

## Hydrometeorologiske forhold i forkant av kvikkleireskredet i Gjerdrum, desember 2020

.....  
*Thomas Skaugen, Hervé Colleuille, Graziella Devoli, Erik Holmqvist, Jess Andersen, Rengifo Ortega, Jostein Mamen, Hans Olav Hygen og Cristian Lussana*



# **NVE Rapport nr. 15/2021**

## **Hydrometeorologiske forhold i forkant av kvikkleireskredet i Gjerdrum, desember 2020.**

**Utgitt av:** Norges vassdrags- og energidirektorat

**Redaktør:** Erik Holmqvist

**Forfatter:** Thomas Skaugen, Hervé Colleuille, Graziella Devoli og Erik Holmqvist i Hydrologisk avdeling (NVE), Jess Andersen og Rengifo Ortega i avdeling for IKT og informasjonsforvaltning (NVE), Jostein Mamen, Hans Olav Hygen og Cristian Lussana i Meteorologisk institutt

**Forsidefoto:** Dronebilde av kvikkleireskredet i Ask i Gjerdrum, 30.12.2020.  
Foto: Jaran Wasrud/NVE

**ISBN:** 978-82-410-2122-0

**ISSN:** 1501-2832

**Sammendrag:** Det gikk et stort kvikkleireskred i Ask i Gjerdrum 30. desember 2020. Høsten 2020 var den nest våteste i området siden 1960-tallet. Det var også uvanlig mildt, slik at det var lite/ingen tele i området før skredet gikk. Det var høy vannmetning i bakken og sannsynligvis stor, men ikke ekstrem vannføring (omkring middelflom) i Tistilbekken noen få dager før skredtidspunktet. Vannføringen i Tistilbekken, som renner gjennom skredområdet, er beregnet ved hjelp av den hydrologiske modellen DDDurban. Ut fra våre beregninger har urbaniseringen hatt liten virkning på de høyeste flomtoppene, dette gjelder også flomtoppen i desember 2020. Men urbaniseringen har sannsynligvis ført til langt flere «små flomtopper» enn tidligere.

**Emneord:** Kvikkleireskred, Gjerdrum, Ask, vannmetning, flom, urbanisering DDDurban

Norges vassdrags- og energidirektorat  
Middelthuns gate 29  
Postboks 5091 Majorstuen  
0301 Oslo

Telefon: 22 95 95 95  
E-post: [nve@nve.no](mailto:nve@nve.no)  
Internett: [www.nve.no](http://www.nve.no)

# Innhold

<b>Forord</b> .....	<b>5</b>
<b>Sammendrag</b> .....	<b>6</b>
<b>1 Feltbeskrivelse</b> .....	<b>8</b>
<b>2 Værforholdene på Romerike høsten 2020</b> .....	<b>11</b>
2.1 Data .....	11
2.2 Resultater .....	12
2.2.1 Temperatur høsten 2020.....	12
2.2.2 Månedlig nedbør høsten 2020 .....	12
2.2.3 Daglige nedbørverdier høsten 2020 .....	14
2.3 Observerte klimaendringer .....	16
2.4 Oppsummering .....	16
<b>3 Hydrologiske forhold Gjerdrum høsten 2020</b> .....	<b>17</b>
3.1 Teledyp.....	17
3.2 Mark- og grunnvannstand .....	19
3.2.1 Observasjoner.....	19
3.2.2 Simuleringer.....	20
3.3 Jordskredvarsel .....	28
3.4 Vannføring ved nærliggende målestasjoner .....	30
3.4.1 Utvalg av målestasjoner .....	30
3.4.2 Observerte vannføringer desember 2020.....	31
3.4.3 Observerte vannføringer høsten 2020.....	33
<b>4 Hydrologisk modellering av Tistilbekken, Gjerdrum</b> .....	<b>35</b>
4.1 Bakgrunn .....	35
4.2 Modellverktøyet «DDD Urban» .....	35
4.3 Data.....	35
4.3.1 Meteorologiske data.....	35
4.3.2 Hydrologiske data .....	37
4.3.3 <i>Digitale kartdata</i> .....	38
4.3.4 Estimering av hastigheter av grunnvannstrøm i DDDUrban ..	38
4.4 Vannføring Tistilbekken, input SeNorge2018 .....	40
4.5 Vannføring Tistilbekken, input SeNorgeV2.....	43
4.6 Tistilbakkens respons på ekstremnedbør.....	46
4.7 Vannføring Tistilbekken, effekt av urbanisering.....	49
4.7.1 Vannføring desember 2020, effekt urbanisering.....	51
4.8 Diskusjon .....	52
<b>5 Flomberegning Tistilbekken</b> .....	<b>57</b>
<b>6 Referanser</b> .....	<b>59</b>
<b>7 Vedlegg</b> .....	<b>61</b>
7.1 Oversikt, store kvikkleireskred .....	61
7.2 Oversikt, tidligere skredhendelser i Gjerdrum og nabokommuner ..	63

7.3	Notat fra Meteorologisk Institutt.....	66
7.4	Ekstremnedbør .....	72
7.5	Oversikt, simulerte tidsserier.....	76

# Forord

Natt til 30. desember 2020 gikk et stort kvikkleireskred i Ask i Gjerdrum kommune hvor 10 mennesker omkom. Regjeringen satte i februar 2021 ned et ekspertutvalg som skulle granske årsakene til skredet, og for å vurdere tiltak for å styrke forebyggingen av ulykker knyttet til kvikkleireskred i Norge.

Utvalget har bedt NVE om å lage en rapport som beskriver de hydrometeorologiske forholdene i forkant av skredhendelsen, og spesielt forhold knyttet til Tistilbekken som ligger i skredområdet. Meteorologisk institutt har også bidratt med analyser og data til rapporten.

Oslo, april 2021.



Hege Hisdal

direktør

Hydrologisk avdeling



Elise Trondsen

seksjonssjef

Seksjon for vannbalanse

# Sammendrag

Natt til torsdag 30. desember 2020 gikk et stort kvikkleireskred ved Ask i Gjerdrum kommune. Målt i antall berørte husstander og antall evakuerte er dette det største kvikkleireskredet i senere tid i Norge. Skredet fikk dramatiske konsekvenser. 31 boenheter ble tatt av skredet, 10 omkom og over 1000 mennesker ble evakuert.

I denne rapporten har vi analysert værforhold og hydrologiske forhold i forkant av skredet. Det er også gitt en oversikt over tidligere store kvikkleireskred i Norge og skredhendelser i Gjerdrum og nabokommuner.

**Nedbørobservasjoner** viser at høsten (september -desember) 2020 var den våteste siden 2000. Desember var særlig nedbørrik. På målestasjonen Ukkestad, som ligger 13 km nord for Ask kom det nesten 230 mm nedbør i desember, månedsnormalen er her drøyt 60 mm. Det kom spesielt mye nedbør i perioden 26.12 kl 08 til 29.12 kl 08, med totalt 72 mm. En slik nedbørmengde har et beregnet gjentaksintervall på omkring 10 år, året sett under ett. Hvis en begrenser analysen til månedene desember – februar øker gjentaksintervallet til omkring 100 år.

**Temperaturdata** viser at høsten 2020 var uvanlig mild. November og desember var spesielt milde, med månedsmidler som lå 5 – 7 grader over normalen. Det var derfor lite tele i bakken i forkant av skredet, men det var noen få kuldegrader i dagene før skredet slik at det kan ha vært noen få cm tele.

I dagene før skredet lå temperaturen i Ask omkring 0°C, og modellberegninger antyder at det lå snø tilvarende en vannekvivalent på ca. 20 mm i området da skredet gikk. Dette støttes av observasjoner og bilder fra området, som viser **våt snø** i området 30. desember.

På Ås, ca. 50 km sørvest for Ask, er den nærmeste grunnvannstasjonen som ligger i en leireavsetning. Målinger viser at **grunnvannstand** her var drøyt 20 cm under bakkenivå, mens det vanligvis på denne tiden av året er 60-90 cm ned til grunnvannspeilet.

Ulike modellberegninger antyder en **vannmetning i bakken** fra 90 til 100 % (full metning) i dagene før skredet gikk. Slike beregninger er beheftet med relativt stor usikkerhet, som blant annet skyldes usikkerhet til hvor stor andel av nedbøren som falt som snø/ sludd og hvor mye som kom som regn.

Data fra SeNorge.no indikerer at i Ask har det i årene 1957 – 2020 vært 5 episoder med vannmetning over 98%, siste gang 23. desember 2020. Videre viser disse dataene at det i månedene desember – februar ikke var noen episoder med høy vannmetning (> 90 %) fra 1957 til 1999, mens det i årene 2000 – 2020 har vært 12 slike episoder.

I vedlegg 7.2 er det gitt en oversikt over tidligere leirskred/kvikkleireskred som har vært registrert i Gjerdrum og nabokommuner. Analyser av 23 hendelser i periode 1957-2020 viser at flere hendelser har gått i perioder med vannmetning over 70% og minst 3 hendelser med vannmetning over 90%.

**Vannføringsdata** fra målestasjoner i nærheten viser at det ikke ble registrert flomvannføringer i slutten av desember 2020. En årsak til dette er blant annet at i nedbørfeltet til Kråkfoss i Leira, la det seg mye snø i slutten av desember. Men tidligere

på høsten, 2. november ble det observert 10-årsflom her. En våt høst bekreftes av data fra denne målestasjonen, som har observasjoner tilbake til 1966. De viser at vannføringen for hele perioden oktober – desember 2020 er den nest høyeste siden målestart, kun slått av høsten 2000.

I **Tistilbekken**, som renner gjennom rasområdet, er det ingen målinger. Nedbørfeltet er lite (1.26 km<sup>2</sup>) og til en viss grad urbanisert (ca. 13 % tette flater bestående av veier og hustak). En nyutviklet **nedbør- avløpsmodell, Distance Distribution Dynamics Urban (DDURban)** er anvendt til å beskrive vannføringsforholdene i Tistilbekken. Den har beskjedne krav til inngangsdata (nedbør og temperatur). Modellen er satt opp i to versjoner for også å kunne vurdere effekten av urbanisering.

Meteorologisk Institutt har gjennom de siste 20-25 årene utviklet en hel «familie» av nasjonale observasjonsbaserte gridda datasett for daglige nedbør- og temperaturverdier. Griddene har en romlig oppløsning på 1 x 1 km. I disse analysene er det benyttet to datasett, SeNorge2018 og SeNorge V2. Disse er så disaggregert til 1 times oppløsning tilbake til september 2013.

Nedbøren fra SeNorge2018, som er den nyeste versjonen, antas å være bedre enn nedbøren fra SeNorge V2, for kjøring av hydrologiske modeller nasjonalt og for lange tidsserier. Imidlertid ble det observert vesentlig mer nedbør enn SeNorge2018 antyder for stasjoner lokalisert øst og nord for Ask i perioden 26. -29. desember 2020. I SeNorgeV2 er nedbøren i slutten av desember bedre fanget opp.

Beregningene ga en vannføring i **Tistilbekken 27. desember 2020 på ca. 1,2 m<sup>3</sup>/s** (input fra SeNorgeV2). Dette er en høy, men ikke ekstrem vannføring. Hverken nedbørintensitet eller avrenning var ekstreme i desember 2020. Mer intens nedbør og høyere avrenning er simulert for to andre tidspunkt i løpet av den relativ korte tidsserien vi har til rådighet. Det er 17. september 2015 med 2,0 m<sup>3</sup>/s og 11. november 2018 med 1,7 m<sup>3</sup>/s (input SeNorge2018).

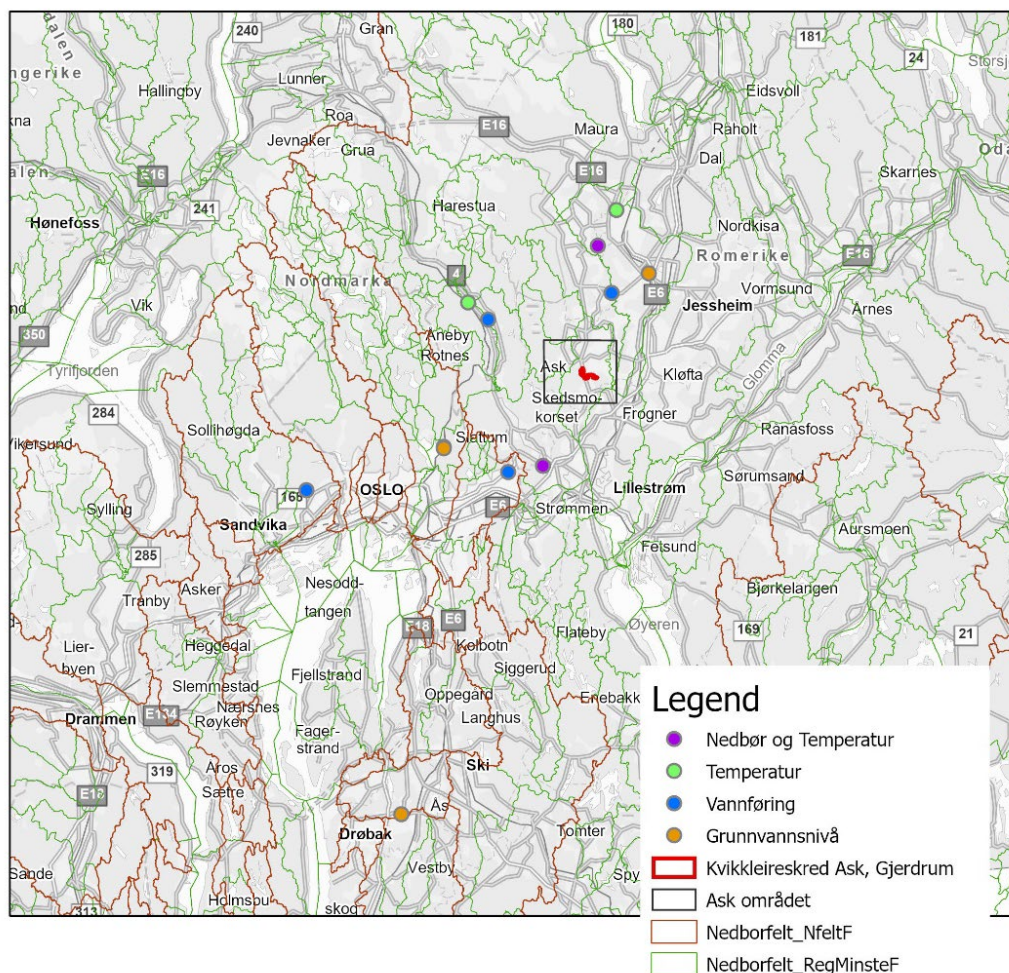
Det som imidlertid var spesielt i desember 2020 er at **vannmetningen i bakken hadde vært høy over lang tid**, og 27. desember antyder beregningene at jorda var helt mettet. Det er åpenbart usikkerhet knyttet til detaljene i slike simuleringer, både på grunn av modellusikkerhet og usikkerhet knyttet til meteorologiske data med fin tids- og romlig oppløsning.

Det er og utført flomberegninger for Tistilbekken i forbindelse med sikringsarbeider som NVE bidrar med i etterkant av skredet. **Midlere årsflom i Tistilbekken er beregnet til ca. 1,3 m<sup>3</sup>/s**, det vil si omtrent samme nivået som DDD-modellen ga for den 27. desember 2020. 200-årsflom med 50 % klimapåslag er beregnet til ca. 7,6 m<sup>3</sup>/s.

**Effekten av urbanisering** på vannføringen i Tistilbekken er tilsynelatende svært liten. Vi finner imidlertid en økning av antall episoder med vannføringer i intervallet fra ca. 0,3 – 0,7 m<sup>3</sup>/s. Når feltet går i metning, øker vannføringen raskt til over 1 m<sup>3</sup>/s, og effekten av urbanisering er da tilnærmet neglisjerbar. Det betyr at de høyeste flomtoppene er lite påvirket av urbaniseringen, men det er flere «små flomtopper» enn tidligere.

# 1 Feltbeskrivelse

Tistilbekken ligger i Gjerdrum kommune ved Ask, der det store kvikkleireskredet gikk natt til 30. desember 2020. Figur 1.1. viser et oversiktskart med plasseringen av målestasjonene som er benyttet i analysene i denne rapporten.



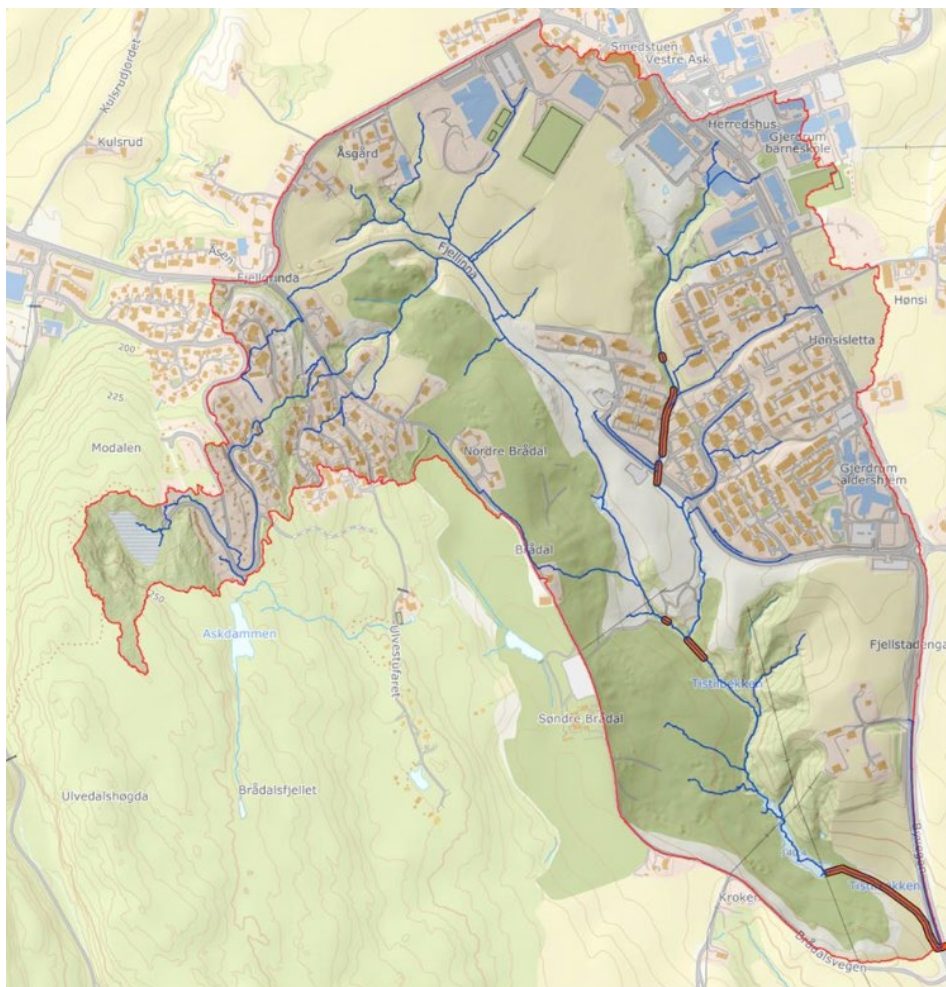
Figur 1.1. Oversiktskart som viser plassering av målestasjonene som er brukt i analysene i denne rapporten. Området ved Ask er markert med rødt.

Nedbørfeltet til Tistilbekken er beregnet til 1,26 km<sup>2</sup>. Feltet består av noe skog, urbaniserte områder og landbruksarealer (figur 1.2). 13 % av nedbørfeltet består av tette flater (hustak, asfalt etc), mens de resterende 87 % er permeable. Det var deler av det bebygde området og landbruksarealer som ble rammet av kvikkleireskredet. I tabell 1.1 er det gitt noen sentrale feltparametere for Tistilbekken.

Store deler av nedbørfeltet til Tistilbekken ligger under marin grense, og grunnen består av marin leire (fra NGU løsmasserkart). Bare den vestlige delen av nedbørfelt ligger i morenemateriale. Leire karakteriseres av stor porøsitet og stor vannkapasitet samtidig som dens gjennomtrengelighet er lav. Områder som domineres av leire, har en avrenning



som vesentlig skiller seg fra usorterte moreneskråninger respektive løsavsetninger av sand, silt eller grus (ref. Nedbør -avløp, Geofag, Univ. i Oslo, 2010). Dette betyr sannsynligvis at infiltrasjonskapasiteten i feltet til Tistilbekken er lavere enn for mange andre felt.



Figur 1.1. Kart med inntegnet nedbørfelt til Tistilbekken før raset. Blå linjer angir beregnet elvenettverk basert på terrenginformasjon og tykke røde streker angir hvor man har vært nødt til å «brenne» inn kulverter for å få et sammenhengende elvenettverk.

**Tabell 1.1 Feltparametere for Tistilbekken.**

Areal	1.26 km <sup>2</sup>
Hypsografisk kurve, høyde per 10 % areal (moh)	135,152,161,167,171, 174, 177,178, 180, 191, 266
Andel tette flater (veier og hustak)	13 %
Andel permeable flater	87 %
Middelavstand til elvenettverk-tette flater	60 m
Middelavstand til elvenettverk-perm. fl.	48 m
Andel skog	Ca. 5 %
Effektiv sjøprosent	0 %
Midlere årsavløp	27 l/s/km <sup>2</sup> (0.03 m <sup>3</sup> /s)

I «Greipsland 2017» er det sett på sammenhengen mellom feltkarakteristika og vannkjemi i leirvassdrag. Der står det blant annet at: *Hydrologisk respons, dvs. hvor raskt avrenningen responderer på nedbør, vil ha betydning for erosjon, og har igjen sammenheng med nedbørfeltets form og helning.* I tillegg har blant annet leirdekningsgrad betydning for tap av jord, dvs også den hydrologiske responsen. I den rapporten er det henvist til «Gravelius' Indeks» som en indikator på den hydrologiske responstiden. Indeksen er definert som ratioen mellom omkretsen av et nedbørfelt og omkretsen til en perfekt sirkel med samme areal. *Et nedbørfelt med en høy GI er smalt og langt, og forventes å ha lavere hydrologisk responstid enn et nedbørfelt med en lav GI som er rundere og som vil ha raskere responstid (med andre ord: høyere vannføringstopp etter en nedbørepisode).* For bekken som ble undersøkt i NIBIO-rapporten varierte dette forholdstallet stort sett mellom 1,5 og 4. Et grovt overslag for Tistilbekken gir en indeks på ca. 1,4. Det er en indikasjon på at også dette er et felt med rask respons.

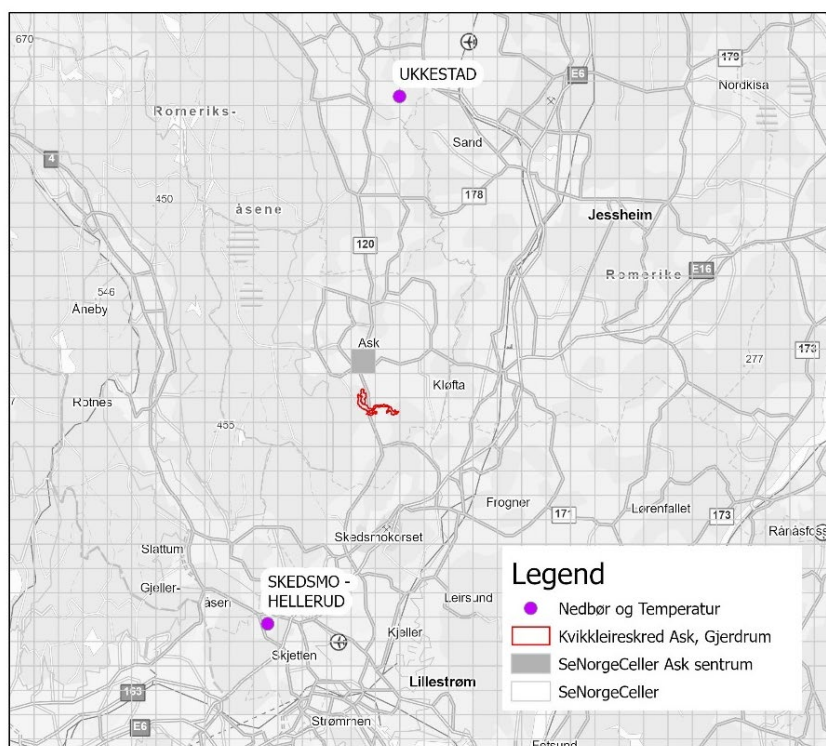
Flere detaljer rundt den digitale terrengmodellen som er benyttet er gitt i kapittel 4.3.3.

## 2 Værforholdene på Romerike høsten 2020

Teksten i dette kapitlet er i stor grad kopiert fra et notat datert 26. februar 2021 fra Meteorologisk institutt. Notatet ligger vedlagt i originalversjon (vedlegg 7.3). Under følger en analyse av to datasett, et som er direkte målt på stasjonene Ukkestad og Skedsmo-Hellerud, og et datasett med interpolerte data beregnet for Ask som er tilgjengelig gjennom SeNorge.no.

### 2.1 Data

Meteorologisk institutt driver et omfattende observasjonsprogram som dekker hele Norge. De nærmeste målestasjonene er Ukkestad, ca. 13 km nord for Ask og Skedsmo-Hellerud ca. 11 km sør for Ask (figur 2.1.1). På Ukkestad har det vært sammenhengende målinger siden 01.09.1965, Skedsmo - Hellerud har vært i drift siden 01.10.1972, men er ikke i drift om vinteren. For den videre analysen benyttes daglige observasjoner av nedbør. Alle observasjoner er tilgjengelig på seklima.met.no.



Figur 2.1.1. Oversiktskart som viser nedbørstasjonene Ukkestad og Skedsmo-Hellerud. Skredområdet er markert med rødt. Kartet viser også gridceller på 1 km<sup>2</sup>.

På nettsiden senorge.no (eller i ekspertversjonen xgeo.no) finner en daglige kart over blant annet temperatur og nedbør. Her kan en laste ut daglige verdier tilbake til 1957 for

en rekke hydrometeorologiske variable for ethvert kvadratkilometer stort punkt i Norge. Mer om metodikk og grunnlag finner en i tjenesten. Nedbørverdiene som er presentert for Ask i dette kapitlet, korresponderer med verdiene som er gitt for nedbørgriddet SeNorgeV2 (se mer om dette i kapittel 4.5).

## **2.2 Resultater**

### **2.2.1 Temperatur høsten 2020**

Både de tre høstmånedene september, oktober og november, og også den første vintermåned, desember, var mildere enn normalt på alle værstasjonene i området. Avvikene fra normalen (gjennomsnittet for perioden 1961-1990) var 1-2 grader i september og oktober, 5-6 grader i november og 6-7 grader i desember. September 2020 var den 4. varmeste på Gardermoen, bare slått av 2016, 2006 og 1999. Oktober var den 6. varmeste. Det var varmere i 2000, 1961, 1995, 2014 og 2001. November ble den nest varmeste som er registrert, bare slått av 2000. Desember havnet på delt 3. plass, sammen med 2015. Det var enda varmere i 2006 og 2013. Ser vi på hele perioden september til desember, er 2020 den nest varmeste med 5,8 grader i gjennomsnitt. Bare 2006 er varmere med et gjennomsnitt på 6,0 grader. Antall dager med frost, 23, var det 3. laveste i 2020, bare slått av 2000 (17) og 2019 (20).

### **2.2.2 Månedlig nedbør høsten 2020**

Tabell 2.2.1 viser den månedlige nedbøren i løpet av 2020 for målestasjonene Ukkestad og Skedsmo-Hellerud samt for nedbørgriddet for Ask. Her er det benyttet nedbørdata fra griddet «SeNorgeV2». Nedbøren fra målestasjonene er presentert både i form av mm og % av normalen (100 = normalen).

