

*Hydrometeorologiske terskler for
jordskred på lokal skala –
Undersøkelser i Hornindal og
Gudbrandsdalen*

Mattis Falck



Masteroppgave i Geofarar

60 studiepoeng

Institutt for geofag
Matematisk-naturvitenskapelig fakultet

UNIVERSITETET I OSLO

Juni 2017

Masteroppgave, Institutt for geofag



UNIVERSITETET I OSLO

DET MATEMATISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

© **Mattis Falck**

Tittel: *Hydrometeorologiske terskler for jordskred på lokal skala – Undersøkelser i Hornindal og Gudbrandsdalen*

Forfatter: Mattis Falck

Veiledere: Anders Solheim (NGI/UiO), Josè Mauricio Cepeda(NGI)

Trykk: Representeren, Universitetet i Oslo

Sammendrag

Klima2050 - Risk reduction through climate adaptation of buildings and infrastructure, er et åtteårig forskningssenter under SFI (Sentre for forskingsdrevet innovasjon)-ordningen. Senterets målsetning er å redusere samfunnets sårbarhet i forhold til effekter av dagens klima og fremtidig klimaendringer. Særlig er dette knyttet til klimaframskrivninger som indikerer økende varighet og intensitet av nedbør i enkelte områder. Senteret er et samarbeid mellom flere aktører, deriblant NGI, som leder arbeidspakken denne oppgaven er en del av

Forskningsområdene i Klima2050 er delt inn i fire arbeidspakker. Denne oppgaven er knyttet til arbeidspakke 3: *Landslides triggered by hydro-meteorological processes*. Delmål fire i denne pakken er å utvikle EWS (Early Warning System) for grunne skred på en regional og lokal skala. Målet for 2017/18 er å utvikle verktøy for overvåkning og data-assimilering, som også er målet for denne oppgaven.

Oppgaven har fokusert på å utvikle terskelverdimodell for skredvarsling knyttet til hydro-meteorologiske faktorer. Innledningsvis består det av å samle inn relevante verdier for historiske skredhendelser. Vanntilførsel fra snøsmelting og regn er her viktige faktorer, men også bl.a. tilførsel av smeltevann, grunnvannsnivå, teledybde og metningsgrad. Det gjeldene nasjonale skredvarslet er delt inn i regioner som Vestlandet og dalføre på Østlandet. Selv om forholdene er relativt like innenfor regionene, kan imidlertid de tersklene variere innenfor området og dermed gi grunnlag for en mer detaljert lokal skredvarsling. Oppgaven har sett på Gudbrandsdalen og Vestlandet, for deretter å ha snevret det inn mot studieområder på Skredestranda i Hornindal og Ringebu. Underveis har det blitt sett på faktorer som kan påvirke nøyaktigheten til skredvarsling, som ekstremhendelser og hvordan datasettet for analysen har blitt generert. For Gudbrandsdalen ble det funnet at ekstremnedbørhendelser i 2011 og 2013 påvirker resultatene i nevneverdig grad. Videre ble det også funnet at tersklene innad Gudbrandsdalen varierer lite og det kan være tilstrekkelig å benytte det regionale varslet. Det ble allikevel fremmet en terskel for Ringebu på grunn av en stor variasjon i terskelen for vannkapasitet. De univariate tersklene varierte lite. For Vestlandet ble effekten av andelen ikke-skreddager i datasettet for analysen testet. Det ble funnet at 20 referansedager ikke overraskende hadde stort sett bedre predikasjonsevne enn 50 referansedager, selv om rangeringen som ble benyttet indikerte lik prestasjon. Til slutt ble det funnet terskelmodeller for både Vestlandet, Hornindal og Skredestranda. Verdiene for de lokale tersklene var også lavere enn for hele Vestlandet, som indikerer en høyere sårbarhet enn gjennomsnittet. Til slutt ble noen av

tersklene plottet i en intensitet-varighetkurve. Det ble funnet likheter mellom Vestlandet og Lombardia, sentralt i Nord-Italia ved Alpene og likheter mellom Gudbrandsdalen og et elveleie i Nord-Øst Italia.

Forord

Først vil jeg takke veilederene mine, Anders Solheim og José Mauricio Cepeda for hjelp og råd med oppgaven. Videre vil jeg takke for at jeg fikk være med å befare studieområdene og at jeg fikk være med på prosjekt knyttet til KLIMA2050 i Hagamælen. Takk for at jeg fikk være en del av NGI, spesielt på vaffelfredager og bursdagsmarkeringer.

Videre vil jeg takke Gaute Øyehaug for å være så behjelpelig med å forklare meg konsepter rundt oppgaven som jeg har hatt vansker med å forstå.

Takk også til Torleif Anstensrud for hjelpen med å vise meg løsninger rundt programmering og generell PC-hjelp.

Også en stor takk til Jess Joar Andersen for hjelpen med å hente inn data som jeg har behøvet til oppgaven. Du har spart meg for masse tid.

Takk også til mine medstudenter for å ha vært igjennom denne prosessen sammen med meg og dratt hverandre frem, med pizzakvelder og quizlunsjer.

Til slutt vil jeg takke vennene og familien min for alle morsomhetene som har vært stor motivasjon under denne oppgaven

Innhold

SAMMENDRAG	I
FORORD	III
1 INTRODUKSJON	4
1.1 SKRED OG VARSLING.....	4
1.2 TIDLIGERE ARBEID MED TERSKELMODELLER	6
1.3 VARSLING I NORGE	7
1.4 MÅL OG PROBLEMSTILLING.....	9
2 SKREDKLASSIFIKASJON OG PROSESSER	10
2.1 SKREDKLASSIFIKASJON	10
2.2 SKREDUTLØSENDE PROSESSER	11
2.3 SKREDTYPER	14
3 DATA	16
3.1 NORGES SKREDDATABASE (NSDB)	16
3.2 HYDROMETEORLOGISKE PARAMETERER	17
3.2.1 Temperatur- og nedbørsdata.....	18
3.2.2 HBV-modellen (Hydrologiska Byråns Vattenbalanssektion – modellen).....	19
3.3 PARAMETERER TIL TERSKELSTUDIET	19
4 METODE	23
4.1 VALG AV STUDIEOMRÅDE.....	24
4.2 VALG AV SKREDDAGER	25
4.1 VALG AV REFERANSEDAGER	28
4.1.1 Kruskal Wallis.....	29
4.2 KLASSIFIKASJONSTRÆR	31

4.3	KRYSSVALIDERING.....	34
4.4	ROC-ANALYSE OG AUC (AREA UNDER CURVE).....	36
4.5	UNIVARIAT OG BIVARIAT ANALYSE.....	38
5	RESULTATER.....	40
5.1	GUDBRANDSDALEN.....	41
5.1.1	<i>Gudbrandsdalen 2000-2017.....</i>	<i>45</i>
5.1.2	<i>Gudbrandsdalen 2000-2010.....</i>	<i>52</i>
5.1.3	<i>Gudbrandsdalen 2000-2012.....</i>	<i>57</i>
5.1.4	<i>Sørstrand-Ringebu</i>	<i>62</i>
5.1.5	<i>Ringebu 10km radius (Uten ekstremhendelser).....</i>	<i>67</i>
5.1.6	<i>Ringebu</i>	<i>72</i>
5.2	VESTLANDET.....	77
5.2.2	<i>Hornindal.....</i>	<i>86</i>
5.2.3	<i>Skredestranda.....</i>	<i>93</i>
5.3	OPPSUMMERING AV TERSKLER.....	100
6	DISKUSJON.....	102
6.1	SKREDDAGER.....	102
6.2	REFERANSEDAGER.....	102
6.3	RANGERING AV VARIABELKOMBINASJONER.....	103
6.4	TERSKELVERDIER.....	105
6.4.1	<i>Gudbrandsdalen.....</i>	<i>105</i>
6.4.2	<i>Vestlandet.....</i>	<i>109</i>
6.4.3	<i>Andre terskelstudier og varslinger.....</i>	<i>116</i>
7	KONKLUSJON.....	119
8	VIDERE ARBEID.....	122

9	BIBLIOGRAFI	123
10	VEDLEGG	126
10.1	EKSEMPEL FOR KODE FOR Å ETABLERE KLASSIFIKASJONSMATRISE.....	126
10.2	KODE FOR Å INSPISERE TRESTØRRELSE OG BESTEMME OM ETT-STANDARDAVVIKMETODEN SKAL BENYTTES	127
10.3	KODE FOR Å LAGE KONTURPLOTT	127
10.4	KODE FOR ALLE PLOTTENE SOM SKULLE BENYTTES	128
10.5	KODE FOR Å TESTE MED KRUSKAL WALLIS	129
10.6	EKSEMPEL PÅ RANGERINGSSTABELL	130
10.7	KORRELASJONSTABELL FOR GUDBRANDSDALEN	132

1 Introduksjon

1.1 Skred og varsling

Hovedmålet med denne oppgaven er å bidra til å forbedre lokal varsling av nedbørinduserte løsmasseskred ved å analysere en rekke klimaparametere fra to studieområder i Norge, Gudbrandsdalen og Hornindal, som representerer hhv. Østlandet og Vestlandet.

Under en storm i 1999 over Caracas, Venezuela, ble det utløst flere tusen skred over tre dager. Hovedandelen av disse ble initiert som grunne jordskred og beveget seg videre nedover fjellsiden i kanaler. I mange av tilfellene dro skredene med seg ekstra løsmateriale mens de dundret nedover fjellet som resulterte i en høy ødeleggelsesevne (Wieczorek et al., 2001). Skredene beveget seg videre gjennom infrastruktur og bebyggelse i området og konsekvensene var store. Over 30000 menneskeliv gikk tapt og tusenvis av boliger samt store deler av infrastrukturen i området ble ødelagt eller skadet (USAID, 1999). Skadene ble estimert å beløpe seg til nesten to milliarder dollar (Salcedo, 2000).

I Norge har ikke skred gjort like store skader, men det utgjør likevel en trussel. Den 14. september 2005 forårsaket et jordskred store skader mot et boligområde i Bergen. Tre mennesker omkom og ti ble skadet. I tillegg ble 225 mennesker evakuert (Lango, 2010). I 2008 gikk det også et ras i Otta natt til 2. mai. To bolighus ble tatt med av raset og 50 bolighus ble evakuert. I tillegg ble E6 stengt for trafikk. Det ble ikke meldt om noen personskade og eierne av husene rakk å evakuere i tide (Heyerdahl, 2008).

Man ser årlig store tap knyttet til skred, både av menneskeliv og skade på infrastruktur samt annen konstruksjon. Skred skjer også ofte simultant med andre typer katastrofale hendelser, blant annet ekstremnedbør, men også sammen med bl.a jordskjelv. Klimaframskrivningene fra IPCC spår i tillegg en økning i intensiv og varig nedbør i Europa (IPCC, 2018). Dette kan gi en økende trend i antall utløste løsmasseskred i fremtiden (Jaedicke et al., 2008). Man ser også en befolkningsvekst som igjen fører til at nye arealer blir benyttet for å kunne tilpasse veksten. Dette fører til større eksponering og en økt risiko (Jaedicke et al., 2011). Risiko er definert som konsekvens (menneskeliv, avbrutt virksomhet, etc.) ganget med sannsynligheten for at det skal forekomme (Varnes, 1984).

Flere tiltak for å senke skredrisiko er nevnt i blant annet Schuster (1996) og Larsen (2008). Det enkleste tiltaket er å unngå bygging i skredutsatte områder som anvist i aktsomhetskart. Skredfaren i et område kan derimot ha blitt evaluert etter at et byggverk har blitt reist, eller at det har blitt foretatt endringer i kartleggingen. Fysisk sikring bidrar også til å senke risikoen og benyttes hovedsakelig der hvor det er tett befolket, eksisterende kritisk infrastruktur eller dyr eiendom. Fysisk sikring er derimot et lokalt tiltak og dyrt å vedlikeholde (Larsen, 2008).

Et tredje tiltak er varslingsystemer (EWS). Et varslingsystem er ifølge FN sitt tiltak for å senke katastroferisiko UNISDR (2009), definert som *et sett med kapasiteter som trengs for å generere og formidle rettidige og meningsfulle advarsler, slik at enkeltpersoner, lokalsamfunn og organisasjoner som trues av en fare er i stand til å forberede seg og handle hensiktsmessig og i tilstrekkelig tid for å redusere muligheten for skade eller tap*. Dette skal gi anledning til en raskere responstid for eventuell evakuering og for å klargjøre fysiske sikringstiltak for den potensielle hendelsen. Varslingssystemer kan bli klassifisert inn i alarm, varsel og prognostisk (Sättele et al., 2012). *Alarmsystemer* overvåker selve faren og sender ut en alarm når det registreres. Varselet er nøyaktig, men responstiden er kort. *Varselssystemer* overvåker forandringer i omgivelsene in situ, som f.eks. utvikling av sprekkesystemer som kan føre til steinsprang. Dette gir et noe mindre konkret varsel, men responstiden vil kunne øke fordi varselet gis før bevegelsene igangsettes. Dette er hovedsakelig knyttet til lokalt varsel. *Prognostisk varsel* predikerer farenivået for massebevegelser, da typisk på en regional skala. Ved å f.eks. overvåke hydrometeorologiske verdier kan man sende ut varsel før den potensielle hendelsen inntreffer. Forskjellen fra varselssystem er at det her blir kontinuerlig oppdatert basert på de overvåkede parametere. En hydrometeorologisk parameter som er antatt å være hovedårsaken til grunne løsmasseskred er nedbør (Crozier, 1997) (Crosta, 2001). Nedbørsinduserte skred står for omtrent 60% av alle katastrofale skredhendelser i enkelte katastroferegistre (Cepeda, 2009). Det er derfor potensielt nyttig å finne en statistisk sammenheng mellom vanntilførsel (nedbør og snøsmelting) og skredhendelser i form av terskler. I Norge kan prognosevarselet for skred bli funnet på varsom.no. Denne siden er drevet av NVE, sammen med meteorologisk institutt, Statens Vegvesen og Bane NOR.

1.2 Tidligere arbeid med terskelmodeller

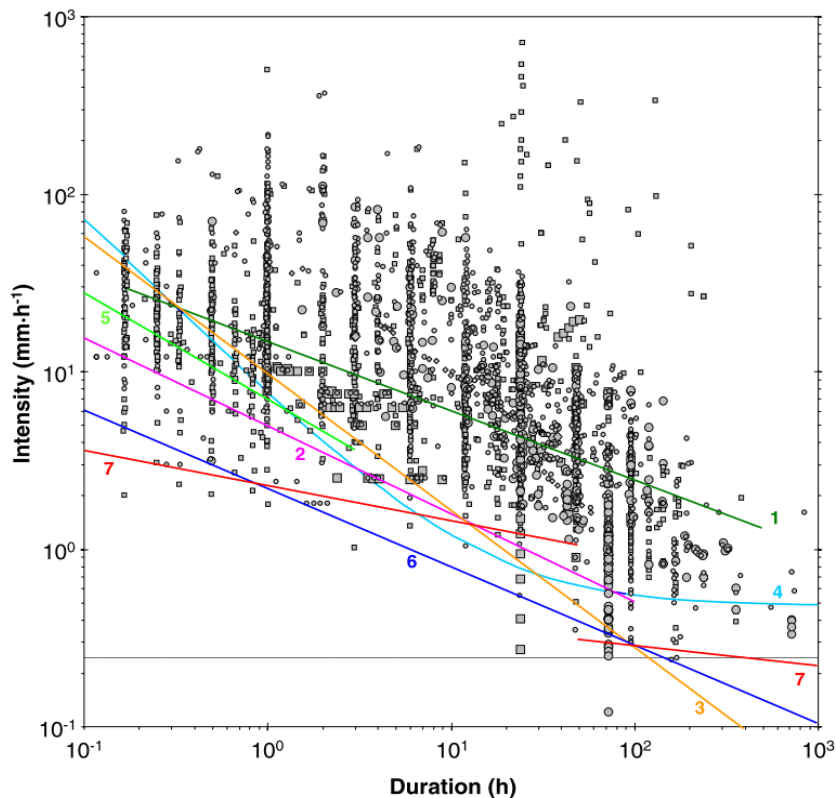
Terskler for nedbørsinduserte skred er her definert i Guzzetti et al. (2008) som *nedbørsmengden, fuktighetsgraden, eller den hydrologiske tilstanden som når nådd eller overskredet sannsynliggjør utløsingen av et skred*. Den geografiske utstrekningen en terskel har kan variere og er begrenset til tre kategorier (Guzzetti et al., 2007): Global, regional og lokal. Dette vil være en avveining mellom tilgjengeligheten til historisk data og behovet for romlig presisjon. En global skredterskel bør kun benyttes kun der hvor regionale eller lokale terskler ikke er tilgjengelig (Guzzetti et al., 2008) fordi disse ofte er veldig generelle.

De regionale empiriske modellene omfatter områder der hvor det er likheter, som f.eks. likt nedbørsmønster og/eller geologiske faktorer. En terskel kan være ømfintlig og et område som opplever mye nedbør vil f.eks. behøve høyere intensitet eller varighet for skred enn i et tørrere område. Derfor foreslås det blant annet å dele tersklene inn i klimaregioner (Guzzetti et al., 2008). antyder at regionale terskler ikke er overførbare til andre områder enn for der terskelen er estimert. Modellene blir videre kategorisert etter hvilke terskler som blir benyttet. Modeller som kun benytter nedbørsverdier, modeller som i tillegg inkluderer forutgående forhold (antecedent conditions) og modeller som inkluderer hydrologiske parametere. Cannon (2008) identifiserer tre forskjellige terskler:

- Nedre terskel, som er den laveste terskelen for at en skredhendelse forekommer
- Likeledes er øvre terskel definert som terskelen fra hvor det alltid skjer skred.
- Videre har man terskler som separerer skred- og ikke-skredhendelser.

Ikke-skredhendelser omtales i litteratur som referansedager og er dager hvor det ikke har gått skred. Av tidlige forsøk på å etablere terskler gjennomførte Caine (1980) et pionerarbeid ved å definere en global nedre terskel basert på varighet og intensiteten av nedbør under 73 nedbørsinduserte skredhendelser. Hendelsene stammet fra forskjellige klimasoner, geologiske settinger og forskjellige forutgående forhold, og følgelig blir terskelen noe generell. Resultatet ble funnet til å være akseptabelt ved nedbørsvarighet mellom ti minutter og ti dager. Guzzetti et al. (2007) oppdaterte arbeidet til Caine og inkluderte 2626 skredhendelser gjennom et uttømmende litteratursøk. Nedbøren ble normalisert til den gjennomsnittlige nedbørsmengden og regndagsnormalen i hver klimaregion. Det ble deretter satt en nedre terskel basert på den

korrigererte dataen (Figur 1.1). Terskelen forandret seg etter varighet på 48 timer, noe som indikerte at forutgående tilstand i jorden blir viktig fra dette punktet.



Figur 1-1: Nedre ID-terskler sammenlignet med registrerte skredhendelser (Guzzetti, et al. 2007) Grønn linje (1) representerer Caine (1980) sin terskel. Blå (6) og rød (7) linje representerer funnene gjort i oppgaven

1.3 Varsling i Norge

I 2009 fikk NVE ansvaret for å forebygge mot skredulykker. Et av tiltakene som ble iverksatt var statistisk analyse av 18 hydrometeorologiske parametere sin sammenheng til skred. Mange av disse parametere ble simulert av HBV-modellen (Hydrologiske Byrån Vattenbalanse-modellen). Det ble deretter gjennomført tre prosjekter for å finne de best egnede terskelkombinasjonene for Vestlandet, Østlandet og Nord-Norge. For regionsanalysen av Vestlandet ble det funnet at relativ vanntilførsel og relativ vannmetning som terskelvariabler var tilstrekkelig til å benytte til skredvarsling. For Østlandet ble det funnet at normalisert vanntilførsel over tre døgn og nedbør ga de beste resultatene for skredpredikasjon. Det ble derimot bedømt at Østlandet skulle benytte samme variabelkombinasjon som Vestlandet (Boje et al., 2014). 21. oktober, 2013 ble Norges første jordskredvarsel opprettet.

Formålet med denne regionale varslingen er å kunne iverksette lokalt beredskapstiltak tidligst mulig, for å redde liv og sørge for trygg ferdsel i skredutsatte områder, ved å varsle relevante beredskapsmyndigheter (Colleuille & Engen, 2009) tiltak som bør igangsettes inkluderer rensing av bekkefar, kulverter og stikkrenner, se etter antydning til bevegelser i utsatt terreng og sjekke stabiliteten til skråningsmaterialet. Oppsamling av vann og potensiale for nye løp bør også følges opp. Mer drastiske tiltak innebærer sperring av vei og evakuering (Colleuille & Engen, 2009).

Skredvarslet i Norge er delt inn i fire forskjellige farenivåer. Dette skal sikre økende aktsomhet rundt skred, i stedet for et binært varsel som kan være vanskelig å forholde seg til, spesielt hvis modellen ikke er nøyaktig. Ved å benytte tjenesten varsom.no kan også sivile finne farenivået i sitt område. Inndelingen gjelder for større regioner og rangeres etter hvor mange skred det forventes under de gitte forholdene.

Figur 1-2: Farenivåene i skredvarslet for Norge., Definsjonen for hvert nivå, slik de er definert på varsom.no, er gitt.

Aktsomhets-nivå	Sannsynlighet for skred og skadeomfang
4	Det ventes mange store jordskred og/eller sørpeskred.
3	Det ventes flere store og små jordskred og/eller sørpeskred.
2	Det ventes noen små jordskred og/eller sørpeskred. Enkelte store hendelser kan forekomme.
1	Generelt trygge forhold.

1.4 Mål og problemstilling

Det etablerte nasjonale skredvarslet for jord- og flomskred baserer seg på data på regional skala og dekker hele regioner som Vestlandet og dalførene på Østlandet. Lokalt kan i midlertidig de klimatiske terskelverdiene avvike fra de regionale, og dermed gi grunnlag for en mer detaljert lokal skredvarsling. Dette er en balansegang med å forsøke å få lokal oppløsning, og i tillegg ha nok skredhendelser til å generere pålitelige terskler.

Denne oppgaven har som hovedmål å utvikle en modell for varsling av jord- og flomskred til bruk på lokal skala, som et supplement til den regionale skredvarslingen. Først gjennomføres en regional analyse med nye metoder for å kalibrere terskelverdier. Det tas også i bruk nye metoder for valg av referansedager. Deretter vil det forsøkes å finne terskler innenfor områdene Hornindal og Gudbrandsdalen.

Delmål underveis i oppgaven vil være å:

- Utvikle en ny metode for valg av referansedager for modellen
- Teste påvirkningen av antallet referansedager for prestasjonsnivået til modellen
- Vurdere påvirkningen av ekstremværhendelser i enkelte terskelmodeller
- Sammenligne terskelmodeller utviklet på denne måten med modeller utviklet andre steder
- Sammenligne modeller med én og to variabler
- Sammenligne prestasjonsnivået mellom lokale og regionale terskelmodeller

2 Skredklassifikasjon og prosesser.

2.1 Skredklassifikasjon

En av de mest brukte skredklassifikasjonene ble opprettet av Varnes (1978) og benytter to nyttige klassifiseringer i bevegelsestype og skredmateriale. Disse to klassifiseringene henger også i stor grad sammen, siden bevegelsestype kan bestemmes av materiale. Bevegelsestypen defineres som «fall», «topple», «slide», «spread», «flow» og «complex». Klassifiseringen har derimot kun tre former for materialeinndeling; grunnfjell, og hovedsakelig grove eller fine løsmasser. Klassifiseringen til Varnes (1978) kan derfor være mangelfull når det kommer til geoteknisk klassifisering med tanke på mekaniske egenskaper (Hungre et al., 2014). Det er formålstjenlig å ha en mer nyansert inndeling av kornstørrelsen på materialet, med tanke på bevegelse og hurtighet. Påvirkningen til nedbør, som er viktig for denne oppgaven, vil også bestemmes av fordelingen til skredmaterialet. Her er blant annet permeabilitet viktig for påvirkningen til vann. Et annet problem ligger i det å klassifisere et skred som kompleks. Et skred går gjerne gjennom mange forskjellige stadier før bevegelsen opphører. Det vil derfor være hensiktsmessig å introdusere et system som er fleksibelt nok å klassifisere etter fokuset til forskeren, uten å måtte klassifisere skredet som kompleks (Hungre et al., 2014) (Tabell 2-1). Andre typer klassifiseringer er Sharpe (1938), som fokuserer på bevegelsestype og -rate med tanke på skredmateriale, og Cruden & Varnes (1996) som inkluderer potensiell hastighet og vanninnhold.

Tabell 2-1: Skredklassifikasjonen til Hungre et al, 2014) Her er bevegelsestype og en nyansert inndeling av materiale benyttet.

Type of movement	Rock	Soil	
Fall	1. <i>Rock/ice fall</i> ^a	2. <i>Boulder/debris/silt fall</i> ^a	
Topple	3. <i>Rock block topple</i> ^a	5. <i>Gravel/sand/silt topple</i> ^a	
	4. <i>Rock flexural topple</i>		
Slide	6. <i>Rock rotational slide</i>	11. <i>Clay/silt rotational slide</i>	
	7. <i>Rock planar slide</i> ^a	12. <i>Clay/silt planar slide</i>	
	8. <i>Rock wedge slide</i> ^a	13. <i>Gravel/sand/debris slide</i> ^a	
	9. <i>Rock compound slide</i>	14. <i>Clay/silt compound slide</i>	
	10. <i>Rock irregular slide</i> ^a		
Spread	15. <i>Rock slope spread</i>	16. <i>Sand/silt liquefaction spread</i> ^a	
		17. <i>Sensitive clay spread</i> ^a	
Flow	18. <i>Rock/ice avalanche</i> ^a	19. <i>Sand/silt/debris dry flow</i>	
		20. <i>Sand/silt/debris flowslide</i> ^a	
		21. <i>Sensitive clay flowslide</i> ^a	
		22. <i>Debris flow</i> ^a	
		23. <i>Mud flow</i> ^a	
		24. <i>Debris flood</i>	
		25. <i>Debris avalanche</i> ^a	
		26. <i>Earthflow</i>	
Slope deformation	28. <i>Mountain slope deformation</i>	27. <i>Peat flow</i>	
		30. <i>Soil slope deformation</i>	
		31. <i>Soil creep</i>	
		29. <i>Rock slope deformation</i>	32. <i>Solifluction</i>

For formal definitions of the landslide types, see text of the paper.

^a Movement types that usually reach extremely rapid velocities as defined by Cruden and Varnes (1996). The other landslide types are most often (but not always) extremely slow to very rapid

Denne oppgaven vil fokusere på «debris flow», «debris flood», og «debris avalanche» samt «debris slide». I norsk skredterminologi benyttes andre ord for skredgruppene (Tabell 2-2). Det eksisterer f.eks. ikke en distinksjon mellom «debris slide» og «debris avalanche» og begge faller i gruppen jordskred. I tillegg blir ordene «debris flow» og «debris flood» begge karakterisert som flomskred. Disse gruppene, sammen med leirskred og kvikkleireskred, danner overgruppen løsmasseskred (Tabell 2-2).

Tabell 2-2: En tabell over den norske terminologien for viktige skredkategorier (Øydvin, 2011) (Modifisert av Halfdan Carstens)

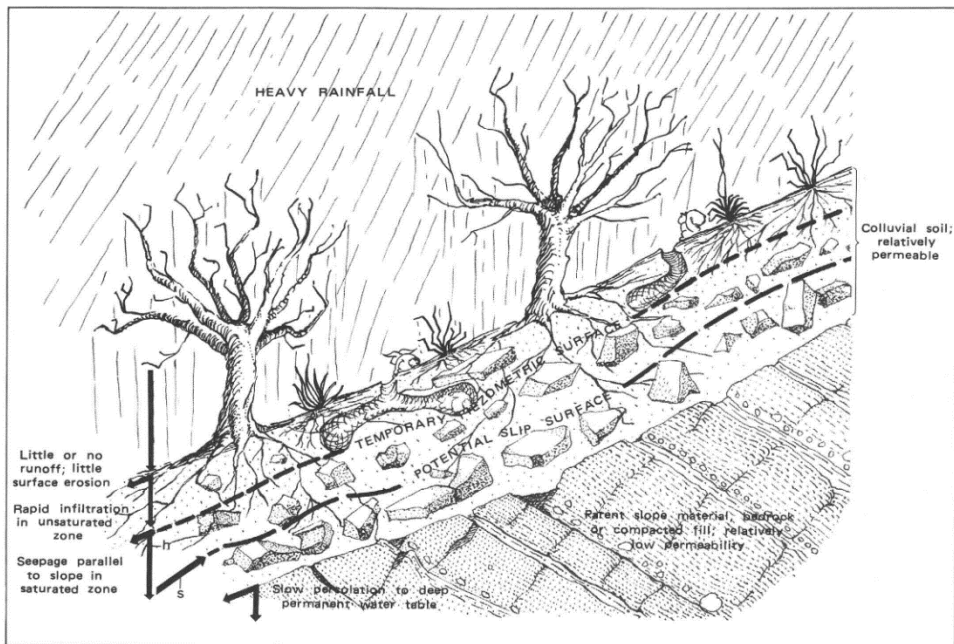
Type materiale			
Skred i fast fjell (Landslide in rocks) ↓	Løsmasseskred (Landslide in soils) ↓		Snøskred (Snow avalanches) ↓
	Grove løsmasser (Debris)	Fine løsmasse (Earth)	
Steinsprang Steinskred (Rock fall)			Snø og isfall (Ice-fall)
Ustabile fjellparti (Rock slide)	Jordskred (Debris slides and debris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

2.2 Skredutløsende prosesser

Det eksisterer tre kriterier for å ha en potensiell skredsituasjon (Campbell, 1975):

- 1) Nok regolitt og/eller løsmasser.
- 2) Nok helning i område hvor skredmateriale befinner seg.
- 3) At skredmaterialet er nær mettet med vann.

De fleste skred skjer mellom en helningsvinkel på 57° og 26°. Er det krappere vinkel vil det ikke hope seg opp nok skredmateriale til å produsere store bevegelser. Skred under 26 grader forekommer, men det er ofte ikke nok helning til å generere et store bevegelser.



Figur 2-1: Illustrasjon over infiltreringsprosessene for løsmasser på et impermeabelt plan (Campbell, 1975).

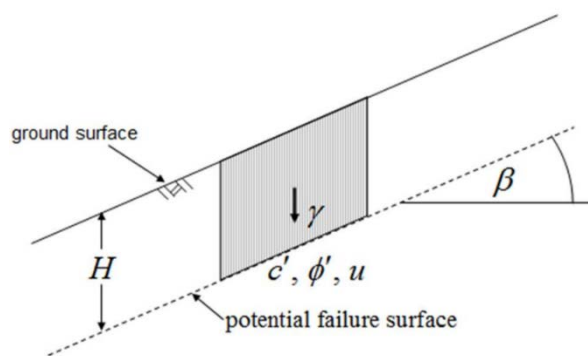
Det finnes mange årsaker som gjør områder mer utsatt for skred. Endring i geologien og terrenget er årsaker som kontinuerlig forandrer risikobildet i forhold til skredutløsning over mangfoldige år. Som utløsende årsaker dreier det seg om en hendelse som pågår over uker til timer. Dette går fra menneskelige aktivitet som ferdsel til konstruksjonsarbeid (Boje et al., 2014). Også i tilfellet av avskoging ser man en økende risiko for skred. Særlig i områder med mye vegetasjon har man funnet at dette utgjør en fare (Nadim, 2009). Det eksisterer flere måter å utløse skred på, men ekstrem nedbør nevnes som en av de viktigste årsakene til utløsning (Campbell, 1975) (Terlien, 1998) (Wieczorek, 2005).

Hydrologisk utløsning av skred kan defineres som en reduksjon i skjærstyrke, som følge av en økning i poretrykk i laget, som til slutt fører til svikt (Terlien, 1998). Poretrykket øker som følge av infiltrering og perkolering ovenfra, eller som følge av økning av grunnvannsnivået under ifra ((Iverson, 2000); (Terlien, 1998)). Om infiltreringen ovenfra er lavere eller lik kapasiteten til jorda, vil det forflytte seg ned til grunnvannet og det vil således øke (Figur 2-1). Det vil deretter fortsette å øke inntil infiltreringen opphører, eller at bakken når metning. Derifra vil ny tilførsel av vann forflytte seg som overflateavrenning (Figur 2-1). Vekten fra vannet vil også bidra til å øke poretrykket som igjen bidrar til å generere skred. Porevanntrykket er definert som trykket til vannet som befinner seg mellom alle solide partikler i laget. Denne kraften vil virke i motsatt retning av det effektive normalstresset (Terzaghi, 1925). Når det overliggende trykket på jordpakke øker vil de solide partiklene forsøke å orientere seg tettere sammen. Vann, som er ikke-kompressibelt, vil derimot forhindre at kreftene mellom partiklene øker, med

mindre vannet har et sted å unnslippe (Craig, 2004). En analogi for denne prosessen, kalt «leaky barrel», er en lekkende beholder med vann som kontinuerlig blir tilført en viss mengde væske. Samtidig blir væsken tappet fra beholderen hvor forskjellen i hastigheten på tilførsel og drenering bestemmer hvor mye vann som blir lagret (Wilson, 1989)). Når vannet i porerommet når et viss trykk vil det utløses et skred (Campbell, 1975). Et uttrykk for sikkerhetsfaktoren til en lagpakke som inkluderer poretrykket er gitt av Griffith (2011) (1). Sikkerhetsfaktoren er en dimensjonsløs faktor som sier noe om forholdet mellom drivende krefter og stabiliserende krefter i et lag.

$$FS = \frac{(H\gamma \cos^2 \beta - U) \tan \phi' + c'}{H\gamma \sin \beta \cos \beta} \quad (1)$$

FS er sikkerhetsfaktoren til laget. H er tykkelse på det sviktende laget, β er helning til skråningen er totalvekten til hele enheten, U er poretrykket ved bunn av laget, « ϕ' » er effektiv friksjonsvinkel ved bunn av laget og c' er effektiv kohesjon ved bunn av laget (Figur 2-2). Fra ligningen fremkommer det at et økende poretrykk (som kan oppstå ved økende nedbør) vil sikkerhetsfaktoren.



Figur 2-2: En tegnforklaring over de forskjellige parameterne som påvirker sikkerhetsfaktoren til en jordpakke (Griffith, 2011).

2.3 Skredtyper

Denne oppgaven vil kun fokusere på skred i løsmasser hvor prosessene fra forrige avsnitt er dominerende. Løsmasser er definert som alle typer masser som ligger over fast fjell, regolitt, eller antropogent avsatt materiale (NVEa, 2013). Løsmasseskred inkluderer både skred i grove og fine løsmasser (Tabell 2-2). Disse kornfordelingene har forskjellige egenskaper i vannlagringskapasitet, kornstørrelse og terrengform, som gjør at man ser forskjellige utløsningsmekanismer i hvert tilfelle. Jordskred og flomskred går under grove løsmasseskred. Begge skredene er karakterisert som hurtiggående og vannmettede. Likhetene ligger i bestanddelen av massene, utløsende årsaker og bevegelse. Forskjellene dreier seg om hvorvidt skredet er kanalisert, sortering og andre geomorfologiske parametere. Det er derimot vanskelig å skille mellom dem, særlig etter at hendelsen har skjedd (NVEa, 2013). Jordskred og flomskred brukes ofte feilaktig synonymt. NVE bruker allikevel ordet «jordskredvarsling» for begge typene.

Jordskred er definert som raske utglidninger som følge av vannmettede løsmasser, i skråninger utenfor vannveier (NVEa, 2013). Jordskred initieres enten som et flatt eller skjeformet glideplan i et punkt eller i en sone. Punktutløsning skjer gjerne hvis skredet er utløst av steinsprang (NVEa, 2013). De fleste jordskred er karakterisert som grunne og er ikke særlig dypere enn fem meter. De forekommer gjerne i morene, tidligere skredmateriale eller forvitningsmateriale. De forekommer sjelden på samme sted to ganger. Det tar i såtilfelle flere år før nok løsmasser er akkumulert til å utløse et nytt skred. Man ser også en økende hyppighet av jordskred der det har vært avskoging.

En annen type skred som hittil ikke har blitt nevnet er utglidning. Utglidning er definert som en langsom bevegelse langs et glideplan som er flatt eller skjeformet (NVEa, 2013). Utglidning er et mindre jordskred og har vanligvis dybde ned til 2-3 meter og opp mot 30 meter utstrekning. Utglidninger skjer i slakere terreng enn hos jordskred, med finkornet og vannmettet jord. De oppstår gjerne i skråninger nær veier og andre menneskeskapt opphopninger. Kvikkleier kan også være en utløsende årsak til utglidninger og bør derfor tas til følge i denne oppgaven, da disse to skredtypene ikke har samme utløsningsårsaker.

Flomskred er hurtiggående og flomlignende skred som er kanaliserte, også der hvor det tidligere ikke har gått vann. Skredtypen har stor erosjons- og transportevne (NVEa, 2013). Skred kan

initeres som jordskred for deretter å bli kanalisert, eller starte i løpsbanen. De kan også starte som jøkulhlaup eller dambrudd. Mens skredet beveger seg nedover skråning kan mer og mer vann og løsmasser blir blandet innt. Flomskred kan gå som en serie (surge) eller et enkeltskred. De strekker seg også langt gjerne flere kilometer nedover skråningen. Skredtypen befinner seg mellom gravitasjonsdrevet og vandrevet.

Rekkevidden til disse skreden varier med topografi og skredvolumet. Jordskred er derimot ikke typisk lengre enn 500 meter. Et flomskred kan på grunn av kanalisere og nå opp mot én kilometer. Jordskred beveger seg gjerne sent til å starte med, men bygger opp hastighet med tiden. Et flomskred har ofte en høyhastighet til å starte med, og kan nå hastigheter opp mot 50km/t.

3 Data

3.1 Norges skreddatabase (NSDB)

For å opprette et varslingsystem så er det behov for en kombinasjon av skredene sin posisjon og tid ved utløsning, deretter den tilhørende hydrometeorologiske dataen. Her er data for skreddagen viktigst, men også dager hvor det ikke har gått skred benyttes som referansedager.

For å lage en empirisk modell med god predikasjonsevne er det et behov for et omfattende historisk datagrunnlag. Både romlig nøyaktighet og liten usikkerhet til tidspunkt er avgjørende for å kunne gi et presist varsel. Andre faktorer, som bestemmelsen av skredtype, er også nødvendig for utviklingen av varsling. I juni 2001 fikk NGU (Norsk Geologisk Undersøkelse) i oppdrag å opprette en nasjonal skreddatabase i samarbeid med NGI og statlige aktører som BaneNOR, Statens Vegvesen og Forsvaret. Tjenesten skulle inneholde aktsomhetskart for alle typer skred, og registrering av skred langs kritisk infrastruktur. Tjenesten stod ferdig i 2003 og siden da har det vært en fortløpende oppdatering av skredregisteret. Dette var tiltenkt å være et hjelpemiddel for kommunene og andre beredskapsansvarlige. Den nasjonale skreddatabasen (NSDB) er siden 2014 driftet av NVE. Databasen for skredhendelser er tilgjengelig for allmennheten på webportalen skrednett.no. Databasen kan lastes ned og benyttes i geografiske informasjonssystemer som ArcMAP. Alle skredene har fått registrert type og en grad av geografisk og tidsnøyaktighet. Skredtypene som er registret er alle typer snøskred, steinskred, steinsprang, leirskred, kvikkleireskred, løsmasse- og flomskred, jordskred og utglidninger. Skredene som blir tatt for seg i denne oppgaven er de typene som påvirkes i størst grad av hydrometeorologiske faktorer (Tabell 3-1). Skredene i denne oppgaven er registrert fortrinnsvis med en romlig nøyaktighetsgrad mellom «Eksakt» til 1000 meter. Skredene innehar videre hovedsakelig en nøyaktighet mellom «Eksakt» og seks måneder.

Historiske skredregistre har typisk vært preget av dårlig kvalitetssikring og har basert seg på tilbakemeldinger fra befolkningen i de berørte områdene. Dataen tilgjengelig vil derfor ha en varierende grad av kvalitet, noe som bør bemerkes. Databasen bør heller ikke regnes som komplett i og med at skred som blir registrert er hovedsakelig der det berører infrastruktur eller annen menneskelig aktivitet. Et annet problem er dobbeltregistrering av hendelser. Dette kan skje både ved at samme institusjon eller to ulike personer registrerer samme hendelse (Sokalska, 2015). Dette vil i denne oppgaven kunne gi et falskt inntrykk av hyppighet i enkelte områder. Det er derimot ikke trivielt å vite om det dreier seg om dobbeltregistrering eller at det er to

skred som har gått tett sammen. Skredpunkt kan også bli tilegnet feil koordinater, hvor noen blir registrert i område hvor utløsingen skjedde, mens andre punkter er bestemt til å være der skredet treffer menneskelige interesser. Dette kan gi unøyaktigheter med tanke på valg av tilhørende hydrometeorologiske parametere i oppgaven. Skred som går i ubebodd område vil også ofte gå ubemerket i utløsningsøyeblikket og skredtidspunktet vil være unøyaktig. Skredene kan også ha skjedd i løpet av natten og blir registrert senere enn faktisk tidspunkt. Feilregistrering av skredtype kan også være et problem, og med noen skredtyper er det behov for vurderingen til en fagperson for å skille mellom dem. Informasjonen tilgjengelig om skredene er ikke alltid tilstrekkelig for å bestemme type. I denne oppgaven vil det hovedsakelig kunne påvirke kategorien «uspesifisert løsmasseskred», siden leir- og kvikkleireskred ikke er inkludert.

Tabell 3-1: Tabell over de relevante skredene og tilhørende skredkoder

Skredkode	Typologi
140	Løsmasseskred, uspesifisert
142	Flomskred
144	Jordskred
160	utglidning

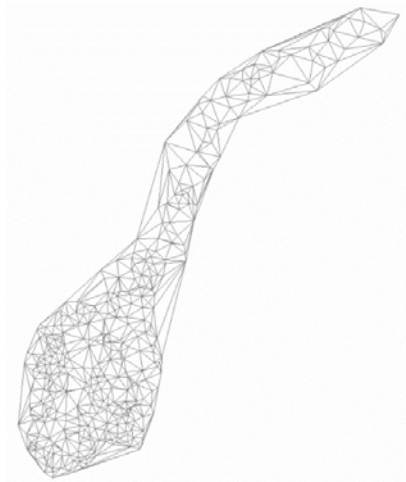
3.2 Hydrometeorologiske Parametere

Alle hydrometeorologiske parametere er mulig å laste ned ifra ekspertverktøyet www.xgeo.no. Xgeo benyttes av beredskapsinstanser til overvåking og til å varsle om potensielle naturfarer. Siden er driftet av NVE, met.no, BaneNOR, Kartverket og SVV(NVEb, 2017). Data fremstilles i en digital terrengmodell bestående av 1x1 km grid. Hvert 1x1 km grid inneholder hydrometeorologisk data gjeldene for den eksakte ruten og strekker seg fra 1957 til ni dager frem i tid. Det er ett datapunkt per parameter per hydrologisk døgn, og strekker seg fra 07:00 – 06:59 (UTC+1). Temperatur og nedbørsdata kan også hentes direkte fra værstasjonen, i tillegg til fra griddene. Dette kan derimot produsere noe unøyaktig verdier for punkter som man finner langt unna stasjonen, siden nedbør kan i flere tilfeller være relativt lokalt.

Både værdata og snødata er tilgjengelig (NVEb, 2015). Av snødata derimot er kun snøsmelting interessant for denne oppgaven. Denne variabelen finner man igjen i vanntilførselsparametere.

3.2.1 Temperatur- og nedbørsdata

Basert på målinger fra 150-200 stasjoner fremstilles 24-timers temperaturdata for Norge av NVE (Mohr & Tveito, 2008). Målingen blir først «detrended», som vil si at hver meteorologisk stasjon først blir justert for geografisk beliggenhet, her høyde over havet, breddegrad og høydegrad. Der hvor justeringene for breddegrad og høyde over havet har enkle forklaringer, gjøres justeringene for høydegrad fordi det sier noe om hvorvidt det er et kontinentalt- eller kystklima. Også stasjonens høyde relativt til en radius på 20km tas i betraktning, og vil si noe om man befinner seg i bunn av en dal eller ved en topp (Mohr & Tveito, 2008). Deretter blir alle 1x1 km ruter tilegnet data med en geostatistisk metode kalt kriging. I korte trekk går metoden ut på å interpolere data mellom stasjoner.



