

# Masteroppgave

## *Sammenheng mellom regionale hydrometeorologiske forhold og poretrykk mht. utløsning av løsmasseskred*

Eirik Grimsrud Olsen



Oppgave for graden  
Master i Geofag: Geofarer  
60 studiepoeng

Institutt for geofag  
Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

UNIVERSITETET I OSLO

Våren 2019



# Masteroppgave

*Sammenheng mellom regionale  
hydrometeorologiske forhold og poretrykk mht.  
utløsning av løsmasseskred*

Eirik Grimsrud Olsen

© 2019 Eirik Grimsrud Olsen

Masteroppgave

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

Trykk: Reprosentralen, Universitetet i Oslo

# Sammendrag

Fremtidens klima kommer til å føre til flere store nedbør- og snøsmeltingshendelser. I dag utgjør dette en stor del av utløsende årsak for løsmasseskred. Det vil si at for å minimere skadeomfanget som kan oppstå med økt hyppighet av skred i fremtiden, er det viktig å få en bedre forståelse av hvordan vanntilførsel fører til skred. NVE utsteder skredvarsler basert på algoritmer og modeller som tar inn landsdekkende data fra xGeo. Bruk av lokale tilleggsdata kan derfor ha et potensiale til å forbedre varslingen, spesielt i forhold til lokale skredutsatte skråninger. I denne oppgaven blir lokale poretrykksdata korrelert med regionale nedbør- og snøsmeltingsdata for å finne ut om man kan se indikasjoner for artesisk porevannstrykk basert på vannstrømning i grunnen. Artesisk porevannstrykk kan bygges opp med vann som infiltrerer bakken et godt stykke fra den skredutsatte skråningen. Det kan gjøre at skredfaren er høyere enn antatt og ved å implementere poretrykksmålere kan skredfaren justeres etter poretrykksforholdene. Det blir også sett på om den utløsende årsaken i et skred i Opsvik i Stranda kommunem Møre og Romsdal, kan være artesisk porevannstrykk.

Det har blitt utført korrelasjonsanalyser på poretrykk fra 5 lokaliteter, hvor 4 er lokalisert langs Nordlandsbanen og 1 på Vestfossen sør for Høkkund. Poretrykksmålerne for lokalitetene langs Nordlandsbanen er installert for å forbedre skredsikringen langsmed jernbanelinjen. Det har gjort at poretrykksdataene ikke er optimale for å vurdere artesisk porevannstrykk. Poretrykksmålerne for Vestfossen er installert for å forske på kvikkleireskred, noe som gjør at plasseringen av målere er betraktelig bedre. Plasseringen av målere har vist seg å være viktig når det kommer til hvordan ulike faktorer påvirker korrelasjonen. Korrelasjonsverdiene er generelt ganske lave, og ingen områder med vanntilførsel har god korrelasjon med poretrykket. Plasseringen av poretrykksmålerne kan ha ført til at poretrykksendringene ikke nødvendigvis påvirkes mye av vanntilførsel, men vannføringen i nærliggende elver. Det gjør at det er vanskelig å vite

om en økning i de dypeste poretrykksmålerne skyldes en mulig artesisk oppbygning av poretrykk, eller om det er vannføringen som fører til variasjonene. Resultatene viser at selv om korrelasjonsverdiene er lave, er poretrykksendringene signifikant påvirket av vanntilførselen. Det er potensialer i å bruke lokale poretrykksdata for å få en bedre skredfarevurdering. Det er derfor vurdert å være høyt potensial i å bruke metoder som gjør det mulig å skille mellom økning av poretrykk på grunn av vannstrømning i grunnen, og variabler som vannføring, vannmetning i bakken og solinnstråling.

# Forord

Først og fremst vil jeg takke veilederne mine Anders solheim og José Mauricio Cepeda for god veiledning gjennom hele masterløpet, og gode faglige input til oppgaven. Jeg vil takke NGI for å få lov til å jobbe med et så spennende prosjekt som er knyttet til Klima2050. Det er flere på NGI som fortjener en takk, men jeg må spesielt takke Frode Sandersen som gadd å bli med Anne Fagerhaug og meg for å befare skredet i Opsvik.

Videre vil jeg takke medstudenter som har hjulpet meg masse med spesielt programmering og hydrologiske problemstillinger. Uten gode venner på studie som velger å hjelpe meg fremfor sin egen oppgave, hadde jeg ikke kommet i mål.

Jeg vil takke venner utenfor studiet, som har fått meg til å koble av og tenke på andre ting i livet enn masteroppgaven. Jeg er glad for at jeg ble dratt med ut for å tilbringe utallige timer i elvekajakk med gode venner.

Til slutt vil jeg takke min mor og søster for å stille opp med hjelp, motivasjon og gode råd under en lang studietid.

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>i</b>
<b>Forord</b>	<b>iii</b>
<b>1 Introduksjon</b>	<b>1</b>
1.1 Motivasjon	1
1.2 Problemstilling og mål for oppgaven	2
1.3 Tidligere arbeid	2
1.4 Studieområder	4
<b>2 Teori</b>	<b>5</b>
2.1 Porevannstrykk og grunnvann	5
2.1.1 Artesisk poretrykk	6
2.1.2 Poretrykksmåling	7
2.2 Skred og Skredprosesser	8
2.2.1 Ustabilitet i jordpakken	8
2.2.2 Skredutløsning	9
2.2.3 Skredtyper	11
2.3 Geotekniske undersøkelser	12
2.3.1 Dreietrykk	13
2.3.2 Trykksondering med poretrykk	14
2.3.3 Totalsondering	14
2.3.4 Rutine laboratorieundersøkelser	15
2.4 xGeo - Hydrometeorologiske data	15
2.5 Korrelasjon	19
2.5.1 Pearson korrelasjon	19
2.5.2 Spearman rank korrelasjon	21
2.5.3 Regresjon og signifikans	22
<b>3 Terreng og Geologi</b>	<b>23</b>
3.1 Gartland	25
3.2 Åsmulen	31
3.3 Bjørnstad	38
3.4 Eiterstraumen	42
3.4.1 Poretrykksmåler SE-25P	43
3.4.2 Poretrykksmåler RO-1	45
3.5 Vestfossen	48
3.6 Opsvik - Skredhendelse	50



<b>4</b>	<b>Metode</b>	<b>53</b>
4.1	Valg av interesseområder	54
4.2	Innhenting av data	54
4.2.1	Endelig dataoppsett	55
4.3	Databehandling og Analyser	56
4.4	Bruk av ArcMap og generering av kart	60
<b>5</b>	<b>Resultater</b>	<b>61</b>
5.1	Tidsserieplott	61
5.2	Responstid	68
5.3	Verdier med og uten null	70
5.4	Korrelasjonsmetode	75
5.5	Utdrag fra tidsserie	76
5.6	1 og 3 dagers vanntilførsels - verdier	80
5.7	Installasjonsdybde	81
5.8	Korrelasjonen til cellene	84
5.8.1	Gartland	84
5.8.2	Åsmulen	84
5.8.3	Bjørnstad	85
5.8.4	Eiterstraumen SE25	85
5.8.5	Eiterstraumen RO01	85
5.8.6	Vestfossen 2010	85
5.8.7	Vestfossen 2011-2012	86
5.9	Regresjonsmodell	86
5.10	Oppsummering av resultatene	87
5.11	Opsvik - Skredhendelse	88
<b>6</b>	<b>Diskusjon</b>	<b>90</b>
6.1	Responstid	90
6.2	Installasjon av poretrykksmålerne	93
6.2.1	Dybde	93
6.2.2	Plassering i terrenget	97
6.3	Fjerne verdier med null	98
6.4	1 og 3 dagers verdier	100
6.5	Korrelasjonsmetode	100
6.6	Korrelasjonsverdiene	101
6.7	Skredhendelsen i Opsvik	104
<b>7</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>106</b>
<b>8</b>	<b>Forslag til videre arbeid</b>	<b>108</b>
8.1	Forbedringer	108
8.2	Terskelverdier	109
8.3	Multikriterieanalyse	113
	<b>Bibliografi</b>	<b>114</b>

<b>Vedlegg</b>	<b>121</b>
A Tegnforklaring til løsmassekart . . . . .	121
B Kornfordelingsanalyser . . . . .	122
C Tidsserieplot . . . . .	128
D Korrelasjonsresultater . . . . .	134

# Kapittel 1: Introduksjon

## 1.1 Motivasjon

I følge Wieczorek (1996) er en utløsningsmekanisme for skred en ytre påvirkning fra store og/eller intense nedbørshendelser, jordskjelv, vulkanske utbrudd, bølgeerosjon fra stormer, eller elveerosjon som fører til endring i skjærstyrken til materialene. Han mener også at en utløsningsmekanisme kan være erosjon og forvitring over lang tid til det etterhvert løsner et skred. Av disse utløsningsmekanismene er det store nedbørshendelser alene eller sammen med snøsmelting som skiller seg ut i Norge (Jaedicke et al., 2008). Det blir antydnet at de kraftigste nedbørshendelsene over 24 timer har økt og kommer til å øke (Jaedicke et al., 2008; Hanssen-Bauer et al., 2009). Dette vil si at hyppigheten av løsmasseskred utløst av store nedbørshendelser mest sannsynlig også kommer til å øke i fremtiden. Med bakgrunn i dette er det viktig å få en bedre forståelse av hvordan store nedbørshendelser kan føre til skred.

Store nedbørshendelser vil påvirke områder forskjellig ettersom stabiliteten til bakken er avhengig av mange ulike feltparametre. Dette er parametre som sedimenttype, sedimenttykkelse, berggrunn, orientering av sprekkesystemer, topografi, permeabilitet, frost i bakken og metningsgrad. I flere historiske nedbørshendelser i Norge kan artesisk vanntrykk (overtrykk) ved bunn av sedimentene være en utløsende faktor for skred. Slikt overtrykk kan komme fra vanntransport i sjiktet mellom løsmassene og berggrunnen, gjennom sprekkesystemer i berggrunnen eller vannførende lag. Store nedbørshendelser, eventuelt i kombinasjon med snøsmelting er en vanlig situasjon ved utløsning av jordskred. Hvis man klarer å se en sammenheng mellom variasjon i poretrykk og nedbør, sammen med enkle feltparametre som sedimenttype, sprekkesystemer i berggrunnen og topografi, kan dette bidra til å gi en bedre forståelse av

hvordan et løsmasseskred blir utløst. Dette kan også bidra til en bedre forståelse av mulige utløsningsområder, og dermed også til bedre varsling av skred.

## 1.2 Problemstilling og mål for oppgaven

Early warning system (EWS) blir blant annet brukt av NVE til å varsle om hvor stor skredfaren er grunnet nedbør og snøsmelting (Krøgli et al., 2018). Systemet er landsdekkende, men delt opp i regioner. For å kunne få en bedre oppløsning på skredfaren i mer utsatte områder kan bruk av lokale poretrykksdata muligens forbedre skredfarevarslingen. Dette kan være mulig om man finner ut hvordan vanntilførsel i form av nedbør og snøsmelting i stor skala påvirker lokale poretrykksdata. I sammenheng med EWS og poretrykk, er artesisk porevannstrykk et fenomen som ikke er forsket mye på. Om lokale nedbørsbyger fører til stor vanntilførsel et stykke unna skredutsatte skråninger, kan transport av vann i sedimentpakken og/eller berggrunnen skape et økt poretrykk/artesisk porevannstrykk uten at nedbør har falt over de skredutsatte skråningene. I et slikt tilfelle kan skredfaren være større enn først antatt, og ved å implementere poretrykksmålere kan skredfare-meldingen justeres basert på poretrykket.

Målet med masteroppgaven er å se om det er mulig å korrelere lokale poretrykksdata og regionale vanntilførselsdata, i tillegg til hvilke metoder og data som kan muliggjøre dette. Oppgaven blir vinklet mot artesisk porevannstrykk ved å se på korrelasjon mellom poretrykksendringer og vanntilførsel inntil noen km fra poretrykksmålerne. Om korrelasjonen er bedre for områder i en avstand fra poretrykksmålerne enn rett ved målerne, er det en mulighet for at transport av vann i sprekker eller i vannførende lag kan skape et artesisk porevannstrykk.

## 1.3 Tidligere arbeid

Det er skrevet mye om hvilken påvirkning vann har for stabilitet til en jordpakke og hvordan tilføring av vann kan føre til skred. Fra Bogaard og Greco (2016), som er en av mange, forklares det at trykket vannet påfører porene i en jordpakke påvirker likevekten til kreftene i jordpakken. Derfor vil skråningsstabiliteten være sterkt påvirket av endringer i porevannstrykket. For videre forklaring, se kap. 2.2.

Det Bogaard og Greco (2016) beskriver er godt kjent innen skredforskning. Noe det ikke er skrevet mye om er hvordan artesisk trykk kan være årsaken til ustabilitet og utløsning av skred. Jørstad (1968) nevner at artesisk trykk/pore-overtrykk er en av hovedgrunnene til at det kan gå leirskred, men forklarer ikke noe mer utover det.

Statens vegvesen, Jernbaneverket og NVE har samarbeidet for å lage en rapport hvor det ble gjort en vurdering av kartleggingsgrunnlaget for kvikkleire i strandsonen (L'Heureux, 2013). I denne rapporten er det beskrevet at artesisk poretrykk kan føre til en potensiell skredfare. Videre skrives det at det veldig sjeldent er gjort poretrykksmålinger med tanke på faresonekartlegging av skred og at det oftest blir estimert et poretrykk på bakgrunn av topografi og kunnskap om grunnforhold.

Olsen et al. (2015) har sett på sammenhengen mellom nedbørshendelser og endring av poretrykk i sammenheng med et jordskred. 20 km fra Sogndal sentrum har NVE installert en klimastasjon som et pilotprosjekt sammen med høyskolen på Vestlandet, der hensikten er å få bedre kunnskap om løsmasseskred. Det er blant annet installert instrumenter som grunnvannsrør og nedbørmålere. I forbindelse med et jordskred som gikk den 15./16. november i 2013, har målinger fra klimastasjonen til NVE blitt brukt til å se om det er noen sammenheng mellom en økning i poretrykk og tilførsel av nedbør. Deretter blir det sett på om dette kan ha ført til skredet som ble utløst. De finner en tydelig sammenheng mellom nedbørshendelser og økning i poretrykk, og viser til flere eksempler hvor dette gjelder. Dataene de har tilgjengelig er på liten skala og målingene er gjort hyppige med 4 timer og 15 minutters intervaller. Dette gjør at de har god tidsoppløsning og god kontroll på de målte nedbørsverdiene. Når de ser på nedbørshendelsen som skjedde i forkant av/under jordskredet, finner de en responstid mellom nedbøren og en økning i poretrykk, på mellom 3 til 5 timer. De skiller også mellom snøsmelte og nedbør som en årsak til økning i poretrykk ved å se på hvilken temperatur grunnvannet har til enhver tid. I dette tilfellet ser de av temperaturen at økningen av poretrykk er et resultat av nedbør de 4 første timene, og etter det starter snøsmeltingen å bidra til økningen. Videre konkluderer de med at årsaken til jordskredet mest sannsynlig er vann som blir tilført bakken i form av både nedbør og snøsmelte. De nevner at et hevet grunnvannsnivå kan føre til økt poretrykk over glideplanet slik at skjærstyrken minker, men går ikke videre utover dette. Det nevnes også at en annen faktor som kan ha utløst skredet er en økt metningsgrad.

## 1.4 Studieområder

For denne oppgaven er det valgt å fokusere på to områder der det finnes tilgjengelige poretrykksdata. Dette er prosjekter NGI har utført, og derfor har poretrykksdata tilgjengelig. Prosjektene er Nordlandsbanen og Vestfossen (sør for Hokksund). Nordlandsbanen er delt opp i 4 studieområder og Vestfossen er kun ett. I tillegg er det gjennomført feltundersøkelser i 2018 på et skred som gikk i Opsvik i Stranda kommune, Møre og Romsdal i 2013 (Fig. 1.1). Det ble gjort for å se om dette skredet kan være utløst av artesisk trykk. Feltundersøkelsene ble gjort sammen med Anne Kristin Fagerhaug som leverer masteroppgave om denne og en lignende skredhendelse i nærheten. Informasjon om skredhendelsen i Opsvik vil derfor være basert på masteroppgaven Fagerhaug (2019).

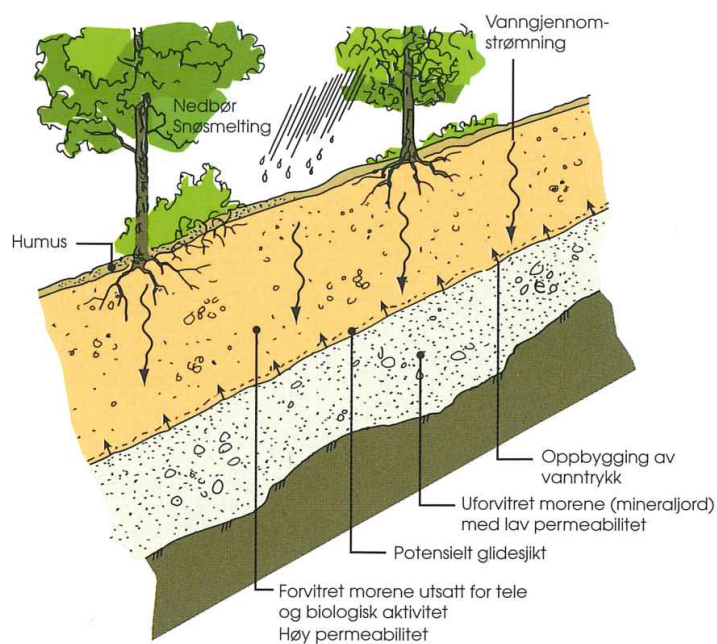


Figur 1.1: Flyfoto av det utløste skredet som ble undersøkt. Foto: Einar Anda, juni 2013.

# Kapittel 2: Teori

## 2.1 Porevannstrykk og grunnvann

Når nedbør og snøsmelte infiltrerer og perkulerer ned mot grunnvannet vil dette skape et porevannstrykk (Fig. 2.1).

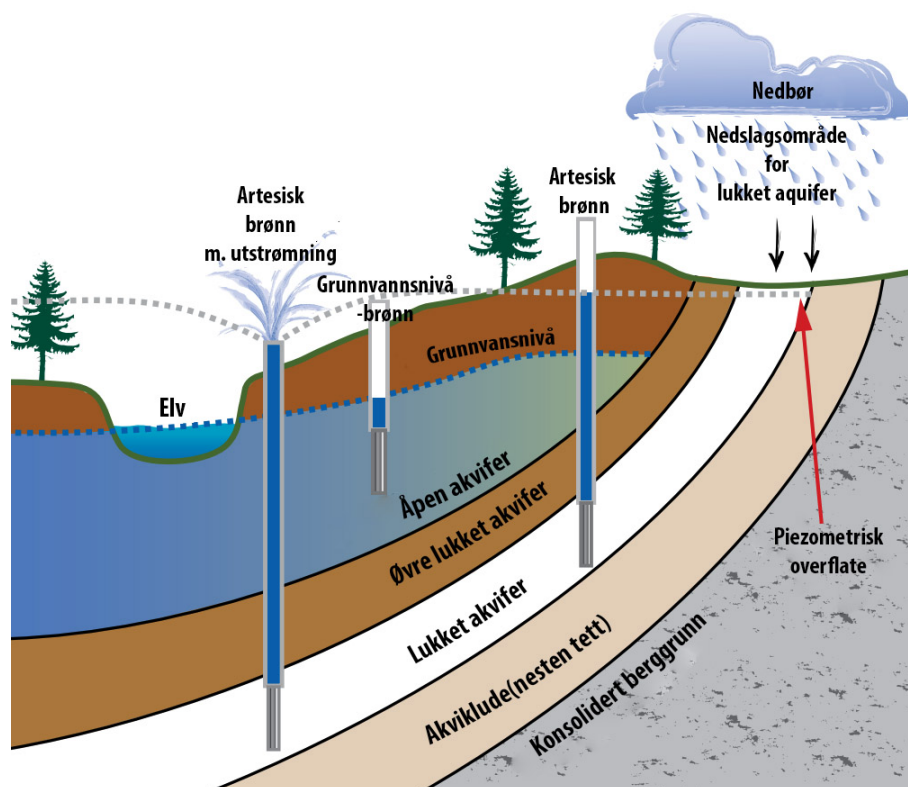


Figur 2.1: Illustrasjon over (konseptet med) hvordan et porevannstrykk kan oppstå. Ved nedbør og snøsmelte kan vann infiltrere ned mot et lag med lav permeabilitet og skape en oppbygging av poretrykk (Sandersen, 2014).

Når vannet treffer på et lag med lav permeabilitet/grunnfjell, og det fortsetter å bli tilsatt vann ned mot dette laget/grunnfjellet, vil det bli bygget opp et trykk nederst mot det lavt permeable laget/berggrunnen. Trykket som skapes i porerommet til sedimentene fører til en lavere skjærstyrke og derfor en større sannsynlighet for utglidning. Det er likevel begrenset hvor høyt trykk som kan bygges opp, da det ikke er et overliggende tett lag som vannet kan bygges opp mot slik at det dannes et overtrykk. Når sedimentpakken er fullstendig mettet vil vann som tilføres bare renne vekk som overflateavrenning (Hiscoock og Bense, 2014).

### 2.1.1 Artesisk poretrykk

Artesisk poretrykk oppstår når den piezometriske overflaten ligger høyere enn terrenget og en eventuell åpen vannkilde (Fig 2.2).



Figur 2.2: Dersom en lukket akvifer (hvitt lag) kan føre infiltrert vann fra høytliggende områder til lavtliggende områder, vil vannet være under trykk når det er ved de lavtliggende områdene. Hvis den piezometriske overflaten ligger over terrenget vil det være et artesiske porevannstrykk i den lukkede akviferen. Modifisert fra (British Columbia, 2019).

Ved en lagdelt grunn med et tett lag, typisk leire, over et vannførende lag, typisk grovere materialer som sand, samt høye områder som fjell og dalsider, kan artesiske



trykk dannes. Artesisk trykk kan også oppstå gjennom sprekkesystemer i berget. Vann som infiltrerer grunnen høyt oppe på et fjell har muligheter for å bli satt under trykk dersom vannet blir ført ned fjellet i en lukket akvifer. Dette vannet vil da være under et høyere trykk enn vann som infiltrerer ned i grunnen ved lavtliggende områder.

### 2.1.2 Poretrykksmåling

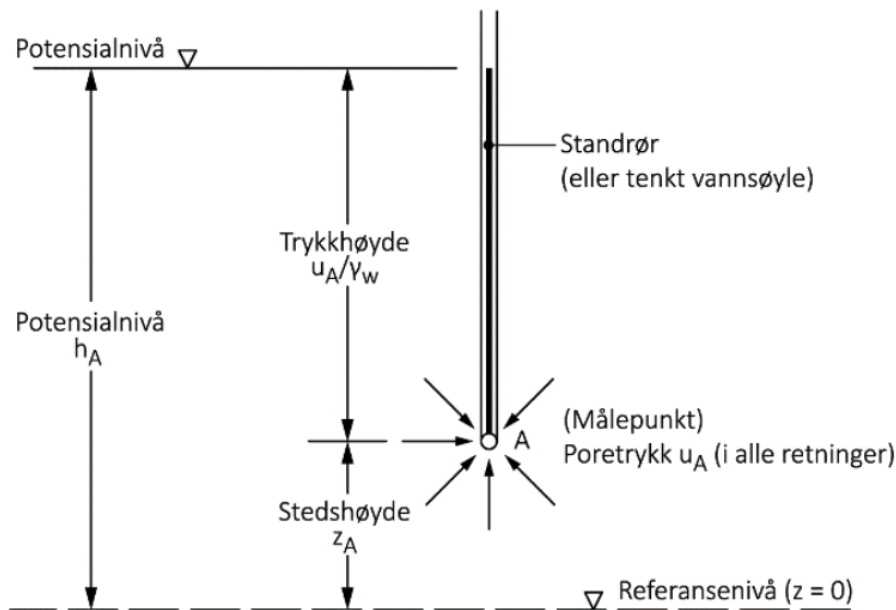
Vanntrykkfordelingen i et åpent basseng er hydrostatisk og vil være entydig bestemt av dybden (Ligning 2.1) (Andresen et al., 2017).

$$p = \gamma_w d = \rho_w g d \quad (2.1)$$

Der  $p$  er vanntrykket,  $d$  er dybden fra vannoverflaten,  $\rho_w$  er vannets tetthet ( $1000 \text{ kg/m}^3$ ),  $g$  er tyngdeakselerasjonen ( $9.81 \text{ m/s}^2$ ) og  $\gamma_w = \rho_w g$  er vannets tyngdetetthet ( $9.81 \text{ kN/m}^3$ ). Trykket påført av atmosfæren er vanligvis ikke inkludert i beregningene, og derfor er heller ikke vanntrykket definert som det absolutte vanntrykket, men overtrykk i forhold til atmosfærisk trykk (Andresen et al., 2017).

Trykkfordelingen i grunnvann derimot, vil være avhengig av flere faktorer som snøsmelting, nedbør, tørke, drenasje og pumping fra brønner. På grunn av variasjonen i naturen vil tilnærmingen med vanntrykkfordeling i et åpent basseng være et særtilfelle som sjeldent inntreffer. Tynne tette lag med svært lav permeabilitet som leire, kan medføre at trykkfordelingen ikke vil være hydrostatisk (Sandersen, 2014). Ved å installere grunnvannsrør over og under et slikt lag, kan vannstanden være ulik og trykkfordelingen vil ikke være hydrostatisk. Det vil derfor være mer hensiktsmessig å beskrive trykkforholdene i grunnvannet ut fra definisjonen om poretrykk.

Poretrykket er definert som trykket i porevannet angitt som kraft pr. flateenhet og med atmosfæretrykket som nullpunkt (Andresen et al., 2017). Poretrykket kan også representeres ved potensialnivået (Fig 2.3).



Figur 2.3: Poretrykket ved et målepunkt "A" er trykket vannet påfører punktet fra alle retninger. Poretrykket kan også defineres fra både potensialnivået som er høyden mellom et referansenivå "z" og vannspeilet, og trykkhøyde som er dybden fra vannspeilet til målepunktet "A". Figur tatt fra (Andresen et al., 2017).

Måten poretrykket har blitt målt på i Nordlandsbane-prosjektet og i Vestfossen er ved elektronisk poretrykksmåler. Denne måler det absolutte poretrykket som er poretrykket addert med atmosfæretrykket. For at man skal sitte igjen med poretrykket har atmosfæretrykket blitt trukket fra det absolutte poretrykket i etterkant.

## 2.2 Skred og Skredprosesser

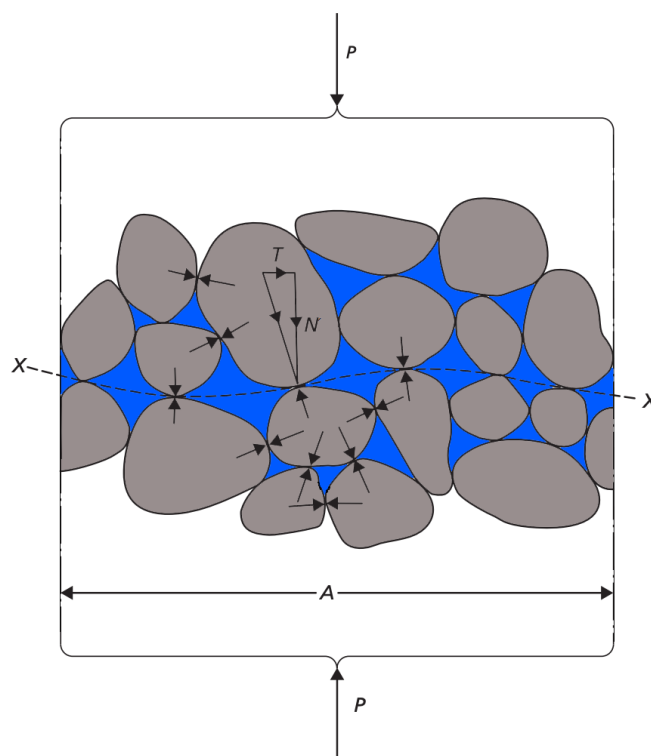
### 2.2.1 Ustabilitet i jordpakken

Stabiliteten i en skråning er sterkt påvirket av tilstedeværelsen av vann. Hovedkonsekvensen med at en jordpakke består av både vann og faste partikler, er at kun en del av det indre stresset påføres til partikkel "skjelettet" mens den resterende delen påføres til det inkompressible vannet (Bogaard og Greco, 2016). Det vil si at det totale stresset på jordpakken er en funksjon av både porevannstrykk og det effektive normale stresset (indre stress)(Ligning 2.2)

$$\sigma' = \sigma - u \quad (2.2)$$

Der  $\sigma'$  er det effektive stresset som er stresset tilført på jordskjelettet,  $\sigma$  er det totale stresset på jordpakken, og  $u$  er porevannstrykket fra vannet som fyller tomrommene i jordpakken.

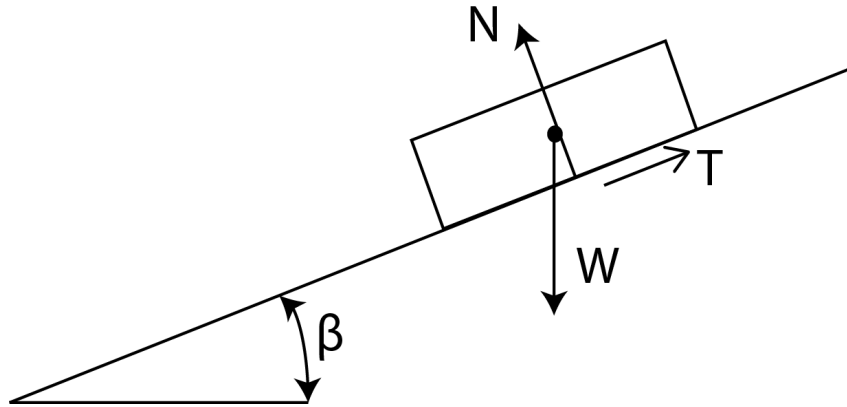
Figur 2.4 viser hvordan et påført trykk «P», på et areal «A» ved et tverrsnitt X-X virker på en mettett jordpakke. Stabiliteten til jordpakken vil da være avhengig av både vanntrykket og trykket på jordskjelettet.



Figur 2.4: Illustrasjonen visualiserer hvordan et påført trykk «P» på et areal «A» ved et tverrsnitt X-X vil fordele seg på de to komponentene, vann og de solide partiklene. De sorte pilene indikerer hvor trykket vil bli påført til jordskjelettet (effektivt stress). Modifisert fra Knappett og Craig (2012).

## 2.2.2 Skredutløsning

For at et skred skal gå, må de drivende kreftene være større enn de motvirkende kreftene (Høeg, 2014). Dette illustreres av figur 2.5.



Figur 2.5: Illustrasjon for hvilke krefter som virker på en gitt masse i en skråning med en vinkel  $\beta$  på et glideplan.

Den drivende kraften  $W$  på figuren kommer fra massen til glideelementet og gravitasjonskonstanten. Kraften kan dekomponeres til en tangentiell kraft parallelt med glideplanet ( $W_t$ ) og en normalt på glideplanet ( $W_n$ ). I en likevektstilstand vil kraften normalt på glideplanet ( $W_n$ ) bli motvirket av normalkraften fra bakken, og den tangentielle kraften ( $W_t$ ) vil bli motvirket av skjærmotstanden ( $T$ ). Den nødvendige skjærmotstanden for å holde glideelementet på plass er definert som (Ligning 2.3):

$$T = W \sin \beta \quad (2.3)$$

Der  $\beta$  er vinkelen på glideplanet.

I praksis brukes spenningstilstand som mål på stabiliteten. Spenning er kraft per flateenhet, og dette vil gi skjærspenning ( $\tau = T * A$ ) istedenfor skjærkraft og normalspenninger ( $\sigma = N * A$ ) istedenfor normalkraft. Den nødvendige skjærkraften per flateenhet som trengs for å motvirke et skred er skjærstyrken til materialet. Skjærstyrken er essensiell for stabiliteten til en skråning. Normalspenningen mellom et glideplan og et glideelement påvirker hvor stor en skjærstyrke vil være. Hvis normalspenningen er lav, ved et eventuelt høyt poretrykk/vanntrykk ( $u$ ), vil skjærspenningen mellom glideplanet og glideelementet bli høyt, og det skal mindre påvirkning til før det går et skred (Ligning 2.2). Det effektive stresset ( $\sigma'$ ) vil da bli lavere. Dette på grunn av at skjærstyrken til materialene ikke er høye nok til å motvirke skjærspenningene som oppstår.

Skjærstyrken/skjærmotstanden til et materiale er hovedsakelig bestemt av to faktorer. Den ene er kapillærkrefter, og den andre er friksjonskraft (Smith, 2013). Kapillærkrefter er kreftene mellom partiklene i sedimentene som kan forklares som en sugeseffekt. Når vann/fukt er tilstede i en sedimentpakke vil dette føre til at partiklene har en sugende effekt på hverandre. For eksempel vil en helning kunne bli brattere når det er vann/fukt i pakken som skaper kapillærkrefter enn om det ikke hadde vært vann tilstede. Den andre faktoren, friksjonskraften, kommer fra motstanden til partiklene mot å gli forbi hverandre. Ved en veldig ru overflate vil friksjonen være høyere enn på en glatt overflate. Størrelsen på friksjonskraften er bestemt av vekten til de overliggende massene.

Grunnen til at et skred blir utløst deles ofte opp i to hovedkategorier, årsak og utløsning (Smith, 2013). Årsaker til skred kan være forvitring, en økning i hellningsgrad ved typisk elveerosjon, en økning i belastningen på toppen av en skredutsatt skråning ved å dumpe materialer eller naturlig metning av vann, endringer av grunnvannsnivået, og fjerning av vegetasjon. Den andre kategorien er også den som er en del av fokuset i denne oppgaven. Den utløsningsmekanismen som er fokuset i oppgaven er økning av porevannstrykket, men da som et overtrykk. En økning i porevannstrykk fører til en minskning i skjærstyrken til materialene og en økning i skjærspenningen (Ligning 2.2). Andre utløsningsmekanismer kan være jordskjelv og menneskelig påvirkning, spesielt på grunn av gravningsarbeid.

### 2.2.3 Skredtyper

Det finnes mange ulike typer skred og flere klassifikasjoner. En av de nyere mer oppdatert versjonene, og best mottatt av klassifikasjonene skrevet på engelsk, er laget av Hungr et al. (2014). Til forskjell fra norsk er den mer oppdelt for de ulike skredtypene. En norsk variant av denne er laget av Øydvin et al. (2011) (Tab. 2.1).

Tabell 2.1: Skredklassifisering på norsk over de ulike skredtypene. Modifisert fra Øydvin et al. (2011).

Fast fjell	Løsmasser		Snø
	Grove	Fine	
Steinsprang Steinskred Fjellskred	Jordskred		Snøskred Sørpeskred
	Flomskred	Kvikkleire- skred	

De skredtypene det blir fokusert på i denne oppgaven er jordskred og leirskred.

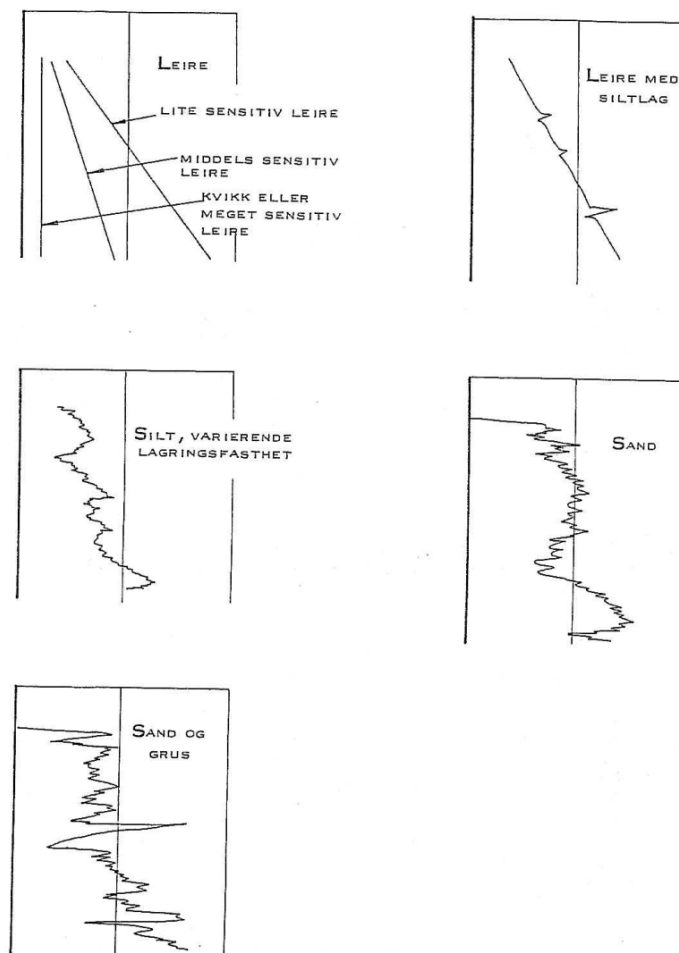
Jordskred blir oftest utløst i skråninger med helning på ca. 25° eller brattere, men hvis porevannstrykket er høyt nok kan skred utløses ved lavere helningsgrad (Sandersen, 2014). Det skjer typisk ved forsenkninger eller terskler der vann kan samle seg slik at porevannstrykket har mulighet til å bygge seg opp. Løsningsområdet til et jordskred har vanligvis ikke veldig stor sedimenttykkelse. En typisk tykkelse på utglidningslaget er fra en halv meter til noen meter, og det er vanligvis hovedsakelig løsneområdet som utgjør den største delen av volumet i skredet (Sandersen, 2014). Når ulike skred blir beskrevet er det lett å ta feil mellom jordskred og flomskred. De kan ligne på hverandre men det er enkelte elementer som skiller de fra hverandre. Flomskred er et hurtig, vannrikt, flomlignende skred som utløses langs klart definerte elve- og bekkeløp og lignende områder, også der det vanligvis ikke er permanent vannføring (Sletten et al., 2015). Ved ekstreme nedbørshendelser kan flomskred bli utløst ned mot 10° helning (Sandersen, 2014).

## 2.3 Geotekniske undersøkelser

Under prosjektet langs Nordlandsbanen er det i tillegg til nedsetting av poretrykksmålere, utført følgende geotekniske grunnundersøkelser: dreietrykksondering, trykksondering med poretrykksmåling (CPTU) og totalsondering. Disse metodene beskrives nedenfor. I tillegg er det tatt opp sedimentprøver, som har gjennomgått rutine laboratorieundersøkelser.

### 2.3.1 Dreietrykk

Dreietrykksonderinger baserer seg på å dreie og trykke ned stenger i bakken med konstant hastighet og konstant dreiehastighet (Andresen et al., 1989). Den målte sonderingsmotstanden kan deretter bli brukt for å tolke hvilke løsmasser som befinner seg nedover i grunnen. Figur 2.6 illustrerer hvordan man kan kjenne igjen forskjellige typer løsmasser basert på dreietrykkssonderingen (Andresen et al., 1989).

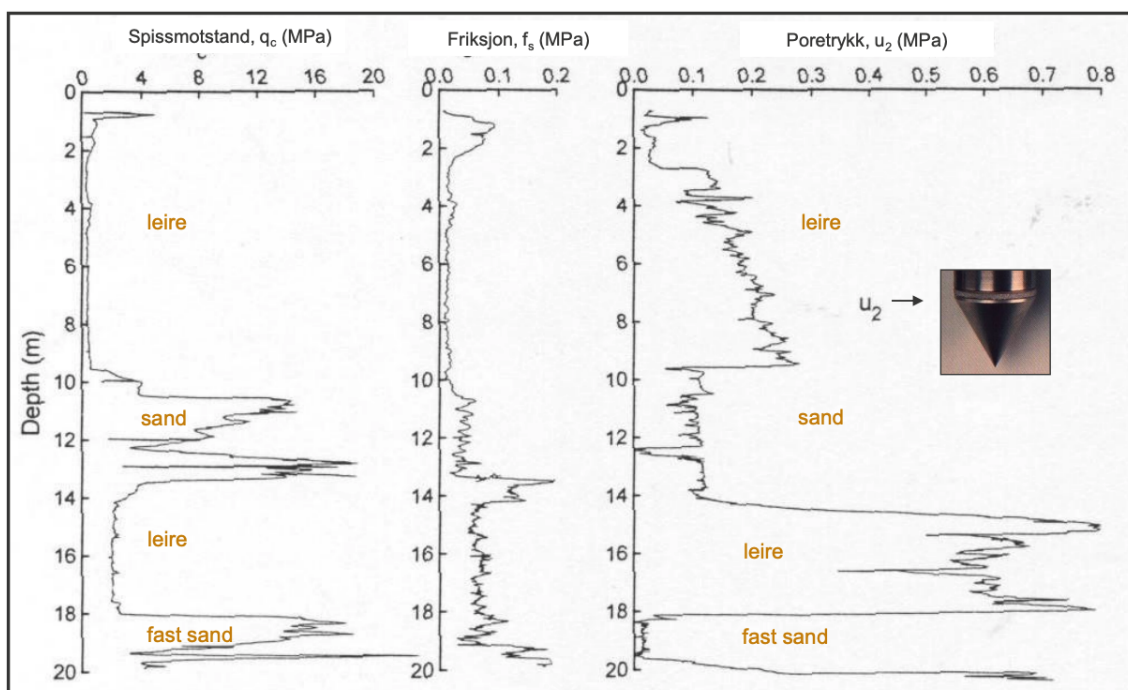


Figur 2.6: Prinsippkisse som viser hvordan forskjellige responser fra løsmasser kan se ut på et dreietrykksplokk (Andresen et al., 1989). Å identifisere de ulike løsmassene krever erfaring fra bruk av dreietrykk sammen med andre metoder

Dreietrykkssondering kan ikke brukes til å identifisere løsmasser grovere enn grus. Dersom kraften som blir påført overstiger 30 kN vil det ikke lenger være mulig å si noe sikkert om hvilken type materiale det er. Derfor stopper ofte dreietrykkssonderingen ved 30 kN, noe som også typisk indikerer berg (Andresen et al., 1989).

### 2.3.2 Trykksondering med poretrykk

Trykksondering (Cone Penetration Test – CPT) med poretrykk (CPTU) kan brukes til å identifisere lagdeling, løsmasser, in situ spenningsforhold og fasthetsegenskaper (Bæverfjord et al., 2010). CPTU undersøkelser blir utført ved at en trykksone (Figur 2.7 blir presset ned i bakken med konstant hastighet. Poretrykket vil vanligvis bli målt hver 2. cm. Metoden fungerer dårlig ved høyt innhold av grus og stein, eller veldig faste lag (Sandven, 2016). Figur 2.7 illustrerer hvordan man kan identifisere forskjellige løsmasser basert på CPTU data. Økt spissmotstand sammen med lavere poretrykk indikerer f.eks. grovere materialer.



Figur 2.7: Figuren viser hvordan et resultat fra trykksondering med poretrykk kan se ut, og hvordan resultatene kan bli tolket ved å kombinere spissmotstand (venstre) og poretrykk (høyre). Hvis det er lav spissmotstand sammen med høyere poretrykk tyder dette på leire, motsatt tyder på sand/grovere materialer. Innsatt fotografi viser en CPTU spiss (Fra Sandven (2016)).

### 2.3.3 Totalsondering

Totalsondering fungerer nesten på samme måte som dreietrykksondering. Forskjellen er at ved dreietrykk stopper undersøkelsen hvis motstanden overskrider 30 kN, i motsetning til totalsondering hvor man fortsetter helt til en med stor sikkerhet kan fastslå at en har kommet ned i berg. Ved å benytte seg av totalsondering kan det bores gjennom grovere materialer enn grus, noe som ikke gjøres med dreietrykksondering



(Bonsaksen et al., 2018). Tolkningen av totalsonderingen blir gjort på samme måte som dreietrykk (Fig 2.6). Når bortiden øker uten at penetrasjonen øker tilsvarende, selv ved bruk av spyling, økt rotasjon og slag-boring, tolkes dette som at man har nådd berggrunnen. I tillegg er berggrunn oftest ganske homogen å bore i (Bonsaksen et al., 2018).

### **2.3.4 Rutine laboratorieundersøkelser**

Rutine laboratorieundersøkelser blir gjort på alle jordprøver tatt med fra felt. Jordprøvene blir tatt opp i metersintervaller i enten metallrør eller plastrør med diameter på 72mm eller 54mm. I laboratoriet blir det gjennomført flere tester: vanninnhold, enaksial styrketest, konus (cone penetrometer test) både uforstyrret og forstyrret, og beskrivelse av prøve. Mer avanserte tester omfatter CRSC, triaksial styrketest, kornfordeling, mm (NGI, 2019). Resultatene for hver enkelt 1m prøve blir satt sammen til en fullstendig borprofil for hele borhullet. I tillegg til rutineundersøkelser er det gjennomført kornfordelingsanalyse på enkelte prøver fra Nordlandsbanen. Borprofilet er brukt i denne oppgaven sammen med de andre geotekniske metodene for å beskrive hvordan sammensetningen av sedimenter er nedover i grunnen.

## **2.4 xGeo - Hydrometeorologiske data**

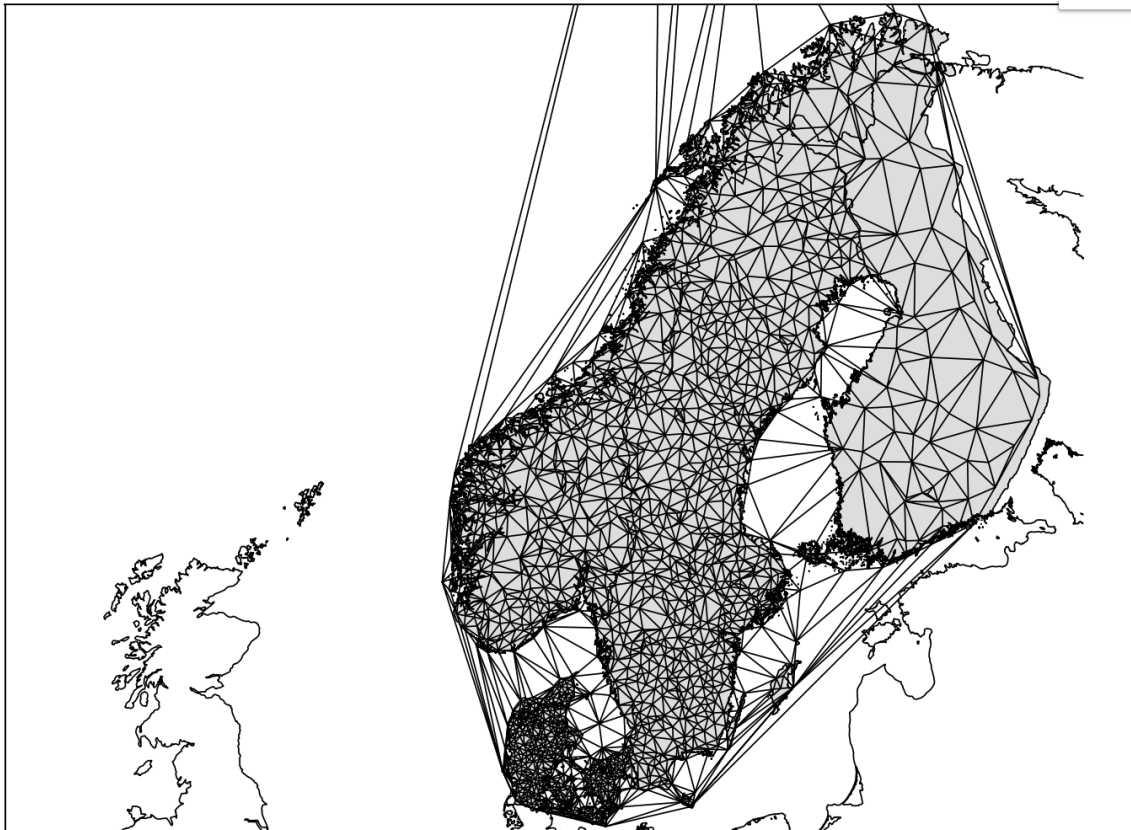
Fra xGeo (<http://www.xgeo.no/>, 2019) er det mulig å få tilgang til griddete data med 1km horisontal oppløsning. Datasettene består av verdier for nedbør, lufttemperatur og flere snøegenskaper (Engeset, 2016). Værdata som Meteorologisk institutt lager, er døgnedbør og døgntemperatur som beregnes av romlig interpolasjon fra punktobservasjoner. Snødata, generert av NVE, er beregnet av snømodeller med værdata som input, og omfatter snømengde, snødybde, snøtilstand, nysnø, snøsmelting, snøens alder, mm. I denne oppgaven benyttes først og fremst normaliserte verdier for snøsmelting sammen med nedbør, og disse parameterne, samt hvordan de er beregnet, beskrives kort i avsnittene nedenfor.

## Lufttemperatur

Kartet over lufttemperaturen er basert på et datagrunnlag fra ca. 230 målestasjoner rundt omkring i Norge (Engeset, 2016). Det beregnes en døgnmiddeltemperatur, deretter fjernes klimatrender i datasettene ved bruk av fem uavhengige variabler, for å beskrive storskala romlig klimatrender. En trend kan f.eks være sesongvariasjoner. Faktorene er som følger; stasjonshøyde, bredde- og lengdegrad som er ment til å beskrive hvilken grad av kontinentalt klima det er (vs. maritimt), og til slutt blir gjennomsnittshøyde og laveste høyde i en radius fra måleren på 20km brukt til å finne ut om måleren er i en dal eller på en topp. Etter at trender er fjernet blir datasettet interpolert med interpoleringsmetoden Kriging og fordelt i et 1km horisontalt grid (Mohr og Tveito, 2008). Kryssvalidering mellom det interpolerte kartet og tilgjengelige 24 timers gjennomsnittlige temperatur-data, viser en ganske god korrelasjon med en korrelasjonskoeffisient på  $r=0.95$  (Mohr og Tveito, 2008).

## Nedbør

Kartet over nedbør viser nedbørsmengde i mm de siste 24 timer hvor grunnlagsdata er tatt fra omtrent 400 målestasjoner (Engeset, 2016). Jansson et al. (2007) beskriver hvordan interpolering av nedbør blir utført i Norge. Fordelingen av nedbør i Norge er en kombinasjon av to hovedkomponenter. Den ene er en vertikal gradient hvor antatt nedbør øker med 5-10% per 100m. Den andre er en horisontal gradient hvor det er minkende mengde nedbør fra vest mot øst. Grunnen er en kombinasjon av lavtrykksbanene, slik at nedbøren treffer først vest i Norge, og topografien i Norge, hvor det er høye fjell i vest som fører til orografisk forsterkning. I følge Mohr og Tveito (2008) benyttes kun vertikal gradient for å korrigere nedbørsverdiene i xGeo. Mer spesifikt brukes en gradient på 10% per 100m opptil 1000m høyde over havnivå, og deretter 5% per 100m for alle steder over 1000m over havnivå. Interpoleringsmetoden som blir brukt for de korrigerede dataene er triangulering. Det bygger på prinsippet til en TIN – høydemodell (Triangulært irregulært nettverk) som er en metode for å modellere en overflate. Det blir da laget et ikke-overlappende nettverk av trekanter mellom målestasjoner (Fig 2.8).

