



Forord

Denne mastergradsoppgaven er skrevet ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet i samarbeid med Vann- og avløpsetaten, Oslo kommune, vårsemesteret 2015, og er et resultat av et studie tilsvarende 30 studiepoeng.

Interessen for en slik analyse lå hos professor Oddvar Lindholm ved seksjon for bygg- og miljøteknikk, som ønsker at masterstudenter skal se nærmere på hva klimaendringer vil bety for et ledningsnett i Oslo. Vann- og avløpsetaten i Oslo Kommune har stilt kontorplass og datamodeller til disposisjon, og lagt godt til rette for at nødvendige simuleringer skal kunne gjøres.

Stor takk til Oddvar Lindholm for veiledning og positive tilbakemeldinger gjennom høst og vårsemesteret. En stor takk rettes også til Bjørn Christoffersen i Vann- og avløpsetaten i Oslo Kommune for hjelp til oppgaven, konstruktiv kritikk og hyggelige diskusjoner. Fra Vann- og avløpsetaten ønsker jeg også å takke Erik Øyen, Ann-Kristin Devik, Stein Tore Asp, Thomas Martinsen og Alexander Pham for hjelp og informasjon underveis. Ønsker også å takke Rosim As v/Igor Popov for hjelpen til å forstå avløpsmodellen, og til funksjoner i modelleringsprogrammet.

Tusen takk til mine foreldre som tok seg tid til å lese korrektur! Takk til medstudenter på TF og Fløy V, og venner i Øvre Pomona og omegn for støtte og gode stunder!

Ås, 13.05.15

Ola Formo Kihle

Sammendrag

Prognoser for klimautviklingen viser at klimaet vil endres raskere (IPCC 2013) og at antall dager med ekstrem nedbør i Norge vil øke dramatisk (Norges forskningsråd 2009). De siste årene er det observert økte skader fra oversvømmelser som følge av et kraftigere nedbør. Forskning viser at hyppigheten vil øke for fremtiden.

Befolkningsvekst og tilflytting medfører økt bebyggelse og store endringer i infrastruktur i norske byer. Oversvømmelser og utslipp av avløpsvann som følge av store vannmengder i ledningsnett er et stadig økende problem i urbane strøk. Hvert år øker folketallet i Oslo kommune med over 10 000, og folketallet vil øke med 30 % innen 2030 (SSB 2015). Hovedstadens overflateareal vil fortettes. Fortetting fører til at nedbør får mindre areal å infiltrere i, og avrenningen til ledningsnett vil øke. I Oslo prioriteres derfor arbeidet med å redusere konsekvenser av den økte nedbøren. Forskning viser at å behandle overvann lokalt gir en positiv virkning på avløpsnett, både for oppstuvning i avløpsledninger og for overløpsutslipp.

Oslos ledningsnett har i dag ikke kapasitet til å håndtere avløpet for alle typer nedbør. Dette fører til kjelleroversvømmelser i tillegg til miljøskadelige utslipp til vassdrag og fjord. Vann- og avløpsetaten i Oslo Kommune overvåker den biologiske, kjemiske og mikrobiologiske vannkvaliteten i alle hovedvassdrag. Resultatene fra etatens Fagrapport (2015a) viser at flere vassdrag til dels er sterkt påvirket av utslipp fra avløpsnett. I 2014 ble det registrert 226 overløpshendelser fra 22 kummer som har regnoverløp til Akerselva. Disse hadde en sammenhengende varighet på mer enn 130 000 minutter (Oslo Kommune 2015a). Målet med oppgaven er å undersøke for potensielle kjelleroversvømmelser og forurensende utslipp av avløpsvann til Akerselva for et fremtidig klima, med frakobling av takvann som tiltak.

Sandaker klassifiseres som et byområde og forretningsstrøk med mange tette flater, og har et skadepotensiale likt andre sentrumsnære områder i hovedstaden. For å finne mengden potensielle vannføringer i området ble et nedbørs-basert simuleringsprogram, ROSIE, brukt på en avløpsmodell over Sandaker som Oslo Kommune har utarbeidet. Simuleringene baserer seg på nedbør og avrenning fra forskjellige typer overflatearealer i avløpsfeltet. Resultatene viser oppstuvning og vannføring i ledningsnett.

En forenkling i ROSIE er at den deler inn avløpssystemet i catchments som simuleres hver for seg. Sandakermodellen består totalt av 43 catchments. 5 catchments påvirker direkte modellens område som oppstaves ved kraftig regn. I disse kobles takvannet fra avløpsnett for at vi skal kunne se hvilken effekt dette har på oppstuvningen og overløpsutslipp i områdets eneste overløpskum. Nedbørsdata brukt i modelleringen er reelle data for de fem siste årene 2010 – 2014, og er hentet fra Disen nedbørstasjon. I tillegg er det brukt nedbørsdata for et 30årsregn. Sandakers avløpssystem ble modellert med et klimapåslag for fremtidig klima med og uten frakoblet takvann.

Overløpet til Akerselva i modellen tilsvarer 0,9 % av tilrenningen fra avløpsfeltet, nært opp til gjennomsnittet for andelen overløp i Oslo som er 1 %.

Simuleringer med nedbørsdata fra de siste fem år viser oss mye oppstuvet vann i en del av Sandakers avløpsfelt. Frakobling av takvann i 5 av 43 catchments fører til en stor reduksjon i

oppstuvingen. 100 % av kjellerovervømmelsene forhindres, og utslipp av avløpsvann til Akerselva reduseres med om lag 40 %.

Med et klimapåslag på 50 % viser resultatene at det i tillegg oppstår oversvømmelser i en annen del av ledningsnettet på Sandaker. Frakobling av takvann i 5 av 43 catchments fører til en reduksjon i oppstuvingen. 75 % av kjellerovervømmelsene forhindres, og utslipp av avløpsvann til Akerselva reduseres med om lag 25 %.

Årssimuleringer av de siste fem år med og uten frakobling av takvann viser at frakoblingen av takarealet på Sandaker reduserer utslippet med om lag 30 % og har potensiale til å forhindre at nærmere 1300 m³ slippes ut i Akerselva pr. år.

For et 30årsregn blir samtlige kjelleroversvømmelser forhindret i området hvor takvannsfrakobling er benyttet på de påvirkende catchmentene. 12 % av nodene i ledningsnettet på Sandaker tåler ikke et 30årsregn, og 20 % av nodene tåler ikke et 30årsregn med 50 % klimapåslag.

Alle kjelleroversvømmelser ble forhindret ved bruk av LOD-tiltak i påvirkende catchments. Ved klimapåslag blir effekten noe lavere, på grunn av et kraftigere regn. Det oppstår også nye områder med oppstuvning i modellen, hvor takvannsfrakoblingen i de 5 av 43 catchmentene ikke har effekt. Ved ytterligere takvannsfrakobling i de påvirkende catchmentene, ville disse sannsynligvis også bli redusert med 100 %.

Ved å benytte LOD-tiltak etter takvannsfrakobling forhindrer man samtlige kjelleroversvømmelser i området, og reduserer utslippet til Akerselva fra de kraftigste regnhendelsene med 37 %. For simuleringer med klimapåslag er reduksjonen noe lavere. Dette er ikke optimalt da det i fremtiden er ønskelig å oppnå overløpstilfeller kun hvert 3. år i Oslo Kommune.

Klimaendringene vil ha stor innvirkning på antall kjelleroversvømmelser som oppstår på Sandaker under kraftige nedbør i fremtiden, og det vil være oppnåelig å redusere disse ved bruk av frakobling av takvann og lokal overvannsdiskonering. For å forhindre ytterligere forurensning frem til en slikt tiltak er på plass bør det vurderes å sende overløpet inn på VEAS tunnelsystemer.

Resultatene i denne oppgaven har høy grad av usikkerhet, og må derfor tas med skjønn.

Abstract

Projected climate developments show that the climate will change more quickly (IPCC 2013) and the number of days with heavy precipitation in Norway will increase dramatically (RCN 2009). In recent years, an increased damage from floods because of heavy precipitation has been observed. Research shows that the frequency will increase in the future.

Population growth and migration leads to increased settlement and major changes in infrastructure in Norwegian cities. Weir and wastewater emissions as a result of large amounts of water in the distribution system is a growing problem in urban areas. Every year the population of Oslo with over 10,000, and the population will increase by 30% by 2030 (SSB 2015).

Oslo's surface area will densify. Densification causes the precipitation to get land to infiltrate, and runoff to the mains increase. Oslo efforts to reduce the impact of the increased rainfall. Research shows that treating stormwater locally has a positive effect on the sewer system, both for sewers and overflow discharge.

Oslo does not currently have the capacity to handle the runoff for large precipitations. This causes basement flooding as well as harmful emissions into rivers and fjords.

The Water and Sewerage Authority in Oslo monitors the biological, chemical and microbiological water quality in all the main rivers. The results of the agency's technical reports (2015a) shows that several rivers are influenced by emissions from the sewage system. In 2014 it was registered 226 weir-overflow events from 22 weir-manholes that have rain overflow to the Akerselva river. These had a continuous period of more than 130,000 minutes (Oslo Kommune 2015a).

The aim of this study is to investigate the potential for basement flooding and pollution of Akerselva river from the Sandaker-catchment for a future climate, with a disconnection of roof-water-drains.

Sandaker classified as an urban area and business district with many impervious surfaces. To determine the amount of potential water flow in the area was a rain's based simulation program, ROSIE, used in a drainage model over Sandakerveien as Oslo Municipality prepared. The simulations are based on precipitation and runoff from various types of surface areas in the drain field. The results show congestion and flow in the pipeline.

A simplification of ROSIE is that it divides the drainage system in catchments simulated separately. Sandakerveien model consists a total of 43 catchments. 5 catchments directly affects the model area congested by heavy rain. In these 5 catchments the rooftop-water-drains are disconnected from the seweragenetwork for us to see what effects this has on congestion and weir-discharge in the area's only weir-manhole. Precipitation data used in the modeling are real data for the last five years 2010 - 2014, and is taken from the Disen rainfallstation. In addition,precipitation data for a 30-year recurrence interval is also simulated. Sandakers sewer system was modeled with a climate factor for future climate with and without disconnected roof-water.

The weir-discharge into Akerselva river in the model corresponds to 0.9 % of the waterflow from the sewerage-system in Sandaker, close to the average for the weir-discharge in Oslos sewage-system which is 1 %.

Simulations with rainfall data from the past five years show us many basement floodings in one part of Sandakers sewage-system. Disconnection of roof-water-drains in 5 of 43 catchments leads to a large reduction in congestion for the whole sewage-system. 100 % of basement-floodings are prevented and the discharge of effluent into Akerselva river is reduced by almost 40 %.

With a climate factor of 50 %, the results show that, in addition to the first part, flooding occurs in another part of Sandakers sewage-system. Disconnecting roof-water-drains in 5 of 43 catchments leads to a reduction in congestion, and 75 % of basement floodings are prevented. The discharge of wastewater into the Akerselva river is reduced by about 25 %.

Yearlong simulations of the past five years with and without disconnection of roof-water-drains shows that the disconnection reduced weir-discharge by about 30% and has the potential to prevent further 1,300 m³ discharged to Akerselva river per year.

For a 30-year recurrence interval all basement floodings are prevented in the area where disconnected roof-water-drains applied to the affected catchments. 12% of the nodes in the distribution system in Sandaker can not withstand a 30 year recurrence interval, and 20% of the nodes can not withstand a 30 year recurrence interval with a climate factor of 50 %.

All basement floodings was prevented by using local stormwater disposal measures in the influencing catchments. After a climate factor the effect is lower, because of the impact of a powerful rain. It occurs also new areas of congestion in the model, where disconnection of roof-water-drains in the chosen 5 catchments has no effect. Upon further disconnection, these would likely to be reduced by 100 %.

Using local stormwater disposal measures after disconnection of roof-water prevents all basement flooding in the area and reduces emissions to Akerselva river from powerful rain events by 37 %. For simulations with climate factor, the reduction is somewhat lower. This is not optimal when it is desirable for the future to achieve weir-discharge-events only every 3 years in Oslo.

Climate change will have a large impact on the number of basement floodings in Sandaker under heavy rainfall in the future. A reduction of these using disconnection of roof-water and local stormwater disposal is possible.

To prevent further contamination forward such a measure, it should be considered to send the weir-discharge from weir-manhole into tunnel systems ending in VEAS's treatment plant.

The results in this paper has a high degree of uncertainty, and must therefore be taken with discretion.

INNHOLDSLISTE

Forord	2
Sammendrag.....	3
Abstract.....	5
Innledning.....	15
Generell del.....	16
Nedbør.....	16
Nedbørsmåling	16
Klimaendringer.....	17
Ekstreme nedbørstilfeller	17
Vann og avløpshåndtering	18
Overløp.....	18
Kommunale avløpsledninger	19
Framtidens overvannsanlegg	20
LOD	20
Takvann.....	21
Dataprogram brukt i forbindelse med bygging av avløpsmodeller	22
Gemini VA.....	22
MOUSE.....	22
ArcMap 10.1.....	22
ROSIE.....	23
Mike View.....	23
Spesifikk del	24
Avløpssystemet på Sandaker	24
Vassdraget Akerselva	25
Overløpskum AK40	25
Areal.....	26
Vannforbruk på Sandaker.....	26
Grunnforhold	27
Grunnvann	28
Nedbørsmåleren på Disen, Oslo	28
Programmets omregning av benevning	28
Den rasjonelle formel	29
Metode.....	30
Datamodellen	30
Kalibrering	30
Opptelling av kjelleroversvømmelser	30
Overløpsutslipp til vassdrag.....	31

Frakobling av takvann	32
Simulering av et 30årsregn.....	35
Fremstilling av resultater etter simulering	36
Feilkilder til simuleringsresultat fra avløpsmodellen.....	37
Frakobling av takvann	37
Connection points.....	37
Døgnvariasjon	37
Usikre overflatedata	37
Kalibrering.....	37
Andre avvik i modellen	38
Korrelasjon mellom simuleringer i modell og fysiske målinger	39
Resultater.....	40
Del 1 – Kjelleroversvømmelser etter de 8 største nedbør i 2010 - 2014.....	41
Resultater for dagens avløpssituasjon.....	41
Resultater etter frakobling av takvann i 5 av 43 catchments	43
Resultater etter et klimapåslag på 50 %	45
Resultater etter et klimapåslag på 50 % og frakobling av takvann i 5 av 43 catchments.....	48
Reduksjon av kjelleroversvømmelser etter frakobling av takvann i 5 av 43 catchments	50
Del 2 – Overløpsutslipp til vassdrag.....	51
Resultater fra tidsseriesimuleringer av år 2010 til og med år 2014	51
Resultater fra tidsseriesimuleringer av år 2010 til og med år 2014 etter frakobling av takvann i 5 av 43 catchments	54
Reduksjon i overløpsutslipp etter frakobling av takvann i 5 av 43 catchments.....	57
Del 3 – Kjelleroversvømmelser og overløpsutslipp til vassdrag etter et 30årsregn	58
Reduksjon i kjelleroversvømmelser og overløpsutslipp etter frakobling av takvann i 5 av 43 catchments for et 30årsregn	60
Diskusjon.....	61
Kjelleroversvømmelser	61
Dagens avløpssituasjon	61
Klimapåslag.....	61
Overløpsutslipp til vassdrag	62
30årsregn	62
Overløpskum AK40.....	62
Frakobling av takvann.....	63
Konklusjon.....	64
Sandaker.....	64
Anbefalinger til senere arbeid	64
Kilder.....	65

Vedlegg	67
Tabell over skader etter oversvømmelser i AK40s avløpsfelt m/forklaring	67
Kumkart over AK40	68
Nedbørsmåleren på Disen nedbørstasjon	69
Catchmentdata	70
Fremstilling av overløpsutslipp over nedbørsdata i 2010	71
Fremstilling av overløpsutslipp over nedbørsdata i 2011	72
Fremstilling av overløpsutslipp over nedbørsdata i 2012	73
Fremstilling av overløpsutslipp over nedbørsdata i 2013	74
Fremstilling av overløpsutslipp over nedbørsdata i 2014	75
De 8 største nedbørstilfeller på Sandaker i perioden 2010 – 2014	76
Resultater fra simulering i ROSIE med dagens avløpssituasjon	76
Resultater fra simulering i ROSIE etter frakobling av takvann	76
Resultater fra simulering i ROSIE med 50% klimapåslag på avrenning	77
Resultater fra simulering i ROSIE med 50% klimapåslag på avrenning, etter frakobling av takvann	77
Resultater etter helårs tidseriesimuleringer for årene 2010 - 2014 i ROSIE	78
Resultater etter simulering av et 30årsregn i ROSIE	79
Kart over stikkledninger m/ forgreningspunkt	80
Kart over stikkledninger m/ forgreningspunkt	81

Figurliste

Figure 1 Treleddstrategien for nedbørshåndtering. Tallene er eksempler, og må tilpasses lokalt. Kilde: (Oddvar Lindholm et al. 2008).....	21
Figure 2 Skjerm bilde av arbeid i ArcMap 10.1(VAV 2015)	22
Figure 3 Skjerm bilde fra arbeid med modulen Rosie i ArcMap 10.1(Rosim AS 2014b).....	23
Figure 4 Gatnavn på Sandaker, med Sandakerveien og Grefsenveien som hovedvei opp mot Storokrysset øverst til høyre i bildet. Overløpskum AK40 er markert med rød firkant ved Akerselva (Google Maps 2015).	24
Figure 5 Fotografi av overløpskummen AK40 (Kihle 2013).....	25
Figure 6 Arealfordeling på Sandaker. Overflatearealet av Sandakers avløpsfelt består av 40% tette flater, og 60% infiltrerbare flater.....	26
Figure 7 Kart over infiltrasjonsevnen på Sandaker, Oslo. Feltet består av elveavsetninger og tykk marin havavsetning. Dette er avsetninger som er godt egnet til infiltrasjon (NGU 2015).	27
Figure 8 Tegnforklaring til Figure 7	27
Figure 9 – Kurve med intensitet med overløpsutslipp pr. tid.....	29
Figure 10 Uten frakobling av takrenner vil overvannet renne direkte fra det impermeable takarealet til permeable flater. Ved en frakobling av takvann og bruk av LOD-tiltak vil overvann i modellen renne fra tette flater både til permeable flater og til LOD-utforming. (Rossman et al. 2010).....	32
Figure 11 Skjerm bildet viser avløpssituasjonen for Sandakers 43 catchments, med oppstuvning i avløpsnett etter en simulering av det største regnet i 2011. Overløpskummen i avløpsmodellen er markert med navn, AK40, og ligger nede til venstre i bildet. Takvannsavrenning i de oppstrøms catchments som påvirker oppstuvningen blir dempet for å simulere LOD-tiltak. De fem catchmentene er markert med svart i figuren. (Rosim AS 2014b)	33
Figure 12 Arealfordeling for de 5 catchments som påvirker oppstuvningen i ledningsnett i Amtmann Meinichs gate, Nordlandsgata og Birch Reichenwalds gate, vest for Grefsenveien.	34
Figure 13 IVF-tabell for Oslo, Blindern i perioden 1968 – 2014 (Oslo Kommune 2015a).....	35
Figure 14 30-års gjentaksintervall med og uten klimatillegg. Denne er brukt til simulering av 30årsregn i modellen (side 60).	35
Figure 15 Gult illustrerer driftstid for overløp AK40, målt av Funksjon målegruppe avløp (FMA), Vann- og avløpsetaten i Oslo Kommune sommeren 2010 (Oslo Kommune 2015b). Blått illustrerer avløpsmodellens simulerte overløpsintensitet i m ³ /s til Akerselva sommeren 2010.	39
Figure 16 Tegnforklaring av skjerm bildene i ArcMap 10.1. Skjerm bildene viser oppstuvningen, og nivået over topp rør for hele avløpsnett.	40
Figure 17 Simulering av det største nedbøret i 2010 med dagens avløpssituasjon.....	41
Figure 18 Simulering av det største nedbøret i 2011 med dagens avløpssituasjon.....	41
Figure 19 Simulering av de tre største nedbør i 2012 med dagens avløpssituasjon.....	42
Figure 20 Simulering av de tre største nedbør i 2013 med dagens avløpssituasjon.....	42
Figure 21 Simulering av det største nedbøret i 2010 etter frakobling av takvann	43
Figure 22 Simulering av det største nedbøret i 2011 etter frakobling av takvann	43
Figure 23 Simulering av de tre største nedbør i 2012 etter frakobling av takvann	44
Figure 24 Simulering av de tre største nedbør i 2013 etter frakobling av takvann	44
Figure 25 Simulering av det største nedbøret i 2010 med et klimapåslag på 50%	45
Figure 26 Simulering av det største nedbøret i 2011 med et klimapåslag på 50%	46
Figure 27 Simulering av de tre største nedbør i 2012 med et klimapåslag på 50%	46

Figure 28 Simulering av de tre største nedbør i 2013 med et klimapåslag på 50%.....	47
Figure 29 Simulering av det største nedbøret i 2010 med et klimapåslag på 50% etter frakobling av takvann i 5 catchments.....	48
Figure 30 Simulering av det største nedbøret i 2011 med et klimapåslag på 50% etter frakobling av takvann i 5 catchments.....	48
Figure 31 Simulering av de tre største nedbør i 2012 med klimapåslag på 50% etter frakobling av takvann i 5 catchments.....	49
Figure 32 Simulering av de tre største nedbør i 2013 med klimapåslag på 50% etter frakobling av takvann i 5 catchments.....	49
Figure 33 Antall kjelleroversvømmelser som oppstår i modellen av avløpsfeltet på Sandaker før og etter frakobling av takvann i 5 av 43 catchments.....	50
Figure 34 Årlig utslipp av avløpsvann fra overløp AK40 på Sandaker de fem siste år.....	52
Figure 35 Overløpskum AK40s utslipp til Akerselva (m ³) pr. innkommende vannføring (m ³) fra avløpsfeltet Sandaker.....	53
Figure 36 Årlig utslipp av avløpsvann fra overløp AK40 på Sandaker de fem siste år etter frakobling av takvann i 5 av 43 catchments.....	55
Figure 37 Blått illustrerer utslippsvolumet til Akerselva fra overløpskum AK40 pr. innkommende avløpsvann fra Sandaker de 5 siste år. Grønt illustrerer en reduksjon i tilrenning og overløpsutslipp etter en frakobling av takvann i de fem catchmentene som påvirker oppstuvningen.....	56
Figure 38 Her vises tilrenningen til overløpskum AK40 for det største regnet i 2010 etter en simulering i ROSIE med og uten en endring i avrenningskoeffisient. En tenkt overløpsinnstilling er markert for å illustrere overløpsutslippet. Vi ser at utslippet er svært følsomt for arealendringer.....	57
Figure 39 Simulering av 30årsregn.....	58
Figure 40 Simulering av 30årsregn etter takvannsfrakobling i påvirkende catchments.....	58
Figure 41 Simulering av 30årsregn med 50% klimapåslag.....	59
Figure 42 Simulering av 30årsregn med 50% klimapåslag etter takvannsfrakobling i fem catchments.....	59
Figure 43 Antall kjelleroversvømmelser som oppstår og mengde overløpsutslipp til vassdrag etter et 30årsregn.....	60
Figure 44 Kumkort over overløpskum AK40.....	68
Figure 45 Nedbørsmåleren på Disen nedbørstasjon, er en vippepluviograf av typen Lambrecht. Det benyttes en variant av denne måleren med en beholder på 4cm ³ som teller antallet ganger 0,2 mm faller pr. minutt.....	69
Figure 46 Catchment- og avløpsdata for de 43 catchmentene som utgjør Sandakers avløpssystem, med fargeforklaring. (Data er hentet fra Catchment Layer-funksjon i ArcMap 10.1).....	70
Figure 47 Fremstilling av nedbørsdata fra Disen nedbørsstasjon sammen med overløpsutslippet til Akerselva i avløpsmodellen året 2010. Lyseblått illustrerer nedbørsintensitet (mm/h). Mørkeblått illustrerer overløpsutslipp (m ³ /s).....	71
Figure 48 Fremstilling av nedbørsdata fra Disen nedbørsstasjon sammen med overløpsutslippet til Akerselva i avløpsmodellen året 2011. Lyseblått illustrerer nedbørsintensitet (mm/h). Mørkeblått illustrerer overløpsutslipp (m ³ /s).....	72
Figure 49 Fremstilling av nedbørsdata fra Disen nedbørsstasjon sammen med overløpsutslippet til Akerselva i avløpsmodellen året 2012. Lyseblått illustrerer nedbørsintensitet (mm/h). Mørkeblått illustrerer overløpsutslipp (m ³ /s).....	73
Figure 50 Fremstilling av nedbørsdata fra Disen nedbørsstasjon sammen med overløpsutslippet til Akerselva i avløpsmodellen året 2010. Lyseblått illustrerer nedbørsintensitet (mm/h). Mørkeblått illustrerer overløpsutslipp (m ³ /s).....	74

Figure 51 Fremstilling av nedbørsdata fra Disen nedbørsstasjon sammen med overløpsutslippet til Akerselva i avløpsmodellen året 2010. Lyseblått illustrerer nedbørsintensitet (mm/h). Mørkeblått illustrerer overløpsutslipp (m ³ /s)	75
Figure 52 De 8 største nedbørstilfeller på Sandaker i perioden 2010 – 2014. Tabellene viser resultater for Tilrenning til overløpskum, utslippsvolum, og antall kjelleroversvømmelser som oppstår i avløpsmodellen for hvert regn regn.....	76
Figure 53 De 8 største nedbørstilfeller på Sandaker i perioden 2010 - 2014 etter frakobling av takvann i 5 av 43 catchments. Tabellene viser resultater for Tilrenning til overløpskum, utslippsvolum fra overløp, og antall kjelleroversvømmelser som oppstår i avløpsmodellen for hvert regn. Reduksjon i kjelleroversvømmelser er merket med mørkegrønn farge.....	76
Figure 54 De 8 største nedbørstilfeller på Sandaker i perioden 2010 - 2014 etter et påslag med 50% klimafaktor. Tabellene viser resultater for Tilrenning til overløpskum, utslippsvolum fra overløp, og antall kjelleroversvømmelser som oppstår i avløpsmodellen for hvert regn. Økningen i kjelleroversvømmelser er merket med oransj farge.	77
Figure 55 De 8 største nedbørstilfeller på Sandaker i perioden 2010 – 2014 med takvannsfrakobling i 5 av 43 catchment etter et påslag med 50% klimafaktor. Tabellene viser resultater for Tilrenning til overløpskum, utslippsvolum fra overløp, og antall kjelleroversvømmelser som oppstår i avløpsmodellen for hvert regn. Økningen i kjelleroversvømmelser er merket med oransj farge.	77
Figure 56 Tabellene viser resultater for det enkelte årets totale tilrenning til overløpskum, utslippsvolum fra overløp og antall nedbørshendelser som fører til overløp i overløpskum AK40. Tabellen viser resultater for dagens avløpssituasjon på Sandaker, og resultater etter frakobling av takvann i fem av 43 catchments. Beregnet reduksjon etter takvannsfrakobling i de fem påvirkende catchmentene vises til høyre for tabellene. Sammenlagte resultater for perioden vises nederst.	78
Figure 57 Tabellene viser resultatene etter simuleringer av 30årsregn på dagens avløpssituasjon og etter frakobling av takvann, for nedbør med og uten klimafaktor på 50%. Tilrenning til overløpskum, utslippsvolum fra overløp, og antall kjelleroversvømmelser som oppstår i avløpsmodellen for hvert regn vises for hver av simuleringene.....	79
Figure 58 Kart over stikkledninger og forgreningspunkt i øvre del av Sandaker avløpsfelt. Kilde: Oslo Kommune (2015c)	80
Figure 59 Kart over stikkledninger og forgreningspunkt i nedre del av Sandaker avløpsfelt. Kilde: Oslo Kommune (2015c)	81

Tabelliste

Table 1 Tak-, vei- og infiltrerbart areal, og totalt overflateareal for Sandaker-avløpsfelt i modellen	26
Table 2 Tak-, vei- og infiltrerbart areal, og sammenlagt areal for de 5 catchments som påvirker oppstuvningen i ledningsnettet i Amtmann Meinichs gate, Nordlandsgata og Birch Reichenwalds gate, vest for Grefsenveien	34
Table 3 Simulering av det største nedbøret i 2010 med dagens avløpssituasjon	41
Table 4 Simulering av det største nedbøret i 2011 med dagens avløpssituasjon	41
Table 5 Simulering av de tre største nedbør i 2012 med dagens avløpssituasjon	42
Table 6 Simulering av de tre største nedbør i 2013 med dagens avløpssituasjon	42
Table 7 Simulering av det største nedbøret i 2010 etter frakobling av takvann.....	43
Table 8 Simulering av det største nedbøret i 2011 etter frakobling av takvann.....	43
Table 9 Simulering av de tre største nedbør i 2012 etter frakobling av takvann	44
Table 10 Simulering av de tre største nedbør i 2013 etter frakobling av takvann	44
Table 11 Simulering av det største nedbøret i 2010 med et klimapåslag på 50%.....	45
Table 12 Simulering av det største nedbøret i 2011 med et klimapåslag på 50%.....	46
Table 13 Simulering av de tre største nedbør i 2012 med et klimapåslag på 50%	46
Table 14 Simulering av de tre største nedbør i 2013 med et klimapåslag på 50%	47
Table 15 Simulering av det største nedbøret i 2010 med et klimapåslag på 50% etter frakobling av takvann i 5 catchments.....	48
Table 16 Simulering av det største nedbøret i 2011 med et klimapåslag på 50% etter frakobling av takvann i 5 catchments.....	48
Table 17 Simulering av de tre største nedbør i 2012 med et klimapåslag på 50% etter frakobling av takvann i 5 catchments.....	49
Table 18 Simulering av de tre største nedbør i 2013 med et klimapåslag på 50% etter frakobling av takvann i 5 catchments.....	49
Table 19 Samlet antall kjelleroversvømmelser i avløpsmodellen for femårsperioden 2010 – 2014 på Sandaker, før og etter takvannsfrakobling i 5 av 43 catchments med og uten klimapåslag.....	50
Table 20 Data fra avløpsmodellen etter årssimuleringer med nedbørsdata fra 2010 til og med 2014.....	51
Table 21 Total mengde tilstrømming til overløp, og total mengde utslipp fra overløpskum AK40 i perioden 2010 – 2014.....	52
Table 22 Data fra avløpsmodellen etter årssimuleringer med nedbørsdata fra 2010 til og med 2014, etter frakobling av takvann i fem av 43 avløpsfelt i modellen.....	54
Table 23 Total mengde tilstrømming til overløp, og total mengde utslipp fra overløp til Akerselva i perioden 2010 – 2014, etter frakobling av takvann i fem av 43 catchments.....	55
Table 24 Samlet overløpsutslipp for de fem år før og etter frakobling av takvann, samt total reduksjon i volum og i prosent av utslippet med dagens avløpssituasjon.....	57
Table 25 - Data fra simulering av 30årsregn.....	58
Table 26 Data fra simulering av 30årsregn etter frakobling av takvann i fem felt, av totalt 43 felt.....	58
Table 27 Data fra simulering av 30årsregn med klimafaktor.....	59
Table 28 Data fra simulering av 30årsregn med klimafaktor etter frakobling av takvann i fem felt, av totalt 43 felt.....	59
Table 29 Reduksjon av kjelleroversvømmelser og overløpsutslipp til Akerselva for et 30årsregn etter frakobling av takvann i 5 av 43 catchments.....	60
Table 30 Oversikt over oversvømmelser i kjellere i AK40s nedbørsfelt (Ann-Kristin Devik 2015).....	67

Forkortelser

AF230 – Avløpfelles-ledning med dimensjon, her 230mm.

