

Effekt av lokal overvannshåndtering i Sandnes sentrum

Resultater fra modellstudier med
programmet STORM

Karoline Hamnes

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2013

Hovedveileder: Sveinung Sægvog, IVM

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for vann- og miljøteknikk

Forord

Masteroppgaven utgjør 30 studiepoeng i faget TVM 4905 Vann og avløpsteknikk våren 2013, og er utført ved Institutt for Vann og Miljøteknikk ved NTNU i Trondheim.

Oppgaven tar for seg effekten av SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems) i et nedslagsfelt i Sandnes sentrum. Det hydrologiske modelleringsprogrammet STORM er benyttet for å beregne effekten av SUDS.

En stor takk til hovedveileder professor Sveinung Sægrov ved institutt for Vann og Miljøteknikk. Sveinung har bidratt med gode råd og konstruktive tilbakemeldinger. Jeg vil takke Stephan Bandermand og hans kollegaer fra Sieker for å ha latt meg få lov å komme til deres kontor i Berlin og gitt meg opplæring i STORM. Stephan tok meg med i Hoppegarten for å se på et industriområde som kun brukte SUDS som overvannshåndtering. I tillegg møttes vi i Sandnes der han gav meg interessante bidrag og tips til oppgaven. Han hjalp også i forbindelse med infiltrasjonsforsøkene, har besvart mail og vært behjelpelig i løpet av hele semesteret.

Takk til Kirsten Vike i Sandnes kommune, som har sendt nødvendig informasjon fra kommunen og besvart på spørsmål om ledningsnett. I forbindelse med befaring og infiltrasjonsmålinger har hun hjulpet med å skaffe utstyr og tillatelse til graving.

Takk til Kim Paus for lån av utstyr til infiltrasjonsmålinger, og for tips til litteratur og hjelp til å tolke/bearbeide resultatene.

Takk til førsteamanuensis Tone Muthanna for anskaffelse av datamaskin og kurs i modellering.

Karoline Hamnes

Trondheim 2013

Sammendrag

Eksisterende ledningsnett for overvann i nedre del av Sandnes sentrum er allerede overbelastet. Fortetting og klimaendringer forårsaker økt avrenningsintensitet, som sannsynligvis vil medføre oversvømmelser. Avrenningen kan reduseres ved å bruke SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems). SUDS er lokal overvannshåndtering som infiltrerer og fordrøyer avrenningen slik at det oppnås en reduksjon av flomtopper og avrenningsvolum. Fokuset i oppgaven er å se på effekten av å implementere SUDS i et nedslagsfelt i Sandnes sentrum. Utfordringene er at det er lite tilgjengelig areal, derfor må kompakte SUDS benyttes.

Målet med oppgaven er å finne ut hvor stor reduksjon i overflateavrenning det er mulig å oppnå ved å implementere SUDS i nedslagsfeltet. Reduksjonen i avrenning fører til en avlastning av ledningsnett nedstrøms. For å illustrere dette er effekten av SUDS undersøkt for vannføringen i ledningen nederst i nedslagsfeltet.

Det hydrologiske modelleringsprogrammet STORM er benyttet for å beregne effekten av SUDS. I STORM er det laget en modell over eksisterende overvannsnett og en med SUDS implementert i nedslagsfeltet. For å beregne effekten av SUDS må en vite noe om infiltrasjonsmulighetene i nedslagsfeltet. Det er foretatt infiltrasjonsmålinger som viser at massene har god vannmettet hydraulisk kapasitet.

Infiltrasjonskapasiteten til sandige masser i nedslagsfeltet bør utnyttes. Resultater fra simuleringer i STORM, viser at et infiltrasjonsmagasin på sandige masser med god infiltrasjonskapasitet framfor middels god infiltrasjonsevne, vil utgjøre stor forskjell.

En tidsserie på 11 år fra 1998 – 2008 fra Time – Lye er benyttet for å beregne effekten av SUDS i nedslagsfeltet. Det er kommet fram til en årlig reduksjon i overflateavrenningen for nedslagsfeltet på 16 % med sand som løsmasse, og 11 % for sandig silt som løsmasse.

Den store andelen flate tak gjør at grønne tak er et aktuelt SUDS, derfor er avrenning fra grønne tak undersøkt. Resultatene fra STORM viser at grønne tak demper flomtopper i de vanligste og hyppigst forekommende regn og reduserer årlig avrenning fra takene.

SUDS minker vannføring og vil bidra til en reduksjon i antall flommer i ledningen nederst i nedslagsfeltet. Implementering av SUDS er et bærekraftig alternativ til oppgradering av rørdimensjoner, og kan bidra til å håndtere ekstra vannmengder fra fortetting og klimaendringer. SUDS med infiltrasjonsmuligheter plassert på sandige masser og grønne tak vil avlaste eksisterende ledningsnett i nedre del av Sandnes sentrum.

Abstract

In the city center of Sandnes, Norway the existing stormwater system is exceeded. Urbanization and climate changes cause an increase in runoff which most likely will lead to flooding. To reduce runoff one alternative is to use SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems) . SUDS are local stormwater management which infiltrates and holds back the runoff so that a reduction of peak flows and runoff volume is achieved. The catchment area is in the center of Sandnes and it is a challenge to locate available space, which means the SUDS have to be compact.

The main objective is to find the reduction in surface runoff achieved by implementing SUDS in the catchment. A reduction in runoff releases capacity in the stormwater system downstream. To illustrate this, the effect of SUDS is calculated for the water discharge in the pipe at the end of the catchment.

To calculate the effect of SUDS the hydrological modeling software STORM is used. Two models have been made, one of the existing stormwater system and another model with SUDS implemented in the catchment area. To calculate the effect of SUDS one has to know the infiltration potential. Infiltration measurements are carried out in the catchment and the results show that the soil has a good saturated hydraulic conductivity.

Infiltration capacity of the sandy soils in the catchment should be exploited. Results from simulations in STORM shows that an infiltration trench placed on sandy soils with good infiltration capacity instead of medium infiltration capacity makes a significant difference.

Time series from Time – Lye in years 1998 – 2008 is used to calculate the effect of SUDS in the catchment. The simulations gives a yearly reduction in surface runoff for the catchment area on 16 % with the soil type sand and 11 % with the soil type sandy loam.

A large percentage of flat roofs make green roofs suitable SUDS in the catchment area; therefore the runoff from green roofs is studied. Results from STORM shows that the green roofs decreases the peak flows from the most common and frequent rain events and reduces runoff from the roofs.

SUDS decrease the peak flows and the runoff volume and this helps to reduce the flooding events in the pipe at the end of the catchment area. Implementing SUDS is a sustainable alternative instead of upgrading the pipe dimensions and it can take care of the increasing amounts of water caused by urbanization and climate changes. SUDS that allow infiltration placed on sandy soils and green roofs placed on flat roofs will contribute to a relief in the stormwater system downstream in Sandnes City.

Innholdsfortegnelse

1 INNLEDNING	1
2 GRUNNLAG FOR UNDERSØKELSEN	3
2.1 Klimaet i Sandnes	3
2.2 Klimaendringer	4
2.3 Hydrologi	5
2.4 Urbanhydrologi	7
2.5 SUDS i tettbygde områder	9
2.6 STORM.....	13
2.7 Nedslagsfeltet.....	16
3 METODE	18
3.1 Inndeling av nedslagsfelt	18
3.2 Hydraulisk modell.....	20
3.3 Implementering av SUDS i eksisterende område	21
3.4 Forslag til SUDS i de ulike kvartalene	22
3.5 Modeller i STORM	29
3.6 Inndata for modellene	31
3.7 Nedbørshendelser.....	32
3.8 Infiltrasjon.....	35
4 RESULTATER OG DISKUSJON	37
4.1 Resultat av infiltrasjonsmålinger	37
4.2 Vannbalansen i hvert kvartal	38
4.3 Vannbalansen for hele nedslagsfeltet.....	40
4.5 Reduksjonspotensialet i hvert kvartal	42
4.6 Reduksjon i overflateavrenning på grunn av SUDS	43
4.7 Overvannsledningen i starten av Julie Eges gate.....	45
4.8 Grønne tak.....	53
4.9 Verifisering av modellene.....	59
5 DISKUSJON OG VURDERINGER	60
5.1 Kalibrering av modellen	60
5.2 Resultatene.....	61
5.3 Grønne tak.....	62
6 KONKLUSJON.....	63
7 FORSLAG TIL VIDERE ARBEID	64
Referanseliste.....	65

Vedlegg A - SUDS i STORM	68
Vedlegg B - Symmetrisk regnhyetogram	72
Vedlegg C – Grønt tak på Vitenfabrikken.....	73

Figurliste

Figur 1 Klimadata for Sola målestasjon (MET, 2013)	3
Figur 2 Vannbalansen i grunnen (Alfredsen, 2010)	5
Figur 3 Vannbalansen i naturlige og urbane områder (FISRWG, 1998).....	7
Figur 4 Treleddstrategi for overvannshåndtering, fra Norsk Vann (Lindholm et al., 2008).....	8
Figur 5 Oppbygging av regnbed ((Paus 2012), basert på (Stenberg 2011)).....	11
Figur 6 Tverrsnitt av Innodrain, utviklet av det tyske ingeniørfirmaet Sieker (Sommer, 2007).....	12
Figur 7 Tverrsnitt av en gresskledd forsenking med underliggende infiltrasjonsmagasin, (Sommer, 2005).....	12
Figur 8 Variasjon i avrenningskoeffisienten mot nedbørmengde (IPS, 2003, Verworn og Kenter, 1993).....	13
Figur 9 Modifisert metode for Hortons infiltrasjonsberegning	15
Figur 10 Sandnes med nedslagsfeltet (Norgeskart, 2013).....	16
Figur 11 Lengdeprofil av flaskehalsen i starten av Julie Eges Gate.....	17
Figur 12 Simuleringer i MIKE URBAN med en symmetrisk regnhendelse på 20 år (+20 %) (Vike, 2012).....	17
Figur 13 Oppdeling av delnedslagsfelt etter kvartal.....	18
Figur 14 Arealbruk i nedslagsfeltet	19
Figur 15 Hydraulisk modell i STORM.....	20
Figur 16 Hele nedslagsfeltet, med kabler og ledninger. Rødt er strømkabler og blå er telefonlinje (Kart fra Sandnes kommune, i arcGIS)	21
Figur 17 Redusert framkommelighet på fortau pga. ukritisk frakobling av tak, (bildet er lånt fra Camilla Pihl sin konto på Instagram).....	21
Figur 18 Kvartal TG1 (Vitenfabrikken) (Kart fra Sandnes kommune i arcGIS)	22
Figur 19 Øverst til venstre: takterrasse, øverst til høyre: innvendig takrenne. Nederst til venstre: vantturbine drevet av regnvann fra taket på utstilling i vitenfabrikken, nederst til høyre: taket på Vitenfabrikken.	23
Figur 20 Planer for opprustning av uteareal ved Vitenfabrikken (Bilde av et kart på utsiden av Vitenfabrikken, 9. april 2013).....	24
Figur 21 Kvartal TG2 (Kart fra Sandnes kommune i arcGIS)	25
Figur 22 Kvartal TG3 (Kart fra Sandnes kommune i arcGIS)	25
Figur 23 Kvartal TG5 (Kart fra Sandnes kommune i arcGIS)	26
Figur 24 Kvartal TG 6 (Kart fra Sandnes kommune i arcGIS)	26
Figur 25 Kvartal TG9 (Kart fra Sandnes kommune i arcGIS)	27
Figur 26 Parkering i Øglændskvartalet langs St. Olavs Gate	27
Figur 27 Kvartal TG10 (Kart fra Sandnes kommune i arcGIS)	28
Figur 28 Plassering av SUDS i nedslagsfeltet fra STORM modellen.....	30
Figur 29 Utvalgte målestasjoner i nærheten av Sandnes.....	32
Figur 30 Akkumulert symmetrisk regn benyttet i STORM.....	34
Figur 31 Infiltrasjonskapasitet i grunnen (NGU, 2013)	35
Figur 32 Infiltrasjonsmålinger på overflaten og 70 cm ned i jorden.....	36
Figur 33 Målepunkt for infiltrasjonsmålinger 70 cm ned i jorden	37
Figur 34 Vannbalanse for dagens situasjon.....	40
Figur 35 Vannbalanse for modell med SUDS og sand som løsmasse	41
Figur 36 Vannbalanse for modell med SUDS og sandig silt som løsmasse	41
Figur 37 Reduksjon i årlig avrenning sammenlignet med dagens situasjon for modell med SUDS og sand som løsmasse.....	43

Figur 38 Reduksjon i årlig avrenning sammenlignet med dagens situasjon for modell med SUDS og sandig silt som løsmasse.....	43
Figur 39 Vannføring i ledningen ved starten av Julie Eges Gate	46
Figur 40 Vannføring i Julie Eges Gate for et 2 års regn (+ 20%) for modellen over dagens situasjon og modellen med SUDS og sandig silt som løsmasse	49
Figur 41 Vannføring i Julie Eges Gate for et 10 års regn (+ 20%) for modellen over dagens situasjon og modellen med SUDS og sandig silt som løsmasse	49
Figur 42 Vannføring i Julie Eges Gate for modellen over dagens situasjon, over en 10 års periode (1998– 2007 fra Time – Lye).....	50
Figur 43 Vannføring i Julie Eges Gate for modellen med SUDS og sand som løsmasse, over en 10 års periode (1998 – 2007 fra Time – Lye).....	51
Figur 44 Vannføring i Julie Eges Gate for modellen med SUDS og sandig silt som løsmasse, over en 10 års periode (1998 – 2007 fra Time – Lye)	51
Figur 45 Avrenning fra taket på Vitenfabrikken (970 m ²) med og uten grønt tak for en 10 års hendelse	54
Figur 46 Avrenning fra taket i kvartal TG2 for et 2 års regn med ulike tykkelser på grønne tak	56
Figur 47 Avrenning fra taket i kvartal TG2 for et 10 års regn med ulike tykkelser på grønne tak	56

Tabelliste

Tabell 1 Nedbørsmengder i løpet av et år på Sola fra 1971 – 2000 (MET, 2013)	3
Tabell 2 Klassifisering av mettet hydraulisk konduktivitet (USDA, 2006)	6
Tabell 3 Avrenningskoeffisient for impermeable flater i STORM (IPS, 2003).....	14
Tabell 4 Arealfordeling i de ulike kvartalene	19
Tabell 5 Arealbruk i kvartal TG4, TG7 og TG8.....	28
Tabell 6 Dimensjoner på SUDS i modellen	29
Tabell 7 Dimensjoner på grønne tak i STORM modellen.....	30
Tabell 8 Data for løsmassene sand og sandig silt i STORM.....	31
Tabell 9 Intensitet fra IVF- kurvene (eKlima, 2013).....	33
Tabell 10 Resultater fra infiltrasjonsmålingene	37
Tabell 11 Vannbalansen for dagens situasjon	39
Tabell 12 Vannbalansen for modell med SUDS og sand som løsmasse	39
Tabell 13 Vannbalanse for modell med SUDS og sandig silt som løsmasse	39
Tabell 14 Vannbalansen i de ulike modellene.....	40
Tabell 15 Endring i avrenning og flomtopper mellom dagens situasjon og modellen med SUDS og sand som løsmasse	42
Tabell 16 Endring i avrenning og flomtopper mellom dagens situasjon og modellen med SUDS og sandig silt som løsmasse	42
Tabell 17 Hydraulisk kapasitet for ulike ledninger	45
Tabell 18 Vannføring i ledningen i Julie Eges Gate for et 2 og 10 års regn	45
Tabell 19 Vannføringer større 265 l/s i løpet av 10 års perioden	52
Tabell 20 Avrenning fra taket på Vitenfabrikken for en 10 års hendelse.....	53
Tabell 21 Avrenning i l/s og m ³ fra sykkelfabrikken i kvartal TG2	55
Tabell 22 Volumreduksjon fra grønne tak.....	57
Tabell 23 Endring i avrenning fra grønne tak	58
Tabell 24 Sammenligning av nedbørsmengder i de ulike modellene.....	59
Tabell 25 Sammenligning av arealfordeling i modellene.....	59

Forkortelser

FISWRG – Federal Interagency Stream Restoration Working Group

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

IVF – Intensitet Varighet Frekvens

K_{sat} – Mettet hydraulisk konduktivitet

LOH – Lokal overvannshåndtering

MET – Meteorologisk Institutt

MPD – Modifisert Philip – Dunne

SUDS - Sustainable Urban Drainage Systems

1 INNLEDNING

Bakgrunn

I nedre del av Sandnes sentrum er eksisterende ledningsnett for overvann allerede overbelastet. Fortetting og klimaendringer gir økt avrenningsintensitet, som sannsynligvis vil medføre oversvømmelser. For å redusere avrenning er SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems) et alternativ. SUDS er lokal overvannshåndtering som benytter infiltrasjon og fordrøyning til å redusere overflateavrenning.

Formål

Formålet med oppgaven er å finne ut hvor stor reduksjon i overflateavrenning det er mulig å oppnå, gjennom å implementere SUDS i et nedslagsfelt i Sandnes sentrum. Reduksjonen fører til en avlastning av ledningsnettets nedstrøms, og det er ønskelig å vite hvilken endring SUDS gir for vannføringen i ledningen nederst i nedslagsfeltet.

Problemstillingen skal løses ved å benytte det hydrologiske dataprogrammet STORM. Sandnes kommune gjennomfører i 2013 et prosjekt sammen med det tyske ingeniørfirmaet Sieker der STORM skal brukes for å se på effekten av SUDS i nedslagsfeltet, og denne oppgaven er et supplement til deres arbeid.

I oppgaven skal det undersøkes hvilke resultater SUDS kan gi, og hvilke type SUDS som er best egnet i nedslagsfeltet. utfordringer i nedslagsfeltet er tett bebyggelse og lite tilgjengelig areal. Det er derfor lagt vekt på å undersøke kompakte SUDS. I Sandnes sentrum er en stor andel av arealet flate tak, dette gjør grønne tak et aktuelt SUDS.

Infiltrasjon er en viktig hydrologisk prosess i lokal overvannshåndtering. For å kunne beregne infiltrasjon må en vite noe om grunnforholdene i nedslagsfeltet. Denne informasjonen skal innhentes ved å studere kartmateriale og foreta infiltrasjonsmålinger.

Spesifisert oppgave:

1. Sette seg inn i programmet STORM, gjennom litteraturstudier og et kortvarig opphold ved Sieker kontor i Berlin. En kort oversikt over programmets egenskaper basert på en selvstendig vurdering skal presenteres.
2. Sentrumsfeltet med tilhørende overvannssystem skal dokumenteres i form av bilder, kart og beregninger.
3. Med utgangspunkt i eksisterende forenklet modell og STORM skal det lages en modell av avrenningen fra sentrumsfeltet. Ved hjelp av representative nedbørsdata korrigert for forventet effekt av klimaendringer skal avrenningen beregnes. Det skal foreslås et opplegg for kalibrering av modellen.

4. Det skal gjennomføres målinger av infiltrasjonskapasitet på forskjellige steder i sentrumsfeltet.
5. Med bakgrunn i de foreslåtte avrenningsbegrensende tiltak brukes modellene for å beregne hvilke effekt tiltakene vil ha.

Struktur

Rapportens oppbygging er først et bakgrunnskapittel om klimaet i Sandnes, hydrologi, lokal overvannshåndtering og STORM. Så kommer metodekapittelet der det beskrives hvordan STORM modellen er bygd opp. Data for å kjøre modellen som nedbørsdata, infiltrasjon og arealbruk er også med i metodekapittelet. I resultatkapittelet presenteres mettet hydraulisk kapasitet fra infiltrasjonsmålingene og data fra simuleringer i STORM. De ulike resultatene blir forklart og diskutert underveis i resultatkapittelet. Før konklusjonen kommer et diskusjonskapittel der begrensinger i modellen, kalibrering og hovedinnholdet av resultatene drøftes.

2 GRUNNLAG FOR UNDERSØKELSEN

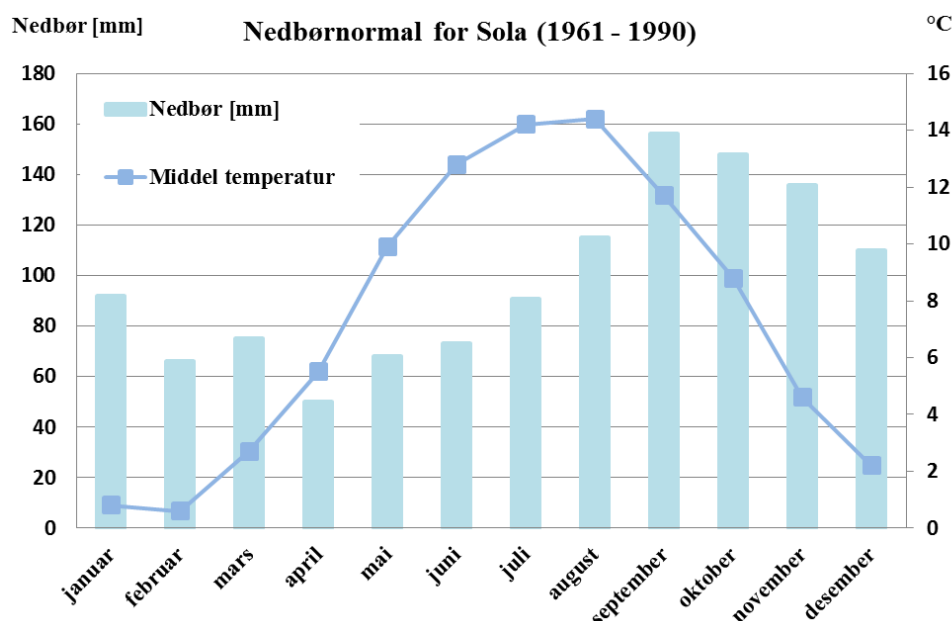
2.1 Klimaet i Sandnes

Sandnes har et kaldt kystklima. Høsten er nedbørsrik, mens vinteren er mild og snøfattig, og sommertemperaturen ligger over landsgjennomsnittet. Til tross for nordlig breddegrad er vinteren mild grunnet Golfstrømmen. (Harstveit og Dannevig, 2013).

Nedbørsnormaler fra Sola

Årlig gjennomsnittstemperatur for Sola er 7,4 °C, og den gjennomsnittlige nedbørsmengde er 1180 mm. Tallene er hentet fra værstasjonen på Sola, i løpet av trettiårsperioden 1961 til 1990. (Meteorologisk Institutt (MET), 2013).

Dataene kan avvike noe fra Sandnes sentrum, men det er antatt at verdiene er representative. I Figur 1 vises temperatur og nedbørsmengder for månedene på Sola.



Figur 1 Klimadata for Sola målestasjon (MET, 2013)

I Tabell 1 viser det at det for et gjennomsnittsår var 226 nedbørsdager på Sola i løpet av perioden 1971 – 2000. Nedbørsmengden var mindre enn 3 mm for 181 av 226 nedbørsdager. 40 dager var nedbørsmengden på 10 mm eller mer, mens kun 4 dager i året var nedbøren 25 mm eller mer.

Tabell 1 Nedbørsmengder i løpet av et år på Sola fra 1971 – 2000 (MET, 2013)

Nedbør	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	år
0,1 mm eller mer	21	18	19	16	16	15	16	19	21	22	21	22	226
3 mm eller mer	11	9	8	6	6	7	7	9	12	13	13	12	113
10 mm eller mer	3	3	3	1	2	2	3	4	5	5	5	4	40
25 mm eller mer	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	4
40 mm eller mer	0	-	-	0	-	0	0	0	0	0	0	0	1

Konstruert symmetrisk nedbør

I oppgaven er det valgt å benytte symmetrisk regnhyetogram for å konstruere en syntetisk regnhendelse. Symmetriske regnhyetogram er brukt fordi intense regnhendelser sjelden har konstant regnintensitet. Fordelene med symmetrisk regnhyetogram er beskrevet i rapporten *Revurdering av beregningskriterier for avløpssystemer, flom i kommunale avløpssystemer*. ”Et symmetrisk regnhyetogram konstrueres fra IVF– kurven og har betydelige fordeler i forhold til et kasseregnet når det gjelder modellering i dataprogram.” Lindholm et al. (2003).

I en region med ensartede meteorologiske forhold kan det samme regnhyetogrammet brukes til alle ledningsnettstørrelser uansett konsentrasjonstid. Man får dimensjonerende vannføringer i alle deler av avløpsledningsnettet i en og samme beregning. Grunnen til dette er at regnhyetogrammet i sin mest intense del inneholder virkningen av korte regn som er dimensjonerende for de nedre deler av nettet som har lengre konsentrasjonstider. (Lindholm et al., 2003).

Kasseregnet benytter en konstant intensitet over hele regnhendelsen, og dersom den anvendes på et ledningsnett vil man kun få dimensjonerende vannføring i punkt i nettet med konsentrasjonstid lik varigheten til regnet. Kasseregnet ser ikke på nedbøren før og etter kasseregnet starter, det betyr at overløp og fyllingsgrad i ledningen undervurderes. (Lindholm et al., 2003)

2.2 Klimaendringer

Endringer i gjennomsnittlig tilstand til en klimaparameter, som f.eks. temperatur eller nedbør kalles en klimaendring. Begrepet klimavariasjoner er benyttet om svingninger som kommer av naturlige årsaker, mens klimaendringer er av en mer varig karakter. Klimaendringer omhandler ofte globale endringer. (Benestad et al. 2013)

IPCC

IPCC ble opprettet av den meteorologiske verdensorganisasjonen (WMO) og FN sitt miljøprogram UNEP i 1988. Deres siste hovedrapport AR4, som omhandler klimaendringer ble utgitt i 2007. I 2014 er den femte hovedrapporten forventet avsluttet. IPCC består av forskere fra alle verdensdeler, som samler og vurderer informasjon om klimaendringer. (FNs klimapanel IPCC, 2013)

Økning i temperaturen

I klimarapporten AR4 har IPCC beregnet en sannsynlig temperaturøkning fra 1990 og frem til år 2100 på 1,1 til 6,4 °C, avhengig av hvilke utslippsscenarioer, av blant annet CO₂ som legges til grunn. (Cicero, 2010, IPCC, 2007)

Havnivåstigning

Økende temperatur vil føre til ismelting på polene og utviding av vannmassene grunnet høyere temperatur i havet, noe som resulterer i et stigende havnivå. IPCC regner med at temperaturstigninger på 1,4 til 5,8 °C vil gi gjennomsnittlig økning i havnivå på mellom 9 til 88 cm fram til år 2100. Det kan være store lokale variasjoner i hvordan endringen i havnivå slår ut. (Cicero, 2010)

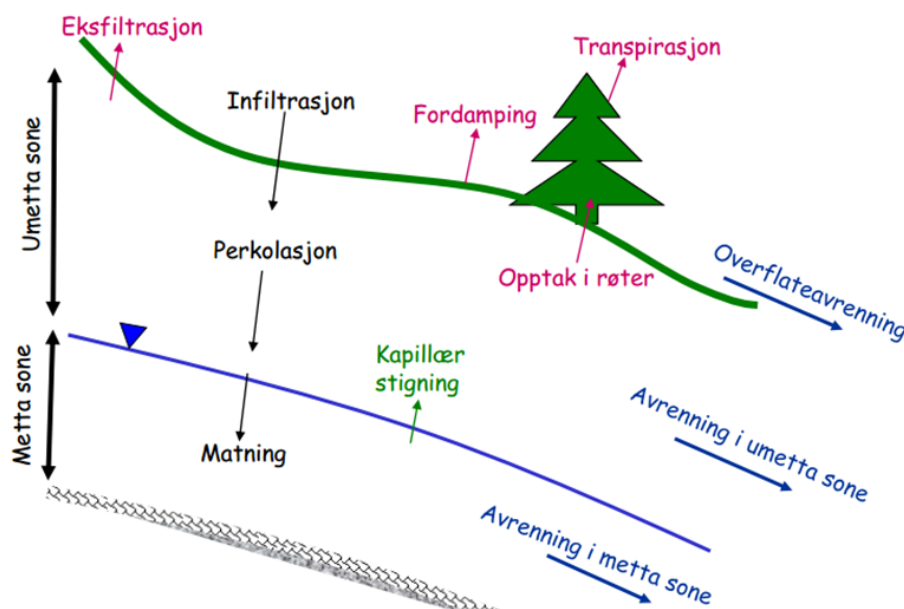
Økt nedbørintensitet og hyppigere byger

I klimarapporten AR4 står det at frekvensen til kraftig nedbør har økt over de fleste landområder. Hyppigheten har økt i takt med oppvarmingen og observert økning av vanndamp i atmosfæren. I rapporten er det definert at det er svært sannsynlig (større en 95 % sannsynlighet) at intense nedbørsepisoder vil forekomme oftere, og det er meget sannsynlig (større enn 90 % sannsynlighet) at det blir mer nedbør i Nord-Europa. (Cicero, 2007).

Klimaendringer i Sandnes

Sandnes kommune har bestemt at nedbørsdata skal multipliseres med en klimafaktor på 20 % for å ta høyde for de forventede klimaendringene, verdien er hentet fra Norsk Vann Rapport 162. (Lindholm et al., 2008a).