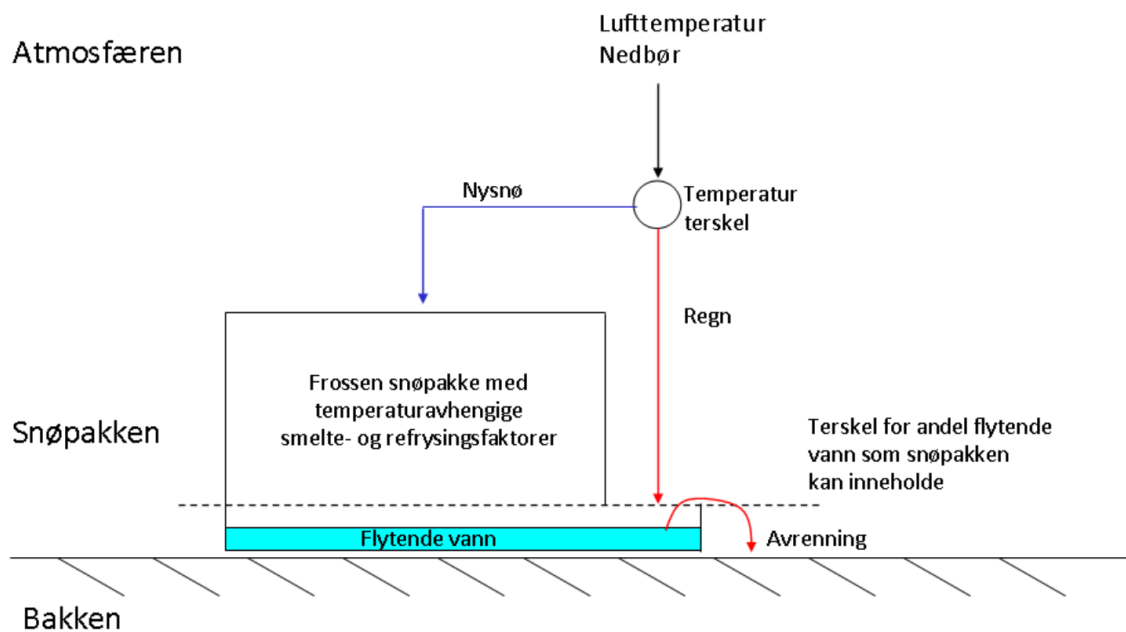


Figur 2.8: Illustrasjon som viser hvordan triangulering fungerer hvis hele Norden hadde blitt inkludert. Hver sorte punkt tilsvarer en nedbørsmålestasjon (Jansson et al., 2007).

Nærliggende stasjoner i det triangulære nettverket vil bli vektet høyest. For å gå fra grov til fin skala blir optimal interpolasjon benyttet (Mohr og Tveito, 2008). Nedbørsverdiene blir så ført til 1x1 km kart. Triangulering gjør det mulig å enkelt interpolere nedbørsverdier hvor man også kan få med korrigerende av vertikal gradient. Ved bruk av trianguleringsmetoden unngår man også en utjevning av nedbørsdata, noe som er viktig for å få med mer intense nedbørshendelser (Mohr og Tveito, 2008). Problemet ved interpolering av nedbør oppstår der dekkningen av målestasjoner er dårlig. Dette fører til områder hvor nøyaktigheten i kartet går ned. Dette skjer spesielt ved grensen mellom Norge og Sverige, men Engeset (2016) skriver at flere målestasjoner fra Sverige og Finland har blitt inkludert i 2015. Jansson et al. (2007) skriver at trianguleringsmetoden kommer til å bli byttet ut i nær fremtid for å kunne inkludere anisotropi og parametisering, men siden det ikke er mulig å finne noen nyere artikler om dette temaet antas det at trianguleringsmetoden fortsatt gjelder. Kryssvalidering gjort av Mohr og Tveito (2008) viser en ganske god korrelasjon med en korrelasjonskoeffisient på  $r=0.88$ .

## Snøkart

Mohr og Tveito (2008) forklarer hvordan snømengde, snøtilstand og snøsmelting blir laget for å så fremstilles i kart. Snømengde defineres av snøens vannekvivalent i mm, snøtilstand defineres av mengde flytende vann i snøen i %, og snøsmelting defineres av avrenning fra snøen i mm. For å beregne de forskjellige mengdene til kartene blir døgndata fra nedbør- og temperaturkart, beskrevet tidligere, brukt i en snømodell (Fig 2.9).



Figur 2.9: Illustrasjon som viser hvordan snømodellen i grove trekk fungerer. Nedbør blir faller enten som snø eller regn og vil deretter enten tilføre snø eller fuktighet i snøpakken eller avrenning til bakken (Mohr og Tveito, 2008).

Snømodellen baserer seg på HBV-modellen som er en nedbør-avløpsmodell. Kort forklart beregner HBV-modellen avløp fra et vassdrag på bakgrunn av observert nedbør og lufttemperatur (Langsholt og Beldring, 2015). Snøens vannekvivalent, vanninnhold og avrenning fra snøen fra værd data beregnes. Hvis nedbøren faller når temperaturen er under en valgt terskelverdi, blir nedbøren registrert som snø. Hvis temperaturen er over terskelverdien vil nedbøren enten bidra til fukting av snøpakken eller som avrenning.

Snømodellen oppdaterer fire variabler hver dag, snøens vannekvivalent (mm), snøens dekningsgrad (%), andel flytende vann i snøen (%) og andel avrenning fra snøpakken

(mm). Er temperaturen over en fastsatt terskelverdi vil snøen starte å smelte. Vannet vil da enten bidra til å fukte snøpakken og derfor bli i snøpakken, eller defineres som avrenning hvis fuktnivået i snøen er høyt.

## 2.5 Korrelasjon

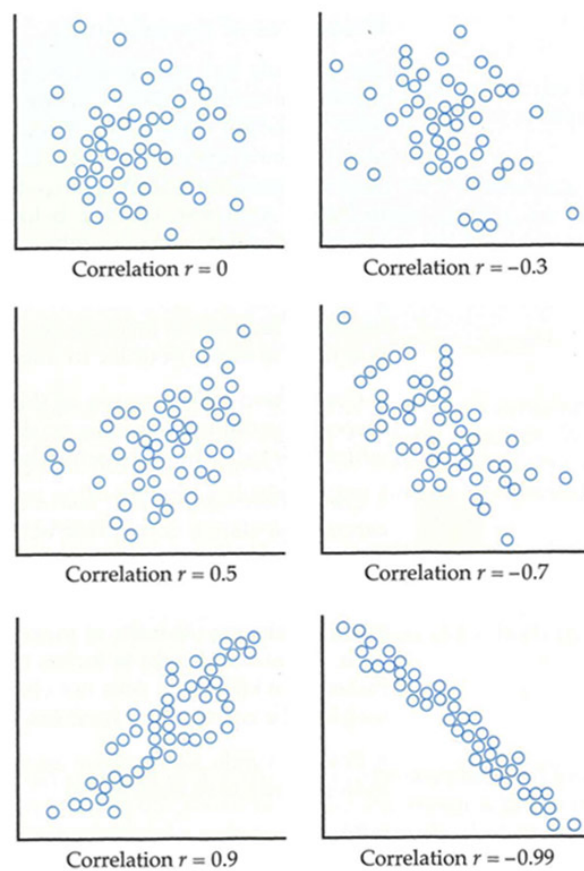
For å finne forholdet mellom to variabler, som i denne oppgaven er poretrykk og vanntilførsel, finnes det statistiske metoder for å måle styrken av forholdet mellom de to variablene. Variablene kan samsvare om fordelingen til den ene variabelen påvirker fordelingen til den andre variabelen (Moore et al., 2014). I motsatt ende vil de være uavhengige av hverandre dersom endringer i den ene variabelen ikke påvirker den andre variabelen. Korrelasjonen er sagt å være positiv hvis en økning i den ene variabelen fører til en økning i den andre variabelen. En negativ korrelasjon skjer hvis en økning i den ene variabelen gir en lavere verdi for den andre variabelen.

Det finnes flere typer korrelasjonskoeffisienter som kan brukes for å forklare om det er en korrelasjon mellom variabler. I denne oppgaven har det blitt valgt å teste ut to metoder, Spearman Rank korrelasjonskoeffisient og Pearson korrelasjonskoeffisient. Kendall Tau korrelasjonskoeffisient er også en av de mer brukte metodene, men siden den er mer myntet på diskrete data er den ikke benyttet i oppgaven.

### 2.5.1 Pearson korrelasjon

Pearson korrelasjon er den mest vanlige korrelasjonsmetoden, og forklarer til hvilken grad to variabler har en lineær sammenheng. Verdiene til variablene blir normalisert og resultatet av korrelasjonen « $r$ » er alle verdier mellom -1 og 1. Ved verdier på  $r=1$  er det perfekt positivt lineær sammenheng, som skjer når en økning i den ene verdien gir en tilsvarende økning i den andre verdien. Ved verdier på  $r=-1$  vil det være en perfekt negativ lineær sammenheng, som vil si en økning til den ene variabelen gir en tilsvarende reduksjon i den andre variabelen (McKillup, 2011; Moore et al., 2014). En tommelfingerregel for å vite om det er god eller dårlig korrelasjon er hvis  $0 \leq |r| \leq 0.5$  er det dårlig korrelasjon,  $0.5 \leq |r| \leq 0.8$  er det moderat god korrelasjon, og om  $0.8 \leq |r| \leq 1$  er det sterk korrelasjon (Devore og Berk, 2012). Med en korrelasjon på  $r=0.5$  vil dette gi en  $r^2 = 0.25$ , som sier at kun 25% av variasjonen i poretrykk

vil forklares av vanntilførselen. Figur 2.10 viser hvordan en fordeling kan se ut med tilsvarende r-verdier.



Figur 2.10: Illustrasjon av hvordan spredningsplot vil se ut for ulike korrelasjonsverdier (Moore et al., 2014).

Formelen for å regne ut Pearson korrelasjon for et utvalg med to variabler er definert slik (Ligning 2.4):

$$r_{X,Y} = \frac{\Sigma (X_i - \bar{X}) (Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\Sigma (X_i - \bar{X})^2 \Sigma (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (2.4)$$

Der X og Y er variablene som korreleres.

Svakheter til korrelasjonsmetoden er at begge variablene må være kvantitative, som vil si at verdier ikke kan være delt inn i grupper. En annen svakhet er om det er en korrelasjon som ikke er lineær, kommer ikke det frem med denne metoden. Pearson korrelasjon er også svak for uteliggere (Moore et al., 2014).

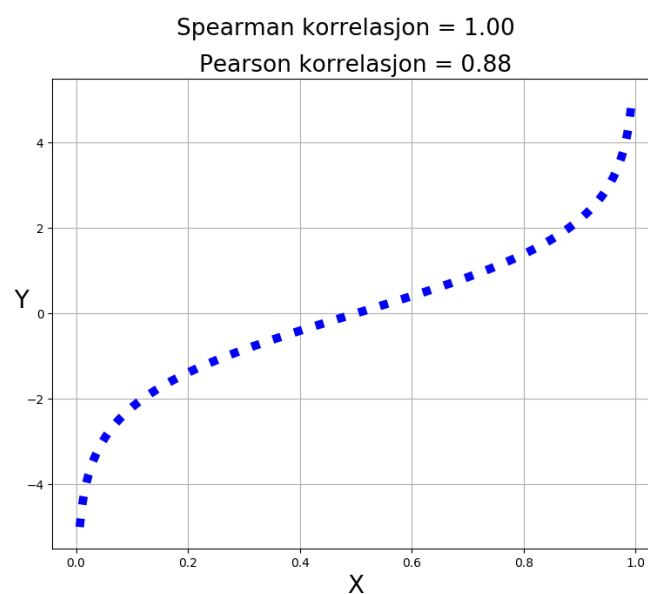
## 2.5.2 Spearman rank korrelasjon

Spearman rank korrelasjon kan defineres som en variant av Pearson som blir utført på "ranked"(sorterte) variabler. Spearman korrelasjon trenger ikke en lineær sammenheng som Pearson. Spearman måler monotonisk sammenheng på sorterte variabler. Det vil si en økning/minking for den ene variabelen gir en økning/minking for den andre variabelen i samme retning, uten at det trenger å være like stor endring (Sheskin, 2003). Metoden sammenligner ikke snitt og varianser, men ser på relativ fordeling av verdier for hver variabel (Sheskin, 2003). Formelen for Spearman rank korrelasjon defineres slik (Ligning 2.5) (Corder og Foreman, 2014):

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum D_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (2.5)$$

Der  $D_i$  er forskjellen i de sorterte verdiene for de to variablene, og  $n$  er antall observasjoner.

Forskjellen mellom Pearson korrelasjon og Spearman rank korrelasjon er best vist med en figur (Fig 2.11). Punktene viser et klart monotonisk, alltid økende forhold. Linjen er ikke lineær, noe som gjør at Pearson korrelasjonen ikke blir like høy som Spearman. Pearson korrelasjonen er likevel ganske høy grunnet en delvis lineær sammenheng.



Figur 2.11: Figurativt plot over at korrelasjonsverdien er ulik mellom Pearson og Spearman rank korrelasjon, for samme graf.

### 2.5.3 Regresjon og signifikans

Regresjon brukes ofte til å predikere hvordan nye verdier kan havne blant de allerede eksisterende verdiene (Moore et al., 2014). Regresjon defineres av en linje som beskriver hvordan en responsvariabel "Y" endres når en forklarende variabel "X" endres. Til forskjell fra korrelasjon krever regresjon en forklarende variabel og en responsvariabel. Regresjonslinjen lages ved hjelp av "Minste kvadraters metode", som vil si å gjøre summen av de kvadrerte avstandene mellom verdipunktene og regresjonslinjen så liten som mulig. Funksjonen til regresjonslinjen er definert slik (Ligning 2.6):

$$y = \alpha + \beta x \quad (2.6)$$

Der  $y$  er responsvariabelen,  $x$  er forklarende variabel,  $\alpha$ =kryssningspunktet med  $y$ -aksen og  $\beta$  er stigningstallet.

Når regresjonsmodellen er laget kan man også finne ut om korrelasjonen i hvert tilfelle er signifikant eller ikke. Det gjøres ved hypotesetesting (Moore et al., 2014). Ved å sjekke sannsynligheten for å få et mer ekstremt utfall enn det observerte utfallet, får man en P-verdi. Hvis denne P-verdien er lavere enn et valgt signifikansnivå (f.eks.  $\alpha=0.05$ ) vil det si at korrelasjonen er signifikant, og at en endring i responsvariabelen er signifikant avhengig av forklarende variabel (Moore et al., 2014). Et signifikansnivå på  $\alpha=0.05$  vil si at nye tilfeller kun vil være mer ekstrem i 5% av tilfellene.



## Kapittel 3: Terreng og Geologi

I forbindelse med oversiktskartlegging av skredfare for Nordlandsbanen på strekningen Grong-Mosjøen, har NGI satt ut poretrykksmålere i 8 borhull. Poretrykksmålerne er plassert med varierende spredning i hovedsakelig fire områder (Fig 3.1). Det er plassert fire poretrykksmålere ved Gartland nord for Grong (NG-7P\_1 og 2, og NG-10P\_1 og 2), fire poretrykksmålere ved Åsmulen litt nord-øst for Gartland (FO-2P\_1 og 2, FO-6P og FO-8P), en ved Bjørnstad i Namdalen (MS-1AP), og de tre siste er plassert ved Eiterstraumen sør for Mosjøen (RO-1, SE-25P\_1 og 2).



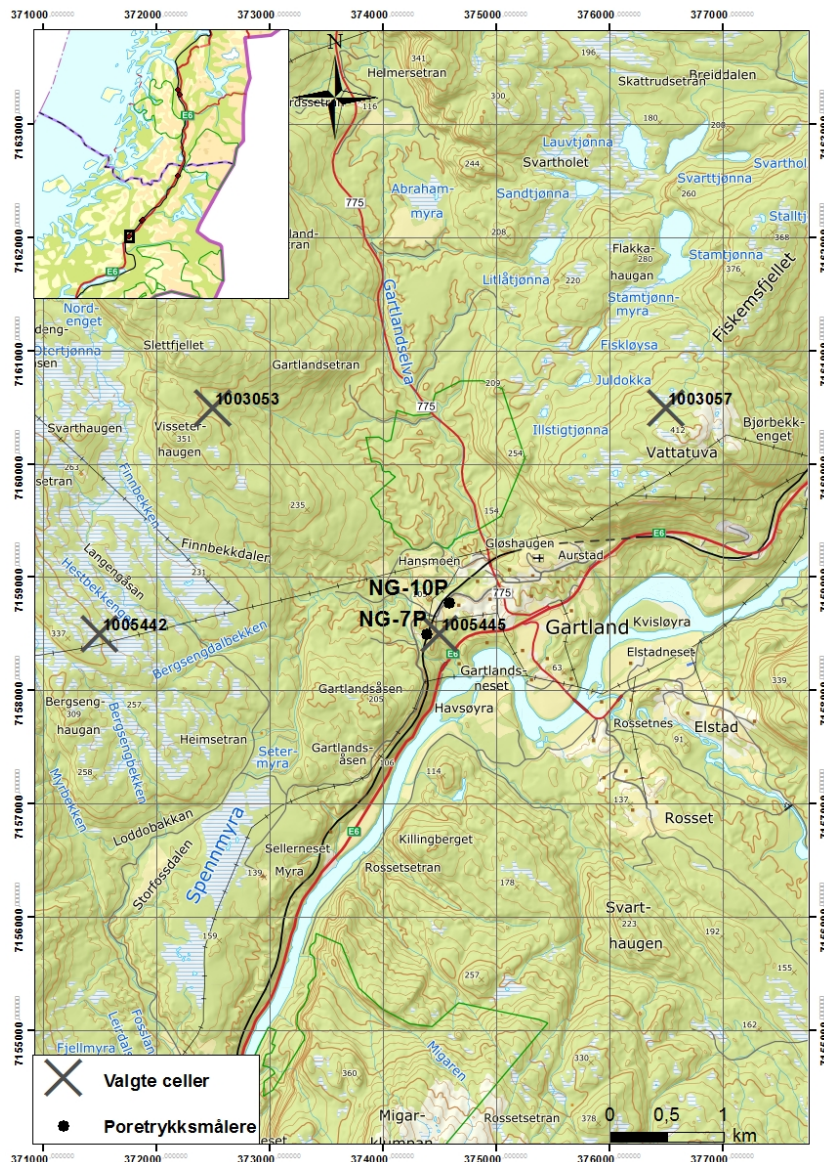
Figur 3.1: Topografisk oversiktskart over Nordlandsbanen og de fire valgte områdene. Kartet viser også poretrykksmålerne (sorte prikker og betegnelser) og plassering av berggrunnsprofil brukt senere i oppgaven (Kartverket, 2018b).

Strekningen fra Grong til Mosjøen (Fig. 3.1) har varierende geologi med ulike løsmasser og bergarter. Det som går igjen for alle lokalitetene er at berggrunnen består av skyvedekker fra kambrisk tid (500-405 mill. år) da den kaledonske fjellkjeden ble dannet (Fossen et al., 2013). Skyvedekkerne oppstod på grunn av lukkingen av Iapetushavet da kontinentplaten Laurentia kolliderte med kontinentplaten Baltica. Øybuer og gammel havbunn ble skjøvet over Norge slik at berggrunnen ved Nordlandsbanen består av basiske vulkanske intrusjons- bergarter som granitt, og metamorfe bergarter som glimmerskifer (Fossen et al., 2013). Etter at den kaledonske fjellkjede ble erodert ned har granitten kommet frem i dagen. Trykkendringer førte til eksfoliasjonsbrudd, og metertykke flak av granitt ble dannet. Sammen med de skifrige metamorfe bergartene gir dette et grunnlag for godt oppsprukken berggrunn i det aktuelle området rundt Nordlandsbanen.

For omtrent 100 000 år siden startet den siste istiden «Weichsel», som varte til rundt 10 000 år siden. Weichsel istiden hadde tre stadialer, avbrutt av interstadiale perioder. Det er den siste stadialen, sen-Weichsel, som kulminerte for ca. 20 000 år siden vi oftest omtaler som "siste istid" i Norge. Det er under denne istiden mesteparten av løsmassene i Norge ble avsatt. Morenemateriale ble avsatt i direkte kontakt med isen, finkornet materiale som marin leire og silt ble avsatt i havet opp til dagens marine grense, og sortert til godt sortert materiale som breelvavsetninger ble avsatt der vannstrømmet. Senere fluvial aktivitet har ført til ytterligere utvasking av finmateriale og dermed økt sortering av løsmassene i noen områder (Vorren og Mangerud, 2013).

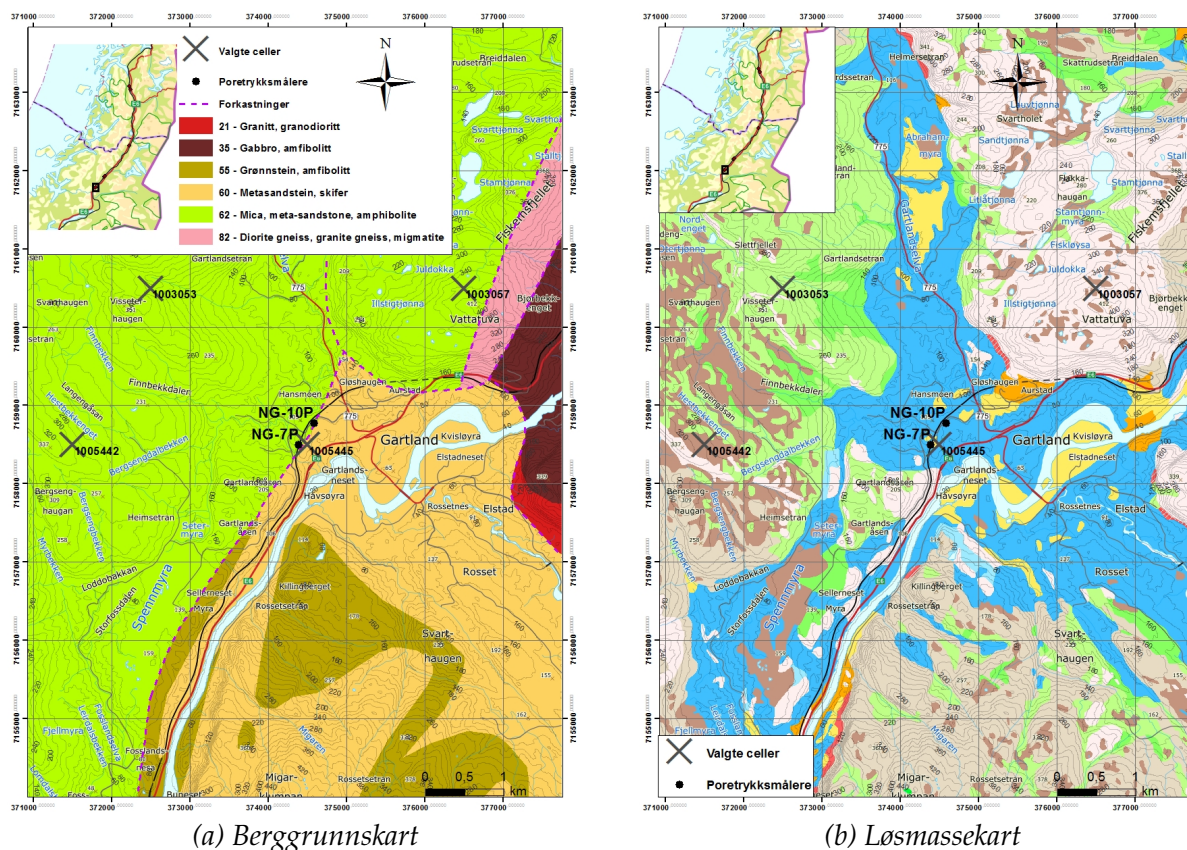
### 3.1 Gartland

I Gartland, som er den sørligste av de fire valgte lokalitetene, har poretrykksmålerne blitt plassert nede i dalen omtrent 550m fra den lokale erosjonsbasisen, som er elva Namsen (Fig 3.2).



Figur 3.2: Topografisk kart over Gartland-området med tilhørende poretrykksmålere (Kartverket, 2018b). Cellene hvor det er hentet inn data fra xGeo er markert som "Valgte celler" med betegnelse (Barfod et al., 2013).

I nærheten av poretrykksmålerne er det jordbruksland og flere større områder med relativt flatt terreng med helning på  $0-8^\circ$ . Utenom disse flate områdene er terrenget dominert av et ravinelandskap med variert topografi (Fig 3.2). Selve ravinene har en helning i tverrsnitt på oppmot  $22^\circ$  der hovedandelen av ravinene har maks  $16^\circ$ . I en avstand fra poretrykksmålerne på omtrent 1km blir terrenget brattere. Med en rask økning i helning med verdier på oppmot  $50^\circ$  er det ikke mer enn rundt 2 km i nordøstlig og vestlig retning fra poretrykksmålerne, at det er snaufjell. Brattest er det 1-1.5 km i nordøstlig retning fra poretrykksmålerne.



(a) Berggrunnskart

(b) Løsmassekart

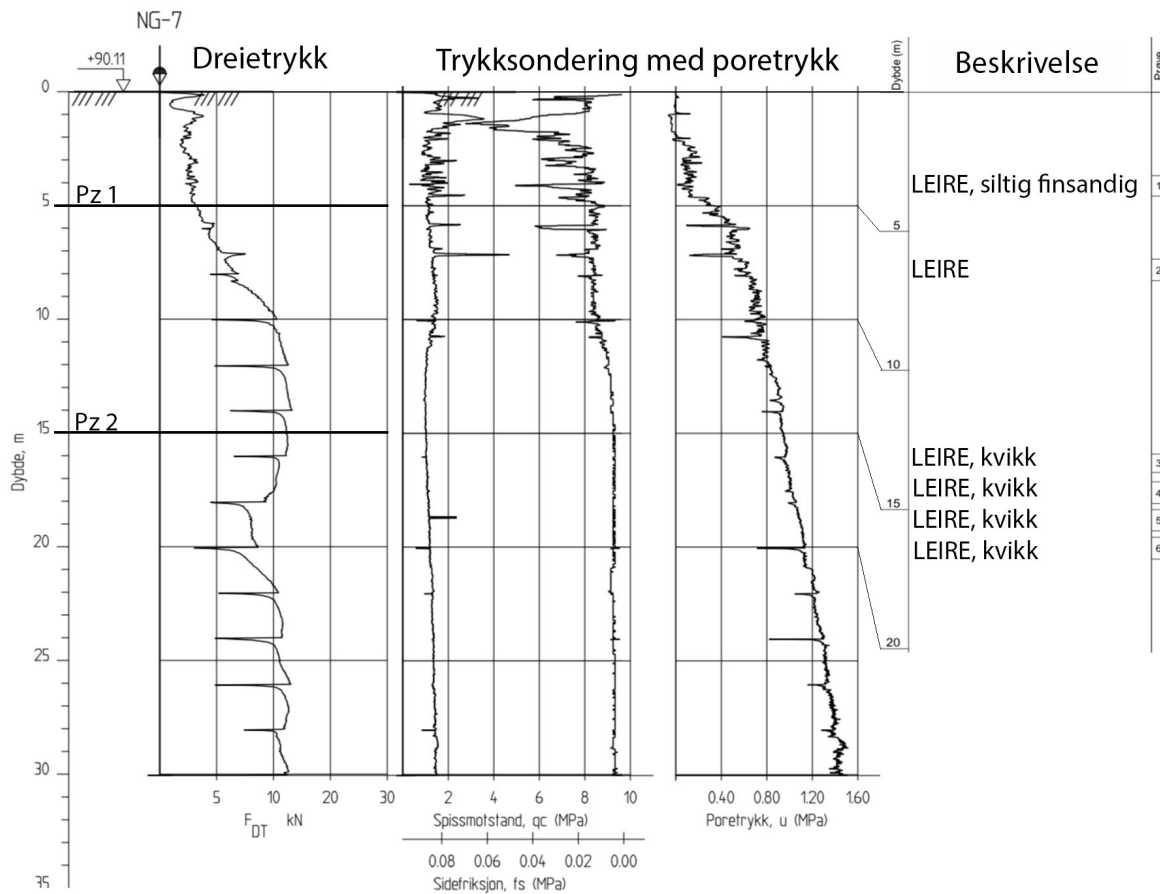
Figur 3.3: Berggrunnskart og løsmassekart for Gartland området med tilhørende poretrykksmålere (sorte prikker og betegnelse), og valgte celler fra xGeo med betegnelse. Berggrunnskartet inkluderer også enkle strukturelementer. Tegnforklaringen til løsmassekartet finnes i vedlegg A.1 (NGU-Norges Geologiske Undersøkelse, 2018; Kartverket, 2018b).

Berggrunnen består hovedsakelig av granatglimmerskifer og metasandstein, og poretrykksmålerne er plassert i området mellom disse to bergartstypene (Fig 3.3a). Fra et mer detaljert kart kommer det frem at skillet mellom de to bergartstypene er definert med en skyveforkastning hellende mot øst som også er skillet mellom Guladekket og Skjøtingsdekket (Roberts, 1997). Fra dette kartet ser man også at foliasjonen i området har et strøk som varierer fra nord til nord-vest med en helning på  $25^\circ$  til  $35^\circ$  mot øst. Det er ikke funnet noen noe informasjon om oppsprekingsgrad av berget.

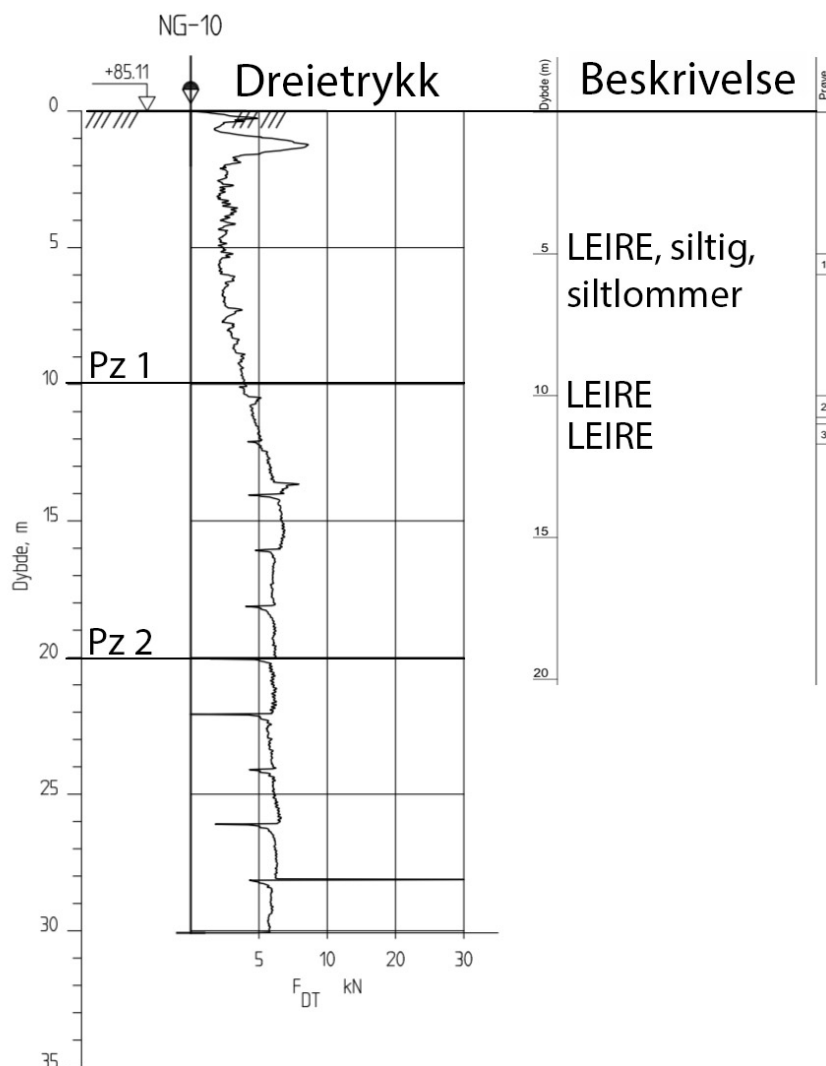
Sedimentene reflekterer topografien i området (Fig 3.3b). Den største andelen løsmasser rundt poretrykksmålerne består av marine avsetninger definert som silt/hav- og fjordavsetninger (NGU-Norges Geologiske Undersøkelse, 2018; Bergstrøm, 1992), og er lokalisert på de lavtliggende områdene nede i dalen. Fra et analogt kart (Bergstrøm, 1992), den mest detaljerte informasjonen om stedet, er det også indikert at det er mange raviner i silten. I silten er det enkelte små og ett større område, omtrent 50-200m i

radius fra poretrykksmålerne, som er klassifisert som elveavsetninger (sand). Elveavsetningene er mest sannsynlig blitt avsatt ved flom over silten. Det er også områder med elveavsetninger der enkelte deler er grovere enn andre, lokalisert nært elva. I nordøstlig retning fra poretrykksmålerne er det bare 100-200m før det er markert flere små fjellblotninger (Bergstrøm, 1992). I samme retning, rundt 1.5-2 km fra poretrykksmålerne, er det bart fjell i de bratte skråningene. 500m lengere i nordøstlig retning er man over tregrensa på et flatere parti der det er noen områder med torv og myr. I vest/sørvest, omtrent 1-1.5 km fra poretrykksmålerne er det ikke like bratt. På løsmassekartet er dette området definert som tynt morenedekke med enkelte områder litt tykkere. Morenedekket varer helt til man er over tregrensa der torv og myr dominerer.

Samtidig som poretrykksmålerne ble satt ned ble det utført CPT og dreietrykksonderinger sammen med uttak av jordprøver ned til 17m (Fig 3.4 og 3.5). Se kapittel 2.3 for forklaring av undersøkelsene. Poretrykksmålerne NG7\_1, NG7\_2 og NG10\_1 er plassert henholdsvis 85m, 75m og 75m over havnivå. Den nærmeste elven har en høyde over havnivået på 21m.



Figur 3.4: Feltundersøkelsene dreietrykk og trykksøndering med poretrykk sammen med beskrivelse av borprøver for boring NG-7 satt sammen for å vise fordeling av løsmassene mot dypet. Pz 1 og Pz 2 markerer poretrykksmålerne (Piezometerne). Se figur 3.2 og 3.3 for lokalisering av boringen. Modifisert fra (NGI, 2016a).



Figur 3.5: Feltundersøkelsen dreietrykk sammen med beskrivelse av borprøver for boring NG10 satt sammen for å vise fordeling av løsmassene mot dyppet. Pz 1 og Pz 2 markerer poretrykksmålerne (Piezometerne). Se figur 3.2 og 3.3 for lokalisering av boringen. Modifisert fra (NGI, 2016a).

Labundersøkelsene gjort på jordprøvene sammen med CPT og dreietrykk viser at sedimentene er noe grovere i øvre del, siltig og finsandig leire rundt 4 m før det går over til å være leire videre nedover. CPT og dreietrykk viser at mektigheten til sedimentene er minimum 30 m uten at det indikeres hvor dypt berget er. Ved poretrykksmåler NG-7 (Fig 3.2 og 3.3) er det funnet kvikkleire fra 13-17m. Kornfordelingsanalyse fra NG-7 viser at det nesten bare er silt i borprøvene (Vedlegg B.1).

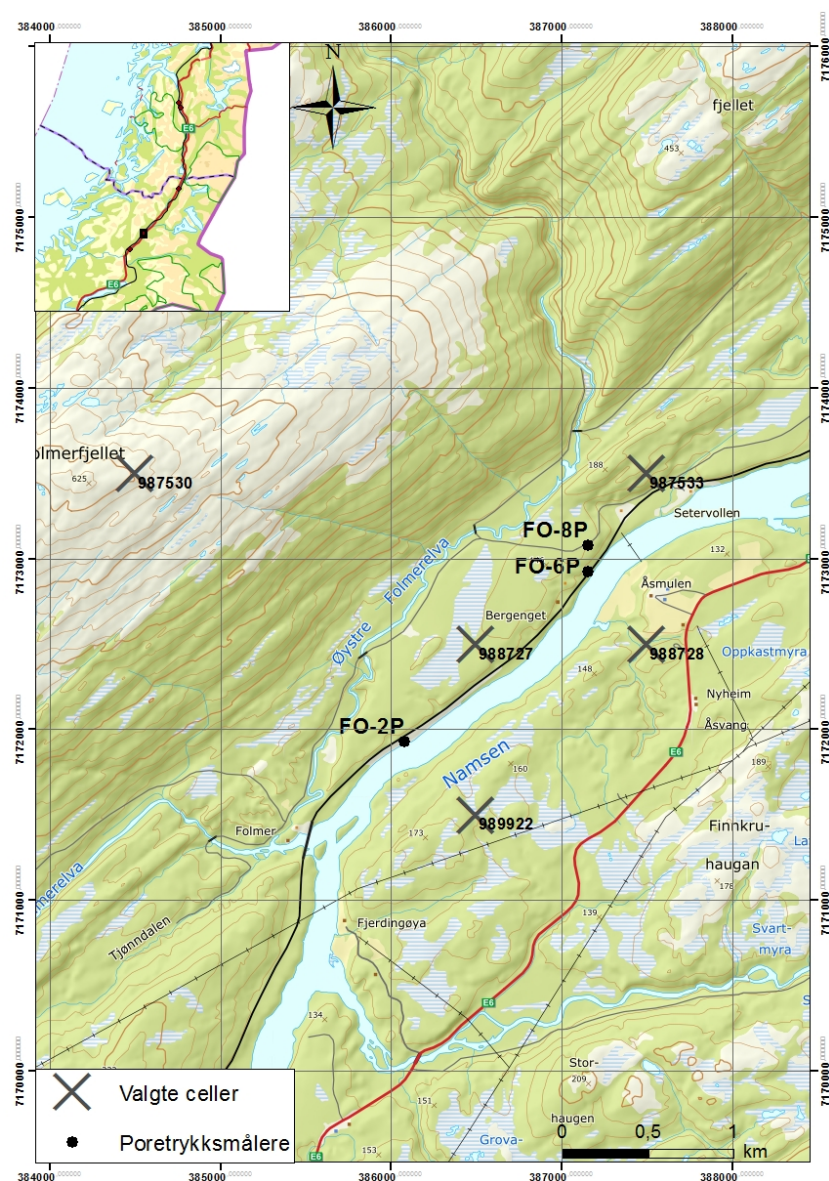
I Gartland er det plassert en nedbørsmålestasjon maks 200m fra der poretrykksmålerne er installert. Siden målestasjonen ble opprettet i 2007 benyttes ikke data fra denne i beregning av normalnedbør for området. Nedbørsmålestasjonen er likevel viktig for senere resultater da det blir brukt verdier fra 2014 og 2015 til analyser. Meteorologisk



Institutt bruker gjennomsnittsverdier for perioden 1961 til 1990 for å beregne nedbørsnormalen (www.yr.no, 2019c). Nedbørsnormalen for Gartland området er satt til å være 1415 mm i året (www.yr.no, 2019a).

## 3.2 Åsmulen

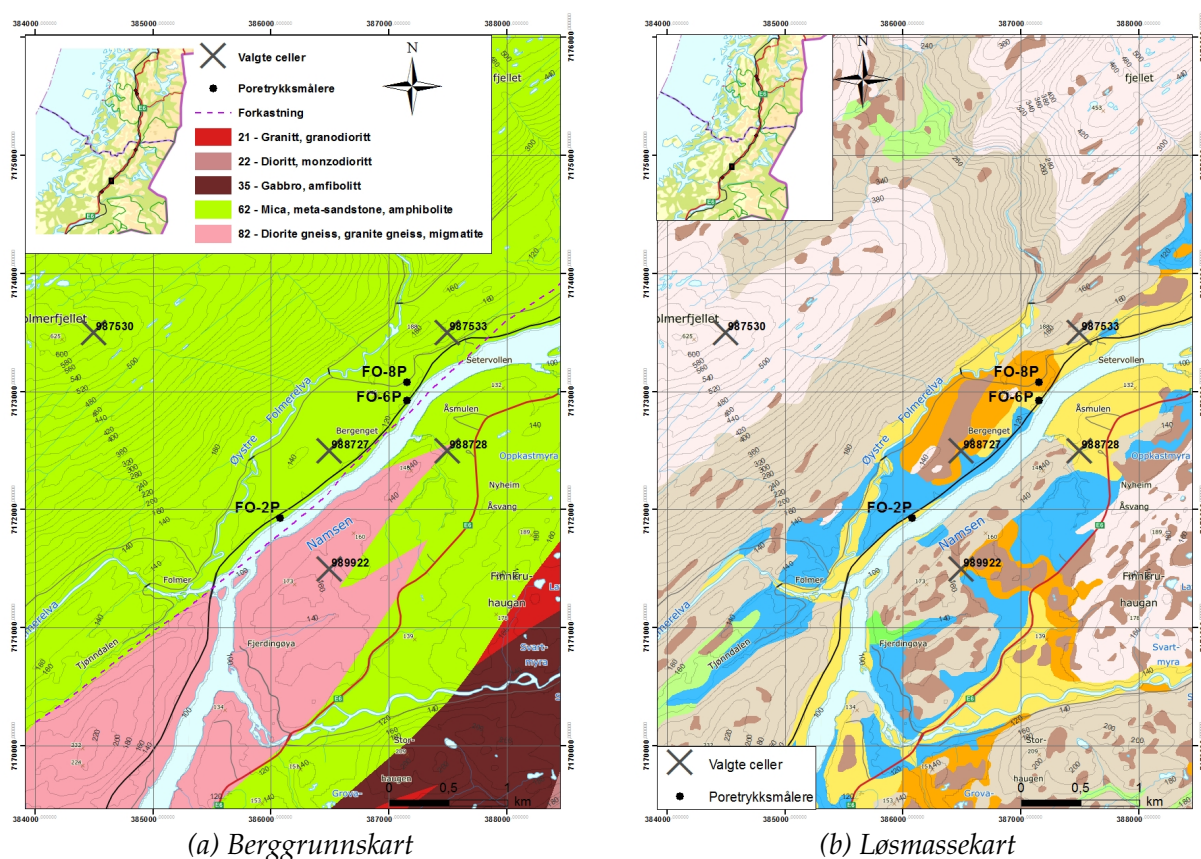
Åsmulen er lokalitet nummer to fra sør. Det er installert 3 poretrykksmålere der poretrykksmåler FO-2P er plassert 1.5km sørvest for FO-6P og FO-8P (Fig 3.6). Åsmulen ligger i en relativt smal nordøst/sørvest-gående dal med en bratt skråning på nordvestlig dalside og en mer jevnt stigende sørøstlig dalside.



Figur 3.6: Topografisk kart over Åsmulen-området med tilhørende poretrykksmålere (Kartverket, 2018b). Cellene hvor det er hentet inn data fra xGeo er markert som "Valgte celler" med betegnelse (Barfod et al., 2013).

Poretrykksmåler FO-2P og FO-6P er plassert henholdsvis 15m og 30m fra elva Namsen, mens FO-8P er plassert 120m fra elva (Fig 3.6). Skråningen mellom elva og poretrykksmålerne er kort og bratt med stigning på rundt  $20^\circ$ . Omtrent 8m nord for poretrykksmåler FO-6P renner det en bekk forbi som kan påvirke poretrykket.

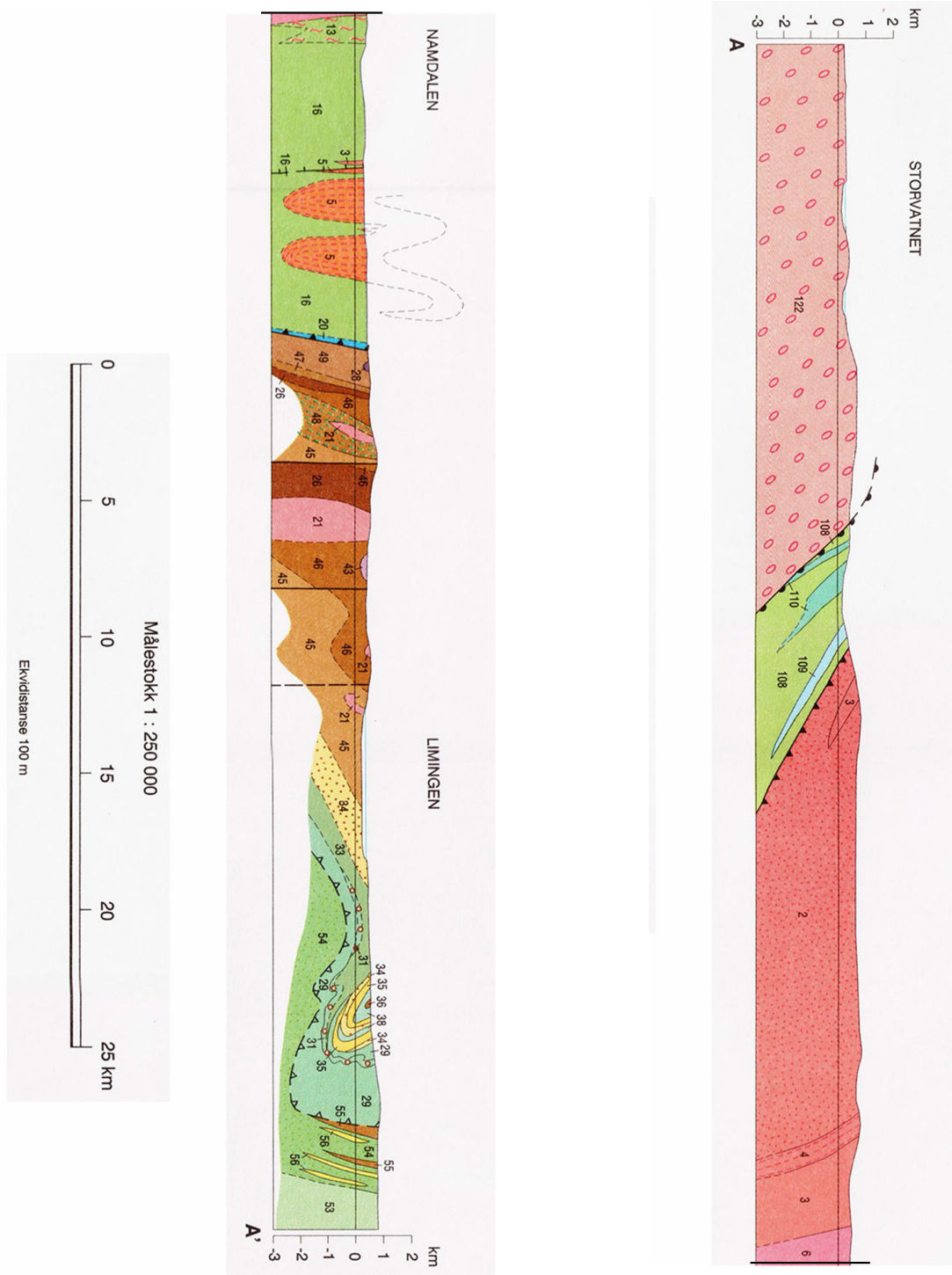
Ovenfor den bratte skråningen langs elva følger et flatt parti med myr vest/nordvest for poretrykksmålerne. Det flate partiet blir avbrutt av en nordvest/sørøst-gående mindre elv, Øystre Folmerelva (Fig 3.6), som har gravd seg noe ned sør ved poretrykksmåler FO-2P men lite ellers. Elva ligger rundt 500m nordvest for poretrykksmålerne. Nordvest for elva starter stigningen å øke med verdier på oppimot  $30^\circ$ . Dette varer frem til man er over tregrensa og på toppen av Folmerfjellet. Folmerfjellet danner en nordvest/sørøst-gående rygg som blir avbrutt av en v-dal, der Folmerelva renner gjennom, rett nord for poretrykksmåler Fo-8P og FO-6P.



Figur 3.7: Berggrunnskart og løsmassekart for Åsmulen området med tilhørende poretrykksmålere (sorte prikker og betegnelse), og valgte celler fra xGeo med betegnelse. Berggrunnskartet inkluderer også avmerket forkastning. Tegnforklaringen til løsmassekartet finnes i vedlegg A.1 (NGU-Norges Geologiske Undersøkelse, 2018; Kartverket, 2018b).

Berggrunnen under poretrykksmålerne er relativt ensartet (Fig 3.7a). Bergarten som

dominerer er definert som granatglimmerskifer og glimmergneis. I sør/sørøst for poretrykksmålerne er det også noe diorittisk gneis. På et mer detaljert analogt kart (Roberts, 1997) vises det en foliasjon med strøkretning i nordøstlig retning med et fall på  $75^\circ$  mot sørøst. Det viser også en skyveforkastning med fall mot nordvest markert i Figur 3.7a. Ortofoto viser nordøst-gående fordypninger også fylt med noe vann, som mest sannsynlig markerer svakhetssoner i bergarten i samme retning som foliasjonen. Roberts (1997) laget et profil omtrent 24km nordøst for poretrykksmålerne (Fig 3.8).



(a) Høyre del av berggrunnsprofil

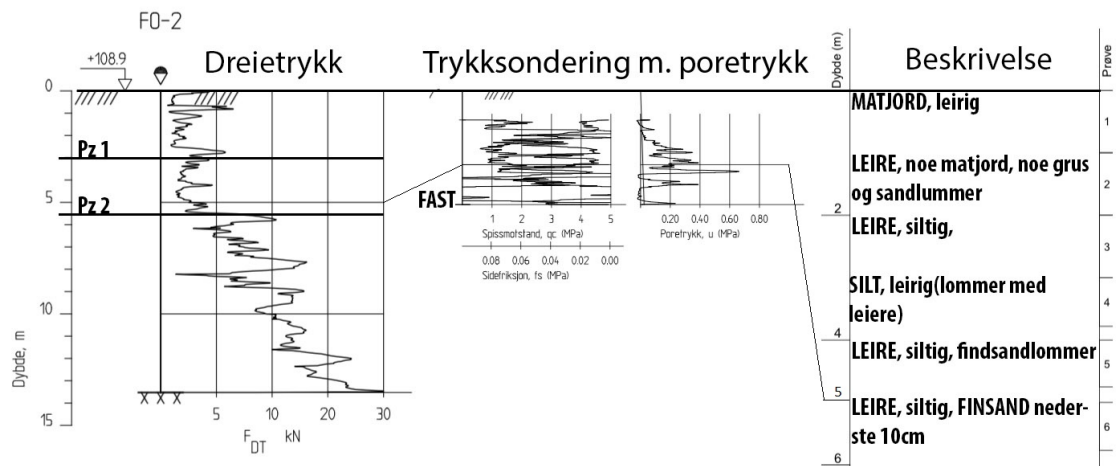
(b) Venstre del av berggrunnsprofil

Figur 3.8: Bergprofil som viser hvordan berggrunnen er tolket nedover i dypet. Profilet viser også enkelte forkastninger. Plasseringen av profilet er vist i figur 3.1. Modifisert fra Roberts (1997).

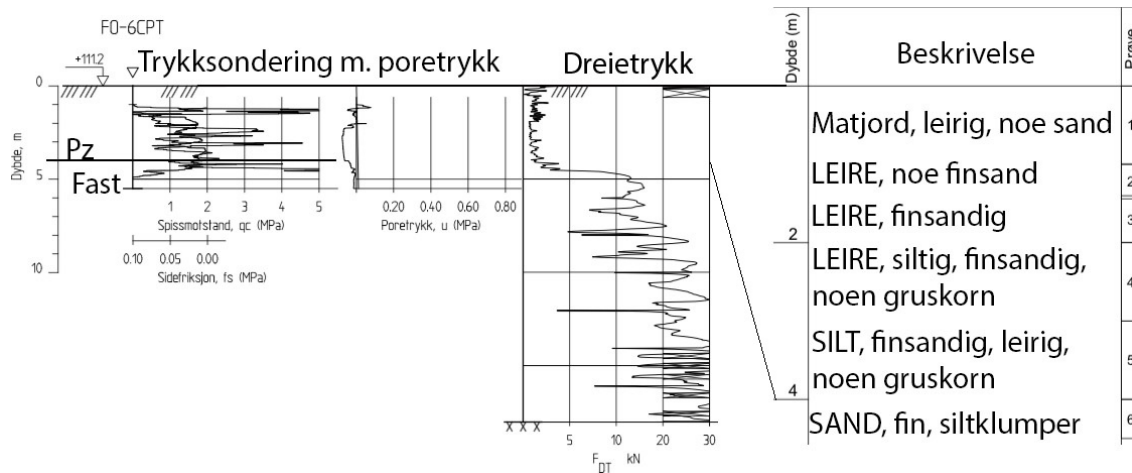
Plasseringen til profilet er noe langt unna (Fig 3.1), men siden strøket på den avmerkede forkastningen (Fig 3.7a) holder seg stabilt fra poretrykkmålerne og helt til profilet, er det mulig å få et bedre overblikk over berggrunnen i dypet. Profilet viser at fallet på forkastningen er nesten  $90^\circ$ , noe som gjør berggrunnen uniform nedover i dypet.