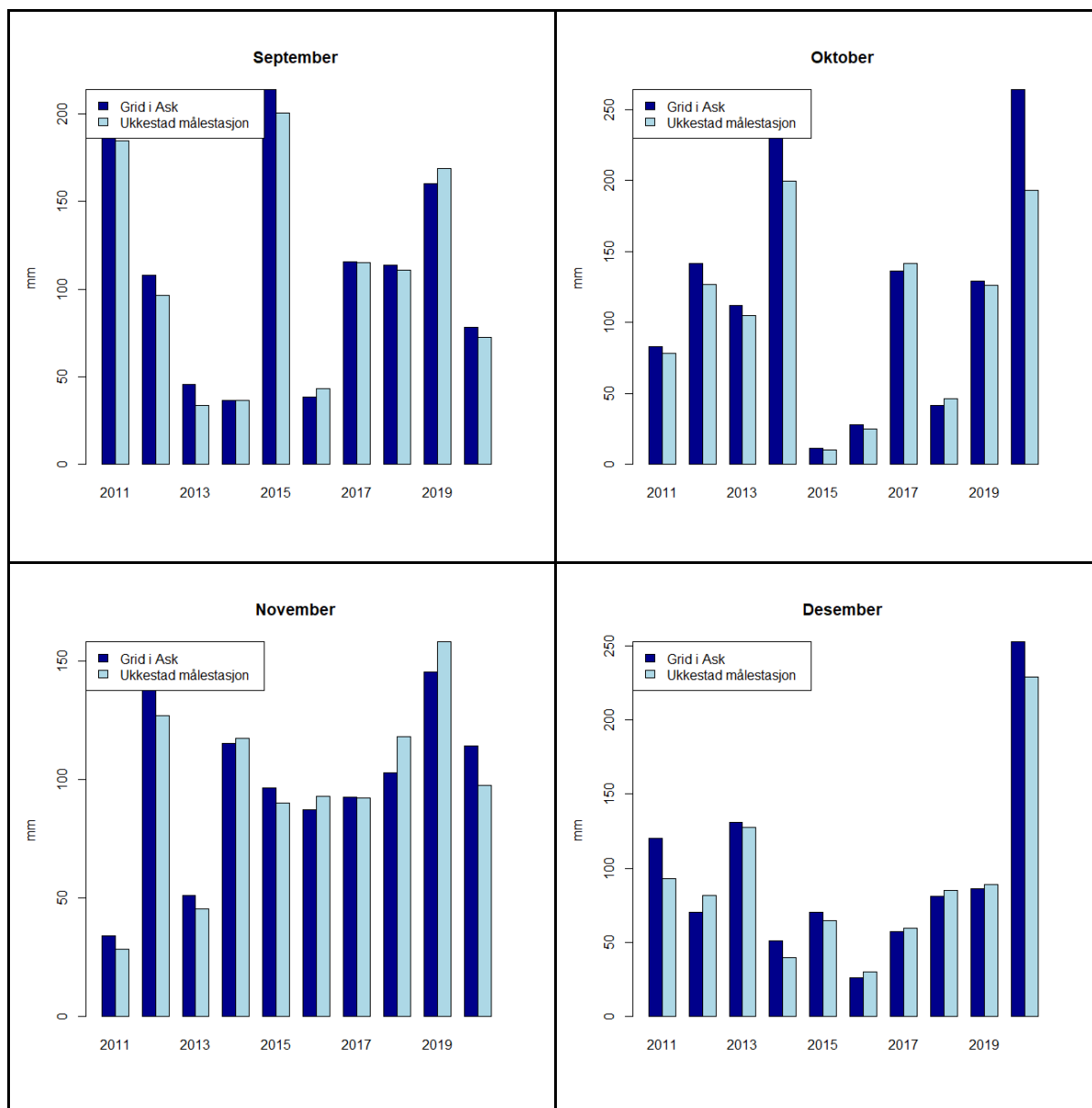
Tabell 2.2.1. Observert månedsnedbør i 2020 for målestasjonene Ukkestad og Skedsmo-Hellerud, og beregnet månedsnedbør for Ask fra nedbørgriddet i SeNorgeV2.

	Ukkestad		Skedsmo - Hellerud		Nedbørgrid for Ask (SeNorgeV2)
	mm	% av normalen	mm	% av normalen	mm
Januar	75	129,3			81,1
Februar	69	150			68,9
Mars	75,3	142,1			70,7
April	26,5	58,9	38,2	81,3	33,4
Mai	40,8	71,6	47,6	80,7	46,6
Juni	104,2	155,5	122	187,7	110,1
Juli	136,4	177,1	127	154,9	137,2
August	30,4	33,8	42,4	47,6	45,3
September	72,3	76,9	85,4	90,9	78,2
Oktober	193,0	199,0	238,0	250,5	263,8
November	97,5	116,1	80,2	97,8	114,1
Desember	228,7	368,9	218,5 <sup>1</sup>	346,8	252,5

Ser vi på perioden september til desember, er 2020 den nest våteste (591,5 mm), bare slått av 2000 (672,7 mm). 2019 kommer på 3. plass med 542 mm.

I figur 2.2.1 er høstnedbøren for de ti siste årene for både Ukkestad målestasjon og Ask sentrum fra de nasjonale griddene illustrert. De viser klart, som tallene over, at det var svært mye nedbør i oktober og spesielt i desember 2020.

<sup>1</sup> Uvanlig mildt vær gjorde at Skedsmo-Hellerud var i drift i desember 2020.



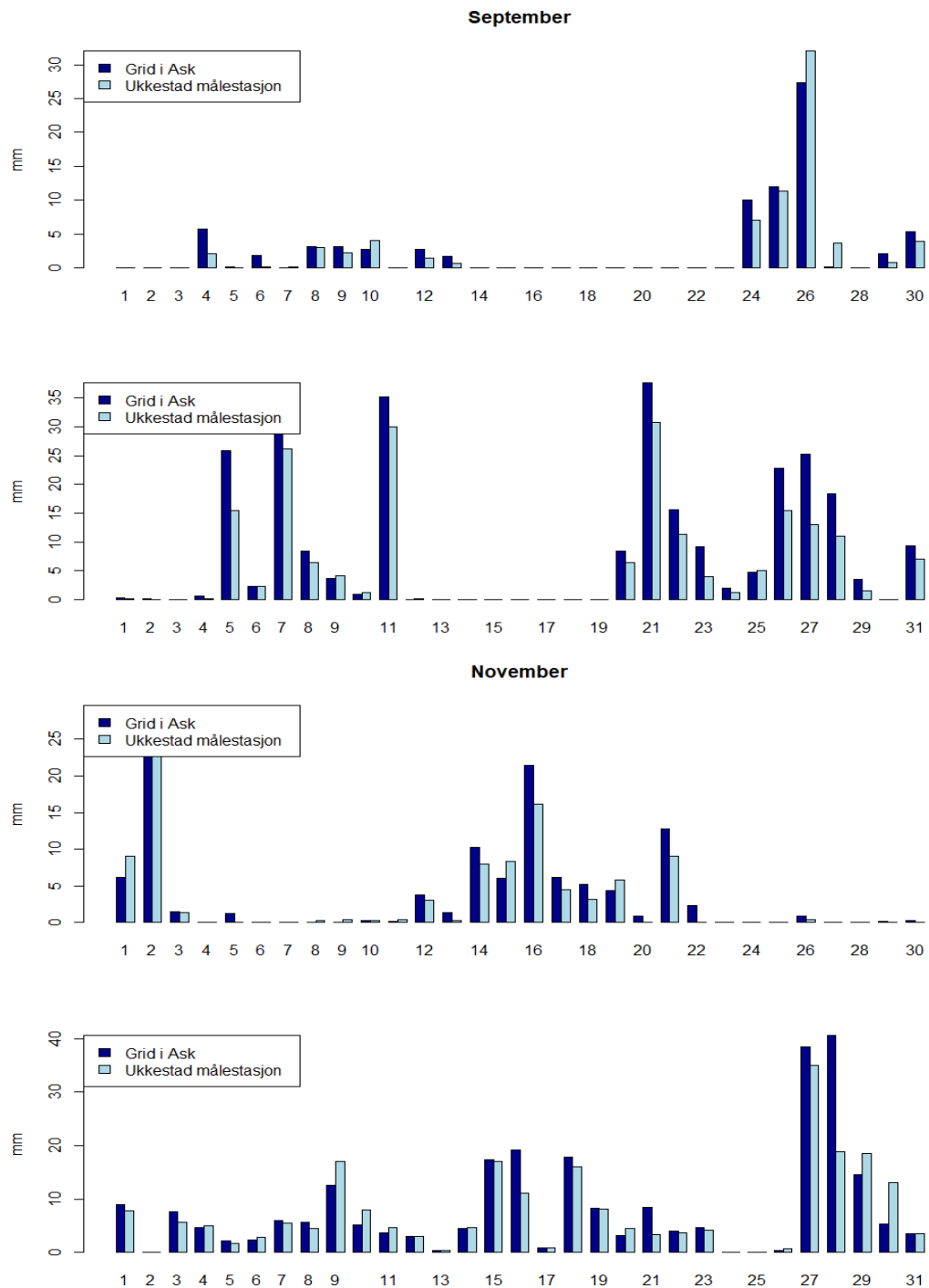
Figur 2.2.1. Månedsnedbør Ukkestad og Ask, september – desember i årene 2011 – 2020.

### 2.2.3 Daglige nedbørverdier høsten 2020

I figur 2.2.2 er et plot av daglige verdier for høsten 2020 til og med desember. Plottene viser at det har vært mange dager med nedbør og mye nedbør i oktober, november og desember. Ser en på desember er det klart at det var mye nedbør i området i dagene før skredet. Dette støttes også av nedbør på stasjoner som ligger lengre unna.

Det må gjøres oppmerksom på at METs observasjoner gjøres klokken 08.00 og gjelder for de foregående 24 timer. Det vil si at nedbøren som ble målt den 27., 28. og 29. desember, falt i perioden 26.12 kl 08 til 29.12 kl 08, dette var totalt 72,3 mm. Dette er den høyeste 3-døgnsnedbøren som er registrert på Ukkestad om vinteren, og har en beregnet returperiode på rundt 100 år. Også 4-døgnsnedbøren fra 27. til 30. desember, 85,3 mm, har en returperiode på omkring 100 år.

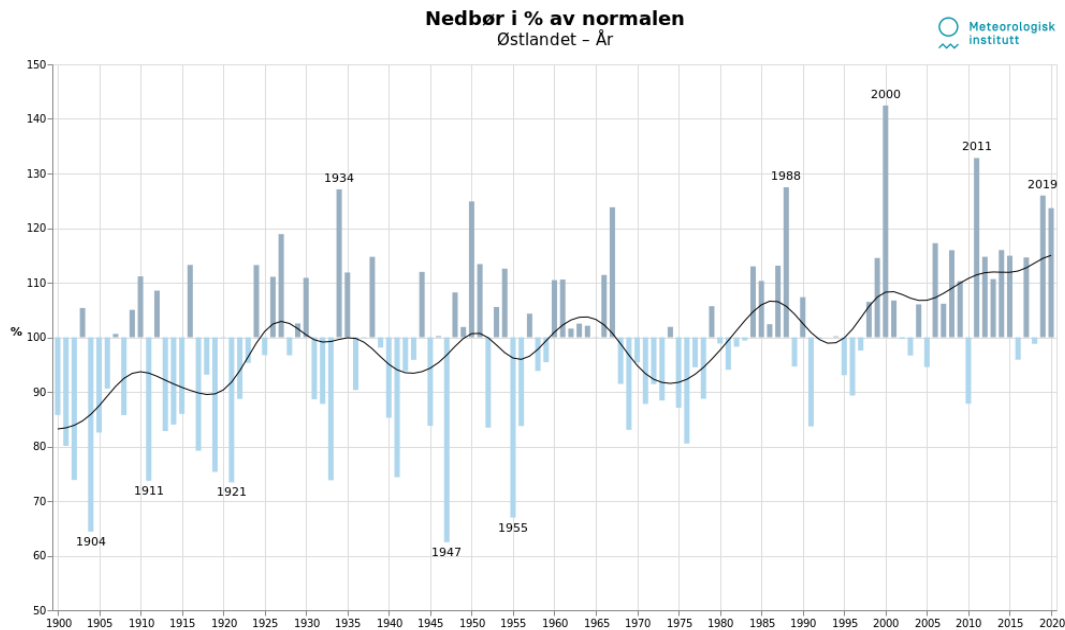
Perioden september til desember 2000 var, som nevnt, enda våtere, med totalt 673 mm mot 592 mm i 2020. Største 4-døgnsnedbør i 2000 var 86,3 mm, mellom 18. og 21. november. Største 3-døgnsnedbør var 73,3 mm mellom 18. og 20. november. Største døgnnedbør var 38,2 mm, som ble registrert 10. oktober.



Figur 2.2.2. Døgnnedbør Ukkestad og Ask, september – desember 2020.

## 2.3 Observerte klimaendringer

Ut fra Meteorologisk institutt sine sider er følgende graf hentet ut. Den viser utviklingen i årsnedbør i på Østlandet relativt til normalen. Grafen viser en økning på ca 10% relativt til normalen.



Figur 2.3.1. Årsnedbør i % av normalen for Østlandet fra 1900 – 2020.

## 2.4 Oppsummering

Observert nedbør på Ukkestad og beregnet for Ask viser at det var svært mye nedbør høsten 2020, og spesielt i desember. Det var også mye nedbør i dagene før skredet. Observasjoner av klima over tid viser også en økning i nedbør. *Om dette har noe med skredet å gjøre har Meteorologisk institutt ingen formening om, her henviser vi til fagkompetanse hos NVE.*

Mer om klimaendringer og grunnlag for klimatilpasning finnes i klimaprofil Oslo og Akershus på [www.klimaservicesenter.no](http://www.klimaservicesenter.no)



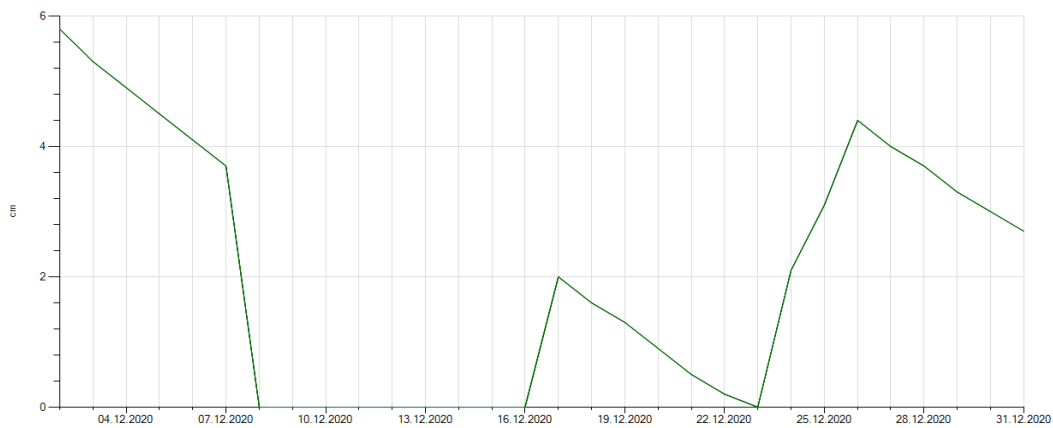
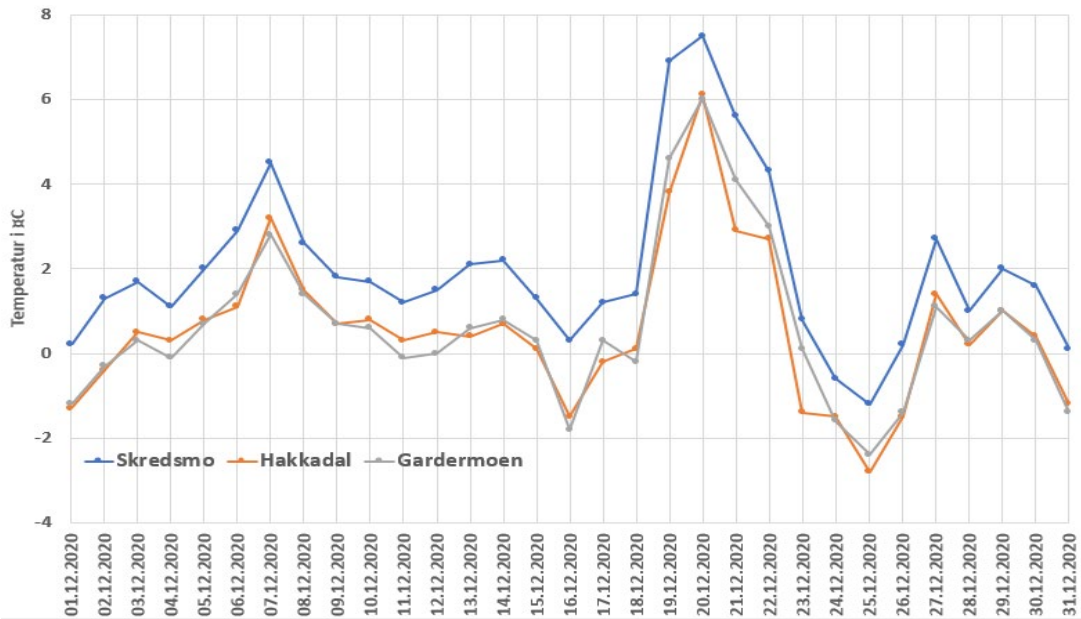
# 3 Hydrologiske forhold Gjerdrum høsten 2020

## 3.1 Teledyp

Det var svært lite tele i bakken dagene før skredet gikk. Temperaturdata fra Skedsmo, Hakadal og Gardermoen viser at døgnmiddeltemperaturen i området var mellom 0°C og -2°C fra 23. – 26. desember (figur 3.1.2). Fra 27. desember var det igjen mildvær. Ifølge data fra [www.xgeo.no](http://www.xgeo.no) var teledypet omkring 4 cm den 26. desember, men blant annet høy vannmetning i området gjør at det er usikkert om det overhode var noen tele i bakken i forkant av skredet.



Figur 3.1.1. Oversiktskart som viser temperaturstasjoner i nærheten av Ask. Gridcelle ved Ask hvor teledypdata er tatt ut, er markert med grått (cellen har SeNorge-kode 1595679).

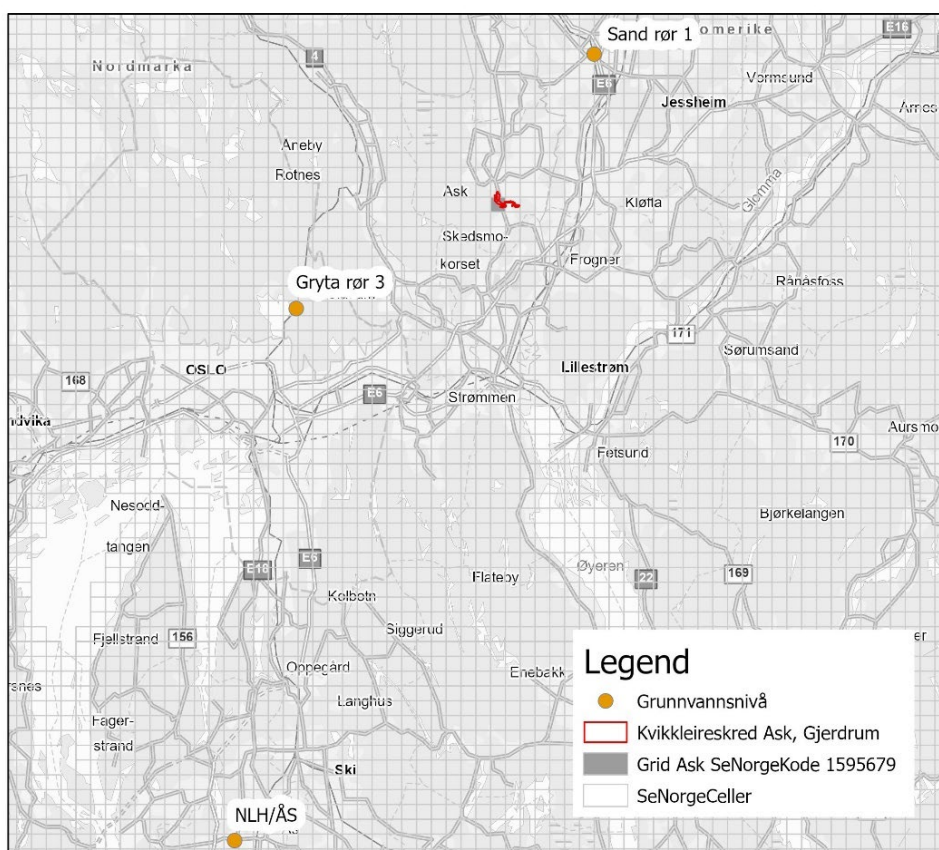


Figur 3.1.2. Øverst, døgnmiddeltemperatur ved tre målestasjoner i nærheten av Ask i desember 2020. Nederst estimert teledyp Ask i cm (kilde: Xgeo.no).

## 3.2 Mark- og grunnvannstand

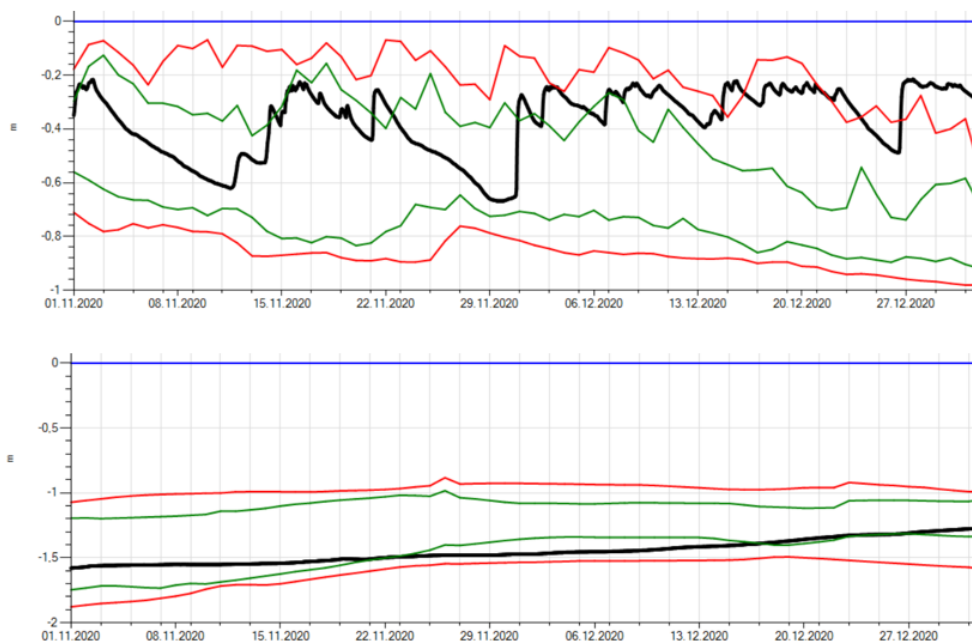
### 3.2.1 Observasjoner

NVE har enkelte grunnvannstasjoner i denne delen av landet. Målestasjonen Sand, som ligger nærmest (~10 km nordøst for Ask) ligger i den store Gardermoen akviferen. Denne har veldig treg respons og er ikke representativ for forholdene ved Ask. Målestasjonen på Ås, sør for Oslo (~ 50 km sørvest for Ask), ligger i en leireavsetning, mens målestasjonen Gryta i Oslo (~20 km sørvest for Ask) ligger i en moreneavsetning. Ås er den grunnvannsstasjonen i denne delen av landet med forhold som minner mest om de en finner i Gjerdrum ved Ask. Plasseringen av stasjonene er vist i figur 3.2.1.



Figur 3.2.1. Grunnvannstasjonene i nærheten av Ask. Skredområdet er markert med rødt.

Figur 3.2.2 viser at observert grunnvannstand på Ås var høyere enn normalt i desember. Her var grunnvannstanden drøyt 20 cm under bakkenivå, mens det vanligvis på denne tiden av året er 60-90 cm ned til grunnvannspeilet. Målinger på Gryta viser at her var det normal grunnvannstand for denne perioden av året, men at grunnvannstanden hadde økt jevnt gjennom hele november og desember.



Figur 3.2.2. Grunnvannsmålinger på Ås (øverst) og Gryta (nederst) i november og desember 2020. Den blå streken viser bakkenivå og den svarte observert grunnvannstand. De røde strekene angir 5- og 95-persentil og de grønne 25- og 75-persentil. (Kilde: Xgeo.no).

### 3.2.2 Simuleringer

Vannmetning i jord, som presenteres i xgeo/ senorge, simuleres ved hjelp av en hydrologisk modell GWB (Gridded Water Balance model). GWB er en romlig fordelt versjon av flomvarslings HBV-modell og beregner vannbalansen for hver 1 x 1 km gridcelle over hele Norge. Hver gridcelle er karakterisert ved en gjennomsnittshøyde og prosentvis arealbruk inndelt i vegetasjon, jord, myr, sjø, isbre. Det benyttes fem arealbruksklasser for å beskrive egenskapene til vegetasjonen i modellens grid-celler (Boje m.fl. 2018).

- I. områder over tregrensen med ekstremt fattig vegetasjon, for det meste lav, mose og gress
- II. områder over tregrensen med gress, lyng, vier og andre vekster med lav høyde
- III. områder under tregrensen med fjellskog
- IV. lavereliggende områder under tregrensen med barskog eller løvskog
- V. områder under tregrensen uten skog, for eksempel jordbruksområder

Områdene omkring Ask er, som resten av Romerike, dekket av klasse IV og V. Videre er hver **vegetasjonstype** tilordnet en karakteristisk jordart som har større mektighet i lavlandet enn i høfjellet. Men modellen har ingen kunnskap om jordarter, for eksempel om det er sand eller leire i bakken, utover en antakelse om at alle jordbruksområder har de samme egenskaper, alle områder med skog har de samme egenskaper osv. I

virkeligheten er heterogeniteten ganske stor, noe som påvirker jordas evne til å lagre og omsette vann. Modellen fanger ikke opp alle variasjoner i lokal skala.

Modellen benytter døgn som tidsskritt og bruker romlig fordelt temperatur og nedbør som inngangsdata. Modellen har komponenter for snømagasin, vanninnhold i rotsonen, grunnvannsmagasin, fordampning, avrenning til vassdragene, myr, sjø, frostdyp i jord og isbreer. Potensiell fordampning er en funksjon av lufttemperatur og vegetasjonens utvikling i vekstsesongen, mens den aktuelle fordampningen er påvirket av det faktiske vanninnholdet.

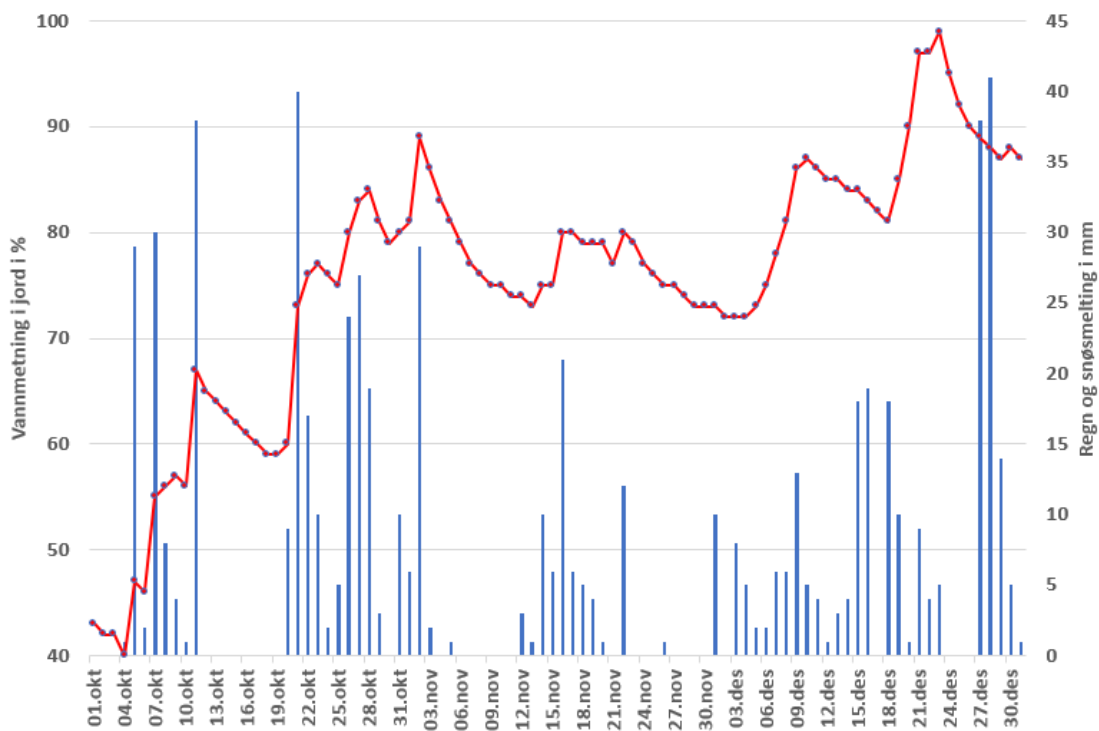
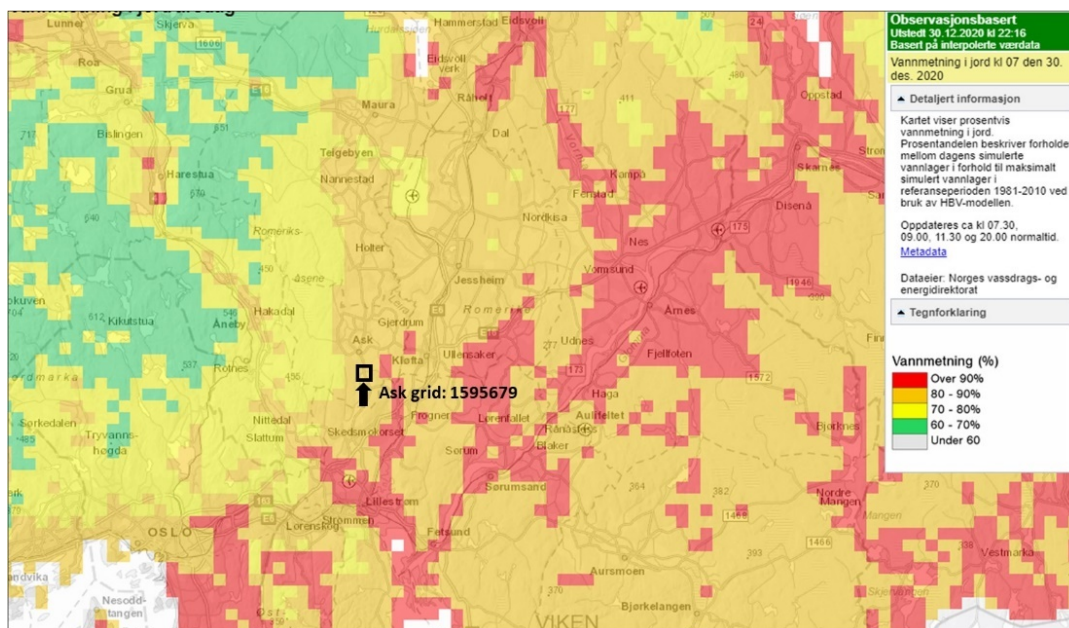
Vannbalanseberegningene utføres for hver grid-celle uavhengig av de andre cellene. Verdiene for modellparameterne som er tilordnet hver gridcelle, reflekterer at hydrologiske prosesser påvirkes av den romlige variasjonen i topografi, vegetasjon, og jordtype. Det er data fra GWB som også inngår indeksene for jordskredfare.

