitet en time tidligere enn værradaren.

Den interpolerte dataen for Sunndalen viser også verdier som ikke sammenfallende med beskrivelse eller skredutløsende verdier. Storligrenda, som registrerer timesverdier viser høyere målt nedbør enn den interpolerte dataen gjør for dette punktet. Dette kan skyldes at målestasjonens verdier ikke går inn i interpoleringen.

Værradardataen gir verdier over skredpunktet som stemmer bedre med beskrivelser og gir mer mening med tanke på utløsning av skred. Verdiene registrert i målestasjonen storligrenda er lavere enn hva værradaren viser her. Dette indikerer at værradaren ikke har plassert nedbøren helt presist. Det er dog snakk om noen få kilometer mot vest før verdiene stemmer. For 24t stemmer dette godt overens.

Værradaren ser ut til å plassere nedbøren godt romlig for disse to skredsituasjonene. Felles for disse hendelsene hvor værradaren har fanget opp nedbørintensiteter interpoleringen ikke har gjort er at nedbørcellene har vært små. Dette gjør at nettverket av målestasjoner ikke klarer å fange opp nedbøren som igjen gjør at interpoleringen blir feil. Dette gjør dessverre også at en ikke får verifisert nedbørverdiene værradaren estimerer. Generelt er det ikke uvanlig at værradarer underestimerer nedbør, dette er synlig ved Tromsskredene.

Nedbørsproduktene

INTERPOLERINGSDATA

Som en kan se i resultatene i denne oppgaven mangler interpoleringsmetoden evnen

til å identifisere svært lokale og intense nedbørceller. Nedbørdataene produsert ved interpolering viser glatte nedbørfelt med jevne overganger mellom intensiteter.

Interpoleringen mellom stasjoner vil ikke kunne bli høyere enn den registrerte nedbøren ved en av stasjonene. Selv for større nedbørsystemer vil dette gjøre at romlige variasjoner ikke blir fanget opp

For bygenedbør vil lokale celler av høy intensitet kunne unnlates å bli observert totalt slik en ser ved Eresfjord- og Sunndalenskredet. Dette kan føre til en stor underestimering av nedbørmengder. Jo større avstand mellom målestasjoner jo større er underestimeringen av nedbørmengder og variasjonen i flomskredutløsende nedbørnivåer (Nikolopoulos et al., 2015). Selv ved et tett nettverk finner Nikolopoulos et al. (2015) signifikant underestimering av nedbørintensitet. Med 1 målestasjon per 10 km er underestimeringen rundt 26%. Dette er disse verdiene som ligger til grunn for utarbeidelsen av terskler. Når det er feil i inngangsdataen vil disse følge til utgangsdataen. Feilestimerte nedbørmengder gir underestimering av intensitet-varighetkurver (Nikolopoulos et al., 2015), (Nikolopoulos et al., 2014), (Guzzetti et al., 2007) og flere.

3-timersdatasettet som seNorge produserer vil også oppleve dette problemet med glissent nettverk av nedbørmålere og oppfangssvikt av lokale hendelser.

VÆRRADARDATA

Der værradaren gir et dårlig resultat, Bøskreda, Byrkjenes og Sætenes ser det ut til at nedbøren ikke er fanget opp. I stråleblokkeringsfigurene ser en at disse områdene opplever relativt høy grad av stråleblokkering sett i forhold til de andre hendelsene. Det er dog områder innad i utsnittet med gode signalforhold og en ville trodd det ble registrert nedbør her.

De samme figurene viser at disse områdene ligger langt ut i signalrekkevidden til radarsignalet. Som forklart i 2 vil sekvensen værradaren skanner ha en økende høyde over bakken med økende avstand til værradaren. Dette gjør at det er mulig at værradaren signal overskyter nedbøren, altså den skanner et område over der nedbøren ligger i lufta. Når en også ser at den den estimerte nedbøren til interpolert og MetNordic viser et bilde som minner mer om et storskalasystem enn bygenedbør er dette med på å underbygge teorien om at nedbøren blir overskutt. Konvektive skyer når typisk høyere opp en skyene som dannes i forbindelse med frontnedbør.