FDV – Forvaltning, drift og vedlikehold.

FMA – Funksjon målegruppe avløp i Vann- og avløpsetaten.

GIS – Geografisk informasjonssystem.

IVF – Intensitet Varighet Frekvens.

LOD – Lokal overvannsdiskonering.

NGU – Norges geologiske undersøkelse.

PE – Personenheter.

RDI – Rainfall dependent inflow.

RegClim – Regional Climate Development Under Global Warming.

VAV – Vann- og avløpsetaten i Oslo Kommune.

VEAS – Vestfjorden Avløpsselskap.

Innledning

Temaet for denne oppgaven er overvannsanalyse av regndata for et område i Oslo. Det globale klimaet er i endring, også i Norge, og dette påvirker mengden og intensiteten til nedbøren som kommer i fremtiden. Analyser på avløps- og overvann er derfor nødvendig for å gjøre prosessen med å fornye ledningsnett i norske avløpssystem så god som mulig. Analyser er gjort for å kunne si noe om hvor på nettet belastningen er størst, i tillegg til hvor stor belastningen er av avløpsvann som påføres Akerselva ved store regnintensiteter. Klimaendringene vil øke både hyppigheten og størrelsen på flommer i Norge, noe som vil ha en stor betydning for ledningsnett i norske avløpssystemer. Oppgavens analyser tar utgangspunkt i å finne ut hva som skjer i avløps- og overvannsnett på Sandaker, under forskjellige regnintensiteter og nedbørmengder.

En viktig grunn til å se nærmere på hva som skjer med ledningsnett ved større regn, er å finne områder i feltet som er utsatte for kjelleroversvømmelser, som man dermed kan forhindre. Ved bruk av modelleringsprogrammer for overvann- og avløpsvann kan regn simuleres og vise hvilke områder i nettet som er utsatte for oppstuvninger. De ansvarlige kan dermed tryggere vite hvor tiltak bør gjøres på nettet.

En annen grunn til å analysere ledningsnett er å se på mengden vann fra avløpsfeltet som går i overløp og renner ut i Akerselva for dagens og fremtidige nedbør.

I denne oppgaven er det sett på disse to problemene, kjelleroversvømmelser og overløpsutslipp, i avløpsfeltet på Sandaker. Simuleringer av ledningsnett er gjort med nedbørsdatasett for hele årssimuleringer, samt for de største enkeltnedbør.

Bjørn Christoffersen fra Vann- og avløpsetaten (VAV) m.fl. har laget en fullstendig overvannsmodell over nedbørsfeltet på Sandaker i Oslo kommune i dataprogrammet ROSIE. VAV har valgt ut beregningsparametere og justert de etter vannføringsmålinger. Modellen vil derfor være et verktøy for å estimere fremtidige vannføringer og overløpsmengder ved forskjellige regn.

Hensikten med modellen er at VAV skal kunne tilegne seg mer kunnskap om konsekvensene ved større regnintensiteter, og at de dermed kan opprette tiltak som demper eller forhindrer negative konsekvenser.

Oppgaven består av en innledende generell del og en spesifikk del, og avsluttes med en diskusjon av resultatene som er funnet. Den generelle delen inneholder teori om klimaendringer og avløpssystem, i tillegg til forklaringer av dataprogrammene som er brukt i analysen. Den spesifikke delen forklarer området som er analysert, og arbeidet som er gjort.

Generell del

Nedbør

Kjennskap til nedbøren er den viktigste faktoren for å kunne beregne avrenning, og framtidig prognosering av avrenning og tilsig. Derfor er tilgang til gode og pålitelige nedbørsdata med relevant tidsoppløsning av stor betydning. Gode kunnskaper om de hydroklimatologiske forholdene i Norge er en forutsetning for et godt resultat i beregnings- og analysearbeid (Thorolfsson 2014b).

Nedbørsmengde oppgis vanligvis i antall mm nedbørhøyde i løpet av et tidsrom (år, måned, døgn, timer, minutter, sekunder).

- Intensitet er nedbørsmengde som har falt i løpet av et bestemt tidsrom. Ofte brukes mm/time, mm/min, l/s*ha.
- Varighet er hvor lang tid det faller nedbør med en bestemt intensitet.
- Frekvens sier hvor ofte nedbør med en bestemt intensitet og varighet forekommer i en viss tidsperiode.

Det faller mye nedbør i Norge - 1450mm/år i gjennomsnitt for hele landet, mens midlere nedbør for hele kloden er 670 mm/år. Nedbøren varierer mye fra sør til nord, og fra kyst til innland. Den årlige nedbørsmengden er for eksempel i Bergen ca. 2250 mm/år, mens den i Oslo er 740 mm/år (Thorolfsson 2014b).

Nedbørens intensitet kan også være adskillig kraftigere i innlandet enn ved kysten. Om vinteren er forholdene også forskjellige fra kyststrøk til innlandsstrøk, med mer snø i innlandet. Overvannsavrenningen er et resultat av all slags type nedbør.

Korte regnbyger på mindre enn 10 minutters varighet, kan ha svært høy intensitet. Intensiteten er nært knyttet til varigheten av nedbøren. Frekvens, også kalt returperiode, er gitt ved gjentakintervallet i år - hvor mange år som i gjennomsnitt går mellom hver gang regnbyger av en bestemt varighet overskrider en bestemt intensitets-grense i l/s*ha.

I Norge har man erfart at alle nedbørtyper kan gi høy nedbørsintensitet. Det skjedde i Trondheim om kvelden 13. august 2007. Da nedbøren traff Trondheim, ble det målt 550 l/s*ha i ett minutt, det meste som noen gang har blitt registrert i Trondheim. Denne bygen som varte i en halv time, forårsaket store flom- og oversvømmelseskader på eiendommer og infrastruktur over hele byen.

Nedbørsmåling

Nedbørsmengde bestemmes ved hjelp av nedbørsmålere som samler opp regn og snø. Nedbør angis i millimeter vannsøyle (nedbørshøyde), som er tykkelsen på det vannlaget som dekker en horisontal flate, medregnet at frossen nedbør var smeltet og at nedbøren ikke rant bort eller fordampet.

En nedbørsmåler er vanligvis utformet som en sylindrisk beholder med en trakt som samler nedbøren og beskytter mot fordampning. Nedbørsmengden bestemmes ved at man heller vannet i måleglass. På norske stasjoner benyttes målere med oppsamlingstverrsnitt 200 eller 225 cm². De plasseres ca. 1,5 m over bakken slik at overflaten blir vannrett. Selvregistrerende nedbørsmålere, pluviografer, registrerer nedbørsmengden fortløpende ned til ett minuts oppløsning. En vanlig nyttet teknikk er basert på å registrere vekten av den nedbør som faller. Nedtegning av vannspeilets høyde i en spesialkonstruert nedbørmåler blir også brukt (Harstveit 2009). Selvlensende nedbørsmålere har gjerne en vannoppsamler med et volum tilsvarende en bestemt nedbørsmengde, for eksempel 1 eller 2 mm. Oppsamleren vipper ned og tømmes hver gang den blir full, og et telleverk brukes til å registrere nedbørsmengden som faller per minutt.

Klimaendringer

Klimaendringer er naturlige variasjoner av jordas globale eller regionale klima over tidsperioder på flere tusen år. En klimaendring innebærer at «gjennomsnittsværet» over tid endrer karakter, for eksempel mer eller mindre nedbør, lavere eller høyere temperatur, mer eller mindre vind. Jordas klima har endret seg merkbart siden målingene startet i 1860, og tiåret 2000-2009 var varmere enn nittiårene, som igjen var varmere enn åttiårene. Målinger viser at middeltemperaturen globalt har økt med ca. 0,74 grader Celsius siden målingene startet (IPCC 2013). De 10 siste årene er blant de 13 varmeste årene. Resultatet kan bli at vi får ekstremvær som flom, hetebølger og tørke oftere og med høyere intensitet. Lavereliggende landområder kan forsvinne under vann når havnivået stiger. I andre områder vil ørkenen spre seg. Naturområder og jordbruket endres, og arter kan utrykkes.

Ekstreme nedbørstilfeller

2. juli 2011 falt det ca 155 mm på 2 timer og 20 min i København sentrum, og 9. august året etter falt det 70 mm på 40 min i Nedre Eiker (Oddvar Lindholm 2013). Totalmengden ble større. Den 31. august 2014 fikk København en ny trøkk med 104 mm/3 timer, hvorav 60 mm/ 1time. Nedbøren i disse tilfellene kan ha så sjeldne gjentaksintervall som 1000 år, likevel ser de ut til å opptre stadig hyppigere. Alle de store nedbørene vi opplever i senere tid demonstrerer et poeng: Monsterregnet har kommet (Braskerud 2014).

Skader kan imidlertid opptre ved styrtregn med adskillig lavere intensitet og gjentaksintervall. Lars Buhler (2013) kalibrerte en SWMM modell mot observasjoner fra NVEs urbanhydrologiske stasjon på Rustadskogen på Ås (Oddvar Lindholm 2013). Skader på bygninger startet allerede ved nedbør med gjentaksintervall på 10 år: 6 % av husene ville få vannskader. 20-, 50- og 100 års regnet ville gi henholdsvis 12, 19 og 24 % av bygningene skader, mens Københavnregnet i 2011 ville gitt 54 % av husene vannskader hvis ingenting ble gjort.

For Norge antyder klimapanelets scenarier (RegClim 2002) økt temperatur, og avhengig av landsdel vil den årlige gjennomsnittstemperaturen stige med mellom 2,5 grader Celsius og 3,5

grader Celsius, mest i innlandet og i nordlige landsdeler, mens vintrene vil bli mildere. Nedbørmengden vil øke med mellom 5 og 20 prosent avhengig av landsdel, med størst økning langs kysten i sørvest og helt i nord. Det kan med andre ord forventes et hyppigere ekstremvær. Havstigning er en annen effekt av klimaendringen. Det er prognosert at havnivået i Norge vil stige med mellom 22cm og 77cm frem mot 2100 (Kristian Vasskog 2009) og tilsvarende i andre kystbyer i Norge.

Vann og avløpshåndtering

Vann er menneskets viktigste næringsmiddel. Hver dag bruker norske husholdninger ca. 200 liter vann per person. Rundt 10 liter går til drikke og matlaging, mens det øvrige går til andre formål, som renhold, hygiene, klesvask, toalettspyling m.m. Vannforsyningen dekker også behovene til andre enn husholdningene, som industribedrifter, brannvesen, arbeidsplasser, skoler, barnehager og helseinstitusjoner.

Avløpsvann er vann som er brukt i husholdninger, næringsliv og annen virksomhet, og som må borttransporteres og renses forsvarlig før utslipp til naturen igjen (Thorolfsson 2014b). Kravene til rensing er hjemlet i forurensningsforskriften og varierer avhengig av blant annet størrelsen på utslippet og tilstanden i vann og vassdrag hvor avløpsvannet slippes ut.

Overvann er en betegnelse på vann i et bebygd område som stammer fra nedbør eller vassdrag. Behandling av overvann er nødvendig for å beskytte infrastruktur i urbane områder. Konvensjonell behandling av overvann er å benytte et felles ledningssystem for overvann og avløpsvann.

I dag blir flere og flere fellessystemer byttet ut til separatsystemer. I et separatsystem føres avløpsvann og overvann i ledninger hver for seg. Formålet med å separere disse to er å unngå oppstuvinger i avløpsnettet, og forhindre forurensing av infrastruktur og resipienter som følge av kraftige nedbør.

Overløp

Overløpets oppgave er å hindre overbelastning av nedstrøms ledningsnett og avløpsrenseanlegg under regn og snøsmelting. Overløp er særlig aktuelt der fellessystem kobles til en avskjærende ledning for avlastning i regn- og/eller smelteperioder (Thorolfsson 2014a).

Overløp benyttes også på separatsystem, spesielt i tilknytning til renseanlegg for å avlaste deler av anlegget for svært høye belastninger, for eksempel belastninger større enn maksimalt dimensjonerende vannmengde for renseanlegget.

Overløp blir også brukt som sikkerhetsanordninger ved driftsuhell, for eksempel ved pumpestopp, blokkering i ledninger etc. og for å unngå overbelastninger. Ikke-planlagte overløp forekommer også, særlig i felleskummer for både spillvann og overvann.

Det dreier seg da om følgende typer overløp:

- Regnvannsoverløp: Overløp benyttet for avlastning av nedenforliggende ledning eller renseanlegg ved store nedbørmengder eller snøsmelting.
- Nødoverløp: Overløp som skal hindre oversvømmelser under helt spesielle forhold. Nødutløp er utløp som ikke skal brukes, men som er plassert i et anlegg, basseng eller ledning av sikkerhetsmessige grunner (Thorolfsson 2014a).

Avløpsvann som går i overløp er avløpsvann fortynnet med overvann, og kan følgelig være betydelig forurenset og representere en svært vesentlig del av belastningen i en resipient. Er renseanlegg installert på grunn av en følsom resipient, vil forurensningen fra overløp kunne overstige forurensningen som det rensede vannet representerer, selv om overløp kun er i funksjon i deler av året. Nettopp derfor er overløp særdeles viktige elementer i avløpssystemet. De må derfor utformes og dimensjoneres slik at mest mulig av forurensninger blir fraktet til renseanlegg og ikke avlastet ut i en lokal resipient (Thorolfsson 2014a).

Total innkommende vannføring til et overløp vises med denne formelen (Thorolfsson 2014a):

$$Q_T = Q_s + Q_o + Q_{inf}, \text{ hvor:}$$

Q_T = Total innkommende vannføring

Q_s = Spillvannsføring

Q_o = Overvannsføring

Q_{inf} = Infiltrasjonsvannføring

Kommunale avløpsledninger

I Norge kobler husholdninger seg på det kommunale avløpsnettet med stikkledninger. Dette påkostes av huseier, og er privat eiendom for hver husstand. Gjennom forskriftene om krav til byggverk (Plan- og bygningsloven 1997) er abonnenter pliktet til å følge betingelser for tilknytning til det kommunale nettet. For Oslo Kommune gjelder følgende krav til påkobling av stikkledning til kommunal avløpsledning:

- For å hindre oversvømmelse fra kommunens ledning for avløpsvann, skal vannstand i lavest beliggende avløpsåpning (vannlås, sluk el.) ligge minst 900 millimeter høyere enn innvendig topp på kommunens avløpsledning i stikkledningens forgreningspunkt (Oslo Kommune 2006).

Dette fører til at et hvert avløpsnett kan tåle en ytterligere oppstuvning enn sin dimensjonerende kapasitet, på opptil 90 cm over topp rør, uten at det skal føre til kjelleroversvømmelser i husstander.

Framtidens overvannsanlegg

Prognoser for klimautviklingen i Norge tyder på at antall dager med ekstrem nedbør vil øke med inntil 70 % frem mot 2100 (Norges forskningsråd 2009). Dette betyr at skybrudd som forventes å ha et gjentaksintervall på 20 år, nå vil oppstå med gjentaksintervall på 5 år (IPCC 2013). For å behandle overvann på en god måte må tiltakene være tilpasset til de lokale behov og forhold. Overvannsanlegg må ha så bærekraftige løsninger som mulig, og tilføre omgivelsene høy vannkvalitet. For å oppnå disse resultatene best mulig under pågående klimaendringer trengs det en fremgangsmåte som sikrer gode resultater. Norsk Vann har utviklet en eksempelstrategi for tiltak mot klimaendringer basert på fem hovedpunkter (Oddvar Lindholm et al. 2008):

- Målinger og innsamling av informasjon
- Dokumentasjon av nåsituasjonen
- Analyser av klimaendringenes virkning
- Tiltak for kompensasjon av fremtidige økninger i forurensningsutslipp og flomskader
- Planer hvor hensyn til klimaendringer bør tas.

LOD

Lokal overvannsdisponering, LOD, er en metode hvor vannet i større grad håndteres lokalt. Ved å bruke tomtene og nærområdet på en god måte kan hele eller deler av nedbøren holdes tilbake. Tiltak må imidlertid dimensjoneres slik at utfordringene kan møtes på en god måte.

Det har også vist seg at det overvannet som kommer fra sterkt trafikkerte områder og belastede sentrale bystrøk, kan inneholde en del miljøgifter og andre forurensninger man ikke ønsker å sende direkte ut i følsomme vannforekomster (Oddvar Lindholm et al. 2008). For Akerselva som renner gjennom Hovedstaden er det foretatt en kartlegging av miljøgifter. Kartleggingen viste et forhøyet nivå av både kvikksølv og oppløst brommerte flammehemmere. Det er ønskelig at denne delen av vannet behandles før det når en resipient. Det bør derfor forsøkes å sende alt dette vannet i avløpsledning til egnede renseanlegg.

Som nevnt i Klimaendringer faller allerede i dag store nedbørmengder over Norden. Det er behov for en strategi for håndtering av styrtregn generelt og monstertregn spesielt.

3-leddstrategien søker å håndtere en del av vannet på stedet (Lindholm m.fl. 2008):

1. Fang opp og infiltrer mindre nedbørmengder.
2. Forsink og fordrøy større nedbørmengder
3. Sikre trygge flomveier for store nedbørmengder.

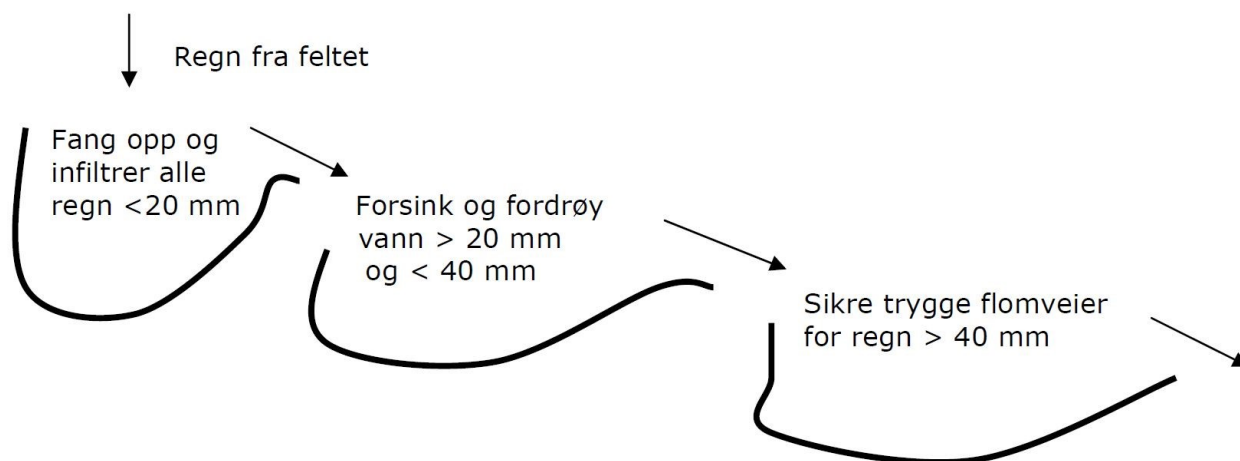


Figure 1 Treleddstrategien for nedbørshåndtering. Tallene er eksempler, og må tilpasses lokalt. Kilde: (Oddvar Lindholm et al. 2008)

Hvilke nedbørmengder og intensiteter det enkelte ledd i strategien skal håndtere vurderes lokalt. LOD er tiltak som skal holde vannet tilbake i nedbørfeltet lengst mulig og lede vannet på overflata, slik at avløpsledningene ikke overbelastes. Det finnes mange alternativ:

- vegetasjonsdekkede grønne tak med fordrøyningskapasitet (Braskerud 2014).
- frakoble takrenner fra avløpsrør (Braskerud & Skallebakke 2013).
- bruk av permeable overflater for infiltrering.
- tilrettelegge for oversvømmelse av tørt land, eller lage dammer eller magasin med kapasitet til å fordrøye vann.
- anlegge flomveier med avrenning over gress, eller på asfalt

Takvann

Flere LOD-tiltak fanger opp og fordrøyer overvann fra tette flater. En strategi er å benytte takvannet direkte i grønne tak. Grønne tak fungerer ved at vann fordrøyes i et grøntanlegg montert på taket. Dette vil øke tilrenningen til det kommunale nettet, og dempe store regnintensiteter. Forskning har vist at grønne tak har kapasitet til å holde tilbake 6mm nedbør fra det kommunale nettet.

Takvann kan også benyttes indirekte ved å koble takrenner helt av det kommunale nettet. Vannet ledes så til et LOD-anlegg til infiltrasjon i grunnen. Forskning beskriver dette tiltaket som et godt alternativ, og peker på flere fordeler ved frakobling av takvann for et lite nedbørsfelt (Braskerud & Skallebakke 2013). Vannmengden reduseres og intensiteten på avrenningen til avløpsnettet dempes. Forurensinger fra fellesledninger som går i overløp reduseres. Energiforbruket til pumping av avløpsvann til renseanlegget reduseres, og rensegraden på renseanlegg øker når renseanlegget får konsentrert avløpsvann. Metoden er enkel og rimelig, og huseier kan ofte gjennomføre tiltaket selv. Det kan brukes som «vannelement» i hagen, og redusere behovet for vanning.

Dataprogram brukt i forbindelse med bygging av avløpsmodeller

Modeller over avløpssystemer er hensiktsmessig for å kunne forutsi hvordan et avløpsfelt reagerer på et fremtidig klima. Under presenteres dataprogrammer som benyttes til bygging og simulering av avløpssystemer i Norge i dag.

Gemini VA

Gemini VA er et fagsystem for forvaltning og dokumentasjon av vann- og avløpsnett. Fagsystemet inneholder standard GIS-funksjonalitet for presentasjon og analyse av VA-fag-informasjon og leser kart og andre datakilder fra ulike formater uten konvertering (Drammensregionen IKT 2011). Teknologien gjør det enkelt å kommunisere med andre systemer og aktivt bruke informasjonen som mottas. For Oslo Kommune har systemet utviklet seg til å bli et FDV-verktøy, og har funksjoner for planlegging og oppfølging av planer, i tillegg til at den enkelt lagrer geografisk informasjon om vann- og avløpsnett.

MOUSE

MOUSE er et dataprogram som modellerer avløpssystemer, og er en forkortelse for Modeling of Urban Sewers. Dataprogrammet modellerer nedbørsavrenning og grunnvannsinfiltrasjonen for en overflate, i tillegg til vannføringen i overvannsrør og avløpsrør for et ledningsnettverk i et urbant område. DHI Water, Environment and Wealth har utviklet og bearbeidet programmet siden 1986, og MOUSE har fått flere tilleggsfunksjoner og moduler. Noen av tilleggsfunksjonene til MOUSEs anvendelse i GISbasert programvare innebærer moduler som ROSIE (Haga 2011) og MIKE URBAN (MIKE powered by DHI 2014).

ArcMap 10.1

Den internasjonale leverandøren av geografiske informasjonssystem, Esri, sin GIS-programvare er et såkalt geografisk informasjonssystem som brukes til jobbing med kart og geografiske data. ArcMap 10.1 er hovedkomponenten i Esris ArcGIS-program, og brukes mest til å lagre, og analysere bygnings og infrastruktur-data for et geografisk område. ArcMap fungerer på den måten at informasjon legges inn i ulike kartlag, og plasseres på kartområdet.

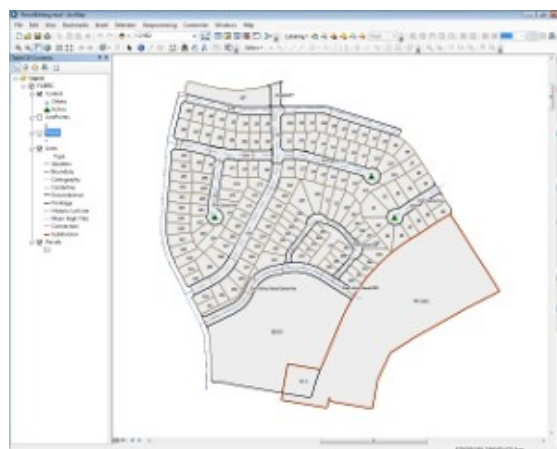


Figure 2 Skjerm bilde av arbeid i ArcMap 10.1 (VAV 2015)

ROSIE

Rosim AS utvikler GIS-applikasjoner innen vann og miljø. Produktene utvikles som tilleggsapplikasjoner til Esris standardprodukter som ArcGIS. For vann- og avløpsmodellering tilbyr Rosim programpakken ROSIE, som består av ROSIE Mouse for avløp/overvann og ROSIE Epanet for vannforsyning. ROSIEpakkene er såkalte ArcGIS extensions, det vil si at brukeren arbeider i ArcGIS-programmet, og benytter seg av tilleggsfunksjonene fra programpakken ROSIE. ROSIE gir brukeren tilgang til et omfattende sett med tilleggsfunksjoner spesielt utviklet for å forenkle prosessen med modelloppbygging, beregning, resultatpresentasjon og vedlikehold av vann- og avløpsnett. Rosim AS arbeider for at de skal ha et tilnærmet komplett brukergrensesnitt for de hydrauliske motorene MOUSE og EPANET (Rosim AS 2014a).



Figure 3 Skjerm bilde fra arbeid med modulen Rosie i ArcMap 10.1(Rosim AS 2014b)

Mike View

Mike View er et dataprogram med formål å vise resultatene som blir modellert i Mike Urbanmodulen i ArcMap. Dataprogrammet fungerer som et fremvisningsverktøy, hvor man enkelt kan hente resultater fra forskjellige modeller fra ArcMap, mens man slipper å åpne selve modellfilene, som ofte er store og tunge datafiler.

En annen fordel ved å bruke Mike View er at det lar seg gjøre å kombinere resultater med andre resultater, og dermed ha mulighet til å danne grafer som viser både resultater fra flere år samtidig i samme graf, eller vise resultater samtidig med nedbørsdata som jeg har valgt å gjøre. Figure 47, Figure 48, Figure 49, Figure 50 og Figure 51 på side 71 - 75 er alle generert ved bruk av Mike View.

Spesifikk del

Målet med oppgaven er å benytte en del av Oslo Kommunes avløpsmodell til å undersøke for potensielle kjelleroversvømmelser og forurensende utslipp av avløpsvann til vassdrag.

En modell over Sandaker, et bolig- og forretningsstrøk i Bydel Sagene i Oslo, ble valgt som forsøksområde. Delvis fordi det finnes gode nedbørsdata for dette området, og delvis fordi Vann- og avløpsetaten har gode erfaringer fra modellen over dette området.

Sandaker består både av leiligheter og næringsliv. Kulturliv, butikker, et kjøpesenter og andre sentrumsfunksjoner ligger i all hovedsak i Sandakerveien og i Grefsenveien, som strekker seg mellom Torshov og Storo (Figure 4). Strøket grenser mot Storo og Nydalen i nord og øst, Bjølsen i vest og Torshov i sør. I 1878 ble Sandaker innlemmet i Oslo by. Sandaker bestod tidligere av et jorde, men siden 1920 har Oslo Kommune bygget flere lavblokker i området.

Avløpssystemet på Sandaker

I Norges hovedstad blir avløpsvann fra næringsbygg og husholdninger i sentrumsområdet og det østlige delen av Oslo sendt på ledningsnett med selvfall til renseanlegget på Bekkelaget. Ledningsnett nord for Ringvei 2 og i vestlige deler av Oslo sender avløpsvannet fra disse områdene til tunnelsystemer som fører vannet til Vestfjorden Avløpsselskap (VEAS).

I hele Sandaker er det helning ned mot Akerselva og Oslo sentrum i retning sør/sørvest.

Avløpssystemet på Sandaker er et fellessystem som er delvis separert.

Avløpsfeltet i forsøksområdet befinner seg i et tettbebygd område med flere tette flater. Sandaker vil klassifiseres som et byområde og forretningsstrøk, med et skadepotensiale likt andre sentrumsnære områder i hovedstaden. I følge Norsk Vann klimatilpasningsveileder (Oddvar Lindholm et al. 2008) anbefales separat- og fellessystem for denne typen område å minimum være dimensjonert for oversvømmelser med et gjentaksintervall på 30 år.

Avløpssystemet på Sandaker bør altså dimensjoneres til å tåle en oversvømmelse som er forårsaket av et 30årsregn. Med oversvømmelse menes her en oppstuvning på mer enn 900 mm over topp rør, som er høydekravet til laveste avløpsåpning ved tilknytning til det kommunale nettet i Oslo Kommune (2006) (Se side 19).

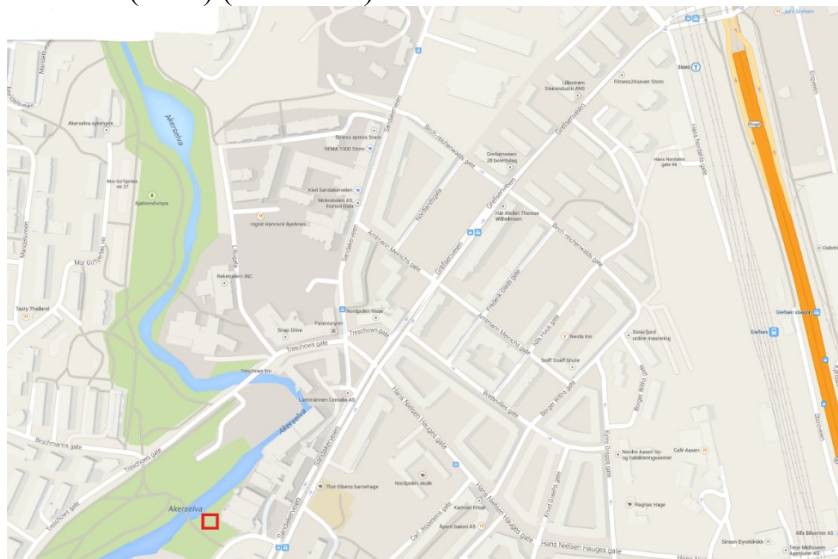


Figure 4 Gatenavn på Sandaker, med Sandakerveien og Grefsenveien som hovedvei opp mot Storkrysset øverst til høyre i bildet. Overløpskum AK40 er markert med rød firkant ved Akerselva (Google Maps 2015).

Vassdraget Akerselva

Kapasiteten i Oslos avløpssystem er ikke stor nok for dagens nedbør, og fører til kjelleroversvømmelser i tillegg til miljøskadelige utslipp til vassdrag og fjord.

VAV overvåker både den biologiske, kjemiske og mikrobiologiske vannkvaliteten i alle hovedvassdrag. Resultatene fra Vann- og avløpsetatens Fagrapport 2014: Avløp & vannmiljø (2015a) viser at flere vassdrag til dels er sterkt påvirket av utslipp fra avløpsnettet.

Fra 22 overløpskummer med utløp til Akerselva ble det i 2014 registrert 226 overløpshendelser, med en sammenhengende varighet på mer enn 130 000 minutter (Oslo Kommune 2015a).

Overløpskum AK40

Nedbør på Sandaker som faller på impermeable flater havner via takrenner og kantsteiner i sluk tilknyttet det lokale avløpsnettet. Herfra føres spillvann og overvann fra hele området inn i 1800 mm oppsamlingsledning nederst i feltet. Oppsamlingsledningen tar med seg alt avløpsvannet fra Sandakerfeltet ned til en overløpskum som ligger med 10 meters avstand til elvekanten av Akerselva. Overløpskummen som ligger her har i VAV sitt register id-nummeret 184109, og navnet AK40 (Se vedlagt Figure 44 Kumkort over overløpskum AK40).



Figure 5 Fotografi av overløpskummen AK40 (Kihle 2013)

Overstiges det akkumulerende avløpsvannet overløpskanten (Figure 5) under et regn, føres dette vannet ut i overløp. Et slikt overløp blir kalt regnvannsoverløp, fordi kummen er dimensjonert slik at vannet kun skal overstige overløpskanten og gå i overløp under kraftig regn. Overløpskummen i sørenden av Sandakers avløpsfelt er av denne typen overløp.