Løsmassene ved Åsmulen er preget av grovere materialer enn ved Gartland (Fig 3.7b)(Bergstrøm, 1992). Grunnen til dette er at Åsmulen ligger høyere i vassdraget og det bare er 15 km videre opp i dalen før man over marin grense. Der poretrykksmåler FO-6P og FO-8P er plassert er løsmassene definert som henholdsvis fluviale avsetninger (sand) og glasifluviale avsetninger (sand og grus). Rundt 500 m vest for de samme poretrykksmålerne er det en avstand på 200 m med torv og myr, før det er enda 200m med fluviale og glasifluviale avsetninger frem til foten av fjellsiden. Sammen med en økende helning er det et parti med tynt torvdekke før man er over tregrensa og det kun er blottet berggrunn. Rett nord for de to poretrykksmålerne er det en avstand på 500m med fluviale og glasifluviale avsetninger frem til det blir et tynt torvdekket. I nordlig retning øker stigningen og det er 500m til det er blottet berggrunn. Poretrykksmåler FO-2P er plassert der kartet (Fig. 3.7b) viser fluviale avsetninger, men kun 35m nordvest er det siltig hav og fjordavsetninger. Derfor er det mulig at løsmassene er hav og fjordavsetninger under et tynt lag med fluviale avsetninger. Nord-vestover fra poretrykksmåleren til starten av dalsiden er det 500m med siltig hav og fjordavsetninger som blir avbrutt med et 100m bredt område med fluviale avsetninger(sand) avsatt fra Øystre Folmerelva. Deretter er det et tilsvarende strekke med tynt torvdekke som ved FO-6P og FO-8P. Med en økende stigning og avstand fra poretrykksmåleren er det blottet berggrunn og man er over tregrensa.

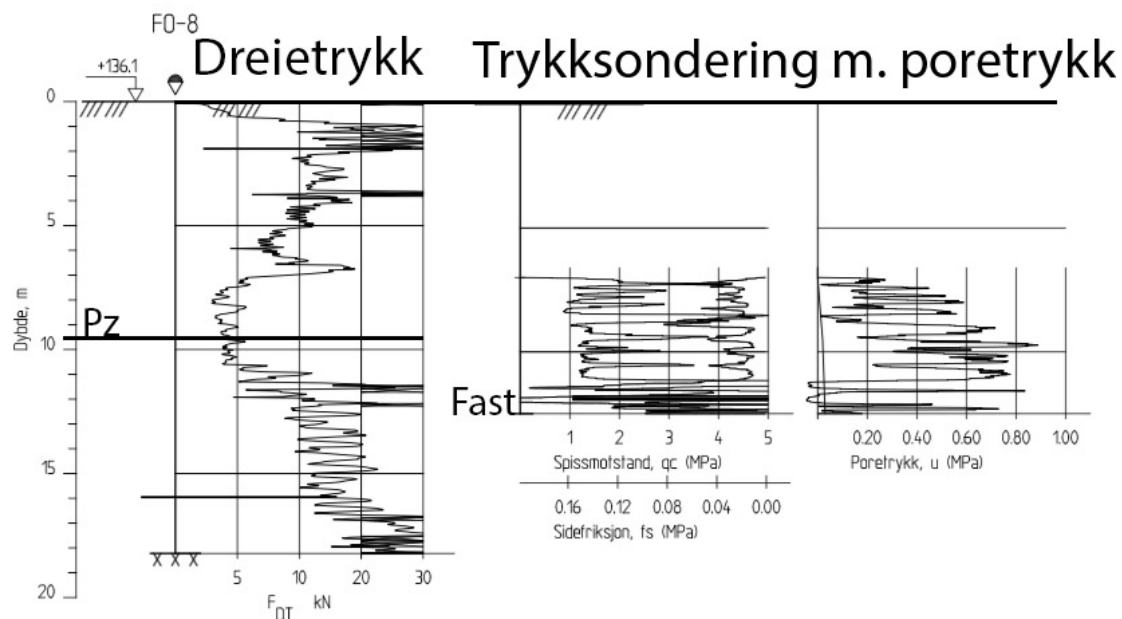
Undersøkelser gjort samtidig med installering av poretrykksmålerne viser et dyp til berggrunn ved FO-2P, FO-6P og FO-8P på henholdsvis 13.5m (Fig 3.9), 18m (Fig 3.10) og 18m (Fig 3.11). Se kapittel 2.3 for forklaring av undersøkelsene.



Figur 3.9: Feltundersøkelsene dreietrykk og trykksondering med poretrykk sammen med beskrivelse av borprøver for boring FO-2 satt sammen for å vise fordeling av løsmassene mot dypet. Pz 1 og Pz 2 markerer poretrykksmålerne (Piezometerne). Se figur 3.6 og 3.7 for lokalisering av boringen. Modifisert fra (NGI, 2016b).



Figur 3.10: Feltundersøkelsene dreietrykk og trykksondering med poretrykk sammen med beskrivelse av borprøver for boring FO-6 satt sammen for å vise fordeling av løsmassene mot dypet. Pz markerer poretrykksmåleren (Piezometeret). Se figur 3.6 og 3.7 for lokalisering av boringen. Modifisert fra (NGI, 2016b).



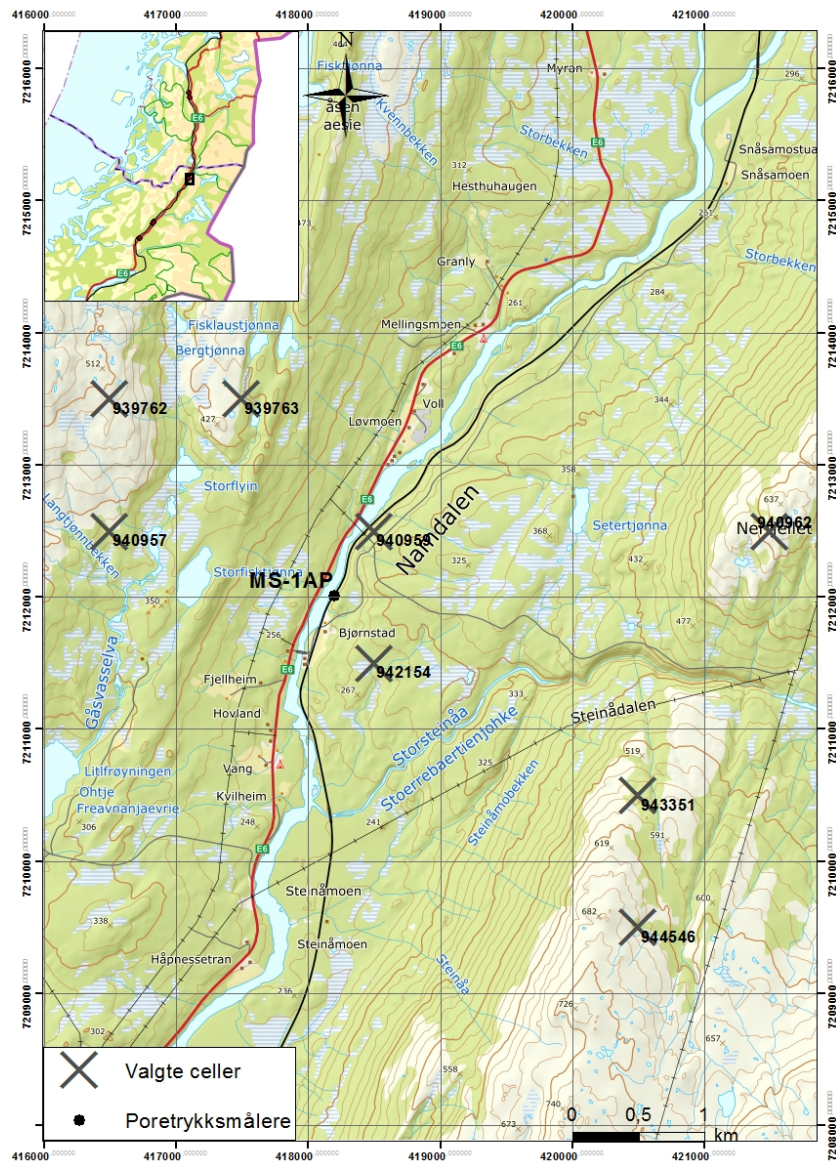
Figur 3.11: Feltundersøkelsene dreietrykk og trykksondering med poretrykk for boring FO-8 satt sammen for å vise fordeling av løsmassene mot dypet. Pz markerer poretrykksmåleren (Piezometeret). Se figur 3.6 og 3.7 for lokalisering av boringen. Modifisert fra (NGI, 2016b).

Laboratorieundersøkelser av borprøver tatt ved FO-2P (Fig 3.9) viser matjord den øverste meteren før det blir veksling mellom siltig leire og leirig silt. Borprofilet avslutter med et 10cm tynt lag med finsand. Kornfordelingsanalyse viser at hoveddelen av løsmassene er sandig- og leirig silt (Vedlegg B.2). Borprøve tatt ved FO-6P (Fig 3.10) viser matjord den øverste meteren med noe sand og grus. De neste 3 meterne er det leire med mye finsand og silt, før det blir silt med innhold av finsand den neste meteren. De nederste 30cm er definert som sand med noen få gruskorn. Kornfordelingsanalysen viser at også løsmassene i denne boringen består av sandig- og leirig silt, men den nederste delen er definert som leirig- og siltig sand (Vedlegg B.3). Poretrykksmålerne FO2\_1, FO2\_2, FO6 og FO8 er plassert henholdsvis 106m, 103.5m, 107m og 126.m over havnivået. Den nærliggende elva har en høyde over havnivå på 104m.

Den nærmeste nedbørstasjonen er den samme som er beskrevet for Gartland (18km fra Åsmulen). Der var det et årsgjennomsnitt på 1415mm nedbør (www.yr.no, 2019a). Ved å bruke Nevina, som er et verktøy for å finne variabler til et valgt nedbørsfelt, finner man et interpolert årsgjennomsnitt for nedbør ved Åsmulen på 1389 mm (NVE, 2019b).

### 3.3 Bjørnstad

Bjørnstad er det tredje området hvor det er plassert ut poretrykksmålere (Fig 3.12). Poretrykksmålere (MS-1AP) er installert kun 15m øst for elva Namsen.

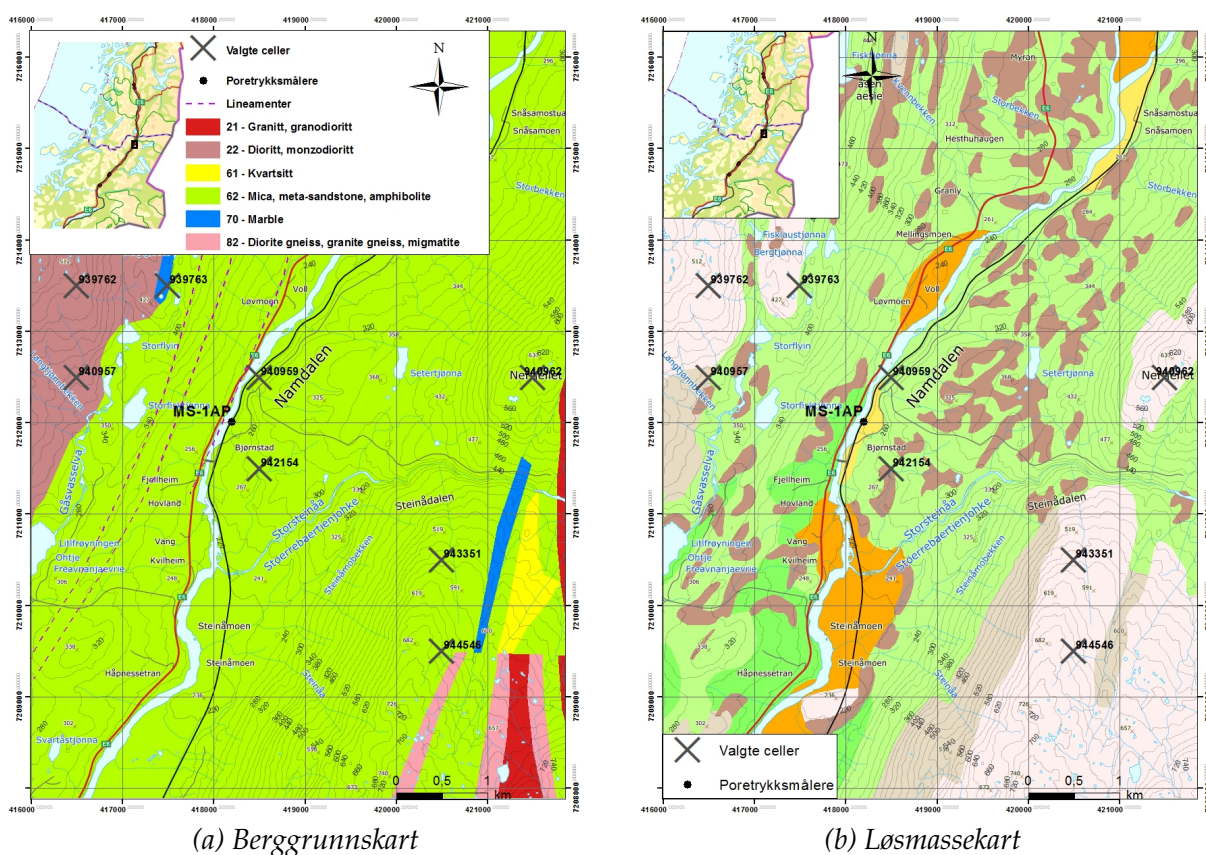


Figur 3.12: Topografisk kart over Bjørnstad-området med tilhørende poretrykksmålere (Kartverket, 2018b). Cellene hvor det er hentet inn data fra xGeo er markert som "Valgte celler" med betegnelse (Barfod et al., 2013).

Rett øst for poretrykksmåleren er det en kort bratt skrent på 65m med  $25^\circ$  stigning opp mot en liten kolle (Fig 3.12). 70m videre østover ned fra kollen er det et lite flatt parti med myr. Dette partiet med koller og myrer er representativt for store områder øst for poretrykksmåleren. Det går omtrent 2.3km i østlig retning før det



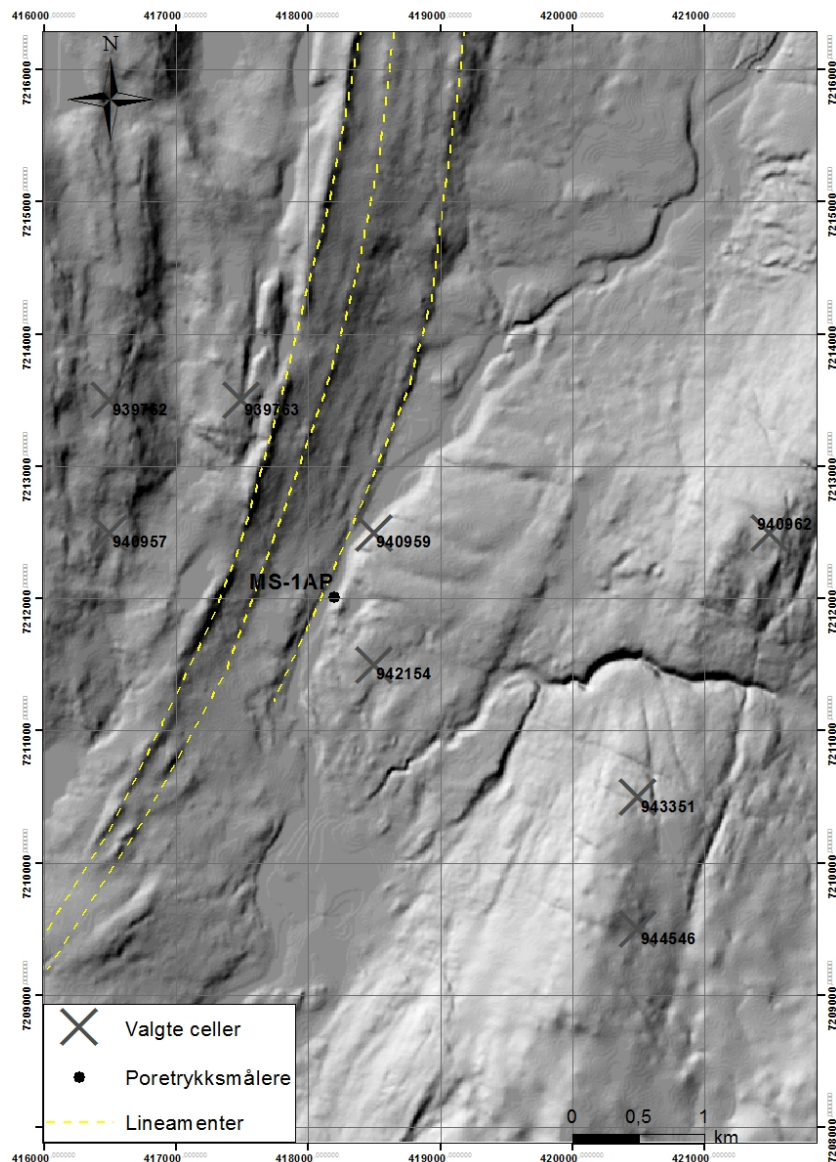
er noe markant økning i stigningen. Med den største stigningen på omtrent  $26^\circ$  er det ikke veldig bratt mot den nærmeste fjelltoppen i østlig retning, 3.5 km fra poretrykksmåleren. Det er også en fjelltopp 3km sørøst for poretrykksmåleren, men midt mellom poretrykksmåleren og fjelltoppen renner elva Storsteinåa (Fig 3.12). Elva vil kunne ha en påvirkning på strømningen av grunnvannet mot poretrykksmåleren. Vest for poretrykksmåleren, vest for Namsen, er det et 570m med et relativt flatt parti før et 500m parti med en helning på  $15^\circ$ . Etter dette er det et flatt platå med myr og et lite vann. Etter det 600m brede platået er det en jevn stigning med snittverdi på rundt  $15^\circ$  før man er over tregrensa.



Figur 3.13: Berggrunnskart og løsmassekart for Bjørnstad området med tilhørende poretrykksmålere (sorte prikker og betegnelse), og valgte celler fra xGeo med betegnelse. Berggrunnskartet inkluderer også enkle strukturelementer. Tegnforklaringen til løsmassekartet finnes i vedlegg A.1 (NGU-Norges Geologiske Undersøkelse, 2018; Kartverket, 2018b).

Berggrunnen rundt poretrykksmåleren er hovedsakelig dominert av glimmergneis og glimmerskifer (Fig 3.13a). På det flate platået i vest er det et nordøstlig/sørvestlig skifte til kvartsdioritt og trondhemitt. Omtrent 3km i østlig retning fra poretrykksmåleren er det en tynn stripe med kalkspatmarmor før det er større partier med granitt og

granodioritt. Det er ikke blitt funnet noe mer detaljert kartlegging over området som sier noe om foliasjon eller forkastninger/sprekker. Det er likevel mulig å bruke et skyggekart laget fra en terrengmodell til å se enkelte storskala strukturelementer (Fig 3.14).

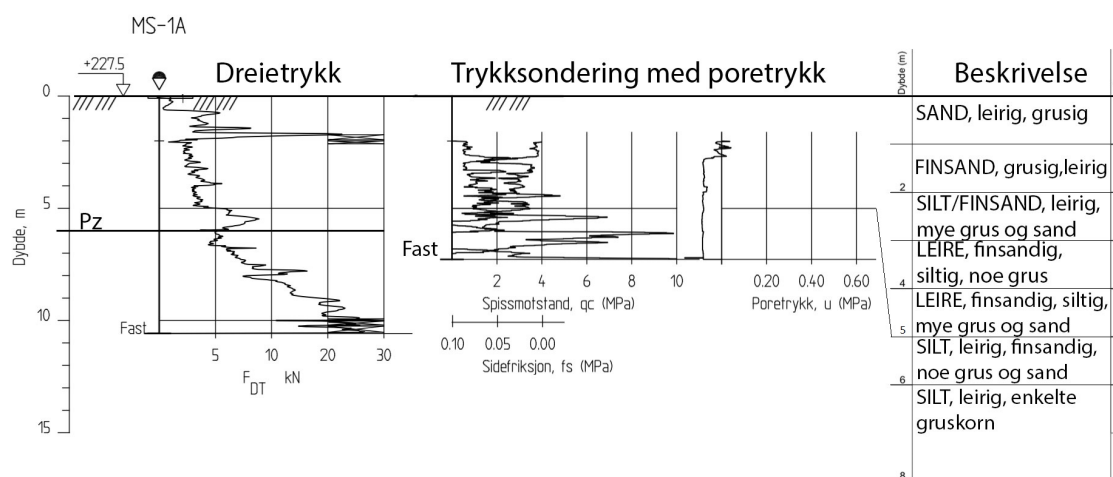


Figur 3.14: Skyggekart for Bjørnstad-området med tilhørende poretrykksmåler (Kartverket, 2018a).

Bjørnstad ligger over marin grense. Derfor er det ingen marine avsetninger men kun fluviale avsetninger og morene (Fig 3.13b). I en avstand på 150m i østlig retning er løsmassene definert som fluviale avsetninger (sand). Etter dette er det store flate partiet mot øst dominert av usammenhengende morenemateriale med sporadisk plassert torv og myrområder. Dette gjelder på begge sider av Namsen helt til stigningen øker opp mot dalsidene til man er over tregrensa. Nærmest poretrykksmåleren på vestsiden

av Namsen er det et 100m bredt parti med tykt morenedekke. 1km nord og sør for poretrykksmåleren er det noen større områder med breelvvavstninger (sand og grus). Det har ikke blitt funnet noe mer detaljert kartlegging av løsmassene i dette området.

Undersøkelser gjort samtidig som poretrykksmåleren ble installert indikerer ikke dybde til berggrunn, men dreietrykk viser at det er faste løsmasser ved 10.5m (Fig 3.15). Se kapittel 2.3 for forklaring av undersøkelsene. Poretrykksmåler MS1a er plassert 221.5 moh, mens den nærliggende elva har en høyde over havet på 222m.



Figur 3.15: Feltundersøkelsene dreietrykk og trykksondering med poretrykk sammen med beskrivelse av borprøver for boring MS-1a satt sammen for å vise fordeling av løsmassene mot dypet. Pz markerer poretrykksmåleren (Piezometeret). Se figur 3.12 og 3.13 for lokalisering av boringen. Modifisert fra (NGI, 2016b).

Borprøver tatt av løsmassene ned til 7.1m viser en ganske grov sammensetning. De 4 første meterne viser sand med høyt innhold av grus og noen siltflommer. De to neste meterne er definert som leire med høyt innhold av grus og sand, før det igjen blir grovere de siste 2 meterne definert som silt med noe mindre grus og sand. Kornfordelingsanalysen viser at øvre del av sedimentpakken består av 60-65% fra kornstørrelsen finsand til middels grus (0.075mm til 19mm), mens den nedre delen har noe mindre grovt materiale med en prosentandel på 20-50% (Vedlegg B.4).

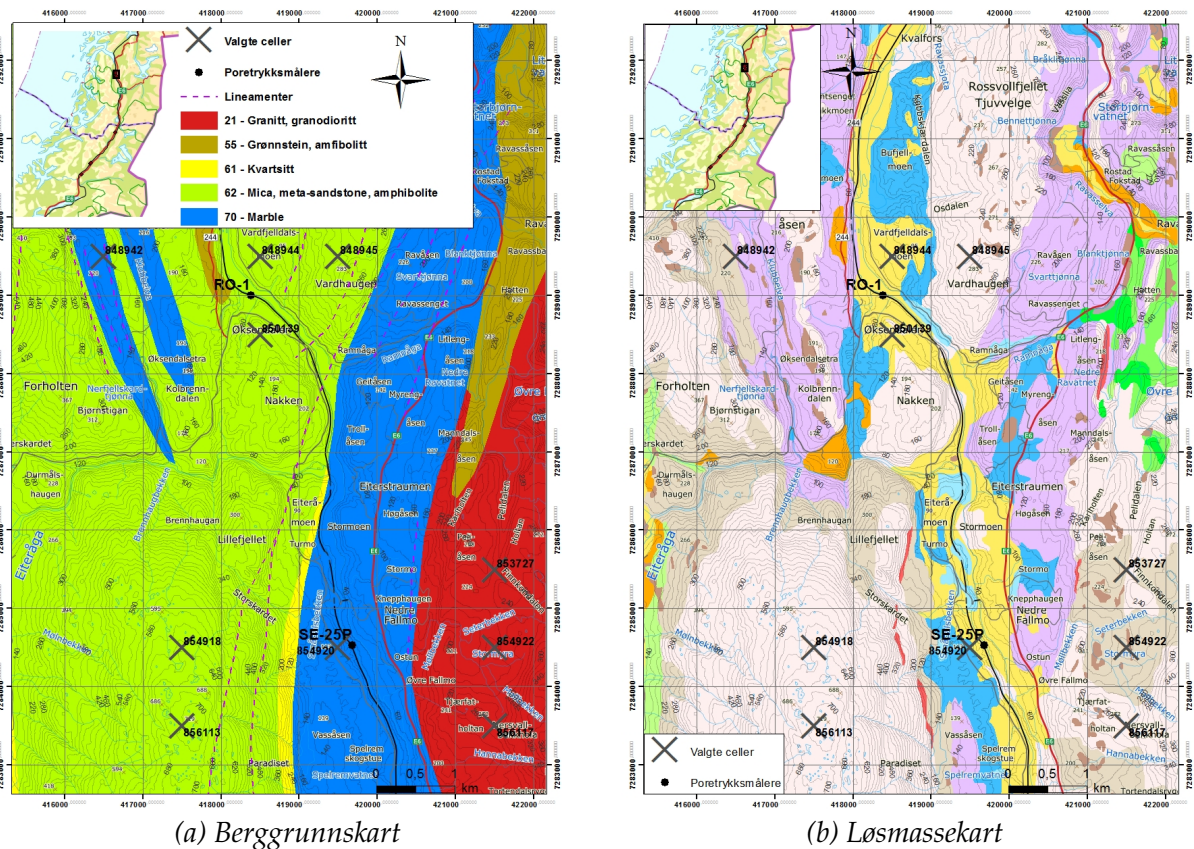
Den nærmeste nedbørsmålestasjonen ligger ved Majavatn 14km nord for Bjørnstad. Denne målestasjonen viser en årsnormal på 1222mm (www.yr.no, 2019d). Fra interpolerte verdier fra Nevina for Bjørnstad er verdien litt høyere, 1335mm i året (NVE, 2019b).



### 3.4.1 Poretrykksmåler SE-25P

Poretrykksmålerne SE-25P\_1 og 2 ligger i et smalt parti av dalen (Fig 3.16). Poretrykksmåleren er plassert 30m vest for elva Vefsna. Mellom poretrykksmåleren og elva er det en skråning med en stigning på rundt  $15^\circ$ . Vestover mot dalsiden som er 800m fra poretrykksmåleren er det noen bratte raviner med sideskråninger på opp mot  $37^\circ$  helning. En av de nærmeste ravinene har en bekk med utløp 100m nord for poretrykksmåleren. Utenom de bratte ravinene er det relativt flatt på platået mellom poretrykksmåleren og dalsiden i vest. 500m nord for poretrykksmåleren munner Smådalsbekken ut i Vefsna (Fig 3.16). Smådalsbekken renner i sørlig-nordlig retning, vest for poretrykksmåleren. Deretter øker helningen, hvor verdier på mellom  $50^\circ$  og  $20^\circ$  før man er over tregrensa og på en fjelltopp,

Øst for poretrykksmåleren på andre siden av Vefsna er det mer variert terreng med noen mindre topper og nedsenkninger med myr, i tillegg til Møllbekken som følger nedsenkningene i terrenget. Dette partiet varer i rundt 2.3km før stigningen øker med verdier på mellom  $35^\circ$  og  $15^\circ$ . 2km opp dalsiden i øst er man over tregrensa på en fjelltopp.



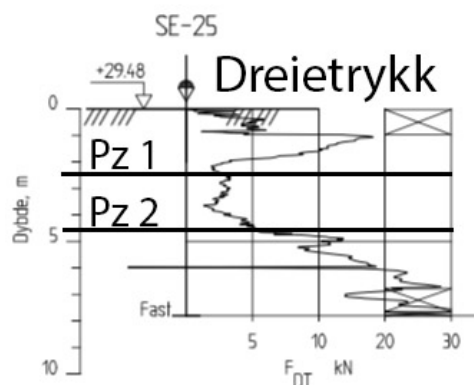
Figur 3.17: Berggrunnskart og løsmassekart for Eiterstraumen området med tilhørende poretrykksmålere (sorte prikker og betegnelse), og valgte celler fra xGeo med betegnelse. Berggrunnskartet inkluderer også enkle strukturelementer. Tegnforklaringen til løsmassekartet finnes i vedlegg A.1 (NGU-Norges Geologiske Undersøkelse, 2018; Kartverket, 2018b).

Poretrykksmåler SE-25P\_1 og 2 ligger midt i et nord-sør gående 1.4 km bredt belte med kalkspatmarmor (Fig 3.17a). Øst for dette beltet er det hovedsakelig granitt og granodioritt, og vest for beltet er det glimmergneiser og glimmerskifer, som også poretrykksmåler RO-1 ligger i.

Poretrykksmåler SE-25P\_1 og 2 er installert der løsmassene er definert som fluviale avsetninger/sand (Fig 3.17b). De fluviale avsetningene er lokalisert helt til 180m vest fra elva før det er en 600m strekning med siltige hav og fjordavsetninger. Etter det er det en kort overgang med tynt torvdekke før det er bart fjell. Øst for Vefsna er det et tilsvarende 180m bredt parti med fluviale avsetninger før et 700m bredt parti med forvittringsmateriale, "råttent fjell". Deretter er det et 1.5km bredt område med tynt torvdekke med noe myr før det er bart fjell. Fra et noe mer detaljert analogt løsmassekart er det også markert raviner i hav og fjordavsetningene, og terrasser i de fluviale avsetningene, som også har markerte enkelte områder med noe grovere

løsmasser(grus) (Bargel og Olsen, 1996).

Undersøkelser gjort samtidig som installeringen av poretrykksmålerne (Dreietrykk) viser at faste sedimenter ved SE-25P er definert ved 7.8m (Fig 3.18). Det ble ikke tatt opp noen prøver ved SE-25P. Se kapittel 2.3 for forklaring av undersøkelsene.



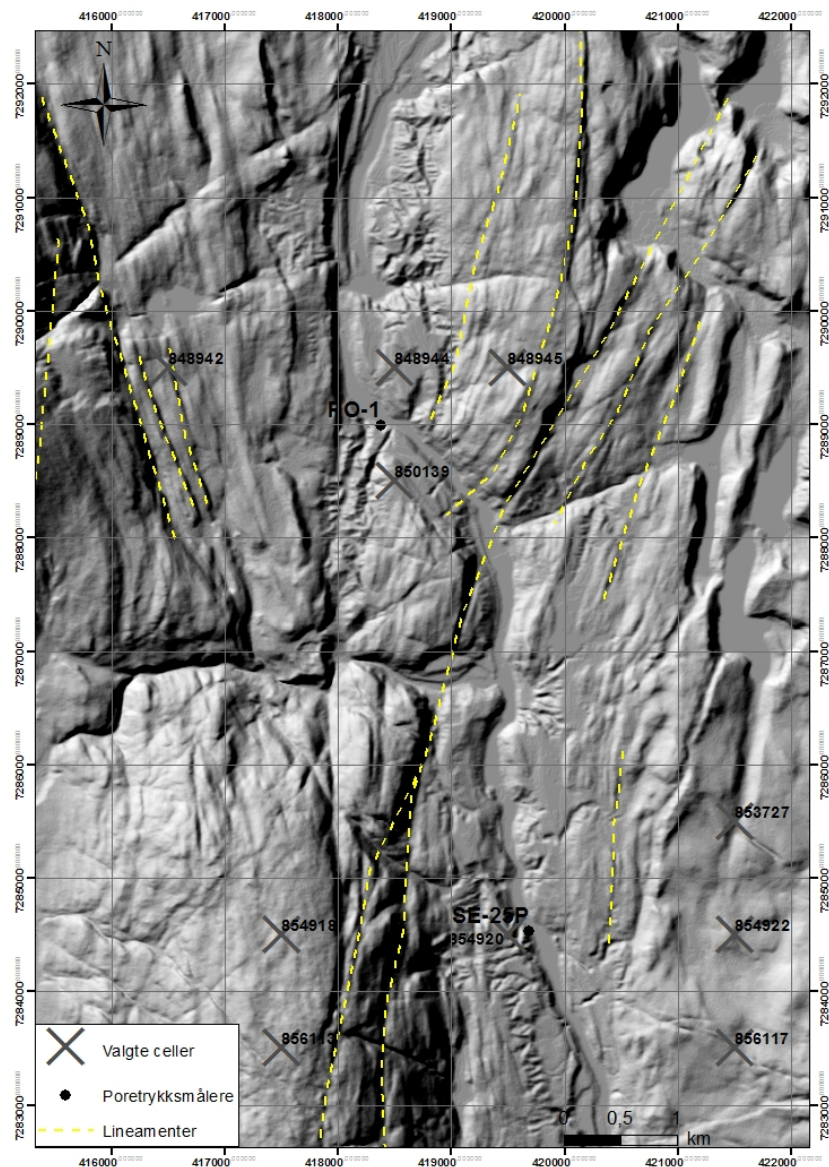
Figur 3.18: Feltundersøkelsene dreietrykk for boring SE-25 viser fordeling av løsmassene mot dypet Pz 1 og Pz 2 markerer poretrykksmålerne (Piezometerne). Se figur 3.16 og 3.17 for lokalisering av boringen. Modifisert fra (NGI, 2015).

### 3.4.2 Poretrykksmåler RO-1

Nordover mot poretrykksmåler RO-1 er dalen noe videre (Fig 3.16). Poretrykksmåleren ligger sørvest for Vefsna med en 20m kort 20° skråning mot elva. Ovenfor poretrykksmåleren er det en 60m lang, 30° bratt skråning opp mot et flatt parti. Vestover ned fra det flate partiet er det en bekk som munner ut i Vefsna 160m nordvest for poretrykksmåleren. 1.8 km videre vestover for bekken er det noen korte skråninger og større flate partier før stigningen øker. Det er omtrent 1.6km med en jevn stigning på 20° før man er på toppen av dalsiden i vest og et godt stykke over tregrensa. Mellom 200m og 1km sør for poretrykksmåleren er det i tillegg et område med raviner. Nordøst for poretrykksmåleren, på østsiden av Vefsna, er det kun 200m med et relativt flatt parti før stigningen øker med verdier på rundt 20°. Det er en kort strekning på 800m til den nærmeste toppen og man er over tregrensa. Mellom Vefsna og denne toppen er det to bekker som renner sørover ut i Vefsna.

300m vest for RO-1 er det ett tynt belte med amfibolitt, og 500m videre er det to 400m tynne belter med kalkspatmarmor (Fig 3.17a). Området er også dekket av

kartet fra Roberts (1997) med tilhørende profil, men er ikke veldig detaljert ved Eiterstraumen. Det er markert en foliasjonsmåling vest for de to tynne marmorbeltene ved poretrykksmåler RO-1. Den viser en sørlig retning med fall på  $80^\circ$  mot øst. Det er vanskelig å bruke profilet til å si noe om berggrunnen da berggrunnen er forskjellig ved Eiterstraumen. Fra et skyggekart laget fra en høydemodell (Fig 3.19) er det mulig å merke av storskala lineamenter for området (Fig 3.17a og 3.19).



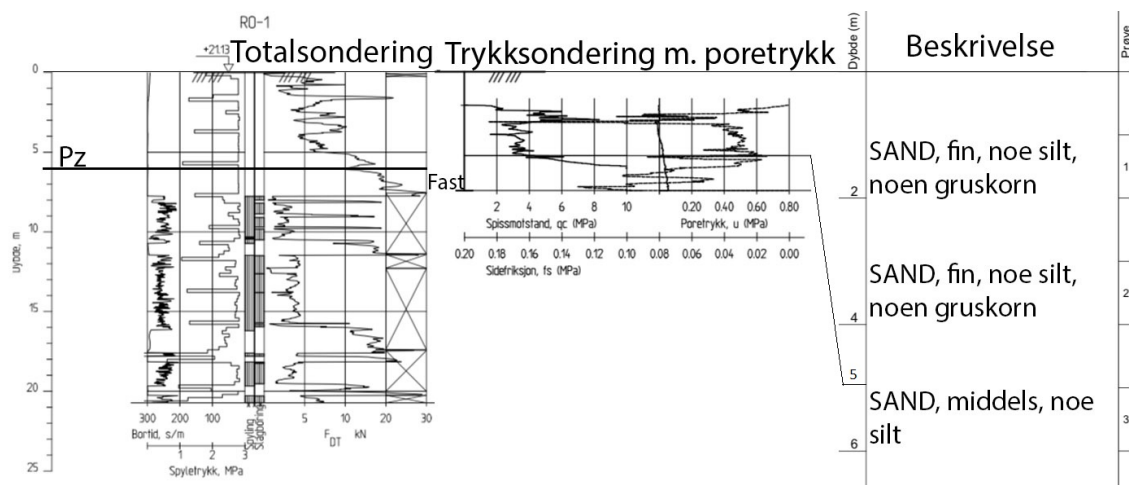
Figur 3.19: Skyggekart for Eiterstraumen-området med tilhørende poretrykksmålere (Kartverket, 2018a).

Dette viser at det er svakheter i berget som går i nordlig/sørlig retning i samme område som det store kalkspatmarmor-beltet, og enkelte linjer som går nord sør vest for dette beltet. Om dette er forkastninger eller hvilket fall det eventuelt har, er vanskelig å si noe om.



Poretrykksmåler RO-1 er også installert i fluviale avsetninger (sand) (Fig 3.17b). I vestlig retning varer dette 370m til det er et 1.3km langt parti med forvittringsmateriale, noe bart fjell og noe myr. Etter dette er det et lite stykke med tynt torvdekke frem til det er bart fjell. På østsiden av Vefsna er det noe fluvialt materiale og et 350m bredt parti med hav og fjordavsetninger til det er bart fjell. Ved RO-1 er det ikke noen mer detaljerte kart tilgjengelig. RO-1 er plassert 15 moh, mens den nærliggende elven har en høyde over havet på 14m.

Undersøkelser gjort ved RO-1 viser at sedimenttykkelsen er på 7.2m (Fig 3.20). Se kapittel 2.3 for forklaring av undersøkelsene.



Figur 3.20: Feltundersøkelsene dreietrykk og trykksondering med poretrykk sammen med beskrivelse av borprøver for boring RO-1 satt sammen for å vise fordeling av løsmassene mot dypet. Pz markerer poretrykksmåleren (Piezometeret). Se figur 3.16 og 3.17 for lokalisering av boringen. Modifisert fra (NGI, 2015).

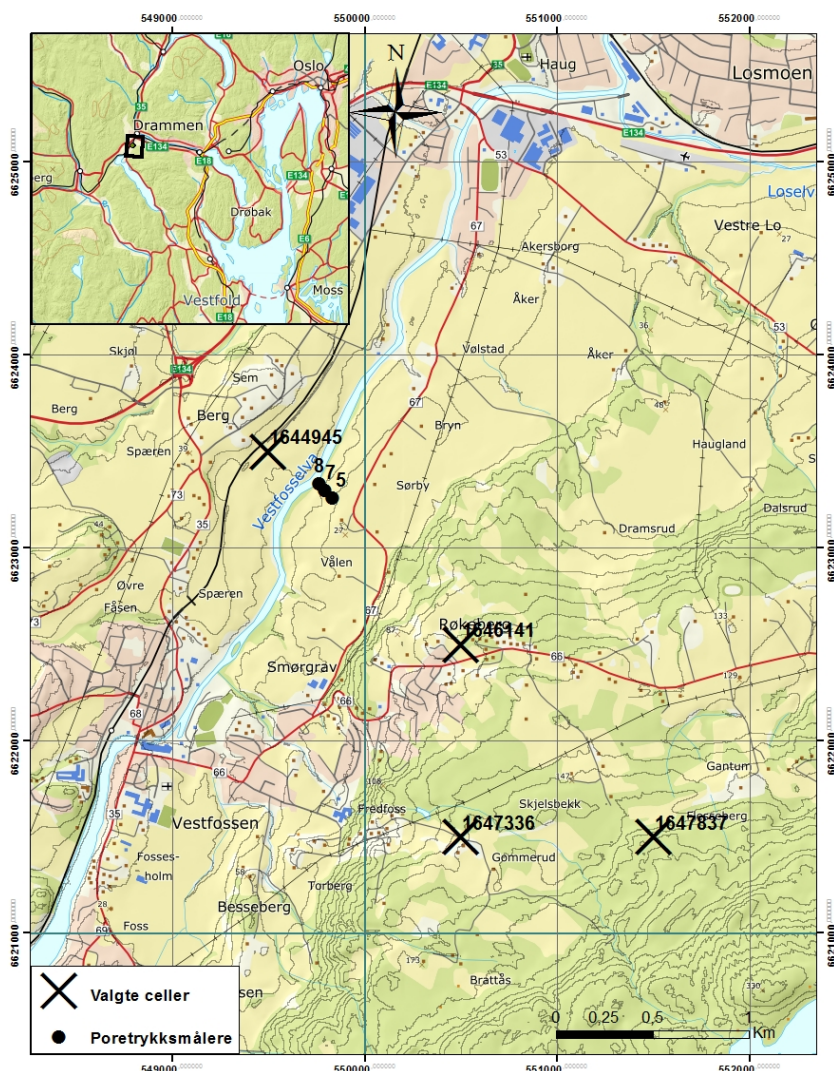
Det ble også tatt opp boreprøver ved RO-1 som viser at hele sedimentpakken ned til fjell er fin til middels sand med noe silt og gruskorn. Kornfordelingsanalyse (Vedlegg B.5) viser at omtrent 80% av sedimentene var fra størrelsen fin sand (0.075mm) til middels grov grus(19mm).

Den nærmeste nedbørsmåleren ligger i Laksfors og ble opprettet i 2011. Den ligger 6km sør for SE25 og 10,6km sør for RO-1. Det er ikke definert noe årsnormal ved denne stasjonen så det er derfor nødvendig å bruke Nevina. Nevina viser at årsnormalen for nedbør ved Eiterstraumen ligger på 1310mm (NVE, 2019b).

### 3.5 Vestfossen

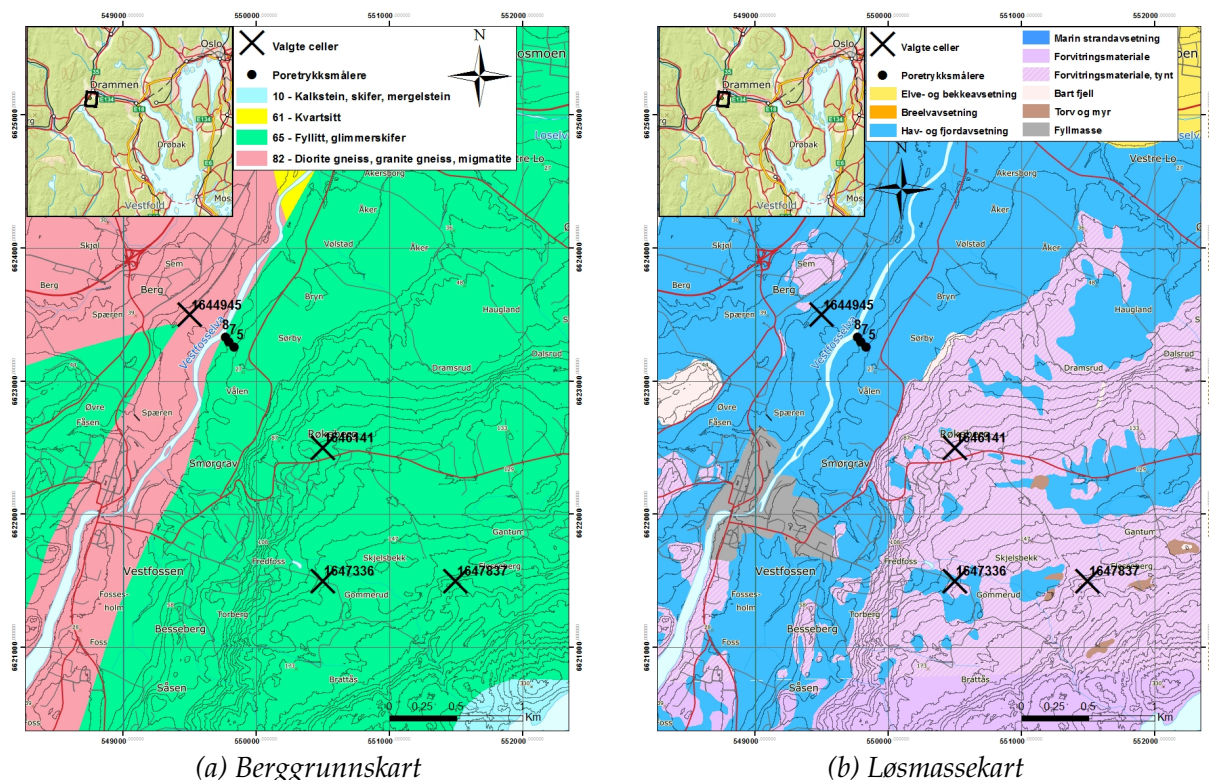
For å få en bedre forståelse av forhold som påvirker bruddmekanismer i skråninger med sensitiv leire, har NGI med støtte fra NVE og Norges Forskningsråd, installert overvåkningsinstrumenter i en skråning med sensitiv leire på Vestfossen. Vestfossen ligger rett sør for Hokksund, i Buskerud fylke. Der er det gjort feltundersøkelser for å kartlegge grunnen og installert 6 poretrykksmålere fordelt på 3 borhull. På sikt skal dette brukes til å utvikle verktøy som kan bidra til å varsle om mulige skredhendelser.

De tre borhullene ligger på rekke, med omtrent 50m inbyrdes avstand. Borhull 8 er nærmest Vestfossenelva, og så følger borhull 7 og 5 (Fig 3.21).



Figur 3.21: Topografisk kart over Vestfossen med tilhørende poretrykksmålere (Kartverket, 2018b). Cellene hvor det er hentet inn data fra xGeo er markert som "Valgte celler" med betegnelse (Barfod et al., 2013).

I Vestfossen er topografien relativ flat (Fig. 3.21), noe som er typisk for områder på Østlandet dominert av tykke leireavsetninger. Poretrykksmålere er installert i en skråning med  $15^\circ$  helning ned mot Vestfossenelva. Poretrykksmålerne i borhull 8 er kun 5 m fra elva. Omtrent 500m i sørøstlig retning fra poretrykksmålerne er det relativt flatt før helningen øker nevneverdig. Fra dette punktet er det en varierende stigning frem til det høyeste punktet i sørøstlig retning på 330moh. Det er enkelte bratte skrenter på  $30-40^\circ$  i tillegg til områder som er uten helning. Utenom den økende gradienten i sørøstlig retning er det ikke noen andre områder i nærheten av poretrykksmålerne, der helningen kan påvirke poretrykksmålingene. Det er likevel noe bebyggelse og veinett i sørlig retning som kan påvirke hvordan vannet infiltrerer bakken.



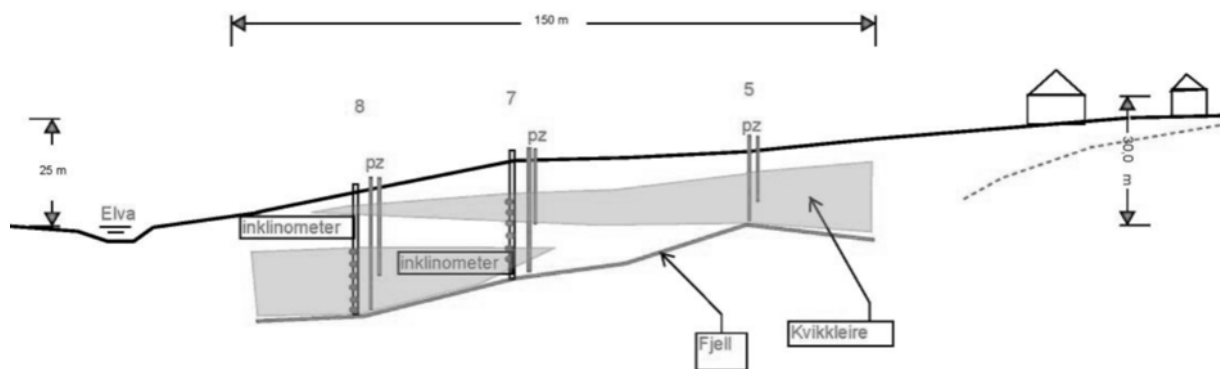
Figur 3.22: Berggrunnskart og løsmassekart for Vestfossen med tilhørende poretrykksmålere (sorte prikker og betegnelse), og valgte celler fra xGeo med betegnelse (NGU-Norges Geologiske Undersøkelse, 2018; Kartverket, 2018b).

Berggrunnen består av diorittisk gneis vest for poretrykksmålerne, og fyllitt og glimmerskifer under og øst for poretrykksmålerne (Fig. 3.22a). Fra ortofoto er det ikke mulig å se blottet fjell eller storskala strukturelementer

Løsmassene i området rundt Vestfossen består hovedsakelig av to typer. Det ene er hav og fjordavsetninger som leire og silt med stor mektighet (Fig. 3.22b). Den andre

er forvittringsmateriale, som er der helningen øker i sørvestlig retning. Løsmassekartet viser også enkelte små områder med bart fjell, noe som er lokalisert der de korte bratte skrentene ligger.

Fra grunnundersøkelser gjort av NGI samtidig som poretrykksmålerne ble installert, kommer det frem at det er områder med kvikkleire (Fig 3.23).



Figur 3.23: Prinsippskisse om hvordan grunnen ved poretrykksmålerne ser ut. Figuren baserer seg på grunnundersøkelser gjort på stedet og er hentet fra NGI (2010).

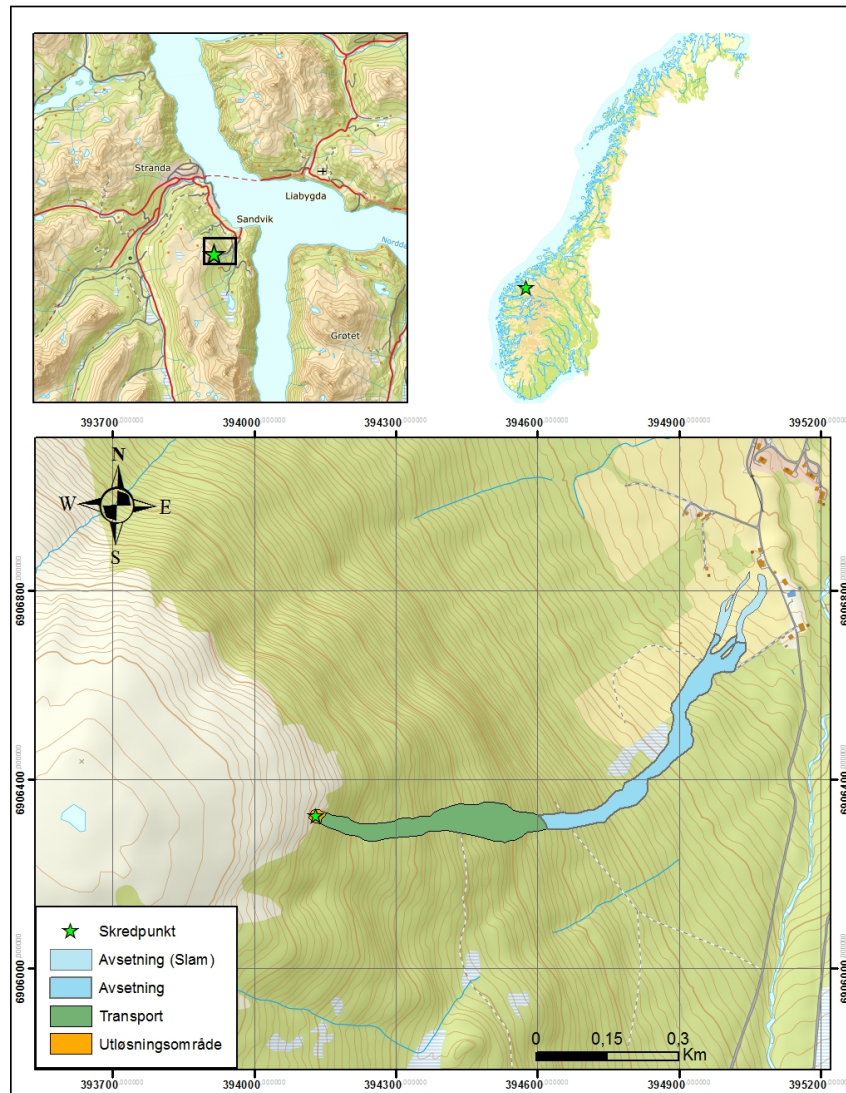
På prinsippskissen (Fig 3.23) kommer det også frem hvordan berggrunnen er antatt å helle under poretrykksmålerne og hvordan de forskjellige poretrykksmålerne er installert i forhold til hverandre. I borhull 5 er poretrykksmålerne plassert i dybdene 10m og 15m, i borhull 7 er poretrykksmålerne plassert i dybdene 10m og 28m, og i borhull 8 er poretrykksmålerne plassert i dybdene 18m og 28m. Dybden til de ulike poretrykksmålerne vil tilsi en høyde over havet for Pz5\_1, Pz5\_2, Pz7\_1, Pz7\_2, Pz8\_1 og Pz8\_2 på henholdsvis 9.5m, 4.5m, -3.5m, -13.6m, -14.4m, og -24.4m. Den nærliggende elva har en høyde over havet på 1m.