METNORDICDATA

MetNordic kombinerer data fra flere kilder. Selv om datasettet benytter værradardata til å korrigere for bias kan man ikke forvente at metoden estimerer riktige verdier da det er en modelleringsmetode. Metoden viser dog, som en ser i denne oppgaven, evnen til å fange opp formasjonen til lokale bygeceller. Uansett om nedbørverdien metoden estimerer ikke nødvendigvis er helt korrekt plasserer den lokal og intens nedbør over utløsningspunktet for skred hvor værradar og vitnemål beskriver det samme.

6.3 Nedbørvarighet

Av de utvalgte skredhendelsene ser det ut til at kortvarig intens nedbør er den utløsende faktoren. For alle skredene unntatt Eresfjord og Sunndalen ser en at det har vært store nedbørmengder også i forkant av skreddatoen og effekten av langtidsnedbør, jordas vannmetningsgrad og oppbygging av poretrykk skal ikke neglisjeres. Alle skredene unntatt Bøskreda, Byrkjenes og Sætenes viser veldig intens nedbør over 1 - 3 timer i nedbørprofilen. For Bøskreda, Byrkjenes og Sætenes er det allikevel beskrevet kortvarig og intens nedbør. Det er derfor trolig denne kortvarige nedbøren som har utløst skredene.

Ser en på Hydmet-indeksen, som også inkorporerer jordas vannmetning som en faktor ser en at det burde vært stabile forhold på skreddatoene. Selv med indeksen beregnet med MetNordic- og værradardatasettene burde det for det meste vært stabile forhold. Her opplever dog Kjosens oransje aktsomhetsnivå ved indeks-beregning som baserer seg på minimums gjennomsnittlig årsnedbør og interpolerte verdier som inngangsdata. At hydmet-indeksen i Xgeo ikke viser oransje nivå skyldes nok at den ikke bruker minimumsverdier for gjennomsnittlig årsnedbør. Kjosens opplever gult aktsomhetsnivå med minimumsverdi for gjennomsnittlig årsnedbør og MetNordic som inngangsdata. Eresfjorden opplever oransje aktsomhetsnivå for både minimum og maksimumverdi for årsnedbør og værradar som inngangsdata. Dette var tilfellet med mest lokal nedbør og et av stedene nedbøren falt over kortest tidsrom.

Ser en på hydmet-indeksen i Xgeo ser en at terskelen har bommet for disse

hendelsene. Dette skyldes interpoleringmetodens mangel på evne til å identifisere lokale nedbørceller. Noe overraskende er det at de to andre datasettene også, for det meste, har en terskel som ligger for lavt. Det er kun værradarata over Eresfjorden, med veldig intens nedbør som gir utslag i varslingen. Når skredutløsende nedbørverdier som dette ikke gir utslag i varslingssystemet er det noe galt med tersklene.

Nå kan det være estimert for lave nedbørverdier ved disse datasettene, men problemet ligger nok i at Hydmet-indeksen baserer seg på 24 timesverdier. For Sunndalen er det for eksempel estimer 18,3 millimeter nedbør klokken 15:00 UTC med værradar, men tilnærmet ingen nedbør før også etter. Disse verdiene er lave over 24 timer, men høye over 1 time. Porevannstryket og erosjonen blir stor av et slikt skybrudd.

Det er vist at terskler som baserer seg på nedbørdata med dårlig romlig oppløsning gir en underestimering av terskelnivå (Nikolopoulos et al., 2015), (Nikolopoulos et al., 2014), (Guzzetti et al., 2007) og flere. Det er også vist at inngangsdata med dårlig temporal oppløsning gir en underestimering av terskelnivå (Marra, 2019).

Det er med andre ord nødvendig med en metode for nedbørestimering som har god romlig og temporal oppløsning.