2.3 Hydrologi



Figur 2 Vannbalansen i grunnen (Alfredsen, 2010)

Hydrologiske prosesser som foregår i jorden er illustrert i Figur 2. I oppgaven fokuseres det på overflateavrenning, infiltrasjon og evapotranspirasjon. SUDS bidrar til å redusere overflateavrenning ved å øke infiltrasjon og evapotranspirasjon i vannbalanse ligningen: $P = Q + E + I + X \pm \Delta S$

P er nedbør,
 Q er avrenning,
 E er evapotranspirasjon
 I er infiltrasjon
 X er andre tap, som blant annet intersepsjon, vætingstap og gropmagasinerings
 ΔS er endring i nedslagsfeltet.

Evapotranspirasjon

Evapotranspirasjon er en fellesbetegnelse for vann fra overflaten som går til vandamp. Potensiell evaporasjon er mengden som kan fordampe dersom det er ubegrensede mengder med vann, og kalles klimaets tørkekapasitet. Aktuell evaporasjon tar hensyn til tilgjengelig vannmengde og er brukt i vannbalanseligningen. (Alfredsen, 2010).

Infiltrasjon

Infiltrasjon foregår i den kapillære sonen og er avhengig av faktorer som nedbør, frysing, temperatur, fuktighet og jordens egenskaper, helning og overflatedekket. Infiltrasjon er også avhengig av stedlige masser. Komprimerte masser og tett frost senker infiltrasjonskapasiteten. (Alfredsen, 2010).

Hydraulisk konduktivitet

Vannets bevegelse i jord er beskrevet av Darcys lov:

$$q = -K \frac{dh}{dz}$$

Hydraulisk konduktivitet K er en funksjon av jordens kornfordeling og fuktighet. dh er endring i piezometrisk porehøyde og dz er endring i vertikal koordinat. Både hydraulisk konduktivitet og porehøyden er maksimalt når jorden er tørr. (Paus, 2012a).

Vannmettet hydraulisk konduktivitet er gitt ved ligningen:

$$K_h = K \frac{\mu}{\rho g}$$

K_h er en funksjon av mediets permeabilitet, vannets densitet og viskositet (Braskerud og Paus, 2013).

Tabell 2 Klassifisering av mettet hydraulisk konduktivitet (USDA, 2006)

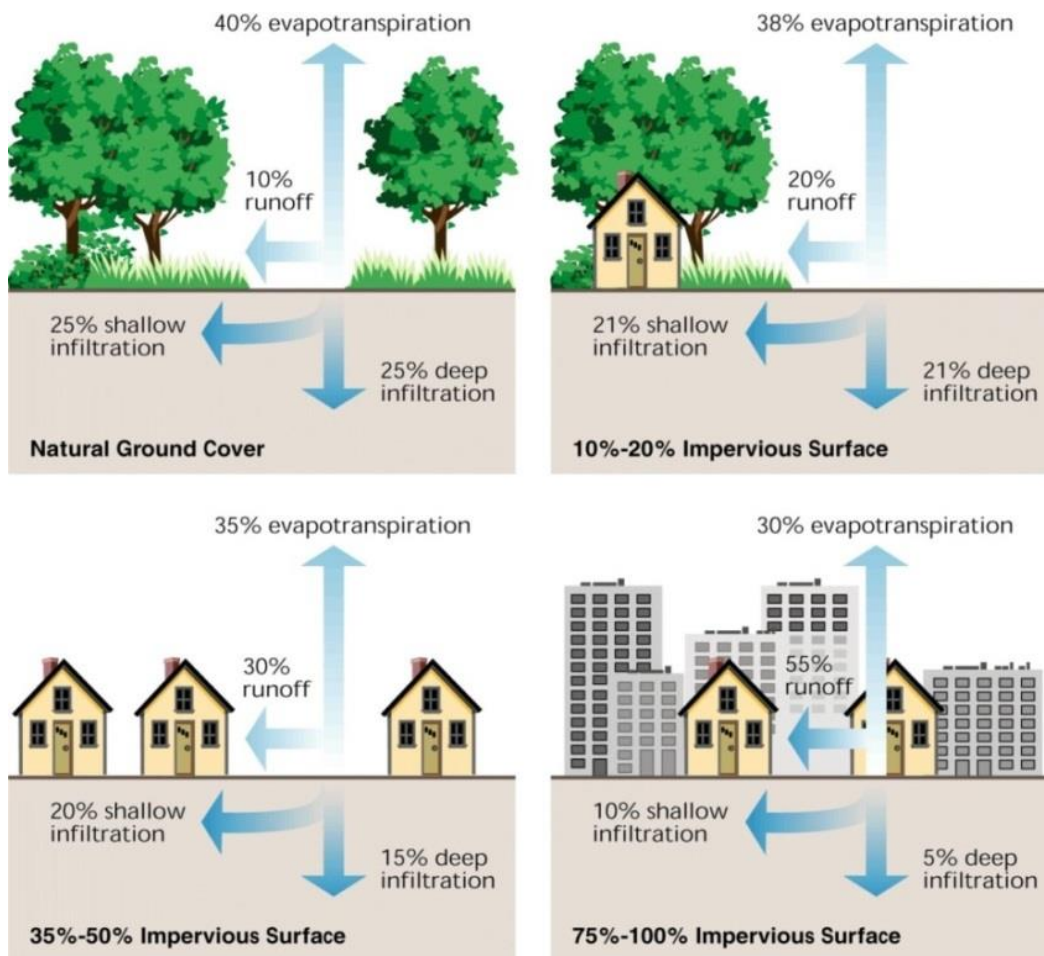
Klassifisering:	K_{sat} [cm/t]
Veldig god	36 – 253,8
God	3,6 - 36
Moderat god	0,36 – 3,6
Moderat lav	0,036 – 0,36
Lav	0,0036 – 0,036
Veldig lav	0 – 0,0036

I Tabell er det en klassifisering av verdier for mettet hydraulisk konduktivitet fra NSSH, National Soil Survey Handbook i USA. (USDA, 2006)

2.4 Urbanhydrologi

Lokal overvannshåndtering

Urbanisering og fortetting fører til mindre fordamping, mindre infiltrasjon, raskere avrenning og økt erosjon. Dette medfører at kapasiteten til eksisterende avløpsnett ikke klarer å ta unna all avrenningen. Et alternativ til å øke rørdimensjonen er å benytte lokal overvannshåndtering (LOH). Lokale overvannsløsninger eller SUDS benytter overvann som en ressurs, og gir opplevelser ved å tilføre det blå element i urbane strøk. Samtidig fordrøyer og forsinker de avrenningen og renser vannet lokalt.



Figur 3 Vannbalansen i naturlige og urbane områder (FISRWG, 1998)

Figur 3 illustrerer vannbalansen i naturlige og urbane områder. Andel impermeable flater i byer gir lavere infiltrasjonskapasitet. SUDS benytter hydrologiske prosesser fra vannets naturlige kretsløp som evapotranspirasjon og infiltrasjon, for å bringe tilbake den hydrologiske vannbalansen. Dette medfører en reduksjon av flomtopper og avrenningsvolum, som igjen resulterer i et avlastet ledningsnett, og en nedgang i antall flommer og overløpstimer. Hyppige overløpsutslipp kan forårsake forurensing av vassdrag.

Forurenset overvann

Overvann fra sentrumsområder kan være forurenset på grunn av trafikk. Forurensningsstoffene er blant annet: suspendert stoff, nedbrytbart organisk materiale, næringssalter som nitrogen og fosfor, veisalt, tungmetaller (kobber, sink og bly), organiske mikroforurensinger, olje og bensinprodukter. (Thorolfsson, 2012). Enkelte SUDS er dimensjonert slik at de renses vannmengden fra "first flush" hendelsen. Resten av vannet går i overløp eller direkte videre uten rensing da denne delen ikke inneholder like mye forurensing. (Bandermann, 2013)

"First flush"

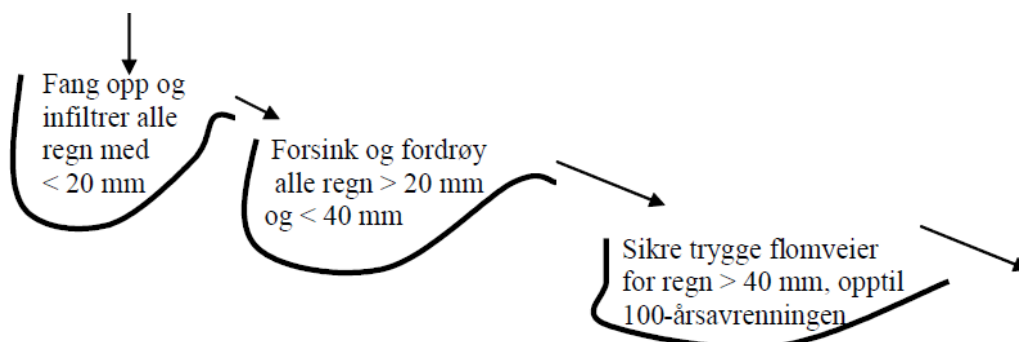
Under en tørrværsperiode akkumuleres partikler på overflaten og i starten av et regnskylt fører skjærspenningene fra vannet til at partiklene løsner. Den økte konsentrasjonen av stoffer i overvannet i starten av regnskyllet kalles "first flush" (Paus, 2012a).

Design av SUDS

SUDS kan benyttes alene, eller i en kombinasjon med konvensjonelle løsninger. Den mest bærekraftige metoden er å betrakte overvannshåndtering som et tog, der man begynner ved kilden og forsetter transportetappen nedstrøms til utslippet. (Stahre, 2004). I tillegg til design er vedlikehold viktig for å ta vare på funksjonen og øke levetiden til SUDS.

Treleddstrategien for overvannshåndtering

Figur 4 viser treleddstrategien for håndteringen av overvann fra Norsk Vann. Ideen er å ta hånd om mindre nedbørsmengder lokalt, fordrøye større nedbørsmengder og sørge for at store sjeldne skybrudd ledes langs flomveier. (Lindholm et al., 2008a). Verdiene er veiledende, det må ta hensyn til lokale forhold for å bestemme hvor mye regn som skal legges til grunn for hvert av stegene (Sægrov, 2013).



Figur 4 Treleddstrategi for overvannshåndtering, fra Norsk Vann (Lindholm et al., 2008)

Infiltrasjon og fordrøyning

Type og størrelse på SUDS er avhengig av infiltrasjonskapasiteten i stedege masser. I følge Stephan Bandermand vil infiltrasjon være mulig med en hydraulisk konduktivitet større enn 10^{-7} (m/s). (Bandermand, 2013). Dersom grunnforholdene er lite egnet til infiltrasjon, eller det er restriksjoner på tilførsel til grunnvann, kan SUDS benyttes for å fordrøye overvannet. (Bergen kommune, 2005).

2.5 SUDS i tettbygde områder

Det er mer utfordrende å implementere SUDS i et eksisterende område kontra et planlagt område. I eksisterende områder må det tas hensyn til infrastruktur og bygninger. Hvis SUDS påvirker grunnvannsnivået kan endringene medføre setninger eller råteskader på boligen. (Lindholm et al. 2008b). Urbane områder har lite tilgjengelig areal, derfor kan SUDS implementeres som flomdempende tiltak i eksisterende parker, grøntareal, dammer ol. I tettbebygde områder vil grønne tak være et estetisk alternativ, samtidig som de behandler og fordrøyer overvannet.

Grønne tak

Det skilles mellom intensive og ekstensive grønne tak. Intensive tak er rene hageanlegg, inneholder varierte arter og krever en del vedlikehold. Ekstensive tak domineres av sedumarter som tåler både næringsfattig jord, og lange perioder med tørke. (Dunnett og Kingsbury, 2004). Intensive tak har et vegetasjonsdekke på 15 – 35 cm, mens ekstensive grønne tak har et vegetasjonsdekke på 3 - 14 cm. (Berndtsson, 2009, Mentens et al. 2006).

Grønne tak består av en rotsikker membran, og et dreneringslag som sikrer at overflødig vann blir ledet bort. Dette hindrer plantene i å drukne og unngår at for mye vann lagres på taket. Dreneringslaget virker som et reservoar for plantene og en ekstra vannfordrøyning. Mellom dreneringslaget og vegetasjonen er det en filterduk til å holde igjen finpartiklene fra jord og vegetasjonslaget. (Dunnett og Kingsbury, 2004).

I tettbebygde områder kan takarealet bidra til en grøntstruktur for et parkanlegg eller hage. Dette krever at konstruksjonen tåler tilleggslasten. Hvis taket tettes ordentlig vil det tåle vegetasjon og stående vann, samtidig som det har en isolerende og beskyttende effekt. (Dunnett og Kingsbury, 2004).

Urban varmeøeffekt

Den årlige gjennomsnittstemperaturen i byer med mer enn 1 million innbyggere kan være 1 - 3 grader varmere enn omkringliggende områder, dette kalles urban varmeøeffekt. Effekten gjelder også for mindre byer, men temperaturen avtar

desto mindre byen er. Urban varmeøyeffekt skyldes blant annet at den store andelen mørke flater absorberer solstrålene. Albedo verdien for asfalt, betong og brun/rød teglstein ligger på 0,05 – 0,35, mens for gress er den 0,25 – 0,3. En høyere albedo verdi betyr at flaten reflekterer mer av solen. Grønne tak reduserer den «urbane varmeøyeffekten» fordi evapotranspirasjon forbruker solens energi og har en avkjølede effekt, i motsetning til svarte takflater. (EPA, 2006). Hvite tak kan benyttes for å redusere absorpsjonen, men selve hvitfargen er ikke varig, forurensingen i byen gjør taket fort skittent og «grått».

Porøse dekker

I stedet for impermeable flater kan permeable flater som singel, naturgrus, naturstein, betongnetting eller porøs asfalt benyttes. Trafikkerte veier inneholder miljøgifter som ikke bør infiltreres i grunnen, mens avrenning fra tak og fortau kan infiltreres. (Lindholm, et al. 2008b). Hulrommet i de permeable dekkene varierer mellom 15 – 30 %, gjennomsnittlig ligger det på 20 %. Permeable dekker krever vedlikehold ellers vil de tettes igjen av partikler, strøing av sand og grus kan gjøre at de tettes igjen fortere. (EPA, 2013).

Infiltrasjon på gresskledde flater

Frakobling av tak fra overvannssystemet der vannet ledes ut på et infiltrasjonsområde, gjør at deler av vannet vil infiltrere i grunnen. Et bend på røret hindrer takvannet i å renne ned langs grunnmuren. Det er viktig å plassere steiner eller annet hardt under utløpet for å unngå erosjon. Infiltrasjonsflaten bør være ca. 1 – 2 ganger større i forhold til takflaten som vannet renner fra. Overskuddsvannet som ikke infiltrerer må tas hånd om, f.eks. i en kum med åpen bunn som er koblet til overvannsnett. (Lindholm, et al. 2008b).

Plastkassett- eller steinfyllingsmagasin

Et steinfyllings- eller plastkassettmagasin benytter porevolumet til fyllingsmassene for å lagre vann. Steinmagasin består av et grovt steinmateriale som grus eller singel og har et porevolum på rundt 30 %, mens plastkassetter har et porevolum opp til 95 %. Plastkassetten er mindre plasskrevende og kan egne seg i urbane områder med mangel på areal. Vannet infiltrerer fra magasinet og videre ut til omgivelsene. Dersom infiltrasjon ikke er mulig kan et strupet utløp lede vannet videre til avløpsnett. Grunnvannstanden bør ligge under bunnen til magasinet for å oppnå full effekt. Ved bruk av steinfyllingsmagasin i fingraderte grunnforhold vil perkolasjonen ned til grunnen bli svært liten. Magasinene bør ha sandfang, oljeavskiller og fiberduk for å unngå gjentetting og øke levetiden. (Lindholm et al. 2008b).

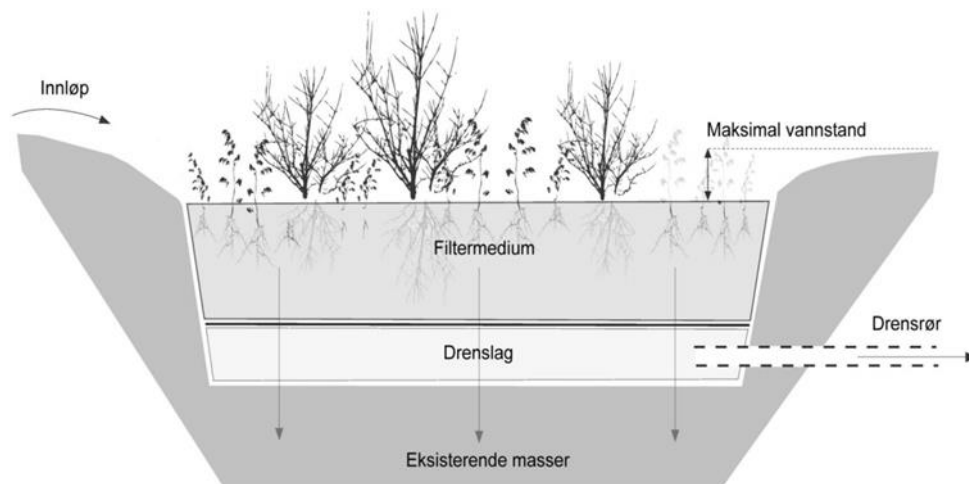
Regnbed

Regnbed er et nedsenket bed som renses, infiltrerer og fordrøyer overvann. Nødvendig størrelse på regnbed er fra et konservativt anslag 5– 10 % av nedslagsfeltets areal, men størrelsen er avhengig av blant annet

infiltrasjonskapasitet. Normalt blir regnbed dimensjonert for å håndtere den første delen av nedbøren, altså første ledd i treleddsstrategien. Regnbed bør plasseres med god avstand fra bygg og kjellere slik at infiltrert vann ikke skader bygninger. Helningen må være slak, mellom 5 – 20 %. (Braskerud og Paus, 2013)

Plantene må tåle vekslende våte og tørre forhold. De kan enten være vedlikeholdsfrie stedegne planter, eller prydbusker som krever stell. Filtermediet må ha høy infiltrasjonskapasitet, og inneholde organisk materiale for å opprettholde mikrobiologisk aktivitet. (Braskerud og Paus, 2013)

Tett frost hindrer infiltrasjon, men dreneres bedet godt vil det være luft i porevolumet, slik at infiltrasjon er mulig selv med minusgrader ute. Drenerør hindrer tett frost som oppstår når filtermediet er vannmettet og fryser. For å sikre tilstrekkelig infiltrasjonskapasitet og høyt porevolum må kompaktering av massene unngås. Figur 5 viser tverrsnittet av et regnbed. I sandige masser er det ikke nødvendig med drenerør. (Braskerud og Paus, 2013)

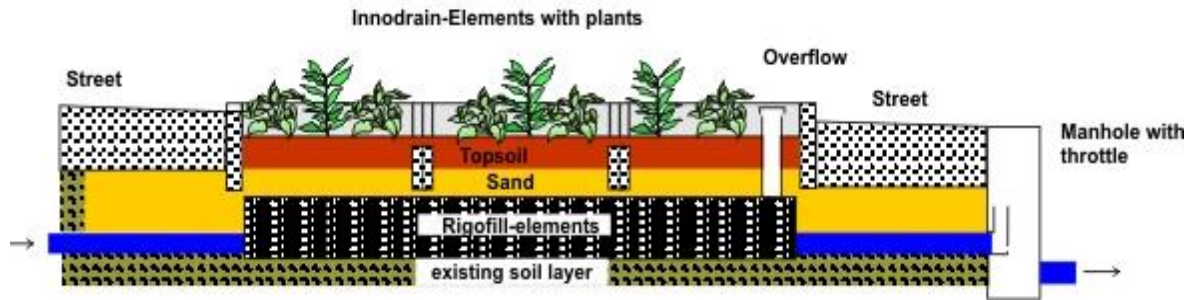


Figur 5 Oppbygging av regnbed ((Paus 2012), basert på (Stenberg 2011))

Innodrain

Innodrain ligner et regnbed, men med en betongkasse rundt seg. Betongen gjør innodrainet egnet til å stå langs veien, der den gir en fartsdempende effekt. Plantene må kuttes regelmessig for å opprettholde sikten. Dimensjonerende størrelse er 3 – 5 % av nedslagsfeltets areal. Innodrain består av et bed på 20 – 30 cm der vannet infiltreres og renses. Det er tett beplantet, og plantene må tåle både tørre og våte perioder. Vannet fra bedet infiltreres videre til et steinfyllingsmagasin.

Det er et overløp i regnbedet som fører vann direkte ned til steinfyllingsmagasinet, se Figur 6. Innodrain bør dimensjoneres slik at ”first flush” hendelsen blir infiltrert og renses, før overløpet trer i kraft. Når systemet er fullt vil overløpet aktiveres og hindre oversvømmelse av veien. Innodrain blir levert med drenerør for å sikre at bedet blir fullstendig tømt. Overløp og strupet innløp er plassert i kummer, som er tilgjengelige for inspeksjon. (Sommer, 2007).



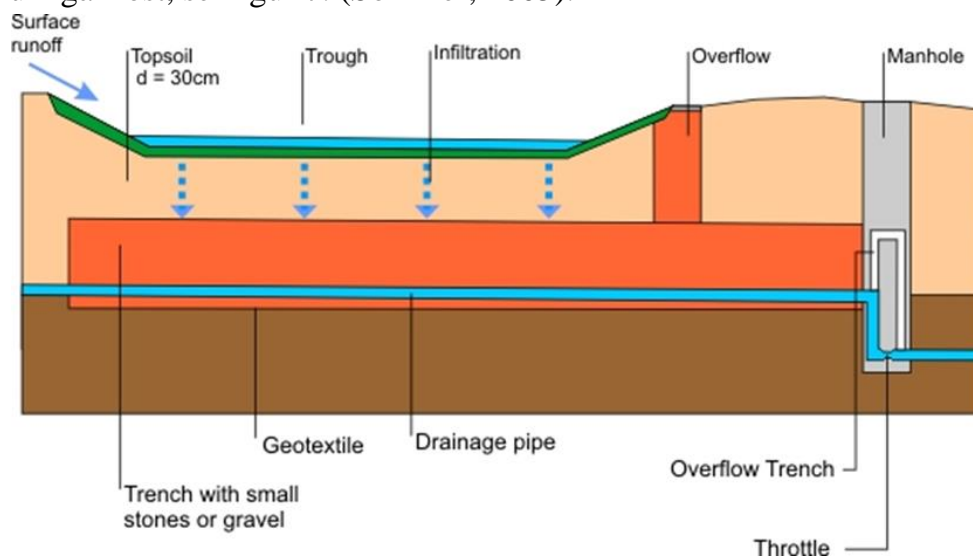
Figur 6 Tverrsnitt av Innodrain, utviklet av det tyske ingeniørfirmaet Sieker (Sommer, 2007)

Gresskledd forsenking

En gresskledd forsenking er en åpen transportvei for overvann, som tar i bruk infiltrasjon og fordrøyning. Forsenkingen er slak nok til at den enkelt skal kunne vedlikeholdes ved klipping. Tverrsnittet i gresskledd forsenkinger er brede og grunne, normal bredde på bunnen er mellom 0,5 og 2,5 meter. Sidekantene bør ikke være brattere enn 3:1 av hensyn til stabilitet og erosjon. (Leland, 2012). Gresskledd forsenkinger kan være arealkrevende derfor er det ikke alltid plass til dem i tettbygde strøk.

Gresskledd forsenking med underliggende infiltrasjonsmagasin

En gresskledd forsenking med infiltrasjonsmagasin under gjør at vannet filtreres og renses i jordlaget og forurensinger blir holdt igjen. I magasinet blir vannet lagret og infiltrert i omkringliggende masser. En geotekstil duk rundt massene sikrer finere masser fra å tette igjen grusen, og hindrer røtter fra å trenge inn. Det legges inn et drenerør for å sikre at magasinet tømmes innen rimelig tid og unngå frost, se Figur 7. (Sommer, 2005).



Figur 7 Tverrsnitt av en gressledd forsenking med underliggende infiltrasjonsmagasin, (Sommer, 2005)

2.6 STORM

STORM er et hydrologisk modelleringsprogram som er utviklet av det tyske ingeniørfirmaet Sieker. I STORM er det er mulig å beregne både vannføring og renseeffekt for konvensjonelle systemer og SUDS. Programmet kan brukes til å planlegge lokale overvannstiltak og dimensjonere ulike SUDS. Det er mulig å legge inn egne regndata, både observerte langtidshendelser og korte designregn. (IPS, 2003).

Beregninger i STORM

I STORM modellen for nedslagsfeltet i Sandnes er følgende SUDS benyttet: gresskledd forsenkinger, permeable dekker, grønne tak, infiltrasjonsbasseng under bakken, innodrain og gresskledd forsenking med infiltrasjonsmagasin under. Form og beregninger for ulike SUDS er lagt med i vedlegg A. I de neste avsnittene er det vist hvordan STORM beregner avrenningskoeffisient, evapotranspirasjon og infiltrasjon.

Avrenningskoeffisient

STORM tar hensyn til at avrenningskoeffisienten er mindre under tørre forhold, enn dersom grunnen er vannmettet, og at den varierer med tiden i løpet av regnhendelsen. Figur 8 viser hvordan STORM beregner avrenningskoeffisienten med hensyn på nedbørsmengde.

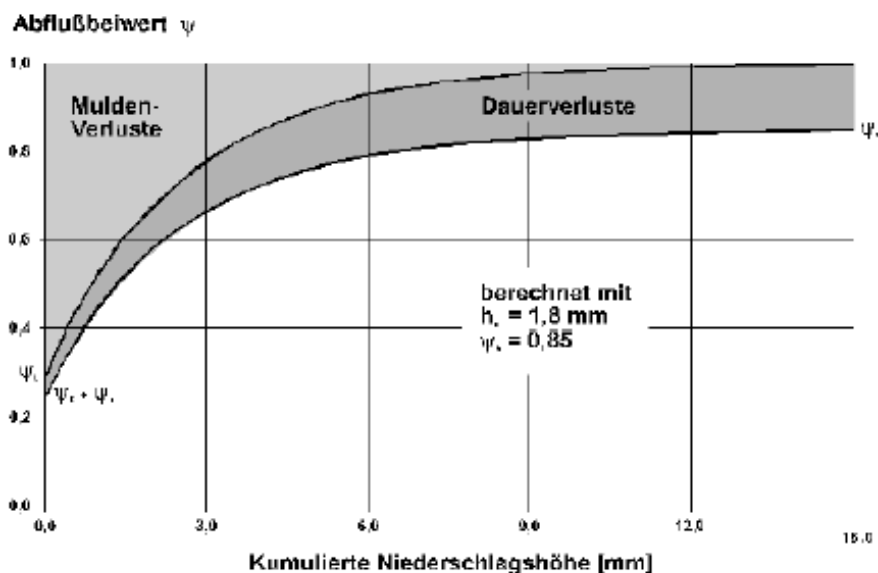


Figure 4-5: Plot of the runoff coefficient y with and without continuous losses (Verworn and Kenter 1993)

Figur 8 Variasjon i avrenningskoeffisienten mot nedbørsmengde (IPS, 2003, Verworn og Kenter, 1993).

Tabell 3 oppgir verdiene for tapsledd og avrenningskoeffisient for impermeable flater i STORM. Vannet som går til vætingstap og gropmagasinerer blir ikke overflateavrenning, men infiltrerer eller fordampes senere. (IPS, 2003).

Tabell 3 Avrenningskoeffisient for impermeable flater i STORM (IPS, 2003)

	Vætingstap	Gropmagasinerings	Avrenningskoeffisient i STORM (ϕ)	
	[mm]		[mm]	Start
Standard	0,5	1,8	0,3	1
Flate tak	2,0	0	1	1
Skråtak	0,3	0	1	1
Veier	0,5	1,8	0	0,95
Fortau	0,7	1,8	0	0,75
Gress	2	3	0	0,3

Vætingstap er den delen av nedbøren som går til å fukte flatene før avrenning, mens gropmagasinerings er den delen av nedbøren som blir liggende igjen på overflaten i form av vannpytter.

Potensiell evapotranspirasjon

Ligningen under viser omregningen fra årlig verdi til døgnverdier for evapotranspirasjon:

$$\Delta h_v = \frac{7}{9} \sin[2\pi/365 \cdot (i - 91) + 1] \cdot \frac{h_v}{365} \text{ [mm/d]}$$

- i er antall dager i året, for 1 januar er i lik 1.
- h_v er den gjennomsnittlige årlige evaporasjonen.

Ligningen gir en sinuskurve med maks potensiell evapotranspirasjon i sommermånedene juni og juli, og minst potensiell evapotranspirasjon i vintermånedene desember og januar.