Den nærmeste nedbørmåleren ligger i Hokksund som er 2.5km unna. Målestasjonen ble opprettet i 2005 og har en beregnet årsnormal for nedbøren på 938mm (www.yr.no, 2019b).

### 3.6 Opsvik - Skredhendelse

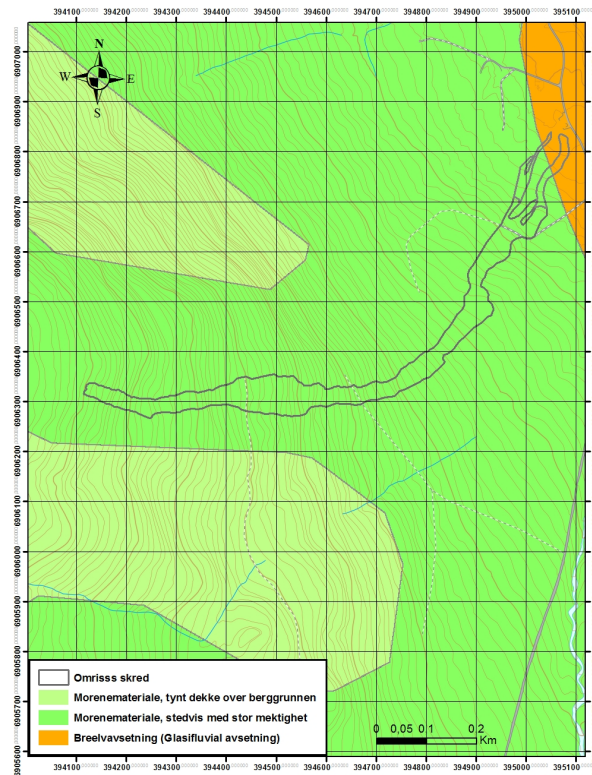
Skredet som ble undersøkt i felt sammen med Fagerhaug (2019) er lokalisert på den nordøst-vendte siden av fjellet Fonna, på Opsvik i Stranda kommune, Møre

og Romsdal (Fig. 3.24). Skredet ble utløst mellom kl. 21:00 og 23:00 etter en kraftig nedbørshendelse dem 24. juni 2013 (N.Opsvik, personlig kommunikasjon, 27.09.2018).



Figur 3.24: Topografisk kart over området skredet ble utløst og hvor det er plassert i Norge. Skredet er avmerket med ulike faser i skredhendelsen (Kartverket, 2018b).

Geologien i området er ganske ensformig. Berggrunnskart viser at berggrunnen er diorittisk til granittisk gneis for store områder rundt skredet (NGU-Norges Geologiske Undersøkelse, 2018). Dette ble også bekreftet ved feltundersøkelsene.

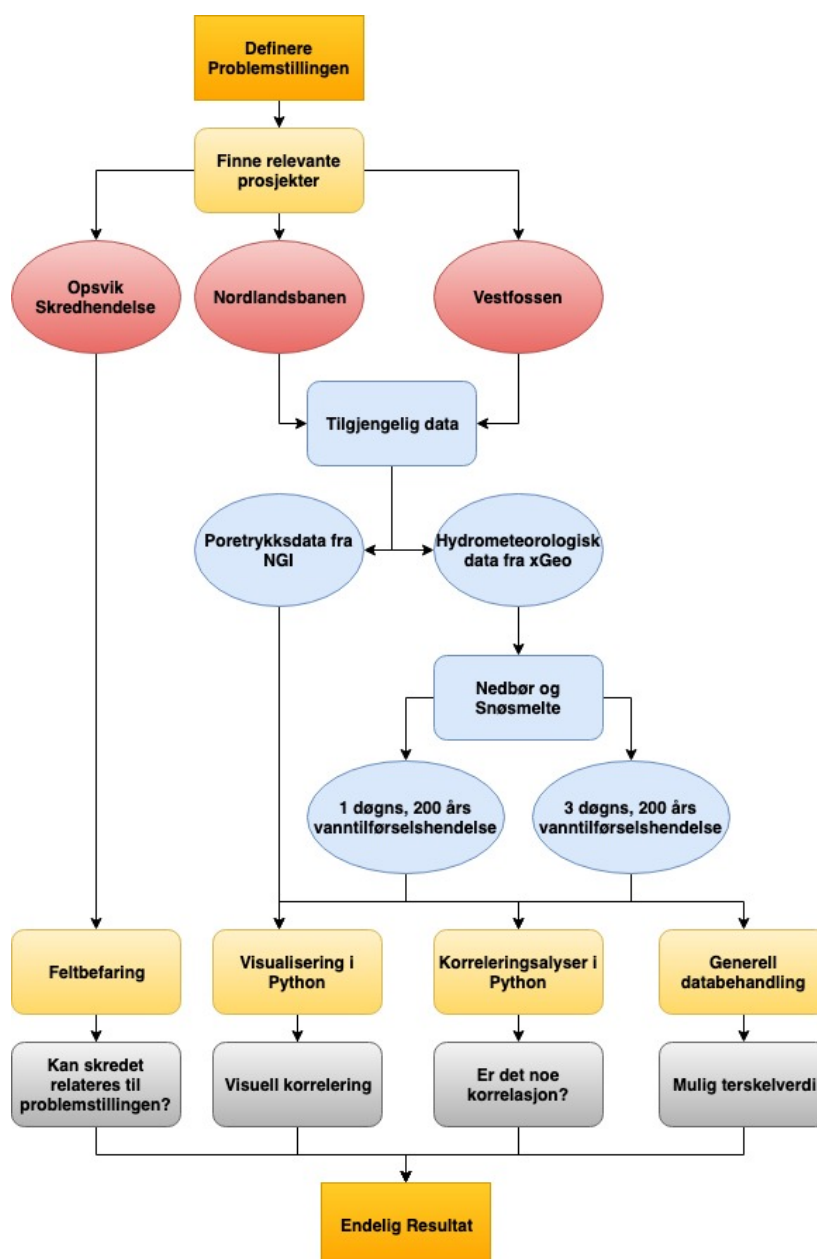


Figur 3.25: Løsmassekart for området rundt skredet. Omrisset av skredet er avmerket på kartet (NGU-Norges Geologiske Undersøkelse, 2018; Kartverket, 2018b).

Løsmassekartet (Fig. 3.25) viser at skredet har gått i morenemateriale med stor mektighet. Sør og nord for den øvre delen av skredet er det noe tynnere mektighet av morenemateriale. Nederste del av skredet har så vidt gått over det som defineres som breelavsetninger. Feltobservasjoner viser at fjellsiden skredet gikk i var dekt med morenemateriale med en varierende mektighet på mellom 0.3 – 1m. I øvre delen av skråningen, samme høyde som utløsningsområdet til skredet, bestod løsmassene av torv med en målt mektighet på opptil 0.7m. Det vokste også einer, mose, lyng og spredte fjellbjørk helt opp til toppen av skråningen. Nedenfor utløsningsområdet var det først et parti med tettere vekst av bjørk før det gikk over til plantet granskog.

# Kapittel 4: Metode

Oppgavens utforming og forskjellige trinn er lettest presentert samlet i et flytdiagram (Fig. 4.1).



Figur 4.1: Flytdiagrammet viser hovedoppsettet av hvordan oppgaven er utformet. Oransje definerer start og slutt på oppgaven, rød definerer lokalitetene, blå definerer data til oppgaven, gul definerer arbeid, og grå definerer tolkning.

## 4.1 Valg av interesseområder

Datasettet som ble gitt med plasseringen til poretrykksmålerne for Nordlandsbanen inneholdt informasjon om boringer som ikke var relevant for denne oppgaven. Dette er boringer som ble gjort i forbindelse med NGIs prosjekt for Nordlandsbanen. Derfor måtte poretrykksmålerne separeres fra de andre dataene før plasseringen kunne plottes i kart. For Vestfossen var ikke dette et problem. Plasseringen til poretrykksmålerne ble plottet sammen med løsmassekart og høydekurver fra Kartverket (2018b), nedbørsfelt (REGINE enhet) fra NVE (2019a) og 1x1km grid fra xGeo (Barfod et al., 2013). Dette ble gjort for å velge ut hvilke av cellene som skulle brukes for å hente ut nødvendige hydrologiske data. Med bakgrunn i kjennskap om hvordan vann infiltrerer berggrunnen og hvordan vannet sannsynligvis vil strømme mot poretrykksmålerne, ble det valgt ut 4 celler for Gartland (Fig 3.2), 5 celler for Åsmulen (Fig 3.6), 8 celler for Bjørnstad (Fig 3.12), 10 celler for Eiterstraumen, hvor 4 er for poretrykksmåler RO-1 og 6 for poretrykksmåler SE-25P (Fig 3.16), og 4 celler for Vestfossen (Fig 3.21). Det ble kun valgt ut noen få, representative celler for hvert område for å ikke få for store mengder data å jobbe med.

## 4.2 Innhenting av data

Data som blir brukt i denne oppgaven baserer seg på tilgjengelige data fra xGeo, poretrykksdata fra nordlandsbane-prosjektet og poretrykksdata fra Vestfossen forskningsområde som NGI har bistått med. Data fra xGeo kan hentes på flere forskjellige måter avhengig av hvilken typer data man er ute etter. Det er to metoder som er brukt i denne oppgaven. For å laste ned interpolerte data for snøsmelte, nedbør (vanntilførsel) og vannmetning i jorda, hvor oppløsningen er et 1x1 km grid, har det blitt benyttet et matlab-script etter Falck (2018). Scriptet tar inn et dokument med koordinater fra senterpunktet til de 1x1km cellene man skal laste ned data fra. For å laste ned riktige data må det spesifiseres hvilke tidsintervall man skal ha og hvilken type data. Tidsintervallet har blitt definert av start og slutt punkt for når poretrykksdata er tilgjengelig for de forskjellige områdene. På xGeo er de forskjellige datatypene definert med egne koder. I dette tilfellet ble kodene "qwb\_sssrel", "qwb\_qtt3dprrrxm200", "qwb\_qttprrrxm200"



og "qtt" brukt for henholdsvis vannmetning i jorda, ett døgns vanntilførsel, 3 døgns vanntilførsel og vanntilførsel (absoluttverdier). For å kunne sammenligne hvor stor vanntilførsel som blir tilført bakken i forhold til en 200 års hendelse, blir det benyttet normaliserte verdier for en 200 års periode, og ikke absoluttverdier. Det er da valgt ut to versjoner av normalisering. Den ene er ett døgns vanntilførsel i prosent av beregnet maksimum ett døgns nedbør for en 200 års periode. Den andre er 3 døgns vanntilførsel i prosent av beregnet maksimum ett døgns nedbør for en 200 års periode. Begge er estimert fra perioden 1957-2008 og verdiene oppdateres ca 0730, 0900, 1130 og 2000 hver dag. Absoluttverdier for vanntilførsel ble også lastet ned hvis det ble nødvendig med slike verdier. Absoluttverdi - dataene består av en verdi hver dag hvor dagen starter kl. 06:00.

Andre data som har blitt lastet ned fra xGeo er vannføringsdata for Nordlandsbanen. Ved å gå inn på de enkelte vannføringsmålestasjonene kan det defineres hvilket tidsintervall man vil ha data fra, og deretter laste ned dataene. Vannføringsmålestasjonene er valgt ut ifra korteste avstand fra poretrykksmålerne, og er valgt enten oppstrøms eller nedstrøms med tanke på tilsig fra andre mindre eller større elver. Datasettene har et måleintervall varierende fra hvert 15. minutt til hver time.

All de nedlastede dataene fra xGeo har så blitt importert til Python for videre analyse. På grunn av ulikt opphav til de forskjellige datasettene, har det vært tidkrevende å få alt til å passe sammen.

Poretrykksdata fra Nordlandsbane-prosjektet og Vestfossen er registrert av NGL. Dataene kommer fra automatiske piezometere som for Nordlandsbanen-prosjektet leser av vannivået en gang om dagen mellom kl 00:00 og 01:00 avhengig av hvilken poretrykksmåler det er snakk om. Poretrykksmåler RO-1 har avlesninger 2 ganger om dagen, kl. 00:41 og kl. 12:41. Poretrykksmålingene for Vestfossen er målt 2 ganger per dag kl 00:00 og 12:00. For videre forklaring av poretrykk se kap. 2.1.2.

#### **4.2.1 Endelig dataoppsett**

Etter visualisering og gjennomgang av datasettene har det blitt gjort noen endringer i rådatasettene. I starten av datasettene til lokalitetene på Nordlandsbanen var det en innkjøringsfase hvor poretrykket hadde unaturlige verdier. Det ble løst ved å

forkorte datasettene med noen dager. For Vestfossen har det vært nødvendig med mer bearbeiding. Det var mye problemer med poretrykksmålerne i starten av måleperioden og enkelte perioder senere. Det har ført til at datasettet har blitt delt opp i to, for å kun inkludere naturlige variasjoner i poretrykket. Vestfossen har blitt delt opp i en tidsserie for mesteparten av 2010, og en for 2011 til 2012. Enkelte dager i tidsserien 2011-2012, har systematiske målefeil i en av målingene. Den systematiske feilen var en plutselig unaturlig økning av poretrykk. Disse dataene ble fjernet, men siden det kun var den ene av to målinger på samme dag ble det ingen innvirkning på tidsserien som en helhet. Datoene og poretrykksmålerne det ble fjernet verdier fra er presentert i tabell 4.1.

Tabell 4.1: Tabellen viser datoer hvor det var en av to målinger med feil som ble fjernet. Den viser også hvilke poretrykksmålere dette gjaldt

Dato med feil	Poretrykksmåler hvor data ble fjernet
20.06.11	Pz5 15m, Pz5 10m
21.06.11	Pz5 15m, Pz5 10m
22.06.11	Pz5 10m, Pz7 10m
01.12.11	Pz5 15m, Pz5 10m
15.05.12	Pz5 15m, Pz5 10m
19.09.12	Pz5 10m, Pz7 10m
24.11.12	Pz7 28m, Pz5 10m, Pz7 10m

### 4.3 Databehandling og Analyser

Data til oppgaven er behandlet i programmet Python. Dette er et gratis tilgjengelig programmeringsprogram veldig likt Matlab. For å kunne prosessere hydrometrologiske data fra xGeo og poretrykksdata dra NGI må dette lastes opp til Python på en måte slik at det er kompatibelt med hverandre. Data fra xGeo som er vanntilførsel, vannmetning og vannføring har henholdsvis formatene CSV fil (comma-separated values), CSV og text format. Poretrykksdata NGi har bistått med er gitt som Excel fil. Utfordringen ved forskjellige datafiler er å definere data sammen med dato på lik måte. I Python må det lastes inn pakker/programmer som skal brukes til visualisering eller analysing. Det må også tas valg av hvordan dataene skal behandles i Python. I dette tilfellet er det brukt noe som heter "Dataframe". Denne metoden ligner på måten Excel behandler data på, og plasserer data i kolonner med en felles indeks, som er dato. Grunnen til dette valget er at pakken/programmet som bruker "Dataframe", kalt "Pandas", er et

program som er god til å visualisere og har gode statistikkanalyse-egenskaper.

Viktigheten av godt organiserte datasett kommer frem når ulike datatyper skal inn på samme format. De ulike formatene betyr ulike måte å laste inn data på. Måten det har blitt løst på er å sette data inn i en «dataframe» hvor de har en felles dato-indeks. Når det er flere verdier per dag har det blitt tatt en snittverdi, slik at det blir kun en verdi per dag. Ved visualisering av verdiene i plott, er det mulig å ha flere verdier per dag.

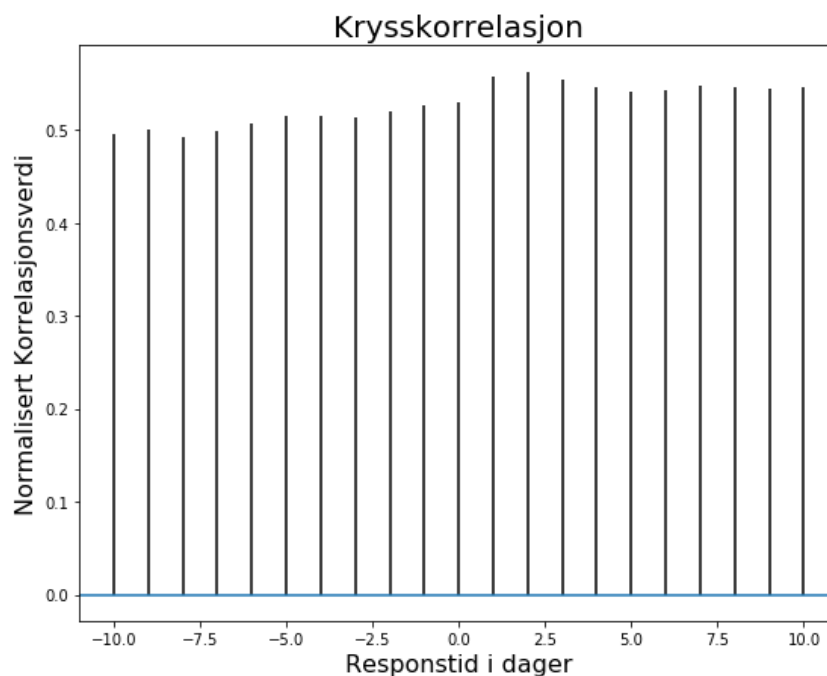
Visualisering av datasettene har blitt benyttet for å få overblikk over hvordan dataene henger sammen og hva som skulle gjøres. For å visualisere og sammenligne to typer vanntilførsel, data fra flere poretryksmålere, vannmetning og vannføring fra nærliggende elv har det vært nødvendig med gode plott. For å kunne sammenligne alle disse dataene har det blitt produsert et plott hvor to figurer deler samme x-akse og det er flere y-akser i samme figur. Man kan da sammenligne flere verdier på samme tid og se hvordan de varierer i forhold til hverandre. For å få en visuell effekt av små poretryksendringer, spesielt ved Vestfossen, er y-aksen tilpasset slik at man ser små endringer godt.

Plottene for de ulike lokalitetene har blitt brukt til å bestemme at korrelasjon skal bli testet for datasett med og uten null for vanntilførsel for de fleste lokaliteter, og et utdrag fra tidsseriene hvor det er mange vanntilførsel-hendelser og derfor minimalt med nullverdier. For å fjerne data hvor vanntilførsel er null, ble hele raden med dato, poretrykk og vanntilførsel fjernet. Hvis kun vanntilførselsverdiene ble fjernet ville korrelasjonen blitt gjort på ulike datoer.

Sammenligning av hvordan poretrykket øker og minker har blitt gjort med tanke på de ulike faktorene i plottet. Ved å gjøre dette har det vært mulig å se at det er forskyvninger i tid mellom topper og bunne på poretrykk, og topper og bunner på eks. vanntilførsel. Med bakgrunn i denne visuelle "korrelasjonen" sammen med numerisk analyse, er det mulig å finne ut hvor mange dager det er mellom toppene og bunnene.

Numerisk analyse gjort for å finne korrelasjon mellom poretrykk og vanntilførsel, er utført ved bruk av funksjonen "pandas.corr" og "matplotlib.pyplot.xcorr" i python. Dette er funksjoner som følger med pakken "pandas" og visualiseringspakken

matplotlib.pyplot. "corr" er brukt for å benytte seg av Spearman- og Pearson korrelasjonskoeffisient. I tillegg er det brukt en statistikk- og datavisualiserings-pakke kalt "Seaborn". Korrelasjonsfunksjonen kjøres på en "dataframe" som inneholder poretrykket for de poretrykksmålerne man vil sammenligne med de ulike cellene sin verdi for vanntilførsel. Seaborn brukes for å fremstille spredningsplott med regresjonslinje. "xcorr" er brukt til å finne krysskorrelasjonen, og deretter er det funnet responstiden for de ulike poretrykksmålerne. Figur 4.2 og tabell 4.2 viser hvordan responstiden blir funnet basert på numerisk analyse. I dette eksempelet er det verdiene tatt fra Gartland fra poretrykksmåler NG7\_1 og celle 1005445 (Fig. 3.2) med 1 dagers vanntilførselsverdier uten null, som har blitt krysskorrelert.



Figur 4.2: Korrelasjonsverdi blir regnet ut for hver gang poretrykksdata blir forskjøvet i forhold til vanntilførselsdata. Størrelsen på korrelasjonen er visualisert som stolper.

Tabell 4.2: Tabellen viser korrelasjonsverdier som blir regnet ut for hver gang poretrykksdatasettet blir forskjøvet med en dag. Det blir testet med 10 dager forskyvning frem og tilbake.

Forskyvning	Korrelasjonsverdi
-10	0,495
-9	0,501
-8	0,493
-7	0,499
-6	0,506
-5	0,516
-4	0,514
-3	0,514
-2	0,519
-1	0,526
0	0,529
1	0,557
2	0,563
3	0,554
4	0,546
5	0,540
6	0,543
7	0,547
8	0,547
9	0,545
10	0,545

Ved å bruke verdiene som kommer ut fra krysskorreleringen og visualiseringen med stolper, vil poretrykket i dette tilfellet ha en responstid på 2 dager. Denne metoden blir brukt for å gi den høyeste gjennomsnittlige korrelasjonen for alle celler med hver poretrykksmål. Det vil si når responstiden er funnet, vil hver enkelt poretrykksmål bli forskjøvet med tilsvarende verdi. Det kan føre til at enkelte celler får litt lavere korrelasjon enn optimalt, men det har blitt valgt en forskyvning som gir den høyeste gjennomsnittlige korrelasjonen. Korrelasjonsverdiene som kommer ut fra krysskorreleringen er generelt høyere en den som kommer ut fra "pandas" sin "corr". Av den grunn har det blitt testet om antall dager forskyvning som krysskorreleringen viser, faktisk gir den høyeste korrelasjonen. Det ble gjort ved å forskyve en og en dag og ta korrelasjon for hver gang. Da viste det seg at antall dager med forskyvning stemte overens med begge metodene. Krysskorrelasjonsverdiene blir derfor kun brukt til å finne den mest optimale forskyvningen av datasettet. Med krysskorrelasjon på dataene brukt i denne oppgaven, blir oppløsningen begrenset til hele dager. Om oppløsningen skulle blitt bedre må begge datatypene ha like mange tidssteg. Det vil bli begrenset av dagsverdier fra xGeo.

## 4.4 Bruk av ArcMap og generering av kart

Det romlige kartprogrammet Arcmap (GIS) har blitt brukt for å lage kart til de forskjellige studieområdene (Esri, 2019). Arcmap har også blitt brukt til å gjøre ulike romlige analyser for å få en bedre forståelse av studieområdene.

Mesteparten av romlige data i form av rasterdata eller shape-data brukt i denne oppgaven er tilgjengelig nedlastbart fra Kartverket sine sider (Kartverket, 2018b). Andre data som er brukt i Arcmap er koordinater hentet fra xGeo (<http://www.xgeo.no/>, 2019), NVE sine sider (NVE, 2019) eller fått tilsendt av NGI. Fra kartverket kan kartdata lastes ned til egen PC eller man kan bruke noe som heter WMS (Web Map Service). Ved å bruke WMS er store datamengder tilgjengelig over nett uten at nedlastning er nødvendig. Det har blitt benyttet en kombinasjon av disse to løsningene. Nedlastede kart eller WMS fra Kartverket som er blitt benyttet i denne oppgaven er: Topografisk Norgeskart, Løsmassekart N250, Berggrunnskart N250, Ortofoto, DTM 10m, DTM 1m og Marin grense. Fra xGeo er det hentet koordinater om plassering av vannføringsmålestasjoner og nedbørsmålestasjoner. Det er også blitt tilsendt spesifikasjoner for å rekonstruere celle-nettverket som verdier blir interpolert over i xGeo og SeNorge (Barfod et al., 2013). NVE sine sider er blitt brukt til å få informasjon om skredhendelser i samme tidsrom som poretrykkdata er målt for på Nordlandsbanen ([www.skrednett.no](http://www.skrednett.no), 2019).

To viktige funksjoner i Arcmap, er muligheten til å lage et kart over hvor mye bakken heller og i hvilken retning den heller, og lage et fjellskyggekart (hillshade). Begge disse funksjonene baserer seg på en digital terrengmodell enten med 10m eller 1m oppløsning. Disse kartene har blitt brukt kvalitativt til å få mer detaljer over studieområdene. For mer informasjon om hvordan Arcmap fungerer og hvordan kart lages, se Esri sine hjemmesider (Esri, 2019).

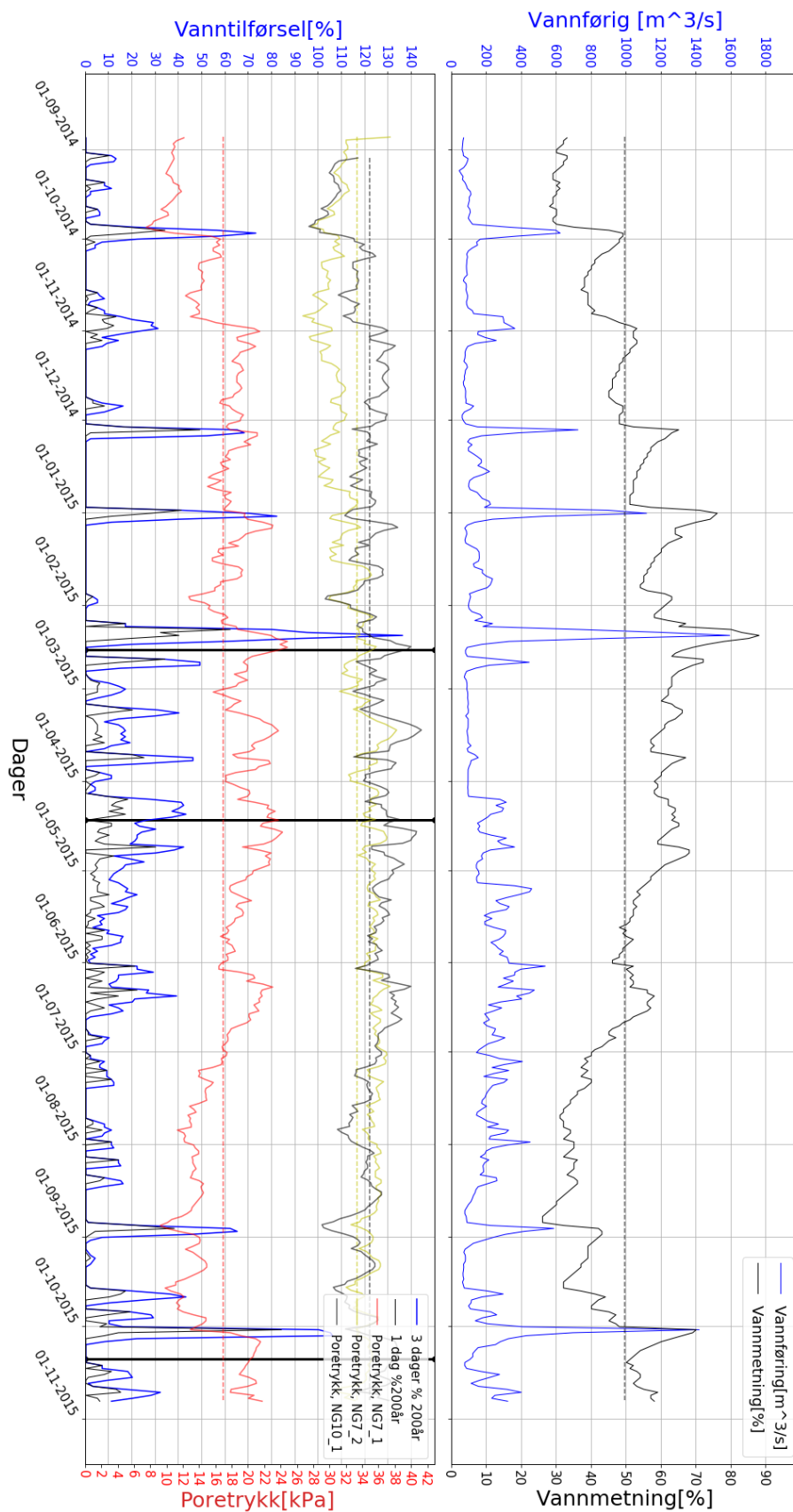
# Kapittel 5: Resultater

Resultatene er produsert ved hjelp av forskjellige pakker i python (Kap. 4.3), og er presentert i tabeller og spredningsplot, samt tidsserie-plot. Tabellene viser korrelasjon som r-verdi mellom de ulike poretrykksmålerne i forskjellige kolonner, og vanntilførsel nedover i rader. 1 og 3 dagers vanntilførsel er vist for hver celle som har blitt valgt tidligere (Fig. 3.2, 3.6, 3.12, 3.16, og 3.21). Spredningsplottene viser fordeling av poretrykk- og vanntilførsels-punktene sammen med en regresjonslinje med et konfidensintervall på 95%. Korrelasjon av poretrykk og vanntilførsel blir sammenlignet for de forskjellige lokalitetene, for å se etter likhetstrekk. I dette kapitlet presenteres kun verdier fra Gartland, noen verdier fra Eiterstraumen og noen fra Vestfossen. Resterende verdier fra Gartland, Eiterstraumen og Vestfossen er lagt i vedlegg sammen med verdier fra Åsmulen og Bjørnstad (Vedlegg C og D).

For å holde styr på alle dataene har verdiene blitt tildelt kategoriserte navn. F.eks. "Vann\_3d\_856117" vil si 3 dagers vanntilførselsverdi ("Vann\_3d") (Kap. 4.2), tatt fra celle 856117 (Kap. 4.1).

## 5.1 Tidsserieplott

Det er ikke enkelt å se forskjellene mellom plottene for de ulike cellene i hvert enkelt studieområde. Derfor er det kun presentert ett plott med en utvalgt celle for vanntilførselsverdier, for hver lokalitet. For Nordlandsbanen er alle poretrykksmålere presentert i samme plott (Fig. 5.1, 5.2, 5.3 og 5.4). Det målte poretrykket for Vestfossen er såpass ulikt mellom de enkelte målerne, slik at poretrykksmålerne for Pz5, Pz7 og Pz8 er representert på ulike figurer (Vedlegg C.1, C.2, C.3, C.4, C.5 og C.6).

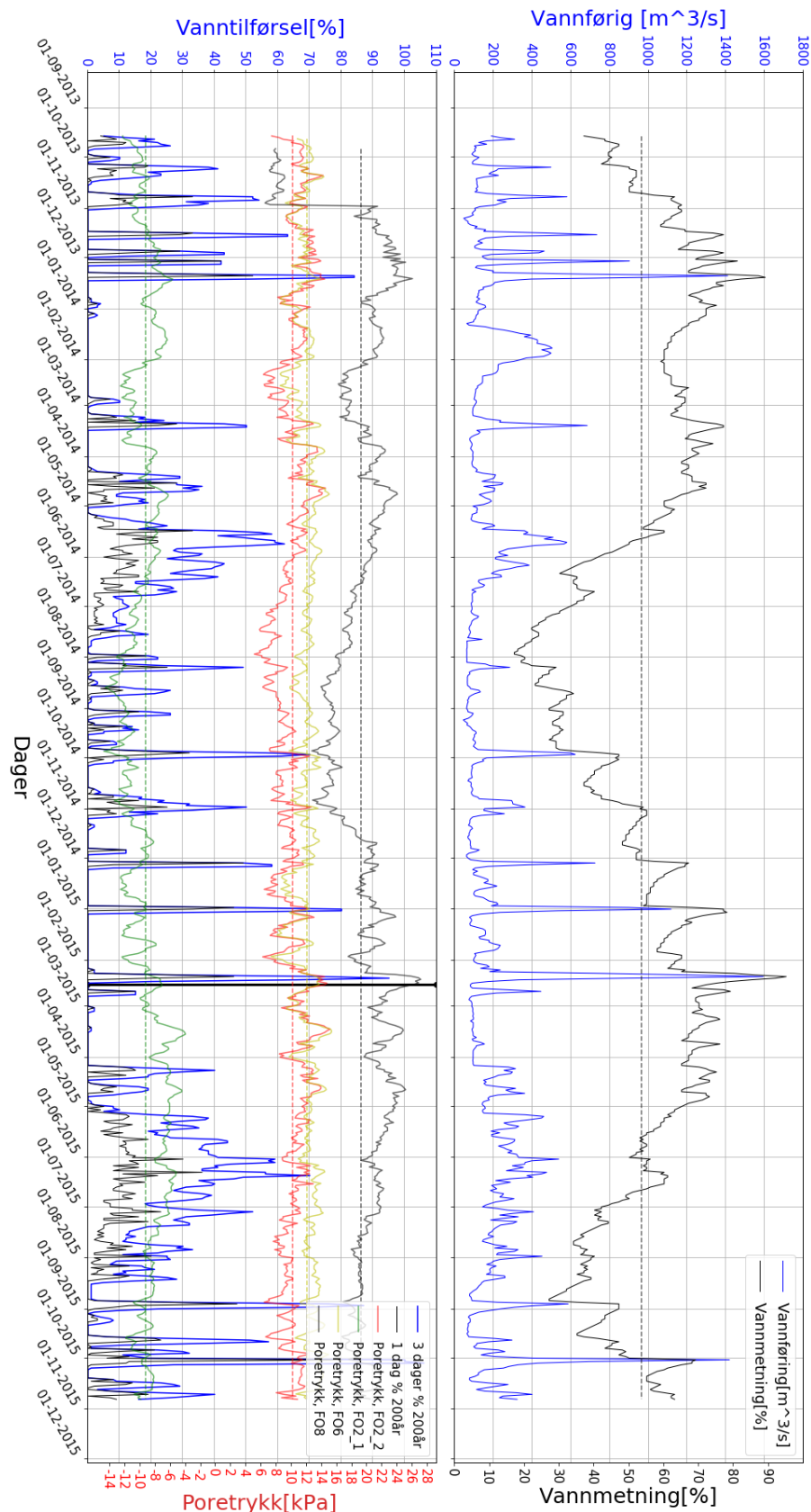


Figur 5.1: Figuren viser tidsserien for celle 1003053 som blir brukt til å gjøre korrelasjoner for Gartland. Høyre del av figuren viser vannføringsverdier fra den nærmeste elva og vannmetningen til samme celle som poretrykksmålerne ligger i. Den venstre delen av figuren viser de tre poretrykksmålerne for Gartland i heltrukken linje, og gjennomsnittet til de samme poretrykksmålerne i striplet linje med samme farge. den viser også vanntilførselsverdier for 1 og 3 dager, og vertikale linjer som indikerer skredhendelser maks 15 km unna.

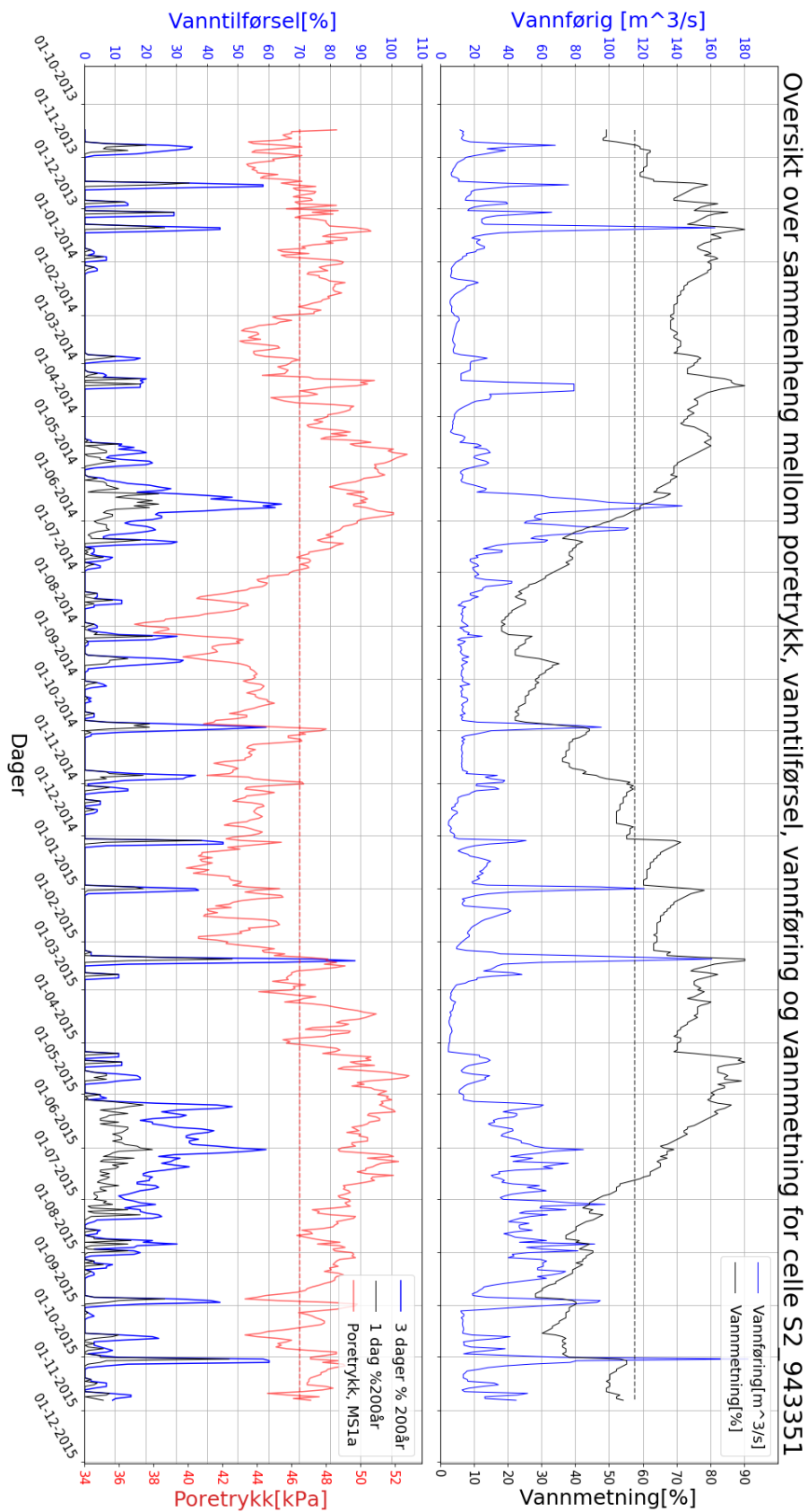


Plottet fra Gartland (Fig. 5.1) viser ganske like svingninger i poretrykket for de forskjellige poretrykksmålerne. Amplituden varierer mellom de forskjellige poretrykksmålerne, men forskjellen er ikke stor. Man kan også observere en økning i poretrykk noen dager etter en vanntilførselshendelse. De største utslagene på poretrykket kommer noen dager etter de største vanntilførselshendelsene. Poretrykket bruker lenger tid på å minke enn det bruker på å øke etter en vanntilførselshendelse. Selv om det er perioder uten noen vanntilførselshendelser er det svingninger i poretrykket. Dette kan tyde på at det enten er vanntilførselshendelser som ikke blir fanget opp av xGeo, og/eller at det er andre faktorer som påvirker poretrykket. Vannføringen i elva nær poretrykksmålerne (Fig. 3.2) varierer tilsvarende som vanntilførselshendelsene. Man ser at vannføringen minsker raskere enn poretrykket. Det er mulig å observere en viss syklus i vannmetningen til cellen poretrykksmålerne ligger i (Fig. 3.2). Vannmetningen er over gjennomsnittet fra desember (01.12.2014) til juni (01.06.2015), og er ellers under snittet. Vannmetningen varierer også tilsvarende med vanntilførselshendelsene, og minker omtrent like langsomt som poretrykket.

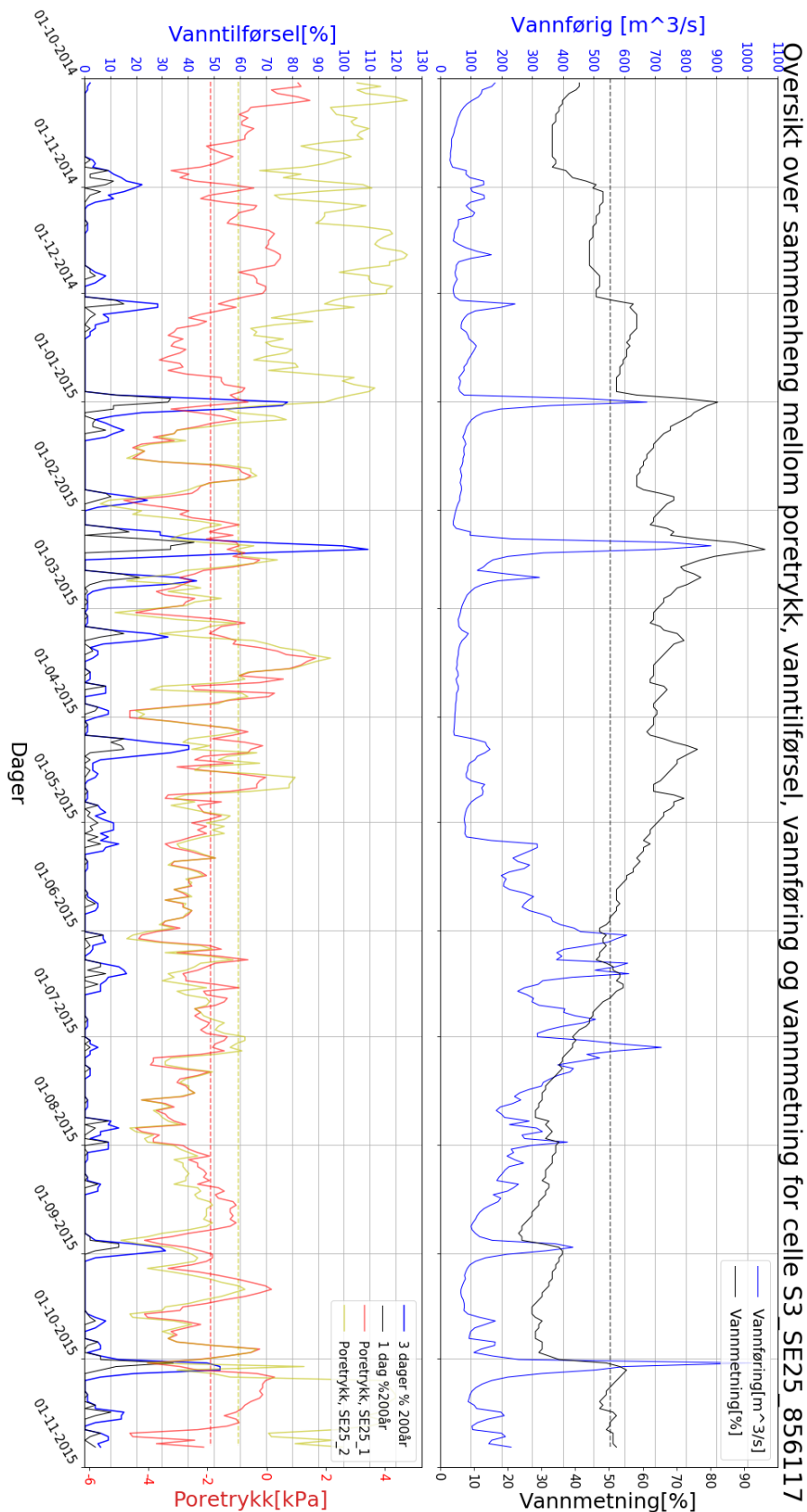
Maks 15km fra poretrykksmålerne har det blitt registrert løsmasseskred i samme tidsrom som poretrykksdata er tilgjengelige (Fig. 5.1). Basert på disse hendelsene kan man se at det går skred samtidig som den største vanntilførselshendelsen (ca. 12.02.2015), men også i perioder hvor det ikke er store hendelser. Poretrykket er ganske høyt over gjennomsnittet i situasjonene hvor det har gått skred (Fig. 5.1).



Figur 5.2: Figuren viser tidsserien for celle 987530 som blir brukt til å gjøre korrelasjoner for Åsmulen. Høyre del av figuren viser vannføringsverdier fra den nærmeste elva og vannmetningen til samme celle som poretrykksmålerne ligger i. Den venstre delen av figuren viser de fire poretrykksmålerne for Åsmulen i heltrukken linje, og gjennomsnittet til de samme poretrykksmålerne i striplet linje med samme farge. Den viser også vanntilførselsverdier for 1 og 3 dager, og en vertikal linje som indikerer skredhendelse i nærheten.



Figur 5.3: Figuren viser tidsserien for celle 943351 som blir brukt til å gjøre korrelasjoner for Bjørnstad. Høyre del av figuren viser vannføringsverdier fra den nærmeste elva og vannmetningen til samme celle som poretrykksmålerne ligger i. Den venstre delen av figuren viser poretrykksmåleren for Bjørnstad i heltrukken linje, og gjennomsnittet til den samme poretrykksmåleren i striplet linje med samme farge. Den viser også vanntilførselsverdier for 1 og 3 dager.



Figur 5.4: Figuren viser tidsserien for celle 856117 som blir brukt til å gjøre korrelasjoner for Eiterstraumen. Høyre del av figuren viser vannføringsverdier fra den nærmeste elva og vannmetningen til samme celle som poretrykksmålerne ligger i. Den venstre delen av figuren viser de to poretrykksmålerne for Eiterstraumen i heltrukket linje, og gjennomsnittet til de samme poretrykksmålerne i striplet linje med samme farge. Den viser også vanntilførselsverdier for 1 og 3 dager.

De andre lokalitetene ved Nordlandsbanen følger mye de samme tendensene som for Gartland (Fig. 5.2, 5.3 og 5.4). Poretrykket varierer tilsvarende som vanntilførselshendelsene med noen dagers forsinkelse. Det er variasjoner i poretrykket selv om det ikke er registrert noen vanntilførselshendelser. Variasjonene til vannføringen for den nærmeste elva (Fig. 3.2, 3.6, 3.12, 3.16, og 3.21) passer godt med vanntilførselshendelsene, noe som også vannmetningen gjør. Det er en syklus med generelt høyere vannmetning og poretrykk vår og høst.

Plottene fra Vestfossen viser at endringen i poretrykk er mindre enn ved Nordlandsbanelokalitetene (Vedlegg C.1, C.2, C.3, C.4, C.5 og C.6). Endringene i poretrykk er størst for poretrykksmålerne som ligger dypest, nede ved berget. For de dypereliggende poretrykksmålerne, Pz8 28m og Pz7 28m, er det også mindre sesongvariasjoner enn de poretrykksmålerne som ligger lenger opp mot overflaten. Til forskjell fra Nordlandsbanen er vannmetningsverdiene mye lavere, og har en mer hendelsesbasert oppførsel. Når det er vanntilførsel blir vannmetningen høyere, og når det ikke er noen hendelser er vannmetningen satt til å være null. Det er ikke inkludert vannføringsverdier for den nærliggende elven da det ikke var noen verdier tilgjengelig.

## 5.2 Responstid

Responstiden til poretrykksøkningen etter en vanntilførselshendelse for Nordlandsbanen-lokalitetene vises i tabell 5.1. Responstiden for Vestfossen vises i tabell 5.2.

Tabell 5.1: Responstid i dager til poretrykket etter vanntilførselen øker, for de ulike poretrykksmålerne ved lokalitetene langs Nordlandsbanen. Det er funnet responstid for de originale datasettene, datasettene uten nullverdier for vanntilførsel (uNull), og for datasettene hvor det er tatt et utdrag fra de originale datasettene. Tabellen inkluderer også responstid som var mulig å finne fra tidsserie-plottene.

Lokalitet	Poretrykksmåler	Responstid i dager	Responstid i dager fra tidsserie-plot
<b>Gartland</b>	NG7_1	3	4
	NG7_2	3	
	NG10_1	4	
<b>Gartland uNull</b>	NG7_1	4	
	NG7_2	0	
	NG10_1	5	
<b>Gartland Utdrag</b>	NG7_1	4	
	NG7_2	1	
	NG10_1	6	
<b>Åsmulen</b>	FO2_1	4	4
	FO2_2	1	
	FO6	1	
	FO8	3	
<b>Åsmulen Utdrag</b>	FO2_1	4	
	FO2_2	0	
	FO6	2	
	FO8	4	
<b>Bjørnstad</b>	MS1a	1	3
<b>Bjørnstad Utdrag</b>	MS1a	2	
<b>Eiterstraumen SE25</b>	SE25_1	1	4
	SE25_2	0	
<b>Eiterstraumen SE25 uNull</b>	SE25_1	4	
	SE25_2	4	
<b>Eiterstraumen SE25 Utdrag</b>	SE25_1	0	
	SE25_2	6	
<b>Eiterstraumen RO01</b>	RO01	1	1
<b>Eiterstraumen RO01 uNull</b>	RO01	1	

Tabell 5.2: Responstid i dager til poretrykket etter vanntilførselen øker, for de ulike poretrykksmålerne ved Vestfossen. Det er funnet responstid for de originale datasettene, datasettene uten nullverdier for vanntilførsel (uNull), og for datasettene hvor det er tatt et utdrag fra de originale datasettene.

Lokalitet	Poretrykksmåler	Responstid i dager
<b>Vestfossen 2010</b>	Pz5 10m	3
	Pz5 15m	0
	Pz7 10m	2
	Pz7 18m	1
	Pz8 18m	2
	Pz8 28m	1
<b>Vestfossen 2010 uNull</b>	Pz5 10m	3
	Pz5 15m	0
	Pz7 10m	1
	Pz7 18m	0
	Pz8 18m	7
	Pz8 28m	7
<b>Vestfossen 2011-12</b>	Pz5 10m	0
	Pz5 15m	0
	Pz7 10m	1
	Pz7 18m	1
	Pz8 18m	1
	Pz8 28m	1
<b>Vestfossen 2011-12 uNull</b>	Pz5 10m	0
	Pz5 15m	0
	Pz7 10m	0
	Pz7 18m	1
	Pz8 18m	1
	Pz8 28m	1
<b>Vestfossen 2011-12 Utdrag</b>	Pz5 10m	9
	Pz5 15m	9
	Pz7 10m	9
	Pz7 18m	1
	Pz8 18m	1
	Pz8 28m	0

Etter at tidsseriene er endret på ved å fjerne null eller å ta et utdrag fra tidsserien, har det blitt funnet en ny responstid. Som vist i tabellene er responstiden ulik mellom endringene gjort på tidsseriene. Noen poretrykksmålere viser mindre forskjeller enn andre etter endringer er gjort. Ved å se på tidsserieplottene ser det ut som om responstiden er omtrent lik med enkelte unntak. Generelt alle verdier over 4 stemmer ikke overens med plottene (Fig. 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, Vedlegg C.1, C.2, C.3, C.4, C.5 og C.6). For Vestfossen var det ikke like lett å bruke tidsserieplottene til å finne responstiden, men de responstidene som virket mest lik tidsserieplottene var "Vestfossen 2010" og "Vestfossen 2011-12".

### 5.3 Verdier med og uten null

I perioden det er tilgjengelige poretrykksdata for de forskjellige lokalitetene, varierer det om det er vanntilførsel eller ikke. Dette er naturlig da det ikke er smelting av snø eller nedbør hver dag hele året. Derfor vil det være mange dager med null vanntilførsel samtidig som poretrykket fortsatt varierer. De periodene hvor det ikke er vanntilførsel, er derfor ikke relevante med tanke på hvordan vanntilførsel og poretrykk korrelerer. Derfor er det av interesse å se hvordan det å fjerne dager med ingen vanntilførsel påvirker korrelasjonen mellom poretrykk og vanntilførsel.

Korrelasjonsverdier for Gartland med og uten null for vanntilførsel er presentert i tabell 5.3. For Eiterstraumen er verdiene presentert i tabell 5.4, og for Vestfossen er verdiene presentert i tabell 5.5.