Som nevnt i seksjon 6.2 er det mangler ved både interpoleringsmetoden og værradarataen til å gjøre dette. MetNordic-dataen viser evnen til å fange opp de lokale intensitetene. Ulempen her er som nevnt at fordi den baserer seg på en modell vil heller ikke denne metoden nødvendigvis gi riktig nedbørestimat. Det er også en fordel med at metoden er modellbasert når det kommer til utarbeidelse av terskler til skredvarsling. Så lenge samme modell ligger til grunn for etablering av terskler og varsling er fordel at selv om modellen ikke nødvendigvis gir riktig estimat av faktiske nedbørverdier vil den gi det samme estimatet ved like metrologiske forhold. Tersklene trenger derfor ikke basere seg på de faktiske nedbørverdiene, men det modellen estimerer de til å være.

Det skal et stort datagrunnlag til for å gi presise terskler og MetNordicdataen strekker seg kun tilbake til 2013. Dette gjør at denne metoden, om den skulle bli benyttet kan være mangelfull.

Kapittel 7: Konklusjon

For å oppsummere var det følgende punkter denne oppgave tok for seg for å svare på og belyse: Hovedmål

- Ved lokale, kortvarige og intense nedbørsituasjoner i Norge anslå om bruk av nedbørsintensitet fra værradar bidrar til å forbedre estimatet av utløsende nedbørsintensiteter.

Delmål

- Beskrivelse av utvalgte bygeutløste skred hvor eventuelle fellestrekk trekkes frem.
- Sammenlikning av nedbørsintensitet, ved skredhendelsene og skredtidspunkt, beregnet ved interpolering mellom nedbørmålere og trukket ut fra radardata. Dette vil bli gjort for akkumulert 24t og 3t nedbør og vil også bli validert mot skredpunktene nærmeste målestasjoner.
- For valgte hendelser gi et svar på om korttidsnedbør eller langtidsnedbør er avgjørende for utløsning av skred og hvordan dette påvirker tersklene brukt ved jordskredvarslingen til NVE.

Basert på resultatene i denne oppgaven virker det som at bygenedbør har en tendens til å utløse flomskred.

Dette skyldes trolig at nedbøren ved konvektive hendelser blir veldig intens og infiltrasjonsevnen i bakken ikke er stor nok til å absorbere nedbøren. Dette fører til rask oppbygging av poretrykket i øvre sjikt av løsmassepakken, stor overflateavrenning og høy erosjon som en følge. Dette utløser flomskred, som kan føre til store ødeleggelser. Skredene utløses på ettermiddagen mellom klokken 12 og 15 UTC (14 og 17 norsk sommertid) som et resultat av solas oppvarming av jordoverflaten.

Sammenlikningen av datasettene både med hverandre og med nedbørverdier registrert ved målestasjoner viser at det varierer hvor godt nedbørestimatet fra de ulike metodene er. Problemet med det glisne nettverket til målestasjonene er at man ikke kan bruke de til å verifisere nedbørverdiene værradaren og MetNordic produserer ved lokale nedbørhendelser. Som det er pekt på i flere tidligere rapporter har værradaren det med å underestimere nedbørverdier.

Fra dette lille utvalget av hendelser virker det som kortvarig nedbør er en viktig faktor når det kommer til utløsning av skred.

Noen av hendelsene har opplevd nedbør dagene i forkant av skredhendelsen og en gradvis oppbygging av poretrykk kan ikke utelukkes. Den kortvarige intense nedbøren som beskrives og vises ved dataene i denne oppgaven har så utløst skredene. Andre skred i denne oppgaven opplever ingen nedbør opp mot skredhendelsen hverken i dagene eller timene i forkant. Her opplever det veldig intens og lokal nedbør. Av denne oppgaven kommer det frem at en forståelse for kortidsnedbør er viktig for forståelsen av skredhendelser og skredvarsling. Dagen skredvarsling bygger på terskler knyttet til 24 timesverdier noe som fører til feilaktig eller mangelfull varsling.

Når det kommer til hovedmålet ved oppgaven som var å belyse om bruken av værradar gir et bedre estimat av skredutløsende nedbørverdier har det ved et til tross for et lite utvalg hendelser blitt vist at værradar gir ulike funksjon ved ulike hendelser og lokaliteter.