Vannmetning i jord i % angir forholdet mellom dagens simulerte mengde vann i grunn- og markvannssonen og den største mengde det er simulert i referanseperioden 1981-2010. Disse relative verdiene gir et riktigere bilde av fuktighetsforholdene i bakken enn om en ser på de absolutte verdiene.

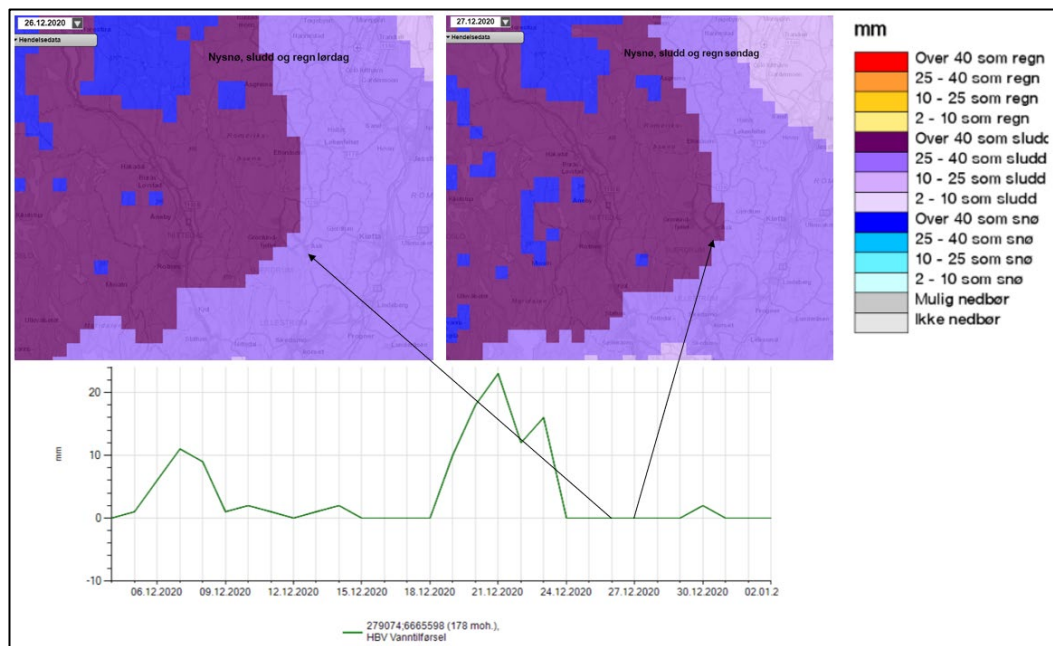
Den 30. desember 2020 viser simulert vannmetning i jord en variasjon fra under 70 % i høyreliggende områder vest for Ask, der snøen hadde lagt seg til over 95 % i områdene nærmere Glomma (figur 3.2.3). Beregningene gir verdier i underkant av 90 % ved Ask da skredet gikk, men nøyaktigheten i slike beregninger ned på «pixel-nivå» (1 x 1 km) er usikker. Det hadde vært høy vannmetning ved Ask siden starten av desember med en topp 23. desember med 99 %.

Figur 3.2.3 viser at vannmetningsgraden ved Ask gikk noe ned i dagene forut for skredet, på tross av at det kom mye nedbør fra 27. – 29. desember. Den modellen som benyttes i den operative jordskredvarslingen, og som beregner vannmetningsgrad har «tolket» nedbøren disse dagene som vesentlig sludd (figur 3.2.4), noe som sannsynligvis har gitt for lav vannmetningsgrad. Alternative simuleringer med DDDUrban (se kapittel 4.4 og 4.5), antyder tilnærmet mettede forhold 27. desember, men avtagende metningsgrad igjen fram mot rastidspunktet. Samtidig la det seg da noe våt snø i områdene omkring Ask. Analyser av historisk simulert vannmetningsgrad i perioden 1957-2020 viser og at det var spesielt høy vannmetning også ca. en uke i forkant av at skredet gikk.

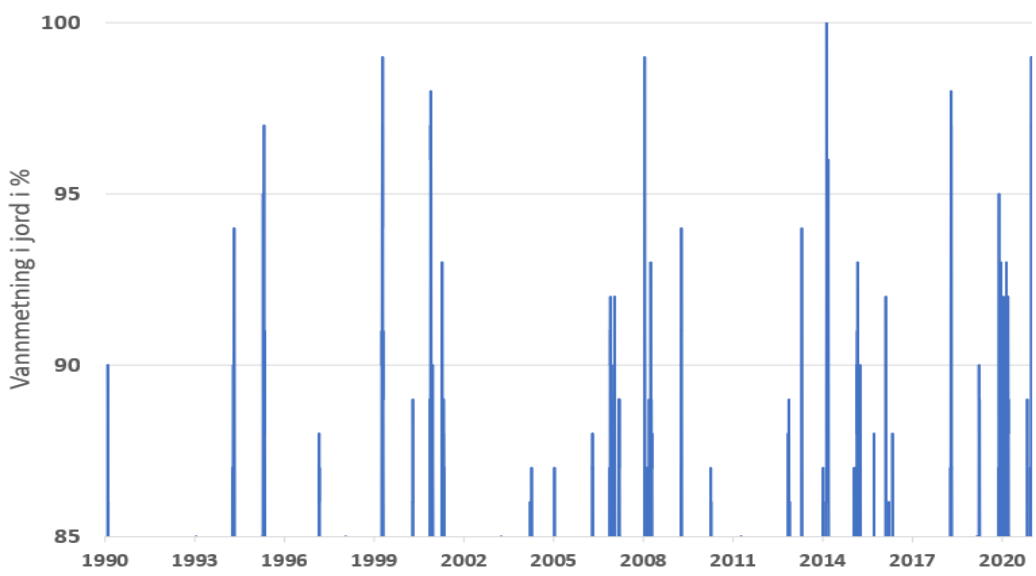
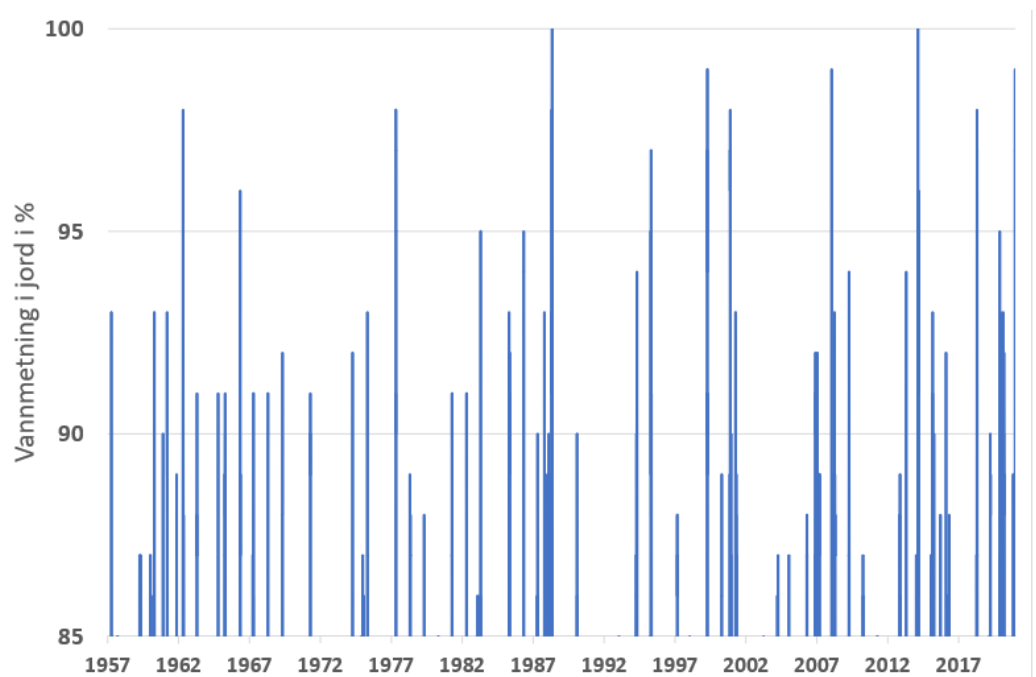
Det har i årene 1957 – 2020 vært flere perioder med høy vannmetning (figur 3.2.5 og tabell 3.2.1). Totalt har det vært: 296 dager med vannmetning over 90% (48 perioder), 35 dager over 95% (14 perioder) og 5 ganger over 98%, siste gang dette skjedde var 23 desember 2020.



Figur 3.2.3. Simulert vannmetning i jord. Øverst: ved Ask den 30. desember 2020. Nederst: Utviklingen av vannmetningsgrad og sum regn og snøsmelting 1. oktober – 31. desember 2020. Kartet og den røde grafen viser prosentvis vannmetning i jord. Prosentandelen beskriver forholdet mellom simulert vannlager aktuell dag i forhold til maksimalt simulert vannlager i referanseperioden 1981-2010 ved bruk av GWB-modellen. Data er hentet fra km<sup>2</sup>-griddet som er markert ved Ask (Kilde: xgeo.no).



Figur 3.2.4. Øverst, nedbør 26. og 27. desember 2020. Nedbøren er begge dager klassifisert som omkring 40 cm sludd ved Ask. Dette ga ingen avrenning (nederste figur) eller økt jordfuktighet (se figur 3.2.2) disse dagene i modellen som benyttes i den operative jordskredvarslingen (kilde: Xgeo.no).



Figur 3.2.5. Perioder med estimert vannmetning over 85% ved Ask i perioden 1957-2020 og 1990-2020 (Kilde: Xgeo.no).

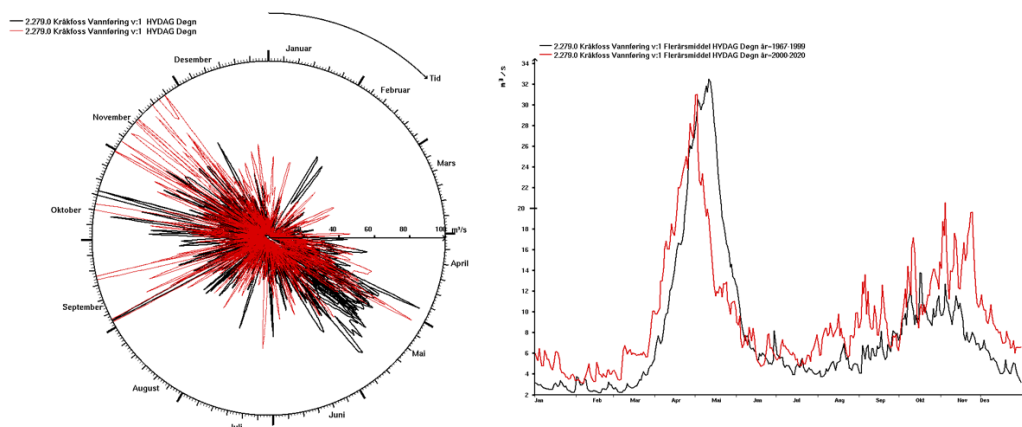


I årene 1957 – 1999 var 25 av 28 episoder med høy vannmetning (> 90 %) om våren (mars – mai), dette skyldes i hovedsak snøsmelting. I disse årene var det kun en episode med høy vannmetning om sommeren (juni-august), to på høsten (september - november) og ingen på vinteren (desember – februar). I årene 2000 – 2020 har det vært 20 episoder med vannmetning over 90 %. 12 av disse har vært i vintermånedene. Desember 2019 – februar 2020 skiller seg ut med 5 kortere vinterperioder med høy vannmetning, i tillegg var det høy vannmetning også i slutten av desember 2020 (i forkant av skredet).

De første 31 årene (1957-1987) med beregna vannmetning er det kun 3 episoder med vannmetning på 95 % eller mer og ingen over 98 %. Etter 1988 har det vært 11 episoder med høyere vannmetning enn 95 % og 5 episoder over 98%.

De simulerte endringene i vannmetning harmonerer godt med observasjoner fra målestasjonen 2.279 Kråkfoss i Leira. Flomrosa i figur 3.2.6 viser at forekomsten av høye vannføringer har blitt betydelig mindre på våren (april/ mai), men økt spesielt i november/ desember. Videre ser en at vannføringen om høsten og vinteren jevnt over er høyere de siste 20 årene enn for perioden 1967-99, selv om det også i den tidligere perioden er innslag av enkelte vinterflommer (f.eks. i februar 1990 og desember 1992).

I tabell 3.2.2 er det gitt en oversikt over beregnet vannmetning ved de fem største flomhendelsene fra desember – februar i henholdsvis periodene 1967-99 og 2000-2020. For «flomhendelsene» i 1967 – 99 var gjennomsnittlig vannmetning 70 % og med en variasjon fra omkring 60 – 80 %, mens for hendelsene fra 2000 – 2020 var gjennomsnittlig vannmetning ca. 90 % og med en variasjon fra omkring 80 – 100 %. Dette er en indikasjon på at høy vintervannføring og samtidig høy vannmetning i dette området er vanligere siste 20 år enn når en går 20 – 50 år tilbake i tid.



Figur 3.2.6.. Vannføring ved målestasjonen 2.279 Kråkfoss i Leira i årene 1967-99 (svart) og 2000 – 2020 (rød). Til høyre vist som gjennomsnitt for de to periodene og til venstre som en «flomrose» som viser fordelingen av store vannføringer gjennom året.

Tabell 3.2.1. Perioder med estimert vannmetning over 90, 95 og 98 % i perioden 1957-2020. De ulike sesongene er markert med hvitt for vinter (des. – feb.), lys grå for vår (mars – mai), lys grønn for sommer (juni – aug.) og mørk grå for høst (sep. - nov).

Over 90%.	Over 95%	Over 98%	Over 90%.	Over 95%	Over 98%
05.-09.04.1957			23.-28.04.1994		
14.-18.04.1960			15.-17.04.1995		
10.-13.03.1961			23.-28.04.1995	25.- 26.04.1995	
23.-30.04.1962	26.- 28.04.1962		04.-19.04.1999	10., 11. & 14.04.1999	14.04.1999
20.04.1963			19.-26.10.2000	20.- 24.10.2000	
15.10.1964			22.-26.11.2006		
14.04.1965			14.-15.01.2007		
03.-08.05.1966	06.05.1966		16.-19.01.2008	17.01.2008	17.01.2008 (99%)
10.-17.04.1967			31.03.- 01.04.2008		
20.-21.06.1968			07.-11.04.2009		
30.04- 01.05.1969			18.-20.04.2013		
17.04.1971			15.-18.02.2014	16.- 17.02.2014	16.02.2014 (100%)
08.-09.04.1974			24.02- 10.03.2014	08.03.2014	
24.27.04.1975			27.02.- 03.03.2015		
24.04- 06.05.1977	27.- 30.04.1977		09.02.2016		
11.-12.04.1981			15.22.04.2018	16.- 22.04.2018	
19.-22.04.1982			22.-24.11.2019		
18.-22.04.1983			14.-16.12.2019	14.- 16.12.2019	
20.-23.04-1985			18.-19.01.2020		
03.05 og 07.- 10.05.1985			29.01.2020		
29.04- 04.05.1986			17.02.2020		
17.10.1987			21.-23.02.2020		
17.-23.04.1988	21.04.1988		09.-12.03.2020		
29.04- 08.05.1988	30.04.- 06.05.1988	02.-04.05. 1988 (100%)	21.-25.12.2020	21.- 23.12.2020	23.12.2020 (99%)

Tabell 3.2.2. De fem største vintervannføringerne ved 2.279 Kråkfoss i perioden 1967-99 og 2000- 2020 og samtidig vannmetning i jord ved Ask.

<b>1967 – 1999</b>	<b>Vann- føring</b>	<b>Vann- metning</b>	<b>2000 – 2020</b>	<b>Vann- føring</b>	<b>Vann- metning</b>
	<b>m<sup>3</sup>/s</b>	<b>%</b>		<b>m<sup>3</sup>/s</b>	<b>%</b>
25.12.1984	30	72	14.12.2000	44	90
10.12.1986	25	69	08.12.2006	42	90
01.02.1990	54	83	17.01.2008	44	99
03.12.1992	61	74	25.12.2013	53	83
19.12.1994	37	63	20.12.2020	50	90
Gjennomsnitt	41	72		47	90

### 3.3 Jordskredvarsel

Som følge av høy vannmetning i bakken kombinert med mye regn, utstedte NVE et jordskredvarsel på gult nivå for deler av Østlandet 27.-28. desember (figur 3.3.1). Fare for kvikkleireskred er imidlertid ikke omfattet av jordskredvarslingen. Det er langvarige og spesielle prosesser som fører til kvikkleireskred, som erosjon fra en elv eller bekk over tid som treffer en lomme med kvikkleire, eller menneskelig aktivitet som deponering av masser eller grave- og sprengningsarbeid, og dette er ikke nødvendigvis direkte knyttet til de aktuelle hydrometeorologiske forholdene.

Et gult varsel for jordskredfare indikerer at det er fare for utglidning, jordskred eller flomskred som er utløst av regn og/eller snøsmelting. Utglidninger og små jordskred kan forekomme både i morenemateriale og leirområder. Erfaring viser at utglidninger/ jordskred i leirområder (marine avsetninger) forutsetter svært høy vannmetning, nær 90-100%, i kombinasjon med noe regn og snøsmelting. Jord-/ flomskred i morenemateriale kan forekomme med lavere vannmetning, men forutsetter veldig høy vanntilførsel (regn og snøsmelting). Et gult varsel indikerer at det er en utfordrende situasjon som krever oppfølging og kan medføre skader lokalt.

**Varsel om jord- og flomskredfare, gult nivå for Store deler av Østlandet (NVE)**

2  
Publisert: 27.12.2020 10:24 Gyldig: fra 27.12.2020 07:00 til 28.12.2020 06:59  
Neste varsel før: 27.12.2020 15:30

**Type**  
Jordskred

Grunnvannstanden og vannmetningsgraden i bakken er nå mange steder svært høy. Det ventes store nedbørmengder over Østlandet fra lørdag kveld til søndag, som regn under ca. 300-800 moh. Det er forholdsvis stor usikkerhet knyttet til temperaturen og følgelig hvor nedbøren vil falle som regn og hvor den vil falle som snø. Stigende temperaturer vil også stedvis føre til snøsmelting.

Detaljer	
Fare øker	Søndag morgen 27. des. 2020
Fare minker	Mandag kveld 28. des. 2020
Høyde	0 - 800 moh
Konsekvens	Det ventes noen skredhendelser. Enkelte store hendelser kan forekomme. Utsatte bane- og vegstrekninger kan bli stengt. Jordskred er utglidninger og rask bevegelse av vannmettet jord i bratte skråninger. Flomskred er en flom av vann, jord og stein i bratte bekkeløp. Vann på avveie i bratt terreng kan medføre bekkeløpsendring. Flomskred har lang rekkevidde og kan gå ned i dalbunnen selv om det løses ut høyt i terrenget.
Råd	Hold deg oppdatert om utviklingen av været, skred- og flomsituasjonen, og følg værradaren. Hold deg unna bratte skråninger, samt bekker og elveløp med stor vannføring. Hold stikkrenner, kummer og andre vannveier fri for snøis, grus, søppel, kvist og løv. Tette vannveier med oppdemmet vann kan forårsake skred.
Betydning av varselnivå	Utfordrende situasjon som krever oppfølging og kan medføre skader lokalt. Gult nivå er det laveste av våre varselnivåer.

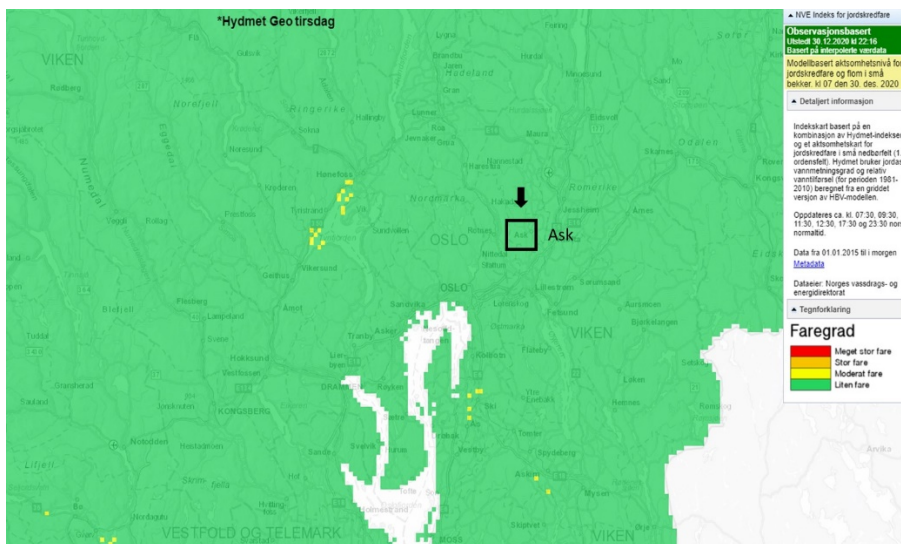
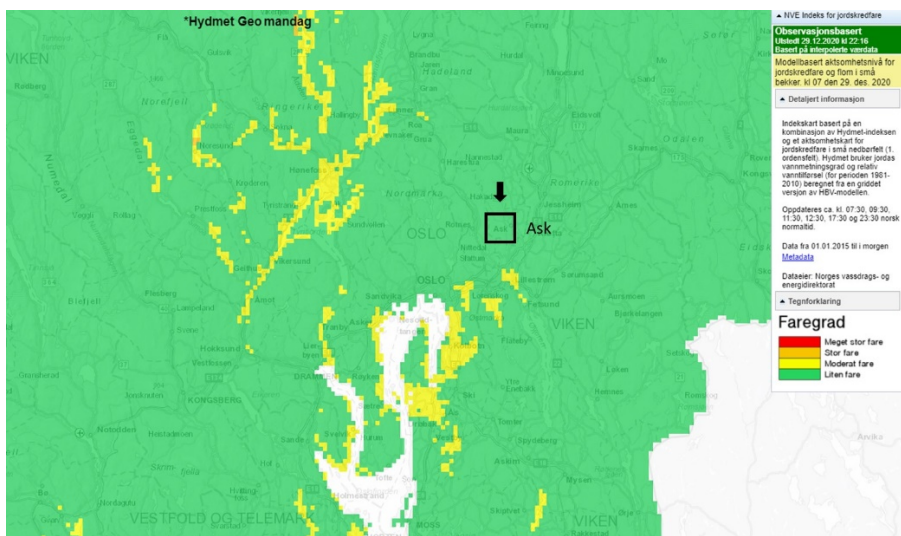
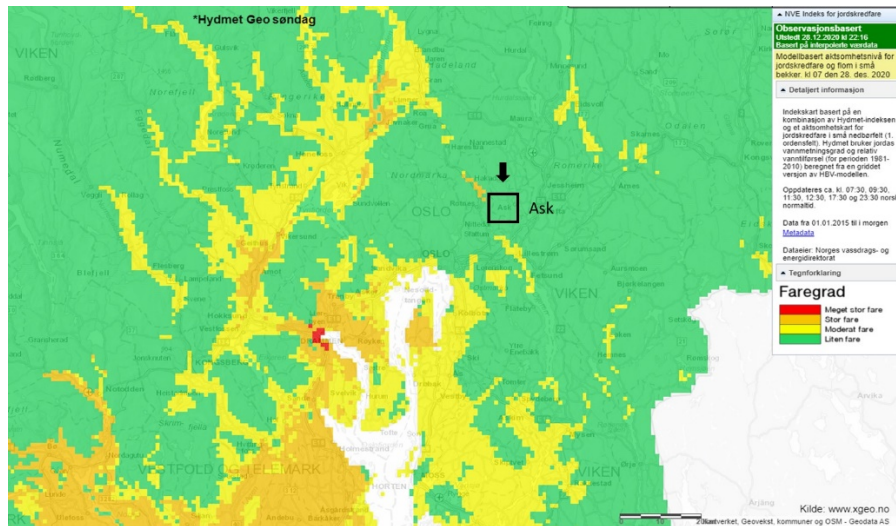
**Kontaktinformasjon**

**Flomvarslingen:**  
Tlf. 404 36 000 (ikke sms) 08.00–21.00 alle dager

**Jordskredvarslingen:**  
Tlf. 400 28 777 (ikke sms) 08.00–21.00 alle dager

Figur 3.3.1. Jordsredvarsel publisert den 27.12 (Kilde: varsom.no)

Fare for jordskred vurderes gjennom analyse av flere hydro-meteorologiske parametere og spesielt bruk av et indeks-kart, Hydmet Geo, som er basert på en kombinasjon av vannmetningsgrad, relativ vanntilførsel (regn og snøsmelting) og et aktsomhetskart for løsmasseskred i små nedbørfelt. Indeksen er beregnet fra en griddet versjon av HBV-modellen. Figur 3.3.2 viser at det var utslag for jordskredfare på regionalt nivå 27.-28. desember, men at faren var minkende fra natt til 29. desember. Siste kart (nederst) viser simulert indeks da kvikkleireskredet gikk.

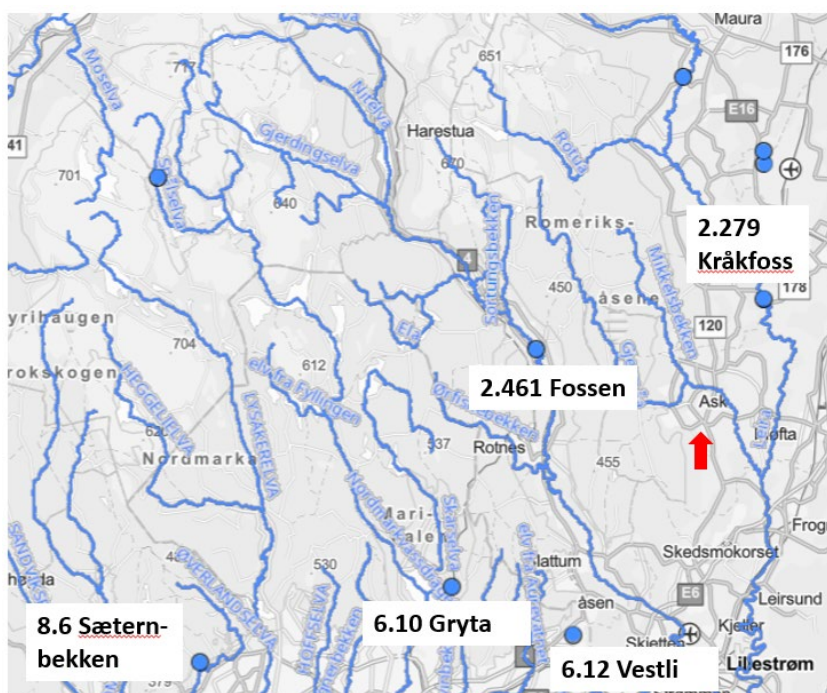


Figur 3.3.2. Indeks-kart for jordskredfare (Hydmet Geo). Øverst: kart for søndag 27.12 til mandag 28.12 kl. 07; i midten: kart for mandag 28.12 til tirsdag 29.12 kl. 07; nederst: kart for tirsdag 29.12 til onsdag 30.12 kl. 07. (Kilde: Xgeo.no).