Ut av overløpskummen, nedstrøms Sandaker, blir vann ført inn i en 530mm Avløp-fellesledning. Utløpsledningen har en mindre dimensjon enn innløpsledningen, og ved nedbør med høy nedbørsintensitet vil vannmengdene i overløpskummen akkumuleres i overløpskummen. Utløpsledningen fører avløpsvann videre nedover mot nedre del av Akerselva og Bækkelaget renseanlegg, og et regnoverløp ut til Akerselva.

Vann og avløpsetaten i Oslo Kommune har tidligere hatt som mål at regnvannsoverløp kun skal tre i kraft hvert 3. år eller sjeldnere (Oslo Kommune 2014). VAVs nye Hovedplan Avløp & Vanmiljø (2014) forklarer at VAV ikke lenger er entydig på hvor mye vann fra overløp som skal tillates å slippes på ledningsnettet. Målet om overløputslipp maksimalt hvert 3. år er ambisiøst. Det er derfor valgt å differensiere på kravene mellom vassdragene i Oslo. I følge Bjørn Christoffersen (2015), er det likevel stor sannsynlighet for at Oslo Kommune vil velge det strengeste kriteriet for øvre del av Akerselva, fordi et utslipp til dette vassdraget er viktig å få redusert så mye som mulig.

Areal

Overflatearealet som tilhører avløpssystemet er på 390 000 m² i modellen (Table 1), sammensatt av 60% permeabelt areal, 28% takareal og 12% asfaltert areal (Figure 6).

Table 1 Tak-, vei- og infiltrerbart areal, og totalt overflateareal for Sandaker-avløpsfelt i modellen

Totalt takareal	10,914	ha	109140	m ²
Totalt veiareal	4,701	ha	47010	m ²
Totalt infiltrerbart areal	23,389	ha	233890	m ²
Totalt areal Sandaker	39,0040	ha	390 040	m²

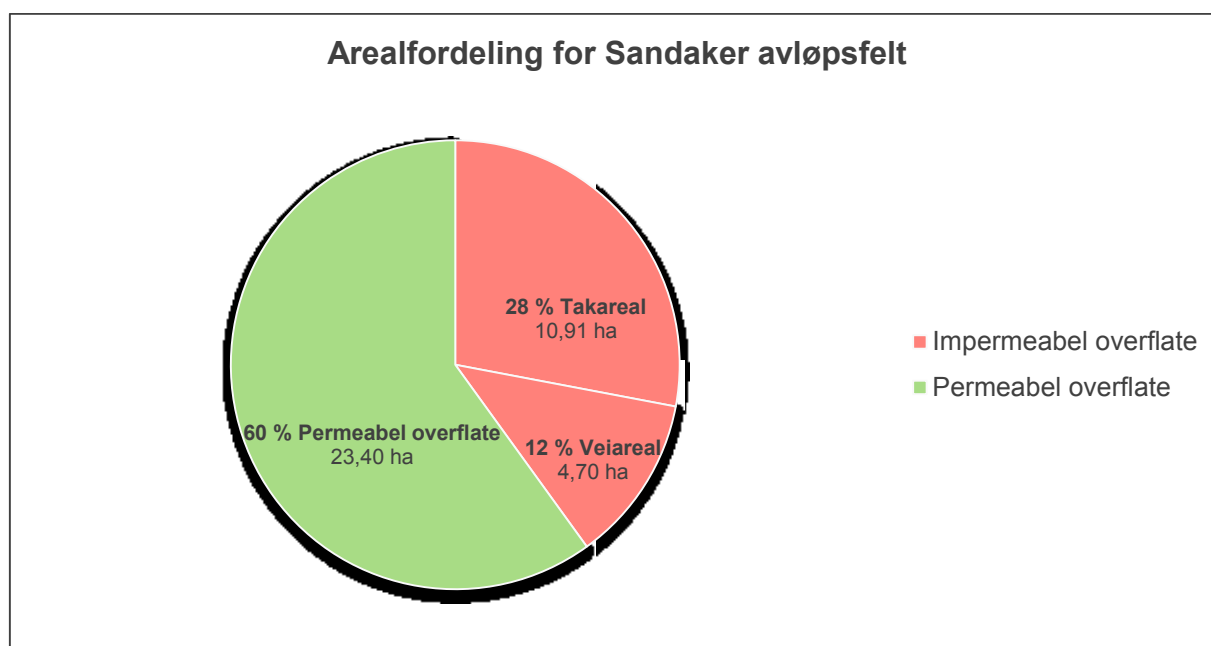


Figure 6 Arealfordeling på Sandaker. Overflatearealet av Sandakers avløpsfelt består av 40% tette flater, og 60% infiltrerbare flater.

Vannforbruk på Sandaker

4553 personer har bosted og vann- og avløpstilknytning til avløpsfeltet på Sandaker (Jørgensen 2015). Det antas at det produseres 150 liter spillvann pr person pr døgn. I tillegg antas det at en produksjon fra næringsbygg og offentlige bygg på Sandaker, tilsvarende 50 liter pr person pr døgn slippes ut på avløpsnettet. Dette betyr at det i løpet av et døgn strømmer 911 m³ spillvann gjennom avløpsfeltet på Sandaker, og forbi overløpskum AK40.



Figure 7 Kart over infiltrasjonsevnen på Sandaker, Oslo. Feltet består av elveavsetninger og tykk marin havavsetning. Dette er avsetninger som er godt egnet til infiltrasjon (NGU 2015).

Grunnforhold

På Sandaker består grunnen av elveavsetninger og tykk marin havavsetning. I områder med hav- og elveavsetninger er tømmerflåter normalt ikke brukt i bygningsfundamenter. Misforming av terrenget på grunn av et synkende grunnvannsnivå kan likevel oppstå. Det er viktig å bevare grunnvannsspeilet så godt som mulig for å forhindre skader i terrenget.

Ved å bruke LOD vil man minske faren for misforminger i grunnen (Christoffersen 2015). På grunn av faren ved et synkende grunnvannsspeil, jobber VAV mot at man ikke skal koble vann på nettet men heller bruke LOD-tiltak. Ved unntak av spesielle tilfeller i grunnen skal det forsøkes å infiltrere overvannet, og om infiltrasjon ikke viser seg mulig vil fordrøyningsalternativer foreslås.

Infiltrasjonsevne

- Godt egnet
- Middels egnet
- Lite egnet
- Uegnet
- Ikke klassifisert

Figure 8 Tegnforklaring til Figure 7

Grunnvann

I norske byer med høy bygningstetthet er det et problem at grunnvannsspeilet synker. Når grunnvannsnivået blir lavere medfører det at den øverste delen av jorda tørkes for grunnvann og synker noe sammen. Ifølge Norges Geologiske Undersøkelse, NGU, finnes det flere områder med leireavsetninger som øverste jordlag i Norge. I eldre byer, som Oslo, var det tidligere normalt å benytte tømmerflåter som fundament der bygninger skulle bygges på leiravsetninger. Tømmerstokker ble lagt over leiren for å gjøre fundamentet jevnt. I leiren er tømmeret isolert for oksygen, og den blir derfor bevart uten at treverket begynner å råtne. Dersom grunnvannsspeilet synker, vil vannet rundt tømmerflåten forsvinne. Tømmerflåten vil da tørke, og den vil også råtne i kontakt med luft (Braskerud 2015). Dette skaper store misforminger i terrenget. Dette forårsaker ytterligere skade på bygninger, enn der hvor tømmerflåter ikke er benyttet i fundamentet.

Nedbørsmåleren på Disen, Oslo

Nedbørsstasjonen på Disen ble montert i juni 1998, og har stått på samme sted siden den tid (Øyen 2015). Nedbørsmålinger på Disen foregår ved at en pluviograf måler mengden nedbør i Disenområdet. Pluviografen, en selvlensende vippepluviograf av typen Lambrecht, er montert på et tak på Disen. VAV benytter en vippepluviograf med en beholder på 4cm³. Dette tilsvarer et nedbør på 0,2 mm, og måleren teller antall ganger denne fylles i løpet av et minutt. Dataene sendes elektronisk til websiden regnbyge, hvor dataene kvalitetssikres automatisk med en algoritme og lagres (Martinsen 2015). Se vedlagt Figure 45 på side 69 for informasjon om nedbørsmåleren. Måleren ligger en kilometer nordøst for overløpet på Sandaker og har målt nedbøren kontinuerlig siden 2009. Den er gjerdet inn, og står bra plassert i forhold til omgivelsene. Data brukt er kvalitetssikret. Nedbørsdataene blir automatisk overført hver fjerde time til Meteorologisk Institutt over internett. Her blir det behandlet med en formel, som kvalitetssikrer data, før de blir lagret i en nedbørsdatabase på internettadressen Regnbyge.no (Martinsen 2015). Likevel er det en fare for feilmålinger. Dette kan forårsakes av fremmedlegemer i beholderen. Det kan også vokse opp trær rundt beholderen. Disse kan skape hindringer. Høye hindringer nær pluviografen kan fange opp nedbør som skulle ha havnet i beholderen.

Programmets omregning av benevning

Fra Disen sendes nedbørsdata direkte inn til websiden Regnbyge.no. Denne websiden omgjør mm/min til mikrometer per sekund som benevning, fordi dette er benevningen som kreves av MOUSE. Man må bruke mikrometer per sekund som benevning når man kjører regn i ROSIE eller Mike Urban. I Mike View blir dette automatisk omregnet til mm/h.

25 mikrometer pr sekund klokken 07:51:00 den 31.05.2011 blir altså ved omregning til mm/h multiplisert med $(60*60)/1000 = 3,6$ og vises som 90 mm/h i Mike View's grafiske resultatfunksjon. Denne benevningen gir grunn til å anta at nedbørshøyden i grafen er et tall på nedbørsmengden i løpet av denne timen, mens de egentlig har en oppløsning på minuttnivå. Det faller altså ikke 90mm i løpet av en hel klokke time på morgenen den 31.05.2011 (Se Figure 9). Regnet har en intensitet på 90mm pr. time i akkurat det minuttet hvor det regner kraftigst.

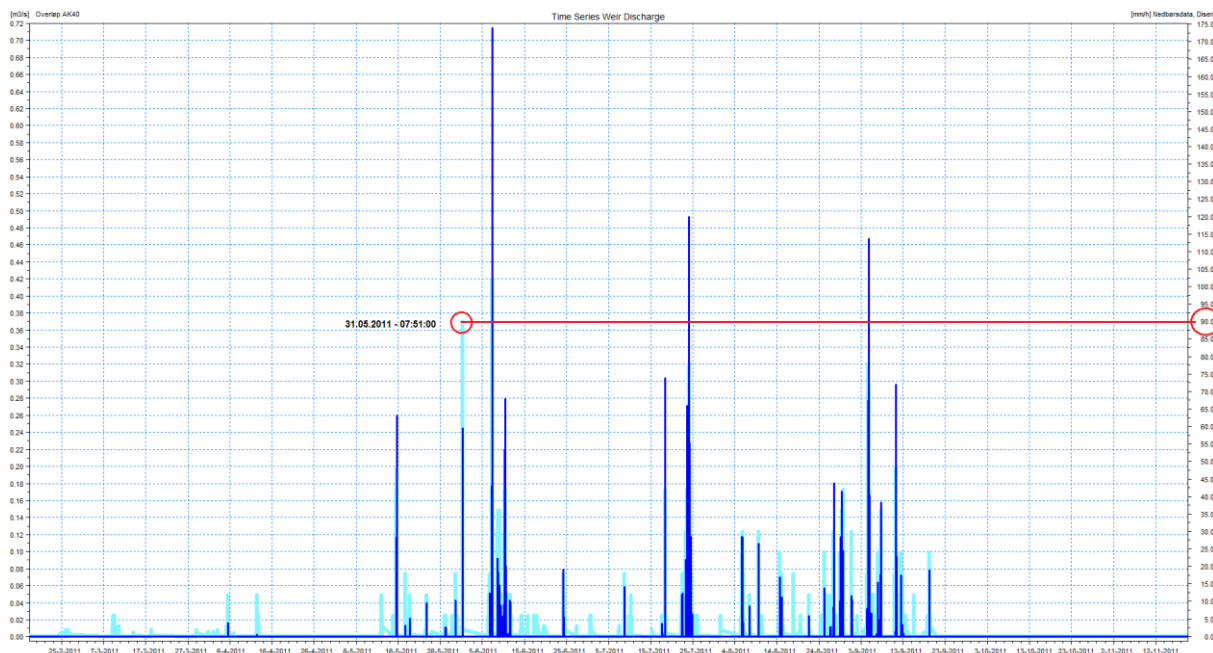


Figure 9 – Kurve med intensitet med overløpsutslipp pr. tid.

Den rasjonelle formel

For å si noe om nedbøren som faller blir det i beregninger for fremtidige nedbør benyttet en klimafaktor, som legges på dagens nedbørsdata. Den rasjonelle metoden er en enkel formel for å beregne dimensjonerende overvannsføring. Metoden er avhengig av faktorer som avrenningskoeffisient, nedbørintensitet og nedslagsfeltets areal, og klimafaktor.

I VAV blir det benyttet en faktor på 50 % når klimaendringer tas hensyn til ved dimensjonering av nytt ledningsnett. I ROSIE, blir klimafaktoren tatt hensyn til ved å øke den generelle avrenningskoeffisienten i modellen med 50 %, fra 0,9 til 1,35. Normalt vil et klimapåslag direkte på nedbørsdataene utregnes, for så å simulere området på nytt med disse. I ROSIE-utvidelsen er det mulig å manuelt taste inn avrenningskoeffisienten som brukes for hvert catchment. Ved å endre avrenningskoeffisienten kan man endre tilførselen til feltet fra nedbør.

$$Q = \varphi * I * a * Kf$$

Q = dimensjonerende vannføring (l/s)

φ = avrenningskoeffisient

i = nedbørsintensitet (l/s*m²)

A = areal av nedslagsfeltet (m²)

Kf = klimafaktor

Av rasjonelle formel, vil et påslag på avrenningskoeffisient ha samme virkning som et påslag på nedbørsintensitet.

Metode

Norge vil som nevnt i Innledningen, oppleve et våtere klima i fremtiden, og for de neste 50 årene vil risikoen for ekstremvær øke (RegClim 2002). For et avløpsfelt i Oslo er det ved ulike nedbørsperioder og enkeltnedbør, undersøkt for potensielle kjelleroversvømmelser, i tillegg til potensielle utslippsmengder til vassdrag for fremtiden. Det er sett på forskjeller i oversvømmelser og overløpsutslipp for dagens situasjon samt for en situasjon hvor noe av takvannet er koblet bort fra avløpsnettets. Det er også sett på forskjeller i vannføring og oppstuvinger som fører til kjelleroversvømmelser for et tenkt fremtidig klima, både med og uten frakobling av det samme takvannet.

I tillegg er et større enkeltnedbør med et gjentaksintervall på 30 år simulert med og uten frakobling av takvann, både for dagens nedbørssituasjon og med et påslag for fremtidig klima.

Sandaker avløpsfelt i Oslos Bydel Sagene er valgt som forsøksområde. Avløpssystemet har som nevnt på side 25 én regnoverløpskum som ved et kraftig nedbør slipper ut avløpsvann i overløp til vassdraget Akerselva.

ROSIE-utvidelsen benyttes i denne oppgaven til å modellere overvann og avløpsvann i avløpssystemet på Sandaker. ROSIE-utvidelsen med MOUSE-programmet som motor, kjører en simulering av Sandakers avløpssystem for ledningsnettets som vises i ArcMap 10.1. Det henvises til side 22 for en kort forklaring av programvaren som VAV benytter seg av for å modellere overvann og avløpsvann i avløpsfeltet.

Datamodellen

ROSIE deler avløpsfeltet inn i 43 catchments (Se Figure 11). Hvert enkelt felt varierer i størrelse på mellom 400 m² og 15 000 m² (Se vedlagt Catchmentdata på side 70).

Kalibrering

En modell over Sandaker har blitt utarbeidet av VAV i 2014 i programmet Rosie. Avløpsmodellen er ferdig kalibrert av Bjørn Christoffersen i Seksjon Utredning i VAV. Når en modell blir kalibrert, blir simulerte resultater tilpasset den virkelige situasjonen. Simuleringen av avløpsvannet i rørene på Sandaker er sammenlignet med verdiene Funksjon målegruppe avløp har funnet på nettet. Deretter er parametere som dimensjoner, fall, ruhet, tilrenningstid, avrenningskoeffisient justert for å få resultatene i modellen til å korrelere med målinger. Dette betyr at den er tilpasset virkeligheten i noen grad.

Opptelling av kjelleroversvømmelser

For å få ut fra modellen antallet kjelleroversvømmelser som oppstår i avløpsmodellen gjennom en tidssimulering av nedbørsdata, må man kartlegge oppstuvingsnivået i ledningsnettets under simuleringen. Det ble derfor opprettet et lag i kartlagsprogrammet ArcMap 10.1 som viser oppstuvingsnivåer over toppunktet på avløpsledninger i modellen illustrert med farger for ulike nivåer. Nivåene som ble valgt var oppstuvingsnivåer på opp til 0

cm (under topp rør), opp til 75 cm over topp rør, opp til 90 cm over topp rør, opp til 105 cm over topp rør, og over 105 cm over topp rør. Tegnforklaring vises på side 40. Etter endt simulering av nedbørsdata vil dette kartlaget vise ulike farger på ledningsnettets fordelt etter den høyeste oppstuvningen som har oppstått i løpet av simuleringen.

Ved kjøring av tidssimuleringer i ROSIE-utvidelsen finnes det ikke noen funksjon som automatisk teller opp antall oppstuvninger over et på forhånd utvalgt nivå. Etter en simulering er det den høyeste oppstuvningen som oppstår i avløpsledningene i løpet av nedbørsperioden som blir illustrert. De ulike nedbørsdataene for hvert av de fem årene er derfor studert for å finne de største nedbørsintensitetene. Se grafiske fremstillinger for hvert års nedbørsintensitet sammen med AK40s overløpsutslipp på side 71 - 75. Det største enkeltnedbøret for hvert år er simulert med ROSIE-utvidelsen, og det er deretter observert på kartlaget hvor store oppstuvingsnivåer som forekommer i ledningene. Etter en simulering av det enkeltnedbøret med høyest intensitet, er det nest største nedbøret i hvert år simulert på samme måte. Det samme er foretatt på de nest største enkeltnedbørene for hvert av årene, trinnvis etter nedbørsintensitet, frem til ingen oppstuvingsnivåer over 90 cm over topp rør forekommer. På denne måten finner vi antall nedbørshendelser i løpet av fem-års-perioden som har ført til en oppstuvning i avløpsfeltet på mer enn 90 cm.

For å kunne foreta en forenklet opptelling av kjelleroversvømmelser gjøres det her en antagelse på avløpsåpningens beliggenhet i bygningers kjellere. Som nevnt i *Figure 4* Gatenavn på Sandaker, med Sandakerveien og Grefsenveien som hovedvei opp mot Storokrysset øverst til høyre i bildet. Overløpskum AK40 er markert med rød firkant ved Akerselva (Google Maps 2015). på side 24 er en av betingelsene for tilknytning til Oslo Kommunes vann- og avløpsledninger at vannstanden i lavest beliggende avløpsåpning (vannlås, sluk el.) skal ligge minst 90 cm høyere enn innvendig topp på kommunens avløpsledning i stikkledningens forgreningspunkt (Oslo Kommune 2006). Det antas derfor at samtlige bygninger som er tilknyttet Sandakers avløpsfelt oppfyller dette kriteriet. I tillegg antas det at samtlige avløpsåpninger er plassert nøyaktig 90 cm over topp rør. Opptellingen sier hvor mange stikkledninger som potensielt blir påført en oversvømmelse under det simulerte nedbøret.

På kartlaget for hver av de foretatte simuleringene med oppstuvingsresultat er det foretatt en manuell opptelling av stikkledninger som påvirkes av oppstuvninger over 90 cm over topp rør. Kart over stikkledninger med forgreningspunkt brukt til å anslå kjelleroversvømmelser er vedlagt på side 80 og 81. For å forenkle arbeidet regnes en oversvømmelse på én stikkledning som én kjelleroversvømmelse. I virkeligheten varierer dette noe (Christoffersen 2015). Noen stikkledninger og adresser kan være knyttet til flere kjellere.

En kjelleroversvømmelse er i denne oppgaven definert som en stikkledning med et forgreningspunkt på en avløpsledning hvor oppstuvingsnivået er 90 cm over topp rør eller høyere. Antall kjelleroversvømmelser som oppstår hvert år kan sees i tabeller og figurer i Del 1 – Kjelleroversvømmelser. Resultatoversikt er vedlagt på side 76 og 77.

Overløpsutslipp til vassdrag

For å estimere mengden avløpsvann og overvann som slippes ut i Akerselva for et helt år, er den samme ROSIE-simuleringen for området utført. ROSIE-utvidelsen kalkulerer dermed ut vannføringen i alle ledninger som er tilknyttet avløpsfeltet, for et på forhånd utvalgt nedbørsdata. Nedbør som er valgt i denne oppgaven er nedbørsdata fra Disen nedbørsstasjon for årene 2010 – 2014. Det er valgt å utføre helårs tidssimuleringer for hvert av de fem årene.

Årssimuleringene er utført både med og uten frakobling av takvann som et lokalt tiltak mot oppstuvning i avløpsnettet.

Resultatoversikt for overløpsutslipp til vassdraget Akerselva via overløpskum AK40 er vedlagt på side 78.

Frakobling av takvann

Lokal overvannsdiskonering er en mulighet for å forsinke avrenningen til ledningsnett. Frakobling av takvann fra kommunale ledninger vil minske vannføringen i avløpsfeltet, og dermed dempe en oppstuvning som oppstår under et kraftig regn.

Ifølge Myking (2012) har tiltaket tidligere også vist seg å vere det mest økonomiske tiltaket mot kraftige nedbørsintensiteter for et fellessystem da det er billigere enn separering av avløpssystemet.

Som skrevet på side 20 peker også forskning gjort i 2013 på flere fordeler ved frakobling av hustak og bygningsarealer til det kommunale vann- og avløpsnett. Frakobling av takvann er derfor benyttet i avløpsmodellen for Sandaker som et lokalt tiltak både mot kjelleroversvømmelser og mot forurenset utslipp av overvann fra overløpskummer. Det er kjørt simuleringer med og uten takvannsfra-kobling for å estimere en effekt dette tiltaket har mot utslipp av forurenset overvann.

I modellen vil en simulering uten noen LOD-tiltak føre til at overvann renner fra impermeable flater, og over på permeable overflater før det havner i ledningsnett. En frakobling av takvann etterfulgt av LOD-tiltak, fører til at avrenningen forsinke. Tilrenningstiden til ledningsnett øker når delarealet minker (Rossman et al. 2010) ved at overvann fra impermeable overflater renner over på LOD-utformingen (Se Figure 10 nedenfor).

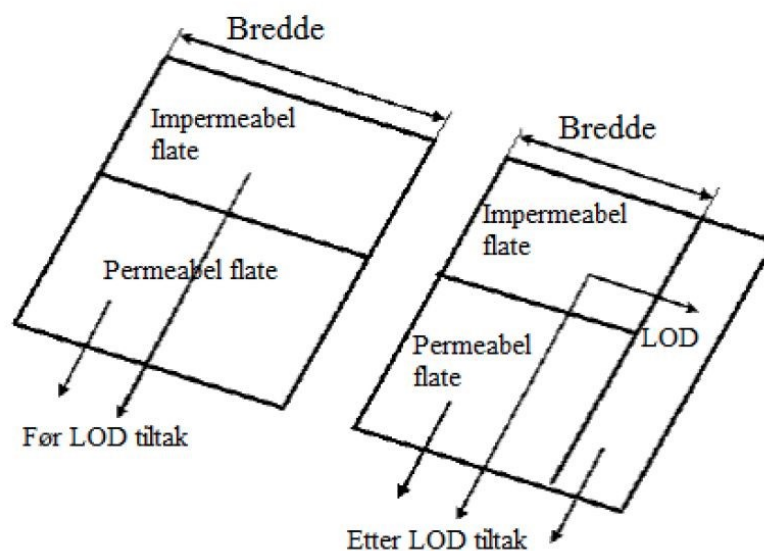


Figure 10 Uten frakobling av takrenner vil overvannet renne direkte fra det impermeable takarealet til permeable flater. Ved en frakobling av takvann og bruk av LOD-tiltak vil overvann i modellen renne fra tette flater både til permeable flater og til LOD-utformingen. (Rossman et al. 2010).

For å gjøre frakoblingen av takvann i modellen mer realistisk, er det valgt å gjennomføre frakoblingen på oppstrøms felt i modellen som direkte påvirker delen av Sandaker hvor kjelleroversvømmelsene oppstår (Se Figure 11).

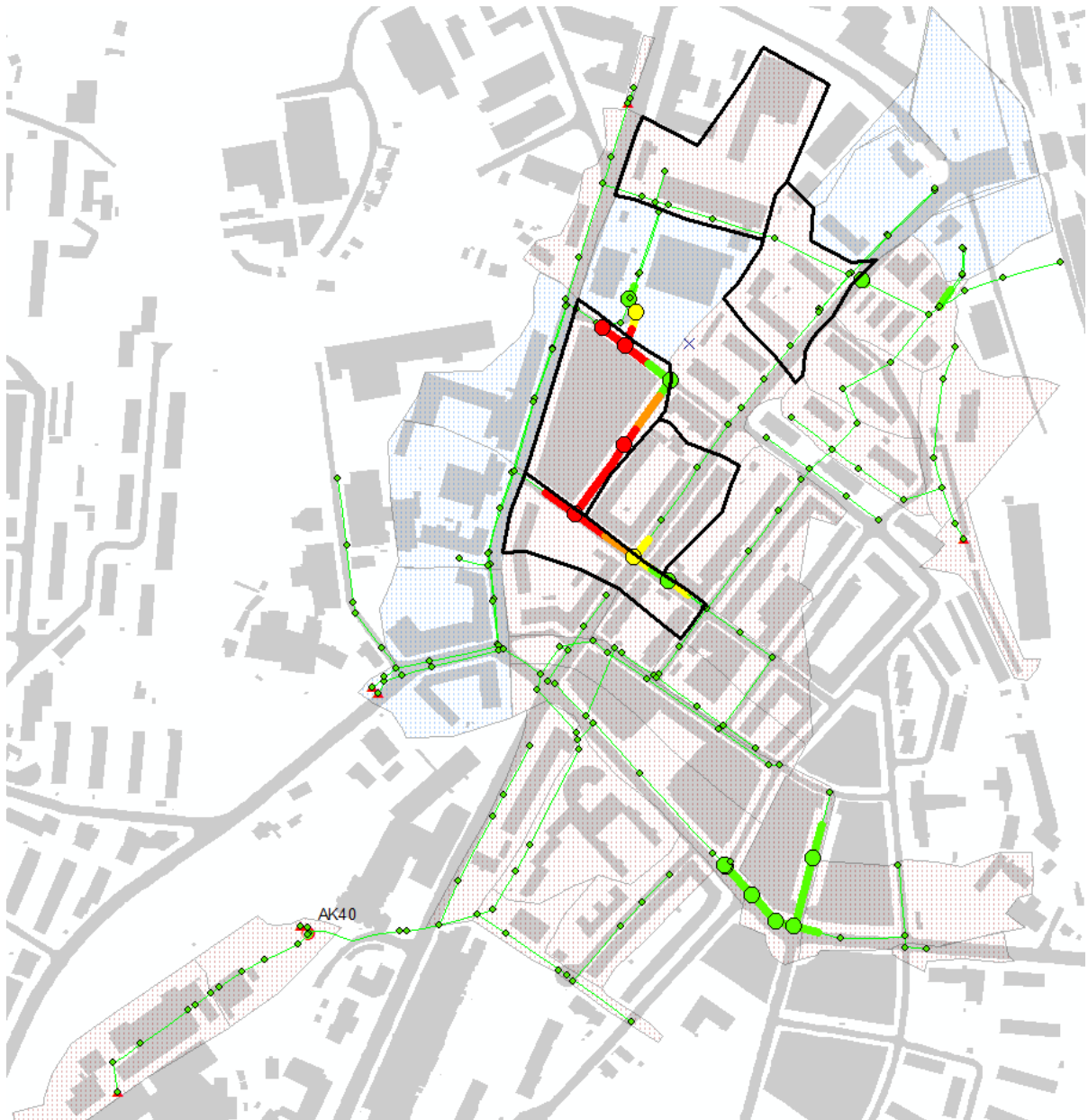


Figure 11 Skjermbildet viser avløpssituasjonen for Sandakers 43 catchments, med oppstuvning i avløpsnettet etter en simulering av det største regnet i 2011. Overløpskummen i avløpsmodellen er markert med navn, AK40, og ligger nede til venstre i bildet. Takvannsavrenning i de oppstrøms catchments som påvirker oppstuvningen blir dempet for å simulere LOD-tiltak. De fem catchmentene er markert med svart i figuren. (Rosim AS 2014b)

Frakoblingen i programmet utføres ved å dempe faktoren for tilførsel fra takflater til ledningsnett i modellen til faktor 0. Regnvannet fra takflatearealer forsvinner med dette fra simuleringen og takflatene vil ikke generere overvann. Dette er ikke en riktig fremstilling av virkeligheten når takvann kobles fra det kommunale ledningsnett og behandles lokalt. Ved lokal disponering av takvann ved bruk av for eksempel grønne tak, vil vannet fordrøyes og havne i avløpssystemet med tid. Ved bruk av regnbed eller infiltrasjonsanlegg, vil vannet infiltreres ned i grunnvannet. Dette vil føre til mer grunnvann, som igjen kan føre til økt inntrengning av fremmedvann i avløpssystemet. Modellen tar ikke hensyn til den økte andelen grunnvann, og det er heller ikke tatt hensyn til det i denne oppgaven.

I modellen er det bare tilførselen av avløpsvann fra 5 oppstrøms catchments som påvirker oppstuvningen hvor kjelleroversvømmelsene oppstår. Dette er i Amtmann Meinichs Gate, Nordlandsgata og Birch Reichenwalds Gate. Takvannsavrenningen fra disse fem catchmentene endres fra å tilføre vann direkte på ledningsnettet via takrenner og kantstein slik det foregår med dagens avløpssituasjon, til å tilføre vann til grøntarealer med formål å infiltrere overvannet til grunnvannet. LOD-tiltak som infiltrasjon på gressplen, regnbed, eller en fordrøyning på selve taket ved bruk av grønne tak vil vurderes lokalt, og er ikke vurdert noe videre i denne oppgaven.

Table 2 Tak-, vei- og infiltrerbart areal, og sammenlagt areal for de 5 catchments som påvirker oppstuvningen i ledningsnettet i Amtmann Meinichs gate, Nordlandsgata og Birch Reichenwalds gate, vest for Grefsenveien.