Tabell 5.3: Gartland, korrelasjonsverdier med og uten null for vanntilførsel, ved bruk av Pearson.

Verdier	Poretrykk NG7_1		Poretrykk NG7_2		Poretrykk NG10_1	
	Med null	Uten null	Med null	Uten null	Med null	Uten null
Poretrykk_NG7_1	1,00	1,00	0,27	0,19	0,86	0,87
Poretrykk_NG7_2	0,27	0,19	1,00	1,00	0,46	0,28
Poretrykk_NG10_1	0,86	0,87	0,46	0,28	1,00	1,00
Vann_1d_1003053	0,30	0,26	0,07	-0,14	0,25	0,19
Vann_1d_1003057	0,28	0,22	0,08	-0,12	0,25	0,17
Vann_1d_1005442	0,30	0,25	0,07	-0,14	0,25	0,19
Vann_1d_1005445	0,26	0,18	0,00	-0,22	0,19	0,12
Vann_3d_1003053	0,42	0,34	0,13	-0,11	0,38	0,26
Vann_3d_1003057	0,40	0,30	0,15	-0,07	0,37	0,25
Vann_3d_1005442	0,42	0,34	0,13	-0,11	0,38	0,26
Vann_3d_1005445	0,36	0,26	0,03	-0,25	0,29	0,19

Korrelasjonen for Gartland med og uten null for vanntilførsel er ulik. For alle verdier, både 1 og 3 dagers vanntilførsel, er korrelasjonen bedre når null-verdier er inkludert. Dette gjelder samtlige poretrykksmålere. Korrelasjonen er definert som dårlig da det ikke er noen av verdiene som er over  $r=0.5$ . Den cellen som har høyest korrelasjon for både med og uten null er 1003053 med 3 dagers vanntilførselsverdier. Plasseringen av cellen er nord-vestlig retning for poretrykksmålerne, med en avstand på rundt 2 km (Fig. 3.2). Cellen med dårligst korrelasjon både med og uten null er 1005445 med 1 dagers vanntilførselsverdier. Den laveste av 3 dagers vanntilførsel er samme celle, 1005445. Dette er samme celle som poretrykksmålerne ligger i (Fig 3.2).



Tabell 5.4: Eiterstraumen SE25, korrelasjonsverdier med og uten null for vanntilførsel, ved bruk av Pearson.

Verdier	Poretrykk SE25_1		Poretrykk SE25_2	
	Med null	Uten null	Med null	Uten null
Poretrykk SE25_1	1,00	1,00	0,71	0,70
Poretrykk SE25_2	0,71	0,70	1,00	1,00
Vann_1d_853727	0,00	0,19	-0,03	0,07
Vann_1d_854918	-0,05	0,20	-0,07	0,10
Vann_1d_854920	0,01	0,19	-0,02	0,08
Vann_1d_854922	0,01	0,20	-0,03	0,08
Vann_1d_856113	-0,11	0,20	-0,10	0,07
Vann_1d_856117	0,01	0,20	-0,03	0,08
Vann_3d_853727	0,01	0,23	-0,04	0,16
Vann_3d_854918	-0,06	0,25	-0,10	0,16
Vann_3d_854920	0,02	0,24	-0,05	0,17
Vann_3d_854922	0,02	0,23	-0,04	0,16
Vann_3d_856113	-0,11	0,22	-0,14	0,14
Vann_3d_856117	0,02	0,24	-0,04	0,17

Korrelasjonen for Eiterstraumen er tilnærmet lik null når nullverdier for vanntilførsel er inkludert. Det gjelder begge poretrykksmålerne. Ved å fjerne vanntilførselsverdier med null øker korrelasjonen for begge poretrykksmålerne, men mest ved SE25\_1. Korrelasjonen er fortsatt dårlig når nullverdier fjernes, selv om den blir betraktelig bedre. Den cellen med best korrelasjon er celle 854918 med 3 dagers vanntilførselsverdier. Den cellen ligger 2 km vest for poretrykksmålerne (Fig. 3.16)

Tabell 5.5: Vestfossen tidsserie 2011-2012, korrelasjonsverdier med og uten null for vanntilførsel, ved bruk av Pearson

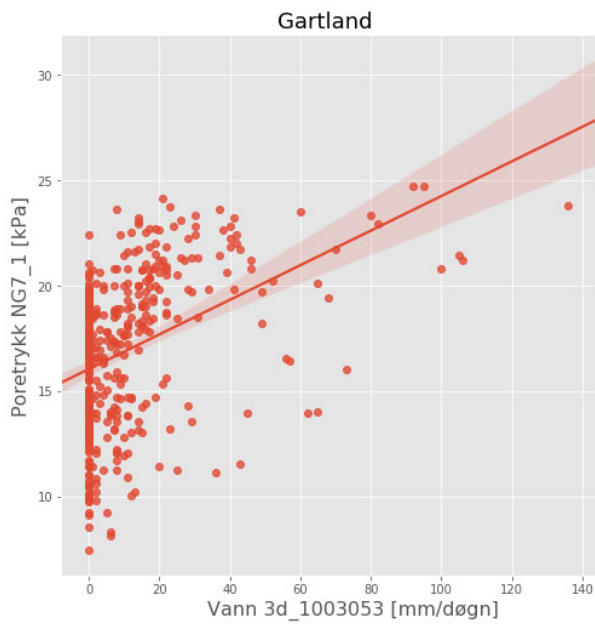
Verdier	Pz5 10m		Pz5 15m		Pz7 10m		Pz7 28m		Pz8 18m		Pz8 28m	
	Mnull	Unull	Mnull	Unull	Mnull	Unull	Mnull	Unull	Mnull	Unull	Mnull	Unull
Pz5 10m	1,00	1,00	0,57	0,54	0,54	0,72	0,10	0,02	-0,27	-0,24	0,14	0,19
Pz5 15m	0,57	0,54	1,00	1,00	0,02	0,22	0,65	0,65	0,25	0,35	0,19	0,36
Pz7 10m	0,54	0,72	0,02	0,22	1,00	1,00	-0,05	0,00	0,07	0,00	0,46	0,4
Pz7 28m	0,1	0,02	0,65	0,65	-0,05	0,00	1,00	1,00	0,72	0,84	0,61	0,73
Pz8 18m	-0,27	-0,24	0,25	0,35	0,07	0,00	0,72	0,84	1,00	1,00	0,77	0,82
Pz8 28m	0,14	0,19	0,19	0,36	0,46	0,40	0,61	0,73	0,77	0,82	1,00	1,00
Vann_1d_1644945	-0,23	-0,02	0,00	0,20	0,02	-0,01	0,24	0,34	0,39	0,38	0,34	0,39
Vann_1d_1646141	-0,22	-0,02	0,01	0,19	0,03	0,00	0,25	0,34	0,37	0,36	0,33	0,37
Vann_1d_1647336	-0,22	-0,02	0,00	0,19	0,02	0,00	0,24	0,34	0,37	0,35	0,33	0,37
Vann_1d_1647337	-0,22	-0,03	0,00	0,18	0,03	0,00	0,24	0,34	0,37	0,35	0,33	0,37
Vann_3d_1644945	-0,39	-0,20	-0,05	0,17	-0,01	-0,01	0,31	0,48	0,57	0,59	0,42	0,49
Vann_3d_1646141	-0,38	-0,21	-0,04	0,16	0,00	0,00	0,32	0,48	0,56	0,57	0,41	0,46
Vann_3d_1647336	-0,39	-0,22	-0,05	0,16	0,00	-0,01	0,32	0,48	0,55	0,57	0,40	0,45
Vann_3d_1647337	-0,39	-0,21	-0,04	0,16	0,00	0,00	0,32	0,48	0,55	0,57	0,41	0,46

For Vestfossen blir korrelasjonen bedre når nullverdier fjernes, utenom 1 dags

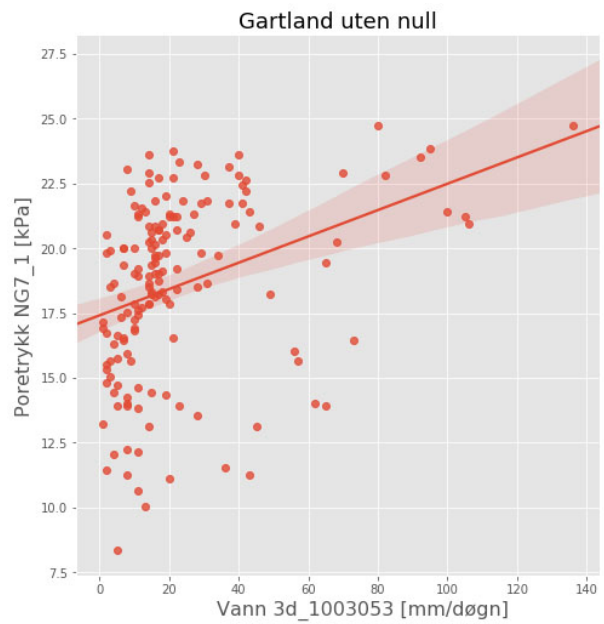
vanntilførselsverdier for poretrykksmåler Pz8 18m, da de blir marginalt dårligere. Poretrykksmåler Pz5 10m går fra å ha en relativt høy negativ korrelasjon til å bli nærmere 0 i korrelasjon, ved å fjerne nullverdier. Pz5 15m går fra å ha 0 i korrelasjon til noe mer positiv korrelasjon. For poretrykksmåler Pz7 10m hjelper det ikke å fjerne null, hvor både med og uten null har ingen korrelasjon. Pz7 28m får en forbedring av korrelasjon når nullverdier fjernes. 3 dagers verdiene får den største økningen. For Pz8 18m er ikke økningen like stor for 3 dagers verdiene. Der er forbedringen marginal, mens for 1 dagers verdiene er det en moderat forverring når nullverdier fjernes. Selv om det kun er en liten forbedring for 3 dagers verdiene, er utgangspunktet for korrelasjonen relativt høy med moderat god korrelasjon. Det er heller ikke de største endringene for Pz8 28m. Det er noen mindre forbedringer når nullverdiene blir tatt bort både for 1 og 3 dagers vanntilførsel.

Den cellen som har høyest korrelasjonsverdier for alle poretrykksmålerne både før og etter at verdier med null er tatt bort, er 1644945 med 3 dagers vanntilførselsverdier. Den samme cellen har også de høyeste korrelasjonsverdiene for 1 dagers verdiene. Dette er den samme cellen som poretrykksmålerne er installert i (Fig. 3.21).

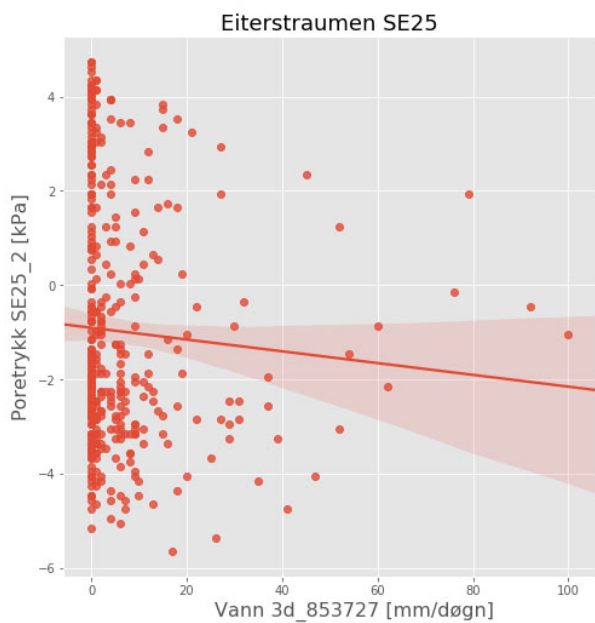
Fordelingsplott med og uten dager der vanntilførselen er null er presentert i figur 5.5. Plot fra Gartland vises i figur 5.5a og 5.5b, og er plottet med poretrykksmåler NG7\_1 med 3 dagers verdiene fra celle 1003053. Plot fra Eiterstraumen vises i figur 5.5c og 5.5d, med poretrykksmåler SE25\_2 og 3 dagers verdier fra celle 853727. Fra Vestfossen er poretrykksmåler Pz7-28m plottet i figur 5.5e og 5.5f, med 3 dagers verdier fra celle 1646141. Poretrykksmåler Pz8-28m fra Vestfossen er også plottet med 3 dagers verdier fra celle 1646141 i figur 5.5g og 5.5h.



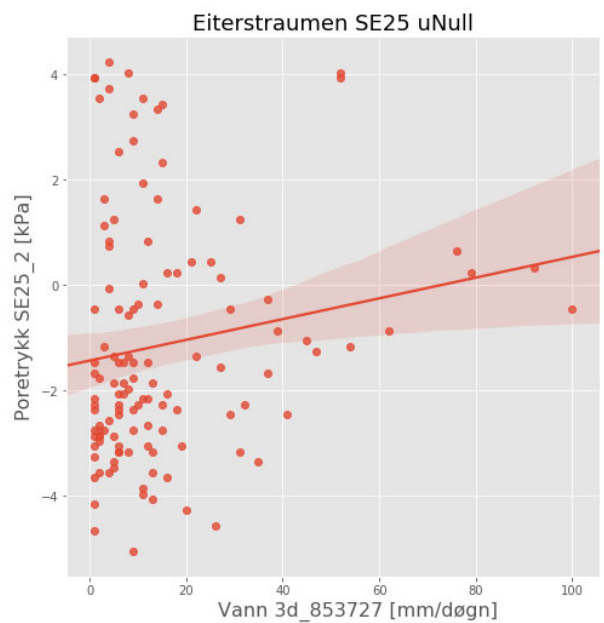
(a) Gartland med nullverdier



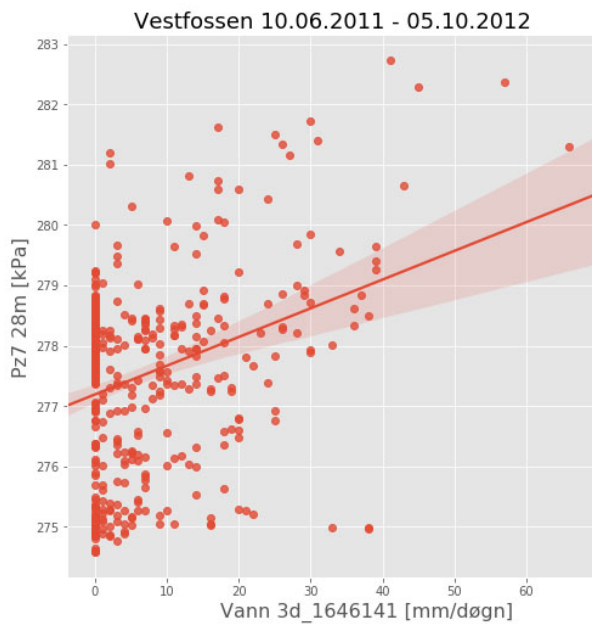
(b) Gartland uten nullverdier



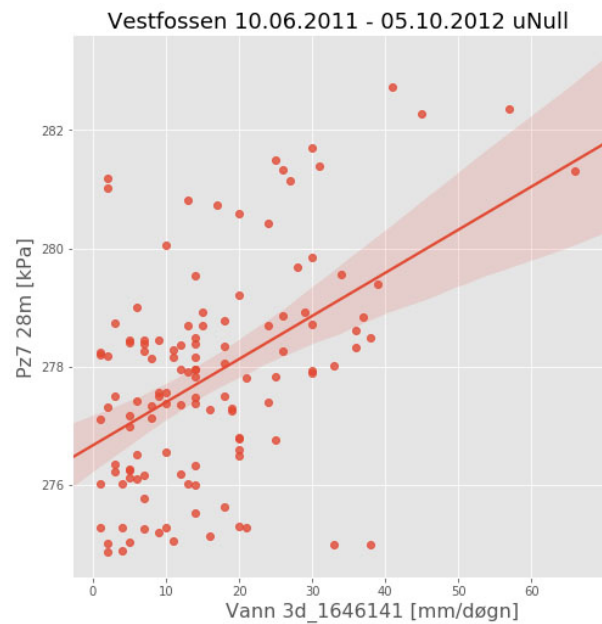
(c) Eiterstraumen SE25 med nullverdier



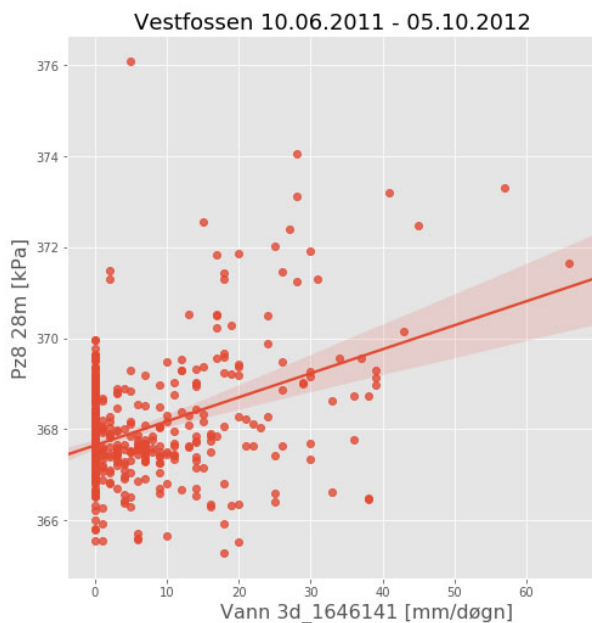
(d) Eiterstraumen SE25 uten nullverdier



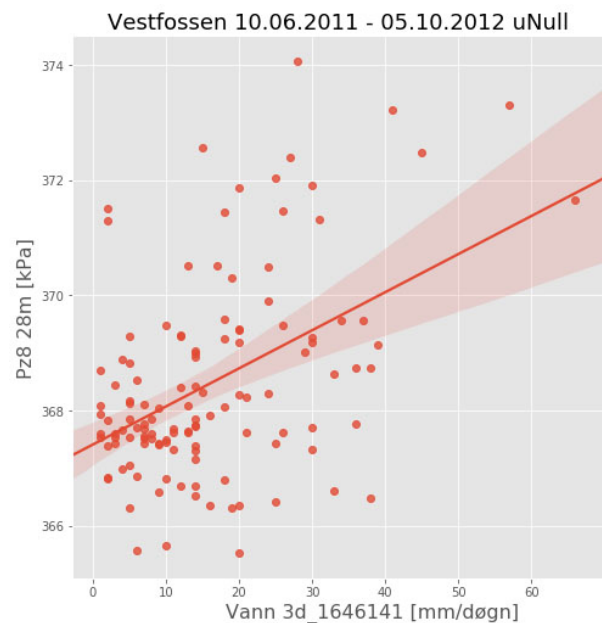
(e) Vestfossen tidsserie 2011-2012, Pz7 28m, med nullverdier



(f) Vestfossen tidsserie 2011-2012, Pz7 28m, uten nullverdier



(g) Vestfossen tidsserie 2011-2012, Pz8 28m, med nullverdier



(h) Vestfossen tidsserie 2011-2012, Pz8 28m, uten nullverdier

Figur 5.5: Fordelingsplott før og etter nullverdier for vanntilførsel er fjernet fra tidsserien. Inkludert i plottet er regresjonslinje (rød strek), og et 95% konfidensintervall (rød sone).

Sett alle fordelingsplottene under ett, er ikke endringene veldig store fra før nullverdiene er fjernet og etter. Konfidensintervallet blir noe større, og stigningstallet på regresjonslinjen øker noe. Størst økning i stigningstall kan man se på plottene for Eiterstraumen SE25.

## 5.4 Korrelasjonsmetode

Når verdiene for vanntilførsel og poretrykk skal korreleres har det blitt valgt å teste to metoder. Den ene er Pearson korrelasjon som er lineær og den andre er Spearman rank korrelasjon som er ikke-lineær (se kapittel 2.5). Tabell 5.6 viser korrelasjon gjort med Spearman korrelasjon for samme verdier som er gjort med Pearson korrelasjon i tabell 5.3. Resterende tabeller med Spearman og Pearson er i vedlegg D.

Tabell 5.6: Gartland, korrelasjonsverdier med og uten null for vanntilførsel, ved bruk av Spearman.

Verdier	Poretrykk NG7_1		Poretrykk NG7_2		Poretrykk NG10_1	
	Med null	Uten null	Med null	Uten null	Med null	Uten null
Poretrykk NG7_1	1,00	1,00	0,24	0,16	0,84	0,85
Poretrykk NG7_2	0,24	0,16	1,00	1,00	0,45	0,24
Poretrykk NG10_1	0,84	0,85	0,45	0,24	1,00	1,00
Vann_1d_1003053	0,39	0,35	0,21	-0,20	0,38	0,26
Vann_1d_1003057	0,32	0,24	0,24	-0,13	0,36	0,21
Vann_1d_1005442	0,38	0,34	0,22	-0,18	0,38	0,26
Vann_1d_1005445	0,31	0,10	0,06	-0,43	0,25	0,04
Vann_3d_1003053	0,47	0,46	0,26	-0,09	0,47	0,32
Vann_3d_1003057	0,41	0,35	0,29	-0,02	0,45	0,28
Vann_3d_1005442	0,46	0,44	0,28	-0,07	0,47	0,32
Vann_3d_1005445	0,37	0,24	0,12	-0,40	0,33	0,17

Ved å sammenligne Spearman og Pearson korrelasjonsmetodene for Gartland med og uten nullverdier, ser man i grove trekk at Spearman gir en sterkere korrelasjon enn Pearson. Det indikerer at det er muligheter for en ikke-lineær sammenheng mellom poretrykk og vanntilførsel. Celle 1005445 både for 1 og 3 dagers vanntilførselsverdier har en bedre korrelasjon ved bruk av Pearson når nullverdier er tatt bort. Den cellen som har høyest korrelasjon med Spearman metoden er celle 1003053 med 3 dagers verdier, som er den samme som med Pearson metoden (Tab. 5.3). For Gartland virker det som om det da er Spearman korrelasjon som gir de høyeste korrelasjonsverdiene (Tab. 5.6 og vedlegg D.1). For Eiterstraumen med poretrykksmåler SE25, gir ikke Spearman høyere korrelasjon for verdier inkludert nullverdier (Vedlegg D.10). Når nullverdiene fjernes er korrelasjonen høyest med Pearson for poretrykksmåler SE25\_1, mens Spearman gir høyest korrelasjon for poretrykksmåler SE25\_2 (Vedlegg D.10). Dette endrer seg når det blir tatt et utdrag av tidsserien (Vedlegg D.11). Da blir Pearson den korrelasjonsmetoden med høyest verdier. For Åsmulen gir Pearson

korrelasjonsmetode generelt høyere verdier (Vedlegg D.2, D.3,D.4 og D.5), noe som også gjelder Vestfossen (Tab. 5.5, 5.9, Vedlegg D.14, D.15, D.16 og D.17). For Bjørnstad derimot, er det Spearman som gir den høyeste korrelasjonen (Vedlegg D.6, D.7, D.8 og D.9). Ut ifra variabiliteten i hvilken korrelasjonsmetode som gir høyest korrelasjon, er det ikke entydig hvilken metode som bør benyttes.

## 5.5 Utdrag fra tidsserie

For å få tidsserier hvor det nesten er verdier hver dag for både poretrykk og vanntilførsel, har det blitt selektert et tidsspenn med datoer hvor dette er tilfelle. Den valgte perioden for Gartland er 01.02.2015 - 01.07.2015 (Fig. 5.6a, Tab. 5.7), for Eiterstraumen er perioden 25.02.2015 – 20.05.2015 (Fig. 5.6b, Tab. 5.8), og for Vestfossen er perioden 01.08.2011 – 01.10.2011 (Fig. 5.6c, Tab. 5.9). For Bjørnstad er det blitt valgt perioden 05.04.2015 – 20.10.2015 (Vedlegg D.8), og for Åsmulen er 05.05.2014 – 05.10.2014 valgt (Vedlegg D.4).

Tabell 5.7: Gartland, utdrag fra tidsserie for 2015. Korrelasjonsverdier ved bruk av Pearson.

Verdier	Poretrykk NG7_1	Poretrykk NG7_2	Poretrykk NG10_1
Poretrykk NG7_1	1,00	0,02	0,63
Poretrykk NG7_2	0,02	1,00	-0,05
Poretrykk NG10_1	0,63	-0,05	1,00
Vann_1d_1003053	0,52	-0,36	0,36
Vann_1d_1003057	0,44	-0,27	0,35
Vann_1d_1005442	0,52	-0,34	0,36
Vann_1d_1005445	0,45	-0,38	0,31
Vann_3d_1003053	0,58	-0,26	0,35
Vann_3d_1003057	0,47	-0,20	0,31
Vann_3d_1005442	0,58	-0,26	0,35
Vann_3d_1005445	0,52	-0,39	0,34

Tabell 5.8: Eiterstraumen SE25, utdrag fra tidsserie for 2015. Korrelasjonsverdier ved bruk av Pearson.

Verdier	Poretrykk SE25_1	Poretrykk SE25_2
Poretrykk SE25_1	1,00	0,31
Poretrykk SE25_2	0,31	1,00
Vann_1d_853727	0,23	0,55
Vann_1d_854918	0,01	0,25
Vann_1d_854920	0,31	0,54
Vann_1d_854922	0,19	0,57
Vann_1d_856113	-0,24	-0,07
Vann_1d_856117	0,25	0,55
Vann_3d_853727	0,46	0,62
Vann_3d_854918	0,27	0,51
Vann_3d_854920	0,48	0,70
Vann_3d_854922	0,44	0,63
Vann_3d_856113	-0,09	0,10
Vann_3d_856117	0,45	0,63

Tabell 5.9: Vestfossen, utdrag fra tidsserie for høsten 2011. Korrelasjonsverdier ved bruk av Pearson.

Verdier	Pz5 10m	Pz5 15m	Pz7 10m	Pz7 28m	Pz8 18m	Pz8 28m
Pz5_10m	1,00	0,81	0,42	0,73	0,75	0,7
Pz5_15m	0,81	1,00	0,81	0,78	0,79	0,75
Pz7_10m	0,42	0,81	1,00	0,56	0,56	0,53
Pz7_28m	0,73	0,78	0,56	1,00	0,99	0,87
Pz8_18m	0,75	0,79	0,56	0,99	1,00	0,9
Pz8_28m	0,70	0,75	0,53	0,87	0,90	1,00
Vann_1d_1644945	0,08	0,07	0,08	0,36	0,32	0,26
Vann_1d_1646141	0,07	0,06	0,07	0,35	0,32	0,26
Vann_1d_1647336	0,07	0,06	0,07	0,35	0,31	0,26
Vann_1d_1647337	0,07	0,05	0,06	0,35	0,31	0,26
Vann_3d_1644945	0,21	0,20	0,17	0,55	0,53	0,63
Vann_3d_1646141	0,20	0,18	0,15	0,54	0,52	0,62
Vann_3d_1647336	0,19	0,18	0,15	0,54	0,52	0,62
Vann_3d_1647337	0,20	0,18	0,14	0,53	0,51	0,62

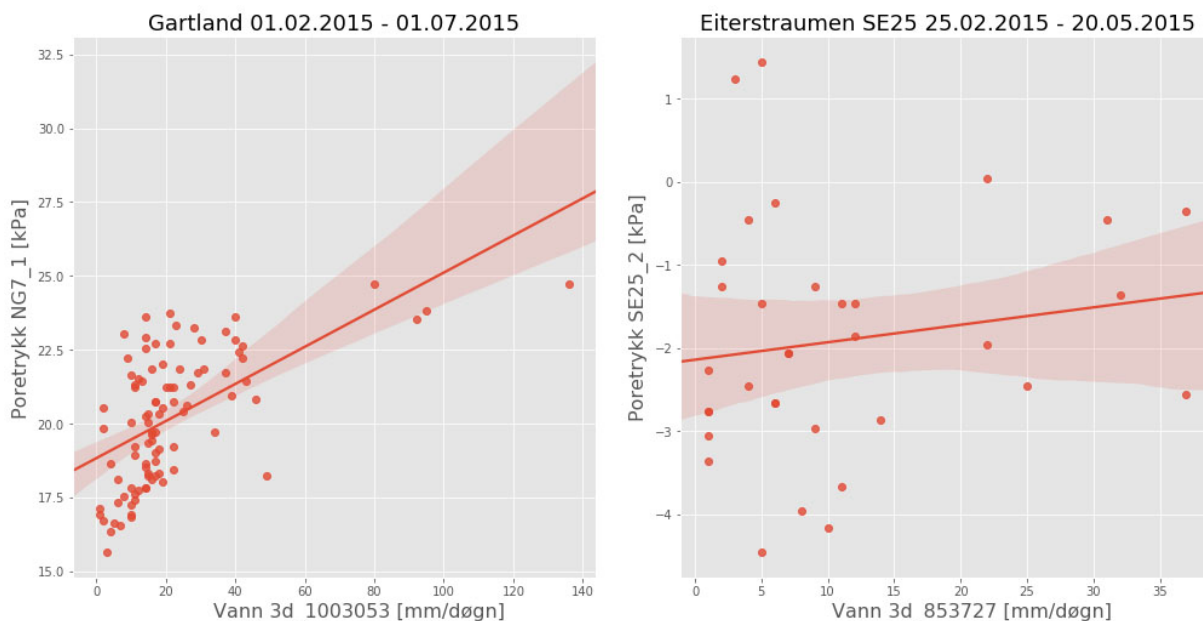
Ved å ta et utdrag fra tidsserien for Gartland, blir korrelasjonen endel høyere for poretrykksmål NG7\_1 for både 1 og 3 dagers vanntilførselsverdier. Poretrykksmål NG7\_2 får en relativ høy negativ korrelasjon, mens poretrykksmål NG10\_1 får noe lavere korrelasjon for 3 dagers vanntilførselsverdier og noe høyere for 1 dags verdier. Utdraget fra Gartland er sammenlignet med tabell 5.3 da denne hadde originalt høyest korrelasjonsverdier.

Utdraget fra Eiterstraumen sammenlignet med Eiterstraumen uten nullverdier (Tab.

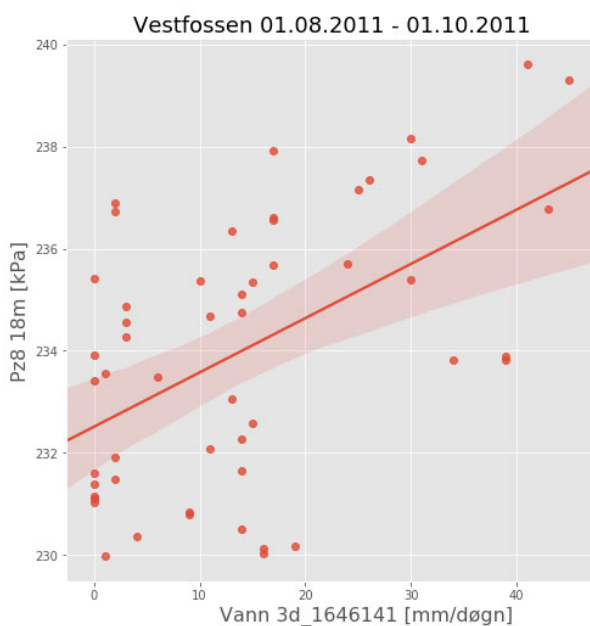
5.4), er korrelasjonsverdiene markant høyere. Utenom celle 856113 og 854918 har resten fått en økning i korrelasjonsverdiene. Den høyeste korrelasjonsverdien ser man i celle 854920, som er cellen poretrykksmålerne ligger i (Fig. 3.16).

For Vestfossen er det varierende for de ulike poretrykksmålerne, om det er en økning i korrelasjon eller ikke. For poretrykksmålerne Pz5 10m, Pz5 15m og Pz7 10m har korrelasjonen blitt noe høyere for 3 dagers vanntilførselsverdier, sammenlignet med Vestfossen uten nullverdier (Tab. 5.5). Poretrykksmåleren Pz5 15m har fått en reduksjon i korrelasjon til null, for 1 dagers vanntilførsels-verdiene. For poretrykksmåler Pz7 28m har det blitt en høyere korrelasjonsverdi for alle verdiene, for Pz8 18m har det blitt en liten reduksjon i korrelasjonen, og for Pz8 28m har 3 dagers verdiene fått høyere korrelasjonsverdi mens for 1 dagers verdiene har korrelasjonen blitt lavere. Den cellen som er best for alle poretrykksmålerne er fortsatt celle 1644945 med 3 dagers vanntilførselsverdier. Det er til forskjell fra Vestfossen uten nullverdier, poretrykksmåler Pz8 28m som har den høyeste korrelasjonsverdien.





(a) Gartland, utdrag fra tidsserie, 01.02-01.07.15 (b) Eiterstraumen, utdrag fra tidsserie, 25.02-20.05.15



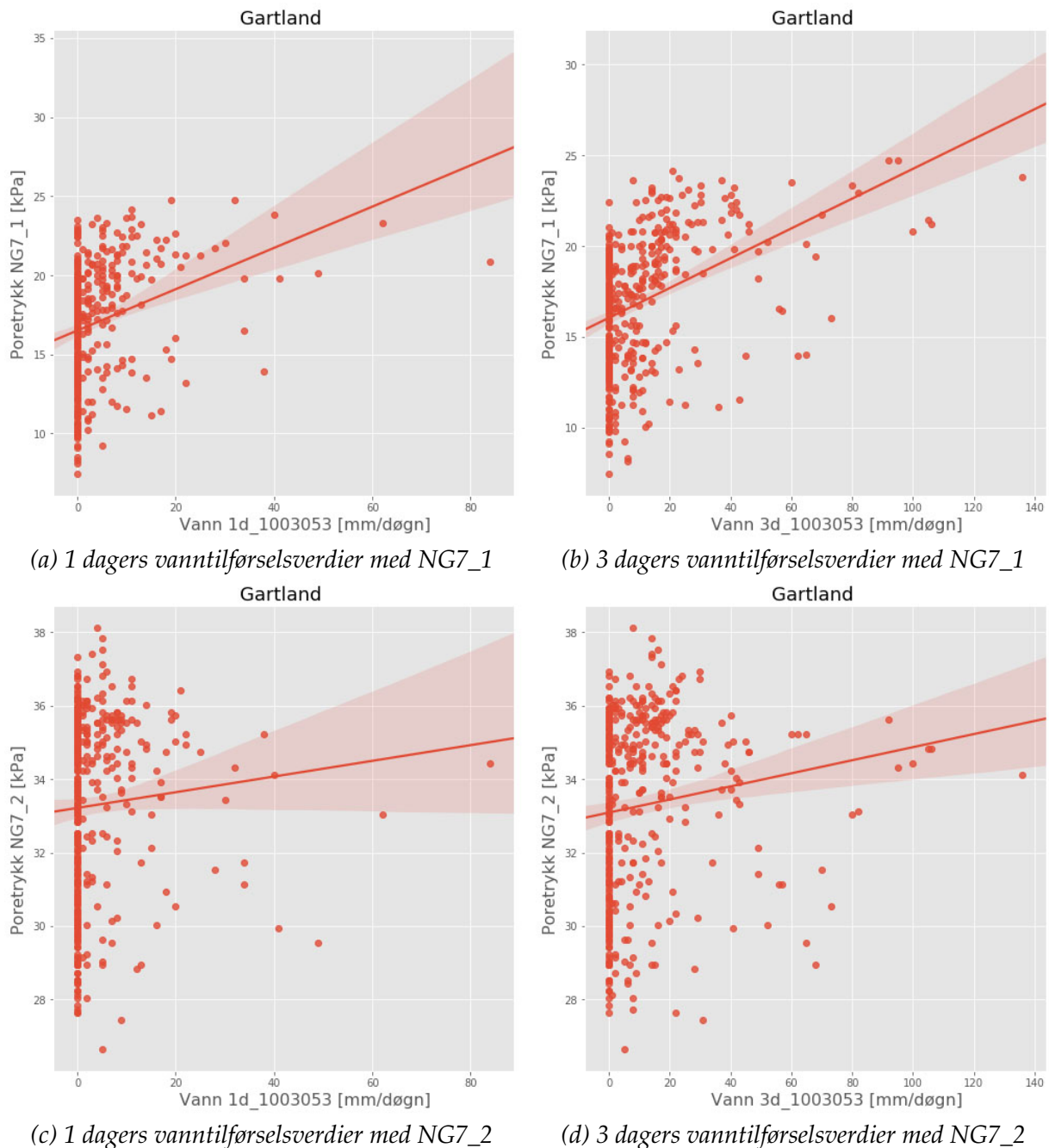
(c) Vestfossen, utdrag fra tidsserie, 01.08-01.10.11

Figur 5.6: Fordelingsplott når det er tatt et utdrag fra tidsserien til tre av lokalitetene. Inkludert i plottet er regresjonslinje (rød strek), og et 95% konfidensintervall (rød sone).

Fra fordelingsplottene kan man observere at mange av verdiene med høyt poretrykk sammenfaller mye bedre med høye vanntilførselsverdier. Dette ser man spesielt ved plottet for Gartland og for Vestfossen. Det er likevel høye poretrykksverdier som sammenfaller med lave vanntilførselsverdier i plottet for Eiterstraumen. Sammenlignet med Eiterstraumen uten nullverdier for vanntilførsel (Fig. 5.5d), ser man en betraktelig forbedring når det kommer til de høye poretrykksverdiene.

## 5.6 1 og 3 dagers vanntilførsels - verdier

De to valgte verdiene som representerer vanntilførselshendelser forløper ulikt. Begge verdiene baserer seg på samme nedbørs- og snøsmelte-hendelser, men er normalisert ut ifra 1 eller 3 dagers hendelse (Se Kap. 4.2). Derfor er det av interesse å se hvilken type verdi som gir de høyeste korrelasjonsverdiene.



Figur 5.7: Fordelingsplott med 1 og 3 dagers verdier for vanntilførsel fra Gartland lokaliteten. Inkludert i plottet er regresjonslinje (rød strek), og et 95% konfidensintervall (rød sone).

Ved å sammenligne fordelingsplott (Fig. 5.7) ser man ikke den store forskjellen mellom 1 dagers og 3 dagers vanntilførselsverdier. I dette tilfellet for Gartland kan man se at det er en høyere tetthet av punkter ved høyere poretrykk. Det gjelder både for lav og høy vanntilførsel. Det er ellers ikke så lett å få mer informasjon ut fra fordelingsplottene.

Fra korrelasjonsverdiene presentert i alle tabellene er det tydelig at det er en forskjell på 1 og 3 dagers vanntilførselsverdier. Så lenge korrelasjonen ikke er negativ eller nær null, har samtlige av 3 dagers verdiene generelt høyere korrelasjon enn 1 dagers verdiene, med noen få unntak. For eksempel tabell 5.9 viser at det er en "moderat god" korrelasjon for 3 dagers verdier for poretrykksmåler Pz8 28m med  $r=0,62$ , mens 1 dagers verdier viser en "dårlig" korrelasjon med  $r=0.26$ .

## 5.7 Installasjonsdybde

Ikke alle lokalitetene har to poretrykksmålere på samme sted med forskjellig installasjonsdybde. De poretrykksmålerne som har blitt installert i to forskjellige høyder på samme lokalitet er NG7\_1 og NG7\_2 (Fig. 3.4) ved Gartland, FO2\_1 og FO2\_2 (Fig. 3.9) ved Åsmulen, SE25\_1 og SE25\_2 (Fig. 3.18) på Eiterstraumen, og Pz5, Pz7 og Pz8 ved Vestfossen (Fig. 3.23) som alle har to poretrykksmålere.

Ved Gartland kan man se tydelig at det er en forskjell i korrelasjon på poretrykksmåleren som er øverst (NG7\_1), og poretrykksmåleren som er nederst (NG7\_2). Poretrykksmåler NG7\_1 har relativ høy korrelasjon i forhold til NG7\_2, noe som er tilfellet for alle de ulike aspektene vist tidligere i resultatene (Tab. 5.3, 5.6 og 5.7).

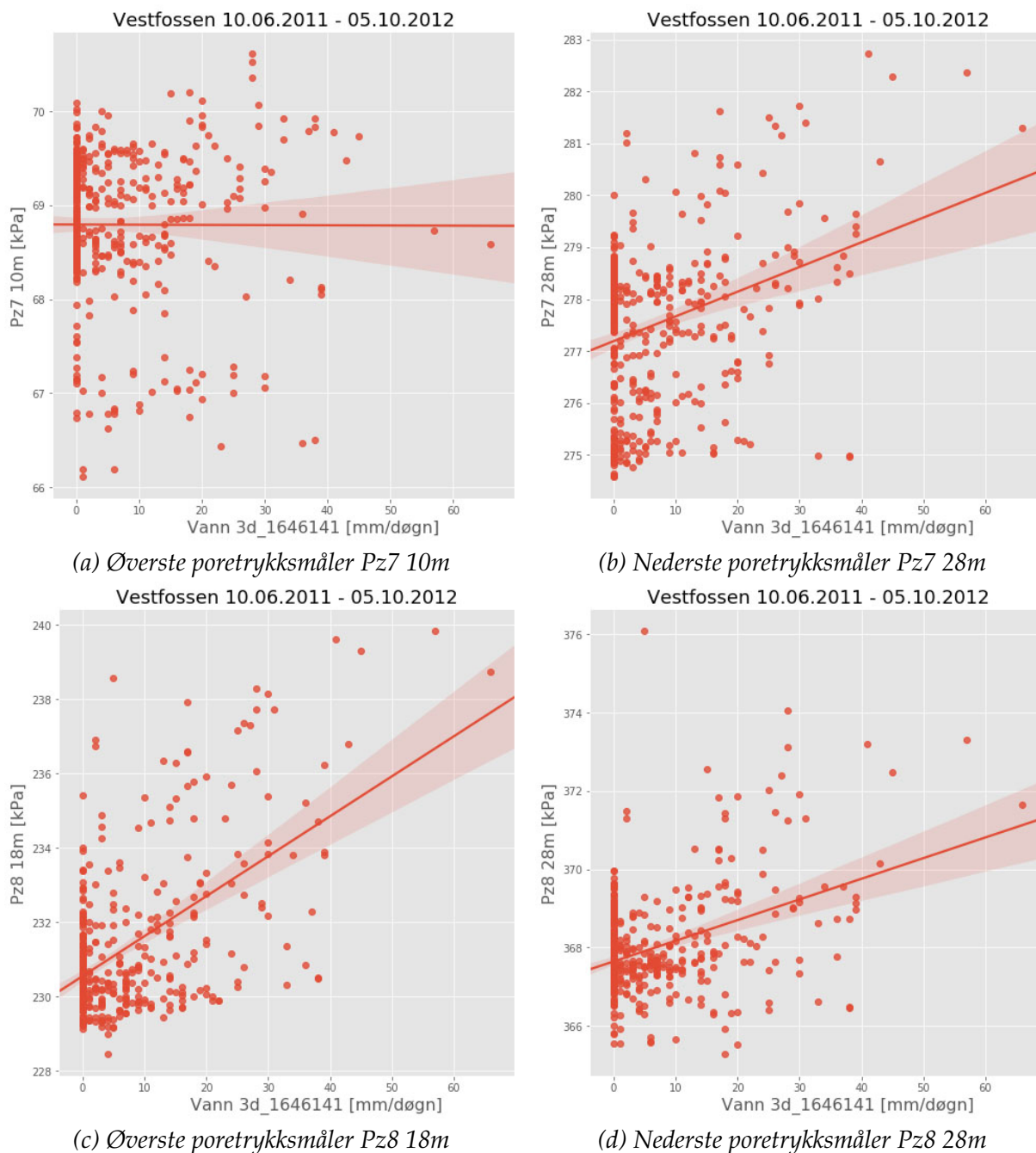
For poretrykksmålerne ved Åsmulen er situasjonen motsatt av Gartland. Der er det poretrykksmåleren som er installert dypest (SE25\_2) som har den høyeste korrelasjonen (Tab. D.2, D.3, D.4 og D.5). Med tanke på at installasjonsavstanden kun er 2.1m, er forskjellen i korrelasjon mellom de to poretrykksmålerne relative stor (Fig. 3.18).

Hvilken av de to poretrykksmålerne ved Eiterstraumen som har den høyeste korrelasjonen er ikke like rett frem. Når alle verdier er med i korrelasjonen er begge poretrykksmålerne like dårlige (Tab. 5.4). Når nullverdiene for vanntilførsel er fjernet

blir korrelasjonen noe høyere for poretrykksmåler SE25\_1 enn SE25\_2 (Tab. 5.4). Når det blir tatt et utdrag fra tidsserien får SE25\_2 høyere korrelasjonsverdier enn SE25\_1 (Tab. 5.8).

For Vestfossen er det også forskjell på korrelasjonen når tidsserien behandles på forskjellige måter. Før noen verdier fjernes (Tab. 5.5) er det en negativ korrelasjon for Pz5 10m og ingen korrelasjon for Pz5 15m. For Pz7 10m og Pz7 28m er det den nederste poretrykksmåleren som har høyest korrelasjon. I det siste settet med poretrykksmålere er det høyest korrelasjon for den øverste av poretrykksmålerne, Pz8 18m. Forskjellen er ikke veldig stor mellom 1 dagers vanntilførselsverdiene. Når nullverdier for vanntilførsel fjernes (Tab. 5.5) får den nederste poretrykksmåleren Pz5 15m høyere positiv korrelasjon enn Pz5 10m. For Pz7 10m og Pz7 28m blir forskjellene større, hvor den nederste får en høyere korrelasjon. Poretrykksmåler Pz8 18m og Pz8 28m nærmer seg hverandre. 1 dagers vanntilførselsverdier er omtrent like mens Pz8 18m har fortsatt den høyeste korrelasjonen for 3 dagers vanntilførselsverdier. Når det blir tatt et utdrag fra tidsserien (Tab. 5.9) blir Pz5 10m og Pz5 15m like, og for Pz7 og Pz8 får den nederste poretrykksmåleren høyest korrelasjonsverdier. For Pz8 28m har likevel 1 dagers vanntilførselsverdier lavere korrelasjon enn Pz8 18m.

Figur 5.8 viser at det er ulikheter mellom poretrykksmålere på forskjellig dyp, men ved samme sted. Her vises Pz7 og Pz8.



Figur 5.8: Fordelingsplott med den øverste og nederste poretrykksmåleren for poretrykksmålere Pz7 og Pz8 fra Vestfossen. Inkludert i plottet er regresjonslinje (rød strek), og et 95% konfidensintervall (rød sone).

Det kommer frem at det ikke bare er høyere trykk i den nederste poretrykksmåleren, men også ulik respons på den samme vanntilførselen. Om den nederste poretrykksmåleren hadde respondert likt på en vanntilførselshendelse som den øverste poretrykksmåleren, hadde fordelingsplottet sett likt ut, men med forskjellige verdier på y-aksene.

## 5.8 Korrelasjonen til cellene

Det er generelt ikke stor forskjell mellom vanntilførselen i de forskjellige valgte cellene for de ulike lokalitetene (Fig. 3.2, 3.6, 3.12, 3.16 og 3.21). Det er likevel ulik korrelasjon mellom vanntilførsel i de forskjellige cellene og poretrykket. Korrelasjonen for alle lokalitetene og alle cellene er generelt ganske dårlig. På det høyeste er det funnet en korrelasjonsverdi på  $r=0.76$ , noe som fortsatt er kun moderat god korrelasjon. Selv om det er dårlig korrelasjon er det mulig å sammenligne de ulike cellene med hverandre for å se etter mulige sammenhenger mellom poretrykk og vanntilførsel.

### 5.8.1 Gartland

For Gartland oppnås den høyeste korrelasjonen ved å ta et utdrag fra tidsserien (Tab. 5.7). Det er cellene 1003053 og 1005442 som får høyest korrelasjon, både for NG7\_1 og NG10\_1. Dette er celler som ligger henholdsvis 2 og 3 km vest/nordvest fra poretrykksmålerne. Cellen som får lavest korrelasjon med samme 3 dagers vanntilførselsverdier, er 1003057, som ligger 2 km nordøst for poretrykksmålerne. Cellen 1005445, som er den cellen poretrykksmålerne ligger i, har hverken høyest eller lavest korrelasjonsverdi. Man kan se at poretrykksmåler NG7\_2 har enten korrelasjonsverdier nær null eller negative verdier. Poretrykksmåler NG10\_1 har noe lavere korrelasjonsverdier enn NG7\_1, og har i tillegg nesten helt lik korrelasjon for 1 og 3 dagers verdiene når det er tatt et utdrag.

### 5.8.2 Åsmulen

Den høyeste korrelasjonen for Åsmulen er celle 987530 med 3 dagers verdier, når det er tatt et utdrag fra tidsserien (Vedlegg D.4). Cellen har den høyeste verdien for alle poretrykksmålerne og den høyeste verdien er for poretrykksmåler FO2\_2 med en verdi på  $r=0.76$ . Cellen som har høyest verdi ligger 2 km fra FO2, og 3km fra FO6 og FO8. Verdien til denne cellen stikker seg veldig ut fra de andre cellene, ved at verdien er mye høyere enn de resterende cellene. Cellen 989922 som FO2 ligger i, og 987533 som FO6 og FO8 ligger i har de laveste korrelasjonsverdiene. Generelt er FO2\_2 den poretrykksmåleren med høyest korrelasjonsverdi.

### 5.8.3 Bjørnstad

Cellen med høyest korrelasjonsverdi er 940957 og er når det er tatt et utdrag fra tidsserien (Vedlegg D.8). Før det blir tatt et utdrag av tidsserien er det flere celler som har den relativ høyeste verdien (Vedlegg D.6). Da er det cellene 943351 og 940962 som har de høyeste verdiene. Ingen av de cellene med høyes korrelasjonsverdi er cellen som poretrykksmåleren ligger i.

### 5.8.4 Eiterstraumen SE25

Den høyeste korrelasjonsverdien er for celle 854920 som er når det er tatt ut et utvalg fra tidsserien (Tab. 5.8). Cellen har høyest korrelasjonsverdi for begge poretrykksmålerne. Dette er samme celle som poretrykksmålerne ligger i (Fig. 3.16). Utenom den cellen har cellene 856117, 854922 og 853727, som ligger øst for poretrykksmålerne, nest høyest korrelasjon. Poretrykksmåler SE25\_2, som ligger dypest, er den som har generelt høyest korrelasjon når det er tatt et utvalg fra tidsserien. Når nullverdier er fjernet, er det poretrykksmåler SE25\_1 som har høyest korrelasjon (Tab. 5.4).

### 5.8.5 Eiterstraumen RO01

Korrelasjonsverdiene er veldig like mellom cellene, og det er 3 dagers vanntilførselsverdiene som har de høyeste korrelasjonsverdiene. Sett bort ifra at korrelasjonen for 1 dagers vanntilførsel blir bedre når null fjernes, er det ikke lett å skille de enkelte cellene fra hverandre basert på korrelasjonen (Vedlegg D.12 og D.13).

### 5.8.6 Vestfossen 2010

Den cellen som gir den generelt høyeste korrelasjonen for alle poretrykksmålerne er 1644945. Det er samme celle som poretrykksmålerne er installert i (Fig 3.21). Den høyeste verdien kommer når nullverdier fjernes (Vedlegg D.15), men den gjennomsnittlige korrelasjonen til de forskjellige cellene er høyest når nullverdier er inkludert (Vedlegg D.15). Det er Pz8 28m som gir de høyeste korrelasjonsverdiene, men Pz7 10m og Pz8 18m har også relativt høye verdier. Poretrykksmåler Pz5 10m og Pz5 15m gir kun negativ eller ingen korrelasjon.

### 5.8.7 Vestfossen 2011-2012

Den høyeste korrelasjonsverdien kommer når det blir tatt et utdrag fra tidsserien (Tab. 5.9). Det er da poretrykksmålert Pz8 28m som får den høyeste korrelasjonen, og det er så godt som lik korrelasjon mellom de ulike cellene. For Pz7 28m og Pz8 18m er den gjennomsnittlige korrelasjonen høyest når det ikke er tatt noen utdrag fra tidsserien (Tab. 5.5). I den situasjonen er det Pz8 18m som har de høyeste korrelasjonsverdiene. Poretrykksmålerne Pz5 10m, Pz5 15m og Pz7 10m gir alle relativt dårlige korrelasjonsverdier. Noe som går igjen for alle poretrykksmålerne er at celle 1644945, som er den cellen poretrykksmålerne ligger i, er den med høyest korrelasjon selv om forskjellen fra de andre cellene ikke er særlig stor.