Ved noen lokaliteter har bruken vist seg god til å plukke opp bygenedbør. Her er det dog ikke mulig å verifisere det kvantitative estimatet.

Ved andre lokaliteter har ikke værradaren fanget opp intens nedbør vi vet var tilstede. Her skal det sies at i etterkant av disse hendelsene har værradarnettverket blitt utbedret slik at disse områdene opplever bedre dekningsgrad nå.

Wærradaren viser seg bedre til å fange opp lokale nedbørceller enn interpoleringsmetoden gjør. Det er dog en usikkerhet knyttet til det kvantitative estimatet og værradarens evne til å fange opp alle konvektive hendelser.

Avslutningsvis vil jeg nevne at for utarbeidelse av terskler for skredvarsling virker både interpoleringsmetoden og værradaren svak da det er store usikkerhet knyttet til de begge.

Tanken om en modellering av nedbørsverdier som brukes til terskelestimering og varsling virker interresant. Her er MetNordic datasettet vist frem i denne oppgaven en mulighet da den viser evnen til å fange opp de lokale cellene. Dette datasettet strekker seg kort bakover i tid og vil muligens gi et mangelfullt datagrunnlag.

Kapittel 8: Videre arbeid

8.1 Videre arbeid

Med kortvarig og lokal intensiv nedbør som en skredutløsende faktor burde videre arbeid ta for seg terskler basert på data med bedre romlig og temporal oppløsning. Det burde videre ses på hvordan dette kan knyttes opp mot skredvarslingen ved NVE. Med begrunnelse i at hverken interpolering eller værradar ser ut til å gi et nøyaktig estimat av nedbørmønstre eller nedbørmengder hadde det vært interessant å se hvordan terskler basert på modellerte nedbørdata og varsling basert på samme modell presterer.

Her det flere usikkerhetsmomenter. Datagrunnlaget strekker seg kort tid bakover. Dette gir et lite robust datagrunnlag med tanke på antall skredhendelser som kan brukes til terskelberegningen. Det gjør og at skal man se på relativ vanntilførsel så har kun seks år til beregning av gjennomsnittlig årsnedbør. Her bør det ses på om nedbørestimeringen kan gjøres tilbakevirkende slik at man får et bedre datagrunnlag. Videre må det må verifiseres at modellen gir samme nedbørverdier for like metrologiske forhold. Modellen må knyttes sammen med vannmetning i jorda. Og det må ikke minst bli funnet et forhold mellom estimert nedbørintensitet og utløsning for skred.

Vedlegg

A Dataprosessering

INTERPOLERT NEDBØR

Ascii-filer med raster data ble først formatert slik at cellene med nedbørverdier legger seg på riktig koordinater. Dette gjøres ved å legge inn en prefix i tekst-filene på dette formatet:

NCOLS 1195

NROWS 1550

XLLCENTER -74500

YLLCENTER 6450500

CELLSIZE 1000

NODATA_VALUE -9999

rad 1

rad 2

.

.

rad n

NCOLS og *NROWS* er antall kolonner og rader i rasterdatasettet. *XLLCENTER* og *YLLCENTER* angir koordinatene til sentrum av nedre, venstre celle. *CELLSIZE* definerer størrelsen på cellene i meter, mens *NODATA_VALUE* angir hvilken verdi ingen data har fått. *rad1, rad2, ..., radn* er radene i tekstfilen med nedbørverdier som skal plasseres i rasterdatasettet. Arcmap-funksjonen "ascii to raster" ble brukt med `bb-atc` til å transformere ascii-filene med rasterdata til rasterdatasett. I denne funksjonen

ble float brukt for å beholde desimaltall. Funksjonen "clipble så brukt til å klippe til et 101x101 kilometer stort grid med utløsningspunktet i den sentrale cellen. Til slutt ble symbologyendret til samme legende som blir brukt i Xgeo.