Figur 3-1: En fremstilling av hvordan trianguleringsnettet er satt opp (Mohr & Tveito, 2008). Merk særlig hvordan trianglene ved landegrensene i øst blir relativt store

For nedbørdata benyttes kun «høyde over havet» under detrending. Man antar at nedbøren øker med høyden. Nedbøren justeres med 10 % for hver 100 meter under 1000 meter. Over 1000 meter blir nedbøren justert med 5%. Vindhastigheten nær målestasjonen når nedbøren faller som snø og fordampning tas også med i betraktning. I motsetning til temperatur, benyttes triangulering for å bestemme nedbørsverdier i griddene. Triangulering er en måte å generere data på ved å benytte et nett av tre og tre stasjoner. Hvert hjørne i et triangel er en stasjon og følgelig kan en stasjon benyttes i flere forskjellige triangler (Figur 3-1). Problemet oppstår ved landegrensene hvor det kan være langt til neste stasjon som gjør opp et av hjørnene i triangelet (Figur 3-1). Disse blir således mindre vektet. Denne metoden har vist seg å produsere realistiske resultater. Ved å utføre en kryssvalidering har man funnet at temperatur og nedbørsmodelleringene har produsert en korrelasjon på henholdsvis 95% og 88%. En omfattende gjennomgang av metoden blir gjennomgått i Mohr & Tveito (2008).

3.2.2 HBV-modellen (Hydrologiska Byråns Vattenbalanssektion – modellen)

HBV-modellen gjennomfører vannbalanssekalkulasjoner ved å bruke de tidligere omtalte griddete temperatur- og nedbørverdiene som input (Beldring, 2003). Modellen har døgnoppløsning for alle parametere.

For simulering og prognose for vannføring i Norge benyttes en tilpasset versjon av HBV-modellen kalt GWB (Gridded Water Balance) (Colleuille, 2017). HBV-modellen beregner vannføringsvariabler basert på en forenkling av naturlige prosesser. Modellen består av de tre komponentene snø, markvannssonen og avrenningsdelen (NVEb, 2015). I snøkomponenten holdes det et regnskap på snøakkumulasjon og snøsmelting i forskjellige høydenivåer (NVEb, 2015). Markvannssonen blir simulert slik at ved en helt tørr sone vil omtrent alt vann holdt tilbake, men ved total metning blir all nedbør ført videre. Vann blir også fjernet fra sonen ved fordampning. I avrenningsdelen så beskrives det som ikke er bunnet i snø eller i markvann. Konseptuelt illustreres dette som sammenkoblede magasiner. Av denne modellen vil man kunne beregne total vanntilførsel (regn og snøsmelting), grunnvannsparametere, vannkapasitet og metningsgrad, som alle er inkluderte parametere i oppgaven.

3.3 Parametere til terskelstudiet

Det ble totalt lastet ned 12 parametere til analysen av terskler (Tabell 3-2). Noen av disse variablene er relative, og er tiltenkt bruk på større skala. Dette betyr derimot ikke at de predikerer dårlig på mindre skala, men at en mer veldefinert terskel kan bli funnet i absolutte verdier. Det er en forhåndsantakelse at absolutte verdier vil prege de best egnede modellene, fordi det er færre faktorer som kan være forskjellige enn på et regionalt nivå. Tersklene er valgt på bakgrunn av variabelkombinasjoner omtalt i (Boje et al., 2014) som egnede variabler. Variabelen «qttaarp» (Vanntilførsel 1 døgn normalisert ved årlig middelnedbør for en 30-års periode) som blir benyttet til varsling på Vestlandet og Østlandet, har det derimot vært problemer med å hente inn og har i stedet for blitt beregnet ved å finne en lineær sammenheng med variabelen «1-dags vanntilførsel normalisert mot 30-års maksimum». I tillegg ble tre variabler beregnet ved hjelp av MATLAB. Disse er forskjell i døgntemperatur, tre-dagers vanntilførsel og tre-dagers nedbør. Nye variabler ble også opprettet i hver matrise. Et responsfelt, for å kunne flagge skreddatoer i hver matrise, og tre felt med summen av tre dager med regn, vanntilførsel og forskjellen i gjennomsnittlig temperatur fra dagen før og skreddagen.

Disse ble beregnet ved å benytte funksjoner som er tilgjengelig i MATLAB. De to første dagene i datasettet vil potensielt være feilberegnet, siden data fra før 1.1.2000 ikke er blitt lastet ned. Dette vil påvirke skred som er gått de to første dagene i året.

Tabell 3-2: Tabell over variabelnavnene som benyttet hos NVE og hvilken prosess som representeres

Variabelnavn	Hydrometeorologisk prosess	Påvirkning iht. til tid	Enhet
Gwb_q	Simulert avrenning	Kort	mm
gwb_gwtdev	Variasjon i grunnvannsnivå	Kort	mm
gwb_gwtcl	Grunnvannstilstand	Lang	mm
gwb_qtt	Vanntilførsel distribuert HBV	Kort	mm
qtt,	Vanntilførsel (Én dag) beregnet med snøkartmodell	Kort	mm
gwb_sssdev	Vannkapasitet	Lang	mm
Rr,	Nedbør (Én dag)	Kort	mm
gwb_frd	Frostdybde	Lang	m
Tm, Delta T	Temperatur i C	Kort	C
gwb_sssrel	Jordas Metningsgrad	Lang	%
gwb_qttprgwb_qttxyrx30yr	Vanntilførsel normalisert mot 30 års max	Kort	%
gwb_qtt3dprgwb_qtt3dxrx30yr	3-døgns vanntilførsel normalisert mot 30 års max	Lang	%
qt3	Akkumulert vanntilførsel over tre dager	Lang	mm
rr 3	Akkumulert nedbør over tre dager	Lang	mm
D_t	Temperaturforskjell fra dagen før	Kort	C

1-døgn avrenning (gwb_q)

Her beregnes avrenningen fra skråningen det siste døgnet. Dette kalkuleres ved å trekke fordampning og endring i vannmengde som er lagret i jorden fra nedbør. Denne variabelen er beregnet med HBV-modellen.

Døgnvariasjon i grunnvann og grunnvannsstand (gwb_gwtdev)

Grunnvannstilstand er den gjennomsnittlig grunnvannstand for samme dato i tidsrommet 1981-2010. Døgnvariasjon i grunnvann er forskjellen mellom gjeldende og foregående døgn i prosent.

Jordas vannkapasitet og metningsgrad (gwb_sssdev og gwb_sssrel)

Jordas vannkapasitet er definert som lagreevnen i mark- og grunnvannssonene sammenlignet med høyeste metning som er simulert med HBV-modellen i tidsrommet 1981-

2010. Metningsgrad er gitt som prosentvis vannmetning i jord. Prosentandelen er forholdet mellom dagens simulerte vannlager og maksimalt simulert vannlager i tidsrommet 1981-2010. Beregningene gjøres med HBV-modellen.

1-dags nedbør (rr)

Målt nedbørmengde det siste døgnet og måles i perioden 07:00 – 06:59 UTC(+1). En av parameterne som benyttes i HBV-modellen til å modellere andre variabler. Dataen distribueres av Meteorologisk Institutt.

1-dags vanntilførsel (gwb_qtt og qtt)

Vanntilførsel er summen av nedbør og snøsmelting beregnet med distribuert HBV-modell. Tilførselen er oppgitt i millimeter. Denne variabelen er også blitt beregnet med snøkartmodellen.

Temperatur/Temperaturforskjell (tm, D_t)

Gjennomsnittet av lufttemperaturen over 24 timer har blitt beregnet. Temperaturen oppgis i celsius. Lufttemperatur er en av parameterne som benyttes til å beregne variabler produsert av HBV-modellen. I tillegg er forskjellen i temperatur fra dag til dag beregnet i MATLAB.

1-dags og 3-dagers vanntilførsel normalisert over 30 år

Summen av regn og snøsmelting de siste 24 og 72 timer i prosent av maksimum 3-døgns vanntilførsel for perioden 1981-2010.

Frostdybde (frd)

Variabelen for estimert frostdybde. Dybden blir oppgitt i centimeter fra overflaten. Dybden blir estimert av HBV-modellen. Denne variabelen vil kunne påvirke lagreevnen til jordpakken og kan skape grunne skred.

3-døgns vanntilførsel (qtt3)

Summen av regn og snøsmelting de siste 72 timer. Denne variabelen ble laget ved å summere de tre foregående dagene av vanntilførsel i MATLAB. Den første dagen i hver celle vil være underestimert fordi det ikke eksisterer dager før det nedlastede datasettet.

3-dagers nedbør (rr3)

Summen av regn de siste 72 timer. Variabelen ble laget ved å summere de tre foregående døgn av nedbør. Den første dagen i hver celle vil være underestimert fordi det ikke eksisterer dager før det nedlastede datasettet.

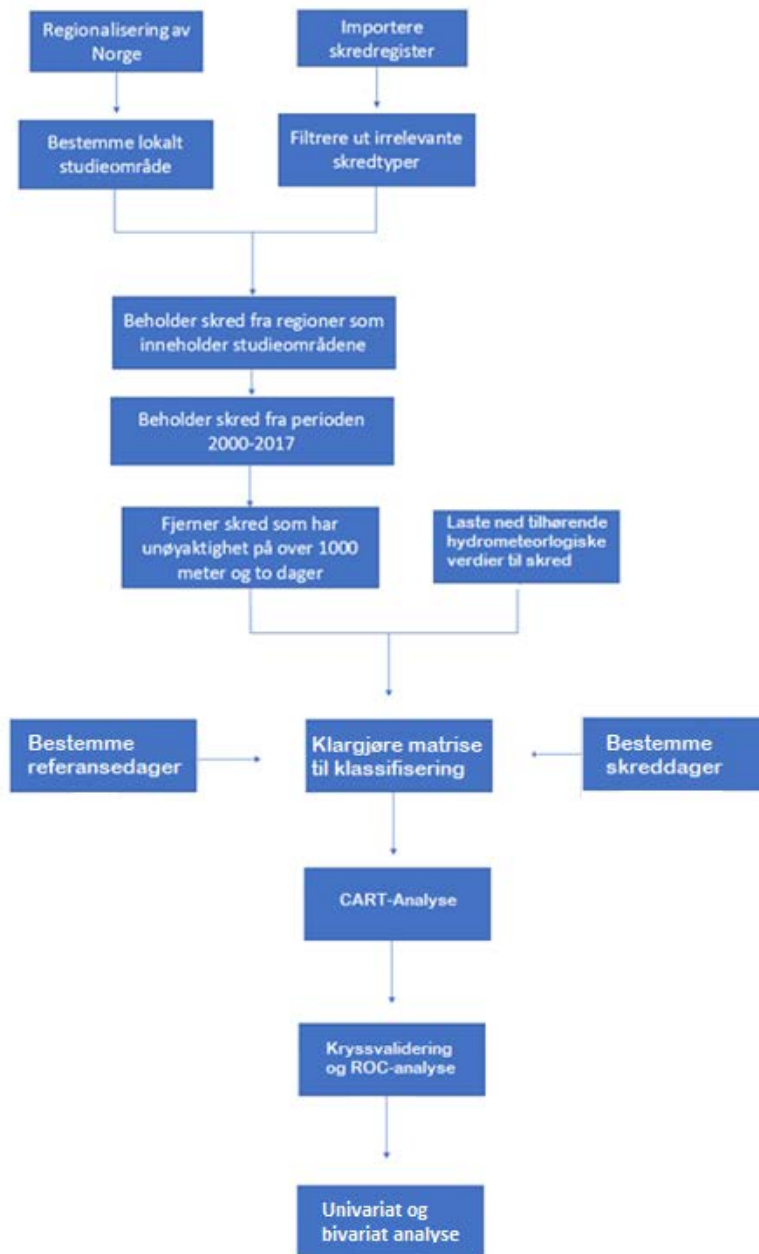
1-døgns vanntilførsel som fraksjon av årstotal (qtaarp)

For Vestlandet ble også 1-døgns vanntilførsel som fraksjon av årstotal beregnet. Dette er mulig å laste ned, men for denne oppgaven har det oppstått problemer med å oppdrive variabelen. Den ble derfor beregnet ved å ta en variabel som hadde høy nok korrelasjon, i dette tilfellet 1-dags vanntilførsel relativ til 30-års maksimum, og deretter benyttet lineær regresjon for å omregne variabelen i MATLAB. For å bespare tid ble dette gjort ved å laste ned variablene fra en celle i nærheten av studieområdet på Vestlandet med høy skredtetthet. Ved å beregne lineær regresjon mellom disse to variablene ble ligningen $qtaarp = (qtm30/19.133)-1.909$ funnet. For Gudbrandsdalen ble $qtaarp=(qtm30/10.306)- 0.67$ benyttet.

Denne ble deretter brukt på hoveddatasettet for å finne den tilsvarende verdien. Ved en visuell inspeksjon av den beregnede variabelen og den faktiske variabelen i cellen, ble det funnet at ligningen gir et noe konservativt estimat.

4 Metode

Et forenklet flytskjema over metoden er fremstilt (Figur 4-1) for å gi et oversiktlig blikk over prosessene som blir forklart videre i kapittelet.

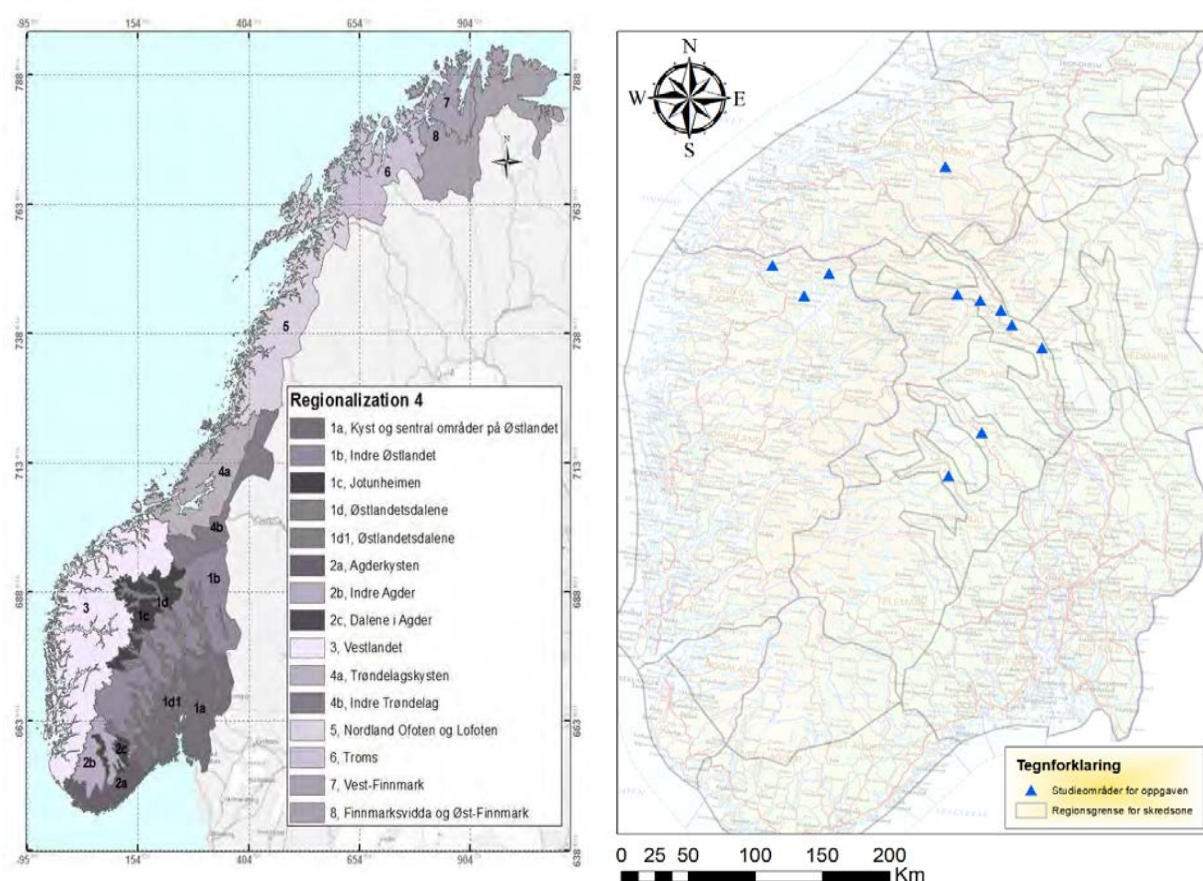


Figur 4-1: Et flytskjema over alle de metodene i oppgaven. Prosessene ender i univariat og bivariat analyse som er det i siste steget, og hvor den optimale modellen blir bestemt.

4.1 Valg av Studieområde

En liste over potensielle studieområde er presentert (Tabell 4-1). Kriterier som har blitt lagt til grunne for endelig valg av studieområder er spesielle omstendigheter i området, antall skred i nærheten, avstand til værstasjoner og omfang av hendelser. Det endelige valget skulle også være begrenset til ett studieområde per region. Det er også viktig at både Vestlandet og Østlandet er representert.

Den første delen av arbeidet bestod av å finne egnete studieområdet å fokusere på. Fra en liste over områder ble det innført noen kriterier for valg av studieområde. Regionaliseringen baserer seg her på en modifisert versjon av regionaliseringen R4 (Figur 4-2) som har blitt lagt frem i



Figur 4-2: Regionalisering av Norge basert på skredsoner (Devoli & Dahl, 2014). Til venstre ser man den originale regionaliseringen. Til høyre er det foretatt endringer, som f.eks. en finere inndeling av Vestlandet. Dette er en regionalisering som er tiltenkt og benyttes i fremtidige prosjekter. Justeringene er foretatt av Graziella Devoli

Devoli & Dahl (2014) ble gjennomført av Graziella Devoli fra NVE. Kriterier som er lagt til grunne er klimatiske faktorer som samme klima og nedbørsmønster, orografi, grensene til nedbørsfeltene, politisk administrative grenser, geologiske faktorer som løsmasseavsetninger, grunnfjell og andel marin leire, og til slutt den historiske fordelingen av skredhendelser. Fra

dette ble det fremmet fire forskjellige regionaliseringer, men i ettertid har R4 vist seg å gi et mer nøyaktig varsel for blant annet østlandsregionen. Den modifiserte versjonen (Figur 4-1) er tiltenkt bruk til fremtidige prosjekter (personlig kommentar, Graziella Devoli).

For å avgrense den lokale analysen geografisk, benyttes REGINE-enheter. Dette er den minste enheten som NVE benytter og viser systemet over den hydrologiske strukturen i Norge (NVEc, 2018). Den geografiske utbredelsen bestemmes av vannskillinger og knutepunkter i vassdrag (NVEc, 2018).

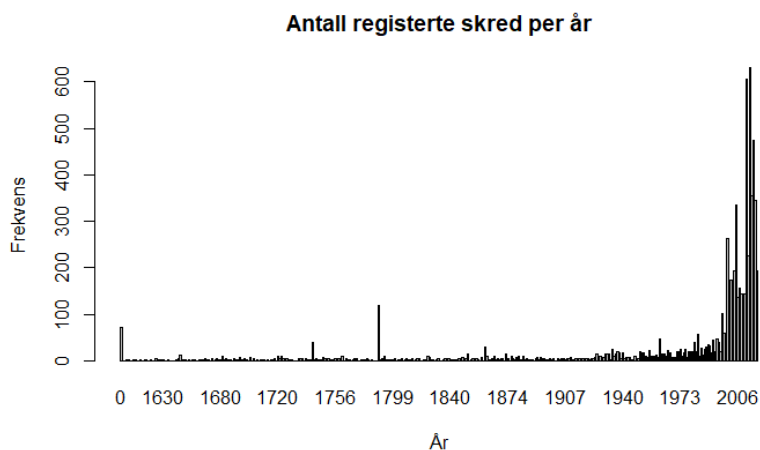
Tabell 4-1: Tabell over potensielle studieområder for oppgaven. Listen består av områder hvor NGI har hatt ansvaret for utredning og har enten et betydelig omfang eller frekvens av hendelser, spesielle omstendigheter eller har skjedd relativt nylig.

Studieområde, kommune	Fylke	Nærmeste værstasjon	Avstand timesnedbør	Avstand døgnnedbør	Antall hendelser innen 10km radius	Spesiell bemerkning
Arnegårdslie, Nes	Buskerud	Nesbyen - Todokk	3900	3900	9	
Skredestranda, Eid	Sogn og Fjordane	Strynkroken	13000	12000	27	
Aurdal, Nord-Aurdal	Oppland	Vest-Torpa	25000	6800	6	Islag
Sunnalsøra, Sunndal	Møre og Romsdal	Innerdalen	8200	4000	8	Lokalnedbør
Skjeggstad, Ringebu	Oppland	Fåvang	8000	7000	35	
Oldedalen 1, Stryn	Sogn og Fjordane	Strynkroken	25000	4000	8	
Oldedalen 2, Stryn	Sogn og Fjordane	Strynkroken	24000	4000	8	
Oppstryn, Stryn	Sogn og Fjordane	Strynkroken	25000	2200	28	
Kvam, Nord-Fron	Oppland	Otta-Skanssen	15000	9000	59	
Storrivkhøygarden, Vågå	Oppland	Leirflaten	16400	6400	4	
Otta, Sel	Oppland	Otta-Skanssen	1000	1000	24	
Bakkom, Vågå	Oppland	Leirflaten	10000	10000	11	

Skredestranda og Ringebu ble valgt på grunn deres høye antall skred innenfor 10 km av studieområdet og relative nærhet til timesnedbørsstasjoner. Dette er både på grunn av nøyaktigheten til interpoleringen av nedbør og temperatur, men også legger til rette for en eventuell timesoppløsning for nedbørsterskler.

4.2 Valg av skreddager

Per 9.9.2017 inneholdt skreddatabasen 61450 skred og ble lastet ned fra NVE sin webtjeneste. Av disse var 7357 relevante. Kun skred som befinner seg i regionene som innefatter studieområdene ble beholdt. Ved å se på fordelingen over tid ser man at antall registrerte skred øker betraktelig i 2000 (Figur 4-3). Dette er ca. rundt tiden NSDB ble opprettet og det var fra dette punktet at den nasjonale skreddatabasen sørget en viss kvalitetssikring. Skred fra perioden før 2000 vil derfor ikke bli inkludert videre.



Figur 4-3: Plot over antall registrerte hendelser i hvert år. En drastisk økning kan sees fra omtrent år 2000 og ut.

Skredene har deretter blitt fordelt i sine respektive regioner. Vestlandet(Hornindal), har flesteparten av de registrerte skredene, etterfulgt av Gudbrandsdalen (Tabell 4-2). All behandling av skreddata har blitt foretatt i ArcMap. Kvalitetssikringen har gått ut på at skredene har nøyaktighet innenfor tid og rom på henholdsvis innenfor to dager og 1000 meter.

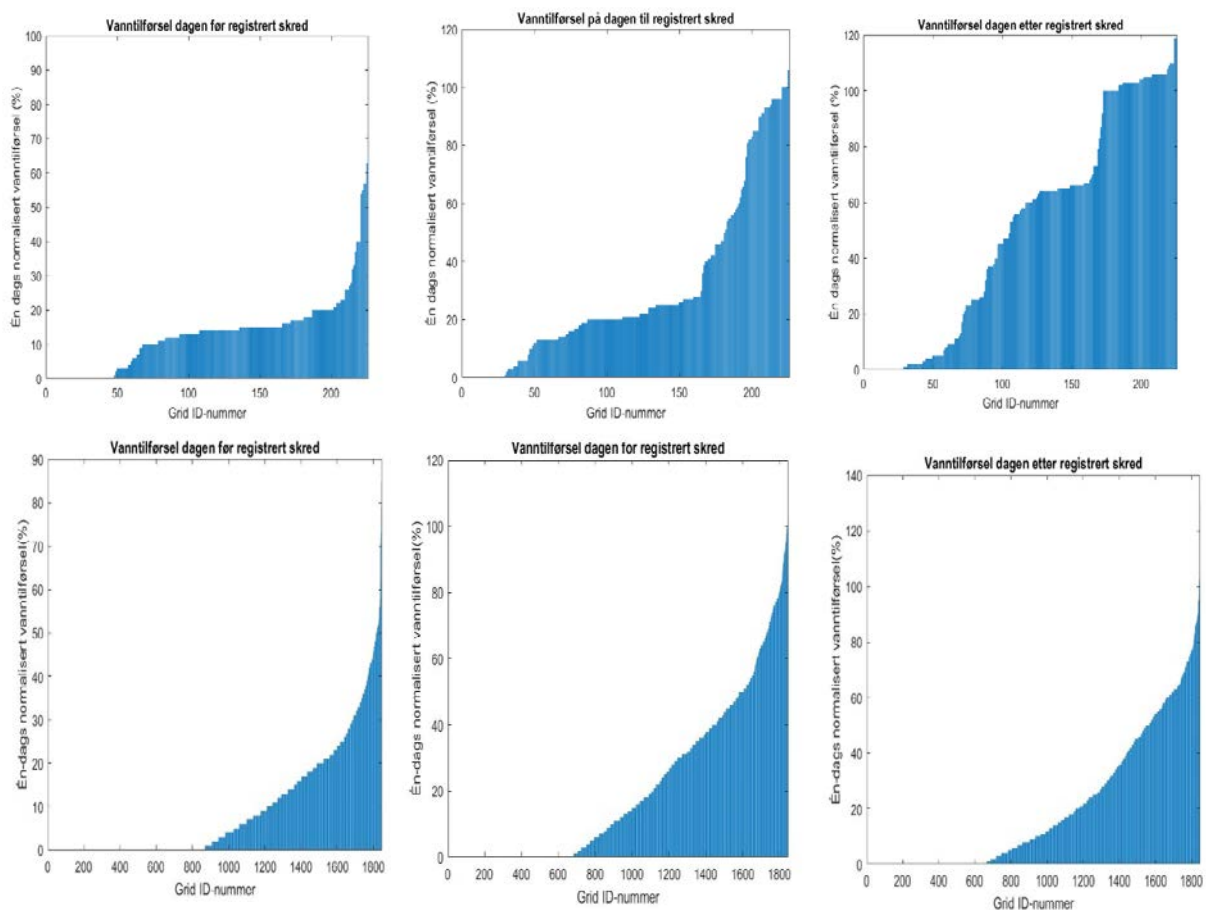
Tabell 4-2: Tabell over skredfrekvens i de respektive studieområdene.

	Skredtype	Frekvens
Total	Uspesf. Løsmasseskred	4710
	Flomskred	461
	Jordskred	1971
	Utglidning	215
Hornindal	Uspesf. Løsmasseskred	1485
	Flomskred	81
	Jordskred	214
	Utglidning	67
Gudbrandsdalen	Uspesf. Løsmasseskred	57
	Flomskred	95
	Jordskred	68
	Utglidning	6

De tilhørende hydrometeorologiske variablene ble lastet ned med bistand fra NVE. Totalt 1002 Excel-ark fra Vestlandet og 126 fra Gudbrandsdalen ble lastet ned. Hvert Excel-ark representerer en 1x1km rute. Det følger videre at en rute kan inneholde flere skred. Matrisene i arket er ordnet slik at alle variablene representerer en kolonne, mens radene er alle datoer mellom 1.1.2000 til nåtid ved uttaket, i kronologisk rekkefølge. Alle arkene var nummerert og en ny matrise med skreddatoer og tilhørende arknummer ble opprettet i ARCMAP. Dette gjorde

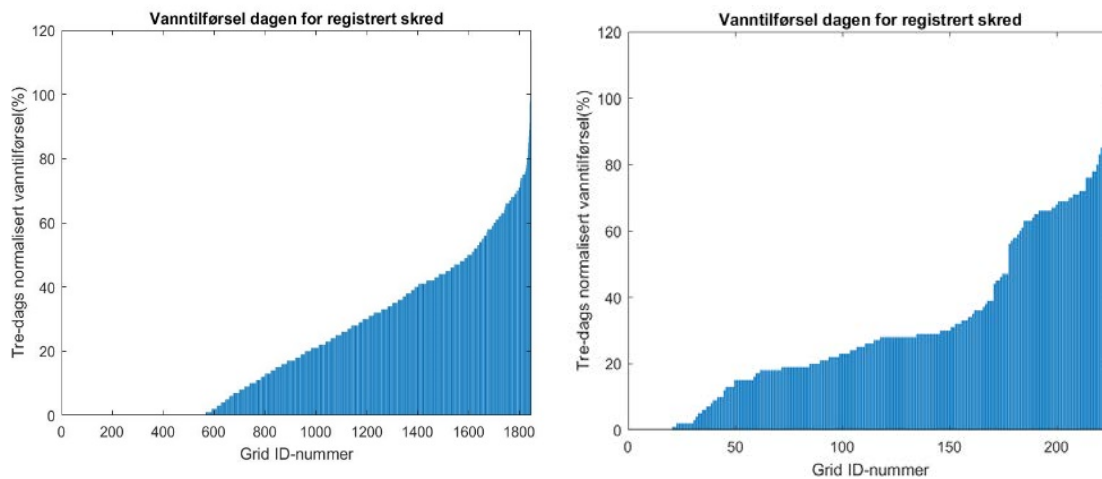
det mulig å flagge skreddatoene i hver rad av excelarket som hadde registrert skred ved hjelp av et skript i MATLAB. Matrisene viste seg også å inneholde flere felt feilaktig verdier satt til -9999 og 65533. Disse ble satt til å være null.

Et problem som oppstod var derimot å kunne vite hvilke datoer som faktisk var den registrerte skreddatoen. Det er knyttet usikkerhet til når skredet har gått, hvor denne oppgaven har en godtatt usikkerhet på opptil ± 2 dager. Videre strekker et hydrologisk døgn seg fra 07.00-06.59(UTC+1). I tillegg er det usikkerhet knyttet til registreringen av skred på regobs.no, hvor NVE understreker at registeret kan inneholde unøyaktigheter. Ved å plote 1-dags relativ vanntilførsel for skreddagen og bufferdagene finner man at verdiene er forhøyet både på skreddagen og dagen etter, men er lavere for dagen før i begge regionene (Figur 4-4). Det er derfor valgt å flagge dagen skredet har blitt registrert og dagen etter. Valget blir videre diskutert i diskusjonskapittelet.



Figur 4-4: Figurene over viser 1-dags vanntilførsel i henholdsvis dagene før, under og etter skredet for Gudbrandsdalen. I figurene under ser man de samme plottene for Vestlandet. Merk at Y-aksen ikke har samme skal for figurer fra samme region.

I et forsøk på å utelukke skred som ikke er utløst av hydrometeorologiske årsaker er grensen for å ta med et skred satt til å være minst 2% av tre-dagers relativ vanntilførsel av 30-årsmaksimum (Figur 4-5).



Figur 4-5: Figuren til venstre viser tre-dagers vanntilførsel i hvert av griddene på skreddagen for Vestlandet. I figuren til høyre finner det samme plottet for Gudbrandsdalen.

4.1 Valg av referansedager

Oppgaven vil benytte seg av et skript som plukker vilkårlige referansedager fra hver skredmatrise. Alle referansedagene skal i tillegg være over et satt nivå av relativ 3-dagers vanntilførsel på 2%, slik som det ble hos skreddagene. Inkluderingen av ikke-skreddager er et viktig aspekt i å bestemme skredhendelser. Dette er fordi at to lignende forhold kan gi forskjellige responser. Ikke-skredhendelser blir heretter omtalt som referansedager. I mange tilfeller vil man også finne referansedager over den satte terskelen og skredhendelser under terskelen. Dette skyldes forhold som man i mange tilfeller ikke kan ta høyde for, som f.eks. lokal variasjon i grunnforhold, menneskelig aktivitet eller steinsprangutløste skred.

År	2005																																																		
Måned	August							September																								Oktober																			
Dag	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5									
Skred																																																			
Buffer																																																			
Ikke-skreddag																																																			

År	2006																																																		
Måned	August							September																								Oktober																			
Dag	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5									
Ikke-skreddag																																																			

Figur 4-6: Illustrasjon over valg av referansedager for det gjeldende nasjonale varslingssystemet (Boje et al. 2014). De 14 dagene for året etter har blitt fjernet i nyere studier.

Valget av antallet referansedager vil også kunne påvirke valget av terskel. Antallet referansedager skal forsøke å reflektere faktisk sannsynligheten for skred (Boje et al., 2014). I sin oppgave benyttet (Øyehaug, 2016) seg av omtrent 400 referansedager per sørpeskredhendelse i perioden 2010-2016 for sørpeskred. Det etablerte nasjonale skredvarselet benytter i alt 28 referansedager per skredhendelse (Figur 4-6). Disse er bestemt til å være de 14 dagene rundt skredhendelsen, med en buffer på tre dager for å sikre en viss grad av uavhengighet. Tidligere ble i tillegg de 14 dagene året etter skredhendelsen benyttet (Figur 4-6). Dette ble imidlertid bedømt til å være for mange referansedager. Et annet alternativ er å bruke kun de mest ekstreme referansedagene for å forenkle beregningen (Cepeda et al., 2012). I denne oppgaven har andelen referansedager blitt forsøkt og tilpasses hver region. Dette er gjort ved å se på predikasjonsvevnen til en enkel modell med forskjellige antall referansedager. Den enkle modellen har fått anledning til å benytte alle variablene tilgjengelig.

I denne oppgaven var valget av referansedager vilkårlig. Dette ble gjort for å sikre en uavhengighet mellom skred- og referansedager. Det ble valgt en andel av referansedager på omtrent 50 dager per skredhendelse. Dette er fordi referansedager i nærheten av skreddager er antatt å ha en høyere verdi enn vilkårlige valgte dager. For å sikre ekstremverdier økes derfor antallet til 50 referansedager. Disse dagene skal også ha en minimumterskel for å utelukke referansedager fra relativt tørre perioder. I enkelte regioner testes også effekten av å benytte 20 referansedager i stedet for 50 for å undersøke sensitiviteten til referansedager.

4.1.1 Kruskal Wallis

I et forsøk på å forsikre seg om at utvalget av referansedager var representativt for skredregion ble det gjennomført en statistisk test for å undersøke om utvalget og populasjonen var av samme fordeling. I denne oppgaven ble 3-dagers relativ vanntilførsel benyttet som sammenligningsgrunnlag. Populasjonen ble her representert ved å slå sammen 20 vilkårlige fordelinger. Det ble valgt å ikke benytte alle referansedagene i alle cellene som populasjon, fordi mange av cellene hadde en geografisk nærhet til hverandre. Ved å summere alle referansedagene fra to celler som er ved siden av hverandre f.eks. vil man i praksis registrere den samme dagen to ganger for hele lengden av matrisen.

For å teste to normalfordelte populasjoner benyttes vanligvis Students t-test. Referansedagene var ved visuell inspeksjon ikke normalfordelt og således måtte en annen metode benyttes. Kruskal Wallis benyttes for å teste signifikansen mellom to populasjoner og om hvorvidt det er en markant forskjell mellom dem. Det ble valgt å benytte Kruskal Wallis fordi de eneste

antagelsene er at datapunktene er uavhengig, at utvalgene kommer fra samme populasjon og at fordelingene har omtrentlig samme form (Kruskal & Wallis, 1952). Innledningsvis må alle datapunktene rangeres etter størrelse og tildeles en «rank» (rangering).

Formelen for utregning av H-verdien som benyttes til å teste likeheten er gitt (2):

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^C \frac{R_i^2}{n_i} - 3(n+1) \quad (2)$$

«C» er antallet utvalg, « n_i » er antallet datapunkter i hvert utvalg og R_i er summen av rangeringen til sampelet. H er Chi-squared-distribuert, og ved høye verdier forkastes nullhypotesen. I denne oppgaven oppgis den tilhørende P-verdien som man får fra å lese tilgjengelig tabeller for H-verdier. P-verdien er da definert som sannsynligheten for at samplet tilhører hovedpopulasjonen. Hypotesene er som følger:

H₀: Populasjonene er like

H_a: Populasjonene er ulike

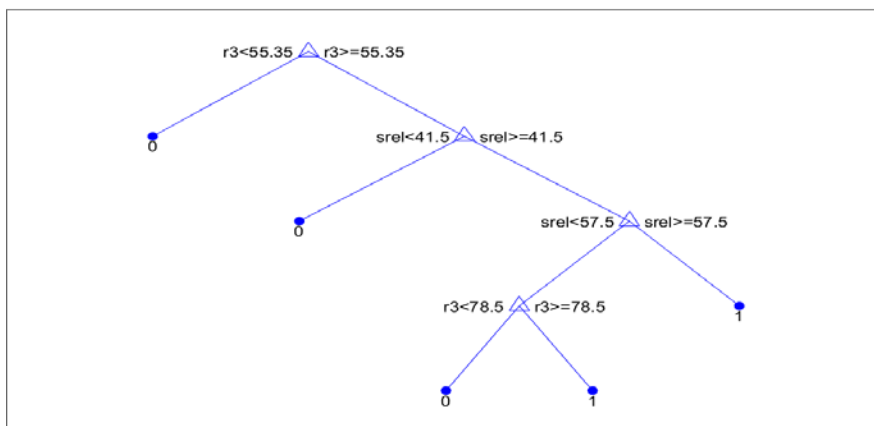
Forkastningsnivået, som er definert her som det laveste aksepterte sannsynligheten for at sampelet tilhører hovedpopulasjonen, settes til 5%.

4.2 Klassifikasjonstrær

Klassifikasjonstre er en metode som organiserer flere forklaringsvariabler, som alle er knyttet til kategoriske responser, i en binær trestruktur. Forklaringsvariablene blir valgt ut ifra tidligere erfaringer. Metoden er referert til som maskinlæring fordi den bruker historisk data til   l re  seg   predikere fremtidige responser. I denne metoden er det behov for tre elementer (Breiman et al., 1984): 1) Et sett av parametere 2) En regel for   bestemme den beste terskelen i hver parameter 3) Et kriterium for   bestemme størrelsen på treet.

Fremgangsmåten for oppsett av et klassifikasjonstre tas for seg Breiman et al. (1984). Treet starter i rotnoden, med variabelen som i størst grad korrelerer med responsen (Figur 4-7). Modellen benytter en formel som bestemmer den mest signifikante terskelen og hoveddatasettet fordeler seg inn i to nye datasett, ett med verdier over, og et med verdier under terskelen (Figur 4-7). I de neste to nodene gjentas prosessen med nye forklaringsvariablene. Et velkonstruert tre gir et enkelt overblikk av strukturen til modellen (Breiman et al., 1984). Metoden har også andre fordeler over andre statistiske metoder, slik som at den isolerer vekk ekstreme observasjoner og feilklassifikasjoner i hver node. Videre håndterer og klassifiserer metoden ny data godt og gir en kompakt lagring. Man får i tillegg ut både fordelingen av sanne positive og falske positive i datasettet (Breiman et al., 1984). Målet er   ha mindre andel feilklassifiseringer ved   minimere falske alarmer og uanmeldte hendelser. Hvis det ikke eksisterer feilklassifiseringer i en node så ansees den som  ren . Settes stoppekriteriet til   være at klassifikasjonstree skal ha en reneest mulig respons, vil man kunne ende opp med   benytte mange parametere for   separere dataen derimot. Dette vil føre til overtilpasning.

Ved overtilpasning så vil modellen tilpasses s regheter i datasettet og vil derfor være dårlig egnet til   predikere nye sett (Vittinghoff et al., 2011). Hvis treet derimot er for lite, kan det være for generelt til   ha klart   benytte seg av alle potensielle klassifikasjoner.   bestemme en trestørrelse er derfor ikke alltid en triviell oppgave.

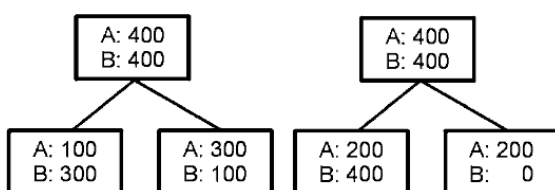


Figur 4-7: Et eksempel på et klassifikasjonstre benyttet i denne oppgaven. Treet består av fire noder. Den rotnoden er 72-timers akkumulert nedbør med en terskel på 55.35mm. Det neste kriteriet er 41.5% metningsgrad.

Der hvor det eksisterer to responser blir det et spørsmål om hvor mange feilklassifiseringer man skal godta og samtidig ha få nok noder til at man ikke overpasser modellen. Denne feilklassifiseringen kalkuleres på forskjellige måter. I Breiman et al. (1984) benyttes Tree Impurity (3):

$$I(T) = \sum_{t \in T} i(t)p(t) \tag{3}$$

Her er $I(T)$ feilklassifikasjonsraten til hele treet. $i(t)$ er feilklassifikasjonsraten i hver node og $p(t)$ representerer sannsynligheten for at man befinner seg i noden. $i(t)p(t)$ representerer altså en vektet feilklassifisering for hver node. Som man kan se så vil en ren node gi $i(t)=0$ og følgelig er feilklassifikasjonsraten til noden null. Feilklassifikasjonsraten bør også ta høyde for at det er mer ønskelig med en ren respons i en node enn at den totale feilklassifikasjonsrate er lav. I et



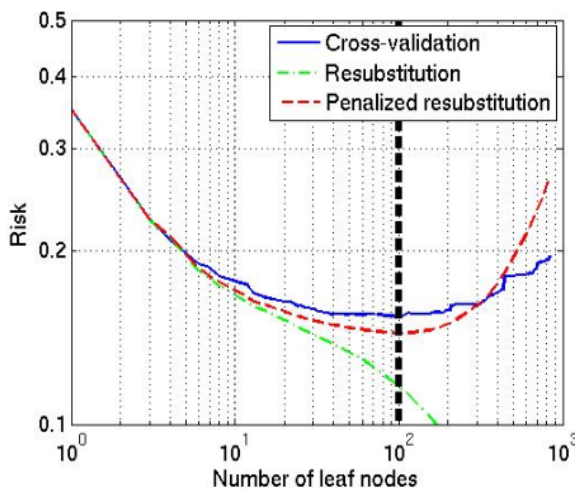
Figur 4-8: Eksempel ifra Breiman (1984) (Modifisert av Narsky & Porter (2013)). Feilklassifikasjonsraten er i begge tilfeller 25%. Allikevel er det høyre treet mer ønskelig siden den høyre løvnoden i treet er ren.

hypotetisk eksempel kan man ha samme feilklassifisering, men at det ene utfallet produserer i tillegg en ren node (Figur 4-8). En ren node er ønskelig for videre bygging av treet (Breiman et al., 1984).

For å ta høyde for dette introduseres Gini Diversity Index som straffer urene noder (4):

$$i(t) = 1 - \sum_j p(t)^2 \quad (4)$$

Her er $p(t)$ andelen av responsen «j» i en node. $i(t)$ er tidligere omtalt som feilklassifiseringsraten. Videre er det behov for å vite når man skal stoppe å gro klassifikasjonstreet. Det kan også være hensiktsmessig å introdusere et straffeledd for falske negativer når man skal predikere skred, siden en uanmeldt hendelse bærer med seg potensielt store konsekvenser (Hendrikx, 2014).



Figur 4-9: Plot over klassifiseringsevne (Narsky & Porter, 2013). Risk representerer feilklassifiseringsraten til treet. Som man kan se så vil risk synke med økende antall forgreininger tilpasset treningssettet (grønn kurve). Ved å innføre straffeledet (rød kurve) vil modellen etterligne resultatene fra kryssvalidering

Som tidligere nevnt vil for mange forgreininger indikere overtilpasning (Figur 4-9). Det er derfor behov for en regel for maksimal trestørrelse for å forhindre ytterligere overtilpasning. Flere metoder er nevnt i (Narsky & Porter, 2013):

1) Noden er ren, 2) Antall observasjoner i noden er færre enn tillatt, 3) Maksimale dypde av treet er nådd, 4) Maksimalt antall noder er nådd. Metoden «pruning», heretter «trimming», kan deretter benyttes. Da lar man treet gro seg til sin maksimale størrelse, for deretter å trimme det ned. Begge forgreiningene som går ut av samme node vil da bli trimmet vekk. Utfordringen er å vite om det er hensiktsmessig å trimme ned nodene.