Takareal	2,207	ha	22076	m ²
Veiareal	0,544	ha	5444	m ²
Infiltrerbart areal	3,045	ha	30451	m ²
Sammenlagt areal	5,796	ha	57 971	m²

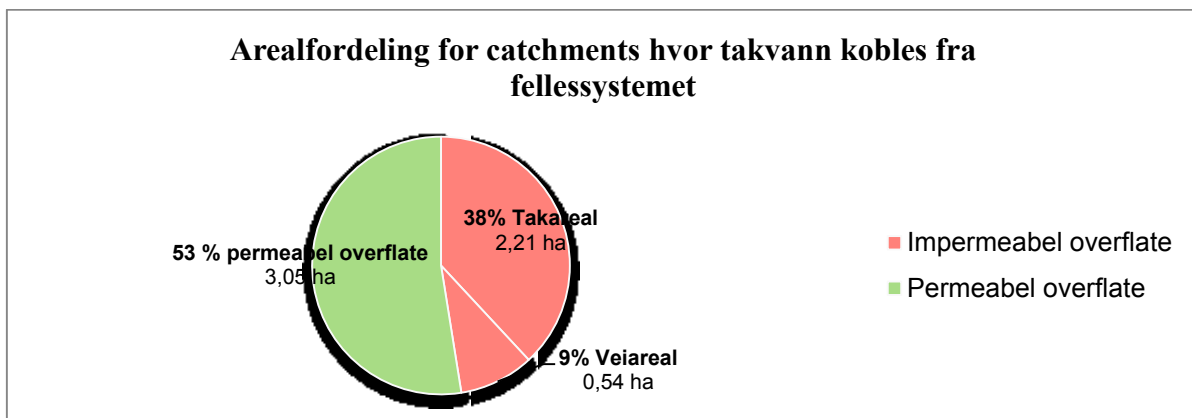


Figure 12 Arealfordeling for de 5 catchments som påvirker oppstuvningen i ledningsnettet i Amtmann Meinichs gate, Nordlandsgata og Birch Reichenwalds gate, vest for Grefsenveien.

Takareal som frakobles i de 5 catchmentene har et areal på 22 076 m² (Table 2).

De 5 catchmentene som påvirker oppstuvningen vest for Grefsenveien har et areal på 57 971 m². Det totale takarealet på Sandaker er 109 140 m². Catchmentene i Sandakers avløpsfelt har totalt et areal på 390 040 m² (Table 1)

En frakobling av takvann fra disse catchmentene tilsvarer en 38 % reduksjon i avrenning fra de 5 catchmentene, en 20 % reduksjon i takareal på Sandaker. Total avrenning i Sandaker avløpsfelt reduseres med 5,6 %.

Simulering av et 30årsregn

Simuleringer av avløpsledningene på Sandaker er også utført med nedbørsdata for et 30årsregn. Under Oslo Kommunes Hovedmål for Avløpsvann i Hovedplan for Avløp & Vannmiljø (2014) lyder delmål 1 og delmål 20 som følger:

DM01: Hovedledningsnett (dim >300 mm) i avløpssystemet skal ha kapasitet tilsvarende 30-års regn

DM20: Ingen skal ha kjelleroversvømmelser på grunn av avløpsnettets kapasitet med gjentaksintervall opp til 30-årsregn

På grunnlag av dette har det blitt valgt å simulere et 30årsregn på Sandaker. Potensielle kjelleroversvømmelser, i tillegg til data for overløpsutslipp til Akerselva for både dagens avløpssituasjon og etter frakobling av takvann i de 5 av 43 catchmentene er utført. Det er også gjort simuleringer med en klimafaktor på 50% for å se hvordan Sandaker takler et 30årsregn i forskjellige scenarier. Dette gir store nedbørsmengder på kort tid. Et 50 % klimapåslag på et 30årsregn har en nedbørsintensitet som tilsvarer et gjentaksintervall på langt mer enn 200 år (Figure 13).

Resultater for kjelleroversvømmelser og overløpsutslipp for et 30årsregn på Sandaker kan sees i Del 3 – Kjelleroversvømmelser og overløpsutslipp til vassdrag etter et 30årsregn på side 58. En oversikt over Resultater etter simulering av et 30årsregn er vedlagt på side 79.

18701 OSLO - BLINDERN PLU		Periode: 1968 - 2014								
Nedbørintensitet (l/s*ha)										
år	1 min.	2 min.	3 min.	5 min.	10 min.	15 min.	20 min.	30 min.	45 min.	
2	291	247	223	187	140	114	98	77	60	
5	374	323	294	253	189	158	138	109	86	
10	429	373	341	297	222	188	164	130	103	
20	482	422	387	338	254	216	189	150	120	
25	498	437	401	352	264	224	197	156	125	
50	550	485	446	393	295	252	222	176	141	
100	601	531	490	433	325	279	246	195	157	
200	652	578	534	474	356	306	270	215	174	

Figure 13 IVF-tabell for Oslo, Blindern i perioden 1968 – 2014 (Oslo Kommune 2015a)

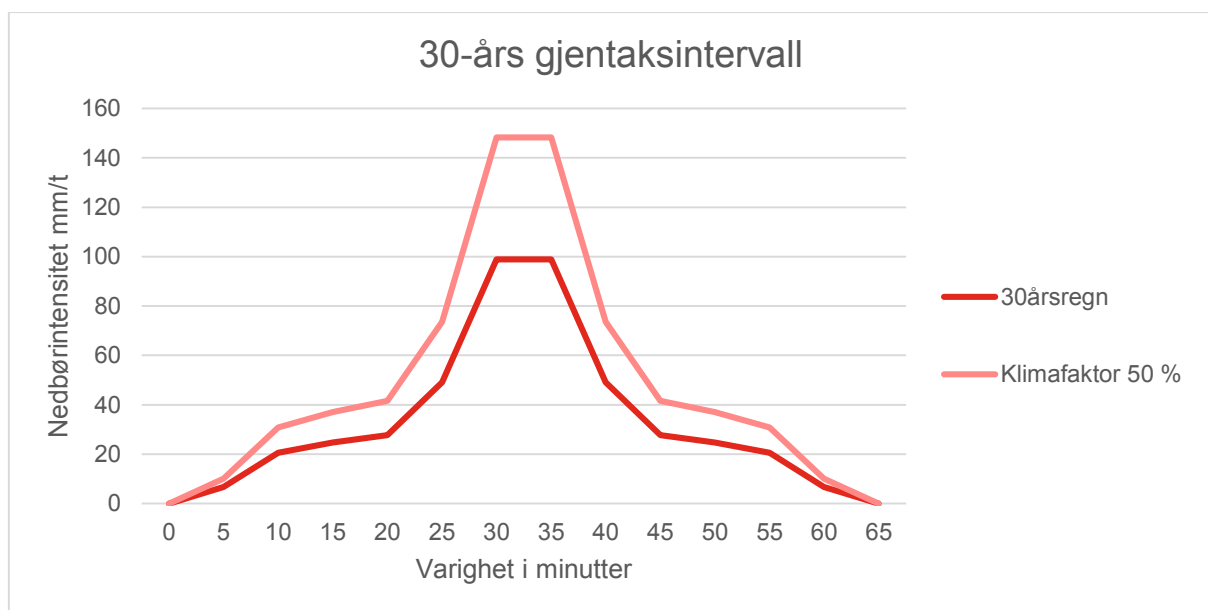


Figure 14 30-års gjentaksintervall med og uten klimatillegg. Denne er brukt til simulering av 30årsregn i modellen (side 58).

Fremstilling av resultater etter simulering

Programvaren Mike View er brukt til å vise resultatene for utslippsmengder fra overløpskum AK40 til Akerselva. Ved å benytte funksjonen Accumulated Values i Mike View, hentes resultater for vannvolum fra valgfrie punkter i avløpsnettet ut. Slik har tilstrømmingsvolumet til overløpskummen fra Sandaker, og utslippsvolumet i overløpsrøret blitt funnet i avløpsmodellen. I tillegg er grafiske fremstillinger av vannføringen i overløpet hentet ut.

Se Fremstilling av overløpsutslipp over nedbørsdata i 2010 på side 71 for et eksempel på en grafisk fremstilling av overløpsutslipp hentet fra Mike View. Resultater for overløpsutslipp etter simuleringer av nedbørsdata for perioden 2010 – 2014 i ROSIE kan sees i Del 2 – Overløpsutslipp til vassdrag på side 51.

Feilkilder til simuleringsresultat fra avløpsmodellen

Frakobling av takvann

Ved en frakobling av takvann vil vannet mest sannsynlig føres til enten en permeabel eller impermeabel flate, før det infiltreres til grunnvannsspeilet eller finner veien til avløpssystemet. Modellen tar ikke hensyn til dette. Modellen antar at takvannet som frakobles forsvinner fra modellen, og ikke påvirker hverken grunnvannet eller vannføringen i avløpssystemet.

Connection points

I kartprogrammet ArcMap 10.1, hvor avløpsmodellen er bygget, er det ikke ledningene selv som tar opp overvann og avløpsvann fra nedbørsfeltet, men en oppsamlende kum som kalles Connection Point. Modellen av Sandaker-feltet er delt inn i 43 mindre nedbørsfelt, med hvert sitt Connection Point som tar opp vann som sendes inn på nettet. Dette punktet på ledningen får derfor en stor belastning, og en større oppstuvning under regnskyll enn i virkeligheten. Belastningen vi ser i resultatene er derfor større enn i virkeligheten, bidrar til forhøyede oppstuvingsresultater i de to områdene som oppstaves i Nordlandsgata og Hans Nielsen Hauges Gate. En slik anordning i modellen gjør at modellens usikkerhet øker som funksjon av nedbøren. På grunn av dette er resultatene etter simulering av 30årsregn mer usikre enn de øvrige simuleringene.

Døgnvariasjon

Mike View er benyttet til å hente ut resultatene for *Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp*. Dette er den totale vannføringen i innløpet til overløpskum AK40 under nedbøret som forårsaket overløpet. Dette tallet er svært usikkert fordi det inneholder både den daglige spillvannsmengden fra feltet. Resultatet fra denne målingen i Mike Urban varierer derfor ikke bare etter nedbørsmengden, men også av når på døgnet nedbøren har falt. Tilrenningstiden det tar regnet å renne til overløpskummen er ikke målt. På grunn av døgnvariasjonen, og usikkerhet i tilrenningstid i avløpssystemet, gir dette unøyaktige tall på tilstrømmingen inn til AK40. Tallene i resultatoversikten er ment å være tall til å sammenligne med mengden overløp, som kan sees i tabellraden *Prosentandel av tilstrømming*. Resultatet er ikke grunnlag for videre beregninger i oppgaven. Videre beregninger på grunnlag av dette resultatet anbefales heller ikke på grunn av usikkerhet.

Usikre overflatedata

En feilkilde som gir ein stor usikkerhet i modellen er takarealets størrelse. Spesielt takarealene på boligkvartalet på hele Nordlandsgatas vestsida er tegnet feil i modellen. Taket er i virkeligheten halvparten av størrelsen. I midten befinner det seg en bakgård som består av grus- og grøntarealer, ikke tette flater som modellen går ut i fra. I tillegg vil halvparten av tomtens areal føre spillvannet inn på gaten ved siden av, og ikke inn på samme ledning som det gjør i modellen. Dersom takarealene i modellen endres til korrekt form, vil avrenningen fra takarealene til det oppstuvingsutsatte modellområdet avlastes, og vi vil få en reduksjon i antall kjelleroversvømmelser i modellen.

Kalibrering

For at modellen skal kunne gjenskape det reelle avløpsfeltet ved forskjellige nedbør må den være godt kalibrert. Første bud er at måledataene som er brukt i kalibreringen er korrekte. Det er mye usikkerhet knyttet til dette. Dersom det har blitt målt feil vannføring i avløpsfeltet vil ikke modellen gi oss riktig data.

Andre avvik i modellen

- Overvannsledningen fra Storo og inn på Grefsenveien har i modellen ingen vannføring. Dette stemmer ikke i virkeligheten (Abdi 2015). Det bør derfor antas at noe mer vann føres i ledningen som går nedover Grefsenveien.
- I modellen tas det ikke forbehold om endring av befolkningstallet. Det antas at det er de samme 4553 personene som har bosted på Sandaker gjennom hele femårsperioden. I realiteten vil det variere noe hvor mye spillvann som stammer fra Personenheterne på Sandaker.
- Resultatet av antall kjelleroversvømmelser og overløpsutslipp med påslag av klimafaktor med og uten frakobling (side 48 og side 45) viser kun mengden oversvømmelser fra simuleringer av de samme 8 nedbørene i perioden, som ved simulering uten klimapåslag førte til kjelleroversvømmelser. Ytterligere nedbør som var mindre enn disse 8 ble ikke simulert i modellen. Dette medfører at simuleringer med klimapåslag i realiteten vil gi et større antall kjelleroversvømmelser enn hva resultatene tilsier.
- Etter at alle simuleringene var utført, ble det 08.04.2015 oppdaget en feil avløpsmodellen. Connection points, som er det hypotetiske oppsamlingspunktet hvor vann fra catchmentet går inn i avløpssonen, var ikke fullstendig fordelt på alle catchmentene. Det manglet et slikt oppsamlingspunkt i en av de 43 catchmentene. Dette førte til at 3771m² med overflateareal ble bortkoblet, og dermed ikke tatt med i simuleringen. Hverken nedbøret eller bidrag fra PE fra catchmentet ble med i ROSIE-utvidelsens modellering.
- Under et 30-årsregn blir en kum i Grefsenveien utenfor Grefsenveien 47 i modellen oppstuvet med 1,6m. Dette kan være en feilprogrammering av modellen (Abdi 2015).

Korrelasjon mellom simuleringer i modell og fysiske målinger

Korrelasjon mellom modellens overløpsresultater og virkelig overløp er nødvendig for å kunne stole på resultatene fra avløpsmodellen. I Figure 15 kan man se en grafisk fremstilling av korrelasjonen mellom modellert overløp og faktiske driftsmålinger på overløp AK40 målt av Funksjon målegruppe avløp (FMA) i Vann- og avløpsetaten i Oslo Kommune (2015b). Figuren viser at 31 av 38 overløpshendelser i modellen korrelerer med målingene gjort sommeren 2010. Dette er en korrelasjon på 82%.

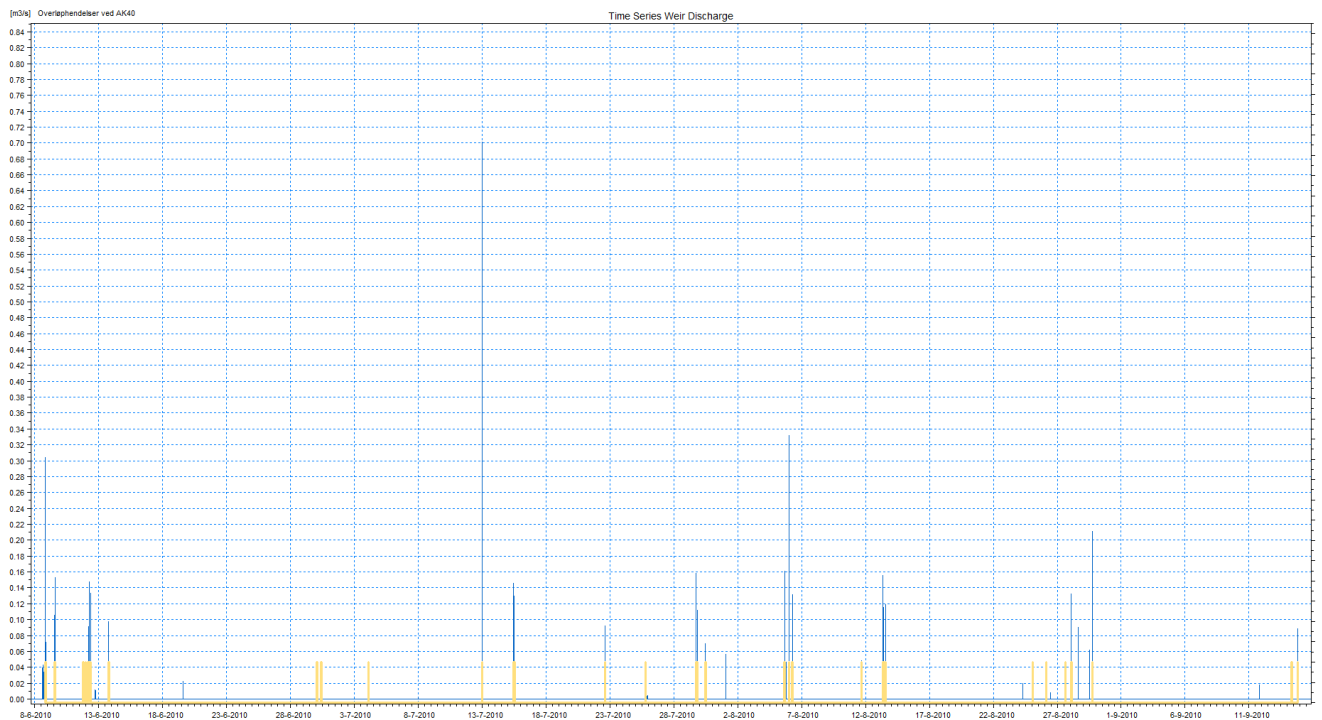


Figure 15 Gult illustrerer driftstid for overløp AK40, målt av Funksjon målegruppe avløp (FMA), Vann- og avløpsetaten i Oslo Kommune sommeren 2010 (Oslo Kommune 2015b). Blått illustrerer avløpsmodellens simulerte overløpsintensitet i m^3/s til Akerselva sommeren 2010.

Det er en klar sammenheng mellom modellens resultater og målinger gjort på overløpet. Det antas at modellen med om lag 80% sikkerhet kan forutsi Sandakers vannmengder i rør og kummer. Det er derfor grunn til å anta at modellen er riktig kalibrert, og dermed kan benyttes til å forutsi AK40s overløpshendelser ved et normalår.

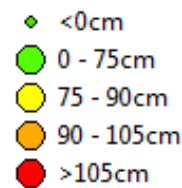
Resultater

I dette kapitlet er resultatene fra modellsimuleringene samlet. Alle resultater for årssimuleringer, simuleringer av de største nedbør i perioden 2010 – 2014 og simuleringer av 30årsregn er samlet i tre deler i dette kapitlet. De viktigste resultatene er fremstilt grafisk, og etter hver del er det et oppsummering som forklarer forskjellen på simuleringene med og uten frakobling av takvann til LOD-tiltak, og med og uten et klimapåslag for fremtidige klimasituasjoner.

Det er satt inn skjermbilder av resultatene i ArcMaps layer-funksjon under hver tabell. Dette viser oppstuvingen i avløpsnett sett ovenfra med farger for de ulike oppstuvingsnivåene som kan sees i Figure 16. Resultatvisningen i ROSIE er konstruert på en slik måte at kartlagene som illustrerer oppstuvingen, *Manhole: Overflow level*, og *Pipe: Overflow* viser et oversvømmelsesnivå fra og med over rørets innvendige toppunkt (Popov 2015). Svak grønn illustrerer at ingen oppstuvning oppstår og sterk grønn illustrerer at oppstuvingen er mellom 0 - 75 cm over topp rør. Gul illustrerer en oppstuvning på mellom 75 – 90 cm over topp rør, og oransje illustrerer en oppstuvning på over 90 cm. Rød farge illustrerer en oppstuvning på over 105 cm. Dersom et nedbør har ført til en oppstuvning til for eksempel 80 cm over topp rør, vil denne delen av ledningen vises som gul. Dersom et nedbør ikke fører til noen særlig oppstuvning i en ledning, og ledningen ikke fylles opp av vann, er oppstuvingsnivået under topp rør, altså mindre enn 0 cm over topp rør. Denne delen av ledningen vil vises i kartlaget som en tynn grønn strek.

90 cm er som forklart på side 19 Oslo Kommunes krav til høyde fra stikkledningens forgreningspunkt på avløpsledningen opp til bygningens laveste avløpsåpning. En stikkledning med forgreningspunkt i en avløpsledning som på kartlaget illustreres med oransje eller rød farge etter et simulert nedbør antas å føre til en kjelleroversvømmelse ved ett tilfelle av nedbøren.

Manhole: Overflow level OverflowLevel



Pipe: Overflow OverflowLevel



Figure 16 Tegnforklaring av skjermbildene i ArcMap 10.1. Skjermbildene viser oppstuvingen, og nivået over topp rør for hele avløpsnett.

Del 1 – Kjelleroversvømmelser etter de 8 største nedbør i 2010 - 2014

Resultater for dagens avløpssituasjon

Med dagens avløpssituasjon er det 8 nedbørshendelser som medfører kjelleroversvømmelser i avløpssystemet på Sandaker fra 2010 til 2014. Ifølge modellen vil det potensielt oppstå 90 kjelleroversvømmelser.

Kun det største nedbøret i 2010 gir kjelleroversvømmelser i avløpsmodellen. Simuleringen av nedbøret gir 15 kjelleroversvømmelser (Table 3).

Kun det største nedbøret i 2011 gir kjelleroversvømmelser i modellen. Simuleringen av nedbøret gir 17 kjelleroversvømmelser (Table 4).

Tre nedbør i 2012 gir kjelleroversvømmelser i modellen. Simuleringen av de tre nedbørene gir totalt 29 kjelleroversvømmelser (Table 5).

Tre nedbør i 2013 gir kjelleroversvømmelser i modellen. Simuleringen av de tre nedbørene gir totalt 29 kjelleroversvømmelser (Table 6).

Ingen nedbør i 2014 resulterer i kjelleroversvømmelser i modellen.

Her er det interessant å se at det oppstår oppstuvninger over 90 cm og mer bare på et sted i avløpsmodellen. Dette skjer i Amtmann Meinichs Gate, Nordlandsgata og i Birch Reichenwalds gate.

Table 3 Simulering av det største nedbøret i 2010 med dagens avløpssituasjon

2010	Mengde	Benevning
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	4040	m ³
Utslippsvolum fra overløp	399	m ³
Prosentandel av tilrenning som går i overløp	9,88 %	
Kjelleroversvømmelser	15	stk

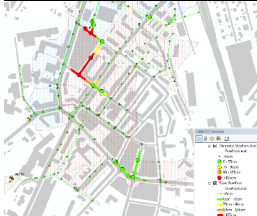


Figure 17 Simulering av det største nedbøret i 2010 med dagens avløpssituasjon

Table 4 Simulering av det største nedbøret i 2011 med dagens avløpssituasjon

2011	Mengde	Benevning
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	2700	m ³
Utslippsvolum fra overløp	850	m ³
Prosentandel av tilrenning som går i overløp	31,46 %	
Kjelleroversvømmelser	17	stk

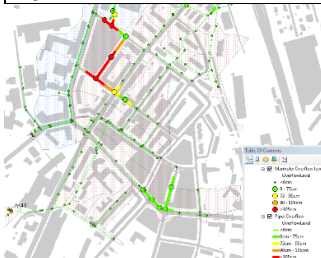


Figure 18 Simulering av det største nedbøret i 2011 med dagens avløpssituasjon

Table 5 Simulering av de tre største nedbør i 2012 med dagens avløpssituasjon

Det største nedbørstilfellet i 2012	Mengde	Benevning
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	3611	m ³
Utslippsvolum fra overløp	281	m ³
Prosentandel av tilrenning som går i overløp	7,79 %	
Kjelleroversvømmelser	15	stk
Det nest største nedbørstilfellet i 2012		
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	3100	m ³
Utslippsvolum fra overløp	515	m ³
Prosentandel av tilrenning som går i overløp	16,60 %	
Kjelleroversvømmelser	7	stk
Tredje største nedbørstilfellet i 2012		
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	1886	m ³
Utslippsvolum fra overløp	474	m ³
Prosentandel av tilrenning som går i overløp	25,13 %	
Kjelleroversvømmelser	7	stk

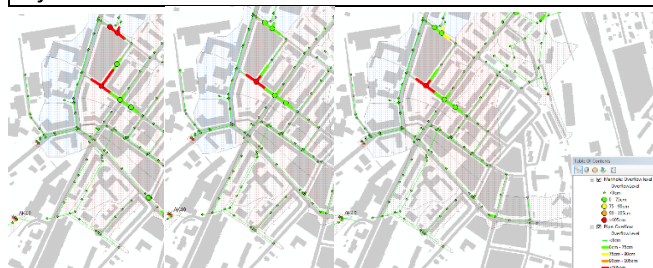


Figure 19 Simulering av de tre største nedbør i 2012 med dagens avløpssituasjon

Table 6 Simulering av de tre største nedbør i 2013 med dagens avløpssituasjon

Det største nedbørstilfellet i 2013	Mengde	Benevning
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	3931	m ³
Utslippsvolum fra overløp	894	m ³
Prosentandel av tilrenning som går i overløp	22,74 %	
Kjelleroversvømmelser	15	stk
Det nest største nedbørstilfellet i 2013		
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	2326	m ³
Utslippsvolum fra overløp	579	m ³
Prosentandel av tilrenning som går i overløp	24,89 %	
Kjelleroversvømmelser	7	stk
Det tredje største nedbørstilfellet i 2013		
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	9324	m ³
Utslippsvolum fra overløp	950	m ³
Prosentandel av tilrenning som går i overløp	10,19 %	
Kjelleroversvømmelser	7	stk



Figure 20 Simulering av de tre største nedbør i 2013 med dagens avløpssituasjon

Resultater etter frakobling av takvann i 5 av 43 catchments

Etter frakobling av takvann i de 5 feltene som påvirker oppstuvingen ble samtlige kjelleroversvømmelser forhindret. Ingen kjelleroversvømmelser oppstår når takvannet i 5 av 43 catchment blir frakoblet i modellen.

Table 7 Simulering av det største nedbøret i 2010 etter frakobling av takvann

2010	Mengde	Benevning
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	1429	m ³
Utslippsvolum fra overløp	281	m ³
Prosentandel av tilrenning som går i overløp	19,69 %	
Kjelleroversvømmelser	0	stk



Figure 21 Simulering av det største nedbøret i 2010 etter frakobling av takvann

Table 8 Simulering av det største nedbøret i 2011 etter frakobling av takvann

2011	Mengde	Benevning
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	3653	m ³
Utslippsvolum fra overløp	631	m ³
Prosentandel av tilrenning som går i overløp	17,26 %	
Kjelleroversvømmelser	0	stk

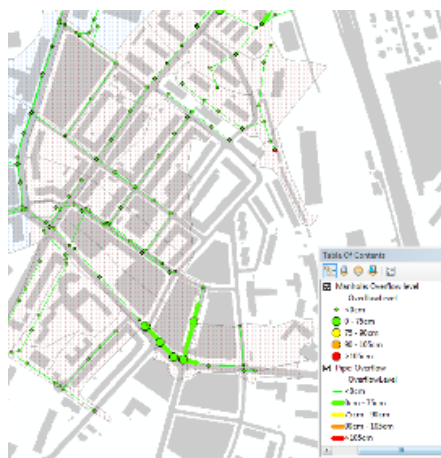


Figure 22 Simulering av det største nedbøret i 2011 etter frakobling av takvann

Table 9 Simulering av de tre største nedbør i 2012 etter frakobling av takvann

Det største nedbørstilfellet i 2012	Mengde	Benevning
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	2077	m ³
Utslippsvolum fra overløp	212	m ³
Prosentandel av tilrenning som går i overløp	10,19 %	
Kjelleroversvømmelser	0	stk
Det nest største nedbørstilfellet i 2012		
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	1071	m ³
Utslippsvolum fra overløp	283	m ³
Prosentandel av tilrenning som går i overløp	26,45 %	
Kjelleroversvømmelser	0	stk
Det tredje største nedbørstilfellet i 2012		
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	754	m ³
Utslippsvolum fra overløp	243	m ³
Prosentandel av tilrenning som går i overløp	32,20 %	
Kjelleroversvømmelser	0	stk



Figure 23 Simulering av de tre største nedbør i 2012 etter frakobling av takvann

Table 10 Simulering av de tre største nedbør i 2013 etter frakobling av takvann

Det største nedbørstilfellet i 2013	Mengde	Benevning
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	1219	m ³
Utslippsvolum fra overløp	621	m ³
Prosentandel av tilrenning som går i overløp	50,92 %	
Kjelleroversvømmelser	0	stk
Det nest største nedbørstilfellet i 2013		
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	666	m ³
Utslippsvolum fra overløp	272,6	m ³
Prosentandel av tilrenning som går i overløp	40,91 %	
Kjelleroversvømmelser	0	stk
Det tredje største nedbørstilfellet i 2013		
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	4443	m ³
Utslippsvolum fra overløp	569,11	m ³
Prosentandel av tilrenning som går i overløp	12,81 %	
Kjelleroversvømmelser	0	stk



Figure 24 Simulering av de tre største nedbør i 2013 etter frakobling av takvann

Resultater etter et klimapåslag på 50 %

For disse resultatene er det lagt på et påslag på avrenningen i modellen på 50%. Vi ser at overløpsutslippene fra de 8 største nedbør øker med 25 % etter et klimapåslag på 50 %.

Simuleringen av det største nedbøret i 2010 gir 54 kjelleroversvømmelser.

Simuleringen av det største nedbøret i 2011 gir 54 kjelleroversvømmelser.

Simuleringen av de tre største nedbørene i 2012 gir totalt 66 kjelleroversvømmelser.

Simuleringen av de tre største nedbørene i 2013 gir totalt 71 kjelleroversvømmelser.

Klimapåslaget i perioden fra 2010 til og med 2014 førte til en økning på 155 kjelleroversvømmelser i området fra 90 til 245. Et klimapåslag på 50% antas dermed å føre til en økning i antall kjelleroversvømmelser på Sandaker på 172%. Dette er 2,7 ganger flere kjelleroversvømmelser enn det som oppstår i dag.