Infiltrasjonsberegninger

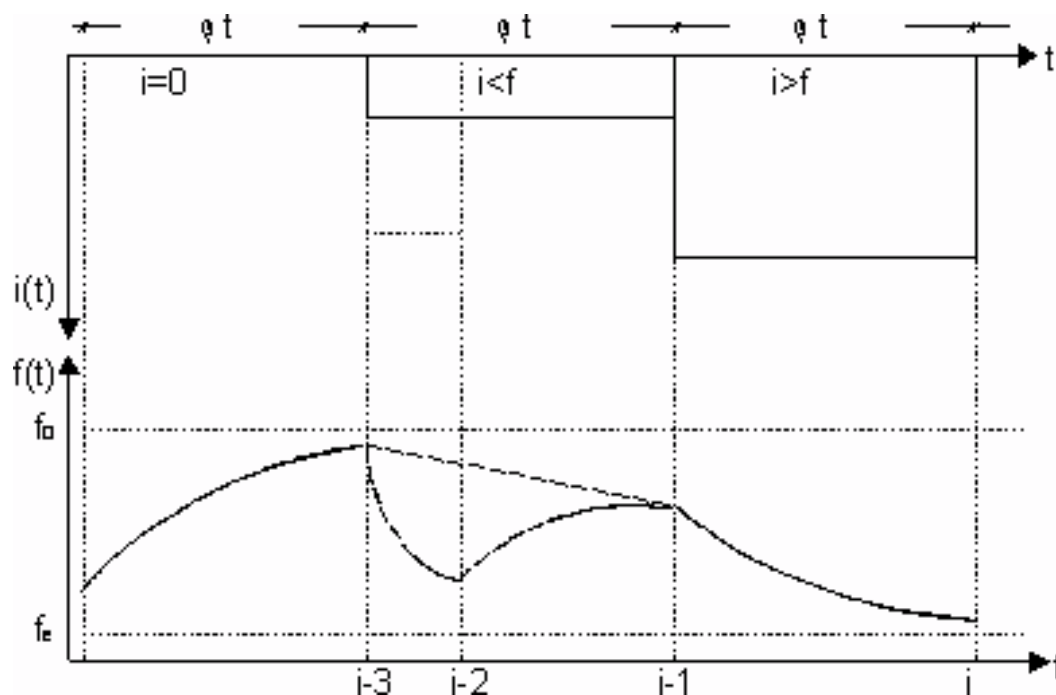
Infiltrasjonsberegningene i STORM er basert på Hortons infiltrasjonsteori:

$$f(t) = f_e + (f_0 - f_e)e^{-kt}$$

- $f(t)$ = infiltrasjonskapasitet ved tiden t
- k = konstant som representerer hvordan infiltrasjonsraten avtar
- f_e = Infiltrasjonskapasiteten ved slutt eller likevekt
- f_0 = Infiltrasjonskapasiteten ved start

Ligningen er eksponentielt avtakende ved øking i tid. Når nedbøren overskrider infiltrasjonskapasiteten renner overskuddet av på overflaten, eller så infiltrerer nedbøren til markvannsonen. I hydrologiske modeller kan ikke infiltrasjonskapasiteten være en matematisk funksjon av tiden, den må være en funksjon av en tilstand i modellen. I STORM benyttes derfor en modifisert metode av Horton, vist i Figur 9. Den har 3 deler, den første når nedbøren er null ($i = 0$), den andre når nedbøren er mindre en infiltrasjonshastighet ($i < f$) og den

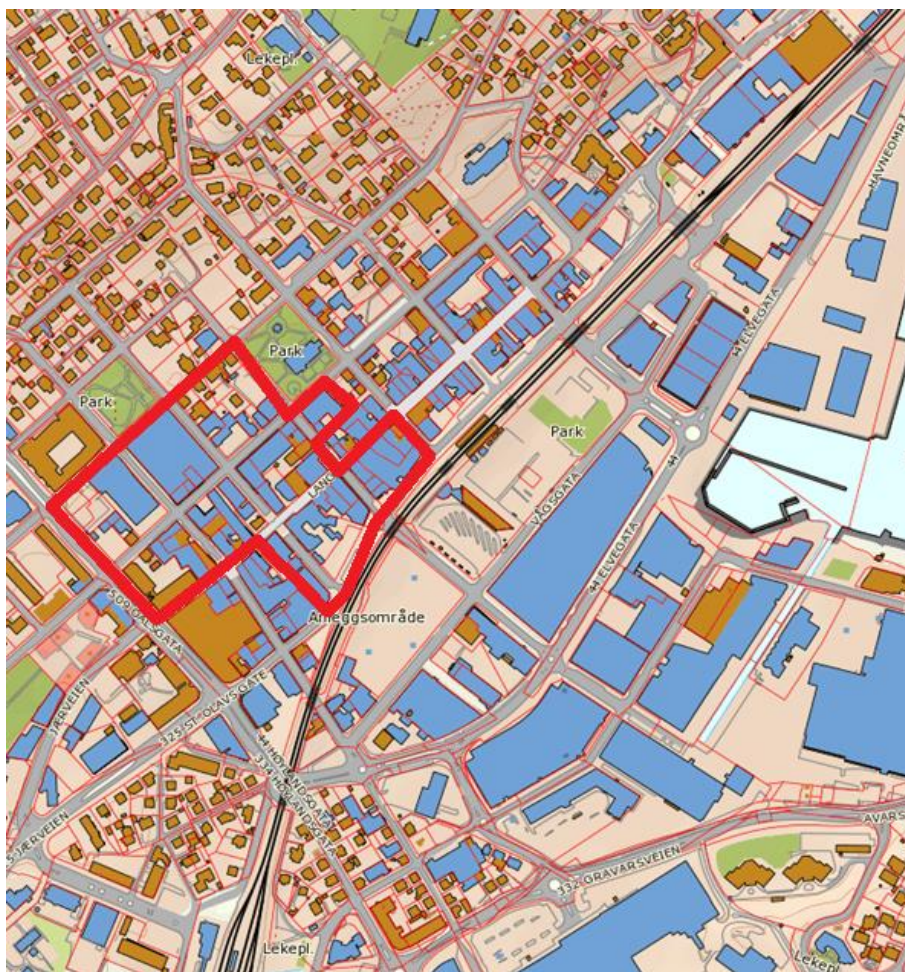
tredje der intensiteten til nedbøren er større enn infiltrasjonen ($i > f$). (IPS 2003, Paulsen, 1987).



Figur 9 Modifisert metode for Hortons infiltrasjonsberegning

2.7 Nedslagsfeltet

Nedslagsfeltet er på 5,4 hektar og ligger i Sandnes sentrum. Avgrensningen er vist på kartet under. Feltet ligger innenfor Eidsvollgata i nord, Oalsgata i vest, St.Olavsgate i sør og Flintergata i øst. Området er urbant og består av butikker, kafeer, restauranter og boliger. Hydrologisk sett består området av impermeable flater med høy avrenningskoeffisient og lav konsentrasjonstid, som gir en høy spissavrenning. Ledningsnettet i nedslagsfeltet er i hovedsak et separat system med egne overvannsledninger. Informasjon om ledningsnettet er hentet fra eksisterende MIKE URBAN modell i Sandnes kommune. MIKE URBAN er et modelleringsprogram for vann og avløpstransport.



Figur 10 Sandnes med nedslagsfeltet (Norgeskart, 2013)

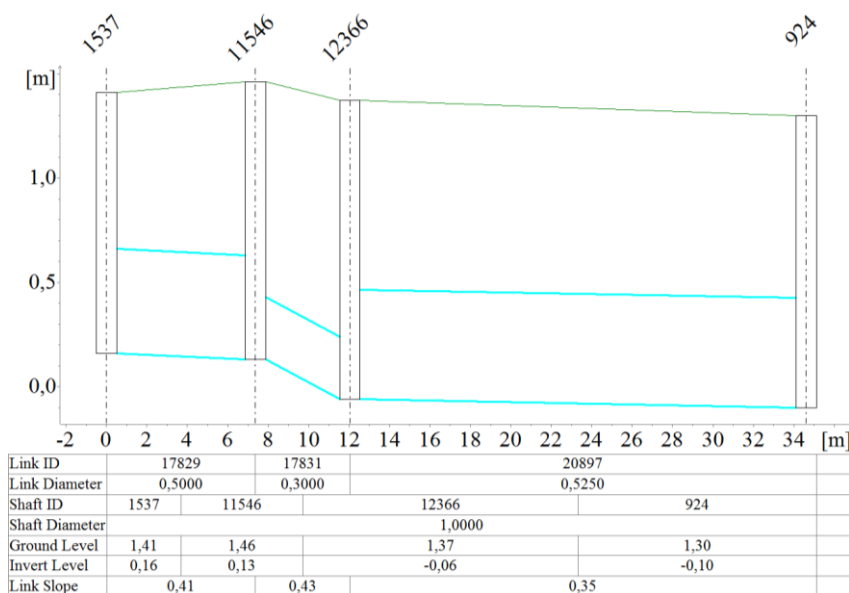
Overløp i Eidsvollgata

Avrenning fra Tronesfeltet (som ligger oppstrøms nedslagsfelt) ender opp i en ledning med diameter 800 mm i Eidsvollgata, som går videre til Oalsgata og inn i Stangelandskulverten. Denne ledningen går utenfor nedslagsfeltet, men i Eidsvollgata er overløpene koblet på nedslagsfeltet. Ved store skybrudd og langvarige regnhendelser kan overløpene tre i funksjon og bidra til økte vannmengder i feltet. Simuleringer i programmet MIKE URBAN viser at dette skjer ved en 20 års hendelse, med en klimafaktor på 20 %.

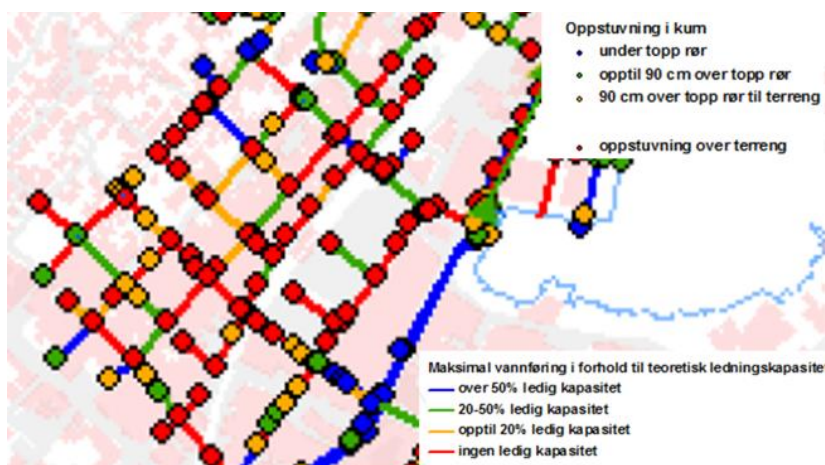
Julie Eges Gate

Under jernbaneovergangen i Julie Eges gate ender avrenningen fra nedslagsfeltet opp i en ledning med diameter på 525 mm, og en helning på 3,5 ‰. Ledningen er dyptliggende og starter med bunn i kote -0,06 meter, derfor vil en framtidig havnivåstigning redusere kapasiteten. Holstad og Hov (2012) har funnet ut at hvis havet øker med 0,98 meter vil kapasiteten til ledningen reduseres fra dagens kapasitet på 265,7 l/s til 243,6 l/s, en reduksjon på 8,3 %.

Figur 11 er hentet fra MIKE URBAN modellen over Sandnes og illustrerer flaskehalsen i krysset mellom Flintergata, Julie Eges Gate og Nedre Jernbanevei. Det ligger et ledningstrekk på 4,6 meter med diameter på 300 mm i krysset. Ledningene i Flintergata og St. Olavsgate har diametere på henholdsvis 500 og 300 mm og begge kobles på ledningen på 300 mm, med helning på 4,3 ‰. Nedstrøms i Julie Eges Gate øker diameteren til 525 mm og helningen på ledningen er 3,5 ‰.



Figur 11 Lengdeprofil av flaskehalsen i starten av Julie Eges Gate



Figur 12 Simuleringer i MIKE URBAN med en symmetrisk regnhendelse på 20 år (+20 %) (Vike, 2012)

Resultater fra MIKE URBAN viser at for et 20 års regn med en klimafaktor på 20 % gir oppstuvninger i Langgata og Flintergata som vist på Figur 12. Tiltak som å implementere SUDS oppstrøms i nedslagsfeltet vil kunne avlaste ledningene.

3 METODE

I dette kapitlet er oppbyggingen av STORM modellene forklart. Først blir oppbyggingen av STORM modellen over dagens situasjon vist. Dette gjøres ved å inndele nedslagsfeltene, finne arealbruken i området og lage den hydrauliske modellen. Deretter foreslås aktuelle SUDS for nedslagsfeltet. Videre er de ulike STORM modellene som er benyttet i simuleringene beskrevet. Tilslutt presenteres nødvendige inndata for å kjøre simuleringene, blant annet temperatur, evapotranspirasjon, nedbørshendelser og infiltrasjonskapasitet.

3.1 Inndeling av nedslagsfelt

Det er laget en hydrologisk og en hydraulisk modell i STORM. Nedslagsfeltet er delt inn i 10 kvartal som representerer delnedslagsfelt. Inndelingen etter kvartal er valgt for å studere effekten av å implementere SUDS i ulike kvartal. Det er i tillegg dyrere og vanskeligere å implementere SUDS som krever at vann krysser gatene, og en inndeling i kvartal unngår dette. (Bandermann, 2013). I STORM får man ut vannbalansen for hvert enkelt nedslagsfelt, samt for det totale feltet. Det er mulig å legge inn hydrografer på steder der det er interessant å vite vannføringen.



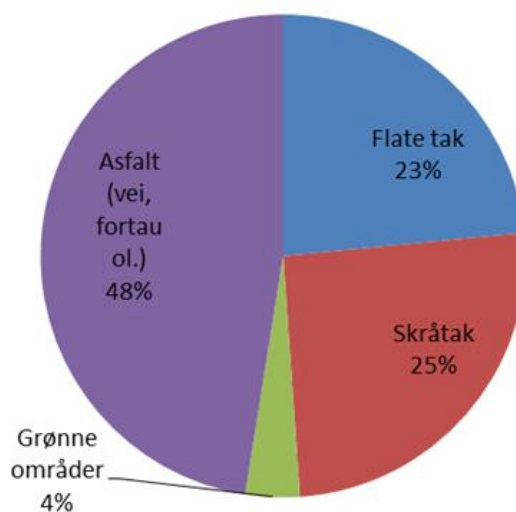
Figur 13 Oppdeling av delnedslagsfelt etter kvartal

Arealbruk i området

Flatene i modellen er inndelt i fire kategorier ved hjelp av Google Earth, befarings og bilder.

- Flate tak
- Tak med helning
- Impermeable flater (vei, fortau, parkering og andre asfalterte flater)
- Permeable flater (grønne områder, bed, gress, grøfter, hager)

Arealbruken i området er vist i Figur 14 og Tabell 4. Andelen tette flater er 96 %, mens 4 % er grønne områder. De ulike flatene har forskjellige parameterverdier for blant annet initiale tap, gropmagasiner og start avrenning. De permeable flatene har parametere for intersepsjon, rottdybde og infiltrasjon som også avhenger av jordtypen definert i programmet.



Figur 14 Arealbruk i nedslagsfeltet

Tabell 4 Arealfordeling i de ulike kvartalene

Kvartal	Flate tak [m ²]	Skråtak [m ²]	Grønne områder [m ²]	Asfalt (vei, fortau ol.) [m ²]	Total areal [m ²]
TG1	1504	1152	602	3508	6766
TG2	3402	108	0	2199	5709
TG3	0	2386	990	3964	7340
TG4	2290	927	0	2810	6027
TG5	643	1964	71	2389	5067
TG6	1746	1817	43	2892	6498
TG7	749	87	0	952	1788
TG8	15	2234	99	1207	3554
TG9	1794	748	137	4438	7117
TG10	558	2341	16	1347	4262
Total:	12700	13764	1957	25706	54127

3.2 Hydraulisk modell

Data fra MIKE URBAN modellen i Sandnes er brukt for å lage den hydrauliske modellen i STORM vist i Figur 15. Diameter, lengde, ruhet og helning er lagt inn i den hydrauliske modellen i STORM. Ruheten er satt til å være 1 mm på alle ledningene.

Den hydrauliske modellen er sterkt forenklet, i modellen blir hvert kvartal koblet til kun et punkt. I virkeligheten er de ulike flatene i kvartalet koblet til forskjellige ledninger, på forskjellige steder. Forenklingen er gjort for å kunne se effekten på avrenningen for hele kvartalet med og uten SUDS.

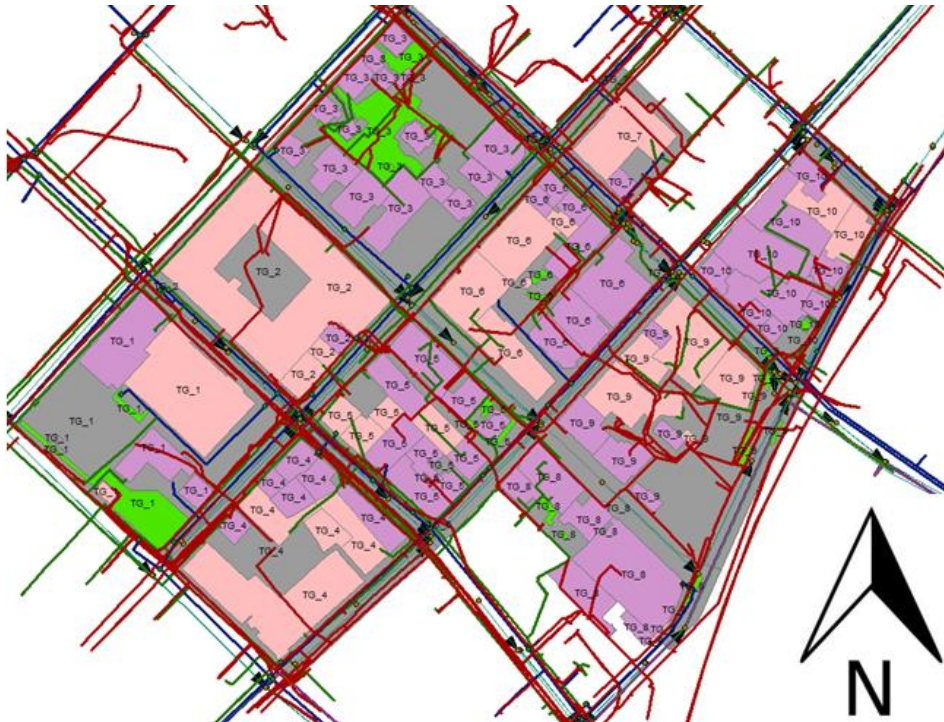
Effekten av SUDS skal undersøkes nederst i ledningsnettets. Nedslagsfeltet ender opp i en dyptliggende ledning som går gjennom Julie Eges gate, under jernbanen.



Figur 15 Hydraulisk modell i STORM

3.3 Implementering av SUDS i eksisterende område

Installasjon av SUDS i et allerede utbygget område er krevende. Det kan bli nødvendig å flytte infrastruktur i bakken se Figur 16, eller å tette eksisterende tak for å kunne legge på grønt tak. Det kan lønne seg å anlegge SUDS ved oppgradering, oppussing og bygging av nye områder.



Figur 16 Hele nedslagsfeltet, med kabler og ledninger. Rødt er strømkabler og blå er telefonlinje (Kart fra Sandnes kommune, i arcGIS)



Implementering av SUDS i urbane områder krever planlegging. Det er ikke bare å koble fra tak, man må også ha kontroll på hvor vannet tar veien. Bildet viser hvordan vann fra takrennen føres ut på et flatt område, der det akkumulerer og fryser til is. Resultatet er redusert framkommelighet på fortau.

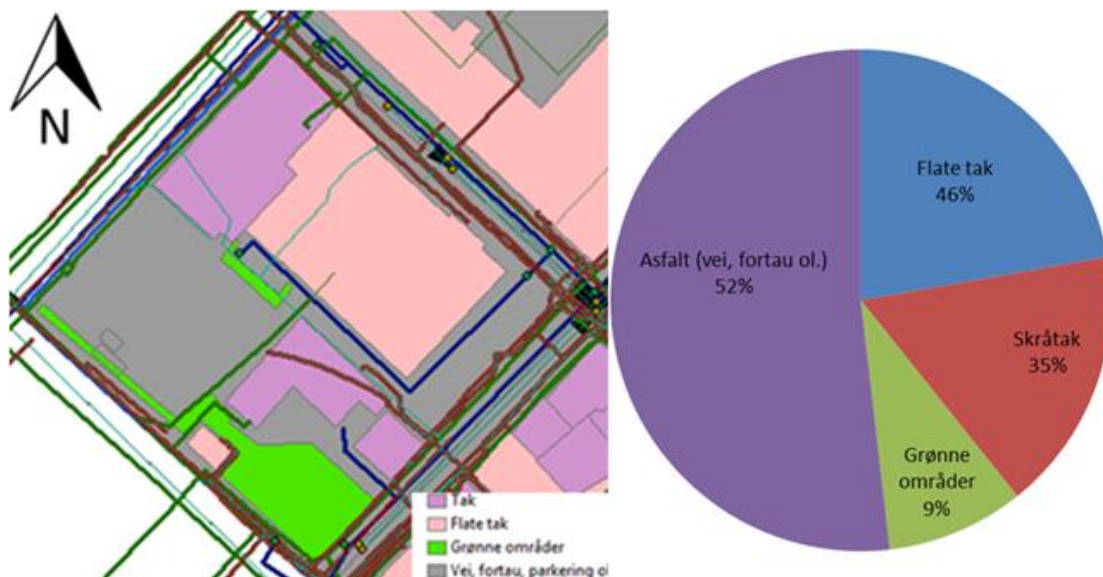
Figur 17 Redusert framkommelighet på fortau pga. ukritisk frakobling av tak, (bildet er lånt fra Camilla Pihl sin konto på Instagram)

3.4 Forslag til SUDS i de ulike kvartalene

Det blir presentert forslag til hvilke SUDS som kan være aktuelle å implementere i de ulike kvartalene. I modellen kan ikke alle forslagene beregnes, siden STORM ikke har inne alle typer SUDS.

Kvartal TG1 (Vitenfabrikken)

I Figur 18 presenteres kvartalet TG1 og prosentvis arealfordeling.



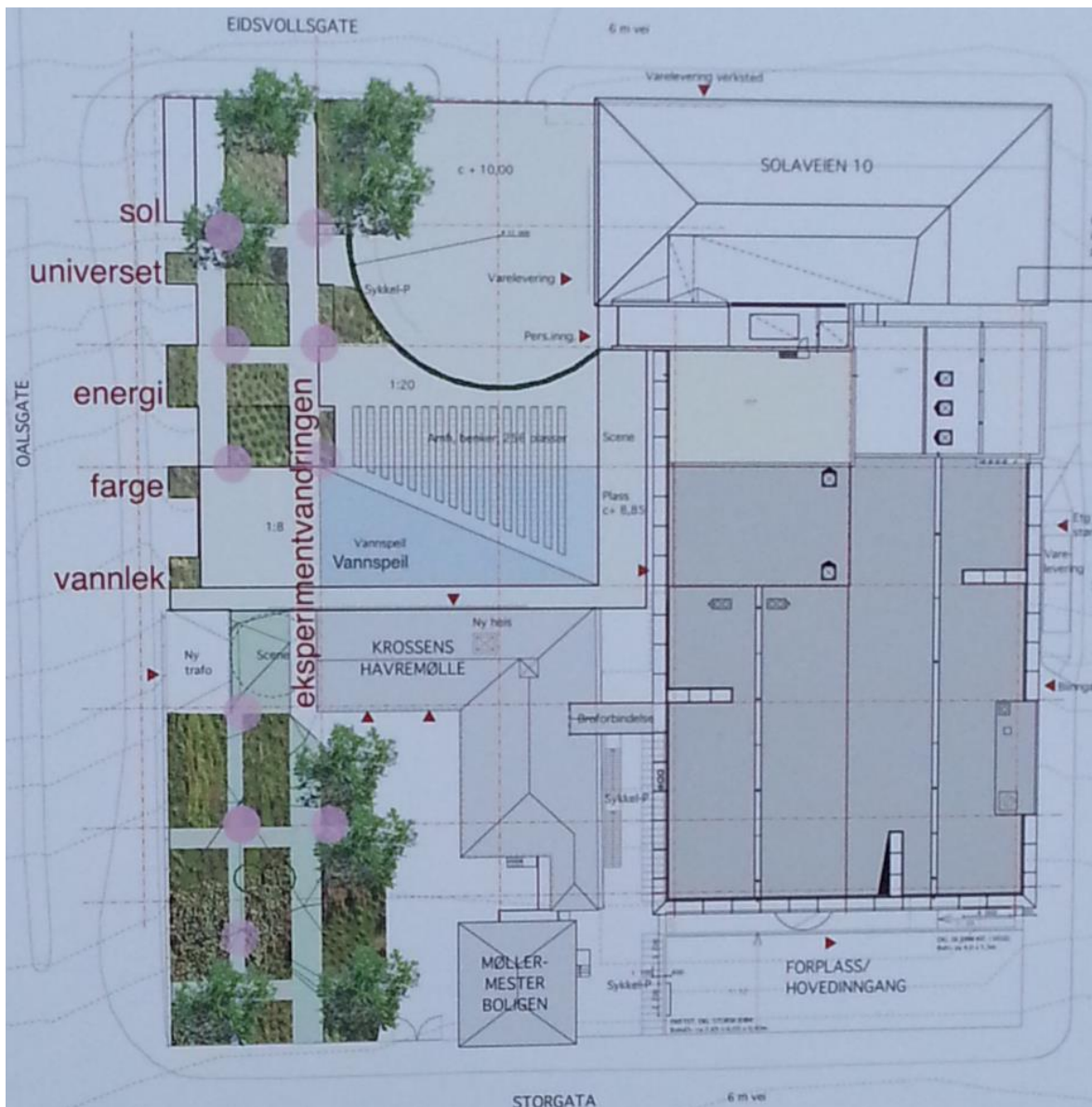
Figur 18 Kvartal TG1 (Vitenfabrikken) (Kart fra Sandnes kommune i arcGIS)

Kvartalet består av: en parkeringsplass, vitenfabrikken med flatt tak, et område i granitt foran senteret, og en park parallelt langs Oalsgata (sørvest i kvartalet). Taket til vitenfabrikken har en liten balkong, et ventilasjonssystem og noen glassvinduer, men mesteparten er vanlig flatt tak. Her er det mulig å legge et 20 – 30 cm tykt grønt tak, såfremt konstruksjonen tåler lasten (Bander mann, 2013). Avrenning fra halve taket er benyttet til å produsere energi i en turbin som står på utstilling i vitenfabrikken, se Figur 19.



Figur 19 Øverst til venstre: takterrasse, øverst til høyre: innvendig takrenne. Nederst til venstre: vannturbin drevet av regnvann fra taket på utstilling i vitenfabrikken, nederst til høyre: taket på Vitenfabrikken.

På veggen til Vitenfabrikken hang det en plakat om planene for området til høyre for Vitenfabrikken, se Figur 20. Parkeringsplassen skal erstattes med en scene, et vannspeil og sykkelparkering. I disse planene fjernes den impermeable parkeringen, og ved å inkludere lokal overvannshåndtering i planene kan overflateavrenningen fra kvartalet reduseres. Vannspeilet kan motta regnvann fra takflatene og bidra til å fordrøye og forsinke avrenningen. Ved å lede overvann ut i parken, f.eks. til et regnbed kan infiltrasjonen økes og avrenningen minke.

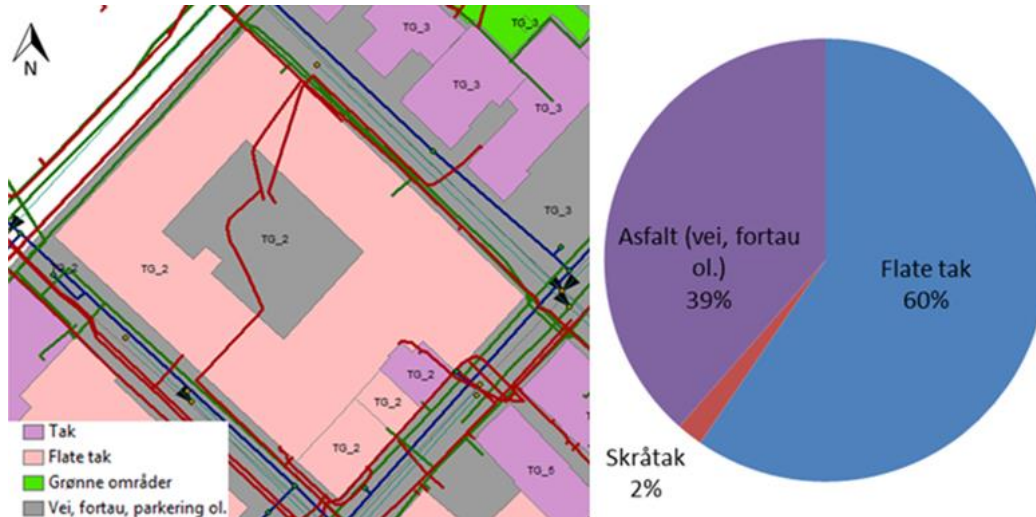


Figur 20 Planer for opprustning av uteareal ved Vitenfabrikken (Bilde av et kart på utsiden av Vitenfabrikken, 9. april 2013)

Ved inngangen til Vitenfabrikken er det en granittflate med fall ned mot Storgata. Mellom fortauet og granithellen er det en åpning på 1 – 1,5 cm, som kan drenere bort vann. Hvis åpningen hadde blitt laget litt større, kunne man oppnå infiltrasjon i grunnen fra granittflaten. Bilveien ligger nedstrøms så forurenset avrenning vil ikke infiltrere i åpningen. (Bandermann, 2013).