Dette kan gjøres ved å først innføre et straffeledd for kompleksiteten til treet (3):

$$R(t) = r(t) + \alpha|L(T)| \quad (3)$$

$R(t)$ er her definert som risk, eller antatt feilklassifiseringsandel. $|L(T)|$ er antall løvnoder og α er straffekoeffisienten. På denne måten vil man ved å benytte nye datasett, etterligne

oppførselen ved at evnen til å klassifisere korrekt faller ved overtilpasning (Narsky & Porter, 2013) (Figur 4-9). Dette har også vist seg å produsere mer ønskede resultater (Breiman et al., 1984).

4.3 Kryssvalidering

For å estimere hvor godt en modell predikerer responsen er det vanlig å benytte et nytt uavhengig datasett fra samme distribusjon. Hvis man derimot har for lite data kan det være egnet å benytte kryssvalidering. I kryssvalidering deles dataen først inn i vilkårlig «n» antall grupper. Antallet grupper blir bestemt etter hvor mye tilgjengelig data det er. Deretter benyttes n-1 grupper til å kalibrere modellen. Det siste settet blir så brukt til å teste predikasjons evnen til modellen. Denne prosessen gjentas til at alle settene har blitt benyttet til å trene et tre og har blitt benyttet til testing. Det blir deretter kalkulert et snitt av alle modellene. Hvis modellen man benytter har bedre klassifiseringsrate enn klassifikasjonsraten produsert med kryssvalidering, så tyder dette på overtilpasning. Risk produsert av kryssvalidering har en tendens til å overestimeres som følge av at færre observasjoner blir benyttet til å gro treet (Breiman et al., 1984).

Det optimale valget av antall noder vil være der den laveste risken fra kryssvalidering observeres (Figur 4-8). En vanlig trend, derimot, er at nedgangen i risk stagnerer etter et visst antall noder, deretter å variere noe før den stiger på nytt. For å sikre den beste trestørrelsen velges modellen med færrest antall løvnoder (principle of parsimony), innenfor én standardfeil av minimumsverdien til $R(t)$. Valget av trestørrelse kan også gjøres manuelt, og det kan i mange tilfeller være den beste metoden (Breiman et al., 1984).

Evnen til å kategorisere hendelser oppgis vanligvis i en «confusion matrix», hvor de forskjellige ratene som produseres mellom faktiske og predikerte verdier plottes (Figur 4-8). «Sann Negativ» er her andelen referansedager modellen klarer å predikere. «Sann positiv» er andelen skredhendelser som modellen klarer å predikere. «Falsk alarm» er da 1 minus Sann negativ og «Uanmeldt hendelse» er 1 minus «Sann positiv». Sann negativ (også TNR) og sann positiv (TPR) er verdier som vil bli benyttet til rangering av variabelkombinasjonene sammen med «Area Under Curve», som blir gjennomgått i neste delkapittel.

I denne oppgaven har klassifikasjonstrærerne blitt funnet ved å gi de mest egnede kombinasjonene gro seg til maks lengde. Dette treet vil være kompleks og i mange tilfeller overtilpasset for dataen. Ved å benytte funksjon «cvloss» trimmer man treet ned til den minste trestørrelsen som er innenfor en standardfeil av den laveste verdien i treet. Hvis noen av tersklene ikke gir fysisk mening, som f.eks. ved at nedbør må være under en vilkårlig verdi, så velges dybde manuelt til at det ikke eksisterer flere slike noder.

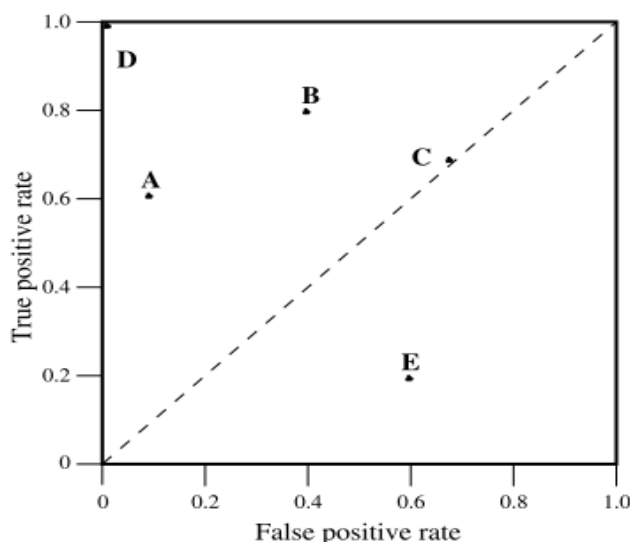
	Predikert Negativ	Predikert Positiv
Faktisk Negativ	Sann Negativ	Falsk Alarm
Faktisk Positiv	Uanmeldt Hendelse	Sann Positiv

Figur 4-8: eksempel på fremstilling av Confusion matrix. I denne oppgaven benyttes Sann negative rate (TNR) og sann positiv rate (TPR). Dette er da totalen av sanne negativer eller sanne positive delt på den respektive totale negativer eller positive

4.4 ROC-analyse og AUC (Area Under Curve)

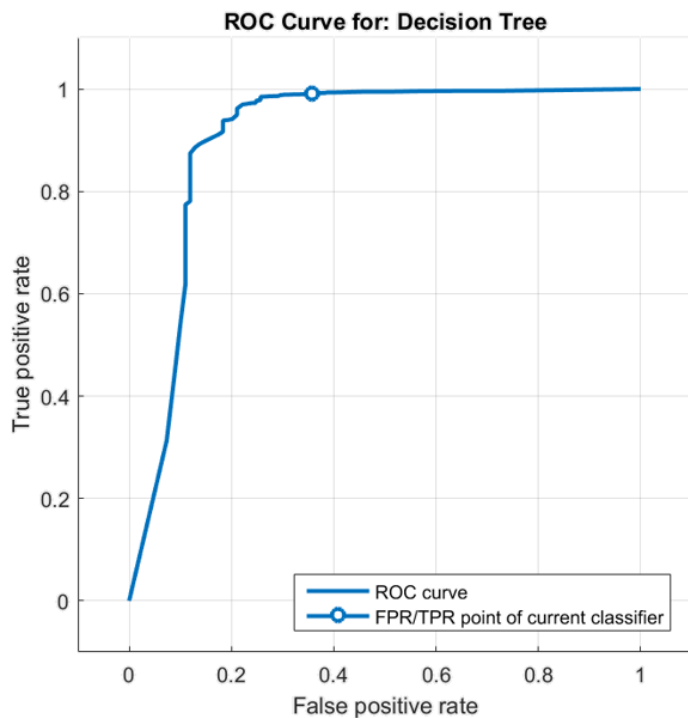
En grundig gjennomgang av ROC analyse kan bli funnet i Fawcett (2006). En ROC (Receiver operating characteristics) - graf er en måte å visualisere seg predikasjonsveien til en modell på. Grafen benyttes seg av to statistiske forhold: Sann positive rate; som er andelen hendelser modellen klarer å predikere korrekt, og falsk positiv rate; som er antallet falske alarmer som modellen gir.

En ROC-graf benytter den sanne positivraten på y-aksen og falsk alarm-raten på x-aksen. Et punkt på grafen representerer derfor en modell sin andel korrekt predikeringer og samtidig falske alarmer. Punktet 0,0 på grafen (Figur 4-10) representerer en modell som aldri flagger en hendelse og på den måten vil den aldri gi falske alarmer. Punkt 1,1 derimot, spår skred i alle tilfeller og vil i tillegg til å predikere alle skreddager korrekt også predikere alle referansedager som skreddager. Her brukes terminologien konservativ og liberal, som eksemplifisert ved A og B. A er her mer konservativ enn B (Figur 4-10). Punktet D (Figur 4-10) representerer en modell som alltid vil gi korrekt respons. Ved å følge kurven på midten indikeres det at modellen, slik som punkt C (Figur 4-10), predikerer nøyaktig like bra som om man skulle valgt en binær respons vilkårlig. Om en modell har lavere TPR enn den stiplede kurven, er den dårligere til å predikere en ved vilkårlig valg.



Figur 4-10: Avbildet er et ROC-rom (Fawcett, 2006). Den stiplede linjen representerer skille mellom en modell som predikerer bedre enn gjetting. Punkt E representer en modell som presenterer dårligere enn et vilkårlig valg.

En ROC-kurve benyttes når man skal sammenligne flere typer modeller (Figur 4-11). Hvis man eksempelvis benytter én node som klassifiserer perfekt og gradvis senker terskelen, så vil man bevege seg langs kurven mot punkt 1,1, hvor terskelen er så lav at den kaller alle hendelser for skredhendelser. For å si noe om hvor god modellen er summeres området under kurven. En perfekt modell vil da ha verdien 1 i AUC, mens en modell som predikerer like bra som om man skulle gjettet, vil ha verdien 0,5.

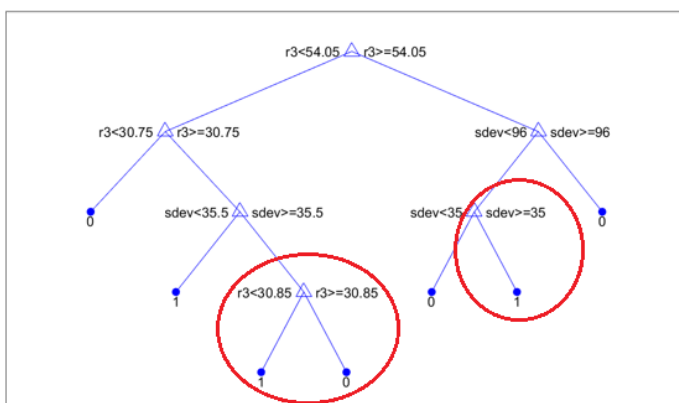


Figur 4-11:Eksempel over ROC-kurve som genereres i MATLAB. I dette tilfellet er AUC 0.9038, som er ganske nærme optimalt.

4.5 Univariat og bivariat analyse

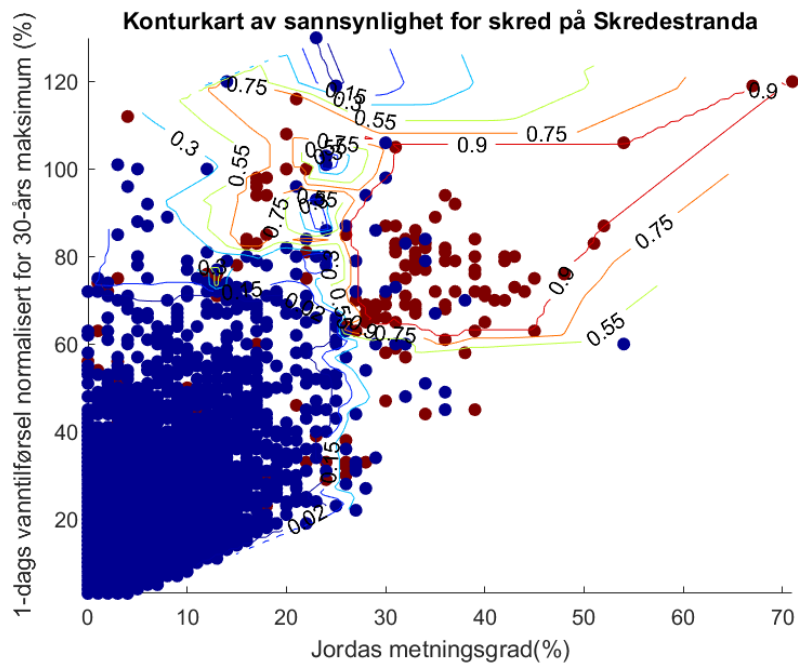
For å kunne bestemme hvilke modeller som er best egnet er det blitt valgt en kvantitativ fremgangsmåte. Her har hver variabel og variabelkombinasjon fått muligheten til å gro et komplekst tre. Treet sin AUC-verdi og TNR/TPR er deretter blitt benyttet til å rangere alle kombinasjonene, hvor AUC har blitt benyttet som første rangeringskriterium. Hvis AUC er identisk benyttes TNR/TPR (TNR først) for å skille dagene. Hvis disse er like, vurderes de samme kriteriene for en enkel modell (4 noder). En liste med de 10 beste kombinasjonene av variabler blir deretter presentert for hvert område. Treet ble til slutt bedømt kvalitativt. Dette er en mer tidkrevende prosess, så den ble ikke gjennomført på alle variabelkombinasjoner, men snarere de beste rangerte modellenen. Først ble det trimmet med ett- standardavvik-regelen. Det komplekse treet ble deretter bedømt etter hvorvidt tersklene gir mening fysisk (Figur 4-12), at tersklene er av en viss størrelse og at variabelkombinasjonen var god. Variabelkombinasjoner med en korrelasjon over 75% ble ikke testet. Ett- standardavvik-regelen som er omtalt i kapittel 4.2. Om denne metoden ga terskler som ikke var fornuftig ble trestørrelsen valgt manuelt.

De beste trærne for hvert område bedømmes utifra en univariat og en bivariat analyse. I den univariate analysen analyseres hver enkelt variabel, hvor man finner predikasjonssevne og de tilhørende tersklene. Det er i utgangspunktet forventet å finne kun én terskel, fordi å definere flere terskler langs en 1-dimensjonell akse er vanskelig å forsvare fysisk. Scoren i den univariate analysen er beregnet utifra et maksimalt nodeantall på fire noder og ikke én. Dette gjøres fordi MATLAB i enkelte tilfeller ikke responderte etter kjøring ved å sette et maksimalt antall noder på både én og to noder. Etter at tersklenemodellene ble bestemt var derimot mulig å sette antall terskler størrelsen man visste modellen var.



Figur 4-12: Eksempel på et klassifikasjonstre hvor predikering av skred ikke er som forventet. Her spås skred ved kriterier som i utgangspunktet skal gi lavere sannsynlighet for skred. «r3» er her 3-dagers nedbør og «sdev» vannkapasiteten til jorda

Etter at variabelkombinasjoner og terskler har blitt bestemt, ble funksjon «predict» i MATLAB benyttet for å kunne visuelt analysere prestasjonsevnen til modellen. Det fremstilles grafiske i form av et spredningsplott og tilhørende sannsynlighetskoter som inndeler grafen i hvordan modellen presterer i hvert område av modellen (Figur 4-13). Et nytt forslag til terskler ble deretter foreslått med grunnlag i sannsynlighetskotene.



Figur 4-13: Et eksempel på hvordan funksjonen «predict» i MATLAB fungerer for en utvalgt variabelkombinasjon på Skredestranda i Hornindal. Tallene på hver linje representerer sannsynligheten for at modellen predikerer rett innenfor det gitte området. Røde sirkler er skreddager og blå representerer referansedager. De fargede linjene representerer sannsynlighetskotene.

5 Resultater

I og med at forholdene som utløser skred kan variere i stor grad innen landsdeler er områdene delt inn etter en kombinasjon av nedbørsmønster og geomorfologiske faktorer. Det vil først være et fokus på Gudbrandsdalen som region. Her vil man se på periodene 2000-2017, 2000-2010 og 2000-2012. Deretter vil fokuset bli innskrenket til å fokusere på strekningen Sørstrand til Ringeby, hvor studieområdet befinner seg. Videre ble også et område på 15km radius rundt Ringeby studert, hvor skredhendelser på 22.05.13 og 10.06.2011 ble ekskludert. Til slutt ble REGINE-enheten som omfatter studieområdet på Ringeby studert. Her vil REGINE-enhetgrenser være romlig avgrensningskriterier. Den samme prosessen utføres deretter med Vestlandet. Her vil Hornindal og REGINE-enheten som omfatter Skredestranda være geografiske områder som vil bli studert. I tillegg vil man se på forskjellen mellom 20 og 50 referansedager. Predikatorene benytter heretter nye navn i plottene og teksten for dette kapittelet (Tabell 5-1).

Tabell 5-1: Tabell over variablene som navngitt i plottene benyttet i kapittelet.

Variabelnavn	Hydrometeorologisk prosess
q	Simulert avrenning
gwdev	Variasjon i grunnvannsnivå
gwcl	Grunnvannsstand
Nqt, qt3	Vanntilførsel distribuert HBV
qt,	Vanntilførsel (Én og tre dager) snøkartmodell
sdev	Vannkapasitet
r, r3	Nedbør (Én og tre dager)
frd	Frostdybde
Tm, D_T	Temperatur, og temperaturforskjell fra dagen før.
srel	Jordas Metningsgrad
qtm30	Vanntilførsel normalisert mot 30 års max
qt3m30	3-døgns vanntilførsel normalisert mot 30 års max

5.1 Gudbrandsdalen

Den regionale inndeling er omtalt i kapittel 4.1. Med til analysen ble 226 skred fra Gudbrandsdalen tatt med (Tabell 4-2)(Figur 5-1). Av disse var 57 uidentifiserte løsmasseskred, 95 flomskred, 68 jordskred og seks utglidninger. Av disse skredene hadde 196 skred registrert en høyere normalisert 3-dagers vanntilførsel relativ til 30-års maksimum(qt_{3m30}) på 2%. Dette er som tidligere beskrevet for å utelukke skredhendelser hvor det er mer sannsynlig at det er andre utløsningsårsaker enn hydrometeorologiske faktorer.

For perioden 2000-2010 var det registrert 23 skredhendelser hvorav 13 er uspesifiserte løsmasseskred, fire flomskred og seks jordskred. Av disse var tre av skredene lavere enn den satte grensen av qt_{3m30} på 2%. Det var 11 unike skreddager.

For perioden 2000-2012 var det registrert 62 skredhendelser. Av disse var 41 uspesifiserte løsmasseskred, seks flomskred og 14 jordskred. Av de 62 skredhendelsene var 51 over terskelen på 2%. For skredene var det 19 unike skreddager.

Det første leddet i den lokale analysen var å se på et større område rundt studieområdet. En inndeling var å se på REGINE-enheter innenfor strekningen Sørstrand-Ringebu (Figur 5-1). Denne inndelingen inneholdt 49 skredhendelser. Fordelingen for denne inndeling var to utglidninger, 13 jordskred, 29 flomskred og fem løsmasseskred. Disse skredene var registrert på 15 forskjellige dager.

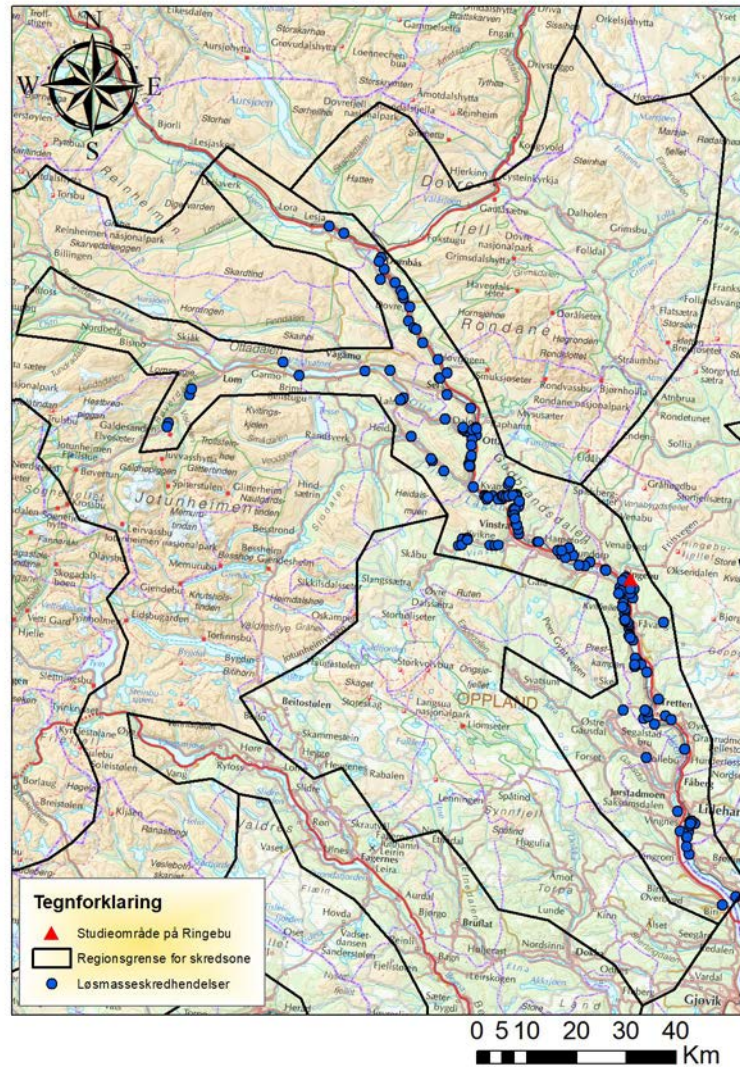
For å ha nok skred til analysen ble alle skred innen REGINE-enheter som befant seg i en radius på maks 15 km fra studieområdet inkludert (Figur 5-2). Denne begrensningen ga 29 skredhendelser. Av disse var tre utglidninger, ti var jordskred, ni var registrert som flomskred og syv registrert som løsmasseskred. Skredene er registrert på 18 forskjellige dager. Den siste analysen vil fokusere på den minste meteorologiske (REGINE) enheten som omfatter studieområdet. Området inneholder 10 skredhendelser (Figur 5-2). Av disse var åtte registrert som jordskred og to registrert som utglidninger. Skredhendelsene var det registrert åtte forskjellige dager.

For den forenklete analysen av antallet referansedager for denne regionen ble det funnet at 50 referansedager per skreddag skulle benyttes i alle tilfellene (Tabell 5-2).

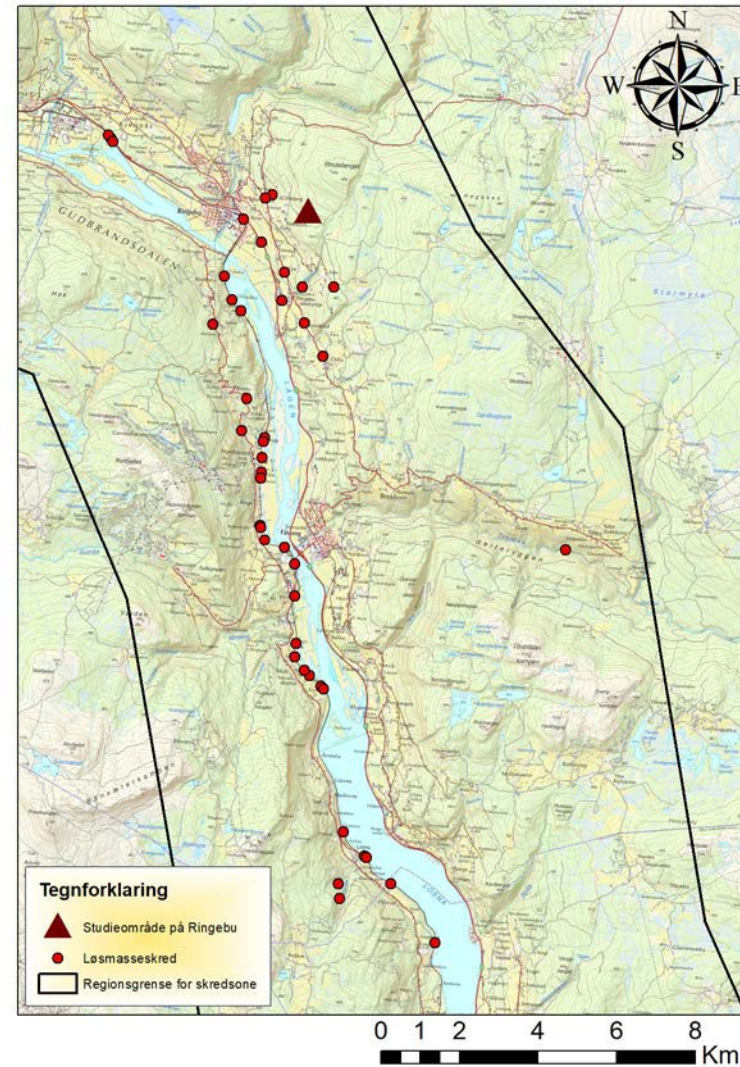
Tabell 5-2: Tabell over prestasjonsnivået ved forskjellig antall referansedager. AUC-verdien (for fire noder) og TNR/TPR er snittet av 5 trær. TNR/TPR er representert med spennet i verdier.

Område	Referansedager	TNR/TPR	AUC
Gudbrandsdalen	10	99/85-88	0,868
	20	99/86-88	0,87
	50	>99/83-85	0,84
	100	>99/83-84	0,832
Sørstrand-Ringebu	10	98-99/75-87	0,884
	20	98/85-88	0,868
	50	99/56-74	0,836
	100	>99/62-67	0,796
Ringebu 15km	10	95-98/64-36	0,736
	20	98/36-52	0,732
	50	99/36-50	0,698
	100	99/26-40	0,642
Ringebu	10	90-96/47-65	0,788
	20	95-99/41-53	0,802
	50	99/24-47	0,75
	100	>99/18-41	0,668

GUDBRANDSDALEN

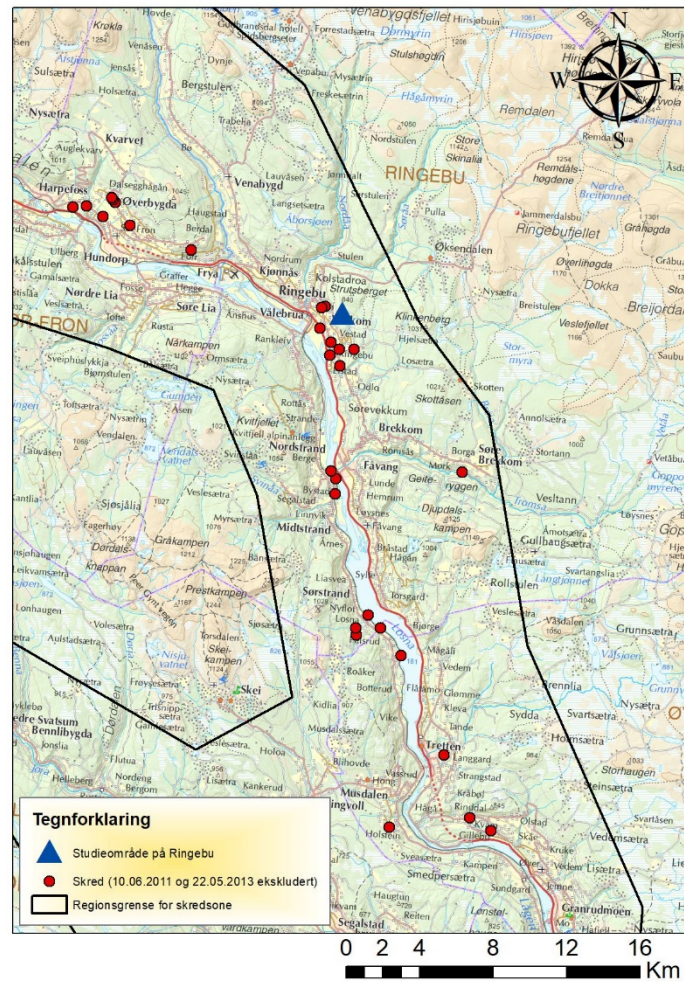


SØRSTRAND - RINGEBU



Figur 5-1: Venstre: Fordelingen av skred i hele Gudbrandsdalen. Høyre: Inndeling av skred som omfatter skred i nærheten av Ringebu. Sonen er avgrenset av Sørstrand i sør og Ringebu i nord. Skred som befinner seg i REGINE-enheter innenfor denne strekningen blir inkludert.

Ringebu 15km (uten ekstremhendelser)



REGINE-enhet på Ringebu



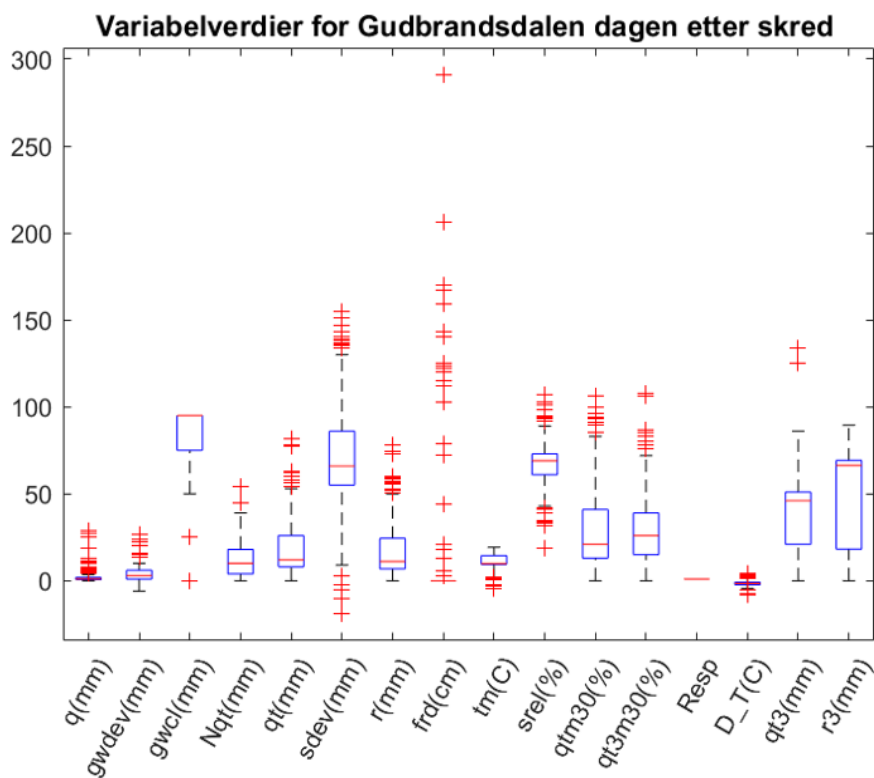
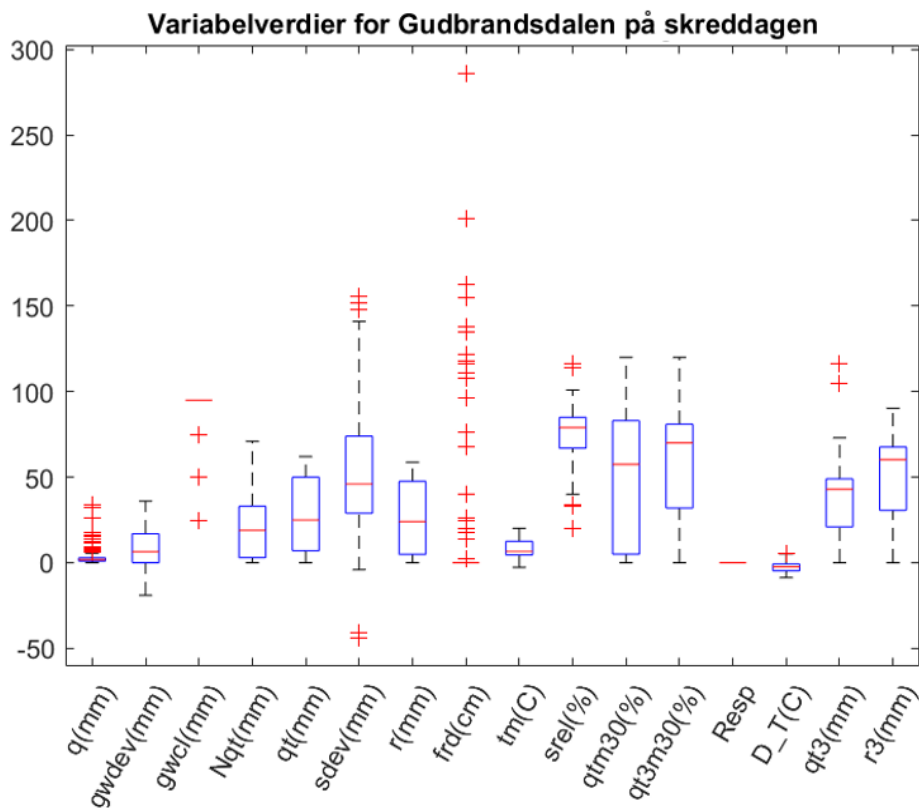
Figur 5-2: Venstre: Alle skred innen REGINE-enheter som befant seg i en radius på maks 15 km fra studieområdet. Høyre: Alle skred innenfor REGINE-enheten som omfatter studieområdet.

5.1.1 Gudbrandsdalen 2000-2017

5.1.1.1 Skreddager

Variabelverdier på skredene i området er gjengitt i boksplott over alle variabelene på skreddagen og dagen etter (Figur 5-3):

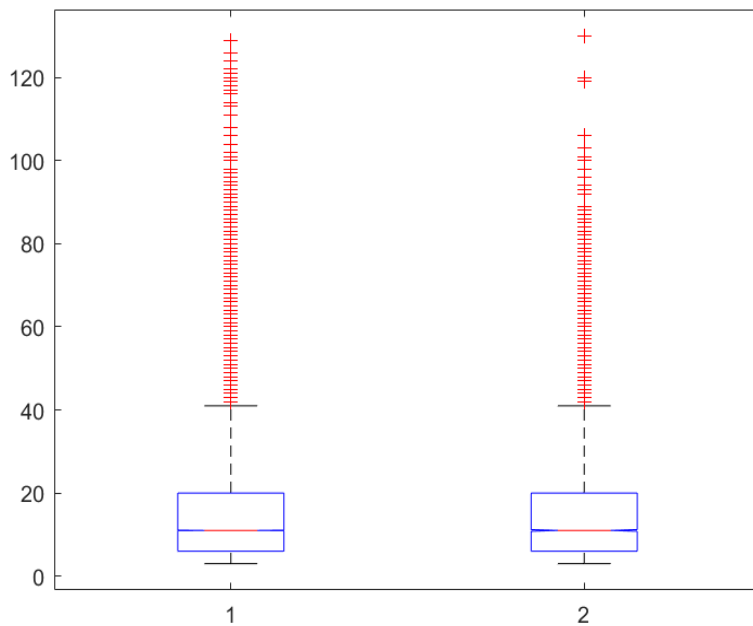
- For 3-dagers nedbør(r_3) var medianen på 65mm og 60 mm henholdsvis. 25% kvantilen er på omtrent 35mm på skreddagen og 17.5mm dagen etter.



Figur 5-3: Boksploott over hydrometeorologiske verdier dagen etter og på skreddagene i Gudbrandsdalen (2000-2017). 50% av alle hendelsene befinner seg innenfor den blå boksen. Den røde streken i boksen representerer medianen. Rødt kors er «outliere». Variablene er beskrevet i Tabell 5-1

5.1.1.2 Referansedager

Fra boksplottet (Figur 5-4) kan man se at variabelen har spredning mellom 10 % og 20% i begge tilfeller. Videre er det mulig å se at det er færre ekstremverdier, men at den mest ekstreme verdien omtrent like stor i det minste samplet. Ved å ta 10 forskjellige utvalg med 50 ikke-skreddager for hver skredhendelse, ble et sammenligningsgrunnlag satt for det valgte samplet. Det ble således utført en Kruskal Wallis-test. Fra Kruskal Wallis-testen får man en p-verdi på 0,61. Dette indikerer at p-verdien er innenfor forkastningsnivået på $\alpha=0,05$ og nullhypotesen kan derfor ikke forkastes. Samplet blir derfor benyttet til videre analyse.



Figur 5-4: Boksplott over fordelingene av predikatoren qt3m30 til de tilfeldig valgte samplene for Gudbrandsdalen. Sample 1 representerer de 20 samplene som er slått sammen. Sample 2 er samplet som ble benyttet til analysen.

5.1.1.3 Univariat analyse

Fra analysen av Gudbrandsdalen gir 3-dagers nedbør høyest prestasjonsnivået AUC med 0.82 og TPR på 68% (Tabell 5-3).

Tabell 5-3: Tabell over predikasjonsevnen til hver enkelt variabel i analysen i Gudbrandsdalen. AUC og TNR/TPR er beregnet ut ifra fire noders grense. Grønn skrift representerer valgt modell

Variabel	AUC	Terskel 1	Terskel 2	TNR/TPR(%)
Qt3m30	0,70	62,5(%)	-	99/33
D_t	0,50	-	-	100/0
frd	0,5	-	-	100/0
Nqt	0,67	25,5mm	-	100/36
gwcl	0,50	-	-	100/0
gwdev	0,61	13,5mm	-	99/25
qtm30	0,67	54,5(%)	-	99/39
q	0,73	>0,95mm	>17,5mm	11/2
qt	0,66	36,5mm	-	100/35
qt3	0,79	41,5mm	-	99/61
r	0,66	34,2mm	-	100/36
r3	0,82	55,35	-	100/68
sdev	0,73	-	-	99/1
srel	0,74	112,5mm	-	100/1
Tm	0,5	-	-	100/0

5.1.1.4 Bivariat analyse

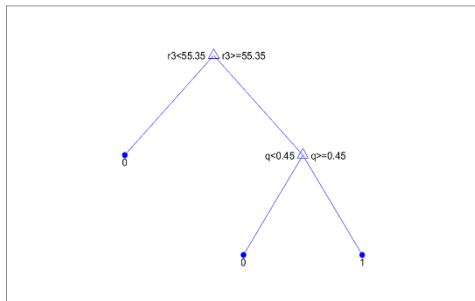
Av den bivariate analysen ble kombinasjonen 3-dagers nedbør og avrenning vurdert til den beste modellen. Videre ga metningsgrad og 3-dagers nedbør best resultater (Tabell 5-4).

Tabell 5-4: Rangering av variabelkombinasjoner knyttet til skred i Gudbrandsdalen. Predikasjonsevnen til trær som har 100 noder som maksimum dybde finnes i fanen Kompleks. Tilsvarende for fire noder finnes i fanen Enkel. Grønn tekst representerer valgt kombinasjon. Oransje representerer modell som ikke velges selv om den er rangert høyest

Variabel 1	Variabel 2	Kompleks	AUC/K	Enkel	AUC/E
r3	q	99/71	0,92	99/68	0,86
r3	srel	99/71	0,92	>99/66	0,86
r3	sdev	99/70	0,92	>99/66	0,85
qt3	frd	99/55	0,9	99/60	0,8
qtm30	r3	99/69	0,89	99/69	0,85
qt3	Nqt	99/66	0,89	>99/54	0,82
D_t	r3	99/63	0,89	99/64	0,85
r	q	99/56	0,89	99/38	0,68
qt3m30	r	99/52	0,89	99/47	0,72
tm	srel	99/26	0,89	99/7	0,8

5.1.1.5 Klassifikasjonstrær

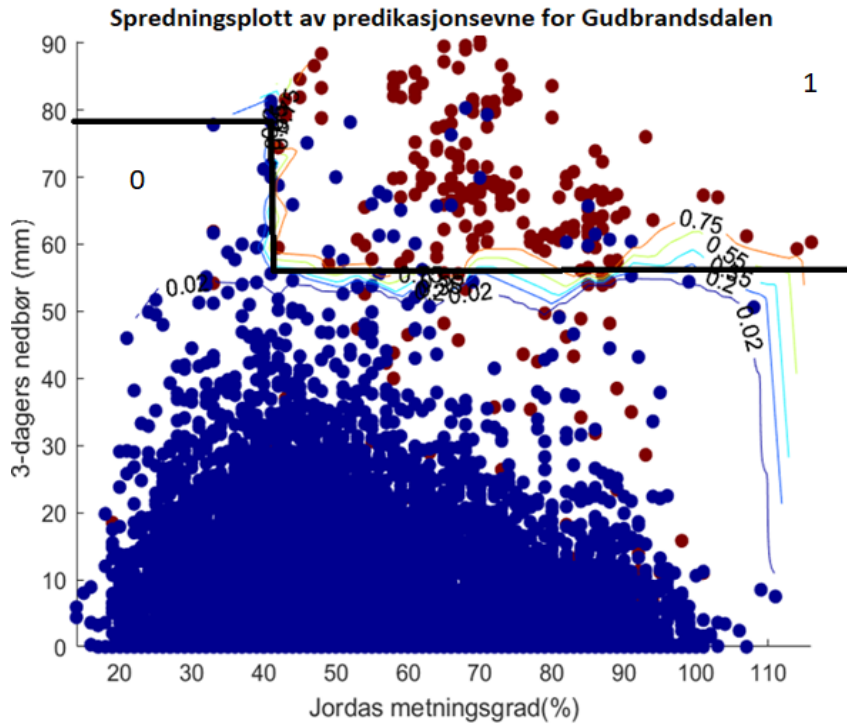
Kombinasjonen med høyest score var 3-dagers nedbør og avrenning (Figur 5-5). Den viktigste terskelen var her nedbør med verdien 55.35mm, deretter avrenning med 0.45mm.



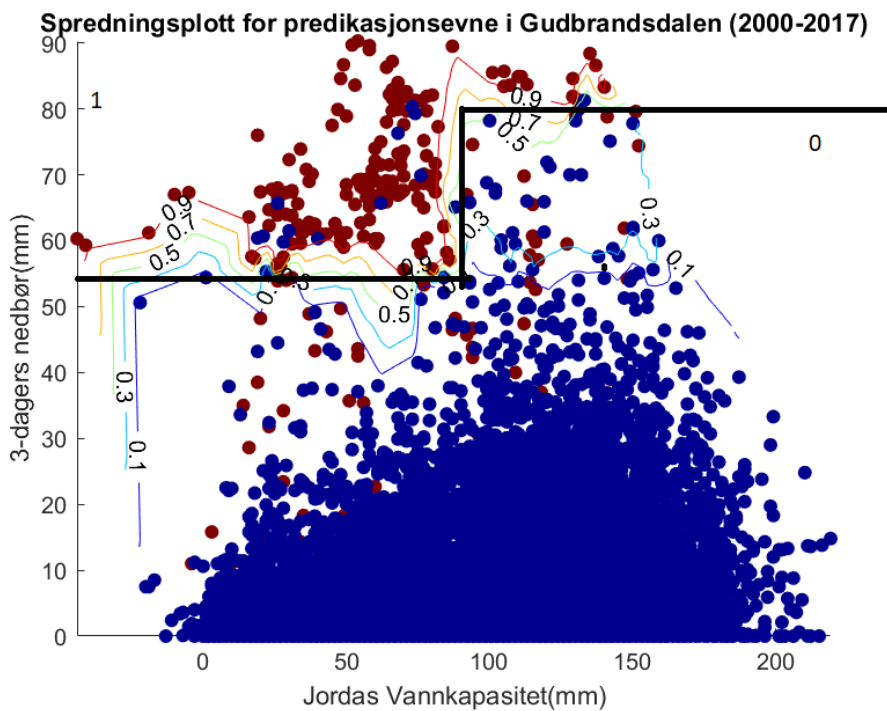
Figur 5-5: Klassifikasjonstreet med høyest score. Treet består av variablene 3-dagers nedbør(r_3) og avrenning(q). 0 er predikert referansedager og 1 er

Den nest mest optimale kombinasjonen ble funnet til å være 3-dagers nedbør og jordas metningsgrad (Figur 5-6). I rotnoden er terskelen 3-dagers nedbør og er satt til 55.35mm. Videre ser man at det predikeres skred om metningsgraden er over 41.5% gitt de foregående tersklene. Om metningsgraden er lavere så predikeres det skred om 3-dagers nedbør overstiger 78.5mm. Modellen med tredje høyest score var 3-dagers nedbør og vannkapasitet (Figur 5-7). Tersklene i rotnoden var her 3-dagers nedbør på 55,35 mm. Videre fulgte vannkapasitet med 87,5mm og deretter 3-dagers nedbør over 81,45 mm om denne terskelen ble overskredet. **Tersklene blir plottet i alle spredningsplottene for resultatene i alle regionene for denne oppgaven.**

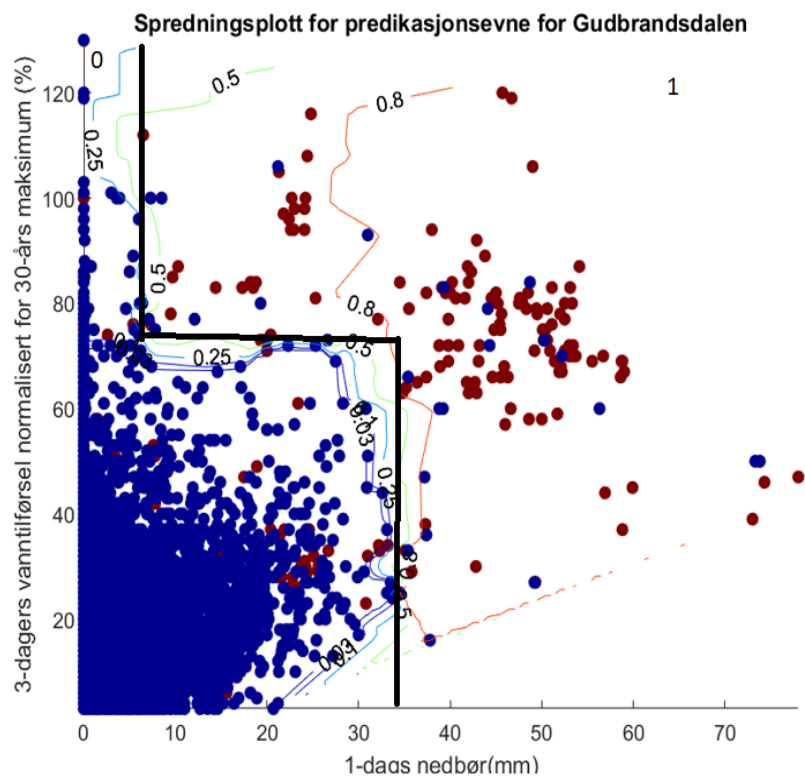
Et plott som benytter variabelkombinasjonene som først ble foreslått for Østlandet i det regionale varslet har blitt generert (Figur 5-8). Tersklene i rotnoden er her 24.45 mm nedbør. Deretter følger 3-dagers relativ vanntilførsel med en terskel på 72,5% hvis verdiene er lavere enn terskelen i rotnoden, hvorpå nedbørverdiene må være over 6.45mm for å predikere skred.