Under simuleringer med klimapåslag på 50% oppstår det oversvømmelser i hovedsak i to områder av Sandakers avløpsfelt. Ledningene som oversvømmes under simuleringene er de samme for hvert tilfelle. De to områdene ligger vest for Grefsenveien, og sørøst ved Hans Nielsen Hauges Plass:

- AF230-ledninger i betong i Amtmann Meinichs Gate
- AF230-ledninger i betong i Nordlandsgata
- AF230-ledninger i betong i Birch Reichenwalds Gate
- AF230-ledninger i betong i Hans Nielsen Hauges Gate
- AF230-ledninger i betong i Knud Graahs Gate
- AF230-ledninger i Kyrre Grepps Gate

Table 11 Simulering av det største nedbøret i 2010 med et klimapåslag på 50%

2010	Mengde	Benevning
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	3386	m ³
Utslippsvolum fra overløp	692,75	m ³
Prosentandel av tilrenning som går i overløp	20,46 %	
Kjelleroversvømmelser	54	stk



Figure 25 Simulering av det største nedbøret i 2010 med et klimapåslag på 50%

Table 12 Simulering av det største nedbøret i 2011 med et klimapåslag på 50%

2011	Mengde	Benevning
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	4151	m ³
Utslippsvolum fra overløp	1432	m ³
Prosentandel av tilrenning som går i overløp	34,51 %	
Kjelleroversvømmelser	54	stk



Figure 26 Simulering av det største nedbøret i 2011 med et klimapåslag på 50%

Table 13 Simulering av de tre største nedbør i 2012 med et klimapåslag på 50%

Det største nedbørstilfellet i 2012	Mengde	Benevning
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	1090	m ³
Utslippsvolum fra overløp	470	m ³
Prosentandel av tilrenning som går i overløp	43,15 %	
Kjelleroversvømmelser	32	stk
Det nest største nedbørstilfellet i 2012		
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	1508	m ³
Utslippsvolum fra overløp	643	m ³
Prosentandel av tilrenning som går i overløp	42,61 %	
Kjelleroversvømmelser	17	stk
Det tredje største nedbørstilfellet i 2012		
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	2209	m ³
Utslippsvolum fra overløp	581	m ³
Prosentandel av tilrenning som går i overløp	26,30 %	
Kjelleroversvømmelser	17	stk

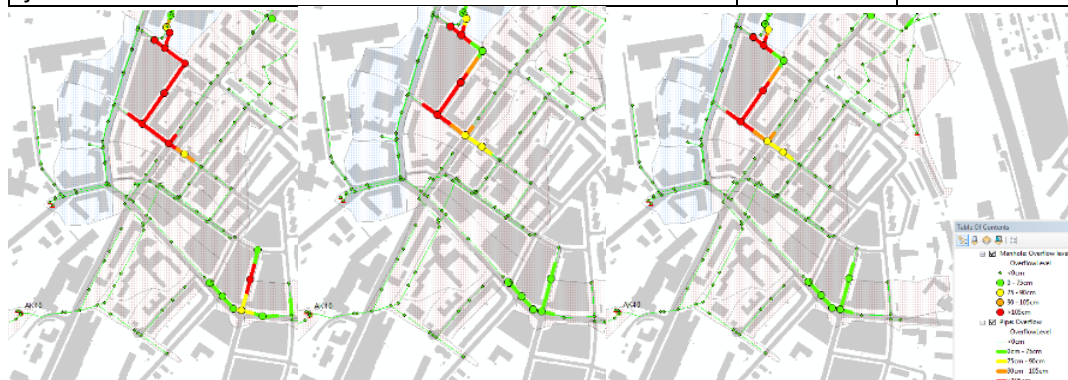


Figure 27 Simulering av de tre største nedbør i 2012 med et klimapåslag på 50%

Table 14 Simulering av de tre største nedbør i 2013 med et klimapåslag på 50%

Det største nedbørstilfellet i 2013	Mengde	Benevning
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	2541	m ³
Utslippsvolum fra overløp	1467	m ³
Prosentandel av tilrenning som går i overløp	57,75 %	
Kjelleroversvømmelser	33	stk
Det nest største nedbørstilfellet i 2013		
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	1002	m ³
Utslippsvolum fra overløp	587	m ³
Prosentandel av tilrenning som går i overløp	58,69 %	
Kjelleroversvømmelser	23	stk
Det tredje største nedbørstilfellet i 2013		
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	469	m ³
Utslippsvolum fra overløp	294	m ³
Prosentandel av tilrenning som går i overløp	62,75 %	
Kjelleroversvømmelser	15	stk

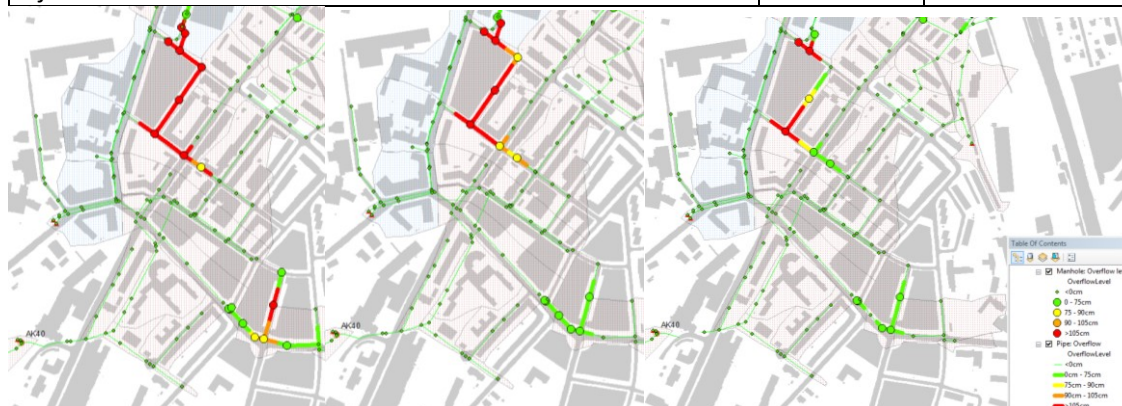


Figure 28 Simulering av de tre største nedbør i 2013 med et klimapåslag på 50%

Resultater etter et klimapåslag på 50 % og frakobling av takvann i 5 av 43 catchments

En frakobling av takvann i de 5 catchmentene vest for Grefsenveien som påvirker oppstuvingen etter et klimapåslag på 50% i perioden 2010 - 2014 fører til en reduksjon i antall kjelleroversvømmelser fra 245 til 64. Frakoblingen av takvann i de 5 feltene med 50% klimapåslag på nedbørsperioden 2010 – 2014 reduserer altså antall kjelleroversvømmelser fra de 8 største nedbørene med 74%.

Simuleringen av det største nedbøret i 2010 gir 25 kjelleroversvømmelser.

Simuleringen av det største nedbøret i 2011 gir 25 kjelleroversvømmelser.

Simuleringen av de tre største nedbørene i 2012 gir totalt 7 kjelleroversvømmelser.

Simuleringen av de tre største nedbørene i 2013 gir totalt 7 kjelleroversvømmelser.

Table 15 Simulering av det største nedbøret i 2010 med et klimapåslag på 50% etter frakobling av takvann i 5 catchments

2010	Mengde	Benevning
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	936	m ³
Utslippsvolum fra overløp	520	m ³
Prosentandel av tilrenning som går i overløp	55,56 %	
Kjelleroversvømmelser	25	stk



Figure 29 Simulering av det største nedbøret i 2010 med et klimapåslag på 50% etter frakobling av takvann i 5 catchments

Table 16 Simulering av det største nedbøret i 2011 med et klimapåslag på 50% etter frakobling av takvann i 5 catchments

2011	Mengde	Benevning
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	4277	m ³
Utslippsvolum fra overløp	1085	m ³
Prosentandel av tilrenning som går i overløp	25,36 %	
Kjelleroversvømmelser	25	stk

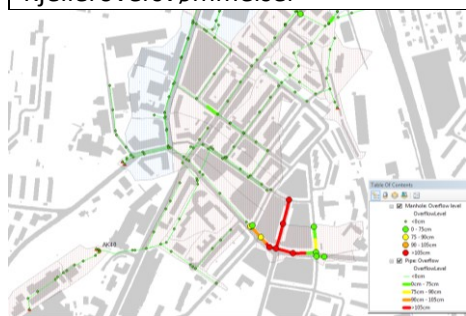


Figure 30 Simulering av det største nedbøret i 2011 med et klimapåslag på 50% etter frakobling av takvann i 5 catchments

Table 17 Simulering av de tre største nedbør i 2012 med et klimapåslag på 50% etter frakobling av takvann i 5 catchments

Det største nedbørstilfellet i 2012	Mengde	Benevning
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	870	m ³
Utslippsvolum fra overløp	365	m ³
Prosentandel av tilrenning som går i overløp	41,89 %	
Kjelleroversvømmelser	7	stk
Det nest største nedbørstilfellet i 2012		
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	1245	m ³
Utslippsvolum fra overløp	490	m ³
Prosentandel av tilrenning som går i overløp	39,37 %	
Kjelleroversvømmelser	0	stk
Det tredje største nedbørstilfellet i 2012		
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	1881	m ³
Utslippsvolum fra overløp	431	m ³
Prosentandel av tilrenning som går i overløp	22,90 %	
Kjelleroversvømmelser	0	stk

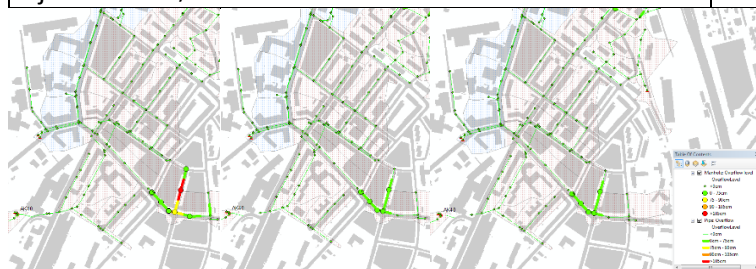


Figure 31 Simulering av de tre største nedbør i 2012 med klimapåslag på 50% etter frakobling av takvann i 5 catchments

Table 18 Simulering av de tre største nedbør i 2013 med et klimapåslag på 50% etter frakobling av takvann i 5 catchments

Det største nedbørstilfellet i 2013	Mengde	Benevning
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	2234	m ³
Utslippsvolum fra overløp	1117	m ³
Prosentandel av tilrenning som går i overløp	50,02 %	
Kjelleroversvømmelser	7	stk
Det nest største nedbørstilfellet i 2013		
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	894	m ³
Utslippsvolum fra overløp	456	m ³
Prosentandel av tilrenning som går i overløp	51,05 %	
Kjelleroversvømmelser	0	stk
Det tredje største nedbørstilfellet i 2013		
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	403	m ³
Utslippsvolum fra overløp	223	m ³
Prosentandel av tilrenning som går i overløp	55,22 %	
Kjelleroversvømmelser	0	stk

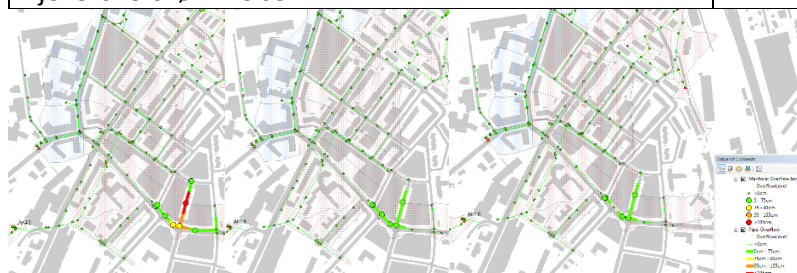


Figure 32 Simulering av de tre største nedbør i 2013 med klimapåslag på 50% etter frakobling av takvann i 5 catchments

Reduksjon av kjelleroversvømmelser etter frakobling av takvann i 5 av 43 catchments

Resultatet etter frakobling av takvann i de fem catchmentene som påvirker oppstivingen i området viser oss at 90 kjelleroversvømmelser forhindres i løpet av de fem årene med nedbørsdata fra 2010 – 2014. Med andre ord forhindres alle kjelleroversvømmelsene med dagens avløpssituasjon på Sandaker ved å frakoble takvannet fra det kommunale nettet.

Med et 50% klimapåslag på overvannsavrenningen viser de samme simuleringene av de 8 største nedbørstilfellene en reduksjon på 181 stk kjelleroversvømmelser fra 245 stk før frakobling av takvann. Dette tilsvarer en reduksjon på om lag 75% av oversvømmelsene som vil oppstå i avløpssystemet på Sandaker.

Table 19 Samlet antall kjelleroversvømmelser i avløpsmodellen for femårsperioden 2010 – 2014 på Sandaker, før og etter takvannsfrakobling i 5 av 43 catchments med og uten klimapåslag

Kjelleroversvømmelser på Sandaker 2010 - 2014

Dagens avløpssituasjon	90
Takvannsfrakobling i 5 catchments	0
Klimapåslag	245
Klimapåslag & takvannsfrakobling i 5 av 43 catchments	64

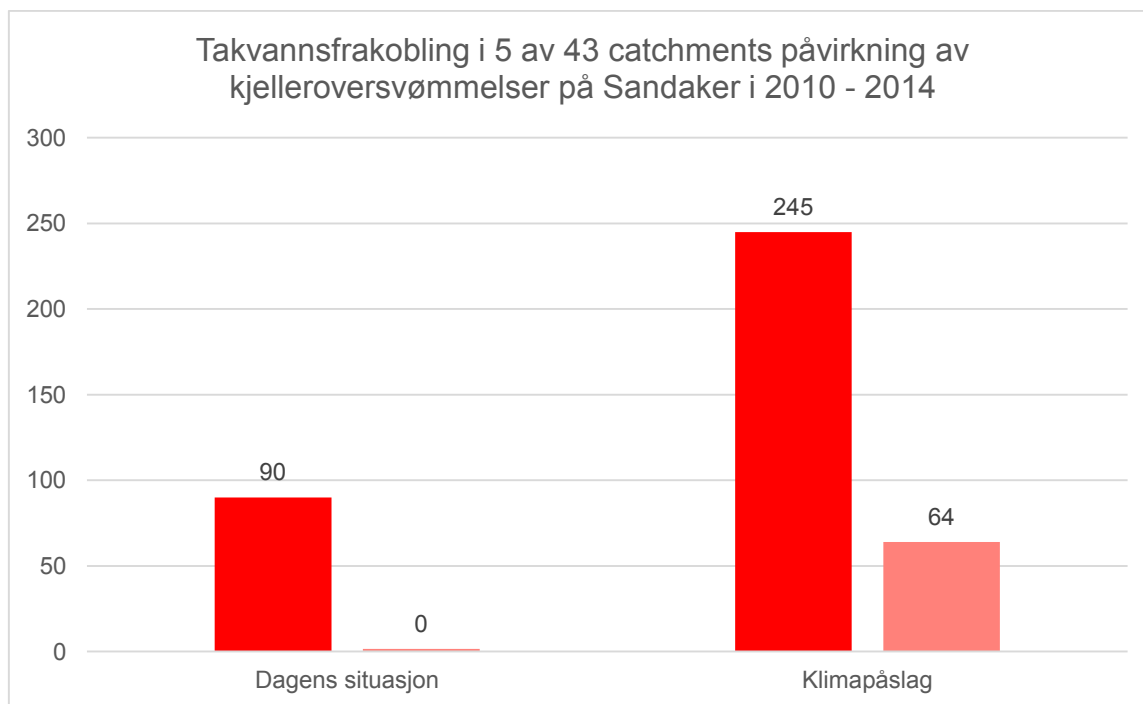


Figure 33 Antall kjelleroversvømmelser som oppstår i modellen av avløpsfeltet på Sandaker før og etter frakobling av takvann i 5 av 43 catchments.

Del 2 – Overløpsutslipp til vassdrag

Resultater fra tidsseriesimuleringer av år 2010 til og med år 2014
Etter tidsseriesimuleringer i ROSIE er følgende resultater hentet fra Mike Views resultatfunksjoner.

Table 20 Data fra avløpsmodellen etter årssimuleringer med nedbørsdata fra 2010 til og med 2014

2010	Mengde	Benevning
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	482307	m ³
Utslippsvolum fra overløp	3890	m ³
Prosentandel av tilstrømming som går i overløp	0,81 %	
Antall nedbørshendelser som gav overløp	21	stk
Maksimal vannføring under det største overløpet	701	l/sek

2011	Mengde	Benevning
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	535723	m ³
Utslippsvolum fra overløp	8860	m ³
Prosentandel av tilstrømming som går i overløp	1,65 %	
Antall nedbørshendelser som gav overløp	23	stk
Maksimal vannføring under det største overløpet	715	l/sek

2012	Mengde	Benevning
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	521350	m ³
Utslippsvolum fra overløp	3299	m ³
Prosentandel av tilstrømming som går i overløp	0,63 %	
Antall nedbørshendelser som gav overløp	30	stk
Maksimal vannføring under det største overløpet	554	l/sek

2013	Mengde	Benevning
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	496219	m ³
Utslippsvolum fra overløp	4243	m ³
Prosentandel av tilstrømming som går i overløp	0,86 %	
Antall nedbørshendelser som gav overløp	22	stk
Maksimal vannføring under det største overløpet	591	l/sek

2014	Mengde	Benevning
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	540011	m ³
Utslippsvolum fra overløp	2653	m ³
Prosentandel av tilstrømming som går i overløp	0,49 %	
Antall nedbørshendelser som gav overløp	18	stk
Maksimal vannføring under det største overløpet	301	l/sek

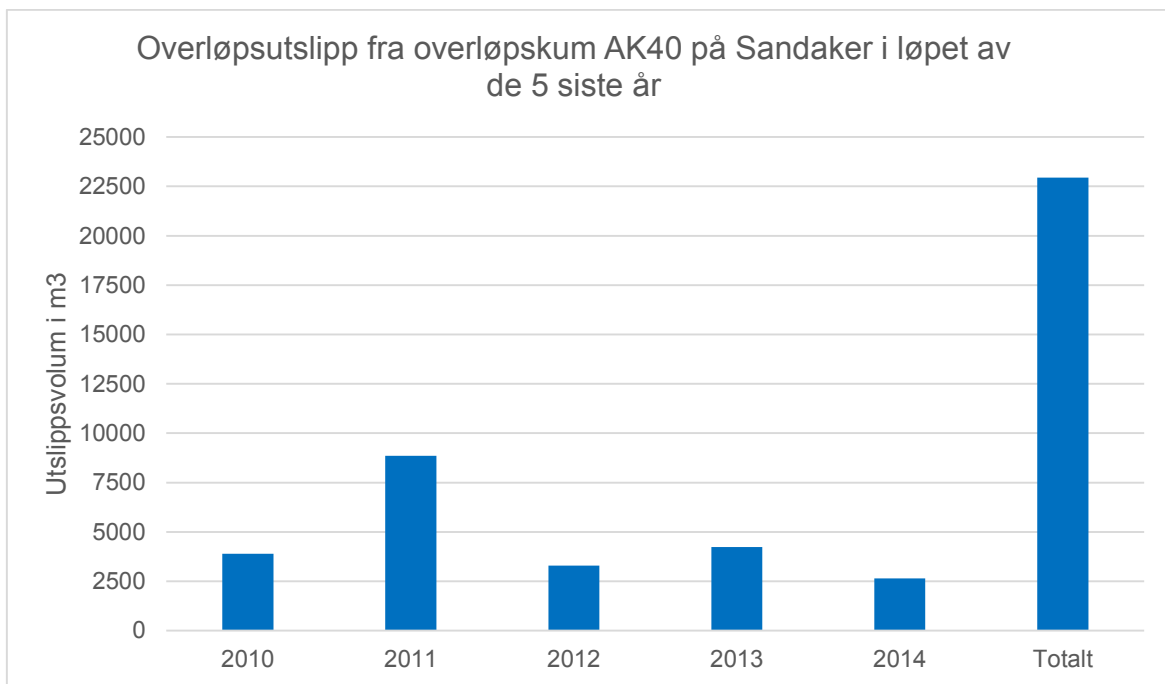


Figure 34 Årlig utslipp av avløpsvann fra overløp AK40 på Sandaker de fem siste år

Totalt i de fem siste år slippes det ifølge modellen ut omlag 23000 m³ avløpsvann (Table 21) til Akerselva fra overløpskum AK40 på Sandaker. Dette tilsvarer omlag 0,9 % av den totale vannføringen i oppsamlingsledningen. Gjennomsnittelig overløp for overløpskummer ved vassdrag i Oslo Kommune er 1 % (Oslo Kommune 2015a).

Årlig tilrenning til overløpskum AK40 de fem siste år varierer mellom 480 000 og 540 000 m³.

Table 21 Total mengde tilstrømming til overløp, og total mengde utslipp fra overløpskum AK40 i perioden 2010 – 2014.

2010 – 2014	Mengde	Benevning
Total tilrenning fra Sandaker til overløp 2010 – 2014	2575610	m ³
Totalt overløpsutslipp 2010 - 2014	22945	m ³
Prosentandel av til	0,89%	
Antall nedbørshendelser som gav overløp	114	stk

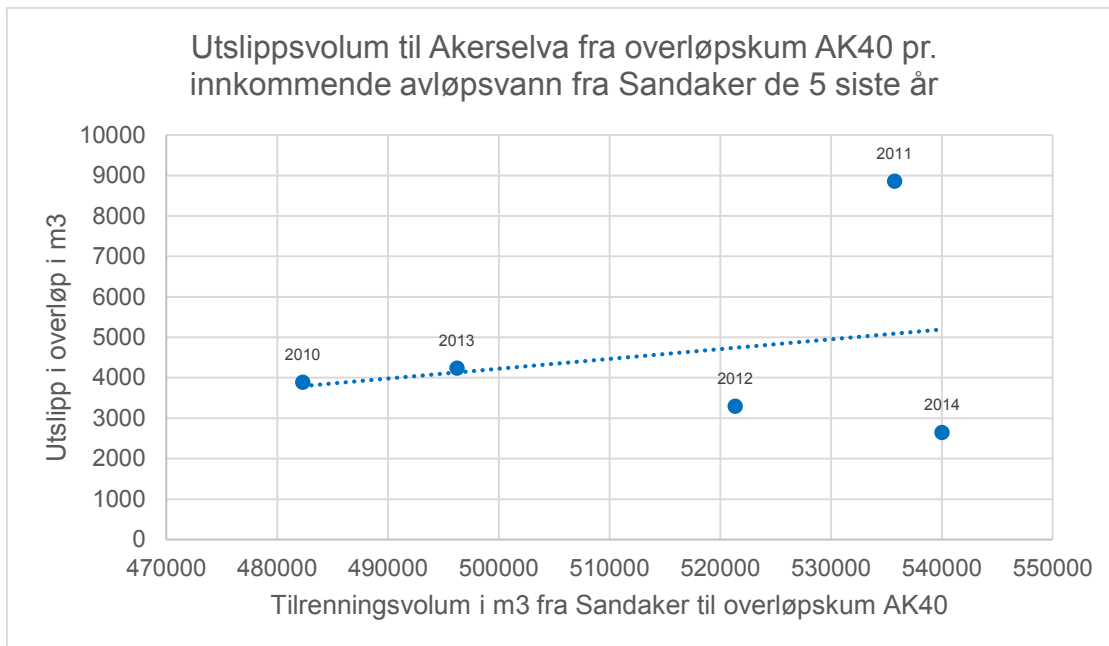


Figure 35 Overløpskum AK40s utslipp til Akerselva (m³) pr. innkommende vannføring (m³) fra avløpsfeltet Sandaker

Fremstillingen av overløpsutslippet pr innkommende avløpsvann til overløpskummen ovenfor virker ulogisk. I utgangspunktet vil det være logisk at en økning i tilrenning til overløpskummen fører til en større oppstiving over overløpskanten, som trendlinjen viser.

De store avvikene i utslipp kan forklares av intensiteten og mengden nedbør. Året med mest tilrenning, er også det året med mest nedbør. Den grafiske fremstillingen ovenfor forteller oss at året med mest nedbør ikke alltid betyr at man får mest overløpsutslipp. Overløpsutslippet avhenger av det innkommende avløpsvannets mengde, men også nedbørintensitet. Dette tyder på at 2014 inneholdt mye nedbør, og at intensiteten har holdt seg lav.

Resultater fra tidsseriesimuleringer av år 2010 til og med år 2014 etter frakobling av takvann i 5 av 43 catchments

Etter tidsseriesimuleringer i ROSIE er følgende resultater hentet fra Mike Views resultatfunksjoner.

Table 22 Data fra avløpsmodellen etter årssimuleringer med nedbørsdata fra 2010 til og med 2014, etter frakobling av takvann i fem av 43 avløpsfelt i modellen.

2010	Mengde	Benevning
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	436217	m ³
Utslippsvolum fra overløp	2247	m ³
Prosentandel av tilstrømming som går i overløp	0,52 %	
Maksimal vannføring under det største overløpet	577	l/sek
Antall nedbørshendelser som gav overløp	17	stk

2011	Mengde	Benevning
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	504738	m ³
Utslippsvolum fra overløp	7064	m ³
Prosentandel av tilstrømming som går i overløp	1,40 %	
Maksimal vannføring under det største overløpet	596	l/sek
Antall nedbørshendelser som gav overløp	16	stk

2012	Mengde	Benevning
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	477962	m ³
Utslippsvolum fra overløp	2249	m ³
Prosentandel av tilstrømming som går i overløp	0,47 %	
Maksimal vannføring under det største overløpet	478	l/sek
Antall nedbørshendelser som gav overløp	19	stk

2013	Mengde	Benevning
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	454219	m ³
Utslippsvolum fra overløp	3151	m ³
Prosentandel av tilstrømming som går i overløp	0,69 %	
Maksimal vannføring under det største overløpet	525	l/sek
Antall nedbørshendelser som gav overløp	14	stk

2014	Mengde	Benevning
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	484298	m ³
Utslippsvolum fra overløp	1702	m ³
Prosentandel av tilstrømming som går i overløp	0,35 %	
Maksimal vannføring under det største overløpet	249	l/sek
Antall nedbørshendelser som gav overløp	14	stk

Table 23 Total mengde tilstrømming til overløp, og total mengde utslipp fra overløp til Akerselva i perioden 2010 – 2014, etter frakobling av takvann i fem av 43 catchments.

2010 – 2014	Mengde	Benevning
Total tilrenning fra Sandaker til overløp 2010 – 2014	2357434	m ³
Totalt overløpsutslipp 2010 - 2014	16413	m ³
Utslippsandel	0,70 %	
Antall nedbørshendelser som gav overløp	80	stk

Dersom man sammenligner resultatene i Table 20 med resultatene i Table 22, ser man at frakoblingen av takvann har en reduserende effekt på overløp. Man kan se at det fører til en reduksjon i maksimal vannføring i overløpet.

Utslippsandelen per tilrenning er også redusert for samtlige årssimuleringer. Dette betyr at reduksjonen i overløpsutslipp er større enn reduksjonen i tilrenning. Til eksempel var tilrenningen i 2010 på 482 307 m³, og utslippet var 3809 m³. Frakoblingen av takvann reduserer tilrenningen med 10 % til 436 217 m³, som fører til en reduksjon i utslipp på 42 % til 2247 m³.

Figure 36 nedenfor viser at en frakobling av bare 5 catchments, som utgjør 5,6 % av avrenningen på Sandaker, vil redusere overløpsutslippet av forurenset overvann til Akerselva med nærmere 30 %. Dette sier oss noe om hvilken effekt et LOD-tiltak potensielt kan ha. Reduksjonen i overflateareal utgjør nesten 6 ganger så stor reduksjon i utslipp fra overløpskummen.

Fra 2010 til og med 2014 ble det sluppet ut om lag 16 000 m³ avløpsvann til Akerselva fra overløpskum AK40 på Sandaker (Table 23 ovenfor). Dette tilsvarer 0,7 % av den totale vannføringen i oppsamlingsledningen.

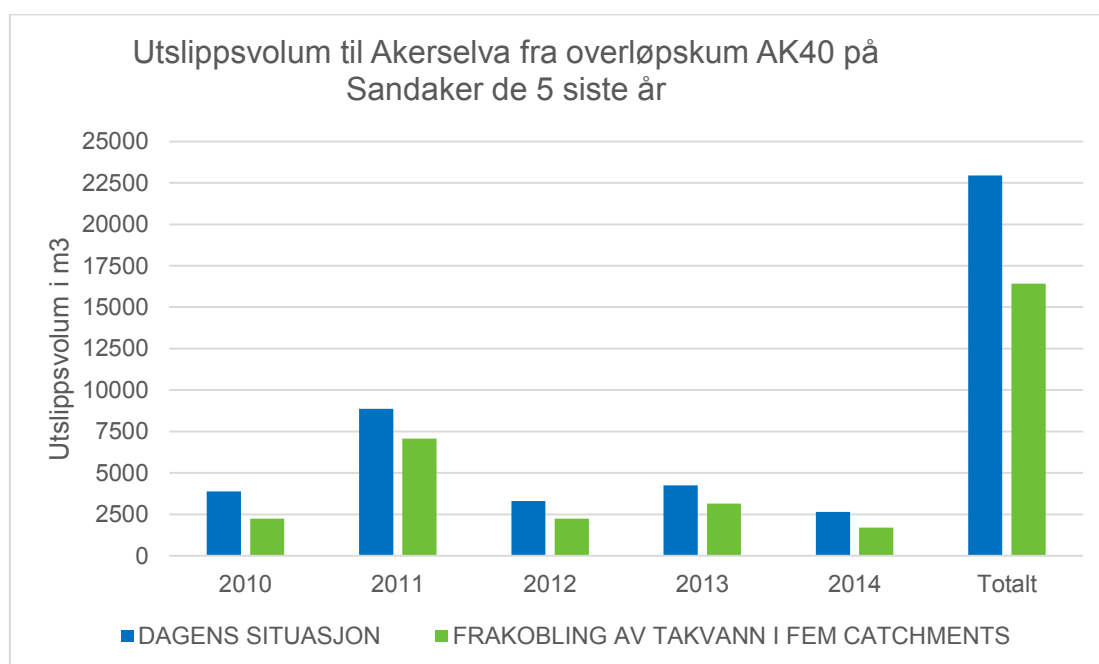


Figure 36 Årlig utslipp av avløpsvann fra overløp AK40 på Sandaker de fem siste år etter frakobling av takvann i 5 av 43 catchments.

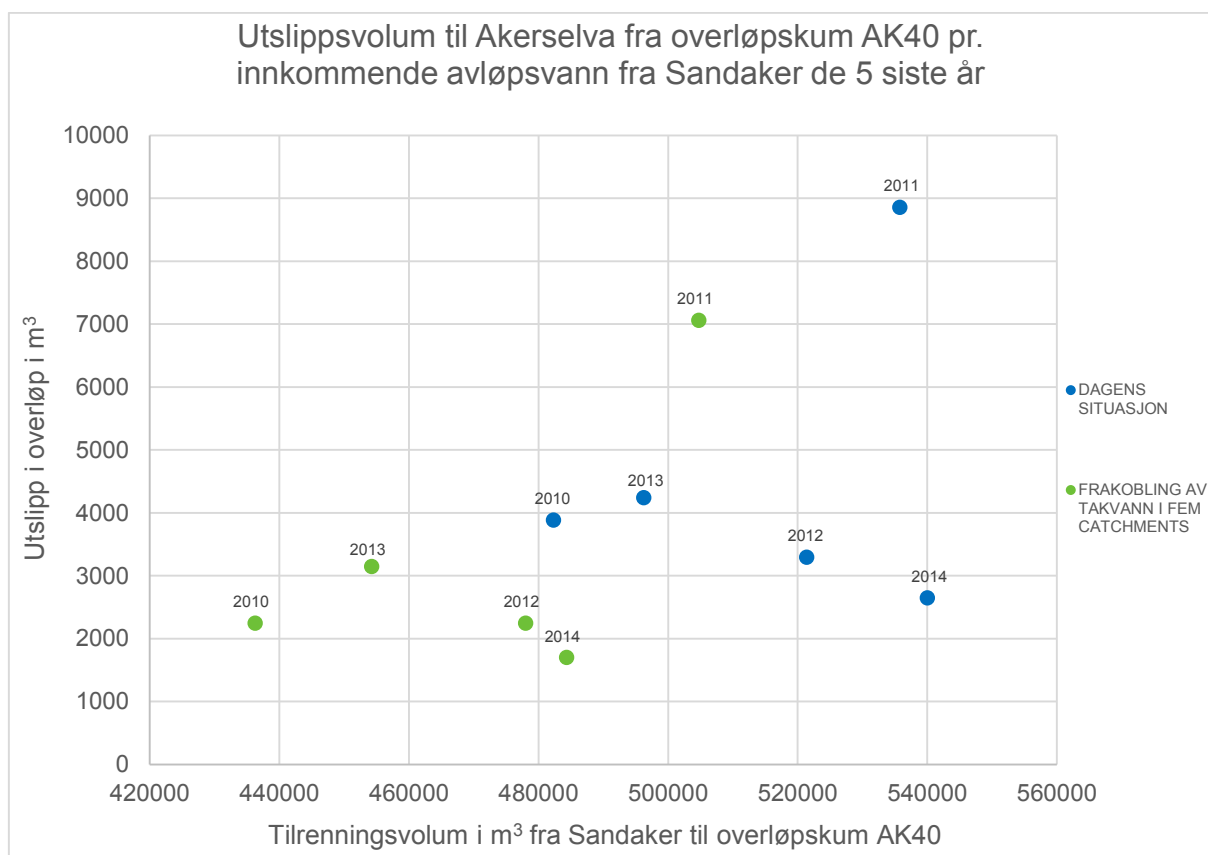


Figure 37 Blått illustrerer utslippsvolumet til Akerselva fra overløpskum AK40 pr. innkommende avløpsvann fra Sandaker de 5 siste år. Grønt illustrerer en reduksjon i tilrenning og overløpsutslipp etter en frakobling av takvann i de fem catchmentene som påvirker oppstuvningen.

I Figure 37 ovenfor er utslippet til Akerselva fra overløpskum AK40 plottet mot tilrenningen til overløpskummen fra catchmentene på Sandaker per år i 2010 – 2014.

Figuren viser resultater før og etter frakoblingen av takarealet i 5 av 43 catchments. Vi ser av figuren at en frakobling av takvann, som tilsvarer 5,6 % av avrenningen, har en god reduserende effekt på overløpsutslipp.

Figuren viser at reduksjonen av utslipp ved takvannsfrakobling er størst for simuleringen av 2011, som er året med størst utslipp. Reduksjonen av utslipp i 2011 er nær dobbel så stor som reduksjonen av utslipp for 2014, som er året med minst utslipp.