Kvartal TG2

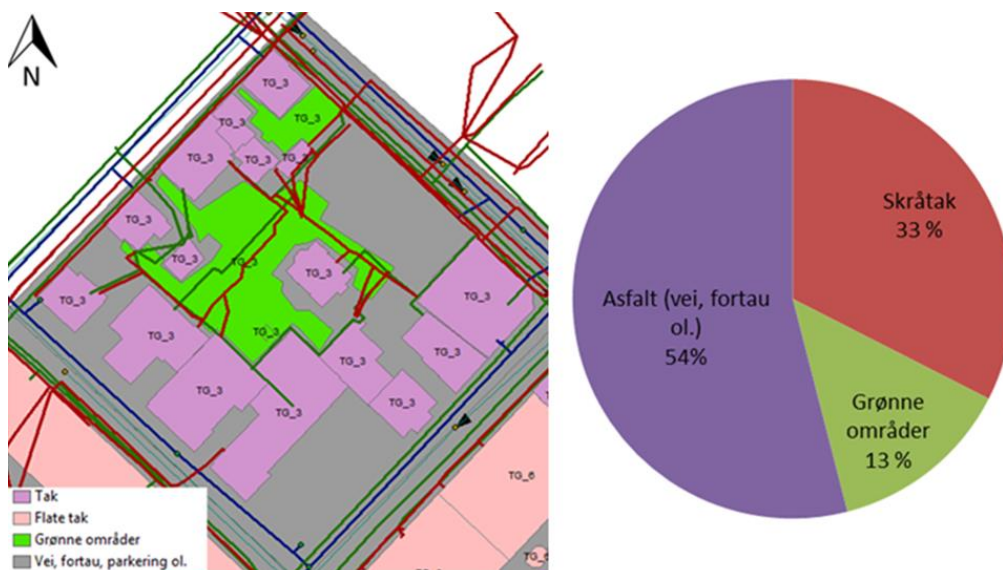
Dette området domineres av en gammel sykkelfabrikk med flatt tak, se Figur 21. Det resterende området er asfaltert. Dersom takkonstruksjonen tåler vekten kan det anlegges et grønt tak. Taket kan benyttes som en park, eller hage for beboerne.



Figur 21 Kvartal TG2 (Kart fra Sandnes kommune i arcGIS)

Kvartal TG 3

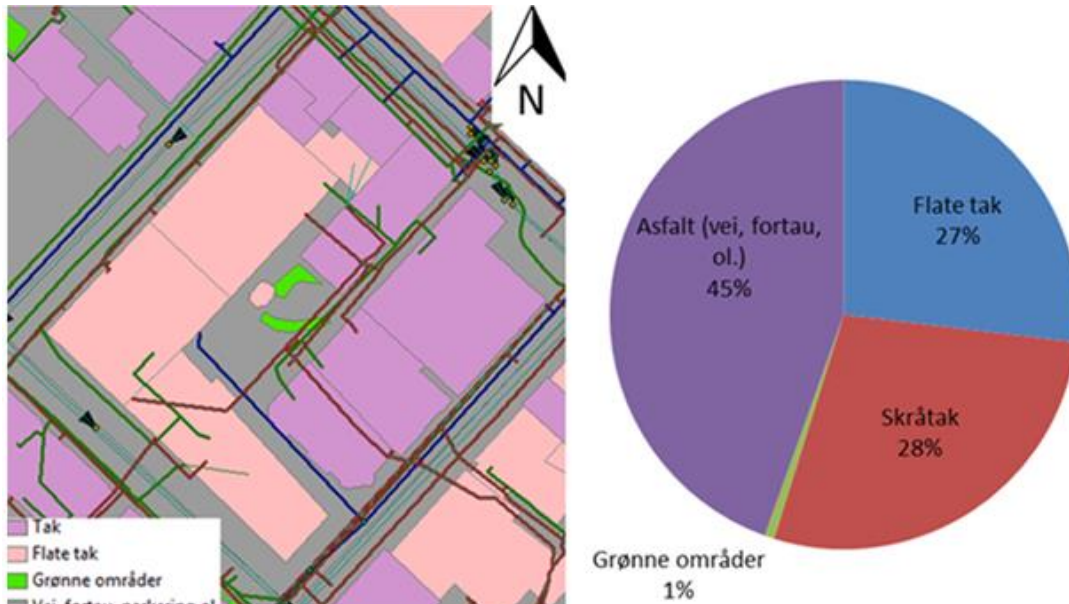
I Figur 33 står det at området består av 13 % grønt areal, men dette er private hager bak eneboligene. Frakobling av tak fra eneboligene for å infiltrere på plenen kan vurderes dersom grunnen klarer å infiltrere regnet. Det er lokalisert to parkeringsplasser i kvartalet. Disse kan anlegges permeabelt dekke, eller det kan bygges infiltrasjonsbasseng under. Et regnbed kan plasseres i det laveste punktet. Parkeringen kan fjernes fra gateplanet og området kan benyttes til andre arealformål. Dette kan være blant annet SUDS, som trær med infiltrasjonsmuligheter, eventuell en gresskledd forsenking. TG3 er det kvartalet som inneholder størst grøntareal, men dette er private hager med kabler under.



Figur 22 Kvartal TG3 (Kart fra Sandnes kommune i arcGIS)

Kvartal TG 5

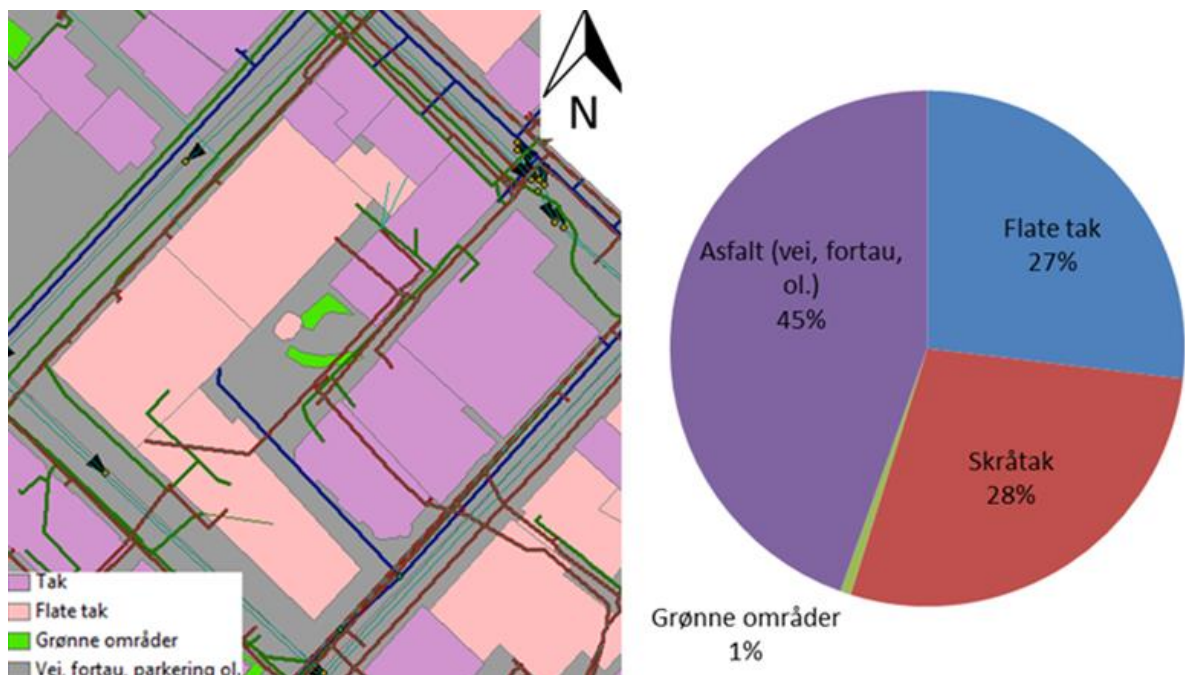
Kvartalet er presentert i Figur 23 og består av bygninger med flate tak, og en parkeringsplass der man kan plassere et infiltrasjonsmagasin.



Figur 23 Kvartal TG5 (Kart fra Sandnes kommune i arcGIS)

Kvartal TG 6

Figur 24 viser arealfordelingen i kvartalet. I kvartalet er det et stort betongbygg med flatt tak egnet for et grønt tak. I gatene rundt (Flintergata og Storgata) er det parkering langs veien. En av gatene (Langgata) er en gågate med butikker. Det er butikker i 1 etasje på byggene. Midt inne i kvartalet er det en asfaltert plass.

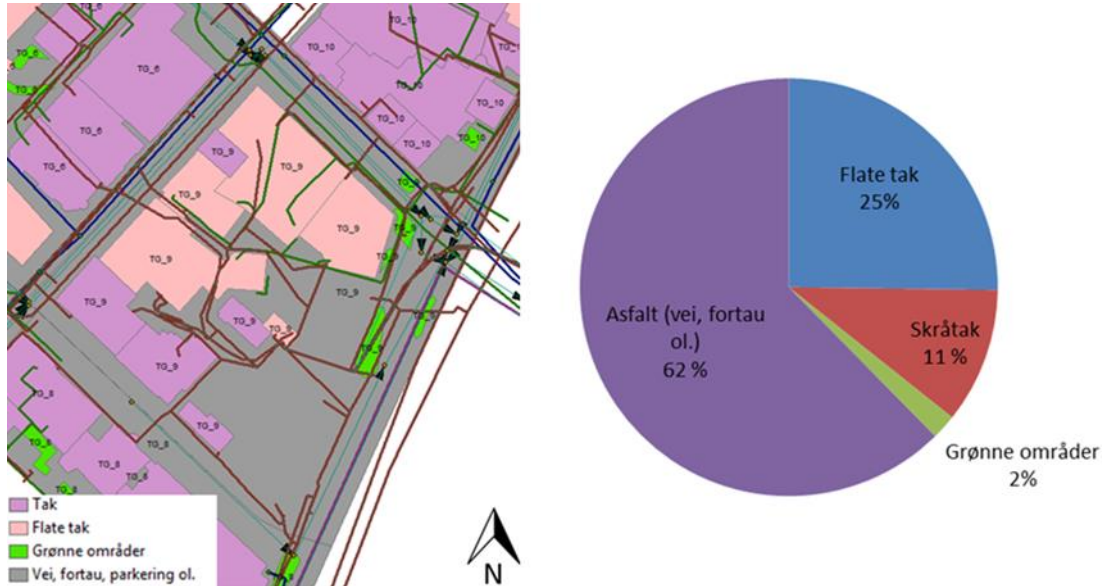


Figur 24 Kvartal TG 6 (Kart fra Sandnes kommune i arcGIS)

Kvartal TG 9 (Øglændskvartalet)

Det er planer om å bygge i Øglændkvartalet og naboeiendommen med adresse Langgata 9 – 11. Ved nybygging er det lettere å ta hensyn til SUDS.

Konstruksjonen kan dimensjoneres for å tåle grønne intensive tak, slik at man kan tilføre kvartalet en hage, kafe eller park på taket. I området kan en anlegge regnbed, gresskledd forsinkinger og permeable dekker.



Figur 25 Kvartal TG9 (Kart fra Sandnes kommune i arcGIS)

Dersom området står uendret som vist i Figur 25 kan asfalten på parkeringen byttes ut med permeable dekker og en gresskledd forsinking anlegges langs St. Olavs gate. Trær plantet langs gaten, og en grønn vegg på jernbanemuren er alternative SUDS.

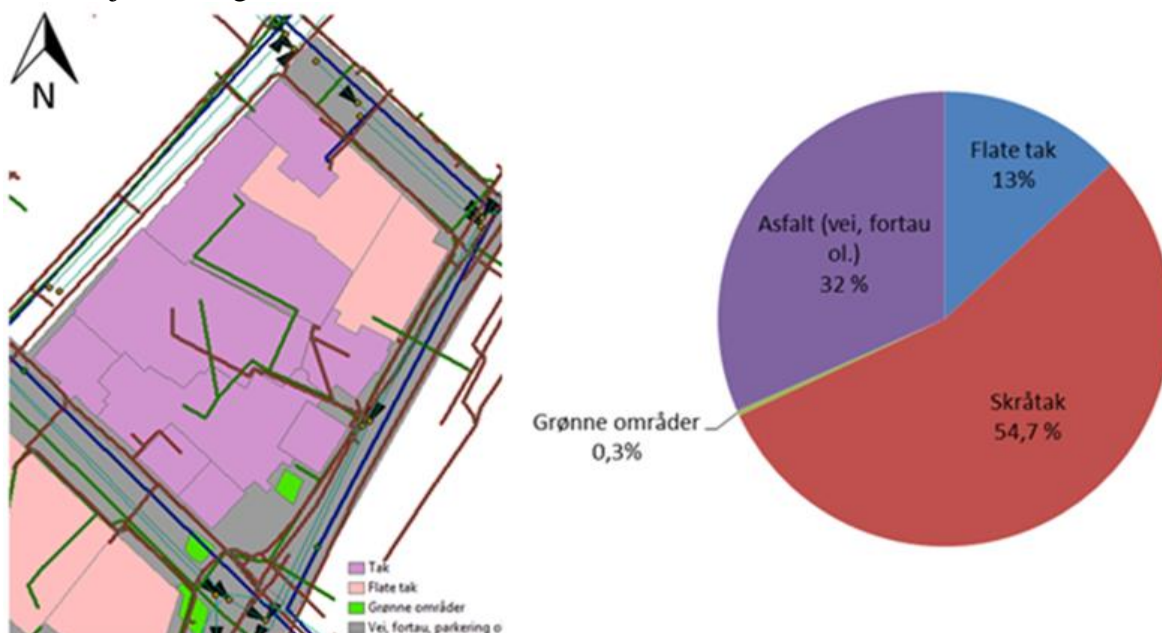


Figur 26 Parkering i Øglændskvartalet langs St. Olavs Gate

En idé fra Stephan Bander mann vises i Figur 26, det er mulig å fjerne litt av fortauet og anlegge et bed i enden av parkeringsplassen for å drenere vannet slik at det renses.

Kvartal TG 10

Kvartalet består av lavere bygninger med skrått tak. Det er et hjørne med mulighet for å anlegge SUDS ved Gamla Værket, i nærheten av undergangen til Julie Eges gate. I Flintergata inn mot Langgata er det parkeringsplasser. Disse kan fjernes for å gi plass til en gresskledd forsenking, et regnbed eller trær med infiltrasjonsmuligheter.



Figur 27 Kvartal TG10 (Kart fra Sandnes kommune i arcGIS)

Kvartalene TG 4, TG 7 og TG 8

Kvartalene TG 4, TG 7 og TG 8 har ikke noe grønt areal og mye skråtak, se Tabell 5. Det er noen flate tak som kan være aktuelle bruke til grønne tak. Asphalt dekket kan erstattes med permeable dekker og det kan plasseres regnbed, innodrain eller infiltrasjonsmagasin på tilgjengelig areal.

Tabell 5 Arealbruk i kvartal TG4, TG7 og TG8

Kvartal	Flate tak	Skråtak	Grønne områder	Asfalt (vei, fortau ol.)
TG4	38%	15%	0%	47%
TG7	42%	5%	0%	53%
TG8	0%	63%	3%	34%

3.5 Modeller i STORM

Det er sett på ulike scenarioer i STORM:

- Dagens situasjon
- Forskjellige SUDS i hvert kvartal
- Grønne tak på Vitenfabrikken (TG1) og Sykkelfabrikken (TG2)

Dagens situasjon

Dagens situasjon er eksisterende nedslagsfeltet, men flaskehalsen på 300 mm ved innløpet til Julie Eges gate er fjernet.

Forskjellige SUDS i hvert kvartal

Modellen er laget med tanke på å undersøke effekten av ulike typer SUDS, som er egnet i urbane strøk. Det er plassert en type SUDS i hvert kvartal, dette gjør det enklere å kunne sammenligne dem. Siden flate tak opptar en fjerdedel av nedslagsfeltet, blir det sett ekstra nøye på grønne tak.

I modellen er avrenning fra skråtak og nærliggende område på bakken tilkoblet. Det er lettere å koble skråtak fra avløpsnett, siden takrennene er utvendige, mens flate tak oftest har oppsamling av vann innvendig. Nødvendig størrelse og påkoblet areal er funnet ved å kjøre simuleringer med 2 og 10 års regn. Langtidsmålinger er benyttet for å regne årlig reduksjon i overflateavrenning sammenlignet med dagens modell.

Det er opprettet en modell med forskjellige SUDS i hvert kvartal. I tabellene under er det oppgitt dimensjoner og påkoblet areal til forskjellige SUDS. Innodrain og gresskledd forsenking med infiltrasjonsmagasin har underliggende lagringsvolum. Totalt volum og høyde for disse er oppgitt i parentes i Tabell 6.

Tabell 6 Dimensjoner på SUDS i modellen

Kvartal		Areal B x l [m ²]	Høyde [m]	Lagrings- volum [m ³]	Påkoblet areal [m ²]
TG 3	Permeable parkering	540	0,3	3,24	1007
TG 5	Infiltrasjonsmagasin	4 x 4	0,9	3,04	1607
TG 6	Innodrain (4 stk.)	1,5 x 8,4	0,25 (0,85)	2,03 (5,07)	1430 (totalt for alle 4)
TG 9	Permeable parkering	1500	0,3	7,5	1500
TG 9	Gresskledd forsenking	2,5 x 40	0,3	20,6	1591
TG 10	Gresskledd forsenking & infiltrasjonsmagasin	2,8 x 15	0,3 (1,15)	8,82 (17,6)	1503

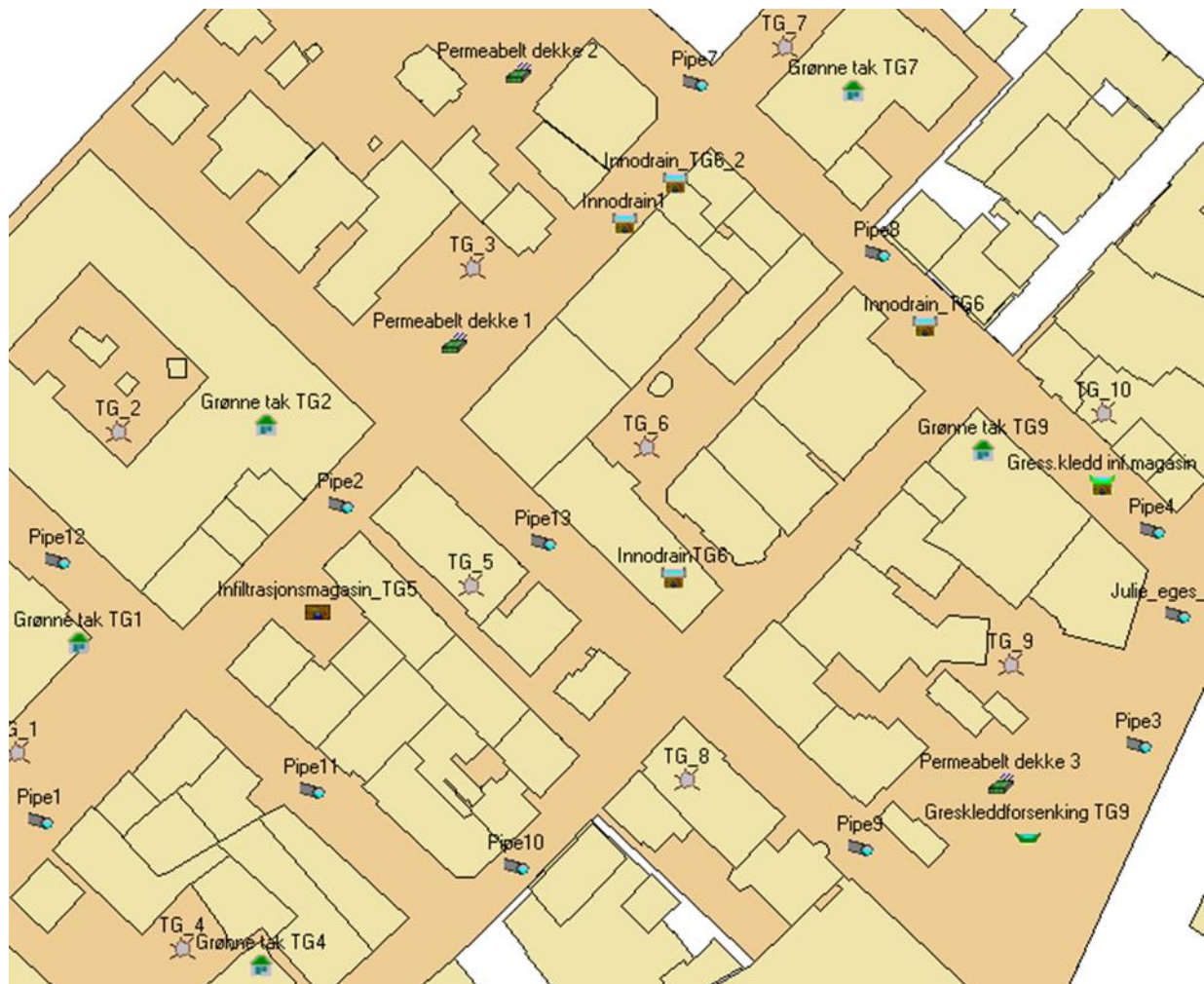
I Tabell 7 er areal og tykkelser av de grønne takene i STORM modellen fremstilt. Det er valgt å se på 6 cm vegetasjonslag, og 6 cm dreneringslag. Summert opp

fra Tabell 6 og Tabell 7 er totalt tilgjengelig volum til lagring av vann i SUDS er 400 m³.

Tabell 7 Dimensjoner på grønne tak i STORM modellen

Grønne tak (drenslaget er fylt opp til 4 cm)	Vegetasjonslag			Dreneringslag	
	Areal [m ²]	Tykkelse [cm]	Lagringsvolum [m ³]	Tykkelse [cm]	Lagringsvolum [m ³]
TG 1	1000	6	24	6	33,6
TG 2	3100	6	37	6	74
TG 4	2290	6	27,5	6	55
TG 7	749	6	9	6	18
TG 9	1794	6	21,5	6 </td <td>43</td>	43

Plasseringen av de ulike SUDS er illustrert i Figur 28.



Figur 28 Plassering av SUDS i nedslagsfeltet fra STORM modellen

Grønne tak på vitenfabrikken (TG1) og sykkelfabrikken (TG2)

Den store andelen flate tak gjør at det er interessant å beregne effekten av grønne tak. Det er sett på et grønt tak på vitenfabrikken med forskjellige vannmetningsgrader, og et tak på sykkelfabrikken med ulike tykkelser.

På vitenfabrikken er det valgt et intensivt 32 cm tykt tak (20 cm vegetasjonsdekke, og 12 cm dreneringslag). Befaring på taket tilsier at det er mulig å legge et tak på 20 – 30 cm, men det er ikke sikkert eksisterende konstruksjon tåler vekten. I kvartal TG 2 er det sett på et ekstensivt tak på 6 cm (4 cm vegetasjonsdekke, og 2 cm drenering) og et på 8 cm (6 cm vegetasjonsdekke, og 2 cm drenering).

3.6 Inndata for modellene

Simuleringer i STORM krever inngangsdata fra nedslagsfeltet. Det er hentet inn data fra eKlima, NGU og Sandnes kommune.

Temperatur

I STORM er 9 °C lagt inn i gjennomsnittlig årlig temperatur. Det er en temperaturøkning på 1,6 °C, eller 20 % i forhold til gjennomsnittlig årstemperatur på Sola. Det er vurdert som en rimelig endring siden nedbørsintensiteten blir korrigert med 20 % for klimaendringer, og IPCC estimerer en global temperaturøkning på mellom 1,1 til 6,4 °C fra år 1990 fram til 2100.

Evapotranspirasjon

Årlig evapotranspirasjon i Sandnes er estimert til å være 400 mm. (Sandnes kommune, 2013). STORM benytter årsverdien i sinusfunksjonen på side 14 til å beregne daglige verdier for evapotranspirasjon. Kurven er på topp om sommeren, og på bunn i vintermånedene.

Løsmasse

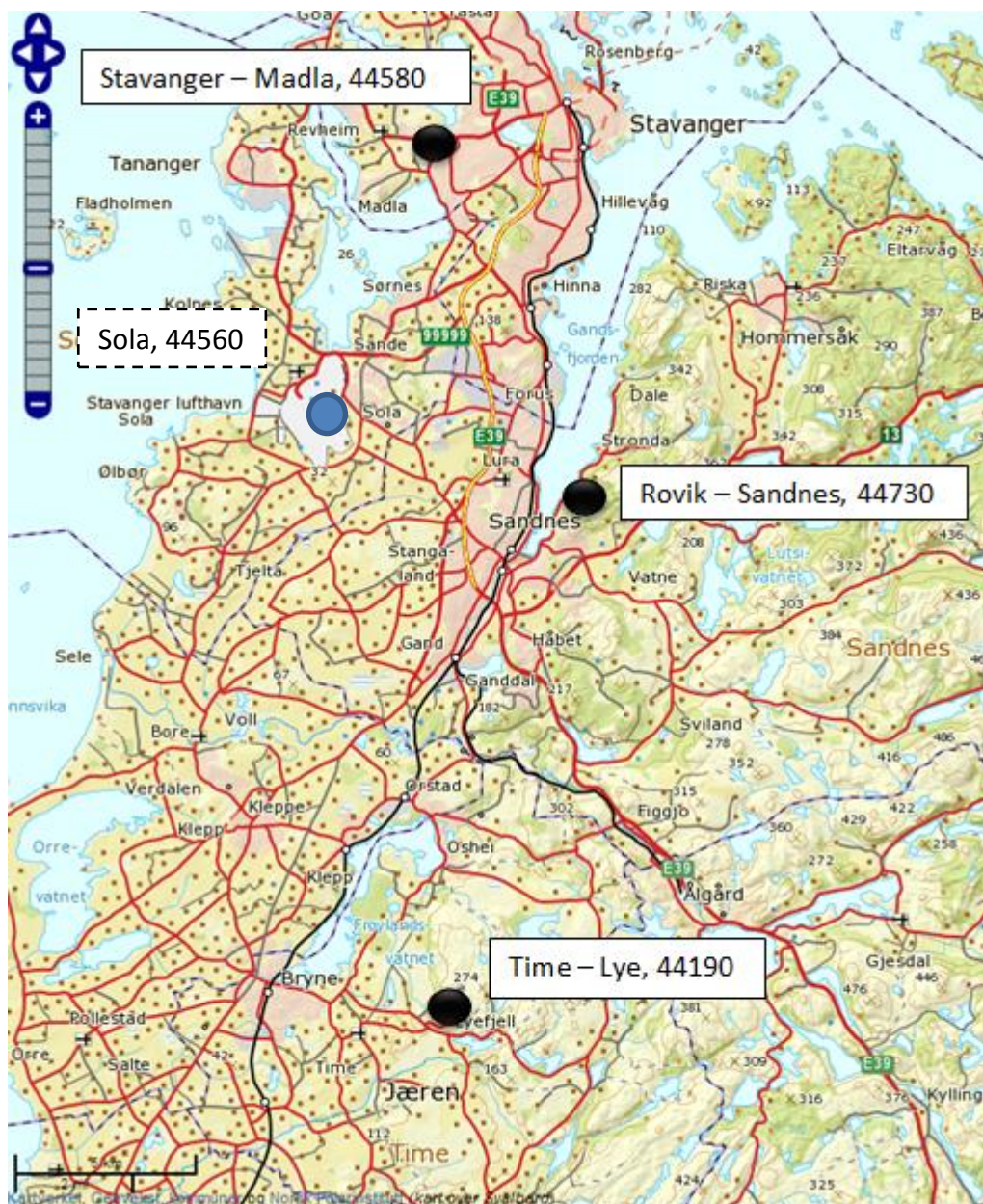
Infiltrasjonskapasiteten i området er ukjent, derfor er det benyttet to forskjellige løsmasser med ulik infiltrasjonskapasitet. Området består av sandige masser, og derfor er løsmassene sand og sandig silt benyttet i simuleringene. I modellen med dagens situasjon er kun 4 % av arealet permeable flater og beregninger med både sand og sandig silt ga minimal forskjell. Det er derfor valgt sand i dagens situasjon. I Tabell 8 er data for løsmassene benyttet i modellen presentert.

Tabell 8 Data for løsmassene sand og sandig silt i STORM

Løsmasse	K _f (m/s)	Visnegrense (%)	Felt kapasitet (%)	Infiltrasjon Horton:	
				Start rate for infiltrasjon (mm/min)	Slutt rate for infiltrasjon (mm/min)
Sand	1 • 10 ⁻³	4	10	1,800	0,162
Sandig silt	3.33 • 10 ⁻⁶	8	29	1,000	0,048

3.7 Nedbørshendelser

Kartet under viser plasseringen av nedbørsmålere i nærheten av Sandnes. Alle stasjonene har oppløsning på ett minutt, utenom stasjonen Sola. Målestasjonen Rovik er plassert i dalsiden til Ulvanuten, og gir større intensiteter enn de omkringliggende områdene. (Sægrov, 2013).