Figur 5-6: Et spredningsplottet av alle hendelsene i Gudbrandsdalen. De fargede linjene representerer sannsynligheten for korrekt predikering av skreddager. De sorte linjene representerer tersklene som ble funnet i analysen. Blå punkter representerer referensdager og rød punkter representerer skreddager.



Figur 5-7: Et spredningsplottet av alle hendelsene i Gudbrandsdalen. Variabel kombinasjonen er kombinasjonen med tredje høyest score. De fargede linjene representerer sannsynligheten for korrekt predikering av skreddager. De sorte linjene representerer tersklene som ble funnet i analysen.



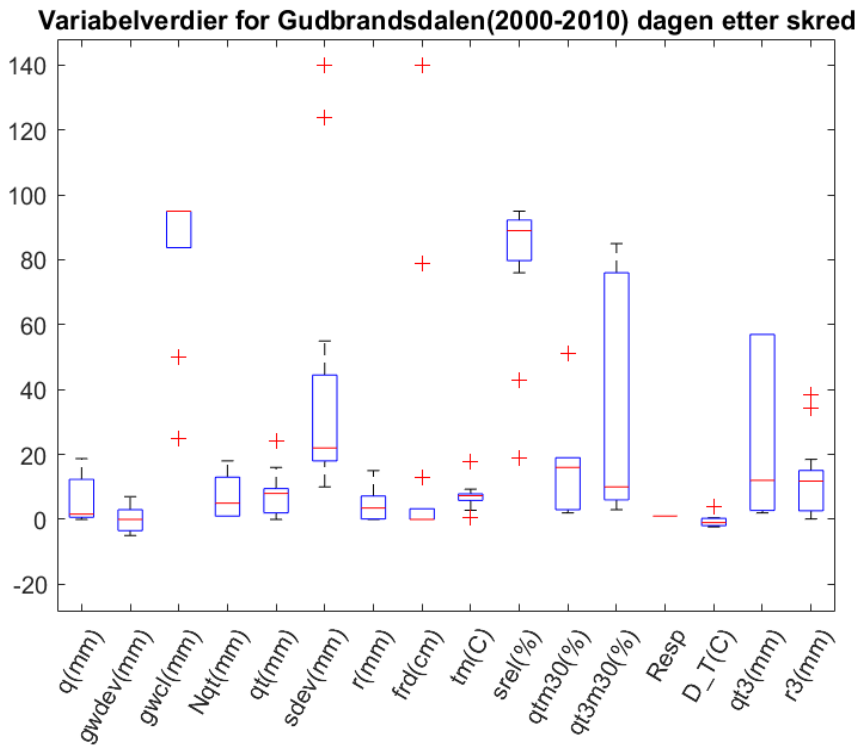
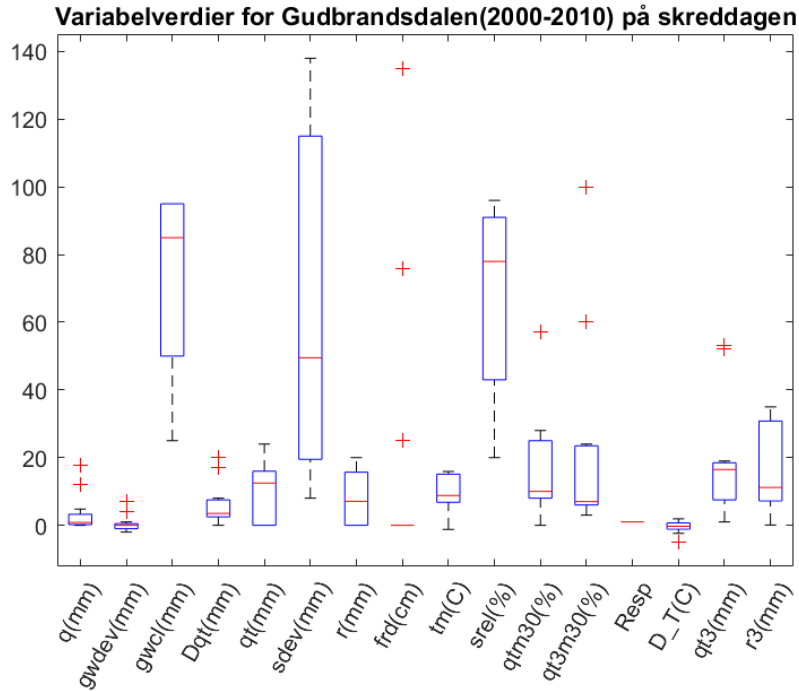
Figur 5-8: Et spredningsplottet av alle hendelsene i Gudbrandsdalen.: Her benyttes variablene som først var tiltenkt for varset for Østlandet. Linjene representerer sannsynligheten for korrekt predikering av skreddager. Blå punkter representerer referensdager og rød punkter skreddager.

5.1.2 Gudbrandsdalen 2000-2010

5.1.2.1 Skreddager

Boksplokk over parameterverdier for skreddagen og dagen etter er plottet (Figur 5-9).

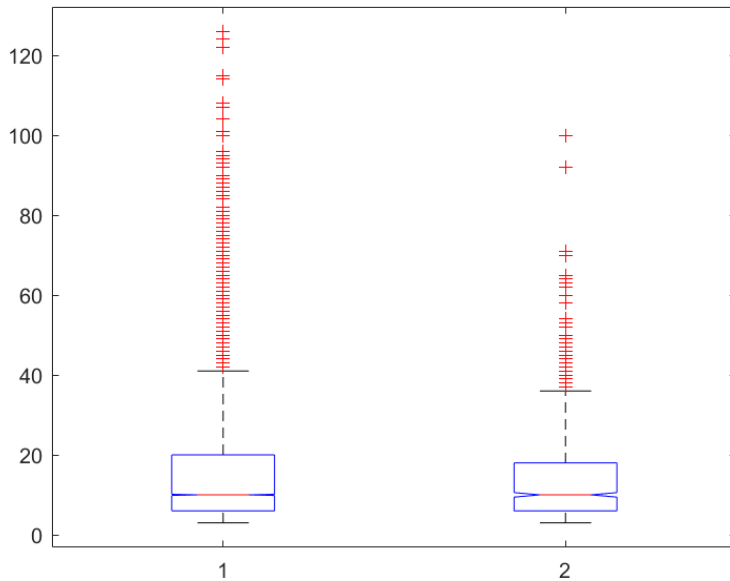
- 3-dagers avrenning(qt_3) hadde medianer på henholdsvis 16 og 12. 25% kvantilen er på 8mm for skreddagen og 1mm for dagen etter



Figur 5-9: Boksplott over hydrometeorologiske verdier dagen etter og på skreddagene i Gudbrandsdalen (2000-2010). 50% av alle hendelsene befinner seg innenfor den blå boksen. Den røde streken i boksen representerer medianen. Rødt kors er «outliere». Variablene er beskrevet i Tabell 5-1

5.1.2.2 Referansedager

Sampelet av referansedager har to ekstremverdier mellom 100 og 80% (Figur 5-10). Hovedandelen av outlierene befinner seg fra 70% og ned. Populasjonen har outlierer fra 40% til 120%. Fra Kruskal Wallis-testen får man en p-verdi på 0,3253. Dette indikerer at p-verdien er innenfor forkastningsnivået på $\alpha=0,05$ og nullhypotesen kan derfor ikke forkastes. Sampelet blir derfor benyttet til videre analyse.



Figur 5-10: Boksplott over fordelingen av variabelen qt3m30. 1 Representerer 20 utvalg. 2 representerer utvalget som potensielt skal benyttes til analysen

5.1.2.3 Univariat analyse

Den univariate analysen indikerer at 3-dagers nedbør er den mest optimale variabelen. Terskelen settes her til å være mellom 30.6mm og lavere enn 32.15mm. Den nest mest optimale variabelen er 3-dagers vanntilførsel. Her er terskelen 51.5 mm (Tabell 5-5).

Tabell 5-5: Tabell over predikasjonsevnen til én variabel for Gudbrandsdalen i perioden 2000-2010.

Variabel	AUC	Terskel 1	Terskel 2(3)	TNR/TPR(%)
Qt3m30	0,51	59(%)	<61(>73,5)	100/6
D_t	0,49	*	-	100/0
frd	0,50	140>	>138cm	100/0
Nqt	0,46	-	-	100/0
gwcl	0,46	-	-	100/0
gwdev	0,46	-	-	100/0
qtm30	0,46	-	-	100/0
q	0,55	16mm	-	100/18
qt	0,51	36,5mm	-	100/0
qt3	0,55	51,5mm	-	100/24
r	0,54	>15,65	<15,75	100/6
r3	0,59	>30,6	<32,15	100/24
sdev	0,61	-	-	99/3
srel	0,58	>90,5	<91,5(<96,5)	100/0
Tm	0,49	14,85	>15,05 (<15,55)	100/15

5.1.2.4 Bivariat Analyse

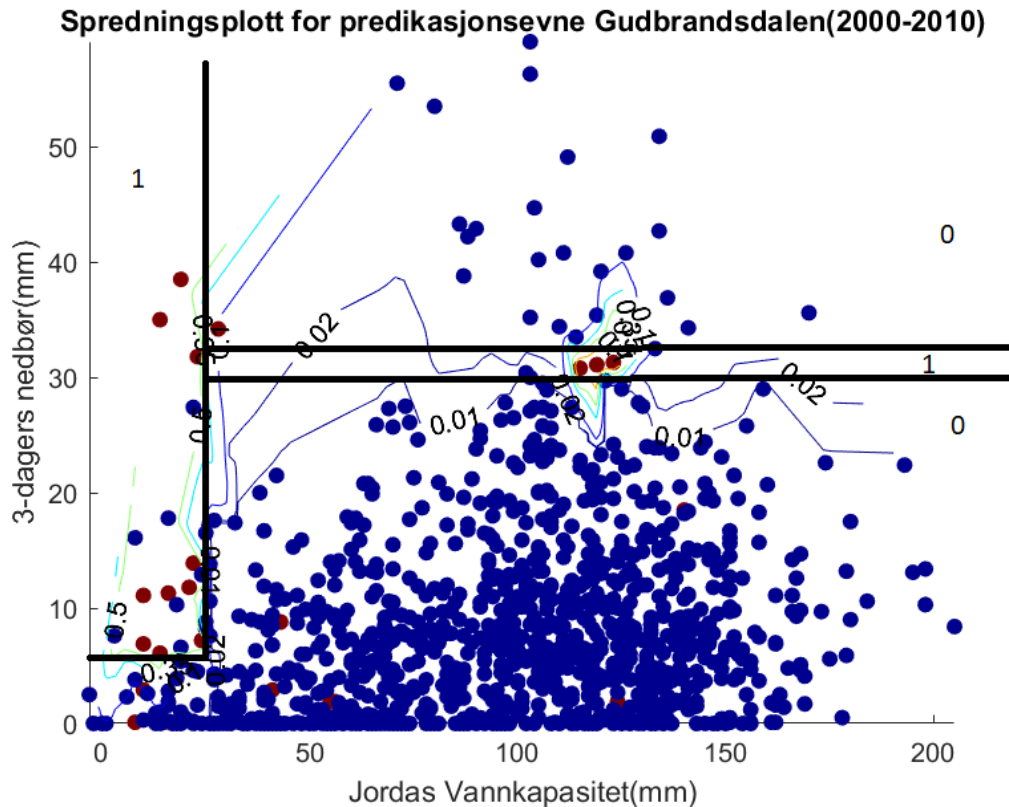
I den bivariate analysen ble det funnet at 3-dagers nedbør og vannkapasitet var den optimale variabelkombinasjonen (Tabell 5-6). Ved å se på predikasjonsevnen til det enkle treet kan man også se at kombinasjonen er blant de mest optimale.

Tabell 5-6: Rangering av variabelkombinasjoner knyttet til skred i Gudbrandsdalen (2000 – 2010). Predikasjonsevnen til trær som har 100 noder som maksimum dybde finnes i kolonnen Komplekst. Tilsvarende for 4 noder finnes i kolonnen Enkelt.

Variabel 1	Variabel 2	Komplekst	AUC/K	Enkelt	AUC/E
R3	SREL	99/58	0,76	99/58	0,80
R3	Q	98/45	0,81	>99/42	0,69
R3	SDEV	98/58	0,84	99/61	0,78
QT3	FRD	99/24	0,75	99/24	0,58
QTM30	R3	99/42	0,74	99/24	0,57
QT3	Nqt	99/33	0,66	>99/18	0,55
D_T	R3	99/39	0,65	99/24	0,59
R	Q	99/33	0,70	99/21	0,61
QT3M30	R	99/39	0,63	99/33	0,62
TM	SREL	99/58	0,79	99/39	0,63

5.1.2.5 Klassifikasjonstrær

Den mest egnede variabelkombinasjonen ble plottet (Figur 5-11). Her er første terskel på 24,5mm vannkapasitet. Ved lavere verdier predikeres det skred ved nedbør over 5mm på tre dager. Ved høyere verdier predikeres det skred i sjiktet 30.6-32.15mm.



Figur 5-11: Et spredningsplottet av alle hendelsene i Gudbrandsdalen i perioden 2000-2010. Linjene representerer sannsynligheten for korrekt predikering av skreddager. Blå punkter representerer referensdager og rød punkter representerer skreddager Tersklene er plottet med sorte linjer.

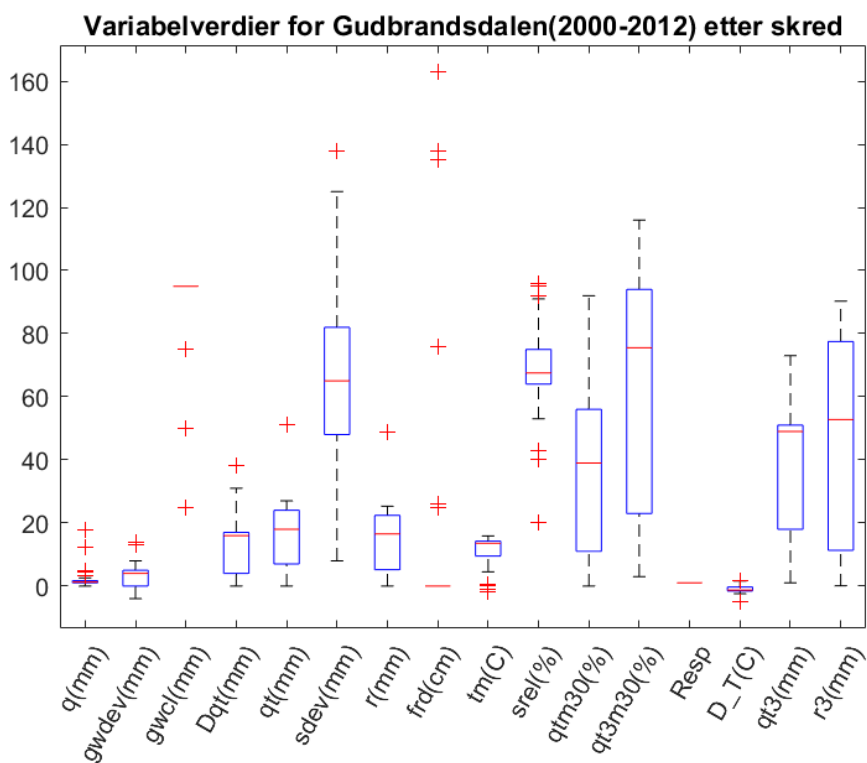
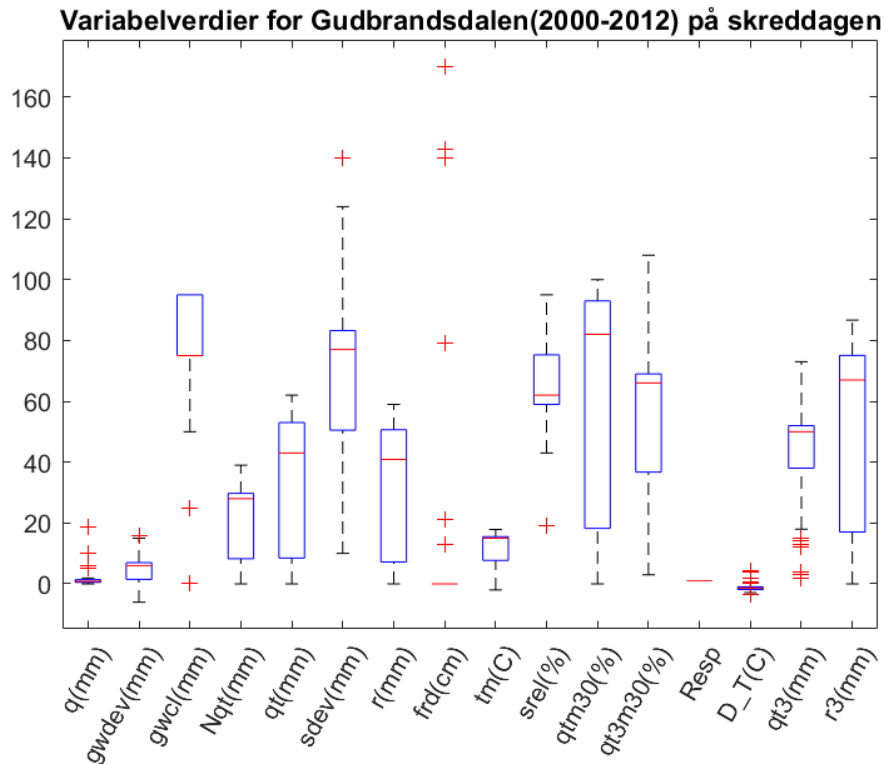
Ved å benytte de samme variablene som for hele Gudbrandsdalen, metningsgrad og 3-dagers nedbør, er det minste treet fire noder stort. Rotnoden har en terskel på 90.5% metningsgrad, hvor ved høyere verdier så predikeres det skred ved verdier høyere enn 5mm i 3-dagers nedbør. Ved lavere metningsgrad så spås det skred mellom 30.6 og 32.15mm.

5.1.3 Gudbrandsdalen 2000-2012

5.1.3.1 Skreddager

Boksplokk over parameterverdier for skreddagen og dagen etter er plottet (Figur 5-12).

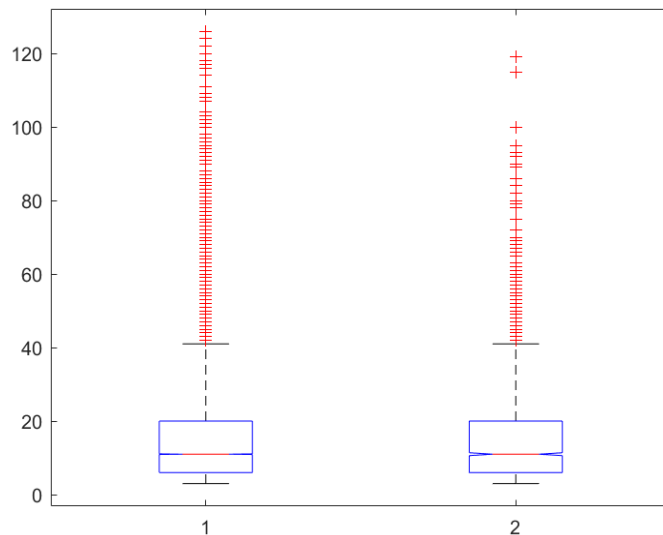
- 3-dagers nedbør (r_3) hadde en median på henholdsvis 65mm og 55 mm. For skreddagen er 25% kvantilen omtrent 20mm. For dagen etter den ca. 10mm.



Figur 5-12: Boksplott over hydrometeorologiske verdier dagen etter og på skreddagene i Gudbrandsdalen (2000-2012). 50% av alle hendelsene befinner seg innenfor den blå boksen. Den røde streken i boksen representerer medianen. Rødt kors er «outliere». Variablene er beskrevet i Tabell 5-1

5.1.3.2 Referansedager

Foruten om to punkter som er omtrent 118% så er øvre ekstrempunkt i sampelet omtrent 100%. I samlingssettet så strekker ekstrempunktene seg til over 120% (Figur 5-13). Fra Kruskal Wallis-testen får man en p-verdi på 0,5435. Dette indikerer at p-verdien er innenfor forkastningsnivået på $\alpha=0,05$ og nullhypotesen kan derfor ikke forkastes. Sampelet blir derfor benyttet til videre analyse.



Figur 5-13: Boksploott over fordelingen av variabelen qt3m30. 1 Representerer 20 utvalg. 2 representerer utvalget som potensielt skal benyttes til analysen

5.1.3.3 Univariat analyse

Fra den univariate analysen ble 3-dagers nedbør funnet å være den optimale predikatoren. Terskelen ble her satt til å være 54.05 mm (Tabell 5-7). Deretter fulgte 3-dagers vanntilførsel med 45,5mm.

Tabell 5-7: Tabell over predikasjonsevnen til én variabel for Gudbrandsdalen i perioden 2000-2012.

Variabel	AUC	Terskel 1	Terskel 2(3)	TNR/TPR(%)
Qt3m30	0,78	56,5%	-	99/61
D_t	0,49	-	-	100/0
frd	0,51	*	-	100/0
Nqt	0,76	>15,5mm	>26,5mm	>99/27
gwcl	0,49	-	-	100/0
gwdev	0,49	-	-	100/0
qtm30	0,46	53,5%	-	99/37
q	0,55	>16,6mm	-	100/6
qt	0,72	>20,5	>36	100/29
qt3	0,78	>45,5mm	-	99/60
r	0,73	>19,5mm	>33,95mm	100/30
r3	0,80	54,05mm	-	99/52
sdev	0,49	-	-	100/0
srel	0,49	-	-	100/0
Tm	0,49	*	-	100/0

5.1.3.4 Bivariat analyse

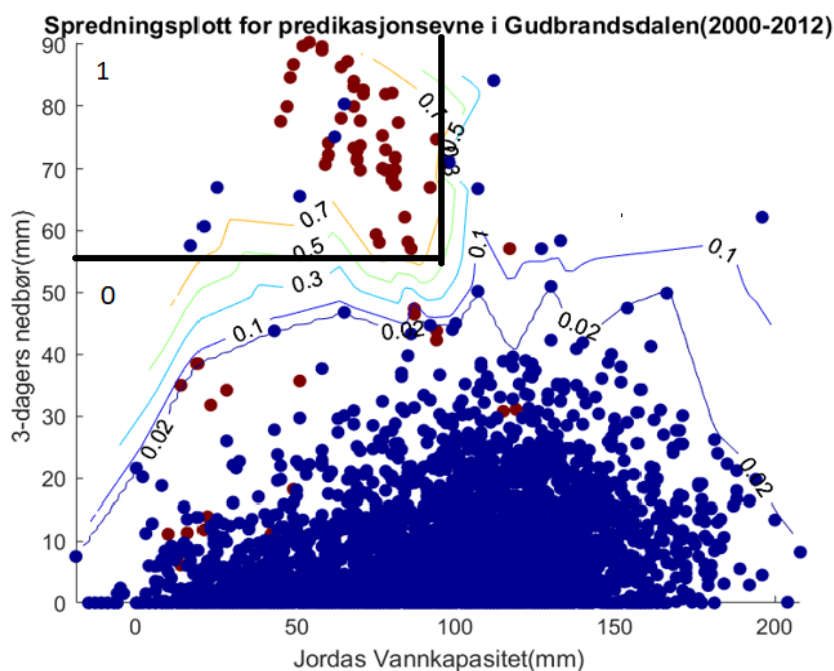
Fra den bivariante analysen ble 3-dagers nedbør og vannkapasitet funnet å være den optimale variabelkombinasjonen (Tabell 5-8). Deretter fulgte 3-dagers nedbør og vannmetning.

Tabell 5-8: Rangering av variabelkombinasjoner knyttet til skred i Gudbrandsdalen i perioden 2000 - 2012. Predikasjonsvevnen til trær som har 100 noder som maksimum dybde er finnes i fanen Kompleks. Tilsvarende for 4 noder finnes i fanen Enkel.

Variabel 1	Variabel 2	Komplekst	AUC100	4Noder	AUC4
R3	Q	>99/61	0,90	>99/55	0,78
R3	SREL	99/63	0,90	99/50	0,80
R3	SDEV	99/66	0,90	99/50	0,80
QT3	FRD	99/59	0,85	99/59	0,80
QTM30	R3	99/63	0,88	99/51	0,83
QT3	Nqt	99/61	0,86	>99/55	0,80
D_T	R3	99/60	0,88	99/50	0,82
R	Q	99/56	0,88	99/46	0,77
QT3M30	R	99/61	0,84	99/58	0,83
TM	SREL	99/66	0,86	99/61	0,82

5.1.3.5 Klassifikasjonstrær

Treet med høyest AUC var 3-dagers nedbør og vannkapasitet (Figur 5-14). Klassifikasjonstreeet ga to noder ved manuelt valg av trestørrelse. Den første terskelen er 3-dagers nedbør, som er satt til 54mm. Om i tillegg vannkapasiteten var lavere enn 96mm predikerte modellen skred.



Figur 5-14: Et spredningsplottet av alle hendelsene i Gudbrandsdalen i perioden 2000-2012. Linjene representerer sannsynligheten for korrekt predikering av skreddager. Blå punkter representerer referensdager og røde punkter representerer skreddager. Sorte linjer representerer tersklene som ble funnet

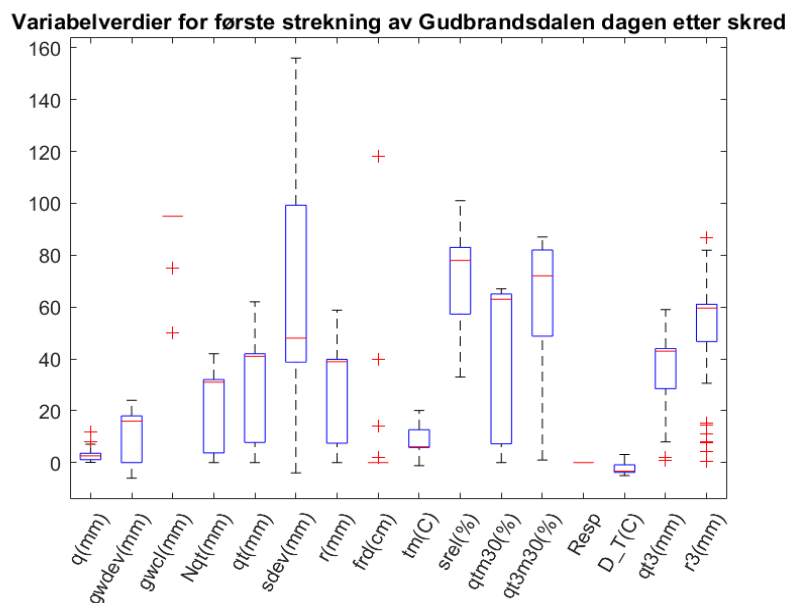
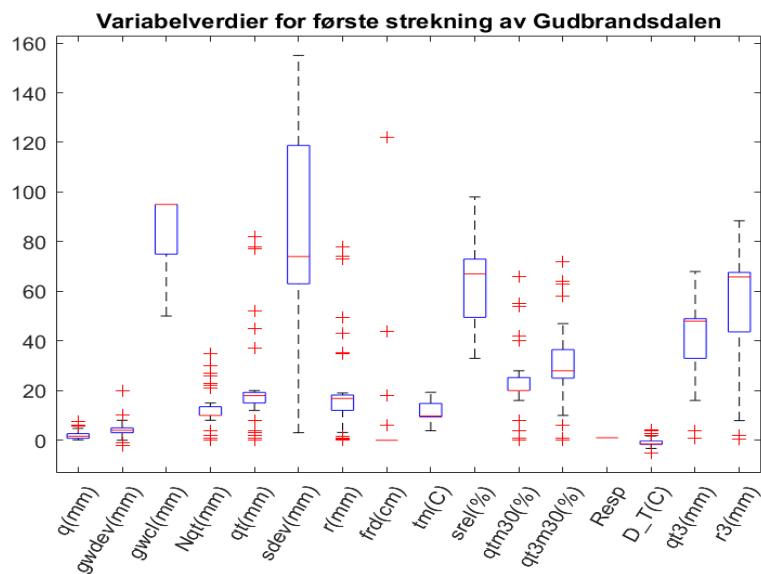
Ved å benytte tersklene som var best egnet for hele perioden (2000-2017) ble det funnet at det best egnede treet inneholdt én node. Denne noden var 3-dagers nedbør med en terskel på 54.05mm. Treets dybde ble valgt manuelt.

5.1.4 Sørstrand-Ringebu

5.1.4.1 Skreddager

Statistikken over variablene på skreddagene og dagen etter er plottet med boksploTT (Figur 5-16).

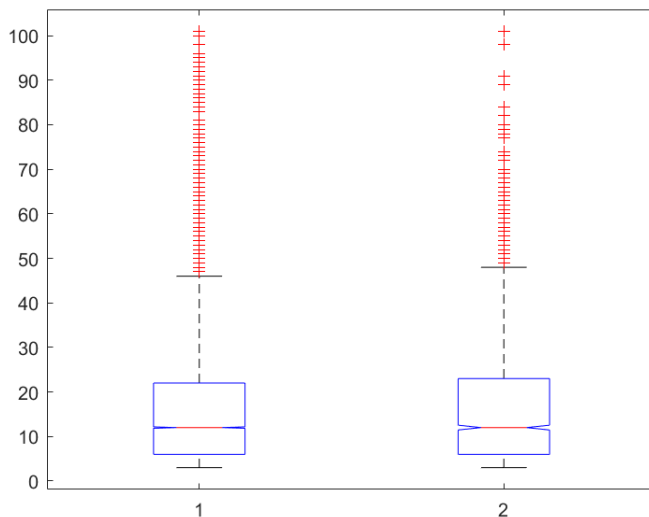
- Tredagers nedbør(r3) hadde en median på 65mm for skreddagen og 60 mm dagen etter. 25% kvantilen er 45mm for skreddagen og dagen etter.



Figur 5-16: Boksplott over hydrometeorologiske verdier på skreddagen ved strekningen Sørstrand-Ringebu. 50% av alle hendelsene befinner seg innenfor den blå boksen. Den røde streken i boksen representerer medianen. Rødt kors er «outliere». Variablene er beskrevet (tabell 1). «Resp» er responskolonnen og består av verdiene 0 og 1. Y-aksen dekker både % og mm

5.1.4.2 Referansedager

Fordelingen til enkeltsampelet har større interkvartil avstand enn for de 10 samplene som er slått sammen (Figur 5-17). Fra Kruskal Wallis-testen får man en p-verdi på 0,40. Dette indikerer at p-verdien er innenfor forkastningsnivået på 0.05 og nullhypotesen kan derfor ikke forkastes, og vil bli benyttet videre.



Figur 5-17: Boksploott over fordelingen av variabelen qt3m30. 1 Representerer 20 utvalg. 2 representerer utvalget som potensielt skal benyttes til analysen

5.1.4.3 Univariat analyse

Den høyeste verdien av AUC produseres av 3-dagers nedbør. AUC er her 0.8. Vanntilførsel over 3 dager følger deretter med en AUC på 0,79 (Tabell 5-9).

Tabell 5-9: rangering mellom variabler og skredhendelser for skred i strekningen Sørstrand – Ringebu.

Variabel	AUC	Terskel 1	Terskel 2	TNR/TPR(%)
3mx30	0,65	>71(%)	<88(%)	100/19
D_T	0,49	*	*	100/9
frd	0,49	-	-	100/0
Nqt	0,64	25,5mm	-	100/31
gwcl	0,49	-	-	100/0
gwtdev	0,59	14mm	-	100/28
mx30	0,62	48(%)	-	100/32
q	0,70	-	-	100/1
qt	0,68	35,5mm	-	100/42
qt3	0,79	41,5mm	-	99/65
rr	0,68	33,6mm	-	100/43
rr3	0,80	58,85mm	-	100/64
sdev	0,69	*	*	100/0
sssrel	0,68	>65,5%	<100%	100/0
Temp	0,49	-	-	100/0

5.1.4.4 Bivariat analyse

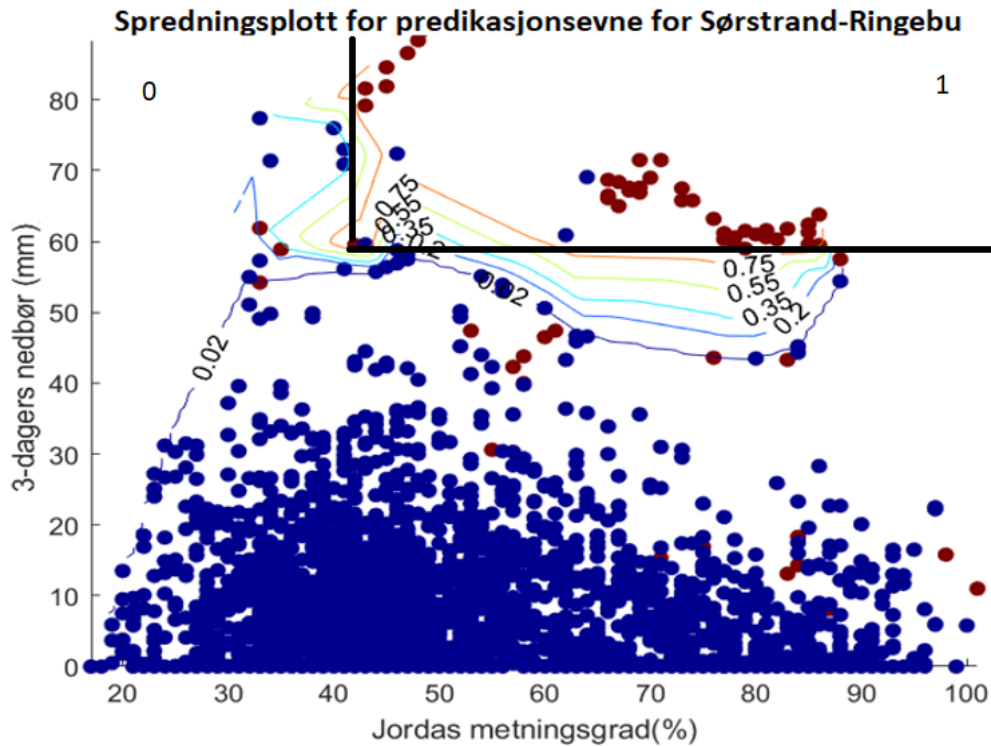
I den bivariate analysen ble kombinasjonen 3-døgns nedbør og vannmetning funnet å være den beste kombinasjonen (Tabell 5-10).

Tabell 5-10: Rangering av variabelkombinasjoner knyttet til skred rundt Ringebu uten ekstremhendelser. Predikasjonsevnen til trær som har 100 noder som maksimum dybde finnes i fanen Kompleks. Tilsvarende for 4 noder finnes i fanen Enkel.

Variabel 1	Variabel 2	100 Noder	AUC100	4 Noder	AUC4
R3	SREL	99/74	0,94	99/77	0,91
R3	R	99/71	0,91	99/74	0,86
QT3M30	GWCL	99/47	0,9	99/29	0,65
QTT3	FRD	99/55	0,9	99/60	0,81
QTM30	TM	99/70	0,9	99/33	0,65
R3	SSSDEV	99/72	0,9	99/71	0,89
GWTDEV	TEMP	99/64	0,89	99/28	0,59
QTM30	FRD	99/42	0,89	99/32	0,6
RR3	FRD	99/71	0,89	>99/64	0,83
RR3	TEMP	99/68	0,89	>99/64	0,83

5.1.4.5 Klassifikasjonstrær

For skredene som er registrert i alle REGINE-enheter fra Sørstrand til Ringebu er variabelkombinasjonen 3-dagers nedbør og metningsgrad bedømt til å være den mest optimale modellen. Tredybden ble valgt manuelt og ga to noder (Figur 5-18). Rotnoden gir en terskel på 58.85mm i 3-dagers nedbør, deretter blir det spådd skred om metningsgraden i tillegg over 41.5%.



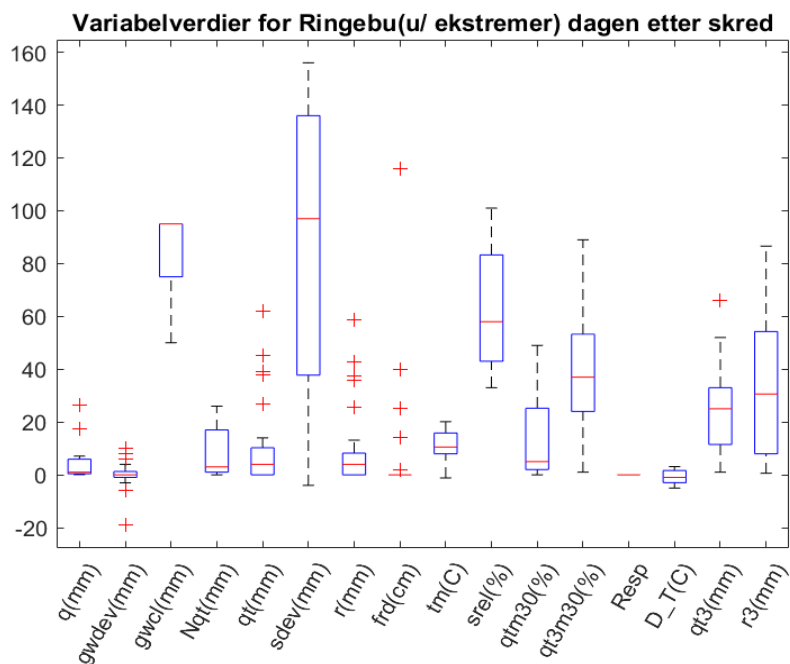
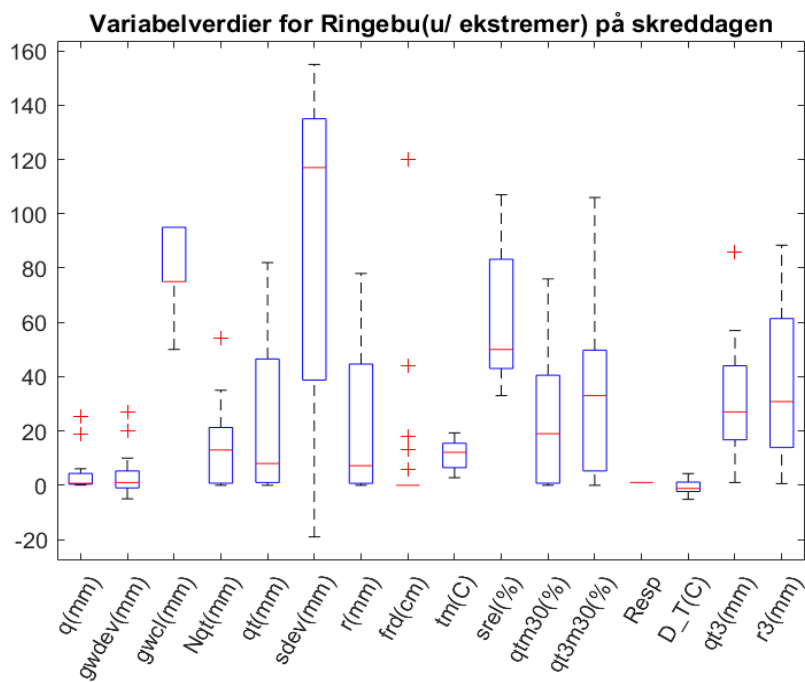
Figur 5-18: Under: Et spredningsplottet av alle hendelsene på strekningen Sørstrand-Ringebu. Linjene representerer sannsynligheten for korrekt predikering av skreddager. Blå punkter representerer referansedager og rød punkter representerer skreddager

5.1.5 Ringebu 10km radius (Uten ekstremhendelser)

5.1.5.1 Skreddager

Statistikk over variablene på skreddagene og dagen etter er plottet med boksploTT (Figur 5-19).

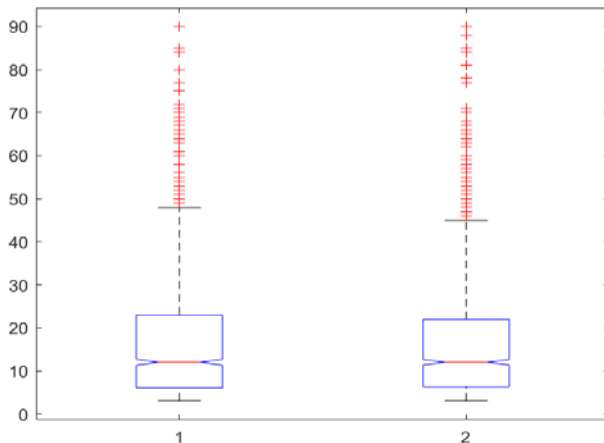
- Videre hadde 3-dagers nedbør (r_3) en median på 30 mm i begge tilfellene. 25% kvantilen er omtrent 15mm for skreddagen og 10mm for dagen etter.



Figur 5-19: Bokplott over hydrometeorologiske verdier dagen etter skredhendelsene innenfor 15 km av Ringebu uten ekstremhendelser. 50% av alle hendelsene befinner seg innenfor den blå boksen. Den røde streken i boksen representerer medianen. Rødt kors er «outliere». Variablene er beskrevet (tabell 1). «Resp» er responskolonnen og består av verdiene 0 og 1. Y-aksen dekker både % og mm

5.1.5.2 Referansedager

10 forskjellige utvalg med 50 ikke-skreddager for hver av de 29 skredhendelsene og ga et sammenligningsgrunnlag for det valgte samplet (Figur 5-20). Fra Kruskal Wallis-testen ble det funnet en p-verdi på 0,68. Dette indikerer at p-verdien er innenfor forkastningsnivået på 0.05 og nullhypotesen kan derfor ikke forkastes. Sampelet blir derfor benyttet til videre analyse.



Figur 5-20: Boksploott over predikatoren qt3m30 til de tilfeldig valgte samplene av skred omkring Ringebru ekskludert ekstremvær. Sampel 1 representerer de 10 samplene som er slått sammen. Sampel 2 er sampelet som ble benyttet til analysen. Verdiene på y-aksen dekker % og mm.

5.1.5.3 Univariat analyse

Fra analysen av enkeltvariabler ble 3-dagers nedbør funnet til å være den beste predikatoren, og videre følger 3-dagers vanntilførsel (Tabell 5-11). Verdiene av både terskler og TNR/TPR er i et overtall av tilfellene lavere enn i den foregående analysen.