VÆRRADAR

Funksjonen "Make netCDF raster layerble brukt til å lage rasterlag fra netCDF-filene. Her er timesatt som bånd-dimensjon, block_percent valgt som variabel og X og Y valgt for å definere koordinater. Dette produserer et rasterlag som viser prosentvis stråleblokkering med koordinater definert i meter i X- og Y-retning med en celledimensjon på 1x1 kilometer. Akkurat som den interpolerte dataen. netCDF-rasterlaget har dog grid-koordinater definert i nedre venstre hjørne. I netCDF-rasterlaget er så Iwe_precipitation valgt for å vise 1t nedbørverdier. Funksjonen sshiftbrukes så til å flytte rasterlaget med -500 meter i X- og Y-retning slik at cellene legger seg på samme plass som den interpolerte dataen og slik den ligger i xgeo. Dette deler også opp 1t nedbøren som ligger som bånd innad i netCDF-rasterlaget i 24. For å lagre disse 24 båndene som individuelle rasterlag blir funksjonen "copy rasterbbbrukt. Ved kopieringen ble processing extentsatt slik at utløsningspunktene ble dekket av et 101x101 kilometer stort grid med utløsningspunktet i den sentrale cellen. Raster calculator ble så brukt til å legge sammen 1t nedbøren til 24t og 3t som korresponderer med de samme 24t og 3t nedbørintervallene som for interpolert nedbør. Til slutt ble symbologien endret til å samsvare med interpolert nedbør.

Bibliografi

(2013). Jordskred og flomskred.

(2019). Weather radar.

Abdella, Y. S. og Engeland, K. (2013). Bruk av værradardata for beregning av gjentaksintervallkart for ekstreme nedbørshendelser.

Aleotti, P. (2004). A warning system for rainfall-induced shallow failures. *Engineering Geology*, 73(3-4):247–265.

Boje, S. (2017). Hydrometeorologiske terskler for jordskredfare på sørlandet og østlandet.

Boje, S., Colleuille, H. og Devoli, G. (2014). Terskelstudier for utløsning av jordskred i norge. *Oppsummering av hydrometeorologiske terskelstudier ved NVE i perioden*.

Bye, S. A. (2013). Værradarer i norge.

Caine, N. (1980). The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows. *Geografiska annaler: series A, physical geography*, 62(1-2):23–27.

Carstens, H. (2014). Jord- og flomskred rammer hardt.

Cremonini, R. og Tiranti, D. (2018). The weather radar observations applied to shallow landslides prediction: A case study from north-western italy. *Frontiers in Earth Science*, 6:134. ISSN 2296-6463.

Devoli, E. K. y. G., Bargel, T. H., Taurisano, T. W. A., Berg, H. og Eikenæs, O. (2011). Plan for skredfarekartlegging.

- Devoli, G., Mengistu, Z. T., Elo, C. A., Boje, S., Rønning, S. S., Engeland, K. og Lussana, C. (2017). The use of land- and satellite-based precipitation radar to forecast debris flows and high water discharge: case study from June 2nd, 2016 in southern Norway. I *EGU General Assembly Conference Abstracts*, volume 19 of *EGU General Assembly Conference Abstracts*, side 9792.
- Dingman, S. L. (2015). *Physical hydrology*. Waveland press.
- Førland, E. J., Allerup, P., Dahlström, B., Elomaa, E., Jónsson, T., Madsen, H., Perälä, J., Rissanen, P., Vedin, H. og Vejen, F. (1996). Manual for operational correction of nordic precipitation data. *Klima Report*, 24:96.
- Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M. og Stark, C. P. (2007). Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern europe. *Meteorology and atmospheric physics*, 98(3-4):239–267.
- Hanssen-Bauer, I., Drange, H., Førland, E. J., Roald, L. A., Børsheim, K. Y., Hisdal, H., Lawrence, D., Nesje, A., Sandven, S., Sorteberg, A. et al. (2015). Klima i norge 2100 kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015. *NCCS report*, NCCS, Oslo, Norway, 203.
- Hungr, O., Leroueil, S. og Picarelli, L. (2013). The varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, 11(2):167–194.
- Kjølseth, T. M. H. og Vatne, I. (2017). Modellering av urbane pluviale flommer ved bruk av værradar. Masteroppgave, Norwegian University of Life Sciences, Ås.
- Kristiansen, J. (2018). Bruk av private observasjoner for lokale og hyppige analyser og varsler av været.
- Lussana, C., Nipen, T., Seierstad, I. og Elo, C. (2019). Oversikt over dataprodukter fra met @ radpro.
- Lussana, C., Saloranta, T., Skaugen, T., Magnusson, J., Tveito, O. E. og Andersen, J. (2018). senorge2 daily precipitation, an observational gridded dataset over norway from 1957 to the present day. *Earth System Science Data*, 10(1):235.