## 3.4 Vannføring ved nærliggende målestasjoner

### 3.4.1 Utvalg av målestasjoner

Det finnes sanntidsmåling av vannføring fra flere målestasjoner i nærheten av Ask. Stasjonene som er lokalisert nærmest er Kråkfoss i Leira og Fossen i Nitelva noen kilometer nordøst og nordvest for Ask. Disse stasjonene har imidlertid store nedbørfelt sammenlignet med Tistilbekken i Ask, det er derfor også tatt med observasjoner fra tre målestasjoner i Osloområdet med vesentlig mindre felt. Plasseringen av de ulike stasjonene er vist i figur 3.4.1, og noen sentrale feltkarakteristika for stasjonene er gitt i tabell 3.4.1.



Figur 3.4.1. Lokaltet av målestasjonene Kråkfoss i Leira, Fossen i Nitelva, Vestli – urbanstasjon i Groruddalen, Gryta i Nordmarksvassdraget og Sæternbekken i Sandvikselva (Kilde: Xgeo.no). Pilen angir Ask.

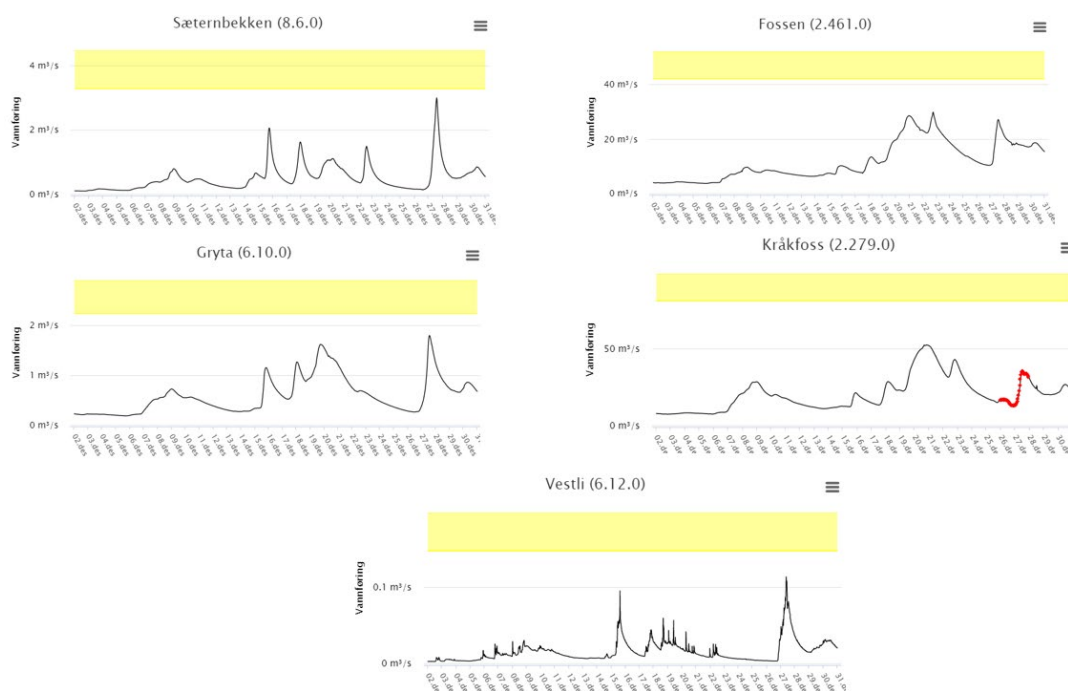
Nedbørfeltene til stasjonene Sæternbekken, Gryta og Vestli er små (0,4 – 7,0 km<sup>2</sup>), sammenlignet med feltene til Fossen og Kråkfoss (225 og 435 km<sup>2</sup>), og de ligger også noe lavere med medianhøyde omkring 200 - 300 moh, mens de to større feltene har en medianhøyde på drøyt 400 moh. Tistilbekken har til sammenligning en medianhøyde på ca. 170 moh. Alle feltene har større innslag av skog i nedbørfeltet enn Tistilbekken, og Fossen, Kråkfoss og Gryta har noe høyere effektiv sjøprosent enn de øvrige feltene. Ut fra en vurdering av feltkarakteristika vurderes derfor Vestli og Sæternbekken å ha felt som «ligner» mest på feltet til Tistilbekken.

**Tabell 3.4.1. Feltparametere for målestasjoner i nærheten av Tistilbekken.**

	Areal km <sup>2</sup>	Periode	Årsmiddel- avrenning l/s/km <sup>2</sup>	Median- og maks høyde moh	ASE %	A <sub>skog</sub> %
Tistilbekken	1,26		27	171 (266)	0	ca. 5
2.279 Kråkfoss	435	1966-2020	19	443 (807)	0,42	76
2.461 Fossen	225	1984-2020	30	430 (700)	0,61	85
6.12 Vestli (urbanfelt)	0,4	1998-2020	22	200 (245)	0,01	39
6.10 Gryta	7,0	1968-2020	21	300 (435)	0,41	95
8.6 Sæternbekken	6,2	1972-2020	18	240 (420)	0,01	93

### 3.4.2 Observerte vannføringer desember 2020

I figur 3.4.2 er vannføringen i desember 2020 ved de fem utvalgte målestasjonene i nærheten av Ask vist.



*Figur 3.4.2. Vannføringer observert i desember 2020 ved målestasjonene Kråkfoss, Fossen, Vestli (urbanstasjon), Gryta og Sæternbekken. Gulfargen angir nivå for årsmiddelflom ved den enkelte stasjon (kilde: Xgeo.no).*

Observasjonene viser flere vannføringstopper ved alle stasjonene i desember 2020. Ved Vestli, Gryta og Sæternbekken er den høyeste vannføringen observert 27. desember, mens ved Kråkfoss og Fossen er den høyeste vannføringen observert omkring 1 uke tidligere. Dette skyldes først og fremst at 27. desember la det seg mer snø i de øvre delene av nedbørfeltene til Kråkfoss og Fossen enn i de andre feltene. Ved ingen av målestasjonene var maksimal vannføring på nivå med årsmiddelflom i løpet av desember. Det var altså ikke ekstremt store vannføringer ved noen av stasjonene når en sammenligner med data fra hele året.

Hvis en derimot kun ser på data fra vintermånedene, som av Meteorologisk Institutt er definert til desember – februar, blir bildet noe annerledes. Det er da analysert hvor mange hendelser som er observert med vannføring større eller lik maksimal momentan- og 3 døgns vannføring i løpet av desember 2020 for de fem stasjonene. Resultatene er gitt i tabell 3.4.2. Stasjonene har fra drøyt 20 til 55 år med data.

For alle stasjonene er største 3 døgns vannføring i løpet av desember 2020 blant de 3 – 5 største i vintermånedene. Det tilsier en 3 døgns hendelse med omkring 10 års gjentaksintervall for perioden desember – februar.

Rangen for maksimal vannføring i løpet av desember 2020 er mer variabel. Den er nest størst i løpet av 50 år for Sæternbekken, men har kun rang 8 og 9 for Gryta og Vestli. Maksimalvannføringene i området ser dermed ut til å ha variert med gjentaksintervall fra omkring 2 – 3 år til 20 – 30 år når analysene begrenses for vinterperioden.

Ut fra dette er det rimelig å anta at selv om ikke de observerte vannføringene i desember 2020 nådde nivået for årsmiddelflom, var det likevel uvanlig store vannføringer for årstiden. Avgrenses statistikkperioden til desember – februar, gir vannføringsdataene gjentaksintervall på omkring 10 år over 3 døgn og gjentaksintervall som har vært både mindre og noe større enn dette for momentanvannføringer.

**Tabell 3.4.2. Rang av maksimalt observerte vannføringer i løpet av desember 2020 ved målestasjonene i nærheten av Ask/ Tistilbekken.**

	Antall år	Rang momentan vannføring des. 2020	Rang 3 døgns vannføring des. 2020
2.279 Kråkfoss	55	5	3
2.461 Fossen	33	4	3
6.12 Vestli (urbanfelt)	23	9	5
6.10 Gryta	54	8	5
8.6 Sæternbekken	50	2	5

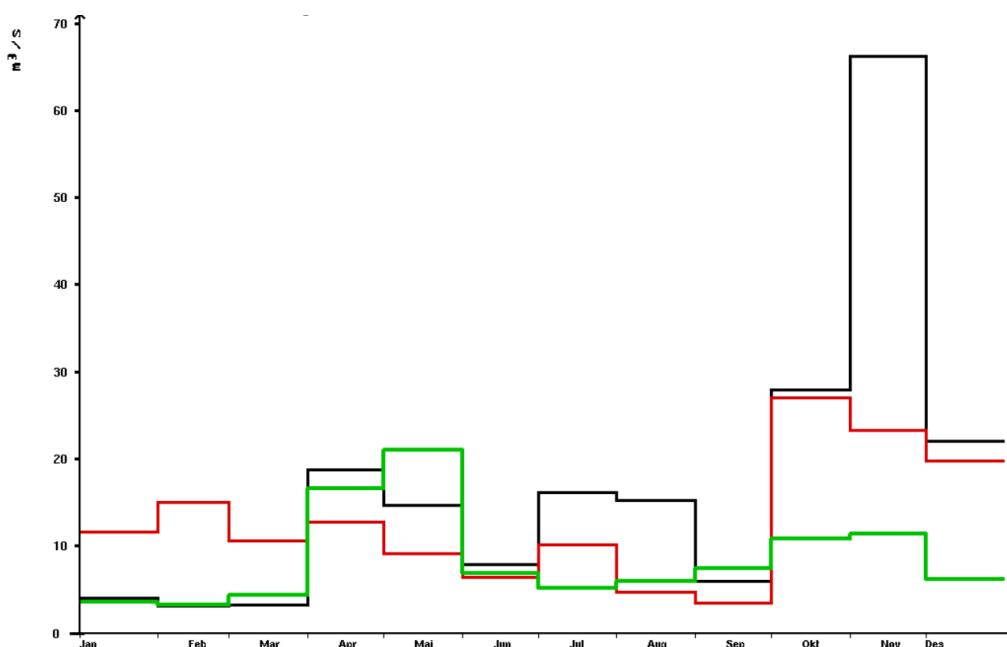


### 3.4.3 Observerte vannføringer høsten 2020

I figur 3.4.3 er vannføringen ved Kråkfoss i Leira vist som månedsmidler for årene 2000, 2020 og som gjennomsnitt for årene 1967-2020. Figuren viser at det var langt over normal vannføring i Leira både høsten 2000 og høsten 2020, og det var også mye vann i Leira i forhold til normalen i januar – mars 2020.

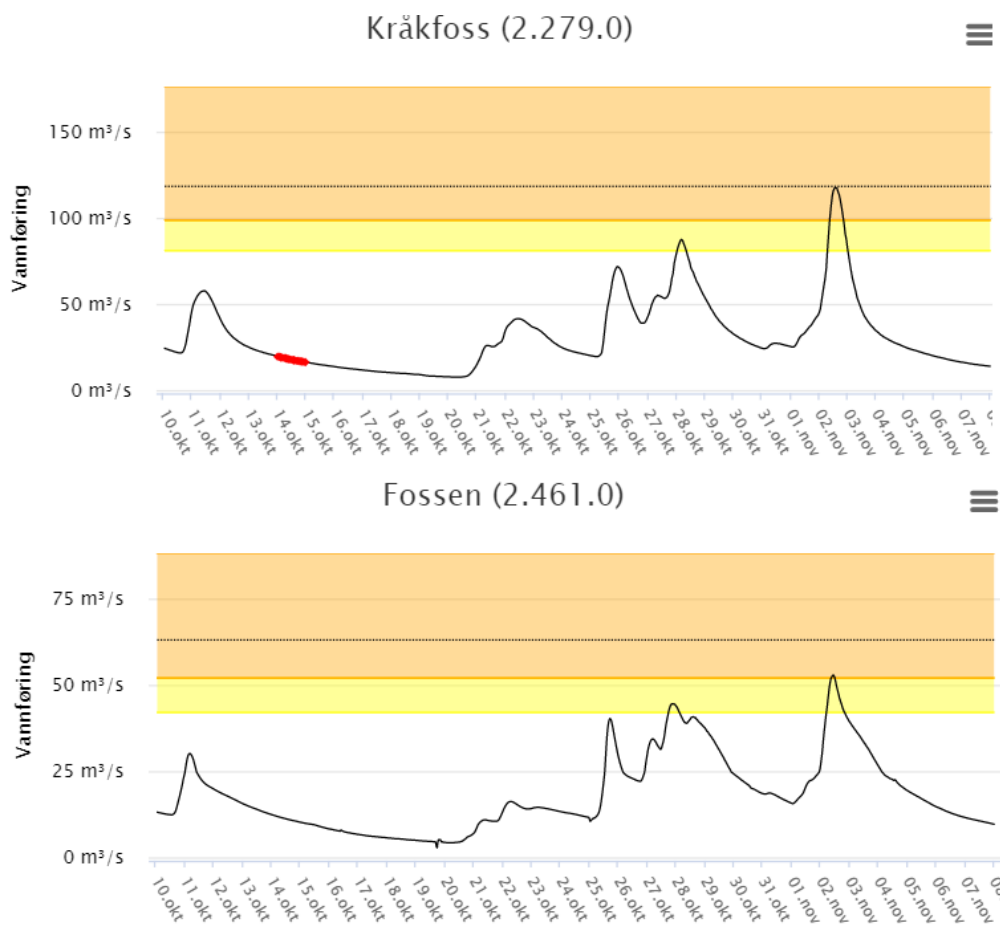
Året under ett er 2000 det klart våteste i tidsserien for Kråkfoss, mens 1967 er det nest våteste og 2020 det tredje våteste. For 3 måneders perioden september – november (standard høstperiode) er igjen 2020 den tredje våteste etter år 2000 og 1967, mens for perioden oktober – desember er 2020 på klar andre plass etter år 2000.

Det vil si at høsten sett under ett har det kun vært større vannføringer i Leira 1 – 2 ganger tidligere de siste 55 år.



Figur 3.4.3. Månedsmiddel vannføring ved målestasjonen 2.279 Kråkfoss i Leira. Året 2020 er markert med rød strek, år 2000 svart strek og middel for årene 1967-2020 med grønn strek.

2. november 2020 ble det observert omkring 10-årsflom ved Kråkfoss i Leira og 5-årsflom ved Fossen i Nitelva (figur 3.4.4). Det er de to målestasjonene som ligger nærmest Ask. Ved de tre øvrige målestasjonene (Sæternbekken, Gryta og Vestlig) var det også stor vannføring, men ikke flomvannføringer i starten av november.



Figur 3.4.4. Vannføring observert i oktober/ november 2020 ved målestasjonene Kråkfoss og Fossen. Gulfargen angir nivå for årsmiddelflom, oransje 5-årsflom og svart horisontalstrek 10-årsflom (kilde: Xgeo.no).

# 4 Hydrologisk modellering av Tistilbekken, Gjerdrum.

## 4.1 Bakgrunn

Hensikten med hydrologisk modellering av Tistilbekken er å se om de hydrometeorologiske forhold forut eller på rastidspunkt var unormale, eller på en annen måte kunne bidra til å forklare utløsning av kvikkleireskredet.

En stor utfordring ved modelleringen er at det ikke er noen vannføringsobservasjoner i Tistilbekken, feltet er svært lite (1.26 km<sup>2</sup>) og er til en viss grad urbanisert (ca 13 % tette flater bestående av veier og hustak). Et modelleringsresultat vil da ikke kunne sammenliknes med observerte vannføringer og vi må bruke annen informasjon for å kunne validere resultatet, som erfaringer fra andre urbane felt og omkringliggende stasjoner.

## 4.2 Modellverktøyet «DDD Urban»

En nyutviklet nedbør- avløpsmodell, Distance Distribution Dynamics Urban (DDDUrban) er anvendt da den har beskjedne krav til inngangsdata (nedbør og temperatur). Den har og modellparametere som for det meste kan bestemmes fra en GIS-analyse av terrenget. Modellen er publisert i et internasjonalt (Skaugen et al, 2020a) og i et nasjonalt tidsskrift (Skaugen et al, 2020b). Modellen anvender fordelinger av avstander vannet må ta før det når et elvenettverk. Det kan være et naturlig elvenettverk, eller et rørsystem for forskjellige overflater. I DDDUrban skilles det mellom tette flater (veier og hustak) og permeable flater hvor vannet kan infiltrere. Det antas videre at den hydrologiske dynamikken (tiden vannet bruker fra det faller som nedbør til avløp måles i bekken) i hovedsak er bestemt av avstandene og hastigheten vannet bruker *til* elvenettverket, og ikke av avstander og hastigheter *i* selve elvenettverket. Denne forutsetningen er basert på at hastighetene til vannet under og på overflater er flere størrelsesordener mindre enn de vi finner i elvenettverket (se Skaugen et al 2002a for en analyse av vannets reisetidsfordelinger i urbane områder).

## 4.3 Data

### 4.3.1 Meteorologiske data

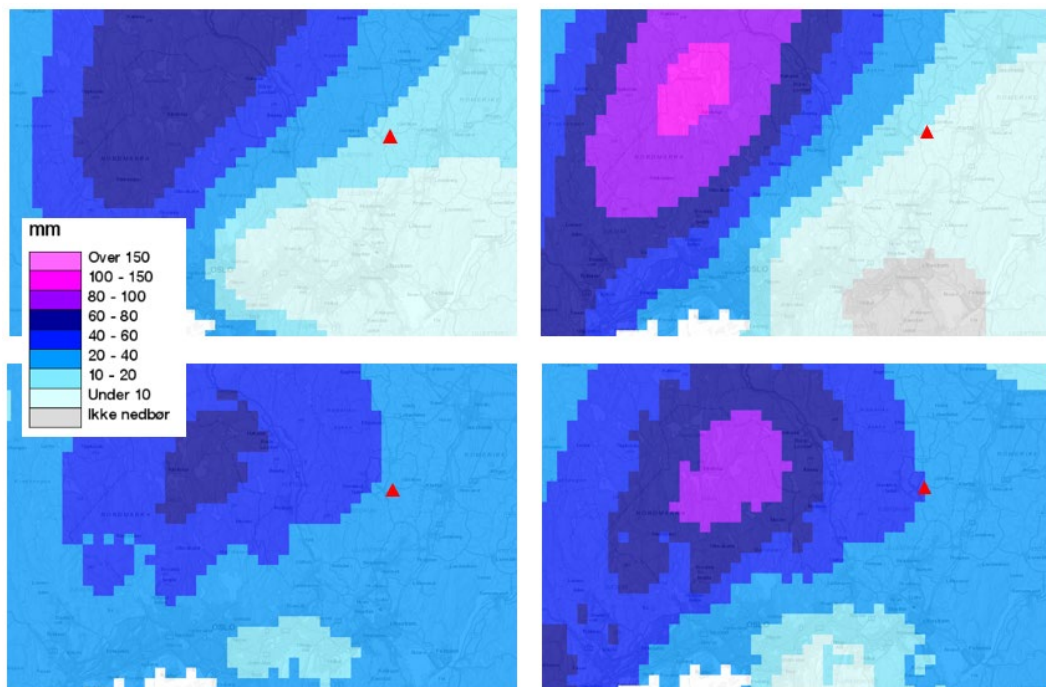
Nedbør- og temperaturdata på 1 times oppløsning er hentet fra det meteorologiske datasettet MET Nordic Analysis (MNA). Data finnes fra september 2013 til dd. (se <https://github.com/metno/NWPdocs/wiki/Post-processed-products> for mere informasjon). Datasettet er utviklet gjennom å kombinere resultater fra atmosfæremodellen (MetCoOp) og dens ensembler, i tillegg til observasjoner fra offisielle meteorologiske stasjoner, værradar og private meteorologiske stasjoner (Netatmo, <https://www.netatmo.com/no-no/weather>).

Ved nærmere analyse av MNA og ved sammenlikninger mot døgnedbør for SeNorge2018 og SeNorge versjon 2 (SeNorgeV2), ble det funnet at MNA ga altfor lave verdier, spesielt i tidsrommet vi er interessert i, siste halvdel av 2020. Fra 7. november 2020 og til rastidspunkt 29. desember 2020, ga MNA en nedbørsum på 93.7 mm, og SeNorge2018 266 mm.

Meteorologisk Institutt har gjennom de siste 20-25 årene utviklet en hel «familie» av nasjonale observasjonsbaserte gridda datasett for nedbør og temperatur. Griddene har en oppløsning på 1 x 1 km. Det nyeste medlemmet i familien er SeNorge2018.

Nedbøren fra SeNorgen2018 antas å være realistisk og være den beste for kjøring av hydrologiske modeller nasjonalt og for lange tidsserier. Imidlertid ble det observert vesentlig mer nedbør enn SeNorge2018 antyder for stasjoner lokalisert øst og nord for Ask i perioden 26. -29. desember 2020. Fra figur 4.3.1 ser en at i henhold til griddet fra SeNorge2018 kom det relativt moderat med nedbør i Ask 26. og 27. desember, selv om dette griddet gir svært høye nedbørverdier i Nordmarka. I SeNorgeV2, som er versjonen før 2018, er sannsynligvis nedbøren i slutten av desember bedre fanget opp i området omkring Ask.

Det er derfor interessant å benytte både nedbør fra SeNorgeV2 og SeNorge2018 som input i den hydrologiske modellen DDDUrban (se kapittel 4.4 og 4.5). Døgnedbør fra begge datasettene er derfor nedskalert til timesverdier. Dette ble gjort ved å bruke den temporale fordelingen per time fra MNA (flere detaljer om en slik disaggregering kan finnes i Vormoor og Skaugen, 2013).



Figur 4.3.1. Observert nedbør i Osloområdet 26. (venstre) og 27. desember 2020 (høyre) basert på nedbørgriddene SeNorge2018 (øverst) og SeNorge V2 (nederst). Ask er markert med rød trekant.

### 4.3.2 Hydrologiske data

Tistilbekken har ingen vannføringsobservasjoner. Det er flere omkringliggende vannføringsstasjoner med relativt liknende hydrometeorologiske forløp. Stasjonene Kråkfoss, Fossen, Vestli, Gryta og Sæternbekken er dels benyttet til kalibrering av modellen og dels for vurdering av simulerte vannføringer i Tistilbekken (se kapittel 3.4.1 for beliggenhet av stasjonene).

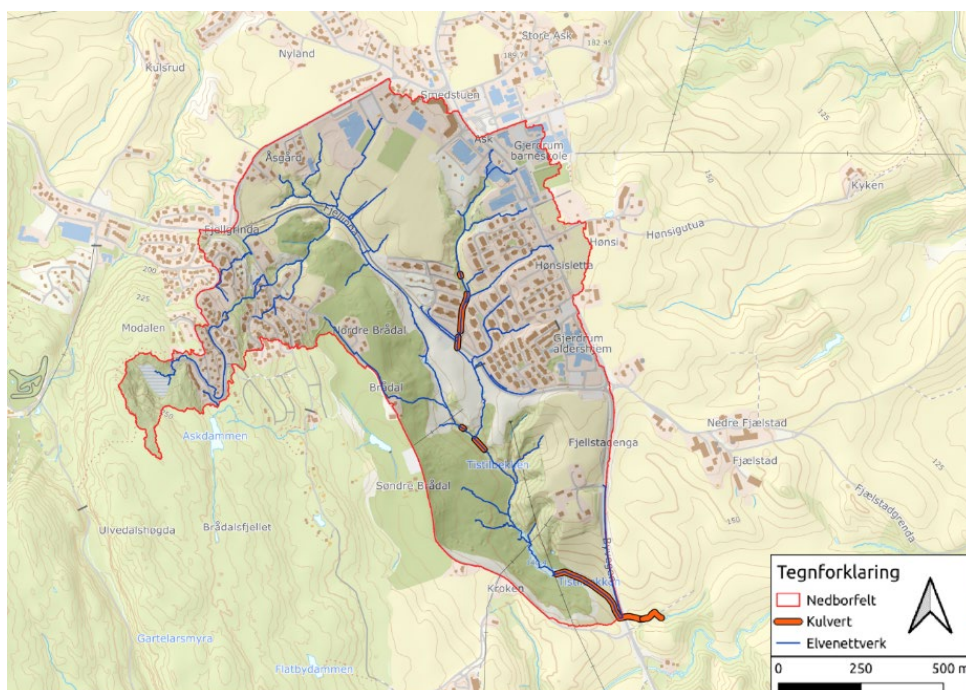
Hvis en skalerer midlere årsmiddelvannføring for Kråkfoss og Fossen for forskjellen i areal, gir de samme årsmiddelvannføring for Tistilbekken (tabell 4.3.1). Det foreligger timesobservasjoner fra begge stasjoner for perioden september 2013 – dd. Midlere årsavrenning for Kråkfoss og Fossen er svært lik den fra Tistilbekken hvis vi skalerer avrenningen for forskjellen i areal (se tabell 4.3.1).

*Tabell 4.3.1. Areal og årsmiddelavrenning for omkringliggende stasjoner. \* er estimert årsmiddelavrenning basert på arealforhold mellom Tistilbekken, og Fossen og Kråkfoss.*

Stasjon-id	Navn	Areal [km <sup>2</sup> ]	Midlere årsavrenning [m <sup>3</sup> /s]	Midlere årsavrenning skalert til 1.26 km <sup>2</sup> [m <sup>3</sup> /s]
2.279	Kråkfoss	435	10.03	0.03
2.461	Fossen	225	5.43	0.03
	Tistilbekken	1.26	0.03*	

### 4.3.3 Digitale kartdata

Den digitale terrengmodellen har en oppløsning på 50 cm og er laget fra en laserscanning fra 2020 (5 pkt/m<sup>2</sup>) og er tilgjengelig fra Høydedata.no (Høydedata, 2020). Basisdata som bygninger, vei og arealbruk er hentet fra Statens Kartverk sin felles kartdatabase (FKB) og prosessert for hydrologisk analyse ved hjelp av GRASS GIS, QGIS og forskjellige Phyton og R script (for feltparametere se kapittel 1).

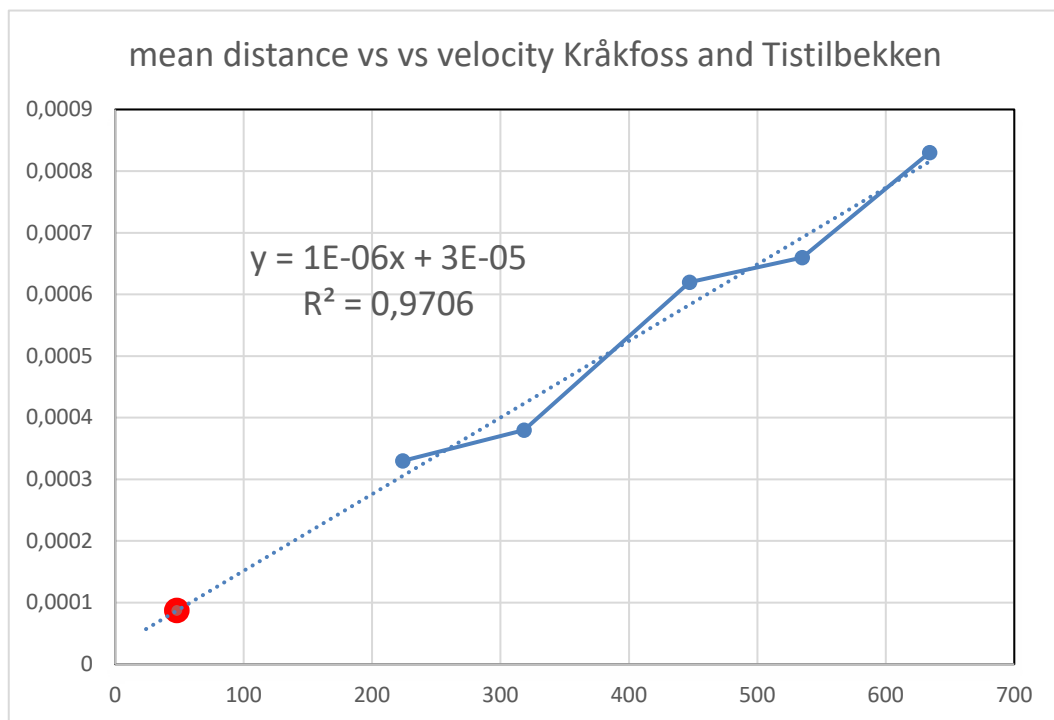


Figur 4.3.2. Kart med inntegnet nedbørfelt til Tistilbekken. Blå linjer angir beregnet elvenettverk basert på terrenginformasjon og tykke røde streker angir hvor man har vært nødt til å «brenne» inn kulverter for å få et sammenhengende elvenettverk.