## 5.9 Regresjonsmodell

Når det blir kjørt ordinær minste kvadraters regresjonsmodeller mellom selekterte poretrykksmålere og celler med vanntilførselsverdi, når korrelasjonen ikke er negativ eller null, vises det at korrelasjonen diskutert ovenfor er signifikant. Det vil si at endringer i poretrykk forklares til dels av vanntilførselen. Regresjonsmodell fra Vestfossen med tidsserien 2011-2012 inkludert nullverdier, tatt mellom poretrykksmålert Pz28m og 3 dagers vanntilførsel for celle 1644945 (Fig. 5.9), er vist som et eksempel på regresjonsmodell.

OLS Regression Results						
Dep. Variable:	Pz7_28m	R-squared:	0.095			
Model:	OLS	Adj. R-squared:	0.093			
Method:	Least Squares	F-statistic:	47.68			
Date:	Mon, 25 Mar 2019	Prob (F-statistic):	1.69e-11			
Time:	16:29:51	Log-Likelihood:	-818.65			
No. Observations:	458	AIC:	1641.			
Df Residuals:	456	BIC:	1650.			
Df Model:	1					
Covariance Type:	nonrobust					
	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
Intercept	277.1839	0.083	3348.829	0.000	277.021	277.347
vest_Vann_3dp200ar_1644945	0.0427	0.006	6.905	0.000	0.031	0.055
Omnibus:	10.376	Durbin-Watson:	0.134			
Prob(Omnibus):	0.006	Jarque-Bera (JB):	9.321			
Skew:	-0.289	Prob(JB):	0.00946			
Kurtosis:	2.606	Cond. No.:	16.4			

Figur 5.9: Figuren viser resultater fra regresjonsmodell hvor de relevante verdiene, P verdi, konfidensintervall til vanntilførselsverdi og  $R^2$  verdi er markert med rødt.



Siden P verdien ( $P=0$ ) er utenfor konfidensintervallet (0.031 - 0.055) vil det si at korrelasjonen er signifikant, selv om  $r^2$  kun er lik 0.095.

Ved å ta alle korrelasjonsverdiene fra de nevnte tabellene i resultatet og gange de med seg selv får man verdien  $r^2$ . Den beskriver hvor mye av variasjonen i poretrykket som kan forklares av vanntilførselsverdiene. Det vil si at en korrelasjon på  $r=0.5$  vil gi en  $r^2 = 0.25$ , som betyr at 25% av endringene til poretrykket kan forklares av vanntilførselen. Ut ifra korrelasjonen til de ulike lokalitetene beskrevet tidligere, beskriver vanntilførselen på det høyeste, 50% av endringene i poretrykket. Det vil si at på det laveste, skylls de resterende 50% av endringene andre faktorer som ikke er registrert tatt høyde for i denne oppgaven.

## 5.10 Oppsummering av resultatene

### Responstid

Oppløsningen på responstiden er kun et døgn, og responstiden fra krysskorreleringen samsvarer best med tidsserie-plottene i de originale datasettene.

### Verdier med og uten null

Dager der det ikke er noe tilførsel av vann blir fjernet fra datasettet for å teste hvordan det påvirker korrelasjonsverdiene. Resultatene viser at det blir høyere korrelasjonsverdier når null-verdier fjernes, men for Gartland er det motsatt.

### Korrelasjonsmetode

Etter at korrelasjonsverdiene med Spearman og Pearson metodene er sammenlignet, viser resultatene at Spearman gir høyere korrelasjonsverdier generelt sett. Forskjellen på korrelasjonsresultatene til Spearman og Pearson er ikke veldig store, og det er flere tilfeller hvor Pearson har høyere korrelasjonsresultater enn Spearman (Åsmulen og Vestfossen).

### Utdrag fra tidsserie

Resultatene fra Gartland og Eiterstraumen viser høyere korrelasjonsverdier når det blir tatt et utdrag fra tidsserien. Vestfossen gir ikke like entydig resultat, da noen poretrykksmålere får noe lavere korrelasjon.

### **1 og 3 dagers vanntilførsels - verdiene**

Det er en tydelig forskjell på de to datatypene. 3 dagers verdiene gir de høyeste korrelasjonsverdiene i de fleste tilfellene, med noen få unntak.

### **Installasjonsdybde**

Den grunneste av poretrykksmålerne i Gartland gir klart høyere korrelasjonsverdier enn den dypeste. Det er motsatt av de andre lokalitetene, hvor det er de dypeste poretrykksmålerne som gir de høyeste korrelasjonsverdiene. I Vestfossen har ikke alle de dypeste poretrykksmålerne i poretrykksmåler-parene høyest korrelasjonsverdi, men sett alle poretrykksmålerne under ett så har alle de dypeste poretrykksmålerne høyere korrelasjonsresultater enn de grunne.

### **Korrelasjon til cellene**

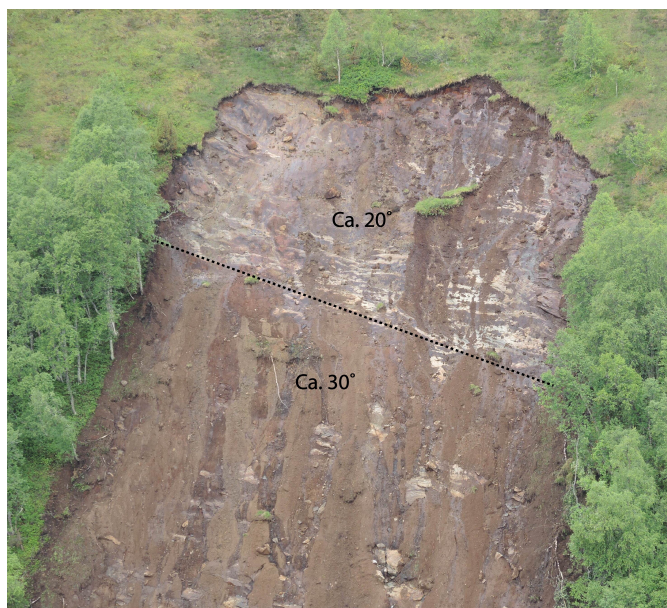
Det er en forskjell mellom lokalitetene, om de høyeste korrelasjonsverdiene er fra cellen poretrykksmålerne ligger i, eller ikke. For Eiterstraumen med poretrykksmåler SE25, Vestfossen 2010 og Vestfossen 2011-2012 er de høyeste korrelasjonsverdiene den samme cellen poretrykksmålerne ligger i. For Gartland, Åsmulen og Bjørnstad ligger cellen der det er høyest korrelasjonsverdi 2-3km fra poretrykksmålerne. Eiterstraumen med poretrykksmåler RO01 er vanskelig å dele opp i de to kategoriene da det er liten forskjell i korrelasjon mellom cellene, og de ligger alle nært poretrykksmåleren.

### **Regresjonsmodell**

Cellene og poretrykksmålerne som er testet i regresjonsmodeller viser at korrelasjonsverdiene er signifikante. Det er likevel maksimalt 50% av variasjonen i poretrykk som kan forklares av vanntilførselen.

## **5.11 Opsvik - Skredhendelse**

Skredets løsneområde er av interesse for denne oppgaven. Løsneområdet har en svakt konkav form med en gjennomsnittlig helning på 20°. Ved å se på et litt større område bak og rundt løsneområdet er det mulig å se en svakt konkav nedsenkning mot løsneområdet (Fig. 5.11).



Figur 5.10: Fotografi av løsneområdet med avmerket terskel mellom 20° og 30° helning. Foto: Einar Anda, juni 2013.



Figur 5.11: Ortofoto med avmerket en forhøyning i terrenget. (Kartverket, 2018b)

Figuren viser en rygg som ble observert i felt, hvor vann kan renne ned mot utløsningsområdet og konsentreres. I felt ble det observert enkelte steder med en sprekke tetthet på maksimum 4 per meter. Vann sildret ned fra skillet mellom berg og torv/løsmasser, i tillegg til fra selve torv/løsmasselaget. Dagen løsneområdet ble befart hadde det regnet en del, og det antas derfor at løsmassene/torven blir vannmettet på våte dager. I overgangen mellom løsneområdet og transport-delen av skredet ble det observert en terskel/knekkpunkt hvor helningen over en kort strekning øker til rundt 30° (Fig. 5.10). Løsmassene i løsneområdet var mest sannsynlig hovedsakelig torv med noe morenemateriale i bunn, på bakgrunn av observasjon fra bruddkanten til skredet. Torven var fast med mye røtter i nettverk. Mektigheten av torven var omtrent 30cm, og den underliggende morenen var ca. 20cm tykk. Det ble observert enkelte intakte små deler av torv i løsneområdet.

# Kapittel 6: Diskusjon

## 6.1 Responstid

Responstiden (Kap. 5.2) er funnet basert på hvor mange dager poretrykket må forskyves for å få den høyeste korrelasjonen. Om metoden er riktig å bruke kan diskuteres, da manipuleringer av datasettene fører til ulike resultater. Det kan være vanskelig å finne responstid for poretrykksmålerne ved å kun se på tidsserieplottene, og det kan være vanskelig å skille tidsforskyvningen av poretrykksmålerne fra hverandre. Derfor kan det bli mer unøyaktig å se om det er noen forskjell i responstid mellom poretrykksmålerne ved å kun bruke tidsserieplott. Ved å forskyve poretrykket i forhold til vanntilførsel vil det være muligheter for at noen vanntilførselsceller blir favorisert over andre. Det kan i tillegg bli en favorisering av poretrykksmålere ved ulike dyp. Årsaken til en mulig favorisering er den grove metoden benyttet for å finne den høyeste korrelasjonen, som er å forskyve poretrykket for alle cellene likt. Dersom poretrykket hadde blitt forskjøvet individuelt med tanke på hver celle, vil resultatet kunne bli mer optimal for hver enkelt celle og for hver poretrykksmåler. Med den samme metodikken som er brukt i denne oppgaven vil det være en veldig tidkrevende prosess.

Dersom verdier med null for vanntilførsel fjernes (Kap. 5.3) er det ikke usannsynlig at responstiden kan bli noe feil. Man har ikke kontroll over hvilke verdier som blir fjernet, og noen av verdiene som blir fjernet kan være viktig å ha med. Derfor er det vurdert at det er mest riktig å bruke de originale verdiene eller ta et utdrag av datasettene. Ved å ta et utdrag vil man få minimalt med nullverdier for vanntilførsel, men likevel ha et "riktig" datasett uten manipuleringer. Resultatene viser at enkelte poretrykksmålere for alle datasettene der det enten er fjernet nullverdier for vanntilførsel eller tatt et utdrag, får lengre responstider sammenlignet med tidsserieplottene (Tab. 5.1 og 5.2). Dette gjelder ikke Åsmulen. Enkelte poretrykksmålere får også kortere responstider.

Basert på dette virker det som om responstidene til datasettene som ikke er manipulert på noen måte er de mest riktige.

Oppløsningen til responstiden kan defineres å være ganske grov. Tilgjengelige poretrykksdata i denne oppgaven har målinger 1-2 ganger om dagen. Lokalitetene som har 2 målinger om dagen er Vestfossen og RO01 på Eiterstraumen. Det gjør at oppløsningen blir bedre og mindre data blir borte. Ved å for eksempel ha målinger hver time er det større sannsynlighet at man kan skille poretrykksmålere med ulikt installasjonsdyp fra hverandre. Det kan muliggjøre funn av ulik responstid. Tidligere arbeid fra Olsen et al. (2015) viser en responstid på 3-5 timer, noe som tyder på at man med fordel kan få en bedre oppløsning i poretrykk. I denne oppgaven er det vanskelig å skille poretrykksmålere fra hverandre, og på den måten være sikker på at resultatene er helt riktige. Det kan derfor være mer riktig å ha en responstid per poretrykks-par. Det kan diskuteres at flere måletidspunkter for poretrykksdata ikke nødvendigvis vil gi et bedre resultat, da data fra xGeo baserer seg på dagsverdier av vanntilførsel. Olsen et al. (2015) hadde målinger av vanntilførsel rett ved poretrykksmålerne som gjorde at også de målingene hadde høy oppløsning. En fordel ved å benytte xGeo er at man får regionale data som kan sammenlignes med poretrykk. Dersom det hadde blitt installert en nedbørmåler ved poretrykksmålerne ville problemstillingen i oppgaven blitt endret til å se på lokal skala, også når det gjelder vanntilførsel. Det er derfor usikkert om det vil være hensiktsmessig å benytte seg av lokale vanntilførselsmålinger. Det å installere en nedbørmåler i videre arbeider kan gi et godt sammenligningsgrunnlag. En større mengde poretrykksdata vil fortsatt gjøre det lettere å skille poretrykksmålerne fra hverandre på et tidsserieplott. Grunnen til å ville skille poretrykksmålerne med ulikt dyp fra hverandre er for å muligens se om det danner seg et artesisk porevannstrykk. Om poretrykket øker i den dyptliggende poretrykksmåleren uten en økning i den øvre poretrykksmåleren, kan dette tyde på artesisk tilførsel i dypet. Det kan da være lettere å skille poretrykksøkning på grunn av nedbør på stedet, og poretrykksøkning fra vannførende lag eller grunnvannsstrømninger. I dette tilfellet spriker resultatene såpass mye mellom de ulike datatypene at det er vanskelig å komme med noen gode tolkninger om hva forskjellen i poretrykk skyldes ved å kun se på responstid.

For Nordlandsbanen er responstiden på ca. 3-4 dager, mens Vestfossen på rundt 0-1 dager for 2011-2012 og 1-3 dager for 2010 (Kap. 5.2). Studieområdene ved Nordlandsbanen har en berggrunn hovedsakelig bestående av de metamorfe bergartene glimmerskifer og glimmergneis, med enkelte bergarter som lettere forvitres som marmor/kalkspatmarmor (Fig. 3.3a, 3.7a, 3.13a og 3.17a). Løsmassene er dominert av leire og silt, men det er også mye morenemateriale og fluviale avsetninger (Fig. 3.3b, 3.7b, 3.13b og 3.17b). I Vestfossen består bergartene av fyllitt og glimmerskifer, og løsmassene er mektig marin leire (Fig. 3.22). Basert på denne informasjonen er det ikke stor forskjell på berggrunnstypene mellom Nordlandsbanen og Vestfossen, men løsmassene er mer ulike. Løsmassene indikerer at Vestfossen som nesten bare består av leire (Fig. 3.22b), skal ha en lang responstid, mens lokalitetene på Nordlandsbanen skal ha en raskere respons siden det er betraktelig mer grovere løsmasser (Fig. 3.3b, 3.7b, 3.13b og 3.17b). Likevel er responstiden for Vestfossen rundt 1-2 dag, mens Nordlandsbanen lokalitetene har responstider på 3-4 dager. Likhetene i geologisk setting mellom Vestfossen og Garland er store, men forskjellen i responstid er på 2-3 dager. Det er vanskelig å konkludere med hvorfor det er en slik forskjell, men en mulighet er at ulik metningsgrad i bakken kan gi de ulikhetene man ser i responstidene.

Dersom responstiden til poretrykket gir en responstid på 3 dager etter en vanntilførselshendelse, må den hydrauliske konduktiviteten være  $k=10^{-2}$  [ $\text{m s}^{-1}$ ] for at vanntilførselen kan skje 2.5 km fra poretrykksmåleren. En konduktivitet på  $k=10^{-2}$  [ $\text{m s}^{-1}$ ] tilsvarer den høyeste konduktiviteten for fluviale avsetninger (Hiscoock og Bense, 2014). Hvis sedimentene er morene eller leire med henholdsvis  $k=10^{-6}$  [ $\text{m s}^{-1}$ ] og  $k=10^{-9}$  [ $\text{m s}^{-1}$ ] vil vanntilførselshendelsen på det beste kunne være henholdsvis 0.26m og 0.026 cm fra poretrykksmålerne. Om vannet transporteres i sprekker i metamorfe bergarter ( $k=10^{-6}$  [ $\text{m s}^{-1}$ ]), gir det en avstand på maks 2.59 m fra poretrykksmåleren. De nevnte verdiene er typiske verdier funnet med empiri (Hiscoock og Bense, 2014). Det viser at uten et vannførende lag med god konduktivitet, som for eksempel fluviale avsetninger eller godt ledende og sammenhengende sprekkesystemer, viser responstiden funnet i denne oppgaven at poretrykksendringen skyldes infiltrasjon av vann på stedet. Ved å sammenligne responsen til en lukket akvifer og en åpen akvifer med lik vanntilførselsmengde, skal det mindre vann til for å få en rask respons i en lukket akvifer (Persson,

2008). Det vil si at en rask respons ikke nødvendigvis trenger å bety infiltrasjon fra toppen i en åpen akvifer, men at vannet også kan komme fra en lukket akvifer.

## 6.2 Installasjon av poretrykksmålerne

Datagrunnlaget er viktig for å få gode resultater man kan stole på. Ved å kjenne til hvilke faktorer som påvirker dataene, er det lettere å gjøre seg opp kvalifiserte meninger om hvorfor resultatet ser ut som det gjør. Poretrykksdataene som er brukt i denne oppgaven er i utgangspunktet ment for andre formål enn å måle artesisk porevannstrykk i bunnen av sedimentene.

### 6.2.1 Dybde

Poretrykksmålerne installert for Nordlandsbanen-prosjektet ble montert for å eventuelt finne ut om det var nødvendig å sikre jernbanen mot utglidninger. På bakgrunn av dette ble ikke poretrykksmålerne satt på en spesifikk dybde i forhold til berggrunnen. Det gjør at installasjonsdybden til de fleste poretrykksmålerne på Nordlandsbanen-prosjektet ikke har en optimal plassering med tanke på denne oppgaven. Poretrykksmålerne på Gartland er plassert ganske dypt og variert med dybder på 5m, 10m, 15m, og 20m (Fig. 3.4 og 3.5). Det som er ugunstig er at dybde til berggrunn er ukjent, og at det derfor kan være langt til berggrunnen. For Åsmulen er poretrykksmålerne plassert relativt grunt og er derfor et stykke unna berggrunnen (7-14m) (Fig. 3.9, 3.10 og 3.11). Det positive er at FO2\_2 og FO6 er plassert over fastere materialer som muligens kan være morenematerialer, selv om de er plassert grunt (5.6m og 4m). Plasseringen av poretrykksmåleren i Bjørnstad er på 6m, noe som er en veldig lite gunstig plassering med tanke på artesisk trykk (Fig. 3.15). Poretrykksmålerne SE25\_2 og RO1 ved Eiterstraumen har en god plassering over fastere sedimenter selv om de også er plassert øverst i sedimentpakken (4.6m og 6m). En optimal plassering ville ut fra problemstillingen til denne oppgaven vært i en lukket akvifer, slik at det er muligheter for å skape et overtrykk (Kap. 2.1.1). Det er vanskelig å vite om dette er tilfellet når måleren skal installeres. For å øke sannsynligheten med å installere poretrykksmåleren i lukket akvifer, kan poretrykksmåleren installeres rett over berggrunn. Da vil det være stor sannsynlighet for at man har et tett underliggende berggrunn/lag som poretrykket kan

bygge seg opp mot og som vann kan strømme langsmed. Sprekker i berggrunnen kan påvirke strømmingen negativt ved at vann dreneres, men vann kan også strømme opp fra sprekke og skape artesisk porevannstrykk. For Vestfossen er poretrykksmålerne installert på en gunstig måte. Der er målerne installert både midt i sedimentpakken og rett over berggrunnen (Kap. 3.5, Fig. 3.23). Det øker sannsynligheten for å måle et eventuelt artesisk porevannstrykk, samtidig som man kan måle hvordan porevanntrykket forløper i sentrum av sedimentpakken.

Lokalitetene som har installert to poretrykksmålere i ulik dybde, har også ulike korrelasjonsverdier (Kap. 5.7). Ved relativt høye korrelasjonsverdier for poretrykksmåleren som ligger nærmest overflaten kan det tenkes at porevannstrykk-endringen skyldes vann som infiltrerer fra toppen og ned (Kap. 2.1). Fra Gartland ser man at poretrykksmåleren som ligger øverst har mye høyere korrelasjonsverdier enn den nederste poretrykksmåleren (Tab. 5.3, 5.6, og 5.7). Fra geotekniske tester og labundersøkelser er det vist at den øverste delen av sedimentpakken består av grovere materialer, som kan føre til en bedre respons for den øverste poretrykksmåleren ved infiltrasjon fra toppen. Det er likevel vanntilførsel-cellene 1003053 og 1005442, 2 km vest for poretrykksmålerne (Fig. 3.2), som gir høyest korrelasjonsverdi mellom poretrykket og vanntilførselen. Det blir diskutert senere.

Dersom det er høyest korrelasjonsverdi for den dypeste poretrykksmåleren, kan det indikere mulighet for transportmekanismer som kan føre vann i dypet. Etter det har blitt tatt et utdrag fra tidsserien for Eiterstraumen SE25, viser korrelasjonsverdiene at den dypeste poretrykksmåleren har de høyeste verdiene (Tab. 5.8). Resultatene viser at vanntilførsel-celle 854920, som er den cellen hvor poretrykksmålerne ligger i, har de høyeste korrelasjonsverdiene (Fig. 3.16). Det samme gjelder for poretrykksmålerne FO2 i Åsmulen (Vedlegg D.2, D.3, D.4 og D.5). Der er det høyest korrelasjonsverdi for den dypeste poretrykksmåleren. Celle 987530 som har høyest korrelasjon, ligger 2km vest for poretrykksmålerne. Hvis korrelasjonsverdiene for tidsserieutdraget gir troverdige resultater, kan det bety at vann transporteres ned i grunnen i vannførende lag eller lignende. Det kan føre til en bedre respons mellom vanntilførselen og den dypeste poretrykksmåleren.

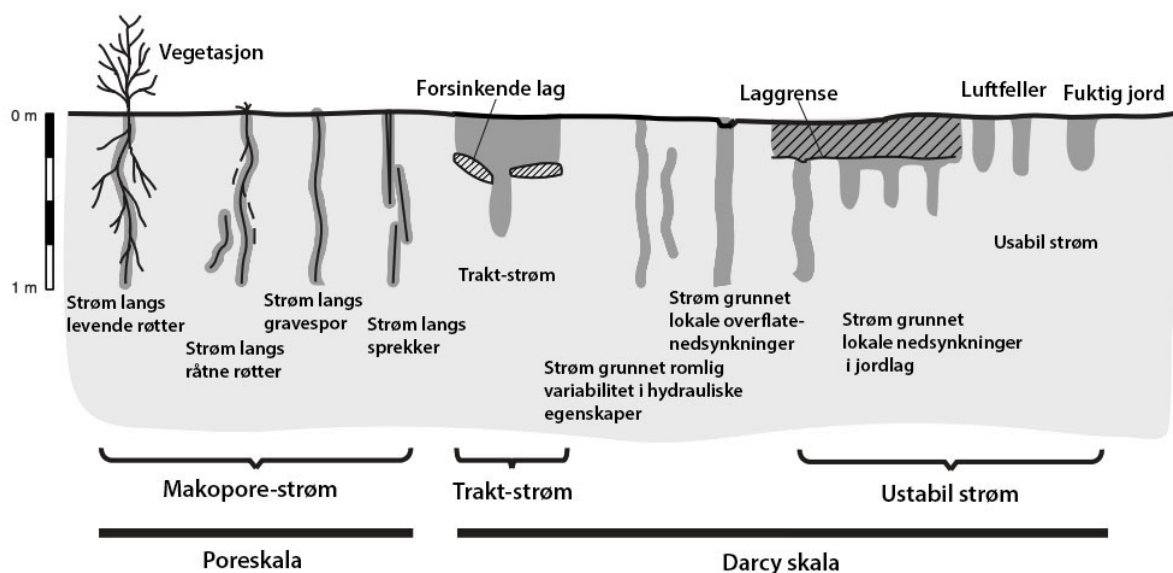


For poretrykksmålerne på Vestfossen kan man se en lignende trend som for Eiterstraumen. På Vestfossen er poretrykksmålerne plassert ganske tett, noe som gjør at det er mulig å se på dybden til de ulike poretrykksmålerne som et helhetlig bilde. For alle tidsseriene for 2011-2012, er de dypeste poretrykksmålerne de med høyest korrelasjonsverdier (Tab. 5.5 og 5.9). Etter at det er gjort et utdrag fra tidsserien viser resultatene at korrelasjonen er høyest for de dypeste poretrykksmålerne i samme borhull. De dypeste poretrykksmålerne ligger rett over berggrunn, og høyere korrelasjonsverdier kan derfor indikere strømning av vann langsmed berggrunnen. Ved å anta at disse verdiene er mest representative kan det, i likhet med Eiterstraumen og Åsmulen, eksistere vannførende lag eller lignende som fører til en bedre korrelasjon mellom poretrykket nederst i sedimentene og vanntilførselen. Korrelasjonsverdiene for Vestfossen med tidsserien fra 2010 viser ikke nøyaktig det samme bildet (Vedlegg D.15). Der er korrelasjonsverdiene høyest for de øverste poretrykksmålerne for Pz7 og Pz8. Det er fortsatt de poretrykksmålerne som ligger dypest som generelt sett får høyest korrelasjonsverdier, og de høyeste verdiene er fra den cellen poretrykksmålerne ligger i.

Man ser at det er god korrelasjon for den øverste poretrykksmåleren i Gartland, mens på Eiterstraumen og Åsmulen ser man det motsatte. I Vestfossen er det høyere korrelasjonsverdi for de dyptliggende poretrykksmålerne, men ikke nødvendigvis de aller dypeste. Hva kan forklare forskjellene og likhetene mellom lokalitetene når det gjelder korrelasjon og installasjonsdyp? For Eiterstraumen og Åsmulen ser man på dreietrykksundersøkelsene (Fig. 3.18 og 3.9) at de nederste poretrykksmålerne er plassert rett over sedimenter med høyere dreiemotstand/tetthet. Det er mulig at en høyere tetthet og derfor lavere permeabilitet, gjør at et trykk lettere kan bygge seg opp mot dette laget. Løsmassene i området rundt både FO2 (Åsmulen) og SE25 (Eiterstraumen) varierer mellom fluviale løsmasser og leire/silt (Fig. 3.7b og 3.17b). Det er derfor ikke umulig å utelukke lag med høy konduktivitet og god infiltrasjon som kan føre vann raskt ned i grunnen.

En annen forklaring kan være at metningsgraden til den øverste og nederste poretrykksmåleren er ulik. Ved en større metningsgrad vil poretrykket kunne respondere raskere og gi større utslag (Bogaard og Greco, 2016). Fra tidsserieplottene fra Åsmulen (Vedlegg 5.2) og Eiterstraumen (Vedlegg 5.4) kan man observere at de dypeste poretrykksmålerne får større utslag ved hver vanntilførselshendelse. Det samme gjelder for

Vestfossen. I tillegg kan man se at responsen blir mindre ulik mellom poretrykksmålerparene når begge ligger dypere (Vedlegg C.4 og C.6). Det kan virke som en rask og stor respons i poretrykket fører til høyere korrelasjonsverdier, siden dette er tilfelle i de dypeste poretrykksmålerne. Om en økning i vanntilførsel gir en nesten tilsvarende økning i poretrykk, vil Pearson korrelasjon bli bedre enn om poretrykket hadde brukt lenger tid på å øke. Det kan gi en bedre lineær korrelasjon, men betyr ikke nødvendigvis at det er en mer riktig korrelasjon. Med denne tankegangen kan poretrykksmålere som ligger dypere, som også responderer raskere, gi høyere Pearson korrelasjonsverdier. Det kan da være en av forklaringene på hvorfor de dype poretrykksmålerne kan få høyere korrelasjonsverdier enn grunne poretrykksmålere. Likevel viser tidsserieplottet for Gartland det motsatte. Det viser at den dypeste poretrykksmåleren har større utslag enn den øverste poretrykksmåleren, men at korrelasjonsverdiene er høyest for den øverste poretrykksmåleren (Fig. 5.1). Ved å ta dette i betraktning, gir ikke størrelsen på responsen nødvendigvis en bedre korrelasjon, og det er derfor muligheter for at høyere korrelasjonsverdier i de dype poretrykksmålerne kan forklares av transportmekanismer for vann ned i dypet (Fig. 6.1).



Figur 6.1: Illustrasjon over de ulike mekanismene som fører til at vann kan strømme ned i bakken. Modifisert fra Hendrickx og Flury (2001).

Makroporer kommer oftest fra levende organismer som røtter og gravespor, men de kan også bli dannet som et resultat av langvarig erosjon og forvitring (Bogaard og

Greco, 2016). Makroporene kan gi en bedre infiltrasjon rett ved poretrykksmålerne, slik at det er mindre sansynlighet for at poretrykket ikke kommer til å bli artesisk. Poretrykksmålerne ved alle lokalitetene på Nordlandsbanen, utenom Gartland, ligger i nærheten av elver og fluviale avsetninger (Fig. 3.3b, 3.7b, 3.13b og 3.17b). Det kan skape vertikale transportbaner laget av grovere materialer eller døde planterester. Disse transportbanene kan forklare hvorfor f.eks. den dypeste poretrykksmåleren SE25\_2 får høyere korrelasjonsverdier med vanntilførselen for samme celle som poretrykksmåleren ligger i. Makroporene kan også føre til en bedre infiltrasjon et sted lenger unna. Det kan gjøre at vann kan transporteres i sprekkesystemer og strømme langs berg eller i vannførende lag, og deretter gi muligheter for en oppbygning av artesisk porevannstrykk. Dette kan være tilfelle for flere av lokalitetene. I Åsmulen viser foliasjonen i fjellet at en fallretning på mulige sprekker kan føre vann ned fra fjellet i riktig retning mot poretrykksmåleren (Kap. 3.2). Når det da ligger vann i nedsenkninger som har samme orientering som foliasjonen, er det ikke umulig at forvitring av sprekkekanaler kan skape makroporer med retning mot poretrykksmålerne. Vest for poretrykksmåleren SE25\_2 i Eiterstraumen består noe av berggrunnen av marmor (Fig. 3.17a). Dette er en bergart som har lett for å forvitte og skape gode transportveier for vann (Winkler, 1988). I Vestfossen er det lokalisert mye forvittringsmateriale sørøst for poretrykksmålerne (Fig. 3.22a). Forvittringsmateriale har store muligheter for å få god infiltrasjon av vann. Om ikke makroporer kan forklare en bedre korrelasjon for de dypeste poretrykksmålerne, er det mulig at plasseringen av poretrykksmålerne med hensyn til topografien kan forklare det.

### 6.2.2 Plassering i terrenget

De benyttede poretrykksmålerne plassering i terrenget er heller ikke optimal for problemstillingen i denne oppgaven. Poretrykksmålerne for Nordlandsbaneprojektet er plassert langs jernbanen, på grunn av den tiltenkte bruken av målerne. Det gjør at de ikke er optimalt plassert med tanke på artesisk poretrykk og påvirkning fra andre faktorer. Vanntilførselsverdiene er valgt for cellene rett ved poretrykksmålerne og noen km vekk fra poretrykksmåleren på høye topper/fjellsider (Fig. 3.2, 3.6, 3.12, 3.16 og 3.21). Tanken bak er at vann vil infiltrere bakken og strømme ned mot poretrykksmålerne som står ved laveste punkt i området. Da kan en

eventuell økning i poretrykk være artesisk hvis vannet føres mot poretrykksmålerne i vannførende lag eller sprekker. Hvis det er mindre bekker/elver mellom områdene vanntilførselen registreres og poretrykksmålerne, kan dette føre til at vannet som infiltrerer bakken har utløp ved bekken istedenfor ved poretrykksmålerne. Slike bekker ser man ved Åsmulen (Øystre Folmerelva) (Fig. 3.6) og Eiterstraumen (Smådalsbekken) (Fig. 3.16). Vestfossen har ikke den samme problemstillingen, men det er bebyggelse og veier mellom de selekterte cellene med registrert vanntilførsel og poretrykksmålerne (Fig. 3.21). Når det er mange bygninger og et veinett med asfalt, kan man anta at rør, ledninger og annen infrastruktur i bakken, samt graving og fylling også vil utgjøre et problem.

Alle poretrykksmålerne utenom ved Gartland er plassert i nærheten av en elv da elva er et lavt punkt i terrenget, men også på grunn av tilhørighet til det originale prosjektet. Det gjør at poretrykket ikke bare kan være påvirket av nedbør og snøsmelting, men også vannføringen til den nærliggende elva. Man ser på tidsserieplottene for Nordlandsbanen-prosjektet (Fig. 5.1, 5.2, 5.3 og 5.4) at vannføringen svinger på samme måte som vanntilførselen. Det gjør at det blir vanskelig å vite om poretrykket øker på grunn av økning i vannføring eller på grunn av vanntilførsel. De poretrykksmålerparene der korrelasjonsverdiene er høyere for de dypeste poretrykksmålerne er alle installert i nærheten av en elv. I Åsmulen er FO2 15m fra elva (Fig. 3.6), i Eiterstraumen er SE25 30m fra elva (Fig. 3.16), og i Vestfossen er Pz8 kun 5 m fra elva (Fig. 3.21). Poretrykksmålerne er installert i en dybde slik at de enten er i samme høyde som elva eller dypere (Kap. 3). Det ene poretrykksmåler-paret i Gartland som har høyest korrelasjonsverdier for den øverste poretrykksmåleren, er det paret som ligger lengst unna en elv. Det kan tyde på at grunnen til en bedre korrelasjon for de dypeste poretrykksmålerne er påvirkning fra nærliggende elver, og ikke nødvendigvis vanntilførselen. Resultater som viser påvirkning fra elv er også funnet av Kenney og Lau (1984).

### 6.3 Fjerne verdier med null

For å minimere antall variabler som påvirker poretrykksvariasjonene, har det blitt fjernet alle verdier hvor vanntilførselen er null (Kap. 5.3). De periodene vanntilførselen

er fraværende varierer fortsatt poretrykket. Årsaken til variasjonene er flere, men en enkel ligning viser hva som kan påvirke poretrykksendringene:

$$\pm\Delta S = P - ET - S_R - G_R \quad (6.1)$$

$\Delta S$  er endring i lagring av vann i bakken og grunnvann, og vil føre til poretrykksendringer. Faktorer som påvirker poretrykket er da nedbør ( $P$ ), evapotranspirasjon ( $ET$ ), overflateavrenning ( $S_R$ ), og avrenning til grunnvann ( $G_R$ ). I xGeo brukes interpolasjonsmetoder for å beregne nedbøren ( $P$ ) basert på punktverdier. Det kan derfor være lokale nedbørsbygger som ikke blir registrert i xGeo, men bygene kan likevel føre til en økning i poretrykk. Økning av poretrykk kan også skyldes nærheten til elv og påvirkning fra elva som nevnt tidligere. Fordampning (evaporasjon) og transpirasjon som skyldes henholdsvis sol og vegetasjon, vil trekke ut vann fra bakken og kunne gi et lavere poretrykk. Det samme vil vann som dreneres bort med grunnvannet gjøre. I dette tilfellet vil overflateavrenningen være null da det er snakk om periodene mellom nedbørshendelser.

Ved å fjerne nullverdiene vil man kunne fjerne faktorer som det ikke er fokusert på i denne oppgaven. Korrelasjonsverdiene blir generelt høyere når nullverdiene fjernes, med unntak av Gartland (Tab. 5.3) og Vestfossen 2010 (Vedlegg D.15). Selv om korrelasjonsresultatet blir bedre, er ikke fjerning av nullverdiene nødvendigvis den beste metoden. Poretrykket har en treghet i systemet som gjør at tiden poretrykket bruker på å synke ikke er like kort som tiden vanntilførselen bruker. Derfor vil man fjerne poretrykksverdier som muligens kan være viktig å ha med i en korrelasjonssammenheng. Med bakgrunn i dette vil det være mer hensiktsmessig å ikke nødvendigvis ta vekk verdier med null, men bruke et utdrag av tidsserien hvor det er mange vanntilførselshendelser. Man vil da unngå å fjerne poretrykksverdier som burde være med, og man vil ha få dager hvor vanntilførselen er null. Det kan være av interesse å fjerne nullverdier for vanntilførsel, men la det være igjen noen dager etter toppen av en vanntilførselshendelse. Da kan da være mulig å bruke det store datasettet uten å ta et utdrag. Det ble ikke tid til å forsøke dette under arbeidet med denne oppgaven.

## 6.4 1 og 3 dagers verdier

Grunnen til valget av de to datatypene var å sammenligne vanntilførselshendelsen med en 200 års hendelse over 3 dager og 1 dag. Det ble valgt to typer verdier for å se hva som passet best (Kap. 5.6). Ved å se på tidsserieplottene vises det en forskjell mellom de to datatypene (Fig. 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, Vedlegg C.1, C.2, C.3, C.4, C.5 og C.6). 3 dagers verdiene har 3 ganger så stort areal under grafen som 1 dagers verdiene. Når prosentverdiene for både 1 og 3 dagers verdiene blir beregnet ut ifra 1 dag maksimum over 200 år, vil 3 dagers verdiene alltid få en større prosentandel enn 1 dagers verdiene. Det har vist seg fra resultatene at 3 dagers vanntilførselsverdier gir gjennomgående høyere korrelasjonsverdier med noen få unntak. Grunnen til dette kan være tregheten i poretrykksminkningen. 1 og 3 dagers verdiene har like rask økning, men 3 dagers verdiene vil bruke flere dager på å synke igjen sammenlignet med 1 dagers verdiene. Siden poretrykket også bruker noen dager på å synke etter en vanntilførselshendelse, vil det kunne gi høyere korrelasjonsverdier. Ut ifra dette tyder det på at 3 dagers verdier kan gi bedre resultater når det skal korreleres med poretrykksendringer. Det viser også at å kun fjerne verdier med null vanntilførsel kan fjerne viktige data.

## 6.5 Korrelasjonsmetode

Pearson korrelasjon viser om det er en lineær korrelasjon mellom poretrykk og vanntilførsel, mens Spearman korrelasjon viser om en økning/minskning i poretrykk viser til en økning/minskning i vanntilførsel som ikke trenger å være lineær. Resultatene viser at det er en lineær sammenheng mellom poretrykk og vanntilførsel, men det er også en ikke-lineær sammenheng (Kap. 5.4). Det kommer ikke tydelig frem om det enten er en lineær eller ikke-lineær trend i korrelasjonen, da resultatene varierer mellom de to typene. En mulig svakhet ved å bruke Pearson korrelasjon på poretrykk og vanntilførsel, er at poretrykket må øke/minke tilsvarende som vanntilførselen for at det skal bli en god korrelasjon. Det har vist seg at poretrykket reagerer ca. like raskt som vanntilførselen, men det er en treghet i systemet som gjør at spesielt minskningen av poretrykk tar lengre tid. Det kan føre til en dårligere korrelasjon. I tillegg er Pearson svak for uteliggere, noe som kan oppstå når man ser på vanntilførsel og poretrykk. En

uteligger kan derfor føre til en bedre korrelasjon enn det egentlig er. I retrospekt virker det derfor mest naturlig å bruke Spearman korrelasjon for å se sammenhengen, da det ikke nødvendigvis er en lineær korrelasjon. Uteleggere vil da ikke påvirke resultatet i like stor grad, og man kan da få et mer robust resultat.

## 6.6 Korrelasjonsverdiene

Det har vist seg at korrelasjonen mellom poretrykk og vanntilførsel ikke er veldig god med de korrelasjonsmetodene som er benyttet i denne oppgaven. For å få en god korrelasjon skal korrelasjonsverdiene være over  $r=0.8$  (Kap.2.5), noe som ikke er tilfelle. På det beste er korrelasjonsverdiene i kategorien "moderat god" (Kap. 5.8). Selv om korrelasjonsverdiene ikke er gode er det mulig å få mye informasjon ut fra resultatene når det er store datamengder og mange lokaliteter som kan sammenlignes. For de 6 lokalitetene er det 3 (Gartland, Åsmulen og Bjørnstad) som har den høyeste korrelasjonsverdien i en celle som ikke er der poretrykksmålerne er installert, og 2 (Eiterstraumen SE25 og Vestfossen) som har høyest korrelasjonsverdi der poretrykksmålerne er installert. Det er i tillegg Eiterstraumen RO01 som ikke har noen distinkt forskjell, hovedsakelig fordi cellene er veldig nære hverandre. Om man bare skulle basert seg på dette resultatet ville man anta at det er enkelte vannførende lag eller lignende som fører vann til poretrykksmålerne, som igjen kan skape et artesisk porevannstrykk. Som nevnt tidligere er det indikasjoner på at vannet infiltrerer fra topp ved poretrykksmålerne, men at det ikke kan utelukkes vannførende lag eller lignende. Om responstiden er troverdig er man avhengig av lag med veldig høy konduktivitet for å ha transport av vann i grunnen (Kap. 6.1). Plassering av poretrykksmålerne kan gjøre at poretrykket kan bli påvirket av vannføringen i nærliggende elver, og derfor gi en høyere korrelasjonsverdi. En høyere korrelasjonsverdi mellom poretrykk og vanntilførsel fra celler noen km vekk fra målerne, trenger med andre ord ikke å indikere vannførende lag.

Interpoleringen gjort i xGeo kan påvirke vanntilførselsverdien i de ulike cellene. Vanntilførselen er en sum av snøsmelting og nedbør. Når det er en usikkerhet i beregning av mengde snø som ligger på bakken, en usikkerhet i beregning av mengden vann som smelter fra snøen, en usikkerhet i måling i nedbør og til slutt en usikkerhet

i interpolering av de nevnte verdiene, vil den samlede usikkerheten bli større. Avstanden til nærmeste nedbørsmålestasjon er ulik for lokalitetene. Avstanden mellom poretrykksmålerne og nedbørsmålestasjonene for Gartland (Kap. 3.1), Åsmulen (Kap. 3.2), Bjørnstad (Kap. 3.3), Eiterstraumen SE25 (Kap. 3.4.1), Eiterstraumen RO1 (Kap. 3.4.2) og Vestfossen (Kap. 3.5) er henholdsvis 200m, 18km, 14km, 6km, 10.6km og 2.5km. Interpolering av nedbør er derfor avhengig av nedbørmålere som kan ligge et godt stykke fra poretrykksmålerne. Om fordelingen av vanntilførsel blir feil i forhold til de reelle verdiene, kan det gjøre utslag på resultatene slik at enkelte celler får for høye korrelasjonsverdier. Vanntilførselsverdiene i de ulike cellene er nesten like (hverandre). Derfor skal det lite feil til for å utgjøre en forskjell i korrelasjonen. Selv om den nærmeste nedbørmålestasjonen til Gartland kun er noen hundre meter fra poretrykksmålerne, kan Gartland være et slikt tilfelle. Korrelasjonen indikerer infiltrasjon av vann fra toppen, men den høyeste korrelasjonsverdien er med en celle 2 km vest for poretrykksmålerne. Målefeil kan forekomme i instrumentet og den interpolerte nedbøren er avhengig av flere nedbørmålere (Dingman, 2015).

Korrelasjonen er funnet å være høyest når det har blitt tatt et utdrag av tidsseriene der det er mange tilfeller med vanntilførsel. Resultatene fra responstiden viser at utdrag av tidsserien ikke nødvendigvis er den riktige metoden å bruke. Utdrag fra tidsserien viser enkelte poretrykksmålere med unaturlige høye responstider, spesielt ved Vestfossen der de øverste poretrykksmålerne får 9 dager responstid mens de dypeste får 0-1 dager. Det er mulig at dårlig datagrunnlag er grunnen til en slik forskjell. Grunnen kan også være at krysskorrelasjons-metoden for å finne responstiden kan være mangelfull. I tillegg kan det være at responstiden funnet i tidsserieplottene ikke er gode å sammenligne med, slik at de høye verdiene fra krysskorrelasjonen egentlig ikke er feil. Likevel viser treghet i økning og senkning av poretrykk, at utdrag av tidsseriene kan være å foretrekke blant de andre datasettene i denne oppgaven. En negativ effekt av å ta et utdrag fra datasettet er at mengden datapunkter vil gå ned, noe som kan føre til at statistikken blir svakere. For at resultatet skal være troverdig, bør antall datapunkter være større enn 25, noe som gjelder for alle tilfellene i denne oppgaven (Bonett og Wright, 2000). Det er mulig at en favorisering av spesifikke resultater kan forekomme, da det blir valgt hvor utdraget skal være. Utdraget kan også bli mer sårbart for feilmålinger. Poretrykksmålerne kan også ha feil



i instrumentet slik at det for eksempel kan måle feil i en periode. Om denne perioden blir valgt kan det gi feil resultatet. Enkeltfeil i resultatene vil kunne jevne seg mer ut om tidsserien er lengre.

Det er nødvendig å være varsom når man tolker korrelasjonsverdiene. Noe som kan påvirke resultatene i negativ retning slik at resultatet feiltolkes som bedre eller dårligere, er uteliggere. Enkelte verdier kan dra korrelasjonen i en retning som ikke representerer datasettet. Figur 5.8a fra Vestfossen med poretrykksmålere Pz7 kan muligens vise en slik effekt. Der er det to høye vanntilførselsverdier når poretrykket har ligget under gjennomsnittet. Det kan gjøre at en Pearson korrelasjon vil tvinges til å bli mer negativ/positiv enn den egentlig kanskje burde vært. Korrelasjonsresultatene viser også noen steder en relativ høy negativ korrelasjon (Tab. 5.5, 5.7 og Vedlegg D.14). Siden det er unaturlig at en økning i vanntilførsel skal gi et lavere poretrykk, er det valgt å se bort ifra disse resultatene. Likevel viser de negative verdiene at korrelasjonen ikke nødvendigvis er veldig sterk i enkelte tilfeller. Det kan bety at datasettene ikke er optimale å bruke for problemstillingen i denne oppgaven, eller at korrelasjonsmetodene burde forbedres slik at man kan få et sterkere statistisk resultat.

Det er blitt laget noen regresjonsmodeller for å se om korrelasjonen som er funnet er signifikant eller ikke (Kap. 5.9). Med den metoden for å lage regresjonsmodeller benyttet i denne oppgaven (Kap. 2.5.3), ville det vært veldig tidkrevende å lage regresjonsmodeller for alle vanntilførselsceller og poretrykksmålere. Derfor ble det kun kjørt på utvalgte datasett. Selv om korrelasjonen var lav i noen av regresjonsmodellene, viste modellen at korrelasjonen var signifikant (Kap. 5.9). Det vil si at endringene i poretrykk delvis kan forklares av vanntilførselen, men det er andre variabler som også påvirker poretrykksendringene (Boyle et al., 2009). Dette kan være variablene som ble beskrevet tidligere (Kap. 6.3). De to faktorene som antas å påvirke poretrykksendringene mest i tillegg til vanntilførsel, er solstråling og vannmetning i bakken. For lokalitetene i denne oppgaven er det indikasjoner på at påvirkning fra de nærliggende elvene, og vannføringen i disse, kan ha innvirkninger på poretrykksendringene.

De lave korrelasjonsverdiene kan muligens forklares av naturlige faktorer som påvirker poretrykksendringene. Høye poretrykksverdier ved lave vanntilførselsverdier eller ingen vanntilførsel kan enkelte ganger forklares av treghet i poretrykksendringene.

Poretrykket bruker ofte lengre tid å synke etter en vanntilførselshendelse. Det kan gjøre at poretrykket holder seg høyt selv om vanntilførselen blir lavere og til slutt blir null. Figur 5.6b kan være et eksempel på dette. En annen faktor som kan påvirke korrelasjonen slik at lave vanntilførselsverdier gir høyt poretrykk, er vannmetning. Om bakken er mettet vil poretrykket kunne bli høyt med en lav vanntilførselsverdi, og resultere i en dårlig korrelasjon. Man kan se i tidsserieplottene (Fig. 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, Vedlegg C.1, C.2, C.3, C.4, C.5 og C.6) at poretrykket til en viss grad blir noe påvirket av de store sesongvariasjonene i metningsgraden. Metningsgraden er brukt veldig lite i denne oppgaven og kunne med fordel blitt inkludert mer for å få et mer helhetlig bilde av andre faktorer som påvirker korrelasjonen til poretrykket og vanntilførselen.

## 6.7 Skredhendelsen i Opsvik

Skredhendelsen i Opsvik ble befart for å vurdere mulig utløsende årsak, og om den da muligens kunne være artesisk porevannstrykk. Resultatene fra befaringen viste at man ikke kan utelukke et eventuelt artesisk poretrykk. Nederst i sedimentpakken var det et lag med morenemateriale med et tett overliggende torvlag med mye røtter (Kap. 5.11). Porevannstrykket kan ha bygget seg opp og løftet store deler av løsneområdet opp fra berggrunnen slik at skjærmotstanden ble for lav (Ligning 2.2). Morenen kan ha fungert som et vannførende lag med svaberget som en tett bunn og torvlaget med mye røtter som et tett topplag. Strømning av vann kna også ha foregått i sjiktet mellom morene og svaberget. Ved nedbør og antatt høy metningsgrad har det vist seg at vann sildret ned mot løsneområdet, både nederst i sedimentpakken og fra torvlaget. Høy metningsgrad grunnet nedbør var også mest sannsynlig tilfellet under skredhendelsen, siden skredhendelsen skjedde etter en kraftig nedbørshendelse (N. Opsvik, Personlig kommunikasjon, 27.09.2018). Det er lite sannsynlig at vann har blitt transportert i sprekkesystemer da det var veldig få sprekker i gneisen. Om artesisk trykk skal være den utløsende årsaken, virker det mest sannsynlig at enten morenen eller sjiktet mellom morene og fjell kan fungere som et vannførende lag. Løsneområdet var svakt konkavt med en lavere helning enn transport-delen. Det kan ha ført til opphopning av vann mot en mulig terskel i helnings-sillet (Fig. 5.10). En videre konsentrering av vanntilførsel bakenfor løsneområdet (Fig.5.11) kan ha påvirket

vannstrømningen ytterligere, slik at vann har hopet seg opp raskere i løsneområdet.

Bare egenvekten av mettede løsmasser sammen med en ekstra tilførsel av vann, kan også ha utløst skredet. Torv var lokalisert i løsneområdet, og det har kapasiteten til å ta opp store mengder vann og derfor få en høy egenvekt. En konsentrering av vann kan ha skjedd ved hjelp av det svakt konkave løsneområdet, og det kan derfor ha løsnet et skred. Mektigheten til sedimentene var sannsynlig kun maks 70 cm, noe som gjør at et økt poretrykk ikke blir altfor stort. Dette viser at løsnemekanismen er vanskelig å bestemme basert på befaring flere år senere, men at man fortsatt ikke utelukke artesisk porevannstrykk som utløsningsmekanismen.

# Kapittel 7: Konklusjon

Målet med masteroppgaven var å se om det var mulig å korrelere lokale poretrykksdata med regionale vanntilførselsdata, og vinkle problemstillingen mot oppbygging av artesisk porevannstrykk. Det var forventet at korrelasjonen mellom lokale poretrykksdata og regionale vanntilførselsdata blir relativt god. Hovedfunnene er som følger:

- Korrelasjonsresultatene ble på det høyeste opp mot 0.7, men i snitt lå de fleste verdiene rundt 0.5-0.6 og 0.2. Det var derfor ingen av korrelasjonsresultatene som viste "god" korrelasjon.
- Regresjonsanalyse indikerer at selv om korrelasjonsverdiene er lave er korrelasjonen signifikant, og endringer i poretrykk blir påvirket av vanntilførselsverdiene. Noe som også tidsserie-plottene indikerer.
- For å kunne gjøre korrelasjonsanalyser på store datasett over store områder bør så mye relevante data som mulig beholdes i datasettet. Det holder ikke å bare fjerne data der vanntilførsel er fraværende.
- På grunn av mulig tap av viktige data bør det inkluderes noe data før og etter en vanntilførselshendelse. Man kan med denne metoden unngå å selektivt dele opp datasett for å ikke inkludere variabler som påvirker poretrykket mellom vanntilførselshendelser.
- Det kan være mulig å oppnå et bedre resultat med hyppigere poretrykksmålinger. Forbedringen vil dog være begrenset på grunn av oppløsningen på de regionale vanntilførselsverdiene.
- De variablene som antas å påvirke poretrykket mest generelt, er vannmetning i bakken og solinnstråling. Ved å finne ut hvor mye vannmetning og solinnstråling

påvirker poretrykket, kan det inkluderes i korrelasjonsanalysene slik at man kan få et "renere" bilde av hvordan vanntilførselen korrelerer med poretrykket.

- Det er sterke indikasjoner på at lokalitetene i denne oppgaven kan være påvirket av vannføringen i de nærliggende elvene. Det er derfor viktig i en senere anledning å plassere poretrykksmålere der det er mulig å unngå dette.