- Marra, F. (2019). Rainfall thresholds for landslide occurrence: systematic underestimation using coarse temporal resolution data. *Natural Hazards*, 95(3):883–890.
- Marra, F., Nikolopoulos, E. I., Creutin, J. D. og Borga, M. (2014). Radar rainfall estimation for the identification of debris-flow occurrence thresholds. *Journal of hydrology*, 519:1607–1619.
- Marshall, John S. og Palmer, W. M. K. (1948). The distribution of raindrops with size. *Journal of meteorology*, 5(4):165–166.
- MET (2019). Regn og regnbyger.
- Meyer, N. K., Dyrddal, A. V., Frauenfelder, R., Etzelmuller, B. og Nadim, F. (2012). Hydrometeorological threshold conditions for debris flow initiation in norway. *Natural hazards and earth system sciences*, 12(10):3059–3073.
- Nikolopoulos, E. I., Borga, M., Creutin, J. D. og Marra, F. (2015). Estimation of debris flow triggering rainfall: Influence of rain gauge density and interpolation methods. *Geomorphology*, 243:40–50.
- Nikolopoulos, E. I., Crema, S., Marchi, L., Marra, F., Guzzetti, F. og Borga, M. (2014). Impact of uncertainty in rainfall estimation on the identification of rainfall thresholds for debris flow occurrence. *Geomorphology*, 221:286–297.
- Nipen, T. (2018). Post processed products.
- Norem, H. og Sandersen, F. (2012). Flom-og sørpeskred: Høringsutgave av veileder.
- NVE (2017a). Skredvær.
- NVE (2017b). Ustabile luftmasser gjør det utfordrende å varsle fare for flom og jordskred.
- Salciarini, D., Godt, J. W., Savage, W. Z., Conversini, P., Baum, R. L. og Michael, J. A. (2006). Modeling regional initiation of rainfall-induced shallow landslides in the eastern umbria region of central italy. *Landslides*, 3(3):181.
- Sandersen, F. (1996). The influence of meteorological factors on the initiation of debris flows, rockfalls, rockslides and rockmass stability. I *Proc. the 7th Int. Symp. on Landslides. 1996*, side 97–114.

- Sandersen, F. (2014). Løsmasse-og flomskred. *Skred: Skredfare og sikringstiltak: praktiske erfaringer og teoretiske prinsipper*, Universitetsforlaget, Oslo, side 77–93.
- Sandøy, G., Rubensdotter, L. og Devoli, G. (2017). Trekantformede jordskred–studie av fem skredhendelser i norge. *Trondheim: NGU*.
- Sivasubramaniam, K., Sharma, A. og Alfredsen, K. (2019). Merging radar and gauge information within a dynamical model combination framework for precipitation estimation in cold climates. *Environmental Modelling & Software*, 119:99–110.
- Smith, P. K. (2013). *Environmental Hazards*. Taylor & Francis Ltd. ISBN 0415681065.
- Valmot, O. R. (2019). Slik jobber meteorologene for å varsle været så presist som mulig.
- Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. *Special report*, 176:11–33.
- Villarini, G. og Krajewski, W. F. (2009). Review of the different sources of uncertainty in single polarization radar-based estimates of rainfall. *Surveys in Geophysics*, 31(1):107–129.
- van Westen, C. (2019). *Caribbean handbook on risk information management*.