Tabell 5-11: Rangering mellom variabler og skredhendelser for skred i REGINE-enheter 10km fra Ringebru, ekskludert ekstremhendelser i 2011 og 2013 * indikerer at terskelen er kompleks og har flere enn fire noder.

Variabel	AUC	Terskel 1	Terskel 2(3)	TNR/TPR(%)
Qt3m30	0,64	>45,5%	71,5< (>76,5 %)	100/2
D_T	0,49	-	-	100/0
frd	0,53	-	-	100/0
Nqt	0,60	16,5mm	29,5< (>30,5mm)	100/0
gwcl	0,49	-	-	100/0
gwdev	0,51	18,5mm	-	100/2
qtm30	0,58	>36,5mm	*	100/2
q	0,54	>17,5mm	-	100/16
qt	0,57	36,5mm	-	100/24
qt3	0,66	>30,5mm	*	100/2
rr	0,58	34,35mm	-	100/22
rr3	0,68	58,8mm	-	100/34
sdev	0,51	<4,5mm	-	100/8
srel	0,51	>97,5mm	-	100/8
tm	0,50	>16,5mm	*	100/0

5.1.5.4 Bivariat analyse

Fra den bivariate analysen ble 3-dagers nedbør og jordas metningsgrad bedømt til å være den beste terskelen (Tabell 5-12). Videre fulgte 3-dagers relativ vanntilførsel og jordas metningsgrad. AUC og TPR/TNR er konsistent lavere her enn i de to foregående analysene. TPR er i et flertall av kombinasjonene lavere enn der hvor ekstremdagene er inkludert.

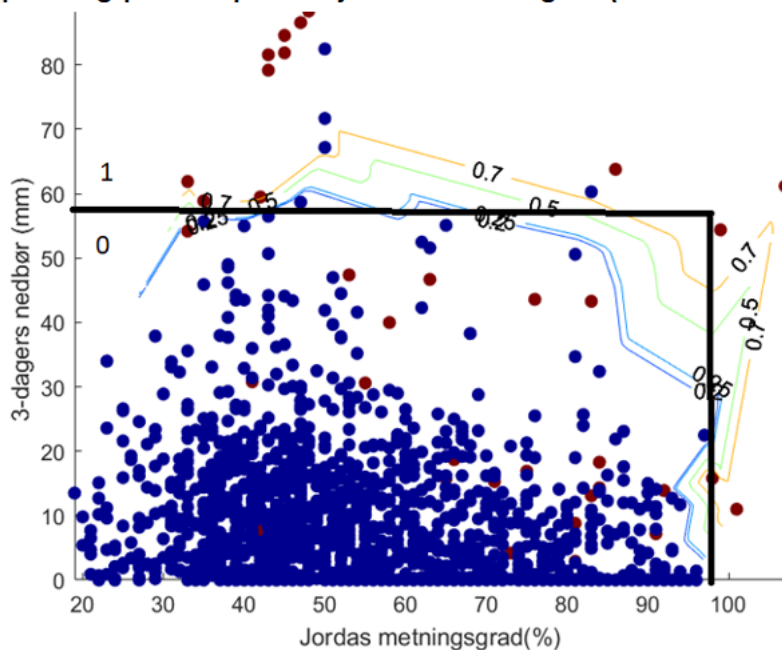
Tabell 5-12: Rangering av variabelkombinasjoner knyttet til skred rundt Ringebu uten ekstremhendelser. Predikasjonsevnen til trær som har 100 noder som maksimum dybde finnes i fanen AUC/ Tilsvarende for 4 noder finnes i fanen AUC/E.

Variabel 1	Variabel 2	Kompleks	AUC/K	Enkel	AUC/E
R3.	SREL	99/44	0,9	99/32	0,66
QT3M30.	SREL	99/40	0,88	99/18	0,67
R3.	SDEV	99/46	0,86	99/34	0,66
QT3M30.	TM	99/32	0,84	>99/8	0,73
QT	SDEV	99/36	0,83	>99/30	0,63
R3.	FRD	99/36	0,83	99/36	0,71
R3	TEMP	99/36	0,83	>99/32	0,71
R	SDEV	99/28	0,83	99/28	0,63
R3.	Q	99/52	0,82	99/36	0,69
R3.	D_T	98/28	0,82	>99/36	0,71

5.1.5.5 Klassifikasjonstrær

For skredene som er registrert i alle REGINE-enheter innenfor 15km fra studieområde på Ringebru, er 3-dagers nedbør og metningsgrad den optimale modellen (Figur 5-21). Ved ett standardavvik-regelen bestemmes tredybden til å være to noder. Rotnoden indikerer skred ved 3-dagers nedbørverdier over 58.8mm. Ved lavere verdier predikeres det skred ved metningsgrad over 97,5% .

Spredningsplott for predikasjonsevnen til Ringebru (10km radius u/ ekstrem)



Figur 5-21: Under: Et spredningsplottet av alle hendelsene innen REGINE-enheter som er 10km fra Ringebru Ekstremdager fra 2011 og 2013 er ekskludert. De sorte linjene representerer tersklene som har blitt funnet med klassifikasjonstreet. De fargede linjene er sannsynligheten for at modellen predikerer rett.

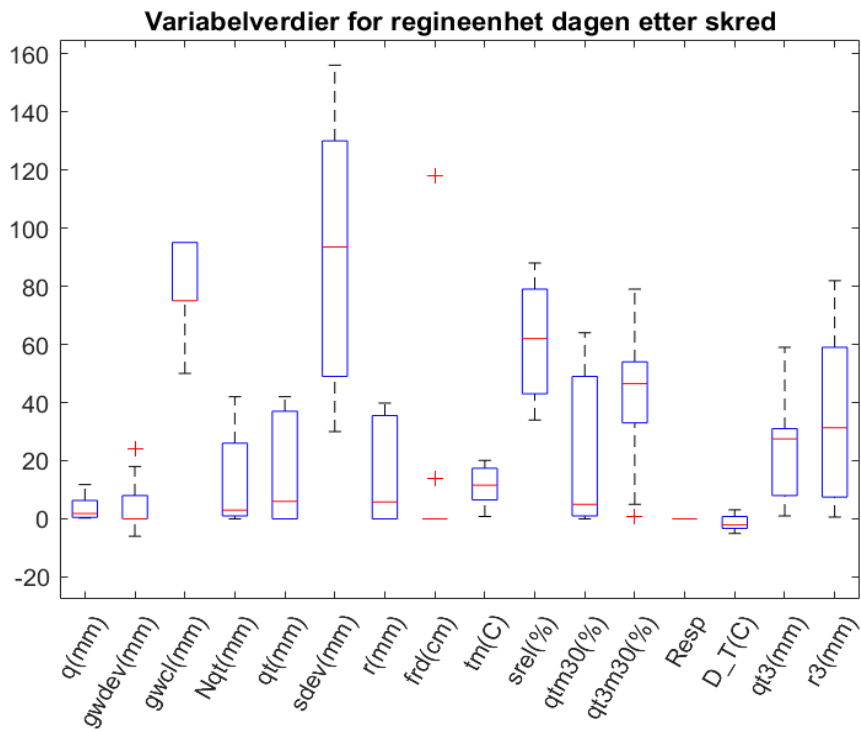
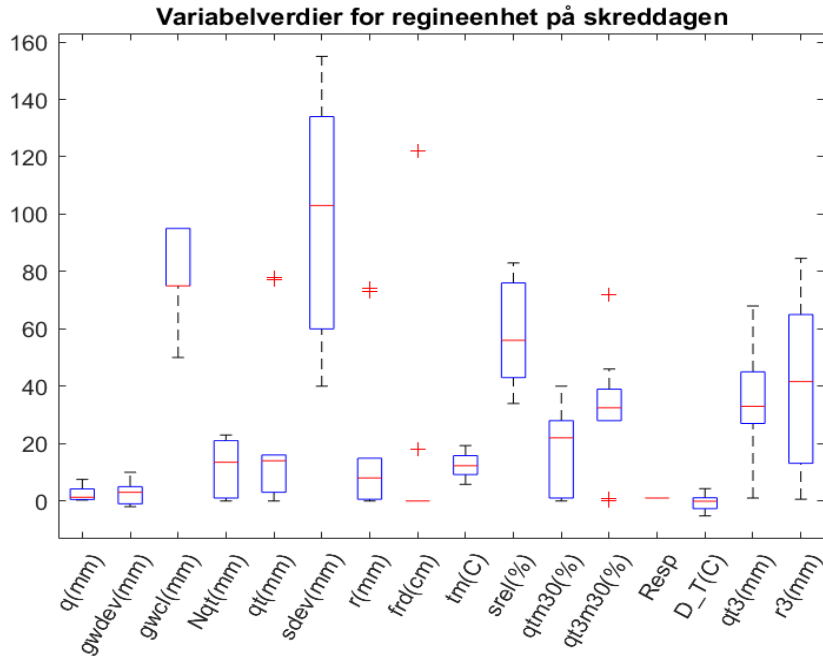
Ved å benytte predikatorene Gudbrandsdalen (2000-2017) genereres et tre med to noder. Rotnoden har et splitkriterium på 58,8 mm nedbør over tre dager. Hvis det i tillegg er over 4,5 mm vannkapasitet predikerer modellen skred.

5.1.6 Ringebu

5.1.6.1 Skredhendelser

Verdiene for skreddagen og dagen etter er plottet i boksplokk (Figur 5-22).

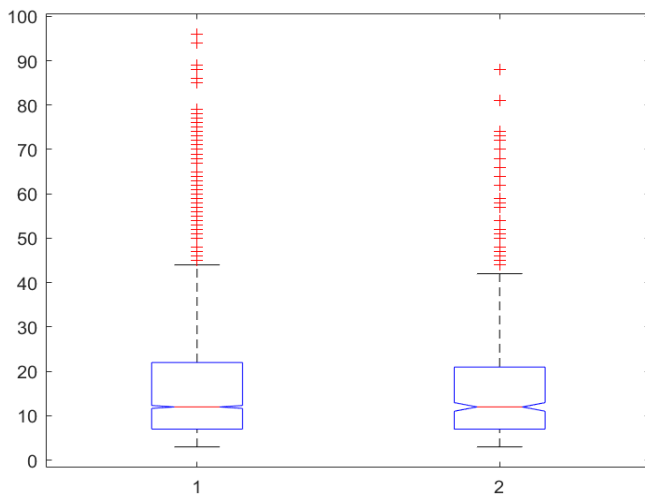
- Videre hadde tre-dagers nedbør (r_3) en median på 40 mm på skreddagen og 30mm dagen etter.



Figur 5-22: Bokplott over hydrometeorologiske verdier dagen etter skredhendelsene innenfor 15 km av Ringebu uten ekstremhendelser. 50% av alle hendelsene befinner seg innenfor den blå boksen. Den røde streken i boksen representerer medianen. Rødt kors er «outliere». Variablene er beskrevet (tabell 1). «Resp» er responskolonnen og består av verdiene 0 og 1. Y-aksen dekker både % og mm

5.1.6.2 Referansedager

Ved å ta 20 forskjellige utvalg med 50 ikke-skreddager for hver av de 10 skredhendelsene (Figur 5-23) dannes basisen for populasjonen. Sampelet som skal benyttes har to verdier over 80%. Fra Kruskal Wallis-testen får man en p-verdi på 0,74. Dette indikerer at p-verdien er innenfor forkastningsnivået på 5% og nullhypotesen kan derfor ikke forkastes. Sampelet blir derfor benyttet til videre analyse.



Figur 5-23: Boksplott over fordelingen til qt3m30 på skreddagene omkring Ringebu (ekskudert ekstremvær). Sampelet 1 representerer de 10 samplene som er slått sammen. Sampelet 2 er sampelet som ble benyttet til analysen

5.1.6.3 Univariat analyse

For den univariate analysen ble 3-dagers nedbør funnet til å være den beste egnede variabelen med AUC på 0,63 (Tabell 5-13). Her er terskelen 53.53mm.

Tabell 5-13: Tabell over presasjonsnivå til enkeltvariabler knyttet til skred i REGINE-enhet om Ringebu.

Variabel	AUC	Terskel 1	Terskel 2	TNR/TPR
qt3m30	0,56	71,5(%)	-	98/12
D_T	0,49	>16,75C	*	98/12
frd	0,43	>13.5cm	*	99/0
Nqt	0,57	>20,5mm	>25mm	99/24
gwcl	0,44	-	-	100/0
gwdev	0,46	15,5mm	-	100/6
qtm30	0,53	>39,9mm	-	>99/29
q	0,49	>3,4mm	*	99/6
qt	0,53	>32,5mm	-	100/29
qt3	0,62	-	-	99/0
r	0,56	>30,95	-	99/41
r3	0,63	>53,53mm	-	99/35
sdev	0,47	<77,5mm	*	99/0
srel	0,44	-	-	100/0
Tm	0,59	>5,75C	<15,85	99/0

5.1.6.4 Bivariat analyse

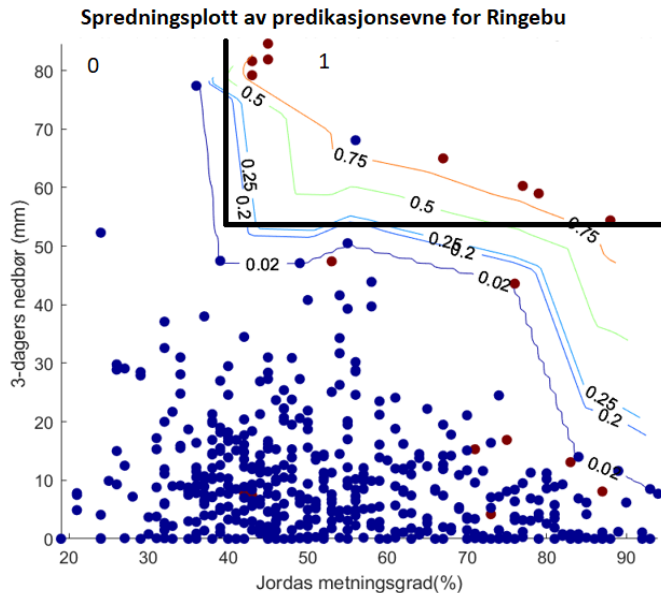
Fra den bivariante analysen ble tredagers vanntilførsel og temperatur, og normalisert tre-dagers vanntilførsel vurdert til å være den beste modellen basert på AUC/K (Tabell 5-14). TPR er deirmot 0 i disse tilfellene. Den første modellen som ikke har en TPR på 0 er 3-døgnsnedbør og vannkapasitet. TPR blir i seks av de ti tilfellen representert med 0.

Tabell 5-14:Rangering av variabelkombinasjoner knyttet til skred i REGINE-enheten på Ringebu. Predikasjonsevnen til trær som har 100 noder som maksimum dybde er finnes i fanen Kompleks. Tilsvarende for fire noder finnes i fanen Enkel.

Variabel 1	Variabel 2	Kompleks	AUC/K	Enkel	AUC/E
R3.	SREL	99/41	0,86	99/41	0,7
QT3M30.	Nqt	98/6	0,85	99/0	0,66
RR3.	GWDEV	99/47	0,84	99/41	0,74
QT3M30.	QTMX0	99/35	0,84	99/18	0,52
R3.	FRD	99/53	0,83	>99/41	0,63
QT3M30.	GWDEV	98/0	0,82	>99/0	0,79
NQT	R3	99/41	0,81	99/41	0,62
R3.	Q	99/41	0,81	99/41	0,73
QTM30	SREL	99/29	0,81	99/24	0,54
QT3M30.	SDEV	99/18	0,81	99/6	0,73

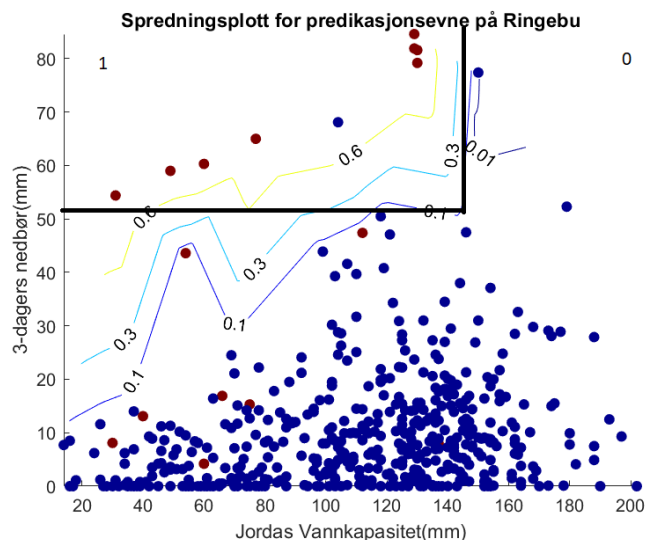
5.1.6.5 Klassifikasjonstrær

For skredene som er registrert i alle REGINE-enheten som omfatter studieområdet på Ringebru, er 3-dagers nedbør og metningsgrad den optimale modellen (Figur 5-24). Ved ett standardavvik-regelen bestemmes tredybden til å være to noder. Rotnoden sitt splittkriteriet er her 53.35mm nedbør over tre dager. Om metningsgraden er høyere 39.5% indikerer modellen skred.



Figur 5-24: Et spredningsplottet av alle hendelsene i REGINE-enheten som omfatter studieområdet på Ringebru. Linjene representerer sannsynligheten for korrekt predikasjon av skreddager. Blå punkter representerer referansedager og røde punkter representerer skreddager.

Ved å benytte variabelkombinasjonen som ble bedømt å være optimal for hele Gudbrandsdalen får man en rotnode på 53.35mm nedbør over tre dager, ved høyere verdier så spås det skred om vannkapasiteten i tillegg er lavere enn 140 mm (Figur 5-25).



Figur 5-25: Spredningsplott av modellen som benytter datasettet for Ringebru med variabelkombinasjonen som brukes for hele Gudbrandsdalen. Røde sirkler er skred, mens blå er referansedager. Sorte linjer er tersklene

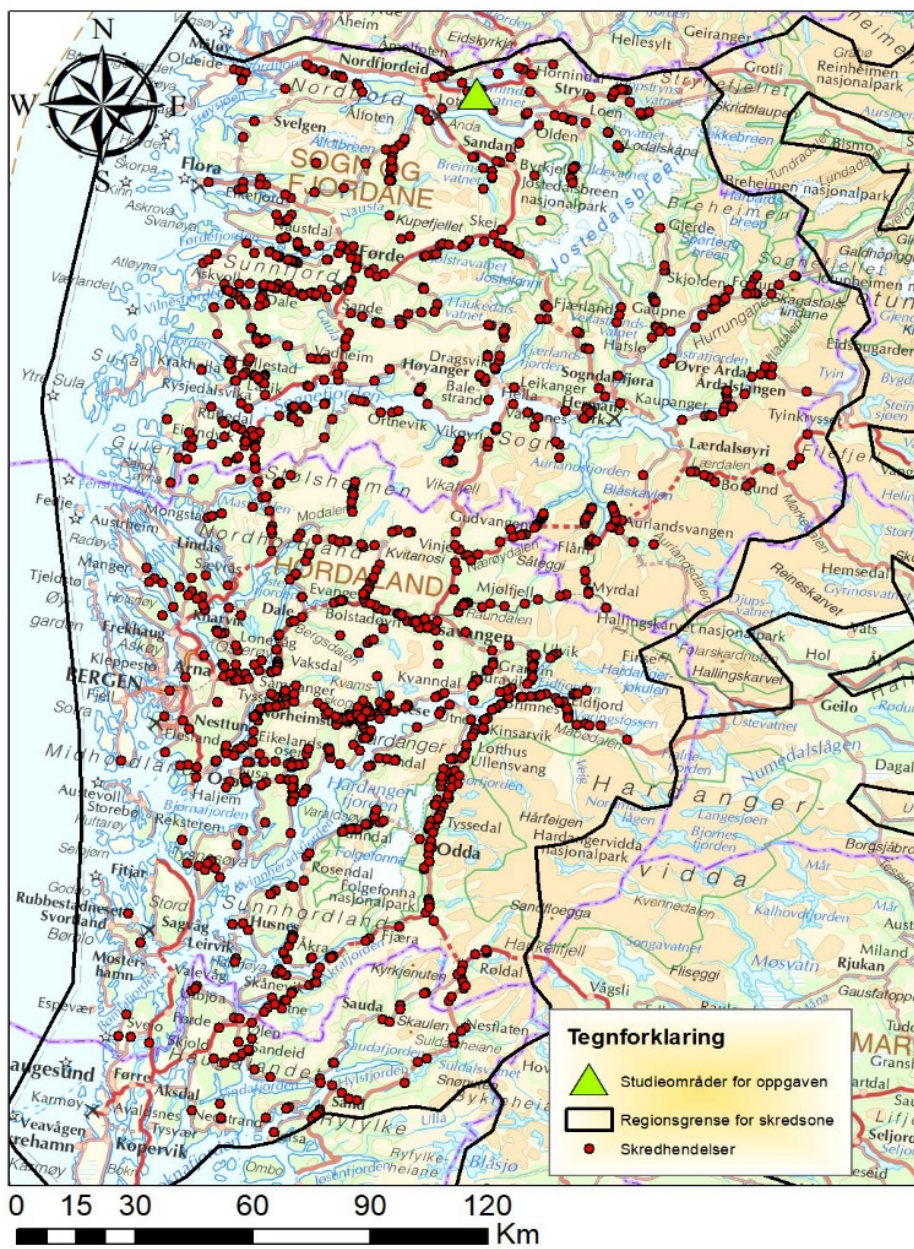
5.2 Vestlandet

For Vestlandet tas det med 1847 skred inn til regionalanalysen. Dette er da alle skredene som faller innenfor den forhåndsbestemte regionaliseringen (Figur 5-26). Fordelingen av skredene er 1485 løsmasseskred, 81 flomskred, 214 jordskred og 67 utglidninger. Av disse er 1238 over 2% tre dager vanntilførsel av 30-års maksimum($qt3m30$). Det ble således gjort en analyse på Hornindalen og Skredestranda. Grensen for Hornindalen er satt etter topografisk avgrensning rundt Hornindalsvannet og inkluderer alle skred som befinner seg i en REGINE-enhet som faller innenfor (Figur 5-25). Området inneholder 31 skredhendelser fordelt over 20 løsmasseskred, tre flomskred, og åtte jordskred. Skredene har skjedd på 15 forskjellige datoer. Den andre avgrensningen som ble gjort var definert av REGINE-enheten som omfattet studieområdet ved Skredestranda (Figur 5-25). Her er det registrert 17 skred, hvor fordelingen er 10 løsmasseskred, tre flomskred og fire jordskred. Skreden har skjedd på fem forskjellige datoer.

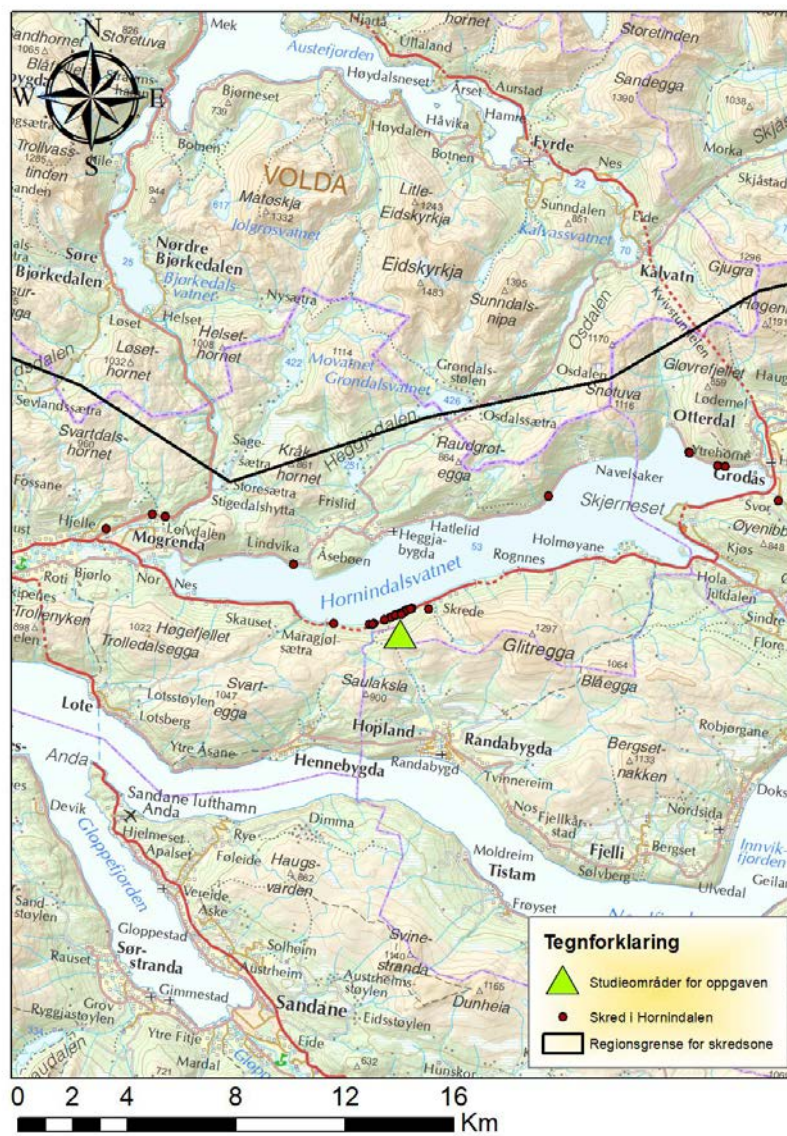
Ved å analysere sensitiviteten ved forskjellige antall referansedager ble det bedømt at Vestlandet skulle benytte 20 referansedager. Både for Hornindal og Skredestranda ble det testet ut effekten av 20 og 50 referansedager (Tabell 5-15).

Tabell 5-15: Predikasjonssevne til en enkel modell med forskjellige antall referansedager

Område	Referansedager	AUC	TNR/TPR
Vestlandet	10	0,766	96-99/29-37
	20	0,74	99/18-23
	50	0,612	99/7-14
	100	0,506	99/0-1
Hornindal	10	0,812	97-99/64/71
	20	0,784	98-99/60-67
	50	0,804	99/53-69
	100	0,778	99/29-52
Skredestranda	10	0,896	95-98/85-88
	20	0,894	97-99/82-91
	50	0,882	99/76-85
	100	0,832	99/64-79



Figur 5-26: Kart over Vestlandet. Den geografiske forordningen av skredene er plottet inn. Disse skredene danner basis for sammenligningsgrunnlaget til den lokale analysen av Hornindalen.

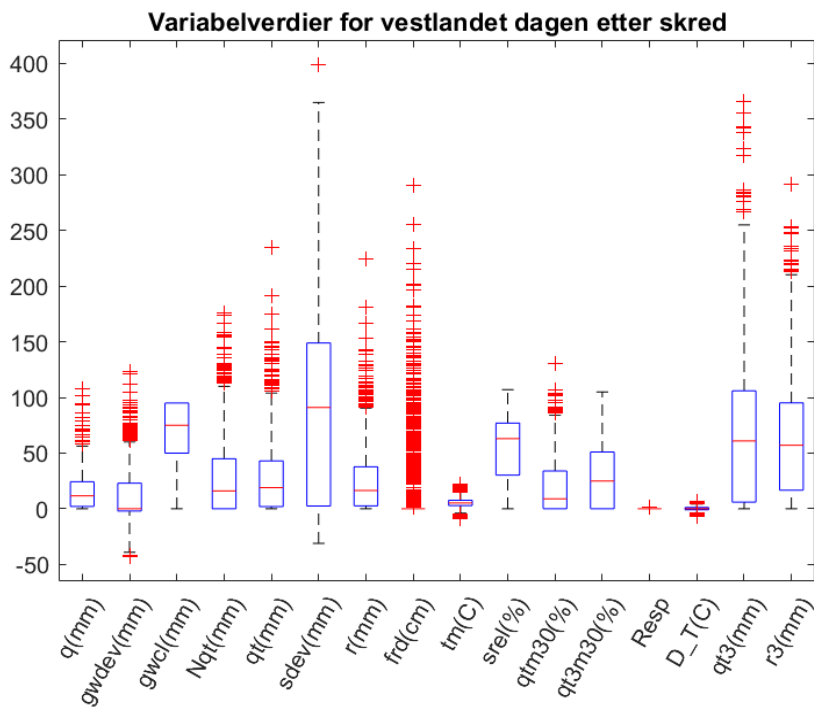
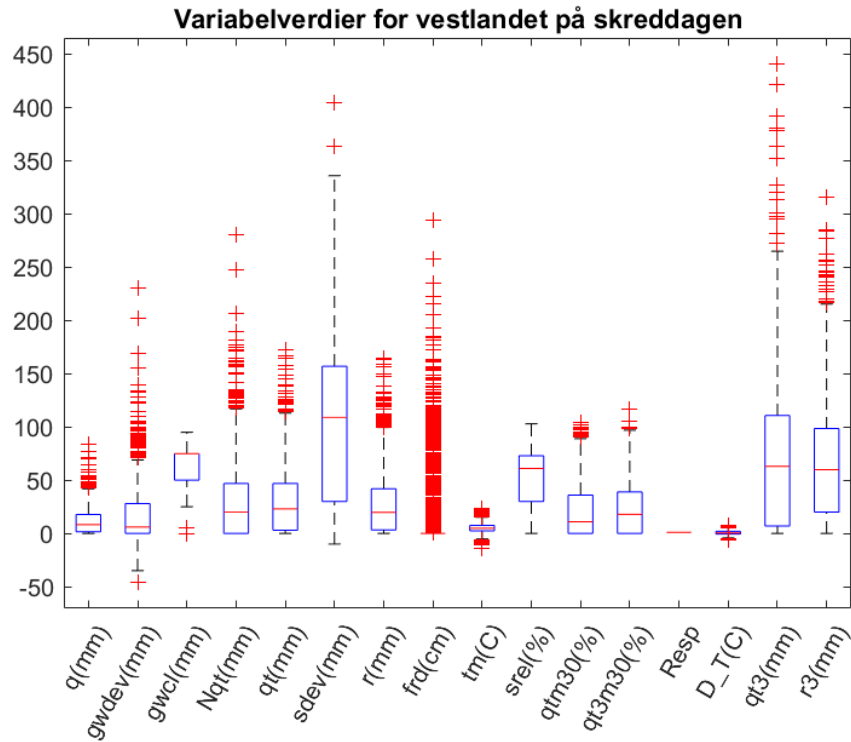


Figur 5-27: Venstre: Kart over Hornindal og de skredene som faller innenfor alle REGINE-enheter rundt Hornindal. Høyre: Skredene som faller innenfor REGINE-enheten som omfatter studieområdet.

5.2.1.1 Skreddager

Variabelverdier på skredene i området er gjengitt i boksplokk over alle variablene på skreddagen og dagen etter (Figur 5-28).

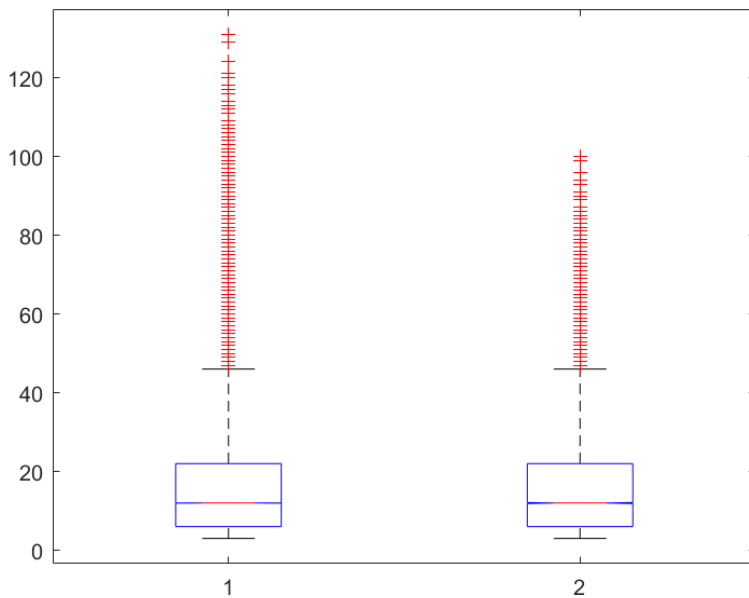
- Medianen til 3-dagers vanntilførsel ligger på omtrent 55mm begge dager. For 25% kvantilen ligger verdien på omtrent 5mm begge dager.



Figur 5-28: Boksplott over hydrometeorologiske verdier på skreddagen og dagen etter skredhendelsene på Vestlandet. 50% av hendelsene befinner seg innenfor den blå boksen. Den røde streken i boksen representerer medianen. Rødt kors er «outliere». Variablene er beskrevet (tabell 1). «Resp» er responskolonnen og består av verdiene 0 og 1. Y-aksen dekker både % og mm.

5.2.1.2 Referansedager

Det ble tatt 20 sampel på 20 ikke skreddager for hvert av skredene som har blitt tatt med. Sampelet som benyttes til analysen sin mest ekstreme verdi er omtrent 100% (Figur 5-29). Ved de 20 samplene er den mest ekstreme verdien 125%. Referansedagssampelet ble funnet til å ha en p-verdi 0,70 ved å utføre en Kruskal-Wallis test. Dette er innenfor forkastningsnivået på 0,05 og utvalget blir derfor benyttet til analysen.



Figur 5-29: Boksplott over referansedager ved qt3m30 (%) for Vestlandet. Sampelet 1 representerer de 10 samplene som er slått sammen. Sampelet 2 er sampelet som ble benyttet til analysen

5.2.1.3 Univariat analyse

Fra den univariate analysen ble det funnet at beste predikatoren var tre dager akkumulert vanntilførsel (Tabell 5-16).

Tabell 5-16: Tabell over den univariate analysen av Vestlandet. Modellene blir bedømt etter AUC og deretter TNR/TPR

Variabel 1	AUC	Terskel 1	Terskel 2	TNR/TPR
qt3mx30	0,68	41,5%	>87,5	100/3
D_t	0,51	*	-	100/0
frd	0,49	*	-	100/0
Nqt	0,63	52,5mm	76,5mm	99/13
gwcl	0,49	-	-	100/0
gwdev	0,65	21,5mm	48,5 (79,5mm)	100/6
qtmx30	0,64	>39,5%	>62,5%	100/13
q	0,62	>23,15mm	>68mm	100/1
qt	0,64	44,5mm	>78,5mm	100/11
qt3	0,68	97,5mm	145,5mm	99/10
r	0,62	43,85mm	74,45mm	100/11
r3	0,67	87,05mm	127,05mm	99/14
sdev	0,57	65,5mm	33,5mm	100/6
srel	0,60	>79,5%	>86,5%	>99/11
tm	0,50	-	-	100/0

5.2.1.4 Bivariat analyse

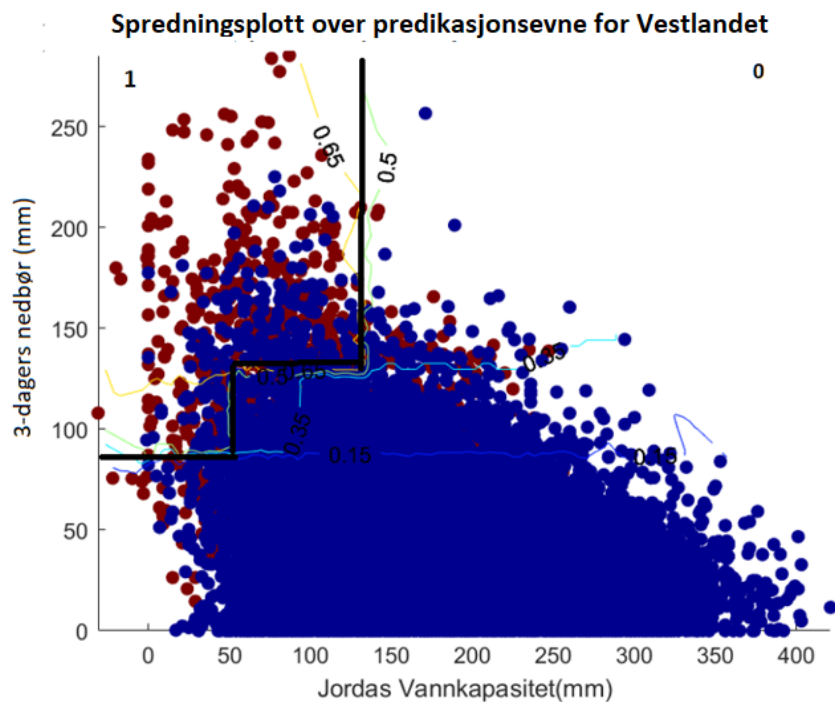
Fra den bivariate analysen ble tre-dagers nedbør og vannkapasitet funnet å være den beste variabelkombinasjonen for området (Tabell 5-17).

Tabell 5-17: Tabell over variabelkombinasjonene som presterer best for skred på Vestlandet.

Variabel 1	Variabel 2	TNR/TPR100	AUC100	TNR/TPR4	AUC4
RR3.	SSSDEV	99/23	0,81	99/17	0,66
QTTMAX30.	QTT3	99/22	0,81	99/13	0,65
RR3.	SSSREL	99/20	0,81	99/19	0,72
QTT3.	SSSREL	99/19	0,81	99/19	0,69
RR3.	FRD	99/18	0,81	99/18	0,67
RR3.	Q	99/17	0,81	99/15	0,67
RR3.	Delta_T	99/17	0,81	98/18	0,67
QTT3.	GWDEV	99/16	0,81	99/15	0,68
RR3.	RR	99/16	0,81	99/15	0,67
RR3.	TEMP	99/16	0,81	99/15	0,67

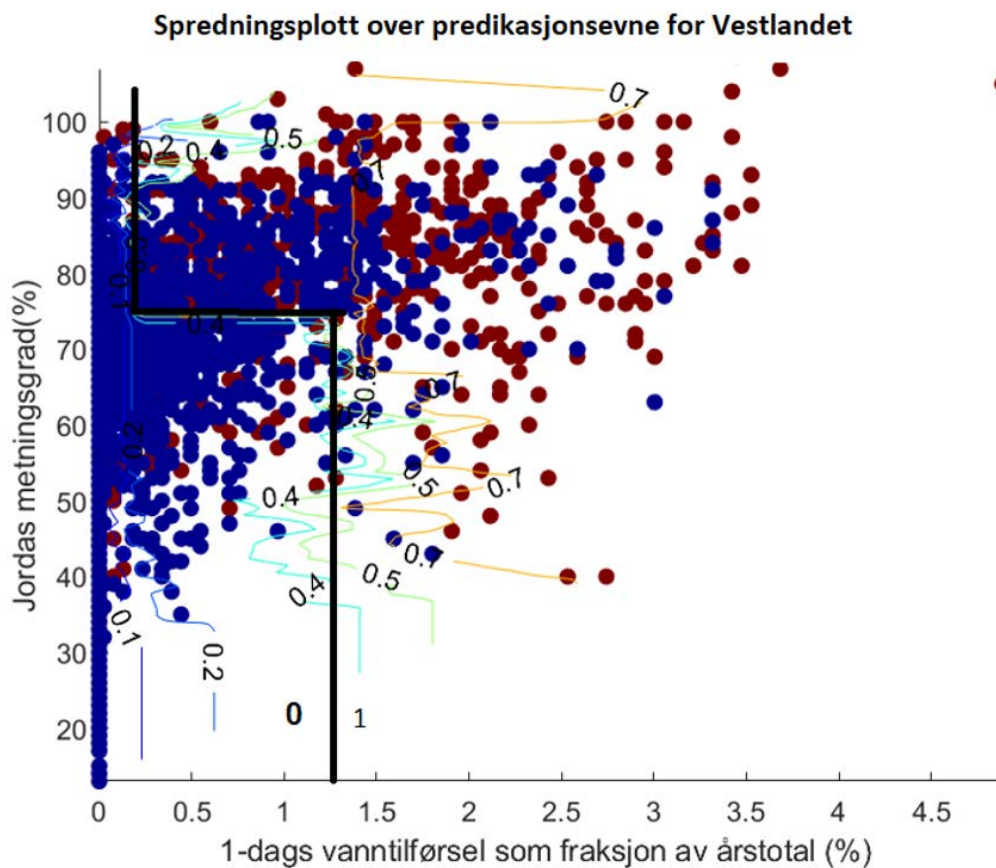
5.2.1.5 Klassifikasjonstrær

For Vestlandet ble den optimale kombinasjonen funnet til å være 3-dagers nedbør og vannkapasitet (Figur 5-30). Fra ett standardavvik-regelen ble det funnet at fem noder var den optimale modellen. I praksis var det fire noder av betydning, siden to noder overlappet hverandre. Det første splittkriteriet var her 3-dagers nedbør med en terskel på 87mm. Ved verdier over 127.05mm nedbør og verdier lavere enn 134mm vannkapasitet predikeres det skred. Ved 3-dagers nedbør lavere enn 127.05mm og vannkapasitet lavere enn 49.5mm predikeres det skred.



Figur 5-30: Et spredningsplottet av alle hendelsene på Vestlandet. Linjene representerer sannsynligheten for korrekt predikasjon av skreddager. Blå punkter representerer referansedager og røde punkter representerer skreddager. De sorte linjene representerer tersklene funnet fra klassifikasjonstree. 1 representerer hvor det predikeres skred, mens 0 er referansedager.

For treet som anvender variabelkombinasjonen som benyttes i det regionale skredvarselet, ble det optimale valget funnet til å ha tre noder (Figur 5-31) . Dette ble gjort med ett standardavvikregelen. Rotnoden har her en terskel på 0,15 prosent vanntilførsel av årlig normal. Ved lavere verdier predikrer treet en referansedag. Ved høyere verdier predikeres det skred når metningsgraden er over 73.5 %. Ved verdier av vanntilførsel over 1.35%, spås det skred i alle tilfeller.



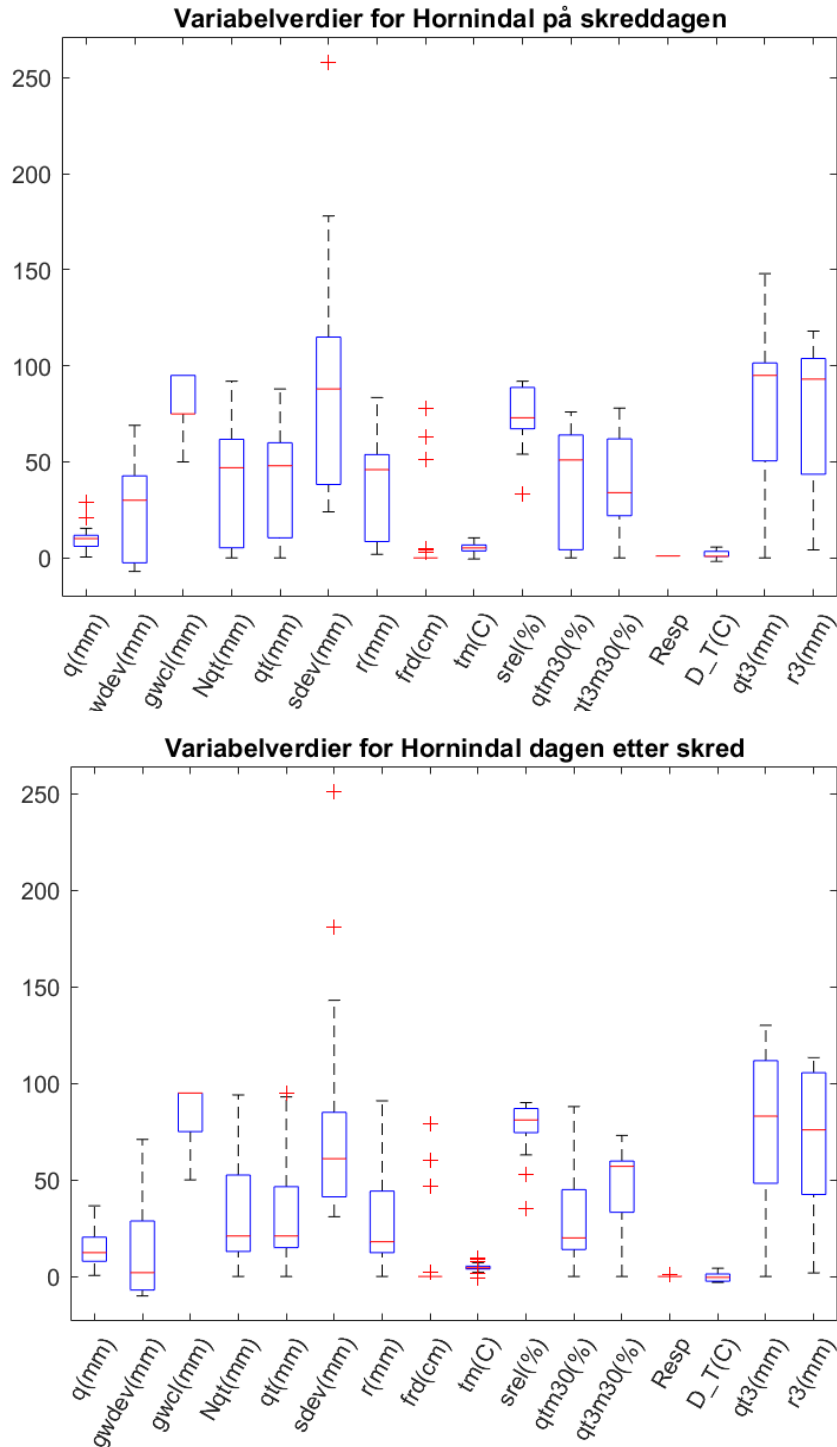
Figur 5-31: Et spredningsplottet av alle hendelsene på Vestlandet. Linjene representerer sannsynligheten for korrekt predikasjon av skreddager. Blå punkter representerer referansedager og røde punkter representerer skreddager. De sorte linjene representerer tersklene funnet fra klassifikasjonstreeet. 1 representerer et området hvor det predikeres skred, mens 0 er referansedager. Variablene er de samme som benyttes i den regionale varsling.