Figur 29 Utvalgte målestasjoner i nærheten av Sandnes

Rovik installerte i 2008 oppvarmet Lambrecht måler med 0,1 mm volum oppløsning. Mangelfull vedlikehold har ført til at den gamle Plumatic måleren målte for lite nedbør de siste årene. NVE har derfor ikke benyttet målinger etter 2003. (Holvik, 2009, Braskerud 2010). I Tabell 9 er det valgt ut intensiteter fra IVF- kurvene til nedbørsmålerne for gitte returperioder og varighet på 1 time.

Tabell 9 Intensitet fra IVF- kurvene (eKlima, 2013)

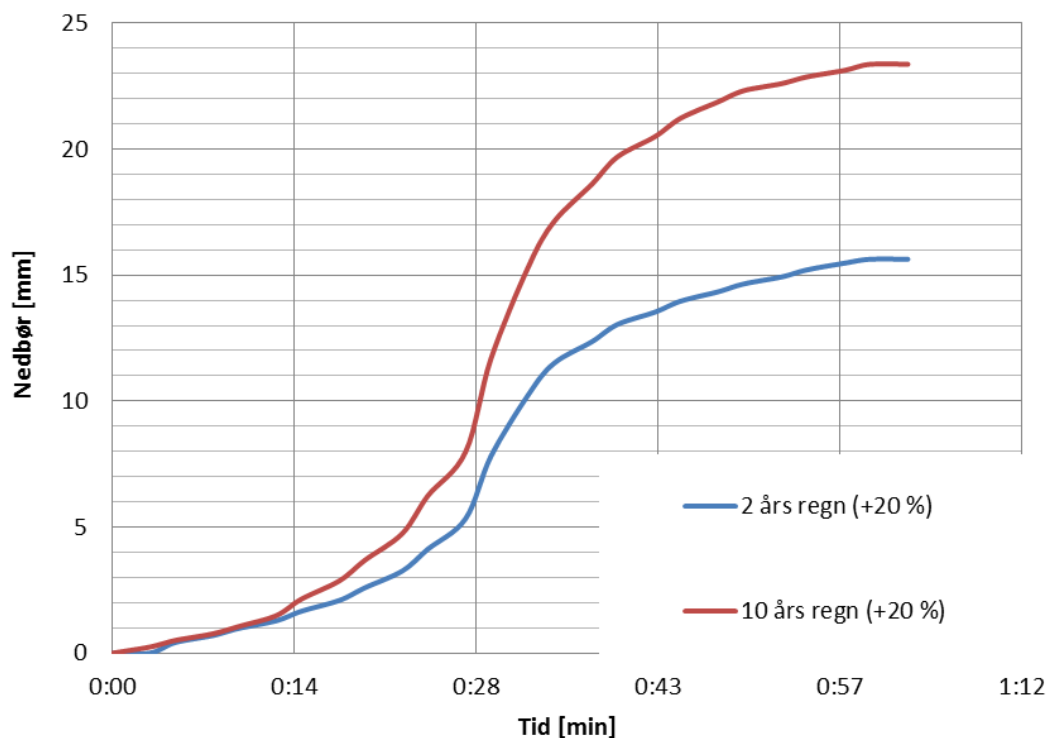
Intensitet [mm] Returperiode	Rovik – Sandnes, 44730	Rovik – Sandnes, 44730	Time – Lye, 44190	Stavanger– Madla, 44580
Driftstid (sesonger):	1974 – 2008 (26)	1974 – 2003 (24)	1981 – 2002 (17)	1983 – 2009 (19)
2 år	13,4	13,4	14,4	13,4
10 år	19,5	19,7	27,6	18,8
20 år	21,9	22,1	32,7	20,8
100 år	27,4	27,5	44,1	25,5

Syntetisk regn

IVF- kurven fra Rovik er brukt i modellen, siden den er plassert nærmest nedslagsfeltet, og har flest sesonger med målinger. Det er benyttet 2 og 10 års regn med intensiteter på 36,5 og 54,1 l/s ha fra IVF – kurven til Rovik (eKlima, 2013), og lagt til en klimafaktor på 1,2.

Returperiodene 2 og 10 år er valgt for å kunne dimensjonere SUDS for en overløpshyppighet på en gang i løpet av to år og en gang i løpet av ti år. Dersom SUDS går i overløp f.eks. en gang hvert tyvende år blir dimensjonene store, og spesielt i urbane strøk er det vanskelig å finne plass. Returperiodene faller innenfor første og andre ledd i treleddsstrategien til Norsk Vann. De konstruerte nedbørshendelsene gir et akkumulert regn på 15,6 mm (2 år, + 20 %) og 23,4 mm. (10 år, + 20 %).

I STORM må syntetisk kortidsregn legges inn som en akkumulert regnhendelse oppgitt i mm. Nedbøren er konstruert som et symmetrisk regnhyetogram med varighet på 1 time, og maks intensitet på 30 minutt. Metoden er beskrevet av Lindholm et al. (2003). Regnhyetogrammene er i Vedlegg B. De akkumulerte regnhendelsene er vist under.



**Figur 30 Akkumulert symmetrisk regn benyttet i STORM
Langtidsnedbør**

I STORM må langtidsmålinger ha en oppløsning på 5 minutter eller kortere for å hindre at høye regnintensiteter skal bli midlet ut. Målerne på Rovik, Time – Lye og Madla har alle høy nok oppløsning til å brukes.

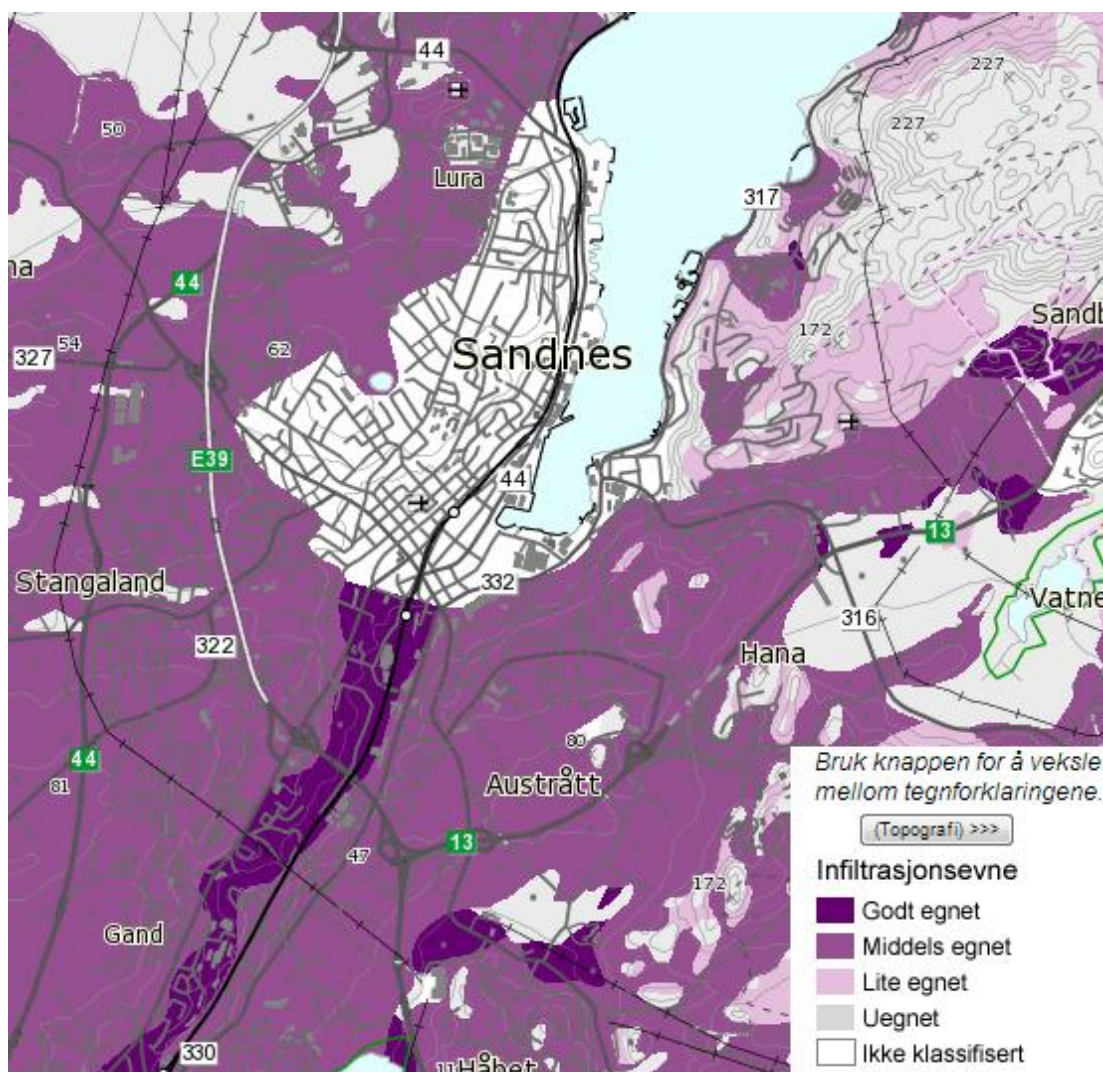
Data for Rovik er ikke tilgjengelig etter 2003, og det var ønskelig å benytte målinger fra de senere årene, derfor er tidsserien 1998 - 2008 fra Time- Lye valgt. Dataserien er ikke helt komplett, men gjennomsnittlig årsnedbør for perioden er 1035 mm, og det ligner nedbørnormalen (1961 – 1990) på 1180 mm fra Sola.

Tidsserien for langtidsmålinger er 11 år. Det er en fordel med lengre tidsserier for å kunne beregne større returperioder. Langtidssimuleringer med målte regndata fra Sandnes gir ulike inngangsparametere før regnhendelser, slik at vannmettede situasjoner beregnes. Da vil også SUDS og ledninger fylles opp og tømmes før de intense nedbørshendelsene starter. Dette er noe som gir mer reelle simuleringer enn for konstruerte regnhendelser, som starter med tomme SUDS og lite fuktinnhold i bakken.

3.8 Infiltrasjon

Det er viktig å vite noe om infiltrasjonskapasiteten i grunnen for å finne ut hvilke type SUDS som er aktuelle. Hvis det er god infiltrasjonskapasitet, og ikke for høy grunnvannstand kan de fleste SUDS brukes. Dette gjelder såfremt det er tillatt å innfiltrere til grunnvannet og avrenningen ikke er forurenset. Dersom infiltrasjonen er god blir størrelsen på SUDS mindre, og det vil ikke være nødvendig med drensør i bunnen. God infiltrasjonskapasitet betyr også at det er mulig å benytte stedegne masser.

Det er knyttet stor usikkerhet til grunnforholdene, og området er ikke klassifisert på NGU sine kart. Løsmassekartet fra NGU definerer hele området som fyllmasse (NGU, 2013). I Figur 31 er det vist at området langs Storåna er godt egnet til infiltrasjon. Nedre del av sentrum består av fyllmasse, men langs Storåna er det sand (Sægrov, 2013). I følge Odd Arne Vagle i Sandnes kommune er stedlige masser i kvartalet ovenfor vitenfabrikken sand, men det er store variasjoner i området.



Nesten hele nedslagsfeltet er utbygd, med unntak en liten park ved siden av vitenfabrikken og private hager nær Sandnes menighet. Det er uvist om parken og hagene er anlagt på stedlige masser eller fyllmasser. I de utbygde områdene kan massene ha blitt komprimerte, slik at infiltrasjonskapasiteten er redusert.

Infiltrasjonsmålinger - Modifisert Philip Dunne metode

Det ble tatt infiltrasjonsmålinger i Sandnes den 9. april 2013, målingene ble gjennomført med Modifisert Phillip – Dunne infiltrrometer, i parken ved siden av vitenfabrikken i kvartal TG 1.

Modifisert Philip - Dunne metode er utviklet for å måle infiltrasjonen på overflaten. Det ble benyttet et 50 cm høyt rør med diameter på 10 cm. Fremgangsmåte for målingene er å plassere et rør 5 cm ned i jorden og lese av synkehastigheten over tid. Det ble tatt jordprøver før og etter målingene for å finne endring i vanninnholdet i jorden. For å beregne k_{sat} (mettet hydraulisk konduktivitet) ble det brukt en Matlab kode laget av Kim Paus for MPD – metoden (Paus 2010). Inndata i matlab koden er infiltrasjonshastighet og vanninnhold. Matlab koden benytter Gren Ampt metode og Darcys lov for å regne k_{sat} . (Paus, 2013).

Det ble tatt 3 målinger 70 cm nede i jorden, og 3 målinger på overflaten. Målingene 70 cm ned i jorden blir gjort for å se på infiltrasjonsmulighetene under et infiltrasjonsmagasin eller Innodrain. Slike SUDS fjerner stedlige masser ned til 70 cm og derfor er det infiltrasjonskapasiteten på det nivået man ønsker å vite noe om.



Figur 32 Infiltrasjonsmålinger på overflaten og 70 cm ned i jorden

4 RESULTATER OG DISKUSJON

I dette kapittelet presenteres resultater fra infiltrasjonsmålingene og simuleringer i STORM. Først kommer verdiene fra infiltrasjonsmålingene, så vannbalanse i hvert kvartal, og total vannbalanse for modellene. Deretter er reduksjonspotensialet for kvartalene vist. Reduksjonspotensialet er endringen i avrenningen mellom modellen med SUDS, sammenlignet med modellen for dagens situasjon. Beregnet vannføring i ledningen i undergangen til Julie Eges Gate er vist, og så sammenlignes modellen over dagens situasjon i forhold til modellen med SUDS. En presentasjon av resultatene fra simuleringene av de grønne takene i kvartal TG1 og TG2 kommer deretter. Tilslutt er nedbørsmengder og areal fra modellene sammenlignet for å sjekke at STORM modellene samsvarer. Enkelte av resultatene blir forklart og diskutert i resultat kapittelet.

4.1 Resultat av infiltrasjonsmålinger

I tabellen under er resultatene fra infiltrasjonsmålingene presentert, og i Figur 33 vises det hvor målingene er tatt.

Tabell 10 Resultater fra infiltrasjonsmålingene

Infiltrasjonsmålinger	K_{sat} [cm/t]	Arimetrisk gjennomsnitt K_{sat} [cm/t]	Geometrisk gjennomsnitt K_{sat} [cm/t]
Overflaten (0 cm) A	3.701	1,405	0,406
Overflaten (0 cm) B	0.476		
Overflaten (0 cm) G	0.038		
- 70 cm (1.)	11.74	9,775	5,639
- 70 cm (2.)	0.916		
- 70 cm (3.)	16.67		



Figur 33 Målepunkt for infiltrasjonsmålinger 70 cm ned i jorden

Det ble gravd tre hull på 70 cm. I to av dem (1. og 3.) vist på figur 33 var det sandige masser med K_{sat} verdier på 11,7 og 16,7 cm/timen. Under graving av det siste hullet lokalisert nærmest veien og Krossen mølle (2.) ble det funnet røtter og teglstein, noe som tyder på at det var fyllmasser. K_{sat} verdien var betydelig lavere for målepunkt 2, men det kan ha vært røtter eller steiner under måleren som har påvirket resultatet. Målepunktene ble plassert nært hverandre fordi det var det eneste stedet i parken det var mulig å grave. Nærmere Oalsgata og Storgata var det mye tele.

Den mettede hydrauliske konduktiviteten var høyere i målepunktene 70 cm ned i jorden enn på overflaten. Telen kan ha påvirket resultatene i overflaten, men det er også mulig at humuslaget har dårligere infiltrasjonskapasitet enn de sandige massene under. I følge klassifiseringen av infiltrasjonsevne fra NSSH i USA i Tabell 2 er gjennomsnittlig mettet hydraulisk konduktivitet god for begge måledybene. To enkeltmålinger i overflaten havner på moderat lav, mens resten er innenfor klassen god. Målepunktene 70 cm ned i jorden er alle verdiene innenfor klassen god.

I USA er kravet til filtermediets infiltrasjonskapasitet for regnbed satt til 2,5 cm/t, mens Kim Paus anbefaler en verdi på minimum 10 cm/t for norske forhold. Denne verdien er ved romtemperatur og skal ta hensyn til at verdien for K_{sat} synker ved lavere temperaturer. (Paus, 2013 s.9.). Stedegne masser 70 cm ned i bakken oppfyller disse kravene for to av målingene. Målingene ble foretatt ved temperaturer rundt 8 °C, men natten før var det et par minusgrader. Det er grunn til å anta at underliggende stedegne masser kan benyttes i et regnbed. Det burde foretas målinger i overflaten når telen er borte for å se om mettet hydraulisk konduktivitet endrer seg. Sandige masser gjør at det er mulig å lage et regnbed uten å skifte massene og uten drenerør, det blir derfor billigere og lettere å gjennomføre.

Det er kun foretatt infiltrasjonsmålinger ett sted i nedslagsfeltet. Resten av feltet består av asfalterte flater eller private hageanlegg. Derfor er det tenkt at målinger fra Øglandsparken og Kirkeparken, som ligger like ved, kan ekstrapoleres til nedslagsfeltet. Det var ikke mulig å grave i parkene pga. telen, målingene ble derfor ikke gjennomført.

4.2 Vannbalansen i hvert kvartal

I Tabell 11, 12 og 13 vises vannbalansen i hvert kvartal for et gjennomsnittså, beregnet med måleserien fra 1998 – 2008 på Time – Lye. Først vises vannbalansen for dagens situasjon, så kommer vannbalansen for modellen med SUDS. Det er sett på en simulering med sand som løsmasse og en med sandig silt som løsmasse.

Tabell 11 Vannbalansen for dagens situasjon

	Overflateavrenning [m ³ /år]	Infiltrasjon [m ³ /år]	Evapotranspirasjon [m ³ /år]	Maks Q Inn [l/s]	Maks Q ut [l/s]
TG 1	6366	421	526	89	54
TG 2	5831	0	358	76	50
TG 3	6592	692	636	96	55
TG 4	6194	0	340	80	52
TG 5	4972	49	247	65	42
TG 6	6674	31	338	87	56
TG 7	1828	0	110	24	16
TG 8	3625	69	143	47	30
TG 9	7154	96	460	95	61
TG 10	4458	11	151	57	37
Total:	53694	1369	3309		

Tabell 12 Vannbalansen for modell med SUDS og sand som løsmasse

	Overflateavrenning [m ³ /år]	Infiltrasjon [m ³ /år]	Evapotranspirasjon [m ³ /år]	Maks Q Inn [l/s]	Maks Q ut [l/s]
TG1	6180	438	714	81	50
TG2	5265	0	922	55	40
TG3	5542	1774	636	93	47
TG4	5760	0	773	74	49
TG5	3517	1728	247	55	30
TG6	5247	1452	345	69	45
TG7	1679	0	260	19	13
TG8	3625	72	143	47	30
TG9	5166	1659	807	77	41
TG10	2884	1571	165	44	24
Total:	44865	8694	5012		

Tabell 13 Vannbalanse for modell med SUDS og sandig silt som løsmasse

	Overflateavrenning [m ³ /år]	Infiltrasjon [m ³ /år]	Evapotranspirasjon [m ³ /år]	Maks Q Inn [l/s]	Maks Q ut [l/s]
TG1	6180	438	714	81	50
TG2	5265	0	922	55	40
TG3	5987	1328	637	93	47
TG4	5760	0	773	74	49
TG5	4662	583	247	67	43
TG6	5842	850	351	79	51
TG7	1679	0	260	19	13
TG8	3625	72	143	47	30
TG9	5344	1464	825	61	41
TG10	3507	940	173	56	35
Total:	47851	5675	5045		

Reduksjonen i overflateavrenning for hele nedslagsfeltet er funnet ved å dividere total avrenningen fra modellen med SUDS, på total avrenning fra modellen for dagens situasjon.

Reduksjon i avrenning for modell med SUDS og sand som løsmasse:

$$(1 - 44865/53694) \times 100 \% = 16 \%$$

Reduksjon i avrenning for modell med SUDS og sandig silt som løsmasse:

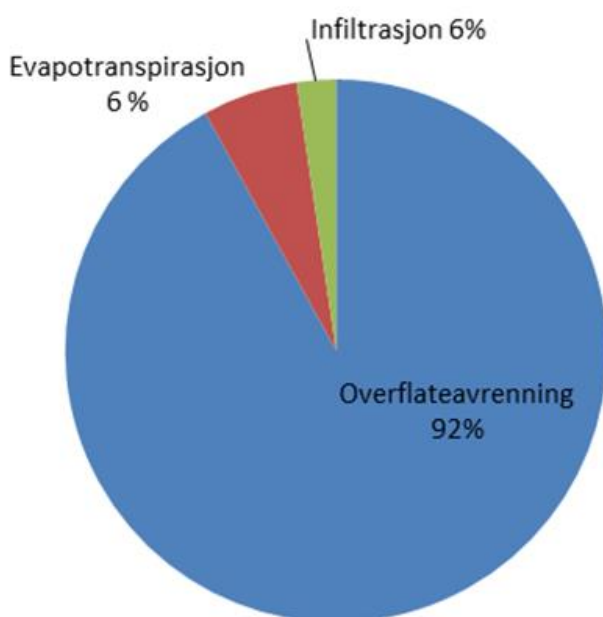
$$(1 - 47851/53694) \times 100 \% = 11 \%$$

4.3 Vannbalansen for hele nedslagsfeltet

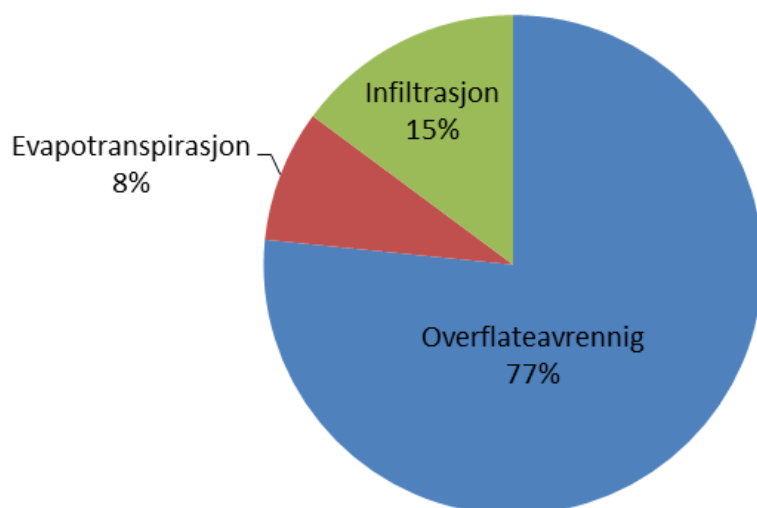
Vannbalansen for nedslagsfeltet er presentert i tabell 13 og i sektordiagrammene under. I modellen med SUDS er den ene simuleringen gjort med sand som løsmasse, og den andre med sandig silt.

Tabell 14 Vannbalansen i de ulike modellene

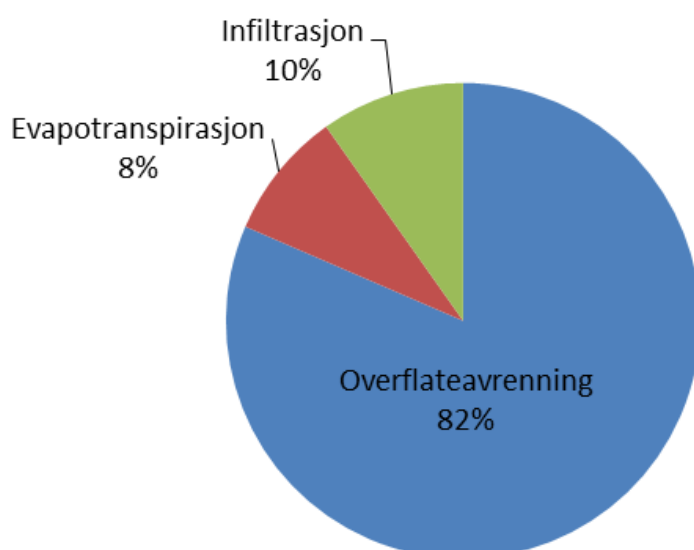
	Dagens situasjon	Modell med SUDS og sand som løsmasse	Modell med SUDS og sandig silt som løsmasse
Overflateavrenning [m ³]	53694	44865	47851
Evapotranspirasjon [m ³]	3309	5012	5045
Infiltrasjon [m ³]	1369	8694	5675
Totalt [m ³]	58372	58571	58571



Figur 34 Vannbalanse for dagens situasjon



Figur 35 Vannbalanse for modell med SUDS og sand som løsmasse



Figur 36 Vannbalanse for modell med SUDS og sandig silt som løsmasse

Diskusjon vannbalansen

Modellen beregner en lav evapotranspirasjon, det er lagt inn 400 mm som årlig evapotranspirasjon, og 9 °C som gjennomsnittlig temperatur. Årlig evapotranspirasjon i Sandnes er estimert til å være 400 mm. Det utgjør 35 % av gjennomsnittlig årsnedbør for Time – Lye. I følge Figur 3 fra FISWRG er evapotranspirasjonen i et område med 75 – 100 % tette flater på 30 %, mens infiltrasjonen er 15 %, og de siste 55 % er overflateavrenning. Nedslagsfeltet består av 95 % tette flater. Dette medfører at overflateavrenningen fra feltet er stor. Det er likevel stor sannsynlighet for at modellen har beregnet en litt for høy overflateavrenning, i og med at evapotranspirasjonen er så lav.

4.5 Reduksjonspotensialet i hvert kvartal

I tabellene under er det presentert endringer i gjennomsnittlig årlig avrenning, og endring i vannføring inn og ut av kvartalene. Det er sett på endringer mellom modellen for dagens situasjon og modellen med SUDS. Langtidsmålinger fra 1998 – 2008 fra Time – Lye er benyttet. Kvartal 8 har ingen SUDS implementert og er et referansekvartal siden det viser at modellen ikke endrer seg.