### 4.3.4 Estimering av hastigheter av grunnvannstrøm i DDDUrban

Har vi en målt vannføringsserie kan vi kalibrere en sett av grunnvannshastigheter. I mangel av målt vannføringsserie anvender vi en ny teknikk, som fremdeles er under utvikling, men som i dette tilfellet synes å gi fornuftige resultater. For et nedbørfelt kan vi ved hjelp av GIS generere forskjellige elvenettverk ved å endre det minste areal som kreves for å definere en elv. Har vi en målt vannføringsserie fra nedbørfeltet kan vi kalibrere en gjennomsnittshastighet for grunnvannstrøm for de forskjellige elvenettverkene. Et elvenettverk er representert i DDDUrban som en (eksponentiell) avstandsfordeling med middelavstanden som parameter. Avstandene er fra punkter i nedbørfeltet til nærmeste elv. Plotter vi middelavstandene for de forskjellige elvenettverkene, mot kalibrert middelhastighet finner vi en tydelig lineær sammenheng. Figur 4.3.3 viser resultater for kalibrert gjennomsnittlig grunnvannshastighet for Kråkfoss mot forskjellige elvenettverk. Siden Kråkfoss og Tistilbekken antas å ha tilnærmet samme klima og midlere spesifikk årsavrenning, antar vi videre at sammenhengen mellom

elvenettverk og gjennomsnittlig grunnvannshastighet for Kråkfoss også gjelder for Tistilbekken. Ekstrapolerer vi den beregnede lineære sammenhengen for Kråkfoss, til elvenettverket som er brukt for å beskrive Tistilbekken (middelavstand 48 meter), finner vi en gjennomsnittlig grunnvannshastighet på  $8.7 \cdot 10^{-5} \text{m/s}$ .



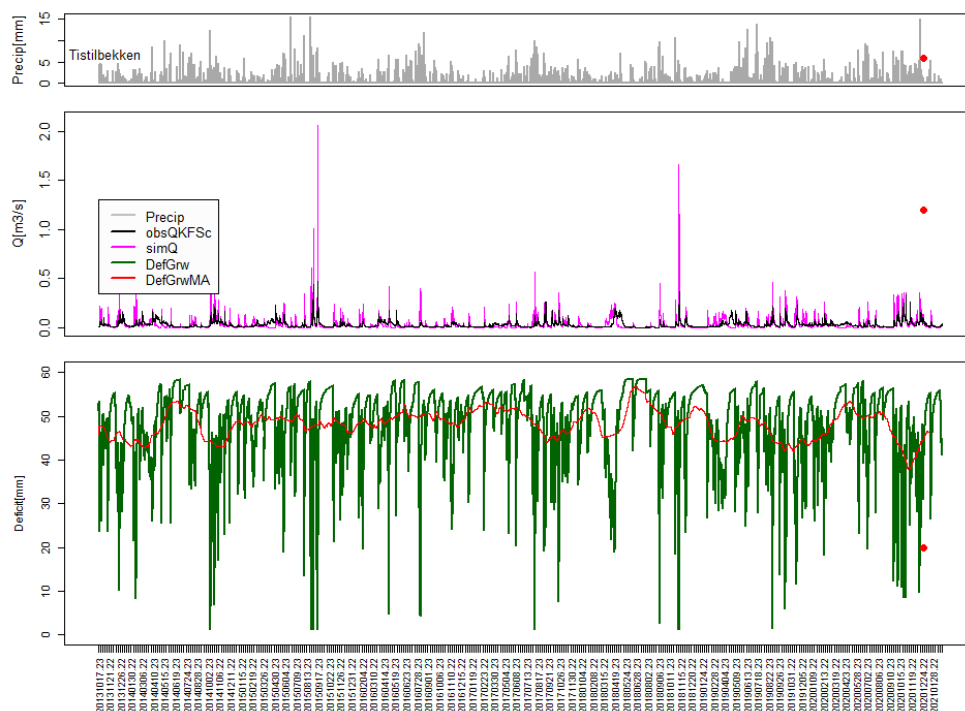
Figur 4.3.3. Kalibrert hastighet (y-akse, m/s) for Kråkfoss estimert for forskjellige elvenettverk. Elvenettverkene er unikt definert gjennom en eksponentiell avstandsfordeling med parameteren gjennomsnittsavstand (x-akse, m). Gjennomsnittsavstanden for elvenettverket laget for Tistilbekken angir en gjennomsnittshastighet for Tistilbekken på  $8.7 \cdot 10^{-5} \text{m/s}$  (rød prikk).

## 4.4 Vannføring Tistilbekken, input SeNorge2018

Vi har kjørt DDDUrban på timesoppløsning mot skalert vannføring fra både Fossen og Kråkfoss, men i første omgang er det tatt bort innslaget av urbanisering. Dette for å gjøre sammenlikningen mellom simulert vannføring og skalert observert vannføring mest mulig realistisk.

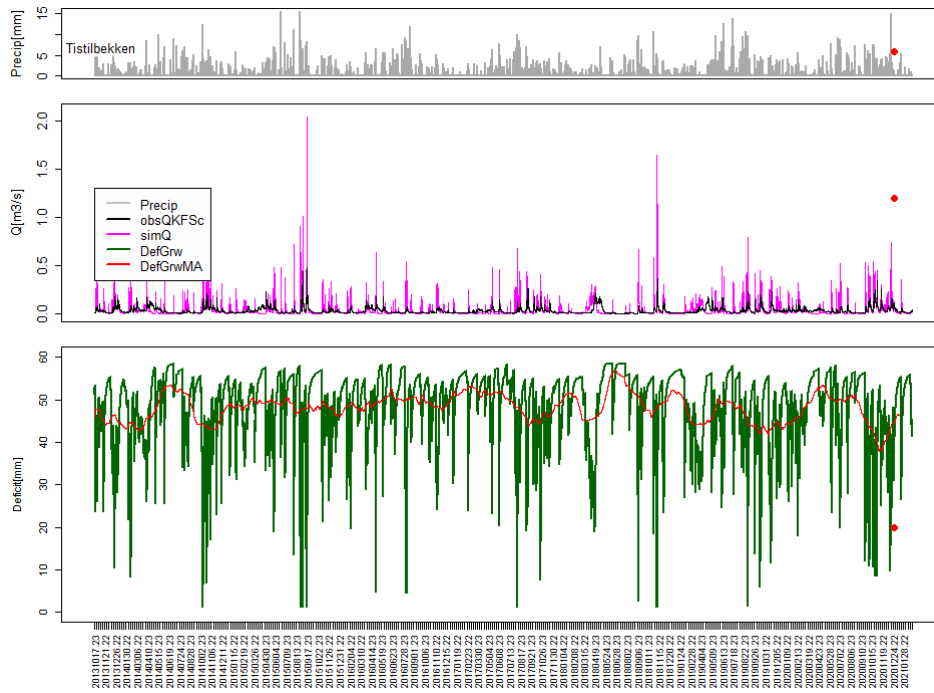
Figur 4.4.1 viser simulert vannføring uten urbanisering for hele tidsserien fra september 2013 til desember 2020 med nedbør-input fra SeNorge2018. I samme figur (nederste panel) er også variasjonen i vannmetningen i bakken illustrert. Forholdene etter urbanisering er illustrert i figurene 4.4.2 (hele perioden 2013 – 2020) og 4.4.3 (siste halvdel av 2020). Modellert urbanisering vil, for dette nedbørfeltet, si at 13% av arealet har en raskere avrenning enn det ellers ville ha hatt hvis nedbøren fikk infiltrere.

Simulert vannføring er på ingen måte identisk med den skalerte observerte serien (Kråkfoss), men vi ser en overenstemmelse i respons på nedbør. Og i enkelte perioder er simuleringen ganske lik. Usikkerheter knyttet til simuleringer er 1) usikkerheter i modellparametere (inkludert GIS avledete modellparametere) og modellstruktur, 2) usikkerheter i nedbørdata, og 3) vi sammenligner mot et nedbørfelt som er et stykke unna og har et vesentlig større nedbørfelt og som kan ha en annen nedbørfordeling, og 4) i perioder med temperaturer rundt null vil nedbørfeltene respondere ulikt både med hensyn til snø/ regn og smelting. Dette fordi nedbørfeltet til Kråkfoss ligger høyere enn feltet til Tistilbekken. Feltene har medianhøyder på ca. 440 og 170 moh.

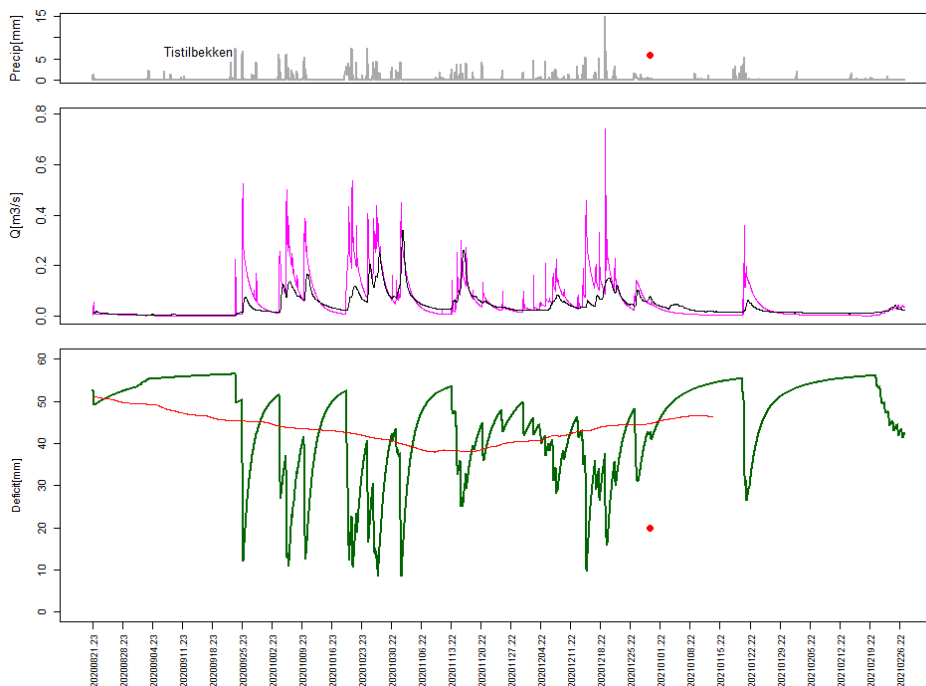


Figur 4.4.1. Nedbør (grå linje SeNorge2018), simulert vannføring uten urbanisering (rosa linje) og skalert observert vannføring fra Kråkfoss (svart linje) for perioden 2013-2020. I nederste panel lagringskapasitet i bakken (grønn linje) og et «moving average» med filterlengde to måneder (rød linje). Tidspunkt for ras er markert med rødt punkt.





Figur 4.4.2. Nedbør (grå linje, SeNorge2018), simulert vannføring med urbanisering (rosa linje) og skalert observert vannføring fra Kråkfoss (svart linje) for perioden 2013 - 2020. I nederste panel lagringskapasitet i bakken (grønn linje) og et «moving average» med filterlengde to måneder (rød linje). Tidspunkt for ras er markert med rødt punkt.



Figur 4.4.3 Nedbør (grå linje, SeNorge2018), simulert vannføring med urbanisering (rosa linje) og skalert observert vannføring fra Kråkfoss (svart linje) fra august 2020 til januar 2021. I nederste panel lagringskapasitet i bakken (grønn linje) og et «moving average» med filterlengde to måneder (rød linje). Tidspunkt for ras er markert med rødt punkt.

I DDDurban er avrenningsdynamikken fra permeable flater styrt av metning i grunnen. Jo høyere metningsgrad, jo raskere er avløpet fra de permeable flatene. Blir de permeable flatene mettet med vann (lagringskapasiteten er lik 0) får vi overflateavrenning også fra de permeable flatene. I denne modellparametriseringen er maksimal lagringskapasitet 58 mm. Figur 4.4.2 viser simulert lagringskapasitet for hele perioden. I figuren er det også lagt inn et «moving average» med filterlengde to måneder som bedre viser langtidsvariasjonene i jordas lagerkapasitet.

I jordskredvarslingen er faregrad knyttet til jordas metningsgrad, og det er interessant å analysere metningsforholdene forut for og under skredtidspunkt. Vi ser fra figur 4.4.2 og 4.4.3 at med bruk av nedbør fra SeNorge2018, er beregnet lagringskapasitet en drøy uke før rastidspunktet omkring 10 mm. Dette er blant de laveste i tidsserien. Fra figur 4.4.2 ser en og at gjennomsnittsverdien over 2 måneder er det laveste i hele tidsserien omkring 1 måned før raset gikk.

Sum nedbør som går inn i modellen 26. – 29. desember er kun drøyt 30 mm ved bruk av griddet fra SeNorge2018. Dette er vesentlig mindre enn det som ble observert i nærheten av Meteorologisk Institutt (over 70 mm, se kapittel 2.3.3). Hvorfor den interpolerte nedbøren fra dette griddet underestimerer nedbørmengdene i området omkring Ask i denne perioden, har vi ikke noe godt svar på. Maksimal beregnet vannføring i Tistilbekken disse dagene er 0,14 m<sup>3</sup>/s. På rastidspunktet er vannføringen beregnet til ca. 50 l/s (0,05 m<sup>3</sup>/s). Den 20. desember er det imidlertid beregnet en vannføring på drøyt 0,7 m<sup>3</sup>/s, da kom det i henhold til nedbørdata fra SeNorge2018 15 mm regn i løpet av 1 time.

Simuleringene som strekker seg fra høsten 2013 til februar 2021, viser to eksempler på at feltet var tilnærmet mettet samtidig som det kom relativt intens nedbør som medførte overflateavrenning også fra permeable flater. 17. september 2015 og 11. november 2018 kom det ifølge våre beregninger ca. 8 og 5 mm regn i løpet av en time. Dette ga flomvannføringer i Tistilbekken på henholdsvis ca. 2,0 og 1,7 m<sup>3</sup>/s (figur 4.4.2).

Det har vært andre episoder med nedbørintensitet på 10- 15 mm/ time (figur 4.4.2), men dette har kommet i perioder hvor bakken ikke har vært mettet, og dermed har de resulterende vannføringene i Tistilbekken blitt vesentlig mindre enn i situasjonene nevnt ovenfor.

## 4.5 Vannføring Tistilbekken, input SeNorgeV2

Fordi nedbøren fra SeNorge2018 underestimerer nedbøren ved Ask i perioden 26.- 29. desember 2020 er det utført alternative beregninger med nedbør fra en tidligere versjon av SeNorge, SeNorgeV2. I versjon 2 er nedbøren disse dagene bedre fanget opp, selv om denne versjonen av SeNorge antas å være underlegen SeNorge2018, for kjøring av hydrologiske modeller nasjonalt og for lange tidsserier (jmf. kap. 4.3.1).

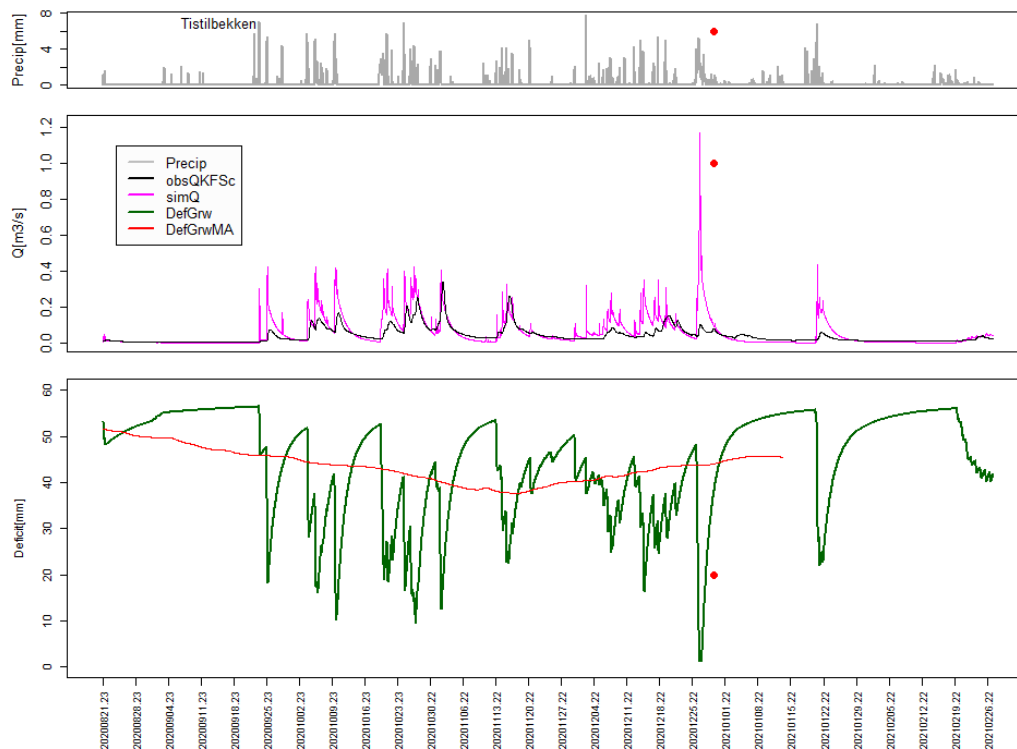
Derfor har vi også benyttet SeNorgeV2 som input i DDDUrban, og figur 4.5.1 viser simuleringer for perioden august 2020 til januar 2021. Figuren viser at med nedbør fra SeNorgeV2 var det mettede forhold noen dager forut for raset. Figur 4.5.2 viser at avrenningen under denne hendelsen hovedsakelig kom fra de permeable områdene.

Sammenlikner vi resultatene med bruk av nedbørdata fra SeNorge2018 (figur 4.4.3) og SeNorge V2 (figur 4.5.1), ser vi at vannføringen som ventet er vesentlig høyere i forkant av rastidspunkt ved bruk av versjon 2 enn 2018-versjonen. Vannføringen kan virke stor sammenlignet med observert vannføring ved Kråkfoss, men mye av nedbøren i Kråkfoss sitt nedbørfelt falt disse dagene som snø. En høyere simulert vannføring enn den skalerte fra Kråkfoss er derfor rimelig.

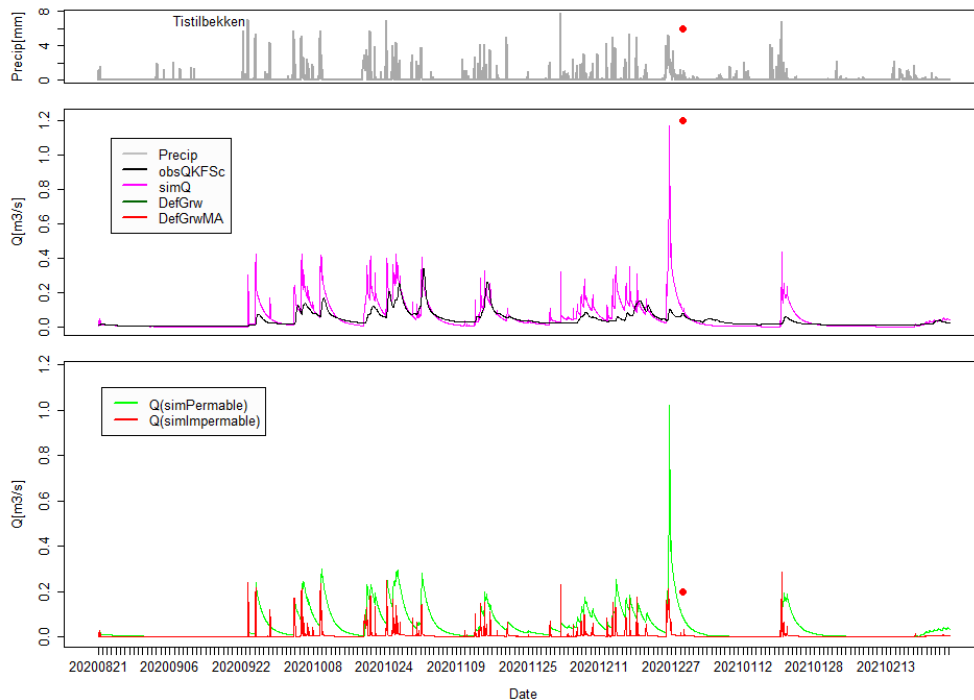
I figur 4.5.3 er beregnet vannføring i Tistilbekken i desember 2020 sammenlignet med observasjoner ved to andre målestasjoner i rimelig nærhet, Vestli og Sæternbekken. Figuren viser at med bruk av SeNorgeV2 og SeNorge2018 ble beregnet spesifikk vannføring i Tistilbekken 27. desember henholdsvis større/ mindre enn observert ved disse to stasjonene. Det er rimelig at avrenningen var mer intens i Tistilbekken enn for disse to stasjonene denne dagen, både fordi det sannsynligvis kom mer regn ved Ask enn Vestli, og fordi det sannsynligvis la seg noe snø i deler av nedbørfeltet til Sæternbekken allerede 27. desember. Feltet til Sæternbekken strekker seg opp mot 400 moh, mens hele feltet til Tistilbekken ligger lavere enn 270 moh.

Sum nedbør i DDD-modellen med bruk av SeNorgeV2 er drøyt 90 mm 26. – 29. desember. Dette stemmer godt med grid-dataene og observasjonene presentert av Meteorologisk Institutt i kapittel 2.2.3. I henhold til disse simuleringene var det en maksimal vannføring i Tistilbekken 27. desember på  $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$ . På rastidspunktet er vannføringen beregnet til ca.  $110 \text{ l/s}$  ( $0,11 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Disse beregningene antyder og at det la seg noe snø/ sludd i feltet til Tistilbekken i dagene etter 27. desember, det vil si etter at vannføringen hadde kulminert og fram mot rastidspunktet. Modellberegningene tilsier en snømengde på ca. 20 mm den 30. desember.

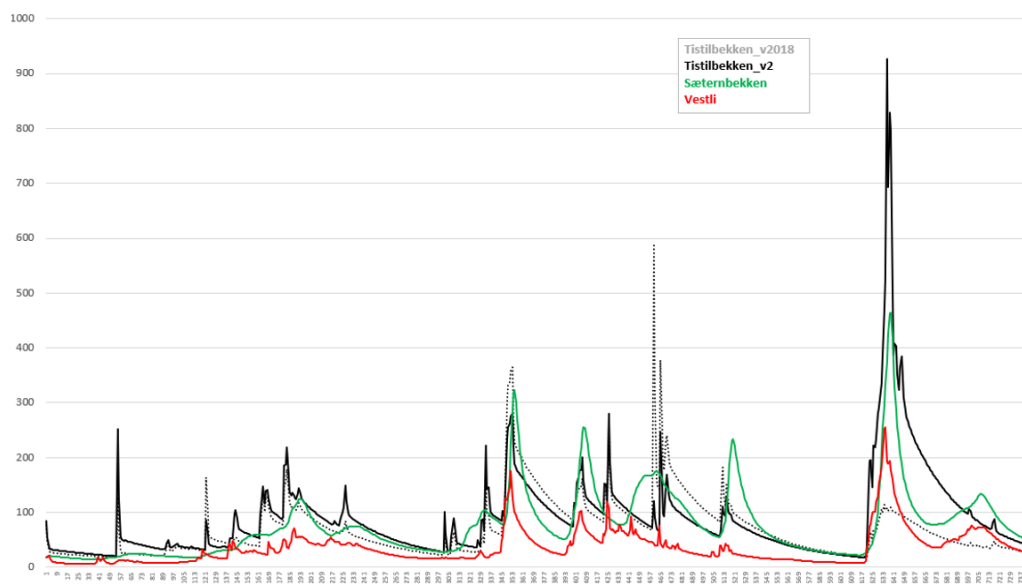
Bilder og observasjoner fra området (Mads Peter Dahl, NVE – HH) antyder at det kan ha vært 5 - 15 cm våt snø i Ask på rastidspunktet. Det stemmer godt med en vannekvivalent på omkring 20 mm. Den våte snøen utgjør en vekt på omkring  $20 \text{ kg/m}^2$  eller 2 tonn pr  $100 \text{ m}^2$ .



Figur 4.5.1. Nedbør (grå linje, SeNorgeV2), simulert vannføring med urbanisering (rosa linje) og skalert observert vannføring fra Kråkfoss (svart linje) fra august 2020 til januar 2021. I nederste panel lagringskapasitet i bakken (grønn linje) og et «moving average» med filterlengde to måneder (rød linje). Tidspunkt for ras er markert med rødt punkt.



Figur 4.5.2. Nedbør (grå linje, SeNorgeV2), simulert vannføring (rosa linje) og skalert observert vannføring fra Kråkfoss (svart linje) for perioden aug. 2020- jan. 2021. I nederste panel er avrenning fra tette flater i rødt og fra permeable flater i grønt. Tidspunkt for ras er markert med rødt punkt.



Figur 4.5.3. Spesifikke vannføringer (timesverdier i l/s/km<sup>2</sup>) i desember 2020. Beregnede verdier for Tistilbekken (svart strek - SeNorge V2, svart stiplet strek - SeNorge2018), og observerte vannføringer ved målestasjonene 6.12 Vestli (rød strek) og 8.6 Sæternbekken (grønn strek).

## 4.6 Tistilbekkens respons på ekstremnedbør

Det er sett på hvordan vannmetningen i bakken påvirker avrenningen ved ekstrem nedbør. For Tistilbekken er ekstrem døgnedbør med 200 og 10 års gjentaksintervall, hhv 105,5 mm og 54,9 mm, satt inn i den disaggregerte SeNorge2018 tidsserien for nedbør. Nedbøren er symmetrisk fordelt over døgnet med hhv 35 og 20 mm/ time i senter.

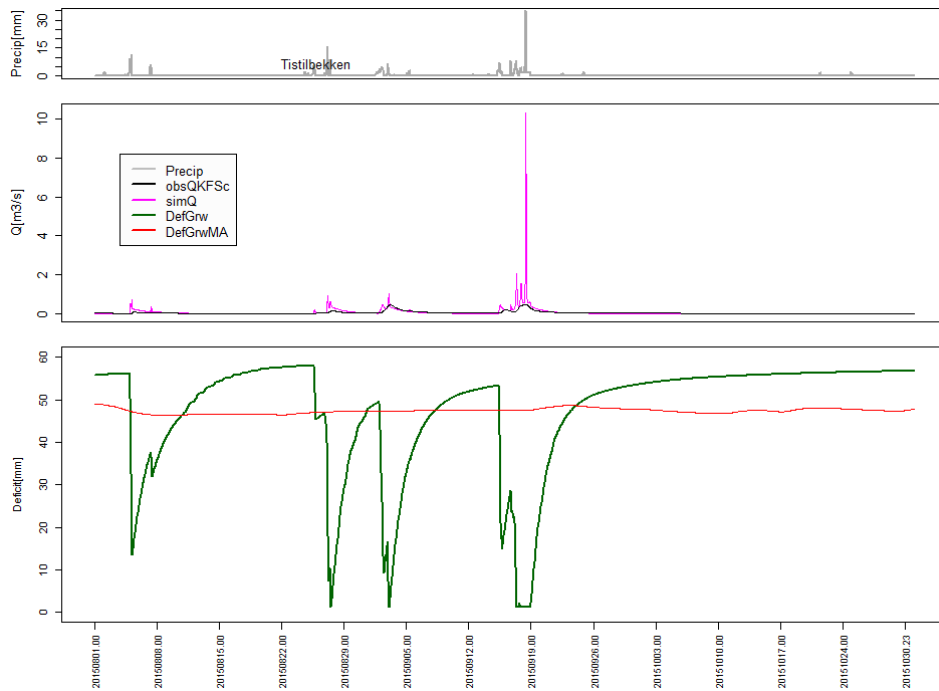
Figurene under viser at den simulerte vannføringen er veldig følsom for fuktighetstilstanden forut for hendelsen. Er det svært vått (mettet, figurene 4.6.1 og 4.6.3) vil hele arealet bidra med overflateavrenning. I denne situasjonen vil flomtoppen domineres av overflateavrenning fra de permeable områdene. Er det tørt i forkant av den intense nedbøren, reduseres flomtoppen betraktelig (figur 4.6.2 og 4.6.4). Flomtoppen vil da i større grad domineres av bidraget fra de tette flatene.