5.2.2 Hornindal

5.2.2.1 Skreddager

Variabelverdier på skredene i området er gjengitt i boksplokk over alle variabelene på skreddagen og dagen etter (Figur 5-32).

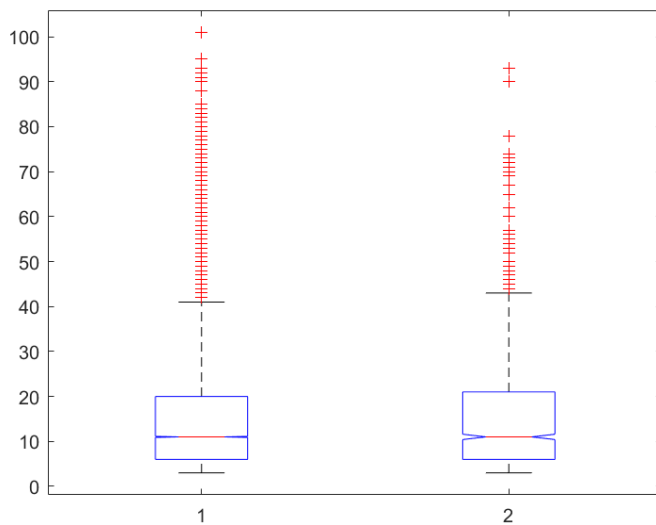
- Nedbør over tre dager(r_3) her en median på 95mm på skreddagen og dagen etter. For 25% kvantilen er verdien omtrent 40mm begge dagene.



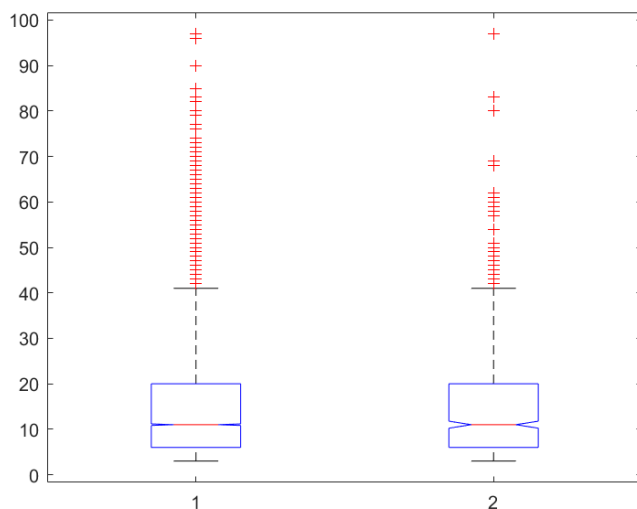
Figur 5-32: Boksplott over hydrometeorologiske verdier på skreddagen og dagen etter for skredhendelsene i Hornindal. 50% av hendelsene befinner seg innenfor den blå boksen. Den røde streken i boksen representerer medianen. Rødt kors er «outliere». Variablene er beskrevet (tabell 1). «Resp» er responskolonnen og består av verdiene 0 og 1. Y-aksen dekker både % og mm.

5.2.2.2 Referansedager

Det ble tatt 20 sampel på 50 ikke-skreddager for hvert av de 30 skredene. Skredsampelet har en p-verdi på 0,80 ved å utføre en Kruskal-Wallis test ved 20 referansedager (Figur 5-33). Ved 50 referansedager ble p-verdien beregnet til å være 0,51(Figur 5-34). Dette er innenfor forkastningsnivået på 0,05 og utvalget blir derfor benyttet til analysen.



Figur 5-33: Boksplott over ikke-skreddager av qt3m30 (%) for Hornindalen med 20 referansedager per skredhendelse. Sampel 1 representerer de 10 samplene som er slått sammen. Sampel 2 er sampelet som ble benyttet til analysen



Figur 5-34: Boksplott over ikke-skreddager av qt3m30 (%) for Hornindalen med 50 referansedager per skredhendelse. Sampel 1 representerer de 10 samplene som er slått sammen. Sampel 2 er sampelet som ble benyttet til analysen

5.2.2.3 Univariat analyse

Variablene med høyest AUC var 3-dagers nedbør ved bruk av 20 referansedager (Tabell 5-18). Terskelen var i dette tilfellet 80.5mm. Ved å benytte 50 referansedager ble også her 3-dagers nedbør bedømt til å være den optimale variabelen (Tabell 5-19) . Terskelen var her 102,7 mm.

Tabell 5-18: Tabell over den univariate analysen av Hornindalen med 20 referansedager. Modellene vurderes etter AUC, deretter TNR/TPR

Variabler	AUC	Terskel 1	Terskel 2	TNR/TPR
3mx30	0,65	49,5	-	98/43
Delta T	0,61	0,2	*	100/2
frd	0,51	-	-	100/0
Nqt	0,70	50,5	-	100/47
gwcl	0,48	-	-	100/0
gwdev	0,70	38,5	-	99/43
mx30	0,70	43,5	-	99/40
q	0,70	-	*	99/0
qt	0,66	44,5	-	99/45
qt3	0,75	80,5	-	98/52
r	0,70	42,5	-	99/48
r3	0,80	83,9	-	98/69
sdev	0,59	43	-	100/29
srel	0,63	84,5	-	100/27
tm	0,51	-	-	100/0

Tabell 5-19: Tabell over den univariate analysen av Hornindalen med 50 referansedager. Modellene vurderes etter AUC, deretter TNR/TPR

Variabler	AUC	Terskel 1	Terskel 2	TNR/TPR
3mx30	0,70	>49.5	66.5>	99/27
Delta T	0,55	-	*	100/2
frd	0,47	-	-	100/0
gwb_qtt	0,64	44,5	-	99/34
gwtdcl	0,47	-	-	100/0
gwtddev	0,59	29	-	100/34
mx30	0,65	43,5	-	99/41
q	0,72	9,85	*	100/0
qt	0,67	44,5	-	99/43
qt3	0,72	-	*	100/16
r	0,66	42,5	-	99/48
r3	0,79	>83,65	>102,7	99/40
sssdev	0,64	41,5	-	99/29
sssrel	0,62	84,5	-	100/32
Temp	0,47	-	-	100/0

5.2.2.4 Bivariat analyse

Fra den bivariate analysen ble tabeller over de ti mest optimale kombinasjonen, både for 20 og 50 referansedager, opprettet. I tillegg er prestasjonsnivået for den optimale variabelkombinasjonen for Vestlandet og Hornindal (50) inkludert. For 20 referansedager ble variabelkombinasjonen 3-dagers nedbør og temperaturforskjell funnet til å være optimalt. Deretter fulgte 1-dags vanntilførsel relativ til 30-års maksimum og metningsgrad (Tabell 5-20). For 50 referansedager ble kombinasjonen 3-dager vanntilførsel og metningsgrad bedømt til å være den beste kombinasjonen (Tabell 5-21).

Tabell 5-20: Tabell over variabelkombinasjonene som presterer best for skred i Hornindal med 20 referansedager. Grønt felt representerer den optimale modellen for datasettet med 50 referansedager.

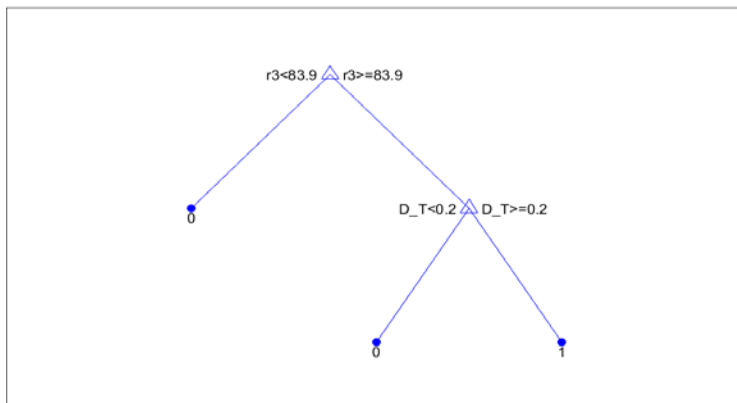
Variabel 1	Variabel 2	100 Noder	AUC100	4 Noder	AUC4
R3	D_T	99/62	0,89	98/62	0,84
QTM30.	SREL	>99/60	0,89	99/59	0,79
NQT	D_T	99/57	0,89	99/48	0,7
QT3	QT	99/57	0,88	99/53	0,78
QTM30.	De_T	98/57	0,88	99/41	0,82
QT3M30.	Delta T	98/64	0,87	98/60	0,79
QT3.	Delta T	99/64	0,87	99/60	0,79
R3.	tm	99/64	0,87	99/62	0,83
QT3M30.	SDEV	98/60	0,87	99/41	0,67
QTT3	SDEV	99/62	0,86	99/60	0,81
QTT3	SREL	99/60	0,84	99/62	0,83
RR3	SDEV	98/64	0,83	99/69	0,84

Tabell 5-21: Tabell over variabelkombinasjonene som presterer best for skred i Hornindal med 50 referansedager

Variabel 1	Variabel 2	100 Noder	AUC100	4 Noder	AUC4
QT3	SREL	99/41	0,92	99/32	0,77
QT3	FRD	>99/50	0,89	99/52	0,74
R3.	SREL	99/57	0,89	99/50	0,81
QT3	SDEV	99/48	0,88	99/41	0,78
RR	SSSDEV	99/52	0,88	99/59	0,76
RR3.	TEMP	99/55	0,87	99/57	0,8
RR3.	Delta_T	99/52	0,87	98/57	0,74
RR	SSSREL	>99/52	0,87	99/63	0,76
GWB QTT	RR3	99/55	0,86	98/39	0,79
QTT	SSSREL	99/57	0,85	>99/63	0,76
QTM30	SREL	>99/61	0,82	99/36	0,7
RR3	SDEV	99/55	0,77	99/52	0,67

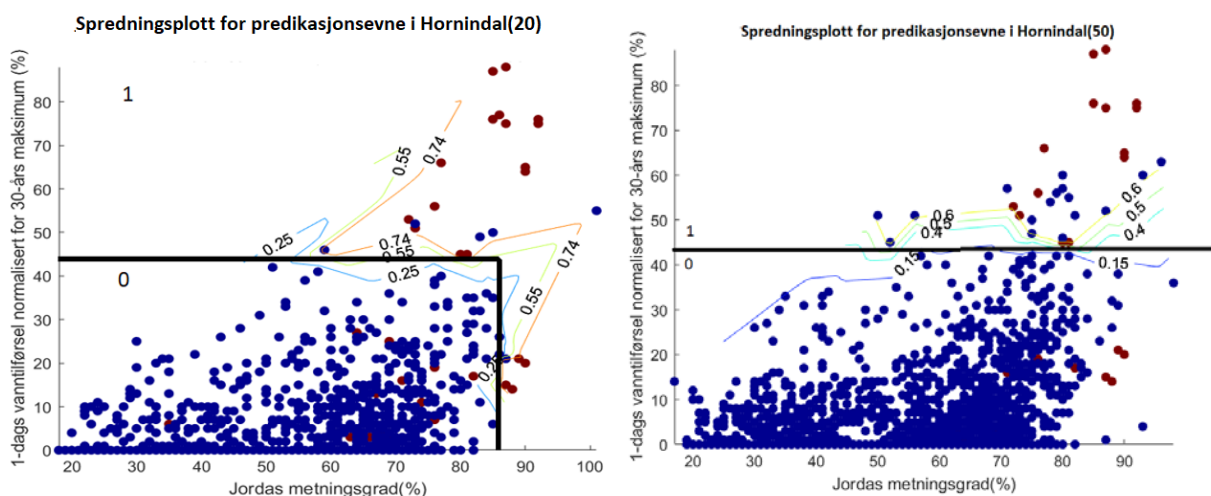
5.2.2.5 Klassifikasjonstrær

Fra den bivariate analysen av datasettet med 20 referansedager, ble 3-dagers nedbør og temperaturforskjell funnet til å være modellen som presterte best. Dybden er bestemt av ett-standardavvikregelen og består av to noder. Ved å tilpasse et tre til dataen med ett standardavvik-regelen finner man at splittkriteriet til rotnoden er 83.9mm. Videre er splittkriteriet til temperaturforskjellen 0.2C (Figur 5-35).



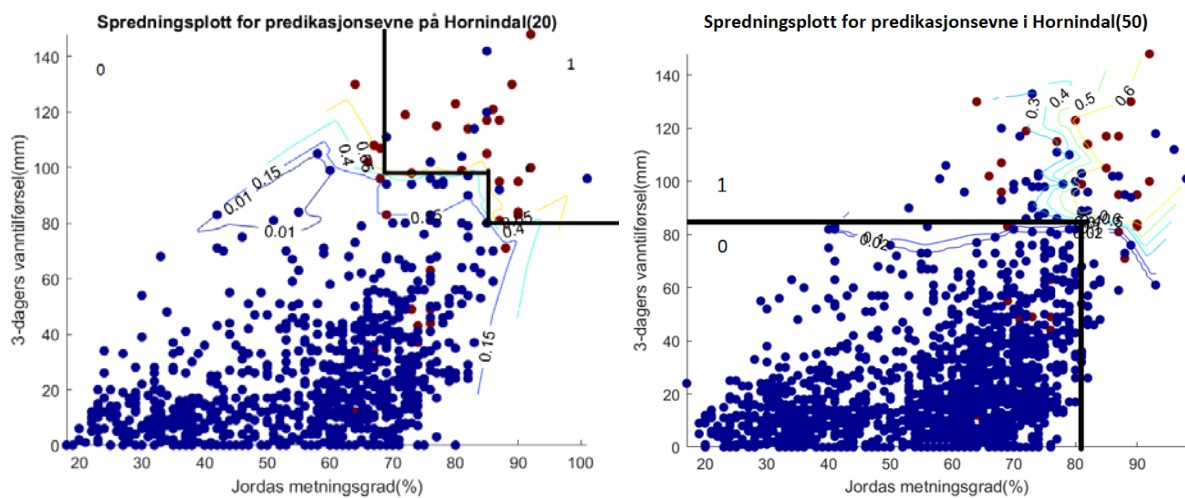
Figur 5-35: Treet med høyest score i den bivariate analysen av Hornindalen med 20 referansedager.

Variabelkombinasjonen med nesthøyest score med 20 referansedager var metningsgrad og 1-døgns vanntilførsel relativ til 30-års maksimum (Figur 5-36). Dybden er bestemt av ett-standardavvikregelen og består av to noder. I rotnoden finner man relativ vanntilførsel, hvor splittkriteriet er 43.5%. Ved overskridelse predikeres det skred. Ved lavere verdier predikeres det skred med metningsgrad som overstiger 86,5%. Ved å benytte datasettet med 50 referansedager fant man en univariat modell som best egnet. Her var det én terskel på 43.5% relativ vanntilførsel (Figur 5-36).



Figur 5-36: Et spredningsplottet av alle hendelsene på Hornindalen med 20 referansedager per skredhendelse.. Linjene representerer sannsynligheten for korrekt predikering av skreddager. Blå punkter representerer referansedager og røde punkter representerer skreddager. Sorte linjer er tersklene.

Den mest optimale variabelkombinasjonen fra den bivariate analysen med 50 referansedager var 3-dagers vanntilførsel og metningsgrad. Dybden er bestemt av ett-standardavvikregelen og består av to noder. Rotnoden har et splittkriterie på 82.5mm vanntilførsel over tre dager. Om metningsgraden i tillegg er over 79.5%, predikeres det skred (Figur 5-37). Ved å benytte datasettet til 20 referansedager fant man et tre fire noder. Rotnoden var 3-dagers vanntilførsel og var satt til 80,5 mm. Ved lavere verdier ble det predikert referansedag. Ved metningsgrad over 62% og vanntilførsel over 97,5 mm, spås det skred. Ved lavere verdier spås det skred om metningsgraden er over 84.5 % (Figur 5-37).



Figur 5-37: Et spredningsplottet av alle hendelsene på Hornindalen med 50 referansedager per skredhendelse. Linjene representerer sannsynligheten for korrekt predikasjon av skreddager. Blå punkter representerer referansedager og røde punkter representerer skreddager. Sort linje representerer terskler

Når den samme variabelkombinasjonen som for Vestlandet og 20 referansedager per skredhendelse får man et tre med tre noder. Rotnoden har et splittkriterium på 83.9mm nedbør over tre dager. Ved lavere verdier spås det skred om vannkapasiteten er lavere enn 42.5mm. Ved høyere verdier spås det skred om vannkapasiteten er 127.5mm.

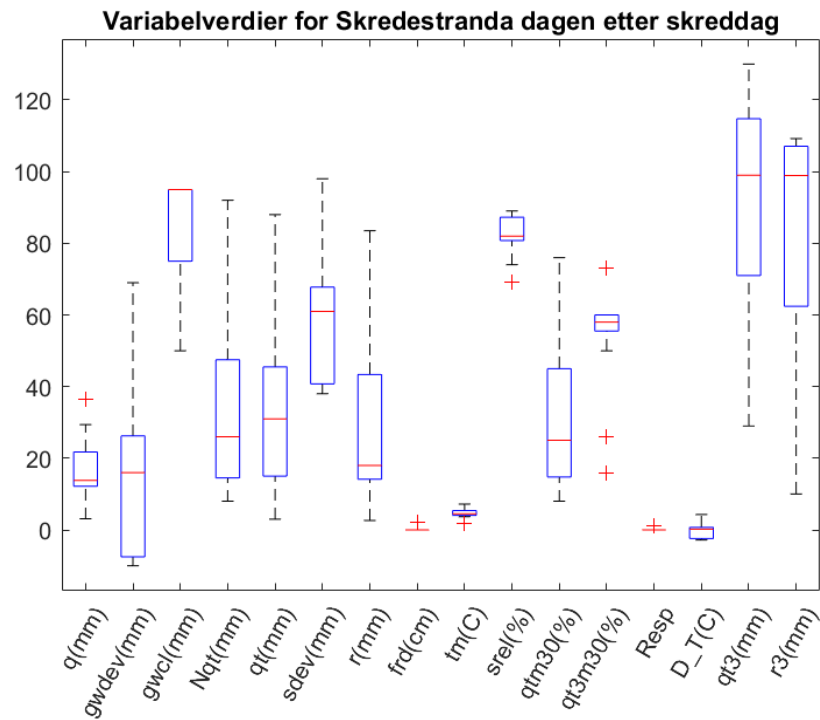
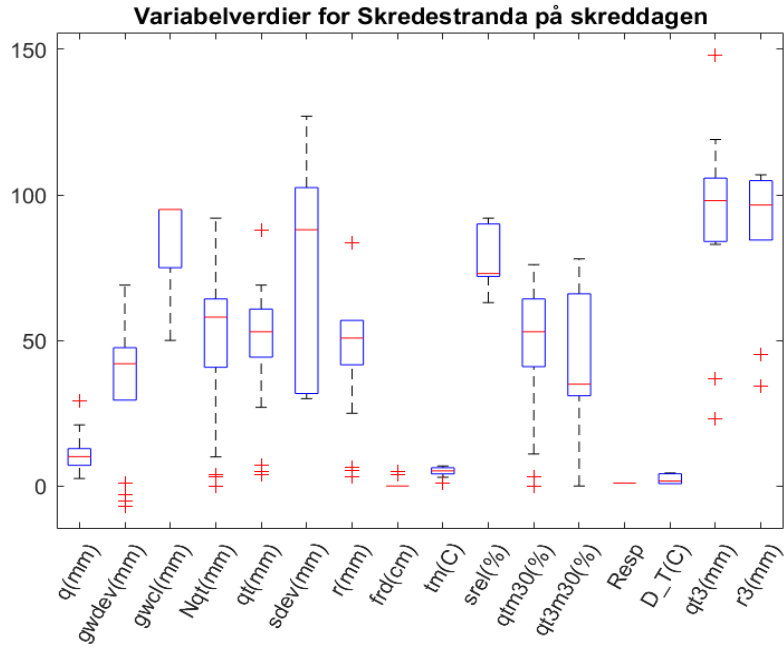
Ved å utføre den samme operasjonen, men med 50 referansedager, er rotnoden satt til 83.65mm nedbør. Ved lavere verdier behøves det 41.5mm vannkapasitet for skred. For høyere verdier predikeres det skred ved verdier lavere enn 149mm vannkapasitet

5.2.3 Skredestranda

5.2.3.1 Skreddager

Variabelverdier på skredene i området er gjengitt i boksplokk over alle variablene på skreddagen og dagen etter (Figur 5-38).

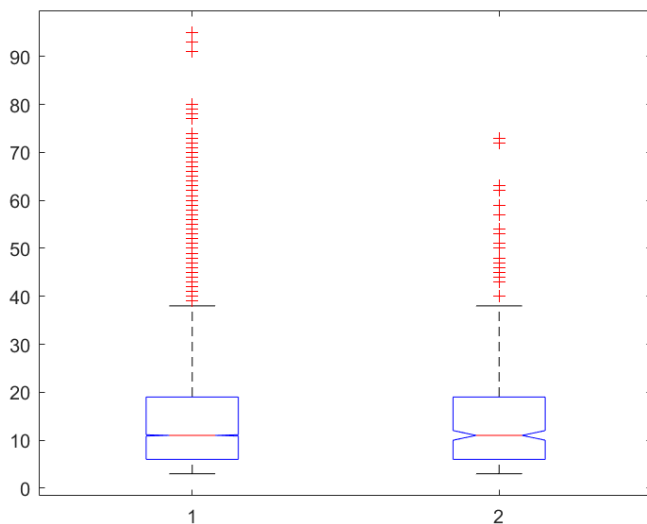
- Vanntilførsel over tre dager er på ca 100 mm begge dager. 25% kvantilen er for skreddagen på omtrent 85mm og 75mm dagen etter.



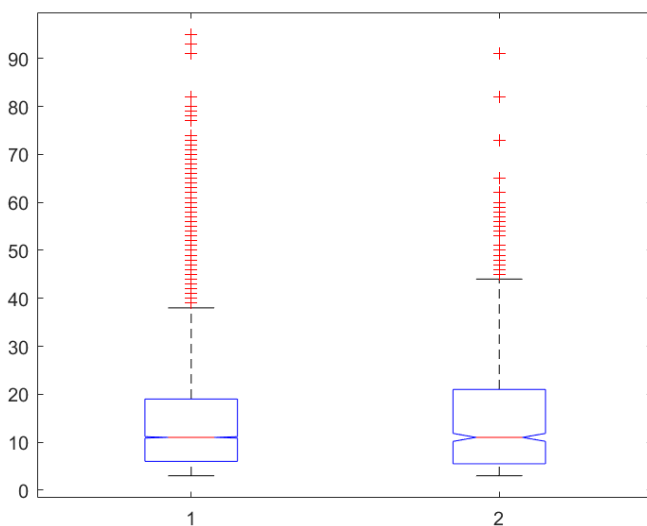
Figur 5-38: Boksploott over hydrometeorologiske verdier på skreddagen og dagen etter for skredhendelsene i Hornindal. 50% av hendelsene befinner seg innenfor den blå boksen. Den røde streken i boksen representerer medianen. Rødt kors er «outliere». Variablene er beskrevet (tabell 1). «Resp» er responskolonnen og består av verdiene 0 og 1. Y-aksen dekker både % og mm.

5.2.3.2 Referansedager

Det ble tatt 20 sampel på 50 og 20 ikke-skreddager for hvert av de 17 skredene. Sampelet med 20 referansedager har en p-verdi 0,76 ved å utføre en Kruskal-Wallis test (Figur 5-37) Med 50 referansedager finner man en p-verdi på 0,4652 (Figur 5-38) Dette er innenfor forkastningsnivået på 0,05 og utvalgene blir derfor benyttet til analysen.



Figur 5-40: Boksploott over ikke-skreddager av qt3m30 (%) for Skredestranda (20 referansedager). Sampel 1 representerer de 10 samplene som er slått sammen. Sampel 2 er sampelet som ble benyttet til analysen



Figur 5-39: Boksploott over ikke-skreddager av qt3m30 (%) for Skredestranda (50 referansedager). Sampel 1 representerer de 10 samplene som er slått sammen. Sampel 2 er sampelet som ble benyttet til analysen

5.2.3.3 Univariat analyse

For den univariate analysen av 20 referansedager gir 3-dagers vanntilførsel høyeste AUC på 0,82 (Tabell 5-22). Terskelen er i dette tilfellet 80,5 mm. Med 50 referansedager ble også her 3-dagers vanntilførsel funnet til å være den optimale variabelen med AUC på 0,8 (Tabell 5-23). Terskelen er her 94 mm.

Tabell 5-22: Tabell over prestasjonsnivå til univariate modeller for Skredestranda (20)

Variabel	AUC	Terskel 1	Terskel 2	TNR/TPR
3mx30	0,77	56,5%	-	97/51
Delta T	0,68	>4,15	<4,55	99/24
frd	0,59	>5,5	>1,5	>99/0
Nqt	0,73	44,5mm	-	100/63
gwcl	0,46	-	-	100/0
gwdev	0,74	29,5mm	-	99/51
qtM30	0,73	44,5%	-	100/63
q	0,71	>11,95	>27,55&<13,85mm	97/30
qt	0,72	44,5mm	-	99/63
qt3	0,82	80,5mm	-	97/75
rr	0,79	41,95mm	-	99/63
rr3	0,79	83,05	-	97/60
ssdev	0,72	61,5mm	-	99/42
ssrel	0,71	86,5	-	99/40
Temp	0,74	>7,25C	*	100/0

Tabell 5-23: : Tabell over prestasjonsnivå til univariate modeller for Skredestranda (50)

Variabel	AUC	Terskel 1	Terskel 2	TNR/TPR
3mx30	0,67	56,50 %	-	98/48
Delta T	0,59	>4,15C	<4,65C	100/21
frd	0,49	-	-	100/0
Nqt	0,72	44,5mm	-	99/60
gwcl	0,46	-	-	100/0
gwdev	0,72	29,5mm	-	100/57
mx30	0,72	44,50 %	-	99/63
q	0,73	35,45mm	-	100/3
qt	0,69	44mm	-	98/60
qt3	0,90	94mm	80,5mm	99/48
r	0,79	42,85mm	-	99/57
r3	0,88	96,4mm	-	99/48
sssdev	0,70	41,5mm	-	99/39
sssrel	0,64	86,5	-	99/40
Temp	0,46	-	-	100/0

5.2.3.4 Bivariat analyse

Den bivariate analysen for 20 referansedager fant at variabelkombinasjonen 3-dagers vanntilførsel og 1-dags vanntilførsel ga det beste resultatet (Tabell 5-24). Deretter fulgte 3-dagers vanntilførsel relativ til 30-års maksimum og avrenning. For analysen for 50 referansedager ble variabelkombinasjonen 3-dagers nedbør og døgnendring i grunnvann funnet til å være den beste kombinasjonen. Deretter fulgte 3-dagers vanntilførsel og metningsgrad (Tabell 5-25).

Tabell 5-24: Tabell over de 10 variabelkombinasjonene som presterer best for skred ved Skredestranda. Datasettet har 20 referansedager per skreddag.

Variabel 1	Variabel 2	TNR/TPR100	AUC100	TNR/TPR4	AUC4
QTT3MAX30.	QTT(GWB)	99/82	0,94	98/76	0,86
QTT3.	Q	99/55	0,94	99/82	0,83
QTT3MAX30.	Q	99/55	0,94	99/42	0,75
QTT3MAX30.	RR	99/76	0,93	99/76	0,86
QTT3.	SSSREL	99/76	0,93	99/76	0,9
QTT3MAX30.	FRD	99/67	0,93	99/58	0,76
SSSDEV	Delta_T	99/64	0,93	100/39	0,65
QTT3.	FRD	99/79	0,92	98/85	0,91
QTTMAX30.	RR3	99/79	0,92	99/67	0,9
RR	SSSDEV	99/76	0,92	99/76	0,85
RR3	GWDEV	99/88	0,91	99/88	0,91
RR3	SSSDEV	99/82	0,87	98/85	0,87

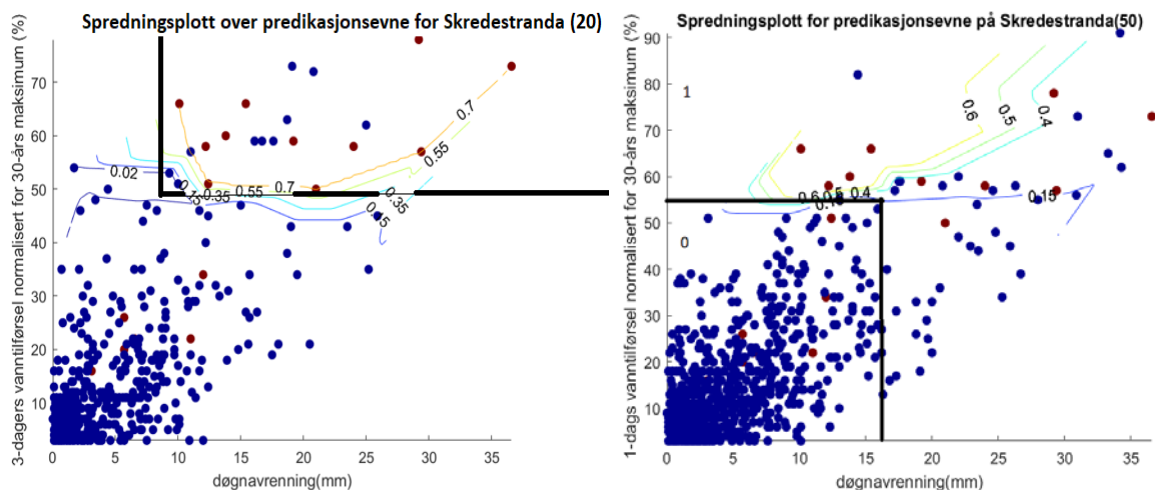
Tabell 5-25: Tabell over de 10 variabelkombinasjonene som presterer best for skred ved Skredestranda. Datasettet har 50 referansedager per skreddag.

Variabel 1	Variabel 2	100 Noder	AUC100	4 Noder	AUC4
RR3.	GWTDEV	98/85	0,94	99/70	0,78
QTT3.	SSSREL	99/82	0,94	99/73	0,88
QTTMAX30.	SSSDEV	99/76	0,93	99/79	0,85
RR	TEMP	98/67	0,93	99/48	0,8
QTT3MAX30.	RR	99/76	0,92	99/70	0,84
GWB QTT	RR3	98/76	0,92	99/67	0,77
RR3.	GWTCL	99/67	0,92	99/52	0,84
RR3.	RR	99/82	0,92	99/64	0,76
RR3.	Delta_T	98/79	0,92	99/52	0,8
QTT	SSSREL	98/82	0,91	98/67	0,79
QTT3MAX30.	Q	99/52	0,86	99/33	0,71
RR3	SSSDEV	99/79	0,86	99/85	0,89

5.2.3.5 Klassifikasjonstrær

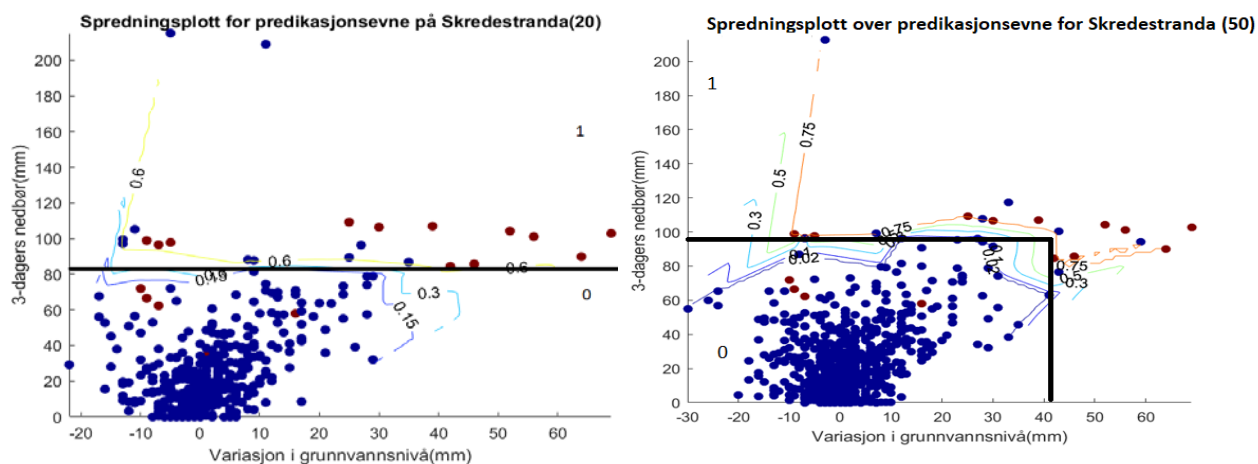
Den mest optimale kombinasjonen var distribuert vanntilførsel og 3-dagers vanntilførsel relativ til 30-års maksimum den høyeste scoren. Det minste mulige treet som ikke var univariat hadde fire noder. Ved verdier lavere enn 44.5mm vanntilførsel predikeres det skred ved vanntilførsel som er lavere enn 28.5mm. Videre var 3-dagers vanntilførsel og avrenning modellen med nest høyest score. Treet med færrest noder, som ikke var univariat, ga terskler for avrenning hvor verdier under 7.15mm og over 9.7mm predikerte skred.

Deretter fulgte variabelkombinasjonen 3-dagers vanntilførsel relativ til 30-års maksimum og avrenning (Figur 5-41). Det optimale treet ble valgt med ett-standardavviksregelen. Det påfølgende treet hadde to noder. Rotnoden skiller dagene på 49% relativ vanntilførsel. Ved avrenningsverdier over 10.05mm predikeres det skred. Ved å benytte datasettet med 50 referansedager foreslås et tre hvor rotnoden har 56.5% relativ vanntilførsel. Om i tillegg avrenning er over 16.3mm, spår modellen skred.



Figur 5-41: Et spredningsplottet av alle hendelsene på Skredestranda med 20 referansedager per skredhendelse. Linjene representerer sannsynligheten for korrekt predikering av skreddager. Blå punkter representerer referansedager og rød punkter representerer skreddager. Sorte linjer representerer tersklene som ble funnet.

Den optimale variabelkombinasjonen for datasettet med 50 referansedager ble funnet til å være 3-dagers nedbør og døgnvariasjon i grunnvann. Tredybden ble valgt manuelt. Optimal dybde ble dømt til å være to noder. Terskelen i rotnoden er på 96.4mm nedbør over 3 dager. Ved høyere verdier predikeres skred. Ved lavere verdier spås det skred ved grunnvannsvariasjon som er høyere enn 41.5mm (Figur 5-40). Ved å benytte datasettet med 20 referansedager finner man et tre med en node. Dette er 3-dagers nedbør på 83.05 mm.



Figur 5-42: Et spredningsplottet av alle hendelsene på Skredestranda med 50 referansedager per skredhendelse. Linjene representerer sannsynligheten for korrekt predikasjon av skreddager. Blå punkter representerer referansedager og røde punkter representerer skred. Sorte linjer representerer terskler

Ved å benytte variabelkombinasjonen som var mest egnet for Vestlandet og 20 referansedager, ble et tre med to noder generert. Rotnoden har en terskel på 83.05mm nedbør. Ved lavere nedbørsverdier spås det skred om vannkapasiteten i tillegg er 42.05mm. For 50 referansedager genereres et tre med to noder. Rotnoden har en terskel på 96,4mm nedbør over tre dager. Ved verdier lavere enn terskelen spås det skred om vannkapasiteten i tillegg er 41.5mm.

5.3 Oppsummering av terskler

Tersklene som ble funnet i resultatene ble oppsummert for å forenkle sammenligningen mellom tersklene (Tabell 5-26, Tabell 5-27, Tabell 5-28). I tillegg er rangeringsverdier og terskler fra modeller som ikke nødvendigvis var blant de 10 beste variabelkombinasjonene blitt lagt til Tabell 5-28.

Tabell 5-26: Oppsummering av de optimale univariate tersklene for hvert område. AUC er «Area Under Curve», TNR/TPR er sann negative rate og Sann positiv rate. 25% kvartil og 25% kvantil F er kvantilene på og etter skredet henholdsvis

Område	Univariat terskel	AUC	TNR/TPR	25% kvantil	25% kvantil E
Gudb.2000-2017	55,35mm(r3)	0,83	99/69	35mm	17.5mm
Gudb.2000-2010	51.mm(qt3)	0,55	99/24	8mm	1mm
Gudb.2000-2012	54mm(r3)	0,75	99/50	20mm	10mm
Sørstrand-Ringebu	58.85mm(r3)	0,82	99/68	45mm	45mm
Ringebu u/ ekstrem	58,8mm(r3)	0,68	99/36	15mm	10mm
Ringebu REGINE	53,53mm(rr3)	0,65	99/35	40mm	30mm
Vestlandet	145mm(qt3)	0,66	99/14	1mm	1mm
Hornindal (20)	83,9mm(r3)	0,75	98/57	40mm	40mm
Hornindal (50)	83,6mm(r3)	0,73	99/32	40mm	40mm
Skredestranda (20)	80,5mm(qt3)	0,79	97/76	85mm	75mm
Skredestranda (50)	80,5mm(qt3)	0,78	99/50	85mm	75mm

Tabell 5-27: Oppsummering av terskler fra den optimale variabelkombinasjonen for hvert område. Variabelkombinasjonen finner man i parentesene. AUC er «Area Under Curve», TNR/TPR er sann negative rate og Sann positiv rate. «><» forteller hva som skal til for at et skred skal gå med den tilhørende fargen. I tilfellet av Vestlandet her så går f.eks skred ved 134.5 mm sdev kun om nedbøren er over 127 mm.

Område	Terskel 1	Terskel 2	Terskel 3 (4)	AUC	TNR/TPR
Gudb.2000-2017	55,35mm(r3)	87,5m(sdevl)	>41,5% (81,45mm(r3))	0,83	99/64
Gudb.2000-2010	24,5mm(sdev)	5mm(r3)	>30.6(<32.15mm)(r3)	0,78	0,56
Gudb.2000-2012	54mm(r3)	<96mm(sdev)	-	0,75	99/50
Sørstrand-Ringebu	58,85mm(r3)	41,5%(srel)	-	0,82	99/68
Ringebu u/ ekstrem	58,8mm(r3)	97,5%(srel)	-	0,62	99/30
Ringebu REGINE	53.35mm(r3)	39,5%(srel)	-	0,65	99/41
Vestlandet	87mm(r3)	127mm (r3)	><127mm (49,5mm(sdev))(134,5mm(sdev))	0,67	99/18
Hornindal (20)	45,5%(qtm30)	86.5%(srel)	-	0,78	98/53
Hornindal (50)	82.5mm(qt3)	79,5%(srel)	-	0,77	99/27
Skredestranda (20)	49%(qt3m30)	10,05mm(q)	-	0,91	99/88
Skredestranda (50)	96,4mm(r3)	41.5(gwdev)	-	0,71	98/47

Tabell 5-28: Oppsummering av alle terskeler hvor variabelkombinasjonen til hovedregionen benyttes for alle underinndelingene. AUC er «Area Under Curve», TNR/TPR er sann negative rate og Sann positiv rate. Når noe er markert oransjet betyr det hvilken verdi det behøves av verdien innenfor parentesene for gi skred. <127mm (49,5mm(sdev)) betyr f.eks ved vannkapasitet som er lavere enn 41.5mm så går skred ved 83.65 mm nedbør.

Område	Terskel 1	Terskel 2	Terskel 3 (4)	AUC	TNR/TPR
Gudb.2000-2017	55,35mm(r3)	87,5m(sdevl)	>87,5m (81,45mm(r3))	0,83	99/64
Gudb.2000-2010	24,5mm(sdev)	5mm(r3)	>30.6(<32.15mm)(r3)	0,77	99/61
Gudb.2000-2012	54mm(r3)	<96mm(sdev)	-	0,75	99/50
Sørstrand-Ringebu	58.85mm(r3)	85%(sdev)	78,83	0,82	99/68
Ringebu (10km)	58,8 mm(r3)	4,5 mm(sdev)	-	0,62	99/30
Ringebu REGINE	53.35mm	140	-	0,65	99/41
Vestlandet	127mm (r3)	<127mm (49,5mm(sdev))	>127mm (134,5mm(sdev))	0,67	99/18
Hornindal (20)	83,9mm(r3)	-	-	0,75	98/57
Hornindal (50)	83,65mm(r3)	<83,65mm(41.5mm(sdev))	>83,65mm(127.5mm(sdev))	0,81	98/61
Skredestranda (20)	83.05mm(r3)	42,05mm(sdev)	-	0,91	97/91
Skredestranda (50)	96,4mm(r3)	41,5(sdev)	-	0,80	98/70

6 Diskusjon

6.1 Skreddager

Valg av skreddager kan virke å være en banal oppgave, men det er flere faktorer som påvirker nøyaktigheten til en registrering. Som nevnt i kapittel 4.2, kan både det meteorologiske døgnet og usikkerheten til en skredobservasjon påvirke nøyaktigheten. I tillegg er det ingen garanti at observasjonene fra regobs.no er helt nøyaktige, siden publikum kan melde inn sine observasjoner. Det ble besluttet å flagge både skreddagen og dagen etter skred for denne oppgaven. Dette ble gjort på bakgrunn av funnene av vanntilførselsverdier for skreddagene og dagene før og etter (Figur 4-3). Grunnen til at den avgjørelsen ble fattet var at forhøyede verdier har høyere sannsynlighet for skred. Dette vil gi flere skredhendelser enn hva som er virkeligheten derimot og kan være opphav til unøyaktigheter. Det er derimot ikke usannsynlig at det går mindre skred i nærheten av skredet i dagene etter hovedskredet har gått og således er kan det gi mening å markere begge dagene. I ettertid har det derimot virket å være mer fornuftig å kun benytte denne metoden på de dagene som er usikre, i stedet for alle dagene i datasettet, som det innledningsvis ble gjort i denne oppgaven for å spare tid grunnet det høye antallet skred.