Tabell 15 Endring i avrenning og flomtopper mellom dagens situasjon og modellen med SUDS og sand som løsmasse

	Løsmasse: Sand SUDS	Areal SUDS [m ²]	Tot. areal [m ²]	Andel dekket av SUDS	ΔQ_{tot}		$\Delta Q_{maks\ inn}$		$\Delta Q_{maks\ ut}$	
					[m ³ /år]	[%]	[l/s]	[%]	[l/s]	[%]
TG1	Grønt tak	1000	6766	15 %	187	3%	8	9%	4	7%
TG2	Grønt tak	3100	5709	54 %	566	10%	21	28%	10	20%
TG3	Permeable dekker	540	7340	7,4 %	1050	16%	3	3%	8	15%
TG4	Grønt tak	2290	6027	38 %	434	7%	6	8%	3	6%
TG5	Infiltrasjons- magasin	16	5067	0,3 %	1455	29%	10	15 %	12	29 %
TG6	Innodrain (4 stk.)	32,4	6498	0,5 %	1427	21%	18	21%	11	20%
TG7	Grønt tak	749	1788	42 %	149	8%	5	21%	3	19%
TG8	Ingen SUDS	0	3554	0%	0	0%	0	0%	0	0%
TG9	Prm.asf, grønt tak og gress.fors.*	3333	7117	47 %	1988	28%	18	19%	20	33%
TG10	Gress.infilt.**	42	4262	1 %	1574	35%	13	23%	13	35%

Tabell 16 Endring i avrenning og flomtopper mellom dagens situasjon og modellen med SUDS og sandig silt som løsmasse

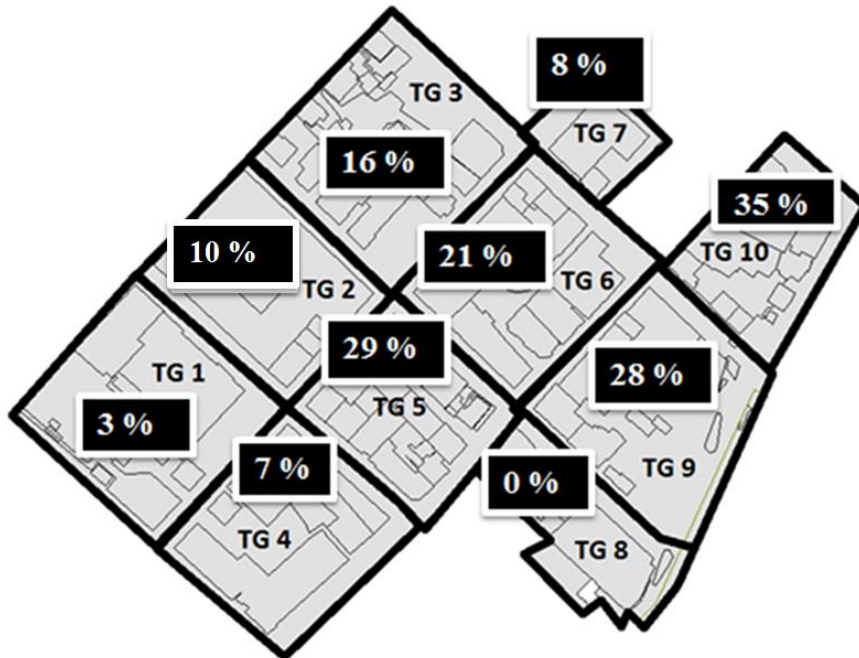
	Løsmasse: Sandig silt SUDS	Areal SUDS [m ²]	Tot. areal [m ²]	Andel dekket av SUDS	ΔQ_{tot}		$\Delta Q_{maks\ inn}$		$\Delta Q_{maks\ ut}$	
					[m ³ /år]	[%]	[l/s]	[%]	[l/s]	[%]
TG1	Grønt tak	1000	6766	15 %	187	3%	8	9%	4	7%
TG2	Grønt tak	3100	5709	54 %	1251	10%	23	25%	14	24%
TG3	Permeable dekker	540	7340	7,4 %	605	9%	3	3%	3	15%
TG4	Grønt tak	2290	6027	38 %	434	7%	6	8%	4	7%
TG5	Infiltrasjons- magasin	16	5067	0,3 %	310	6 %	-	-	-	-
TG6	Innodrain (4 stk.)	32,4	6498	0,5 %	832	12%	8	8%	5	9%
TG7	Grønt tak	749	1788	42 %	149	8%	5	22%	2	16%
TG8	Ingen SUDS	0	3554	0%	0	0%	0	0%	0	0%
TG9	Prm.asf, grønt tak og gress.fors.*	3333	7117	47 %	1810	25%	34	56%	20	32%
TG10	Gress.infilt.**	42	4262	1 %	951	21%	1	1%	1	4%

*Permeabel asfalt, grønt tak og gresskledd forsenking

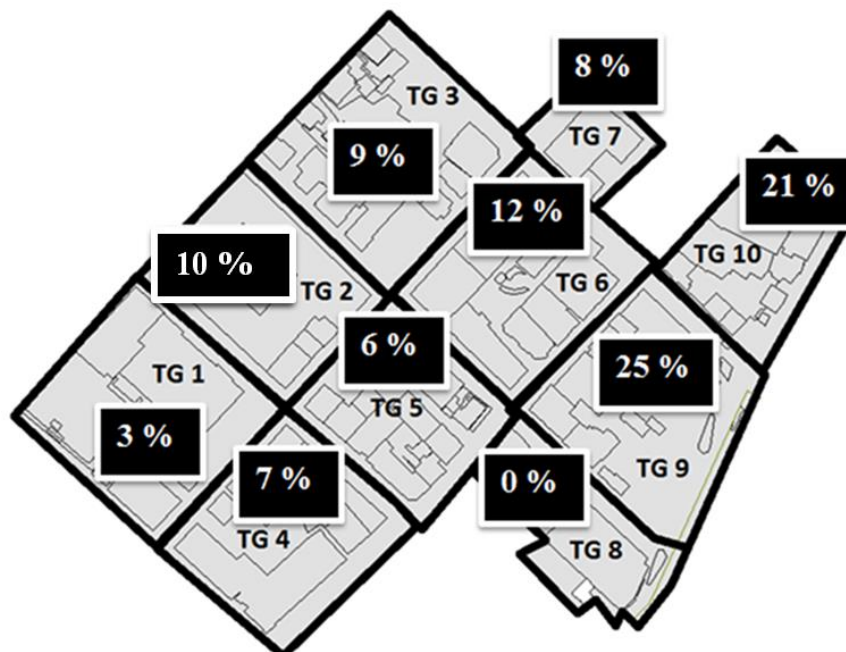
**Gresskledd forsenking med infiltrasjonsmagasin

4.6 Reduksjon i overflateavrenning på grunn av SUDS

Figurene under viser prosentvis nedgang i overflateavrenning for kvartalene etter at SUDS er installert. Det første bildet gjelder med sand som løsmasse og det andre bildet gjelder med sandig silt som løsmasse.



Figur 37 Reduksjon i årlig avrenning sammenlignet med dagens situasjon for modell med SUDS og sand som løsmasse



Figur 38 Reduksjon i årlig avrenning sammenlignet med dagens situasjon for modell med SUDS og sandig silt som løsmasse

Kvartal TG 1, TG 2, TG 4 og TG 7

De grønne takene opptar en større andel av arealet enn andre typer SUDS og årlig infiltrasjon er mindre enn for SUDS som tillater infiltrasjon. Det er ingen forskjell i avrenning for grønne tak dersom løsmassene varierer.

Kvartal TG 3

I TG3 er det permeable dekker som opptar 7,4 % av nedslagsfeltet. Disse reduserer den årlige overflateavrenningen med 16 % for sand som løsmasse og 9 % med sandig silt som løsmasse.

Kvartal TG 5

Infiltrasjonsmagasinet reduserer gjennomsnittlig årlig avrenning fra kvartal TG5 med 29 % for sand som løsmasse, og 6 % for sandig silt som løsmasse. Infiltrasjonsmagasinet opptar 0,3 % av kvartalet, og det er et lukket magasin som ikke tar opp areal på overflaten.

Kvartal TG 6

De 4 innodrainene opptar tilsammen 0,5 % av arealet til kvartalet. Dersom innodrain plasseres over løsmassen sand, vil reduksjonen i avrenning fra kvartal TG 6 være 21 %, mens den er på 12 % hvis løsmassene under er sandig silt.

Kvartal TG 9

Kvartal 9 reduserer årlig avrenning med 28 % for sand som løsmasse, og 25 % med sandig silt som løsmasse. Dette feltet har en gresskledd forsenking på 38,5 m², et permeabelt dekke på 1591 m² og et grønt tak på 1500 m². SUDS opptar 47 % av feltet.

Kvartal TG 10

I kvartal TG 10 er det en gresskledd forsenking med infiltrasjonsmagasin under. Den reduserer årlig avrenning fra kvartalet med 35 % for sand som løsmasse og 21 % med sandig silt som løsmasse. Den gresskledde forsenkingen opptar 1 % av arealet i kvartalet og har størst reduksjon i modellen med sand som løsmasse.

4.7 Overvannsledningen i starten av Julie Eges gate

I den hydrauliske modellen i STORM er det sett på hydraulisk kapasitet i ledningen. Kapasiteten til de ulike ledningene er hentet fra modellen i STORM og lest av i Colebrook diagrammet (Thorolfsson, 2012), se Tabell 17.

Tabell 17 Hydraulisk kapasitet for ulike ledninger

Ruhet (1 mm)		Julie Eges gate	Flintergata	«Flaskehals» I starten Julie Eges Gate
	Diameter (mm)	525	500	300
	I (‰)	3,5	4,1	4,3
	Lengde (m)	22	7	5
STORM	Kapasitet (l/s)	268	255	68
Colebrook	Kapasitet (l/s)	250	250	70

Ledningen med en diameter på 300 mm i krysset ved undergangen til Julie Eges Gate skaper en flaskehals i systemet. Kapasiteten er 68 l/s og Sandnes kommune har planer om å skifte den ut. (Vike, 2013).

Det er antatt at ledningen med diameter 300 mm skiftes ut og at hydraulisk kapasitet for ledningen er 250 l/s. Resultatene presentert i Tabell 18 tar ikke hensyn til eventuelle mengder som kommer fra overløpene i Eidsvollgata.

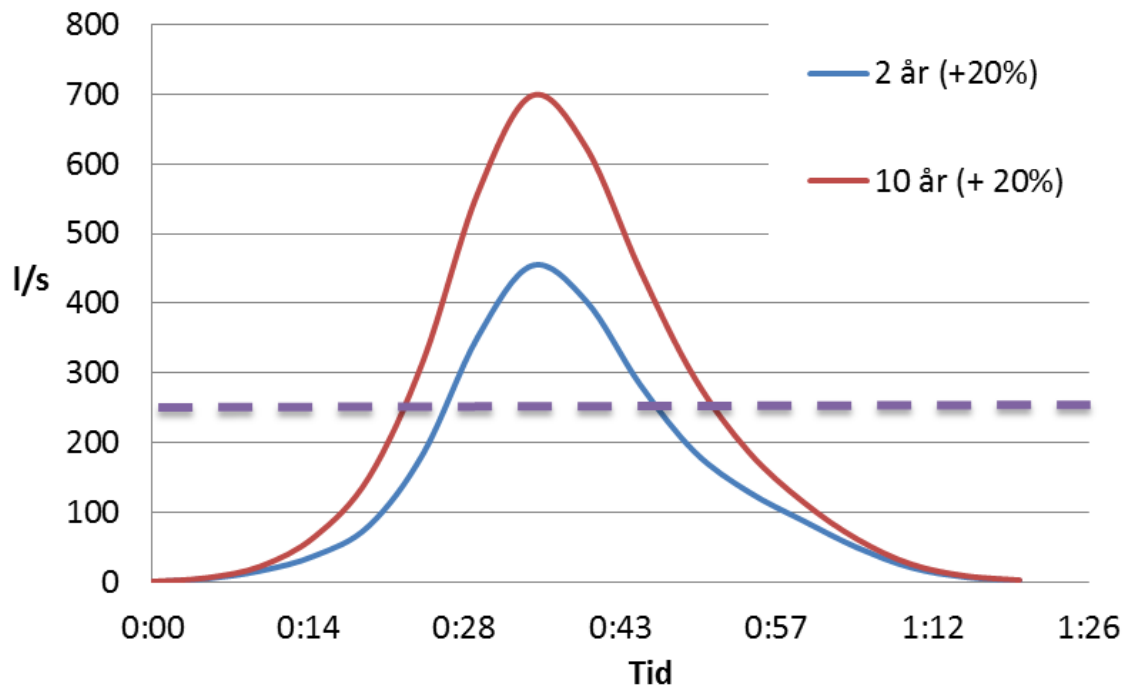
Tabell 18 Vannføring i ledningen i Julie Eges Gate for et 2 og 10 års regn

Tid	Dagens situasjon		Fordrøyningsbehov for å unngå trykksatt ledning	
	2 år (+20 %) (l/s)	10 år (+20 %) (l/s)	2 år (+20 %) (m ³)	10 år (+20 %) (m ³)
0:00	1	1		
0:05	5	6		
0:10	16	23		
0:15	38	66		
0:20	81	151		
0:25	185	319		21
0:30	351	558	30	92
0:35	454	698	61	134
0:40	404	624	46	112
0:45	283	447	10	59
0:50	187	293		13
0:55	129	187		
1:00	88	115		
1:05	50	62		
1:10	21	26		
1:15	7	9		
1:20	2	3		
Volum [m³]	691 m³	1076 m³	148 m³	432 m³

Maks vannføring inntreffer 5 minutt etter maks nedbørintensitet, og 35 minutter etter starten på nedbørshendelsen. Ledningen går full 25 – 35 minutt etter nedbørshendelsens start.

Kapasiteten i ledningen på 250 l/s overskrides både for simuleringene til 2 og 10 års hendelsen med klimafaktor på 20 %. 2 års hendelsen overskrider ledningskapasiteten i ca. 20 minutt. 10 års hendelsen overskrider kapasiteten i ca. en halvtime.

I Figur 39 er vannføringen illustrert. Den stiplede lilla streken viser når ledningen går full.



Figur 39 Vannføring i ledningen ved starten av Julie Eges Gate for dagens situasjon med et 2 og 10 års regn

Verifisering av modellen

En verifisering av modellen er gjort ved å sjekke at volumet i ledningen stemmer med beregninger fra den rasjonale metode.

Formelen til den rasjonale metode er gitt under:

$$Q = K_f \cdot A \cdot I \cdot \varphi$$

K_f er klimafaktor, og den er 1,2.

A er arealet på 5,4 hektar

I er intensiteten og den er funnet fra IVF-kurven fra Rovik. For å oppnå likt nedbørsvolum er regnvarigheten en time, siden det symmetriske regnhyetogrammet varer en time.

φ er avrenningskoeffisienten beregnet fra arealbruken

Arealbruken er oppgitt i Tabell 4. Grønne områder opptar 4 % av arealet, takflater 48 % og de resterende 48 % er asfalterte flater som gater, fortau og parkeringsplasser.

Avrenningskoeffisientene er hentet fra kompendium i overvannsteknologi (Thorolfsson, 2012). I grønne områder er den 0,1, for tak er den 0,9 og for asfalterte flater er den 0,8.

$$\varphi = \frac{0,1 \cdot 4 + 0,9 \cdot 48 + 0,8 \cdot 48}{100} = 0,82$$

$$Q_{2 \text{ år}} = 1,2 \cdot 36,5 \cdot 0,82 \cdot 5,4 = 194 \text{ l/s}$$

$$\text{Volum: } 194 \cdot 60 \cdot 60 / 1000 = \underline{698 \text{ m}^3}$$

$$Q_{10 \text{ år}} = 1,2 \cdot 54,1 \cdot 0,82 \cdot 5,4 = 287 \text{ l/s}$$

$$\text{Volum: } 287 \cdot 60 \cdot 60 / 1000 = \underline{1033 \text{ m}^3}$$

Nederst i Tabell 18 er det oppgitt totalt volum fra ledningen i undergangen ved Julie Eges Gate. Volumet er 691 m^3 for 2 års hendelsen og 1076 m^3 for 10 års hendelsen. Dette stemmer bra med beregningene fra den rasjonale metoden som gir et avrenningsvolum på 698 m^3 for 2 års regnet, og 1033 m^3 for 10 års hendelsen. Det er en feil på 1 % for 2 års regnet og 4 % for 10 års regnet.

Den rasjonale metode benytter et kasseregn som har lik intensitet over hele regnhendelsen. Gjennomsnittintensiteten til det symmetriske regnhyetogrammet tilsvarer et kasseregn med regnvarighet på 60 minutt, derfor kan den rasjonale metoden benyttes for å verifisere at volumet i modellen stemmer.

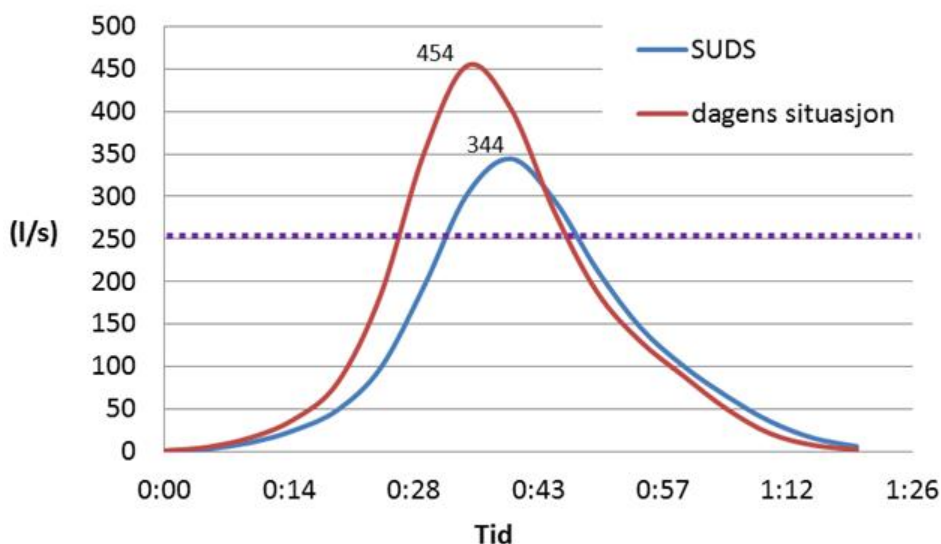
Flomtoppene kan derimot ikke sammenlignes siden det symmetriske regnet bygges opp mot maks intensitet tilsvarende en regnvarighet på 10 minutter for et 2 års regn. Maks intensitet inntreffer 30 – 35 minutter ut i regnhendelsen, og deretter synker intensiteten igjen. For et kasseregn er intensiteten lik regnvarigheten på 60 minutt for hele hendelsen. Flomtoppene er derfor lavere i den rasjonale metode sammenlignet med flomtoppene beregnet i STORM for det symmetriske regnhyetogrammet.

Svakheter med modellen

Modellen er svært forenklet og hele kvartal er koblet på et punkt i ledningen, dette er ikke tilfelle i virkeligheten. STORM er først og fremst en hydrologisk modell for å beregne vannbalansen. Det er mulig å legge inn ledninger, men programmet beregner ikke strømmingene ved bruk av St. Venants ligning som f.eks. i MIKE URBAN og PC SWMM. For hydrauliske beregninger kan man velge å se på ledningsnettets som en oppsamler med fordrøyningseffekt, eller en ledning med en tidsforskyvning. I simuleringene er det valgt å beregne med en tidsforskyvning. Dette gir mindre gunstige resultat, en høyere vannføring og litt kortere konsentrasjonstid.

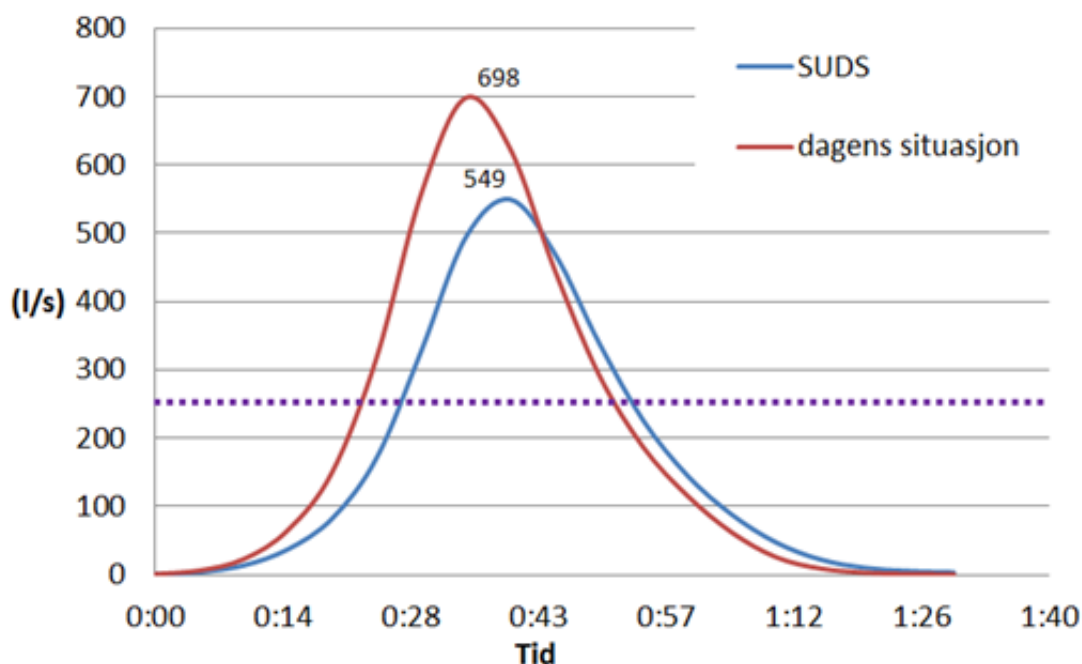
Sammenligning av vannføring i Julie Eges Gate

Det er kjørt en simulering i STORM for å sjekke hvordan vannføringen endrer seg fra dagens system til modellen med SUDS. Vannføringen gjelder for modellen med sandig silt som løsmasse. Simuleringen gjort med 2 års regn er presentert i Figur 40 og simuleringer med 10 års regnet er presentert i Figur 41.



Figur 40 Vannføring i Julie Eges Gate for et 2 års regn (+ 20%) for modellen over dagens situasjon og modellen med SUDS og sandig silt som løsmasse

Flomtoppen for et syntetisk 2 års regn med en klimafaktor på 20 % reduseres med 110 l/s for modellen med SUDS, når sandig silt er benyttet som løsmasse. Det er en flomtoppreduksjon på 24 %. Modellen med SUDS har en kortere varighet på flomtappen, og den er forskjøvet med 5 minutter.

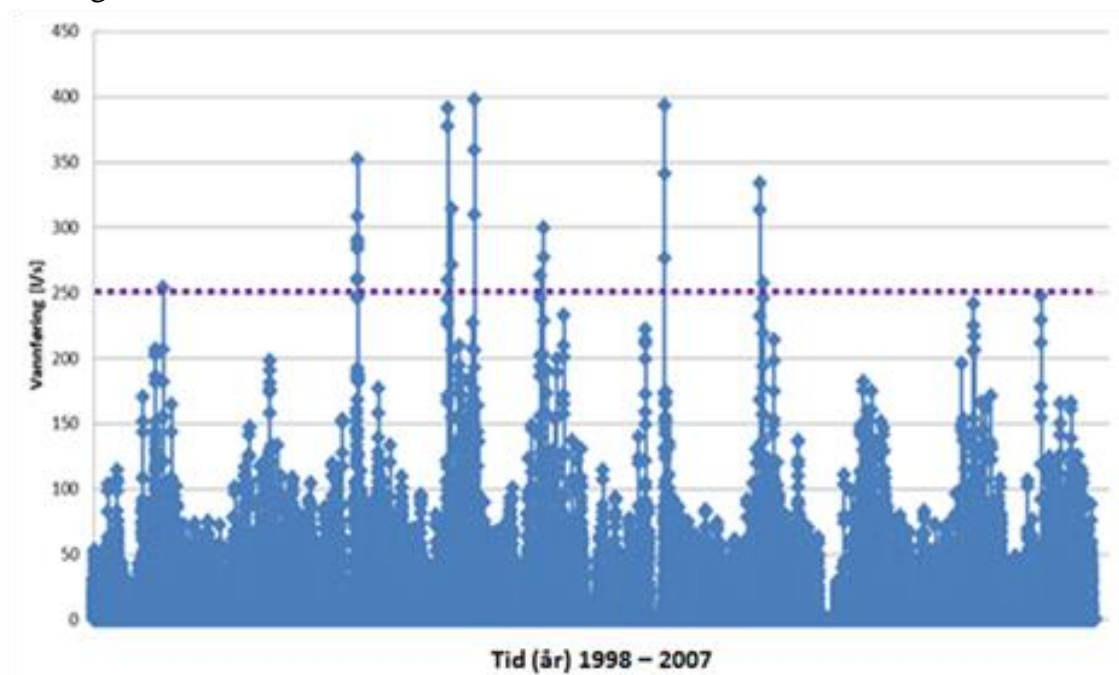


Figur 41 Vannføring i Julie Eges Gate for et 10 års regn (+ 20%) for modellen over dagens situasjon og modellen med SUDS og sandig silt som løsmasse

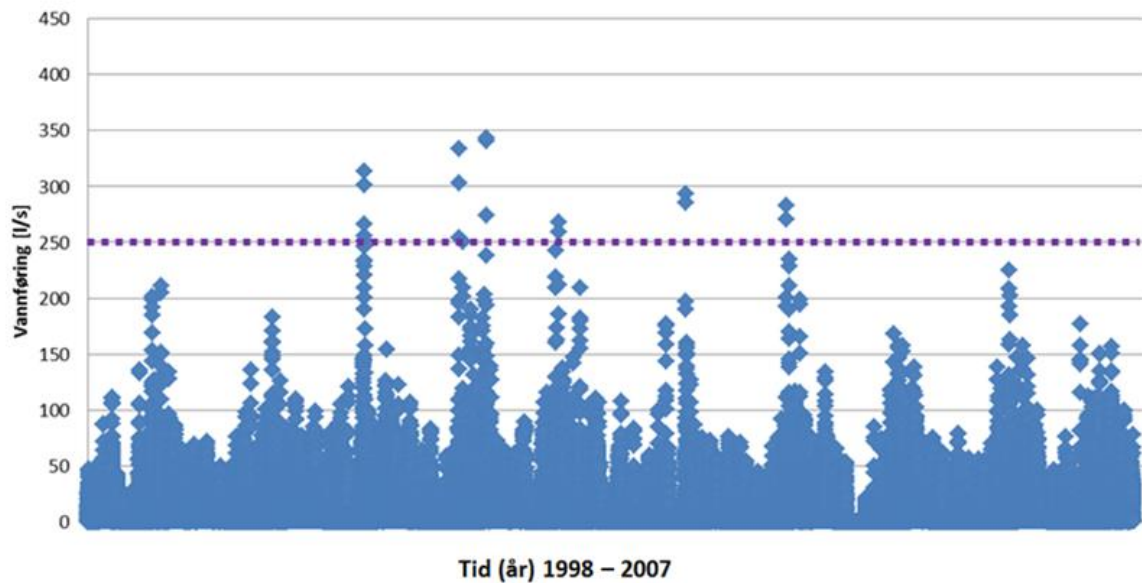
Flomtoppen for et syntetisk 10 års regn med en klimafaktor på 20 % reduseres med 149 l/s for modellen med SUDS, når sandig silt er benyttet som løsmasse. Det er en flomtoppreduksjon på 21,4 %. Varigheten på flomtoppen er kortet ned og forskjøvet med 5 minutter.

Langtidsmålinger, over en 10 års periode (1998 – 2007) fra Time – Lye

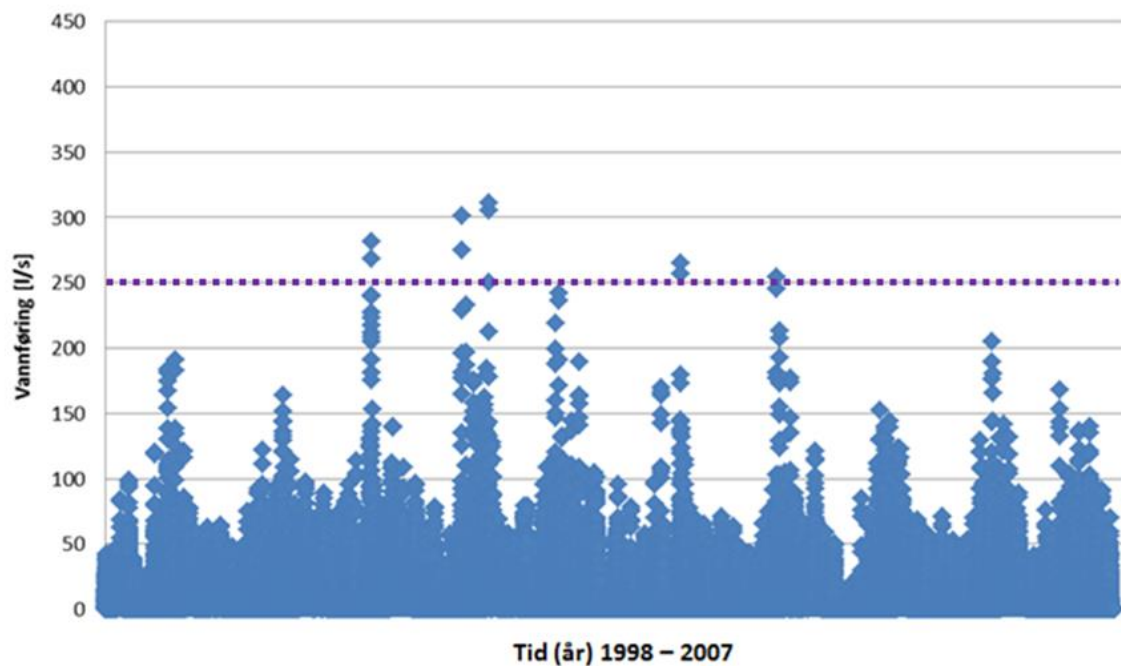
I grafene under presenteres vannføringen i Julie Eges Gate i løpet av en 10 års periode. Verdiene kommer fra simuleringer av modellene i STORM. Dagens situasjon har høyere vannføring enn for modellen med SUDS. Kapasiteten i ledningen er 250 l/s.



Figur 42 Vannføring i Julie Eges Gate for modellen over dagens situasjon, over en 10 års periode (1998– 2007 fra Time – Lye)



Figur 43 Vannføring i Julie Eges Gate for modellen med SUDS og sand som løsmasse, over en 10 års periode (1998 – 2007 fra Time – Lye)



Figur 44 Vannføring i Julie Eges Gate for modellen med SUDS og sandig silt som løsmasse, over en 10 års periode (1998 – 2007 fra Time – Lye)

Ledningen er full når vannføringen er 250 l/s. Dette er overskredet 7 ganger for modellen over dagens situasjon. For modellen med SUDS og sandig silt som løsmasse går ledningen full 6 ganger i løpet av perioden. Modellen med sand som løsmasse går full 5 ganger i løpet av 10 års perioden.

I Tabell 19 vises vannføringer i ledningen som er større enn 265 l/s. Modellen med SUDS og sand som løsmasse reduserer den største flomtoppen med 22 %. Den går fra å være 398 l/s for dagens situasjon til å være 309 l/s for modellen med SUDS, altså en reduksjon på 89 l/s. Flomtoppen er også forskjøvet 5 minutt, noe som betyr at systemet har en viss fordrøynings-effekt. Modellen med SUDS og sandig silt reduserer flomtoppen med 14 %. Vannføringen går fra å være 398 l/s til å bli 343 l/s, som er en reduksjon på 55 l/s.

Tabell 19 Vannføringer større 265 l/s i løpet av 10 års perioden

Tid	Dagens situasjon (l/s)	Modell med SUDS og løsmasse sand (l/s)	Modell med SUDS og løsmasse sandig silt (l/s)
16.08.2000 ca. 22:35	352	279	313
11.07.2001 ca. 04:20	391	307	343
24.07.2001 ca. 18:25	314	-	-
16.10.2001 ca. 06:40	398 (06:40)	309 (06:45)	343
23.06.2002 ca. 02:05	299	-	268
07.09.2003 ca. 06:05	393	-	294
19.08.2004 ca. 12:15	334	-	

Diskusjon

Dimensjoneringskriteriet i NS – EN 752 (2008) sier at ledningen skal gå full 1 gang i løpet av 5 år i bysentrum uten oversvømmelses kontroll. Norsk Vann (2008) anbefaler 1 gang i løpet av 20 år. Dagens situasjon oppfyller ingen av kravene for simuleringer med tidsserien 1998 – 2007 fra Time – Lye. Ledningen går full 7 ganger i løpet av 10 år.