Korrelasjonsresultatene viser at det er vanskelig å komme med bastante konklusjoner om hvordan vanntilførsel korrelerer med poretrykksendringer. Det blir derfor en utfordring å skille mellom økning i poretrykk på grunn av infiltrasjon fra topp, og en økning på grunn av tilstrømning av vann i grunnen. Det er likevel mulig å bruke godt plasserte poretrykksmålere i ulik dybde, vanntilførsel fra ulike celler og sterkere korrelasjonsmetoder til å finne indikasjoner på artesisk porevannstrykk eller ikke. I tillegg kan riktig plassering av poretrykksmålere, både med hensyn til lokalitet og dyp, være et hjelpemiddel i lokal varsling av jordskredfare.

Det er ikke umulig at skredhendelsen i Opsvik, som ble befart med tanke på utløsning grunnet artesisk porevannstrykk, har blitt utløst av oppbygging av artesisk porevannstrykk. Mektigheten til sedimentene var ikke stor, men det er muligheter for at et trykk har bygget seg opp mellom det glatte svaberget og den tette torven slik at skjærmotstanden i løsmassene ble for lav.

# Kapittel 8: Forslag til videre arbeid

## 8.1 Forbedringer

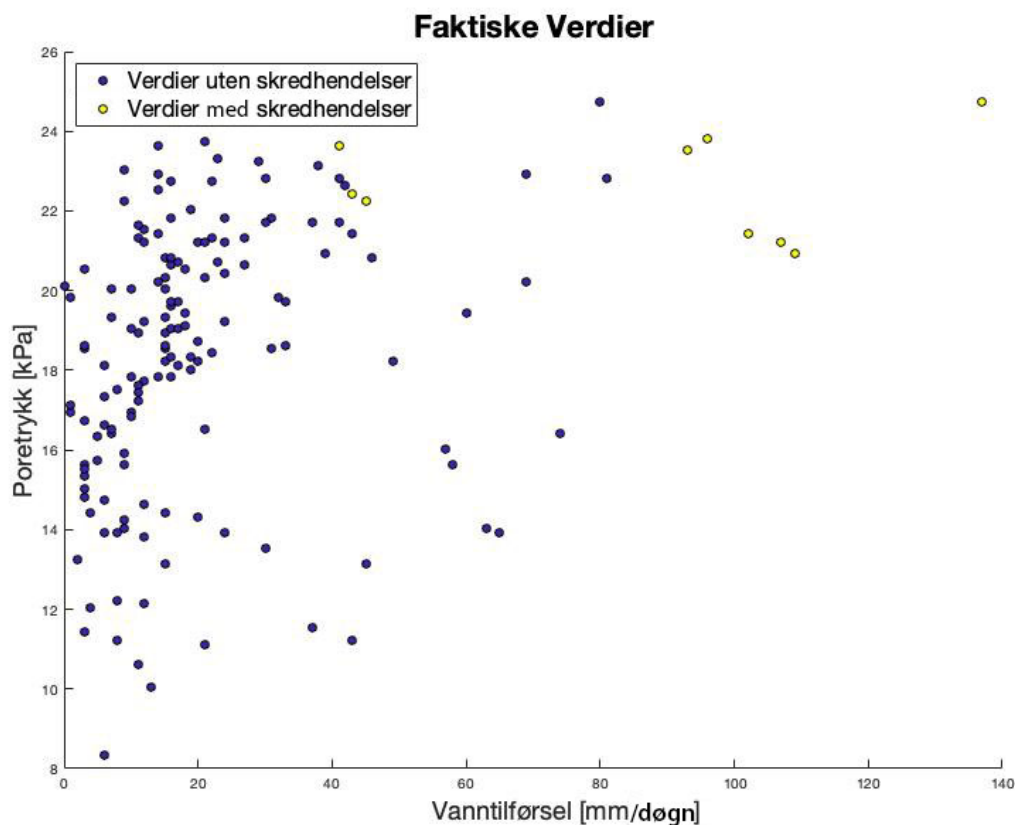
For å kunne komme med mer sikre konklusjoner om hvordan poretrykk korrelerer med vanntilførsel, kan det gjøres enkelte tiltak.

- Det har vist seg å være vanskelig å bruke datasett fra eksisterende prosjekter. For å unngå flest mulig faktorer som påvirker poretrykket og mulige strømningsveier for vanntilførselen, som for eksempel nærhet til elv, bør plasseringen av poretrykksmålere være nøye gjennomtenkt. Poretrykksmålerne kan med fordel plasseres i par hvor den ene er plassert ved bunnen av løsmassene mot berg, og den andre midt mellom topp og bunn. Da kan det være mulig å se om det er noen trykkforskjell mellom poretrykksmålerne og eventuelt skille mellom hvor vanntilførselen kan komme fra. Dernest kan man vurdere om poretrykksendringene er hydrostatisk eller artesisk.
- Det kan være en fordel å plassere poretrykksmålere i ulike settinger for å teste hvordan andre topografiske faktorer samt helninger og sedimenttyper påvirker poretrykksendringene. En siste del kan være å øke mengden data ved å øke hyppigheten av målinger for poretrykket. Da kan man få en bedre oppløsning og ikke miste mye data.
- Metoden korrelasjonen har blitt utført på har forbedringspotensialer. Det er en tidkrevende prosess å velge ut enkelt-celler og korrelere de med poretrykk og flere datatyper. Ved å automatisere prosessen i større grad, kan man dekke større områder og få en mindre grad av subjektive valg av hvilket område man skal korrelere poretrykket med.

## 8.2 Terskelverdier

En av mulighetene man får ved å bruke lokale poretrykksdata sammen med regionale vanntilførselsdata fra xGeo, er å finne terskelverdi for skred for å forbedre skredfarevurderingen. Ved Gartland er det gått tre skred i samme periode det ble målt poretrykk. Avstanden til skredhendelsene er noe usikker da skredobservasjoner er satt til å være "et sted på en gitt strekning", og kan derfor være lokalisert et godt stykke unna. Det kan likevel bli brukt til å visualisere mulighetene med terskelverdier.

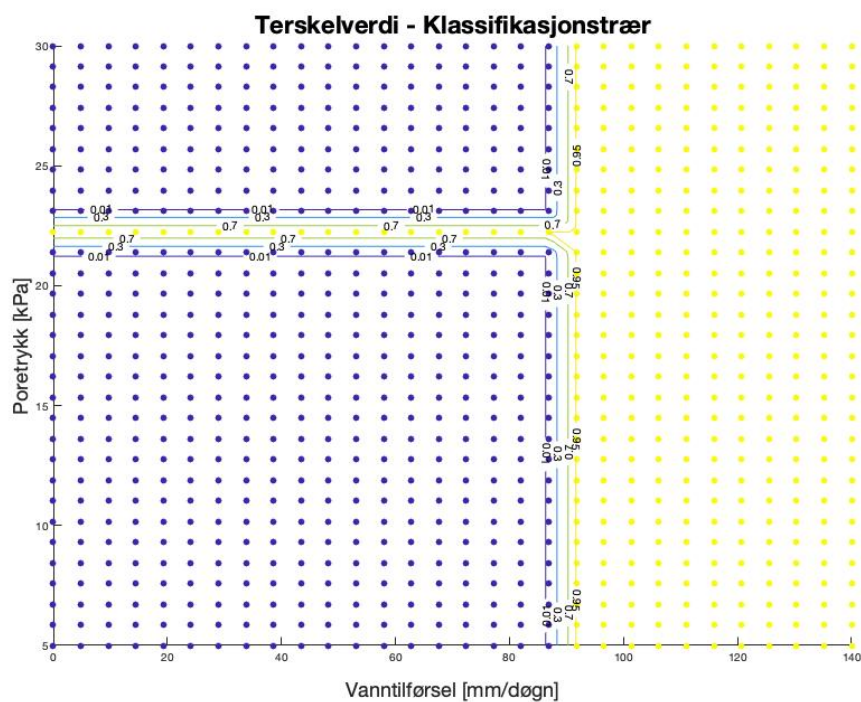
Datsettet som ble benyttet er fra Gartland, hvor poretrykksdata er fra poretrykksmåler NG7\_1 og vanntilførselsverdier er 3 dagers verdier fra celle 1005442 (3km vest for poretrykksmålerne). Datsettet ble i tillegg tilegnet verdiene 0 for dager der det ikke var skred, og 1 for dager det var skred, med dagen før og etter skredhendelsen. Det resulterte i 9 dager registrert som skred (Fig. 8.1).



Figur 8.1: Spredningsplott over datsettet som er blitt brukt til å lage en terskelverdi-modell. I blå er dager uten skredhendelse og i gult er dager med skredhendelse, inkludert dagen før og etter skredet.

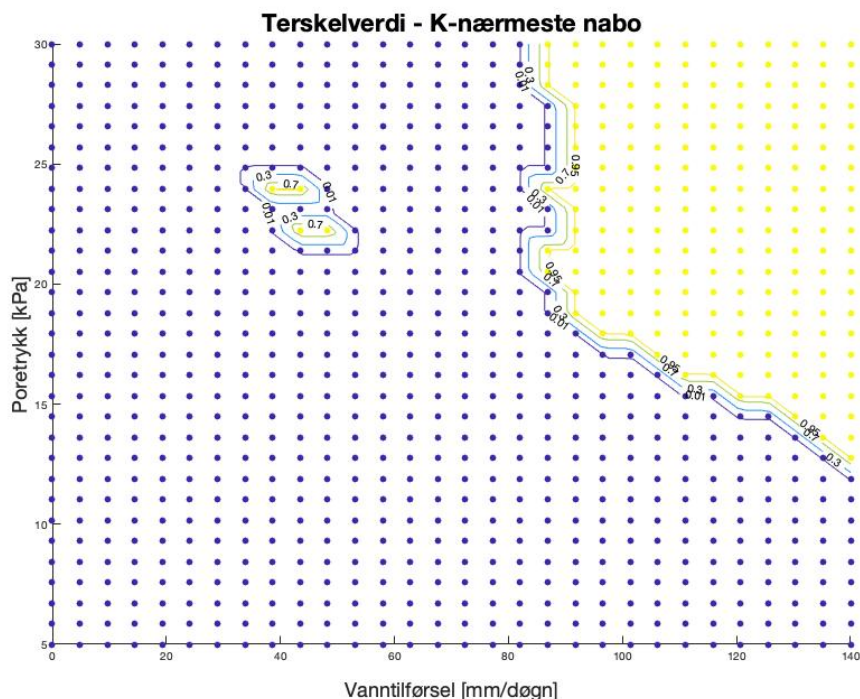
Ved å bruke "classification learner app" i Matlab, på det nevnte datsettet var det

mulig å lage en modell som kan predikere sannsynligheten for skred basert på et lignende datasett. Det ble produsert et lignende datasett slik at det var mulig å teste modellen og vise hvordan en terskel vil kunne være for dette tilfellet. Det ble benyttet to klassifiseringsmetoder til å lage to modeller, dette for å vise hvordan ulike modeller resulterer i ulikt resultat. Den ene modellen baserer seg på klassifikasjonstrær, og den andre på K - nærmeste nabo. Klassifikasjonstrær fungerer på en slik måte at ved hvert datapunkt blir det stilt et spørsmål (Breiman et al., 1984). Spørsmålet er i dette tilfellet om det er et skred (1) eller ikke-skred (0). Hvis datapunktet er en dag med skred, vil modellen "lære" at vanntilførselsverdien med tilhørende poretrykk kan føre til skred. "K - nærmeste nabo" er en metode som bruker et søkevindu i datasettet med en størrelse på k-antall naboer til å definere, i dette tilfellet hvilken del av skred/ikke-skred området verdien skal defineres som (Cover og Hart, 1967). Med k=1 vil det bli en terskelverdi hvis det er to skredhendelser som ligger ved siden av hverandre. En verdi på k=4, krever at det er 4 skredhendelser ved siden av hverandre (i fordelingsplottet) for at det skal bli en terskelverdi. For mer informasjon om fremgangsmåten for å lage terskelverdier, se Falck (2018). Nedenfor er de to terskelverdiene som resultat fra de to metodene (Fig. 8.2 og 8.3).



Figur 8.2: Resultatet fra klassifikasjonstre-modellen på et konstruert datasett. Figuren viser gule punkter som skred og blå punkter som ikke-skred. Tallene langs konturene i plottet angir sannsynlighet for skred.

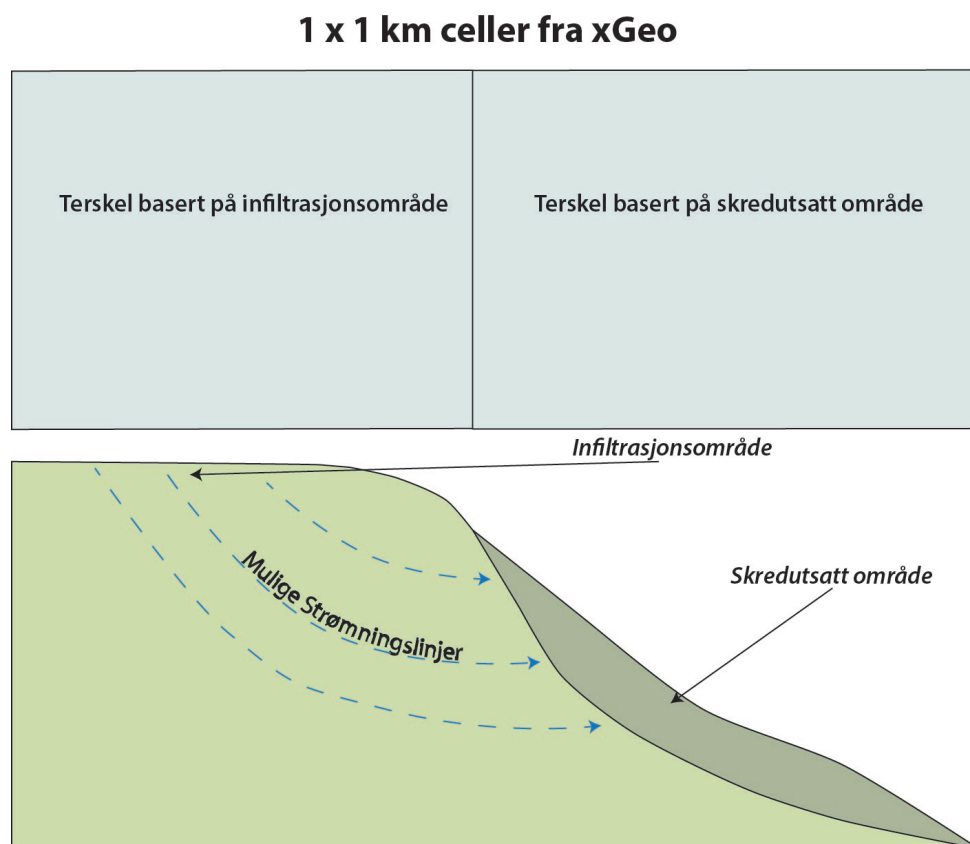




Figur 8.3: Resultatet fra K-nærmeste nabo modellen på et konstruert datasett. K-verdi som er brukt er i dette tilfellet  $k=1$ . Figuren viser gule punkter som skred og blå punkter som ikke-skred. Tallene langs konturene i plottet angir sannsynlighet for skred.

De to modellen viser noe ulikt resultat, men de grove trekkene kommer frem i begge to. Man kan observere i begge modellene at det oppstår en "hoved"-terskel og en "sekundær"-terskel, og sannsynligheten for skred øker drastisk fra 0.1% sannsynlighet til 95% sannsynlighet over et veldig kort område. I tillegg viser klassifikasjonstre-modellen at terskelverdien kun er avhengig av vanntilførsel, mens nærmeste nabo-modellen viser en viss avhengighet til både poretrykk og vanntilførsel. Grunnen til at modellen tolker alle de nevnte observasjonene slik er på grunn av lite input-data. Skredhendelsene som er merket på figur 8.1, er registrert inntil 7km fra poretrykkmåleren. Det kan føre til at modellen tolker en lav vanntilførselsverdi som en skredhendelse. Den brå overgangen i sannsynlighet kommer av for få skredhendelser. Ved kun 2 skredhendelser pluss 4 dager tilhørende disse hendelsene, er det ikke nok data til å gi et bedre estimat på sannsynlighet for skred. Den store usikkerheten i poretrykk kan også forklares av for få skredhendelser, men også generelt få verdier. Gyldighetsområdet til terskelverdiene vil også kun gjelde for øvre, høyre del av figurene. Det er også kanskje naturlig da høy vanntilførsel mest sannsynlig vil føre til høyt poretrykk.

Selv om det er store svakheter med de presenterte terskelverdiene, er det et potensial ved gode datasett og riktig tolkning av tersklene. Man kan se at begge metodene gir en terskelverdi på vanntilførsel rundt 83 mm/døgn, og poretrykket må være på minst 12 kPa. Det er muligheter for et bruksområde i et varslingsystem i en eventuell overvåkningssituasjon. Ved å ha en terskel for hvor mye vanntilførsel og hvor høyt poretrykket må være for skredutløsning, kan man varsle når verdiene nærmer seg terskelverdiene. Man kan da forbedre skredfarevurderingen ved å kombinere terskel fra skredutsatte områder, og terskel fra infiltrasjonsområder (Fig. 8.4)



Figur 8.4: Figuren illustrerer to celler fra xGeo som vil kunne bidra med to ulike terskler. Disse tersklene kan kombineres ved en skredfarevurdering.

For å forbedre terskelverdiene til å bli mer troverdig, er man avhengig av store datasett med flere skredhendelser enn i de to nevnte modellene. Det kan med fordel inkluderes andre faktorer som kan påvirke poretrykksendringene, noe som ikke er gjort her. Dette kan være faktorer som er diskutert tidligere (Kap. 6.3).

### 8.3 Multikriterieanalyse

Multikriterieanalyse blir mye brukt for å lage aktsomhetskart for skred. Flere romlige variabler blir kombinert for å lage et kart som viser hvor skredsansynligheten er størst. Om resultatene for korrelasjon mellom poretrykksøkning og vanntilførsel er solide og viser hvor det er mulighet for artesisk trykk, kan det eventuelt bli brukt som et kriterie i en multikriterieanalyse sammen med andre vist på figuren (Fig. 8.5).

Selected variable
REGINE unit area
Total upstream area
Total upstream runoff 1961-1990
Average runoff 1961-1990
Mean slope
Elevation range
Mean of elevation
Moraine material, non-continuous/thin
Weathered material, unspecified
Bare rock
Hetrogenous agricultural areas, mainly farmland and natural vegetation
Moors and heath land
Open space with little or no vegetation
Forests

Figur 8.5: Figuren viser et utsnitt av kriterier brukt i Devoli et al. (2019) for å lage et aktsomhetskart.

Om områder som er utsatt for artesisk poretrykk blir inkludert i en lignende multikriterieanalyse som er utført av Devoli et al. (2019), kan det som konkludert med i artikkelen, hjelpe til å forbedre faresonekartene til NVE og bidra i et EWS (Early warning system). Man er da avhengig at metoden for å korrelere poretrykk og vanntilførsel blir mer automatisert og mindre subjektiv.

# Bibliografi

- Andresen, A., Finborud, B., Knutson, Å., Rolfsen E., N., Rygg, K. og Senneset, K. (1989). *Veiledning for utførelse av dreietrykksondering*. Norsk Geoteknisk Forening, 3. utgave.
- Andresen, A., Finborud, B., Senneset, K., Rygg, N., Knutson, Å., Rolfsen, E. og Vold, R. C. (2017). *Veiledning for prøvetaking*. Norsk Geoteknisk Forening, 3. utgave.
- Barfod, E., Müller, K., Saloranta, T., Andersen, J., Orthe, N. K., Wartianen, A., Humstad, T., Myrabø, S. og Engeset, R. (2013). The expert tool XGEO and its applications in the Norwegian Avalanche Forecasting Service. *International Snow Science Workshop Grenoble*, side 7–11.
- Bargel, T. H. og Olsen, L. (1996). Grane, 1926 III. Kvartærgeologisk kart M 1:50 000, med beskrivelse. *NGU-Norges Geologiske Undersøkelse*.
- Bergstrøm, B. (1992). Harran, Kvartærgeologisk kart 1824 III - M 1:50 000, med beskrivelse. *NGU - Norges Geologiske Undersøkelse*.
- Bogaard, T. A. og Greco, R. (2016). Landslide hydrology: from hydrology to pore pressure. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 3(3):439–459.
- Bonett, D. G. og Wright, T. A. (2000). Sample size requirements for estimating Pearson, Kendall and Spearman correlations. *Psychometrika*, 65(1):23–28.
- Bonsaksen, M., Sandven, R., Augland, A., Kåsin, K., Bæverfjord, M., Eknes, A., Hagberg, K., Kirkevollen, V., Handberg, A., Handberg, R., Jønland, J., Rundmo, O. E., Tøndervik, V., Wangen, P. A. og Gylland, A. (2018). *Veiledning for utførelse av totalsondering*. Norges Geotekniske Forening, 2. utgave.
- Boyle, S., Karlsrud, K. og Høydal, Ø. A. (2009). Pore-pressure response in a marine clay slope in southeast Norway. *Canadian Geotechnical Journal*, 46(12):1391–1405.

- Breiman, L., Friedman, J. H., Olshen, R. A. og STONE, C. J. (1984). Classification and regression trees. *Wadsworth*.
- British Columbia (2019). Flowing artesian wells - Water stewardship information series. Fra: [http://www.env.gov.bc.ca/wsd/plan\\_protect\\_sustain/groundwater/flowing\\_artesian\\_wells.pdf](http://www.env.gov.bc.ca/wsd/plan_protect_sustain/groundwater/flowing_artesian_wells.pdf). [Internett; Hentet: 02.02.2019].
- Bæverfjord, M. G., Døssland, T., Sandven, R., Eknes, A., Hagberg, K., Handberg, A., Jønland, J., Nerland, Ø. og Rundmo, O. E. (2010). *Veiledning for utførelse av trykksondering*. Norges Geotekniske Forening, 4. utgave.
- Corder, G. W. og Foreman, D. I. (2014). *Nonparametric statistics: A step-by-step approach*. John Wiley & Sons. 288 s.
- Cover, T. M. og Hart, P. E. (1967). Nearest neighbor pattern classification. *IEEE transactions on information theory*, 13(1):21–27.
- Devoli, G., Bell, R. og Cepeda, J. (2019). Susceptibility map at catchment level, to be used in landslide forecasting, Norway. *NVE rapport*, 1(1):1–30.
- Devore, J. L. og Berk, K. N. (2012). *Modern mathematical statistics with applications*. Springer, andre utgave. 845 s.
- Dingman, S. L. (2015). *Physical hydrology*. Waveland press, 3. utgave. 643 s.
- Engeset, R. (2016). Hvordan lages vær- og snødata for seNorge.no og XGEO.no? Fra: <https://www.nve.no/>. [Internett; Hentet: 04.02.2019 ].
- Esri (2019). Informasjon om programvaren ArcMap. Fra: <https://www.esri.com/en-us/home>. [Internett; Hentet: 26.02.2019].
- Fagerhaug, A. K. (2019). Detaljert geomorfologisk kartlegging og modellering av løsmasseskred. Masteroppgave, Universitetet i Oslo. [Under arbeid].
- Falck, M. (2018). Hydrometeorologiske terskler for jordskred på lokal skala- Undersøkelser i Hornindal og Gudbrandsdalen. Masteroppgave, Universitetet i Oslo.

- Fossen, F., Pedersen, R. og Bergh, S. & Andersen, A. (2013). *Landet blir til - Norges geologi*, kapittel 6: En fjellkjede blir til, side 180–233. Norsk Geologisk Forening, 2. utgave.
- Hanssen-Bauer, I., Drange, H., Førland, E. J., Roald, L. A., Børsheim, K. Y., Hisdal, H., Lawrence, D., Nesje, A., Sandven, S., Sorteberg, A. et al. (2009). Klima i Norge 2100. *Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilpassing.*, Norsk klimasenter, Oslo, Norway, side 1–148.
- Hendrickx, J. M. H. og Flury, M. (2001). Uniform and preferential flow mechanisms in the vadose zone. *Conceptual models of flow and transport in the fractured vadose zone*, side 149–187.
- Hiscock, K. M. og Bense, V. F. (2014). *Hydrogeology - Principles and practice*. Wiley Blackwell, 2. utgave. 505 s.
- <http://www.xgeo.no/> (2019). xGeo- Samarbeid mellom NVE, Statens vegvesen, BaneNor, Metrologisk Institutt og Kartverket. Fra: <http://www.xgeo.no/>. [Internett; Hentet: 25.02.2019].
- Hungr, O., Leroueil, S. og Picarelli, L. (2014). The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, 11(2):167.
- Høeg, K. (2014). *Skred - skredfare og sikringstiltak*, kapittel 7 - Skredmekanismer og stabilitetsberegninger, side 139–163. Universitetsforlaget.
- Jaedicke, C., Solheim, A., Blikra, L. H., Stalsberg, K., Sorteberg, A., Aaheim, A., Kronholm, K., Vikhamar-Schuler, D., Isaksen, K., Sletten, K. et al. (2008). Spatial and temporal variations of Norwegian geohazards in a changing climate, the GeoExtreme Project. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8(4):893–904.
- Jansson, A., Tveito, O. E., Pirinen, P. og Scharling, M. (2007). NORDGRID—a preliminary investigation on the potential for creation of a joint Nordic gridded climate dataset. *Norwegian Meteorological Institute*, side 1–48. (DNMI Rapp. 03-2007).
- Jørstad, F. A. (1968). Leirskred I Norge. *Norsk Geografisk Tidsskrift - Norwegian Journal of Geography*, 22(3):214–219.

- Kartverket (2018a). Høyde DTM 10 - skyggekart. Fra: <https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/kartverket/hoyde-dtm-10-utm33-wms/c8b17673-e919-4800-8b3a-75d9152df890>. [Internett; Hentet: 26.12.2018].
- Kartverket (2018b). Norges grunnkart, tilgjengelig internettkart. Fra: <https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/kartverket/norges-grunnkart-wms/8ecaa2d5-8b0a-46cf-a2a7-2584f78b12e2>. [Internett; Hentet: 26.12.2018].
- Kenney, T. C. og Lau, K. C. (1984). Temporal changes of groundwater pressure in a natural slope of nonfissured clay. *Canadian Geotechnical Journal*, 21(1):138–146.
- Knappett, J. A. og Craig, R. F. (2012). *Craig's soil mechanics*. CRC Press, 8. utgave.
- Krøgli, I. K., Devoli, G., Colleuille, H., Boje, S., Sund, M. og Engen, I. K. (2018). The Norwegian forecasting and warning service for rainfall-and snowmelt-induced landslides. *Natural hazards and earth system sciences*, 18(5):1427–1450.
- Langsholt, E. og Beldring, S. (2015). HBV-Modellen. Fra: <https://www.nve.no/hydrologi/analysemetoder-og-modeller/hbv-modellen/>. [Internett; Hentet: 25.02.2019].
- L'Heureux, J.-S. (2013). Vurdering av kartleggingsgrunnlaget for kvikkleire i strandsonen. Rapport 20120754-01-R, Statens Vegvesen, Norges vassdrag- og energidirektorat, og Jernbaneverket.
- McKillup, S. (2011). *Statistics explained: an introductory guide for life scientists*. Cambridge University Press, 2. utgave. 396 s.
- Mohr, M. og Tveito, O. E. (2008). Daily temperature and precipitation maps with 1 km resolution derived from Norwegian weather observations. I *Proceedings 13th Conference on Mountain Meteorology/17th Conference on Applied Climatology*, side 11–15.
- Moore, D. S., McCabe, G. P. og Craig, B. A. (2014). *Introduction to the practice of statistics*, volume 95. WH Freeman and Company, 8. utgave. 718 s.
- NGI (2010). Field monitoring of quick clay slope 2010. Rapport 20100136-00-2-R, .

- NGI (2015). Kartlegging av løsmassestabilitet Grong - Mosjøen. Rapport 20120665-07-R, .
- NGI (2016a). Kartlegging av løsmassestabilitet Grong - Mosjøen. Rapport 20120665-02-R, .
- NGI (2016b). Kartlegging av løsmassestabilitet Grong - Mosjøen. Rapport 20120665-04-R, .
- NGI (2019). Laboratorieforsøk på løsmasseprøver. Fra: <https://www.ngi.no/nor/Tjenester/Fagekspertise-A-AA/Geoteknisk-laboratorium/Laboratorieforsok-paa-loesmasseproever>. [Internett; Hentet: 25.02.2019].
- NGU-Norges Geologiske Undersøkelse (2018). Karttjenester, Nedlastbare og tilgjengelige internettkart. Fra: <http://www.ngu.no/emne/karttjenester>. [Internett; Hentet: 26.12.2018 ].
- NVE (2019a). Nedbørsfelt(REGINE). Fra: <https://www.nve.no/karttjenester/kartdata/vassdragsdata/nedborfelt-regine/>. [Internett; Hentet: 05.01.2019], Norges Vassdrag og Energidirektorat.
- NVE (2019b). NEVINA - Nedbørsfelt-Vannføring-Indeks analyse. Fra: <http://nevina.nve.no/>. [Internett; Hentet: 16.01.2019], Norges Vassdrag og Energidirektorat.
- NVE (2019). Norges vassdrag og energidirektorat sine hjemmesider. Fra: <https://www.nve.no/>. [Internett; Hentet: 26.02.2019].
- Olsen, O., Saurin, K. og Wenaas, S. (2015). Nedbørsintensitet og grunnvannsnivå ved utløsning av jordskred 15/16. november 2013 ved Anestølen. Bachelor-oppgave, Høgskolen i Sogn og Fjordane.
- Øydvin, E. K., Devoli, G., Bargel, T., Wiig, T., Taurisano, A., Berg, H., Eikenæs, O., Lyche, E., Fergus, T. og Kvakland, M. R. (2011). Plan for skredfarekartlegging—Status og prioriteringer innen oversiktskartlegging og detaljert skredfarekartlegging i NVEs regi. *NVE report*, side 85.
- Persson, H. (2008). *Estimation of pore pressure levels in slope stability calculations: analyses and modelling of groundwater level fluctuations in confined aquifers along the Swedish west coast*. Chalmers University of Technology. 123s.



- Roberts, D. (1997). Grong, Geologisk kart over Norge. Berggrunnsgeologisk kart, M 1:250 000. NGU-Norges Geologiske Undersøkelse.
- Sandersen, F. (2014). *Skred - skredfare og sikringstiltak*, kapittel 4 - Løsmasse og flomskred, side 77–93. Universitetsforlaget.
- Sandven, R. (2016). Trykksondering med poretrykksmåling (CPTU) - Forberedelser, utførelse og kontroll. *Norges Geotekniske Undersøkelse*. PowerPoint presentasjon - NGF kurs Praktisk grunnboring, Drammen.
- Sheskin, D. J. (2003). *Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures*. crc Press. 1193 s.
- Sletten, K., Stalsberg, K. og Rubensdotter, L. (2015). Jordskred og flomskred. Fra: <https://www.ngu.no/emne/jordskred-og-flomskred>. [Internett; Hentet: 02.04.2019].
- Smith, K. (2013). *Environmental hazards: assessing risk and reducing disaster*. Routledge, 6. utgave. 478s.
- Vorren, T. O. og Mangerud, J. (2013). *Landet blir til - Norges geologi*, kapittel 15: Istider kommer og går, side 494–547. Norsk Geologisk Forening, andre utgave.
- Wieczorek, G. F. (1996). *Landslides: investigation and mitigation.*, volume 247, kapittel : 4 - Landslide triggering mechanisms, side 76–90. National Academy Press.
- Winkler, E. M. (1988). Weathering of crystalline marble. I *The engineering geology of ancient works, monuments and historical sites: preservation and protection, proceedings of an international symposium organized by the Greek National Group of IAEG, Athens, 19-23 September 1988*, volume 2, side 717–721.
- www.skrednett.no (2019). Skredregistrering og skredhendelser fra NVE. Fra: [www.skrednett.no](http://www.skrednett.no). [Internett; Hentet: 26.02.2019].
- www.yr.no (2019a). Gartland målestasjon, Været som var. Fra: [https://www.yr.no/sted/Norge/Tr%C3%B8ndelag/Grong/Gartland\\_m%C3%A5lestasjon/statistikk.html](https://www.yr.no/sted/Norge/Tr%C3%B8ndelag/Grong/Gartland_m%C3%A5lestasjon/statistikk.html). [Internett; Hentet: 04.01.2019].

www.yr.no (2019b). Hokksund målestasjon, Været som var. Fra: [https://www.yr.no/sted/Norge/Buskerud/%C3%98vre\\_Eiker/Vestfossen/statistikk.html](https://www.yr.no/sted/Norge/Buskerud/%C3%98vre_Eiker/Vestfossen/statistikk.html). [Internett; Hentet: 04.01.2019].

www.yr.no (2019c). Klimastatistikk for Norge. Fra: <https://www.yr.no/sted/Norge/klima.vinter.html>. [Internett; Hentet: 04.01.2019].

www.yr.no (2019d). Majavatn målestasjon, Været som var. Fra: <https://www.yr.no/sted/Norge/Nordland/Grane/Majavatn/statistikk.html>. [Internett; Hentet: 17.01.2019].

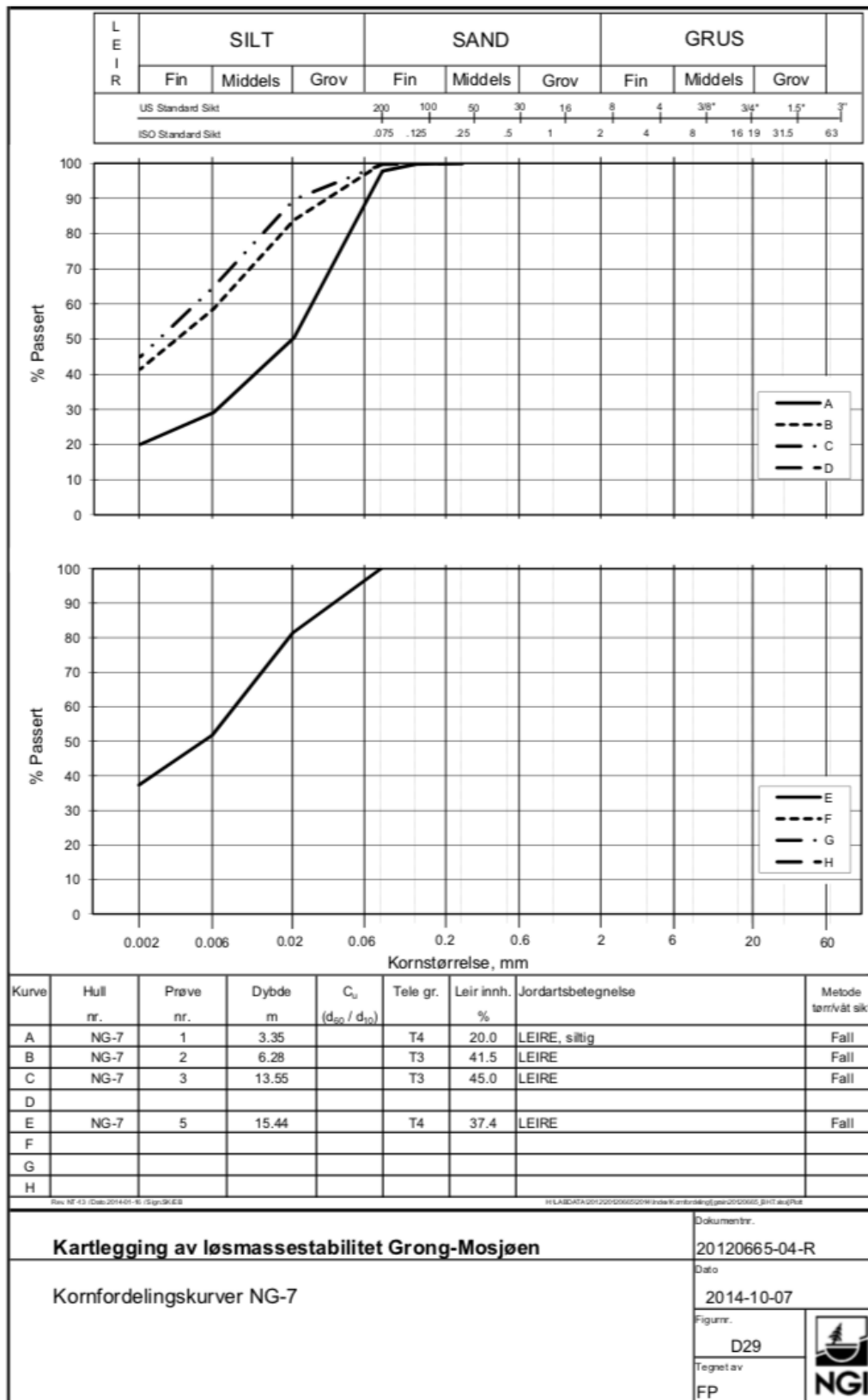
# Vedlegg

## A Tegnforklaring til løsmassekart

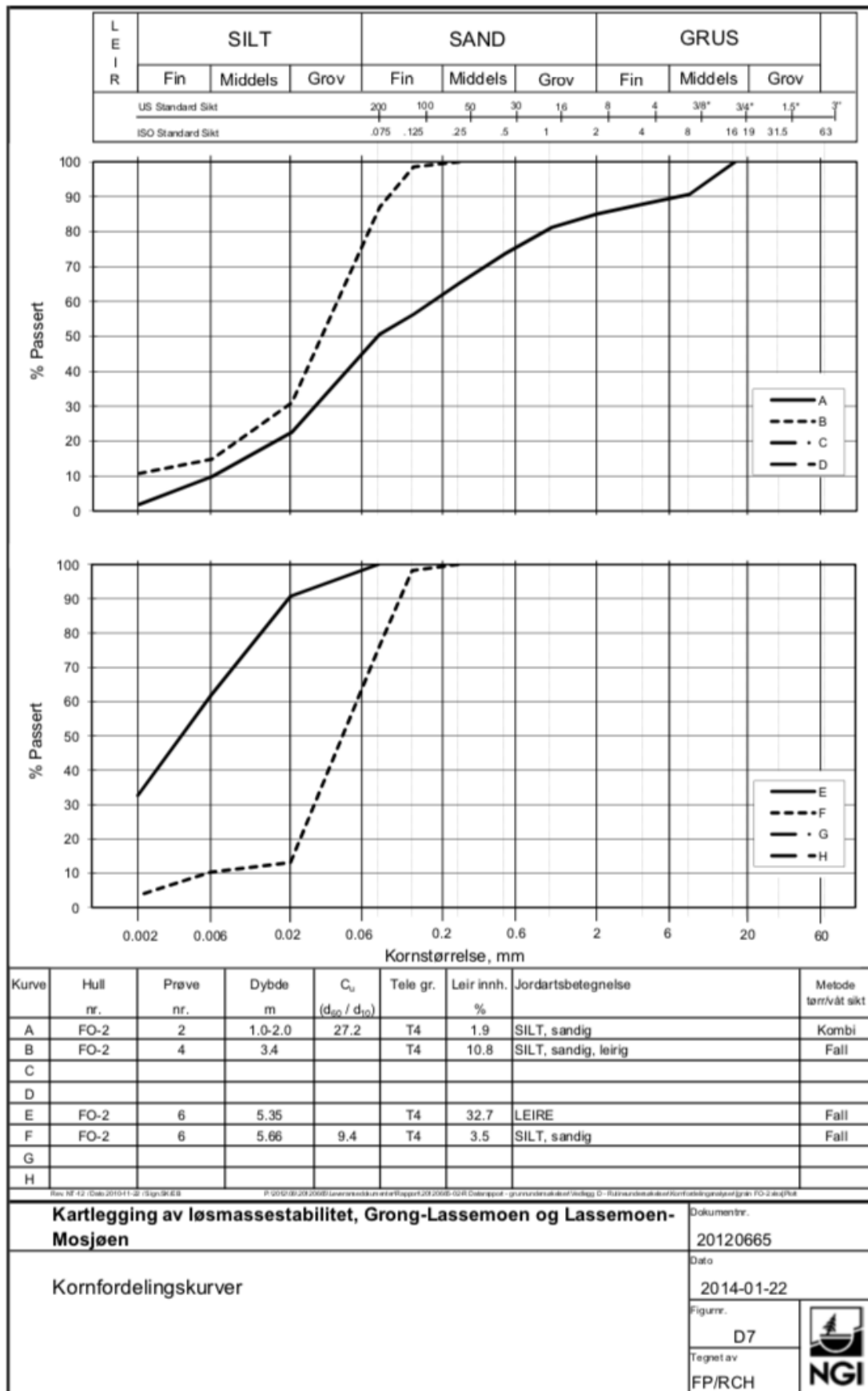
<p>Løsmasser/berggrunn under vann, uspesifisert</p> <p>Morenemateriale, uspesifisert</p> <p>Morenemateriale, sammenhengende eller tynt dekke over berggrunnen</p> <p>Morenemateriale, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet</p> <p>Rogenmorene</p> <p>Randmorene/randmorenebelte</p> <p>Moreneleire</p> <p>Drumlin</p> <p>Avsmeltningsmorene (Ablassjonsmorene)</p> <p>Innsjøavsetning (Lakustrin avsetning)</p> <p>Bresjø-/brekammer og innsjøavsetning (Glasilakustrin og lakustrin avsetning)</p> <p>Elveavsetning, sammenhengende dekke</p> <p>Elveavsetning, usammenhengende/tynt dekke</p> <p>Elve- og bekkeavsetning (Fluvial avsetning)</p> <p>Strandavsetning innsjø og/eller bresjø</p> <p>Breelv- og elveavsetning</p> <p>Breelv- og bresjø-/brekammeravsetning (Glasifluvial og glasilakustrin avsetning)</p> <p>Bresjø-/eller brekammeravsetning (Glasilakustrin avsetning)</p> <p>Flomavsetning (uspesifisert)</p> <p>Flomavsetning, sammenhengende dekke</p> <p>Flomavsetning, usammenhengende/tynt dekke</p> <p>Vindavsetning (Eolisk avsetning)</p> <p>Ryggformet breelvavsetning (Esker)</p> <p>Breelvavsetning (Glasifluvial avsetning)</p> <p>Haugformet breelvavsetning (Kame)</p> <p>Hav- og fjordavsetning og strandavsetning, usammenhengende eller tynt dekke over berggrunnen</p> <p>Hav- og fjordavsetning, uspesifisert</p> <p>Hav- og fjordavsetning, sammenhengende dekke, ofte med stor mektighet</p> <p>Marin strandavsetning, sammenhengende dekke</p> <p>Skjellsand</p> <p>Marin gyttje</p> <p>Forvittringsmateriale, ikke inndelt etter mektighet</p> <p>Forvittringsmateriale, sammenhengende dekke</p> <p>Forvittringsmateriale, usammenhengende eller tynt dekke over berggrunnen</p>	<p>Forvittringsmateriale, stein- og blokkrikt, dannet ved frostsprengning</p> <p>Steinbreavsetning</p> <p>Bart fjell/fjell med tynt torvdekke, uspesifisert</p> <p>Bart fjell</p> <p>Bart fjell/fjell med usammenhengende eller tynt løsmassedekke</p> <p>Usammenhengende eller tynt løsmassedekke over berggrunnen, flere løsmassetyper, uspesifisert</p> <p>Humusdekketynt torvdekke over berggrunn</p> <p>Sammenhengende løsmassedekke av flere jordarter.</p> <p>Torv og myr (Organisk materiale)</p> <p>Steinrikt sigende skråningsmateriale</p> <p>Finkornig organiskholdig sigejord</p> <p>Fyllmasse (antropogent materiale)</p> <p>Steintipp</p> <p>Menneskepåvirket materiale, ikke nærmere spesifisert</p> <p>Leirskredavsetning, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet</p> <p>Leirskredavsetning, usammenhengende eller tynt dekke over berggrunnen</p> <p>Fjellskredavsetning, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet</p> <p>Fjellskredavsetning, usammenhengende eller tynt dekke</p> <p>Steinsprangavsetning, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet</p> <p>Steinsprangavsetning, usammenhengende eller tynt dekke</p> <p>Snøskredavsetning, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet</p> <p>Snøskredavsetning, usammenhengende eller tynt dekke</p> <p>Jordskredavsetning, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet</p> <p>Jordskredavsetning, usammenhengende eller tynt dekke</p> <p>Fjellskred-/steinsprangavsetning, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet</p> <p>Fjellskred-/steinsprangavsetning, usammenhengende eller tynt dekke</p> <p>Snø- og jordskredavsetning, sammenhengende dekke</p> <p>Snø- og jordskredavsetning, usammenhengende eller tynt dekke</p> <p>Jordskred- og steinsprangavsetning, sammenhengende dekke</p> <p>Jordskred- og steinsprangavsetning, usammenhengende eller tynt dekke</p> <p>Skredmateriale, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet</p> <p>Skredmateriale, usammenhengende eller tynt dekke over berggrunnen</p> <p>Skredmateriale, ikke inndelt etter mektighet</p>
--	--

Figur A.1: Legende tilhørende til løsmassekart

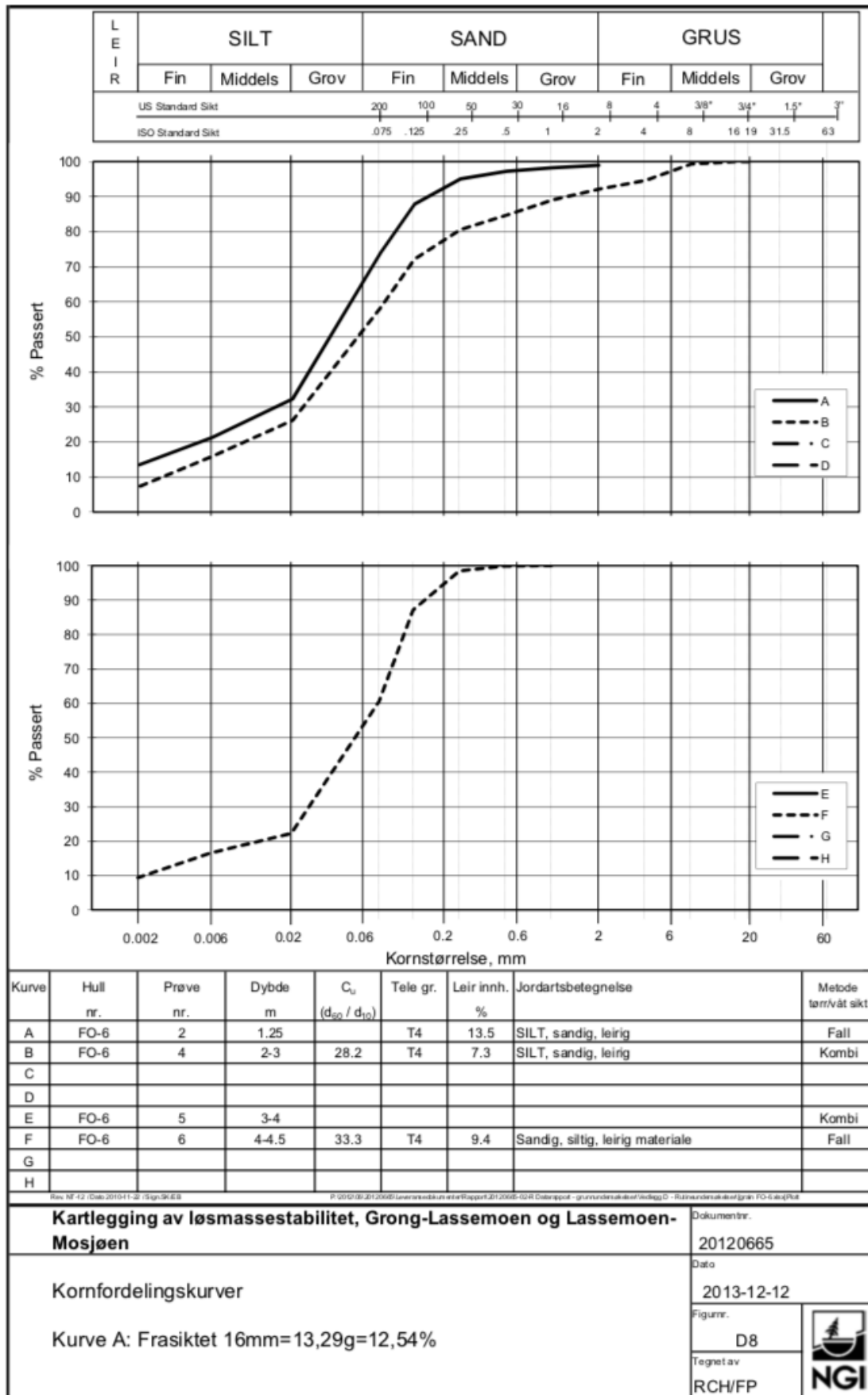
## B Kornfordelingsanalyser



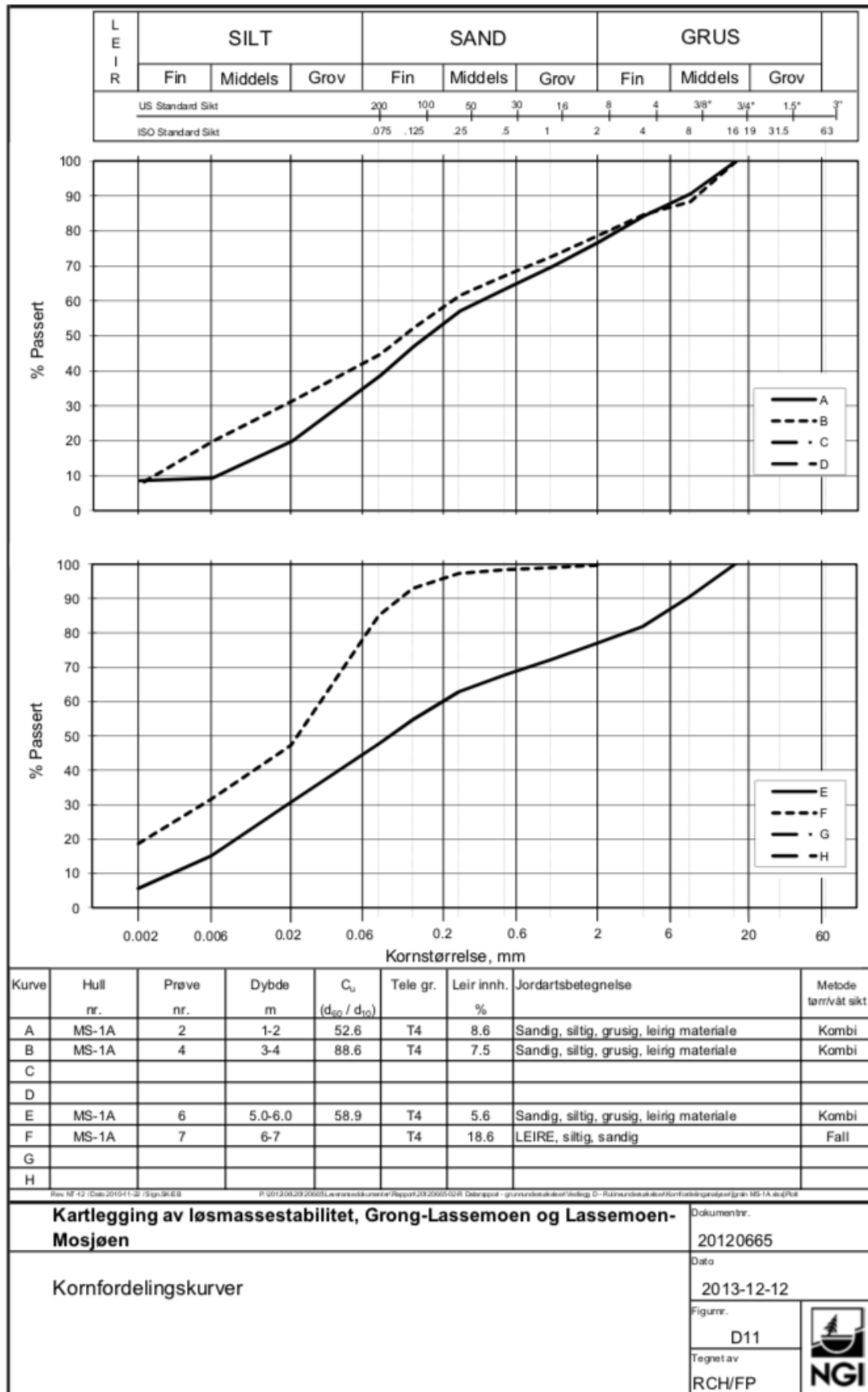
Figur B.1: Kornfordelingsanalyse av jordprøver tatt opp samtidig som poretryksmåler ble installert ved Gartland.