6.2 Referansedager

I denne oppgaven har referansedagene vært et sentralt tema. Den nasjonale skredvarslingen benytter seg av referansedager som man finner i tiden rundt skredhendelsen (Boje et al. 2014), som forenkler innsamlingsprosessen og man sikrer seg at referansedagen er fra samme periode, som for eksempel vårflom eller perioder på høsten hvor det vanligvis faller mer regn. I statistiske distribusjon er derimot en av antagelsene at datapunktene er uavhengig. Ved å benytte de 14 dagene omkring en skreddag, kan f.eks. de hydrometeorologiske verdiene på skreddagen være påvirket av dagene rundt. I denne oppgaven blir skreddagene valgt vilkårlig innenfor hver celle for hver skredhendelse i et forsøk på å minimere denne effekten. 3-dagers relativ vanntilførsel skulle også være over et visst nivå for å sikre at det ikke inkluderes helt tørre referansedager. I tillegg kan et vilkårlig utvalg fange opp andre ekstreme hendelser i cellens tidsperiode. Et problem med denne metoden vil være områder hvor det er regnesonger og nedbøren er konsentrert til enkelte måneder. Dette er en metode som benyttes i bl.a.

Hendrikx (2014), men da for snøskred. Dette må i så fall vurderes for hvert område på forhånd og man kan inkludere at det vilkårlige utvalget kun skal skje i disse periodene, men i andre år.

Den neste utfordringen med referansedagene var antallet dager som burde inkluderes. I den nasjonale varslingen benyttes det 28 referansedager. Tidligere benyttet varslingen 42, men det ble bedømt til å være for mange (Boje, et al 2014). I denne oppgaven benyttes det 50 referansedager for alle regioner i Gudbrandsdalen, 20 referansedager for Vestlandet samt 50 for de mindre områdene på Vestlandet (20 referansedager ble også testet her). Grunnen til dette er fordi et vilkårlig utvalg vil følge en sannsynlighetsfordeling og for å forsøke å sikre referansedager med ekstremverdier økes antallet. I det etablerte regionale varslet vil ikke dette nødvendigvis være et problem fordi dager rundt et skred kan i mange tilfeller erfare forhøyde verdier. Ved et høyt antall skred, slik som for Vestlandet i denne oppgaven, vil man med høy konfidens se mange ekstreme referansedager i området fordi det trekkes over 35000 dager. Hvis man hadde benyttet 20 referansedager på et område med 10 skred, ville ikke nødvendigvis 200 referansedager vært nok for å få tilstrekkelig med ekstreme referansedager. Derfor foreslås det å justere antall skredhendelser for regionen som blir analysert når man benytter denne metoden. Dette underbygges videre av funnene i foranalysen av regionene (Tabell 5-2)(Tabell 5-15).

6.3 Rangering av variabelkombinasjoner

I denne oppgaven har det blitt benyttet en annen form for rangering av variabelkombinasjoner enn som f.eks. benyttet i den nasjonale varslingen (Boje et al 2014) (Cepeda et al., 2011). Der ble det benyttet en kombinasjon av AUC, feilklassifiseringsrate og vektning av de forskjellige metodene som ble vurdert. I denne oppgaven ble det valgt å kun benytte AUC til treet som ble grodd til sin maksimale lengde og deretter sann positive rate og sann negative rate. Grunnen til at dette ble benyttet var fordi at alle modellene måtte med stor sannsynlighet trimmes ned. Ved å benytte ett-standardavvikregelen for å trimme ned en modell, ville derfor modellen som ble valgt fortsatt være blant modellene med best score, for resultatet vil i utgangspunktet ikke være mer enn ett standardavvik unøyaktig. I ettertid kunne det nok vært bedre å benytte AUC til en enkel modell i stedet for, siden mange av trærne måtte manuelt justeres ned fordi flere av tersklene ikke ga mening i fysisk forstand. Intensjonen om å benytte Sann Negativ(TNR)/Sann positiv rate(TPR) i stedet for feilklassifiseringsrate er fordi man kunne i større grad bestemme hva man ville fokusere på hva som var viktig for modellene i denne oppgaven. Feilklassifiseringsraten sier ikke noe om hvor godt den predikerer de forskjellige

responsene, men i stedet for totalen av begge responsene. I denne oppgaven ble det satt fokus på TPR fordi konsekvensen av å ikke predikere en hendelse som skjer kan medføre større konsekvenser. Falsk alarm er også noe som skal vurderes, hvorpå mange falske alarmer etter hverandre medfører at varslet ikke blir tatt seriøst. Det er derimot bedømt at det er bedre å starte med en høy TPR, for å så nedjustere terskelen, enn å jobbe andre veien ved å justere opp terskelen til at den klarer å predikere korrekt.

6.4 Terskelverdier

6.4.1 Gudbrandsdalen

6.4.1.1 *Univariate terskler*

Fra den univariate analysen av alle tidsperioder for Gudbrandsdalen ble det funnet at 3-dagers nedbør var den viktigste variabelen i nesten alle tilfellene av analysen (Tabell 5-25). En av grunnene til dette er to ekstremhendelser i 2011 og 2013, hvor store mengder nedbør utløste mange skred (Walberg & Devoli, 2014). Det eneste unntaket er Gudbrandsdalen (2000-2010), hvor 3-dagers vanntilførsel ble bedømt til å være viktigst. Selv om 3-dagers nedbør fikk en høyere AUC i dette tilfellet, var det ikke mulig å definere en enkelt terskel, men snarere to terskler som isolerte et spenn av verdier. Verdiene av 3-dagers nedbør var betraktelige lavere i dette tilfellet også, med omtrent 30mm mot 50mm. At vanntilførsel fungerer bedre kan skyldes at straks nedbøren blir sett bort i fra blir snøsmelting en viktigere faktor i regionen. AUC-verdien er derimot ganske lav, med 0,55, noe som indikerer at uten ekstremhendelsene så er det vanskelig å predikere skred i regionen ved å benytte kun én variabel. Bare ved å inkludere ekstremhendelsene i 2011 ser man at 3-dagers nedbør nok en gang har høyest score av variablene, med 0,8 (Tabell 5-7). Terskelen er her nesten lik som den var for hele perioden, med en terskel som er omtrent 1,5mm lavere. Ekstremhendelsene fra 2013 påvirket altså ikke den univariate terskelen nevneverdig. Den høyeste 25% kvantilen gir henholdsvis 35mm for 2000-2017, 8mm for 2000-2010 og 20mm for 2012. Tersklene som ble satt er i alle tilfeller en del høyere enn 25% kvantilen.

Funnene fra de lokale analysene, hvor samtlige av de optimale variablene er 3-dagers nedbør, så heller ikke nevneverdig forskjell i terskler (Tabell 5-26). Sørstrand-Ringebu har en marginalt høyere terskel på 58.85 mm. Terskelen som ble satt for alle REGINE-enheter innenfor 10 km av Ringebu uten ekstremhendelser ga den samme terskelen. AUC er derimot langt lavere. AUC er her 0,68 mot 0,8 for Sørstrand-Ringebu. For den REGINE-enheten som omfatter Ringebu finner man en terskel på 53,53mm. Terskelen varierer derfor ikke stort fra den regionale skalaen til de lokale.

6.4.1.2 *Bivariate terskler*

Den mest optimale variabelkombinasjonen i den bivariate analysen for Gudbrandsdalen ble bedømt til å være 3-dagers nedbør og jordas vannkapasitet (Tabell 5-27). 3-dagers nedbør og metningsgrad hadde noe høyere score, men ble nedprioritert fordi predikasjonsnivåene var

tettere sammen (Figur 5-6). Modellen hadde derimot like mange terskler, men den siste terskelen ble den bedømt til å ikke gjøre noen vesentlig forskjell på klassifiseringen. Kombinasjonen 3-dagersnedbør og døgnavrenning gir like resultater (Tabell 5-4), men modellen vil ikke bli benyttet fordi verdiene ved splittkriteriet til døgnavrenning var 0,45mm, som var for lavt til å kunne utgjøre en meningsfull forskjell.

Alle splittkriteriene gir for 3-dagers nedbør og vannkapasitet fysisk mening, ved at overskridelsene indikerer skred. De to variablene sier noe om forutgående forhold og nåværende forhold. Det er derimot ønskelig at det skulle være en variabel som har kortere påvirkning (én dag), siden 3-dagers nedbør vil påvirke metningsgrad. Korrelasjonen er derimot på ca. 6%. (132) Det var allikevel et større mellomrom mellom referansedagene og skredhendelsene enkelte steder på plottet. Dette er ugunstig for varsling da det vil være et område av grafen hvor det er manglende informasjon.

For Gudbrandsdalen (2000-2010), hvor den optimale variabelkombinasjonen er den samme, ser man at metningsgrad overtar plassen i rotnoden og setter en terskel på 24 mm vannkapasitet etterfulgt av 5mm akkumulert nedbør (Tabell 5-28). I tillegg foreslås det terskler som isolerer et segment av plottet, noe som ikke kan benyttes til varsling. Ved å forsøke å trimme treet ytterligere, ble det derimot foreslått en modell som alltid predikerer referansedag. Dette underbygger at ekstremhendelsene er viktig for varslingen i området. For Gudbrandsdalen (2000-2012), som også har den samme optimale variabelkombinasjonene (Tabell 5-28), hadde en lik terskel i rotnoden. Den andre og siste terskelen er derimot relativ ulik. Her hadde vannkapasiteten økt fra ca. 85 til 96mm. Dette kan skyldes at hendelsene fra 2013 hadde en lavere en gjennomsnittlig vannkapasitet og således vil vannkapasiteten kunne settes høyere i 2012. Dette så man ved å sammenligne Figur 5-7 og Figur 5-14. Dette kan i hvert fall si noe om ekstremhendelsenes påvirkning av terskler, og må tas til følge når terskelmodeller genereres.

For å innskrenke området inn mot REGINE-enheten som omfatter kun Ringebu ble det først sett på alle skredene som befant seg i REGINE-enhetene mellom Sørstrand og Ringebu. Både av tersklene fra den optimale modellen for området og den optimale modellen for hele Gudbrandsdalen, ser man at tersklene ikke variere mye (Tabell 5-28) (Figur 5-6). Det foreslås derfor ingen modell for dette området.

Det ble videre sett på alle skred som falt innenfor REGINE-enheter som var maks 10km fra Ringebu, ekskludert skredhendelsene som skjedde 22.05.2013 og 10.06.2011. Det ble valgt å

ikke ekskludere hele 2011 og 2013 slik som tidligere, for å ha nok data til analysen. Den beste modellen hadde to noder, Rotnoden var helt lik helt den univariate terskelen. Det siste splittkriteriet hadde derimot en terskel på 97,5% metningsgrad (Tabell 5-27). Også ved å benytte den beste variabelkombinasjonen for Gudbrandsdalen (2000-2017) ser man den samme univariate terskelen i rotnoden og en lav vannkapasitet på omtrent 4mm. Dette er upraktisk terskel da dette er omtrent null vannkapasitet og understreker videre hvor viktig ekstremhendelsene er for å kunne opprette et varsel for dette området.

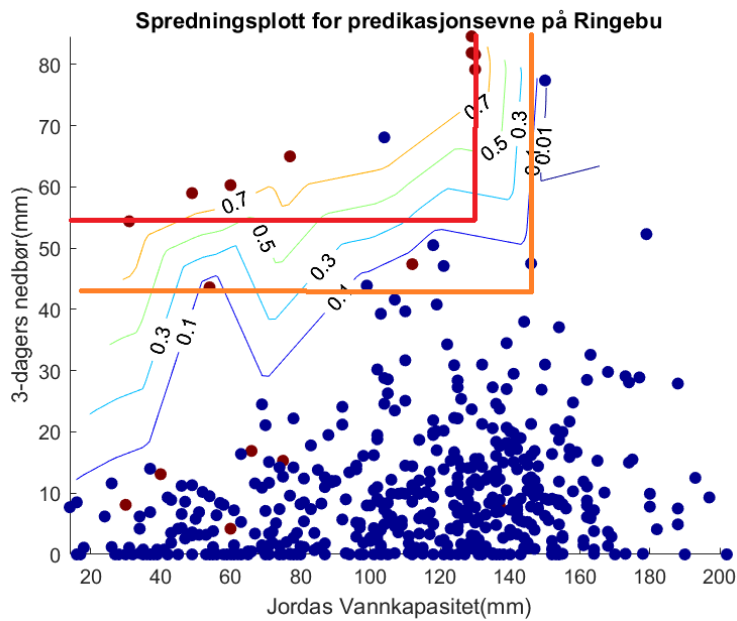
Til slutt ble det sett på den REGINE-enheten som omfatter studieområdet på Ringebu (Tabell 5-27). Den optimale variabelkombinasjonen var her 3-dagers nedbør og metningsgrad.

Tersklene for hele regionen, med de samme variablene, gir påfallende like terskler derimot.

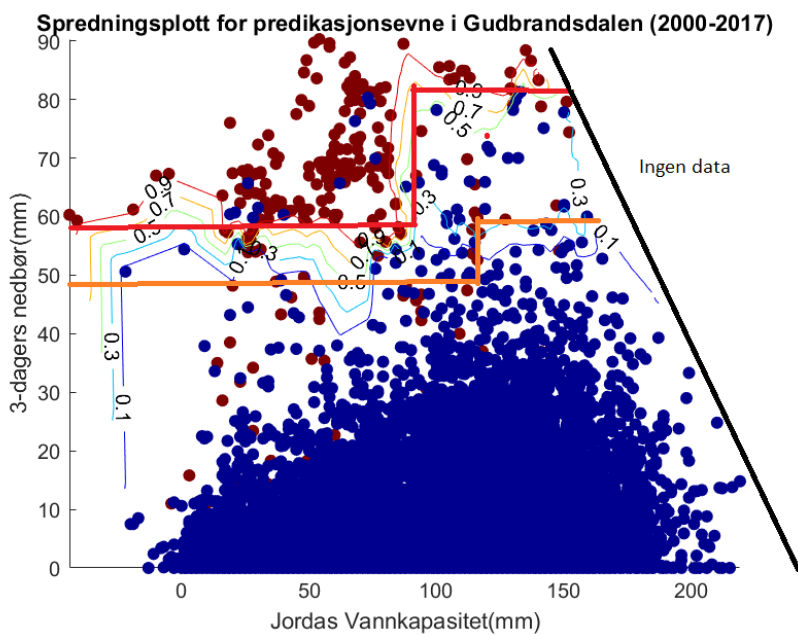
Ved å benytte den optimale modellen for hele regionen med datasettet for REGINE-enheten, blir vannkapasiteten forskjellige (Tabell 5-28). Dette kan være på grunn av en særegenhet for området eller pga. manglende statistisk data. Siden den forrige modellen produserte lignende terskler så antas at det siste er tilfellet.

Det velges uansett å legge frem et forslag til terskelmodell på bakgrunn av dette for å kunne teste hvordan modellen fungerer på fremtidige skred (Figur 6-1). Prestasjonsnivåene er gradvis, som er gunstig, men dette skyldes lite data. Det ble satt 3 varselnivåer. Ett varselnivå som går fra 125 mm vannkapasitet og 55 mm nedbør. Overskridelse her produserer skred i 70% av tilfellene. Nivå 2 strekker seg fra dette nivået til 140 mm vannkapasitet og 42 mm nedbør. Under dette punktet spås det skred i fra 0-10% av tilfellene. AUC for hele modellen er 0.65 mens TNR/TPR er 99/41

Også for hele Gudbrandsdalen blir den optimale modellen lagt frem. Dette gjør det mulig å teste predikasjonsevnen til modellen mot det eksisterende varslet om behov. Det ble det valgt tre varselnivåer. Det øverste nivået strekker seg fra 0,7 og ut. Tersklene er her 80mm nedbør over tre dager om vannkapasiteten er over 90mm og 60 mm ved lavere verdier. For det neste nivået er predikasjonsevnen mellom 0,7 og 0,3. Terskelen er 60 mm med nedbør over tre dager om vannkapasiteten er over 120mm og 57mm om vannkapasiteten er lavere. AUC for hele modellen er 0,83 og TNR/TPR er 99/64.



Figur 6-1: Terskelmodell for Ringebu. Kun tre nivåer er satt. Rød sone er nivå 3, mens oransje er nivå 2 røde punkter er skreddager, blå punkter er referansedager. Fargede linjer er sannsynlighetskoter.



Figur 6-2: Terskelmodell for Vestlandet. Kun tre nivåer er satt. Rød sone er nivå 3, mens oransje er nivå 2. Kun tre nivåer er satt. Rød sone er nivå 3, mens oransje er nivå 2 røde punkter er skreddager, blå punkter er referansedager. Fargede linjer er sannsynlighetskoter.

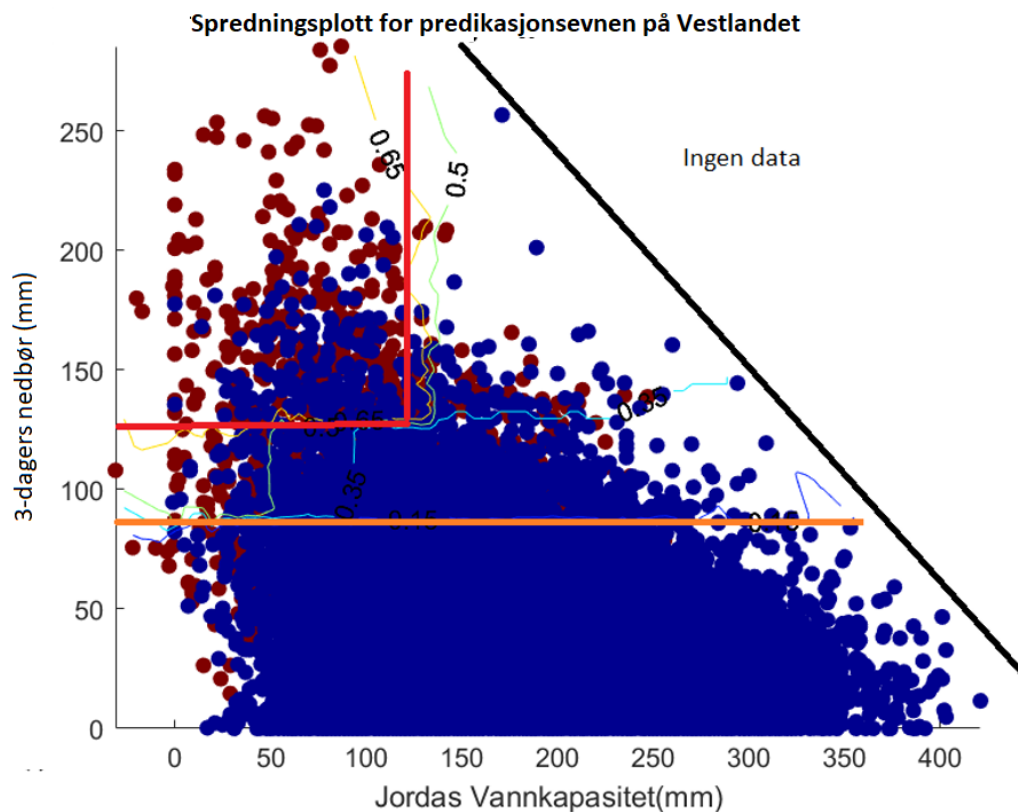
6.4.2 Vestlandet

6.4.2.1 Univariat terskler

Fra den univariate analysen finner man at 3-dagers vanntilførsel er den mest optimale variabelen både for Vestlandet og Skredestranda, mens 3-dagers nedbør er best for Hornindal (Tabell 5-25). Terskel for Vestlandet er her 145,5mm. Den nestmest optimale terskelen for Vestlandet var 3-dagers nedbør. Her er terskelen satt til 127 mm (Tabell 5-25). Forskjellen her kan skyldes snøsmelting, og står i så fall for knappe 12% av vanntilførsel. Verdiene for nedbørsterskelen ligger for Hornindal på mellom 83 og 102mm, alt ettersom hvilke referansedagforhold som blir benyttet. Fra dette virker det som at Hornindal behøver mindre nedbør i forhold til Vestlandet generelt. Noe som er påfallende er at terskelen for vanntilførselen i Hornindal er en del lavere enn nedbøren. Det at den er lavere skyldes antageligvis kalkuleringsfeil. Allikevel kan dette fortelle noe om en lav påvirkning av snøsmelting med tanke på skred i området. For Skredestranda er verdiene omtrentlig like og ligger på mellom 80 og 94 mm nedbør alt ettersom hvilke referansedagforhold man benytter. AUC-verdien for regionen er 0,68 for Vestlandet . Dette skyldes antallet observasjoner og det faktum at Vestlandet består av mange forskjellige regioner med forskjellig sårbarhet for hydrometeorologiske faktorer. Når det innskrenkes til Hornindal og Skredestranda, hopper AUC opp til omtrent 0,8 for alle analysene utenom for Skredestranda(50) hvor AUC er så høy som 0,9 (Tabell 5-26).

6.4.2.2 Bivariate terskler

Variabelkombinasjonene 3-dagers nedbør og jordas vannkapasitet var den mest optimale variabel kombinasjonen fra den bivariate analysen (Tabell 5-27). Alle tersklene som ble satt ga fysisk mening, ved at skred ble predikert ved lavere vannkapasitet og høyere akkumulert nedbør. Det var også behov for lavere akkumulert nedbør ved lavere vannkapasitetsverdier. Videre kan tersklene selv også forsvares, da vannkapasitet sier noe om forholdet i jorda og akkumulert nedbør noe om en kortere påvirkning (men ikke like kort som 1-dags vanntilførsel eller nedbør). Det ble definert tre farenivåer på bakgrunn av sannsynlighetskotene på spredningsplottet (Figur 6-3). Den første terskelen predikerer skred i 65% av tilfellene. Verdiene er her 125mm nedbør over tre dager. AUC for modellen er 0,67 og TNR/TPR 99/18.



Figur 6-3: Terskelmodell for Vestlandet. Kun tre nivåer er satt. Røde sirkler er skreddager og blå er referansedager. Rød sone er nivå 3, mens oransje er nivå 2.

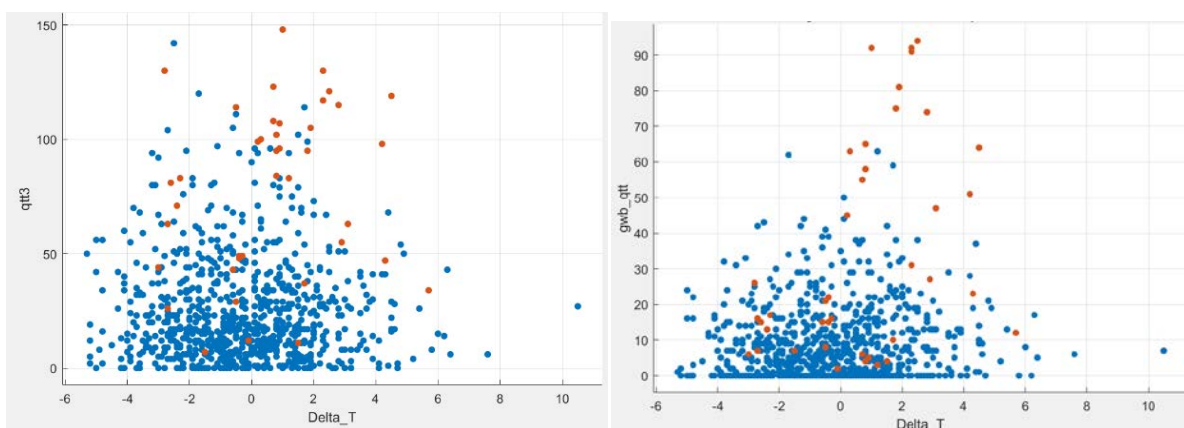
Den bivariante analysen for Hornindal med 20 referansedager indikerer at 3-dagers nedbør og temperaturforskjell er den beste modellen (Tabell 5-18). Treet foreslår derimot en terskel på 0.2 C for temperaturforskjell (Figur 5-35), noe som ansees å være for lavt for å ha en praktisk betydning.

Den nest-høyest rangerte modellen var 1-dags relativ vanntilførsel og metningsgrad, og ga to noder (Figur 6-4). Tersklene gir fysisk mening, ved at man må overskride dem for å predikere skred. Tersklene selv gir også mening, da metningsgrad sier noe om foregående forhold og 1-dags vanntilførsel representerer kortvarige endringer. Ved å benytte den samme modellen med datasettet med 50 referansedager ble det foreslått en univariat modell. Her er terskelen 43,5% relativ vanntilførsel. For 50 referansedager er det flere ekstreme referansedager iblandet skredhendelsene. Spørsmålet er om forholdet er realistisk. En univariat modell er uansett ikke interessant, når det tas i bruk en bivariat analyse.. Sannsynlighetskotene er derimot ganske tett som gjør det vanskelig å sette flere farenivåer. Her ville datasettet med 20 referansedager blitt uansett blitt benyttet over 50 referansedager.

For analysen av Hornindal med 50 referansedager ble 3-dagers vanntilførsel og metningsgrad funnet å være den beste kombinasjonen (Tabell 5-27) (Figur 6-4). Tersklene ga fysisk mening

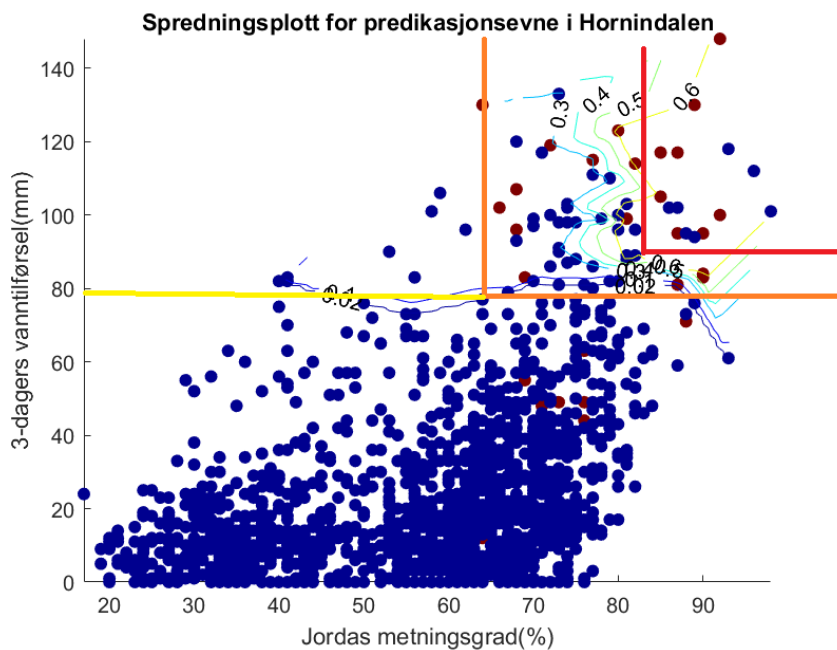
ved at de må overskrides for å predikere skred. Kombinasjonen, om ikke ideell, sier noe om påvirkningen over kortere tid med 3-dagers vanntilførsel, i forhold til metningsgrad som kan påvirkes over lengre tid. For sammenligning ble også variabelkombinasjonen benyttet på datasettet med 20 referansedager. Et tre med fire noder ble generert. Alle tersklene ga mening fysisk. I tillegg ser man variablene utvikler seg over tid i forhold til hverandre, som identifisert av trappestrukturen.

Fra sammenligningene av 20 og 50 referansedager virker det som 20 referansedager er i stand til å produsere mer komplekse trær. Dette kan være antatt å være pga. antallet referansedager som ender opp med å interferere med skreddagene i datasettet med 50 referansedager. Om hvorvidt det er et realistisk antall kan være vanskelig å bedømme, men poenget med en bivariat analyse er å se sammenhengen mellom to variabler, og ved en univariat terskel forsvinner interaksjonen. Ved å se på tabellen over de best variabelkombinasjonene for 20 referansedager derimot, inneholder fem av ti variabler temperaturforskjell og en form for vanntilførsel- eller nedbørparameter (Tabell 5-20). Ved å se på noen av plottene av forskjellen i temperatur og de tilhørende variablene, ved hjelp av classification learner-appen i MATLAB, ser det ikke ut som det er noe bivariat sammenheng (Figur 6-4). Mange av punktene kan klassifiseres bare ved en univariat terskel av typen vanntilførsel eller nedbør. Dette, sammen med prestasjonsnivået til de univariate tersklene, indikerer at det kan være tilstrekkelig med én terskel for å klassifisere Hornindal med dette datagrunnlaget.



Figur 6-4: Plott fra classification learner. Til venstre finner man 3-dagers vanntilførsel og temperaturforskjell og til høyre 1-dags vanntilførsel og temperaturforskjell. Begge kombinasjonene finnes i Tabell 5-20

Det ble valgt å benytte den optimale variabelkombinasjonen for 50 referansedager fordi den har en jevner overgang i prestasjonsnivå enn med 20 referansedager og derfor er det lettere å sette farenivåer (Figur 6-5). Det settes 3 nivåer. Nivå 3 går fra 82% metningsgrad og ut og over 90mm nedbør. Da spås det skred i 60% av tilfellene. Nivå 2 går fra 65% metningsgrad og verdier over 80 mm vanntilførsel over tre dager. Nivå 1 er univariat med en øvre terskel på 80mm. AUC er her 0,77 og TNR/TPR er 99/27.



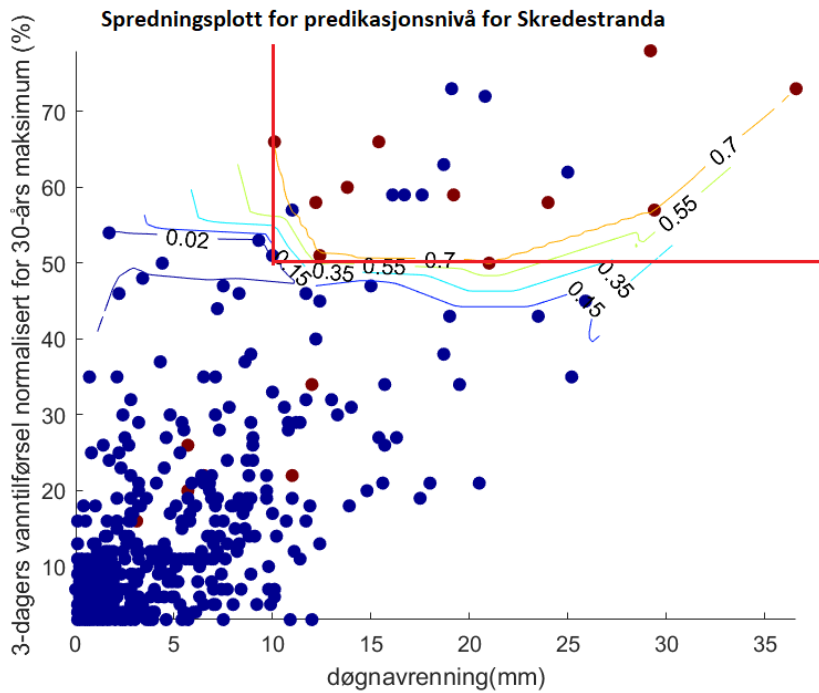
Figur 6-5:Foreslått terskelmodell for Hornindalen. Rød linje representerer farenivå3, mens oransje er farenivå 2

Fra den bivariate analysen av Skredestranda hvor 20 referansedager ble benyttet, ble 3-dagers relativ vanntilførsel og distribuert vanntilførsel funnet å være høyest rangert. Ved analysen av treet ble det derimot funnet terskler som ikke ga fysisk mening. Ved å foreta manuell trimming av treet ville derimot ikke MATLAB gi andre trær enn et univariat tre. Kombinasjonen ble derfor forkastet. Det samme problemet oppstod med 3-dagers vanntilførsel og avrenning. Ved 3-dagers relativ vanntilførsel og avrenning ga manuell valg av noder et tre hvor tersklene ga mening (Figur 5-41). Variabelkombinasjonen selv er også interessant da 3-dagers relativ nedbør sier noe om påvirkning over flere dager, mens avrenning er en umiddelbar effekt. Ved manuell valg ble det benytte to noder. Konturene for predikasjonsevne er ganske tette derimot. Ved å sjekke de resterende ni variabelkombinasjonene ble det derimot enten foreslått modeller som ikke ga mening fysisk, var univariate eller hadde lignende tetthet for sannsynlighetskotene.

Ved å benytte den optimale variabelkombinasjonen for datasettet med 20 referansedager på datasettet med 50 referansedager fant man et tre med to terskler. Om begge nodene overskrides spås det skred, som gir mening. Sannsynlighetskotene gir dårlig mening derimot. Ved å bevege seg i de mer ekstreme hjørnene av plottet faller plutselig predikasjonsvevnen (Figur 5-41). Det blir derfor bedømt av modellen med 20 referansedager var bedre egnet.

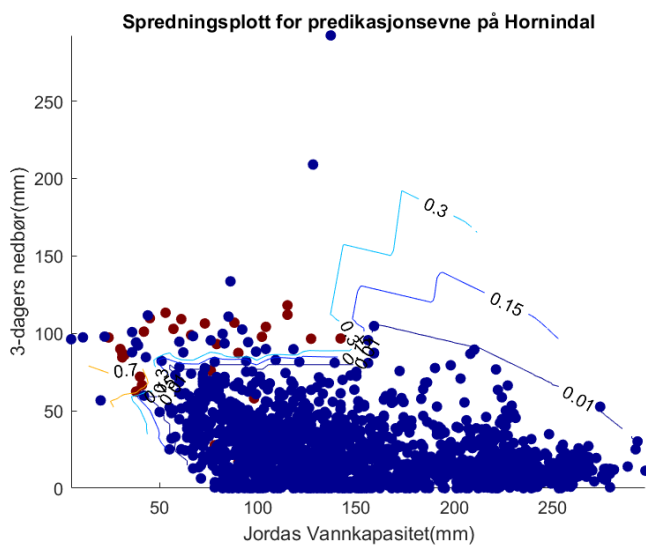
For 50 referansedager ble 3-dagers nedbør og variasjon i grunnvann funnet å være den mest egnede kombinasjonen. Treet har to noder hvor overskridelse av «nedbør» og «variasjon i grunnvann» spår skred. En påfallende ting er derimot at terskelen for døgnvariasjon i grunnvann virker å ha blitt satt på grunn av små forskjeller i datasettet (Figur 5-42). Fire datapunkter blir klassifisert av denne terskelen, og om disse hadde hatt noe høyere nedbørsverdier ville antageligvis modellen blitt univariat. For datasettet med 50 referansedager fant nettopp modellen en univariat modell som den optimale klassifiseringen. Dette er en terskel på 83,05 mm. Ved å visuelt analysere av alle de optimale plottene fant man den samme trenden i dataen. Dette kan også være at de 17 skredene skjedde på 5 forskjellige datoer. Med tanke på at cellene er ganske nært hverandre innenfor REGINE-enheten, så kan det bli verdier med ganske lik verdi. Det foreslås derfor bare en univariat terskel for Skredestranda, hvis 50 referansedager benyttes. Dette er da 3-dagers vanntilførsel på over 80,5 mm vanntilførsel over tre dager og har en AUC på 0,9.

Av dette ble det bedømt å benytte variabelkombinasjon avrenning og tre dagers relativ nedbør. Dette er derimot vanskelig å gi noe mer enn to varselnivåer (Figur 6-6). Dette skyldes det begrensede antallet skreddager. Tersklene til modellen er i så fall den eneste klassifikasjonen. Disse var på 49% 3-dagers relativ vanntilførsel og 10 mm avrenning. I dette tilfellet spås det skred i 70% av tilfellene. TNR/TPR er her 99/88 og AUC 0,91.



Figur 6-6: Foreslått varsel for Skredestranda. Her representerer røde linjer tersklene. Overskridelse predikerer skred.

Datasettene Hornindal og Skredestranda (20 og 50) ble deretter sammenlignet ved å benytte variabelkombinasjonen som ble benyttet for Vestlandet (Tabell 5-28). Den optimale modellen for Hornindal (20) var univariat og vil således ikke sammenlignes. For Hornindal (50) fant man en modell med tre noder. Ved å kjøre modellen fant man at sannsynlighetskotene var tett samlet (Figur 6-7). Modellen vil derfor ikke benyttes til fordel for den foreslåtte modellen.



Figur 6-7: Spredningsplott over predikasjonsevne for Hornindal, ved å benytte variabelkombinasjonen for Vestlandet.

For Skredestranda ble modellen for 20 referansedager benyttet på bakgrunn av de gode predikasjonsresultatene (Tabell 5-28) (Figur 6-8). Sannsynlighetskurvene er derimot tette og det foreslås også er her kun to farenivåer som skilles av tersklene. Evnene til å predikere skred er heller ikke nevneverdig bedre.

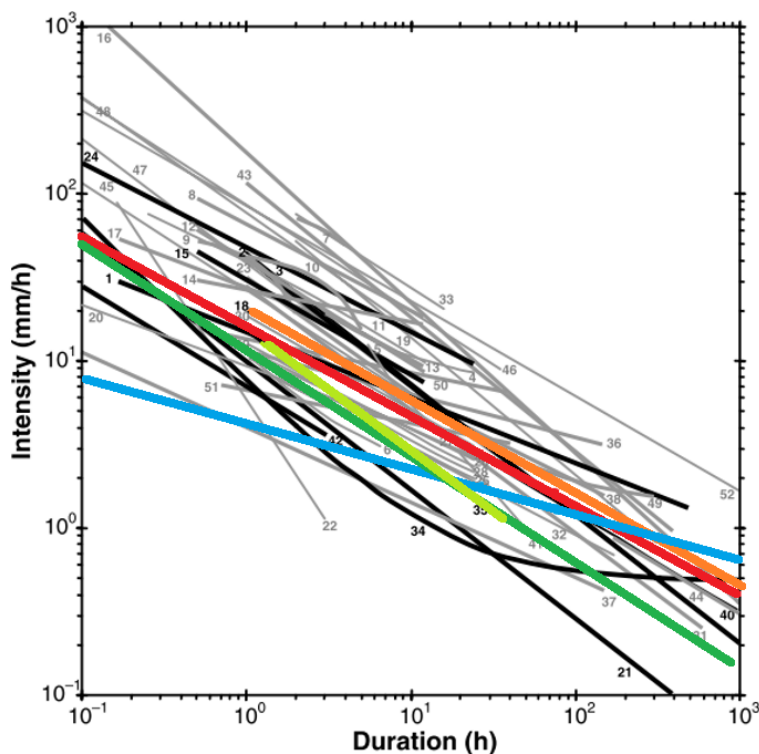
Ved å sammenligne tersklene ved å benytte den samme variabelkombinasjonen for alle områdene som for Vestlandet (Tabell 5-28). Man ser en jevnt over en lavere nedbørsverdi her enn for hele Vestlandet. For Hornindal (50), så blir det samme antall noder funnet og det forenkler sammenligningsprosessen. Vannkapasiteten er relativ lik sammenlignet med nedbørs verdien, men terskelen for at det skal gå skred ved lavere verdier av vannkapasitet er nesten 40mm lavere i Hornindal sammenlignet med for hele Vestlandet (Tabell 5-28). Ved høyere vannkapasitet er verdien derimot noe likere, men fortsatt 7mm lavere. Dette indikerer at denne regionen kan nedjustere vanntilførselsverdier om man tar utgangspunkt i en modell for hele Vestlandet. De andre områdene har relativt like verdier forutenom Skredestranda (50) hvor modellen finner en terskel for rotnoden på 96.4mm. Dette indikerer at det er noe usikkerhet knyttet til de lave taller fra de andre områdene, men at området allikevel har vesentlig lavere verdier.

Denne regionen har også vært inne på forskjellen i antall referansedager. Her har både Hornindalen og Skredestranda blitt testet for referansedager. Ved å først ta utgangspunkt Tabell 5-27 og Tabell 5-28, kan man se for den optimale modellen for hvert område at AUC og TNR/TPR er høyere i begge tilfellene. Det var derimot tilfeller hvor modellen med høyere antall referansedager fungerte bedre (Figur 6-5). Dette kan fremstå noe vilkårlig, for det handler til slutt om hvor mange ekstremhendelser man får. Det er ikke nødvendigvis alltid tilfelle at et høyere antall referansedager sikrer flere ekstremverdier. En bedre måte å styre denne prosessen på er å justere grensene for hva man skal akseptere av referansedager. Dette er blitt gjort i denne oppgaven, men grensen er i ettertid bedømt til å ha vært noe lav.

Ved å sammenligne de univariate og de bivariate modellene som ble foreslått så kan man se at de univariate tersklene for Gudbrandsdalen og Ringebu har høyere prestasjonsnivå enn modellene som er foreslått (Tabell 5-26, Tabell 5-27). Derfor kan det foreslås å benytte seg av disse i stedet for.

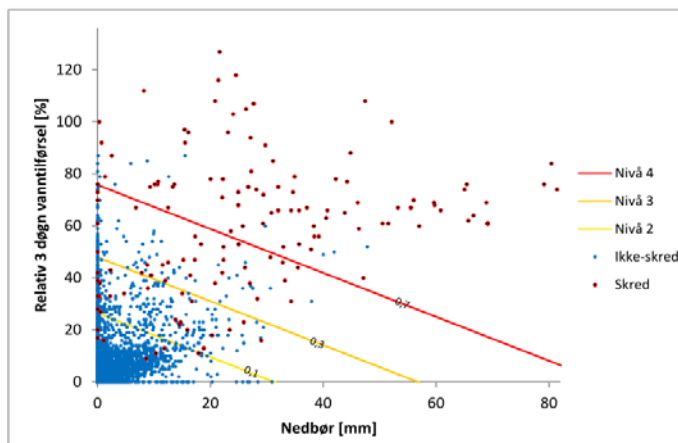
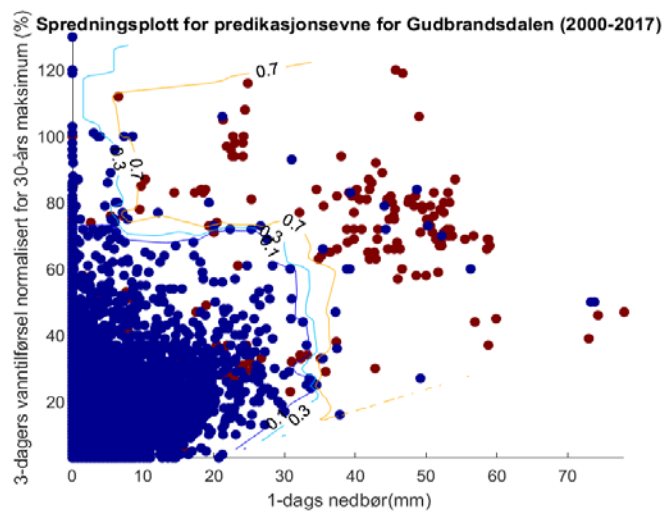
6.4.3 Andre terskelstudier og varslinger

Verdiene funnet fra den univariate analysen ga både nedbør og 3-dagers nedbørverdier for hver region. Ved å plote disse inn i et logaritmisk ID-plott kan man sammenligne tersklene fra dette studiet og terskler fra andre studier. For enkelhet skyld er tersklene forlenget for hele bredden av plottet selv det kun er data for ett døgn og tre døgn. 3-dagersintensiteten fra Vestlandet og Hornindal er ikke så veldig ulik hverandre, men 1-dagintensiteten har forskjell på 30 mm nedbør. Dette fører til at Hornindal har en mye slakere kurve. Gudbrandsdalen har generelt lavere verdier enn de to foregående regionene. Lave 3-dagersverdier sammenlignet med 1-dagsnedbør gjør at kurven er brattere enn begge kurvene fra Vestlandet. Kurven for Vestlandet har en likhet med terskelen fra studiet til Ceriani, et al. (1992). Dette er en terskel over regionen Lombardia, sentralt i Nord-Italia, som befinner seg i nærheten av alpene og er preget av fjellandskap. I tillegg er det likheter mellom terskelen til Marchi, et al, (2001) og Gudbrandsdalen fra. Dette er et studium som har sett på løsmasseskred i et elveleie, Nordøst i Italia. Særlig i foten av Alpene kan man se nedbørsmengder som kan ligne på de som man ser på Vestlandet.