Figuren viser at årene med størst reduksjon av tilrennende vannføring ikke nødvendigvis har den største reduksjonen i utslipp til Akerselva.

Reduksjon i overløpsutslipp etter frakobling av takvann I 5 av 43 catchments

Table 24 Samlet overløpsutslipp for de fem år før og etter frakobling av takvann, samt total reduksjon i volum og i prosent av utslippet med dagens avløpssituasjon

Samlet overløpsutslipp for de fem år simuleringene

Dagens avløpssituasjon	22945	m ³
Etter frakobling av takvann i fem av 43 catchment	16413	m ³
Frakoblingens reduksjon i overløpsutslipp	6532	m ³
Frakoblingens reduksjon i overløpsutslipp i prosent	28,5 %	

Under et kraftig nedbør er overløpsutslippet svært følsomt for endringer i overflateareal. Frakobling av takvann i 5 av 43 catchments vest for Grefsenveien, som tilsvarer 5,6 % av det totale arealet i avløpsfeltet, fører totalt til en reduksjon i utslipp av avløpsvann fra overløpskum AK40 på 28,5 % (Table 24).

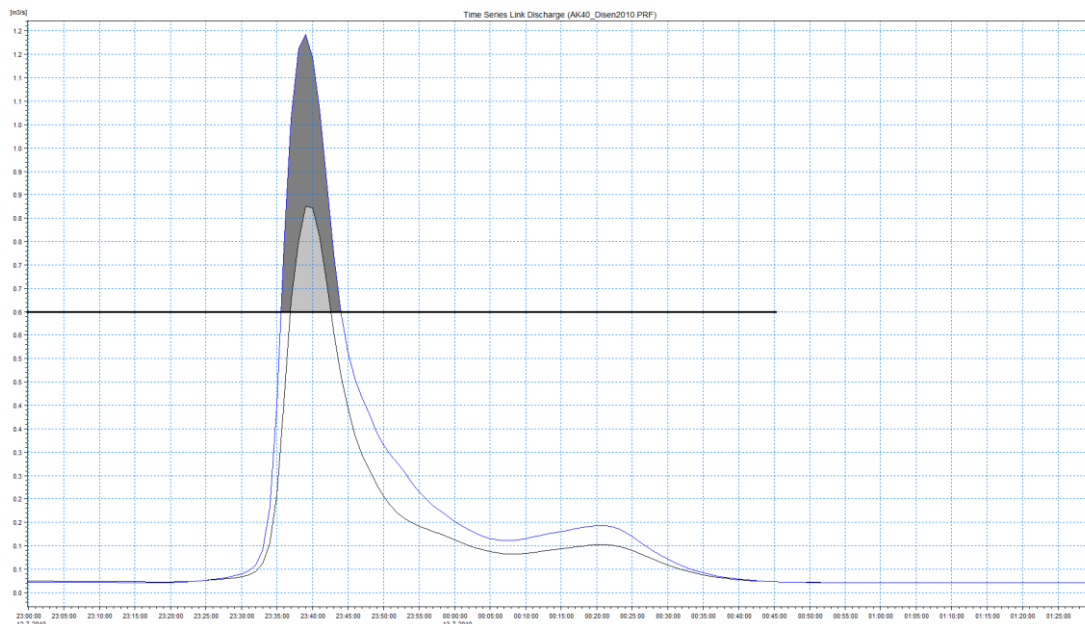


Figure 38 Her vises tilrenningen til overløpskum AK40 for det største regnet i 2010 etter en simulering i ROSIE med og uten en endring i avrenningskoeffisient. En tenkt overløpsinnstilling er markert for å illustrere overløpsutslippet. Vi ser at utslippet er svært følsomt for arealendringer.

Del 3 – Kjelleroversvømmelser og overløpsutslipp til vassdrag etter et 30årsregn

Simulering av et 30årsregn under dagens avløpssituasjon gav 50 kjelleroversvømmelser, og et utslipp på om lag 1800 m³. 12 % av nodene i ledningsnettet tåler ikke et 30årsregn.

Table 25 - Data fra simulering av 30årsregn.

30årsregn	Mengde	Benevning
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	22775	m ³
Utslippsvolum fra overløp	1755	m ³
Prosentandel av tilrenning som går i overløp	7,71 %	
Kjelleroversvømmelser i feltet	50	stk

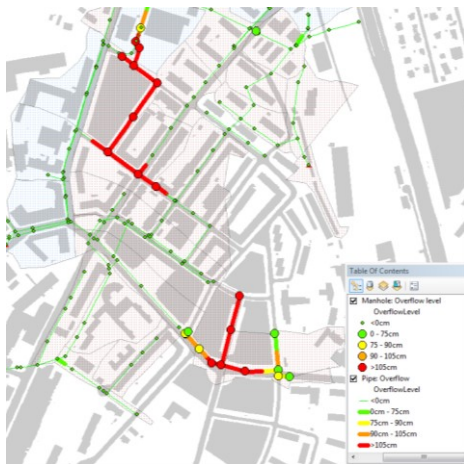


Figure 39 Simulering av 30årsregn

Simulering av et 30årsregn med frakobling av fem felts takvann gav 29 kjelleroversvømmelser og et utslipp på om lag 1600 m³

Table 26 Data fra simulering av 30årsregn etter frakobling av takvann i fem felt, av totalt 43 felt.

30årsregn - Takvannsfrakobling i 5 catchment	Mengde	Benevning
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	22717	m ³
Utslippsvolum fra overløp	1620	m ³
Prosentandel av tilrenning som går i overløp	7,13 %	
Kjelleroversvømmelser i feltet	29	stk



Figure 40 Simulering av 30årsregn etter takvannsfrakobling i påvirkende catchments

Simulering av et 30årsregn etter klimapåslag gav 73 kjelleroversvømmelser og et utslipp på om lag 3200 m³. 20% av nodene i ledningsnettet tåler ikke et 30årsregn med 50 % klimapåslag.

Table 27 Data fra simulering av 30årsregn med klimafaktor.

30årsregn klimafaktor	Mengde	Benevning
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	24724	m ³
Utslippsvolum fra overløp	3170	m ³
Prosentandel av tilrenning som går i overløp	12,82 %	
Kjelleroversvømmelser i feltet	73	stk



Figure 41 Simulering av 30årsregn med 50% klimapåslag

Simulering av et 30årsregn med frakobling av takvann i fem catchment og et klimapåslag gav 33 kjelleroversvømmelser og et utslipp på om lag 2800 m³

Table 28 Data fra simulering av 30årsregn med klimafaktor etter frakobling av takvann i fem felt, av totalt 43 felt.

30årsregn klimafaktor tiltak	Mengde	Benevning
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	24646	m ³
Utslippsvolum fra overløp	2791	m ³
Prosentandel av tilrenning som går i overløp	11,32 %	
Kjelleroversvømmelser i feltet	33	stk



Figure 42 Simulering av 30årsregn med 50% klimapåslag etter takvannsfrakobling i fem catchments

Reduksjon i kjelleroversvømmelser og overløpsutslipp etter frakobling av takvann i 5 av 43 catchments for et 30årsregn

Table 29 Reduksjon av kjelleroversvømmelser og overløpsutslipp til Akerselva for et 30årsregn etter frakobling av takvann i 5 av 43 catchments.

Reduksjon av kjelleroversvømmelser ved 30årsregn etter takvannsfrakobling

Dagens avløpssituasjon	42 %
Klimapåslag	55 %

Reduksjon av overløpsutslipp ved 30årsregn etter takvannsfrakobling

Dagens avløpssituasjon	8 %
Klimapåslag	12 %

Resultatet i Table 29 viser at reduksjonen er størst for frakobling under klimapåslag. Dette er ikke logisk, men kan forklares ved at det nye oppstuede området ikke blir dempet av frakoblingen.

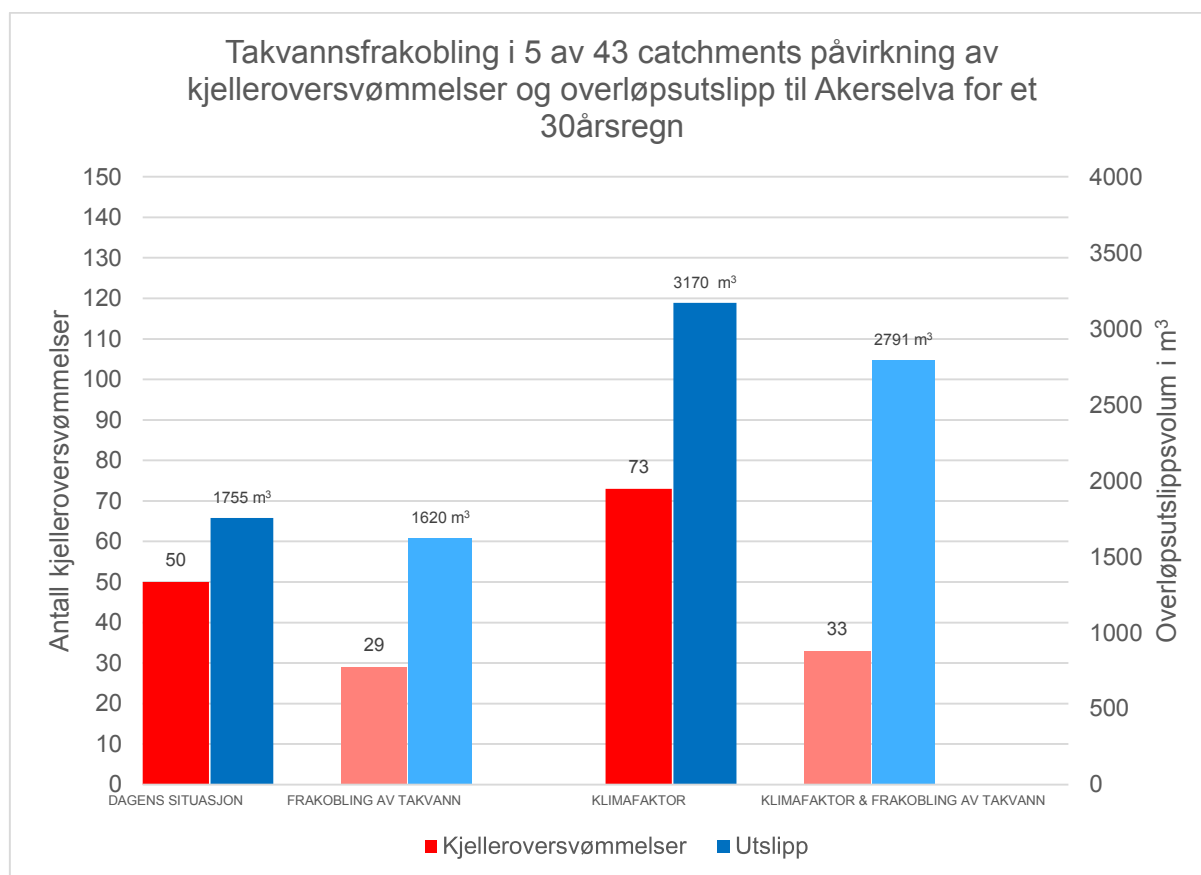


Figure 43 Antall kjelleroversvømmelser som oppstår og mengde overløpsutslipp til vassdrag etter et 30årsregn

Diskusjon

De høye anslagene for kjelleroversvømmelser som modellen gir stemmer ikke 100% med virkeligheten. Av de potensielt 90 kjelleroversvømmelsene som er simulert i avløpssystemet for de siste 5 års nedbørsdata, er nesten ingen kjelleroversvømmelser innmeldt til Oslo Kommune. Da modellen likevel er kalibrert for vannføring i rør, kan det antas at kjellernivået i de fleste bygninger på Sandaker ligger høyere enn 90cm over topp rør. Det antas også at de fleste kjelleroversvømmelser ikke meldes inn til Oslo Kommune av ulike grunner (Se Table 30 side 67)

Både måten vannet fordeles i catchmentene på, og modellen i seg selv har store avvik fra den virkelige situasjonen under et nedbør (side 37). Overløpsutslippene korrelerer bra med virkeligheten (side 39). Dersom avløpsfeltet var lik modellen, alt overvann ble fordelt på de 43 catchmentene, samtlige husnummer hadde laveste avløpsåpning nøyaktig 90 cm over topp rør i stikkledningens forgreningspunkt, ville resultatene i denne oppgaven inntreffe med en mindre grad av usikkerhet.

Kjelleroversvømmelser

Dagens avløpssituasjon

Ut fra resultatene fra 2010 til 2014, er det kun én del av ledningsnettets på Sandaker som blir betydelig oppstuvet med dagens avløpssituasjon. Området ligger vest for Grefsenveien og innebærer rør og kummer i Nordlandsgata, Amtmann Meinichs Gate og Birch-Reichenwalds gate. Boligkvartalet vest for Nordlandsgata gir antagelig mer avrenning i modellen enn den gjør i virkeligheten. I Amtmann Meinichs gate nr. 3, 5 og 7 ble det i 2010 innmeldt skader etter kjelleroversvømmelser (Table 30). Dette bekrefter at oppstuvningen som oppstår i modellen sammenhenger med den reelle situasjonen.

Klimapåslag

Simulert avløpsnett for fremtidig klima, blir problemene betydelig forverret. Som nevnt i Feilkildekapittelet på side 37 er antallet kjelleroversvømmelser som oppstår etter simuleringer med klimapåslag mindre enn det skal vere. På grunn av et begrenset antall simuleringer er det kun disse 8 nedbørene, som under dagens avløpssituasjon fører til kjelleroversvømmelser (side 41) som er valgt ut. Det er derfor grunn til å anta at modellen vil gi flere kjelleroversvømmelser ved ytterligere simuleringer utover de 8, og at forholdstallet mellom antallet kjelleroversvømmelser med og uten 50% klimafaktor er lavere enn det er i virkeligheten. Det kan antas at området vest for Grefsenveien er området med mest oppstuvning, men en del av avløpsnettets sørøst i Sandakerfeltet blir også oppstuvet betydelig etter et klimapåslag på 50 % (Figure 26 side 46). Ut i fra simuleringene har området mest sannsynlig utgangspunkt i rør og kummer ved Hans Nielsen Hauges plass i Hans Nielsen Hauges gate (Figure 4). Resultatene viser at oppstuvningen kun skjer der tilførende ledninger treffer AF-ledningen i Hans Nielsen Hauges gate.

Overløpsutslipp til vassdrag

Årssimuleringer for 2010 – 2014 viser at resultatene for overløpsutslipp stemmer overens med gjennomsnittet for Oslo kommune som er på 1 % av tilrenningen. Modellens estimat for overløpsutslipp kan dermed sies å være god. Fysiske målinger viser at overløpsutslipp til Akerselva oppstår svært ofte (Oslo Kommune 2015a).

Overløpet i AK40 er ikke tilstrekkelig dimensjonert for dagens klima. Resultatene etter simuleringer viser at det allerede i dag oppstår langt flere overløpshendelser i overløpskum AK40 enn hva VAV har ønske om. VAV jobber mot at hver eneste overløpskum kun skal tre i kraft hvert 3. år. Dette er et langsiktig mål for VAV og er ifølge både simuleringer (Table 21) og målinger (2015b) ikke nådd per i dag. Det anbefales til senere å utføre årssimuleringer for perioden 2010 – 2014 med klimapåslag. Det er ikke gjort i denne oppgaven. En simulering av alle årene med klimapåslag vil være et sikrere estimat enn simuleringer for de 8 største nedbørehendelsene.

30årsregn

Et 30årsregn er det kraftigste regnet som inntreffer i løpet av 30 år. Et klimapåslag på 50% på et 30årsregn har en nedbørintensitet som tilsvarer et gjentaksintervall på mer enn 200 år (Figure 13). Vi ser av resultatene at et 30årsregn, på samme måte som noe av nedbøren i 2010 – 2014 med klimapåslag, fører til oppstuvinger to steder i modellen over Sandaker.

Ledningsnettets på Sandaker tåler ikke et 30årsregn. Simuleringer av 30årsregn viste at 12 % av nodene fikk oversvømmelser over 105 cm over topp rør (side 58), som potensielt kan føre til klimaproblem som kjelleroversvømmelser. med et klimapåslag på 50 % vil over 20 % av nodene i avløpsmodellen få oversvømmelser over 105 cm over topp rør (side 59).

En simulering av et 30årsregn, spesielt med et klimapåslag, fører til at avløpssystemet raskt fylles med mye vann, som oppstaves spesielt rundt modellens oppsamlingspunkt (Se Connection points side 37).

Overløpskum AK40

Totalt i de fem siste år slippes det ifølge modellen ut omlag 23 000 m³ avløpsvann (Table 21) til Akerselva fra overløpskum AK40 på Sandaker. Dette tilsvarer omlag 0,9 % av den totale vannføringen i oppsamlingsledningen. Gjennomsnittelig overløp for overløpskummer ved vassdrag i Oslo Kommune er 1 % (Oslo Kommune 2015a). Dette tyder på at modellen for overløpsutslipp har en nær sammenheng med virkeligheten.

Resultatet av tilrenningen til Overløpskum AK40 varierer sterkt. I 2011 slippes nærmere 9000m³ avløpsvann ut i Akerselva, langt over dobbelt så mye som de andre fire årene. Dette kommer av at nedbøret varierer mye mellom de valgte årene. (se Fremstillinger av nedbør på side 71 - 75).

2014 er det året med mest tilrenning. Likevel har dette året minst overløpsutslipp. Årsaken til at overløpsutslippet er så lavt i 2014 selv om det er dette året som har mest nedbør og innkommende avløpsvann til overløpskum (Table 20, side 51), kan forklares ved at nedbøren

dette året har en lavere intensitet. Det kan man se på den grafiske fremstillingen av nedbørsintensiteten og overløpsutslippet for året 2014 på side 75. Her ser man at den lyseblå grafen illustrer en nedbørsintensitet for det største nedbøret i 2014, på om lag 65 mm/h. De andre årene har alle en nedbørsintensitet for den største nedbørshendelsen på 100 mm/h eller mer. VAV bekrefter det lave utslippet av forurenset avløpsvann i sin årsberetning for året 2014. 94% av prøvene tatt i øvre del av akerselva viste utmerket kvalitet (Oslo Kommune 2015d).

Frakobling av takvann

Frakobling av takvann bidrar i de to første ledd av Treleddstrategien (Figure 1). Simuleringer av 30årsregn viser at det ikke bidrar i like stor grad i det tredje leddet.

Avløpsledninger vest for Grefsenveien er ikke direkte tilkoblet det nedstrøms området i Hans Nielsen Hauges gate. Frakobling av takvann vest for Grefsenveien har derfor ingen påvirkning på oppstuvningen som oppstår der. Dette ser vi av Resultater etter frakobling av takvann i 5 av 43 catchments, side 43.

Frakobling av takvann i nedbørsfelt oppstrøms det berørte området vest for Grefsenveien har en god avlastende effekt på oppstuvningen under dagens nedbør uten klimapåslag. Samtlige kjelleroversvømmelser i modellen ble forhindret, noe som viser at å implementere frakobling av takvann i urbane områder som tiltak mot kraftig nedbør er har svært positiv effekt. På grunn av at det oppstår et nytt område med oppstuvning har ikke frakoblingen like god effekt på regn med klimapåslag.

Resultater etter frakobling av takvann i 5 av 43 catchments fra 2010 – 2014 viser at frakoblingen også forhindrer i gjennomsnitt 1300 m³ avløpsvann fra å nå Akerselva per år via overløpskummen AK40. På grunn av usikkerheter i takarealer er tallet i virkeligheten antagelig noe mindre.

Frakobling av takvann bidrar i de to første ledd av Treleddstrategien (Figure 1). Simuleringer av 30årsregn viser at det ikke bidrar i like stor grad i det tredje leddet. Ved en frakobling av takvann og LOD-tiltak for den oppstuede delen av Sandaker, kan også samtlige kjelleroversvømmelser forhindres. Det antas derfor at oppstuvende områder på Sandaker, og i lignende deler av Oslo, kan forhindres ved benyttelse av frakoblet takvann til LOD-tiltak. Frakoblingens effekt kommer veldig an på områdets arealfordeling. Det foreslås å benytte takvannsfrakobling til å løse problemene som oppstår i dag. Senere bør man se på å frakoble takvann i ytterligere områder.

Andre studier på modellering av avrenning og takvannsfrakobling i urbane områder (Myking 2012) har funnet at frakoblinger av takareal gir en 100 % reduksjon i kjelleroversvømmelser og kraftige overløpsutslipp. En grunn til at dette ikke er oppnådd i denne oppgaven er at frakoblingen som er modellert kun har omfattet en liten andel av takarealene. På tross av dette har frakoblingen av takvannet vist seg å utgjøre en stor forskjell i antall kjelleroversvømmelser, og også overløpsutslipp.

Konklusjon

Oslo vil i kommende tid møte økende klimautfordringer knyttet til overvannshåndtering. Dette skyldes en økning i nedbørsintensitet og en fortetting i urbane områder. Klimaendringene som venter vil medføre en flerdobling i antall kjelleroversvømmelser og en økning i overløpsutslipp til vassdrag og fjord.

Frakobling av takrenner og lokal disponering av takvannet har en stor effekt på forhindring av oppstuvninger av avløpsledninger og overløpsutslipp, og kan bidra til å forsinke problemene som oppstår av oversvømmelser og forurensing av resipienter.

Sandaker

Oppstuvningen i avløpsnettets på Sandaker er svært sensitiv ovenfor endringer av tette flater.

Ut i fra simuleringer gjort på avløpsnettets på Sandaker kan det antas at oppstuvninger etter kraftige nedbørsintensiteter vil inntreffe i to deler av ledningsnettets. Ytterligere utredninger anbefales for å se på mulighetene for å avlaste oppstuvningen i de to delene.

Endringen i klimaet vil påvirke antall kjelleroversvømmelser som oppstår på Sandaker betraktelig. Ved bruk av lokal overvannsdisponering vil det være mulig å redusere skadene som oppstår.

Frakoblingen av takflater er i seg selv en god løsning for Sandaker, men tiltak må vurderes lokalt. Frakobling av takvann i urbane områder løser ikke klimaproblemene, men bidrar til å forsinke de. For å forhindre overløpsutslipp til Akerselva tilrådes det å se på muligheten for å koble regnoverløpet, AK40, på eksisterende tunnelsystemer som fører overløpet til VEAS renseanlegg.

Anbefalinger til senere arbeid

Til videre arbeid foreslås det å simulere hendelsene med tiltak gjort i flere av catchmentene. Slik kan man se hvordan tiltak som frakobling av takvann i det andre oppstuede området påvirker antall oppstuvninger og kjelleroversvømmelser i området, samt antall overløpshendelser og mengder.

Både kjelleroversvømmelsene, og overløpsutslippene anbefales å simuleres for flere scenario. Spesielt for simuleringer av kjelleroversvømmelsene er det i denne oppgaven brukt ufullstendige data. Det vil oppstå flere kjelleroversvømmelser i modellen ved simuleringer av nedbørshendelser ut over de utvalgte 8 nedbørshendelsene.

Det er mye økonomi knyttet til dette temaet. VAV må ta en avveining av hvilket tiltak som er av best samfunnsøkonomisk fornuft å gjennomføre. Den metoden som ofte blir brukt til dette er netto nåverdi.

Kilder

- Abdi, S. (2015). *Samtaler med Samatar Abdi v/ Seksjon Utredning i VAV*. Oslo (13.03.2015).
- Ann-Kristin Devik. (2015). *Oversvømmelser i AK40s nedbørsfelt*. AK40 Ola Master.ex (red.). Oslo Kommune. Tabell i Excel, med oversikt over innmeldte skader på husstander på Sandaker som følge av oppstuvning i avløpsnettet s.
- Braskerud, B. C. & Skallebakke, O. P. (2013). Frakobling av takrenner fra kommunalt nett - Flomdemping i små nedbørsfelt. *Exflood*.
- Braskerud, B. C. (2014). Grønne tak og styrtegn I: Johnsrud, M. (red.). *Effekten av ekstensive tak med sedumsvegetasjon for redusert avrenning etter nedbør og snøsmelting i Oslo*. Oslo.
- Braskerud, B. C. (2015). *Samtaler med Bent C. Braskerud, Sjefsingeniør i VAV* (20.04.2015).
- Buhler, L. (2013). *Analysis of climate change impacts on Rustadfield with calibrated model*. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Institutt for matematiske realfag og teknologi. 108 s.
- Christoffersen, B. (2015). *Samtaler med Bjørn Christoffersen v/ Seksjon Utredning i VAV* (03.2015).
- Drammensregionen IKT. (2011). *Gemini VA*. <http://www.d-ikt.no/>: Drammensregionen IKT. Tilgjengelig fra: <http://www.d-ikt.no/Hva-gjor-vi/Systemer/Tekniske-tjenester/Gemini-VA/> (lest 08.05).
- Google Maps. (2015). *Sandaker, med gatenavn*.
- Haga, I. T. (2011). *Analyse av klimaendringers virkninger på overvannsnettet i Bogaffellfeltet, Sandnes Kommune - En casestudie*. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Institutt for matematiske realfag og teknologi. 72 s.
- Harstveit, K. E. (2009). *Pluviograf*. Meteorologisk Institutt (red.). Store Norske Leksikon: Store norske leksikon.
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. I: Change, T. i. P. o. C.* (red.). *The Fifth Assessment Report (AR5)*. United Nations Framework Convention on Climate Change.
- Jørgensen, K. T. (2015). *Karina Tangeland Jørgensen v/GISseksjonen i VAV har bidratt med informasjon om påslippspunkt med populasjon i Gemini VA pr. 1. april 2015*.
- Kihle, O. F. (2013). *Fotografi av overløpskum AK40, Sandakerveien 60, 0477 Oslo, tatt under statusregistrering av overløpsmålere sommeren 2013.*, 26.07.2013.
- Kristian Vasskog, A. N., Helge Drange. (2009). *Havnivåstigning. Estimer av framtidig havnivåstigning i norske kystkommuner*.
- Martinsen, T. (2015). *Samtale med Thomas Martinsen, Funksjonsleder i FMA, Vann- og avløpsetaten* (21.04.2015).
- MIKE powered by DHI. (2014). *MIKE URBAN: Modelling & GIS for water in the city*. Tilgjengelig fra: <http://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-urban>.
- Myking, J. S. E. (2012). *Analyse av klimatilpassningstiltak : en casestudie av avløpsnettet i Veumdalen, Fredrikstad kommune*. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Institutt for matematiske realfag og teknologi. 138 s.
- NGU. (2015). *Infiltrasjonsevne på Sandaker, Oslo*.
- Norges forskningsråd. (2009). Fakta fra NORKLIMA. *Klimaendringer og konsekvenser for Norge - NORKLIMA* (1).
- Oddvar Lindholm, Svein Endresen, Sveinn Thorolfsson, Sveinung Sægrov, Guttorm Jakobsen & Lars Aaby. (2008). *Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering. I: Norsk Vann* (red.). *Rapport*, 162/2008. 79 s.
- Oddvar Lindholm, L. B., Jarle Bjerkholt. (2013). *Hva hvis monsterregnet fra 2. juli 2011 i København falt i Norge. VANN* (nr. 3).

- Oslo Kommune. (2006). *Abonnementsbetingelser ved tilknytning til kommunens vann- og avløpsledninger. Lover og regler*. Vann- og avløpsetaten: Vedtatt av Oslo Bystyre 15.3.2006.
- Oslo Kommune. (2014). *Hovedplan Avløp & Vannmiljø 2014 - 2030*. Oslo: Vann- og avløpsetaten. 89 s.
- Oslo Kommune. (2015a). *Fagrappport 2014*. Oslo: Vann- og avløpsetaten. 66 s. Upubliseret manuskript.
- Oslo Kommune. (2015b). *Overløpsmåling AK40, juni - november 2010 gjort av Funksjon målegruppe avløp*. Pham, A. & Martinsen, T. (red.). Funksjon Målegruppe Avløp: Vann- og avløpsetaten i Oslo Kommune.
- Oslo Kommune. (2015c). *Utklipp fra Gemini VA, som viser stikkledninger med forgreningspunkt, for område 1 og 2*. Oslo Kommune: Vann- og avløpsetaten.
- Oslo Kommune. (2015d). *Årsberetning 2014*. Kristiansen, P. Oslo: Vann- og avløpsetaten. 60 s.
- Plan- og bygningsloven. (1997). *Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk av 22.1.1997*.
- Popov, I. (2015). *Telefonsamtaler med Igor Popov, Seniorprogrammerer i Rosim AS (Modelleringshjelp i ROSIE) (27.03.2015)*.
- RegClim. (2002). *Pressemelding fra Reg Clim* [webpage]. Regional Climate Development Under Global Warming: regclim.met.no. Tilgjengelig fra: http://regclim.met.no/presse/Pressemelding_2002.htm (lest 07.05).
- Rosim AS. (2014a). *Modellering av vann- og avløpsnett: ROSIM*. Tilgjengelig fra: <http://web.rosim.no/index.php/produkter-2/desktop/rosie/> (lest 21.03).
- Rosim AS. (2014b). *Rosie*, 03.03.2015: Rosim AS.
- Rossmann, L., Schade, T., Sullivan, D., Dickinson, R., Chan, C. & Burgess, E. (2010). *Storm Water Management Model*. 5.0 utg. User's manual version 5. Cincinnati United States: United States Environmental Protection Agency.
- SSB. (2015). *4. kvartal 2014. Folkemengde og befolkningsendringar*: Statistisk Sentralbyrå. Tilgjengelig fra: <http://www.ssb.no/218464/folkemengd-1.januar-og-endringane-hittil-i-%C3%A5r.heile-landet-fylke-og-kommunar>.
- Stein Tore Asp. (2015). *Samtaler med Stein Tore Asp v/ ATR i VAV* (20.03.2015).
- Thorolfsson, S. T. (2014a). *Oppsamling og transport av avløpsvann*. I: Ødegaard, H. (red.) *Vann- og avløpsteknikk*, s. 322: Norsk Vann.
- Thorolfsson, S. T. (2014b). *VA-Hydrologi*. I: Ødegaard, H. (red.) *Vann- og avløpsteknikk*, s. 45: Norsk Vann.
- VAV. (2015). *ArcMap 10.1 screenshot.png*.
- Øyen, E. (2015). *Samtaler med Erik Øyen, byggeleder i VAV* (21.04.2015).

Vedlegg

Tabell over skader etter oversvømmelser i AK40s avløpsfelt m/forklaring

Table 30 Oversikt over oversvømmelser i kjellere i AK40s nedbørsfelt (Ann-Kristin Devik 2015).

Saksnummer	01/00123	02/03553	09/04389	Ukjent	10/01395
Adresse	Grefsenveien		Sandakerveien	Ivan Bjørndals gate	Amtmann Meinichs gate
Husnr	19		67		9 3,5 og 7
Antall skademeldinger	2		1		1
Meldt av	IEF	IEF	IEF	GEM/ATR	IEF
Antall krav					1 felleskrav
Dato	03.08.2000	10.07.2002	16.07.2009	07.06.2011	26.01.2010
Årsak	Ukjent	Ukjent	Kloakkstopp på kommunal ledning	Ukjent, antakelig problemer på privat ledning.	Kloakkstopp på kommunal ledning
Kommentar	Avslag på erstatningskrav: det finnes ikke historikk på at det har vært problemer på avløpsnettet i området.	Avslag på erstatningskrav: VAV har ikke registrert meldinger, kapasitetssvikt eller stopp på gjeldene ledning i angitt tidsrom.			Erstatningsbeløp utbetalt. Avløp strømmet fra kum og inn i garasjeanlegg.
Meldt av					
IEF = Installasjons og erstatningsfunksjonen.					
ATR = Avløpstransport					
GEM = Gemini melding.					