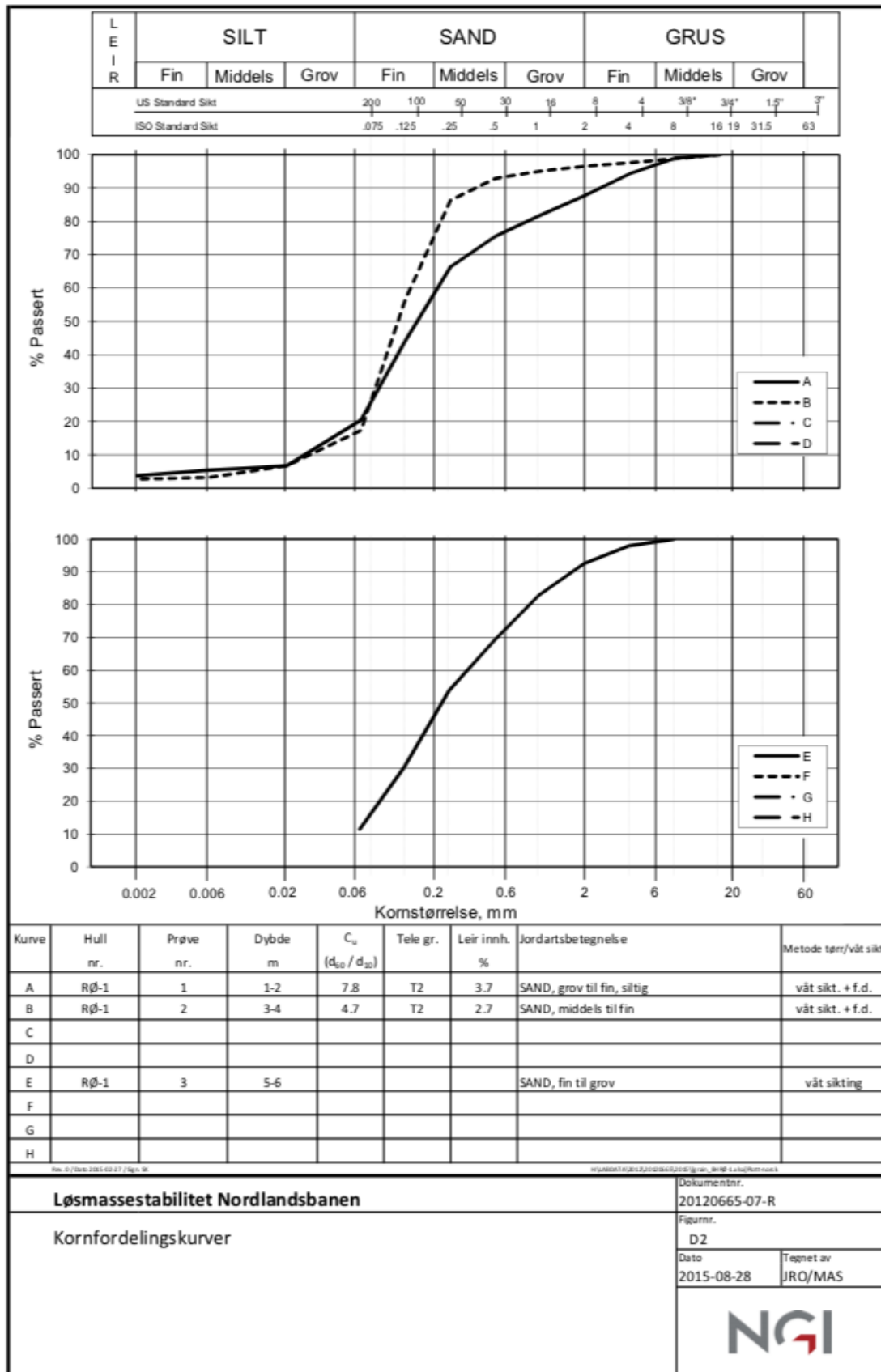
Figur B.2: Kornfordelingsanalyse av jordprøver tatt opp samtidig som poretrykksmålere ble installert ved Åsmulen.



Figur B.3: Kornfordelingsanalyse av jordprøver tatt opp samtidig som poretryksmåler ble installert ved Åsmulen.



Figur B.4: Kornfordelingsanalyse av jordprøver tatt opp samtidig som poretryksmåler ble installert ved Bjørnstad.

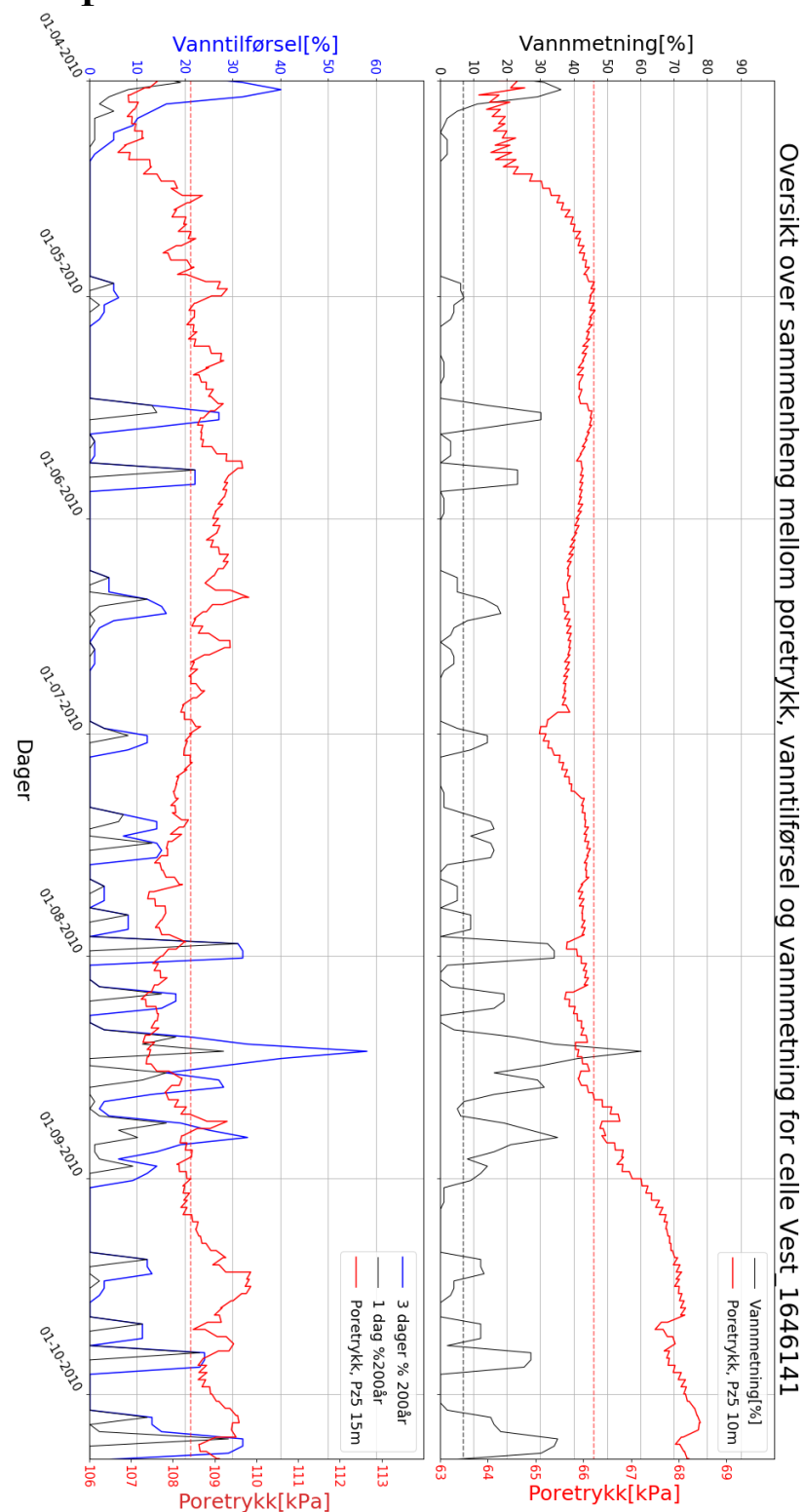


Figur B.5: Kornfordelingsanalyse av jordprøver tatt opp samtidig som poretryksmåler RO1 ble installert ved Eiterstraumen.

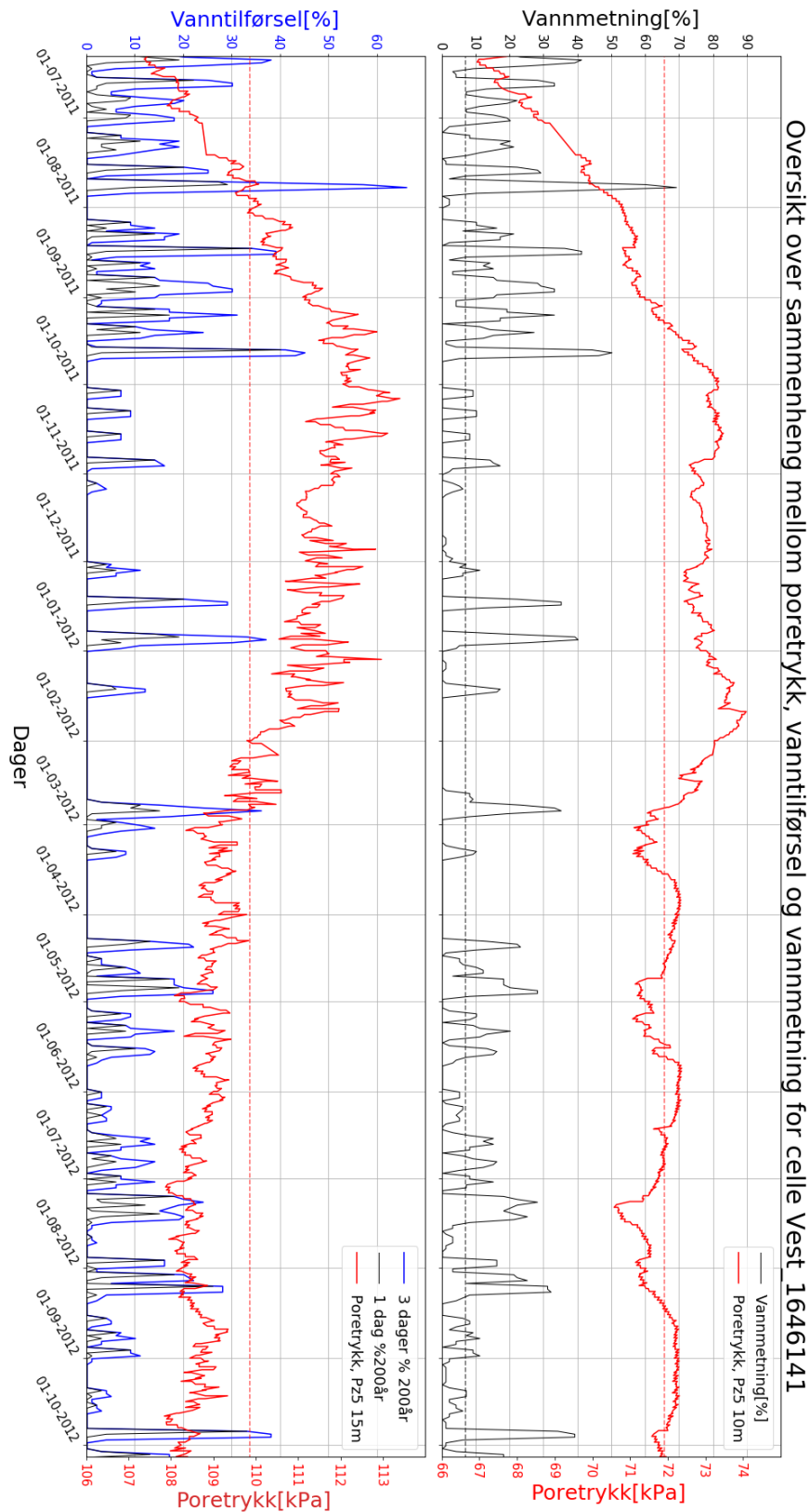




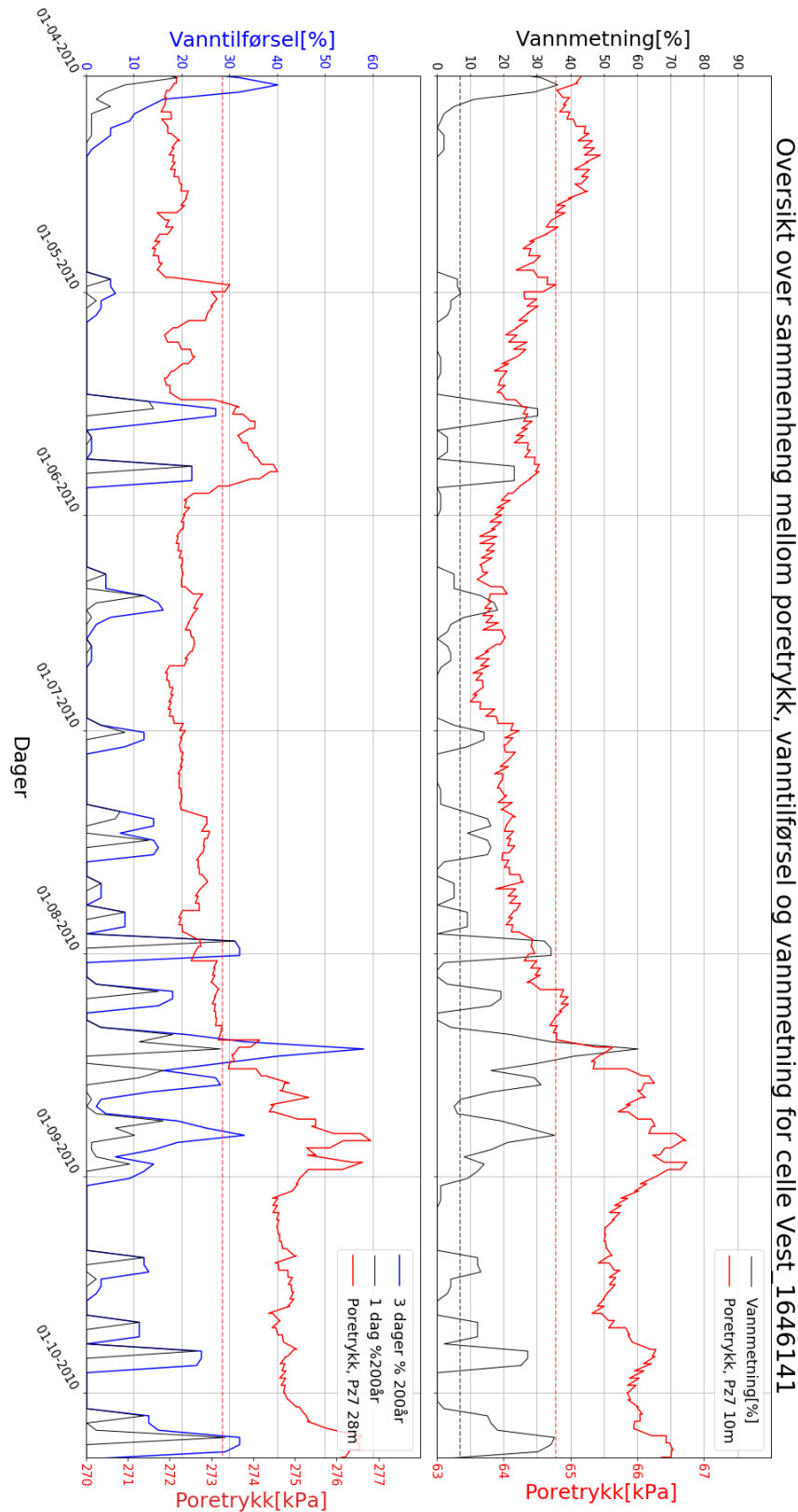
## C Tidsserieplot



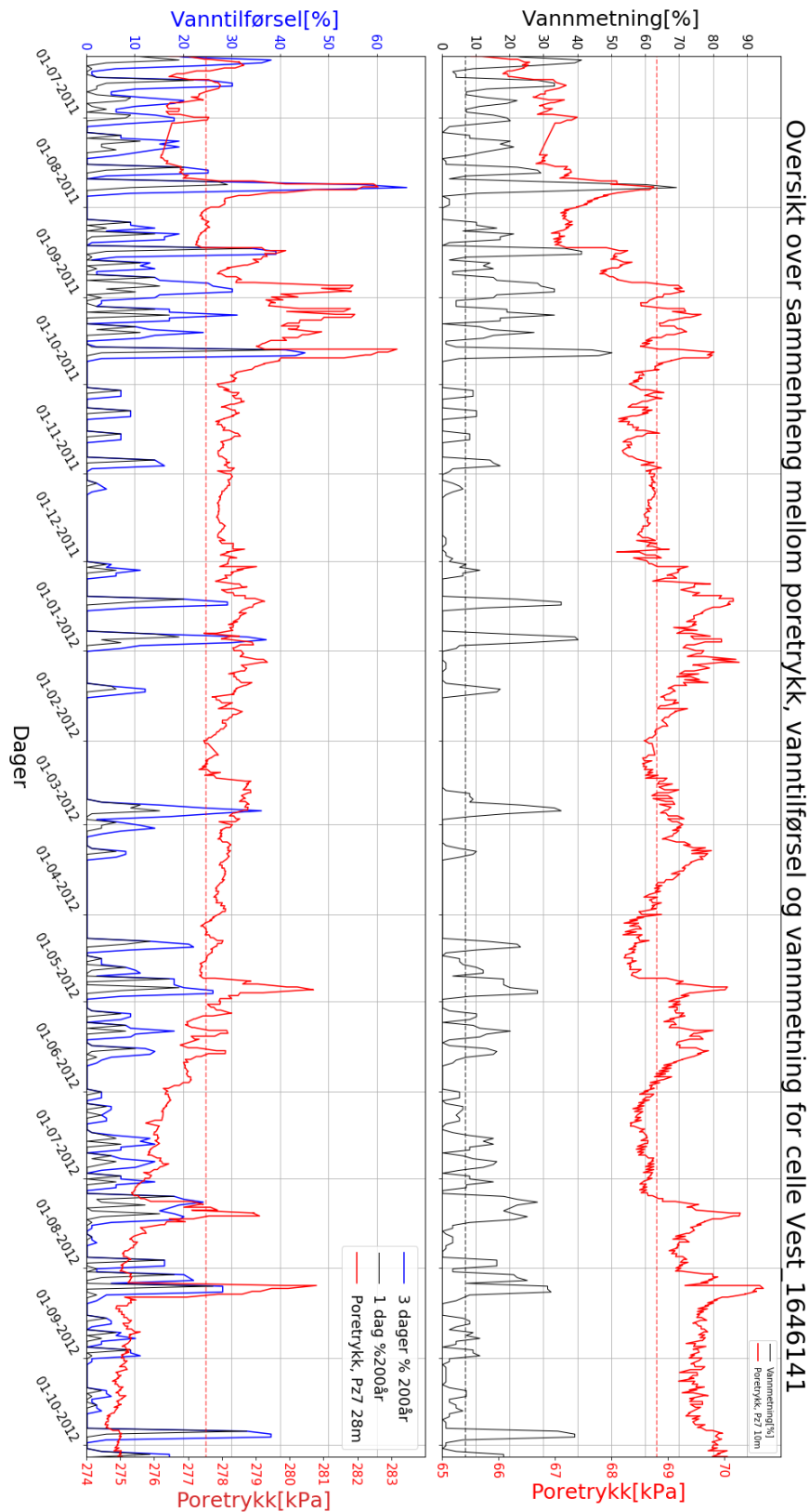
Figur C.1: Figuren viser tidsserien for 2010 for celle 1646141 som blir brukt til å gjøre korrelasjoner for poretrykksmålerne Pz5 10m og Pz5 15m på Vestfossen. Høyre del av figuren viser poretrykksmåleren Pz5 10m i heltrukken linje, og gjennomsnittet til den samme poretrykksmålerne i striplet linje med samme farge. Vannmetningen til samme celle som poretrykksmålerne ligger i er også inkludert. Den venstre delen av figuren viser den nederste poretrykksmåleren Pz5 15m i heltrukken linje, og gjennomsnittet til den samme poretrykksmålerne i striplet linje med samme farge. Den viser også vanntilførselsverdier for 1 og 3 dager.



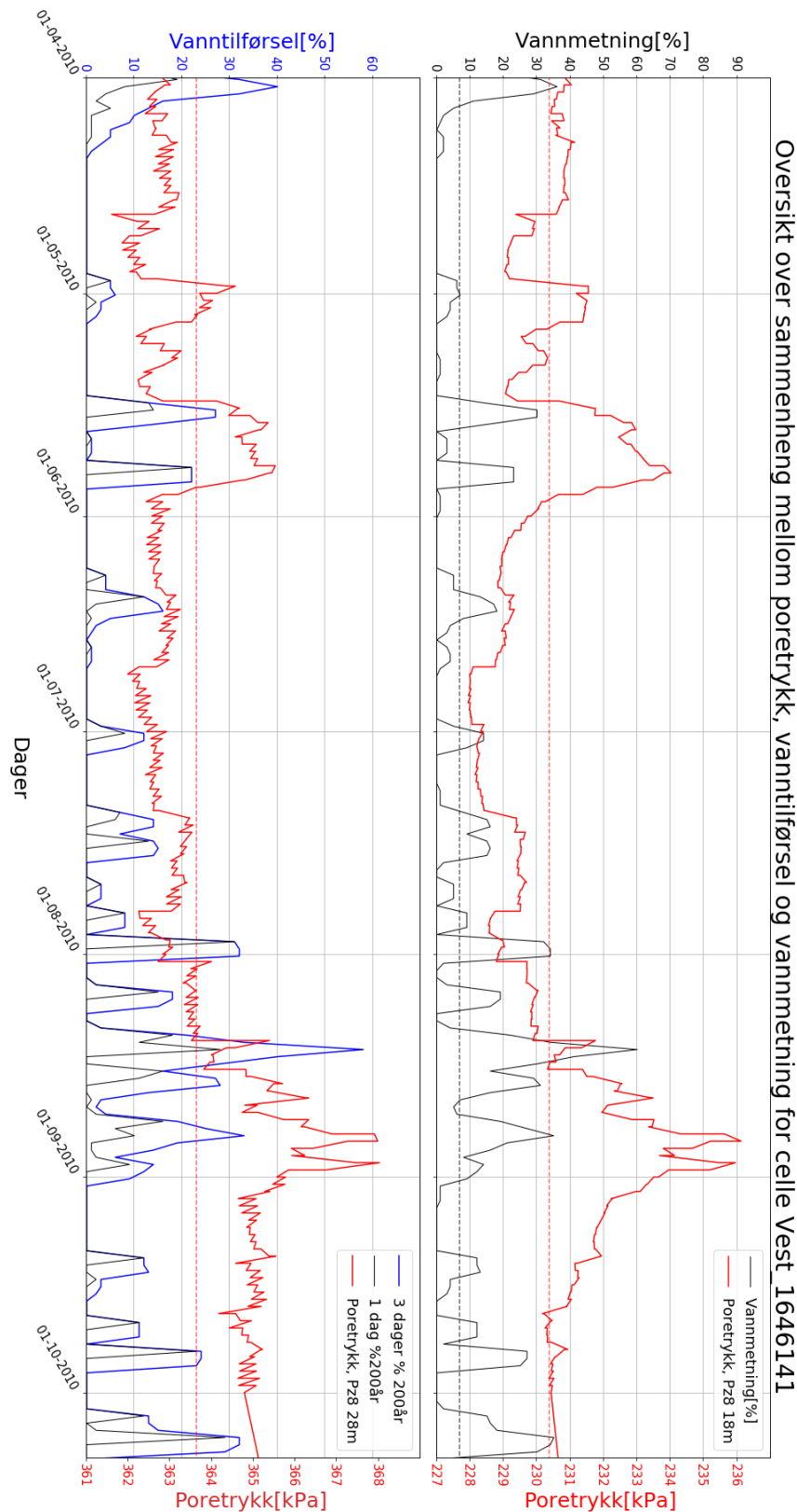
Figur C.2: Figuren viser tidsserien for 2011-2012 for celle 1646141 som blir brukt til å gjøre korrelasjoner for poretrykksmålerne Pz5 10m og Pz5 15m på Vestfossen. Høyre del av figuren viser poretrykksmåleren Pz5 10m i heltrukken linje, og gjennomsnittet til den samme poretrykksmålerne i striplet linje med samme farge. Vannmetningen til samme celle som poretrykksmålerne ligger i er også inkludert. Den venstre delen av figuren viser den nederste poretrykksmåleren Pz5 15m i heltrukken linje, og gjennomsnittet til den samme poretrykksmålerne i striplet linje med samme farge. Den viser også vanntilførselsverdier for 1 og 3 dager.



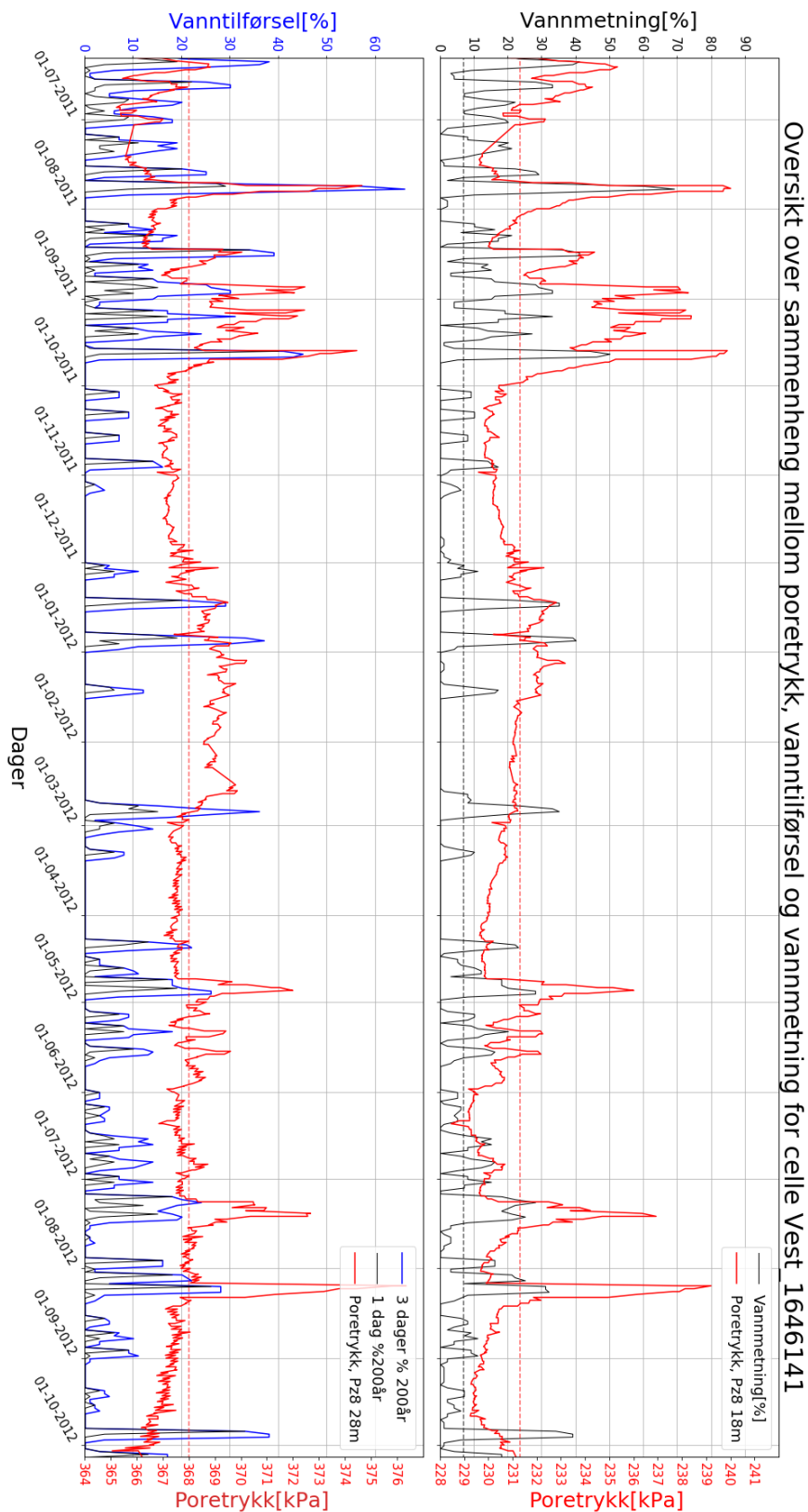
Figur C.3: Figuren viser tidsserien 2010 for celle 1646141 som blir brukt til å gjøre korrelasjoner for poretrykksmålerne Pz7 10m og Pz7 28m på Vestfossen. Høyre del av figuren viser poretrykksmåleren Pz7 10m i heltrukken linje, og gjennomsnittet til den samme poretrykksmålerne i striplet linje med samme farge. Vannmetningen til samme celle som poretrykksmålerne ligger i er også inkludert. Den venstre delen av figuren viser den nederste poretrykksmåleren Pz7 28m i heltrukken linje, og gjennomsnittet til den samme poretrykksmålerne i striplet linje med samme farge. Den viser også vanntilførselsverdier for 1 og 3 dager.



Figur C.4: Figuren viser tidsserien 2011-2012 for celle 1646141 som blir brukt til å gjøre korrelasjoner for poretrykksmålerne Pz7 10m og Pz7 28m på Vestfossen. Høyre del av figuren viser poretrykksmåleren Pz7 10m i heltrukken linje, og gjennomsnittet til den samme poretrykksmålerne i striplet linje med samme farge. Vannmetningen til samme celle som poretrykksmålerne ligger i er også inkludert. Den venstre delen av figuren viser den nederste poretrykksmåleren Pz7 28m i heltrukken linje, og gjennomsnittet til den samme poretrykksmålerne i striplet linje med samme farge. Den viser også vanntilførselsverdier for 1 og 3 dager.



Figur C.5: Figuren viser tidsserien 2010 for celle 1646141 som blir brukt til å gjøre korrelasjoner for poretrykksmålerne Pz8 18m og Pz8 28m på Vestfossen. Høyre del av figuren viser poretrykksmåleren Pz8 18m i heltrukken linje, og gjennomsnittet til den samme poretrykksmålerne i striplet linje med samme farge. Vannmetningen til samme celle som poretrykksmålerne ligger i er også inkludert. Den venstre delen av figuren viser den nederste poretrykksmåleren Pz8 28m i heltrukken linje, og gjennomsnittet til den samme poretrykksmålerne i striplet linje med samme farge. Den viser også vanntilførselsverdier for 1 og 3 dager.



Figur C.6: Figuren viser tidsserien 2011-2012 for celle 1646141 som blir brukt til å gjøre korrelasjoner for poretrykksmålerne Pz8 18m og Pz8 28m på Vestfossen. høyre del av figuren viser poretrykksmåleren Pz8 18m i heltrukken linje, og gjennomsnittet til den samme poretrykksmålerne i striplet linje med samme farge. Vannmetningen til samme celle som poretrykksmålerne ligger i er også inkludert. Den venstre delen av figuren viser den nederste poretrykksmåleren Pz8 28m i heltrukken linje, og gjennomsnittet til den samme poretrykksmålerne i striplet linje med samme farge. Den viser også vanntilførselsverdier for 1 og 3 dager.

## D Korrelasjonsresultater

Tabell D.1: Gartland, utdrag fra tidsserie fra 2015. Korrelasjonsverdier med Spearman.

Verdier	Poretrykk NG7_1	Poretrykk NG7_2	Poretrykk NG10_1
Poretrykk NG7_1	1,00	-0,02	0,66
Poretrykk NG7_2	-0,02	1,00	-0,04
Poretrykk NG10_1	0,66	-0,04	1,00
Vann_1d_1003053	0,55	-0,34	0,43
Vann_1d_1003057	0,37	-0,24	0,32
Vann_1d_1005442	0,56	-0,33	0,43
Vann_1d_1005445	0,37	-0,43	0,36
Vann_3d_1003053	0,62	-0,15	0,40
Vann_3d_1003057	0,39	-0,09	0,29
Vann_3d_1005442	0,60	-0,14	0,39
Vann_3d_1005445	0,51	-0,40	0,45

Tabell D.2: Åsmulen, korrelasjonsverdier ved bruk av Pearson.

Verdier	Poretrykk FO2_1	Poretrykk FO2_2	Poretrykk FO6	Poretrykk FO8
Poretrykk_FO2_1	1,00	0,66	0,44	0,68
Poretrykk_FO2_2	0,66	1,00	0,55	0,44
Poretrykk_FO6	0,44	0,55	1,00	0,18
Poretrykk_FO8	0,68	0,44	0,18	1,00
Vann_1d_987530	0,15	0,19	0,22	0,07
Vann_1d_987533	0,09	0,28	0,03	0,16
Vann_1d_988727	0,08	0,27	0,02	0,15
Vann_1d_988728	0,08	0,27	0,02	0,15
Vann_1d_989922	0,09	0,28	0,03	0,15
Vann_3d_987530	0,20	0,22	0,29	0,10
Vann_3d_987533	0,13	0,36	0,06	0,22
Vann_3d_988727	0,12	0,35	0,05	0,21
Vann_3d_988728	0,12	0,34	0,04	0,21
Vann_3d_989922	0,13	0,36	0,06	0,21



Tabell D.3: Åsmulen, korrelasjonsverdier ved bruk av Spearman.

Verdier	Poretrykk FO2_1	Poretrykk FO2_2	Poretrykk FO6	Poretrykk FO8
Poretrykk_FO2_1	1,00	0,65	0,43	0,82
Poretrykk_FO2_2	0,65	1,00	0,51	0,66
Poretrykk_FO6	0,43	0,51	1,00	0,24
Poretrykk_FO8	0,82	0,66	0,24	1,00
Vann_1d_987530	0,19	0,11	0,28	0,01
Vann_1d_987533	0,11	0,28	-0,05	0,13
Vann_1d_988727	0,09	0,25	-0,06	0,11
Vann_1d_988728	0,09	0,25	-0,06	0,11
Vann_1d_989922	0,10	0,27	-0,05	0,13
Vann_3d_987530	0,19	0,14	0,34	0,03
Vann_3d_987533	0,17	0,37	0,02	0,20
Vann_3d_988727	0,15	0,35	0,01	0,19
Vann_3d_988728	0,15	0,35	0,01	0,19
Vann_3d_989922	0,17	0,36	0,02	0,19

Tabell D.4: Åsmulen, utdrag fra tidsserien fra 2014. Korrelasjonsverdier ved bruk av Pearson.

Verdier	Poretrykk FO2_1	Poretrykk FO2_2	Poretrykk FO6	Poretrykk FO8
Poretrykk FO2_1	1,00	0,51	0,58	0,95
Poretrykk FO2_2	0,51	1,00	0,77	0,40
Poretrykk FO6	0,58	0,77	1,00	0,46
Poretrykk FO8	0,95	0,40	0,46	1,00
Vann_1d_987530	0,37	0,42	0,38	0,31
Vann_1d_987533	0,01	0,20	0,21	-0,09
Vann_1d_988727	0,01	0,21	0,21	-0,09
Vann_1d_988728	0,02	0,21	0,21	-0,09
Vann_1d_989922	0,00	0,19	0,21	-0,10
Vann3d_987530	0,48	0,76	0,56	0,37
Vann3d_987533	-0,08	0,50	0,31	-0,23
Vann3d_988727	-0,07	0,50	0,33	-0,22
Vann3d_988728	-0,07	0,50	0,32	-0,22
Vann3d_989922	-0,08	0,49	0,32	-0,23

Tabell D.5: Åsmulen, utdrag fra tidsserien fra 2014. Korrelasjonsverdier ved bruk av Spearman.

Verdier	Poretrykk FO2_1	Poretrykk FO2_2	Poretrykk FO6	Poretrykk FO8
Poretrykk_FO2_1	1,00	0,44	0,60	0,89
Poretrykk_FO2_2	0,44	1,00	0,77	0,34
Poretrykk_FO6	0,60	0,77	1,00	0,44
Poretrykk_FO8	0,89	0,34	0,44	1,00
Vann_1d_987530	0,31	0,41	0,37	0,31
Vann_1d_987533	-0,11	0,10	0,13	-0,21
Vann_1d_988727	-0,09	0,11	0,14	-0,18
Vann_1d_988728	-0,10	0,11	0,14	-0,20
Vann_1d_989922	-0,10	0,10	0,14	-0,19
Vann_3d_987530	0,42	0,69	0,46	0,36
Vann_3d_987533	-0,14	0,40	0,25	-0,27
Vann_3d_988727	-0,12	0,39	0,25	-0,25
Vann_3d_988728	-0,13	0,38	0,26	-0,25
Vann_3d_989922	-0,13	0,38	0,25	-0,24

Tabell D.6: Bjørnstad, korrelasjonsverdier ved bruk av Pearson.

Verdier	Poretrykk MS1a
Poretrykk MS1a	1
Vann_1d_939762	0,29
Vann_1d_939763	0,27
Vann_1d_940957	0,26
Vann_1d_940959	0,16
Vann_1d_940962	0,3
Vann_1d_942154	0,16
Vann_1d_943351	0,3
Vann_1d_944546	0,3
Vann_3d_939762	0,38
Vann_3d_939763	0,36
Vann_3d_940957	0,34
Vann_3d_940959	0,23
Vann_3d_940962	0,39
Vann_3d_942154	0,23
Vann_3d_943351	0,39
Vann_3d_944546	0,38

Tabell D.7: Bjørnstad, korrelasjonsverdier ved bruk av Spearman.

Verdier	Poretrykk MS1a
Poretrykk_MS1a	1,00
Vann_1d_939762	0,40
Vann_1d_939763	0,37
Vann_1d_940957	0,35
Vann_1d_940959	0,20
Vann_1d_940962	0,39
Vann_1d_942154	0,20
Vann_1d_943351	0,38
Vann_1d_944546	0,36
Vann_3d_939762	0,45
Vann_3d_939763	0,43
Vann_3d_940957	0,42
Vann_3d_940959	0,28
Vann_3d_940962	0,43
Vann_3d_942154	0,28
Vann_3d_943351	0,43
Vann_3d_944546	0,38

Tabell D.8: Bjørnstad, utdrag fra tidsserie fra 2015. Korrelasjonsverdier ved bruk av Pearson.

Verdier	Poretrykk MS1a
Poretrykk MS1a	1,00
Vann_1dp200_939762	0,33
Vann_1dp200_939763	0,35
Vann_1dp200_940957	0,36
Vann_1dp200_940959	0,24
Vann_1dp200_940962	0,31
Vann_1dp200_942154	0,24
Vann_1dp200_943351	0,32
Vann_1dp200_944546	0,26
Vann_3dp200_939762	0,44
Vann_3dp200_939763	0,46
Vann_3dp200_940957	0,48
Vann_3dp200_940959	0,37
Vann_3dp200_940962	0,41
Vann_3dp200_942154	0,37
Vann_3dp200_943351	0,44
Vann_3dp200_944546	0,36

Tabell D.9: Bjørnstad, utdrag fra tidsserie fra 2015. Korrelasjonsverdier ved bruk av Spearman.

Verdier	Poretrykk MS1a
Poretrykk_MS1a	1,00
vann_1d_939762	0,48
Vann_1d_939763	0,50
Vann_1d_940957	0,52
Vann_1d_940959	0,41
Vann_1d_940962	0,44
Vann_1d_942154	0,41
Vann_1d_943351	0,47
Vann_1d_944546	0,37
Vann_3d_939762	0,52
Vann_3d_939763	0,56
Vann_3d_940957	0,60
Vann_3d_940959	0,56
Vann_3d_940962	0,47
Vann_3d_942154	0,56
Vann_3d_943351	0,51
Vann_3d_944546	0,38

Tabell D.10: Eiterstraumen SE25, korrelasjonsverdier med og uten null for vanntilførsel, ved bruk av Spearman.

Verdier	Poretrykk SE25_1		Poretrykk SE25_2	
	Med null	Uten null	Med null	Uten null
Poretrykk_SE25_1	1,00	1,00	0,66	0,72
Poretrykk_SE25_2	0,66	0,72	1,00	1,00
Vann_1d_853727	0,00	0,15	-0,01	0,14
Vann_1d_854918	-0,07	0,20	-0,10	0,10
Vann_1d_854920	0,00	0,14	0,00	0,16
Vann_1d_854922	0,01	0,17	0,00	0,17
Vann_1d_856113	-0,13	0,18	-0,19	0,03
Vann_1d_856117	0,01	0,15	0,00	0,15
Vann_3d_853727	-0,04	0,12	-0,01	0,19
Vann_3d_854918	-0,10	0,19	-0,13	0,12
Vann_3d_854920	-0,05	0,18	0,00	0,23
Vann_3d_854922	-0,03	0,13	0,01	0,21
Vann_3d_856113	-0,14	0,14	-0,16	0,07
Vann_3d_856117	-0,03	0,15	0,00	0,22

Tabell D.11: Eiterstraumen SE25, utdrag fra tidsserie fra 2015. Korrelasjonsverdier ved bruk av Spearman.

Verdier	Poretrykk SE25_1	Poretrykk SE25_2
Poretrykk_SE25_1	1,00	0,36
Poretrykk_SE25_2	0,36	1,00
Vann_1d_853727	0,21	0,02
Vann_1d_854918	-0,11	-0,24
Vann_1d_854920	0,22	0,25
Vann_1d_854922	0,09	0,06
Vann_1d_856113	-0,29	-0,34
Vann_1d_856117	0,21	0,01
Vann_3d_853727	0,38	0,14
Vann_3d_854918	0,18	-0,05
Vann_3d_854920	0,37	0,49
Vann_3d_854922	0,34	0,14
Vann_3d_856113	-0,17	-0,35
Vann_3d_856117	0,36	0,13

Tabell D.12: Eiterstraumen RO01, korrelasjonsverdier ved bruk av Pearson.

Verdier	Poretrykk RO1
Poretrykk_RO01	1,00
Vann_1d_848942	0,25
Vann_1d_848944	0,24
Vann_1d_848945	0,25
Vann_1d_850139	0,24
Vann_3d_848942	0,34
Vann_3d_848944	0,34
Vann_3d_848945	0,35
Vann_3d_850139	0,34

Tabell D.13: Eiterstraumen RO01, korrelasjonsverdier uten null for vanntilførsel ved bruk av Pearson.

Verdier	Poretrykk RO1
Poretrykk_RO01	1,00
Vann_1d_848942	0,39
Vann_1d_848944	0,37
Vann_1d_848945	0,38
Vann_1d_850139	0,37
Vann_3d_848942	0,52
Vann_3d_848944	0,51
Vann_3d_848945	0,52
Vann_3d_850139	0,51

Tabell D.14: Vestfossen tidsserien 2011-2012. Korrelasjonsverdier med og uten null for vanntilførsel ved bruk av Spearman.

Verdier	Pz5 10m		Pz5 15m		Pz7 10m		Pz7 28m		Pz8 18m		Pz8 28m	
	Mnull	Unull	Mnull	Unull	Mnull	Unull	Mnull	Unull	Mnull	Unull	Mnull	Unull
<b>Pz5 10m</b>	1,00	1,00	0,62	0,51	0,14	0,43	0,23	0,00	-0,17	-0,39	0,09	0,11
<b>Pz5 15m</b>	0,62	0,51	1,00	1,00	-0,12	0,19	0,70	0,66	0,28	0,25	0,17	0,35
<b>Pz7 10m</b>	0,14	0,43	-0,12	0,19	1,00	1,00	-0,04	-0,02	0,13	0,01	0,42	0,42
<b>Pz7 28m</b>	0,23	0,00	0,70	0,66	-0,04	-0,02	1,00	1,00	0,70	0,78	0,55	0,63
<b>Pz8 18m</b>	-0,17	-0,39	0,28	0,25	0,13	0,01	0,70	0,78	1,00	1,00	0,59	0,64
<b>Pz8 28m</b>	0,09	0,11	0,17	0,35	0,42	0,42	0,55	0,63	0,59	0,64	1,00	1,00
<b>Vann_1d_1644945</b>	-0,31	-0,02	-0,10	0,22	0,05	-0,01	0,08	0,28	0,22	0,24	0,19	0,27
<b>Vann_1d_1646141</b>	-0,30	-0,02	-0,07	0,26	0,03	0,01	0,11	0,31	0,22	0,22	0,19	0,25
<b>Vann_1d_1647336</b>	-0,31	-0,03	-0,08	0,25	0,04	0,01	0,11	0,30	0,22	0,20	0,19	0,23
<b>Vann_1d_1647337</b>	-0,31	-0,03	-0,07	0,25	0,03	0,03	0,11	0,29	0,22	0,20	0,19	0,22
<b>Vann_3d_1644945</b>	-0,46	-0,25	-0,16	0,15	0,05	0,06	0,09	0,40	0,28	0,50	0,21	0,40
<b>Vann_3d_1646141</b>	-0,48	-0,28	-0,15	0,15	0,04	0,06	0,13	0,41	0,28	0,48	0,22	0,36
<b>Vann_3d_1647336</b>	-0,49	-0,30	-0,16	0,13	0,05	0,06	0,12	0,39	0,27	0,46	0,21	0,34
<b>Vann_3d_1647337</b>	-0,48	-0,30	-0,15	0,13	0,05	0,07	0,12	0,39	0,28	0,46	0,22	0,34

Tabell D.15: Vestfossen tidsserien 2010. Korrelasjonsverdier uten og med null for vanntilførsel ved bruk av Pearson.

Verdier	Pz5 10m		Pz5 15m		Pz7 10m		Pz7 28m		Pz8 18m		Pz8 28m	
	Mnull	Unull	Mnull	Unull	Mnull	Unull	Mnull	Unull	Mnull	Unull	Mnull	Unull
<b>Pz5 10m</b>	1,00	1,00	0,47	0,62	0,57	0,42	0,77	0,79	0,37	0,28	0,67	0,57
<b>Pz5 15m</b>	0,47	0,62	1,00	1,00	-0,13	-0,15	0,29	0,34	0,07	-0,15	0,23	0,04
<b>Pz7 10m</b>	0,57	0,42	-0,13	-0,15	1,00	1,00	0,79	0,76	0,72	0,77	0,78	0,74
<b>Pz7 28m</b>	0,77	0,79	0,29	0,34	0,79	0,76	1,00	1,00	0,76	0,60	0,98	0,72
<b>Pz8 18m</b>	0,37	0,28	0,07	-0,15	0,72	0,77	0,76	0,60	1,00	1,00	0,85	0,89
<b>Pz8 28m</b>	0,67	0,57	0,23	0,04	0,78	0,74	0,98	0,72	0,85	0,89	1,00	1,00
<b>Vann_1d_1644945</b>	0,06	0,27	0,01	0,18	0,20	0,00	0,24	0,16	0,19	0,16	0,26	0,31
<b>Vann_1d_1646141</b>	0,03	0,20	-0,02	0,10	0,20	0,02	0,21	0,11	0,18	0,18	0,23	0,3
<b>Vann_1d_1647336</b>	-0,01	0,11	-0,05	0,04	0,20	0,01	0,19	0,06	0,18	0,16	0,21	0,25
<b>Vann_1d_1647337</b>	-0,02	0,11	-0,06	0,04	0,20	0,01	0,19	0,05	0,18	0,17	0,21	0,25
<b>Vann_3d_1644945</b>	0,06	0,10	-0,15	-0,08	0,32	0,25	0,34	0,27	0,30	0,37	0,37	0,40
<b>Vann_3d_1646141</b>	0,00	-0,06	-0,2	-0,23	0,33	0,26	0,30	0,17	0,30	0,36	0,34	0,33
<b>Vann_3d_1647336</b>	-0,06	-0,18	-0,26	-0,32	0,34	0,25	0,27	0,07	0,30	0,34	0,31	0,26
<b>Vann_3d_1647337</b>	-0,06	-0,18	-0,26	-0,32	0,34	0,26	0,27	0,08	0,30	0,35	0,31	0,26

Tabell D.16: Vestfossen tidsserien 2010. Korrelasjonsverdier med og uten null for vanntilførsel ved bruk av Spearman.

Verdier	Pz5 10m		Pz5 15m		Pz7 10m		Pz7 28m		Pz8 18m		Pz8 28m	
	Mnull	Unull	Mnull	Unull	Mnull	Unull	Mnull	Unull	Mnull	Unull	Mnull	Unull
<b>Pz5 10m</b>	1,00	1	0,26	0,46	0,58	0,53	0,72	0,85	0,52	0,45	0,65	0,67
<b>Pz5 15m</b>	0,26	0,46	1,00	1	-0,22	-0,22	0,26	0,38	0,04	-0,21	0,18	0
<b>Pz7 10m</b>	0,58	0,53	-0,22	-0,22	1,00	1	0,62	0,59	0,78	0,79	0,68	0,66
<b>Pz7 28m</b>	0,72	0,85	0,26	0,38	0,62	0,59	1,00	1	0,67	0,55	0,96	0,75
<b>Pz8 18m</b>	0,52	0,45	0,04	-0,21	0,78	0,79	0,67	0,55	1,00	1	0,79	0,84
<b>Pz8 28m</b>	0,65	0,67	0,18	0	0,68	0,66	0,96	0,75	0,79	0,84	1,00	1
<b>Vann_1d_1644945</b>	0,13	0,32	-0,02	0,29	0,19	-0,07	0,31	0,35	0,22	0,1	0,31	0,39
<b>Vann_1d_1646141</b>	0,02	0,22	-0,10	0,13	0,23	0	0,20	0,22	0,24	0,15	0,24	0,36
<b>Vann_1d_1647336</b>	-0,01	0,07	-0,13	0	0,24	0	0,17	0,08	0,24	0,14	0,23	0,27
<b>Vann_1d_1647337</b>	-0,01	0,08	-0,13	-0,02	0,24	0,02	0,17	0,07	0,24	0,15	0,23	0,27
<b>Vann_3d_1644945</b>	0,20	0,26	-0,10	0,03	0,28	0,23	0,43	0,39	0,30	0,36	0,44	0,45
<b>Vann_3d_1646141</b>	0,13	0,08	-0,15	-0,21	0,33	0,32	0,38	0,19	0,33	0,41	0,41	0,37
<b>Vann_3d_1647336</b>	0,09	-0,07	-0,19	-0,33	0,34	0,31	0,34	0,05	0,34	0,4	0,39	0,27
<b>Vann_3d_1647337</b>	0,09	-0,06	-0,19	-0,33	0,34	0,32	0,34	0,06	0,34	0,4	0,39	0,27

Tabell D.17: Vestfossen, utdrag fra tidsserien for høsten 2011. Korrelasjonsverdier ved bruk av Spearman.

Verdier	Pz5 10m	Pz5 15m	Pz7 10m	Pz7 28m	Pz8 18m	Pz8 28m
<b>Pz5_10m</b>	1,00	0,82	0,45	0,77	0,79	0,76
<b>Pz5_15m</b>	0,82	1,00	0,78	0,77	0,78	0,75
<b>Pz7_10m</b>	0,45	0,78	1,00	0,56	0,57	0,54
<b>Pz7_28m</b>	0,77	0,77	0,56	1,00	0,99	0,87
<b>Pz8_18m</b>	0,79	0,78	0,57	0,99	1,00	0,89
<b>Pz8_28m</b>	0,76	0,75	0,54	0,87	0,89	1,00
<b>Vann_1d_1644945</b>	0,07	0,18	0,21	0,35	0,32	0,28
<b>Vann_1d_1646141</b>	0,03	0,16	0,22	0,35	0,32	0,29
<b>Vann_1d_1647336</b>	0,02	0,16	0,21	0,35	0,32	0,28
<b>Vann_1d_1647337</b>	0,03	0,16	0,22	0,35	0,32	0,29
<b>Vann_3d_1644945</b>	0,20	0,23	0,16	0,50	0,48	0,56
<b>Vann_3d_1646141</b>	0,19	0,21	0,15	0,49	0,48	0,56
<b>Vann_3d_1647336</b>	0,18	0,22	0,15	0,49	0,47	0,55
<b>Vann_3d_1647337</b>	0,17	0,21	0,15	0,48	0,46	0,55