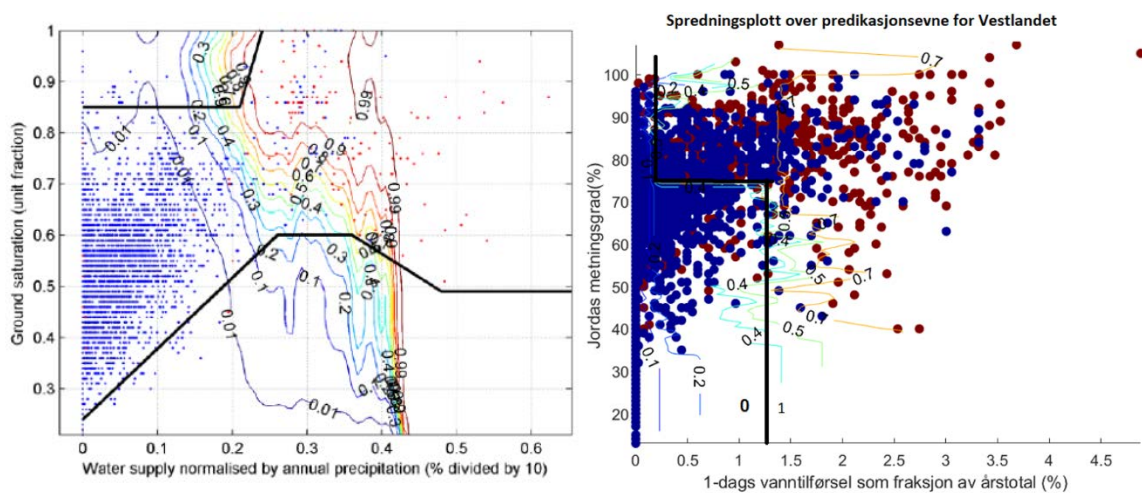
Figur 6-8: ID-kurve med forskjellige terskler fra forskjellige studier (modifisert fra Guzzetti (2007)). Rød linje representerer Vestlandet og lyseblå Hornindal. Grønn linje er Gudbrandsdalen. Oransje og lysegrønn linje er andre studier, henholdsvis Ceriani (1992) (18) og Marchi (2012)(35).

Ved å sammenligne grunnlaget for tersklene i denne oppgaven, med terskelkombinasjonene som var tiltenkt det nasjonale varslet mulig å se forskjellen på innsamlingsmetodene (Figur 6-12). Plottet presentert i Boje et al (2014) og gjelder for dalfører med moreneavsetninger. Det første man legger merke til er spredninger av datapunktet, både for referansedager og skreddager. Det er en jevnere overgang over til skredhendelsene i spredningsplottet som var tiltenkt nasjonal varsling. For plottet fra denne oppgaven er skredene mer ansamlet og tettheten av referansedager er mye høyere. I tillegg er det stor avstand fra skredhendelsene til referansedagene. Dette gir skredene i denne oppgaven for dette området et mye klarere skille og påfølgende tetter sannsynlighetskoter. Videre er også skredene mye mer ansamlet som kan tyder på at registreringen av skreddagen og dagen etter gir like verdier og påfølgende tettere punkter.



Figur 6-9:Over: Modell som ble generert med datasette i denne oppgaven for Gudbrandsdalen. Variabelkombinasjonen er lik den som ble tiltenkt bruk tidligere i utredningen om skred varsling funnet i Boje, et al. (2014)

For Vestlandet er det derimot vanskeligere å sammenligne datagrunnlaget og fordeling (Figur 6-11). Det ser ut til å være et vesentlig høyere antall referansedager og skreddager. Ved å ta forbehold for dette, har plottene likheter i fordelingen. Fordelingen i metningsgrad ser ut til å ligne, men strekker seg noe lengre på y-aksen. For relativ vanntilførsel er derimot verdiene en del større i plottet for den nasjonale skredvarslingen. Her ser man verdier fra omtrent 2% helt ut til 6%, mens kun én verdi strekker seg til 4,5% i datasettet for denne oppgaven. I tillegg strekker resten av verdiene seg til omtrent 3,5%. Dette skyldes nok at verdiene på vanntilførselen i denne oppgaven har blitt generert ut fra en annen variabel og således har omregningen underestimert verdien.



Figur 6-10: Side om side sammenligning av datagrunnlaget for Vestlandet og datasettet som ble generert i denne oppgaven. Rød sirker representere skred og blå er referansedager.

7 Konklusjon

Målene og problemstillingene for denne oppgaven var som følger:

- Utvikle en ny metode for valg av referansedager
- Teste påvirkningen av antallet referansedager for prestasjonsnivået
- Vurdere påvirkningen av ekstremværhendelser i enkelte terskelmodeller
- Sammenligne terskler og modeller i denne oppgaven med annen litteratur
- Sammenligne modeller med en variabel og to variabler
- Sammenligne prestasjonsnivået mellom lokale og regionale terskelmodeller

Den nye metoden for valg av referansedager innebar et vilkårlig utvalg av referansedager. Disse referansedagene hadde i tillegg en nedre grense for inkludering for sikre at skreddagene sammenlignes med referansedager hvor forholdene er våte. Sammenlignet med det nasjonale skredvarselet så hadde referansedagene i denne metoden et større spenn av verdier, men var hovedsakelig ansamlet mot lavere verdier. Dette kan bidra til å skape et plutselig skille i predikasjonssevne, i hvert fall med kombinasjonen av det flagges to skreddager i denne oppgaven. Det bør derfor vurderes å øke den nedre grensen for å inkludere skred (2 % qt3m30) i denne oppgaven. Dette bør i så fall også gjøres i kombinasjon med å senke antallet referansedager, siden man tvinger frem flere ekstremverdier ved å øke terskelen.

Antallet referansedager ble testet i Hornindal og på Skredestranda, da det ble funnet i foranalysen at prestasjonsnivået var relativt likt i tilfellet av 20 og 50 referansedager på begge stedene. Det ble derfor bestemt at effekten av antallet referansedager skulle testes i dette området. For å sammenligne prestasjonsnivået ble variabelkombinasjonen som ble benyttet for hele regionen brukt til å lage en modell med hvert datasett i tillegg til den optimale modellen for hvert av datasettene. Det ble funnet at modellene hadde lignende AUC. Modellene med 20 skreddager har i denne oppgaven synes å ha høyere prestasjonsnivå (AUC og TNR/TPR). Det er derimot ikke alltid det er tilfelle. Dette er fordi selv om det er høyere sannsynligheten å få ekstremdager med større utvalgt så er det ingen garanti. Det konkluderes med at dette er en u-optimal måte å forsøke å kontrollere ekstremhendelser på. En bedre måte vil være øke grensen som har blitt benyttet i denne oppgaven for å sile vekk referansedager med for lave verdier. I tillegg kan det foreslås å inkludere å sette to grensekriterier, hvor den ene er en kortvarig og den andre en langvarig variabel.

Ved å dele inn datasettet for Gudbrandsdalen i årstallene 2000-2017, 2000-2010 og 2000-2012 ble det bevisst forsøkt å isolere forskjellige ekstremværhendelser. Disse gikk på sommeren i 2011 og senvår i 2013. Det ble funnet at datasettet 2000-2010 hadde dårlig prestasjonsevne og at den viktigste terskelen for den optimale bivariante modellen skiftet fra nedbør til metningsgrad. Dette indikerte at ekstremnedbørshendelsene var viktig for regionen. Ved å inkludere ekstremværhendelsen fra 2011 gikk plutselig AUC-verdien og tersklene opp til lignende verdier som for hele perioden.

Fra den univariate analysen ble det funnet at enten 3-dagers nedbør eller 3-dagers vanntilførsel i samtlige tilfeller var den mest egnede variabelen. Prestasjonsnivået var i noen tilfeller også omtrent lik eller bedre egnet enn å benytte en bivariante modell. Fra den bivariante analysen ble det funnet at en kombinasjon av enten metningsgrad eller vannkapasitet i tillegg til 3-dagers nedbør var optimalt for Gudbrandsdalen. For Vestlandet så man også i tillegg at relative vanntilførselsverdier var med å danne de optimale modellene.

Ved å sammenligne de regionale modellene med de lokale modellene, ble det funnet i Gudbrandsdalen at det var lite å tjene ved å se på lokale områder. De samme tersklene dukket opp for forskjellige nivåer og de samme variabelkombinasjonene ga gode resultater. Små forskjeller ble kreditert tilfeldigheter som oppstår ved få datapunkter. Det ble heller ikke funnet høyere AUC for lokale modeller. For Vestlandet ble det derimot funnet forskjeller. Dette var også mye på grunn av Vestlandet sin utbredelse og sine mer heterogene forhold. For Hornindalen var den nedbørsterskelen omtrent 30mm lavere. De optimale modellene var også forskjellige fra den optimale modellen for hele regionen og hadde et større mangfold av variabler. Det som også ble funnet var at mindre områder (og færre datapunkter) ofte måtte benytte seg av færre terskler for å ikke overtilpasses datasettet.

Ved å sammenligne modellene generert i denne oppgaven og sammenligne dem med modellgrunnlaget for den regionale varslingen ble det funnet både likheter og ulikheter. For Gudbrandsdalen ble både den gjeldende og den tidligere foreslåtte modellen sammenlignet med en lik modell generert med datasettet fra denne oppgaven. Funnene var at predikasjonsnivåene var mye mer ansamlet i denne oppgaven. Dette er ugunstig for å skape varslingsnivåer. Modellene er også i denne oppgaven enkle og defineres av to til tre terskler og tilhørende predikasjonsnivåene i stedet for en regresjonslinje. Ved å konstruere ID-kurver for denne oppgaven ut av 3-dagers nedbør og 1-dags nedbør ble det funnet at Vestlandet sin ID-kurve har lignende forhold som man finner i Lombardia, Italia. For Gudbrandsdalen ble det funnet at ID-

kurven er lik et område i et elveleie i Nord-østlige Italia. Hornindalen hadde i tillegg en slakere ID-kurve enn Vestlandet.

Hovedmålet om å generere terskelmodeller på lokal skala viste seg å være vanskelig for Gudbrandsdalen. Tersklene som gikk igjen virket å være like og det ble ikke funnet noen særegenheter, hverken i strekningen Sørstrand-Ringeby og Ringeby. Det ble funnet en ulik vannkapasitet for Ringeby, men den modellen predikerte likt eller dårlige enn en univariat terskel. Denne var igjen relativt lik over hele Gudbrandsdalen. For Vestlandet ble det derimot generert en modell for Hornindal, med variabel kombinasjonen 3-dagers vanntilførel og metningsgrad, og en for Skredestranda, med døgnavrenning og 3-dagers relativ nedbør siden det ikke er mange unike skreddager.

8 Videre arbeid

Til videre arbeid foreslås det først og fremst å kun benytte flaggingen av dagene rundt skreddagen til dager der hvor det er en viss usikkerhet. Om det er nok data tilgjengelig kan det nok være greit å utelukke dagen helt. Ettersom mer data blir tilgjengelig kan man også på sikt forsøke å kun benytte dager med eksakt nøyaktighet.

Fra oppgaven ble det klart at mange av de samme variablene og variabelkombinasjonene ofte gikk igjen. For å minske arbeidsmengden kan det derfor være hensiktsmessig å kun dele predikatorene opp i to grupper, en med variabler med kortsiktig påvirkning og en med variabler med forutgående(antecedent) påvirkning, i tillegg til å minske antallet variabler. Forslag til variabler som burde være med er: Metningsgrad, vannkapasitet, grunnvann(absolutt) i en gruppe; absolutt vanntilførsel (1 og 3 dager), relativ vanntilførsel (1 og 3 dager) og nedbør (1 og 3 dager) i en gruppe.

Ved å benytte et vilkårlig utvalg så kan det vise seg å være gunstig å øke terskelen for å inkludere en referansedag. I denne oppgaven ble det satt til 2% relativ vanntilførsel over tre dager. Dette kan økes, og det kan i tillegg vurderes om det skal legges til et kriterium til hvor forutgående forhold også har en terskel. Om dette økes bør man også være obs på å justere antallet referansedager. Et høyere antall referansedager vil gi statistisk sett et høyere antall ekstremdager, men ved å øke terskelen tvinges det frem mer ekstreme dager og således kan antallet justeres ned.

For rangering av modellen har det i denne oppgaven vært benyttet AUC for et tre som kunne gro seg til 100 noders størrelse og TNR/TPR. For videre arbeid kan det være mer gunstig å rangere modellene etter AUC-verdien til enkle modeller (fire noder), da det sjelden ble funnet modeller med fler enn fem noder. I tilfellet for lokale modeller ble det også ikke funnet komplekse sammenhenger, og oftes kun to terskler. En tidkrevende prosess kan være å finne den optimale modellen for alle variabelkombinasjonene, enten ved ett standardavvik regelen eller ved manuell justering, for å så rangere modellene.

9 Bibliografi

- BELDRING, S., ENGELAND, K., ROALD, L. A., SÆLTHUN, N. R., VOKSØ A. 2003. Estimation of parameters in a distributed precipitation-runoff model for Norway. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions, European Geosciences Union*, 7 (3), 304-316.
- BOJE, S., COLLEUILLE, H. & DEVOLI, G. 2014. Terskelstudier for utløsning av jordskred i Norge. Oppsummering av hydrometeorologiske terskelstudier ved NVE i perioden 2009 til 2013. 40 ed.: Norges vassdrags- og energidirektorat.
- BREIMAN, L., FRIEDMAN, J. H., R., O. A. & STONE, C. J. 1984. *Classification and regression trees*, Wadsworth.
- CAINE, N. 1980. The Rainfall Intensity: Duration Control of Shallow Landslides and Debris Flows. *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography*, 62, 23-27.
- CAMPBELL, R. H. 1975. Soil slips, debris flows, and rainstorms in the Santa Monica Mountains and vicinity, southern California. *US Geological Survey Professional Paper Washington DC: U.S. Government Printing Office*, 851, 51.
- CANNON, S. H., GARTNER, J.E., WILSON R.C., BOWERS, J.C., LABER, J.L. 2008. Storm rainfall conditions for floods and debris flows from recently burned areas in southwestern Colorado and southern California. *Geomorphology* 96, 250-269.
- CEPEDA, J. 2009. *Characterisation and risk management of rainfall-induced landslides*. Doctor, University of Oslo.
- CEPEDA, J., SANDERSEN, F., EHLERS, L., BELL, R. & DE LUCA, D. 2011. Probabilistic estimation of thresholds for rapid soil-slides and -flows in Norway. . Oslo: NGI.
- CEPEDA, J., SANDERSEN, F., EHLERS, L., BELL, R. & DE LUCA, D. 2012. 1B9 - Kritisk nedbørsintensitet for utløsning av løsmasseskred. *NGI rapport*.
- CERIANI M, LAUZI S, PADOVAN N 1992 Rainfall and landslides in the Alpine area of Lombardia Region, central Alps, Italy. In: *Interpraevent Int. Symp. vol. 2. Bern*, pp 9–20
- COLLEUILLE, H., BOJE, S., DEVOLI, G., KRØGLI, I. K., ENGEN, I.K., SUND, M., SKASLIEN, T., HUMSTAD, M., FREKHAUG, WIRÉHN, P. 2017. Jordskredvarslingen - Nasjonal varslingsjeneste for jord-, sørpe- og flomskredfare. *Rapport 75*.
- COLLEUILLE, H. & ENGEN, I. K. 2009. Utredning om overvåking og varsling av løsmasse- og snøskredfare på regionalt nivå. *NVE dokument 16*.
- CRAIG, R. F. 2004. *Craig's Soil Mechanics, Seventh Edition*, CRC Press.
- CROSTA, G. B., FRATTINI, P. 2001. Rainfall thresholds for triggering soil slips and debris flow. *Mugnai A, Guzzetti F, Roth G (eds) Mediterranean storms. Proceedings of the 2nd EGS Plinius Conference on Mediterranean Storms* [Online].
- CROZIER, M. J. 1997. The Climate-Landslide Couple: A Southern Hemisphere Perspective. *Palaeoclimate Research* 2, 329–350.
- CRUDEN, D. M. & VARNES, D. J. 1996. Landslide types and processes. In: Turner AK, Schuster RL(eds) *Landslides investigation and mitigation*. Transportation research board, USNational Research Council. Special Report 247, Washington, DC, Chapter 3, . 36-75.
- DEVOLI, G. & DAHL, M. P. 2014. Preliminary regionalization and susceptibility analysis for landslide early warning purposes in Norway. *NVE-NIFS-rapport nr. 37*. .
- FAWCETT, T. 2006. An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognition Letters*, 27, 861-874.
- GRIFFITH, D. V., HUANG, J., FENTON G. A. 2011. Probabilistic infinite slope analysis. *Computers and Geotechnics*, 38, 577-584.
- GUZZETTI, F., PERUCCACCI, S., ROSSI, M. & STARK, C. 2008. The rainfall intensity–duration control of shallow landslides and debris flows: an update. *Landslides*, 5, 3-17.

- GUZZETTI, F., PERUCCACCI, S., ROSSI, M. & STARK, C. P. 2007. Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 98, 239-267.
- GUZZETTI F., P. S., ROSSI M, STARK CP 2007. Rainfall thresholds for the initiation of landslides. *Meteorology Atmospheric Physics (in press)*
- HENDRIKX, J., MURPHY, M., ONSLOW, T. 2014. Classification trees as a tool for operational avalanche forecasting on the Seward Highway, Alaska. *Cold Regions Science and Technology* 97, 113-120.
- HEYERDAHL, N., BUAN, V. 2008. Flere bolighus tatt av jordras. E6 foreløpig stengt ved Otta. *Aftenposten*.
- HUNGR, O., LEROUEIL, S. & PICARELLI, L. 2014. The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, 11, 167.
- IVERSON, R. M. 2000. Landslide triggering by rain infiltration. *Water Resour Res*, 36, 1897–1910
- IPCC 2018. *Working Group I: The Scientific Basis*. [ONLINE] Available at: <https://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/032.htm>. [Accessed 16 March 2018].
- JAEDICKE, C., SOLHEIM, A., BLIKRA, L. H., STALSBERG, K., SORTEBERG, A., AAHEIM, A., KRONHOLM, K., VIKHAMAR-SCHULER, D., ISAKSEN, K., SLETTEN, K., KRISTENSEN, K., BARSTAD, I., MELCHIORRE, C., HØYDAL, Ø. A. & MESTL, H. 2008. Spatial and temporal variations of Norwegian geohazards in a changing climate, the GeoExtreme Project. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 8, 893-904.
- JAEDICKE, C., SVERDRUP-THYGESON, K., SYRE, E., NADIM, F., KALSNES, B., VANGELSTEN, B. V., RADERMACHER, C. & FISCHER, G. 2011. Expected changes in climate-driven landslide activity (magnitude, frequency) in Europe in the next 100 years. *SAFELAND - FP7, Grant Agreement No. 226479*. ICG.
- KRUSKAL, W. & WALLIS, W. A. 1952. Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis *Journal of the American Statistical Association* 47, 583-621
- LANGO, P. 2010. Hatlestadraset i bergen forutsetninger, handtering og etterspill,. *Stein Rokkan senter for flerfaglige samfunnsstudier*
- LARSEN, M. C. 2008. Rainfall-triggered Landslides, anthropogenic hazards, and mitigation strategies. *European Geosciences Union*, 14, 147-153.
- MARCHIL, ARATTANO M, DEGANUTTI, A.M 2002 Ten years of debris-flow monitoring in the Moscardo Torrent (Italian Alps). *Geomorphology* 46: 1–17
- MOHR, M. & TVEITO, O. E. 2008. Daily temperature and precipitation Daily temperature and precipitation maps with 1 km resolution maps with 1 km resolution derived from derived from Norwegian weather observations Norwegian weather observations. *NGF foredrag*.
- NADIM, F., KJEKSTAD, O. 2009. Assessment of Global High-Risk Landslide Disaster Hotspots.
- NARSKY, I. & PORTER, F. C. 2013. *Statistical analysis techniques in particle physics: Fits, density estimation and supervised learning*, John Wiley & Sons.
- NVEA. 2013. *Jordskred og Flomskred* [Online]. Available: http://publikasjoner.nve.no/faktaark/2013/faktaark2013_05.pdf [Accessed 18.05 2018].
- NVEB. 2015. *HBV-modellen* [Online]. Available: <https://www.nve.no/hydrologi/analysemetoder-og-modeller/hbv-modellen/> [Accessed 15.5.2018].
- NVEB, S. V., JERNBANEVERKET, MET.NO, KARTVERKET. 2017. *Om xgeo* [Online]. Available: <http://www.xgeo.no/aboutXgeo.html?show=on> [Accessed 27.12.2017].
- NVEC. 2018. *Innføring i REGINES inndelingssystem* [Online]. Available: <https://www.nve.no/media/2297/regines-inndelingssystem.pdf> [Accessed 05.05 2018].
- SALCEDO, D. A. 2000. Los flujos torrenciales catastróficos de Diciembre de 1999, en el estado Vargas y en Caracas: Características y lecciones aprendidas. *Memorias XVI Seminario Venezolano de Geotecnia, Caracas*, 128-175.
- SCHUSTER, R. L., & KOCKELMAN, W. J. 1996. LANDSLIDES: INVESTIGATION AND MITIGATION. CHAPTER 5-PRINCIPLES OF LANDSLIDE HAZARD REDUCTION. No. 247.

- SHARPE, C. F. S. 1938. Landslides and related phenomena. *Columbia University Press, NY*, 1370.
- SÄTTELE, M., BRÜNDL, M. & STRAUB, D. A classification of warning system for natural hazards. 10th International Probabilistic Workshop, edited by: Moormann, C., Huber, M., and Proske, D., Stuttgart: Institut für Geotechnik der Universität Stuttgart, 2012. 257-270.
- TERLIEN, M. T. J. 1998. The determination of Statistical and deterministic hydrological landslide-triggering Thresholds. *Environmental Geology*, 35, 7.
- TERZAGHI, K. 1925. Erdbaumechanik auf Bodenphysikalischer Grundlage. *Franz Deuticke, Leipzig-Vienna*.
- UNISDR 2009. UNISDR Terminology for Disaster Risk Redution. *United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR) Geneva, Switzerland*.
- USAID 1999. Venezuela Floods Fact Sheet #7. US Agency for International Development.
- VARNES, D. J. 1978. Slope movement types and processes. *Special Report 176 Landslides: Analysis and Control* (Eds: Schuster, R. L. & Krizek, R. J.). *Transportation and Road Research Board, National Academy of Science, Washington D. C*, 11-33.
- VARNES, D. J. 1984. Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice. *Natural Hazards UNESCO, Paris*.
- VITTINGHOFF, E., GLIDDEN, D. V., SHIBOSKI, S. C. & MCCULLOCH, C. E. 2011. *Regression methods in biostatistics: linear, logistic, survival, and repeated measures models*, Springer Science & Business Media.
- WALBERG, N. A. K. & DEVOLI, G. 2014. Regional varsling av jordskredfare: Analyse av historiske jordskred, flomskred og sørpeskred i Gudbrandsdalen og Ottadalen. *NVE rapport nr.44 2014*.
- WIECZOREK, G., GLADE, T. 2005. Climatic factors influencing occurrence of debris flows. *Debris-flow Hazards and Related Phenomena*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- WIECZOREK, G. F., LARSEN, M.C., EATON, L.S., MORGAN, B.A. AND BLAIR, J. L. 2001. Geologic Hazards Team: Debris-flow and flooding hazards associated with the December 1999 storm in coastal Venezuela and strategies for mitigation. *In: SURVEY, U. G. (ed.)*.
- WILSON, R. C. 1989. Rainstorms, pore pressures, and debris flows: a theoretical framework, I: Landslides in a semi-arid environment (Morton DM, Sadler PM, eds),. *California: Publications of the Inland Geological Society*, 2, 101–117.
- ØYDVIN, E. K. 2011. Plan for skredfarekartlegging. *NVE rapport nr.14 2011*.
- ØYEHAUG, G. 2016. *Hydrometeorologiske tersklar for sørpeskredfare*. Master, University of Oslo.

10 Vedlegg

10.1 Eksempel for kode for å etablere klassifikasjonsmatrise

```
%%Gudbrandsdalen
cd 'C:\Users\matti\Documents\Mattis_events_gudbrandsdalen'
source_dir = 'C:\Users\matti\Documents\Mattis_events_gudbrandsdalen';
source_files = dir(fullfile(source_dir, '*.csv'));
%Generere datastrukturer for kolonner som behøves for å klargjøre settet.
%Vil legge til de resterende kolonnene til slutt før datastrukturen merges.

for i=1:126 %antallet grid(ikke hendelser)
    [A,B]=xlsread(source_files(i).name); %Akseserer fil nr. i og deler opp i to array. Ett numerisk og
    ett string.
    words =strsplit(source_files(i).name, '_');%Deler navnet opp ved understrek
    ID=str2double(words(4)); %Henter ut ord(tallrekke) fire i filnavnet
    F = regexp(B(2:6515,1), ' ', 'split'); %Kvitter meg med klokkeslett
    F = cellfun(@(x){x(1:1)}, F); %-----|-----
    Gudbrandsdalen(i).Date = vertcat(F{:});
    Gudbrandsdalen(i).Skredantall=0; %Struktur med summen av alle hendelser i gridet.
    Gudbrandsdalen(i).data = A(:,1:12); %Struktur av alle variabler
    Gudbrandsdalen(i).data(:,13)=0; %Struktur av Respons. 0=Ikke skred, 1=skred
    Gudbrandsdalen(i).Skredantall=0; %Struktur med summen av alle hendelser i gridet.
    Gudbrandsdalen(i).data = A(:,1:12); %Struktur av alle variabler
    Gudbrandsdalen(i).data(:,13)=0; %Struktur av Respons. 0=Ikke skred, 1=skred
    Gudbrandsdalen(i).data(:,14) = [NaN; diff((Gudbrandsdalen(i).data(:,9)))];
    %Editerer variabler gwb_qttprgwb_qttxyrx30yr og gwb_qtt3dprgwb_qtt3dxyrx30yr
    %Løkke for å konvertere feilaktig satt variabelverdier(65533, -9999) til 0.
    Gudbrandsdalen(i).data(Gudbrandsdalen(i).data==65533)=0;
    Gudbrandsdalen(i).data(Gudbrandsdalen(i).data==-9999)=0;

    Gudbrandsdalen(i).data(:,15)=movsum((Gudbrandsdalen(i).data(:,4)),3);
    Gudbrandsdalen(i).data(:,16)=movsum((Gudbrandsdalen(i).data(:,7)),3);

    Gudbrandsdalen(i).data(:,17)= ID; %Struktur av ID
end

%% Indeks og flagging av skreddager
GudbrandsdalenSKRED0=[];
GudbrandsdalenSKRED=[];
GudbrandsdalenSKRED2=[];
Index=[];
for i=1:10%Antall hendelser
    %Flagging
    R=Gudbrandsdalen(IDGRID(i)-200).Date(); %starter index på 1 ved å trekke fra 200
    K=TidspunktC(i);
    K=strsplit(K{1}, ' ');
    Index(i)=strmatch(K, R, 'exact');
    Gudbrandsdalen(IDGRID(i)-200).data(Index(i),13)=1; %flagge index+1 etterpå

    %Ekstrahere rader fra skreddag og dager før/etter.
    GudbrandsdalenSKRED0=[GudbrandsdalenSKRED0;Gudbrandsdalen(IDGRID(i)-200).data((Index(i)-1),:)] ;
    GudbrandsdalenSKRED=[GudbrandsdalenSKRED;Gudbrandsdalen(IDGRID(i)-200).data((Index(i)),:)] ;
    GudbrandsdalenSKRED2=[GudbrandsdalenSKRED2;Gudbrandsdalen(IDGRID(i)-200).data((Index(i)+1),:)] ;
end

%% Ikkeskred-matrise
k=150 %Bestem antallet ikke-skreddatoer for hver skreddato; Sjekk antallet som er blitt silt etter "run"
%for å kalibrere ratio
GudbrandsdalenIKKESKRED=[];
for i=1:10
    stop=0;
    while stop==0
        r = randi([1 6514],1,k);
        if Gudbrandsdalen(IDGRID(i)-200).data(r,13)==0
            GudbrandsdalenIKKESKRED =[GudbrandsdalenIKKESKRED; Gudbrandsdalen(IDGRID(i)-
200).data(r,:)] ;
            stop=1;
        end
    end
end

end

indx1=find(GudbrandsdalenIKKESKRED(:,12) > 2); % Siler vekk for lave ikke-skredverdier
GudbrandsdalenIKKESKRED = GudbrandsdalenIKKESKRED(indx1,:);
```

10.2 kode for å inspisere trestørrelse og bestemme om ett-standardavvikmetoden skal benyttes

```
%Setter beste trestørrelse etter ett standardavvik-regelen
close all
[E,~,~,bestLevel] = cvloss(trainedModel.ClassificationTree,'SubTrees','all')
view(trainedModel.ClassificationTree,'Mode','Graph');
mdl= prune(trainedModel.ClassificationTree,'level',5)
view(mdl,'Mode','Graph')
plot(E)
%xticklabels({'0','-','1','-','2','-'})
ylabel('Feilklassifikasjonsrate')
xlabel('Trimmenivå')
```

10.3 Kode for å lage konturplott

```
Klassifikasjonsmatrise2R=table2array(Klassifikasjonsmatrise2K); %konverte for å klargjøre for
plotting
%Plotter modellens predikasjonsevne for hvert område i scatterplottet.
X=Klassifikasjonsmatrise2R(:,6); %Variabel på x-akse
Y=Klassifikasjonsmatrise2R(:,16); %variabel på y-akse
[label,score,cost] = predict(mdl, Klassifikasjonsmatrise2R(:,[6 16])); %Får ut
predikasjonsevne
Z=(score(:,2)) %Setter predikasjonsevne til z-akse

[xi, yi] = meshgrid(linspace(min(X),max(X)),linspace(min(Y),max(Y))); %Definerer en maske for
å kunne plotte Z
zi = griddata(X,Y,Z, xi,yi); %Plotter Z mot kombinasjoner av x og y

figure (1)
scatter(X,Y,[],Klassifikasjonsmatrise2R(:,13),'filled') %Plotter kategoriske punkter av X og
Y
hold on
contour(xi,yi,zi, [0 0.01 0.15 0.3 0.70 ],'ShowText','on') %Bestemme sannsynlighetskoter

%%liste over mye brukte variabler på x- og y-akse

ylabel('3-dagers vanntilførsel normalisert for 30-års maksimum (%)')
ylabel('3-dagers nedbør(mm)')
xlabel('Temperatur(C)')
xlabel('Variasjon i grunnvannsnivå(mm)')
xlabel('Jordas Vannkapasitet(mm)')
xlabel('1-dags nedbør(mm)')
xlabel('Distribuert 1-dags vanntilførsel(mm)')
xlabel('døgnavrenning(mm)')
xlabel('Jordas metningsgrad(%)')
ylabel('1-dags vanntilførsel normalisert for 30-års maksimum (%)')
xlabel('1-dags vanntilførsel som fraksjon av årstotal (%)')

title('Spredningsplott for predikasjonsevne på Hornindal')
colormap(jet);
```

10.4 Kode for alle plottene som skulle benyttes

```
%% skredboksploott
r=table2array(Klassifikasjonsmatrise2K)
figure(1)
boxplot(r(1:58,1:16))
title('Variabelverdier for Gudbrandsdalen(2000-2012) etter skred')

set(gca,'XTickLabel',{ 'q(mm)', 'gwdev(mm)', 'gwcl(mm)', 'Dqt(mm)', 'qt(mm)', 'sdev(mm)', 'r(mm)', 'fr
d(cm)', 'tm(C)', 'srel(%)', 'qtm30(%)', 'qt3m30(%)', 'Resp', 'D_T(C)', 'qt3(mm)', 'r3(mm)'}))
set(gca,'FontSize',10,'XTickLabelRotation',60)
%%
figure(2)
boxplot(r(59:109,1:16))
title('Variabelverdier for Gudbrandsdalen(2000-2012) på skreddagen')
set(gca,'XTickLabel',{ 'q(mm)', 'gwdev(mm)', 'gwcl(mm)', 'Nqt(mm)', 'qt(mm)', 'sdev(mm)', 'r(mm)', 'fr
d(cm)', 'tm(C)', 'srel(%)', 'qtm30(%)', 'qt3m30(%)', 'Resp', 'D_T(C)', 'qt3(mm)', 'r3(mm)'}))
set(gca,'FontSize',10,'XTickLabelRotation',60)
gc = [ones(size(G(1).data')) 2*ones(size(G(2).data')) 3*ones(size(G(3).data'))
4*ones(size(G(4).data')) 5*ones(size(G(5).data')) 6*ones(size(G(6).data'))
7*ones(size(G(7).data')) 8*ones(size(G(8).data')) 9*ones(size(G(9).data'))
10*ones(size(G(10).data'))]
boxplot([G(1).data; G(2).data;G(3).data;G(4).data;
G(5).data;G(6).data;G(7).data;G(8).data;G(9).data;G(10).data],gc)
xlabel('Sampelnr.')
ylabel('Tre dagers normalisert vanntilførsel (%)')
title('Ikke-skreddagverdier for første strekning av Gudbrandsdalen')
title('Fordelingen av ti vilkårlig valgte sampler')
QTT3=VestlandetSKRED(:,12)
QTT3Sort=sort(QTT3)
%
bar(QTT3Sort)
xlim([0 31])
xlabel('Grid ID-nummer')
ylabel('Tre dagers normalisert vanntilførsel (%)')

figure (1)
bar(sort(VestlandetSKRED0(:,11)))
xlim([0 31])
xlabel('Grid ID-nummer')
ylabel('Én dags normalisert vanntilførsel (%)')
title('Vanntilførsel dagen før registrert skred')
figure (2)
bar(sort(VestlandetSKRED(:,11)))
xlim([0 31])
xlabel('Grid ID-nummer')
ylabel('Én dags normalisert vanntilførsel (%)')
title('Vanntilførsel på dagen til registrert skred')
figure (3)
bar(sort(VestlandetSKRED2(:,11)))
xlim([0 31])
xlabel('Grid ID-nummer')
ylabel('Én dags normalisert vanntilførsel (%)')
title('Vanntilførsel dagen etter registrert skred')
Klassifikasjonsmatrise2R=table2array(Klassifikasjonsmatrise2K)
gplotmatrix(Klassifikasjonsmatrise2R(:,[2 3 4 5 6 7 8 10 11 14 15
16]),[],Klassifikasjonsmatrise2R(:,13),'br')
```

10.5 Kode for å teste med Kruskal Wallis

```
%%Kruskal Wallis
% k=120 %Bestem antallet ikke-skreddatoer for hver skreddato; Sjekk antallet som er blitt silt
etter "run"
%           %for å kalibrere ratio
%Utvalg som skal representere populasjon
GR=[];
G(1).data=[];
for j=1:20
    for i=1:226
        stop=0;
        while stop==0
            r = randi([1 6514],1,k);
            if Gudbrandsdalen(IDGRID(i)-200).data(r,13)==0
                G(i).data = [Gudbrandsdalen(IDGRID(i)-200).data(r,12)];
                stop=1;
                indxl=find(G(i).data > 2); % Siler vekk for lave ikke-skredverdier
                G(i).data = G(i).data(indxl,:);
                GR= [GR ; G(i).data];
            end
        end
    end
end

end

end

allData = [GR; GudbrandsdalenIKKESKRED(:,12)];
groups = [ones(size(GR)); 2 * ones(size(GudbrandsdalenIKKESKRED(:,12)))];

[P, ANOVATAB, STATS] = kruskalwallis(allData, groups);
```


10.6 Eksempel på Rangeringstabell

Predikator 1	Predikator 2	100 Noder	AUC100	4 Noder	AUC4
QTT3.	GWDEV	99/16	0,81	99/15	0,68
QTT3.	FRD	>99/14	0,81	99/12	0,68
QTT3.	SSSREL	99/19	0,81	99/19	0,69
QTT3.	Delta_T	99/11	0,81	99/10	0,68
QTT3.	TM	99/13	0,81	99/14	0,68
QTTMAX30.	QTT3	99/22	0,81	99/13	0,65
RR3.	Q	99/17	0,81	99/15	0,67
RR3.	SSSDEV	99/23	0,81	99/17	0,66
RR3.	FRD	99/18	0,81	599/18	0,67
RR3.	TEMP	99/16	0,81	99/15	0,67
RR3.	SSSREL	99/20	0,81	99/19	0,72
RR3.	RR	99/16	0,81	99/15	0,67
RR3.	Delta_T	99/17	0,81	98/18	0,67
QTT3MAX30.	RR	99/17	0,8	99/16	0,68
QTT3MAX30.	RR3	99/20	0,8	99/16	0,67
QTT3MAX30.	Delta_T	99/16	0,8	99/14	0,67
QTT3.	Q	98/13	0,8	99/10	0,68
QTT3.	SSSDEV	99/21	0,8	99/20	0,69
QTT3.	QTTMAX30	99/21	0,8	99/13	0,65
QTT3.	QTT	99/17	0,8	99/14	0,66
QTTMAX30.	RR3	99/26	0,8	99/19	0,73
GWB QTT	RR3	99/17	0,8	98/15	0,67
QTT	QTT3	>99/17	0,8	99/14	0,66
RR3.	GWDEV	99/16	0,8	99/15	0,67
RR3.	GWTCCL	99/17	0,8	99/18	0,66
QTT3MAX30.	FRD	99/9	0,79	99/4	0,68
QTT3.	GWTCCL	99/17	0,79	99/17	0,69
QTT3MAX30.	Q	99/15	0,78	99/4	0,68
QTT3.	RR	99/16	0,78	99/19	0,68
QTTMAX30.	SSSDEV	99/22	0,78	99/23	0,65
GWB QTT	SSSDEV	99/18	0,78	99/22	0,63
QTT	SSSDEV	99/16	0,78	99/24	0,64
GWTCDEV	Q	99/13	0,78	>99/3	0,54
QTT3MAX30.	GWDEV	99/17	0,77	99/12	0,68
QTT3MAX30.	GWTCCL	99/16	0,77	99/18	0,68
QTT3MAX30.	SSSREL	99/12	0,77	99/11	0,68
QTTMAX30.	RR	99/19	0,77	99/13	0,68
QTTMAX30.	FRD	99/19	0,77	>99/13	0,65
QTT	Q	99/13	0,77	99/12	0,64
QTT	SSSREL	99/16	0,77	99/23	0,64
QTT	Delta_T	>99/13	0,77	99/11	0,65
QTT3MAX30.	SSSDEV	99/16	0,76	99/8	0,68
QTT3MAX30.	TM	99/15	0,76	99/18	0,68
QTTMAX30.	GWTCCL	99/21	0,76	99/20	0,65
QTTMAX30.	TM	99/19	0,76	99/13	0,65
QTTMAX30.	SSSREL	99/21	0,76	99/26	0,65

Predikator 1	Predikator 2	100 Noder	AUC100	4 Noder	AUC4
QTTMAX30.	Delta_T	98/21	0,76	>99/13	0,65
QTTMAX30.	TM	99/19	0,76	>99/13	0,65
GWB QTT	Q	99/11	0,76	99/11	0,62
GWB QTT	GWTCCL	99/17	0,76	99/21	0,63
GWB QTT	FRD	99/10	0,76	99/12	0,63
GWB QTT	SSSREL	99/16	0,76	99/21	0,63
GWB QTT	Delta_T	99/14	0,76	99/12	0,63
QTT	GWTCCL	99/17	0,76	99/10	0,64
RR	Q	99/14	0,76	>99/11	0,63
RR	GWDEV	99/15	0,76	99/11	0,63
RR	GWTCCL	99/14	0,76	99/12	0,63
RR	SSSDEV	99/19	0,76	99/19	0,63
RR	FRD	99/13	0,76	99/11	0,63
RR	Delta_T	99/14	0,76	99/11	0,63
QTTMAX30.	Q	99/21	0,75	>99/13	0,65
GWTCCL	GWTCCL	99/15	0,75	99/18	0,63
GWTCCL	SSSDEV	99/20	0,75	99/18	0,65
SSSDEV	SSSREL	99/14	0,75	99/11	0,61
QTT	FRD	>99/14	0,74	99/12	0,64
QTT	TM	99/14	0,74	99/12	0,64
RR	TEMP	99/15	0,74	99/11	0,63
RR	SSSREL	99/18	0,74	99/18	0,63
Q	GWTCCL	>99/3	0,74	>99/1	0,6
Q	SSSDEV	99/9	0,74	99/18	0,59
Q	SSSREL	>99/11	0,74	>99/11	0,6
GWTCCL	SSSDEV	>99/10	0,74	99/18	0,58
GWTCCL	Delta_T	>99/7	0,74	100/0	0,5
SSSDEV	FRD	>99/9	0,74	99/9	0,59
SSSDEV	TM	99/12	0,74	99/13	0,59
SSSDEV	Delta_T	>99/10	0,74	99/10	0,59
SSSDEV	TM	99/12	0,74	99/13	0,59
FRD	SSSREL	>99/10	0,74	99/11	0,6
TM	SSREL	99/11	0,74	99/11	0,6
QTT3MAX30.	QTT(GWB)	99/15	0,73	99/12	0,68
GWTCCL	FRD	99/9	0,72	>99/3	0,63
GWTCCL	Delta_T	99/11	0,72	>99/6	0,63
GWTCCL	FRD	>99/2	0,72	100/0	0,5
GWTCCL	TEMP	>99/1	0,72	100/0	0,5
GWTCCL	TEMP	>99/8	0,71	99/10	0,64
Q	FRD	>99/2	0,71	99/1	0,64
Q	Delta_T	>99/4	0,71	>99/0	0,52
GWTCCL	SSSREL	99/19	0,7	99/16	0,63
GWTCCL	SSSREL	99/12	0,7	99/12	0,6
Q	TEMP	>99/2	0,68	100/0	0,5
TM	Delta_T	>99/1	0,62	100/0	0,56
FRD	Delta_T	>99/1	0,58	100/0	0,55

10.7 Korrelasjonstabell for gudbrandsdalen

Gudbrandsdalen	Q	DEV	GWTC	GWBT	QTT	SSSDEV	RR	FRD	TM	SSREL	QTTMAX30	QTT3MAX30	Delta_T	QTT3	RR3
Q	1,00	0,11	0,29	0,34	0,10	-0,49	0,04	0,23	-0,12	0,57	0,23	0,46	-0,02	0,49	0,03
GWBDDEV	0,11	1,00	0,12	0,83	0,64	-0,19	0,54	0,13	-0,07	0,22	0,77	0,50	0,03	0,61	0,36
GWTC	0,29	0,12	1,00	0,18	0,14	-0,47	0,13	0,06	0,00	0,49	0,18	0,29	-0,04	0,22	0,14
GWBT	0,34	0,83	0,18	1,00	0,79	-0,19	0,73	0,06	0,04	0,24	0,94	0,67	-0,05	0,78	0,53
QTT	0,10	0,64	0,14	0,79	1,00	-0,08	0,92	0,02	0,14	0,10	0,77	0,51	-0,15	0,58	0,68
SSSDEV	-0,49	-0,19	-0,47	-0,19	-0,08	1,00	0,00	0,41	0,48	-0,94	-0,22	-0,32	-0,01	-0,22	0,06
RR	0,04	0,54	0,13	0,73	0,92	0,00	1,00	0,16	0,20	0,00	0,73	0,44	-0,24	0,49	0,77
FRD	0,23	0,13	0,06	0,06	-0,02	-0,41	-0,16	1,00	-0,43	0,45	0,05	0,08	0,05	0,10	-0,22
TM	-0,12	-0,07	0,00	0,04	0,14	0,48	0,20	0,43	1,00	-0,49	0,03	0,01	0,12	0,06	0,30
SSREL	0,57	0,22	0,49	0,24	0,10	-0,94	0,00	0,45	-0,49	1,00	0,22	0,34	0,02	0,29	-0,05
QTTMAX30	0,23	0,77	0,18	0,94	0,77	-0,22	0,73	0,05	0,03	0,22	1,00	0,66	-0,06	0,70	0,52
QTT3MAX30	0,46	0,50	0,29	0,67	0,51	-0,32	0,44	0,08	0,01	0,34	0,66	1,00	-0,11	0,75	0,45
Delta_T	-0,02	0,03	-0,04	-0,05	-0,15	-0,01	-0,24	0,05	0,12	0,02	-0,06	-0,11	1,00	-0,03	-0,18
QTT3	0,49	0,61	0,22	0,78	0,58	-0,22	0,49	0,10	0,06	0,29	0,70	0,75	-0,03	1,00	0,62
RR3	0,03	0,36	0,14	0,53	0,68	0,06	0,77	0,22	0,30	-0,05	0,52	0,45	-0,18	0,62	1,00