Tabell 4.6.1 viser maksimal vannføring med 10-års og 200-års nedbør for de to fuktighetstilstandene. Eksemplene viser hvor følsom flomresponsen er for hvor fuktig det er i feltet før nedbøren kommer. Med 10-års nedbør og mettet felt, blir vannføringen 2 - 3 ganger større enn 200-års nedbør og tørt i forkant. Hvilken kombinasjon av nedbør og markfuktighet som gir «korrekt» 200-årsflom er ikke åpenbart.

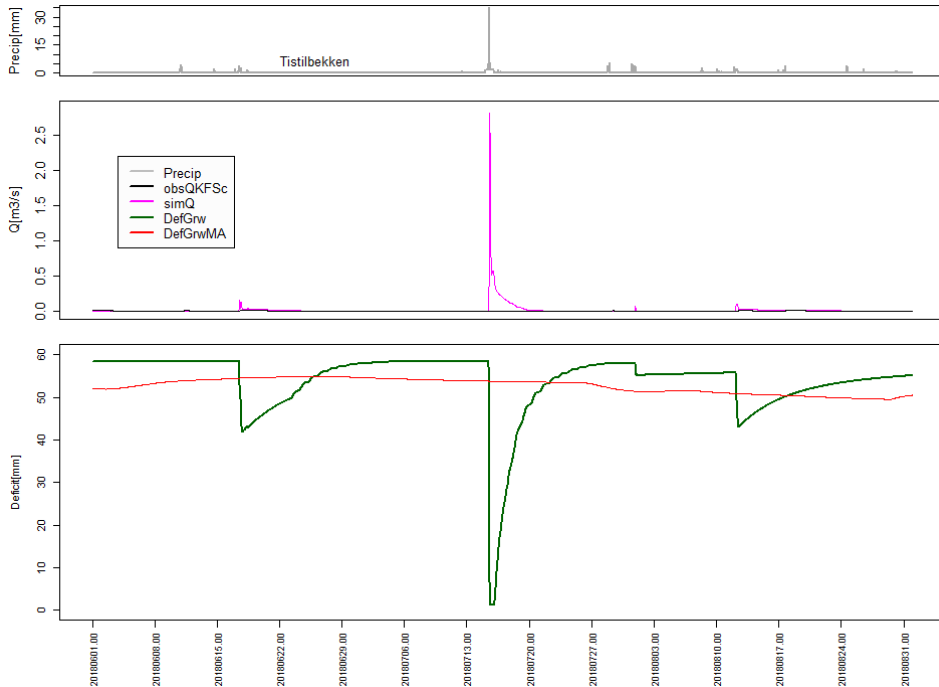
Det er skrevet en egen rapport om flomberegninger for Tistilbekken, utdrag fra denne er tatt med i kapittel 5.

*Tabell 4.6.1 Maksimale vannføringer simulert for Tistilbekken for nedbør med 200 og 10 års gjentaksintervall.*

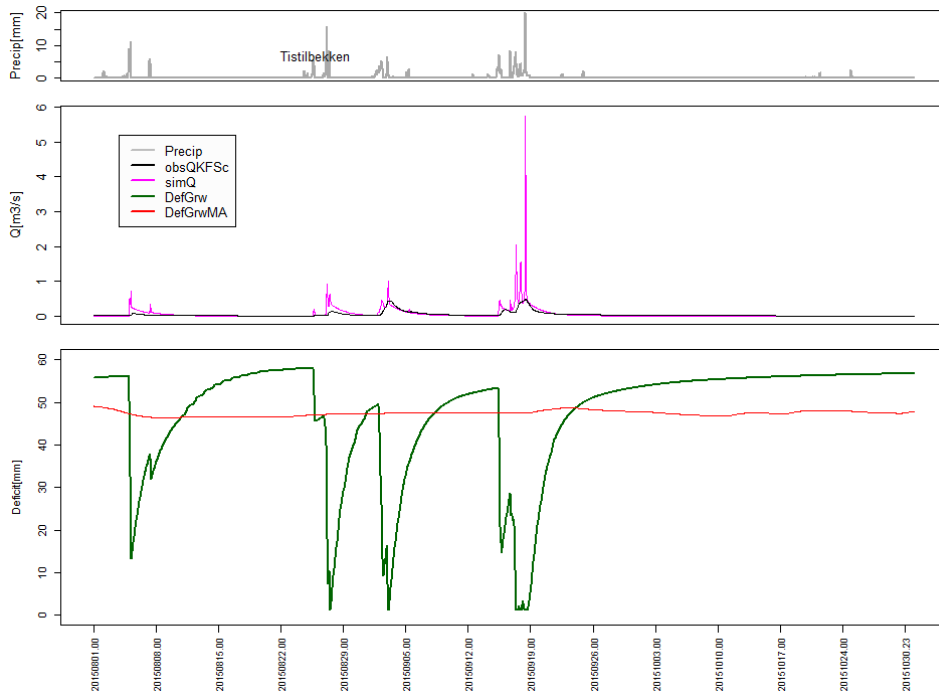
	Nedbør	Våt periode (sep. 2015)	Tørr periode (juli 2018)
	Mm	m/s <sup>3</sup>	m/s <sup>3</sup>
200 års døgnedbør	105.5	10.3	2.8
10 års døgnedbør	54.9	5.7	0.9



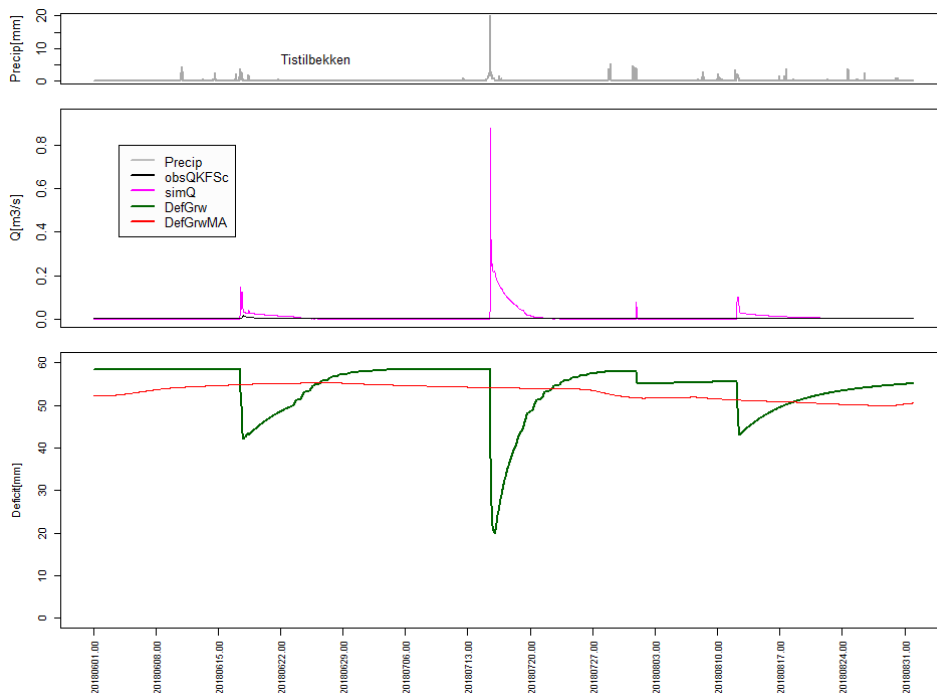
Figur 4.6.1. 200 års nedbør (grå linje), simulert vannføring (rosa linje) og skalert observert vannføring fra Kråkfoss (svart linje) for mett utgangspunkt, 17 september 2015. I nederste panel lagringskapasitet i bakken (grønn linje) og et «moving average» med filterlengde to måneder (rød linje).



Figur 4.6.2. 200 års nedbør (grå linje), simulert vannføring (rosa linje) og skalert observert vannføring fra Kråkfoss (svart linje) for tørt utgangspunkt, 15 juli 2018. I nederste panel lagringskapasitet i bakken (grønn linje) og et «moving average» med filterlengde to måneder (rød linje).



Figur 4.6.3. 10 års nedbør (grå linje), simulert vannføring (rosa linje) og skalert observert vannføring fra Kråkfoss (svart linje) for mettet utgangspunkt, 17 september 2015. I nederste panel lagringskapasitet i bakken (grønn linje) og et «moving average» med filterlengde to måneder (rød linje).



Figur 4.6.4. 10 års nedbør (grå linje), simulert vannføring (rosa linje) og skalert observert vannføring fra Kråkfoss (svart linje) for tørt utgangspunkt, 15 juli 2018. I nederste panel lagringskapasitet i bakken (grønn linje) og et «moving average» med filterlengde to måneder (rød linje).



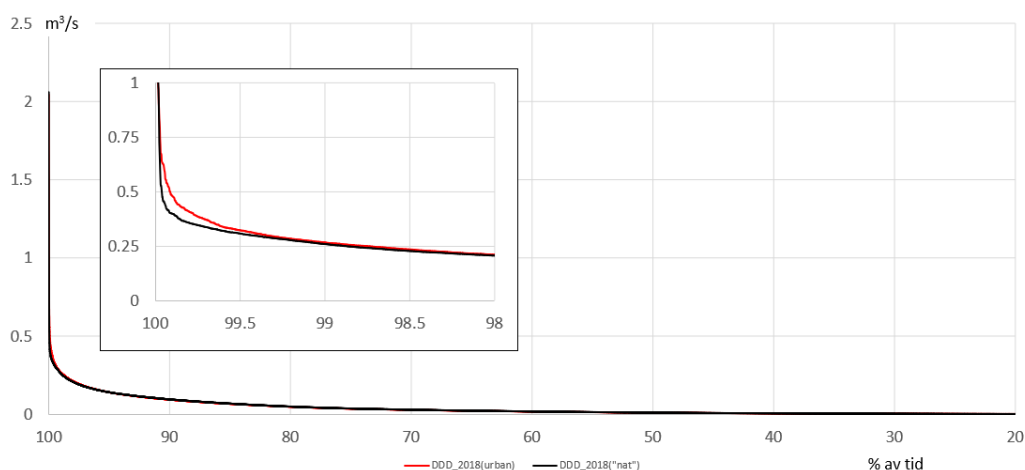
## 4.7 Vannføring Tistilbekken, effekt av urbanisering

Det er gjort beregninger av vannføring i Tistilbekken ved bruk av modellen DDDurban både med og uten urbanisering. Urbaniseringen har medført at andel tette flater (hustak og asfalt) har økt fra 0 til 13 %. I disse analysene er det benyttet nedbør fra griddet SeNorge2018 for å se på det generelle bildet som dataene over flere år gir. For vurdering av forholdene i desember 2020 er nedbørgriddet SeNorgeV2 benyttet.

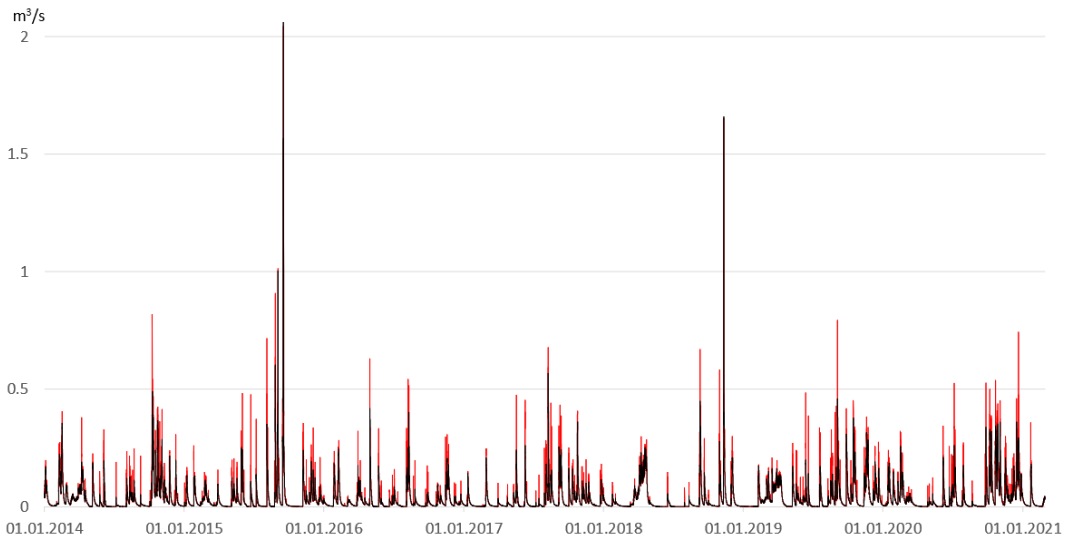
Når en ser på varighetskurven for Tistilbekken før og etter urbanisering, er disse tilsynelatende svært like. Det er kun i et lite spekter av tiden at de skiller vesentlig (figur 4.7.1). Det vil si at i årets fleste timer er det liten effekt av urbaniseringen, men det er ifølge våre beregninger noen vesentlige endringer. I ca. 0,5 % av tiden har vannføringen økt noe, dette gjelder ved de fleste regnhendelsene. Unntaket er de tilfellene hvor feltet går i metning, hvor avrenningen før og etter urbanisering er omtrent like intens.

I tabell 4.71. er det gjort en manuell opptelling av antall hendelser med vannføringer i intervallene  $0,3 - 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  og  $0,5 - 1,0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Det er minst ca. 24 timer mellom to hendelser. Dette er relativt store vannføringer i et lite felt som Tistilbekken. I spesifikke verdier tilsvarer dette ca. 240, 400 og  $800 \text{ l/s/km}^2$ . Til sammenligning er spesifikk årsmiddelvannføring  $27 \text{ l/s/km}^2$ .

Simuleringene antyder omkring en tredobling av antall hendelser mellom  $0,3 - 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  som følge av urbanisering. I intervallet  $0,5 - 1,0 \text{ m}^3/\text{s}$  er det en sjudobling av antall hendelser, men her er totalantallet såpass lite at forholdet blir mer usikkert. For flomvannføringer over  $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$  er det som før nevnt små endringer. Det betyr at de høyeste flomtoppene er lite påvirket av urbaniseringen, men det er mange flere «små flomtopper» enn tidligere. Dette fører og til at vannføringen i dagene etter et regnvær, blir noe, men relativt ubetydelig lavere etter urbanisering enn tidligere. Disse forholdene er også illustrert i figur 4.7.2 og 4.7.3 som viser beregnede vannføringer for de to tidsseriene.



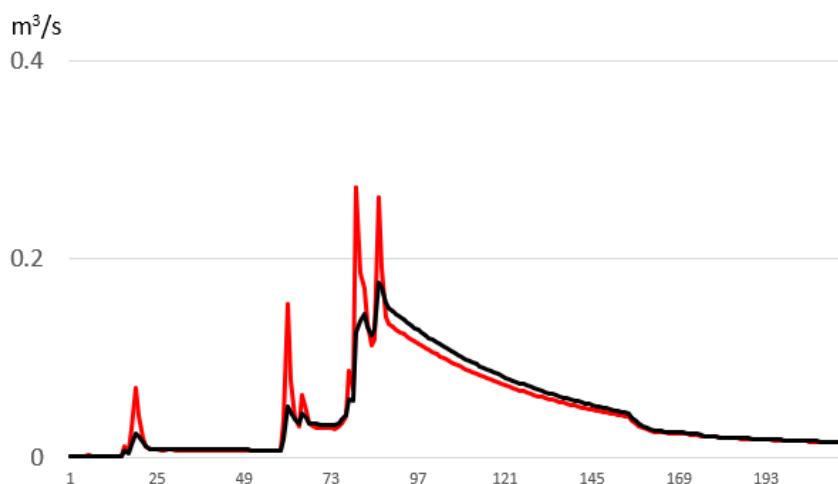
Figur 4.7.1. Varighetskurve for Tistilbekken før (svart strek) og etter urbanisering (rød strek) (timesdata 2014-2020). Vannføringer er beregnet med DDDurban og nedbørinput fra SeNorge2018.



Figur 4.7.2. Simulert vannføring Tistilbekken før (svart strek) og etter (rød strek) urbanisering, 2014 – 2020 (timesdata). Vannføringer er beregnet med DDDurban og nedbørinput fra SeNorge2018.

Tabell 4.7.1 Antall årlige vannføringsepisoder i intervallene 0,3 – 0,5 og 0,5 – 1,0 m<sup>3</sup>/s med og uten urbanisering av Tistilbekken.

År	0,3 – 0,5 m <sup>3</sup> /s		0,5 – 1,0 m <sup>3</sup> /s	
	Uten urbanisering	Med urbanisering	Uten urbanisering	Med urbanisering
2014	4	10	0	0
2015	1	10	1	2
2016	2	4	0	3
2017	1	8	1	1
2018	1	2	0	2
2019	4	15	0	1
2020	7	10	0	5
Sum	20	59	2	14



Figur 4.7.3. Simulert vannføring Tistilbekken før (svart strek) og etter (rød strek) urbanisering noen dager i juli -august 2020 (timesdata). Vannføringer er beregnet med DDDurban og nedbørinput fra SeNorge2018.

#### 4.7.1 Vannføring desember 2020, effekt urbanisering.

I figur 4.7.4 er beregnet vannføring i Tistilbekken i desember 2020 ved bruk av modellen DDDurban og nedbørinput fra SeNorgeV2 vist for situasjonen før og etter urbanisering. Modellberegningene viser at vannføringen i slutten av desember 2020 i svært liten grad er påvirket av urbaniseringen. Årsaken til dette er først og fremst at disse beregningene viste at det var svært fuktig på denne tida, og feltet da gikk i metning. Maksimal vannføring blir dermed tilnærmet identisk uavhengig av urbaniseringen.

Noe tidligere i desember ser en imidlertid at vannføringen varierer noe raskere etter urbanisering enn før, men forskjellene her er også i hovedsak relativt små.



Figur 4.7.4. Simulert vannføring Tistilbekken før (svart strek) og etter (rød strek) urbanisering noen dager i desember 2020 (timesdata). Vannføringer er beregnet med DDDurban og nedbørinput fra SeNorge V2.

## 4.8 Diskusjon

For dette området har nedbørdata fra SeNorge2018 vist seg å være ganske pålitelig med hensyn til volumer og fordeling i tid. DDD modellen er kalibrert for flomvarslingsformål for Kråkfoss og ga en KGE verdi på  $KGE = 0.89$  (KGE går fra minus uendelig som dårligst til 1.0 som perfekt) og med en korreksjonsfaktor på nedbøren (lineær korreksjon av nedbør for å få likt simulert og målt avrenning) på 1.0, dvs ingen korreksjon av nedbør. Disaggregeringen av døgndata fra SeNorge2018 til timesdata gjør at nedbørvolumet for et døgn blir identisk med SeNorge2018, men fordelingen over døgnet blir som i MNA. Om dette er et korrekt nedbørforløp over døgnet er usikkert, men det er basert på all tilgjengelig informasjon fra både offisielle og private nedbørstasjoner samt værradar.

Det er imidlertid ganske stort avvik mellom månedssommene for desember 2020 fra SeNorge2018 og SeNorgeV2 (hhv 191 og 252 mm), og observerte verdier øst og nord for Ask antyder at SeNorge2018 underestimerer nedbøren i dette området for denne tidsperioden.

Hastighetene som er estimert er veldig bestemmende for avløpsdynamikken; lave hastigheter gir mindre flomtopper, slakere resesjon, og større kapasitet på grunnvannsmagasinet, mens høyere hastigheter gir større flomtopper, bratt resesjon og mindre kapasitet på grunnvannsmagasinet. I tabell 4.7.1 har vi sammenliknet den estimerte, midlere grunnvannshastigheten for Tistilbekken mot tilsvarende hastigheter for urbanfeltene Vestli og Grefsen-Kjelsås i Oslo, og Risvollan i Trondheim hvor vi har vannføringsmålinger vi kan kalibrere mot.

Tabell 4.7.1. Estimerte midlere grunnvannshastigheter.

Stasjon	Estimert middelshastighet[m/s]	Kilder
Tistilbekken	$8.7 * 10^{-5}$	
Grefsen Kjelsås	$5.1 * 10^{-5}$	Se Skaugen et al.(2020a,b) og Solheim (2017)
Vestli	$2.5 * 10^{-5}$	Se Skaugen og Ortega (2021)
Risvollan	$4.0 * 10^{-5}$	Se Skaugen et al.(2020a,b) og Solheim (2017)

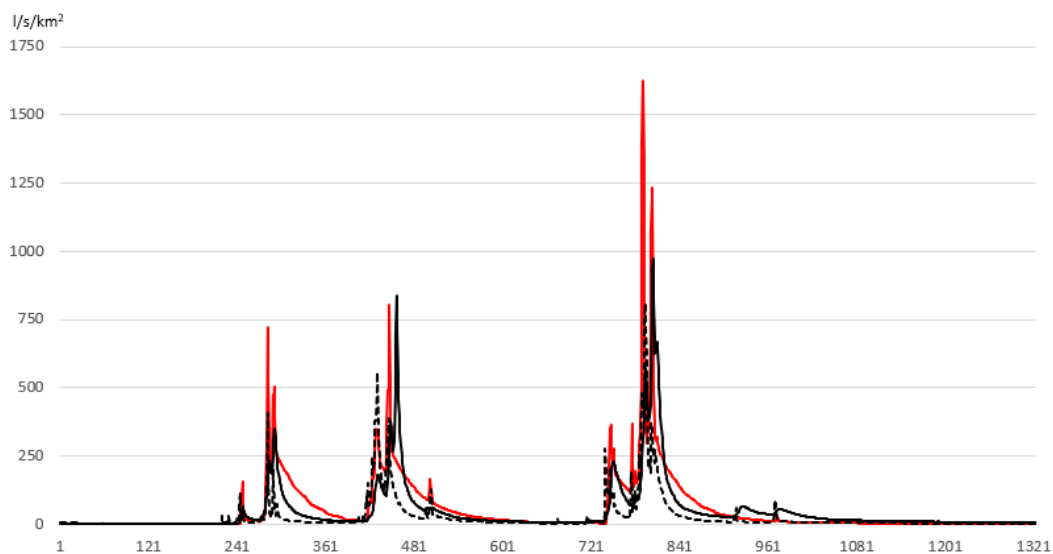
Vi ser at den estimerte middelshastigheten for Tistilbekken er i samme størrelsesorden, men noe høyere enn for de andre urbanfeltene hvor grunnvannshastigheten er kalibrert mot observerte vannføringer. Vi har imidlertid sett at elvenettverket har avgjørende betydning for hastigheten, hadde vi valgt et tettere elvenettverk med mindre gjennomsnittavstand, hadde vi også estimert langsommere hastigheter (se figur 4.3.2).

Vi ser i figur 4.4.1 og 4.4.2 en relativt stor, simulert flomhendelse i september 2015 (17/9 kl. 22.00). Dette inntreffer etter vedvarende relativt intens, men ikke ekstrem, nedbør. Grunnen til den svært høye vannføringen ser vi i figur 4.4.1 nederst. Ved tidspunktet for flomhendelsen er bakken mettet, det vil si at det ikke er mer lagringskapasitet i jorda og nedbøren går raskt til elvenettverket som overflateavrenning. I desember 2020 når vi aldri full metning med SeNorge2018, men metning nås for SenorgeV2 (se figurene 4.5.1 –

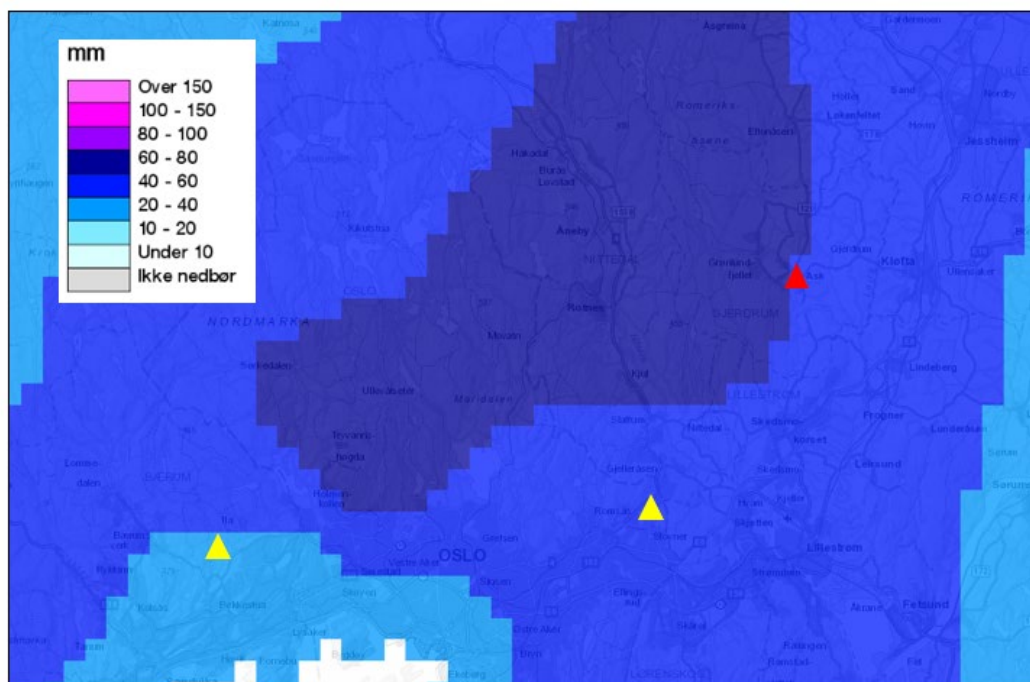
4.5.3). Simuleringen viser at vannmetningen i bakken avgjør om vi får en veldig ikke-lineær respons på et nedbørstilfelle. Er bakken mettet, vil ytterligere nedbør gi svært rask avrenning (hastighet på 0.007 m/s i vårt tilfelle) og høy flomtopp. Er det fremdeles lagerkapasitet i bakken, vil ytterligere nedbør gå til avrenning med to størrelsesordener lavere hastighet, og gi lavere flomtopp.

Simulert vannføring for Tistilbekken er og sammenlignet mot observerte verdier ved målestasjonene 8.6 Sæternbekken i Oslomarka og 6.12 Vestli, som er en urbanstasjon i Groruddalen. Det er tatt ut data for to flomepisoder, en i september 2015 (figur 4.8.1 og 4.8.2) og en i august 2019 (figur 4.8.3 og 4.8.4). Simulert flomvannføring i september 2015 er noe større for Tistilbekken enn for sammenligningsstasjonene. Dette virker rimelig da nedbørobservasjonene indikerer at det da var mer nedbør i området ved Ask enn i nedbørfeltet til de to målestasjonene. I august 2019 var situasjonen motsatt, da kom det mest nedbør i vest, og det vestligste feltet Sæternbekken fikk større spesifikk vannføring enn det som er simulert for Tistilbekken.

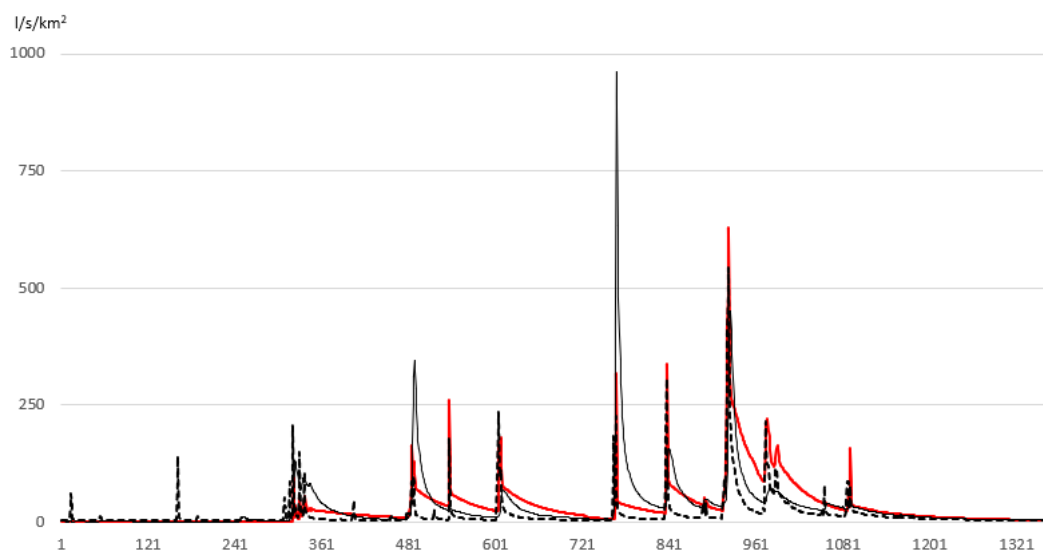
Fra figur 4.8.3 ser en og at både Tistilbekken og Vestli har flere episoder med svært kortvarige vannføringstopper, noe som er typisk for urbaniserte felt.