I tabell 19 ser man at vannføringer større enn 265 l/s forekommer i tidsperioden 2000 – 2004. I 2001 gikk ledningen full 3 ganger. I juli skjedde det 2 ganger i løpet av 13 dager. Det var nedbørsdata til 2008, men Excel filen hadde begrenset kapasitet, så det er valgt og kun se på de 10 første årene.

Kirsten Vike fra Sandnes kommune forteller at det er registrert problemer i undergangen, men ikke så ofte som hvert år (Vike, 2013). Nå er det en flaskehals på 300 mm og i modellen er denne fjernet. Modellen med 525 mm ledning gikk full 7 ganger i løpet av 10 års perioden. Den hydrauliske modellen er ikke kalibrert, og for å sjekke modellen kreves vannføringsmålinger i felt. Det kan f.eks. være flaskehalser oppstrøms som gjør at flomtoppene i Julie Eges gate vil være mindre enn det som er simulert i STORM. Dette kan være mindre helning enn det som er lagt inn i Gemini, røtter eller blokkeringer av ledningen.

4.8 Grønne tak

Avrenning fra taket på vitenfabrikken, TG 1

Det er sett på avrenningsmønsteret fra et grønt tak, sammenlignet med eksisterende tak på Vitenfabrikken for et 10 års regn. Vegetasjonsdekket på det grønne taket er 20 cm med feltkapasitet 20 %. Drenslaget har et porevolum på 40 %, er 12 cm og kan holde opp til 8 cm med vann. Takarealet er 970 m².

I tabellen under er det presentert: nedbør, avrenning fra et vanlig tak, avrenning fra et tørt grønt tak og tilslutt avrenning fra et tak som er delvis vannmettet. Det er 7,8 cm med nedbør lagret i det delvis vannmettede taket. Valg av 7,8 cm som vannmetning forklares i vedlegg C.

Tabell 20 Avrenning fra taket på Vitenfabrikken for en 10 års hendelse

Tid:	Nedbør: 10 år (+ 20 %)		Vanlig tak	Grønt tak, tørt før nedbørs- hendelse	Grønt tak, Vannivå 7,8 cm før nedbørs- hendelse
		Areal 970 m ²			
	l/s ha	l/s	l/s	l/s	l/s
0:00	25	2	0	0	0
0:05	35	3	0	0	0
0:10	43	4	0	0	1
0:15	31	3	5	0	4
0:20	48	5	8	0	5
0:25	210	20	18	0	6
0:30	210	20	18	0	7
0:35	48	5	8	0	7
0:40	31	3	5	1	7
0:45	43	4	4	3	7
0:50	35	3	2	2	6
0:55	25	2	2	2	6
1:00	0	0	0	0	5
1:05	0	0	0	0	5
1:10	0	0	0	0	2
1:15	0	0	0	0	0
Totalt volum:	-	22,8 m ³	20,7 m ³	2,3 m ³	20,8 m ³

Den konstruerte 10 års hendelsen viser at et tørt grønt tak på 32 cm (20 cm vegetasjonsdekket og 12 cm drenering) reduserer flomtoppen med 83 %. Dersom taket inneholder 7,8 cm med vann før regnhendelsen starter, så reduseres flomtoppen fra taket med 61 %.

Hvis taket er tørt i utgangspunktet endres avrenningen fra 18 l/s fra det vanlige taket til kun 3 l/s. Denne inntreffer 45 minutt ut i regnhendelsen, som er en 20 minutters forsinkelse i forhold til for et vanlig tak, se Figur 45. Et tak med vannivå på 7,8 cm reduserer flomtoppen til 7 l/s.

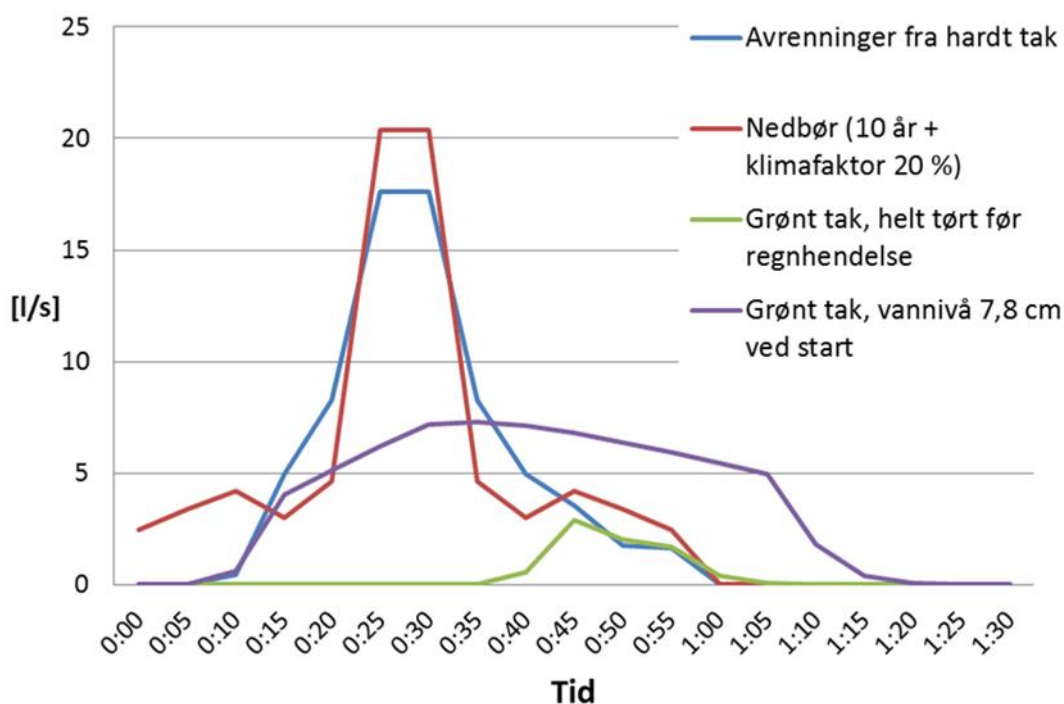
Volumet for avrenningen er 1244 m³ for vanlig tak og 138 m³ for et tørt grønt tak.

Lagringsvolumet for det tørre grønne taket er:

$$22,8 - 2,3 = 20,5 \text{ m}^3$$

$$(20,5 \text{ m}^3 / 970 \text{ m}^2) \cdot 1000 \text{ mm/m} = 21 \text{ mm}$$

20,5 m³ med vann lagret på taket betyr at taket klarer å holde 21 mm med nebør igjen. Det betyr at for 10 års regnet på 23,4 mm vil det grønne taket gi 2,4 mm avrenning. For det vanlige taket er det omvendt, kun 2 mm lagres på taket, mens 21 mm renner av.



Figur 45 Avrenning fra taket på Vitenfabrikken (970 m²) med og uten grønt tak for en 10 års hendelse

Avrenning i kvartal TG2 med et grønt tak på 3100 m²

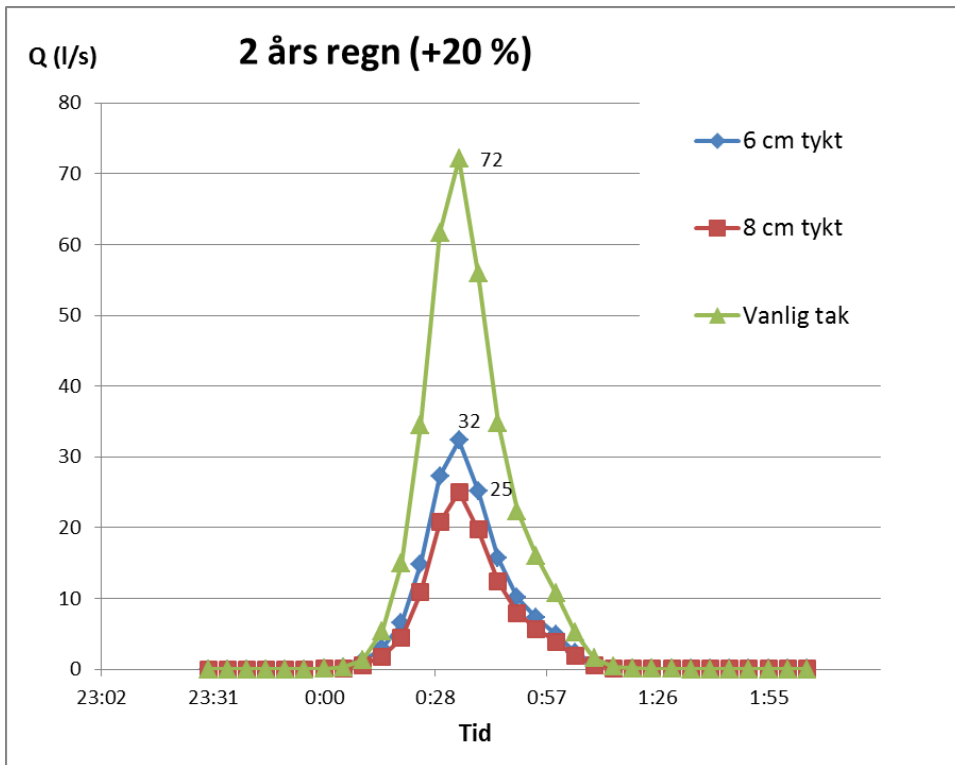
Overflateavrenningen fra hele kvartalet TG 2 er sammenlignet for et grønt tak og eksisterende tak. Arealet på det grønne taket er 3100m², totalt er kvartalet 5709 m², som betyr at det grønne taket dekker 54 % av arealet.

Det er sett på to tykkelser for det ekstensive taket, et på 6 cm, (4 cm vegetasjon, 2 cm drenering) og et på 8 cm (6 cm vegetasjon, 2cm drenering).

Vegetasjonslagene har en feltkapasitet på 20 %, infiltrasjonsevne på 10⁻³ m/s, og porevolum i drensaget på 40 %. Takene er helt tørre før nedbørhendelsen starter.

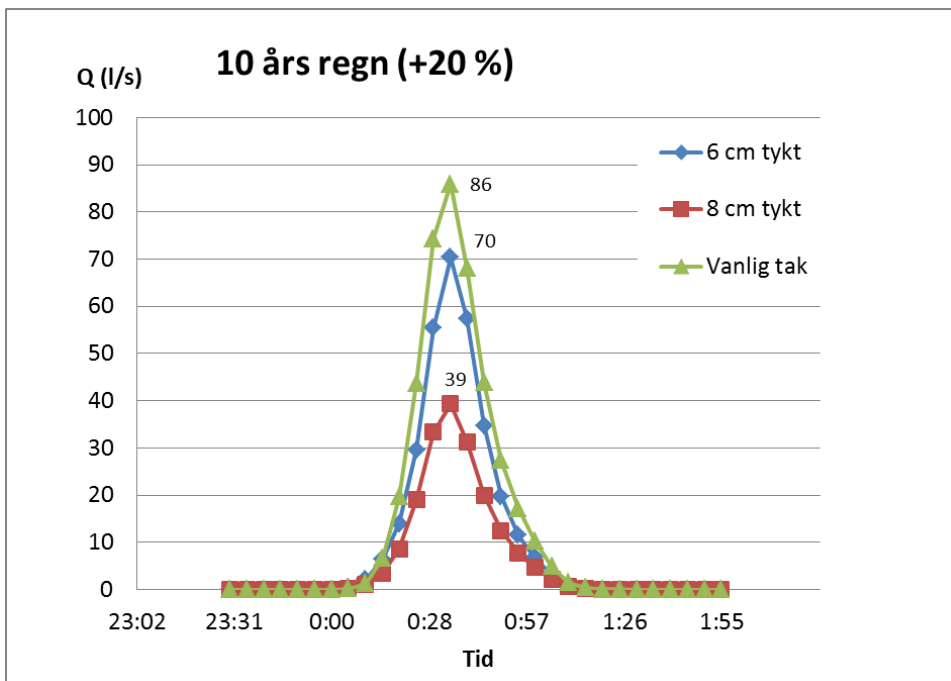
Tabell 21 Avrenning i l/s og m³ fra sykkelfabrikken i kvartal TG2

	2 år (+20%)						10 år (+20%)					
	8 cm		6 cm		Vanlig tak		8 cm		6 cm		Vanlig tak	
Tid	l/s	m ³	l/s	m ³	l/s	m ³	l/s	m ³	l/s	m ³	l/s	m ³
23:55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:10	1	0	1	0	1	0	1	0	2	1	1	0
0:15	2	1	3	1	5	2	3	1	7	2	7	2
0:20	4	1	7	2	15	4	9	3	14	4	20	6
0:25	11	3	15	4	35	10	19	6	30	9	44	13
0:30	21	6	27	8	62	19	33	10	55	17	74	22
0:35	25	8	32	10	72	22	39	12	70	21	86	26
0:40	20	6	25	8	56	17	31	9	57	17	68	20
0:45	12	4	16	5	35	10	20	6	35	10	44	13
0:50	8	2	10	3	22	7	12	4	20	6	27	8
0:55	6	2	7	2	16	5	8	2	12	3	17	5
1:00	4	1	5	1	11	3	5	1	7	2	10	3
1:05	2	1	2	1	5	2	2	1	3	1	5	1
1:10	1	0	1	0	2	0	1	0	1	0	1	0
1:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
m³		35		45		101		55		94		122



Figur 46 Avrenning fra taket i kvartal TG2 for et 2 års regn med ulike tykkelser på grønne tak

Figur 46 illustrerer at taket på 6 cm reduserer flomtoppen med 55,6 % og taket på 8 cm reduserer flomtoppen med 65 %.



Figur 47 Avrenning fra taket i kvartal TG2 for et 10 års regn med ulike tykkelser på grønne tak

Figur 47 illustrerer at for 10 års regnet vil taket på 6 cm redusere flomtoppen med 18,6 % og taket på 8 cm reduserer flomtoppen med 54,7 %. Det grønne taket på 6 cm vil bidra til å redusere flomtoppen for et 10 års regn med 16 l/s, og for et 2 års regn er flomtoppreduksjonen på 40 l/s. Det grønne taket på 8 cm klarer å redusere flomtoppen med 47 l/s for begge takene.

Tabell 22 Volumreduksjon fra grønne tak

Tykkelse	6 cm		8 cm	
	2 år (+20%)	10år (+20 %)	2 år (+20%)	10 år (+20 %)
Volumreduksjon [m ³]	56	28	66	67
Nedbør lagret på taket [cm]	1,8	0,9	2,1	2,2

I tabellen over synliggjøres det at taket på 8 cm klarer å holde tilbake ca. 2 cm av nedbøren for begge hendelsene, mens taket på 6 cm holder tilbake 1,8 cm for 2 års regnet og 0,9 cm for 10 års regnet. Det grønne taket på 6 cm klarer ikke å holde på like mye regn når intensiteten er høy.

Diskusjon

Kvartalet består kun av impermeable flater, og det er ingen andre endringer, derfor antas det at flomtoppreduksjonen er forårsaket av det grønne taket.

Avrenningsmønstrene til kvartalet for de grønne takene ligner hverandre for 2 års regnet. 10 års regnet derimot medfører at avrenningsmønsteret for det grønne taket på 6 cm ligner mer på det flate taket.

2 års regnhendelsen (med klimafaktor) er på 15,6 mm og den på 10 år (med klimafaktor) er 23,4 mm. Begge nedbørshendelsene får redusert flomtoppene, spesielt for det vegetasjonsdekket som er 8 cm (6 cm vegetasjon og 2 cm drenering). Beregningene ble utført på tørre tak, og det er ikke alltid tilfelle før en regnhendelse.

Grønne tak vil kunne redusere flomtopper i de vanligste og hyppigst forekommende regnhendelser. For normalperioden 1971 – 2000 på Sola er nedbøren 50 % av dagene mellom 0,1 mm – 3 mm, 32 % av dagene mellom 3 – 10 mm, 16 % av dagene mellom 10 – 25 mm og 2 % av dagene større enn 25 mm.

Taket på 8 cm (6 cm vegetasjon og 2 cm drenering) kan lagre 2 cm med nedbør, som blir tilgjengelig for evapotranspirasjon. Denne nedbørsmengden utgjør mer enn 98 % av nedbørsdagene i året, men alt det lagrede vannet vil ikke rekke å evaporere, slik at et vannmettet tak vil begrense lagringseffekten. Det er likevel å forvente at årlig avrenning fra grønne tak vil kunne reduseres vesentlig i forhold til vanlige tak.

Avrenningsreduksjon fra grønne tak

Det er beregnet årlig reduksjon i avrenning fra takene vist i Tabell 23. Det er antatt at reduksjonen i avrenning fra kvartalene med grønne tak kun skyldes det grønne taket, i og med at det ikke er gjort noen andre endringer i kvartalet.

Redusert avrenning med SUDS er hentet fra Tabell 15 og Tabell 16.

Gjennomsnittlig årsnedbør på taket er 1035 mm, og 400 mm evaporerer.

Tabell 23 Endring i avrenning fra grønne tak

Kvartal:	Areal grønt tak [m ²]	Redusert avrenning med SUDS [m ³ /år]	Avrenning fra taket [m ³ /år]	Endring i avrenning fra grønt tak [m ³]
TG1	1000	187	635	30 %
TG2	3100	566	1969	29 %
TG4	1430	434	908	48 %
TG7	749	149	476	31 %

Endringen i avrenning dividert på nedbør på taket minus evapotranspirasjon gir en nedgang på mellom 29 – 48 % i avrenningen ved å benytte grønne tak, se tabell over.

Verdiene i reduksjon av årlig avrenning er lavere enn forventet i forhold til målte verdier fra Tyskland og Sverige. Målinger i Tyskland har gitt resultater på 27 – 81 % reduksjon i avrenning fra årlig nedbør for ekstensive tak (Berndtsson (2010), Mentens et al. (2006)). I Sverige er det registrert 50 % reduksjon i årlig avrenning fra grønne tak på 10 cm. (Svensk Vatten (2011)). De grønne takene benyttet i modellen har vegetasjonsdekket på 6 cm og dreneringslag på 6 cm.

4.9 Verifisering av modellene

For å sjekke at modellene over dagens situasjon og modellen med SUDS samsvarer, er det foretatt en sammenligning av nedbørsmengde og areal.

Nedbørsmengder i modellen

Det er sett på nedbørsmengder i modellene for de modellene med simuleringer av 2 og 10 års regn. Brutto nedbør er total nedbørsmengde, mens nettonedbør er nedbørsmengde etter å ha trukket ifra gropmagasinering og andre tap, se tabellen under.

Tabell 24 Sammenligning av nedbørsmengder i de ulike modellene

Nedbør:	2 år (+20 %)		10 (+20 %)	
	Dagens situasjon	SUDS	Dagens situasjon	SUDS
Brutto nedbør [m ³]	846	845	1265	1263
Netto nedbør [m ³]	745	748	1164	1166

Det er en variasjon på 1 – 3 m³ i nedbøren for de konstruerte regnhendelsene, det tilsvarer 0,02 – 0,06 mm over de 5,4 hektarene til nedslagsfeltet.

Arealfordeling i modellene

I tabellen under presenteres dagens arealfordeling sammenlignet med modellen som har implementert SUDS. Det er en forskjell på 50 m² mellom de to modellene. Fra kartet i arcGIS er arealet 54 127 m². Så modellene mangler 31 og 81 m² med areal, noe som tilsvarer 0,06 og 1,15 % av nedslagsfeltets totale areal fra kartet i arcGIS.

Modellen med SUDS har 3165 m² mindre impermeable flater enn dagens situasjon. Arealet er fordelt på en infiltrasjonsflate på 3090 m² og 25 m² med permeable flater. Det er 6 % mindre impermeable flater i modellen med SUDS i forhold til dagens situasjon.

Tabell 25 Sammenligning av arealfordeling i modellene

	Dagens situasjon	Modell med SUDS
Totalt areal [m ²]	54 096	54 046
Impermeable flater [m ²]	52 137	48 972
Permeable flater [m ²]	0	25
Naturlig overflate [m ²]	1959	1959
Infiltrasjonsoverflate [m ²]	0	3090

5 DISKUSJON OG VURDERINGER

I dette kapittelet blir det beskrevet hvordan modellen kan kalibreres, samt hvordan resultatene kan tolkes og brukes.

5.1 Kalibrering av modellen

Modellen over dagens situasjon er ikke kalibrert. Modellen er bygd opp etter data fra MIKE URBAN, og en forenklet inndeling av nedslagsfeltet. Det er mulig at systemet i virkeligheten avviker fra datagrunnlaget i Gemini/MIKE URBAN og utforming av modellen. For å forbedre modellen burde den kalibreres med vannføringsmålinger fra feltet.

Vannføringsmålinger fra overløpene i Eidsvollgata vil fortelle hvilke regnhendelser og mengde vann som kommer inn oppstrøms i ledningsnett. Målinger i Julie Eges gate kan benyttes til kalibrering, og til å fortelle noe om kapasiteten nedstrøms i ledningsnett. Ledningen har en diameter på 300 mm, så målinger i dag vil gi et uriktig bilde sammenlignet med framtidens scenario der diameteren er større.

Det er ikke mulig å kalibrere modellene for SUDS, da man ikke kan ta vannføringsmålinger av en modell som ikke eksisterer. For å forbedre modellen burde det tas infiltrasjonsmålinger flere steder i nedslagsfeltet og for ulike årstider. SUDS med infiltrasjonsmuligheter krever at grunnvannet alltid er lavere enn bunnen til systemet. For å sjekke om grunnvannet er lavt nok bør nivået måles om våren etter snøsmelting, når grunnvannstanden er høyest.

Forbedring av modellen med SUDS kan gjøres ved å installere SUDS i Sandnes eller områder med tilsvarende klima og nedbørsmønster. De målte verdiene kan sammenlignes med resultatene fra modellen for å sjekke om de samsvarer.

Et eksempel på hvordan SUDS i modellen kan forbedres er gitt for et grønt tak. Avrenning fra grønne tak avhenger blant annet av klima, takets utforming og vekstmediet. I STORM kan resultatene fra grønne tak optimaliseres ved å sette inn en egendefinert kurve for avrenning fra vegetasjon og dreneringslaget, og kurven fra overløpet. Vannføringsmålinger fra den type grønne tak som skal brukes, plassert i Sandnes, vil gi mer riktige kurver slik at modellen forbedres. Overløpskurven avhenger av form på taket, type og plassering av overløpet. Kurven for vegetasjonslaget avhenger av hydraulisk kapasitet og feltkapasitet for vegetasjonsdekket. I STORM er det lagt inn vegetasjonslag med feltkapasitet 20 %, og hydraulisk kapasitet på vegetasjonslaget på 10^{-3} m/s. Kurven for drenslaget er avhengig av porevolum, type og plassering av utløp.

Det er utfordrende å skaffe målte data fra SUDS for å verifisere resultatene fra modellen. Det eksisterer få SUDS i Norge i dag og de færreste har vannmålere. Effekten av SUDS avhenger av blant annet utforming, lokalisering og

grunnforhold, så det å finne målinger som tilsvarer SUDS plassert i Sandnes er krevende.

5.2 Resultatene

Resultatene der det er gjort en relativ sammenligning kan brukes til å vise effekten av ulike SUDS i nedslagsfeltet. Effekten av SUDS gir en gjennomsnittlig årlig reduksjon på 16 % med løsmasse sand, og 11 % med løsmasse sandig silt. For reduksjonen på 16 % er det forutsatt at SUDS med infiltrasjonsmuligheter plasseres på løsmassen sand, med hydraulisk kapasitet $k_f \geq 10^{-3}$ m/s. For reduksjonen på 11 % er det forutsatt at SUDS med infiltrasjonsmuligheter plasseres på sandig silt med $k_f \geq 3,33 \cdot 10^{-3}$ m/s.

Modellen har ikke plassert SUDS på alle tilgjengelige områder. I kvartal TG 3 kan de private hagene benyttes som infiltrasjonsflate. I modellen dekker grønne tak 0,63 hektar, og arealet til flate tak er på ca. 1,3 hektar, så det er flere takflater å bruke til grønne tak. Parkeringsplassen ved vitenfabrikken i kvartal TG 1 skal fjernes. Dette er tiltak som ikke er tatt med i modellen, men som vil kunne bidra til en ytterligere reduksjon i overflateavrenningen. Det må derfor kunne fastslås at den årlige reduksjon for avrenningen på henholdsvis 16 % for løsmasse sand, og 11 % for løsmasse sandig silt er mulig å oppnå for nedslagsfeltet.

Infiltrasjonsevnen

Nedslagsfeltet er et urbant område og massene kan være utskiftet og komprimert slik at infiltrasjonskapasiteten er dårligere enn for ren sand. Resultatene fra simuleringene med sand som jordtype for hele modellen kan gi for optimistiske verdier.

Resultatene viser at dersom en plasserer SUDS med infiltrasjonsmuligheter på sandige masser med god infiltrasjonsevne framfor middels god infiltrasjonsevne vil det utgjøre en stor forskjell. Derfor er det lurt å gjennomføre infiltrasjonsmålinger flere steder i området før en velger plasseringen til SUDS, dette gjelder spesielt i nedslagsfeltet der det er store variasjoner i grunnforholdene. Kompakte SUDS er ofte det eneste aktuelle i tettbygde strøk, og sandige masser med god hydraulisk kapasitet vil gi kompakte SUDS med god infiltrasjonsevne.

Valg av SUDS

Det er ikke alle SUDS som finnes i STORM, regnbed f.eks. ligger ikke inne i programmet. Innodrain ligner et regnbed, men et regnbed er en mer estetisk SUDS siden den er uten betongkassen rundt. I parken ved vitenfabrikken er det påvist god hydraulisk kapasitet, og et regnbed der kunne vært aktuelt.

Det er sett nærmere på hvilke SUDS som egner seg i nedslagsfeltet basert på resultatene fra STORM og med tanke på arealbruken i området. De permeable

parkeringsplassene beslaglegger ikke areal og gir en reduksjon i avrenning dersom massene under er egnet til infiltrasjon. De krever vedlikehold, men det gjør de fleste SUDS. Å benytte eksisterende bed til å lage regnbed eller innodrain er en metode for å redusere avrenning uten og «stjele» areal. For å kunne gjennomføre forslagene i kvartalene TG6, TG 9 og TG 10 (innodrain og gresskledd forsenking) må parkeringsplasser fjernes. Infiltrasjonsmagasinet klarer å redusere gjennomsnittlig årlig avrenning fra kvartal TG5 med 29 % for sand, og 6 % for sandig silt. Infiltrasjonsmagasinet opptar 0,3 % av kvartalet, og det er et lukket magasin som ikke tar opp areal på overflaten. De grønne takene reduserer ikke like mye av avrenningen sammenlignet med andre SUDS, men det er en stor fordel at grønne tak ikke tar av arealet på bakken. Nedslagsfeltet inneholder også en stor andel av flate tak.

5.3 Grønne tak

De grønne takene legges kun inn som totalt areal, så formen på taket er ikke med i beregningene i STORM. Det er en forenkling i modellen som gir lik avrenning fra et langt rektangulært tak og et kvadratisk tak med samme areal. Simuleringer gjennomført av Sintef Byggforsk viser at økt taklengde øker fordrøyningen. (Clewing et al. 2012, s. 94).

Selv om modellen ikke er kalibrert gir resultatene en pekepinn på effekt av grønne tak og omtrentlige verdier på hva som kan oppnås dersom grønne tak tas i bruk. Resultatene fra STORM gir flomtoppreduksjon, en viss fordrøyningseffekt og en volumreduksjon. Det er valgt å se på årlig reduksjon i avrenning for hele kvartalet dersom grønne tak implementeres. De grønne takene klarte å redusere overflateavrenningen i kvartalene med 3 – 10 %, og da varierer både størrelsen på de grønne takene og på kvartalene.

Grønne tak demper flomtopper i de vanligste og hyppigste forekommende regnhendelser, og de reduserer årlig avrenning fra takene. De har i tillegg flere positive sider som å rense vannet ved infiltrasjon og å ta opp luftforurensing. De kan gjøre takareal om til parker eller hager, motvirke urban varmeøyeffekt, isolere og heve levetiden til taket.

Grønne tak vil ikke kunne virke flomdempende ved større skybrudd, men en kombinasjon av grønne tak koblet til infiltrasjonsbasseng under bakken vil bidra til å avlaste nettet både ved små regn og for mer intense regn.

6 KONKLUSJON

Det er nyttig med et verktøy for å modellere SUDS. I STORM er det mulig å sammenligne forskjellige typer SUDS, dimensjoner og nedbør på en relativt enkel og rask måte. Modellen som er laget over dagens situasjon er ikke kalibrert, noe det anbefales å gjøre for å forbedre modellen. Resultatene som viser effekten av ulike SUDS i nedslagsfeltet er en relativ sammenligning, og kan benyttes for å blant annet velge hvilke type SUDS som er egnet i nedslagsfeltet.