Grunner til at VAV ikke innehar fullstendig oversikt over alle kjelleroversvømmelser som oppstår på ledningsnettet

- Kjelleroversvømmelsen er av et så lite skadeomfang at abonnenten ikke har et erstatningsbehov.
- Forsikringsselskap vil ikke kontakte kommunen da det er fare for dyre saksomkostninger. Saker om skyldspørsmål ved kjelleroversvømmelser tar mellom 2 måneder og 2 år.
- Oversvømmelsen er meldt i fra til VAV på grunn av erstatningskrav eller til informasjon, men ikke meldt fra videre til VAVs register, da det ikke finnes prosedyrer for dette i VAV pr. i dag.
- Kjelleroversvømmelsen er av et så lite omfang at den ikke oppdages av abonnenten.

Personlig meddelelse 15.04.2015 fra Ann-Kristin Devik (2015) & Stein Tore Asp (2015)

Kumkart over AK40

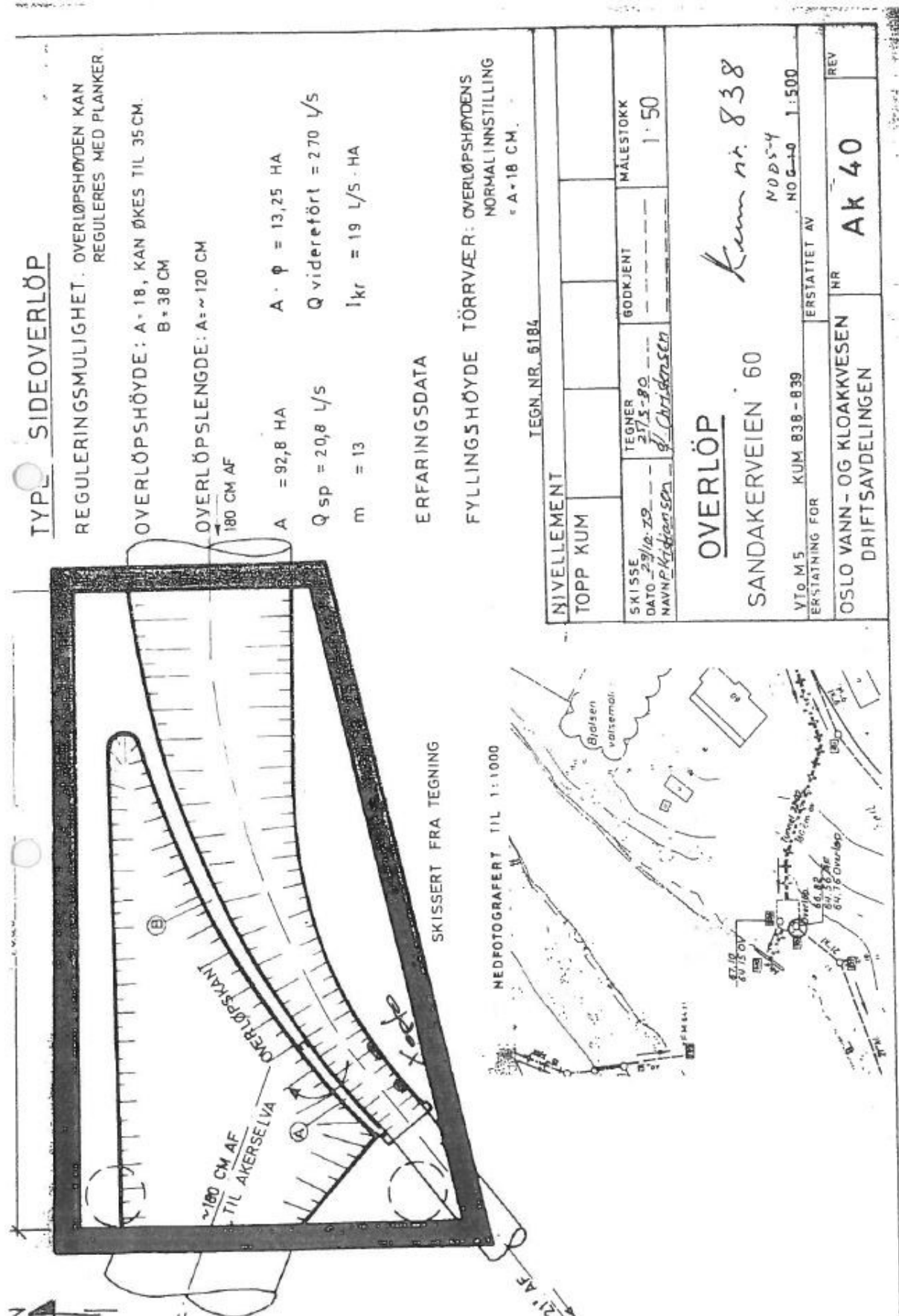


Figure 44 Kumkort over overløpskum AK40.

Nedbørsmåleren på Disen nedbørstasjon



PRECIPITATION SENSOR

acc. to Joss-Tognini



Grown out of experience!

- controlled three-circuit heating
- 2- and 4 cm³-volume of bucket
- no plastics at measuring parts



A uniquely brilliant idea... lies behind the sensor (1518 H3). Not only are collecting and drain funnel heated, but also the collecting ring. Here, the snow is thawed so that the snow fall is measured promptly. The new electronically regulated three-circuit heating device minimizes evaporation effects. Several thousand of these sensors are in use world-wide.

- suitable in high mountain areas
- constant operating temperature 4°C +/- 1°C for accurate measurement
- 2 or 4 cm³ high-quality stainless steel buckets
- absolutely weather-proof
- easy installation
- simple handling

meteorological reference device • automatic and high mountain area weather station • classical meteorology and hydrology • with lysimeters • sewage plants • building systems • water management/agriculture • forestry

Professional Line

(1518 H3) Precipitation Sensors

Measuring element:	weighing tipping bucket • precision stainless steel bucket acc. to Joss-Tognini
Meas. range/ Resolution:	2 cm ³ -volume of bucket - 0.1 mm • 0...10 mm/min 4 cm ³ -volume of bucket - 0.2 mm • 0...20 mm/min
Accuracy:	± 2% with intensity compensation • controlled temperature 4 °C ± 1 °C within a range of -35...+4 °C
Collecting surface:	200 cm ² / WMO standard
Range of application:	operating temperatures -35...+70 °C
Date of heating:	electr. controlled three-circuit heating • 235 VA total heating energy • 100 VA for ring • 100 VA for collecting funnel • 35 VA for downpipe/ bucket • supply voltage 42 V _{AC}
Pulse output:	reed contact • polarity protected • bounce-free signal • current consumption max. 100 µA • typical 50 µA • load max. 30 V _{DC} / 0.5 A • supply voltage 4...30 V _{DC}
Housing/ Funnel + ring:	stainless steel • aluminium, anodized
Dimensions/ Weight:	H 494 mm • Ø 224 mm • for mounting pipe with Ø 60 mm • approx. 7 kg
Standards:	WMO-No. 8 • VDI 3786 page 7 • EN 50081/82 • VDE 0100
<u>Varieties:</u>	
00.15183.002 000	(1518 H3) Precipitation Sensor with 2 cm ³ -volume of bucket
00.15183.004 000	(1518 H3W4) Precipitation Sensor with 4 cm ³ -volume of bucket
<u>Accessories: (optional)</u>	(95666.1) TROPOS-100 Data logger (see chapter „Data logger“)

LAMBRECHT
meteo

Tel +49 (0) 551-4958-0
E-mail info@lambrecht.net

www.lambrecht.net

05.15

Figure 45 Nedbørsmåleren på Disen nedbørstasjon, er en vippepluviograf av typen Lambrecht. Det benyttes en variant av denne måleren med en beholder på 4cm³ som teller antallet ganger 0,2 mm faller pr. minutt.

Catchmentdata

Catchmentnr.	ID	CATCH TYPE	TOTAL AREA (ha)	BUILD AREA (ha)	ROAD AREA (ha)	FRV AREA (ha)	BUILD PCT	ROAD PCT	FRV PCT	PERSON	BUILD FACT	ROAD FACT	FRV FACT	PERSON FACT	HWYV LOT	HWYV PCT	
1	4692	Andre felles	0,1833	0,0017	0,1052	0,0788	0,0011	0,0003	0,4317	42,847	0,5	0,5	0,5	1	1	15,0245	
2	Catchment 769	Andre felles	0,0046	0,0000	0,0032	0,0046	0,0000	0,0000	8,6343	4,3757	0,6	0,6	0,6	1	1	14,3757	
3	Catchment 767	Andre felles	0,0029	0,0000	0,0033	0,0029	0,0000	0,0000	7,0297	7,0297	0,6	0,6	0,6	1	1	14,3757	
4	Catchment 1085	Overvannsfelt	0,19519	0,0041	0,0372	0,1405	0,0038	0,0000	27,3838	72,6715	0,4	0,4	0,4	1	0	7,0097	
5	Catchment 1083	Overvannsfelt	0,0066	0,0000	0,0310	0,0066	0,0000	0,0000	73,2424	23,5236	0,4	0,4	0,4	0	0	27,5924	
6	Wegp. Dnr 383 2	Andre felles	0,8455	0,6777	0,2733	0,2956	0,4099	0,39287	5,92913	2,57713	0,5	0,5	0,5	1	1	76,3672	
7	Wegp. Dnr 384 2	Andre felles	1,4385	0,2929	0,1723	0,3373	0,0264	0,0000	39,9287	74,0287	0,5	0,5	0,5	1	1	41,2143	
8	Wegp. Dnr 381	Andre felles	0,9842	0,3842	0,1582	0,3873	0,0000	11,8488	53,8292	40,99	0,5	0,5	0,5	1	1	22,3278	
9	Wegp. Dnr 371 2	SeparatSystem	2,0388	0,1823	0,3384	1,5217	0,2923	0,1412	77,7282	71,4282	0,5	0,5	0,5	1	1	66,8486	
10	Wegp. Dnr 1 1 2	SeparatSystem	1,3707	0,4586	0,1030	0,9383	0,0000	33,0398	63,6503	25,2775	0,5	0,5	0,5	1	1	34,9308	
11	Wegp. Dnr 1 1 1	SeparatSystem	1,8705	0,6420	0,1632	0,4484	0,0000	42,4248	20,2016	26,2775	0,5	0,5	0,5	1	1	74,2272	
12	Wegp. Dnr 1 2 1 2	Andre felles	0,8488	0,2875	0,1972	0,4936	0,0000	32,3136	15,3132	4,6583	0,5	0,5	0,5	1	1	45,9113	
13	Wegp. Dnr 1 2 2 1	Andre felles	1,0514	0,2223	0,0457	0,5695	0,0000	42,4248	14,1107	11,8178	0,5	0,5	0,5	1	1	45,9113	
14	Wegp. Dnr 1 2 2 2 1	Andre felles	0,6719	0,2145	0,1053	0,4443	0,0000	18,0944	15,6912	8,39735	0,5	0,5	0,5	1	1	16,0247	
15	Wegp. Dnr 1 2 2 2 2 1	Andre felles	0,6569	0,1252	0,0282	0,5049	0,0000	17,4896	64,2154	64,2154	0,5	0,5	0,5	1	1	33,7846	
16	Wegp. Dnr 1 2 2 2 2 2 1 1 2	Andre felles	1,5222	0,7957	0,1548	0,7957	0,0000	30,1124	78,4028	43,8977	0,5	0,5	0,5	1	1	21,8972	
17	Wegp. Dnr 1 2 2 2 2 2 2 1 1 2 1	Andre felles	0,8463	0,4184	0,0830	0,7917	0,0000	30,1124	5,88831	1,80991	0,5	0,5	0,5	1	1	48,1143	
18	Wegp. Dnr 1 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2	Andre felles	0,8463	0,2181	0,1422	0,5959	0,0000	14,7465	61,2461	74,8091	0,5	0,5	0,5	1	1	38,7753	
19	Wegp. Dnr 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2	Andre felles	1,0469	0,4689	0,1894	0,4483	0,0000	42,0222	42,8869	42,8869	0,5	0,5	0,5	1	1	56,0248	
20	Wegp. Dnr 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1	SeparatSystem	1,0469	0,2986	0,0174	0,4486	0,0000	33,0398	62,4208	25,2775	0,5	0,5	0,5	1	1	34,9308	
21	Wegp. Dnr 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1	SeparatSystem	1,8707	0,4586	0,1030	0,9383	0,0000	33,0398	62,4208	25,2775	0,5	0,5	0,5	1	1	34,9308	
22	Wegp. Dnr 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2	SeparatSystem	1,8705	0,6420	0,1632	0,4484	0,0000	42,4248	20,2016	26,2775	0,5	0,5	0,5	1	1	74,2272	
23	Wegp. Dnr 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1	SeparatSystem	1,8705	0,6420	0,1632	0,4484	0,0000	42,4248	20,2016	26,2775	0,5	0,5	0,5	1	1	74,2272	
24	Wegp. Dnr 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1	SeparatSystem	1,8705	0,6420	0,1632	0,4484	0,0000	42,4248	20,2016	26,2775	0,5	0,5	0,5	1	1	74,2272	
25	Wegp. Dnr 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1	SeparatSystem	1,8705	0,6420	0,1632	0,4484	0,0000	42,4248	20,2016	26,2775	0,5	0,5	0,5	1	1	74,2272	
26	Wegp. Dnr 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1	SeparatSystem	1,8705	0,6420	0,1632	0,4484	0,0000	42,4248	20,2016	26,2775	0,5	0,5	0,5	1	1	74,2272	
27	Wegp. Dnr 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1	SeparatSystem	1,8705	0,6420	0,1632	0,4484	0,0000	42,4248	20,2016	26,2775	0,5	0,5	0,5	1	1	74,2272	
28	Wegp. Dnr 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1	SeparatSystem	1,8705	0,6420	0,1632	0,4484	0,0000	42,4248	20,2016	26,2775	0,5	0,5	0,5	1	1	74,2272	
29	Wegp. Dnr 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1	SeparatSystem	1,8705	0,6420	0,1632	0,4484	0,0000	42,4248	20,2016	26,2775	0,5	0,5	0,5	1	1	74,2272	
30	Wegp. Dnr 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1	SeparatSystem	1,8705	0,6420	0,1632	0,4484	0,0000	42,4248	20,2016	26,2775	0,5	0,5	0,5	1	1	74,2272	
31	Wegp. Dnr 1 2 1	SeparatSystem	1,8705	0,6420	0,1632	0,4484	0,0000	42,4248	20,2016	26,2775	0,5	0,5	0,5	1	1	74,2272	
32	Wegp. Dnr 1 2 1	SeparatSystem	1,8705	0,6420	0,1632	0,4484	0,0000	42,4248	20,2016	26,2775	0,5	0,5	0,5	1	1	74,2272	
33	Wegp. Dnr 575 1	Andre felles	1,2499	0,8428	0,2393	0,4028	0,0000	28,3178	16,9138	21,8538	0,5	0,5	0,5	1	1	39,7753	
34	Wegp. Dnr 575 2	Andre felles	0,8428	0,3938	0,1032	0,4944	0,0000	16,9138	21,8538	21,8538	0,5	0,5	0,5	1	1	48,1143	
35	Wegp. Dnr 574 1	Andre felles	1,2499	0,8428	0,2393	0,4028	0,0000	28,3178	16,9138	21,8538	0,5	0,5	0,5	1	1	39,7753	
36	Wegp. Dnr 574 2	Andre felles	0,8428	0,3938	0,1032	0,4944	0,0000	16,9138	21,8538	21,8538	0,5	0,5	0,5	1	1	48,1143	
37	Wegp. Dnr 574 1 2	Andre felles	1,2499	0,8428	0,2393	0,4028	0,0000	28,3178	16,9138	21,8538	0,5	0,5	0,5	1	1	39,7753	
38	Wegp. Dnr 574 2 2	Andre felles	0,8428	0,3938	0,1032	0,4944	0,0000	16,9138	21,8538	21,8538	0,5	0,5	0,5	1	1	48,1143	
39	Wegp. Dnr 30	Overvannsfelt	2,0180	0,1936	0,0379	1,5404	0,0000	5,6813	71,8484	88,8546	0,4	0,4	0,4	0	0	11,1443	
40	Wegp. Dnr 41	Overvannsfelt	1,0282	0,3845	0,1942	0,4684	0,0000	33,8174	30,0398	44,0675	0,4	0,4	0,4	0	0	53,9093	
41	Wegp. Dnr 64	Overvannsfelt	1,3023	0,1082	0,1082	0,7219	0,0000	53,1299	12,7	41,8601	0,3	0,3	0,3	0	0	41,8601	
42	Wegp. Dnr 64	Overvannsfelt	1,3023	0,4486	0,2054	0,8887	0,0000	27,2488	16,6904	5,6487	0,4	0,4	0,4	0	0	44,5107	
43	Wegp. Dnr 71	Overvannsfelt	1,3707	0,4545	0,1030	0,9392	0,0000	13,0193	6,65023	4,8998	0,4	0,4	0,4	0	0	34,9948	
44	Wegp. Dnr 680	Andre felles	0,5988	0,0568	0,2255	0,2683	0,0000	11,9282	49,5764	67,2253	0,5	0,5	0,5	1	1	52,4774	
4692																	
				0	30,0928	10,9184	4,70961	23,8931	105,0618	483,1386	261,8001	18,4	18,4	18,4	37,4	35	15,0245

Catchment med kombinert salpp og overvannsfelding (Avløp felles)
 Catchment med overvannsfelding
 Catchment med separate salpp og overvannsfeldinger (SeparatSystem)
 Catchment hvor råvann frikobles

Figure 46 Catchment- og avløpsdata for de 43 catchmentene som utgjør Sandakers avløpssystem, med fargeforklaring. (Data er hentet fra Catchment Layer-funksjon i ArcMap 10.1)

Fremstilling av overløpsutslipp over nedbørsdata i 2010

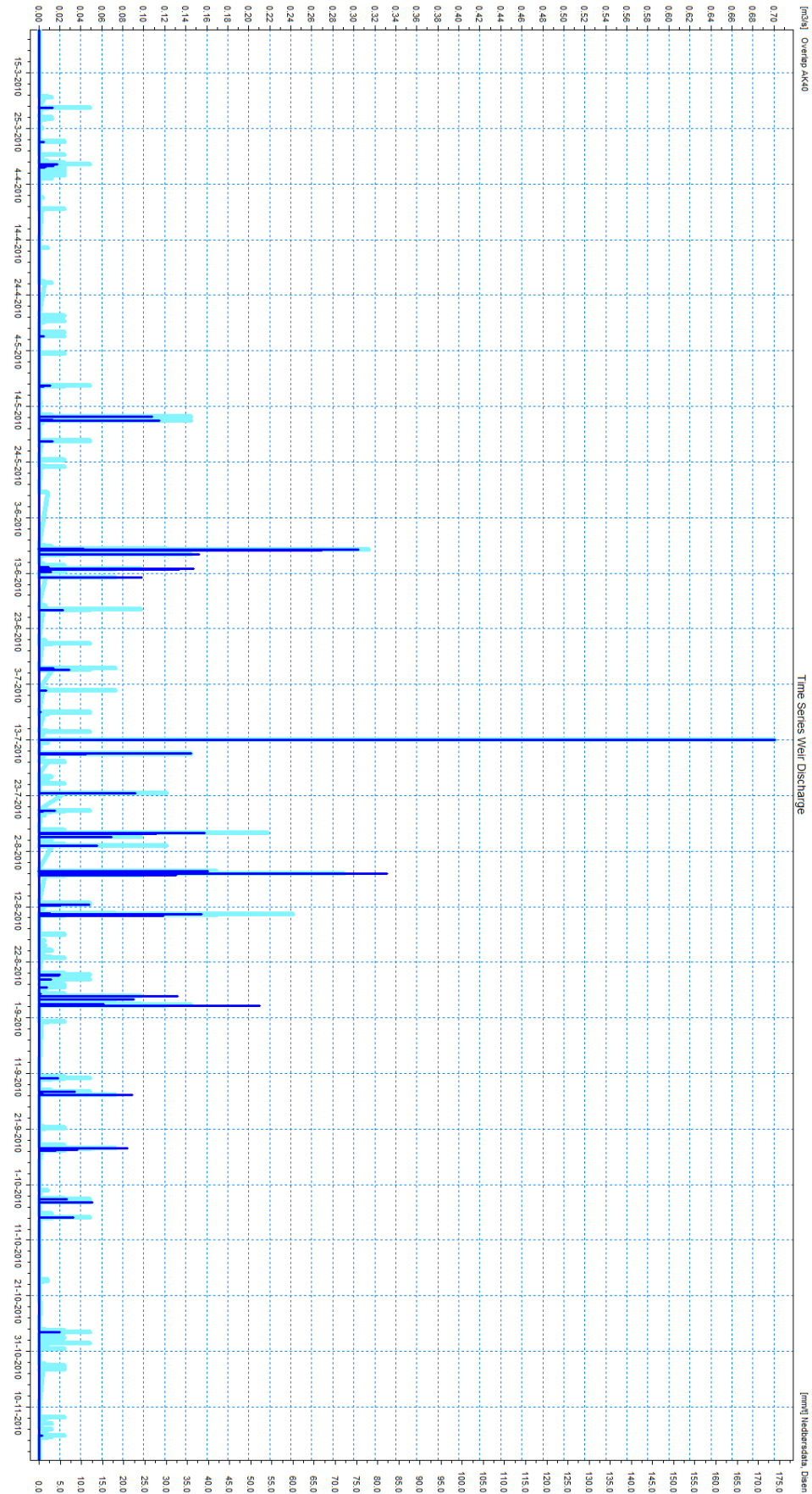


Figure 47 Fremstilling av nedbørsdata fra Disen nedbørsstasjon sammen med overløpsutslippet til Akerselva i avløpsmodellen året 2010. Lyseblått illustrerer nedbørsintensitet (mm/h). Mørkeblått illustrerer overløpsutslipp (m³/s)

Fremstilling av overløpsutslipp over nedbørsdata i 2011

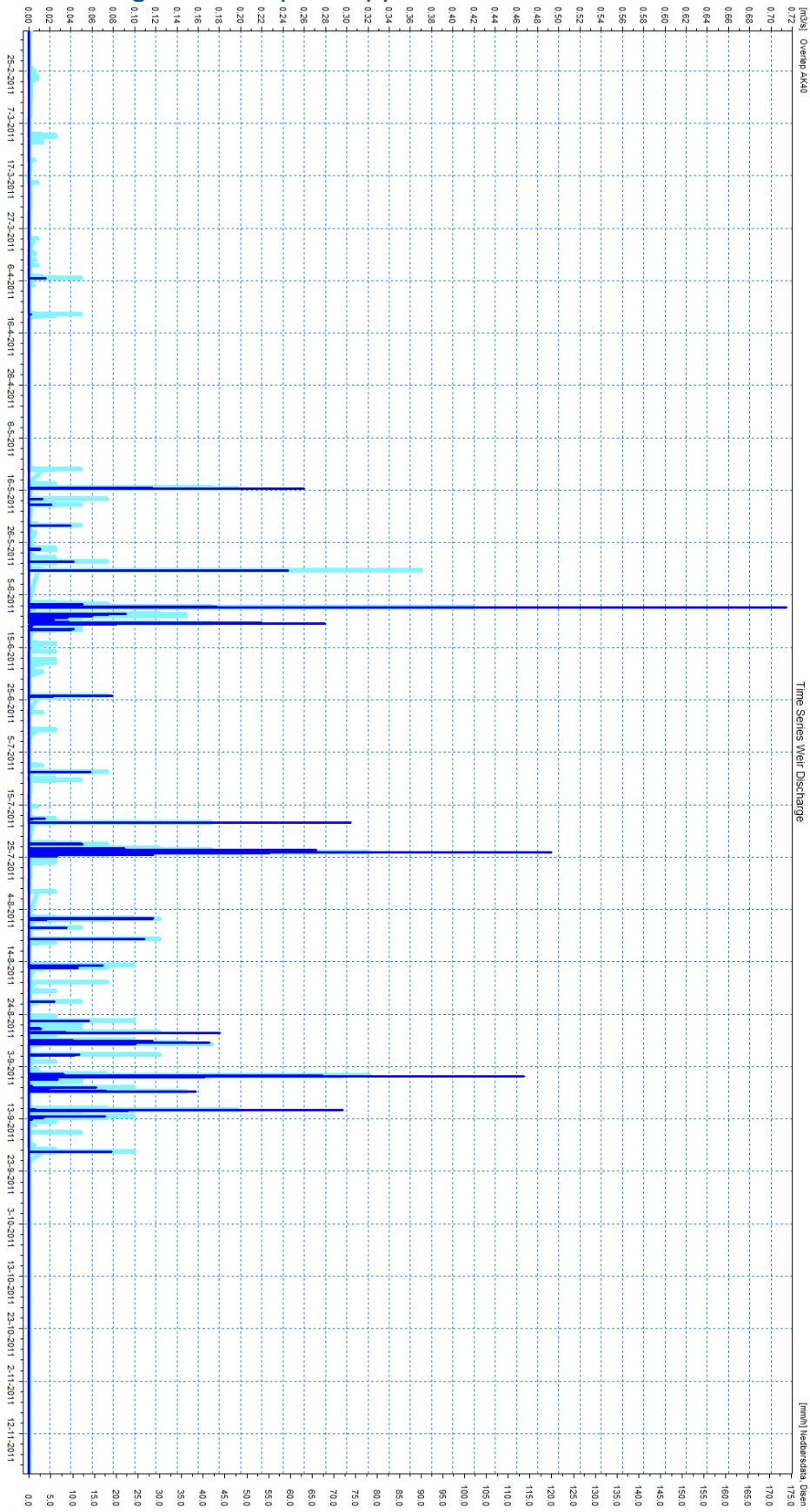


Figure 48 Fremstilling av nedbørsdata fra Disen nedbørsstasjon sammen med overløpsutslippet til Akerselva i avløpsmodellen året 2011. Lyseblått illustrerer nedbørsintensitet (mm/h). Mørkeblått illustrerer overløpsutslipp (m³/s)

Fremstilling av overløpsutslipp over nedbørsdata i 2012

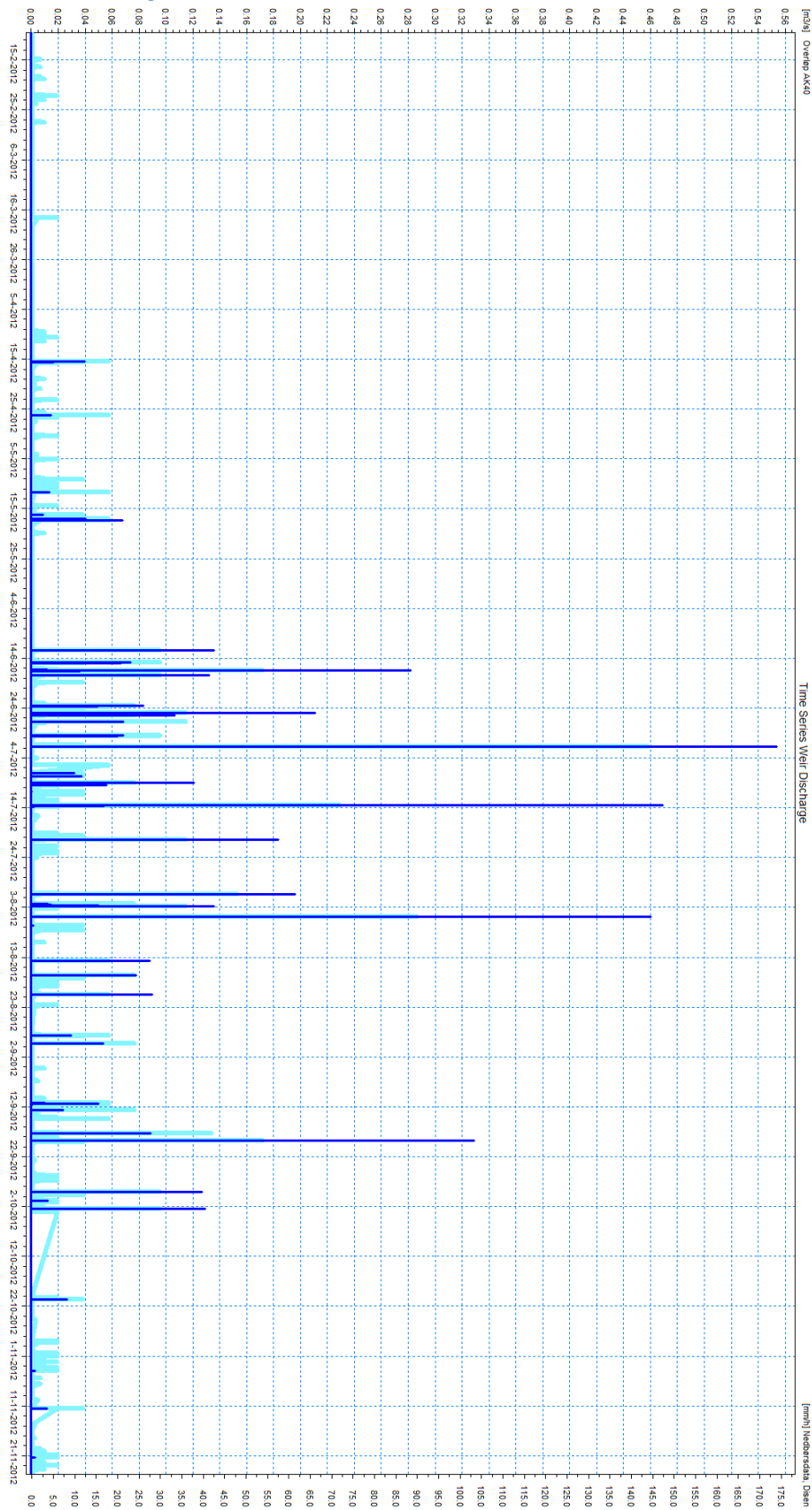


Figure 49 Fremstilling av nedbørsdata fra Disen nedbørsstasjon sammen med overløpsutslippet til Akerselva i avløpsmodellen året 2012. Lyseblått illustrerer nedbørsintensitet (mm/h). Mørkeblått illustrerer overløpsutslipp (m³/s)