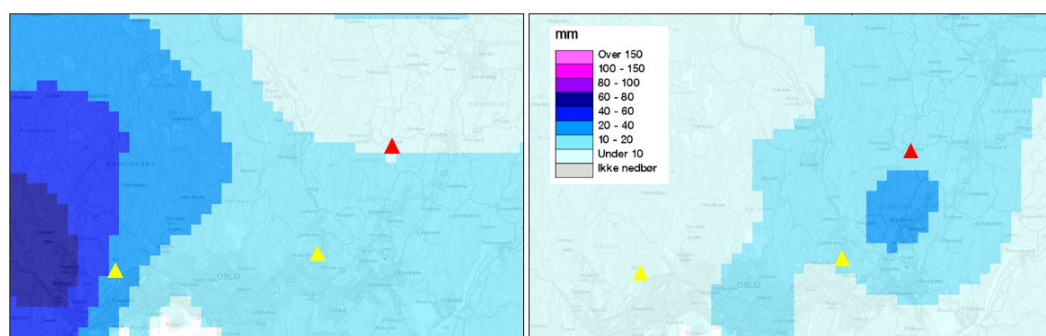
Figur 4.8.1. Simulert spesifikk vannføring høsten 2015 for Tistilbekken (rød strek), og observerte spesifikke vannføringer ved målestasjonene 8.6 Sæternbekken og 6.12 Vestli (svart heltrukket og stiplet strek, timesdata 15. aug. – 9. okt. 2015). Flomtoppen er 17. september.



Figur 4.8.2. Observert døgnnedbør (SeNorge2018) 17. september 2015. Rød trekant angir Ask og gule trekanter målestasjonene 8.6 Sæternbekken og 6.12 Vestli (lengst øst).



Figur 4.8.3. Simulert spesifikk vannføring sommer/ høst 2019 for Tistilbekken (rød strek), og observerte spesifikke vannføringer ved målestasjonene 8.6 Sæternbekken og 6.12 Vestli (svart heltrukket og stiplet strek, timesdata 28. juli – 23. sep. 2019). Flomtoppen er 29. august.



Figur 4.8.4. Observert døgnnedbør (SeNorge2018) 29. og 30. august 2019. Rød trekant angir Ask og gule trekanter målestasjonene 8.6 Sæternbekken og 6.12 Vestli (lengst øst).

Tistilbakkens respons på ekstremnedbør er simulert for vått og tørt utgangspunkt (se figurene 4.6.1 – 4.6.4) og vi ser at avrenningsresponsen er veldig følsom for fuktighetstilstanden i feltet forut for hendelsen. Hvilken arealtype (permeable og impermeable områder) som vil dominere avrenningen avhenger av feltets fuktighetstilstand.

Den beregnede vannføringen i Tistilbekken 27. desember 2020 var på 1,2 m<sup>3</sup>/s med nedbørinput fra SeNorgeV2. Feltet gikk da i metning. Dette er en høy, men ikke ekstrem vannføring. Hverken nedbørintensitet eller avrenning var ekstreme i desember 2020. Mer intens nedbør og høyere avrenning er simulert for andre tidspunkt selv med den relativ korte tidsserien vi har til rådighet. Simuleringene med SeNorgeV2 gir imidlertid høyere nedbørverdier, høyere vannføring og større metningsgrad enn med SeNorge2018 for desember 2020.

Det som var spesielt for desember 2020 fremkommer ikke før vi ser på lagringskapasiteten i bakken med et «moving average» filter på to måneder. Det vil si at hvert punkt på den røde linjen er et gjennomsnitt av ca. 1000 tidspunkt (timer) på hver side. Da fremkommer det at lagringskapasiteten fra ca. oktober til desember 2020 er den minste i tidsserien (se figur 4.4.1 og 4.4.2). Som vi har diskutert over er responsen på nedbør i modellen svært følsom for vannmetningsgraden, og blir grunnen totalt mettet vil vi få en vesentlig høyere flom enn om vannet fra de permeable områdene får lov til å infiltrere.

Det er selvsagt usikkerhet knyttet til i hvilken grad grunnen faktisk var mettet på rastidspunktet (se kilder til usikkerhet over). Modellen angir at det var svært fuktig, og sannsynligvis mettet 3 dager før rastidspunktet (figur 4.5.1), men at på selve rastidspunktet var det igjen en viss lagringskapasitet i grunnen. Da lå det imidlertid våt snø i området, tilsvarende en vannekvivalent på omkring 20 mm.



## 5 Flomberegning Tistilbekken

Flomberegningene er dokumentert i en egen rapport (Holmqvist og Skaugen, 2021), her er det kun gitt en kort oppsummering av resultatene. Flomberegningene er utført på oppdrag for NVE Region Øst/ Region Sør i forbindelse med sikringsarbeider i etterkant av raset. Det er ingen hydrologiske målestasjoner i Tistilbekken. Flomberegningene er derfor basert på indirekte metoder. For vurdering av flomforholdene er følgende metoder benyttet:

- Analyse av flomdata fra målestasjoner i nærheten
- Bruk av regionale flomformler
- Bruk av enkel nedbør-avløps modell, PQRUT
- Bruk av nyutviklet nedbør-avløps modell, DDD-Urban

Nedbørfeltet til Tistilbekken er spesielt av flere årsaker. Det er lite (1,26 km<sup>2</sup>) i forhold til mange av de feltene hvor det fins vannføringsobservasjoner. Det er delvis urbanisert, og det er mye leire i feltet. Det kan medføre at avrenningen her er større pr arealenhet ved intens nedbør eller når feltet når metning enn i mange andre små felt. Det er stor usikkerhet knyttet til å bestemme «korrekte» flomverdier her.

For Tistilbekken har de ulike metodene gitt følgende resultater:

### **Sammenligningsstasjoner/ frekvensanalyser av observerte vannføringsdata**

Midlere flom: ca. 1000 l/s/km<sup>2</sup>

200-årsflom: ca. 4000 l/s km<sup>2</sup>

### **Regionale flomformler for små felt (NIFS)**

Midlere flom: ca. 820 l/s/km<sup>2</sup>

200-årsflom: ca. 2200 l/s/km<sup>2</sup> (utfallsrom 1150 – 4450 l/s/km<sup>2</sup>)

### **PQRUT (200-års nedbør fra MET og metta bakke)**

200-årsflom: ca. 3200 l/s/km<sup>2</sup> (timesverdi) og grovt anslått 3800 l/s/km<sup>2</sup> (kulminasjon).

### **DDDurban**

Midlere flom: ca. 830 l/s/km<sup>2</sup> (timesverdi) og grovt anslått 1030 l/s/ km<sup>2</sup> (kulminasjon).

«200-års nedbør med maksimal nedbørintensitet midt i 24 timers forløpet, median metning for høstsesongen (14 %) »: ca. 3400 l/s/km<sup>2</sup> (timesverdi)

«200-års nedbør med maksimal nedbørintensitet til slutt i 24 timers forløpet og median metning for høstsesongen (14 %)»: ca. 7000 l/s/km<sup>2</sup> (timesverdi)

«200-års nedbør og full metning (100 %)»: ca. 8200 l/s/km<sup>2</sup> (timesverdi)

Analysene med DDDurban viser hvor sensitive resultatene er for initialtilstanden i feltet før ekstremnedbøren kommer og også for plasseringen av den mest intense nedbøren i løpet av forløpet. En større statistisk analyse ved hjelp av denne modellen kunne gitt et mer presist anslag, men ut fra en totalvurdering av analysene er en 200-årsflom på ca. 4000 l/s km<sup>2</sup> antatt å være et sannsynlig estimat for Tistilbekken, mens midlere årsflom er antatt å være ca. 1000 l/s km<sup>2</sup>.

I henhold til anbefalinger fra Klimaservicesenteret bør en for nedbørfelt hvor dimensjonerende nedbør har en varighet på 1 – 3 timer benytte et klimapåslag på 40 %. Dersom dimensjonerende nedbør har en varighet på under 1 time anbefales et påslag på 50 % for hendelser med 50 års gjentakintervall eller mer.

For Tistilbekken, som har et lite og dels urbanisert felt, er det derfor valgt å benytte 50 % påslag. Det gir en 200-årsflom på 6000 l/s/km<sup>2</sup> eller ca. 7,6 m<sup>3</sup>/s.

Vannføringen som er simulert for Tistilbekken 27. desember 2020 med bruk av nedbørdata fra SeNorgeV2 er på 1,2 m<sup>3</sup>/s, det tilsvarer ca. 940 l/s/km<sup>2</sup>. Vannføringen er omkring beregnet årsmiddelflom.

## 6 Referanser

- Andersen m.fl. 1983. Hydrologisk modell for flomberegninger. NVE-rapport 2-83.
- Beldring et al. **2003**. Estimation of parameters in a distributed precipitation-runoff model for Norway. Hydrology and Earth System Sciences. 7: 304-316.
- Boje, Beldring og Engeseth, 2018. Hvordan lages vær- og vanndata for seNorge.no og xGeo.no? [https://www.nve.no/media/7502/waterdata\\_v2\\_no.pdf](https://www.nve.no/media/7502/waterdata_v2_no.pdf)
- Brennhovd 2014. Målt og modellert avrenning. Analyse av ledningsnett og kontroll av urbanstasjon på Vestli i Oslo. NMBU, Masteroppgave 2014.
- Engeland m.fl. 2020. Lokal og regional flomfrekvensanalyse. NVE-rapport 20-2020.
- Engeland m.fl. 2016. Flomdata. Utvalg og kvalitetskontroll av flomdata til frekvensanalyse. NVE-rapport 85-2016.
- Stenius og Glad, 2015. Veileder for flomberegning i små uregulerte felt. NVE-veileder 7 – 2015.
- Geofag, Universitetet i Oslo 2010. Nedbør – avløp. [https://www.uio.no/studier/emner/matnat/geofag/nedlagte-emner/GEO2010/v08/nedbor\\_avlop.pdf](https://www.uio.no/studier/emner/matnat/geofag/nedlagte-emner/GEO2010/v08/nedbor_avlop.pdf)
- Greipsland m.fl 2017. Multiparameteranalyse av feltkarakteristika og vannkjemi i leirvassdrag. NIBIO-rapport 110-2017.
- Holmqvist og Skaugen, 2021. Flomberegning for Tistilbekken. NVE-rapport 14-2021.
- Lirhus Ree m.fl (2021 – upublisert NVE-rapport). Status på urbanstasjoner.
- Høydedata, 2020, [https://hoydedata.no/LaserInnsyn/ProsjektRapport?filePath=%5C%5Cstatkart.no%5Choydedata\\_orig%5Cvol110%5C4241%5Cmetadata%5CGjerdrum%20Ullensaker%20Nannestad%205pkt%202020\\_Projektrapport.pdf](https://hoydedata.no/LaserInnsyn/ProsjektRapport?filePath=%5C%5Cstatkart.no%5Choydedata_orig%5Cvol110%5C4241%5Cmetadata%5CGjerdrum%20Ullensaker%20Nannestad%205pkt%202020_Projektrapport.pdf)
- Skaugen, T. D. Lawrence and R. Z. Ortega, 2020a. A parameter parsimonious approach for catchment scale urban hydrology – Which processes are important? Journal of Hydrology X, 8, <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2020.100060>
- Skaugen, T., Lawrence, D., Ortega, R.Z., 2020b. DDDUrban; ny urbanhydrologisk modell. Resultater fra SURF prosjektet. VANN 04, 2020. <https://vannforeningen.no/dokumentarkiv/dddurban-ny-urbanhydrologisk-modell-resultater-fra-surf-prosjektet/>

Skaugen, T. og R Z Ortega, 2021. Simulering av NVEs urbanfelt med DDDUrban. Intern rapport under utarbeidelse (N:\AvdH\FoU\SURF\80512\_AnneF).

Solheim, E.B., 2017. Infiltrasjon for lokal overvannsdiskonering (LOD) (Infiltration for sustainable urban drainage systems (SUDS)), Master thesis at the Norwegian University for life sciences (NMBU), (in Norwegian), <http://hdl.handle.net/11250/2443302>

Sokalska E., Devoli G., Solberg I-L., Hansen L., Thakur V. (2015). Kvalitetskontroll, analyse og forslag til oppdatering av historiske kvikkleireskred og andre leirskred registrert i nasjonal skredhendelsesdatabase (NSDB). NVE-NIFS rapport 65/2015. Norges vassdrags- og energidirektorat, Oslo, Norge.

Vormoor K. and T. Skaugen, 2013. Temporal disaggregation of daily temperature and precipitation grid data for Norway. *J.Hydrometeor*, 14, 989-999, doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JHM-D-12-0139.1>.

# 7 Vedlegg

## 7.1 Oversikt, store kvikkleireskred

Liste over noen av de store kvikkleireskredene – Utløsningsårsak

Hervé Colleuille HF 01.01.2021 – Oppdatert 04.01.2021 bl.a. med info fra Stein-Are Strand.

*De fleste kvikkleireskredene i denne listen (>75%) er utløst av menneskelige tiltak, med mulig unntak av skredene i Drevja (2020), Byneset i Trondheim (2012), Trøgstad (1967), og Verdal (1893).*

*For å svare på et generelt spørsmål vi fikk fra NRK, kan vi fastsette at det er ingen direkte sammenheng mellom vannmetning og skredene. Kun i Alta (2020) og i Sjøkkelvika (1959) var det ekstremt vått med 100% vannmetning som følge av langvarig snøsmelting da skredene gikk (anleggsarbeid på disse steder kan også ha forverret stabilitet)*

1. [Ask i Gjerdrum 30. desember 2020](#) ca. **88%** vannmetning, opp mot 99%  
23.12.2020 - Har vært verdier over 90% ca. 60 ganger før i perioden 1957-2020 (se eget notat på CIM 31.12.2020 – oppdatert 09.01)
2. [Kråkenes i Alta kommune, 3. juni 2020 \(flere bolighus og hytter skylt på sjøen\)](#)  
100% vannmetning i jorda da skredet gikk – skjedde kun 2-3 ganger før i perioden 1957-2020 – Fylling/utbygging i 2015 som kan ha forverret stabilitet, men årsakssammenheng er ikke avklart ennå (rapport kommer)
3. [Drevja i Vefsn](#) 13. mai 2020 (en fritidsbolig tatt av ras, **0 omkom**) **Sannsynlig utløst av erosjon** 60 % vannmetning
4. [Leksvik i Trøndelag 20. juni 2018](#) (80 pers evakuert, **0 omkom**). Skred i strandsonen som spredte seg over 1.3 km. **Anleggsarbeid i strandkanten** med fylling av en molo til en små båthavn. **30%** vannmetning.
5. [Sørum i Lillestrøm kommune, 10. november 2016 \(tre omkom\)](#) **33%** vannmetning var veldig i en lang periode før skredet gikk. **Anleggsarbeid.**
6. [Skjeggestad bru](#) ved Holmestrand i Vestfold, 2. juni 2015 (**0 omkom**) - **67%** vannmetning. **Anleggsarbeid** med golfbane (fylling) som utløste bru-kollapsen
7. [Sørkjosen i Nordreisa kommune](#) 10. mai 2015 kl. 02 tok 10 m av en molo og parkeringsplass (**0 omkom - Utfylling ferdigstilt nov 2014** førte til så lav stabilitet at området ikke tålte ekstra belastning knyttet til stor nedbør og snøsmelting.
8. [Nord-Statland i Namdalseid i Trøndelag](#) 29. januar 2014 (64 evakuerte, båt, kai, veie og verkstedbygg til Statland Settefisk ødelagt, **0 omkom**) . Undersjøiskras med flodbølge. **Utløst av anleggsarbeid** og komprimering av fyllmasser som ble lagt ut i strandsonen.  
[http://publikasjoner.nve.no/rapport/2014/rapport2014\\_93.pdf](http://publikasjoner.nve.no/rapport/2014/rapport2014_93.pdf).

9. [Byneset i Trondheim](#), 1. jan. 2012 (**50 pers evakuert, 0 omkom**) - 75% vannmetning (mellom 70-80% de 3 ukene i forkant). **Skredet utløst av erosjon i en ravinebekk.**
10. [Lyngseidet i Troms og Finnmark](#), 3. sept. 2010 (**Flere bustad og vei tatt i sjøkanten, 0 omkom**) 46% vannmetning. **Deponering av masser.**
11. [Kattmarka i Namsos](#) i Trøndelag, 13. mars 2009 (**Stort boligområdet raste ut i strandkanten, 0 omkom**), 62% vannmetning. **Skredet utløst av sprengningsarbeid veiarbeid.**
12. [Finneidfjord i Nordland](#), 20 juni 1996 (**To hus ble tatt og E6 raste ut i fjorden. Fire mennesker omkom**). 55% vannmetning - Skyldes muligens **steinfylling i strandsonen**
13. [Balsfjord i Troms og Finnmark](#), 24. aug. 1988 (**to omkom**) **Anleggsarbeid på ny E6** -20% vannmetning
14. [Rissa i Indre Fosen kommune 29. april 1978](#) (**20 hus og gårdsbruk ble tatt, en omkom**)
  - a. 61% vannmetning – Skyldes **graving og deponering**
15. [Trøgstad- Indre Østfold kommune](#), 29. okt. 1967 (**4 omkom, 12 hus ble tatt**) – 86 % vannmetning (var økende de siste 3 dagene – mye regn i forkant av skredet) Flere utglidninger i forkant, men ukjent offisiell årsak
16. [Kvikkleireskred i Skjelstadmark i Stjørdal](#) 14. september 1962 (**1 omkom**) – Muligens erosjon – 70% vannmetning – en del regn i forkant av skredet.
17. [Sokkelvika i Reisefjorden i Nord-Troms](#), 7. mai 1959 (**9 omkom**) – Startet i sjøbunnen og forplantet seg inn på land. NB! Vannmetning 104% lignende forhold Kråkenes i Alta. Skredet finnes ikke i Xgeo? **Mulig menneskelig tiltak?**
18. [Bekkelag i Oslo](#) 7. okt. 1953 (**5 omkom**) – SVV drev **med utfylling** på ned sida av Mosseveien. En rapport nevner trafikk selv som utløsende faktor (vei + tog)
19. [Lade i Trondheim](#), 11. april 1944 (**4 omkom**) – Utløsning usikkert – Det er nevnt at flere bomber falt i område ett år før, men skredet gikk sannsynlig av naturlig årsak
20. [Verdal i Trøndelag](#), 19. mai 1893 (**116 omkom**) - mye regn, **mulig flomerøsjon** -Flere ganger med flom i Verdalselva i løpet av våren. Elva ble demnet ut og førte til nye skred.

NB! Det er mange flere skred før 1940

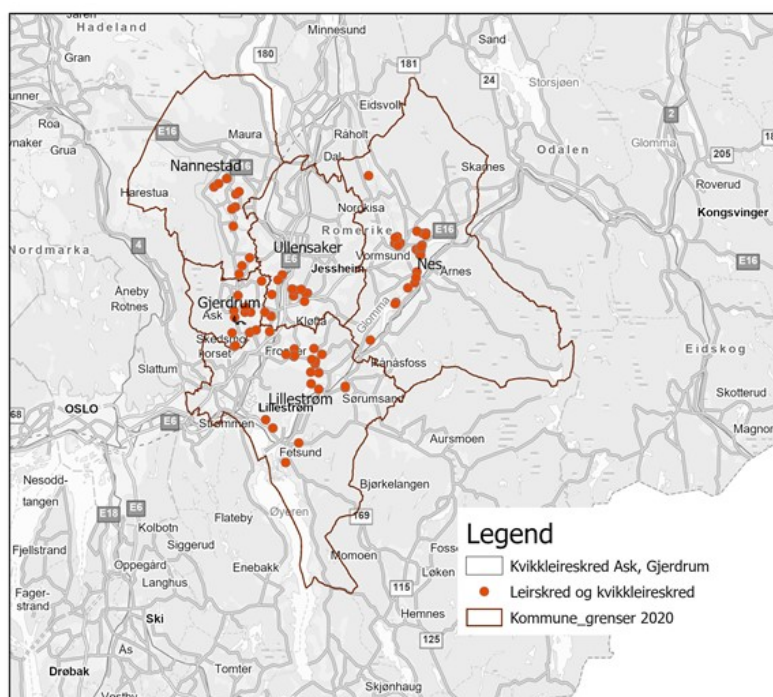
Estimert vannmetning i jorda (%) stammer fra en hydrologisk modell (Kilde Xgeo etter 1957)

## 7.2 Oversikt, tidligere skredhendelser i Gjerdrum og nabokommuner

### Oversikt over skredhendelser i Gjerdrum kommune og hydro-meteorologiske forhold

Graziella Devoli, HF, NVE 16.04.2021

I den nasjonale skreddatabasen er kvikkleireskred ofte registrert under to kategorier: 141, kvikkleireskred og 143, leirskred. Det finnes 93 leirskred og kvikkleireskred som har blitt registrert i Gjerdrum og nabo-kommunene (Nes, Nannestad, Nittedal, Ullensaker og Lillestrøm) (Fig.1) i perioden mellom 1100 og 2020.



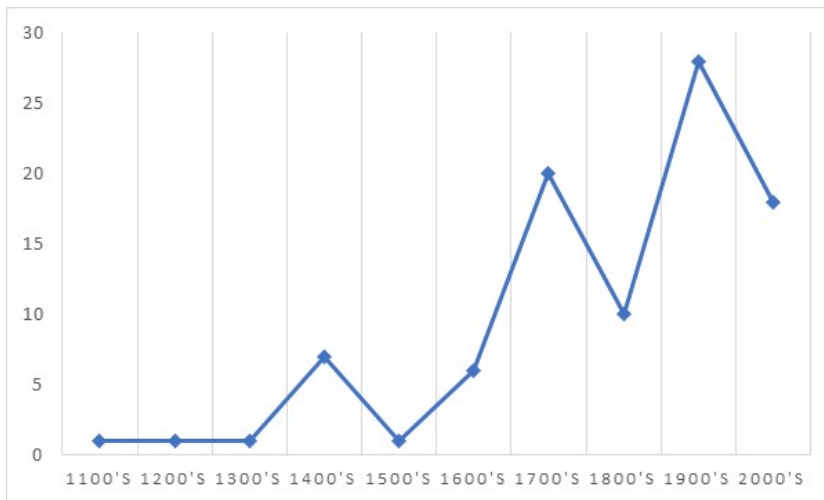
Figur. 1. Romlig fordeling av alle leirskred og kvikkleireskred i Gjerdrum kommune og nabokommuner fra år 1100 – 2020 som er registrert i skreddatabasen (kilde: [www.skredregistrering.no](http://www.skredregistrering.no)).

Analysen viser et økende antall av skredregistrering gjennom århundrene. Det er vanskelig å si om den økende trenden er på grunn av en reel økning av skredhendelser eller en bedre registreringer i nyere tid (figur 2).

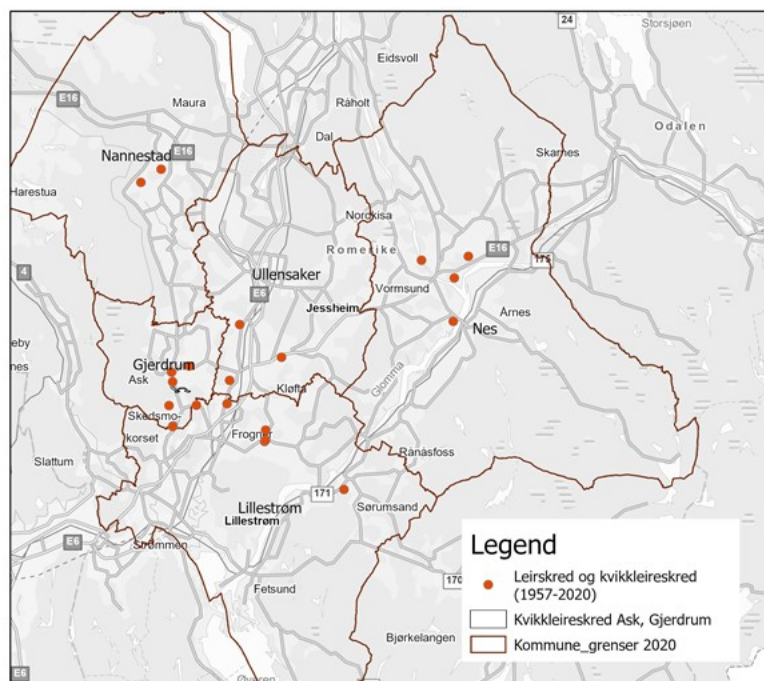
Totalt 22 skredhendelser har blitt registrert i Gjerdrum kommune. 11 av disse er i kategorien leirskred/kvikkleireskred (tabell 1) som har gått i perioden 1450-2020. De fleste skredhendelsene har vært i den østlige delen av kommunen (figur 1), og de fleste har gått innenfor de kartlagte kvikkleireområdene.

En foreløpig analyse av hydrometeorologiske forhold under forekomst av leirskred og kvikkleireskred ble gjennomført i Sokalska mfl. 2015 for hendelser i hele landet. En lignende analyse ble gjort med data fra Gjerdrum og nabokommuner. For 23 av de 91

hendelsene var det mulig å hente hydrometeorologiske data fra xgeo.no som vises i tabell 2 og figur 3. Analysene viser at av 23 hendelser i perioden 1957-2020, var flere i perioder med vannmetning over 70% og minst 3 hendelser med vannmetning over 90%.



Figur 2. Antall leirskred og kvikkleireskred i Gjerdrum og nabokommuner gjennom århundrene. (kilde: [www.skredregistrering.no](http://www.skredregistrering.no)).



Figur 3. Romlig fordeling av leirskred og kvikkleireskred i Gjerdrum og nabokommuner i perioden 1957-2020. For disse årene er hydrometeorologiske data tilgjengelige fra xgeo.no (se tabell 2). (Kilde: [www.skredregistrering.no](http://www.skredregistrering.no)).



Tabell. 1. Antall skredtyper registrert i Gjerdrum kommune i skreddatabasen.  
(www.skredregistrering.no)

Skredtype	Antall
Løsmasseskred	6
Jordskred	1
Leirskred	9
Kvikkleireskred	2
Utglidning av vei	3
Steinskred	1
<b>Totalt</b>	<b>22</b>

Tabell. 2. Oversikt over hydrometeorologiske forhold under leirskred og kvikkleireskred som er registrert i Gjerdrum (grå farge) og nabokommuner (data fra Sokalska mfl. 2015 og xgeo.no)

År	Måned	Dag	Skrednavn	Døgnnedbør (mm)	Regn og snøsmelting (mm)	Vannmetning (%)	Menneskelig aktivitet	Kommentarer
1963	11	15	Vingerdalen	6,3	7	76		
1965	9	9	Ilang	7,7	8	78		20-40 mm 3 dager før
1967	3	20	Hekseberg	0	2	81		20-40 mm
1967	4	8	Haglundveien	0	8	91		
1967	4	10	Nordre Nordby	0	14	86		20-40 mm 3 dager før
1971	7	13	G. Dahle	0	0	26		
1972	5	21	Trevarebyen	8,9	9	48		
1973	5	9	Ask	1,8	2	70		
1973	6	16	Flatner	0	0	39		
1977	11	23	Nordre Nordby	6,7	0	60	Planering	
1984	7	19	Hilton	0	0	42	Graving	40-60 mm 7 dager før og flere episoder med styrtregn
1988	5	1	Sagholen	4,9	17	96		
2000	11	19	Frogner	21,1	22,1	94	Ja	flere nedbør episoder (ca. 10-12) med regn mellom 20-40 mm og noen dager 40-60 mm i den siste måned
2008	4	15	Rakkestad	2,1	2	87		Regn episode en uke før, Et leirskred også i Østfold samme dag
2011	12	16		2,4	1	76		
2012	5	20	Svensrud	0	0	60	Graving	
2012	10	17	Asper gård	5,2	5	68		
2012	11	9	Båhus	12	17	83		
2016	4	20		0	0	76		
2016	11	10		0	0	34		
2019	9	16		0	0	58		
2020	3	14	Knattendalen	2,5	3	88		
2020	12	30	Ask	3,3	0	83		

#### Referanse

Sokalska E., Devoli G., Solberg I-L., Hansen L., Thakur V. (2015). Kvalitetskontroll, analyse og forslag til oppdatering av historiske kvikkleireskred og andre leirskred registrert i nasjonal skredhendelsesdatabase (NSDB). NVE-NIFS rapport 65/2015. Norges vassdrags- og energidirektorat, Oslo, Norge.