Det er oppnådd en årlig reduksjon på 16 % i overflateavrenningen ved å implementere SUDS i nedslagsfeltet. Da er det benyttet sand som løsmasse, beregnet med langtidsnedbør fra 1998 – 2008 for Time – Lye. Den årlige reduksjonen er på 11 % for løsmasse sandig silt. Nedslagsfeltet er 5,4 hektar og modellen inneholder 5 grønne tak, 3 permeable parkeringsplasser, 4 innodrain, en gresskledd forsenking med underliggende infiltrasjonsmagasin, en vanlig gresskledd forsenking og et infiltrasjonsmagasin.

SUDS reduserer vannføringen i ledningsnettet, både det totale volumet og maksimal vannføring. Maksimal vannføring i ledningen nederst i nedslagsfeltet inntreffer 16.10.2001, for perioden 1998 – 2007. Vannføringen i modellen over dagens situasjon er 398 l/s, mens for modellen med SUDS og løsmasse sand reduserer flomtoppen med 22 %, slik at vannføringen er 309 l/s. Flomtoppen er også forskjøvet 5 minutt, noe som betyr at systemet har en viss fordrøynings-effekt. Modellen med SUDS og sandig silt reduserer flomtoppen med 14 %, det vil si at vannføringen er 343 l/s.

Det er påvist god infiltrasjonskapasitet i de sandige massene i Sandnes. Infiltrasjonskapasiteten til sandige masser bør utnyttes. Skiftes de asfalterte parkeringsplassene i kvartal TG 3 til permeable flater oppnås en reduksjon i årlig avrenning fra kvartalet på 16 % dersom massene under er sand, og 9 % dersom massene er sandig silt. Et infiltrasjonsmagasin på 16 m² i et område på 0,35 hektar ga en årlig reduksjon i avrenning på 29 % for løsmasse sand og 6 % for løsmasse sandig silt. Å gjennomføre infiltrasjonsmålinger flere steder i området, før en lokaliserer SUDS kan lønne seg, spesielt i nedslagsfeltet der de lokale variasjonene i løsmassene er store.

Grønne tak demper flomtoppene i de vanligste og hyppigst forekommende regn og reduserer årlig avrenning fra takene. Implementering av SUDS er et bærekraftig alternativ til oppgradering av rørdimensjoner, og kan bidra til å håndtere ekstra vannmengder fra fortetting og klimaendringer. SUDS plassert på sandige masser vil avlaste eksisterende ledningsnett i nedre del av Sandnes sentrum.

7 FORSLAG TIL VIDERE ARBEID

I dette kapitlet foreslås det hvordan Sandnes kommune eller andre prosjekt og masteroppgaver kan kalibrere, videreutvikle og gjennomføre tiltakene i modellen:

- Måle vannføring i felt for å kalibrere modellen.
- Installere SUDS, blant annet grønne tak for å måle effekten i Sandnes. Sandnes kommune planlegger å benytte lokal overvannshåndtering i den nye havnebyen som skal bygges i sentrum. Målinger av SUDS kan gi parameterverdier som gjelder for nedslagsfeltet, og de vil kunne benyttes til å forbedre modellen.
- Bruke sandige masser i nedslagsfeltet til å infiltrere overvann. I kvartal TG1, ved parken i vitensenteret er det påvist sandige masser med god mettet hydraulisk konduktivitet, men det er trolig sandige masser flere steder i nedslagsfeltet.
- Lokal overvannshåndtering bør inkluderes når parken ved siden av Vitenmuseet skal oppgraderes. Det er planer om å fjerne parkeringsplassen og anlegge et vannspeil, og det er gode muligheter til å redusere overflateavrenningen siden massene er egnet til infiltrasjon.
- Inkludere lokal overvannshåndtering i planarbeidet for Øglændskvartalet. Er det sandige masser med god infiltrasjonskapasitet vil SUDS med infiltrasjonsmuligheter bidra til å redusere årlig avrenning fra kvartalet vesentlig. I stedet for å legge asfalt kan en benytte permeable dekker. Er grunnvannstanden og massene egnet bør infiltrasjon brukes dersom et fordrøyningsmagasin bygges.
- Oppgaven er begrenset til å beregne vannmengder i STORM, men det er også mulig å beregne renseeffekten til SUDS. Innodrain og regnbed infiltrerer første delen av nedbøren, og selv om systemet går i overløp vil renseeffekten være stor grunnet "first flush" effekten. Det ville vært interessant å beregne effekten av dette.

Referanseliste

Alfredsen K. (2010), *Markvann og infiltrasjon*, (Forelesning hydrologi 21.10.2010)

Bandermann, S. (2013) Personlig meddelelse

Benestad R., Fuglestad, J. S. og Harstveit, K. E. (2013) *Klimaendringer*. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/klimaendringer> (Hentet: 04.05.2013).

Bergen kommune (2005) *Retningslinjer for overvannshåndtering*. Tilgjengelig fra: <https://www.bergen.kommune.no/omkommunen/avdelinger/vannog-avloppetaten/9082/9083/article-11424> (Hentet: 22.01.2013).

Berndtsson, J. C. (2009), *Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review*. Tilgjengelig fra: dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.12.014 (Hentet: 03.04.2013).

Braskerud B. C og Paus, K (2013) *Dimensjonering og avlegging av regnbed for norske forhold*, VANN (Dato)

Braskerud B. C, Ekle A. og Paus K. (2013) *Anlegging av regnbed*. Oslo: NVE rapport nr 3-2013

Cicero, Senter for klimaforskning (2007) *Hovedfunn fra FNs klimapanel*. Tilgjengelig fra: www.klif.no/nyheter/dokumenter/ipcc_faktaark_hoydepunkter020207.pdf (Hentet: 05.05.2013)
Ansvarlig redaktør: Kolset, T.

Cicero, Senter for klimaforskning (2010) *Hvorfor endrer klimaet seg?*. Tilgjengelig fra: cicero.uio.no/abc/klimaendringer.aspx (Hentet: 04.05.2013) Ansvarlig redaktør: Kolset, T.

Clewing C. S., French H. K., Kvalvik J. O. B., Noreng K., Ødegård I. M, (2012) *Grønne tak - Resultater fra et kunnskapsinnhentesprosjekt* Trondheim: Sintef Byggforsk Rapport 104 s. 94

Dunnett, N., Kingsbury, N., (2004) *Planting Green Roofs and Living Walls*, Portland, USA: Timber Press

eKlima, (2013) *IVF kurve ROVIK*. Tilgjengelig fra: eklima.no (Hentet 01.02.2013)

EPA (2013) *Pervious Concrete Pavement*. Tilgjengelig fra: cfpub.epa.gov/npdes/stormwater/menuofbmps/index.cfm?action=browse&Rbutton=detail&bmp=137 (hentet 06.05.2013)

EPA, United States Environmental Protection Agency (2006) *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies*. Tilgjengelig fra: www.epa.gov/hiri/ (Hentet: 10.05.2013) [Akbari H., Bell R., Brazel T., Cole D., Estes, M., Heisler G., Hitchcock D., Johnson B., Lewis M., McPherson, G., Oke T, Parker D., Perrin, A., Rosenthal, J., Sailor, D., Samenow, J., Taha, H., Voogt, J., Winner, D., Wolf, K., and Zalph, B.]

FISRWG, Federal Interagency stream restoration working group (2013) *Relationship between impervious cover and surface runoff* Tilgjengelig fra: nrqs.usda.gov/Internet/FSE_MEDIA/nrcs143_024824.jpg (Hentet 20.03.1013)

FNs klimapanel (IPCC) Tilgjengelig fra: www.ipcc.ch/organization/organization.shtml#.UYTsQmdXuYU (Hentet: 04.05.2013)

- Fuglestedt, J. Harstveit, K. Benestad, R. (28.02.2013) *Klimaendringer* i Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/klimaendringer> (Hentet 04.05.2013)
- Holstad, K. og Hov, S. (2012) *Håndtering av overvann og høy sjøvannstand i Sandnes*, Masteroppgave ved NTNU, Institutt for vann og miljøteknikk.
- Holvik, I. (2010) *Impact of storm water runoff from climate change – Example study in Sandnes, Norway*, Masteroppgave ved NTNU, Institutt for vann og miljøteknikk.
- IPCC 2007, *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor og H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPS. (2008). *STORM Manual* Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH. Berlin
- Leland, T. (2012) *Gressklede forsøkinger i norsk klima*. Prosjektoppgave ved Institutt for Vann og miljøteknikk ved NTNU, Trondheim.
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægrov, S., Jakobsen, G. og Aaby, L (2008a) Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering, Norsk Vann Rapport 162.
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægrov, S., Jakobsen, G. og Aaby, L (2008b) Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering, Norsk Vann Rapport 162, Vedlegg 6, s. 6 og 7.
- Lindholm, O., Egan, J.A., Rapp, Ø., Øverleir, P. A., Markhus, E. (2003). *Revurdering av beregningskriterier for avløpssystemer, flom i kommunale avløpssystemer*. NIVA, Oslo.
- Mentens J., Raes, D., Hermy, M., 2006 *Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanised 21st century*. Landscape Urban Plan. 77, 217 - 226
- Meteorologisk Institutt (2013) *Klimastatistikk for Sola* Tilgjengelig fra: met.no/Klima/Klimastatistikk/Vanlig_var/Vestlandet/Sola_Rogaland/ (Hentet 06.05.2013)
- NGU (2013) *Løsmasser –infiltrasjonsevne*. Tilgjengelig fra: geo.ngu.no/kart/minkommune/?kommunenr=1102 (Hentet 19.04.2013)
- Norgeskart (2013). Tilgjengelig fra: norgeskart.no. (Hentet: 04.05.2013).
- NS – EN 752 (2008) *Utvendige stikklednings- og hovedledningsystemer*. Norsk Standard
- USDA (2006). United States Department of agriculture *Technical notes*. Tilgjengelig fra: [ftp://ftp-fc.sc.egov.usda.gov/MO1/tech_pdf/tech26.pdf](http://ftp-fc.sc.egov.usda.gov/MO1/tech_pdf/tech26.pdf) (Hentet: 21.05.2013).
- Paulsen, O. [1987]: *Kontinuierliche Simulation von Abflüssen und St offfrachten in der Trennentwässerung*, Mitteilungen des Instituts für Wasserwirtschaft, Universität Hannover, Heft 62
- Paus, K. (2012a) *Principles of Sustainable Stormwater Management*. Forelesning i Urbane vannsystemer 22.10.2012
- Paus K. (2012b), *Designing and Sizing Stormwater BMPs for Stormwater Treatment*, forelesning Vann og miljøteknikk Videregående kurs, 11.10. 2012.

- Paus K. (2010) *Matlab – Script for estimering av tensjon og hydraulisk konduktivitet*
Trondheim, NTNU
- Pihl C. Bilde fra Instagram, feb. 2013
- Sandnes kommune (2013) Evaporasjonsmålinger (fra Kirsten Vike)
- Sommer, H. (2007) Innodrain, Tilgjengelig fra:
www.sieker.de/english/modules/wfsection/article.php?articleid=14 (Hentet: 03.03.2013)
- Sommer, H. (2005) *Through – Trench Systems* Tilgjengelig fra:
<http://www.sieker.de/english/modules/wfsection/article.php?articleid=13> (Hentet: 03.03.2013)
- Stahre, P. (2004). *En långsiktig hållbar dagvattenhantering*. Malmö: Svenskt Vatten
- Stenberg (2011) *Ettermontering av regnbed i etablert by, med NVE – kvartalet som undersøkelsesområde* Masteroppgave ved UMB, Ås
- Svenskt Vatten AB (2011) *Hållbar dag- och dränvattenhantering, Råd vid planering och utformning*, Publikation P105 (august 2011)
- Sægrov S. (2013) personlig meddelelse
- Thorolfsson, S. (2012) *Kompendium i overvannsteknologi* s 100 – 105.
- Vike, K.(2012) *Tiltaksanalyse – sone 3 sentrum MIKE URBAN* 10. april 2012.
- Verworn, H. R og Kenter, G. (1993) *Abflussbildungsansätze für die Niederschlags-Abfluss-Modellierung, Zeitschrift für Stadtentwässerung und Gewässerschutz*, Heft 24, SUG-Verlag, Hannover

Vedlegg A - SUDS i STORM

I dette vedlegget er SUDS i STORM beskrevet. Informasjonen er fra STORM manualen (IPS, 2003). Felles for alle SUDS er at størrelse, høyde og dimensjoner på strupet utløp kan angis.

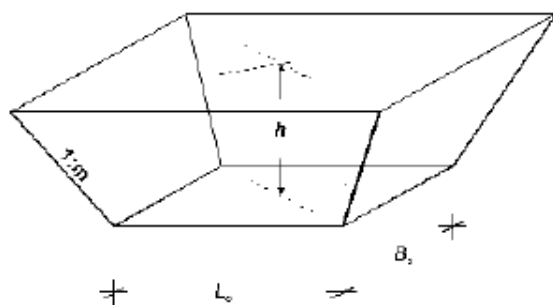
Gresskledd forsenking

Geometrien til den gresskledde forsenkingen i STORM er gitt som en obelisk form:

$$V = \frac{1}{6} h [(2 \cdot L + L_s) \cdot B + (2 \cdot L_s + L) \cdot B_s]$$

- L og B er bredden på toppen
- L_s er bunnen ($L_s = L - 2 \cdot h \cdot m$)
- B_s er bredden i bunnen av de gresskledde forsenkinger ($B_s = B - 2 \cdot h \cdot m$)

I STORM er input verdiene L, B, h og m.



Vannføring ut av den gresskledde forsenking består av infiltrasjon, evaporasjon og vann i overløp.

Infiltrasjon Q_i blir beregnet med ligning:

$$Q_i = \frac{k_{fM}}{2} \cdot A_s(h) \cdot 1000$$

- $K_{f,M}$ = permeabilitets koeffisient for bunnen (m/s)
- $A_s(h)$ = infiltrasjon – effektivt overflateareal (m^2)

Det infiltrasjonseffektive overflatearealet til den gresskledde forsenkingen er beregnet utfra geometrien og vannivået. Det er mulig å benytte andre geometrier, men da må ligningen endres.

Infiltrasjonskapasitet når maks når $h = h_m$. Overløpet trer i kraft når vannivået er $h_m + 0,1$. Maks verdi av overløpet er regnet som produktet av en arealbasert belastning på $0,1 \text{ l/(s m}^2\text{)}$ og det tilknyttede overflatearealet. Den høye verdien på

0,1 l/s m² sikrer for alle tilfeller at overløpskapasiteten $Q_{o,M}$ er større en forventet innkommende vannføring $Q_{Z,M}$ når den gresskledde forsenkingen er full.

$$Q_{U,M,max} = 0,1 \cdot A_{red} \cdot 1000 \text{ (l/s)}$$

Overløpsvolumet og overløpshyppigheten er dimensjoneringskriteriet for den gresskledde forsenkingen.

Jordens egenskaper og prosesser er forenklet i den gresskledde forsenkingen. Lagring og oppbevaringseffekten er simulert ved å se på midlertidig lagring og jord-spesifiserte infiltrasjon og fordampingsprosesser.

Lagringskapasiteten er beregnet ved å benytte jordens effektive feltkapasitet eFK:

$$V_B = A_{S,maks} \cdot h_b = A_{S,maks} \cdot h_b \frac{eFK}{100}$$

- V_B = lagringsvolum i bunnen av den gresskledde forsenkingen (m³)
- $A_{S,maks}$ = maksimum infiltrasjons effektivt areal til den gresskledde forsenkingen
- h_b = tykkelsen til bunnen av den gresskledde forsenkingen
- eFK = effektiv feltkapasitet (%)

Ved å bruke den effektive feltkapasiteten eFK for å bestemme lagringskapasitet i den gresskledde forsenkingen sammen med fysiske vilkår som porøsiteten og k_f – verdein (m/s) til fyllmaterialet under den gresskledde forsenkingen som er høyere enn verdiene til den gresskledde forsenkingen jord.

Totalt porevolum kan ikke bli brukt til vann lagring siden strømmen og tyngdekraftens potensiale mot grøften er for stor. Det er kun effektiv feltkapasitet som kan bli holdt tilbake.

Infiltrasjonsmagasin under bakken (steinfyllingsmagasin)

I et infiltrasjonsmagasin skal mesteparten av vannet infiltrere i omkringliggende masser. For å tømme magasinet innen rimelig tid er det som oftest nødvendig med et utløp i bunnen som kobles på et nedstrøms dreneringssystem, i tillegg til et overløp.

Geometrien til steinfyllingsmagasinet i STORM er en blokk med følgende volum:

$$V_R(h) = I_r b_r h \hat{s}$$

- $V_R(h)$ er lagringsvolumet (m³)
- I_r er lengden (m)

- b_r er bredden (m)
- h vannivået inne i lagringsmagasinet (m)
- \hat{s} utskiftningslagringselement

Utskiftningslagringselementet inneholder både porøsiteten til fyllingsmaterialet ved å benytte material parameteren s (lagringskoeffisient) og volumet tilgjengelig fra drenerørret.

$$\hat{S} = s + \frac{\pi}{4 h_r \cdot b_r} (d_i^2 - d_u^2)$$

- s er lagringskapasiteten til fyllmaterialet
- d_i er innvendig diameter til røret (m)
- d_u utvendig diameter til røret (m)
- h_r høyden til infiltrasjonsmagasinet (m)
- b_r bredden til infiltrasjonsmagasinet (m)

Vannføring ut fra infiltrasjonsmagasinet har tre muligheter, via strupet utløp, infiltrasjon i omkringliggende masser og overløp.

Maksimum strupet utløp er regnet fra en global regional strupet variabel q_d (l/s ha)

$$Q_{D,R}(h_r) = (\sum_i A_{red}^i) \cdot q_d \cdot 10^{-4}$$

- $Q_{D,R}$ Strupet utløp (l/s)
- H_r maksimum vannivå i infiltrasjonsmagasin (m)
- q_d regionalt strupet variabel (l/s ha)
- i indeks til oppstrøms tilkoblet grøft
- A_{red} Vannføringseffektiv overflate areal tilkoblet infiltrasjonsmagasin (m^2)

Strupet utløp er beregnet ved å ta produktet til total utløps effektive overflateareal tilkoblet til grøften og den regionale strupete variabelen q_d . Det er mulig å sette strupingen til den verdien man ønsker.

$$\text{Infiltrasjonskapasiteten } Q_{V,R}(h) = A_{s,R}(h) \cdot \frac{k_f}{2} \cdot 1000$$

- $Q_{V,R}$ Infiltrasjonskapasitet (l/s)
- $A_{s,R}$ Infiltrasjons effektivt areal til grøften (m^2)
- K_f Permeabilitetskoeffisienten til omkringliggende masser (m/s)
- h Vannivået i steinfyllingsmagasinet

Permeabiliteten er i ligningen ganget med en reduksjonsfaktor på 0,5. I den tyske standarden ATV A138 står en skal anta at kun halvparten av sidene infiltrerer når magasinet er fullt.

Det infiltrasjonseffektive overflatearealet er gitt ligningen:

$$A_{s,R}(h) = l_R \cdot (b_r + 2 \cdot \frac{h}{2})$$

- l_R lengde (m)
- b_r dybde (m)
- h vannivået (m)

Gresskledd forsenking med underliggende infiltrasjonsmagasin

Dette systemet benytter beregningene for gresskledd forsenking og infiltrasjonsmagasin kombinert.

Grønne tak

Det er nødvendig å beregne en kurve for avrenning fra taket avhengig av geometrien. Takets utforming legges inn i modellen. Det er mulig å benytte areal spesifikk strupet intensitet. Avrenningskapasiteten er beregnet som en funksjon av arealet på taket. Underlaget blir behandlet som en gresskledd forsenking, men uten volum over. Vannlagringen er avhengig av den justerbare feltskapasiteten. Det er mulig å bestemme fuktnivået i gressmatten før beregningene. K_f verdien til substratet er 10^{-3} m/s, noe som er høyere enn for toppjord. Den hydrauliske kapasiteten må være høy for å unngå at vann samles opp og medfører ekstra vekt på taket. Infiltrasjonen og overløpet fra underlaget skjer i dreneringssiktet. Simulering av dreneringslaget er likt infiltrasjonsmagasinet for strupet utløp og overløp, men dreneringslaget har ikke infiltrasjonsmuligheter.

(Kilde: IPS, 2003)

Vedlegg B - Symmetrisk regnhyetogram

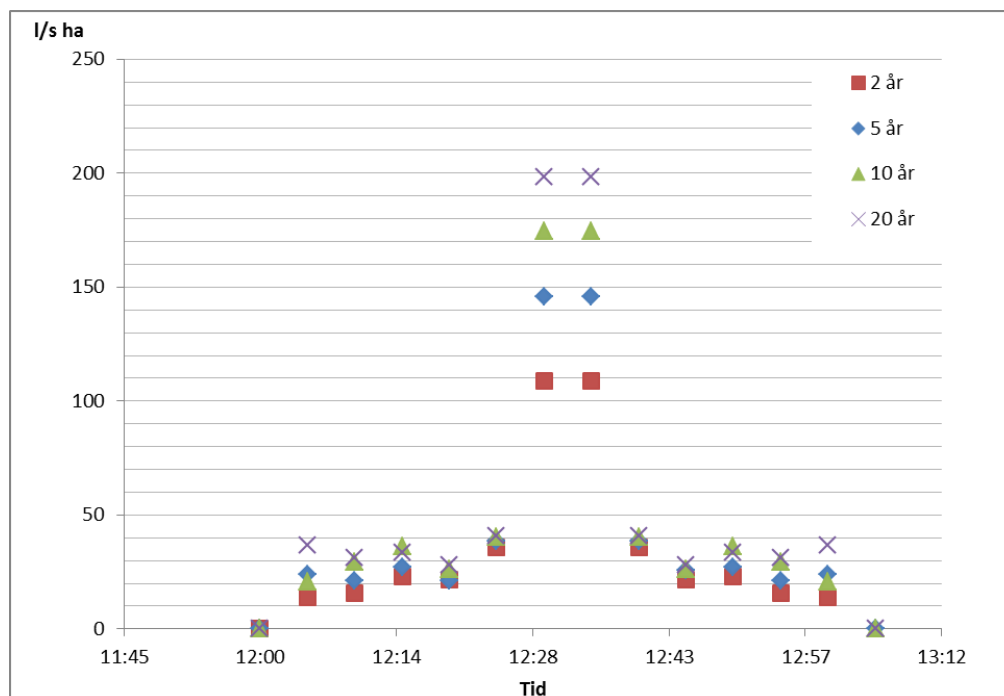
IVF- kurve fra Rovik (eKlima, 2013)

Returperioder(år); Nedbørintensitet(l/s*ha)														
44730 SANDNES - ROVIK														
Periode: 1974 - 2008														
Antall sesonger: 26														
År	1 min.	2 min.	3 min.	5 min.	10 min.	15 min.	20 min.	30 min.	45 min.	60 min.	90 min.	120 min.	180 min.	360 min.
2	271,5	219,7	190,2	155,1	109,0	87,2	72,4	55,5	43,4	36,5	27,7	23,9	19,5	14,0
5	361,6	269,0	236,7	204,3	145,9	112,4	92,2	70,1	54,1	47,1	35,5	30,2	24,2	16,9
10	421,3	301,7	267,5	236,8	170,3	129,0	105,3	79,7	61,3	54,1	40,7	34,4	27,4	18,8
20	478,5	333,0	297,1	268,0	193,7	145,0	117,9	89,0	68,1	60,8	45,6	38,4	30,4	20,7
25	496,7	342,9	306,5	277,9	201,2	150,0	121,9	91,9	70,3	62,9	47,2	39,7	31,3	21,3
50	552,6	373,5	335,4	308,4	224,1	165,6	134,2	100,9	77,0	69,5	52,0	43,6	34,3	23,1
100	608,1	403,9	364,0	338,7	246,8	181,1	146,4	109,9	83,6	76,0	56,9	47,5	37,2	24,9
200	663,6	434,2	392,7	368,9	269,5	196,6	158,6	118,9	90,2	82,6	61,7	51,4	40,1	26,6

Varighet: 60 minutt
Oppløsning: 5 minutt

Det er ikke lagt på noen klimafaktor.

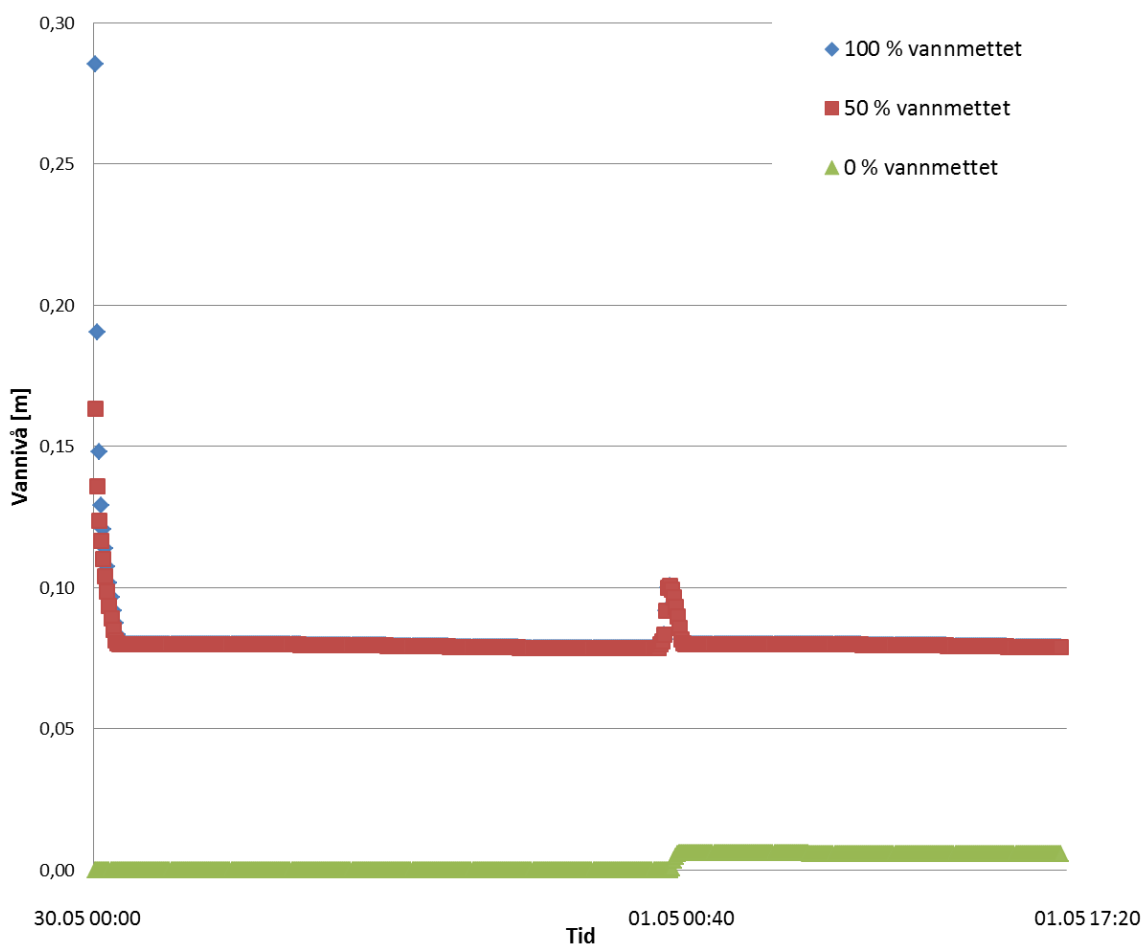
Tid	Gjentaksintervall l/sec ha			
	2 år	5 år	10 år	20 år
12:05	13.9	23.8	20.7	36.5
12:10	15.7	21.3	29.3	31.0
12:15	22.9	27.2	36.4	33.5
12:20	21.7	21.3	26.2	27.9
12:25	35.8	38.5	40.2	41
12:30	109.0	145.9	174.8	198.4
12:35	109.0	145.9	174.8	198.4
12:40	35.8	38.5	40.2	41
12:45	21.7	25.9	26.4	27.9
12:50	22.9	27.2	36.4	33.5
12:55	15.7	21.3	29.3	31.0
13:00	13.9	23.8	20.7	36.5



Vedlegg C – Grønt tak på Vitenfabrikken

Det er sett på et tilfelle der vannivået i det grønne taket er 7,8 cm. I utgangspunktet skulle taket undersøkes for 50 % vannmetning og 100 % vannmetning. Nedbørsfilen til 2 og 10 års regnet skulle starte 30.04 kl:23:00, og regnhendelsen starter 01.05 kl:00:00. Det betyr at modellen vil kjøre en time uten nedbør. I STORM starter simuleringen fra 30.04, kl:00:00, selv om nedbørsfilen ikke skal starte før 23:00. Dette påvirker vannmetningen i det grønne taket, se figuren under.

Vannstand i grønt tak på Vitenfabrikken, 10 års regn (+20 %)



I løpet av de 24 timene gikk vannstanden i taket fra å være 8,6 cm for 50 % vannmettet tak og 29 cm startverdi for 100 % vannmettet til å bli 7,84 cm for begge rett før nedbørshendelsen inntreffer. Derfor er vannmetningen i simuleringene 7,84 cm på taket på ca. 20 %, som er tilsvarende takets feltkapasitet.