Fremstilling av overløpsutslipp over nedbørsdata i 2013

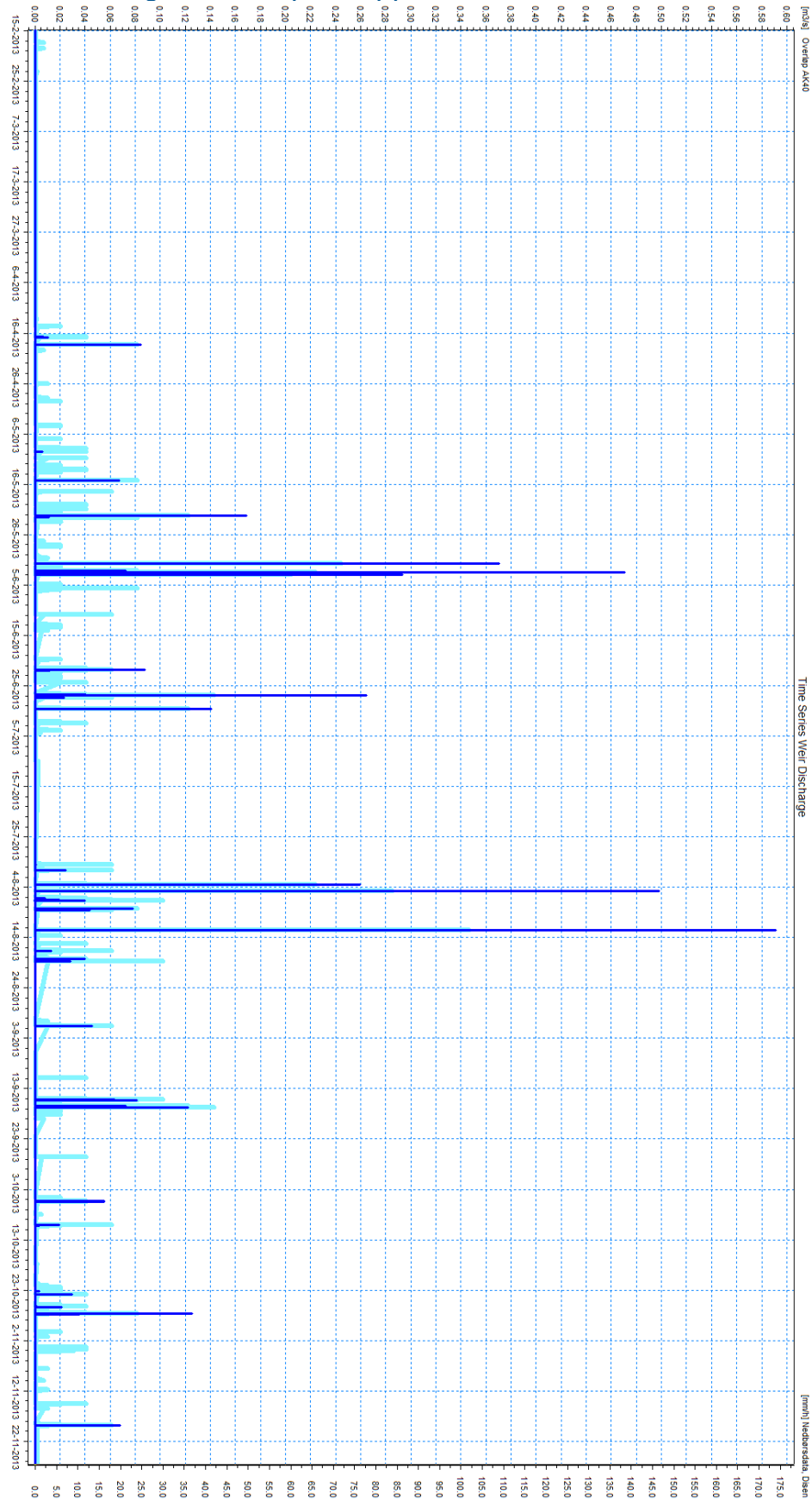


Figure 50 Fremstilling av nedbørsdata fra Disen nedbørsstasjon sammen med overløpsutslippet til Akerselva i avløpsmodellen året 2010. Lyseblått illustrerer nedbørsintensitet (mm/h). Mørkeblått illustrerer overløpsutslipp (m³/s)

Fremstilling av overløpsutslipp over nedbørsdata i 2014

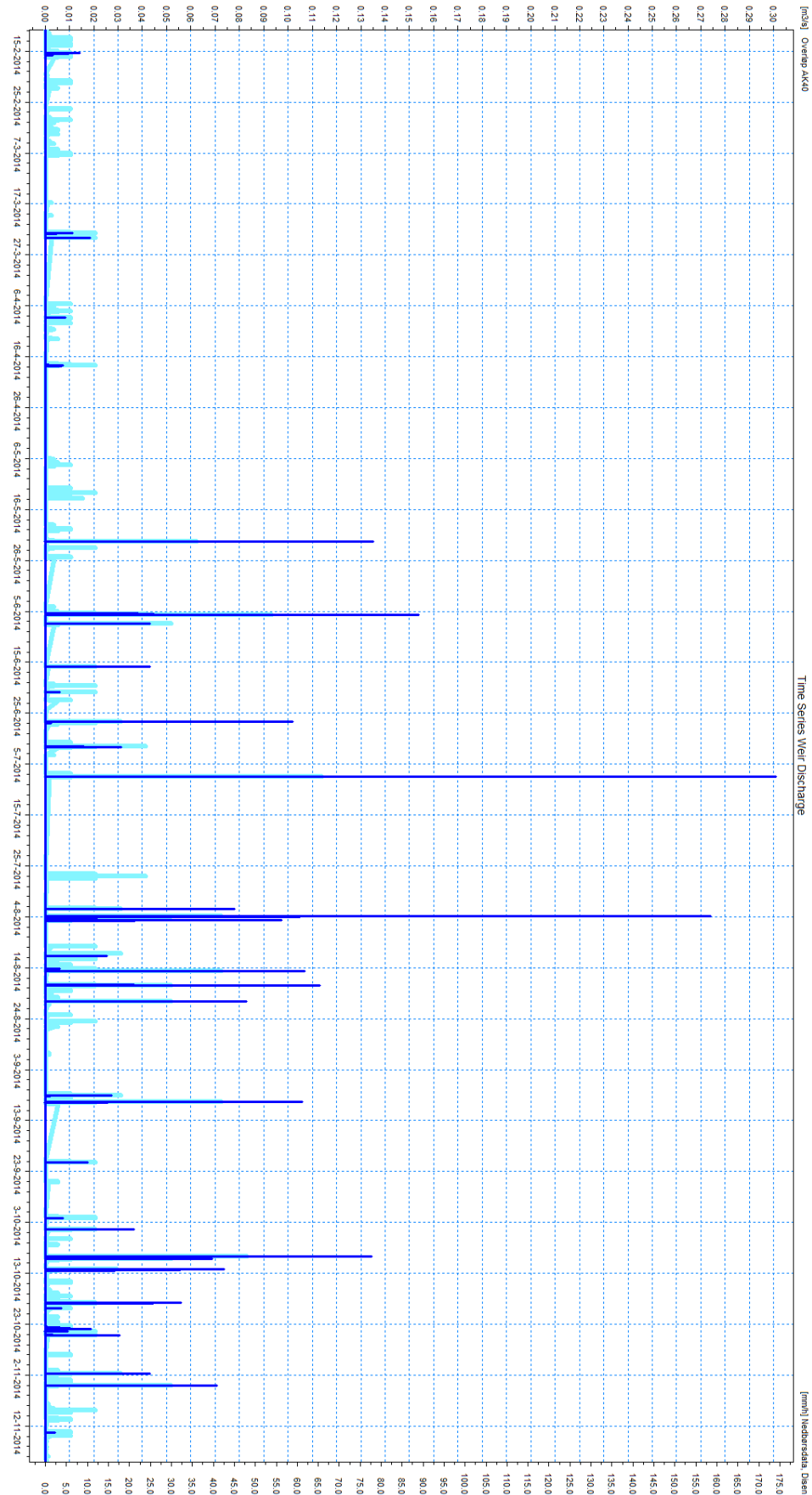


Figure 51 Fremstilling av nedbørsdata fra Disen nedbørsstasjon sammen med overløpsutslippet til Akerselva i avløpsmodellen året 2010. Lyseblått illustrerer nedbørsintensitet (mm/h). Mørkeblått illustrerer overløpsutslipp (m³/s)

De 8 største nedbørstilfeller på Sandaker i perioden 2010 – 2014

Resultater fra simulering i ROSIE med dagens avløpssituasjon

DAGENS SITUASJON											
Største regn 2010		Mengde	Benevning								
Total tilstrømning fra Sandaker		4039,5 m ³									
AK40s totale utslippsvolum		399,26 m ³									
Prosentandel Overløp		9,88%									
Max utslippsintensitet		701 l/sek									
Kjelleroversvømmelser		15 stk									
Største regn 2011		Mengde	Benevning								
Total tilstrømning fra Sandaker		2700 m ³									
AK40s totale utslippsvolum		849,54 m ³									
Prosentandel Overløp		31,46%									
Max utslippsintensitet		715 l/sek									
Kjelleroversvømmelser		17 stk									
Største regn 2012		Mengde	Benevning	Nest største regn 2012		Mengde	Benevning	Tredje største regn 2012		Mengde	Benevning
Total tilstrømning fra Sandaker		3611,12 m ³		Total tilstrømning fra Sandaker		3100 m ³		Total tilstrømning fra Sandaker		1886,16 m ³	
AK40s totale utslippsvolum		281,35 m ³		AK40s totale utslippsvolum		514,6 m ³		AK40s totale utslippsvolum		473,96 m ³	
Prosentandel Overløp		7,79%		Prosentandel Overløp		16,60%		Prosentandel Overløp		25,13%	
Max utslippsintensitet		553,8 l/sek		Max utslippsintensitet		452 l/sek		Max utslippsintensitet		467 l/sek	
Kjelleroversvømmelser		15 stk		Kjelleroversvømmelser		7 stk		Kjelleroversvømmelser		7 stk	
Største regn 2013		Mengde	Benevning	Nest største regn 2013		Mengde	Benevning	Tredje største regn 2013		Mengde	Benevning
Total tilstrømning fra Sandaker		3930,85 m ³		Total tilstrømning fra Sandaker		2326,1 m ³		Total tilstrømning fra Sandaker		9324,3 m ³	
AK40s totale utslippsvolum		893,96 m ³		AK40s totale utslippsvolum		579,01 m ³		AK40s totale utslippsvolum		949,83 m ³	
Prosentandel Overløp		22,74%		Prosentandel Overløp		24,89%		Prosentandel Overløp		10,19%	
Max utslippsintensitet		591 l/sek		Max utslippsintensitet		485 l/sek		Max utslippsintensitet		470,2 l/sek	
Kjelleroversvømmelser		15 stk		Kjelleroversvømmelser		7 stk		Kjelleroversvømmelser		7 stk	

Figure 52 De 8 største nedbørstilfeller på Sandaker i perioden 2010 – 2014. Tabellene viser resultater for Tilrenning til overløpskum, utslippsvolum, og antall kjelleroversvømmelser som oppstår i avløpsmodellen for hvert regn regn.

Resultater fra simulering i ROSIE etter frakobling av takvann

FRAKOBLING AV TAKVANN											
Største regn 2010		Mengde	Benevning								
Total tilstrømning fra Sandaker		1429,5 m ³									
AK40s totale utslippsvolum		281,45 m ³									
Prosentandel Overløp		19,69%									
Max utslippsintensitet		554 l/sek									
Kjelleroversvømmelser		0 stk									
Reduksjon i kjelleroversvømmelser med tiltak u		15			90						
Reduksjon i prosent		100%									
Største regn 2011		Mengde	Benevning								
Total tilstrømning fra Sandaker		3653,46 m ³									
AK40s totale utslippsvolum		630,7 m ³									
Prosentandel Overløp		17,26%									
Max utslippsintensitet		573 l/sek									
Kjelleroversvømmelser		0 stk									
Reduksjon i kjelleroversvømmelser med tiltak u		17									
Reduksjon i prosent		100%									
Største regn 2012		Mengde	Benevning	Nest største regn 2012		Mengde	Benevning	Tredje største regn 2012		Mengde	Benevning
Total tilstrømning fra Sandaker		2077 m ³		Total tilstrømning fra Sandaker		1071 m ³		Total tilstrømning fra Sandaker		754 m ³	
AK40s totale utslippsvolum		211,6 m ³		AK40s totale utslippsvolum		283,23 m ³		AK40s totale utslippsvolum		242,8 m ³	
Prosentandel Overløp		10,19%		Prosentandel Overløp		26,45%		Prosentandel Overløp		32,20%	
Max utslippsintensitet		452,8 l/sek		Max utslippsintensitet		376 l/sek		Max utslippsintensitet		374,6 l/sek	
Kjelleroversvømmelser		0 stk		Kjelleroversvømmelser		0 stk		Kjelleroversvømmelser		0 stk	
Reduksjon i kjelleroversvømmelser med tiltak u		15		Reduksjon i kjelleroversvømmelser med tiltak		7		Reduksjon i kjelleroversvømmelser med tiltak under re		7	
Reduksjon i prosent		100%		Reduksjon i prosent		100%		Reduksjon i prosent		100%	
Største regn 2013		Mengde	Benevning	Nest største regn 2013		Mengde	Benevning	Tredje største regn 2013		Mengde	Benevning
Total tilstrømning fra Sandaker		1218,93 m ³		Total tilstrømning fra Sandaker		666,31 m ³		Total tilstrømning fra Sandaker		4443,2 m ³	
AK40s totale utslippsvolum		620,7 m ³		AK40s totale utslippsvolum		272,6 m ³		AK40s totale utslippsvolum		569,11 m ³	
Prosentandel Overløp		50,92%		Prosentandel Overløp		40,91%		Prosentandel Overløp		12,81%	
Max utslippsintensitet		469,7 l/sek		Max utslippsintensitet		402,2 l/sek		Max utslippsintensitet		380,8 l/sek	
Kjelleroversvømmelser		0 stk		Kjelleroversvømmelser		0 stk		Kjelleroversvømmelser		0 stk	
Reduksjon i kjelleroversvømmelser med tiltak u		15		Reduksjon i kjelleroversvømmelser med tiltak		7		Reduksjon i kjelleroversvømmelser med tiltak under re		7	
Reduksjon i prosent		100%		Reduksjon i prosent		100%		Reduksjon i prosent		100%	

Figure 53 De 8 største nedbørstilfeller på Sandaker i perioden 2010 - 2014 etter frakobling av takvann i 5 av 43 catchments. Tabellene viser resultater for Tilrenning til overløpskum, utslippsvolum fra overløp, og antall kjelleroversvømmelser som oppstår i avløpsmodellen for hvert regn. Reduksjon i kjelleroversvømmelser er merket med mørkegrønn farge.

Resultater fra simulering i ROSIE med 50% klimapåslag på avrenning

KLIMAFAKTOR 50%								
Største regn 2010			Mengde	Benevning				
Total tilstrømning fra Sandaker			3386 m ³					
AK40s totale utslippsvolum			692,75 m ³					
Prosentandel Overløp			20,46 %					
Max utslippsintensitet			1058 l/sek					
Kjelleroversvømmelser			54 stk					
Økning i kjelleroversvømmelser fra dag			39 stk					
Økning i prosent			360 %					
Største regn 2011			Mengde	Benevning				
Total tilstrømning fra Sandaker			4150,7 m ³					
AK40s totale utslippsvolum			1432,3 m ³					
Prosentandel Overløp			34,51 %					
Max utslippsintensitet			1039 l/sek					
Kjelleroversvømmelser			54 stk					
Økning i kjelleroversvømmelser fra dag			37 stk					
Økning i prosent			318 %					
Største regn 2012			Mengde	Benevning	Nest største regn 2012		Mengde	Benevning
Total tilstrømning fra Sandaker			1089,5 m ³		Total tilstrømning fra Sandaker		1508 m ³	
AK40s totale utslippsvolum			470,14 m ³		AK40s totale utslippsvolum		642,6 m ³	
Prosentandel Overløp			43,15 %		Prosentandel Overløp		42,61 %	
Max utslippsintensitet			868,75 l/sek		Max utslippsintensitet		728 l/sek	
Kjelleroversvømmelser			32 stk		Kjelleroversvømmelser		17 stk	
Økning i kjelleroversvømmelser fra dag			17 stk		Økning i kjelleroversvømmelser fra dagens situ		10 stk	
Økning i prosent			213 %		Økning i prosent		243 %	
Største regn 2013			Mengde	Benevning	Nest største regn 2013		Mengde	Benevning
Total tilstrømning fra Sandaker			2541 m ³		Total tilstrømning fra Sandaker		1000,12 m ³	
AK40s totale utslippsvolum			1467,43 m ³		AK40s totale utslippsvolum		587 m ³	
Prosentandel Overløp			57,75 %		Prosentandel Overløp		58,69 %	
Max utslippsintensitet			901 l/sek		Max utslippsintensitet		775,5 l/sek	
Kjelleroversvømmelser			33 stk		Kjelleroversvømmelser		23 stk	
Økning i kjelleroversvømmelser fra dag			18 stk		Økning i kjelleroversvømmelser fra dagens situ		16 stk	
Økning i prosent			220 %		Økning i prosent		329 %	
Tredje største regn 2012			Mengde	Benevning	Tredje største regn 2013		Mengde	Benevning
Total tilstrømning fra Sandaker			2209,3 m ³		Total tilstrømning fra Sandaker		468,83 m ³	
AK40s totale utslippsvolum			581 m ³		AK40s totale utslippsvolum		294,2 m ³	
Prosentandel Overløp			26,30 %		Prosentandel Overløp		62,75 %	
Max utslippsintensitet			747,1 l/sek		Max utslippsintensitet		592,7 l/sek	
Kjelleroversvømmelser			17 stk		Kjelleroversvømmelser		15 stk	
Økning i kjelleroversvømmelser fra dagens situasjon			10 stk		Økning i kjelleroversvømmelser fra dagens situasjon		8 stk	
Økning i prosent			243 %		Økning i prosent		214 %	

Figure 54 De 8 største nedbørstilfeller på Sandaker i perioden 2010 - 2014 etter et påslag med 50% klimafaktor. Tabellene viser resultater for Tilrenning til overløpskum, utslippsvolum fra overløp, og antall kjelleroversvømmelser som oppstår i avløpsmodellen for hvert regn. Økningen i kjelleroversvømmelser er merket med oransj farge.

Resultater fra simulering i ROSIE med 50% klimapåslag på avrenning, etter frakobling av takvann

KLIMAFAKTOR 50% + FRAKOBLING AV TAKVANN								
Største regn 2010			Mengde	Benevning				
Total tilstrømning fra Sandaker			935,61 m ³					
AK40s totale utslippsvolum			519,86 m ³					
Prosentandel Overløp			55,56 %					
Max utslippsintensitet			876,9 l/sek					
Kjelleroversvømmelser			25 stk					
Reduksjon i kjelleroversvømmelser med tiltak u			29					
Reduksjon i prosent			54 %					
Største regn 2011			Mengde	Benevning				
Total tilstrømning fra Sandaker			4277,21 m ³				83 %	
AK40s totale utslippsvolum			1084,74 m ³				181	
Prosentandel Overløp			25,36 %				245	
Max utslippsintensitet			868 l/sek					
Kjelleroversvømmelser			25 stk					
Reduksjon i kjelleroversvømmelser med tiltak u			29					
Reduksjon i prosent			54 %					
Største regn 2012			Mengde	Benevning	Nest største regn 2012		Mengde	Benevning
Total tilstrømning fra Sandaker			870,32 m ³		Total tilstrømning fra Sandaker		1245,04 m ³	
AK40s totale utslippsvolum			364,58 m ³		AK40s totale utslippsvolum		490,12 m ³	
Prosentandel Overløp			41,89 %		Prosentandel Overløp		39,37 %	
Max utslippsintensitet			715 l/sek		Max utslippsintensitet		593,25 l/sek	
Kjelleroversvømmelser			7 stk		Kjelleroversvømmelser		0 stk	
Reduksjon i kjelleroversvømmelser med tiltak u			25		Reduksjon i kjelleroversvømmelser med tiltak		17	
Reduksjon i prosent			78 %		Reduksjon i prosent		100 %	
Største regn 2013			Mengde	Benevning	Nest største regn 2013		Mengde	Benevning
Total tilstrømning fra Sandaker			2233,67 m ³		Total tilstrømning fra Sandaker		894,13 m ³	
AK40s totale utslippsvolum			1117,19 m ³		AK40s totale utslippsvolum		456,44 m ³	
Prosentandel Overløp			50,02 %		Prosentandel Overløp		51,05 %	
Max utslippsintensitet			742,5 l/sek		Max utslippsintensitet		631,5 l/sek	
Kjelleroversvømmelser			7 stk		Kjelleroversvømmelser		0 stk	
Reduksjon i kjelleroversvømmelser med tiltak u			26		Reduksjon i kjelleroversvømmelser med tiltak		23	
Reduksjon i prosent			79 %		Reduksjon i prosent		100 %	
Tredje største regn 2012			Mengde	Benevning	Tredje største regn 2013		Mengde	Benevning
Total tilstrømning fra Sandaker			1880,5 m ³		Total tilstrømning fra Sandaker		403,34 m ³	
AK40s totale utslippsvolum			430,6 m ³		AK40s totale utslippsvolum		222,74 m ³	
Prosentandel Overløp			22,90 %		Prosentandel Overløp		55,22 %	
Max utslippsintensitet			599,5 l/sek		Max utslippsintensitet		476,75 l/sek	
Kjelleroversvømmelser			0 stk		Kjelleroversvømmelser		0 stk	
Reduksjon i kjelleroversvømmelser med tiltak under re			17		Reduksjon i kjelleroversvømmelser med tiltak under re		15	
Reduksjon i prosent			100 %		Reduksjon i prosent		100 %	

Figure 55 De 8 største nedbørstilfeller på Sandaker i perioden 2010 - 2014 med takvannsfrakobling i 5 av 43 catchment etter et påslag med 50% klimafaktor. Tabellene viser resultater for Tilrenning til overløpskum, utslippsvolum fra overløp, og antall kjelleroversvømmelser som oppstår i avløpsmodellen for hvert regn. Økningen i kjelleroversvømmelser er merket med oransj farge.

Resultater etter helårs tidseriesimuleringer for årene 2010 - 2014 i ROSIE

DAGENS SITUASJON			FRAKOBLING AV TAKVANN I 5 AV 43 CATCHMENTS				
AK40 2010 (AK40_2010)	Mengde	Benevning	2010	Mengde	Benevning	Reduksjon	Reduksjon i %
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	482307 m ³		Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	436217 m ³		46089,76	10 %
Utslippsvolum fra overløp	3891 m ³		Utslippsvolum fra overløp	2247 m ³		1645	42 %
Prosentandel av tilstrømming som går i overløp	0,81 %		Prosentandel av tilstrømming som går i overløp	0,52 %		0,0029	36 %
Maksimal vannføring under det største overløpet	701 l/sek		Maksimal vannføring under det største overløpet	577 l/sek		124	18 %
Antall nedbørshendelser som gav overløp	21		Antall nedbørshendelser som gav overløp	17		4	19 %
AK40 2011 (AK40_2011)	Mengde	Benevning	2011	Mengde	Benevning	Reduksjon	Reduksjon i %
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	535723 m ³		Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	504738 m ³		30985	6 %
Utslippsvolum fra overløp	8860 m ³		Utslippsvolum fra overløp	7064 m ³		1797	20 %
Prosentandel av tilstrømming som går i overløp	1,65 %		Prosentandel av tilstrømming som går i overløp	1,40 %		0,0025	15 %
Maksimal vannføring under det største overløpet	715 l/sek		Maksimal vannføring under det største overløpet	596 l/sek		119	17 %
Antall nedbørshendelser som gav overløp	23		Antall nedbørshendelser som gav overløp	16 stk		7	30 %
AK40 2012 (AK40_2012)	Mengde	Benevning	2012	Mengde	Benevning	Reduksjon	Reduksjon i %
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	521350 m ³		Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	477962 m ³		43388	8 %
Utslippsvolum fra overløp	3299 m ³		Utslippsvolum fra overløp	2249 m ³		1050	32 %
Prosentandel av tilstrømming som går i overløp	0,63 %		Prosentandel av tilstrømming som går i overløp	0,47 %		0,0016	26 %
Maksimal vannføring under det største overløpet	553,8 l/sek		Maksimal vannføring under det største overløpet	478 l/sek		75,8	14 %
Antall nedbørshendelser som gav overløp	30		Antall nedbørshendelser som gav overløp	19 stk		11	37 %
AK40 2013 (AK40_2013)	Mengde	Benevning	2013	Mengde	Benevning	Reduksjon	Reduksjon i %
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	496219 m ³		Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	454219 m ³		42000	8 %
Utslippsvolum fra overløp	4242 m ³		Utslippsvolum fra overløp	3151 m ³		1091	26 %
Prosentandel av tilstrømming som går i overløp	0,85 %		Prosentandel av tilstrømming som går i overløp	0,69 %		0,0016	19 %
Maksimal vannføring under det største overløpet	591 l/sek		Maksimal vannføring under det største overløpet	525 l/sek		66	11 %
Antall nedbørshendelser som gav overløp	22		Antall nedbørshendelser som gav overløp	14 stk		8	36 %
AK40 2014 (AK40_2014)	Mengde	Benevning	2014	Mengde	Benevning	Reduksjon	Reduksjon i %
Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	540011 m ³		Tilrenningsvolum fra Sandaker til overløp	484298 m ³		55713	10 %
Utslippsvolum fra overløp	2653 m ³		Utslippsvolum fra overløp	1702 m ³		950	36 %
Prosentandel av tilstrømming som går i overløp	0,49 %		Prosentandel av tilstrømming som går i overløp	0,35 %		0,0014	28 %
Maksimal vannføring under det største overløpet	301 l/sek		Maksimal vannføring under det største overløpet	249 l/sek		52	17 %
Antall nedbørshendelser som gav overløp	18		Antall nedbørshendelser som gav overløp	14 stk		4	22 %
Sammenlagt	Mengde	Benevning	Sammenlagt	Mengde	Benevning	Reduksjon	Reduksjon i %
Total tilrenning til overløpskum 2010 - 2014	2575610		Total tilrenning til overløpskum 2010 - 2014	2357434 m ³		218176	8 %
Totalt overløpsutslipp 2010 - 2014:	22945 m ³		Totalt overløpsutslipp 2010 - 2014:	16413 m ³		6532	28 %
Prosentandel av tilstrømming som går i overløp	0,89 %		Prosentandel av tilstrømming som går i overløp	0,70 %		0,0	

Figure 56 Tabellene viser resultater for det enkelte årets totale tilrenning til overløpskum, utslippsvolum fra overløp og antall nedbørshendelser som fører til overløp i overløpskum AK40. Tabellen viser resultater for dagens avløpsituasjon på Sandaker, og resultater etter frakobling av takvann i fem av 43 catchments. Beregnet reduksjon etter takvannfrakobling i de fem påvirkende catchmentene vises til høyre for tabellene. Sammenlagte resultater for perioden vises nederst.

Resultater etter simulering av et 30årsregn i ROSIE

30årsregn	Mengde	Benevning
Total tilstrømmning fra Sandaker	22775 m ³	
AK40s totale utslippsvolum	1755 m ³	
Prosentandel Overløp	7,71 %	
Max utslippsintensitet	1010 l/sek	
Kjelleroversvømmelser i feltet	50 stk	
30årsregn tiltak	Mengde	Benevning
Total tilstrømmning fra Sandaker	22717 m ³	
AK40s totale utslippsvolum	1620 m ³	
Prosentandel Overløp	7,13 %	
Max utslippsintensitet	894 l/sek	
Kjelleroversvømmelser i feltet	29 stk	
30årsregn klimafaktor	Mengde	Benevning
Total tilstrømmning fra Sandaker	24724 m ³	
AK40s totale utslippsvolum	3170 m ³	
Prosentandel Overløp	12,82 %	
Max utslippsintensitet	1455 l/sek	
Kjelleroversvømmelser i feltet	73 stk	
30årsregn klimafaktor tiltak	Mengde	Benevning
Total tilstrømmning fra Sandaker	24646 m ³	
AK40s totale utslippsvolum	2791 m ³	
Prosentandel Overløp	11,32 %	
Max utslippsintensitet	1269 l/sek	
Kjelleroversvømmelser i feltet	33 stk	
Reduksjon av kjelleroversvømmelser ved takvannsfrakobling		
Dagens avløpssituasjon	21 stk	42 %
Klimapåslag	40 stk	55 %
Reduksjon av overløpsutslipp ved takvannsfrakobling		
Dagens avløpssituasjon	135 m ³	8 %
Klimapåslag	379 m ³	12 %

Figure 57 Tabellene viser resultatene etter simuleringer av 30årsregn på dagens avløpssituasjon og etter frakobling av takvann, for nedbør med og uten klimafaktor på 50%. Tilrenning til overløpskum, utslippsvolum fra overløp, og antall kjelleroversvømmelser som oppstår i avløpsmodellen for hvert regn vises for hver av simuleringene.

Kart over stikkledninger m/ forgreningspunkt



Figure 58 Kart over stikkledninger og forgreningspunkt i øvre del av Sandaker avløpsfelt.
Kilde: Oslo Kommune (2015c)

Kart over stikkledninger m/ forgreningspunkt

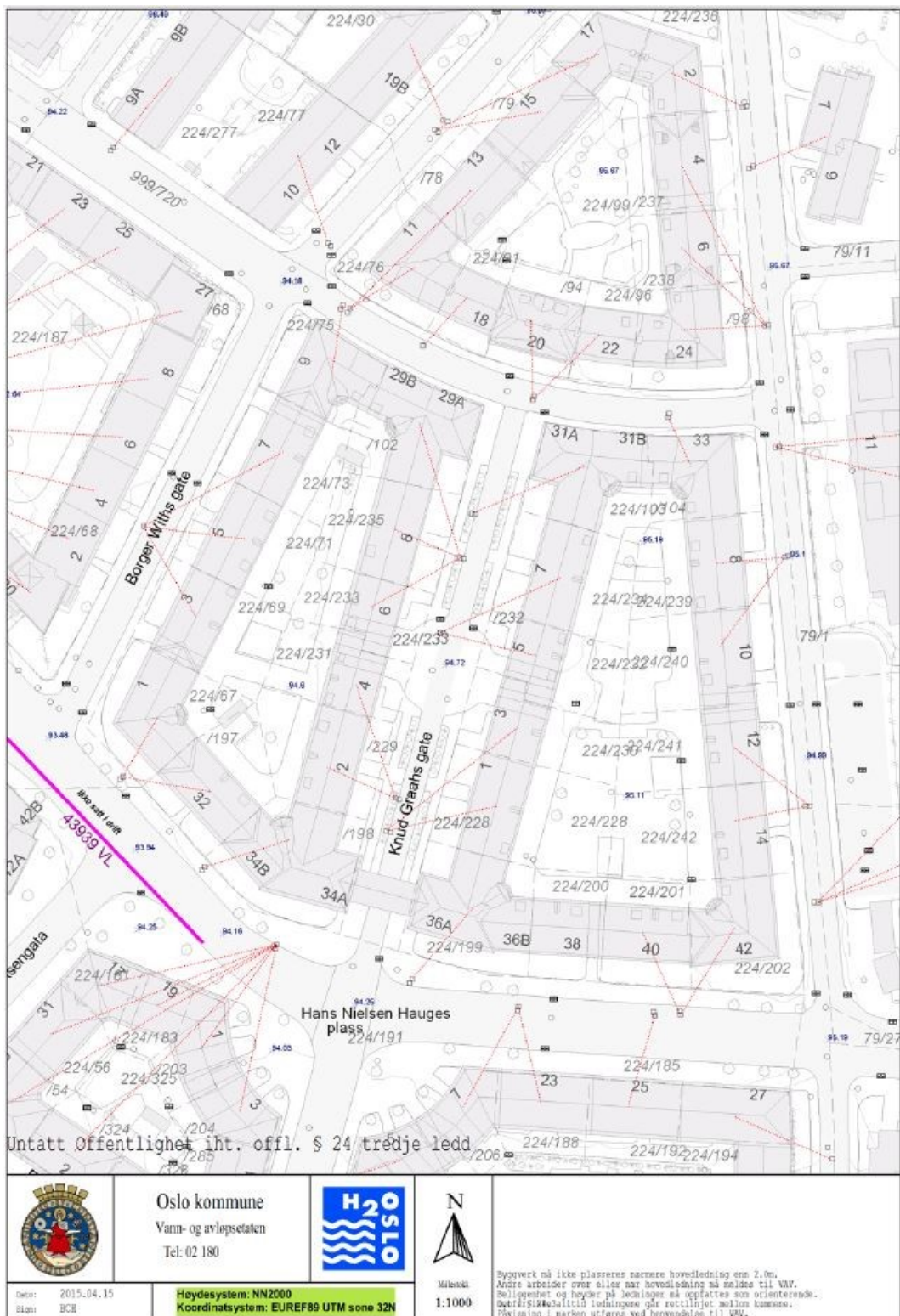


Figure 59 Kart over stikkledninger og forgreningspunkt i nedre del av Sandaker avløpsfelt.
Kilde: Oslo Kommune (2015c)



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no