## 7.3 Notat fra Meteorologisk Institutt

### Notat

Til: NVE ved Erik Holmqvist

Fra: Meteorologisk institutt ved Hans Olav Hygen og Jostein Mamen

Dato: 26. februar 2021

### Værforholdene på Romerike høsten 2020, med fokus på Gjerdrum

**Det er her viktig å bemerke at Meteorologisk institutt ikke har noen formening om nedbør har noe som helst med skredet å gjøre. Når det gjelder skred og årsaker til skred henviser vi til NVE.**

#### Bakgrunn

I forbindelse med det tragiske skredet på Gjerdrum har det kommet opp spørsmål om nedbøren i området. Under følger en analyse av to datasett, et som er direkte målt på Ukkestad, og et som er beregnet for Ask.

#### Data

#### Observasjoner

Meteorologisk institutt driver et omfattende observasjonsprogram som dekker hele Norge. De nærmeste målestasjonene er Ukkestad (ca 13 km) og Skedsmo-Hellerud (ca 11 km). På Ukkestad har det vært sammenhengende målinger siden 01.09.1965, Skedsmo - Hellerud har vært i drift siden 01.10.1972, men er ikke i drift om vinteren. For den videre analysen benyttes daglige observasjoner av nedbør. Alle observasjoner er tilgjengelig på [seklima.met.no](http://seklima.met.no).

#### Beregnete verdier

På nettsiden [senorge.no](http://senorge.no) finner en daglige kart over blant annet temperatur og nedbør, og kan laste ut daglige verdier for ethvert punkt i Norge. Mer om metodikk og grunnlag finner en i tjenesten.

## Resultater

### Månedlig nedbør

Den månedlige nedbøren i løpet av 2020 er presentert i tabellen under. For Ukkestad er det både presentert i form av mm i kolonnen til venstre og % av normalen (100 = normalen) i kolonnen til høyre

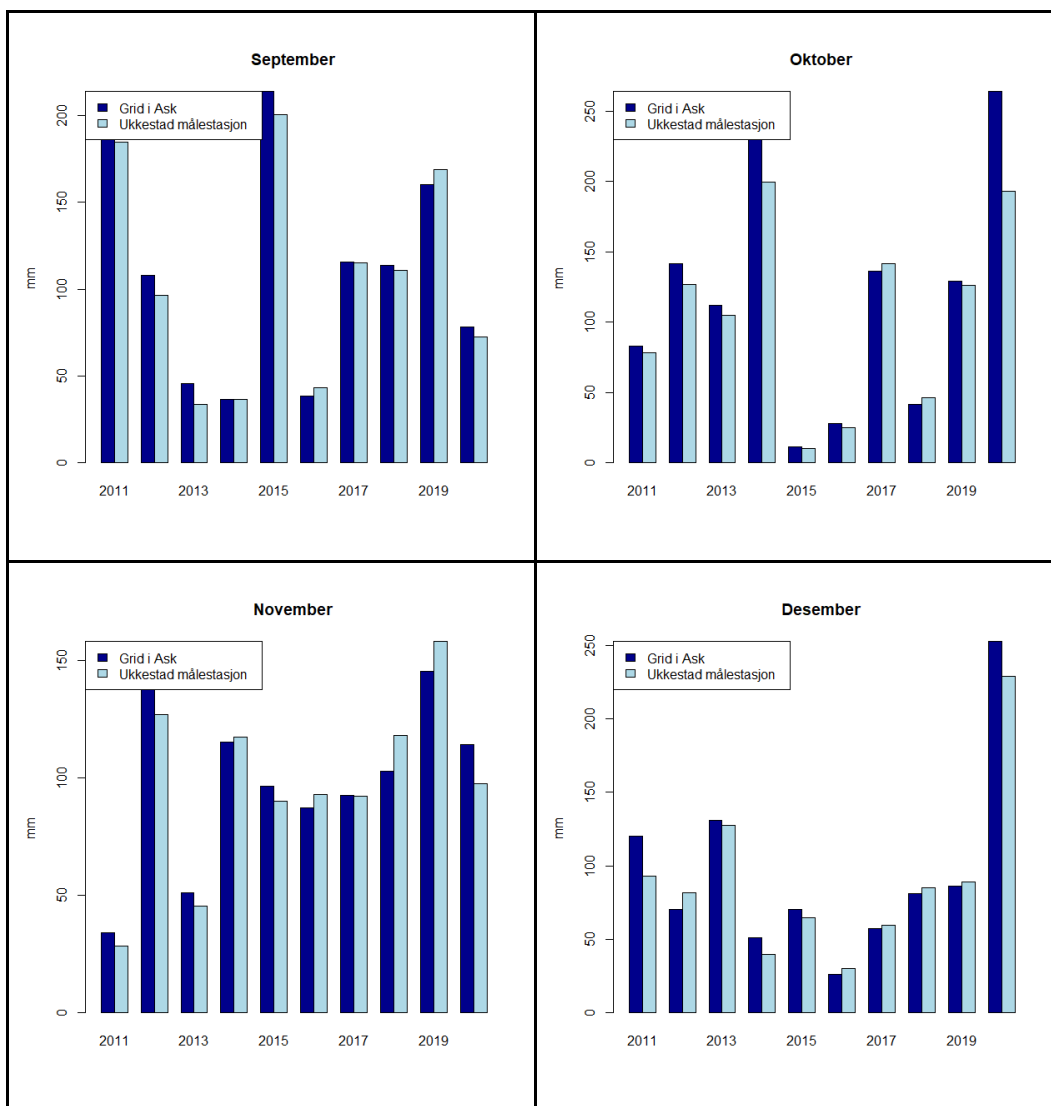
	Ukkestad målestasjon mm og % av normalen		Skedsmo - Hellerud målestasjon mm og % av normalen		Grid fra Ask i mm
	mm	%	mm	%	
Januar	75	129,3			81,1
Februar	69	150			68,9
Mars	75,3	142,1			70,7
April	26,5	58,9	38,2	81,3	33,4
Mai	40,8	71,6	47,6	80,7	46,6
Juni	104,2	155,5	122	187,7	110,1
Juli	136,4	177,1	127	154,9	137,2
August	30,4	33,8	42,4	47,6	45,3
September	72,3	76,9	85,4	90,9	78,2
Oktober	193,0	199,0	238,0	250,5	263,8
November	97,5	116,1	80,2	97,8	114,1
Desember	228,7	368,9	218,5 <sup>2</sup>	346,8	252,5

Ser vi på perioden september til desember, er 2020 den nest våteste (591,5 mm), bare slått av 2000 (672,7 mm). 2019 kommer på 3. plass med 542 mm.

Under er høstnedbøren for de ti siste årene for både Ukkestad målestasjon og Ask sentrum fra de nasjonale griddene. De viser klart, som tallene over, at det var svært mye nedbør i oktober og spesielt i desember.

---

<sup>2</sup> Uvanlig mildt vær gjorde at Skedsmo-Hellerud var i drift i desember 2020.



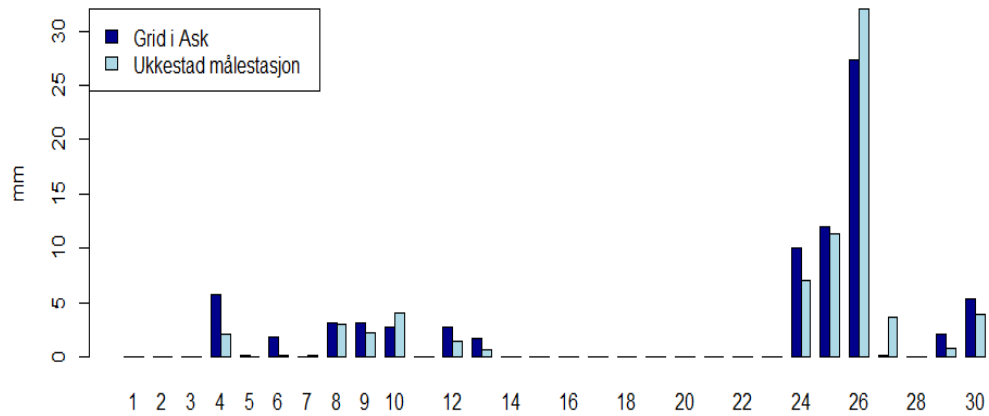
### Temperatur høsten 2020

Både de tre høstmånedene september, oktober og november, og også den første vintermåned, desember, var mildere enn normalt på alle værstasjonene i området. Avvikene fra normalen (gjennomsnittet for perioden 1961-1990) var 1-2 grader i september og oktober, 5-6 grader i november og 6-7 grader i desember. September 2020 var den 4. varmeste på Gardermoen, bare slått av 2016, 2006 og 1999. Oktober var den 6. varmeste. Det var varmere i 2000, 1961, 1995, 2014 og 2001. November ble den nest varmeste som er registrert, bare slått av 2000. Desember havnet på delt 3. plass, sammen med 2015. Det var enda varmere i 2006 og 2013. Ser vi på hele perioden september til desember, er 2020 den nest varmeste med 5,8 grader i gjennomsnitt. Bare 2006 er varmere med et gjennomsnitt på 6,0 grader. Antall dager med frost, 23, var det 3. laveste i 2020, bare slått av 2000 (17) og 2019 (20).

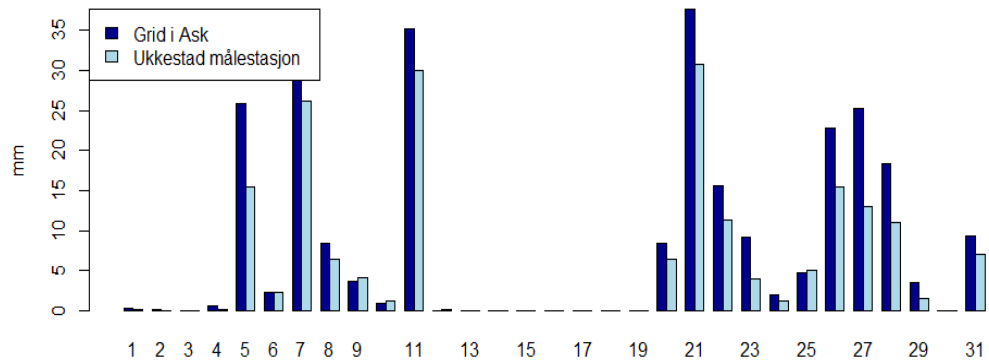
### Daglige verdier for høsten 2020

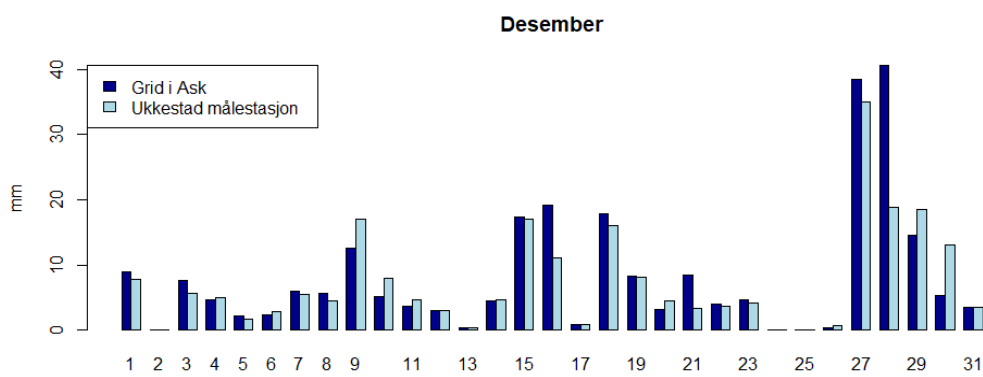
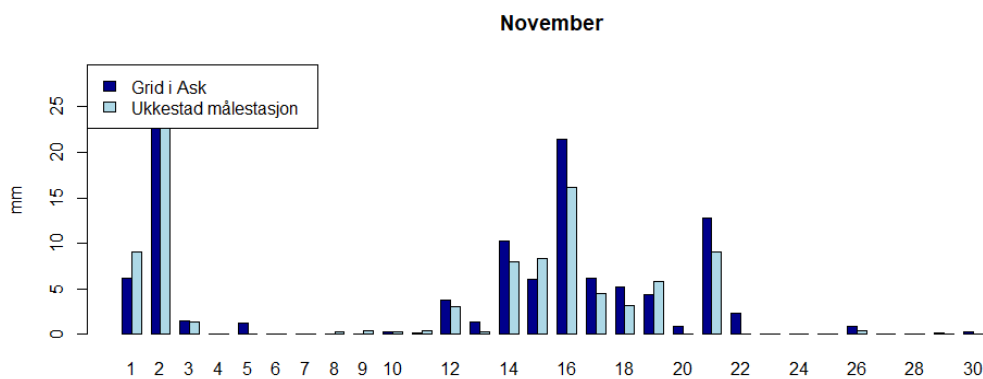
Under er et plot av daglige verdier for høsten 2020 til og med desember. Plottene viser at det har vært mange dager med nedbør og mye nedbør i oktober, november og desember. Ser en på desember er det klart at det var mye nedbør i området i dagene før skredet (her må det gjøres oppmerksom på at METs observasjoner gjøres klokken 08.00 og gjelder for de foregående 24 timer). Dette støttes også av nedbør på stasjoner som ligger lengre unna.

September



Oktober



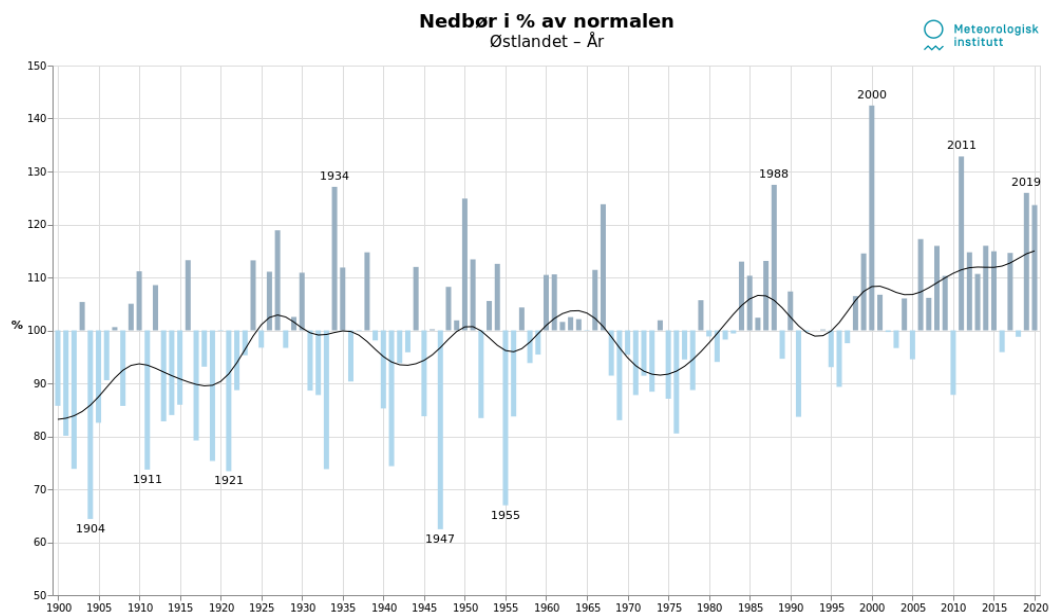


Nedbøren den 27., 28. og 29. desember, som altså har falt i perioden 26.12 kl 08 til 29.12 kl 08, var totalt 72,3 mm. Dette er den høyeste 3-døgnsnedbøren som er registrert på Ukkestad om vinteren, og har en beregnet returperiode på rundt 100 år. Også 4-døgnsnedbøren fra 27. til 30. desember, 85,3 mm, har en returperiode på omkring 100 år.

Perioden september til desember 2000 var, som nevnt, enda våtere, med totalt 673 mm mot 592 mm i 2020. Største 4-døgnsnedbør i 2000 var 86,3 mm, mellom 18. og 21. november. Største 3-døgnsnedbør var 73,3 mm mellom 18. og 20. november. Største døgnsnedbør var 38,2 mm, som ble registrert 10. oktober.

## Observerte klimaendringer

Ut fra Meteorologisk institutt sine sider er følgende graf hentet ut. Den viser utviklingen i årsnedbør i på Østlandet relativt til normalen. Grafen viser en økning på ca 10% relativt til normalen.



## Oppsummering

Observert nedbør i på Ukkestad og beregnet for Ask viser at det var svært mye nedbør høsten 2020, og spesielt desember. Det var også mye nedbør i dagene før skredet.

Observasjoner av klima over tid viser også en økning i nedbør. *Om dette har noe med skredet å gjøre har Meteorologisk institutt ingen formening om, her henviser vi til fagkompetanse hos NVE.*

Mer om klimaendringer og grunnlag for klimatilpasning finnes i klimaprofil Oslo og Akershus på [www.klimaservicesenter.no](http://www.klimaservicesenter.no)

## 7.4 Ekstremnedbør

### Påregnelig Ekstremnedbør (felt)



#### Nedbørfelt: Tistilbekken

1) Normal årsnedbør (basert på verdier fra normalkart):  
PN ~ 850 mm

2) M5(24t) / PN ~ 5,9 % ==> M5(24t)  
~50 mm

#### 3) Påregnelige 24 timers nedbørverdier

	Års- verdi	jan, feb, des	mar, apr, mai	jun, jul, aug	sep, okt, nov
M5(Årstid) / M5(År)	1	0.59	0.57	0.9	0.86
M5 (mm)	50	30	28	45	43
M10 (mm)	55	35	30	50	50
M25 (mm)	65	40	40	60	60
M50 (mm)	75	50	45	70	65
M100 (mm)	85	55	50	80	75
M200 (mm)	95	65	60	90	85
M500 (mm)	115	75	70	105	100
M1000 (mm)	125	85	80	120	115
PMP (mm)	235	175	170	225 - >235	220



#### 4) Påregnelige n-timers nedbørverdier

##### 4. 1) Årsverdi:

Antall timer (n)	1	2	6	12	24	48	72	96
n timer / 24 timer	0.37	0.46	0.66	0.81	1	1.24	1.38	1.55
M10 (mm)	20	25	35	45	55	70	75	85
M25 (mm)	25	30	45	55	65	80	90	100
M50 (mm)	30	35	50	60	75	95	105	115
M100 (mm)	30	40	55	70	85	105	115	130
M200 (mm)	35	45	65	75	95	120	130	145
M500 (mm)	45	55	75	95	115	145	160	180
M1000 (mm)	45	60	85	100	125	155	175	195
PMP (mm)	85	110	155	190	235	290	325	365

##### 4. 2) jan, feb, des:

Antall timer (n)	1	2	6	12	24	48	72	96
n timer / 24 timer	0.37	0.46	0.66	0.81	1	1.24	1.38	1.55
M10 (mm)	15	15	25	30	35	45	50	55
M25 (mm)	15	20	25	30	40	50	55	60
M50 (mm)	20	25	35	40	50	60	70	80
M100 (mm)	20	25	35	45	55	70	75	85
M200 (mm)	25	30	45	55	65	80	90	100
M500 (mm)	30	35	50	60	75	95	105	115
M1000 (mm)	30	40	55	70	85	105	115	130
PMP (mm)	65	80	115	140	175	215	240	270

**4. 3) mar, apr, mai:**

<b>Antall timer (n)</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>24</b>	<b>48</b>	<b>72</b>	<b>96</b>
n timer / 24 timer	0.37	0.46	0.66	0.81	1	1.24	1.38	1.55
M10 (mm)	10	15	20	25	30	35	40	45
M25 (mm)	15	20	25	30	40	50	55	60
M50 (mm)	15	20	30	35	45	55	60	70
M100 (mm)	20	25	35	40	50	60	70	80
M200 (mm)	20	30	40	50	60	75	85	95
M500 (mm)	25	30	45	55	70	85	95	110
M1000 (mm)	30	35	55	65	80	100	110	125
PMP (mm)	65	80	110	140	170	210	235	265

**4. 4) jun, jul, aug:**

<b>Antall timer (n)</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>24</b>	<b>48</b>	<b>72</b>	<b>96</b>
n timer / 24 timer	0.37	0.46	0.66	0.81	1	1.24	1.38	1.55
M10 (mm)	20	25	35	40	50	60	70	80
M25 (mm)	20	30	40	50	60	75	85	95
M50 (mm)	25	30	45	55	70	85	95	110
M100 (mm)	30	35	55	65	80	100	110	125
M200 (mm)	35	40	60	75	90	110	125	140
M500 (mm)	40	50	70	85	105	130	145	165
M1000 (mm)	45	55	80	95	120	150	165	185
PMP (mm)	85	110	155	190	235	290	325	365

#### 4. 5) sep, okt, nov:

<b>Antall timer (n)</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>24</b>	<b>48</b>	<b>72</b>	<b>96</b>
n timer / 24 timer	0.37	0.46	0.66	0.81	1	1.24	1.38	1.55
M10 (mm)	20	25	35	40	50	60	70	80
M25 (mm)	20	30	40	50	60	75	85	95
M50 (mm)	25	30	45	55	65	80	90	100
M100 (mm)	30	35	50	60	75	95	105	115
M200 (mm)	30	40	55	70	85	105	115	130
M500 (mm)	35	45	65	80	100	125	140	155
M1000 (mm)	45	55	75	95	115	145	160	180
PMP (mm)	80	100	145	180	220	275	305	340

#### 5) Justering fra punkt til areal-verdi.

De gitte verdier gir punktnedbør for et "representativt" fiktivt punkt i feltet.  
For felt på ca. 2 kv.km fåes et grovestimat av arealnedbør ved å multiplisere

punktverdiene med en "arealreduksjonsfaktor" ARF:

<b>ANTALL TIMER:</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>24</b>	<b>48</b>	<b>72</b>	<b>96</b>
ARF (2 kv.km.)	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	1.00	1.00

#### 6) Nærmeste målestasjon: 4280 SKEDSMO II (PN = 770 mm/år)

#### 7) Maksimal observert nedbør i området (valgte stasjoner i perioden 1871-2020) : 88,1 mm

Målt ved: 4260 SKEDSMO - HELLERUD den 09.07.1973

#### 8) Kommentarer:

Det må presiseres at de gitte verdier for MT og PMP er basert på et relativt sparsomt datagrunnlag. Verdiene må derfor bare betraktes som et grovestimat.

[Data er gyldig per 11.02.2021 \(CC BY 3.0\), Meteorologisk institutt \(MET\)](#)  
[kdvh@met.no](mailto:kdvh@met.no)

## 7.5 Oversikt, simulerte tidsserier

Simulerte serier med hastighet skalert mot tetthet elvenettverk (V0,  $8.7 * 10^{-5}$  m/s)

Kolonner i simres-fil:

```
("yr","mnt","day","hr","min",  
"p","t","qobs","qtot","qP","qIP","qBog","SCA","SWE","L_P","L_IP",  
"Def_P","Def_IP","sm_P","sm_IP","ea_P","ea_IP","qtot_mm","sm_Bog","ea_Bog","rivs  
tate","L_bog","SCA2","SWE2","wcs1","wcs2","ss1","ss2","qOF")
```

Hvor de ulike forkortelsene står for:

- 1: "yr", År
- 2: "mnt", Måned
- 3: "day", Dag
- 4: "hr", Time
- 5: "min", Minutt
- 6: "p", Nedbør [mm]
- 7: "t", Temperatur [°C]
- 8: "qobs", observert vannføring [m<sup>3</sup>/s]
- 9: "qtot", simulert total vannføring [m<sup>3</sup>/s]
- 10: "qP", simulert vannføring P-areal [m<sup>3</sup>/s]
- 11: "qIP", simulert vannførin IP-areal [m<sup>3</sup>/s]
- 12: "qBog", simulert vannføring for myr [m<sup>3</sup>/s]
- 13: "SCA", Snødekninggrad P-areal[fraksjon]
- 14: "SWE", Snøens vannekvivalent P-areal [mm]
- 15: "L\_P", Grunnvannsinhold P-areal [mm], inkl overland flow
- 16: "L\_IP", Grunnvannsinhold IP-areal [mm], inkl overland flow
- 17: "Def\_P", Underskudd, grunnvann P- areal [mm]
- 18: "Def\_IP", Underskudd grunnvann IP-areal [mm]
- 19: "sm\_P", markvann P-areal [mm]
- 20: "sm\_IP", markvann IP-arreal [mm]
- 21: "ea\_P", aktuell fordampning P-areal [mm]
- 22: "ea\_IP", aktuell fordampning IP-areal [mm]
- 23: "qtot\_mm", total avløp i [mm]
- 24: "sm\_Bog", markvann i myr [mm]

- 25: "ea\_Bog", fordampning I myr [mm]  
26: "rivstate", vann I elvenettverk [mm]  
27: "L\_bog", grunnvann I myr [mm]  
28: "SCA2", Snødekninggrad IP-areal[fraksjon]  
29: "SWE2", Snøens vannekvivalent IP-areal [mm]  
30: "wcs1", fritt vann i snø P-areal [mm]  
31: "wcs2", fritt vann I snø IP-areal [mm]  
32: "ss1", grunnvannsinhold uten overland flow P-areal [mm]  
33: "ss2", grunnvannsinhold uten overland flow IP-areal [mm]  
  
34: "qOF" vannføring overland flow [m<sup>3</sup>/s]

#### **Simulerte serier med SeNorge2018**

Ikke urbanisert: [\\nve.no\fil\h\HB\HB-modellering\DDDtestbenk\DDD\\_Urban\utdata\Ask\FinalVelocity\simres\\_2.001\\_Krfoss\\_V0\\_1h\\_SNDA\\_P\\_Gsh1.csv](\\nve.no\fil\h\HB\HB-modellering\DDDtestbenk\DDD_Urban\utdata\Ask\FinalVelocity\simres_2.001_Krfoss_V0_1h_SNDA_P_Gsh1.csv)

Urbanisert: [\\nve.no\fil\h\HB\HB-modellering\DDDtestbenk\DDD\\_Urban\utdata\Ask\FinalVelocity\\_simres\\_2.001\\_Krfoss\\_V0\\_1h\\_SNDA\\_PIP\\_Gsh1.csv](\\nve.no\fil\h\HB\HB-modellering\DDDtestbenk\DDD_Urban\utdata\Ask\FinalVelocity_simres_2.001_Krfoss_V0_1h_SNDA_PIP_Gsh1.csv)

#### **Simulerte serier med SeNorgeV2**

Ikke urbanisert: [\\nve.no\fil\h\HB\HB-modellering\DDDtestbenk\DDD\\_Urban\utdata\Ask\FinalVelocity\simres\\_2.001\\_Krfoss\\_V0\\_1h\\_SNDAV2\\_P\\_Gsh1.csv](\\nve.no\fil\h\HB\HB-modellering\DDDtestbenk\DDD_Urban\utdata\Ask\FinalVelocity\simres_2.001_Krfoss_V0_1h_SNDAV2_P_Gsh1.csv)

Urbanisert: [\\nve.no\fil\h\HB\HB-modellering\DDDtestbenk\DDD\\_Urban\utdata\Ask\FinalVelocity\simres\\_2.001\\_Krfoss\\_V0\\_1h\\_SNDAV2\\_PIP\\_Gsh1.csv](\\nve.no\fil\h\HB\HB-modellering\DDDtestbenk\DDD_Urban\utdata\Ask\FinalVelocity\simres_2.001_Krfoss_V0_1h_SNDAV2_PIP_Gsh1.csv)

#### **Høydedata 2020**

[https://hoydedata.no/LaserInnsyn/ProsjektRapport?filePath=%5C%5Cstatkart.no%5Choydedata\\_orig%5Cvol10%5C4241%5Cmetadata%5CGjerdrum%20Ullensaker%20Nannestad%205pkt%202020\\_Projektrapport.pdf](https://hoydedata.no/LaserInnsyn/ProsjektRapport?filePath=%5C%5Cstatkart.no%5Choydedata_orig%5Cvol10%5C4241%5Cmetadata%5CGjerdrum%20Ullensaker%20Nannestad%205pkt%202020_Projektrapport.pdf)



NVE

## Norges vassdrags- og energidirektorat

---

MIDDELTHUNS GATE 29  
POSTBOKS 509 I MAJORSTUEN  
0301 OSLO  
TELEFON: (+47) 22 95 95 95

[www.nve.no](http://www.nve.no)